

TEXTBOOK OF ANALYTICAL CHEMISTRY

分析化学手册

(第二版)

基础知识与安全知识

第四版



化学工业出版社
CHEMICAL INDUSTRY PRESS

131630

分析化学手册

(第二版)

第一分册

基础知识与安全知识

杭州大学化学系分析化学教研室



化学工业出版社

· 北 京 ·

《分析化学手册（第二版）》编辑委员会

主 任：周同惠

副主任：汪尔康 陆婉珍

委 员：

周同惠 中国科学院院士

中国医学科学院药物研究所

汪尔康 中国科学院院士

中国科学院长春应用化学研究所

陆婉珍 中国科学院院士

中国石油化工总公司石油化工科学研究院

高 鸿 中国科学院院士

西北大学

高小霞 中国科学院院士

北京大学

梁晓天 中国科学院院士

中国医学科学院药物研究所

卢佩章 中国科学院院士

中国科学院大连化学物理研究所

陈耀祖 中国科学院院士

浙江大学 兰州大学

王 夔 中国科学院院士

北京医科大学

黄本立 中国科学院院士

厦门大学

俞汝勤 中国科学院院士

湖南大学

嵯山立子(日) 日本国工业技术院物质工学工业技术研究所

孙亦樑 北京大学

慈云祥 北京大学

李浩春 中国科学院大连化学物理研究所

邓家祺 复旦大学

邓 勃 清华大学

王敬尊 北京微量化学所

程介克 武汉大学

陈洪渊 南京大学

于德泉	中国医学科学院药物研究所
张玉奎	中国科学院大连应用化学研究所
刘振海	中国科学院长春应用化学研究所
丛浦珠	中国医学科学院药物研究所
彭图治	杭州大学
杨峻山	中国医学科学院药用植物研究所
柯以楷	北京化工大学
王国顺	杭州大学
任惠敏	化学工业出版社

第二版前言

分析化学是人们获得物质化学组成和结构信息的科学。由于多学科的交叉渗透,现代分析化学已发展成为一个庞大的学科体系,建立起了比较成熟的多种分析方法,包括色谱分析、电化学分析、光谱分析、波谱分析、质谱分析、化学分析、热分析、放射分析、生化分析等。它一方面在科学研究中起着至关重要的作用,极大地推动着其他学科的发展;另一方面还直接服务于国民经济和生产建设的需要。同时,当代科学技术和人类生产活动的飞速发展也向分析化学学科提出了严峻的挑战,并带来了前所未有的发展机会。

我国的分析化学学科在新中国建立以来,特别是改革开放以后,取得了长足的发展。到目前为止,在全国范围内已形成了一支以中国科学院和高等院校及各部委研究所为核心的分析化学科研队伍,和一个涉及生物、环境、材料、临床、医药、地质、冶金、石化、宇航、商检、法医、侦破和考古等领域的庞大分析检验队伍,共同构成了我国分析化学学科研究发展的源泉和推广应用的基地。在多年的发展过程中,无论是分析化学的基础理论,还是实际应用方面,都已形成了丰富的知识和经验的积累,需要进一步的总结和推广。

《分析化学手册》是一部比较全面的反映现代分析技术,供化学工作者使用的专业工具套书。手册第一版自1979年出版以来,在读者中形成了一定的影响,已成为许多分析化验室的必备图书。但由于受组稿时的历史条件所限,加上近20年来是世界和我国的科学技术,包括分析化学学科飞速发展的时期,原手册第一版在内容和编排上已不能全面反映当我国分析化学的发展现状。因此,根据广大读者的要求,我们组织了这套《分析化学手册》的修订工作。

在第一版原有6个分册的基础上,这次经扩充和修订为以下10个分册:

- 第一分册 基础知识与安全知识
- 第二分册 化学分析
- 第三分册 光谱分析
- 第四分册 电分析化学
- 第五分册 气相色谱分析
- 第六分册 液相色谱分析
- 第七分册 核磁共振波谱分析
- 第八分册 热分析
- 第九分册 质谱分析
- 第十分册 化学计量学

其中第一分册为基础内容,收集了分析工作中常用的基础数据,分析实验室的安全知识及分析数据的常规处理、计算机应用的基础知识。第十分册所涉及的

化学计量学是近些年来发展非常迅速的化学学科的一个分支,与分析化学有着特殊密切的关系,它应用数学和统计学的方法,并引入计算机科学的发展成果,其研究对象几乎涉及分析化学的所有过程,对于设计或选择最优的分析方法,解析大量的化学分析数据以最大限度地获取化学信息等具有普遍的指导意义。因此修订时增加这一部分内容。其他各分册均是按分析方法及所采用的主要仪器类型来划分,大体包括两方面的内容:基础原理、基础数据部分和实际应用部分。

本次修订,在内容上我们着重收录了基础性的理论和发展较为成熟的方法及应用,注意推陈出新,更新有关数据,增补各自领域近些年的新发展新成果。特别是计算机应用、多种分析手段联用技术的发展,以及分析技术应用于生命科学等的内容。

在编排方式上,进一步突出了手册的可查性。各册均编排主题词索引,与目录相互补充。手册中所涉及的名词术语统一采用国家自然科学名词审定委员会发布的标准,计量单位参照国家标准《GB 3100~3102-93·量和单位》的有关规定贯彻执行。其他凡有国家标准的也一律采用相关最新标准。

第二版的重编修订工作得到了我国分析化学界的大力支持,包括11位中国科学院院士在内的近30位知名专家、学者应邀担任了手册修订的编委会成员,全套书的修订出版凝聚着他们大量的心血和期望,在此谨向他们,以及在编写过程中曾给予我们热情支持与帮助的有关院校、科研单位及厂矿企业的专家和同行们,致以衷心的感谢。同时我们也真诚地期待着广大读者的热情关注和批评指正。

《分析化学手册》编委会

1996年6月

本分册修订说明

本书第二版的宗旨和结构基本与第一版相同。第一版出版至今已有16年,在这16年中,科学技术和生产技术有了巨大的进展。因此,有必要进行修订和充实。修订后的本分册内容分基础知识、安全知识和实验准备工作三部分。

新版本,从原来的二篇八章扩增到五篇二十章。书中:采用最新的国际原子量表,名称也改为国际相对原子质量表;对国际单位制(SI)做了系统的介绍,同时本书内容也按SI单位制进行了修改,其中有少数表格为保持原有数据的特性未做修订,但列出换算公式,读者可以方便地进行换算;很多表格虽然保持原有名称,由于新增内容使原来表格焕然一新。如列出了2000多种有机酸碱的离解常数,并把氨基酸的离解常数单独列出;温度计的校正中采用1990年国际温标(ITS-90);原第二分册的“准备工作及试剂”修订后,新增各类分析试样的采集、保存与制备,作为本书的第二篇;“数据处理及分析中的误差”原来只是一节,现增加至六章,其中一章是微批处理分析测试数据的BASIC程序;新增加有关实验室标准化管理的基础知识一篇。此外各篇章中都列出数据表格的出处及有关参考文献。

本分册由杭州大学化学系分析化学教研室编,参加第一版编写工作的有周志瑞、吕荣山、朱有喻、王国顺、傅克庭、施清照等,本次修订工作分别由郭伟强(第一、五、十三、十四章)、吴东亮(第二章、第七章的第一至五节、第九章、第十章)、傅克庭(第三章、第四章的第一节、第六章、第七章的第一节)、王国顺(第四章的第三节、第八章、第十五至二十章)、施清照(第四章的第二节)承担。全部书稿由王国顺通阅及整序。中国科学院院士、长春应用化学研究所汪东康教授审阅了全部书稿。清华大学邓勃教授审阅并修改了第五篇书稿。

本分册自初版面世以来得到了广大读者的热情关注,10多年来我们收到很多来自全国各地厂矿、科研单位及大专院校中分析化学工作者的电函及信件。这其中有宝贵的意见和建议,有热情的支持和鼓励。为了使新版本的内容更适应各方面读者的需要,我们曾于1994年10月在南京召开第五届分析化学年会期间广泛听取专家们的意见,并召开了座谈会。在本分册的修订过程中还得到了我国分析化学界著名专家:高鸿教授、高小霞教授、王键教授、周同惠教授、汪尔康教授、俞汝勤教授、邓勃教授、王政尊教授、邢家祺教授、陈洪渊教授等多位专家的指导与帮助。在此一并致以衷心地感谢。

在本次修订中,我们认真地考虑了各方面的意见和建议,竭尽所能,力求新版本以新的面貌回报读者,但由于知识面及水平有限,书中存在这样那样的缺点与不足乃至错误在所难免。我们诚恳地期望、热忱地期待分析化学界的专家及广大读者的批评指正。

编者

1996年3月于杭州

目 录

第一篇 基础知识

第一章 分析化学中常用数据及表解	1
第一节 国际单位制 (SI) 及其相关单位间的换算	1
一、国际单位制	1
二、常用单位的换算	4
第二节 分析工作中常用的符号及缩写字	9
第三节 化学元素的基本参数	14
第四节 离子的基本参数	28
一、离子半径	28
二、各种离子的活度系数	30
第五节 溶液的基本参数	37
一、化合物在溶剂中的溶解度	37
二、常用溶剂的基本特性	53
三、常用酸、碱、盐溶液的浓度和密度	40
第六节 生成常数和离解常数	98
一、难溶化合物的溶度积	98
二、水的离子积常数	105
三、酸和碱的离解常数	105
第七节 金属离子配位络合物的基本参数	153
一、金属络合物形成常数	153
二、配位体的基本参数	173
三、金属离子和配位体的络合效应系数	175
主要参考文献	186
第二章 分析化学基础知识	186
第一节 分析用纯水的制备及检定	186
一、分析用纯水的制备	186
二、水质的检定	188
第二节 器皿的洗涤	190
一、分析器皿的洗涤	190
二、常用洗涤液	190
第三节 化验室常用器皿和用具	191
一、常用玻璃器皿和一般用具	191
二、玻璃仪器	201
第四节 滤纸、滤膜的规格及滤纸浆、石棉浆的制备	207
一、滤纸	207
二、滤膜	208
三、滤纸浆的制备	208

四、石棉浆的制备	208
第五节 玛瑙研钵和坩埚	209
第六节 常用干燥剂	212
第七节 常用致冷剂	214
一、实验室用致冷剂	214
二、使用液态气体做致冷剂的注意事项	216
第八节 常用加热浴物质	219
一、常用浴的加热温度	216
二、用于液体浴的介质	217
第九节 无机试剂和有机试剂的提纯及制备方法	218
一、无机试剂的提纯与制备	218
二、有机试剂的提纯与制备	227
第十节 气体的获得与纯化	241
一、制备气体的实验装置	241
二、常用气体的制备与纯化	242
第十一节 贵重试剂(汞、银、铂、铈)及某些有机溶剂的回收与净化	248
一、贵重试剂(汞、银、铂、铈)的回收与净化	248
二、有机溶剂的回收	252
第十二节 化合物重要物理化学常数的测定方法	261
一、熔点的测定	264
二、沸点的测定	265
三、凝点的测定	261
四、密度的测定(比重瓶法)	262
五、密度的测定(韦氏天平法)	263
六、凝固点的测定	264
七、结晶点的测定	265
八、色度的测定	266
九、粘度的测定	268
十、比旋光度的测定	270
十一、折光率的测定	274
十二、软化点的测定	275
十三、闪点与燃点的测定	277
十四、玻璃化温度的测定	281
十五、辛烷值的测定(马法法)	284
主要参考文献	303

第二篇 准备工作及试剂

第三章 试剂和溶液	301
第一节 一般问题	304
一、化学试剂分类	301
二、化学试剂规格	301
三、溶液浓度表示方法	303
第二节 无机酸、碱及盐类溶液的配制	305
一、酸溶液的配制	305

一、碱溶液的配制	300
二、盐溶液的配制	306
第二节 元素和离子的标准溶液	308
一、元素和离子的标准溶液的配制	308
二、测定化学试剂杂质用标准溶液	311
第四节 滴定分析用标准物质和标准溶液	319
一、滴定分析用标准物质	319
二、滴定分析用标准溶液	320
第五节 缓冲溶液	335
主要参考文献	349
第四章 普通分析仪器的校正	350
第一节 天平及砝码	350
一、天平的类型和准确度级别	350
二、天平的计量性能	350
三、天平计量性能的检查	352
四、砝码的分类与性能	352
五、砝码的检定	356
六、砝码的使用与维护	356
第二节 容量器皿的校正	357
一、容量器皿的校准	357
二、玻璃量器的最大允许公差	364
第三节 温度计的校正	364
一、1990 年国际温标 (ITS 90)	364
二、实验室玻璃温度计的校正	367
第五章 各类分析试样的采集、保存与制备	371
第一节 水样的采集与保存	371
一、取样注意事项	371
二、各类水样采集的一般方法	371
三、采样和分析的间隔时间	374
四、分析项目的确定	376
第二节 食物样品的采集与制备	377
一、采样方法	377
二、食品的采样量及注意事项	377
三、样品的保存	377
四、样品的制备	378
五、食品样品的前处理	378
第三节 土壤样品的采集与制备	380
一、土壤样品的采集	380
二、土壤样品的制备	381
第四节 植物样品的采集与制备	381
一、采样的一般原则	381
二、样品采集量	381
三、样品的采集方法	381
四、植物样品的制备	382

五、含水量的测定	362
第五节 大气样品的采集	363
一、直接采样法	363
二、富集采样法	364
三、无动力采样	366
四、采样效率的评价方法	366
主要参考文献	367
第六章 分析样品的准备与处理	368
第一节 分析样品的准备	368
第二节 试样的分解	391
一、溶剂或熔剂的性质	391
二、溶解法分解试样	391
三、熔融法分解试样	392
四、增压溶样法	393
五、有机试样分解方法	395
六、试样的蒸馏处理	397
七、金属在酸、碱中的溶解性质	397
八、无机试样分解方法	398
主要参考文献	413

第三篇 安全知识

第七章 分析实验室一般安全操作守则	414
第一节 一般安全操作	414
一、防止中毒	414
二、防止燃烧和爆炸	414
三、防止腐蚀、化学灼伤、烫伤、割伤	415
四、其他方面	416
第二节 使用煤气设备的安全守则	416
第三节 使用电器设备的安全守则	417
第四节 防火与灭火	417
第五节 现场采样安全注意事项	418
第六节 化学危险品安全知识	419
一、化学危险品安全知识一览表	419
二、化学物质环境标准	462
三、化学致癌物质	463
主要参考文献	467
第八章 安全分析	468
第一节 动火分析	469
一、燃烧法测定可燃性气体总量	469
二、爆炸法试验气体爆炸燃烧情况	469
三、几种可燃易爆气体的动火分析方法	469
第二节 有毒气体分析	472
一、有毒气体和有害物质的测定方法	472

二、几种常见有害气体的快速检气管	472
三、气相色谱法测定气样中的有毒气体物质	484
第九章 强氧化剂、爆炸性物质的处理与防爆	486
第一节 一般概念	486
第二节 遇强氧化剂可能引起燃烧或爆炸的危险物质及其他危险物质	489
一、能引起燃烧的物质	489
二、能形成爆炸混合物的物质	489
三、其他危险性混合物或物质	490
第三节 醚中过氧化物的爆炸与控制	490
一、乙醚的爆炸	490
二、乙醚及其他醚中过氧化物的检查与测定	492
三、乙醚及其他醚中过氧化物的阻化与抑制	492
四、乙醚及其他醚中过氧化物的除去	492
第四节 三氯化氮爆炸的预防及三氯化氮的测定	493
一、氯液排污中三氯化氮的测定	494
二、原料氯中三氯化氮的测定	494
三、液氯中三氯化氮的测定	495
四、盐水(或自来水)中含量的测定	495
第五节 高氯酸和高氯酸盐的处理	496
一、高氯酸的性质	496
二、对分析实验室中蒸发高氯酸用的通风橱和管道的要求	497
三、高氯酸的安全处理简则	498
四、高氯酸盐对热和震动的敏感性	498
第六节 实验室内发生爆炸的原因、爆炸情况与防爆措施	499
一、爆炸原因和爆炸情况	499
二、防爆措施	500
主要参考文献	501
第十章 气瓶(钢瓶)及高压气体的使用	502
第一节 气瓶的结构与减压器	502
一、气瓶的结构	502
二、减压器的结构和作用原理	502
三、在装卸和使用减压器时的注意事项	503
四、减压器的故障及一般修理	504
第二节 高压气瓶使用规程	504
第三节 高压气体钢瓶的漆色及标志	505
第四节 气体钢瓶的搬运、存放和充装	508
第五节 几种压缩可燃气和助燃气的特殊性质和安全处理	508
一、乙炔	508
二、氢气	509
三、氧气	509
四、氧化亚氮	510
主要参考文献	510
第十一章 防毒和防放射性措施	511
第一节 防毒措施	511

一、毒物与中毒的一般概念	511
二、毒物侵入人体的途径和被吸收的情况	511
三、预防原则	512
四、防毒口罩与防毒面具	513
五、汞中毒的预防	515
第二节 防放射性措施	517
一、有关名词的解释、特有的单位系统和换算	517
二、射线对人体的影响及其防护	520
三、对放射性污染的处理	523
四、对开放性放射性实验室的主要防护要求	528
主要参考文献	529
第十二章 不幸事故的急救与处理	530
第一节 烧伤的急救	530
一、一般处理	530
二、化学灼伤的急救	530
三、眼睛灼伤的处理	531
第二节 创伤与中毒的急救	531
一、创伤的急救	531
二、中毒的急救	531
主要参考文献	541

第四篇 实验室标准化管理

第十三章 计量检测与质量检验	542
第一节 计量、溯源、测试和质量检验	542
第二节 计量器具及其检定	542
一、计量器具	542
二、计量器具的强制检定	543
三、计量器具的非强制检定	545
四、计量器具的校验	546
五、对计量器具检定的法规要求	547
第三节 标准物质	549
主要参考文献	550
第十四章 实验室的规范化管理	551
第一节 实验室组织系统	551
第二节 实验室各岗位责任制度	553
第三节 实验室计量检测仪器、设备的质量监控	555
第四节 实验室分析人员的素质	556
第五节 实验室检测工作质量监控	557
第六节 分析数据证实和检测报告规范要求	562
第七节 实验室日常工作制度	563
第八节 实验室环境要求	567
主要参考文献	567

第五篇 分析测试数据的统计处理

第十五章 数理统计基础	568
第一节 基础知识	568
一、总体和样本	568
二、真值	568
三、均值	568
四、中位数 (M)	569
五、精密度和准确度	569
六、方差及标准偏差	569
七、标准偏差的计算方法	570
第二节 正态分布	572
一、正态分布的概率密度函数	572
二、随机误差的分布	573
三、标准正态分布	574
四、对数正态分布	575
第三节 t 分布	575
第四节 χ^2 分布	578
一、 χ^2 分布概率密度函数	578
二、估计总体方差 σ^2 的置信区间	579
第五节 F 分布	580
第十六章 分析测试数据的统计检验	586
第一节 测试数据分布类型的检验	586
一、直方图	586
二、正态概率图示检验法	586
三、 χ^2 分布类型检验法	588
四、夏皮罗-威尔克检验法	588
五、偏度-峰度检验法	590
第二节 离群值的检验	591
一、3 倍标准偏差准则	591
二、狄克松检验法	591
三、格鲁布斯检验法	592
四、 t 检验法	593
五、 t_R 极差检验法	593
六、实验室间离群值的检验	594
第三节 均值的检验	595
一、 u 检验法	595
二、 t 检验法	595
第四节 方差的检验	596
一、一个总体方差的检验	596
二、两个总体方差的检验	597
三、多个方差的检验	597
第十七章 方差分析	600

第一节 单因素方差分析	500
第二节 双因素方差分析	501
一、无交互效应时的双因素方差分析	501
二、有交互效应时的双因素方差分析	503
三、双因素系统分组方差分析	504
第三节 多因素方差分析	506
一、三因素交叉分组全面试验的方差分析	506
二、三因素系统分组方差分析	508
第十八章 回归分析法	511
第一节 一元线性回归分析	511
一、回归方程的建立	511
二、回归方程的检验	512
三、回归线的精密度与置信区间	514
四、两条回归线的比较	515
第二节 一元非线性回归分析	517
第三节 多元线性回归分析	519
一、回归方程的建立	519
二、回归方程显著性检验	521
第十九章 试验设计方法	525
第一节 正交试验设计	525
一、正交表	525
二、正交试验设计步骤	529
三、正交试验结果分析	530
四、有交互效应的正交试验设计	531
第二节 单纯形优化法	531
一、基本单纯形调优法原理	531
二、改进单纯形调优法	533
第三节 均匀设计试验法	533
一、均匀设计表	534
二、均匀设计法试验安排	536
三、数据处理、优化试验条件	536
第二十章 测试数据统计处理计算机程序	537
第一节 数据整理	537
一、数据排序	537
二、样本均值、标准偏差和相对标准偏差	538
第二节 常用分布函数和分位数的计算机程序	538
一、正态分布	538
二、 χ^2 分布	540
三、 t 分布	544
四、 F 分布	548
第三节 分析测试数据的统计检验程序	552
一、平均值的检验	552
二、方差检验程序	551
三、分析测试数据分布类型的检验	556

第四节 方差分析	671
一、单因素方差分析	672
二、双因素交叉分组方差分析	673
三、多因素系统分组方差分析	680
第五节 回归分析法	684
一、一元线性回归分析	684
二、多元线性回归分析	689
第六节 正交试验设计及数据处理	694
主要参考文献（第五篇）	706
索引	707
元素周期表	

表 目 录

第一章 分析化学中常用数据及表解

表 1-1 国际单位制的基本单位	1
表 1-2 国际单位制的辅助单位	2
表 1-3 国际单位制中具有专门名称的 SI 导出单位	2
表 1-4 用国际单位制基本单位表示的 SI 导出单位示例	3
表 1-5 用国际单位制辅助单位表示的 SI 导出单位示例	3
表 1-6 与国际单位制单位并用的其他法定计量单位	3
表 1-7 长度单位的换算	4
表 1-8 面积单位的换算	4
表 1-9 体积单位的换算	5
表 1-10 质量单位的换算	5
表 1-11 密度单位的换算	5
表 1-12 比容(比体积)单位的换算	5
表 1-13 运动粘度单位的换算	5
表 1-14 动力粘度单位的换算	6
表 1-15 力单位的换算	6
表 1-16 压力、应力单位的换算	6
表 1-17 功、能量、热量单位的换算	6
表 1-18 功率单位的换算	7
表 1-19 体积流量单位的换算	7
表 1-20 电量单位的换算	7
表 1-21 电场强度单位的换算	7
表 1-22 热量单位的换算	7
表 1-23 比热容单位的换算	7
表 1-24 传热系数单位的换算	8
表 1-25 导热系数单位的换算	8
表 1-26 不同温标间温度进行单位换算的数值方程	8
表 1-27 不同温标的绝对零点、水冰点、水三相点及水沸点	9
表 1-28 其他单位(电离辐射、光学、声学)间的换算	9
表 1-29 希腊字母	9
表 1-30 英文数字词头	10
表 1-31 SI 词头	10
表 1-32 一些物理化学量的符号及说明	10
表 1-33 常见缩略语	12
表 1-34 基本物理常数	13
表 1-35 化学元素相对原子质量	14
表 1-36 放射性元素的相对原子质量	15
表 1-37 化学元素中外文(拉丁、英、俄、德、日、法)名称对照表	16
表 1-38 相对原子质量、相对分子质量及其对数	19

表 1-39	结晶离子半径	28
表 1-40	水溶液中离子的有效半径	30
表 1-41	各种离子在不同离子强度溶液中的活度系数	30
表 1-42	各种离子在离子强度很大的溶液中的活度系数	32
表 1-43	酸、碱、盐的平均活度系数 (25℃)	32
表 1-44	酸、碱、盐在浓度溶液的平均活度系数 (25℃)	34
表 1-45	Debye-Huckel 方程式常数 (0~100℃)	34
表 1-46	重要无机化合物及某些有机化合物在水中的溶解度	35
表 1-47	重要无机化合物在有机溶剂中的溶解度	50
表 1-48	某些气体在水中的溶解度	52
表 1-49	20℃时溶剂的密度	53
表 1-50	20℃时溶剂的折射率	54
表 1-51	20℃时溶剂的平均色散度	56
表 1-52	20℃时溶剂的介电常数	58
表 1-53	水与有机溶剂的混合液在 20℃时的介电常数	59
表 1-54	不同温度下水的介电常数	59
表 1-55	20℃时溶剂的凝固度	59
表 1-56	溶剂的饱和蒸气压	62
表 1-57	溶剂及其共沸混合物的沸点	67
表 1-58	不同温度下水的饱和蒸气压	85
表 1-59	不同温度下水的密度	88
表 1-60	不同压力下水的沸点	88
表 1-61	硝酸溶液的浓度和密度 (20℃)	91
表 1-62	硫酸溶液的浓度和密度 (20℃)	91
表 1-63	盐酸溶液的浓度和密度 (20℃)	92
表 1-64	磷酸溶液的浓度和密度 (20℃)	93
表 1-65	高氯酸溶液的浓度和密度 (20℃)	94
表 1-66	乙酸溶液的浓度和密度 (20℃)	95
表 1-67	氢氧化钾溶液的浓度和密度 (20℃)	95
表 1-68	氢氧化钠溶液的浓度和密度 (20℃)	96
表 1-69	氨水的浓度和密度 (20℃)	97
表 1-70	碳酸钠溶液的浓度和密度 (20℃)	97
表 1-71	某些商品高纯试剂的浓度和密度	97
表 1-72	波美浓度与相对密度对照表	98
表 1-73	难溶化合物的溶度积	99
表 1-74	水的离子积常数 (0~100℃)	105
表 1-75	无机酸、碱在水溶液中的离解常数 (25℃)	106
表 1-76	有机酸、碱在水溶液中的离解常数 (25℃)	108
表 1-77	氨基酸在水溶液中的离解常数 (25℃)	143
表 1-78	取代氨基羧酸的离解常数 (25℃)	148
表 1-79	金属离子与无机配位体络合物的累积形成常数	153
表 1-80	金属离子与有机配位体络合物的累积形成常数	160
表 1-81	配位体的酸效应系数 ($\lg\alpha_{L(H)}$ 值) 与各级离解常数 (pK _a 值)	173
表 1-82	各种金属和配位体在不同 pH 下的络合效应系数 ($\lg\alpha_{M(H)}$ 值)	175

第二章 分析化学基础知识	186
表 2-1 各级水的电阻率	189
表 2-2 常用玻璃器皿和用具一览表	192
表 2-3 玻璃滤器	203
表 2-4 1 号、3 号层析定性分析滤纸的规格	207
表 2-5 定量和定性化学分析滤纸的规格	207
表 2-6 国外某些定量滤纸的规格和性能	208
表 2-7 海水分析中常用滤器的规格	208
表 2-8 适用于常用试剂的坩埚	211
表 2-9 常用干燥剂的特性	212
表 2-10 干燥剂的适用性	213
表 2-11 盐和水 (冷至 15℃) 混合后的温度	215
表 2-12 盐或酸与雪或碎冰混合后的温度	215
表 2-13 盐和冰混合后的温度	215
表 2-14 一般用以致冷的液态气体	216
表 2-15 低温用的热传导体	216
表 2-16 常用加热浴	217
表 2-17 液体浴介质	217
表 2-18 制备气体的常用装置	241
表 2-19 气压计读数的校正值	258
表 2-20 气压计读数的纬度校正值	259
表 2-21 沸程温度随气压变化的校正值	260
表 2-22 恩氏粘度计的主要部位尺寸	268
表 2-23 不同温度下使用的恒湿浴液体	272
表 2-24 不同大气压下闪点或燃点的修正值 Δt	279
表 2-25 不同大气压力范围的闪点修正值 Δt	281
表 2-26 基础甲苯标定燃料	293
表 2-27 参比燃料规格标准	293
表 2-28 甲苯、异辛烷和正庚烷燃料混合物对应的辛烷值和仲裁 试验评定公差	293
表 2-29 异辛烷、正庚烷和四乙基铅的燃料混合物对应的辛烷值和 仲裁试验评定公差	294
表 2-30 参比燃料级甲苯规格标准	295
表 2-31 马达法平均压缩压力	295
表 2-32 海拔高度为 0m~500m, 大气压力为 101.3kPa, 喉管直径为 14.29mm 时, 标准爆震强度数字计数器读数与马达法辛烷值对照表	295
表 2-33 海拔高度为 500m~1000m, 大气压力为 101.3kPa, 喉管直径为 15.08mm 时, 标准爆 震强度数字计数器读数与马达法辛烷值对照表	297
表 2-34 海拔高度为 1000m 以上, 大气压力为 101.3kPa, 喉管直径为 19.05mm 时, 标准爆 震强度数字计数器读数与马达法辛烷值对照表	300
表 2-35 用于应用标准爆震强度表的计数器读数和各种不同气压计数器读数的校正值	302
表 2-36 标准爆震强度汽缸高度公差	302
表 2-37 100 以上辛烷值换算为品度值表	302

第三章 试剂和溶液	301
表 3-1 化学试剂分类表	304
表 3-2 化学试剂规格	305
表 3-3 溶液浓度表示方法	305
表 3-4 盐溶液的配制	306
表 3-5 元素和离子的标准溶液的配制方法	308
表 3-6 测定化学试剂杂质用标准溶液的配制方法	311
表 3-7 滴定分析用标准物质	319
表 3-8 滴定分析用标准溶液	320
表 3-9 滴定分析用标准溶液的配制	321
表 3-10 不同标准溶液, 不同浓度的温度修正值	334
表 3-11 缓冲溶液一览表	335
表 3-12 pH 值测定用标准缓冲溶液	338
表 3-13 指示剂 pH 变色域测定用缓冲溶液	338
表 3-14 Clark-Lubs 缓冲溶液的配制	339
表 3-15 Sørensen 缓冲溶液的配制	340
表 3-16 Kolthoff 缓冲溶液的配制	341
表 3-17 Michaelis 缓冲溶液的配制	342
表 3-18 Atkins-Pantin 缓冲溶液的配制	343
表 3-19 Paluszach 缓冲溶液的配制	344
表 3-20 Mellvaine 缓冲溶液的配制	344
表 3-21 Menzel 缓冲溶液的配制	344
表 3-22 Walpole 缓冲溶液的配制	345
表 3-23 Hasting-Sendroy 缓冲溶液的配制	345
表 3-24 Britton-Robinson 广泛缓冲溶液的配制	346
表 3-25 Connor 缓冲溶液的配制	346
表 3-26 等渗缓冲溶液的配制	347
表 3-27 甲酸-甲酸钠缓冲溶液的配制	348
表 3-28 <i>N</i> -乙基吗啉-盐酸缓冲溶液的配制	348
表 3-29 挥发性的缓冲溶液的配制	348
表 3-30 普通缓冲溶液的配制	349
第四章 普通分析仪器的校正	350
表 4-1 一般分析天平的型号与性能指标	350
表 4-2 天平的准确度级别	350
表 4-3 各级天平计量性能指标	352
表 4-4 天平计量性能检查记录	352
表 4-5 各种准确度等级砝码的允差值表	354
表 4-6 1~5 级砝码的允差值	355
表 4-7 替代衡量法记录表	356
表 4-8 不同温度下 1L 水的质量	357
表 4-9 不同温度下不同体积水的质量 (m/g)	359
表 4-10 不含空气的水的密度	360
表 4-11 温度 ($10\sim 30$) $^{\circ}\text{C}$, 绝对压力在 $(0.930\sim 1.040)\times 10^5\text{Pa}$ ($930\sim 1040\text{mbar}$) 之间的干燥空气密度 $\rho_A(P, t)/\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$	360

表 4-12	几种玻璃的体热膨胀系数	361
表 4-13	适用于由体热膨胀系数为 $10 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 的玻璃(如硼硅酸盐玻璃)制成的, 标称容量为 1000ml 的量器的修正值	361
表 4-14	适用于由体热膨胀系数为 $15 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 的玻璃(如中性玻璃)制成的, 标称容量为 1000ml 的量器的修正值	361
表 4-15	适用于由体热膨胀系数为 $25 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 的玻璃制成的, 标称容量为 1000ml 的量器的修正值	362
表 4-16	适用于由体热膨胀系数为 $30 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 的玻璃(如钠钙玻璃)制成的, 标称容量为 1000ml 的量器的修正值	363
表 4-17	标准温度 20℃ 时标准容量允差	364
表 4-18	ITS-90 定义固定点	365
表 4-19	压力对一些定义固定点温度值的影响	366
表 4-20	ITS-90 与 EPT-76 和 ITS-90 与 IPTS-68 的温度差值	366
表 4-21	温度计分度表	367
表 4-22	温度计的允许误差	368
表 4-23	$t_{90} - t_{50}$ 的差值 (Δ) (℃)	368
表 4-24	用以校准温度计和温差电偶的定点	369
第五章	各类分析试样的采集、保存与制备	371
表 5-1	工业废水取样方法	373
表 5-2	一般水样保存方法	374
表 5-3	降水样品保存方法	376
表 5-4	水样测定参考项目	376
表 5-5	食物样品采取的一般方法	377
表 5-6	部分食品的采样量及注意事项	377
表 5-7	常规食品样品的制备方法	378
表 5-8	测定农药残留量时样品的制备方法	378
表 5-9	食品样品的预处理方法及适用范围	378
表 5-10	土壤样品采样点选择方法	380
表 5-11	大气样品直接采样方法	383
表 5-12	固体吸收的吸附剂种类	384
表 5-13	用于空气采样的几种高分子多孔微球	385
第六章	分析样品的准备与处理	388
表 6-1	各类矿石的缩分系数—— K 的参考值	389
表 6-2	粒度分析用试验筛的筛号及孔径	389
表 6-3	在各种筛号及缩分系数情况下样品最低质量 Q 值	390
表 6-4	主要溶剂或熔剂的性质	391
表 6-5	溶解法分解试样	391
表 6-6	熔融法分解试样	393
表 6-7	增压溶样法分解试样	394
表 6-8	有机试样分解方法	396
表 6-9	试样蒸馏处理	397
表 6-10	金属在酸、碱中的溶解性质	397
表 6-11	无机试样的分解方法	398
第七章	分析实验室一般安全操作守则	414

表 7-1	常用灭火器及适用范围	418
表 7-2	化学危险品安全知识一览表	421
表 7-3	我国关于化学物质的环境标准	462
表 7-4	对实验动物具有充分致癌性证据的化学物质	463
表 7-5	对人类致癌的化学物质或工业生产过程	465
表 7-6	对人类可能致癌的化学物质	465
表 7-7	对人类致癌性尚无足够证据可以进行评价的化学物质	466
表 7-8	化学致癌物质的靶器官部位	466
第八章	安全分析	468
表 8-1	有毒气体和有害物质的测定方法	473
表 8-2	快速吸气性能	484
第九章	强氧化剂、爆炸性物质的处理与防爆	486
表 9-1	气体和蒸气在空气中的爆炸极限(可燃性极限)	487
表 9-2	气体和蒸气在氧气中的爆炸极限(可燃性极限)	488
表 9-3	某些混合气体的爆炸极限	489
表 9-4	化学纯高氯酸溶液的浓度(ρ)与相对密度的关系	496
第十章	气瓶(钢瓶)及高压气体的使用	502
表 10-1	高压气体钢瓶的漆色与标志	505
表 10-2	高压气体钢瓶的分类储存规定	508
第十一章	防毒和防放射性措施	511
表 11-1	挥发性溶剂的毒性作用及许可的浓度界限(最高允许浓度)	512
表 11-2	不同温度下的汞蒸气压及其在空气中的浓度	516
表 11-3	常用放射性同位素	519
表 11-4	不同射线的线质系数(Q)	520
表 11-5	几种表面污染的处理	523
表 11-6	长寿命亲骨性同位素在体内的最大容许积存量(q_m)	526
表 11-7	放射性同位素的毒性分组	527
第十二章	不幸事故的急救与处理	530
表 12-1	化学灼伤的急救或治疗	530
表 12-2	某些毒物中毒时的急救和治疗	532
表 12-3	某些农药中毒常用急救药品及用法	540
第十三章	计量检测与质量检验	542
表 13-1	中华人民共和国强制检定的工作计量器具明细目录	543
表 13-2	与分析化学相关的部分非强制检定的计量器具	545
表 13-3	在用计量器具法制管理要求	549
第十四章	实验室的规范化管理	551
表 14-1	计算控制图各系数的诸因下	562
表 14-2	实验室事故等级分类	564
第十五章	数理统计基础	568
表 15-1	由极差 R 估算标准偏差 s 时校正因数 c_4 值及自由度 f 值表	571
表 15-2	用中位数偏差计算标准偏差公式	571
表 15-3	最大误差法系数 c_2 与测定次数的关系	572
表 15-4	最大偏差法 k_0 系数表	572

表 15-5 (1) 标准正态分布的累积分布 $N(0, 1)$ 数值表	574
表 15-5 (2) 标准正态分布表	575
表 15-6 (1) t 分布临界值表 (单侧)	576
表 15-6 (2) t 分布临界值表 (双侧)	577
表 15-7 χ^2 分布表	579
表 15-8 (1) F 分布表 ($\alpha=0.01$)	581
表 15-8 (2) F 分布表 ($\alpha=0.025$)	582
表 15-8 (3) F 分布表 ($\alpha=0.05$)	583
表 15-8 (4) F 分布表 ($\alpha=0.10$)	584
表 15-8 (5) F 分布表 ($\alpha=0.25$)	585
第十六章 分析测试数据的统计检验	586
表 16-1 频率分布表	587
表 16-2 夏皮罗-威尔克 $C_{G.W.}$ 系数表	588
表 16-3 W 检验临界值 $W_{G.W.}$ 表	590
表 16-4 偏度-峰度检验的分位数表	591
表 16-5 狄克松检验法的临界值表 (单侧)	592
表 16-6 格鲁布斯检验临界值 $G_{L.S.}$ 表	593
表 16-7 γ 检验的临界值 $\gamma_{L.S.}$ 表	593
表 16-8 t 检验的临界值 $T_{L.S.}$ 表	593
表 16-9 t_{α} 临界值表 ($\alpha=0.05$)	594
表 16-10 实验室间离群值检验临界值表	594
表 16-11 Cochran 法 (最大方差法) 比较多个方差时的 G 临界值	598
表 16-12 哈特利检验临界值 $F_{H.L.C.}$ 表	599
第十七章 方差分析	600
表 17-1 单因素多水平试验安排及其结果	600
表 17-2 单因素方差分析表	601
表 17-3 双因素多水平全面试验安排表	601
表 17-4 双因素多水平无交互作用的方差分析表	603
表 17-5 双因素交叉分组全面试验安排表 (等重复试验)	603
表 17-6 双因素交叉分组全面试验方差分析表 (等重复试验)	604
表 17-7 双因素系统分组全面试验安排表	605
表 17-8 双因素系统分组等重复试验方差分析表	605
表 17-9 三因素多水平等重复全面试验安排表	605
表 17-10 三因素交叉分组全面等重复试验方差分析表	608
表 17-11 三因素系统分组等重复试验安排表	609
表 17-12 三因素系统分组方差分析表	610
第十八章 回归分析法	611
表 18-1 相关系数临界值表	613
表 18-2 一些常见曲线形状的函数关系及直线化关系式	615
表 18-3 多元回归试验数据结果	619
表 18-4 多元线性回归方差分析表	621
第十九章 试验设计方法	623
表 19-1 正交表	623

表 19-2 Long 系数表	632
表 19-3 均匀设计表	634

第一篇 基础知识

第一章 分析化学中常用数据及表解

本章主要列出与分析化学有关的各种基本常数、数据及其相互间关系。

第一节 国际单位制 (SI) 及其相关单位间的换算

一、国际单位制

国际单位制 (SI) 是法语 *Le Systeme International d' Unite's* 的缩写, 是从米制发展而成的一种计量单位制度, 自 1960 年第 11 届国际计量大会定名并决议推广后, 成为世界范围内的“法定计量单位”。根据第 10 届和第 14 届国际计量大会决定采用长度、质量、时间、电流强度、热力学温度、物质的量和发光强度的单位为基本单位。导出单位是由基本单位根据选定的联系相应量的代数式组合起来构成的单位。国际单位制的采用和推广涉及到计量制度的改革, 已成为各国计量工作发展的共同趋势。到目前为止, 世界上已有 80 多个国家宣布采用国际单位制, 建议使用国际单位制的各种国际组织也有 30 多个。我国从 1960 年开始着手国际单位制的推行准备工作, 1977 年国务院颁布《中华人民共和国计量管理条例》, 规定我国逐步采用国际单位制; 1981 年国务院批准了《中华人民共和国计量单位名称和符号方案 (草案)》; 1982 年国家标准总局陆续发布了以国际单位制为基础的 15 项国家标准; 1984 年 2 月国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》; 同年经国务院批准, 国家计量局发布了《全面推行我国法定计量单位的意见》, 提出从 1991 年 1 月起除个别特殊领域 (如古籍与文学书籍、血压的 mmHg) 外, 不允许再使用非法定计量单位; 1985 年 9 月 6 日六届人大常委会第十二次会议通过了《中华人民共和国计量法》, 以法律形式规定了“国家采用国际单位制。国际单位制计量单位和国家选定的其他计量单位, 为国家法定计量单位。……非国家法定计量单位应当废除”。《中华人民共和国计量法》自 1986 年 7 月 1 日起施行。

为此, 我们对国际单位制的基本单位、国际单位制辅助单位、一些导出单位及它们之间的换算关系 (参见表 1-7~表 1-28) 列出。

表 1-1 国际单位制的基本单位

量 纲	单 位 名 称		符 号	定 义
	中 文 ⁽¹⁾	英 文		
长 度	米	meter	m	光在真空中于 $1/299\,792\,458$ 秒时间间隔内所经路径的长度 (1983 年第 17 届 CGPM 决议 A)
质 量	千克 (公斤)	kilogram	kg	保存在巴黎国际计量局的国际千克原器的质量 (1901 年第 3 届 CGPM 声明)
时 间	秒	second	s	1 秒相当于铯-133 原子基态的两个超精细能级间跃迁所对应的辐射的 $9\,192\,631\,770$ 个周期的持续时间 (1957 年第 13 届 CGPM 决议 J)

续表

量	单位名称		符 号	定 义
	中 文 ^①	英 文		
电流强度	安[培]	Ampere	A	在真空中相距1 m的两根无限长而圆截面很小的平行直导线内通以等量恒定电流时,若导线间相互作用力为 2×10^{-7} 牛顿/米,则每根导线中的电流为1安培。(1948年第9届CGPM决议2)
热力学温度	开[尔文]	Kelvin	K	水三相点热力学温度的1/273.15(1967年第13届CGPM决议4)
物质的量	摩[尔]	mole	mol	是一系统的物质的量,该系统中所含的基本单元(应注明原子、分子、离子、电子及其他粒子或这些粒子的特定组合)数与0.012千克 ^{12}C 的原子数目相等(1971年第14届CGPM决议3)
发光强度	坎[德拉]	candela	cd	是一光源在给定方向上的发光强度,该光源发出频率为 540×10^{12} 赫兹的单色辐射,且在此方向上的辐射强度为 $(1/683)$ 瓦特/球面度(1979年第16届ACGPM决议3)

①: 方括号内的字是在不致混淆的情况下可以省略;圆括号内的字为前者的同义词,具有同等的使用地位。下同。

表 1-2 国际单位制的辅助单位

量	单位名称	单位符号	定 义
平面角	弧度	rad	弧度是一圆内两条半径之间的平面角,这两条半径在圆上所截取的弧长和半径相等,1弧度=57.295 780 5" (度)
立体角	球面度	sr	球面度是一立体角,其顶点位于球心,而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形面积

表 1-3 国际单位制中具有专门名称的 SI 导出单位

(共 19 个)

量	单位名称	符号	用其他 SI 单位表示的表示式	用 SI 基本单位表示的表示式
频率	赫[兹]	Hz		s^{-1}
力	牛[顿]	N		$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
压力、压强、应力	帕[斯卡]	Pa	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
能[量], 功, 热量	焦[耳]	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
功率, 辐[射能]通量	瓦[特]	W	$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
电荷[量]	库[仑]	C		$\text{A} \cdot \text{s}$
电位, 电压, 电动势, (电势)	伏[特]	V	$\text{W} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
电容	法[拉]	F	$\text{C} \cdot \text{V}^{-1}$	$\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$
电阻	欧[姆]	Ω	$\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
电导	西[门子]	S	$\text{A} \cdot \text{V}^{-1}$	$\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{A}^2$
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
磁感应强度, 磁通[量]密度	特[斯拉]	T	$\text{Wb} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
电感	亨[利]	H	$\text{Wb} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$		K

续表

量	单位名称	符号	用其他 SI 单位表示的表示式	用 SI 基本单位表示的表示式
光通〔量〕	流〔明〕	lm		$\text{cd} \cdot \text{sr}$
〔光〕照度	勒〔克斯〕	lx	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{m}^{-2} \cdot \text{cd} \cdot \text{sr}$
〔放射性〕活度	贝可〔勒尔〕	Bq		s^{-1}
吸收剂量, 比投〔子〕能, 比释动能	戈〔瑞〕	Gy	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
剂量当量	希〔沃特〕	Sv	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

表 1-4 用国际单位制基本单位表示的 SI 导出单位示例

量的名称	单位名称	单位符号	用 SI 基本单位的表示式
〔动力〕粘度	帕〔斯卡〕·秒	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
力矩	牛〔顿〕·米	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
表面张力	牛〔顿〕/每米	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
热流密度, 辐〔射〕照度	瓦〔特〕/每平方米	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
热容, 嫡	焦〔耳〕/每开〔尔文〕	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
比热容, 比嫡	焦〔耳〕/每千克〔尔文〕	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
比能	焦〔耳〕/每千克	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
热导率	瓦〔特〕/每米开〔尔文〕	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
热〔量〕密度	焦〔耳〕/每立方米	$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
电场强度	伏〔特〕/每米	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
电荷〔体〕密度	库〔仑〕/每立方米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{m}^{-3} \cdot \text{s} \cdot \text{A}$
电位移	库〔仑〕/每平方米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{m}^{-2} \cdot \text{s} \cdot \text{A}$
电容率〔介电常数〕	法〔拉〕/每米	$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$	$\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$
磁导率	亨〔利〕/每米	$\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
摩尔能〔量〕	焦〔耳〕/每摩〔尔〕	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{mol}^{-1}$
摩尔嫡, 摩尔热容	焦〔耳〕/每摩〔尔〕开〔尔文〕	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
(X 和 γ 射线的) 照射量	库〔仑〕/每千克	$\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{A}$
吸收剂量率	戈〔瑞〕/每秒	$\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$

表 1-5 用国际单位制辅助单位表示的 SI 导出单位示例

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
角速度	弧度每秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	辐〔射〕强度	瓦〔特〕/每球面度	$\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$
角加速度	弧度每二次方秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$	辐〔射〕亮度	瓦〔特〕/每平方米球面度	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$

表 1-6 与国际单位制单位并用的其他法定计量单位

根据我国的具体情况, 我国为 11 个物理量选定了 16 个非国际单位制单位, 这些单位使用十分广泛, 废除它们将带来很大的不方便, 为此, 规定它们为我国的法定计量单位。

量	单位名称	符号	与 SI 单位的关系
时 间	分	min	1 min = 60 s
	〔小〕时	h	1 h = 60 min = 3 600 s
	天, (日)	d	1 d = 24 h = 86 400 s
〔平面〕角	〔角〕秒	"	1" = (1/60)' = (π/6 × 10 ⁵) rad
	〔角〕分	'	1' = (1/60)° = (π/10 × 10 ⁵) rad
	度	°	1° = (π/180) rad

续表

量	单位名称	符号	与 SI 单位的关系
旋转速度	转每分	r/min	1 r/min = (1/60) s ⁻¹
长 度	海里	n mile	1 n mile = 1852m
速 度	节	kn	1 kn = 1 n mile h ⁻¹ = (1852/3600) m · s ⁻¹
质 量	原子质量单位 吨	u t	1 u = 1.660 540 2 (10) × 10 ⁻²⁷ kg 1 t = 1 000 kg
体积, 容积	升	L, (l)	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
能	电子伏	eV	1 eV = 1.602 177 33 (49) × 10 ⁻¹⁹ J
级差	分贝	dB	
线密度	特「克斯」	tex	1 tex = 1 g · km ⁻¹
面积	公顷	ha ^①	1 ha = 10 ⁴ m ²

① 公顷的国际通用符号为 ha。

二、常用单位的换算

表 1-7~表 1-28 中包括了各计量单位间的换算值, 其中有许多是非法定计量单位, 鉴于以前的许多文献和参考书上还都采用这些单位, 故仍加以介绍供参考。

表 1-7 长度单位的换算

单 位	m	cm	μm	ft	in	n mile	yd
米	1	10 ²	10 ⁶	3.28	39.37	5.4 × 10 ⁻⁴	1.09361
厘 米	10 ⁻²	1	10 ⁴	3.28 × 10 ⁻²	0.3937	5.4 × 10 ⁻⁶	1.09361 × 10 ⁻²
微 米	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	1	3.28 × 10 ⁻⁶	3.937 × 10 ⁻⁵	5.4 × 10 ⁻¹⁰	1.09361 × 10 ⁻⁶
英 尺	0.3048	30.48	3.048 × 10 ⁶	1	12	1.65 × 10 ⁻⁴	0.3333
英 寸	2.54 × 10 ⁻²	2.54	2.54 × 10 ⁴	8.33 × 10 ⁻²	1	1.37 × 10 ⁻⁵	0.02778
海 里	1.852 × 10 ³	1.852 × 10 ⁵	1.852 × 10 ⁹	6.075 × 10 ³	7.2907 × 10 ⁴	1	2025
码	0.9144	91.44	9.144 × 10 ⁵	3	36	4.023 × 10 ⁻⁴	1

表 1-8 面积单位的换算

单 位	m ²	cm ²	ha	ft ²	in ²
平方米	1	10 ⁴	10 ⁻⁴	10.76	1.55 × 10 ³
平方厘米	10 ⁻⁴	1	10 ⁻⁸	1.076 × 10 ⁻⁴	1.55 × 10 ⁻²
公 顷	10 ⁴	10 ⁸	1	1.076 × 10 ³	1.55 × 10 ⁷
平方英尺 ^①	9.29 × 10 ⁻²	9.29 × 10 ²	9.29 × 10 ⁻⁵	1	1.44 × 10 ²
平方英寸 ^②	6.45 × 10 ⁻⁴	6.45	6.45 × 10 ⁻⁷	6.45 × 10 ⁻⁴	1

① 与 SI 单位换算的准确值: 1 ft² = 94.516 mm², 1 in² = 6.4516 × 10⁻⁴ m².

表 1-9 体积单位的换算

单 位	m ³	cm ³	L (dm ³)	ft ³	in ³	gal
立方米	1	10 ⁶	10 ³	35.3	6.1×10 ⁵	1.3598×10 ³
立方厘米	10 ⁻⁶	1	10 ⁻³	2.83×10 ⁻⁵	6.1×10 ⁻⁵	1.7598×10 ⁻³
升(立方分米)	10 ⁻³	10 ³	1	3.53×10 ⁻²	61	1.7598
立方英尺 ⁽¹⁾	2.83×10 ⁻²	2.83×10 ⁴	28.3	1	1.73×10 ²	49.8
立方英寸 ⁽²⁾	1.639×10 ⁻⁵	16.39	1.639×10 ⁻²	5.79×10 ⁻⁵	1	2.98×10 ⁻²
品脱(英) ⁽³⁾	5.68×10 ⁻⁴	5.68×10 ²	0.568	2×10 ⁻²	34.67	1

(1)(2)(3) 与 SI 单位换算的准确值是: 1 in³=16.387 064 cm³, 1 ft³=28.316 85 dm³, 1 pt=0.568 261 25 dm³.

表 1-10 质量单位的换算

单 位	kg	g	t	lb	oz
千克	1	10 ³	10 ⁻³	2.2046	35.274
克	10 ⁻³	1	10 ⁻⁶	2.2046×10 ⁻³	3.5274×10 ⁻²
吨	10 ³	10 ⁶	1	2.2046×10 ³	3.5274×10 ²
磅 ⁽¹⁾	0.454	4.54×10 ²	4.54×10 ⁻³	1	16
盎司 ⁽²⁾	2.835×10 ⁻²	28.35	2.835×10 ⁻⁵	6.25×10 ⁻²	1

(1)(2) 与 SI 单位换算的准确值是: 1 lb=0.453 592 37 kg, 1 oz=28.349 52 g.

表 1-11 密度单位的换算

单 位	kg·m ⁻³	t·m ⁻³	kg·dm ⁻³	g·cm ⁻³	lb·ft ⁻³	lb·in ⁻³
千克每立方米	1	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	62.4×10 ⁻³	36.13×10 ⁻³
吨每立方米	10 ³	1	1	1	62.4	36.13×10 ⁻²
千克每立方分米	10 ³	1	1	1	62.4	36.13×10 ⁻²
克每立方厘米	10 ³	1	1	1	62.4	36.13×10 ⁻²
磅每立方英尺	16.02 ⁽¹⁾	16.02×10 ⁻³	16.02×10 ⁻³	16.02×10 ⁻³	1	578.7×10 ⁻³
磅每立方英寸	27.7×10 ²	27.7	27.7	27.7	1728	1

(1) 与 SI 单位换算的准确值是: 1 lb·ft⁻³=16.018 46 kg·m⁻³.

表 1-12 比容(比体积)单位的换算

单 位	m ³ ·kg ⁻¹	m ³ ·t ⁻¹	dm ³ ·kg ⁻¹	cm ³ ·g ⁻¹	ft ³ ·lb ⁻¹	m ³ ·lb ⁻¹
立方米每千克	1	10 ³	10 ³	10 ³	16.02	27.7×10 ³
立方米每吨	10 ⁻³	1	1	1	16.02×10 ⁻³	27.7
立方分米每千克	10 ⁻³	1	1	1	16.02×10 ⁻³	27.7
立方厘米每克	10 ⁻³	1	1	1	16.02×10 ⁻³	27.7
立方英尺每磅	62.4×10 ⁻³	62.4	62.4	62.4	1	1728
立方英寸每磅	36.13×10 ⁻²	36.13×10 ⁻²	36.13×10 ⁻²	36.13×10 ⁻²	578.7×10 ⁻³	1

表 1-13 运动粘度单位的换算

单 位	m ² ·s ⁻¹	St	cSt	m ² ·h ⁻¹	ft ² ·s ⁻¹	ft ² ·h ⁻¹
平方米每秒	1	10 ²	10 ²	3600	10.76	38.75×10 ³
斯托克斯	10 ⁻⁴	1	100	0.36	1.076×10 ⁻³	3.875
厘斯托克斯	10 ⁻⁵	0.01	1	3.6×10 ⁻²	1.076×10 ⁻⁴	3.875×10 ⁻²
二次方米每小时	2.778×10 ⁻³	2.778	277.8	1	2.99×10 ⁻²	10.76
二次方英尺每秒	9.29×10 ⁻²⁷	929	9.29×10 ¹	334.3	1	3600
二次方英尺每小时	2.58×10 ⁻²⁷	0.258	25.8	9.29×10 ⁻²²	2.78×10 ⁻¹	1

(1) 与 SI 单位换算的准确值为: 1 ft²·s⁻¹=9.290 304×10⁻² m²·s⁻¹.

表 1-14 动力粘度单位的换算

单 位	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	P	$\text{kgf} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{lb} \cdot \text{s} \cdot \text{ft}^{-2}$
帕 斯 卡 秒	1	10	0.102	2.09×10^{-2}
泊	0.1	1	1.02×10^{-2}	2.00×10^{-3}
克力秒每平方米	9.81	98.1	1	0.205
磅力秒每平方英尺	47.88	478.8	4.88	1

表 1-15 力单位的换算

单 位	N	dyn	kgf	gf	lbf
牛 顿	1	10^5	0.102	1.02×10^{-2}	0.2248
达 因	10^{-5}	1	1.02×10^{-6}	1.02×10^{-3}	2.248×10^{-5}
千 克 力	9.80665	9.80665×10^3	1	10^{-2}	2.2046
吨 力	9.8067×10^3	9.8067×10^8	10^3	1	2.2046×10^3
磅 力	4.448	4.448×10^4	0.454	4.54×10^{-2}	1

表 1-16 压力、应力单位的换算

单 位	Pa	bar	mmHg	mmHg	$\text{dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$	$\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$	$\text{lbf} \cdot \text{in}^{-2}$	atm
帕 斯 卡	1	10^{-5}	0.102	7.5024×10^{-3}	10	1.02×10^{-5}	1.45×10^{-4}	9.8692×10^{-6}
巴	10^5	1	1.02×10^4	7.5024×10^2	10^5	1.02	14.5	0.98692
毫米汞柱	9.8067	9.8067×10^{-5}	1	7.35×10^{-3}	98.1	10^{-2}	1.122×10^{-3}	9.69×10^{-5}
厘米汞柱	1.33×10^4	1.33×10^{-2}	13.6	1	1.33×10^3	1.36×10^{-3}	1.934×10^{-2}	1.316×10^{-3}
达因每平方厘米	0.1	10^{-6}	1.02×10^{-3}	7.50×10^{-4}	1	1.02×10^{-5}	14.5×10^{-5}	9.86×10^{-7}
克力每平方厘米	9.80665×10^4	0.980665	10^4	7.35×10^2	9.81×10^7	1	14.223	0.9085
磅力每平方英寸	6.8948×10^6	6.894×10^{-2}	7.0307×10^2	52.2	6.89×10^4	7.0307×10^{-2}	1	6.806×10^{-2}
标准大气压	1.01325×10^5	1.01325	7.0335×10^3	760	1.01325×10^6	1.0335	14.69	1

表 1-17 功、能量、热量单位的换算

单 位	J	erg	kgf · m	cal	kcal	kW · h	ft · lbf
焦 耳	1	10^7	0.102	0.239	2.39×10^{-4}	2.78×10^{-7}	0.7375
尔 格	10^{-7}	1	1.02×10^{-8}	2.39×10^{-5}	2.39×10^{-11}	2.78×10^{-11}	7.375×10^{-6}
千克力米	9.80665	9.80665×10^7	1	2.343	2.343×10^{-3}	2.72×10^{-6}	7.233
卡路 里	4.1868	4.1868×10^7	0.42686	1	10^{-3}	1.16×10^{-6}	3.088
千卡路 里	4.1868×10^3	4.1868×10^{10}	4.2686×10^2	10^3	1	1.16×10^{-3}	3.088×10^3
千瓦小时	3.6×10^6	3.6×10^{13}	3.67×10^5	8.6×10^3	8.6×10^5	1	2.653×10^3
英尺磅力	1.356	1.356×10^7	0.138	0.325	3.25×10^{-4}	3.76×10^{-7}	1

表 1-18 功率单位的换算

单 位	W	erg · s ⁻¹	kgf · m · s ⁻¹	cal · s ⁻¹	ft · lbf · s ⁻¹	ch	hp
瓦 特	1	10 ⁷	0.132	0.239	0.7276	1.38 × 10 ⁻³	1.3410 × 10 ⁻³
尔 格 每 秒	10 ⁻⁷	1	1.32 × 10 ⁻²	2.39 × 10 ⁻³	7.376 × 10 ⁻³	1.36 × 10 ⁻³	1.3110 × 10 ⁻³
千克力米每秒	9.8067	9.8067 × 10 ⁶	1	0.343	7.233	1.33 × 10 ⁻³	1.2967 × 10 ⁻³
卡 每 秒	4.1868	4.1868 × 10 ⁷	0.132	1	3.088	5.69 × 10 ⁻⁴	5.611 × 10 ⁻⁴
英尺磅力每秒	1.35582	1.3558 × 10 ⁶	0.13825	0.3246	1	1.84 × 10 ⁻³	1.8182 × 10 ⁻³
米制马力 ^①	735.5	7.355 × 10 ⁶	15	175.5	542.1755	1	0.986329
英制马力	745.6999	7.457 × 10 ⁶	17.439	198.22	550	1.01387	1

① 与 SI 单位换算的准确值为: 1 米制马力 = 735.498 75 W = 75 kgf · m · s⁻¹。

表 1-19 体积流量单位的换算

单 位	m ³ · s ⁻¹	L · s ⁻¹	L · min ⁻¹	m ³ · h ⁻¹	L · h ⁻¹	cm ³ · s ⁻¹	ft ³ · s ⁻¹	in ³ · s ⁻¹
立方米每秒	1	10 ³	6 × 10 ⁴	3.6 × 10 ³	3.6 × 10 ³	10 ⁶	35.3	6.1 × 10 ³
升 每 秒	10 ⁻³	1	60	3.6	3.6 × 10 ³	10 ³	3.53 × 10 ⁻²	61
升 每 分	1.67 × 10 ⁻⁵	1.67 × 10 ⁻³	1	6 × 10 ⁻²	60	16.7	5.89 × 10 ⁻³	1.92
立方米每小时	2.78 × 10 ⁻³	0.278	16.7	1	10 ³	2.78 × 10 ³	8.8 × 10 ⁻³	16.9
升 每 小 时	2.78 × 10 ⁻³	2.78 × 10 ⁻³	1.67 × 10 ⁻¹	10 ⁻¹	1	0.278	5.8 × 10 ⁻³	1.69 × 10 ⁻¹
立方厘米每秒	10 ⁻⁶	10 ⁻³	6 × 10 ⁻²	3.6 × 10 ⁻³	3.6	1	3.54 × 10 ⁻³	6.1 × 10 ⁻²
立方英尺每秒	2.83 × 10 ⁻⁴	28.3	1.7 × 10 ³	1.02 × 10 ³	1.02 × 10 ³	2.83 × 10 ³	1	1.728 × 10 ³
立方英寸每秒	1.64 × 10 ⁻⁵	1.64 × 10 ⁻²	0.984	5.9 × 10 ⁻²	59	16.4	5.8 × 10 ⁻³	1

表 1-20 电量单位的换算

单 位	C	statC	qC
库仑	1	3 × 10 ⁹	3.1
静电系电荷单位	3.34 × 10 ⁻¹⁰	1	3.34 × 10 ⁻¹⁰
电磁系电荷单位	10	2 × 10 ²⁰	1

① 准确值为: 3.335 64 × 10⁻¹⁰ C。

表 1-21 电场强度单位的换算

单 位	V · m ⁻¹	V · cm ⁻¹	kV · cm ⁻¹	nV · cm ⁻¹
伏特每米	1	10 ⁻²	3.34 × 10 ⁻³	10 ⁶
伏特每厘米	10 ²	1	3.34 × 10 ⁻³	10 ⁶
静电系单位	3 × 10 ³	3 × 10 ³	1	3.31 × 10 ⁻³
电磁系单位	10 ⁻³	10 ⁻³	3 × 10 ²⁰	1

表 1-22 热量单位的换算

单 位	J	cal ₁₅	cal ₁₇	cal ₁₉	Btu
焦 耳	1	0.238 846	0.238 920	0.239 006	9.4781 × 10 ⁻⁴
国际蒸汽卡	4.1868	1	1.000 31	1.000 67	3.968 29 × 10 ⁻³
15℃卡路里	4.1865	0.999 69	1	1.000 36	3.967 64 × 10 ⁻³
热化学卡	4.1840	0.999 33	0.999 64	1	3.965 64 × 10 ⁻³
英制热量单位	1055.06	251.995	252.075	252.075	1

表 1-23 比热容单位的换算

单 位	J · kg ⁻¹ · K ⁻¹	cal _R · g ⁻¹ · °C ⁻¹	kcal · kg ⁻¹ · °C ⁻¹	cal · g ⁻¹ · °C ⁻¹	Btu · lb ⁻¹ · °F ⁻¹
焦耳每千克开尔文	1	10 ³	2.39 × 10 ⁻³	2.39 × 10 ⁻³	2.39 × 10 ⁻³
尔格每克摄氏度	10 ⁻³	1	2.39 × 10 ⁻⁶	2.39 × 10 ⁻³	2.38 × 10 ⁻³
千卡每千克摄氏度	4.187 × 10 ³	1.187 × 10 ³	1	1	1
卡每克摄氏度	4.187 × 10 ³	1.187 × 10 ³	1	1	1
英制热量单位每磅华氏度	4.187 × 10 ³	1.187 × 10 ³	1	1	1

表 1-24 传热系数单位的换算

单 位	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	$\frac{erg \cdot s^{-1}}{cm^2 \cdot ^\circ C}$	$\frac{kcal \cdot h^{-1}}{m^2 \cdot ^\circ C}$	$\frac{cal \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2}}{^\circ C}$	$\frac{Btu \cdot h^{-1} \cdot ft^{-2}}{^\circ F}$
瓦特每平方米开尔文	1	10^7	0.86	2.39×10^{-5}	0.176
尔格每秒平方厘米摄氏度	10^{-7}	1	8.6×10^{-8}	2.39×10^{-8}	1.76×10^{-3}
千卡每小时平方米摄氏度	1.16	1.16×10^3	1	2.78×10^{-3}	0.205
卡每秒平方厘米摄氏度	4.187×10^6	4.187×10^7	3.6×10^4	1	7.37×10^4
英热单位每小时平方英尺华氏度 ⁽¹⁾	5.68	5.68×10^3	4.89	1.356×10^{-2}	1

(1) 与 SI 单位换算的准确值为: $1 Btu \cdot h^{-1} \cdot ft^{-2} \cdot ^\circ F^{-1} = 5.678 26 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ 。

表 1-25 导热系数单位的换算

单 位	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	$\frac{erg \cdot s^{-1}}{cm^{-1} \cdot ^\circ C}$	$\frac{kcal \cdot h^{-1}}{m^{-1} \cdot ^\circ C}$	$\frac{cal \cdot s^{-1} \cdot cm^{-1}}{^\circ C}$	$\frac{Btu \cdot h^{-1} \cdot ft^{-1}}{^\circ F}$
瓦特每米开尔文	1	10^7	0.86	2.39×10^{-3}	0.578
尔格每厘米摄氏度	10^{-7}	1	8.6×10^{-8}	2.39×10^{-8}	5.78×10^{-3}
千卡每小时米摄氏度	1.163	1.163×10^3	1	2.78×10^{-3}	0.672
卡每秒厘米摄氏度	4.187×10^4	4.187×10^7	3.6×10^6	1	242
英热单位每小时英尺华氏度	1.73	1.73×10^3	1.488	4.13×10^{-3}	1

表 1-26 不同温标间温度进行单位换算的数值方程

量的名称	符 号	单位名称	符号	数值方程
热力学温度 thermodynamic temperature	T	开[尔文] kelvin	K	$\frac{T}{K} = \frac{t}{^\circ C} + 273.15 = \frac{5}{9} \frac{T_R}{^\circ R} = \frac{5}{9} \left(\frac{t_F}{^\circ F} + 459.67 \right) = \frac{5}{4} \frac{t_{Re}}{^\circ Re}$
摄氏温度 Celsius temperature	t	摄氏度 degree Celsius	$^\circ C$	$\frac{t}{^\circ C} = \frac{T}{K} - 273.15 = \frac{5}{9} \left(\frac{T_R}{^\circ R} - 491.67 \right) = \frac{5}{9} \left(\frac{t_F}{^\circ F} - 32 \right) = \frac{5}{4} \frac{t_{Re}}{^\circ Re}$
兰氏温度 Rankine temperature	T_R	兰氏度 degree Rankine	$^\circ R$	$\frac{T_R}{^\circ R} = \frac{9}{5} \frac{T}{K} = \frac{9}{5} \frac{t}{^\circ C} + 491.67 = \frac{t_F}{^\circ F} + 459.67 = \frac{9}{4} \frac{t_{Re}}{^\circ Re} + 491.67$
华氏温度 Fahrenheit temperature	t_F	华氏度 degree Fahrenheit	$^\circ F$	$\frac{t_F}{^\circ F} = \frac{9}{5} \frac{T}{K} - 459.67 = \frac{9}{5} \frac{t}{^\circ C} + 32 = \frac{T_R}{^\circ R} - 459.67 = \frac{4}{9} \frac{t_{Re}}{^\circ Re} + 32$
雷氏温度 Réaumur temperature	t_{Re}	雷氏度 degree Réaumur	$^\circ Re$	$\frac{t_{Re}}{^\circ Re} = \frac{4}{5} \left(\frac{T}{K} - 273.15 \right) = \frac{4}{5} \frac{t}{^\circ C} = \frac{4}{9} \left(\frac{T_R}{^\circ R} - 491.67 \right) = \frac{4}{9} \left(\frac{t_F}{^\circ F} - 32 \right)$

注: 1. 对温度间隔或温差进行单位换算时, 应采用的单位方程为: $1^\circ F = 1^\circ R = \frac{5}{9} ^\circ C = \frac{5}{9} K = \frac{4}{9} ^\circ Re$ 。

2. 兰氏温度和热力学温度的测量起点相同 (即兰氏温度 T_R 等于 $0^\circ R$, 而热力学温度 T 等于 $0K$)。故兰氏温度的温度间隔或温差与热力学温度的温度间隔或温差进行单位换算时, 也可采用数值方程, 其数值方程为: $57/K = \frac{5}{9} \Delta T_R / ^\circ R$ 。

表 1-27 不同温标的绝对零点、水冰点、水三相点及水沸点

温 度 点	T/K	$t/^\circ\text{C}$	$t_{\text{R}}/^\circ\text{R}$	$t_{\text{F}}/^\circ\text{F}$	$T_{\text{R}}/^\circ\text{R}$
绝对零点	0	-273.15	-218.52	-459.67	0
水冰点	273.15	0	0	32	491.588
水三相点	273.15	0.01	3.098	32.0183	491.582
水沸点	373.15	100	80	212	671.67

表 1-28 其他单位(电离辐射、光学、声学)间的换算

电离辐射单位			光学单位			声学单位		
被换算单位	换算后单位 ⁽¹⁾	换算系数	被换算单位	换算后单位 ⁽²⁾	换算系数	被换算单位	换算后单位 ⁽³⁾	换算系数
伦琴(R)	$\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$	2.58×10^{-4}	坎(德拉) 球面度($\text{cd} \cdot \text{sr}$)	lm	1	声欧姆($\text{dyn} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2}$)	$\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$	10^{-7}
拉德(rad)	$\text{Gy} (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.01	熙提(sh)	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	10^4	力欧姆($\text{dyn} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	$\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$	10^{-5}
伦琴每秒 ($\text{R} \cdot \text{s}^{-1}$)	$\text{A} \cdot \text{kg}^{-1}$	2.58×10^{-4}	尼特(nt)	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	1	奈培(Np)	dB	8.68
居里(Ci)	$\text{Bq} (\text{s}^{-1})$	3.70×10^{10}		sb ⁺	10^{-4}	达因每平方厘米($\text{dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$)	$\text{Pa} (\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$	0.1
声强级(Rd) (Rd)	$\text{Bq} (\text{s}^{-1})$	10^6	英尺烛光 ($\text{lm} \cdot \text{ft}^{-2}$, fc)	$\text{lx} (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2})$	10.76	达因每秒 ($\text{dyn} \cdot \text{s}^{-1}$)	W	10^{-7}
雷姆(rem)	$\text{Sv} (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.01	辐透(ph)	$\text{lx} (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2})$	10^4	森特(cenr)	倍频程(oct)	8.333×10^{-3}

(1) 括号中的标注为该单位以 SI 基本单位和 SI 导出单位表示的形式,二者是等价的。

单位后加注“+”表示该单位为非法定单位,仅作为换算关系列出供参考。

第二节 分析工作中常用的符号及缩写字

表 1-29 希腊字母

大写	小写	英 文	汉语拼音	大写	小写	英 文	汉语拼音
A	α	Alpha	阿尔法	N	ν	Nu	纽
B	β	Beta	贝塔	Ξ	ξ	Xi	克西
Γ	γ	Gamma	伽马	O	$\omicron$	Omieron	奥米克龙
Δ	δ	Delta	德耳他	Π	π	Pi	派
E	ϵ	Epsilon	艾普西隆	P	ρ	Rho	洛
Z	ζ	Zeta	截塔	Σ	σ	Sigma	西格玛
H	η	Eta	艾塔	T	τ	Tau	泰乌
Θ	θ	Theta	西塔	Υ	υ	Upsilon	宇普西隆
ι	ι	Iota	约塔	Φ	ϕ	Phi	斐
K	κ	Kappa	卡帕	X	χ	Chi	喜
Λ	λ	Lambda	兰姆达	Ψ	ψ	Psi	普西
M	μ	Ma	米尤	Ω	ω	Omega	奥米伽

表 1-30 英文数字词头

数字	英文词头	数字	英文词头	数字	英文词头	数字	英文词头
1/2	Hepta-	6	Hexa-	13	Trideca-	20	Eicosa-
1	Hexa-	7	Hepta-	14	Tetradeca-	21	Henicosa-
$1\frac{1}{2}$	Sesqui-	8	Octa-	15	Pentadeca-	30	Triconta-
2	Di-或 Bi-	9	Nona-	16	Hexadeca-	40	Tetramonta-
3	Tri-	10	Deca-	17	Heptadeca-	50	Pentaseconta-
4	Tetra-	11	Undeca-	18	Octadeca-	60	Hexaseconta-
5	Penta-	12	Dodeca-	19	Nonadeca-		

表 1-31 SI 词头

词 头		所表示 的因数	国际缩 写符号	词 头		所表示 的因数	国际缩 写符号
中 文	原 名			中 文	原 名		
兆 [科托]	yotta	10^{24}	y	十	deca	10^1	da
亿 [百托]	zepto	10^{22}	z	百	hecto	10^2	h
阿 [托]	atto	10^{-18}	a	千	kilo	10^3	k
飞 [母托]	femto	10^{-15}	f	兆	mega	10^6	M
皮 [可]	pico	10^{-12}	p	吉 [伽]	giga	10^9	G
纳 [塔]	nano	10^{-9}	n	太 [拉]	tera	10^{12}	T
微	micro	10^{-6}	μ	拍 [它]	peta	10^{15}	P
毫	milli	10^{-3}	m	艾 [可萨]	exa	10^{18}	E
厘	centi	10^{-2}	c	泽 [它]	zetta	10^{21}	Z
分	deci	10^{-1}	d	尧 [它]	yotta	10^{24}	Y

表 1-32 一些物理化学量的符号及说明

本表主要是包括描述各种物质的基本物理量, 其中有些 (有 * 者) 参见表 1-34。而对一些分析手段中用以描述性能或体系特征的数值则在以后各册的相关分析方法中作说明。表中的非法定计量单位和部分量的表示方法, 鉴于历史的原因, 有不少在我国仍得到较大的应用, 而且以往的许多文献是采用这些单位和量的, 也不可能一下子就完全取消, 需要有一个过渡时期, 故本表仍将它们列在其中, 只是将它们用★注明。

1. 关于原子、分子的量及化学反应

量	符 号	简 要 说 明
阿佛伽德罗数★	N_A	1mol 的物质所含的基本单元数, $N_A = 6.022\ 136\ 7 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$
玻尔兹曼常数★	k	按个度分子表示的气体常数, $k = 1.380\ 658 \times 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
电子电荷★	e	$e = 1.602\ 177\ 33 \times 10^{-19} \text{C}$
电子质量★	m_e	$m_e = 9.109\ 389\ 7 \times 10^{-31} \text{kg}$
电子电荷比★	e/m_e	电子电荷对电子质量的比, $e/m_e = 1.758\ 804\ 7 \times 10^{11} \text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$
中子质量★	m_n	$m_n = 1.674\ 928\ 6 \times 10^{-27} \text{kg} = 1.008\ 664\ 89\ \text{u}$
质子质量★	m_p	$m_p = 1.672\ 623\ 1 \times 10^{-27} \text{kg} = 1.007\ 276\ 48\ \text{u}$
原子质量常数★	m_u	碳-12 原子质量的十二分之一, $m_u = 1\text{u} = 1.660\ 540\ 2 \times 10^{-27} \text{kg}$
相对原子质量	$A_r(\text{R})$	具有天然核素组成的一种元素的一个原子的平均质量对核素 C-12 一个原子的质量的 1/12 的比值
原子质量★	m_A	某指定核素的中性原子处于基态的静止质量
平衡常数	K	可逆反应的平衡常数。对 $m\text{A} + n\text{B} \rightleftharpoons p\text{C} + q\text{D}$ 则 $K = [\text{C}]^p [\text{D}]^q / [\text{A}]^m [\text{B}]^n$
酸的离解常数	K_a	对弱酸 $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$ 的离解常数 $K_a = [\text{H}^+][\text{A}^-]/[\text{HA}]$ 对弱碱的共轭酸 $\text{BH}^+ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{B}$ 的离解常数 $K_a = [\text{B}][\text{H}^+]/[\text{BH}^+]$

续表

量	符 号	简 要 说 明
碱的离解常数	K_b	对弱碱 $B + H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-$ 的离解常数 $K_b = [BH^+][OH^-]/[B]$ 或 $B(OH) \rightleftharpoons B^+ + OH^-$ 的离解常数 $K_b = [B^+][OH^-]/[B(OH)]$
水的离子积	K_w	$K_w = a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$
溶度积	K_{sp}	在难溶强电解质的饱和溶液中,有关离子浓度的一定幂的乘积,它在一定温度下是一个常数,称为溶度积
质量摩尔浓度	m	溶质的物质的量除以溶剂的质量
物质的量浓度,摩尔浓度*	c	溶质的物质的量除以混合物的体积
摩尔分数	x	溶质的物质的量与溶液(溶剂加溶质)物质的量之比

2. 电分析化学

量	符 号	简 要 说 明
法拉第常数	F	电化学中常用的一种电量单位。 $F = 9.648 \ 530 \ 9 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
离子电荷	z	某种离子的电荷数
离子强度	I, I^*	存在于溶液中的每种离子的质量摩尔浓度(m_i)乘以该离子的电荷数(z_i)的平方所得诸项之和的一半。 $I = \sum m_i z_i^2 / 2$
电导率(比电导*)	κ	长 1cm, 截面积 1cm ² 导体的电导
摩尔电导率	Λ_m	电导率除以物质的量浓度。 $\Lambda_m = \kappa / c$
迁移数	t_+ 或 t_-	某一种离子迁移的电量与通过溶液的总电量之比
阳极电流	i_a	总的净电流的阳极组分,一般指定为负值
阴极电流	i_c	总的净电流的阴极组分,一般指定为正值
扩散电流	i_d	仅由扩散速度所控制,在极度浓差极化条件下所得的与电位无关的电流
极限电流	i_l	仅由传质(通常包括搅拌)速度所控制的,在极度浓差极化条件下所得的与电位无关的电流
残余电流	i_r	单独由于支持电解质产生的电流
半波电位	$E_{1/2}$	当电流等于扩散电流的一半时指示电极的电位,如没有指出其他参考电极时常指饱和甘汞电极
电极电位	E	指示电极或工作电极的电位,常指对标准氢电极
标准电位	$E^\ominus$	半反应的标准电位,常指对标准氢电极
半中和电位	HNP	在非水溶剂中酸或碱的半中和电位。在电位滴定曲线上相当于到达等当点所需的强碱或强酸溶液的一半体积时,玻璃指示电极与饱和甘汞参考电极之间的电位差
	ΔHNP	对所测的酸(或碱)与标准酸(或碱)在相同情况下 HNP 值的差
式量电位	E'	在特定条件下氧化态与还原态的浓度比为 1 时的实际电位

3. 光分析化学

量	符 号	简 要 说 明
频率	ν, f	周期除以时间
普朗克常数*	h	$h = 6.626 \ 075 \ 5 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
光子		基本粒子的一种,是辐射能的最小单位,稳定,不带电,静止质量等于零。其能量表示为 $E = h\nu$, 动量表示为 $p = h/\lambda$
光速*	c	真空中光速 $c = 299 \ 792 \ 458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
波长	λ	对于光波而言 $\lambda = c/\nu$
波数	σ	指每厘米中所含光波的数目(波长的倒数)
最大吸收波长	λ_{max}	光吸收曲线中吸收峰值所在的波长
透射比	$\tau(\lambda)$	透射辐射(光)通量和入射辐射(光)通量之比
吸光度	A	在数值上等于以 10 为底透射比例数的对数, $A = -\lg[\tau(\lambda)]$
质量吸收系数	α	$\alpha = A/b\rho$, 式中 b 为光程,常用单位 cm; ρ 为质量浓度,常用单位 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
摩尔吸收系数	κ, ϵ^*	$\kappa = A/bc$, 式中 b 为光程,常用单位 cm; c 为物质的量浓度,常用单位 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
等吸收点		在某波长处,两种或两种以上物质的吸收系数相等或同浓度下吸光度相等,称它们具有等吸收点

量	符 号	简 要 说 明
折射率	n	$n = \sin i / \sin r$, 式中 i, r 分别为入射角和折射角
摩尔折射率	R	$R = \frac{M(n^2 - 1)}{\rho(n^2 + 2)}$, 式中 M 为物质的摩尔质量, ρ 为物质的密度
比旋光度*	$[\alpha]_D$	$[\alpha]_D = 100\alpha/l$, 式中 α 为温度 t 时用钠灯 D 线所测得的旋光度, l 为旋光管的长度 (以 dm 为单位), c 为 100ml 溶液中含有样品的质量 (以 g 为单位)

表 1-33 常见缩略语

缩略语	英 文 名 称	中 文 名 称
AAS	atomic-absorption spectrophotometry	原子吸收分光光度法
AES	atomic-emission spectrometry	原子发射光谱法
	Auger electron spectroscopy	俄歇电子能谱法
AFS	atomic-fluorescence spectrophotometry	原子荧光分光光度法
amu	atomic mass unit	原子质量单位
bp	boiling point	沸点
DAS	derivative absorption spectrum	导数吸收光谱
DNA	deoxyribonucleic acid	脱氧核糖核酸
DSC	differential scanning calorimetry	差热扫描量热法
DTA	differential thermal analysis	差热分析
ECD	electron capture detector	电子捕获检测器
EELS	electron energy loss spectroscopy	电子能量损失谱法
emu	electromagnetic unit	电磁单位
EPMA	electron-probe micro analysis	电子探针微区分析
EPR	electron paramagnetic resonance	电子顺磁共振
ESCA	electron spectroscopy for chemical analysis	化学分析用电子能谱
ESR	electron spin resonance	顺磁共振
FID	flame ionization detector	火焰离子化检测器
FEM	method of field emission microscope	场发射显微镜法
fp	freezing point	凝固点
FID	flame photometric detector	火焰光度检测器
FT	Fourier transform	傅里叶变换
GC	gas chromatography	气相色谱法
GLC	gas-liquid chromatography	气-液色谱法
GSC	gas-solid chromatography	气-固色谱法
HME	hanging mercury electrode	悬汞电极
HPCE	high performance capillary electrophoresis	高效毛细管电泳法
HPLC	high performance liquid chromatography	高效液相色谱法
IC	ion chromatography	离子色谱法
IE	indicated electrode	指示电极
IXC	ion exchange chromatography	离子交换色谱
	ion exclusion chromatography	离子排斥色谱
IR	infrared spectrometry	红外光谱法
ISE	ion-selective electrode	离子选择性电极
MS	mass spectrum	质谱
MCAC	multidimensional gas chromatography	多维气相色谱法
NCE	normal calomel electrode	甘汞电极
NHE	normal hydrogen electrode	标准氢电极
NMR	nuclear magnetic resonance	核磁共振
PES	photo electron spectroscopy	光电子能谱
PFGC	programmed flow gas chromatography	程序变流气相色谱法

续表

缩略语	英文名称	中文名称
PPGC	programmed pressure gas chromatography	程序变压气相色谱法
PTGC	programmed temperature gas chromatography	程序升温气相色谱法
PS	photoacoustic spectrometry	光声光谱法
PTS	percentage of theoretical slope	百分理论斜率
RE	reference electrode	参比电极
RGS	reaction gas chromatography	反应气相色谱法
RS	Raman spectrum	拉曼光谱
SD	standard derivation	标准偏差
STP	standard temperature and pressure	标准温度和压力
TCD	thermal conductivity detector	热导检测器
TLC	thin layer chromatography	薄层色谱法
SCE	saturated calomel electrode	饱和甘汞电极
sf	surfactant	表面活性剂
TGA	thermogravimetric analysis	热重量分析
UPS	ultraviolet photo electron spectroscopy	紫外光电子能谱
UV	ultraviolet	紫外
XPS	X ray photo electron spectroscopy	X 射线光电子能谱

表 1-34 基本物理常数

(各常数的数值分别乘以单位项下的 10 的次幂,数值后括号内为不确定值,小数点与数值的末位对齐。)

常数名称	符号	数值	单位	
			SI	CGS
真空中光速	c	2.997 924 58(1.2)	$10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$
电子电荷	e	1.602 177 33(49)	10^{-19} C	$10^{-22} \text{ cm}^{1/2} \cdot \text{g}^{1/2}$
电子质量	m_e	9.109 389 7(54)	10^{-31} kg	10^{-28} g
质子质量	m_p	1.672 623 1(10)	10^{-27} kg	10^{-24} g
中子质量	m_n	1.674 928 6(10)	10^{-27} kg	10^{-24} g
原子质量单位	u	1.660 540 2(10)	10^{-27} kg	10^{-24} g
电子荷质比	e/m_e	1.758 819 6	$10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$	$10^3 \text{ cm}^{1/2} \cdot \text{g}^{-1/2}$
普朗克常数	h	6.626 075 5(40)	10^{-34} Js	$10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$
阿佛伽德罗常数	N_A	6.022 136 7(36)	10^{23} mol^{-1}	10^{23} mol^{-1}
摩尔气体常数	R	8.314 510(70)	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$	$10^9 \text{ erg} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
波尔兹曼常数	k	1.380 658(12)	$10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$	$10^{-16} \text{ erg} \cdot \text{K}^{-1}$
法拉第常数	F	9.648 530 9(29)	$10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$	$10^3 \text{ cm}^{1/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{mol}^{-1}$
里德伯常数	R_∞	1.097 373 153 4(13)	10^7 m^{-1}	10^5 cm^{-1}
万有引力常数	G	6.672 59(85)	$10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$	$10^{-8} \text{ dyn} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-2}$
理想气体的标准体积	V_m	22.414 10(19)	$10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	$10^3 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
玻尔半径	a_0	5.291 172 49(24)	10^{-10} m	10^{-9} cm
经典电子半径	r_e	2.817 940 92(38)	10^{-15} m	10^{-13} cm
以原子质 量单位计 的质子质 量	质子 氢 氘(重氢) 氦	p 1.007 276 487(11) H 1.007 825 035(11) D 2.014 101 795(21) He 4.002 603 276(48)		

第三节 化学元素的基本参数

表 1-35 化学元素相对原子质量 (1993 年)●

表 1-35 中所列元素相对原子质量用 $A_r(E)$ 值适用于地球物质中的元素和某些人造元素, 其数值取自国际纯粹与应用化学联合会 (IUPAC) 无机化学分会原子量与同位素丰度委员会于 1987 年通过的元素的原子量, 其中放射性元素部分的数据见表 1-36。根据 GB31/8—1980 (E) GB3102.8—82 和 GB3102.8—86 规定, “元素的原子量”应改为“元素的相对原子质量”。

原子序数	名称	符号	相对原子质量		备注	原子序数	名称	符号	相对原子质量		备注
1	氢	H	1.00794	± 0.00007	g, m, r	39	钇	Y	88.90585	± 0.00002	
2	氦	He	4.002602	± 0.000002	g, r	40	锆	Zr	91.224	± 0.002	
3	锂	Li	6.941	± 0.002	g, m, r	41	铌	Nb	92.90638	± 0.00002	
4	铍	Be	9.012182	± 0.000005		42	钼	Mo	95.94	± 0.01	g
5	硼	B	10.811	± 0.005	g, m, r	43	镨	Pr	(97, 99)		
6	碳	C	12.011	± 0.001	r	44	钽	Ta	181.07	± 0.02	g
7	氮	N	14.00674	± 0.00007	g, r	45	铷	Rb	102.90550	± 0.00005	
8	氧	O	15.9994	± 0.0005	g, r	46	钨	W	186.12	± 0.01	g
9	氟	F	18.9984032	± 0.000009		47	银	Ag	107.8682	± 0.0002	g
10	氖	Ne	20.1797	± 0.0006	g, m	48	镉	Cd	112.411	± 0.008	g
11	钠	Na	22.989768	± 0.000005	g, m	49	铟	In	114.818	± 0.003	
12	镁	Mg	24.3050	± 0.0006		50	锡	Sn	118.710	± 0.007	g
13	铝	Al	26.981539	± 0.000005		51	锑	Sb	121.760	± 0.001	g
14	硅	Si	28.0855	± 0.0003	r	52	碲	Te	127.60	± 0.05	g
15	磷	P	30.973762	± 0.000004		53	碘	I	126.90447	± 0.00003	
16	硫	S	32.066	± 0.006	g, r	54	氙	Xe	131.29	± 0.02	g, m
17	氯	Cl	35.4537	± 0.0009	m	55	铯	Cs	132.90543	± 0.00005	
18	氩	Ar	39.948	± 0.001	g, r	56	钡	Ba	137.327	± 0.007	
19	钾	K	39.0983	± 0.0001		57	镧	La	138.9055	± 0.00002	g
20	钙	Ca	40.078	± 0.004	g	58	铈	Ce	140.116	± 0.001	g
21	钪	Sc	44.955910	± 0.000009		59	镨	Pr	140.90765	± 0.00003	
22	钛	Ti	47.867	± 0.001		60	钕	Nd	144.24	± 0.03	g
23	钒	V	50.9415	± 0.0001		61	钷	Pm	(145)		
24	铬	Cr	51.9961	± 0.0006		62	钐	Sm	150.36	± 0.03	g
25	锰	Mn	54.93805	± 0.00001		63	铕	Eu	151.965	± 0.009	g
26	铁	Fe	55.845	± 0.002		64	钆	Gd	157.25	± 0.03	g
27	钴	Co	58.93320	± 0.00001		65	铽	Tb	158.92534	± 0.00003	
28	镍	Ni	58.6934	± 0.0002		66	镱	Dy	162.50	± 0.01	g
29	铜	Cu	63.546	± 0.003	r	67	钬	Ho	164.93032	± 0.00003	
30	锌	Zn	65.39	± 0.02		68	铒	Er	167.26	± 0.03	g
31	镓	Ga	69.723	± 0.001		69	铥	Tm	168.93421	± 0.00003	
32	锗	Ge	72.61	± 0.02		70	镱	Yb	173.04	± 0.03	g
33	砷	As	74.92159	± 0.00002		71	镥	Lu	174.967	± 0.001	g
34	硒	Se	78.96	± 0.03		72	铪	Hf	178.49	± 0.02	
35	溴	Br	79.904	± 0.001		73	钽	Ta	180.9479	± 0.0001	
36	氪	Kr	83.80	± 0.01	g, m	74	钨	W	183.84	± 0.01	
37	铷	Rb	85.4678	± 0.0003	g	75	铼	Re	186.207	± 0.001	
38	锶	Sr	87.62	± 0.01	g, r	76	铱	Ir	190.23	± 0.03	g

● 数据取自 Pure Appl. Chem., 1992, 64 (10): 1519--1934.

续表

原子序数	名称	符号	相对原子质量	备注	原子序数	名称	符号	相对原子质量	备注
77	铱	Ir	192.217 ± 0.003		84	钷	Pu	(239, 244 ^a)	
78	铂	Pt	195.08 ± 0.03		95	镅	Am	(243 ^a)	
79	金	Au	196.96654 ± 0.00003		96	锔	Cm	(247 ^a)	
80	汞	Hg	200.59 ± 0.02		97	锫	Bk	(247 ^a)	
81	铊	Tl	204.3833 ± 0.0002		98	锪	Cf	(251 ^a)	
82	铅	Pb	207.2 ± 0.1	R, T	99	镄	Fm	(252 ^a)	
83	铋	Bi	208.98037 ± 0.00003		100	钔	Md	(257 ^a)	
84	钋	Po	(209 ^a , 210 ^a)		101	锿	Er	(258 ^a)	
85	砹	At	(210 ^a)		102	镎	No	(259 ^a)	
86	氡	Rn	(222 ^a)		103	镥	Lr	(260 ^a)	
87	钫	Fr	(223 ^a)		104	Uup		(261 ^a)	
88	镭	Ra	(226 ^a)		105	Uub		(262 ^a)	
89	锕	Ac	(227 ^a)		106	Uuh		(263 ^a)	
90	钍	Th	232.0381 ± 0.0001	E	107	Uus		(262 ^a)	
91	镤	Pa	231.03588 ± 0.00002		108	Uuo		(265 ^a)	
92	铀	U	238.0289 ± 0.0001	g, m	109	Uue		(266 ^a)	
93	镎	Np	(237 ^a)						

(*) * 表示没有稳定同位素的元素，其相对原子质量中，() 内的值是放射性同位素的质量数，108, 109 号元素亦是同一来源。

g 地质样品中已知具有超出正常材料范围的同位素组成的元素，在这种样品中的元素的相对原子质量，与表中所给值之差，可能会超出所标的不确定度的值。

m 人工同位素组成，可以从商业上购得的材料中发现，因为它可能已受到不明的或无意的同位素分离，相对原子质量可能会出现重大偏差。

r 正常情况下，地球上材料的同位素可受辐射影响而给出更准确的相对原子质量，表中所列之值应当适用于正常情况下的任何材料。

(2) 数据取自 1994 年 5 月国际原子量委员会给彭青莲等函信，见 1994 年 9 月 26 日《人民日报》。

表 1-36 放射性元素的相对原子质量

原子序	元 素		符 号	同位素	相对原子质量	半衰期	衰 变 方 式
	中文名	英文名					
43	锝	Technetium	Tc	98	(98)	2.12×10^5 年	β^-
61	钷	Promethium	Pm	147	(145)	2.52 年	β^-
84	钋	Polonium	Po	210	(209)	138.4 天	α, γ
85	砹	Astatine	At	210	(210)	8.3 分	α, γ, μ -电子俘获
86	氡	Radon	Rn	222	(222)	3.823 日	α
87	钫	Francium	Fr	223	(223)	22 分	β, α, γ
88	镭	Radium	Ra	226	(226)	1620 年	α, γ
89	锕	Actinium	Ac	227	(227)	22 年	α, β^-
90	钍	Thorium	Th	232	232.0381	1.41×10^{10} 年	α, γ , 自发裂变
91	镤	Protactinium	Pa	231	231.03588	3.4×10^4 年	α, γ
92	铀	Uranium	U	238	238.0289	4.51×10^9 年	α, γ , 自发裂变
93	镎	Neptunium	Np	237	(237)	2.14×10^6 年	α, γ
94	钚	Plutonium	Pu	242		3.80×10^5 年	α , 自发裂变
95	镅	Americium	Am	243	(243)	7.95×10^3 年	α, γ
96	锔	Curium	Cm	247	(247)	10^7 年	α, γ
97	锫	Berkelium	Bk	247	(247)	1.4×10^4 年	α
98	锪	Californium	Cf	249	(251)	360 年	α, γ , 自发裂变

续表

原子序	元 素		符 号	同位素	相对原子质量	半衰期	衰 变 方 式
	中文名	英文名					
99	楨	Einsteinium	Es	254	(252)	1 年	α 、自发裂变
100	镱	Fermium	Fm	253	(257)	3 日	α
101	钔	Mendelevium	Md	256	(258)	1.5 时	α 电子俘获、自发裂变
102	镅	Nobelium	No	254	(259)	55 秒	α
103	锿	Lawrencium	Lr	257	(260)	0.6 秒	α
104		Unquadium	Unq		(261)		
105		Unipentium	Unp		(262)		
106		Unihexium	Unh		(263)		
107		Uniseptium	Uns		(262)		

表 1-37 化学元素中外文(拉丁、英、俄、德、日、法)名称对照表⁽¹⁾

原子序数	符号	中文名称	拉丁文名	英文名	俄文名	德文名	日文名	法文
1	H	氢	Hydrogenium	Hydrogen	Водород	Wasserstoff	水素(すいそ)	Hydrogène
2	He	氦	Helium	Helium	Гелий	Helium	ヘリウム	Helium
3	Li	锂	Lithium	Lithium	Литий	Lithium	リチウム	Lithium
4	Be	铍	Beryllium	Beryllium	Бериллий	Beryllium	ベリウム	Glucinium
5	B	硼	Borium	Boron	Бор	Bor	ホウ素(こうそ)	Bore
6	C	碳	Carbonium	Carbon	Углерод	Kohlenstoff	炭素(たんそ)	Carbone
7	N	氮	Nitrogenium	Nitrogen	Азот	Stickstoff	窒素(ちつそ)	Azote
8	O	氧	Oxygenium	Oxygen	Кислород	Sauerstoff	酸素(さんそ)	Oxygène
9	F	氟	Fluorum	Fluorine	Фтор	Fluor	フッ素(ふつそ)	Fluor
10	Ne	氖	Neonum	Neon	Неон	Neon	ネオン	Neon
11	Na	钠	Natrium	Sodium	Натрий	Natrium	ナトリウム	sodium
12	Mg	镁	Magnesium	Magnesium	Магний	Magnesium	マグネシウム	Magnesium
13	Al	铝	Aluminium	Aluminium	Алюминий	Aluminium	アルミニウム	Aluminium
14	Si	硅	Silicium	Silicon	Кремний	Silizium	ケイ素(けいそ)	silicium
15	P	磷	Phosphorum	Phosphorus	Фосфор	Phosphor	リン(りん)	Phosphore
16	S	硫	Sulphur	Sulfur	Сера	Schwefel	イオウ(硫黄)	Soufre
17	Cl	氯	Chlorum	Chlorine	Хлор	Chlor	塩素(えんそ)	chlor
18	A	氩	Argonium	Argon	Аргон	Argon	アルゴン	Argon
19	K	钾	Kalium	Potassium	Калий	Kalium	カリウム	potassium
20	Ca	钙	Calcium	Calcium	Кальций	Calcium	カルシウム	Calcium
21	Sc	钪	Scandium	Scandium	Скандий	Skandium	スカンジウム	Scandium
22	Ti	钛	Titanium	Titanium	Титан	Titan	チタン	Titane
23	V	钒	Vanadium	Vanadium	Ванадий	Vanadin	バナジウム	Vanadium
24	Cr	铬	Chromium	Chromium	Хром	Chrom	クロム	Chrome
25	Mn	锰	Manganum	Manganese	Марганец	Mangan	マンガン	Manganese
26	Fe	铁	Ferrum	Iron	Железо	Eisen	鉄(てつ)	Fer
27	Co	钴	Cobaltum	Cobalt	Кобальт	Kobalt	コバルト	Cobalt
28	Ni	镍	Nickelum	Nickel	Никель	Nickel	ニッケル	Nickel
29	Cu	铜	Cuprum	Copper	Медь	Kupfer	銅(どう)	Cuivre
30	Zn	锌	Zincum	Zinc	Цинк	Zink	亜鉛(あえん)	Zinc

续表

原子 序数	符号	中文 名称	拉丁文 名称	英文 名称	俄文 名称	德文 名称	日文 名称	法文
31	Ga	镓	Gallium	Gallium	Галлий	Gallium	ガリウム	Gallium
32	Ge	锗	Germanium	Germanium	Германий	Germanium	ゲルマニウム	Germanium
33	As	砷	Arsenium	Arsenic	Мышьяк	Arzen	ヒ素(砒素)	Arsenic
34	Se	硒	Selenium	Selenium	Селен	Selen	セレン	Selenium
35	Br	溴	Bromium	Bromine	Бром	Bron	臭素(砒素)	Bromine
36	Kr	氪	Kryptonum	Krypton	Криптон	Krypton	クリプトン	Krypton
37	Rb	铷	Rubidium	Rubidium	Рубидий	Rubidium	ルビシウム	Rubidium
38	Sr	锶	Strontium	Strontium	Стронций	Strontium	ストロンチウム	Strontium
39	Y	钇	Yttrium	Yttrium	Иттрий	Yttrium	イットリウム	Yttrium
40	Zr	锆	Zirconium	Zirconium	Цирконий	Zirkonium	ジルコニウム	Zirconium
41	Nb	铌	Niobium	Niobium	Никобий	Niob	ニオブ	Niobium
42	Mo	钼	Molybdenum	Molybdenum	Молибден	Molybden	モリブデン	Molybdenum
43	Tc	锝	Technetium	Technetium	Технеций	Technetium	テクネチウム	Technetium
44	Ru	钌	Ruthenium	Ruthenium	Рутений	Ruthenium	ルテニウム	Ruthenium
45	Rh	铑	Rhodium	Rhodium	Родий	Rhodium	ロジウム	Rhodium
46	Pd	钯	Palladium	Palladium	Палладий	Palladium	パデジウム	Palladium
47	Ag	银	Argentum	Silver	Серебро	Silber	銀	Argentum
48	Cd	镉	Cadmium	Cadmium	Кадмий	Kadmium	カトシウム	Cadmium
49	In	铟	Indium	Indium	Индий	Indium	インジウム	Indium
50	Sn	锡	Stannum	Tin	Олово	Zinn	スズ(錫)	Stannum
51	Sb	锑	Stibium	Antimony	Сурьма	Antimon	アンチモン	Antimonium
52	Te	碲	Tellurium	Tellurium	Теллур	Tellur	テルル	Tellurium
53	I	碘	Iodine	Iodine	Йод	Jod (J)	ヨウ素	Iode
54	Xe	氙	Xenonum	Xenon	Ксенон	Xenon	キセノン	Xenon
55	Cs	铯	Cesium	Cesium	Цезий	Zesium	セシウム	Cesium
56	Ba	钡	Baryum	Barium	Барий	Barium	バリウム	Baryum
57	La	镧	Lanthanum	Lanthanum	Лантан	Lanthan	ランタン	Lanthanum
58	Ce	铈	Cerium	Cerium	Церий	Cerium (zer)	セリウム	Cerium
59	Pr	镨	Praseodymium	Praseodymium	Прасеодимий	Praseodym	プラセオジウム	Praseodymium
60	Nd	钕	Neodymium	Neodymium	Неодим	Neodym	ネオジウム	Neodymium
61	Pm	钷	Promethium	Promethium	Прометий	Promethium	プロメチウム	Promethium
62	Sm	钐	Samarium	Samarium	Самарий	Samarium	サマリウム	Samarium
63	Eu	铕	Europium	Europium	Европий	Europium	ユーロピウム	Europium
64	Gd	钆	Gadolinium	Gadolinium	Гадолиний	Gadolinium	ガドリニウム	Gadolinium
65	Tb	铽	Terbium	Terbium	Тербий	Terbium	テルビウム	Terbium
66	Dy	镝	Dysprosium	Dysprosium	Диспрозий	Dysprosium	ジスプロシウム	Dysprosium
67	Ho	铈	Holmium	Holmium	Гольмий	Holmium	ホルシウム	Holmium
68	Er	铒	Erbium	Erbium	Эрбий	Erbium	エルビウム	Erbium
69	Tm	铥	Thulium	Thulium	Түлий	Thulium	ツリウム	Thulium
70	Yb	镱	Ytterbium	Ytterbium	Иттербий	Ytterbium	イッテルビウム	Ytterbium
71	Lu	镥	Lutetium	Lutetium	Лютеций	Lutetium (Lutetium)	ルテシウム	Lutetium
72	Hf	铪	Hafnium	Hafnium	Гафний	Hafnium	ハフニウム	Hafnium

原子序数	符号	中文名称	拉丁文名	英文名	俄文名	德文名	日文名	法文
72	Ta	钽	Tantalum	Tantalum	Та-тант	Tantal	タンタル	Tantale
74	W	钨	Wolfram	Tungsten	Вольфрам	Wolfram	タングステン	Tungstene
75	Re	铼	Rhenium	Rhenium	Рений	Rhenium	レニウム	Rhenium
76	Os	锇	Osmium	Osmium	Осний	Osmium	オスミウム	Osmium
77	Ir	铱	Iridium	Iridium	Иридий	Iridium	イリジウム	Iridium
78	Pt	铂	Platinum	Platinum	Платина	Platin	白金 (はつまい)	Platine
79	Au	金	Aurum	Gold	Золото	Gold	金 (きん)	Or
80	Hg	汞	Hydrargyrum	Mercury	Ртуть	Quecksilber	水銀 (すいぎん)	Mercury
81	Tl	铊	Thallium	Thallium	Таллий	Thallium	タリウム	Thallium
82	Pb	铅	Plumbum	Lead	Свинец	blei	鉛 (なま)	Plomb
83	Bi	铋	Bismuthum	Bismuth	Висмут	Wismut	ビスマス	Bismuth
84	Po	钋	Polonium	Polonium	Полоний	Polonium	ポロニウム	Polonium
85	At	砹	Astatum	Astatine	Астатин	Astatin	アスタチン	Astatine
86	Rn	氡	Radon	Radon	Радон	Radon	ラドン	Radon
87	Fr	钫	Francium	Francium	Франций	Francium	フランシウム	Francium
88	Ra	镭	Radium	Radium	Радий	Radium	ラジウム	Radium
89	Ac	锕	Actinium	Actinium	Актиний	Aktinium	アクチニウム	Actinium
90	Th	钍	Thorium	Thorium	Торий	Thorium	トリウム	Thorium
91	Pa	镤	Protactinium	Protactinium	Протактиний	Protaktinium	プロトアクチニウム	Protactinium
92	U	铀	Uranium	Uranium	Уран	Uran	ウラン	Uranium
93	Np	镎	Neptunium	Neptunium	Нептуний	Neptunium	ネプツニウム	Neptunium
94	Pu	钷	Plutonium	Plutonium	Плутоний	Plutonium	プルトニウム	Plutonium
95	Am	镅	Americium	Americium	Америций	Americium	アメリカシウム	Americium
96	Cm	锔	Curium	Curium	Кюрий	Curium	キュリウム	Curium
97	Bk	锫	Berkelium	Berkelium	Берклий	Berkelium	バークリウム	Berkelium
98	Cf	锿	Californium	Californium	Калифорний	Californium	カリホルニウム	Californium
99	Es	镱	Einsteinium	Einsteinium	Эйнштейний	Einsteinium	アインシュタインウム	Einsteinium
100	Fm	镭	Fermium	Fermium	Фермий	Fermium	フェルミウム	Fermium
101	Md	钔	Mendelevium	Mendelevium	Менделевий	Mendelevium	メンデレヴィウム	Mendelevium
102	No	锿	Nobelium	Nobelium	Нобелий	Nobelium	ノーベリウム	Nobelium
103	Lr	铹	Lawrencium	Lawrencium	Лавренций	Lawrencium	ローレンシウム	Lawrencium
104	Unq		Unquadium		Унквадий			
105	Unp		Unpentium					
106	Unh		Unhexium					
107	Uns		Unseptium					
108	Uno		Unoctium					
109	Uue		Ununennium					

② 对于原子序数大于100的元素, IUPAC 通过下按照代表原子序数(原子数)的数字字母的系统命名法,以代替特殊的名称。原子序数的数字字母为: 0=ni, 2=bi, 3=tri, 4=quad, 5=pent, 6=hex, 7=sept, 8=oct, 9=enn, 100=unbi。将各数字字母相结合,用“ium”结尾。

表 1.38 相对原子质量、相对分子质量及其对数
(以 1991 年公布的原子量计算)

化 学 式	量 α	$\lg \alpha$ (尾数)	化 学 式	量 α	$\lg \alpha$ (尾数)	化 学 式	量 α	$\lg \alpha$ (尾数)
Ag	107.868	0329	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	666.4288	92375	Li ₂ O	169.326	22872
Ag ₂ AsO ₃	446.324	64384	As	74.9216	97481	Li(OH) ₂	171.3447	23388
Ag ₂ AsO ₄	462.523	66714	AsH ₃	314.634	49781	Li(OH) ₂ · 3H ₂ O	335.467	49898
AgBr	187.772	27363	AsH ₃	181.281	25835	LiSCl ₂	217.391	33724
AgC ₂ H ₃ O ₂ (乙 酸 银)	166.913	22249	As ₂ O ₃	252.187	40172	LiSeO ₄	253.391	50808
AgC ₆ H ₄ NS ₂ (硫基苯并噻唑银)	274.11	43792	As ₂ O ₅	77.9454	89179	LiSiF ₆	280.265	41760
AgCN	133.886	12674	As ₂ O ₅	122.8138	96062			
Ag ₂ CO ₃	277.741	44364	As ₂ O ₅	138.9152	14276	Li	9.0122	96483
AgCl	143.321	15631	As ₂ O ₅	197.8414	25632	LiCO ₃	85.0215	83898
Ag ₂ CrO ₄	331.730	52673	As ₂ O ₅	229.8402	36118	LiCO ₃ · 4H ₂ O	141.3827	14017
Ag ₂ Cr ₂ O ₇	451.730	63521	As ₂ O ₇	261.8390	41803	LiCl ₂	79.918	90264
AgF	126.865	10345	As ₂ S ₃	293.1856	30780	LiCl ₂ · 4H ₂ O	151.9791	18178
Ag ₂ [Fe(CN) ₆]	335.36	79881	As ₂ S ₅	246.0412	39101	LiF ₂	47.0090	67218
Ag ₂ [Fe(CN) ₆]	643.43	80850	As ₂ S ₅	310.1732	49150	LiF ₃	85.0058	92945
AgI	234.772	37065	Au	196.967	29439	Li(NO ₃) ₂ · 3H ₂ O	187.0678	27200
AgNO ₂	153.874	18717	AuCN	222.985	51828	LiO	25.0116	39814
AgNO ₃	169.873	23012	Au(CN) ₂	249.003	50620	Li(OH) ₂	43.0269	63374
Ag ₂ O	231.735	36499	Au(CN) ₃	301.038	47862	Li ₂ P ₂ O ₇	161.068	26323
AgOCN	149.885	17576	AsCl ₃	303.326	48191	LiSCl ₂	105.9758	02150
Ag ₂ PO ₃	418.575	62177	AuCl ₃ · 2H ₂ O	335.357	53066	LiSO ₄ · 4H ₂ O	177.1369	24831
Ag ₂ S	247.802	39410	AuCl ₃	338.779	52932			
AgSCN	165.952	21998	B	10.811	02387	Li	206.9804	32010
Ag ₂ SO ₄	311.800	49388	BBr ₃	250.82	35884	LiC ₂ H ₃ O ₂ (酸性亚倍于酸)	337.0684	52123
AgVO ₃	206.808	31555	BBr ₃	117.17	06882	Li(C ₂ H ₃ ON) ₂	641.4504	80715
Ag ₂ VO ₄	428.544	61201	BBr ₃	67.806	83127	(8-羟基喹啉银)		
			BBr ₃	86.805	93834	Li(C ₂ H ₃ ON) ₂ · H ₂ O	659.4457	81918
Al	26.9815	43105	BBr ₃	42.810	53156	(8-羟基喹啉银)		
AlBr ₃	266.594	42601	BBr ₃	58.809	76941	Li(C ₂ H ₃ ON) ₂ · H ₂ O	875.8463	94243
Al(C ₂ H ₃ O ₂) ₃ (醋酸 铝)	204.117	30988	BBr ₃	69.62	84273	(羧乙基喹啉银)		
Al(C ₂ H ₃ ON) ₂ (8-羟基喹啉银)	439.444	65224	BBr ₃	155.24	19190	BaCl ₂	315.339	49878
AlCl ₃	133.341	12496	Ba	137.327	13776	BaCl ₂ (SCN) ₂	404.4789	78496
AlCl ₃ · 6H ₂ O	241.433	38280	BaBr ₂	297.135	47295	BaI ₂	589.693	77063
AlF ₃	83.9787	92416	BaBr ₂ · 2H ₂ O	333.166	52256	BaI ₂	716.598	85528
AlF ₃	140.9719	14913	BaCl ₂	197.336	29521	(BaI ₂)(C ₂ H ₃ ON)	862.7689	93589
AlK(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O	474.3904	57614	BaCl ₂	225.347	35285	(BaI ₂)(C ₂ H ₃ ON)		
AlNH ₄ (SO ₄) ₂ · 12H ₂ O	453.3306	65612	BaCl ₂	206.232	31855	(BaI ₂)(C ₂ H ₃ ON)	860.7944	93190
Al(NO ₃) ₃	212.996	32637	BaCl ₂ · 2H ₂ O	244.263	38786	(2-甲基喹啉四磺酸 银)		
Al(NO ₃) ₃ · 9H ₂ O	375.134	57419	Ba(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · H ₂ O	322.241	50818	Bi(NO ₃) ₃	394.593	56639
Al ₂ O ₃	101.9612	00843	Ba(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 3H ₂ O	296.823	46362	Bi(NO ₃) ₃ · 5H ₂ O	485.0714	68580
1/6Al ₂ O ₃	16.9935	23023	BaCrO ₄	253.321	40367	Bi ₂ O ₃	467.958	66834
Al(OH) ₃	78.0036	89211	BaF ₂	175.324	24384	(BiO) ₂ CO ₃ · 1/2H ₂ O	518.976	71515
AlPO ₄	121.953	08619	Bi(NO ₃) ₃	251.337	41720	BiOFr	364.883	48413
Al ₂ (SO ₄) ₃	342.1538	53422	BiO	153.326	18592			

续表

化 学 式	量 a	$\lg a$ (尾数)	化 学 式	量 a	$\lg a$ (尾数)	化 学 式	量 a	$\lg a$ (尾数)
BiOCl	260.432	41569	CO	28.0106	44732	Cu(OH) ₂	74.093	86976
(BiO) ₂ Cr ₂ O ₇	665.947	82344	CO(NH ₂) ₂	60.0556	77855	Cu(PO ₃) ₂	198.922	29671
BiONO ₃ · H ₂ O	305.000	48430	CO ₂	44.0100	64355	Cu ₂ (PO ₃) ₂	310.1768	49161
BiPO ₄	308.951	48280	CO ₃	60.0094	77822	CuS	72.144	85820
Bi ₂ S ₃	514.1588	71110	C ₂ O ₂	88.0199	94458	CuSO ₄	120.142	07969
			CO ₂ H	45.0177	65338	CuSO ₄ · 2H ₂ O	156.173	19360
Bk	79.904	90257	CS ₂	76.1430	88163	CuSO ₄	136.142	13399
BrO	95.903	05183	CS(NH ₂) ₂	76.1222	88151	CuSO ₄ · 1/2H ₂ O	145.149	16181
BzO ₂	127.962	10588	Cu	40.078	60291	CuSO ₄ · 2H ₂ O	172.173	23596
			CuBr ₂	199.886	80678	CuS ₂ (O ₃) ₂	152.208	18244
C	12.01115	07958	CuBr ₂ · 6H ₂ O	307.9777	48852	CuS ₂ O ₆ · 6H ₂ O	260.300	41347
CCl ₄	153.823	18702	CuCl ₂	64.100	80686	CuSiF ₆	182.154	26045
CH ₂	14.0269	14696	Cu ₂	130.1135	11432	CuSiO ₃	116.162	06506
CH ₃	15.0348	17710	Cu(CH ₃ O) ₂	158.1674	19912	CuWO ₄	287.926	45928
CH ₄	16.0428	20528	Cu(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	218.2138	33889			
C ₂ H ₂	26.0379	41561	(乳酸钙)			Cd	112.411	05077
C ₂ H ₄	29.0617	46332	Cu(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 3H ₂ O	308.2962	43897	CdBr ₂	272.219	43490
C ₂ H ₆	77.1057	88709	Cu ₂ (C ₂ H ₃ O ₂) ₂	498.437	69761	CdBr ₂ · 4H ₂ O	344.280	53690
C ₂ H ₁₀	126.1576	10991	(柠檬酸钙)			Cd(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	230.500	36267
C ₂ H ₁₂	127.1856	10437	Cu ₂ (C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 4H ₂ O	570.4981	75625	Cd(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 2H ₂ O	266.521	42573
C ₂ H ₁₄ (表)	128.1735	10780	Cu(C ₁₀ H ₇ N ₄ O ₅) ₂ · 8H ₂ O(苦酮酸钙)	710.5793	85181	Cd(C ₂ H ₃ N) ₂ (SCN) ₂	386.781	58747
CH ₃ Br	94.9388	97744	CuCN ₂ (氰化钙)	60.10	90363	(二吡啶二硫氰酸络合物)		
CHCl ₃	119.378	07692	CuCO ₃	160.0872	00038	Cd(C ₂ H ₃ N) ₂ (SCN) ₂	544.984	73638
CH ₃ Cl	50.4875	70318	Cu ₂ C ₂ O ₄	128.0976	10754	(四吡啶二硫氰酸络合物)		
CH ₃ F	34.0322	53190	Cu ₂ C ₂ O ₄ · H ₂ O	146.1129	16460	Cd(C ₂ IL ₄ NS ₂) ₂	444.906	64827
CH ₃ I	141.9393	15210	CuCl ₂	110.8834	04528	(羧基苯并咪唑络合物)		
CH ₃ N ₂	42.0404	62367	CuCl ₂ · 6H ₂ O	219.0751	34059	Cd(C ₂ IL ₄ O ₂ N) ₂	384.671	58509
C ₂ H ₅ N ₂ (乙二胺)	60.0990	77887	Cu(ClO) ₂	142.9822	15528	(邻氨基苯甲酸络合物)		
C ₂ H ₅ N(吡啶)	79.1014	89818	Cu(CN) ₂ · 4H ₂ O	215.0432	33250	Cd(C ₂ H ₄ ON) ₂	406.717	60284
C ₂ H ₅ N ₄ (硝酸钙)	312.3740	49467	CuCrO ₄	156.0717	19332	(8-羟基喹啉络合物)		
C ₂ H ₅ N ₄ · HClO ₄	412.8322	61577	Cu ₂ CrO ₄ · 2H ₂ O	192.1023	28353	Cd(C ₂ H ₄ ON) ₂ · 2H ₂ O	436.748	64023
C ₂ H ₅ N ₄ · HNO ₃	375.3869	57448	CuF ₂	78.0748	89251	Cd(C ₂ H ₄ O ₂ N) ₂	456.737	65966
CH ₂ O	30.0263	47750	Cu ₂ (Fe(CN) ₆) ₂ · 12H ₂ O	508.2928	706.1			
CH ₃ O	31.0342	49184	CuH ₂	42.0939	62422			
CH ₃ O	32.0422	50573	Cu(HCO ₃) ₂	162.1123	20982			
C ₂ H ₂ O	43.0452	63392	CuHPO ₄	136.0573	13372			
C ₂ H ₄ O	46.0600	66541	CuHPO ₄ · 2H ₂ O	172.0879	23575			
C ₂ H ₄ O ₄ (酒石酸根)	148.9722	17047	Cu(H ₂ PO ₄) ₂	234.0526	36931			
C ₂ H ₄ O(苯酚)	94.1130	97565	Cu(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	252.0679	40152			
C ₂ H ₄ O ₂ N	136.1302	13395	Cu(HS) ₂ · 6H ₂ O	314.8176	83108			
(邻氨基苯甲酸根离子)			Cu(HSO ₃) ₂	202.2823	30583			
C ₂ H ₄ ON	144.1528	15882	CuI ₂	253.8870	46818			
(8-羟基喹啉离子)			CuMoO ₄	260.0156	30106			
C ₂ H ₄ ON(8-羟基喹啉)	145.1607	16185	Cu(NO ₃) ₂	164.0879	21508			
CN	26.0179	41527	Cu(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	236.149	37319			
CNO	42.0173	62343	CuO	56.0774	74879			
CNS	58.0837	76405						

续表

化 学 式	量 α	$\lg \alpha$ (尾数)	化 学 式	量 α	$\lg \alpha$ (尾数)	化 学 式	量 α	$\lg \alpha$ (尾数)
$\text{Ce}(\text{F}_2\text{O})_2$	528.765	65072	(邻氨基苯甲酸铈)			$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$	164.910	28033
CeS	144.177	12980	$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{ON})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	563.2693	55330	Ce_2O_3	281.808	44935
$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$	208.175	31905	(8-羟基喹啉铈)			CeOH	149.912	7584
$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5/6\text{H}_2\text{O}$	255.616	40928	$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{ON})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	611.4523	78536	$\text{Ce}_2(\text{PO}_4)_3$	673.02	82942
Ce	140.115	14543	α-亚硝基-β-萘酸			Ce_2SO_4	361.8742	55356
$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_3)_2 \cdot (\text{SO}_4)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	771.796	82914	$\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	183.8834	26341	Ce	63.545	80309
(硝酸二乙二胺铈)			Ce_2O_3	129.8366	11333	CeBr_2	223.554	34835
$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{ON})_2$	572.173	75781	$\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	237.9363	57645	$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_3)_2$	109.5705	30027
(8-羟基喹啉铈)			Ce_2O_3	174.027	24285	$(\text{SCN})_2$	337.9164	52381
$\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	514.289	73563	$\text{Ce}(\text{Hg}(\text{SCN})_2)_2$	491.8582	69154	(吡啶二羧基酸络剂)		
$\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	705.426	84907	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$	192.343	26232	$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2\text{N})_2$	433.8064	52800
CeCl_3	216.473	29177	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	291.0447	46394	(邻氨基苯甲酸铈)		
$\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	372.580	57122	CeO	74.0426	87487	$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{ON})_2$	381.852	54536
$\text{Ce}(\text{NH}_4)_2(\text{NO}_3)_6$	548.222	73595	Ce_2O_3	165.8646	21975	(8-羟基喹啉铈)		
$\text{Ce}(\text{NH}_4)_2(\text{NO}_3)_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	581.252	76660	Ce_2O_3	210.797	38163	$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2\text{N})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	425.3876	62930
$\text{Ce}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	532.564	80110	$\text{Ce}_2\text{P}_2\text{O}_7$	241.310	46510	(喹羧酸铈)		
$\text{Ce}(\text{NO}_3)_2$	326.130	51333	CeS	90.0252	95854	$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{ONS})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	534.1281	71107
$\text{Ce}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	444.221	63771	CeSO_4	154.9968	19032	(琥珀基苄基铈)		
CeO_2	172.114	23382	$\text{CeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	281.1058	44887	$\text{CeC}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$	364.7936	46116
Ce_2O_3	328.223	51613	Ce	31.9961	71597	(试剂铈粉)		
Ce_2O_3	134.343	63515	CeCl_2	122.502	68955	CeCN	99.564	85213
$\text{Ce}(\text{OH})_2$	235.386	37122	CeCl_3	178.355	19563	CeCl	98.990	95563
$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$	232.742	52145	$\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	255.4167	42561	Ce_2Cl_2	154.432	12837
$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	404.203	60671	$\text{CeK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	449.4050	69847	$\text{CeCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	170.485	23568
$\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$	568.421	75467	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_2$	258.511	27660	$\text{Ce}(\text{Hg}(\text{SCN})_2)_2$	484.4710	65580
$\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	722.543	85981	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	452.1486	69222	CeI	192.450	27978
Ce	35.4527	54965	CeO	57.995	83218	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_2$	187.558	27313
CeO	71.4521	71145	Ce_2O_3	55.594	99597	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	211.802	3860
CeO_2	67.4515	82892	Ce_2O_3	115.994	6444	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	295.648	47977
Ce_2O_3	53.4509	92145	Ce_2O_3	131.999	18182	Ce_2O_3	79.545	90061
CeO_2	95.4504	98781	Ce_2O_3	215.988	33443	$\text{Ce}(\text{OH})_2$	97.561	98628
Ce	54.9322	77036	$\text{Ce}(\text{OH})_2$	105.0181	91291	Ce_2O	113.591	15561
CeBr_2	218.741	23893	CePO_4	146.967	16722	$\text{Ce}(\text{OH})_2\text{CO}_3$	221.116	34462
$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	425.833	51423	$\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$	392.1535	70349	Ce_2S	95.912	98051
$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	249.0853	39635	$\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	718.4580	85519	Ce_2S	159.158	20183
$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_3)_2$	491.5062	69153	Ce	112.5054	12354	CeSCN	121.0297	98504
(吡啶二羧基铈)			$\text{CeAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	568.1975	75460	CeSO_4	159.6096	20306
$\text{Ce}_2(\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	627.0637	72731	Ce_2CO_3	327.819	51298	$\text{CeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	219.686	39730
(吡啶二羧基铈)			CeCl	168.358	22623	F	18.9684	27872
$\text{Ce}(\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_3)_2$	355.1836	52008	Ce_2CO_3	232.358	36615	Fe	55.847	74700
			$\text{Ce}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	581.804	58184	FeBr_2	225.559	47064
			$\text{Ce}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	481.758	68287	$\text{FeBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	403.697	65597
			CeI	259.809	41465	Fe_2C	72.55	23112

续表

化 学 式	量 数	lg α (系数)	化 学 式	量 数	lg α (系数)	化 学 式	量 数	lg α (系数)
Fe(C ₅ H ₅ ON) ₂ (B-羧基喹啉铁)	438.3054	68869	H ₂ HO ₂	46.0257	66306	INO ₂	47.0135	67222
Fe(CN) ₆	211.954	32624	HC ₇ H ₅ O ₂	60.0526	77853	HNO ₂	63.0129	78943
FeCO ₃	115.856	06392	HC ₃ H ₅ O ₃ (乳酸)	90.0795	94463	HO	17.0374	23064
FeCl ₂	123.75	10295	HC ₄ H ₇ O ₆	149.0801	17342	H ₂ O	18.0153	25564
FeCl ₂ · 4H ₂ O	193.8135	29846	(酒石酸氢离子)			H ₂ O ₂	34.0147	53167
FeCl ₃	162.2051	21008	H ₂ C ₄ H ₄ O ₄ (丁二酸)	118.0892	0722	HPO ₂	79.9800	90258
FeCl ₃ · 6H ₂ O	270.2968	43184	H ₂ C ₄ H ₄ O ₄	134.0886	12739	HPO ₃	93.9794	98218
Fe(HCO ₃) ₂	177.8812	25013	(羟基丁二酸)			H ₂ PO ₂	91.9873	98671
FeNH ₄ (SO ₄) ₂ · 12H ₂ O	482.1961	68322	H ₂ C ₄ H ₄ O ₄ (酒石酸)	150.0880	17435	H ₂ PO ₃	66.9905	81952
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ · 6H ₂ O	392.1429	59344	H ₂ C ₆ H ₇ O ₇ (柠檬酸)	192.1253	28358	H ₂ PO ₄	81.9959	87179
Fe(NO ₃) ₃	241.862	28357	H ₂ C ₆ H ₇ O ₇ · H ₂ O	210.1406	32251	H ₃ PO ₂	97.0053	90121
Fe(NO ₃) ₃ · 6H ₂ O	349.9535	54401	HC ₆ H ₅ O ₂ NS (氨基苯磺酸)	173.1525	23453	H ₃ P ₂ O ₇	177.975	25036
FeO	71.846	85640	HC ₆ H ₅ O ₂ NS · 2H ₂ O	209.2231	32961	HReO ₄	251.2	40002
Fe ₂ O ₃	159.69	20328	HC ₇ H ₅ O ₂ (苯甲酸)	122.1234	08689	HS	33.0739	51946
Fe ₂ O ₄	231.54	36463	HC ₇ H ₅ O ₂ (水杨酸)	138.1228	14027	H ₂ S	34.0819	53250
Fe(OH) ₂	106.869	02885	HC ₇ H ₅ O ₂ N	137.1383	13715	HSCN	59.0517	77151
FePO ₄	150.818	17845	(邻氨基苯甲酸)			HSO ₃	81.0721	90886
FeS	87.013	94404	HC ₈ H ₇ O ₄	185.1233	21782	HSO ₄	97.0715	98709
FeS ₂	119.979	07911	(酒石酸氢离子)			H ₂ SO ₃	98.0795	99157
FeSO ₄	151.0106	18159	H ₂ C ₉ H ₇ O ₄	186.1332	22046	H ₂ SO ₄	114.1161	05744
FeSO ₄ · 7H ₂ O	278.0176	44408	(邻苯二甲酸)			H ₂ SO ₅	114.0785	05720
Fe ₂ (SO ₄) ₃	399.8848	60193	H ₂ C ₉ H ₇ O ₄ S	218.1870	33883	H ₂ Se	80.9759	90636
Fe ₂ (SO ₄) ₃ · 9H ₂ O	582.0223	74975	H ₂ C ₇ H ₅ O ₄ S · 2H ₂ O	254.2178	40520	H ₂ SeO ₃	128.9741	11050
Ga	69.723	81736	HC ₇ H ₅ O ₄ N	173.1711	23548	H ₂ SeO ₄	144.9735	16129
Ga(C ₅ H ₅ ON) ₃	502.181	70088	(喹啉酸)			H ₂ Te	129.6.58	11266
Ga(C ₅ H ₅ Be ₂ ON) ₂	975.558	98625	HC ₁₀ H ₇ O ₂ N · 2H ₂ O	209.2017	32057	H ₂ TeO ₄	193.6135	28697
(二溴-2-羟基喹啉铁)			H ₄ C ₁₀ H ₇ O ₂ N ₂	292.3457	46575	H ₂ TeO ₅	229.6440	36195
GaCl ₃	176.36	24571	(乙二胺四乙酸)			H ₂ WO ₄	249.8635	39770
Ga ₂ O ₃	187.14	27286	HCN	27.0258	43178	Il ₂	200.59	30231
Ge	72.61	80085	HCO ₂	45.0177	55339	HgBr ₂	360.40	55678
GeCl ₄	214.41	38725	HCO ₂ ⁻	61.0171	78645	Hg(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	318.64	50335
GeO ₂	104.601	01957	H ₂ CO ₃	62.0251	79257	Hg(C ₂ H ₃ N) ₂ Cl ₂ O ₂	574.78	75050
GeS ₂	106.742	13590	H ₂ CO ₃	90.0355	90442	(重铬酸二吡啶络汞)		
H	1.00794	00045	H ₂ C ₂ O ₄	128.0660	10060	Hg(C ₂ H ₃ O ₂ N) ₂	472.85	67472
H ₂ AsO ₄	141.9430	15211	H ₂ C ₂ O ₄ · 2H ₂ O	128.0660	10060	(邻氨基苯甲酸汞)		
HAuCl ₄ · 4H ₂ O	411.8464	61474	HCl	36.4606	56153	Hg(C ₂ H ₃ ONS) ₂	633.16	80131
HBrO ₂	43.8177	64165	HClO	52.4600	71983	(羧乙酰胺苯胺汞)		
H ₂ BO ₃	61.8330	79222	HClO ₂	84.4588	92665	HgC ₂ O ₄	236.51	46031
HBr	80.9119	90301	HClO ₃	100.4562	00199	Pg(CN) ₂	232.53	40248
HBrO	96.9313	90637	H ₂ CrO ₄	118.0096	07192	HgCl ₂	271.50	43377
HBrCl ₂	128.9401	11029	H ₂ Cr ₂ O ₇	218.0039	33846	Hg ₂ Cl ₂	472.09	67402
			HF	20.0084	39117	HgCrO ₄	318.58	50648
			HI	127.9124	10691	HgI ₂	454.40	67744
			HIO	143.9116	15810	Hg(NO ₃) ₂	324.60	51135
			HIO ₂	175.9106	24529	Hg(NO ₃) ₂ · H ₂ O	342.62	53481
			HIO ₃	191.9100	28316	Hg(NO ₃) ₂	525.19	72032
			H ₂ IO ₇	227.9406	35782			
			H ₂ MoO ₄ · H ₂ O	179.9688	25520			

续表

化 学 式	量 μ	I_{eq} (居数)	化 学 式	量 μ	I_{eq} (居数)	化 学 式	量 μ	I_{eq} (居数)
$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	561.22	74313	KCl	74.551	87218	$\text{K}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	209.359	30177
HgI_2	216.55	33561	KClO_2	122.549	68832	KSCN	97.182	98750
Hg_2O	417.18	62032	KClO_3	138.549	14.62	K_2SO_3	158.261	18957
HgS	252.86	36370	$\text{K}_2(\text{C}_5(\text{NO}_2)_2)_2$	452.268	85540	$\text{K}_2\text{SO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	194.291	28847
Hg_2S	433.28	53573	$\text{K}_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	337.319	64682	K_2SO_4	174.260	24129
$\text{Hg}(\text{SCN})_2$	316.76	36072	K_2CrO_4	194.194	28823	K_2SeO_3	222.326	34699
$\text{Hg}_2(\text{SCN})_2$	517.15	71278	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	294.188	46862	K_2SeO_4	254.334	40539
Hg_2SO_4	298.86	47224	$\text{K}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	408.435	58845	K_2SiO_3	270.324	43138
Hg_2SO_4	497.24	69857	KF	56.097	76418	$\text{K}(\text{SiO})\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot$	233.028	52365
			$\text{K}_2(\text{Fe}(\text{CN})_6)$	329.248	51752	$1/2\text{H}_2\text{O}$ (酒石酸铯 钾)		
	124.8045	16348	$\text{K}_2(\text{Fe}(\text{CN})_6)$	368.347	56626	K_2SiF_6	220.273	34296
KCl	162.3572	21347	$\text{K}_2(\text{Fe}(\text{CN})_6) \cdot$	722.393	62572	K_2TiF_6	210.067	38737
KCl_3	233.2676	36783	$3\text{H}_2\text{O}$			K_2WO_4	326.034	51323
KCl	142.9038	15304	$\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	503.256	70179			
KCl_2	174.9026	24280	KH_2AsO_4	185.033	25536	Li	138.905	14272
KCl_3	190.9020	23881	K_2HASO_4	218.124	33870	$\text{Li}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2)_2 \cdot$		
			$\text{KHC}_2\text{H}_4\text{O}_3$	183.178	27357	$1/2\text{H}_2\text{O}$	343.082	53537
Li	124.816	66201	(酒石酸铯钾)			$\text{LiCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	471.870	56981
$\text{Li}(\text{C}_6\text{H}_5\text{CN})_2$	547.278	73521	$\text{Li}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_4)$	204.224	31011	LiF_3	195.900	20502
(8-羟基喹啉)			(邻苯二酸铯钾)			$\text{Li}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	433.011	63550
LiCl_2	221.178	34474	LiHCO_3	100.116	66050	Li_2O	325.898	51296
Li_2O_2	277.638	43348	$\text{KHCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	146.141	16477	$\text{Li}_2(\text{SO}_4)_2$	566.009	76282
Li_2PO_4	203.783	32178	$\text{KH}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot$	254.192	46516	Li	6.941	84.12
			$2\text{H}_2\text{O}$			LiBr	68.835	93474
Li	102.217	28379	KHF ₂	75.193	89267	$\text{Li}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	281.986	45423
LiCl_2	294.573	47506	KHF_2	339.912	59697	(柠檬酸锂)		
LiCl_3	334.028	52378	KHF_2	104.087	61749	Li_2CO_3	73.891	86837
LiCl_4	404.933	60738	KHF_2PO_2	136.986	13381	LiCl	42.394	62730
LiO_2	224.216	55067	K_2HPO_4	174.176	24100	LiF	25.930	41356
$\text{Li}(\text{OH})_2$	242.225	38603	K_2HPO_4	120.179	67980	LiH	7.949	90031
$\text{Li}(\text{OH})_3$	260.216	41538	KHSO_4	136.179	13408	Li	133.845	12460
LiS	224.783	35086	KHSO_4	166.003	22011	$\text{LiI} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	187.851	27391
			KIO_3	419.812	62306	LiNO_2	88.946	83851
K	39.0983	39220	KIO_3	214.001	33042	$\text{LiNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	122.882	69986
$\text{K}(\text{SO}_4)_2 \cdot$	474.3904	67614	KMnO_4	158.034	19875	Li_2O	38.681	47440
$12\text{H}_2\text{O}$			KMnO_4	330.000	56173	LiOH	23.943	37928
$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	278.3315	44457	$\text{KN}(\text{C}_6\text{H}_5)_2(\text{NO}_2)_2$	477.302	67879	Li_3PO_4	115.794	66360
KBF ₄	123.9039	10004	(2,4,6,8'-4',6'-			$\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	127.981	19708
KBr	119.0023	67556	六硝基二苯胺钾)			Mg	24.305	38570
KBrO_3	167.0005	22272	KNO_2	85.104	52895	$\text{Mg}_2\text{As}_2\text{O}_7$	310.449	43199
$\text{KCl} \cdot \text{H}_2\text{O}_2$	98.1429	99186	KNO_3	101.103	60477	MgBr_2	194.113	25596
$\text{K}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2 \cdot$	233.2764	37158	$\text{KN}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	282.221	45059	$\text{MgBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	232.205	48569
$1/2\text{H}_2\text{O}$			K_2O	94.198	97405	$\text{Mg}(\text{C}_6\text{H}_5\text{ON})_2$	313.611	49500
(酒石酸钾)			KCN	81.113	90910	(8-羟基喹啉)		
$\text{K}(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{B}$	358.332	56429	KOH	56.106	74901	$\text{Mg}(\text{C}_6\text{H}_5\text{ON})_2 \cdot$	348.642	54238
$\text{K}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	324.412	51119	K_2PO_4	212.208	32683	$2\text{H}_2\text{O}$		
KCN	65.116	81371	K_2PO_4	486.00	68693	MgCO_3	84.314	92590
K_2CO_3	138.206	14055	K_2S	110.263	34243	MgCl_2	95.211	97880
$\text{K}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	164.231	26128				$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	293.352	36814
						$\text{Mg}(\text{C}_6\text{H}_5)_2$	223.206	34971
						$\text{Mg}(\text{C}_6\text{H}_5)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	33.298	72022

续表

化 学 式	量 α	$\lg a$ (定数)	化 学 式	量 α	$\lg a$ (定数)	化 学 式	量 α	$\lg a$ (定数)
MgF_2	62.362	73450	MoS_2	162.14	28556	$(NH_4)_2PO_4 \cdot 12MoO_4$	1875.55	27330
$Mg(HCO_3)_2$	146.240	16536	N	14.0037	14634	$(NH_4)_2PbCl_4$	58.831	55049
$MgNH_4AsO_4 \cdot 6H_2O$	289.354	46133	NO	15.0147	17652	$(NH_4)_2PbCl_4$	143.876	64226
$MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$	245.407	38988	NO_2	16.0226	20472	$(NH_4)_2S$	58.143	63342
$Mg(NO_3)_2$	148.115	17119	NO_3	17.0396	23423	NH_4SCN	76.112	83150
$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	256.437	46853	NO_3	18.0386	25626	$(NH_4)_2SO_4$	116.141	66405
MgO	40.274	50535	N_2H_4	32.0433	50576	$(NH_4)_2SO_4$	132.11	2164
$Mg(OH)_2$	58.320	76582	$N_2H_4 \cdot HCl$	48.506	83573	$(NH_4)_2SO_4$	228.204	35832
$Mg_2P_2O_7$	222.553	34743	$N_2H_4 \cdot 2HCl$	104.067	92105	$(NH_4)_2SiF_6$	178.154	25080
$MgSO_4$	120.389	08051	$N_2H_4 \cdot 11H_2O$	56.0606	69945	$(NH_4)_2SnCl_4$	367.503	56526
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246.176	45177	$N_2H_4 \cdot H_2SO_4$	136.1247	11436	NH_4VO_3	116.076	66811
$MgSiO_3$	100.388	00149	NH_3OH	33.0262	51886	NO	3.00031	47721
Mg_2SiO_4	146.484	14828	$NH_4OH \cdot HCl$	49.487	84440	NO_2	47.0057	66281
			$(NH_4OH)_2 \cdot H_2SO_4$	164.132	21519	NO_2	62.0039	76213
Mn	54.938	72387	NH_4SO_4	97.0948	98726	NO_2	44.0126	64558
$Mn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 4H_2O$	245.0883	38932	$NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	453.332	65841	N_2O_4	76.0116	88088
$(Mn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 4H_2O)$	487.311	38968	NH_4Br	57.008	60106	N_2O_5	32.011	96384
(羧基酸二吡啶络合物)			$NH_4C_2H_3O_2$	77.0336	88646			
$MnCO_3$	114.9475	06950	$(NH_4)_2CO_3$	96.0885	98256	Nb	22.9838	36134
$MnCl_2$	125.844	05983	$(NH_4)_2CO_3 \cdot H_2O$	114.102	05725	Nb_2O_5	239.441	32210
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	197.9051	25646	$(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$	142.112	15253	Nb_2O_5	252.227	41867
$MnNH_4PO_4 \cdot H_2O$	185.556	26341	$(NH_4)_2Ce(NO_3)_6$	838.23	73896	Nb_2O_5	129.072	1364
$Mn(NO_3)_2$	173.946	25973	$(NH_4)_4Ce(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$	632.55	80106	$Nb_2O_5 \cdot 12H_2O$	424.077	62744
$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	287.0297	45794	NEt_4Cl	53.432	72825	Nb_2O_5	342.229	53432
MnO	70.9375	85988	NEt_4ClO_4	117.439	07000	Nb_2O_5	37.845	67787
MnO_2	86.9359	92920	$(NH_4)_2CeCl_6$	152.071	16295	Nb_2O_5	127.891	4314
MnO_3	118.8257	07521	$(NH_4)_2CeCl_6$	852.085	40151	Nb_2O_5	153.850	8715
Mn_2O_3	157.6744	15831	NEt_4F	37.0370	56854	Nb_2O_5	201.219	30367
$Mn(OH)_2$	88.9328	04916	$NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	482.156	68322	Nb_2O_5	361.872	58135
$Mn_2P_2O_7$	283.829	45304	$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$	362.143	59344	Nb_2O_5	270.038	44711
MnS	87.0041	07954	NEt_4HCO_3	75.0559	69733	Nb_2O_5	102.844	01239
MnSO	151.0017	17898	NH_4HCO_3	51.0434	76822	Nb_2O_5	128.925	14278
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	223.5628	34847	NH_4HPO_4	115.029	06580	Nb_2O_5	150.852	17667
$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	241.5781	36216	$(NH_4)_2HPO_4$	132.057	12676	Nb_2O_5	82.0348	91400
$MnSO_4 \cdot 7H_2O$	277.1087	41263	$(NH_4)_2HPO_4$	51.111	70851	Nb_2O_5	136.081	13360
Mo	95.94	98200	NH_4HSO_4	115.110	06111	Nb_2O_5	230.062	36188
MnO_2	143.94	15818	$(NH_4)_2Ti(SO_4)_4$	460.00	67116	(酒石酸钠)		
MnO_3	109.94	20526	NH_4I	141.0430	16120	$Nb_2O_5 \cdot 5/2H_2O$	357.153	55236
$MnO_2(C_2H_3O_2)_2$	416.25	61535	$(NH_4)_5MnO_7 \cdot 4H_2O$	1235.0	09197	(柠檬酸钠)		
(8-羧基喹啉)			NH_4NO_2	64.0411	80648	Nb_2O_5	210.098	32242
MnS_2	190.07	20551	NH_4NO_3	80.0457	90333	(邻苯二甲酸钠)		
			$NH_4NaHPO_4 \cdot 4H_2O$	209.050	32629	$NaCN$	49.0077	60026
			NH_4OH	20.0109	34461	Na_2CO_3	105.9893	92526

续表

化 学 式	α	$\lg \alpha$ (尾数)	化 学 式	α	$\lg \alpha$ (尾数)	化 学 式	α	$\lg \alpha$ (尾数)
NaClO	74.442	87182	$\text{Na}_2\text{MnO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	241.95	38273	(十二酮脲盐)		
NaClO_2	705.441	02711	NaN_3	95.0098	81288	$\text{Na}(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2)(\text{SC}_2\text{N}_2)$	431.26	62131
NaClO_3	122.440	08792	N_2NH_2	29.0124	59120	(邻氯酸酐吡啶盐)		
$\text{Na}_2\text{Co}(\text{NO}_2)_6$	403.926	60631	$\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$	139.008	15575	$\text{Na}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{N})_2$	130.25	51976
$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	161.970	20944	$\text{NaNH}_4\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	213.059	32629	(邻氨基苯甲酸盐)		
$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	234.035	35328	NaN_3	68.9953	83882	$\text{NE}(\text{C}_2\text{H}_4\text{ON})_2$	347.00	54032
$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_5$	251.567	41825	NaN_2O_2	84.9947	32939	(8-苄基咪唑盐)		
$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	287.998	47421	NaN_2O_2	61.9796	79224	$\text{N}(\text{C}_2\text{H}_4\text{ON})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	363.03	58223
NaF	41.9882	623.5	Na_2O	77.9784	85197	NiCO_3	118.76	67447
$\text{Na}_2\text{F}_2(\text{CN})_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	484.07	58491	Na_2O_2	38.9072	69203	$\text{Ni}(\text{CO})_4$	170.73	23232
$\text{Na}_2(\text{Fe}(\text{CN})_2\text{NO}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (亚硝基五 氰络铁酸钠)	297.933	47415	Na_3PO_4	161.8618	66844	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	231.68	37601
Na_2HAsO_4	165.9074	23021	Na_3PO_3	182.841	24469	NiCl_2	125.50	11261
Na_2HAsO_3	185.837	26556	$\text{Na}_3\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	360.124	73753	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	182.70	28174
$\text{Na}_2\text{HAsO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	312.914	43417	$\text{Na}_3\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	285.503	62472	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	290.79	46358
$\text{Na}_2\text{HAsO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	402.001	59437	Na_2S	446.966	64939	$\text{Ni}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	395.58	55668
$\text{NaHC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	72.076	23571	$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	78.045	89235	$6\text{H}_2\text{O}$		
(酒石酸氢钠)			NaSCN	240.183	38054	NiO	74.59	81336
$\text{NaHC}_2\text{H}_3\text{O}_4$	188.115	27440	Na_2SO_3	81.074	50888	Ni_2O_3	165.48	21884
(邻苯二甲酸氢钠)			$\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	126.042	10051	$\text{Ni}_3\text{P}_2\text{O}_7$	291.32	46437
$\text{Na}_2(\text{H}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_6)_2 \cdot \text{Na}_2$	426.969	52661	Na_2SO_4	252.151	40166	NiS	95.78	96788
(EDTA二钠)			$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	42.043	5232	NiSO_4	154.75	18981
$\text{Na}_2\text{H}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_6\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (EDTA二钠二水合物)	379.940	57682	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	522.156	50812	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	380.86	45819
NaHCO_3	84.0071	92432	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	158.116	19896			
NaHCO_3Cl	112.3.8	04928	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	248.185	39478			
$\text{NaHCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	136.032	1405	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	374.009	57082	O_2H	15.1893	20410
NaH_2PO_4	87.0783	94465	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	216.14	32251	O_2H_2	31.0345	49189
NaH_2PO_4	119.977	37419	Na_2SiF_6	190.08	27698	O_2H_2	15.9618	65381
$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	116.998	15315	Na_2SiO_3	238.107	37677	O_2CN	19.0773	62545
Na_2HPO_4	141.359	15216	$\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	461.121	62225	OH	17.0071	23164
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	177.909	25040	Na_2TeO_3	172.91	23790			
$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	358.143	54495	Na_2TeO_4	188.035	27428	O_2	190.23	27028
NaHS	58.961	74698	Na_2TeO_5	222.064	38658	O_2Cl_2	552.03	52138
NaHSO_3	104.662	61722	Na_2TiO_3	288.734	12606	O_2O_2	225.23	24660
NaHSO_4	120.661	67940	$\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{O}_5$	614.053	80211	O_2O_2	274.23	40815
NaHSO_5	150.96	17886	$\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	742.1249	87048			
NaI	146.8042	77578	$\text{Na}_2\text{VO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	135.351	28774	P	30.9738	49669
NaIO_3	187.8521	29613	Na_2WO_4	293.30	46805	PBr_3	270.886	43247
NaIO_4	215.852	35019	$\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	825.83	5.828	PCl_3	137.333	13777
$\text{NaKC}_2\text{H}_3\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	287.271	45659	$\text{NaZn}(\text{UO}_2)_2$	1337.96	13694	PCl_5	208.24	21856
(酒石酸铀钾)			$(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			PH_3	33.9976	50117
$\text{NaMg}(\text{UO}_2)_2$	5496.871	17518				PO_2	62.9726	79915
$(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			Ni	58.69	76856	PO_3	73.9720	89745
Na_2MnO_4	225.92	31379	$\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	248.44	34592	PO_4	94.9714	97755
			$\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$	268.871	48577	P_2O_5	109.9458	04118
						P_2O_6	141.845	15212
						P_2O_7	173.943	24041
						POCl_3	153.332	18552
						$\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 24\text{MnO}_4$	3596.8	57588
						Ph	76.92	7.435

续表

化 学 式	量 μ	$\lg a$ (居数)	化 学 式	量 μ	$\lg a$ (居数)	化 学 式	量 μ	$\lg a$ (居数)
PbBr ₂	307.50	56467	PbS	238.49	14141	Sh	121.75	98647
Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	325.29	51227	PbSO ₄	252.48	30639	ShC ₂ H ₃ O ₂ (热稳定性)	262.85	41071
Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 2H ₂ O	379.34	57902	PbSO ₄ · 2H ₂ O	238.51	37751	Sh(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	554.21	74367
Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	323.45	50980	Pt	195.08	29024	(8-羟基喹啉鎓)		
Pb(C ₂ H ₃ N ₂) ₂ · OH	390.45	59187	PtCl ₂	336.89	32749	Sh(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	370.60	83682
(氧氯化砷基苯并噻唑衍)			PtCl ₄	407.90	61044	(羧乙酰胺基砷鎓)		
Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	179.46	68075	PtS	227.15	35631	SiCl ₃	228.11	35814
(邻氨基苯甲酸衍)			Rb	85.4678	93150	SiCl ₄	299.02	17070
Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	750.60	88116	RbARSO ₄ · 12H ₂ O	520.7599	71664	ShI ₃	502.46	70117
Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 1/2 H ₂ O (苦味酸衍)			RbCO ₃	230.9448	36351	SiOCl	173.20	23851
Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	623.77	89602	RbCl	120.9205	68250	Sh ₂ O ₃	231.60	46165
(羧乙酰胺基砷鎓)			RbClO ₄	184.9181	26608	Sh ₂ O ₄	323.50	50987
PbCO ₃	267.21	42685	RbI	212.3723	32710	Sh ₂ S ₃	250.91	39796
PbCl ₂	278.11	44421	RbNO ₃	147.4727	16871	Sh ₂ S ₅	403.83	60626
PbCl ₄	349.01	54284	Rb ₂ O	186.035	27149	Se	14.4554	68279
PbCl ₂ · H ₂ O	261.65	41772	Rb ₂ CO ₃	578.7318	78248	Se ₂ O ₃	127.9109	13900
PbCl ₂ · H ₂ O	323.19	50946	Rb ₂ SiO ₄	240.9992	42651	Se ₂ O ₅	78.90	39741
PbF ₂	245.20	38951	Re	186.207	26999	Se ₂ O ₆	110.26	64517
PbI ₂	461.01	68371	ReCl ₃	292.205	40022	Se ₂ O ₇	125.56	10367
PbMoO ₄	367.11	56483	ReCl ₄	303.471	56045	SeO ₂	142.96	15521
Pb(NO ₃) ₂	331.21	52910	ReO ₂	214.205	33887	Si	28.086	44449
PbO	223.20	34845	ReO ₃	231.205	36560	SiC	40.097	60411
PbO ₂	239.20	37876	ReO ₄	253.205	39830	SiCl ₄	169.90	23019
Pb ₂ O ₃	585.60	83657	Re ₂ O ₇	454.410	58521	SiF ₄	104.080	61737
Pb(OH) ₂	241.21	38240	Rh	102.9055	61244	SiF ₆	142.076	15232
PbS	239.27	37888	RhCl ₃	209.2636	32089	SiH ₄	32.118	50655
PbSO ₄	287.26	44828	RhCl ₄	184.2043	13903	SiO ₂	60.085	77877
PbSO ₄	302.26	48182	Rh ₂ O ₃	251.8082	40451	SiO ₃	76.064	88129
PbWO ₄	415.02	64802	Ru	101.07	98902	SiO ₄	52.084	96418
Pb	106.42	02694	RuCl ₃	165.07	41767	Si ₂ O ₅	168.168	22374
Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	356.54	62717	RuCl ₄	32.465	50602	Si ₂ O ₆	212.251	32585
(十二酮基砷)			S	32.084	76405	Sn	118.710	07449
Pd(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	378.68	57827	SCN	33.074	51949	SnCl ₂	260.521	41544
(水杨醛衍或邻氨基苯甲酸衍)			SH	54.065	80632	SnCl ₂ · 2H ₂ O	225.646	35343
Pd(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	384.73	59630	SiO ₂	60.064	90344	SnCl ₄	260.521	41544
(8-羟基喹啉鎓)			SiO ₃	51.072	90887	SnO	134.799	12940
Pd(CN) ₂	158.46	19891	SiO ₄	103.054	61306	SnO ₂	150.709	17814
PdCl ₂	177.33	24577	SiO ₅	66.064	98255	SnS	150.176	17835
PdCl ₂ · 2H ₂ O	213.36	32519	Si ₂ O ₆	112.150	64972	SnS ₂	226.842	26238
PdCl ₄	248.23	39485	Si ₃ O ₄	128.130	10765	SnS ₃	214.508	33295
PdCl ₆	375.14	56598	Si ₄ O ₄	176.128	24433	Sr	87.62	94280
PdI ₂	360.23	55658	Si ₅ O ₄	192.127	28359	Sr(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 1/2 H ₂ O	274.72	35367
Pd(NO ₃) ₂	236.43	36254	Si ₆ O ₄	224.260	37375			
PdO	122.42	08785	Si ₇ O ₄					

'安表'

化 学 式	分子量	M_n (g/mol)	化 学 式	分子量	M_n (g/mol)	化 学 式	分子量	M_n (g/mol)
SrCO_3	147.63	24462	$\text{Th}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_4$ 酰基	356.61	58381	WCl_6	1184.85	28132
$\text{SrC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	198.26	24704	$\text{Th}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_4$ 羧基	456.687	60363	WCl_5	861.11	33754
SrO	145.35	13917	$\text{Th}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_4$ NS			$\text{WO}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2$	503.15	27276
SrCl_2	158.55	22611	(直乙酰基羧基)			(直乙酰基羧基)		
$\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	256.62	32138	Th_2O_3	270.436	27061	W_2O_7	211.84	30521
SrC_2O_4	230.81	30326	Th_2O_4	524.769	51998	WO_4	247.84	31019
$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	211.82	32658	Th	83.128	33021			
$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	258.69	45234	ThNO_3	266.588	42541	Y	88.906	24894
SrO	137.67	10324	Th_2O_3	424.765	62815	Y_2O_3	225.826	35394
$\text{Sr}(\text{OH})_2$	121.63	10304	Th_2O_4	456.765	63968			
$\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	268.75	43449	ThOH	221.391	34516	Zn	65.38	91536
SrSO_4	197.68	22417	$\text{Th}_2\text{O}_4\text{Cl}_2$	516.553	91048	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2$	183.48	26558
SrSO_4	183.65	26405	Th_2S	441.833	61427	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	219.51	34145
SrSi_2O_7	196.75	30549	Th_2SiO_4	504.830	76315	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2$ (S, N)	333.76	53117
Th	180.9479	38381	U	238.0289	37663	(直氯化 非亚磷酸)		
ThCl_4	358.2714	54774	UCl_4	319.8397	51160	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	(第基基基甲酯)		
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
ThCl_4	358.2714	54774	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th_2O_3	411.5920	61112	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	317.65	52847
Th	180.9479	38381	UF	312.0235	47676	$\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_2\text{N}_2$	31	

第四节 离子的基本参数

一、离子半径

表 1-39 结晶离子半径

结晶离子半径指晶体中正负离子的接触半径,即把离子晶体中正负离子看成相互接触的圆球,正负离子中心间的距离就等于正负离子半径的和, $d=r_++r_-$, d 可通过晶体X射线分析实验加以测量,然后计算正负离子的半径。表中所列数据是按晶格的配位数为6的离子半径,对其他配位数可按下表加以校正:

配位数	4	6	8	12
离子半径校正因数	0.84	1.00	1.03	1.05

表中按元素符号顺序排列。

元素	离子电荷	离子半径 $d/(10^{-10}\text{m})$	元素	离子电荷	离子半径 $d/(10^{-10}\text{m})$	元素	离子电荷	离子半径 $d/(10^{-10}\text{m})$
Ac	+3	1.11	CN ⁻	-1	1.32	F	-1	1.36
Ag	+1	1.26	Co	+2	0.99	Fe	+2	0.67
	+2	0.87	Cd	+1	1.14		+2	0.76
Al	+3	0.59		+2	0.87		+3	0.83
Am	+3	0.99	Cr	+1	1.89	Fm	+2	1.15
	+4	0.89		+3	1.03		+3	0.97
	+5	0.86		+4	0.92		+4	0.84
	+6	0.80	Cf	+2	1.17	Fr	-1	1.76
Ar	-1(气体)	1.54		+3	0.98	Ga	+3	0.62
As	+3	2.32		+4	0.86	Gd	+3	0.94
	+3	0.58	Cl	-1	1.81	Ge	-1	2.72
	+5	0.47		+3	0.34		+2	0.70
At	-1	2.27		+7	0.28		+4	0.53
	+5	0.57	ClO ₄ ⁻	-1	2.36	H	-1	2.08
	+7	0.51	Co	+2	0.74	He	+1	19.77
Au	+1	1.37		+3	0.63		+1(气体)	0.53
	+2	1.05	Cr	+1	0.81	Hf	+4	0.78
	+3	0.81		+2	0.84	Hg	+1	1.27
B	+1	0.35		+3	0.64		+2	1.10
	+3	0.20		+4	0.64	Hs	+3	0.89
BF ₃	-1	2.28		+6	0.52	I	-1	2.16
Bz	+2	1.36	CrO ₄ ²⁻	-2	3.00		+5	0.62
Br	-1	1.96	Cu	+1	1.10		+7	0.50
	+2	0.81		+3	0.59	In	-1	1.32
	+3	0.13		+4	0.88		+3	0.81
	+5	0.99	Cs	+1	1.89	Ir	-2	0.89
	+6	0.74	Cu	-1	0.96		+4	0.75
Hk	+2	1.18		+2	0.72		+4	0.64
	+3	0.98	Dy	-3	0.91		+6	0.56
	+4	0.87	Er	+3	0.68	K	+1	1.33
Br	+1	1.96	Es	+2	1.16	Kr	-1(气体)	1.69
	+5	0.47		+3	0.98	La	+3	1.06
	+7	0.39		+4	0.85	Li	+1	0.88
C	-4	2.60	Eu	+2	1.12	Lu	+3	1.12
	+4	0.15		+3	0.93		+3	0.94

续表

元素	离子电荷	离子半径 $d_r(10^{-10}\text{m})$	元素	离子电荷	离子半径 $d_r(10^{-10}\text{m})$	元素	离子电荷	离子半径 $d_r(10^{-10}\text{m})$
	-5	0.83		+5	0.90	SiO_4^{4-}	-4	2.86
Li	+5	0.85	Pb	-1	2.15	Sn	-2	2.11
Be	+3	1.13		-2	1.29		-3	0.96
	+5	0.96		-4	0.84	Sn	-4	2.91
	+4	0.84	Pd	+2	0.86		-1	3.76
Mg	+2	0.65		-4	0.64		+2	1.62
Mn	+2	0.80	Pm	-3	0.56		+5	0.71
	+3	0.62	Yb	-2	2.30	Sr	+2	1.13
	+4	0.54		-4	0.66	Po	-5	0.7
	+7	0.16		-6	0.36	Tb	+3	0.82
Mo	-4	0.68	Er	+3	1.61		+4	0.84
	+6	0.62		+4	0.90	Yb	-2	0.55
MoO_4^{2-}	-2	3.45	Pr	+3	0.85		+4	0.42
N	-3	1.71		+4	0.70		+7	0.58
	+1	0.25	Pu	+3	1.00	Ta	-2	2.21
	+3	0.11		+4	0.90		-1	2.56
	+5	0.11		+6	0.67		+4	0.81
NH_4^+	+1	1.59		+6	0.81		+6	0.56
NO_3^-	-1	1.89	Ra	+2	1.40	Th	-3	1.36
Na	+1	0.95	Rh	-1	1.48		-4	0.99
NI	+4	0.74	Rc	+4	0.72	Ti	-1	0.95
	+5	0.70		-6	0.61		-2	0.60
Ni	+3	1.00		-7	0.60		-3	0.77
Ni	+2	0.72	Rf	-2	0.86		+1	0.68
	+3	0.62		-3	0.75	U	+1	1.42
No	+2	1.13		+4	0.67		+3	0.95
	+3	0.95	Ru	+3	0.77	Um	+3	0.04
	-4	0.93		+4	0.63		+4	0.87
Np	+3	1.37		+6	0.54	U	-3	1.03
	+4	0.82	S	-2	1.84		+5	3.42
	-5	0.86		-1	2.19		-5	0.87
	-6	0.82		+4	0.37		-6	0.83
O	-2	1.40		+6	0.29	V	+2	0.88
	-1	1.76	SH_4		0.00		+3	0.74
	+1	0.22	SO_4^{2-}		2.95		+4	0.60
	+6	0.09	HSO_4^-		3.06		+5	0.59
OH	-	5.5(1-33)	Sb	-3	2.45	W	-4	0.68
Os	+2	0.89		-3	0.90		+6	0.65
	+3	0.81		-6	0.62	Xe	+1(气体)	1.90
	+4	0.65	Se	-3	0.81	Y	+3	0.93
	-6	0.6	Se	-2	1.98	Yb	+2	1.13
	+6	0.53		-1	2.32		-3	0.88
P	-3	2.12		+4	0.69	Zn	-1	0.85
	-3	0.42		-6	0.42		-2	0.74
	-5	0.34	Si	-4	2.74	Zr	-1	1.09
PCl_4	-	3.00		-1	3.34		+4	0.79
Pa	+2	1.65		+1	0.65			
	+4	0.90		+4	0.47			

表 1-40 水溶液中离子的有效半径

表中列出在 35°C 有关水溶液中离子半径的近似有效数值。

离子半径 $d/(10^{-10}\text{m})$	无机离子
2.5	Rb ⁺ , Cs ⁺ , NH ₄ ⁺ , Tl ⁺ , Ag ⁺
4	K ⁺ , Cl ⁻ , Br ⁻ , I ⁻ , CN ⁻ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻
3.5	OH ⁻ , F ⁻ , NCS ⁻ , NCO ⁻ , HS ⁻ , ClO ₃ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , BrO ₃ ⁻ , IO ₃ ⁻ , MnO ₄ ⁻
4	Na ⁺ , CdCl ⁺ , Hg ²⁺ , ClO ₂ ⁻ , IO ₄ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , HSCN ⁻ , H ₂ AsO ₄ ⁻ , SO ₃ ⁻ , S ₂ O ₃ ⁻ , S ₂ O ₈ ⁻ , SeO ₄ ⁻ , ClO ₂ ⁻ , HPO ₄ ⁻ , S ₂ O ₈ ⁻ , PO ₄ ⁻ , (Fe(CN) ₅) ³⁻ , (Co(NH ₃) ₅) ³⁺ , (Co(NH ₃) ₄) ²⁺ , (Co(NH ₃) ₅)(H ₂ O) ³⁺
4.5	Pb ²⁺ , CO ₃ ⁻ , SO ₃ ⁻ , MoO ₄ ⁻ , (Co(NH ₃) ₅)Cl ²⁺ , (Fe(CN) ₅)NO ₂ ³⁻
5	Sr ²⁺ , Ba ²⁺ , Ra ²⁺ , Cd ²⁺ , Hg ²⁺ , S ²⁻ , S ₂ O ₃ ⁻ , WO ₄ ⁻ , (Fe(CN) ₆) ³⁻
6	Li ⁺ , Ca ²⁺ , Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , Sn ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe ²⁺ , Ni ²⁺ , Co ²⁺ , (Co(en) ₃) ³⁺ , (Co(SO ₄))(CN) ₂ ²⁺
8	Mn ²⁺ , Fe ³⁺
9	H ⁺ , Al ³⁺ , Fe ³⁺ , Cr ³⁺ , Se ²⁺ , Y ³⁺ , La ³⁺ , Be ²⁺ , Ce ³⁺ , Pr ³⁺ , Nd ³⁺ , Sm ³⁺ , (Co(SO ₄))(CN) ₂ ²⁺
11	Th ⁴⁺ , Zr ⁴⁺ , Ce ⁴⁺ , Sn ⁴⁺
离子半径 $d/(10^{-10}\text{m})$	有机离子
3.5	HCOO ⁻ , CH ₃ NH ₃ ⁺ , (CH ₃) ₂ NH ₂ ⁺ , H ₂ C=CH ⁺
4	NH ₃ CH ₂ COO ⁻ , (CH ₃) ₂ NH ⁺ , C ₆ H ₅ NH ₂ ⁺
4.5	(CH ₃) ₃ CO ⁺ , (CH ₃) ₂ CHCO ⁺ , (CH ₃) ₂ N ⁺ , (C ₂ H ₅) ₂ NH ₂ ⁺ , NH ₃ CH ₂ COO ⁻ , (COO) ⁻ , HCO ⁺
5	CHCl ₂ COO ⁻ , CCl ₃ COO ⁻ , (C ₂ H ₅) ₃ NH ⁺ , (C ₂ H ₅) ₂ NH ₂ ⁺ , H ₂ C=CHCOO ⁻ , (CH ₃ COO) ⁻ , (CH ₃ CHCOO) ⁻ , Cl ⁺
6	C ₆ H ₅ COO ⁻ , C ₆ H ₅ OHCOO ⁻ , ClC ₂ H ₄ COO ⁻ , C ₂ H ₅ CH ₂ COO ⁻ , CH ₃ -CHCH ₂ COO ⁻ , (CH ₃) ₂ C=CHCOO ⁻ , (C ₂ H ₅) ₂ N ⁺ , (C ₂ H ₅) ₃ NH ⁺ , C ₆ H ₅ (COO) ⁻ , H ₂ C=CHCOO ⁻ , (CH ₃ CH ₂ COO) ⁻
7	(OC ₂ H ₅) ₂ CO ⁻ , (C ₂ H ₅) ₂ NH ⁺ , CH ₃ OC ₂ H ₄ COO ⁻ , OOC(CH ₂) ₃ COO ⁻ , OOC(CH ₂) ₄ COO ⁻
8	(C ₂ H ₅) ₃ CHCOO ⁻ , (C ₂ H ₅) ₃ N ⁺

① Cr——柠檬酸根。

二、各种离子的活度系数

活度系数 f 的大小是表示电解质溶液中离子间互相牵制作用。对稀溶液中活度系数只与溶液的离子的强度有关。离子强度是代表溶液中电场强弱的尺度，它与离子浓度、离子电荷的关系是：

$$I = \frac{1}{2} (m_1 z_1^2 + m_2 z_2^2 + \dots + m_n z_n^2)$$

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2$$

其中 I 代表离子强度 (单位是 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)； $m_1, m_2, \dots, m_n$ 代表溶液中各离子的质量摩尔浓度； $z_1, z_2, \dots, z_n$ 代表各离子的电荷数。在稀溶液中，质量摩尔浓度可视为与物质的量浓度相等，故在计算时可直接以物质的量浓度代入。

表 1-41 各种离子在不同离子强度溶液中的活度系数

无机离子	离子强度 $I/(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$		活度系数 f	离子强度 $I/(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$		活度系数 f	离子强度 $I/(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$		活度系数 f
	0.0005	0.001		0.0025	0.005		0.01	0.025		0.05	0.1
H^+	0.975	0.967	0.950	0.933	0.914	0.88	0.86	0.83	
Li^+	0.975	0.965	0.948	0.929	0.91	0.87	0.835	0.80	
$\text{K}^+, \text{Cs}^+, \text{NH}_4^+, \text{Ag}^+, \text{Tl}^+$	0.975	0.964	0.945	0.924	0.898	0.85	0.80	0.75	
$\text{K}^+, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{I}^-, \text{CN}^-, \text{NO}_2^-, \text{NO}_3^-$	0.975	0.961	0.945	0.925	0.896	0.85	0.805	0.755	

续表

无机离子 活度系数 离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	0.0005	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1
OH^- , P^{3-} , HS^{2-} , ClO_4^- , ClO_3^- , BrO_3^- , IO_3^- , MnO_4^- , OCN^- , SCN^-	0.975	0.964	0.946	0.926	0.900	0.855	0.81	0.76
Na^+ , $GdCl^{3+}$, ClO_4^- , IO_3^- , HCO_3^- , $H_2PO_4^-$, H_2SO_4 , $H_2AsO_4^-$	0.975	0.964	0.947	0.928	0.902	0.86	0.82	0.775
Hg_2^{2+} , SO_4^{2-} , $S_2O_8^{2-}$, $S_4O_6^{2-}$, $S_2O_3^{2-}$, SeO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , HPO_4^{2-}	0.903	0.887	0.865	0.840	0.809	0.745	0.695	0.655
Pb^{2+} , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Mg^{2+}	0.903	0.848	0.805	0.762	0.705	0.57	0.535	0.57
Se^{2+} , Fe^{2+} , Ra^{2+} , Ca^{2+} , Hg^{2+} , S^{2-} , $S_2O_3^{2-}$, WO_4^{2-}	0.903	0.568	0.805	0.764	0.67	0.555	0.465	0.36
Ca^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Sr^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+}	0.903	0.570	0.809	0.749	0.675	0.57	0.485	0.405
Mg^{2+} , Be^{2+}	0.906	0.872	0.818	0.758	0.69	0.595	0.52	0.47
PO_4^{3-} , $(Fe(CN)_6)^{4-}$	0.795	0.755	0.692	0.605	0.505	0.25	0.16	0.095
Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Se^{3+} , Y^{3+} , La^{3+} , In^{3+} , Ce^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+}	0.802	0.738	0.432	0.34	0.445	0.375	0.345	0.34
$(Fe(CN)_6)^{3-}$	0.468	0.57	0.425	0.31	0.20	0.10	0.048	0.021
Th^{4+} , Zr^{4+} , Ce^{4+} , Sn^{4+}	0.678	0.588	0.455	0.35	0.255	0.155	0.10	0.065
有机离子 活度系数 离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	0.0005	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1
$HC_2O_4^-$, $H_2C_2O_4$, $CH_3NH_3^+$, $(CH_3)_2NH^+$	0.975	0.964	0.946	0.926	0.900	0.855	0.81	0.76
$(COOCH_2NH_2)^+$, $(CH_3)_2NH^+$, $C_2H_5NH_3^+$	0.975	0.964	0.947	0.927	0.901	0.855	0.815	0.77
CH_3COO^- , $(CH_3)_4N^+$, CH_2ClCOO^- , $NH_2CH_2COO^-$	0.975	0.964	0.947	0.928	0.902	0.86	0.82	0.775
$CHCl_2COO^-$, CCl_3COO^- , $(C_2H_5)_2NH^+$, $C_2H_5NH_3^+$	0.975	0.964	0.947	0.928	0.904	0.865	0.83	0.79
CH_3COO^- , $C_2H_5OHCOO^-$, $C_6H_5COO^-$, $C_6H_5CH_2COO^-$, $H_2C^+-CHCH_2COO^-$, $(C_2H_5)_4N^+$, $(CH_3)_2C^+-CHCOO^-$, $(C_2H_5)_2NH^+$	0.975	0.965	0.948	0.929	0.907	0.87	0.835	0.80
$(OC_2H_4(NO_2)_2)^+$, $(C_2H_5)_2NH^+$	0.975	0.965	0.948	0.930	0.909	0.875	0.845	0.81
$(COO)_2$, $CH_2CH_2O_2^-$ (葡萄糖酸根)	0.905	0.867	0.804	0.741	0.662	0.55	0.45	0.36
$H_2C(COO)_2^-$, $(CH_2COO)_2^-$, $(CHOHCOO)_2^-$	0.903	0.868	0.805	0.744	0.67	0.555	0.465	0.38
$C_6H_5(COO)_2^-$, $H_2C(CH_2COO)_2^-$, $CH_2CH_2(COO)_2^-$	0.905	0.870	0.809	0.749	0.675	0.57	0.485	0.405
$C_6H_5O_2^-$ (葡萄糖酸根)	0.754	0.728	0.616	0.51	0.405	0.27	0.18	0.115

表 1-42 各种离子在离子强度值大的溶液中的活度系数

表中所列 $\lg f/\gamma^\infty$ 的函数值是根据德拜-休克尔经验式在 25℃ 高强度值时计算出来的。

$$\lg \frac{f}{\gamma^\infty} = \frac{0.511 \sqrt{I}}{1 + 1.5 \sqrt{I}} - 0.2I$$

其中 I 代表离子强度； f 代表离子活度系数； z 代表离子电荷数，数值从 1~6。

离子强度 $I/(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$	$\lg \frac{f}{\gamma^\infty}$	离子电荷数 z 时的活度系数 f					
		1	2	3	4	5	6
0.05	0.0755	0.840	0.498	0.205	0.0617	0.0129	0.00180
0.1	0.0896	0.814	0.438	0.156	0.0569	0.00876	0.00094
0.2	0.0988	0.800	0.410	0.135	0.0523	0.00380	0.000328
0.3	0.0986	0.808	0.422	0.144	0.0518	0.00457	0.000427
0.4	0.838	0.821	0.454	0.168	0.0424	0.00710	0.000815
0.5	0.0753	0.841	0.500	0.210	0.0624	0.0131	0.00185
0.6	0.0881	0.865	0.559	0.270	0.0898	0.0255	0.00635
0.7	0.0498	0.892	0.633	0.356	0.161	0.0575	0.0164
0.8	0.0352	0.920	0.723	0.482	0.273	0.132	0.0547
0.9	0.0201	0.956	0.831	0.658	0.477	0.314	0.183
1.0	0.0044	0.990	0.980	0.912	0.850	0.778	0.694

表 1-43 酸、碱、盐的平均活度系数 (25℃)

化 学 式	$\gamma^\pm (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
AgNO ₃	0.734	0.657	0.608	0.567	0.536	0.509	0.485	0.464	0.444	0.429
AlCl ₃	0.337	0.305	0.282	0.263	0.241	0.225	0.208	0.192	0.175	0.159
Al ₂ (SO ₄) ₃	0.085	0.0225	0.0178	0.0153	0.0143	0.0140	0.0142	0.0149	0.0153	0.0175
BaCl ₂	0.508	0.444	0.419	0.401	0.387	0.391	0.391	0.391	0.392	0.395
Ba(ClO ₄) ₂	0.524	0.481	0.464	0.450	0.442	0.460	0.477	0.487	0.500	0.513
BeSO ₄	0.180	0.109	0.0885	0.0759	0.0692	0.0635	0.0600	0.0570	0.0543	0.0530
CaCl ₂	0.618	0.472	0.455	0.448	0.448	0.453	0.460	0.470	0.484	0.500
Ca(ClO ₄) ₂	0.557	0.532	0.532	0.544	0.564	0.584	0.618	0.654	0.695	0.745
CaCl ₂	0.2280	0.1635	0.1329	0.1139	0.1005	0.0905	0.0827	0.0765	0.0712	0.0669
Cd(NO ₃) ₂	0.515	0.464	0.442	0.430	0.425	0.423	0.423	0.425	0.425	0.433
CdSO ₄	0.150	0.103	0.0822	0.0699	0.0615	0.0550	0.0505	0.0468	0.0438	0.0415
CaCl	0.522	0.479	0.462	0.450	0.442	0.470	0.470	0.402	0.511	0.531
CeCl ₃	0.337	0.298	0.294	0.300	0.314	0.333	0.352	0.397	0.436	0.481
Ce(NO ₃) ₃	0.319	0.285	0.270	0.281	0.291	0.304	0.322	0.344	0.371	0.401
Cr ₂ (SO ₄) ₃	0.418	0.3800	0.0238	0.0207	0.0160	0.0152	0.0180	0.0180	0.0184	0.0208
CsBr	0.754	0.694	0.654	0.620	0.603	0.593	0.571	0.558	0.547	0.530
CsCl	0.756	0.694	0.656	0.628	0.606	0.583	0.575	0.563	0.552	0.544
CsI	0.754	0.692	0.651	0.621	0.599	0.581	0.567	0.561	0.545	0.533
CsNO ₃	0.733	0.655	0.602	0.561	0.528	0.501	0.478	0.458	0.430	0.422
CsOH	0.795	0.761	0.744	0.730	0.733	0.742	0.748	0.754	0.762	0.771
CsAc	0.709	0.771	0.781	0.769	0.762	0.768	0.776	0.783	0.790	0.802
Cu ₂ SO ₄	0.453	0.382	0.338	0.311	0.291	0.274	0.260	0.257	0.247	0.237
CuCl ₂	0.510	0.457	0.430	0.419	0.413	0.411	0.411	0.412	0.410	0.419
Cu(NO ₃) ₂	0.512	0.461	0.440	0.430	0.427	0.426	0.432	0.438	0.446	0.456
CuSO ₄	0.150	0.101	0.083	0.070	0.062	0.056	0.053	0.048	0.047	0.042
FuCl ₂	0.520	0.475	0.450	0.450	0.452	0.456	0.465	0.475	0.480	0.508
HBr	0.805	0.782	0.777	0.781	0.785	0.801	0.815	0.832	0.850	0.871
HCl	0.796	0.787	0.756	0.755	0.757	0.763	0.772	0.783	0.790	0.805

续表

化 学 式	$c/\text{(mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{)}$									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
HClO ₄	0.893	0.798	0.758	0.706	0.789	0.779	0.788	0.788	0.802	0.825
HJ	0.818	0.807	0.811	0.823	0.835	0.850	0.863	0.908	0.935	0.963
HNO ₃	0.791	0.761	0.715	0.725	0.780	0.717	0.717	0.718	0.721	0.724
H ₂ SO ₄	0.216	0.209	0.185	0.187	0.155	0.145	0.142	0.137	0.124	0.152
KBr	0.772	0.722	0.695	0.673	0.657	0.648	0.636	0.609	0.622	0.617
KCl	0.770	0.718	0.688	0.666	0.649	0.637	0.626	0.613	0.610	0.604
KClO ₂	0.749	0.681	0.635	0.559	0.568	0.541	0.518	—	—	—
K ₂ CrO ₄	0.455	0.382	0.340	0.315	0.282	0.273	0.265	0.453	0.243	0.248
KF	0.775	0.727	0.700	0.682	0.670	0.661	0.654	0.650	0.646	0.645
K ₃ Fe(CN) ₆	0.268	0.212	0.184	0.167	0.155	0.146	0.140	0.135	0.131	0.128
K ₄ Fe(CN) ₆	0.135	0.0933	0.0808	0.0603	0.0614	0.0556	0.0512	0.0479	0.0454	—
KH ₂ PO ₄	0.731	0.655	0.602	0.561	0.529	0.501	0.477	0.456	0.438	0.421
KI	0.772	0.733	0.707	0.689	0.675	0.667	0.660	0.654	0.649	0.645
KNO ₃	0.739	0.663	0.614	0.578	0.545	0.519	0.486	0.476	0.459	0.443
KOH	0.776	0.739	0.721	0.713	0.712	0.712	0.715	0.721	0.728	0.733
KAc	0.796	0.766	0.754	0.750	0.751	0.754	0.759	0.766	0.774	0.783
KSCN	0.749	0.716	0.685	0.663	0.646	0.633	0.623	0.614	0.605	0.599
K ₂ SO ₄	0.416	0.358	0.313	0.283	0.281	0.243	0.229	—	—	—
KCH ₃ CO ₂	0.796	0.768	0.754	0.750	0.751	0.754	0.759	0.766	0.774	0.783
LiBr	0.795	0.765	0.756	0.752	0.755	0.758	0.767	0.777	0.780	0.813
LiCl	0.790	0.767	0.744	0.740	0.735	0.742	0.748	0.755	0.764	0.774
LiClO ₄	0.812	0.791	0.792	0.798	0.808	0.820	0.834	0.852	0.869	0.867
LiNO ₃	0.788	0.752	0.735	0.728	0.726	0.727	0.729	0.733	0.737	0.743
LiOH	0.760	0.702	0.665	0.618	0.617	0.595	0.585	0.573	0.563	0.574
LiAc	0.764	0.742	0.721	0.709	0.700	0.691	0.685	0.688	0.688	0.620
Li ₂ SO ₄	0.468	0.385	0.361	0.337	0.319	0.307	0.297	0.269	0.262	0.277
MgCl ₂	0.528	0.458	0.476	0.474	0.480	0.490	0.505	0.521	0.543	0.560
MgSO ₄	0.159	0.167	0.267	0.275	0.265	0.262	0.257	0.254	0.251	0.249
MnCl ₂	0.518	0.471	0.452	0.441	0.442	0.445	0.450	0.457	0.466	0.481
MnSO ₄	0.159	0.165	0.265	0.273	0.264	0.268	0.263	0.269	0.265	0.244
NH ₄ Cl	0.770	0.718	0.687	0.665	0.649	0.636	0.625	0.617	0.609	0.604
NH ₄ NO ₃	0.740	0.677	0.635	0.606	0.582	0.562	0.545	0.530	0.516	0.504
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.423	0.345	0.300	0.276	0.248	0.231	0.215	0.206	0.198	0.189
NaBr	0.782	0.741	0.719	0.704	0.697	0.692	0.688	0.683	0.683	0.683
NaCH ₃ CO ₂	0.791	0.767	0.744	0.737	0.725	0.736	0.749	0.745	0.752	0.757
NaCl	0.778	0.735	0.710	0.693	0.681	0.673	0.667	0.662	0.659	0.657
NaClO ₄	0.775	0.726	0.701	0.683	0.665	0.656	0.648	0.641	0.635	0.625
NaClO ₃	0.772	0.726	0.688	0.664	0.645	0.630	0.617	0.605	0.597	0.589
NaClO ₂	0.464	0.394	0.355	0.327	0.307	0.292	0.250	0.269	0.261	0.253
NaF	0.766	0.719	0.678	0.651	0.632	0.616	0.603	0.592	0.582	0.573
NaNO ₂	0.762	0.703	0.666	0.638	0.617	0.599	0.582	0.570	0.558	0.548
NaH ₂ PO ₄	0.744	0.675	0.629	0.593	0.569	0.538	0.517	0.489	0.483	0.468
NaI	0.787	0.731	0.735	0.727	0.723	0.723	0.724	0.727	0.731	0.736
NaAc	0.791	0.757	0.741	0.737	0.735	0.736	0.740	0.745	0.750	0.757
NaOH	0.761	0.725	0.706	0.695	0.688	0.683	0.680	0.677	0.676	0.677
NaSCN	0.787	0.756	0.731	0.720	0.715	0.712	0.710	0.710	0.711	0.712
Na ₂ SO ₄	0.432	0.271	0.323	0.284	0.230	0.252	0.237	0.225	0.213	0.204
NRJ	0.522	0.479	0.463	0.460	0.464	0.471	0.482	0.496	0.517	0.568
NiSO ₄	0.150	0.165	0.264	0.271	0.263	0.256	0.252	0.248	0.247	0.248
Pb(NO ₃) ₂	0.465	0.310	0.267	0.234	0.210	0.192	0.176	0.164	0.154	0.145
RbBr	0.765	0.766	0.673	0.650	0.632	0.617	0.605	0.595	0.586	0.578
RbCl	0.761	0.709	0.675	0.652	0.634	0.620	0.606	0.599	0.590	0.585
RbI	0.762	0.703	0.671	0.647	0.629	0.614	0.602	0.591	0.583	0.575

续表

化 学 式	$c / (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
RbNO ₃	0.734	0.658	0.605	0.565	0.534	0.508	0.485	0.465	0.446	0.430
RbAc	0.795	0.767	0.750	0.753	0.755	0.759	0.766	0.773	0.782	0.792
Rb ₂ SO ₄	0.451	0.374	0.331	0.301	0.279	0.263	0.249	0.238	0.228	0.219
SnCl ₄	0.511	0.461	0.442	0.433	0.430	0.431	0.434	0.441	0.445	0.461
Sn(NO ₃) ₂	0.478	0.410	0.373	0.348	0.329	0.314	0.302	0.292	0.283	0.275
TiCl ₃	0.735	0.652	0.593	0.559	0.527	—	—	—	—	—
TiNO ₃	0.702	0.606	0.517	0.500	—	—	—	—	—	—
UO ₂ Cl ₂	0.539	0.503	0.497	0.500	0.512	0.527	0.544	0.565	0.588	0.614
UO ₂ (NO ₃) ₂	0.543	0.512	0.515	0.518	0.534	0.555	0.578	0.608	0.641	0.679
UO ₂ SO ₄	0.150	0.102	0.0857	0.0689	0.0611	0.0566	0.0515	0.0483	0.0455	0.0439
ZnCl ₂	0.518	0.465	0.435	0.413	0.395	0.382	0.371	0.359	0.350	0.341
Zn(NO ₃) ₂	0.530	0.487	0.472	0.463	0.473	0.478	0.483	0.499	0.516	0.533
ZnSO ₄	0.150	0.106	0.084	0.071	0.063	0.057	0.053	0.049	0.046	0.044

表 1-44 酸、碱、盐高浓度溶液的平均活度系数 (25℃)

$m / (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$	AgNO_3	CaCl_2	HCl	HClO_4	KOH	LiCl	NH_4NO_3	NaOH
6	0.159	0.480	3.22	4.76	2.14	2.72	0.275	1.206
7	0.242	0.485	4.37	7.44	2.80	3.71	0.2865	1.499
8	0.129	0.496	5.00	11.83	3.66	5.10	0.2431	2.00
9	0.118	0.503	7.94	19.11	4.72	6.96	0.2318	2.54
10	0.109	0.508	10.14	30.9	6.05	9.40	0.2205	3.22
11	0.102	0.512	13.51	50.1	7.87	12.55	0.2104	4.00
12	0.096	—	17.25	80.8	10.2	16.41	0.2016	5.18
13	0.090	—	21.8	126.5	12.8	20.0	0.1956	6.48
14	—	—	27.3	205	15.4	26.2	0.1964	8.02
15	—	—	34.1	322	19.3	31.0	0.1717	9.71
16	—	—	42.4	500	23.9	37.9	0.1736	11.55
17	—	—	—	—	—	43.8	0.1679	13.43
18	—	—	—	—	—	48.9	0.1628	15.37
19	—	—	—	—	—	56.3	0.1579	17.33
20	—	—	—	—	—	62.4	0.1535	19.23

表 1-45 Debye-Hückel 方程式常数 (0~100℃)

$$-\lg f_i = \frac{Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + Ba_i \sqrt{I}}$$

式中 f_i 为 i 种离子的活度系数; z_i 为 i 种离子的电荷数; I 为离子强度; a_i 为离子体积参数, 约等于水溶液中离子的有效半径, 可查阅表 1-40。

温度 $t / ^\circ\text{C}$	单位体积溶液中 ^①		温度 $t / ^\circ\text{C}$	单位体积溶剂中 ^②	
	A	B		A	B
0	0.4918	0.3248	55	0.5432	0.3358
5	0.4852	0.3256	60	0.5494	0.3371
10	0.4989	0.3264	65	0.5568	0.3384
15	0.5028	0.3271	70	0.5625	0.3397
20	0.5070	0.3282	75	0.5695	0.3411
25	0.5115	0.3291	80	0.5767	0.3426
30	0.5161	0.3301	85	0.5842	0.3440
35	0.5211	0.3312	90	0.5920	0.3456
40	0.5262	0.3323	95	0.6001	0.3471
45	0.5317	0.3334	100	0.6086	0.3488
50	0.5373	0.3346			

- ① 单位质量溶剂中 (溶质的浓度用质量摩尔浓度表示时) 的 A 和 B 值, 可通过将表中相应温度下单位体积溶剂中 (此时溶质的浓度用物质的量浓度表示) 的 A 和 B 值乘以该温度下水的密度 (见表 1-59) 的平方根来获得。

第五节 溶液的基本参数

一、化合物在溶剂中的溶解度

表 1-46 重要无机化合物及某些有机化合物在水中的溶解度

化 学 式	结晶水	温度, °C									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	100
无 水 化 合 物 在 100g 水 中 的 溶 解 度/g											
Ag ₂ C ₂ H ₃ O ₂	—	0.72	1.04	1.04	1.21	1.41	1.64	2.33	2.18	2.32	—
AgCl	—	—	8.9×10 ⁻⁵	1.5×10 ⁻⁵	—	—	—	—	—	—	—
Ag ₂ SO ₄	2H ₂ O	—	119.8	172.6	194.1	222.0	—	—	—	—	—
Ag ₂ CO ₃	—	0.0011	—	—	0.0006	—	—	—	—	—	—
AgNO ₃	—	0.155	0.220	0.310	0.520	0.715	—	1.365	0.638	—	6.101
AgI	—	—	—	—	3×10 ⁻⁵	—	—	—	—	—	—
Ag ₂ NO ₃	—	177	222	—	300	376	460	525	—	604	952
Ag ₂ SO ₄	—	0.57	0.63	0.70	0.83	0.98	1.08	1.15	1.23	1.30	1.41
AlCl ₃	6H ₂ O	43.8	43.9	43.9	45.6	47.3	—	43.1	—	43.8	49.6
Al(NO ₃) ₃	9H ₂ O	51	57	55.4	87	89	96	108	125	132.5	159
Al ₂ (SO ₄) ₃	18H ₂ O	31.2	33.5	36.4	50.4	45.7	12.2	55.2	66.2	72.7	80.0
As ₂ O ₃	—	1.21	—	2.04(25°C)	—	2.93	3.13	4.44	3.62(75°C)	—	8.17
As ₂ O ₅	—	39.6	52.1	65.8	60.5	71.2	—	73.0	—	75.2	73.7
As ₂ S ₃	—	—	—	2.17×10 ⁻⁵ (18°C)	—	—	—	—	—	—	—
B ₂ O ₃	—	1.1	1.5	2.2	—	—	—	—	—	—	—
B ₂ O ₃	2H ₂ O	98	101	104	109	114	—	9.2	—	9.5	15.7
B ₂ (BO ₃) ₃	H ₂ O	0.287	0.311	2.655	0.86	1.63	1.73	123	128	137	144
B ₂ (C ₂ H ₃ O ₂) ₃	3H ₂ O	58	68	71	—	—	—	2.32	3.01	3.55	5.7
B ₂ (C ₂ H ₃ O ₂) ₃	H ₂ O	—	—	—	75	—	—	—	—	—	—
B ₂ O ₃	2H ₂ O	21.8	33.5	35.7	35.2	40.7	43.6	74	74	—	75
B ₂ (C ₂ H ₃ O ₂) ₃	H ₂ O	20.55	23.65	35.80	41.73	49.61	46.4	46.4	49.4	52.4	58.8
B ₂ (C ₂ H ₃ O ₂) ₃	3H ₂ O	200.3	285.2	—	—	353.7	66.40	—	—	64.83	101.9
B ₂ (C ₂ H ₃ O ₂) ₃	—	0.0002	0.00026	0.00037	0.00046	—	426.8	—	—	457.9	362.2

10

化 学 式	温度/℃									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	100
LiCl	188.8	184.1	236.1	219.8	226.7	236.8	244.3	246.6	257.3	270.9
NaCl	—	—	67.2	—	191.2	—	147.5	—	203.8	240
KCl	5.1	5.6	3.2	1.8	4.2	17.1	50.5	28.8	27.2	26.5
NaNO ₂	1.67	3.42	3.31	6.33	9.22	13.12	20.34	35.8	301.1	—
NaNO ₃	1.12×10 ⁻⁴	2.4×10 ⁻⁴	2.4×10 ⁻⁴	2.86×10 ⁻⁴	8.22	8.28×10 ⁻⁴	—	—	4×10 ⁻⁴	4.12×10 ⁻⁴
LiBr	—	—	2.1×10 ⁻⁴	2.12×10 ⁻⁴	5.8×10 ⁻⁴	5.8×10 ⁻⁴	—	—	—	—
LiClO ₄	55.4	—	—	52.8	—	58.0	64.0	—	—	—
KBrO ₃	37.0	—	32.3	43.78	46.7	51.5	58.5	62	—	—
NaBrO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NaBr	4.22	3.4	2.26	5.13	—	—	—	—	—	—
CO	4.4×10 ⁻⁴	3.7×10 ⁻⁴	2.8×10 ⁻⁴	2.4×10 ⁻⁴	2.1×10 ⁻⁴	1.82×10 ⁻⁴	1.5×10 ⁻⁴	1.2×10 ⁻⁴	1.0×10 ⁻⁴	—
CO ₂	0.3346	0.2315	0.1648	0.1257	0.0943	0.0761	0.0676	—	—	—
CaBr ₂	125	122	143	—	—	—	—	—	—	—
CaBr ₂ ·H ₂ O	—	—	—	—	68.1	78.2	—	—	73.7	—
CaCl ₂ ·H ₂ O	33.4	36.6	34.7	33.8	25.2	22.8	20.7	33.0	35.5	—
CaCl ₂ ·2H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31.2
CaCl ₂	2.1×10 ⁻⁴	7.6×10 ⁻⁴	6.3×10 ⁻⁴	5.2×10 ⁻⁴	4.1×10 ⁻⁴	2.8×10 ⁻⁴	—	—	—	—
CaCl ₂ ·4H ₂ O	—	6.7×10 ⁻⁴	6.8×10 ⁻⁴	—	—	5.2×10 ⁻⁴	—	—	14×10 ⁻⁴	—
CaCl ₂	26.2	65.2	74.5	92	—	—	—	—	—	—
CaCl ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CaCl ₂ ·6H ₂ O	6.1615	—	0.1660	—	0.1065	—	0.1750	—	—	—
CaCl ₂ ·6H ₂ O	—	—	17.2(23℃)	—	—	—	—	—	—	—
CaF ₂	182.5	191.1	208.8	222.5	242.1	—	284.5	—	—	150.9
CaF ₂ ·H ₂ O	2.10	0.17	—	0.42	0.61	0.60	1.26	—	0.1755	0.1849
CaF ₂ ·2H ₂ O	—	—	—	—	0.22	0.29	0.67	—	—	—
Ca(NO ₃) ₂	62.1	—	76.7	—	—	—	—	—	0.20	1.65
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ca(NO ₃) ₂	102.1	115.3	129.3	152.8	196.0	—	322.5	151.9	—	244.8

五、

[illegible]

化 学 式	结晶水	温度/°C									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	100
无 水 化 合 物 在 100g 水 中 的 溶 解 度/g											
HgCl_2	—	1.4×10^{-4}	—	2×10^{-4}	7×10^{-4}	3.6×10^{-3}	5.6×10^{-3}	10.4×10^{-3}	—	—	—
I_2	—	1.62×10^{-2}	1.9×10^{-2}	2.9×10^{-2}	4.0×10^{-2}	8.4	17.0	24.8	40.0	109.0	151
$\text{KAl(SO}_4)_3$	$12\text{H}_2\text{O}$	3.0	4.0	5.9	8.4	11.7	—	—	—	—	199
KAuBr_4	$2\text{H}_2\text{O}$	$16.3(15^\circ\text{C})$	36.5	61.2	94.0	145	289	463	—	—	—
KAuCl_4	$2\text{H}_2\text{O}$	—	—	2.0	—	—	—	—	—	—	5.2
KDeF_7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	104.0
KBr	—	55.5	55.5	55.5	70.8	75.5	85.2	85.1	90.5	95.2	104.0
KBrO_3	—	3.1	4.8	6.9	9.5	13.2	17.5	23.7	—	—	36.5
$\text{K}_2\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_6$	$1\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	218.7	235.9	255.6	285.8	323.4	—	—	—	—	—
$\text{K}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_4$	$1\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
KCN	—	63	—	$71.6(15^\circ\text{C})$	—	—	337.5	357.0	364.8	366.8	—
K_2CO_3	$1\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	106.3	135.3	110.5	112.7	116.0	121.3	126.4	133.5	139.8	147.5
$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$	H_2O	26.5	23.7	23.4	28.6	30.8	33.0	35.1	37.2	38.5	41.3
KCl	—	27.6	31.0	34.0	37.0	40.0	43.0	45.3	46.4	51.1	56.7
KClO_3	—	5.3	5.0	5.4	10.5	14.0	19.3	25.9	32.5	39.7	46.2
KClO_4	—	0.75	1.05	1.80	2.6	4.4	6.5	9.0	11.8	14.8	18.0
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	—	58.2	60.0	61.7	63.4	65.2	66.8	68.6	70.4	72.1	73.9
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_8$	—	6.0	6.5	13.1	18.2	29.2	37.0	50.5	61.6	73.0	96.2
$\text{KCr(SO}_4)_2$	$12\text{H}_2\text{O}$	—	—	12.5 (25°C)	—	—	—	—	—	—	—
KF	$4\text{H}_2\text{O}$	44.72	53.55	—	—	—	—	—	—	—	—
KF	$2\text{H}_2\text{O}$	—	—	94.93	138.1	—	—	—	—	—	—
KF	—	—	—	—	—	—	—	144.2	—	150.1	—
$\text{K}_2\text{Fe(CN)}_6$	—	~30	34.6	42.9	—	61.3	—	71.0	—	81.8	91.6
$\text{K}_2\text{Fe(CN)}_6$	$3\text{H}_2\text{O}$	14.9	21.2	28.9	36.8	42.7	—	53.9	57.5	68.6	77.8
KIO_3	—	22.5	27.7	33.3	39.1	45.3	52.2	56.0	—	—	—
$\text{KH}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$2\text{H}_2\text{O}$	1.27	—	—	4.23	—	—	12.6	—	—	35.7
$\text{KIO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(酒石酸氢钾)	—	0.02	0.40	0.53	0.90	1.3	1.8	2.5	—	4.6	7.0

续表

化 学 式	温度, $t/^{\circ}\text{C}$											溶解度
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
无 水 化 合 物 在 152g 水 中 的 溶 解 度												
$\text{KAl(SO}_4)_3$ (邻苯二酸铝钾)	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	35
KHF_2	24.56	30.19	38.18	—	58.57	—	78.83	—	—	114.2	—	—
KH_2PO_4	14.8	18.4	22.8	—	53.5	—	50.1	—	—	70.4	83.3	—
KHSO_4	56.3	—	51.4	—	97.3	—	—	—	—	—	—	151.8
K_2S	125.5	136	141	—	160	—	176	184	—	—	—	206
KIO_3	4.78	—	8.3	—	12.8	—	18.5	—	—	24.6	—	32.2
KIO_4	0.17	—	0.42	—	0.93	—	2.16	—	—	4.45	—	7.87
KMnO_4	2.83	4.4	6.4	—	12.58	16.89	22.2	—	—	—	—	—
KNO_3	278.8	—	358.4	—	334.8	—	350	—	—	375	—	412.9
KNO_2	13.2	26.9	35.8	—	63.9	85.5	110.5	128	—	169	202	248
$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$	28.4	40.6	54.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
KOH	57	103	112	—	126	—	—	—	—	—	—	—
KOH	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K_2PtCl_6	0.74	0.90	1.12	—	1.75	—	147	—	—	160	—	178
KSCN	177	196	212.5	—	290	—	2.55	—	3.19	3.70	4.45	5.18
K_2SO_3	160.2	108.6	106.0	—	138.7	—	352	—	420	488	575	674
K_2SO_4	7.35	9.22	11.11	—	138.7	—	—	—	15.75	171.4	122.5	—
$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$	28.4	38.2	44.7	—	61.0	16.56	26.17	—	21.4	22.4	24.1	—
$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	1.6	2.7	4.7	—	13.0	—	93.2	—	106.6	119.3	—	—
$\text{KSMX}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	—	5.5	8.0	—	—	—	—	31.2 (75 $^{\circ}\text{C}$)	—	—	—	35.9
KSiF_6	—	—	0.12	—	2.23	—	—	—	—	—	—	—
$\text{Li}_2\text{C}_2\text{O}_4$	8.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LiBr	143	166	177	—	205	—	—	—	—	—	—	—
LiBr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LiCO_3	1.31	1.13	1.33	—	1.17	—	224	—	225	—	—	226
LiCl	67	72	78.5	—	90.7	—	1.91	—	0.55	—	—	0.72
LiF	—	—	0.26 (18 $^{\circ}\text{C}$)	—	43.5	—	193	—	115	—	—	127.5

化 学 式	结晶水	温度 (°C)									
		无 水 化 合 物 在 100% 水 中 的 溶 解 度									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Li ₂	2H ₂ O	137	157	163	171	179	187	192	200	185	—
Li ₂ O	H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	481
LiNO ₃	3H ₂ O	58.4	61.0	74.3	32.5	143.1	158.4	174.8	—	—	—
LiNO ₂	2H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	18.1	—	—
LiNO ₂	H ₂ O	12.7	19.7	12.8	12.3	13	13.3	13.8	—	15.3	17.5
LiOH	H ₂ O	32.3	35.9	34.2	33.3	32.8	32.5	31.8	—	30.7	28.9
Li ₂ SO ₄	6H ₂ O	51.0	51.5	96.3	55.2	101.6	101.1	107.1	—	115.7	120.2
Mg ₂ Br ₂	6H ₂ O	52.2	52.5	51.5	—	57.5	—	51.0	—	49.0	73.0
MgCl ₂	6H ₂ O	135.8	—	139.8	—	173.2	—	—	—	187.7	—
Mg ₂ I ₂	8H ₂ O	135.8	—	139.8	—	173.2	—	—	—	187.7	—
Mg ₂ H ₂ As ₂ O ₄	6H ₂ O	—	—	3.8 × 10 ⁻²	—	—	—	—	—	2.4 × 10 ⁻²	—
Mg ₂ H ₂ PO ₄	6H ₂ O	2.3 × 10 ⁻²	—	3.2 × 10 ⁻²	—	4 × 10 ⁻²	—	4 × 10 ⁻²	—	1.9 × 10 ⁻²	—
Mg ₂ (NO ₃) ₂	6H ₂ O	62.6	—	79.1	71.8	73.9	84.5	91.2	—	106.2	132.1
Mg ₂ SO ₄	7H ₂ O	30.5	30.5	35.5	40.8	45.6	—	—	—	—	—
Mg ₂ SO ₄	6H ₂ O	40.2	42.3	44.5	55.4	—	50.1	55.0	55.6	51.2	73.5
Mg ₂ SO ₄	4H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	—	62.9	68.3
MnBr ₂	4H ₂ O	127.3	133.8	146.9	137.0	168.0	18.8	109.7	212.3	224.7	227.9
MnBr ₂	2H ₂ O	65.4	68.1	73.9	80.7	83.6	85.2	—	—	—	—
MnCl ₂	2H ₂ O	—	—	—	—	—	—	136.8	110.6	112.7	115.5
Mn(CH ₃ COO) ₂	H ₂ O	—	5.19 (14°C)	—	—	—	0.69	—	—	—	—
Mn(NO ₃) ₂	6H ₂ O	102.0	117.9	145.8	206.5	—	—	—	—	—	—
Mn(NO ₃) ₂	3H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn ₂ SO ₄	7H ₂ O	53.23	60.01	62.2	67.76	—	—	—	—	—	—
Mn ₂ SO ₄	5H ₂ O	—	35.5	64.5	65.4	—	—	—	—	—	—
Mn ₂ SO ₄	4H ₂ O	—	—	—	—	68.8	72.6	—	—	—	—
Mn ₂ SO ₄	H ₂ O	—	—	—	—	—	58.2	55.0	52.0	45.0	34.5
Mn ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NH ₃	—	89.7	68.3	52.5	40.5	31.5	25.1	16.8	11.1	5.0	0.0

续表

化 学 式	结晶水	温度 $t/^{\circ}\text{C}$										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$12\text{H}_2\text{O}$	2.72	4.81	7.17	10.10	14.29	19.1	26.3	37.7	53.8	96.2	125.7
NH_4Fe		69.6	68	75.5	73.2	91.1	99.2	107.8	116.2	125.0	133.8	145.6
$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	H_2O	2.4	3.2	4.5	6.0	8.2	10.7					
NH_4Cl		29.4	55.3	27.2	41.4	45.8	50.4	55.2	60.2	65.6	71.2	77.8
NH_4ClO_4		11.55		20.35		30.58		39.05		45.15		57.02
$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$6\text{H}_2\text{O}$	6.0	9.5	13.0	17.0	22.0	27.0	33.5	45.0	49.0		
$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$		25.31		52.95	40.4	58.5	51.87		81.83 (75°C)			
$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$		18.26		55.5	46.5	58.5	71.1	96.0		115.0		135.6
$\text{NH}_4\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$12\text{H}_2\text{O}$	3.9			11.9	18.3						
$\text{NH}_4\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$12\text{H}_2\text{O}$	3.9			13.0	32.8						
NH_4F		50	74					111				
$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$	$6\text{H}_2\text{O}$	17.8		26.9		36.5		53.4		73.0		
$\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$	$12\text{H}_2\text{O}$			124								
NH_4HCO_3		11.3	35.8	21	27	36.5						40.9
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$		171	150 (14.5°C)		350							
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$		22.7		36.8		56.7		82.8		120.7		174
$(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$		40.9	57.5	66.6		81.8		97.6	106.0			
NH_4F		154.2	163.2	172.3	181.4	190.5	199.6	206.9	218.7	226.4		233.8
NH_4HSO_4			55.24		55.64		56.24		56.72			
NH_4NO_3		115.3		192.0	241.8	297.0	344.0	421.0	499.0	590.0	710.0	871.0
$(\text{NH}_4)_2\text{M}_2\text{PO}_4$	$6\text{H}_2\text{O}$	0.023		0.062		0.166	0.630	0.640	0.015			
$(\text{NH}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$			0.7									
$\text{NH}_4\text{M}_2\text{PO}_4$	$7\text{H}_2\text{O}$			5		0		0	0.200	0.005		
NH_4SCN		119.6	143.9	175.2	207.7		235		347			
NH_4_2SO_4		75.6	73.0	73.1	78.0	91.0		68.0				
$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$		58.2										
$(\text{NH}_4)_2\text{SiO}_3$	H_2O	71.2		51.2	119.8							163.3

续表

续表

化 学 式	结晶水	温 度 / °C										
		0	10	20	30	40	50	55	70	80	90	100
(NH ₄) ₂ SO ₄	—	—	1.22 (12.0)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(NH ₄) ₂ SiF ₆	—	—	—	13.6	—	—	—	—	—	—	—	—
NH ₄ VO ₃	—	—	—	4.6	8.4	13.2	17.3	—	20.5	—	—	53.5
NaCl(101.3kPa)	9.34×10 ⁻³	7.57×10 ⁻³	6.13×10 ⁻³	5.17×10 ⁻³	4.43×10 ⁻³	3.78×10 ⁻³	3.25×10 ⁻³	2.67×10 ⁻³	2.14×10 ⁻³	—	—	0
NaCl(101.3kPa)	—	0.172	0.224	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ R ₂ O ₄	1.2	1.4	2.7	3.9	5.7	10.5	20.3	—	—	—	—	—
Na ₂ R ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ SO ₄	70.5	—	90.7	97.6	103.8	118.0	—	—	—	—	—	—
NaBr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NaBr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NaHCO ₃	27.5	—	34.5	—	40.2	—	62.5	—	—	—	—	121.3
Na ₂ C ₂ H ₃ O ₂	35.2	40.8	48.5	53.3	65.8	83	106	—	—	—	—	90.5
Na ₂ C ₂ H ₃ O ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	7	12.6	21.5	38.8	48.5	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NaCl	35.7	35.8	36.0	36.5	36.8	37.0	37.3	37.8	38.1	39.0	—	—
NaClO	25.4	35.4	35.4	36.0	36.8	37.0	37.3	37.8	38.1	39.0	—	—
NaClO ₂	79	84	101	113	124	140	155	172	185	—	—	—
NaClO	167	—	183	—	243	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	31.70	50.17	58.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	155.0	170.5	186.1	196.7	250.5	248.4	283.1	323.9	363.4	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO												

续表

化 学 式	结晶水	温度/℃										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
在水化合物在 100g 水中的溶解度/g												
Na_2SO_4	—	—	—	—	56.4	48.8	41.7	45.3	44.1	43.7	42.9	42.5
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	$5\text{H}_2\text{O}$	52.5	61.9	76.0	84.7	102.4	—	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	$2\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	—	—	206.5	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$7\text{H}_2\text{O}$	45.5	—	—	—	—	—	—	—	243	—	265
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	—	—	—	65.3	—	71.1	—	70.9	—	88.7	—	100
Na_2SeO_3	$10\text{H}_2\text{O}$	15.16	—	—	78.44	—	—	—	—	—	—	—
Na_2SeO_4	—	—	—	—	—	—	80.12	—	—	—	—	72.83
Na_2SiF_6	—	0.42	—	3.73	—	1.33	—	—	—	1.86	—	2.46
NaVO_3	$2\text{H}_2\text{O}$	—	—	35.3 (25℃)	—	30.2	—	65.4	—	—	—	—
NaVO_3	—	—	—	27.10 (25℃)	—	26.25	—	32.97	36.6	33.2 (75℃)	—	—
Na_2WO_4	$10\text{H}_2\text{O}$	57.58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na_2WO_4	$2\text{H}_2\text{O}$	71.61	—	72.4	—	77.5	—	—	—	91.2	—	57.2
$\text{Ni}_2(\text{SO}_4)_3$	$3\text{H}_2\text{O}$	9.6	—	7.1	5.3	4.1	3.3	2.6	2.5	—	1.2	1.2
NiBr_2	$3\text{H}_2\text{O}$	112.8	122.4	130.5	136.1	141.5	150.0	152.5	—	153.8	—	155.1
NiCl_2	$6\text{H}_2\text{O}$	37.7	—	52.3	—	—	—	—	—	—	—	—
NiCl_2	$4\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	12.5	—	50.5	—	—	—	—
NiCl_2	$2\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NiI_2	—	124.3	135.3	148.1	161	174.5	183.2	184.1	185.7	187.1	188.2	88.0
$\text{Ni}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_6$	$6\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	$6\text{H}_2\text{O}$	75.58	3.2	5.9	7.8	12.5	14.4	15.0	15.8	25.2	—	—
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	$4\text{H}_2\text{O}$	—	—	94.82	—	122.5	—	—	—	—	—	—
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	$2\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	—	—	163.1	177.3	—	—	—
NiSO_4	$7\text{H}_2\text{O}$	27.22	32	—	42.16	—	—	—	—	—	235.2	—
NiSO_4	$6\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O_2	—	6.346×10^{-3}	5.570×10^{-3}	4.335×10^{-3}	3.503×10^{-3}	3.081×10^{-3}	2.657×10^{-3}	2.174×10^{-3}	1.857×10^{-3}	1.581×10^{-3}	1.337×10^{-3}	0
O_3	—	3.0×10^{-4}	2.9×10^{-4}	2.1×10^{-4}	1.8×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1×10^{-4}	0	—	—	—	—

化 学 式	结晶水	n	温度 $t/^{\circ}\text{C}$										溶解度/g
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
			无 水 化 合 物 在 100g 水 中 的 溶 解 度/g										
PbBr_2	—	0.4574	—	0.32	3.15	1.53	1.94	2.36	—	3.34	—	—	0.75
$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$	$5\text{H}_2\text{O}$	—	43.6 (15 $^{\circ}\text{C}$)	55.6 (25 $^{\circ}\text{C}$)	—	—	—	—	—	—	—	—	200
PbCl_2	—	0.6728	—	0.20	1.20	1.45	1.70	1.96	—	2.62	—	—	8.32
PbCrO_4	—	—	—	4.3×10^{-4}	—	—	—	—	—	—	—	—	—
PbF_2	—	—	0.060	0.064	0.068	—	—	—	—	—	—	—	—
PbI_2	—	4.32×10^{-3}	—	6.5×10^{-3}	3.0×10^{-3}	12.5×10^{-3}	16.4×10^{-3}	1.57×10^{-2}	—	30.2×10^{-3}	—	15.6×10^{-3}	138.5
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	—	58.8	48.2	56.3	65	75	86	95	—	117	—	—	—
PbSO_4	—	2.8×10^{-3}	3.5×10^{-3}	4.1×10^{-3}	4.0×10^{-3}	3.6×10^{-3}	—	—	—	—	—	—	—
$\text{PbAl}(\text{SO}_4)_2$	$12\text{H}_2\text{O}$	0.72	—	2.59	—	3.52	—	7.59	—	43.25	—	—	80
RbCl	—	77.0	34.4	61.1	97.6	108.5	105.3	110.5	121.4	27.2	135.1	—	188.9
RbClO_4	—	4.14	—	5.4	8.0	—	15.36	—	—	—	—	—	62.8
RbCl_2	—	6.2	0.8	1.0	1.5	2.3	3.5	4.85	6.74	9.2	12.7	18	—
RbNO_3	—	19.5	35.0	53.2	81.8	118.7	155.6	202	261	356	375	452	—
Rb_2FCl_6	—	13.7×10^{-3}	20.5×10^{-3}	26.2×10^{-3}	30.5×10^{-3}	33.5×10^{-3}	—	99.7×10^{-3}	—	182×10^{-3}	—	334×10^{-3}	—
Rb_2SO_4	—	56.4	42.5	48.2	55.5	58.5	63.1	67.4	71.4	76.6	79.7	81.8	—
SO_3	—	22.83	18.21	21.29	7.81	5.41	4.5	3.2	2.5	2.1	1.8	—	—
SiCl_4	—	601.5	—	935.5	1668.0	1568.0	1315.0	4531.0	—	50	—	—	—
SnO_2	—	384.7	—	441.7	568.5	—	—	—	—	—	—	—	—
SnCl_4	$2\text{H}_2\text{O}$	83.9	—	268.8 (15 $^{\circ}\text{C}$)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SnI_4	—	—	—	1.0	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.4	4.0	—
SnSO_4	—	—	—	18	—	—	—	—	—	—	—	18	—
SrBr_2	$6\text{H}_2\text{O}$	85.2	55.0	102.4	111.5	125.2	135.3	150.0	—	181.8	—	222.5	—
$\text{Sr}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$	$4\text{H}_2\text{O}$	56.9	43.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\text{Sr}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_6$	$\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	—	45.55	51.0	55.5	—	37.35	—	36.24	36.10	35.24	36.4	—
SrCl_2	$6\text{H}_2\text{O}$	43.5	47.7	53.9	58.7	63.2	72.4	81.6	—	—	—	—	—
SrCO_3	H_2O	0.0031	0.0044	0.0048	0.0057	—	—	—	—	—	—	—	—
SrF_2	$2\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	—	—	—	31.9	46.5	—	100.8	—

米

[illegible]

续表

化 学 式	温度, $^{\circ}\text{C}$										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
元 素 化 合 物 在 100g 水 中 的 溶 解 度/g											
ZnCl_2	—	271.7	337.3	—	—	—	—	—	—	—	—
ZnCl_2	—	—	—	—	432.5	—	—	—	448.3	541.1	614.4
$\text{Zn}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$	$6\text{H}_2\text{O}$	145.7	152.5	—	—	—	—	—	—	—	—
$\text{Zn}(\text{ClO}_3)_2$	$4\text{H}_2\text{O}$	—	—	203.3	208.2	223.1	235.2	—	—	—	—
ZnI_2	$2\text{H}_2\text{O}$	450.7	457.2	484.9	—	—	—	—	—	—	—
ZnI_2	—	425.3	—	—	—	445.2	—	—	467.3	490.0	530.2
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	$6\text{H}_2\text{O}$	84.77	—	118.4	—	—	—	—	—	—	—
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	$3\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	206.5	—	—	—	—	—
ZnSO_4	$7\text{H}_2\text{O}$	45.9	47.0	54.4	—	—	—	—	—	—	—
ZnSO_4	$6\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—	70.1	77.0	—	—	—	—
ZnSO_4	H_2O	—	—	—	—	—	—	—	86.5	87.5	89.8

表 1-47 重要无机化合物在有机溶剂中的溶解度

(按化学式符号的顺序排列)

表中所列溶解度是指在 18°C ~ 25°C 于 100g 无水有机溶剂中最多所能溶解溶质的质量 (g)。

化 学 式	溶 解 度 g/g				
	乙 醇	甲 醇	丙 酮	吡 啶	其 他 溶 剂
AgBr	1.6×10^{-4}	7×10^{-5}	—	—	—
AgCl	1.5×10^{-5}	6×10^{-6}	1.5×10^{-6}	1.9	—
AgI	6×10^{-4}	2×10^{-5}	—	—	—
AgNO ₃	2.1	3.8	0.41	34	苯——0.02; 苯酚——J6
AlBr ₃	—	—	—	4.0	苯——25; 二硫化碳——150
AlCl ₃	—	—	—	—	苯——0.02; 氯仿——0.05; 四氯化碳——0.01
AlI ₃	—	—	—	—	—
Al ₂ (SO ₄) ₃	—	—	—	0.85	乙二醇——16.6
BaBr ₂	3.5	4.1	0.025	—	异戊醇——0.02
BaCl ₂	—	2.2	—	—	甘油——9.8
BaI ₂	77	—	—	3.2	—
Ba(NO ₃) ₂	1.3×10^{-2}	0.06	5×10^{-3}	—	—
BiCl ₃	—	—	18.0	—	乙醚乙酯——1.8
BiI ₃	3.5	—	—	—	—
Bi(NO ₃) ₃ · 5H ₂ O	—	—	41.7	—	—
CaBr ₂	53.8	16.2	2.73	—	异戊醇——25.6
CaCl ₂	25.6	23.2	0.91	1.60	异戊醇——7.6
CaI ₂	—	127	80	—	—
Ca(NO ₃) ₂	51	138	16.9	—	戊醇——7.5
CaSO ₄	—	—	—	—	甘油——5.2
CdBr ₂	30	16.1	18.1	—	乙醚——0.4
CdCl ₂	1.5	2.7	—	0.70	—
CdI ₂	113	223	42.8	0.45	乙醚——0.2
CdSO ₄	0.63	0.033	—	—	—
CeCl ₃	—	—	—	1.58 (0°C)	—
CeBr ₃	77	43	64	—	—
CeCl ₂	54	40	3.0	0.6	乙醚——0.02
Co(NO ₃) ₂	—	—	—	—	乙二醇——450
CoSO ₄	0.02	1.040	—	—	—
CoSO ₄ · 7H ₂ O	—	3.5	—	—	—
CuCl ₂	55.5	57.5	2.96	0.34	乙醚——0.11; 异戊醇——12
CuSO ₄	1.1	1.5	—	—	—
CuSO ₄ · 5H ₂ O	—	15.6	—	—	—
CrCl ₃	—	—	—	0.5	—
FeCl ₃	14.1	150	62.9	—	—
Fe ₂ (SO ₄) ₃ · 6H ₂ O	12.7	—	—	—	—
FeSO ₄	—	—	—	—	乙二醇——6.0
H ₃ BO ₃	11	—	0.5	7.1	甘油——22; 二噁烷——1.3
HI (气体)	69.3	85.7	—	—	苯——1.9; 乙醚——33.2
H ₂ PO ₄	—	—	—	—	乙醚——625
HgBr ₂	30	60	51	39.6	苯——0.7
Hg(CN) ₂	9.5	44.1	10.3	55	甘油——27.0 (15°C)
HgCl ₂	47	67	141	25	乙醇——7; 甘油——34.4 (25°C)
HgI ₂	2.2	3.8	5.4	31	氯仿——0.07; 乙醚——0.7
I ₂	28	—	—	—	氯仿——2.7; 四氯化碳——2.5; 二硫化碳——16; 甘油——307
KBr	0.46	2.1	0.03	—	异戊醇——0.002; 甘油——15.0 (25°C)
KCN	0.88	4.91	—	—	甘油——32
KCl	0.03	0.5	9.0×10^{-5}	—	甘油——3.7; 丙醇——0.004
KF	0.11	0.19	2.2	—	丙醇——0.34
KI	1.75	16.4	2.35	0.3	甘油——40; 乙二醇——50

续表

化 学 式	溶解度 m/g				
	乙 醇	甲 醇	丙 酮	吡 啶	其 他 溶 剂
KNO ₃	—	—	—	—	三氯乙烯——0.01
KOH	38	55	—	—	—
KSCN	—	—	20.8	6.15	—
LiBr	70	—	18.1	—	乙二醇——60
LiCl	25	43.4	1.2	12	甘油——11
LiI	250	343	44	—	乙二醇——39
LiNO ₃	—	—	31	33	异戊醇——10
MgBr ₂	15.4	27.9	2.0	0.5	乙醇——2.5
MgCl ₂	5.6	16.0	—	—	—
MgSO ₄	0.025	0.3	—	—	甘油——20
MgSO ₄ · 7H ₂ O	—	43	—	—	—
MnCl ₂	—	—	—	1.3	—
MnSO ₄	0.01	0.13	—	—	—
NH ₃	12.8	24	—	—	—
NH ₄ Br	3.4	12.5	—	—	—
NH ₄ Cl	6.6	3.3	—	—	甘油——0.0
NH ₄ ClO ₄	1.9	6.8	2.2	—	—
(NH ₄) ₂ CO ₃	—	—	—	—	甘油——20.0
NH ₄ NO ₃	2.5	17.1	—	0.3	—
NH ₄ SCN	23.6	59	—	—	—
NH ₄ I	26.3	—	—	—	—
NaBF ₄	0.47	4.4	—	—	—
NaBr	2.4	16.7	0.008	—	乙醇——0.08; 戊醇——0.12
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	甘油——98
NaCl	0.1	1.5	3×10 ⁻⁵	—	乙二醇——46.6
Na ₂ CrO ₄	—	0.36	—	—	—
NaF	0.1	0.42	1×10 ⁻⁴	—	—
NaI	46	72.7	26	—	—
NaNO ₂	0.31	4.4	—	—	—
NaNO ₃	0.04	0.43	—	—	—
NaOH	17.3	31	—	—	—
NaSCN	20	35	7	—	—
Na ₂ SO ₄	0.005	0.02	—	—	—
NiBr ₂	—	35	0.80	—	—
NiCl ₂	10	—	—	—	乙二醇——18
NiCl ₂ · 6H ₂ O	32.7	—	—	—	—
Ni(NO ₃) ₂	—	—	—	—	乙二醇——8
NiSO ₄	0.02	4.0	—	—	乙二醇——10
NiSO ₄ · 7H ₂ O	2.2	20.0	—	—	—
P	0.3	—	0.14	—	苯——3.2; 二硫化碳——900; 甘油——0.3
PbBr ₂	—	—	—	0.6	—
PbCl ₂	—	—	—	0.5	甘油——2.0
PbI ₂	—	—	0.02	0.2	—
Pb(NO ₃) ₂	0.04	1.4	—	7	—
S	0.05	0.03	2.1	1.5	二硫化碳——43; 苯——1.2; 四氯化碳——0.55
SbF ₃	—	150	70	—	苯——5×10 ⁻⁴
SbCl ₃	—	—	538	—	苯——42
SnCl ₂	—	—	56	—	乙酸乙酯——4.4
SrBr ₂	64	117	0.6	—	异戊醇——51
SrCl ₂ · 6H ₂ O	—	63.3	—	—	—
SrI ₂	4	—	—	—	—
Sr(NO ₃) ₂	0.008	—	—	0.7	异丙醇——0.002
UO ₂ (NO ₃) ₂	3.3	—	1.5	—	乙醇——0.36
UO ₂ SO ₄	—	0.73	—	—	—

续表

化 学 式	溶解度 m/g				
	乙 醇	甲 醇	丙 酮	电 磁	其 他 溶 剂
ZnBr ₂			38.5	4.4	—
ZnCl ₂			43.3	2.6	甘油 50
ZnI ₂	—	—	—	19.6	甘油—40
ZnSO ₄	0.03	0.0			甘油 13
ZnSO ₄ · 7H ₂ O		5.9			

表 1-48 某些气体在水中的溶解度

表中所列数据是在不同温度时气体在水中的溶解度。表中符号： α 是吸收系数，指在气体分压等于 101.33kPa 时，被一体积水所吸收的该气体体积（已折合到标准状况）， β 是指气体在总压力（气体及水汽）等于 101.33kPa 时溶解于一体积水中的该气体体积， γ 是指气体在总压力（气体及水汽）等于 101.33kPa 时溶解于 100g 水中的气体质量（单位：g）。

各种温度下气体在水中的溶解度

气 体	单 位	温 度 $t/^{\circ}\text{C}$											
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
空气	β	0.02919	0.02369	0.02264	0.02055	0.01868	0.01708	0.01564					
氧	α	0.0275	0.0204	0.0195	0.0183	0.0162	0.0153	0.0170	0.0164	0.0151	0.0160	0.0163	
	γ	0.0002	0.00013	0.00017	0.00017	0.00016	0.00015	0.00015	0.00014	0.00015	0.00012	0.00012	0.0009
氮	α	0.01997	—	0.01339	—	0.0099	—	0.0100	0.0102	0.0107	—	—	—
二氧化碳	α	0.0235	0.0209	0.0186	0.0158	0.0134	0.0143	0.0134	0.0118	0.0109	0.0102	0.0096	0.0085
	γ	0.0029	0.0026	0.0023	0.0021	0.0018	0.0018	0.0015	0.0014	0.0013	0.0011	0.0007	0.0003
氨	α	0.0469	0.0420	0.0380	0.0341	0.0310	0.0283	0.0261	0.0231	0.0204	0.0185	0.0176	0.0172
	γ	0.0039	0.0051	0.0054	0.0048	0.0043	0.0039	0.0035	0.0032	0.0027	0.0023	0.0014	0.0010
氢	β	4.610	—	3.143	2.680	2.295	2.013	1.759	1.438	1.225	1.023	0.847	0.695
	γ	—	—	0.697	0.610	0.529	0.541	0.572	0.458	0.389	0.329	0.225	0.155
溴	α	60.5	43.3	36.1	27.0	21.3	17.3	13.8	9.4	6.6	4.9	3.0	—
	γ	48.9	30.6	24.8	—	14.8	—	—	6.3	4.1	2.9	1.2	—
一氧化碳	α	0.0254	0.0315	0.0282	0.0254	0.0232	0.0214	0.0200	0.0177	0.0201	0.0169	0.0143	0.0141
	γ	0.0044	0.0039	0.0035	0.0031	0.0028	0.0026	0.0024	0.0021	0.0018	0.0015	0.0010	0.0008
二硫化碳	α	1.713	1.424	1.194	1.019	0.878	0.758	0.665	0.580	0.436	0.353	—	—
	γ	0.835	0.277	0.232	0.197	0.169	0.145	0.126	0.097	0.076	0.058	—	—
氧化二氮	α	—	0.468	0.878	0.798	0.629	0.544	—	—	—	—	—	—
氯化氢	α	0.0738	0.0646	0.057	0.0515	0.0471	0.0432	0.0400	0.0351	0.0315	0.0285	0.0270	0.0265
	γ	0.0088	0.0086	0.0076	0.0068	0.0062	0.0056	0.0052	0.0044	0.0038	0.0032	0.0020	0.0009
氯化氢	β	507	491	474	459	442	426	412	396	382	359	—	—
硫化氢	α	4.675	3.377	3.369	2.945	2.582	2.242	2.027	1.850	1.392	1.192	0.917	0.81
	γ	0.767	0.500	0.511	0.441	0.385	0.338	0.298	0.286	0.188	0.145	0.077	0.00
一氧化硫	β	19.19	67.48	56.65	47.29	39.37	32.79	27.16	18.77	—	—	—	—
	γ	22.89	16.31	16.27	13.54	11.30	9.41	7.86	5.47	—	—	—	—
氧	α	1.75	1047	947	857	775	722	689	585	—	—	—	—
	β	89.5	79.6	72.9	65.1	58.7	53.7	48.2	44.3	—	—	—	—
		(4°C)	(8°C)	(12°C)	(16°C)	(20°C)	(24°C)	(28°C)					
甲烷	α	0.0336	0.0489	0.0418	0.0369	0.0321	0.0301	0.0276	0.0227	0.0213	0.0195	0.0177	0.0176
乙烷	α	0.0387	0.0603	0.0656	0.0550	0.0472	0.0416	0.0367	0.0291	0.0249	0.0218	0.0183	0.0137
乙烯	α	0.0226	0.191	0.162	0.136	0.122	0.118	0.098	—	—	—	—	—
乙炔	α	1.73	1.45	1.30	1.15	1.01	0.93	0.84	—	—	—	—	—

① N_2 中 1.185% 氧。

二、常用溶剂的基本特性

表 1-40 20°C 时溶剂的密度

(本表按密度递增顺序排列)

名 称	$\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	名 称	$\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	名 称	$\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$
戊烷	0.6262	1,2-二氯基乙烷	0.8359	甲酸丁酯	0.8917
己烷	0.6594	1,2-二氯基乙烷	0.8402	1-乙氧基-2-丙醇	0.8155
庚烷	0.6838	二戊烷	0.8446	顺十氢化萘	0.8957
辛烷	0.7025	1,1-二氯基乙烷	0.8516	丁酸甲酯	0.8973
乙醚	0.7135	烯丙醇	0.8520	2-丁氧基乙醇	0.9033
二异丙醚	0.7258	2-甲基-2-戊烯-4-醇	0.8548	乙酸乙酯	0.9026
环戊烷	0.7454	对异丙基苯甲酸	0.8573	2-异丙氧基乙醇	0.9030
二丙醚	0.7487	α -萘烯	0.8582	甲酸丙酯	0.9035
丁基乙基醚	0.7495	二甲氧基甲烷	0.8601	苯乙醚	0.9060
二丁醚	0.7689	对二甲苯	0.8611	二(2-乙氧基乙基)醚	0.9063
甲基环己烷	0.7694	2-氯丙烷	0.8617	α -丙氧基乙醇	0.9112
二异戊醚	0.7777	异丙苯	0.8618	2-4-甲基环己醇	0.9124
环己烷	0.7786	间二甲苯	0.8642	α -4-甲基环己醇	0.9141
二戊醚	0.7833	2-氯-2-甲基丁烷	0.8659	2-3-甲基环己醇	0.9145
2-甲基-2-丙醇	0.7858	1,2-二甲氧基乙烷	0.8665	丙酸甲酯	0.9148
2-丙醇	0.7864	甲苯	0.8669	3-甲基环己醇	0.9151
乙醇	0.7893	乙苯	0.8670	4-甲基环己醇	0.9156
丙酮	0.7908	丁酸丁酯	0.8692	1-(2-丁氧丙氧基)-2-丙醇	0.918
甲醇	0.7914	2-氯戊烷	0.8695	4-3-甲基环己醇	0.9188
二己醚	0.7934	反十氢化萘	0.8700	3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	0.9213
甲基异丁基甲醚	0.8006	4-氯-2-甲基丁烷	0.8704	1-甲氧基-2-丙醇	0.9213
2-甲基-1-丙醇	0.8020	乙酸异丙酯	0.8718	2,6-二甲基吡啶	0.9226
1-丙醇	0.8036	乙酸仲丁酯	0.8730	甲酸乙酯	0.9237
丁醇	0.8054	丁酸丙酯	0.8722	2,2-甲基环己醇	0.9238
二异丁基甲醚	0.8062	乙酸异戊酯	0.8726	α -甲基环己醇	0.9250
2-丁醇	0.8063	乙酸异丁酯	0.8745	α -乙氧基乙醇	0.9297
甲基丙基甲醚	0.8082	丙酸丁酯	0.8750	1-(2-乙氧丙氧基)-2-丙醇	0.932
2-甲基-2-丁醇	0.8089	乙酸戊酯	0.8753	2,4-二甲基吡啶	0.9332
3-甲基-1-丁醇	0.8092	甲酸异丙酯	0.8774	α -2-甲基环己醇	0.9337
2-戊醇	0.8092	3-氯-2-甲基丁烷	0.878	乙酸甲酯	0.9342
1-丁醇	0.8102	1-丁氧基-2-丙醇	0.8788	4-羟基-4-甲基-2-戊酮	0.9385
甲基丁基甲醚	0.8113	苯	0.8790	1-丁氧基-2-乙氧基乙烷	0.9405
二乙基甲醚	0.8144	丁酸乙酯	0.8794	2-甲基吡啶	0.9443
1-戊醇	0.8146	3-氯戊烷	0.8795	环己醇	0.9465
2-甲基-1-丁醇	0.8151	乙酸丁酯	0.8796	环己醇	0.9493
甲基戊基甲醚	0.8154	甲酸异丁酯	0.8798	二甲基甲酰胺	0.9493
乙基戊基甲醚	0.8157	邻二甲苯	0.8802	2-(2-丁氧乙氧基)乙醇	0.9519
乙基丁基甲醚	0.8182	丙酸丙酯	0.8822	4-甲基吡啶	0.9548
二丙基甲醚	0.8189	甲酸异戊酯	0.8827	1-(2-甲氧丙氧基)-2-丙醇	0.955
甲基己基甲醚	0.8192	二(2-丁氧乙基)醚	0.8837	3-甲基吡啶	0.9566
1-己醇	0.8198	1-氯戊烷	0.8840	丁酸	0.9577
2-辛醇	0.8204	半酸戊酯	0.8846	2-甲氧基乙醇	0.9646
4-戊醇	0.8204	1-氯-2-甲基丁烷	0.8855	乙酸环己酯	0.9697
1-庚醇	0.8216	1-氯丁烷	0.8862		
1-辛醇	0.8216	乙酸丙酯	0.8874		
1,1-二乙氧基乙烷	0.8234	四氢呋喃	0.8860		
1,2-环氧丙烷	0.8289	1-氯丙烷	0.8890		
二氧基甲烷	0.8294	丙酸乙酯	0.8902		

续表

名 称	$\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	名 称	$\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	名 称	$\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$
四氯化碳	0.9762	苯甲醚	1.0458	二(2-氯乙氧基)甲烷	1.2317
1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷	0.9731	乙酸	1.0452	1,2-二氯乙烷	1.2329
2,5-己二酮	0.9737	硝基乙烷	1.0457	反-1,2-二氯乙烷	1.2547
甲酸甲酯	0.9742	丙酮	1.0514	丙酮	1.2613
碳酸二甲酯	0.9749	1,3-丙二醇	1.0538	二硫化碳	1.2631
乙酸丙酯	0.9772	2-丁氧基乙醇	1.0640	顺-1,2-二氯乙烷	1.2837
2-丁氧基-2-乙酰氧基乙烷	0.9793	4-氯甲苯	1.0607	1,2-二氯苯	1.3059
吡啶	0.9832	2-氯甲苯	1.0825	2-溴丙烷	1.3096
乳酸丁酯	0.9837	乳酸甲酯	1.0939	3-氯-1,2-丙二醇	1.3204
2-硝基丙烷	0.9876	1,2-二乙氧基乙烷	1.1043	2-氯-1,3-丙二醇	1.3219
2-(2-乙氧基乙氧基)乙醇	0.9880	氯苯	1.1054	二氯甲烷	1.3253
丙酸	0.9934	2-苯氧基乙醇	1.1074	1,1,1-三氯乙烷	1.3370
1-硝基丙烷	1.0028	2-氯-1-丙醇	1.1092	1-溴丙烷	1.3548
1,3-丁二醇	1.0037	1-氯-2-丙醇	1.1108	2,3-二氯-1-丙醇	1.3616
1-甲氧基-2-乙氧基乙烷	1.0049	二(2-氯异丙基)醚	1.1115	1,2-二氯-2-丙醇	1.3645
2,3-丁二醇	1.0075	乙二醇	1.1136	1,2,3-三氯丙烷	1.3880
2-丁氧基-2-乙氧基乙烷	1.0096	二甘醇	1.1162	1,1,2-三氯乙烷	1.4395
1-苯基乙醇	1.0135	三甘醇	1.1234	溴乙烷	1.4612
乙醇胺	1.0161	三乙醇胺	1.1242	二氯乙烷	1.4642
1,4-丁二醇	1.0171	硝基甲烷	1.1302	三氯-氯甲烷	1.4877
2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇	1.0193	甲酸胺	1.1334	氯仿	1.4892
苯胺	1.0217	糠醇	1.1343	溴苯	1.4950
二丙胺二醇	1.0234	1,2-二氯丙烷	1.1558	1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷	1.5760
苯乙酮	1.0281	糠醛	1.1598	四氯化碳	1.5940
乳酸乙酯	1.0302	三乙酸甘油酯	1.1623	1,1,2,2-四氯乙烷	1.5953
二噁烷	1.0338	1,1-二氯乙烷	1.1757	四氯乙烷	1.6227
1,2-丙二醇	1.0364	3-氯-1,2-环氧丙烷	1.1807	五氯乙烷	1.6813
苯甲醇	1.0454	2-氯乙醇	1.2003	1,2-二溴丙烷	1.5321
		硝基苯	1.2032	1,2-二溴乙烷	2.1791
		乳酸	1.206	二溴甲烷	2.4956
		二(2-氯乙基)醚	1.2192		
		甲酸	1.2196		

表 1-50 20°C 时溶剂的折射率

(按折射率递增顺序排列)

名 称	折射率, n_D	名 称	折射率, n_D	名 称	折射率, n_D
甲醇	1.3286	甲酸异丙酯	1.3678	1,2-二甲氧基乙烷	1.3797
甲酸甲酯	1.3438	二异丙基醚	1.3682	1,1-二乙氧基乙烷	1.3805
乙醚	1.3527	甲酸	1.3714	二丙醚	1.3809
1-甲氧基甲烷	1.3530	乙酸	1.3716	丁基乙醇	1.3818
戊烷	1.3575	乙酸乙酯	1.3724	硝基甲烷	1.3819
丙酮	1.3588	二乙氧基甲烷	1.3726	丙酸乙酯	1.3839
1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷	1.3590	己烷	1.3740	乙酸丙酯	1.3844
甲酸乙酯	1.3599	甲酸丙酯	1.3769	2-甲基-2-丙醇	1.3847
乙酸甲酯	1.3614	2-丙醇	1.3771	三氯氧甲烷	1.3849
乙醇	1.3616	乙酸异丙酯	1.3773	碳酸二甲酯	1.3852
1,2-环氧丙烷	1.3657	丙酸甲酯	1.3775	甲酸异丁酯	1.3855
1,1-二甲氧基乙烷	1.3665	2-氯丙烷	1.3781	1-丙醇	1.3856
		丁酮	1.3783		

续表

名 称	折 射 率 n_D	名 称	折 射 率 n_D	名 称	折 射 率 n_D
庚烷	1.3875	1-异戊基胺	1.4085	2,5-己二酮	1.4247
丁酸甲酯	1.3878	甲基戊基胺	1.4087	1-辛醇	1.4221
甲酸丁酯	1.3890	乙基丁基甲酮	1.4088	二甲基甲酰胺	1.4292
乙酸仲丁酯	1.3894	2-氯-2-甲基丁烷	1.4095	2-(2-丁氧乙氧基)乙醇	1.4316
乙酸异丁酯	1.3898	2-异丙氧基乙醇	1.4095	乙二醇	1.4318
1-氯丙烷	1.3900	2-甲基-1-丁醇	1.4098	三醋酸甘油酯	1.4318
甲基丙基甲酮	1.3901	1-戊醇	1.4103	1,2-丙二醇	1.4325
硝基乙烷	1.3917	3-氯戊烷	1.4104	1-溴丙烷	1.4345
丁酸乙酯	1.3922	3-戊醇	1.4104	2,3-丁二醇	1.4377
1,2-二乙氧基乙烷	1.3922	二(2-乙氧基)胺	1.4115	1-氯-2-丙醇	1.4376
二乙基甲酮	1.3924	二戊基醚	1.4120	3-氯-1,2-环氧丙烷	1.4381
丙酸丙酯	1.3932	1-氯戊烷	1.4125	1,1,1-三氯乙烷	1.4383
丙酸	1.3885	乳酸乙酯	1.4125	2-氯-1-丙醇	1.4390
乙酸丁酯	1.3942	1-氯-2-甲基丁烷	1.4125	1,2-二氯丙烷	1.4396
α -硝基丙烷	1.3943	二异丁基甲酮	1.4127	1,3-丙二醇	1.4397
甲基异丁基甲酮	1.3958	1,2-二丁氧基乙烷	1.4131	1,4-丁二醇	1.4508
α -甲基-1-丙醇	1.3959	烯丙醇	1.4133	二(2-氯丙基)醚	1.4413
2-丁醇	1.3970	2-丙氧基乙醇	1.4133	乳酸	1.4414
甲酸异戊酯	1.3970	乳酸甲酯	1.4141	乙酸环己酯	1.4417
辛烷	1.3974	甲基己基甲酮	1.4151	2-氯乙醇	1.4420
丁酸	1.3940	1,2-二乙氧基乙烷	1.4155	二丙二醇	1.4440
1-丁醇	1.3982	1,1-二氯乙烷	1.4157	1,2-二氯乙烷	1.4447
二丁醚	1.3993	1-丁氧基-2-丙醇	1.4170	4-甲基环己酮	1.4451
丁酸丙酯	1.3995	1-己醇	1.4174	反-1,2-二氯乙烷	1.4454
甲酸戊酯	1.3997	2-丁氧基乙醇	1.4193	3-甲基环己酮	1.4457
乙基丙基甲酮	1.4007	1-丁氧基-2-乙氧基乙烷	1.4200	氯仿	1.4458
乙酸异戊酯	1.4007	二己醚	1.4204	2-甲基-2-戊烯-4-酮	1.4458
甲基丁基甲酮	1.4007	1-(2-乙氧基氧基)-2-丙醇	1.421	1,4-丁二醇	1.4467
丙酸丁酯	1.4010	1-(2-甲氧基氧基)-2-丙醇	1.421	二甘醇	1.4475
1-硝基丙烷	1.4016	2-乙氧基-2-乙氧基二乙基醚	1.4213	甲酰胺	1.4475
1-甲氧基-2-乙氧基乙烷	1.4019	乳酸丁酯	1.4215	2-甲基环己酮	1.4477
1-氯丁烷	1.4021	二氯烷	1.4224	顺-1,2-二氯乙烷	1.4490
2-甲氧基乙醇	1.4021	甲基环己烷	1.4231	环己酮	1.4502
乙酸戊酯	1.4025	二(2-丁氧基)醚	1.4235	乙酰胺	1.4504
1-甲氧基-2-丙醇	1.4034	4-羟基-4-甲基-2-戊酮	1.4235	四氢噻吩	1.4508
2-甲基-2-丁醇	1.4048	1-庚醇	1.4238	β -4-甲基环己醇	1.4534
α -氯-2-甲基乙烷	1.4050	溴乙烷	1.4242	乙醇胺	1.4539
1-乙氧基-2-乙氧基乙烷	1.4058	二氯甲烷	1.4244	α -4-甲基环己醇	1.4545
α -戊醇	1.4060	2-溴丙烷	1.4251	β -3-甲基环己醇	1.4550
丁酸丁酯	1.4064	环己烷	1.4262	二(2-氯乙氧基)甲烷	1.4553
环戊烷	1.4065	2-丁氧基-2-基二乙基醚	1.4262	三甘醇	1.4559
1-甲基-1-丁醇	1.4067	2-(2-甲氧基氧基)乙醇	1.4263	α -3-甲基环己醇	1.4572
α -氯戊烷	1.4069	2-辛醇	1.4264	二(2-氯乙基)醚	1.4575
四氢呋喃	1.4070	1-(2-正丁氧基)-2-丙醇	1.427	四氯化碳	1.4601
二丙基甲酮	1.4072	2-(2-乙氧基氧基)乙醇	1.4275	β -2-甲基环己醇	1.4611
2-乙氧基乙醇	1.4073			α -2-甲基环己醇	1.4640
1-乙氧基-2-丙醇	1.4075			α -萘烯	1.4658
3-氯-2-甲基乙烷	1.4084			环己醇	1.4666
				反-十氢化萘	1.4687

续表

名 称	折射率, n_D	名 称	折射率, n_D	名 称	折射率, n_D
1,1,2-三氯乙烷	1.4714	对二甲苯	1.4958	2-溴甲苯	1.5236
联茂烯	1.4739	乙苯	1.4959	氯苯	1.5241
甘油	1.4746	甲苯	1.4969	氯酸	1.5261
三氯乙烷	1.4775	邻二甲苯	1.4972	1-苯基乙醇	1.5275
3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	1.4781	2,6-二甲基吡啶	1.4977	苯乙醇	1.5335
3-氯-1,2-丙二醇	1.4816	2-甲基吡啶	1.5010	2-苯氧基乙醇	1.5386
顺十氢化萘	1.4811	苯	1.5011	1,2-二溴乙烷	1.5387
α -氯-1,3-丙二醇	1.4831	2,4-二甲基吡啶	1.5012	苯甲醇	1.5464
1,2,3-三氯丙烷	1.4834	五氯乙烷	1.5030	四氯化萘	1.5414
1,3-二氯-2-丙醇	1.4838	四氯乙烷	1.5053	一溴乙烷	1.5419
2,5-二氯-1-丙醇	1.4839	邻二甲苯	1.5055	苯甲酸	1.5450
三乙醇胺	1.4852	4-甲基吡啶	1.5058	苯乙烷	1.5469
糠醇	1.4868	3-甲基吡啶	1.5068	1,2-二氯苯	1.5516
对异丙基甲苯	1.4909	吡啶	1.5094	硝基苯	1.5524
异丙苯	1.4915	4-氯甲苯	1.5199	溴苯	1.5597
1,1,2,2-四氯乙烷	1.4950	1,2-二溴丙烷	1.5201	苯胺	1.5855
		2-苯氧基乙醇	1.5233	二硫化碳	1.6280

表 1-51 20°C 时溶剂的平均色散度 $(n_D - n_F) \times 10^4$

(按色散度递增顺序排列)

名 称	$(n_D - n_F) \times 10^4$	名 称	$(n_D - n_F) \times 10^4$	名 称	$(n_D - n_F) \times 10^4$
甲醇	52	丙酮	67	辛烷	69
二甲氧基甲烷	57	乙酸丁酯	67	乙酸戊酯	70
1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷	57	乙酸仲丁酯	67	甲酸戊酯	70
1,1-二甲氧基乙烷	60	甲酸丁酯	67	丁酸丁酯	70
甲酸甲酯	60	丁酸乙醇	67	丁酸	70
乙醇	61	1-氧基-2-乙酰氧基乙烷	67	环戊烷	70
乙酸甲酯	61	2-甲氧基乙醇	67	二丁醚	70
丙酸甲酯	61	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷	67	二乙基醚	70
戊烷	61	庚烷	67	2-丙氧基乙醇	70
乙醇	62	乙酸异丁酯	67	2-甲基-1-丙醇	70
二异丙醚	62	甲酸异丁酯	67	甲基正丙基甲酮	70
1-乙氧基甲烷	62	2-甲基-2-丙醇	67	二(2-乙氧基)醚	71
1,1-二乙氧基乙烷	63	丙酸	67	二异戊醚	71
碳酸二乙酯	63	甲酸丙酯	67	2-丁氧基乙醇	71
甲酸乙酯	63	丙酸丙酯	67	甲酸	71
乙酸乙酯	63	1-丁醇	68	2-甲基-1-丁醇	71
甲酸异丙酯	64	丙酸丁酯	68	3-甲基-1-丁醇	71
1,2-二甲氧基乙烷	65	2-乙氧基乙醇	68	甲基异丁基甲酮	71
丙酸乙酯	65	丁酸丙酯	68	1-戊醇	71
己烷	65	2-丁醇	69	2-戊醇	71
乙酸异丙酯	65	1-氯丙烷	69	3-戊醇	71
丁酸甲酯	65	2-氯丙烷	69	四氢呋喃	71
1-丙醇	65	二丙醚	69	1-氯丁烷	72
2-丙醇	65	乙酸异戊酯	69	二戊醚	72
乙酸丙酯	65	甲酸异戊酯	69	2-(2-甲氧基乙基)乙醇	72
乙醚	66	丁醇	69	二丙基甲酮	72
丁基乙醚	66			乙基丁基甲酮	72

续表

名 称	$(n_D - n_C)/10^{-4}$	名 称	$(n_D - n_C)/10^{-4}$	名 称	$(n_D - n_C)/10^{-4}$
乳酸乙酯	72	1-辛醇	79	双戊烯	110
乙基丙基甲醚	72	二甘醇	80	反-1,2-二氯乙烷	116
1-己醇	72	乙二醇	80	甲酰胺	118
甲基丁基甲醚	72	α -3-甲基环己醇	~80	三氯乙烷	126
2-氯-2-甲基乙烷	73	2-硝基丙烷	80	糠醇	128
4-氯-2-甲基丁烷	73	氯丙醇	81	1,2-二溴丙烷	133
1-氯戊烷	73	环己醇	81	2-甲基-2-戊烯-4-酮	137
2-氯戊烷	73	1,2-二氯乙烷	82	四氯乙烷	137
3-氯戊烷	73	二氯甲烷	82	1,2-二溴乙烷	141
3-(2-乙氧乙氧基)乙醇	73	1,2-二氯丙烷	82	对羟基苯基甲烷	142
二己基醚	73	乙醇胺	82	异丙苯	143
二噁烷	73	2-甲基环己醇	82	二溴甲烷	149
乙二醇	73	3-甲基环己醇	82	乙苯	152
1-庚醇	73	4-甲基环己醇	82	2,4-二甲基吡啶	155
甲基戊基甲醚	73	1-硝基丙烷	82	2,6-二甲基吡啶	156
2-甲基-2-丁醇	73	1-(2-氯乙基)醚	83	1-苯基乙醇	156
β -3-甲基环己醇	73	α -2-甲基环己醇	83	间二甲苯	156
β -4-甲基环己醇	~73	硝基乙烷	83	对二甲苯	157
1,3-丙二醇	73	三甘醇	83	4-甲基吡啶	158
1-异丁基甲醚	74	2,5-己二醇	84	2-甲基吡啶	159
2-辛醇	74	3-氯-1,2-丙二醇	84	邻二甲苯	159
环己烷	75	环己酮	85	甲苯	160
1,2-二乙氧基乙烷	75	顺十氢化萘	85	3-甲基吡啶	161
三乙酸甘油酯	75	1,1,1-三氯乙烷	86	十氢化萘	162
甲基环己烷	75	三乙醇胺	86	4-氯甲苯	164
甲基己基丙酮	75	反十氢化萘	87	苯	167
1,2-丙二醇	75	氯仿	88	2-氯甲苯	167
糠醇	75	硝基甲烷	88	吡啶	167
乙酸环己酯	77	2,2,3-三氯丙烷	90	苯甲醇	171
2-(2-正丁氧乙氧基)乙醇	77	1-溴丙烷	93	氯苯	172
乳酸	77	2-溴丙烷	93	乙酰丙酮	176
α -4-甲基环己醇	~77	1,1,2-三氯乙烷	93	1,2-二氯苯	176
2-氯乙醇	79	溴乙烷	94	溴苯	180
4-羟基-4-甲基-2-戊酮	79	四氯化碳	94	苯乙酮	198
1,1-二氯乙烷	79	烯丙醇	95	苯甲醛	232
二丙二醇	79	1,1,2,3-四氯乙烷	96	苯乙腈	240
3-氯-1,2-环氧丙烷	~79	α -萘烯	98	苯胺	249
β -2-甲基环氧己醇	79	五氯乙烷	102	硝基苯	258
		二甲氧甲酰胺	107	糠醛	270
		顺-1,2-二氯乙烷	110	二硫化碳	343

① 在两种特定波长下测定的折射率之差称为该物质的平均色散度。所选测试波长分别为蓝光(486.1nm, H γ 线)和红光(656.3nm, H β 线)。

表 1-52 20°C 时溶剂的介电常数

(按碳原子数排列)

名 称	$\epsilon/(F \cdot m^{-1})$	名 称	$\epsilon/(F \cdot m^{-1})$	名 称	$\epsilon/(F \cdot m^{-1})$
四氯化碳	2.238	丁酸	2.97	丁酸乙酯	5.0
二氯化碳	2.43	1,1-二甲氧基乙烷	3.85	乙酸仲丁酯	5.1
氯仿	4.805	乙醇	4.335	丙酸丙酯	5.2
二溴甲烷	7.04	丙酸甲酯	6.1	乙酸异丁酯	5.29
二氯甲烷	9.08	乙酸乙酯	6.4	溴苯	5.55
甲醚	9.4	甲酸丙酯	7.2	氯苯	5.70
甲醇	32.64	1,2-二甲氧基乙烷	7.25	甲酸戊酯	5.6
甲酸	58.5	四氢呋喃	7.03	苯胺	6.81
甲酰胺	111.5	1-叔丁醇	7.35	1-乙氧基-2-乙氧基乙烷	6.35
1,2-二氯乙烷	2.15	2-甲基丙醇-2	12.6	3-丁氧基乙醇	9.4
四氯乙烷	2.25	2-乙氧基乙醇	13.6	2-甲基吡啶	10.0
三氯乙烷	3.27	丁醇-2	15.5	1,2-二氯苯	10.2
五氯乙烷	3.73	2-甲基丙醇-1	16.48	甲基丁基酮	10.2
1,2-二溴乙烷	4.8	正丁醇	17.4	甲基异丁基酮	10.11
甲醚	5.02	丁醇-2	18.57	正己醇	13.75
乙酸	6.13	二(2-乙氧基)醚	20.47	环己醇	15.2
1,1,1-三氯乙烷	7.10	1,4-丁二醇	31.1	2-甲基-2-戊酮	15.4
1,1,2-三氯乙烷	7.12	戊烷	1.844	环己醇	15.9
1,1,2,2-四氯乙烷	8.20	环戊烷	1.985	4-羟基-4-甲基戊酯-2	22.7
甲酸甲酯	5.8	碳酸二乙酯	2.82	硝基苯	33.96
顺-1,2-二氯乙烷	5.31	二乙氧基甲醚	2.883	庚烷	1.926
溴乙烷	5.41	丙酸乙酯	5.6	甲基环己烷	2.020
1,2-二氯乙烷	10.45	丁酸甲酯	5.6	甲苯	2.385
1,1,1-氯乙烷	10.9	乙酸丙酯	5.61	丁酸丙酯	4.3
乙醚	25.0	甲酸异丁酯	5.93	丙酸丁酯	4.5
硝基乙烷	36.3	甲酸正丁酯	5.2	2-乙氧基苯	4.73
乙二醇	38.68	2-甲基丁醇-2	?	乙酸戊酯	4.75
丙酸	3.22	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷	5.27	乙酸异戊酯	4.8
二甲氧基甲烷	3.485	戊醇-3	~13.0	4-氯甲苯	6.19
1,2-二溴丙烷	4.35	乳酸乙酯	13.1	甲基戊基酮	11.95
乙酸甲酯	7.08	吡啶	13.3	正庚醇	12.1
1,2,3-三氯丙烷	~7.3	戊醇-2	13.8	3-甲基环己醇	12.34
1-氯丙烷	7.7	正戊醇	14.5	4-甲基环己酮	12.35
1-溴丙烷	8.27	3-甲基丁醇-1	14.7	3-甲基环己酮	12.4
1,2-二氯丙烷	8.32	甲基丙基酮	15.45	二丙基酮	12.6
2-溴丙烷	9.7	二乙酮	17.00	乙基丁基酮	12.9
2-氯丙烷	9.82	糠醇	17.45	4-甲基环己醇	13.3
1,3-二氯丙醇-2	~15.5	乙酰丙酮	25.1	4-甲基环己醇	13.3
2,3-二氯丙醇-1	~10.1	糠醛	41.9	苯甲醇	13.5
异丙醇	18.5	己烷	1.890	2-甲基环己酮	14.0
正丙醇	20.1	环己烷	2.055	辛烷	1.948
烯丙醇	~11	苯	2.284	对二甲苯	2.270
丙酮	21.45	丙酮	3.4	间二甲苯	2.374
3-氯-1,2-环氧丙烷	23	二异丙醚	3.95	乙苯	2.412
丙二醇-1,2	32.0	1,1-二乙氧基乙烷	3.97	苯乙醚	2.415
丙二醇-1,3	35.0	甲酸异戊酯	4.95	邻二甲苯	2.568
甘油	41.74	乙酸丁酯	5.01	二丁醚	3.1
二噁烷	2.25				

续表

分子式	名 称	己 烷	环己 烷	四氯 化碳	苯	二硫 化碳	乙 醚	氯 仿	乙 酸 乙 酯	丙 酮	乙 醇	甲 醇	硝基 甲烷	乙 二 醇
C ₂ H ₅ Cl	1,2-二氯乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₂ H ₅ O ₂	甲酸甲酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₂ H ₅ Br	溴乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₂ H ₅ ClO	2-氯乙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₂ H ₅ O	乙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₂ H ₅ O ₂	乙二醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₂ H ₅ NO	乙醇胺	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O	丙酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O	烯丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	甲酸乙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	乙酸甲酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ Br	1-溴丙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ Br	2-溴丙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ ClO	氯丙醇(同分异构体混合物)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ NO	1-甲基甲酰胺	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ NO	1-硝基丙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ HO ₂	2-硝基丙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O	1-丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O	2-丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	2-甲氧基乙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	二甲氧基甲烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	1,2-丙二醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	1,3-丙二醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	丙三醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ ClO	2-(2-氯乙基)醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ O	丁酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ O	四氢呋喃	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ O ₂	二噁烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ O ₂	乙酸乙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ O ₂	甲酸异丙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ O ₂	丙酸甲酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ O ₂	甲酸丙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O	1-丁醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O	2-丁醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O	乙醚	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O	2-甲基-1-丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O	2-甲基-2-丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	1,1-二甲氧基乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	1,3-丁二醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	1,4-丁二醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	2,3-丁二醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	1,2-二甲氧基乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₂	2-乙氧基乙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₈ O ₃	二甘醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ O ₂	糠醛	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ N	吡啶	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₃ H ₇ O ₂	糠醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

续表

[illegible]

续表

分子式	名 称	己 烷	环 己 烷	四 氯 化 碳	苯	二 硫 化 碳	乙 醚	氯 仿	乙 酸 乙 酯	丙 酮	乙 醇	甲 醇	硝 基 甲 烷	乙 二 醇
C_2H_5N	2,4-二甲基吡啶	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_2H_5N	2,6-二甲基吡啶	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_6H_{11}	甲基环己烷	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	○	○	○
$C_6H_{11}O$	甲基环己醇(异构体混合物)	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_5H_9O_2$	乙酸戊酯	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_5H_9O_2$	丙酸丁酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_5H_9O_2$	乙酸异戊酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_5H_9	庚烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○
C_5H_9O	1-庚醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
C_6H_8	苯乙炔	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_6O	苯乙酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_6	乙苯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_{10}	甲苯(异构体的混合物)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_{10}	辛烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○
$C_6H_{10}O$	二丁醚	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○
$C_6H_{10}O$	1-辛醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
$C_6H_{10}O$	2-辛醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
$C_6H_{10}O_2$	2-(2-丁氧乙氧基)乙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_6H_{14}O_6$	三乙酸甘油酯	○	○	+	+	○	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_{12}	四氯化苯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_{12}	对丙基苯甲醚	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_{10}	α -萘烯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○
C_6H_{10}	十氯化苯(异构体的混合物)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○	○
$C_6H_{12}O$	二戊醚	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○

① 溶剂之间分层不明显,可在溶剂中加入适当的染料(如,甲基红),所加入的染料在溶剂中具有不同的溶解度。

② 三甘醇和苯在1+1的情况下形成均相混合物,但加入过量的苯后,则分为两层。

表 1-56 溶剂的饱和蒸气压

分子式	名 称	蒸气压 P/mmHg°									
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
		温 度 $t/^{\circ}\text{C}$									
CCl_4F	三氯一氟甲烷	-84.3	-67.6	-59.0	-49.7	-35.0	-32.3	-23.0	-9.1	+6.8	23.7
CCl_4	四氯化碳	50	-30.0	-19.6	-8.2	+4.3	12.3	23.0	38.3	57.8	76.7
CS_2	二硫化碳	-73.6	-54.3	-44.7	-34.3	-23.5	-15.2	-5.1	+10.4	28.0	46.5
CHCl_3	氯仿	-38.0	-30.1	-29.7	-18.0	7.1	10.6	10.4	25.9	42.7	61.3
CH_2Br_2	二溴甲烷	-35.1	-18.2	2.4	+6.7	23.3	31.6	42.3	58.6	79.0	98.6
CH_2Cl_2	二氯甲烷	-70.0	-52.1	-43.3	-33.4	-22.3	-15.7	-6.3	+6.0	24.1	40.7
CH_3O	甲醛	-20.0	-5.0	+2.1	10.3	24.0	32.4	43.8	61.4	80.3	100.6
CH_3NO	亚硝酸	70.6	96.3	109.6	122.5	137.5	147.0	167.5	178.5	193.5	210.6
CH_3NO_2	硝基甲烷	-25.6	-7.9	+2.8	14.1	27.6	35.5	46.6	63.5	82.0	101.2
CH_3O	甲醇	-44.0	-25.3	-18.2	-6.0	+5.0	12.1	21.2	34.8	49.9	64.7
$\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_2$	1,1,2-三氯-2,2-二氟乙烷	-68.0	-49.4	-40.3	-30.0	-18.6	-11.2	1.7	13.5	30.2	47.6
C_2Cl_4	四氯乙烯	-20.5	+2.4	13.8	25.3	40.1	49.2	61.3	79.8	100.0	120.8
$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$	二氯乙烯	-43.6	-22.8	-12.4	-1.0	+11.0	20.0	31.4	44.0	67.0	86.7
$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$	二氯乙烯	1.0	27.2	39.8	53.9	69.9	80.0	93.5	114.0	137.2	160.5
$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$	顺1,2-二氯乙烯	-58.4	-33.2	-23.9	-13.4	-7.9	-0.6	-9.5	24.6	41.0	59.0

续表

分子式	名 称	蒸气压 P/mmHg°									
		1	5	10	20	45	60	100	200	400	760
		温 度 $t/^{\circ}\text{C}$									
$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2$	反-1,2-二氯乙烷	55.4	-47.2	-38.0	-28.0	-17.0	10.0	-0.2	+14.3	30.8	47.8
$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$	1,1,2,2-四氯乙烷	-3.8	+20.7	33.0	46.2	60.8	70.0	83.2	102.2	124.0	145.0
$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$	1,1,1-三氯乙烷	52.0	-32.0	-21.9	-10.8	4.6	9.5	20.6	36.2	54.6	74.1
$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2$	1,1,2-三氯乙烷	-21.6	-2.0	18.3	21.6	35.2	44.0	55.7	73.3	93.0	113.5
$\text{C}_2\text{H}_3\text{Br}_2$	1,2-二溴乙烷	-27.6	14.7	18.6	32.7	43.0	57.9	70.4	89.8	110.1	131.5
$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2$	1,1-二氯乙烷	-50.7	-41.8	-32.3	-21.9	-10.2	-2.9	+7.2	22.4	39.8	57.4
$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2$	1,2-二氯乙烷	-44.5	-24.0	-13.6	-2.4	10.0	18.1	29.4	45.7	64.0	82.4
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	乙酸	-17.2	+6.3	17.5	29.9	43.0	51.7	63.0	80.0	99.0	118.1
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	甲酸甲酯	-74.2	-57.0	-48.6	-39.2	-28.7	-21.4	-12.5	+0.8	16.0	32.0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$	溴乙烷	-73.3	-56.4	-47.5	-37.8	-26.7	-19.5	-10.0	+4.5	21.0	38.4
$\text{C}_2\text{H}_5\text{ClO}$	2-氯乙醇	-4.0	+19.3	30.3	42	56.0	64.1	75.0	91.8	110.0	128.8
$\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$	硝基乙烷	-21.0	+1.5	12.5	24.8	38.0	46.5	57.8	74.8	94.0	114.0
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	乙醇	-31.3	12.0	-2.3	18.0	19.0	26.0	34.9	48.4	63.5	78.4
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	乙二醇	53.0	79.7	92.1	105.8	120.0	129.5	141.8	158.5	178.5	197.3
$\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}$	乙醇胺	32.5	56.5	68.0	81.0	95.0	103.5	113.0	132.5	152.0	171.1
$\text{C}_2\text{H}_5\text{ClO}$	3-氯-1,2-环氧丙烷		5.0	15.8	27.7	41.0	48.2	60.5	77.5	96.5	116.1
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}_2$	1,2,3-三氯丙烷	1.2	28.5	59.0	52.5	68.0	77.5	90.5	110.0	132.5	156.0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}_2$	1,2-二溴丙烷	-7.2	+17.4	29.4	42.3	57.2	66.4	78.7	97.8	118.5	141.6
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}_2$	1,2-二氯丙烷	38.5	-17.0	-6.1	16.0	19.4	28.0	38.4	57.0	76.0	96.8
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}_2\text{O}$	1,3-二氯-2-丙醇	28.0	52.2	64.7	78.0	93.0	102.0	114.8	133.3	153.5	174.3
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}_2\text{O}$	2,3-二氯-1-丙醇	36.0	61.0	73.5	86.8	101.5	110.0	123.0	141.0	161.5	183.0
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	丙酮	-55.4	-40.5	-31.1	-23.8	-9.4	-2.0	17.7	22.7	39.5	56.5
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	烯丙醇	-20.0	+0.2	16.5	21.7	33.4	40.3	50.5	64.5	80.2	96.4
$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$	1,2-环氧丙烷	-75.0	-57.8	-49.0	-39.3	-28.4	-21.3	12.0	+2.1	17.8	34.5
$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2$	甲酸乙酯	60.5	-42.2	-33.0	-22.7	-11.5	-4.3	+5.4	20.0	37.1	54.4
$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2$	乙酸甲酯	-57.2	-38.5	-29.3	-19.1	-7.9	-0.5	+9.4	24.0	40.0	57.8
$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2$	丙酸	4.6	28.0	39.7	52.0	65.8	74.1	85.8	102.5	122.0	141.1
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$	1-溴丙烷	-53.0	-33.4	-23.3	-12.4	-0.3	+7.5	18.0	34.0	52.0	71.0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$	2-溴丙烷	-61.8	-42.5	-32.8	-22.0	-10.1	2.5	+8.0	23.8	41.5	60.0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	1-氯丙烷	-68.3	-50.0	-41.0	-31.0	-18.5	12.1	2.5	+12.2	28.4	46.4
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	2-氯丙烷	-78.3	-61.1	-52.0	-43.0	-31.0	-23.5	13.7	+1.3	16.1	36.5
$\text{C}_2\text{H}_5\text{ClO}$	1-氯-2-丙醇	-0.2	+20.5	31.0	43.0	56.0	64.0	75.0	91.0	108.0	127.5
$\text{C}_2\text{H}_5\text{ClO}_2$	3-氯-1,2-丙二醇	72.5	99.6	112.0	126.0	141.0	150.0	163.0	182.0	202.0	213.0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}$	二甲基甲酰胺	5.5	29.7	42.0	55.2	70.0	79.0	91.5	110.0	131.0	155.0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$	1-硝基丙烷	-9.6	+13.5	25.3	37.9	51.8	60.5	72.3	90.2	110.6	131.6
$\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$	2-硝基丙烷	-18.8	+4.1	15.8	28.2	41.8	50.2	62.0	80.0	99.8	126.3
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	1-丙醇	-15.0	+5.0	14.7	25.3	36.4	43.5	52.8	66.8	82.0	97.8
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	2-丙醇	26.1	-7.0	+2.4	12.7	23.8	30.5	39.5	53.0	67.8	82.5
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	2-甲氧基乙醇	-5.0	+37.5	28.0	40.0	53.0	61.0	72.0	88.0	106.0	124.6
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	二甲氧基甲烷							8.5	25.0		42.3
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	1,2-丙二醇	45.5	70.8	83.2	96.4	111.2	119.9	132.0	149.7	168.1	188.2
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	1,3-丙二醇	59.4	87.2	100.6	115.8	131.0	141.1	153.4	172.8	193.8	214.2
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	甘油	125.5	153.8	167.2	182.2	193.0	208.0	220.1	240.0	263.0	290.0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}_2\text{O}$	二(2-氯乙基)醚	23.5	49.3	62.0	76.0	91.5	101.5	114.5	134.0	155.4	178.5
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	甲乙醚	-48.3	-28.0	-17.7	-6.5	+5.0	14.0	25.0	41.6	60.0	79.6
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	四氢呋喃						1.0	12.0	28.2	46.5	66.1
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	丁酸	25.5	49.8	61.5	74.0	88.0	96.5	108.0	125.5	144.5	163.7

续表

分子式	名 称	蒸气压 $P/\text{mmHg}^{(b)}$									
		1	5	10	20	40	60	100	200	300	760
		温 度 $t/^\circ\text{C}$									
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	二噁烷	-35.8	-12.8	-1.2	+12.0	25.2	33.8	45.1	62.3	81.8	101.1
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	乙酸乙酯	-43.4	-23.5	-13.5	-3.0	+9.1	16.6	27.0	42.0	59.3	77.1
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	甲基异丙酯	-52.0	-32.7	-22.7	-12.1	-0.2	+7.5	17.3	33.6	50.5	68.3
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	丙酸甲酯	-42.0	-21.5	-11.8	-1.0	+11.0	18.7	29.3	44.2	61.8	79.8
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	甲酸丙酯	-43.0	-22.7	-12.6	-1.7	+10.8	18.8	29.1	45.3	62.6	81.3
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	乳酸甲酯	7.2	30.5	42.0	54.5	68.0	79.5	88.5	105.5	125.0	145.0
$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$	1-氯丁烷	-49.0	-28.9	-18.6	-7.4	+5.0	13.0	24.0	40.0	58.8	77.8
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	1-丁醇	-1.2	+20.0	30.2	41.5	53.4	60.3	70.1	84.3	100.8	117.5
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	2-丁醇	-12.2	+7.2	16.9	27.3	38.1	45.2	54.1	67.9	83.9	99.5
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	乙醇	-74.3	-56.9	-48.1	-38.5	-27.7	-21.8	-11.5	+2.2	17.9	34.6
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	2-甲基-1-丙醇	-9.0	+11.0	21.7	32.4	44.1	51.7	61.5	75.9	91.4	108.0
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	2-甲基-2-丙醇	-20.4	-3.0	+5.5	14.3	24.5	31.0	39.8	52.7	68.0	82.9
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$	1,1-二甲氧基乙烷						3.5	13.5	28.5	46.0	64.3
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$	1,3-丁二醇	60.0	85.5	98.3	112.0	127.0	136.0	148.5	167.5	187.5	207.4
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$	1,4-丁二醇	78.8	105.5	118.0	132.5	147.5	157.0	170.0	187.0	209.0	228.0
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$	2,3-丁二醇	44.0	68.4	80.3	93.4	107.8	116.3	127.8	145.6	164.0	182.0
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$	1,2-二甲氧基乙烷			-14.0	-1.0	+11.5	19.5	30.5	47.5	76.0	85.2
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$	2-乙氧基乙醇	2.0	24.5	35.5	47.5	61.0	69.0	80.5	97.5	116.0	135.1
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$	2-甲氧基-2-丙醇	-10.0	+13.5	24.5	36.3	49.0	57.0	68.0	84.5	102.0	120.6
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_3$	二甘醇	91.8	120.0	133.8	148.0	164.3	174.0	187.5	207.0	226.5	244.8
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	糠醛	18.5	42.6	54.8	67.8	82.1	91.5	103.4	121.8	141.8	161.8
$\text{C}_4\text{H}_5\text{N}$	吡啶	-18.5	+2.5	13.2	24.8	38.0	46.8	57.8	75.0	95.6	115.4
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	糠醇	31.5	56.0	68.0	81.0	95.7	104.0	115.9	133.1	151.8	170.0
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	乙酰丙酮	-10.0	+14.5	26.0	39.5	54.0	63.0	75.0	94.0	115.0	137.0
C_5H_{12}	异戊烷	68.0	49.6	40.4	30.1	18.6	11.3	1.3	13.8	31.0	40.3
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{Cl}_2\text{O}_2$	二(2-氯乙氧基)甲烷	53.0	80.4	94.0	100.5	125.5	135.8	149.6	170.0	192.0	215.0
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	正戊醇	-12.7	+7.5	17.2	27.9	39.4	46.7	56.2	70.6	86.2	102.7
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	甲基丙基甲醚	12.0	18.0	17.9	28.5	39.5	47.3	56.8	71.0	86.8	103.3
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	甲酸丁酯	-26.4	-4.7	+6.1	18.0	31.6	39.8	51.0	67.9	86.2	106.0
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	丙酸乙酯	-28.0	-7.3	+3.4	14.3	27.2	35.1	45.2	61.7	79.8	99.1
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	甲酰异丁酯	-32.7	-11.4	-0.8	+11.0	24.1	32.4	43.4	60.0	79.0	98.2
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	乙酸异丙酯	-38.3	-17.4	-7.2	+4.2	17.0	25.1	35.7	51.7	69.8	89.0
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	丁酸甲酯	-26.8	-5.5	+5.0	16.7	29.6	37.4	48.0	64.3	83.1	102.3
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	乙酸丙酯	-26.7	+5.4	+5.0	16.0	28.8	37.0	47.8	64.0	82.0	101.8
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}_2$	糖醇	36.0	60.0	72.1	85.5	99.5	108.0	120.0	137.5	157.5	177.0
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}_2$	碳酸二乙酯	-10.1	+12.3	23.8	36.0	49.5	57.9	69.7	86.5	105.8	125.8
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}_2$	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷	10.5	33.5	45.0	57.0	70.5	78.5	90.0	107.0	125.5	145.1
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	乳酸乙酯	16.0	39.5	51.0	63.8	77.5	86.0	97.5	115.0	134.0	154.0
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$	1-氯戊烷			3.0	15.4	28.6	37.2	49.0	67.0	86.5	107.8
C_5H_{12}	戊烷	-76.6	-62.5	-50.1	-40.2	-28.2	-22.2	-12.6	+1.9	18.5	36.1
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	2-甲基-1-丙醇	7.5	28.5	39.0	50.0	62.5	70.0	80.0	95.0	111.5	128.8
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	3-甲基-1-丁醇	9.5	31.0	41.5	53.0	65.5	72.5	83.5	98.0	115.0	132.0
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	2-甲基-2-丁醇	12.9	+7.2	17.2	27.9	38.8	46.0	55.3	69.7	85.7	101.7
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	1-戊醇	12.6	34.7	44.9	55.8	68.0	75.5	85.8	102.0	119.8	137.8
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	2-戊醇	1.5	22.7	32.2	42.6	54.1	61.5	70.7	85.7	102.3	119.7
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	3-戊醇	-6.0	+17.0	27.3	38.3	50.5	58.0	68.0	83.2	99.5	116.1
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	二乙氧基甲烷				2.5	15.0	22.5	33.5	49.5	68.0	87.9

续表

分子式	名 称	蒸气压 P/mmHg^{10}									
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
		温 度 $t/^\circ\text{C}$									
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	1-乙氧基-2-丙醇	-6.0	+19.0	30.3	42.8	56.2	64.5	76.3	93.5	112.5	132.2
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇	43.0	58.8	81.5	95.5	110.5	119.5	132.0	152.0	173.5	194.2
$\text{C}_5\text{H}_8\text{Cl}_2$	1,2-二氯苯	20.0	46.0	59.1	73.4	89.4	99.5	112.9	133.4	155.8	179.0
$\text{C}_5\text{H}_8\text{Br}$	溴苯	2.9	27.8	40.0	53.8	68.6	78.1	90.8	110.1	132.3	156.2
$\text{C}_5\text{H}_8\text{Cl}$	氯苯	-13.0	-10.6	22.2	35.3	49.7	58.3	70.7	89.4	110.0	132.2
$\text{C}_5\text{H}_5\text{NO}_2$	硝基苯	44.4	71.6	84.9	99.3	115.4	125.8	139.9	161.2	185.8	210.6
C_5H_6	苯	-36.7	-19.6	11.5	-2.6	+7.6	15.4	26.1	42.2	60.6	80.1
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	苯胺	34.8	57.9	69.4	82.0	96.7	106.0	119.9	140.4	161.0	184.4
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	2-甲基吡啶	-11.1	+12.6	24.4	37.4	51.2	59.9	71.4	89.0	108.4	128.6
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$	环己酮	1.4	26.4	36.7	52.5	67.8	77.5	90.4	110.3	132.5	155.6
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$	2-甲基-2-戊烯-1-醇		11.8	23.5	36.0	50.0	58.5	70.3	88.5	108.6	129.8
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	2,5-己二醇	35.5	62.5	75.4	89.5	105.5	114.5	128.0	147.5	169.5	191.4
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	1,2-二乙氧基乙烷	38.3	64.1	77.1	90.8	106.1	115.8	128.0	147.8	168.3	190.5
C_5H_8	环己烷	-45.3	-25.4	15.9	-5.0	-6.7	14.7	25.5	42.0	60.8	80.7
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{Cl}_2\text{O}$	二(2-氯异戊)醚	28.5	55.0	68.0	82.5	98.0	107.5	121.0	142.0	164.0	187.6
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	环己醇	21.0	44.0	50.0	68.8	83.0	91.8	103.7	121.7	141.4	161.0
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	甲基丁基甲醚	7.7	28.8	38.8	50.0	62.0	69.8	79.8	94.3	111.0	127.5
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	甲基异丁基甲醚		1.0	12.0	24.5	37.7	46.0	58.0	75.5	95.0	115.1
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	乙酸丁酯		13.0	24.0	36.5	49.5	58.0	69.5	87.0	105.5	125.6
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	乙酸仲丁酯			9.5	21.5	35.0	43.5	55.0	72.5	92.0	112.2
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	4-羟基-4-甲基-2-戊酮	20.0	45.0	57.5	71.0	85.6	95.0	107.5	126.5	147.5	169.2
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	丁酸丁酯	-18.4	+4.0	15.3	27.8	41.5	50.1	62.0	79.8	100.0	121.0
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	甲酸异戊酯	-17.5	+5.4	27.1	39.0	44.0	53.3	65.4	83.2	102.7	123.3
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	乙酸异丁酯	-21.2	+1.4	12.8	25.5	39.2	48.0	59.7	77.6	97.5	118.0
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	丙酸丙酯	-14.2	-8.0	19.4	31.6	45.0	53.8	62.5	82.7	102.0	122.4
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	1-乙氧基-2-乙氧基乙烷	17.5	41.5	53.0	66.0	79.5	88.0	100.0	117.5	137.0	156.4
C_5H_{14}	己烷	-53.9	-34.5	-25.0	-14.1	-2.3	+5.4	15.8	31.6	49.6	68.7
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}$	丁基乙基醚		-18.0	-7.0	+3.0	18.5	27.0	37.9	54.2	74.0	92.2
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}$	二异丙醚	-57.0	37.4	-27.4	-16.7	-4.5	+3.4	18.7	30.0	48.2	67.5
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}$	二丙醚	-43.3	-22.3	-11.8	0.0	+13.2	21.6	33.0	50.3	69.5	89.5
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}$	1-己醇	24.4	47.2	58.2	70.3	83.7	92.0	102.8	119.6	138.0	157.0
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}_2$	1,1-二乙氧基乙烷	-23.0	-2.3	+8.0	19.6	31.9	39.8	50.1	66.3	84.0	102.2
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}_2$	1,2-二乙氧基乙烷		9.5	20.5	32.7	48.0	54.5	65.5	83.0	101.5	121.1
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}_2$	2-丁氧基乙醇	22.5	47.5	60.0	73.5	88.0	98.0	110.0	129.3	150.0	172.0
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}_2$	2-(2-乙氧乙氧基)乙醇	45.3	72.0	85.8	100.3	116.7	126.8	140.0	159.0	180.3	201.9
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}_2$	二丙醇	73.8	102.1	116.2	131.3	147.4	156.5	169.9	189.9	210.5	231.8
$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{O}_2$	三甘醇	119.0	148.0	162.0	177.0	193.0					287.4
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$	苯甲醚	26.2	50.1	62.0	75.0	90.1	99.6	112.5	131.7	154.1	179.0
$\text{C}_5\text{H}_8\text{Cl}$	2-氯甲苯	5.4	30.6	43.2	56.9	72.0	81.8	94.7	115.0	137.1	159.8
$\text{C}_5\text{H}_8\text{Cl}$	4-氯甲苯	5.5	31.0	43.8	57.8	73.5	83.3	96.6	117.1	139.8	162.3
C_5H_8	甲苯	-26.7	-4.4	-6.4	18.4	31.8	40.3	51.9	69.5	89.5	110.6
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$	苯甲醇	58.0	80.8	92.6	105.8	119.8	129.3	141.7	160.0	183.0	204.7
C_5H_8	甲基环己烷	-35.9	-14.0	-3.2	-8.7	22.0	30.5	42.1	59.6	79.6	100.9
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	二丙基甲醚	-5.0	+19.5	31.5	45.0	59.5	68.5	81.0	100.0	121.0	143.7
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	乙基丁基甲醚	0.0	24.0	36.0	49.5	64.0	73.0	85.5	104.5	125.0	147.4
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	甲基戊基甲醚	6.5	30.2	42.5	55.5	69.7	78.5	90.5	109.0	129.2	150.4
$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	乙酸戊酯		15.5	28.0	42.0	57.5	67.0	80.5	101.0	124.0	149.2

分子式	名 称	蒸气压 P/mmHg									
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
		温 度 $t/^\circ\text{C}$									
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	丙酸丁酯	0.0	24.0	36.0	48.0	63.5	72.5	85.0	104.0	124.5	146.8
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	乙氧异戊酯	0.0	23.7	35.2	47.3	62.1	71.0	83.2	101.3	121.5	142.0
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	丁酸丙酯	-1.6	+22.1	34.0	47.0	61.5	70.3	82.6	101.0	121.7	142.7
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	乳酸丁酯	27.0	62.5	75.0	88.4	103.8	112.8	125.8	145.0	165.5	187.0
C_5H_{10}	庚烷	-34.0	-12.7	-2.1	+5.5	22.3	30.6	41.2	55.7	72.0	98.4
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	戊醛	42.4	64.3	74.7	85.3	99.8	106.0	119.5	136.6	155.6	175.8
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	1-丁氧基-2-丙醇	24.5	49.0	61.5	74.5	89.5	98.0	110.0	125.0	149.5	170.2
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	1-(2-甲氧丙氧基)-2-丙醇	35.5	61.0	74.0	86.0	103.5	112.0	126.0	145.5	167.0	189.0
C_6H_8	苯乙烯	7.0	+18.0	30.8	44.3	59.8	68.5	82.0	101.3	122.5	145.2
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}$	苯乙酮	37.1	64.0	78.0	92.4	109.4	115.8	133.6	154.2	178.0	202.4
C_6H_8	乙苯	-9.8	+13.9	25.9	38.6	52.8	61.8	74.1	92.7	113.8	136.2
C_6H_8	邻二甲苯	3.8	+20.2	32.1	45.1	59.5	68.8	81.3	100.2	121.7	144.4
C_6H_8	间二甲苯	-6.0	+16.8	28.3	41.1	55.5	64.4	76.8	95.5	116.7	139.1
C_6H_8	对二甲苯	-8.1	+15.5	27.3	40.1	54.4	63.5	75.9	94.6	115.9	138.3
$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$	1-苯基乙醇	49.0	75.2	86.0	102.1	117.8	127.4	140.3	155.0	180.7	204.0
$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$	2-苯氧基乙醇	78.0	106.6	121.2	136.0	152.2	162.2	176.5	197.6	221.0	245.3
$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$	半苯基基甲酮	23.6	48.4	60.9	74.3	89.8	96.0	111.7	130.4	151.0	172.9
$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$	丁酸丁酯	13.0	38.5	51.0	65.0	80.0	89.5	102.5	122.0	144.0	166.6
$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$	1-丁氧基-2-乙氧基乙醇	36.5	62.5	76.0	89.5	105.0	114.5	128.0	148.0	169.5	191.5
C_7H_{12}	辛烷	14.0	18.3	19.2	31.5	45.1	53.8	65.7	83.6	104.0	125.8
$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}$	庚醛	5.9	+15.3	31.4	45.0	60.0	69.1	82.0	100.0	121.2	142.0
$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}$	1-辛醇	54.0	76.5	88.3	101.0	115.2	123.8	135.2	152.0	173.8	195.2
$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}$	2-辛醇	32.8	57.6	70.0	83.3	98.0	107.4	119.8	138.0	157.5	178.5
$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_2$	二(2-乙氧基)醚	31.5	57.8	70.8	85.0	100.5	110.0	123.5	144.0	166.0	188.9
$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_2$	2-(2-丁氧乙氧基)乙醇	70.0	95.7	107.8	120.0	135.0	146.0	159.8	181.2	205.0	231.2
$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_2$	1-(2-乙氧丙氧基)-2-丙醇	42.0	68.0	81.0	95.0	110.5	120.0	133.0	154.0	175.0	197.0
C_7H_{12}	异丙苯	2.9	26.8	38.3	51.5	66.1	75.4	88.1	107.3	129.2	152.4
$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}$	3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-醇	38.0	66.7	81.2	96.8	114.5	125.6	140.6	163.3	188.7	215.2
$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	二异丁酮	15.0	40.5	53.0	67.0	82.0	92.0	105.0	124.0	147.0	169.0
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	十氢化萘	38.0	65.3	79.0	93.8	110.4	121.3	135.3	157.2	181.8	207.2
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	对异丙基苯甲烷	19.0	44.6	57.6	71.5	87.6	96.8	110.1	130.1	151.8	175.7
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	双戊烯	18.0	44.0	57.0	71.0	87.0	96.5	110.0	130.0	153.2	176.7
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	α -蒎烯	-1.0	-24.6	37.3	51.4	66.8	76.8	90.1	110.2	132.3	155.0
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	顺十氢化萘	22.5	50.1	64.2	79.8	97.2	108.0	123.2	145.4	169.9	194.6
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	反十氢化萘	-0.8	-30.8	47.2	65.3	85.7	98.4	114.8	136.2	160.1	186.7
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	戊醛	24.5	51.0	64.3	78.8	95.0	104.8	118.2	139.5	163.0	188.8
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	异戊醛	18.6	44.3	57.0	70.7	86.2	96.0	109.6	129.0	150.3	173.4
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_2$	1,2-二丁氧基乙醇	43.2	69.8	83.0	97.3	113.0	122.5	136.0	156.5	178.5	203.6
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_2$	1-(2-丁氧丙氧基)-2-丙醇	63.0	91.0	105.0	120.0	136.5	147.0	161.0	182.0	205.0	228.0
$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	二己醇	59.0	86.2	100.0	114.5	130.7	141.0	156.0	175.3	198.0	222.2

① mmHg 与 SI 单位的换算因数: $1\text{mmHg}=133.3224\text{Pa}$ 。

表 3-57 溶剂及其共沸混合物的沸点

在一大气压 (101.33kPa) 下溶剂及其共沸混合物的沸点 (按沸点递增顺序排列); 共沸混合物组分, 以质量分数表示。

序号	组 分	沸点 t/°C	序号	组 分	沸点 t/°C
1	甲酸甲酯(40%) + 乙醚(18%) + 戊烷(32%)	20.4	45	二硫化碳(88%) + 甲醇(14%)	35.7
2	甲酸甲酯(33%) + 戊烷(47%)	21.4	47	二硫化碳(83%) + 溴乙烷(16.7%)	37.8
3	二氯甲烷	23.7	48	二氯甲烷(92.7%) + 甲醇(7.3%)	38.8
4	二硫化碳(33%) + 甲酸甲酯(67%)	24.8	49	二氯甲烷(70%) + 环戊烷(30%)	38.9
5	1,2-二氯丙烷(57%) + 戊烷(43%)	27.5	50	水(0.8%) + 二硫化碳(77.2%) + 丙酮(21.9%)	38.9
6	甲酸甲酯(75%) + 环戊烷(25%)	28.0	51	水(1.5%) + 二氯甲烷(98.5%)	38.1
7	甲酸甲酯(36%) + 乙醚(44%)	28.2	52	二氯甲烷(80%) + 溴乙烷(20%)	38.1
8	甲酸甲酯(37%) + 2-氯丙烷(43%)	29.0	53	溴乙烷	38.2
9	甲酸甲酯(66%) + 溴乙烷(34%)	29.9	54	甲酸(3%) + 溴乙烷(97%)	38.2
10	甲醇(7%) + 戊烷(33%)	30.8	55	甲醇(14%) + 环戊烷(86%)	38.8
11	2-氯丙烷(37%) + 戊烷(43%)	31.0	56	二硫化碳(67%) + 丙酮(33%)	39.3
12	甲酸甲酯	31.5	57	二硫化碳(63%) + 甲酸乙酯(37%)	39.4
13	丙酮(21%) + 戊烷(79%)	31.9	58	水(0.6%) + 甲醇(3.0%) + 1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷(96.4%)	39.4
14	甲醇(6%) + 2-氯丙烷(94%)	32.3	59	二硫化碳(70%) + 乙酸甲酯(30%)	39.5
15	溴乙烷(<52%) + 戊烷(>48%)	<32.8	60	二氯甲烷	39.8
16	乙醚(68%) + 戊烷(32%)	33.4	61	二氯甲烷(>95%) + 乙醇(<5%)	<39.8
17	甲酸乙酯(25%) + 戊烷(75%)	33.5	62	甲醇(6%) + 1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷(94%)	39.9
18	水(1.2%) + 2-氯丙烷(98.8%)	33.6	63	二甲氧基甲烷(82%) + 环戊烷(38%)	40.0
19	二甲氧基甲烷(35%) + 戊烷(65%)	33.6	64	水(2.5%) + 乙醇(6.7%) + 1-氯丙烷(90.8%)	40.0
20	二硫化碳(22%) + 2-氯丙烷(78%)	33.7	65	二氯甲烷(77%) + 1,2-二氯丙烷(23%)	40.6
21	1,2-二氯丙烷	33.9	66	甲醇(10%) + 1-氯丙烷(90%)	40.6
22	二硫化碳(10%) + 甲醇(10%) + 溴乙烷(80%)	33.9	67	二氯甲烷(70%) + 乙醇(30%)	40.8
23	水(1.2%) + 乙醚(98.7%)	34.2	68	丙酮(36%) + 环戊烷(64%)	41.0
24	甲酸(10%) + 戊烷(90%)	34.2	69	水(1.6%) + 二硫化碳(93.4%) + 乙醇(5%)	41.3
25	乙醇(2%) + 2-氯丙烷(97%)	34.2	70	甲醇(8.2%) + 二甲氧基甲烷(91.8%)	41.9
26	乙醇(4%) + 戊烷(96%)	34.2	71	甲酸乙酯(<45%) + 环戊烷(>55%)	<42.0
27	二硫化碳(1%) + 乙醚(99%)	34.4	72	水(1.3%) + 二甲氧基甲烷(98.7%)	42.1
28	乙醚	34.5	73	二硫化碳(55.5%) + 1-氯丙烷(44.5%)	42.1
29	水(1.4%) + 戊烷(98.6%)	34.6	74	二甲氧基甲烷	42.3
30	1-氯丙烷(<32%) + 戊烷(>68%)	<34.6	75	水(2.8%) + 二硫化碳(97.2%)	42.6
31	2-氯丙烷	34.8	76	二硫化碳(83%) + 甲酸(17%)	42.6
32	甲酸(1.8%) + 2-氯丙烷(98.2%)	34.8	77	二硫化碳(91%) + 乙醇(9%)	42.6
33	甲醇(5.5%) + 溴乙烷(94.5%)	35.0	78	水(0.6%) + 1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷(95.4%) + 乙醇(3.9%)	42.6
34	2-丙醇(6%) + 戊烷(94%)	35.4	79	水(1%) + 1-氯丙烷(99%)	43.4
35	二氯甲烷(<49%) + 戊烷(>51%)	<35.5	80	二硫化碳(90%) + 甲酸异丙酯(10%)	43.5
36	二硫化碳(55%) + 甲醇(7%) + 二甲氧基甲烷(38%)	<35.6	81	1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷(96.2%) + 乙醇(3.8%)	43.8
37	二硫化碳(11%) + 戊烷(89%)	35.7	82	二硫化碳(67%) + 环戊烷(33%)	44.0
38	2-甲基丙醇(2) + 戊烷(97%)	35.9	83	二硫化碳(92.4%) + 2-丙醇(7.6%)	44.2
39	正戊烷	36.1	84	二硫化碳(90%) + 氨基甲烷(10%)	44.5
40	水(1%) + 溴乙烷(99%)	37	85	水(1.1%) + 反-1,2-二氯乙烷(94.5%) + 乙醇(4.4%)	44.4
41	二硫化碳(39%) + 二氯甲烷(61%)	37.0	86	1-氯丙烷(<64%) + 环戊烷(>36%)	<44.5
42	二硫化碳 + 甲醇 + 乙酸甲酯	37			
43	二硫化碳(46%) + 二甲氧基甲烷(54%)	37.3			
44	溴乙烷(<80%) + 环戊烷(>20%)	<37.5			
45	溴乙烷(96.5%) + 乙醇(3.5%)	37.6			

续表

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
87	水(1.0%)+1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷(99.0%)	44.5	133	丙酮(61%)+二异丙醚(39%)	54.2
88	乙醇(7.5%)+环戊烷(92.5%)	44.7	134	甲酸乙酯	54.3
89	二硫化碳(72%)+1,1-二氯乙烷(28%)	44.8	135	甲醇(21%)+1-溴丙烷(79%)	54.6
90	二硫化碳(93%)+2-甲基-2-丙醇(7%)	44.8	136	1,1-二氯乙烷(88.5%)+乙醇(11.5%)	54.8
91	二氯甲烷(41%)+二甲氧基甲烷(59%)	45.0	137	水(1%)+甲乙酮(92%)+正乙烷(77%)	55
92	乙醇(6%)+1-氯丙烷(94%)	45.0	138	水(3.4%)+顺-1,2-二氯乙烯(96.6%)	55.3
93	水(1.9%)+反-1,2-二氯乙烯(98.1%)	45.3	139	乙醇(11.5%)+2-溴丙烷(88.5%)	55.3
94	二硫化碳(93.5%)+烯丙醇(6.5%)	45.3	140	水(3.5%)+氯仿(92.5%)+乙醇(4.0%)	55.4
95	二硫化碳(94.5%)+1-丙醇(5.5%)	45.7	141	甲醇(12%)+丙酮(88%)	55.5
96	甲酸(8%)+1-氯丙烷(92%)	45.7	142	四氯化碳(79.4%)+甲醇(20.6%)	55.7
97	丙酮(15%)+1-氯丙烷(85%)	45.8	143	丙酮(49%)+乙酸甲酯(51%)	55.7
98	二硫化碳+1,1-二甲氧基乙烷	<45.9	144	丙酮(89.5%)+庚烷(10.5%)	55.9
99	二硫化碳(84.7%)+甲乙酮(15.3%)	45.9	145	甲醇(21.7%)+1,1,1-三氯乙烷(78.3%)	56
100	二硫化碳(92.7%)+乙酸乙酯(7.3%)	46.0	146	乙酸甲酯(68%)+2-溴丙烷(32%)	56.0
101	甲醚(16%)+环戊烷(84%)	46.0	147	水(5.8%)+乙醇(11.9%)+己烷(82.3%)	56
102	二硫化碳(89.5%)+2-溴丙烷(10.5%)	46.1	148	四氯化碳(11.5%)+丙酮(88.5%)	56.1
103	二硫化碳	46.3	149	甲酸(14%)+2-溴丙烷(86%)	56.1
104	甲酸乙酯(15%)+1-氯丙烷(85%)	46.3	150	丙酮(98%)+1-溴丙烷(2%)	56.1
105	1-氯丙烷(97.2%)+2-丙醇(2.8%)	46.4	151	丙酮	56.2
106	1-氯丙烷	46.5	152	水(2.5%)+氯仿(97.5%)	56.2
107	反-1,2-二氯乙烯(94%)+乙醇(6%)	46.5	153	水(3.3%)+乙酸甲酯(96.7%)	56.4
108	甲酸异丙酯(18%)+环戊烷(82%)	<47.0	154	1,1-二氯乙烷(90%)+2-丙醇(10%)	56.5
109	2-丙醇+环戊烷	<47.3	155	乙酸甲酯(<90%)+己烷(>10%)	<56.7
110	硝基甲烷(>9%)+环戊烷(<91%)	<47.5	156	乙酸甲酯	56.9
111	反-1,2-二氯乙烯	47.5	157	甲酸异丙酯(48%)+己烷(52%)	57.0
112	1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷	47.6	158	甲醇(33%)+甲酸异丙酯(67%)	57.2
113	2-甲基-2-丙醇(-7%)+环戊烷(93%)	48.2	159	甲醇(38.5%)+1-氯丁烷(71.5%)	57.2
114	甲醇(14.5%)+1-溴丙烷(85.5%)	49.0	160	1,1-二氯乙烷	57.3
115	甲醇(12%)+1,1-二氯乙烷(88%)	49.1	161	甲醇(24.2%)+1,1-二甲氧基乙烷(75.8%)	57.5
116	环戊烷	49.3	162	氯仿(47%)+甲醇(23%)+丙酮(30%)	57.5
117	甲酸乙酯(67%)+己烷(33%)	49.5	163	1,1-二氯乙烷(70%)+丙酮(30%)	57.6
118	丙酮(58.5%)+己烷(41.5%)	49.7	164	顺-1,2-二氯乙烯(90.2%)+乙醇(9.8%)	57.7
119	甲醇(28%)+己烷(72%)	50.5	165	2-溴丙烷(93.0%)+2-丙醇(7.0%)	57.7
120	甲醇(17.8%)+乙酸甲酯(48.6%)+环己烷(33.6%)	50.8	166	水+2-丙醇+己烷	58.2
121	甲醇(16%)+甲酸乙酯(84%)	51.0	167	甲醇(39.5%)+苯(60.5%)	58.3
122	甲醇(16.0%)+丙酮(43.5%)+环己烷(40.5%)	51.1	168	氯仿+乙醇+己烷	58.3
123	甲醇(<15%)+顺-1,2-二氯乙烯(>85%)	<51.4	169	乙醇(21%)+己烷(79%)	58.7
124	丙酮(67%)+环己烷(33%)	53.0	170	2-溴丙烷(94.8%)+1,3-二甲氧基丙烷(5.2%)	59.0
125	甲酸乙酯(70%)+2-溴丙烷(30%)	53.0	171	甲醇(51.5%)+庚烷(48.5%)	59.1
126	氯仿(87.5%)+甲醇(12.5%)	53.5	172	氯仿(8.5%)+甲酸(15%)	59.2
127	甲醇(17.4%)+丙酮(58%)+乙酸甲酯(76.8%)	53.7	173	2-溴丙烷(98.5%)+己烷(1.5%)	59.3
128	水(2.9%)+顺-1,2-二氯乙烯(90.5%)+乙醇(6.6%)	53.8	174	2-溴丙烷	59.4
129	甲醇(19%)+乙酸甲酯(81%)	54.0	175	三氯甲烷(93%)+乙醇(7%)	59.4
130	水(3%)+甲酸乙酯(97%)	54.1	176	甲醇(57%)+甲基环己烷(43%)	59.5
131	丙酮(42%)+2-溴丙烷(58%)	54.1	177	水(5%)+烯丙醇(5%)+己烷(90%)	59.7
132	甲醇(38.2%)+环己烷(61.8%)	54.2	178	氯仿(72%)+己烷(28%)	60.0
			179	水(4.8%)+乙醇(8.4%)+1-溴丙烷(86.8%)	60.0
			180	水+1-丙醇+己烷	60.0

续表

序号	组 分	沸点 t/°C	序号	组 分	沸点 t/°C
181	甲醇(36%) + 三氯乙烷(64%)	60.2	226	硝基甲烷(8%) + 甲醇(92%)	64.5
182	顺-1,2-二氯乙烷	60.4	227	甲醇(90.7%) + 2-氯乙醇(9.3%)	64.5
183	水(4.0%) + 三氯甲烷(57.6%) + 丙酮(38.4%)	60.4	228	甲醇(>93%) + 甲酸异丙酯(<7%)	<64.6
184	甲酸(28%) + 己烷(72%)	60.3	229	甲醇(99.2%) + 戊烯(0.8%)	64.6
185	甲醇(32%) + 1,2-二氯乙烷(68%)	60.9	230	甲醇	64.7
186	水(3.6%) + 1,1-二甲氧基乙烷(96.4%)	61.0	231	甲酸(21%) + 1-丙醇(79%)	64.7
187	水(5.6%) + 1-丙醇(2.0%) + 二异丙基醚(92.4%)	61.0	232	氯仿(77%) + 乙酸甲酯(23%)	64.8
188	水 + 2-丁醇 + 己烷	61.1	233	水(7.5%) + 乙醇(35.5%) + 甲基环己烷(57.0%)	64.8
189	氯仿	61.2	234	乙醇(31.5%) + 环己烷(68.5%)	64.9
190	水(3.8%) + 二异丙醚(96.2%)	61.2	235	水(7.4%) + 乙醇(18.5%) + 苯(74.1%)	64.9
191	水(5.3%) + 己烷(94.7%)	61.4	236	水(3%) + 甲酸异丙酯(97%)	65.0
192	水(4.7%) + 2-丙醇(17.3%) + 二异丙醚(78.0%)	61.6	237	四氯化碳(84.1%) + 乙醇(15.9%)	65.1
193	氯仿(2.5%) + 二甲氧基甲烷(7.5%)	61.6	238	乙酸乙酯(<39%) + 己烷(>61%)	65.1
194	甲醇(50.2%) + 甲酸丙酯(49.8%)	61.8	239	烯丙醇(4.5%) + 己烷(95.5%)	65.2
195	硝基甲烷(21%) + 己烷(79%)	61.8	240	水(4.1%) + 四氯化碳(90.4%) + 烯丙醇(5.5%)	65.4
196	甲醇(56%) + 氯代异戊烷(44%)	62.0	241	水(5.0%) + 四氯化碳(84%) + 1-丙醇(11%)	65.4
197	乙醇(12%) + 1,1-二甲氧基乙烷(88%)	62.0	242	1-丙醇(4%) + 己烷(96%)	65.7
198	水(4.5%) + 四氯化碳(85.5%) + 乙醇(10.0%)	62.0	243	水(3.0%) + 四氯化碳(74.8%) + 丁酮(22.2%)	65.7
199	水(4.3%) + 2-醇(23.4%) + 环己烷(71.8%)	62.1	244	四氢呋喃	66
200	氯仿(85%) + 2-溴丙烷(15%)	62.2	245	水(4.1%) + 四氯化碳(95.9%)	66
201	甲醇(44%) + 乙酸乙酯(56%)	62.3	246	乙醇(21.5%) + 1-氯丁烷(78.5%)	66.2
202	2-丙醇(23%) + 己烷(77%)	62.3	247	2-丙醇(16.3%) + 二异丙醚(83.7%)	66.2
203	甲醇(48%) + 丙酸甲酯(52%)	62.3	248	水(8%) + 烯丙醇(11%) + 环己烷(81%)	66.2
204	甲醇(56%) + 1-甲基基醚(44%)	62.4	249	水(7.5%) + 2-丙醇(18.7%) + 苯(73.8%)	66.5
205	氯仿(87%) + 甲酸乙酯(13%)	62.6	250	水(8.5%) + 1-丙醇(10%) + 环己烷(81.5%)	66.6
206	乙醇(18%) + 1-溴丙烷(82%)	62.7	251	四氯化碳(81.5%) + 甲酸(18.5%)	66.7
207	甲醇(63%) + 1,2-二氯乙烷(37%)	62.8	252	1-溴丙烷(79.5%) + 2-丙醇(20.5%)	66.8
208	水(5%) + 四氢呋喃(95%)	63	253	丙酸甲酯(22%) + 己烷(78%)	66.8
209	甲醇(72%) + 苯(28%)	63.0	254	1-溴丙烷(<43%) + 甲酸异丙酯(>57%)	<67.0
210	四氢呋喃(53.5%) + 己烷(46.5%)	63	255	1-溴丙烷(42%) + 己烷(58%)	67.0
211	甲醇(65%) + 二氯乙烷(35%)	63.2	256	水(7.0%) + 三氯乙烷(79.5%) + 乙醇(13.5%)	67
212	甲醇(70%) + 丁酮(30%)	63.5	257	水 + 2-丁醇 + 环己烷	~67
213	甲酸丙酯(30%) + 己烷(70%)	65.6	258	2-丁醇(8.5%) + 己烷(91.5%)	67.1
214	水(5%) + 丁酮(60%) + 环己烷(35%)	65.6	259	氯仿(32%) + 1,1-二甲氧基乙烷(68%)	67.2
215	甲醇(63.5%) + 四氯乙烷(36.5%)	65.8	260	己烷(47%) + 二异丙基醚(53%)	67.5
216	甲醇(69%) + 甲苯(31%)	65.8	261	2-氯乙醇(<13%) + 己烷(>87%)	<68.0
217	甲醇(70.2%) + 乙酸异丙酯(29.8%)	64.0	262	四氯化碳(12%) + 甲酸异丙酯(88%)	68.0
218	乙醇(17.1%) + 二异丙醚(82.9%)	64.0	263	1-溴丙烷(88%) + 2-甲基-2-丙醇(12%)	68.0
219	1,1-二甲氧基乙烷(70%) + 己烷(30%)	64.2	264	水(9.0%) + 1,2-二氯乙烷(74.2%) + 乙醇(16.8%)	68
220	2-甲基-2-丙醇(23%) + 己烷(77%)	64.3	265	水 + 乙醇 + 苯	68
221	1,1-二甲氧基乙烷	64.3	266	水(12.1%) + 乙醇(25.9%) + 庚烷(62.0%)	68
222	甲醇(46%) + 1-溴甲烷(54%)	64.3	267	水(6.6%) + 1-氯丁烷(93.4%)	68.1
223	丁酮(29.5%) + 己烷(70.5%)	64.3	268	2-甲基-1-丙醇(2.5%) + 己烷(97.5%)	68.1
224	水(7.5%) + 2-丙醇(16.5%) + 环己烷(74.0%)	64.3	269	乙醇(32.4%) + 苯(67.60%)	68.2
225	氯仿(79.5%) + 丙酮(20.5%)	64.5			

续表

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
270	水(8.6%)—烯丙醇(9.2%)—苯(82.2%)	68.2	316	2-丙醇(33.3%)—苯(66.7%)	71.9
271	甲酸异丙酯	68.3	317	水(19.5%)—1,2-二氯乙烷(80.5%)	72
272	1-异丙醇	68.3	318	乙醇(51.5%)—甲苯环己烷(48.5%)	72.0
273	2-丙醇—乙酸乙酯—环己烷	~68.3	319	乙醇(34%)—丙酸甲酯(64%)	72.2
274	乙酸异丙酯(<9%)—己烷(>91%)	<68.5	320	四氯化碳(88.5%)—烯丙醇(11.5%)	72.3
275	2-甲基-2-丁醇(4%)—己烷(96%)	68.5	321	乙醇+1-氯戊烷	72.5
276	水(8.6%)—1-丙醇(9.0%)—苯(42.4%)	68.5	322	水+三氯乙烷+2-甲基-1-丙醇	72.7
277	2-丙醇(33%)—环己烷(67%)	68.6	323	乙酸乙酯(56%)—环己烷(44%)	72.8
278	甲酸异丁酯(<7%)—己烷(>93%)	<68.7	324	1-氯丁烷(80%)—2-甲基-2-丙醇(20%)	72.8
279	己烷	68.7	325	四氯化碳(88.5%)—1-丙醇(11.5%)	73.1
280	苯(15%)—己烷(85%)	68.8	326	水(11%)—乙醇(14%)—1-丙醇(75%)	73.2
281	水(8.3%)—丁醇(17.5%)—苯(73.6%)	68.9	327	水(12.1%)—乙醇(18.3%)—二乙氧基甲烷(69.5%)	73.2
282	水(5%)—环己烷(95%)	69.0	328	水(10.4%)—2-丙醇(21.3%)—丁基乙醚(67.7%)	73.4
283	四氯化碳(82%)—2-丙醇(18%)	69.0	329	水(11.4%)—丁醇(88.6%)	73.5
284	水—乙醇—乙酸异戊酯	69.0	330	水(5.4%)—三氯乙烷(94.6%)	73.5
285	水(8.8%)—苯(91.2%)	69.3	331	四氯化碳(71%)—丁醇(29%)	73.8
286	烯丙醇(8%)—1-溴丙烷(92%)	69.3	332	乙醇(48.3%)—丁基乙醚(50.7%)	73.8
287	甲酸(25%)—1-氯丁烷(75%)	69.4	333	1,1,1-三氯乙烷	73.9
288	甲酸(33%)—环己烷(67%)	69.5	334	2-甲基-2-丙醇(30.5%)—苯(69.5%)	73.9
289	水(7.7%)—1,2-二氯乙烷(73.3%)—2-丙醇(18.9%)	69.7	335	水(11.5%)—1-丙醇(9.7%)—丁醇(78.4%)	73.9
290	1-溴丙烷(90.5%)—1-丙醇(9.5%)	69.8	336	甲酸丙酯(<48%)—环己烷(>52%)	<74.0
291	氯仿(>14%)—甲酸异丙酯(<86%)	70.0	337	水(16.3%)—乙醇(46.6%)—辛烷(37.2%)	74
292	水+三氯乙烷—2-丙醇	~70	338	甲酸(25%)—三氯乙烷(75%)	74.1
293	硝基甲烷(28%)—环己烷(72%)	70.2	339	烯丙醇(20%)—环己烷(80%)	74.1
294	水(5.0%)—乙醇(8.4%)—乙酸乙酯(82.6%)	70.2	340	乙醇(42%)—二乙氧基甲烷(58%)	74.2
295	水(8.2%)—乙酸乙酯(91.8%)	70.4	341	1-丙醇(20%)—环己烷(80%)	74.3
296	氯仿(36%)—1-异丙醇(64%)	70.5	342	1,2-二氯乙烷(49.6%)—环己烷(50.4%)	74.4
297	1,2-二氯乙烷(>65%)—乙醇(<35%)	70.5	343	乙醇(44%)—二丙醇(56%)	74.4
298	硝基甲烷(7%)—1-溴丙烷(93%)	70.6	344	水(1.2%)—乙醇(51%)—甲苯(37%)	74.4
299	水(13%)—1-丙醇(5%)—甲酸丙酯(82%)	70.8	345	烯丙醇(15%)—1-氯丁烷(85%)	74.5
300	三氯乙烷(73%)—乙醇(27%)	70.9	346	水(6.7%)—四氯乙烷(55.7%)—乙醇(37.6%)	74.5
301	乙醇(45%)—庚烷(55%)	70.9	347	四氯化碳(~69%)—甲酸丙酯(~33%)	74.6
302	1-溴丙烷	71	348	四氯化碳(92.4%)—2-丁醇(7.6%)	74.6
303	2-丙醇(23%)—1-氯丁烷(77%)	71.0	349	乙醇(47.5%)—1,2-二氯丙烷(52.7%)	74.7
304	甲酸(31%)—苯(69%)	71.1	350	乙醇(43%)—氯代异戊烷(57%)	74.7
305	四氯化碳(63%)—硝基甲烷(37%)	71.3	351	四氯化碳(57%)—乙酸乙酯(43%)	74.8
306	水(3.9%)—丙酸甲酯(96.1%)	71.4	352	水(9.8%)—乙醇(19.4%)—乙酸异丙酯(70.8%)	74.8
307	2-甲基-2-丙醇(27%)—环己烷(63%)	71.5	353	水(11.7%)—1-丙醇(20.2%)—1-丙醇(68.1%)	74.8
308	水(6.5%)—三氯乙烷(84.7%)—烯丙醇(8.8%)	71.6	354	1,2-二氯乙烷(>61%)—2-丙醇(<39%)	75.0
309	水(7%)—三氯乙烷(81%)—1-丙醇(12%)	71.6	355	水+乙醇—氯苯(15%)	75.0
310	水(9.3%)—乙醇(4.2%)—乙基丁醚(86.5%)	71.6	356	水(10%)—二乙氧基甲烷(90%)	75.2
311	四氯化碳(83%)—2-甲基-2-丙醇(17%)	71.7	357	丙酸甲酯(50%)—环己烷(50%)	75.2
312	乙醇(38%)—甲酸正丙酯(61%)	71.8	358	2-丙醇(25%)—乙酸乙酯(75%)	75.2
313	乙醇(30.8%)—乙酸乙酯(69.2%)	71.8	359	二溴甲烷(60%)—乙醇(40%)	75.5
314	丁醇(40%)—环己烷(60%)	71.8			
315	水(3.6%)—甲酸丙酯(96.4%)	71.9			

续表

序号	组 分	沸点 (°C)	序号	组 分	沸点 (°C)
360	硝基甲烷(16%) + 1-氯丁烷(84%)	75.5	408	1-氯丁烷(92%) + 2-丁醇(8%)	77.7
361	二氯乙烷(10%) + 2-丙醇(90%)	75.5	409	苯(51.2%) + 环己烷(48.2%)	77.7
362	水(11%) + 2-丙醇(13%) + 乙酸异丙酯(76%)	75.5	410	水(11.4%) + 乙醇(27.6%) + 1,1-二氯乙烷(61.0%)	77.8
363	四氯化碳(79%) + 1,2-二氯乙烷(21%)	75.6	411	2-丙醇(32%) + 丁醇(58%)	77.9
364	1-丙醇(76%) + 1-氯丁烷(84%)	75.6	412	1-氯丁烷(>64%) + 环己烷(<36%)	<78.0
365	乙醇(46%) + 丁醇(54%)	75.7	413	乙酸(3%) + 1-氯丁烷(97%)	78.0
366	四氯化碳(94.5%) + 2-甲基-1-丙醇(5.5%)	75.8	414	乙醇(72%) + 丙酸乙酯(28%)	78.0
367	2-丙醇(39%) + 甲酸丙酯(61%)	75.9	415	乙醇(84%) + 丁酸甲酯(16%)	78.0
368	乙酸乙酯(69%) + 1-氯丁烷(40%)	75.9	416	乙醇(76%) + 1,1-二氯乙烷(24%)	78.0
369	水(16.5%) + 1,2-二甲氧乙烷(89.5%)	76	417	1-氯丁烷(96%) + 2-甲基-1-丙醇(4%)	78.0
370	四氯化碳(>80%) + 丙酸甲酯(<20%)	76.0	418	2-甲基-2-丙醇(65%) + 甲基环己烷(35%)	78.0
371	硝基甲烷(26.8%) + 乙醇(73.2%)	76.0	419	2-甲基-2-丙醇(63%) + 庚烷(37%)	78.0
372	乙酸乙酯(72%) + 2-甲基-2-丙醇(27%)	76.0	420	水(6%) + 硝基甲烷(32%) + 2-丙醇(62%)	78
373	水(16%) + 丁醇(90%)	76.1	421	水(4.4%) + 乙醇(21.7%) + 乙苯(73.5%)	78
374	甲酸丙酯(68%) + 1-氯丁烷(62%)	76.1	422	乙醇(98.7%) + 丁烷(1.3%)	78.1
375	乙醇(76%) + 辛烷(24%)	76.3	423	水(4.4%) + 乙醇(95.6%)	78.2
376	水(13.1%) + 2-丙醇(38.2%) + 甲苯(48.7%)	76.3	424	甲酸(13.5%) + 庚烷(56.5%)	78.2
377	2-丙醇(43%) + 丙酸甲酯(65%)	76.4	425	乙醇(83%) + 乙酸丙酯(17%)	78.2
378	2-丙醇(50.0%) + 庚烷(49.5%)	76.4	426	甲酸丙酯(71%) + 庚烷(29%)	78.2
379	1,2-二氯乙烷(<78%) + 2-甲基-2-丙醇	<76.5	427	2-甲基-1-丙醇(14%) + 环己烷(86%)	78.2
380	水(9%) + 乙酸异丙酯(91%)	76.5	428	乙酸异丙酯(25%) + 环己烷(75%)	78.2
381	乙醇(33%) + 乙酸异丙酯(47%)	76.5	429	2-丙醇(54%) + 二丙醇(45%)	78.3
382	2-丁醇(18%) + 环己烷(82%)	76.5	430	丁醇(44%) + 苯(56%)	78.3
383	水(12.1%) + 乙基丁醚(87.9%)	76.6	431	乙醇	78.4
384	四氯化碳(97%) + 乙醇(3%)	76.6	432	1-氯丁烷	78.4
385	四氯化碳(97.5%) + 1-丁醇(2.5%)	76.6	433	2-氯乙醇(10%) + 环己烷(90%)	78.5
386	四氯化碳(95.5%) + 2-甲基-2-丙醇(4.5%)	76.6	434	甲基丙酮(43%) + 苯(57%)	78.5
387	四氯化碳(35%) + 乙醇(65%)	76.7	435	2-丁醇(77%) + 苯(23%)	78.6
388	乙醇(72%) + 甲酸异丙酯(28%)	76.7	436	甲乙酮(49%) + 2-甲基-2-丙醇(51%)	78.7
389	乙醇(68%) + 甲苯(32%)	76.7	437	2-甲基-2-丁醇(15%) + 环己烷(84%)	78.8
390	四氯化碳	76.8	438	2-丙醇(44%) + 氯代异戊烷(56%)	78.9
391	乙酸乙酯	76.8	439	丁醇(60%) + 丙酸甲酯(40%)	79.0
392	烯丙醇(17.3%) + 苯(82.7%)	76.8	440	水(12.9%) + 庚烷(87.1%)	78.2
393	乙酸乙酯(<84%) + 庚烷(>6%)	<76.9	441	硝基甲烷(14%) + 苯(86%)	79.2
394	二氯乙烷(68%) + 2-甲基-2-丙醇(32%)	77.0	442	2-甲基-2-丙醇(52%) + 二丙醇(48%)	79.2
395	丁醇(18%) + 乙酸乙酯(82%)	77.0	443	水(5.0%) + 1,2-二氯乙烷(28.6%) + 苯(66.4%)	79.2
396	丁醇(88%) + 1-氯丁烷(62%)	77.0	444	硝基甲烷(81%) + 2-丙醇(19%)	79.4
397	丁醇(73%) + 庚烷(27%)	77	445	硝基甲烷(32%) + 2-甲基-2-丙醇(68%)	79.4
398	1-丙醇(16.9%) + 苯(83.1%)	77.1	446	丁醇	79.5
399	甲酸(<26%) + 1,2-二氯乙烷(>80%)	77.2	447	丙酸甲酯(51%) + 苯(49%)	79.5
400	2-丙醇(47.5%) + 甲基环己烷(52.5%)	77.4	448	甲酸异丁酯(<19%) + 环己烷(>81%)	79.5
401	水(18%) + 1,2-二氯乙烷(82%)	77.5	449	丙酸甲酯(<82%) + 庚烷(>6%)	<79.6
402	丙酸甲酯(31.5%) + 1-氯丁烷(68.5%)	77.5	450	2-丙醇(52%) + 二氯乙烷(48%)	79.6
403	甲酸丙酯(60%) + 2-甲基-2-丙醇(40%)	77.5	451	乙醇(5%) + 环己烷(95%)	79.7
404	丙酸甲酯(64%) + 2-甲基-2-丙醇(36%)	77.6	452	2-甲氧基乙醇(8%) + 环己烷(92%)	<79.8
405	乙醇(9.12%) + 四基丙基甲醚(8.8%)	77.7	453	2-甲基-1-丙醇(9.3%) + 苯(90.7%)	79.8
406	丁醇(80%) + 甲基环己烷(20%)	77.7	454	1-丁醇(4%) + 环己烷(96%)	79.8
407	1-氯丁烷(98.1%) + 1-丁醇(1.9%)	77.7	455	甲基丙基甲醚(5%) + 环己烷(95%)	79.8

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
456	水(11.8%) + 2-甲基-2-丙醇(88.2%)	79.9	502	水(18%) + 硝基甲烷(77%) + 二乙基酮(85%)	82.4
457	1,2-二氯乙烷(82%) + 烯丙醇(18%)	70.9	503	水(14.5%) + 1,1-二乙氧基乙烷(85.5%)	82.5
458	乙酸(1.7%) + 苯(98.3%)	80.0	504	二氯乙烷(18%) + 1,2-二氯乙烷(82%)	82.6
459	水-吡啶(5%) + 甲基环己烷	80.0	505	水(14%) + 丁酸甲酯(86%)	82.7
460	苯	80.1	506	水(14%) + 二乙基酮(86%)	82.9
461	甲酸(32%) + 氯代异戊烷(68%)	80.1	507	水(13.5%) + 甲基丙基酮(86.5%)	83.0
462	二乙基甲醚(17%) + 环己烷(83%)	81.1	508	水 + 2-甲基-1-丙醇 + 甲苯	83
463	水 + 1-丙醇 + 甲苯	80.1	509	1,2-二氯乙烷(93.5%) + 2-甲基-1-丙醇(6.5%)	83.2
464	甲酸丙酯(<88%) + 甲基环己烷(>12%)	<80.2	510	1,2-二氯乙烷	83.3
465	硝基甲烷(31%) + 庚烷(69%)	80.2	511	水(23.6%) + 硝基甲烷(76.4%)	83.4
466	水 + 烯丙醇 + 甲苯	80.2	512	水(21.3%) + 1-丁醇(10.6%) + 甲酸丁酯(68.7%)	83.6
467	水(17.3%) + 2-甲基-1-丙醇(8.7%) + 甲酸异丁酯(76.0%)	80.2	513	水(16.5%) + 甲酸丁酯(83.7%)	83.8
468	水(12.1%) + 1-丙醇(87.9%)	80.4	514	1,2-二氯乙烷(~90%) + 甲酸丙酯(~10%)	83.8
469	水(8.2%) + 甲酸异丁酯(91.8%)	80.4	515	水(19.6%) + 甲苯(80.4%)	84.1
470	1,2-二氯乙烷(16%) + 环己烷(84%)	80.4	516	三氯乙烷(85%) + 2-丁醇(15%)	84.2
471	1,2-二氯乙烷(82%) + 1-丙醇(18%)	80.5	517	烯丙醇(~37%) + 庚烷(~63%)	84.4
472	丙酸甲酯	80.6	518	1-丙醇(38%) + 庚烷(62%)	84.8
473	2-丙醇(60%) + 甲苯(40%)	80.6	519	1,2-二甲氧基乙烷	85.2
474	环己烷	80.7	520	二氯乙烷(91%) + 2-甲基-1-丙醇(9%)	85.4
475	二氯乙烷 + 甲酸丙酯	80.7	521	水(20.2%) + 2-丁醇(27.4%) + 乙酸叔丁酯(52.4%)	85.5
476	烯丙醇(<5%) + 甲酸丙酯(>95%)	<80.8	522	2-氯-2-甲基丁烷	85.5
477	1-丙醇(3%) + 甲酸丙酯(97%)	80.8	523	烯丙醇(30%) + 二丙基胺(70%)	85.7
478	二溴甲烷(>32%) + 2-丙醇(<68%)	<81.0	524	1-丙醇(29%) + 二丙基胺(71%)	85.7
479	水(13.2%) + 丙酸乙酯(86.8%)	81.0	525	甲酸(50%) + 甲苯(50%)	85.8
480	水 + 甲基环己烷	81.0	526	烯丙醇(42%) + 甲基环己烷(58%)	85.8
481	甲酸(46%) + 甲基环己烷(54%)	81.0	527	水(16.4%) + 1,1,2-三氯乙烷(83.6%)	86.0
482	三氯乙烷(84%) + 烯丙醇(16%)	81.0	528	1-丙醇(41.5%) + 甲基环己烷(58.5%)	86.0
483	1,2-二氯乙烷(75.8%) + 庚烷(24.2%)	81	529	三氯乙烷(96.2%) + 乙酸(3.8%)	86.5
484	2-丙醇(57%) + 乙酸异丙酯(43%)	81	530	乙酸异丙酯(66%) + 庚烷(34%)	86.5
485	2-甲基-2-丙醇(>59%) + 氯代异戊烷(<41%)	<81.2	531	水(19.4%) + 乙酰胺丁酯(80.6%)	86.6
486	甲酸丙酯	81.2	532	三氯乙烷(97.5%) + 2-氯乙醇(2.5%)	86.6
487	水(~20%) + 1-丙醇(~20%) + 二乙基酮	~81.2	533	三氯乙烷(92.5%) + 2-甲基-2-丁醇(7.5%)	86.6
488	硝基甲烷(39.5%) + 甲基环己烷(60.5%)	81.3	534	水(24.7%) + 2-丁醇(56.1%) + 1-丁基胺(19.2%)	86.6
489	硝基甲烷(20%) + 二氯乙烷(80%)	81.4	535	三氯乙烷(97%) + 1-丁醇(3%)	86.7
490	2-丙醇(84%) + 苯(16%)	81.6	536	1-丙醇(14%) + 二乙基甲醚(86%)	86.7
491	四氯乙烷(78%) + 2-丙醇(22%)	81.7	537	水(30.4%) + 2-甲基-1-丙醇(23.1%) + 乙酸异丁酯(46.5%)	86.8
492	二氯乙烷(83%) + 1-丙醇(17%)	81.8	538	三氯乙烷	86.9
493	水(32.1%) + 1-氯戊烷(67.9%)	82	539	烯丙醇(>11%) + 二乙基甲醚(<89%)	<87.0
494	水 + 2-甲基-2-丁醇 + 甲苯	~82	540	水(26.4%) + 硝基乙烷(73.6%)	87.1
495	1,2-二氯乙烷(68%) + 1-丁醇(32%)	<82.2	541	水(27.5%) + 2-甲基-2-丁醇(72.5%)	87.4
496	水(13.2%) + 乙酸丙酯(86.8%)	82.2	542	水(16.5%) + 乙酸异丁酯(83.5%)	87.4
497	水(21.0%) + 1-丙醇(19.5%) + 乙酸丙酯(59.5%)	82.2	543	水(18.1%) + 二噁烷(81.9%)	87.5
498	2-丙醇(<30%) + 甲酸异丁酯(>70%)	<82.3	544	乙酸异丙酯(78%) + 甲基环己烷(22%)	87.6
499	水(17.5%) + 硝基甲烷(55.9%) + 1-丙醇(26.6%)	82.3	545	乙酸异丙酯(<42%) + 二乙基甲醚(>58%)	<87.6
500	2-丙醇	82.4			
501	2-甲基-2-丙醇	82.4			

续表

序号	组 分	沸点 /℃	序号	组 分	沸点 /℃
546	水(28.3%) + 1-丙醇(71.7%)	87.7	591	水(27.3%) + 乙酸丁酯(57.3%) + 1-正 醇(15.7%)	90.6
547	水(29.3%) + 2-丁醇(70.1%)	87.8	592	硝基己烷(30%) + 甲基环己烷(70%)	90.8
548	二乙氧基甲烷(56%) + 庚烷(44%)	87.8	593	2-丁醇(42%) + 甲基环己烷(58%)	90.8
549	水(24.4%) + 1-甲基异丁基甲酮(75.7%)	87.9	594	水(30%) + 磷酸二乙酯(70%)	~91
550	二乙氧基甲烷	88.0	595	硝基甲烷(46%) + 2-丁醇(54%)	91.1
551	水(25%) + 3-氯-1,2-环氧丙烷(75%)	88	596	2-甲基-1-丙醇(26%) + 庚烷(74%)	91.1
552	2-丁醇(22%) + 丙酮(78%)	88.0	597	水(35.5%) + 1-硝基丙烷(64.5%)	91.2
553	水 + 四氧乙烷 + 1-丙醇	88	598	水(37.5%) + 1-戊醇(21.3%) + 甲酸戊酯 (41.0%)	91.4
554	水(25%) + 丁酸乙酯(75%)	88.2	599	1-丙醇(43%) + 甲酸异丁酯(57%)	91.5
555	甲酸(50%) + 四氧乙烷(50%)	88.2	600	2-丁醇(29%) + 氯代异戊烷(71%)	91.5
556	硝基甲烷(46%) + 氯代异戊烷(52%)	88.3	601	水(28.4%) + 甲酸戊酯(71.6%)	91.5
557	烯丙醇(29%) + 氯代异戊烷(71%)	88.4	602	烯丙醇(>40%) + 甲氧基丁酯(<60%)	<91.7
558	水(26.9%) + 2-硝基丙烷(73.1%)	88.4	603	水(36%) + 3-戊醇(64%)	91.7
559	2-丁醇(38%) + 庚烷(62%)	88.4	604	水(34.8%) + 2-甲基-2-戊烯-4-酮(65.2%)	91.8
560	乙酸异丙酯(50%) + 二丙基醚(50%)	88.5	605	二氧烷(44%) + 庚烷(56%)	91.9
561	3-甲氧基-1-丁醇(17%) + 二丙基醚(83%)	88.6	606	丁基乙基醚	92.0
562	乙酸异丙酯	88.9	607	水(33.3%) + 乙苯(66.7%)	92
563	水(27.7%) + 烯丙醇(72.3%)	88.9	608	水(35.8%) + 间二甲苯(64.2%)	92
564	1,2-二氧乙烷(22%) + 二乙氧基甲烷 (78%)	89.0	609	硝基甲烷(53%) + 辛烷(47%)	92.0
565	1-丙醇(29%) + 氯代异戊烷(71%)	89.0	610	2-甲基-2-丁醇(28%) + 庚烷(72%)	92.2
566	水 + 乙酸 + 乙酸丁酯	89	611	乙酸(32%) + 庚烷(68%)	92.3
567	水 + 2-甲基-1-丙醇 + 二丁基醚	89	612	烯丙醇(52%) + 甲苯(48%)	92.3
568	硝基乙烷(28%) + 庚烷(72%)	89.2	613	水(38%) + 1-丁醇(62%)	92.4
569	硝基甲烷 + 乙酸异丙酯	<89.3	614	1-丙醇(52.5%) + 甲苯(47.5%)	92.4
570	水(27%) + 丙酮丙酯(73%)	89.3	615	水(38.5%) + 2-戊醇(61.5%)	92.5
571	硝基甲烷(43%) + 烯丙醇(57%)	89.3	616	2-甲氧基乙醇(23%) + 庚烷(77%)	92.5
572	硝基甲烷(34%) + 1-丙醇(66%)	89.3	617	甲酸异丁酯(55%) + 甲基环己烷(45%)	92.5
573	二氧乙烷(53%) + 二乙氧基甲烷(47%)	89.3	618	水(43%) + 戊烷(57%)	92.6
574	水(25%) + 1,2-二乙氧基乙烷(75%)	89.4	619	2-氯乙醇(23%) + 庚烷(77%)	92.7
575	水(37.3%) + 1-丁醇(27.4%) + 乙酸丁酯 (35.3%)	89.4	620	3-氯-2-甲基丁烷	93
576	2-甲基-1-丙醇(~10%) + 二丙基 醚(~90%)	89.5	621	水 + 苯乙烯	93
577	水 + 2-甲氧基-1-丙醇 + 乙苯	~89.5	622	二乙基醚(35%) + 庚烷(65%)	93.0
578	水(26.5%) + 辛烷(74.5%)	89.6	623	同酸乙酯(47%) + 庚烷(53%)	93.0
579	水(22.3%) + 甲酸异戊酯(77.7%)	89.7	624	硝基甲烷(49.5%) + 2-甲基-2-丁 醇(50.5%)	93.1
580	水(32.4%) + 3-甲基-1-丁醇(19.6%) + 甲 酸异戊酯(48.0%)	89.9	625	四氧乙烷(55%) + 烯丙醇(45%)	93.2
581	水(33.2%) + 2-甲基-1-丙醇(66.8%)	89.9	626	2-甲基-1-丙醇(30%) + 甲基环己烷(70%)	93.2
582	水(25.4%) + 2-甲氧基乙醇(74.6%) + 乙苯 (67.2%)	90	627	甲基丙基酮(34%) + 庚烷(66%)	93.2
583	二丙基醚	90.1	628	烯丙醇(68%) + 辛烷(32%)	93.4
584	水(28.4%) + 氯苯(71.6%)	90.2	629	1-丙醇(46%) + 丙酸乙酯(54%)	93.4
585	水(28%) + 乙酸丁酯(72%)	90.2	630	烯丙醇(>43%) + 丙酸乙酯(<57%)	<93.5
586	二溴己烷(>74%) + 1-丙醇(<26%)	90.2	631	水(48%) + 2-甲基吡啶(52%)	93.5
587	甲酸异丁酯(<50%) + 庚烷(>50%)	<90.5	632	水(38%) + 二丁醚(62%)	93.5
588	水(~30%) + 1-甲基-2-丙基甲酮(~70%)	<90.5	633	二氧烷(>45%) + 甲基环己烷(<55%)	93.5
589	甲酸(55%) + 辛烷(~45%)	90.5	634	2-甲基-2-丁醇(~35%) + 甲基环己烷(~ 65%)	93.5
590	水(28.2%) + 1-丁醇(35.4%) + 二丁基醚 (36.7%)	90.6	635	乙酸丙酯(40%) + 庚烷(60%)	93.6
			636	水(44.8%) + 3-甲氧基-1-丁醇(33.2%) + 乙 酸异戊酯(21.0%)	93.6

续表

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
637	甲酸(59%) + 氯苯(41%)	93.7	685	水(35.1%) + 五氯代乙烷(64.9%)	95.8
638	1-丙醇(68%) + 苯胺(32%)	93.8	686	甲酸(53%) + 苯乙烷(27%)	95.8
639	甲酸丁酯(<35%) + 庚烷(755%)	<94.0	687	2-氯乙醇(25%) + 甲基环己烷	95.8
640	水 + 二氯基酯	94.0	688	3-氯-1,2-环氧丙烷(22%) + 烯丙醇(78%)	95.8
641	甲酸(68%) + 乙苯(32%)	94.0	689	2-丁醇(45%) + 丙酸乙酯(55%)	95.8
642	1-丁醇(17.8%) + 庚烷(82.20%)	94.0	690	氯代异戊烷(75.3%) + 2-甲基-2-丁醇(24.5%)	95.9
643	水(35.8%) + 乙酸异戊酯(64.1%)	94.1	691	水 + 1-戊醇 + 二氯基酯	95.9
644	水(36.4%) + 丁酸丙酯(63.4%)	94.1	692	水(50.5%) + 2-氯-1-丙醇(49.4%)	96
645	四氯乙烷(51.5%) + 1-丙醇(48.5%)	94.1	693	水(46.5%) + 1-甲基-2-丙醇(53.5%)	96
646	甲酸(70%) + 四二甲苯(30%)	94.2	694	水(53.7%) + 1-戊醇(46.3%)	96.0
647	水 + 3-甲基-2-丁醇 + 二异戊酯	94.2	695	硝基甲烷(35%) + 丙酸乙酯(65%)	96.0
648	甲酸(68%) + 1,2-二甲苯(32%)	94.3	696	乙醇(20%) + 氯代异戊烷(80%)	96.0
649	硝基甲烷(32%) + 甲酸异丁酯(68%)	94.3	697	3-氯-1,2-环氧丙烷(23%) + 1-丙醇(77%)	96.0
650	1-丙醇(51%) + 丁酸甲酯(49%)	94.5	698	烯丙醇(70%) + 甲基丙基酮(30%)	96.0
651	2-甲基-1-丙醇(20%) + 氯代异戊烷(80%)	94.5	699	烯丙醇(72%) + 二乙基甲酮(28%)	96.0
652	水(43.2%) + 乙基丁基甲酮(56.8%)	94.6	700	1-丙醇(68%) + 甲基丙基酮(32%)	96.0
653	硝基甲烷(56.5%) + 2-甲基-1-丙醇(43.5%)	94.6	701	1-丙醇(63%) + 二乙基甲酮(37%)	96.0
654	烯丙醇(52%) + 乙酸丙酯(48%)	94.6	702	甲酸丁酯(35%) + 甲基环己烷(65%)	96.0
655	烯丙醇(>51%) + 丁酸甲酯(<49%)	<94.7	703	2-戊醇(55%) + 庚烷(45%)	96.0
656	甲酸(51.5%) + 1,2-二溴乙烷(48.5%)	94.7	704	3-戊醇(20%) + 庚烷(80%)	96.0
657	1-丙醇(50%) + 乙酸丙酯(50%)	94.7	705	1,2-二氯丙烷	96.2
658	2-丁醇(40%) + 甲酸异丁酯(60%)	94.7	706	二溴甲烷(<75%) + 甲基环己烷(>25%)	<96.4
659	水(41%) + 丙酸丁酯(59%)	94.8	707	1-丁醇(25%) + 甲基环己烷(75%)	96.4
660	二溴甲烷(84%) + 乙醇(16%)	94.8	708	硝基甲烷(55%) + 甲苯(45%)	96.5
661	二溴甲烷(82%) + 2-甲基-1-丙醇(18%)	94.8	709	烯丙醇(22.5%) + 氯苯(17.5%)	96.5
662	2-甲基-2-丙醇(25%) + 甲基环己烷(75%)	94.8	710	1-氯-2-丙醇(17%) + 庚烷(83%)	96.5
663	丙酸乙酯(53%) + 甲基环己烷(47%)	94.8	711	2-乙氧基乙醇(14%) + 庚烷(86%)	96.5
664	水(56.2%) + 1-戊醇(33.3%) + 乙酸戊酯(10.5%)	94.8	712	氯代异戊烷(48%) + 庚烷(52%)	96.5
665	硝基乙烷(>73%) + 1-丙醇(<27%)	<95.0	713	1,2-二溴乙烷 + 烯丙醇	<96.7
666	水(61.6%) + 环己酮(38.4%)	95	714	烯丙醇(74%) + 1-丙醇(26%)	96.7
667	水 + 1-氯甲苯	95	715	烯丙醇	96.9
668	水(45%) + 甲基戊基甲酮(55%)	95	716	2-氯戊烷	96.9
669	水(12.8%) + 异丙苯(87.2%)	95	717	1-丙醇(82%) + 氯苯(18%)	96.9
670	硝基甲烷(80%) + 四氯乙烷(20%)	95.0	718	吡啶(<14%) + 庚烷(>86%)	<97.0
671	1-乙基酮(40%) + 甲基环己烷(60%)	95.0	719	甲酸异丁酯(<31%) + 2-甲基-2-丁醇(>19%)	<97.0
672	水(49.5%) + 3-甲基-1-丁醇(50.5%)	95.1	720	二溴甲烷	97.0
673	丁酸甲酯(35%) + 庚烷(65%)	95.1	721	水(51.6%) + 1-甲基-2-乙氧基乙烷(48.5%)	97.0
674	水(41%) + 乙酸戊酯(59%)	95.2	722	水(51.4%) + 1-异丁基甲酮(48.1%)	97.0
675	乙醇(52%) + 甲基环己烷(48%)	95.2	723	四氯乙烷(43%) + 2-丁醇(57%)	97.0
676	甲基丙基酮(10%) + 甲基环己烷(90%)	95.2	724	1,2-二溴乙烷(0%) + 1-丙醇(99.5%)	97.0
677	1-丙醇(64%) + 二氯乙烷(36%)	95.3	725	1-丙醇 + 1,2-甲苯	97.0
678	水(45.8%) + 1-氯-2-丙醇(54.2%)	95.4	726	1-丁醇(12%) + 氯代异戊烷(88%)	97.0
679	二溴甲烷(>58%) + 庚烷(<42%)	<95.5	727	丁酸甲酯(42%) + 甲基环己烷(58%)	97.0
680	1-丙醇(64%) + 甲酸丁酯(36%)	95.5	728	甲酸(45.5%) + 硝基甲烷(54.5%)	97.1
681	2-丁醇(55%) + 甲苯(45%)	95.5	729	1-丙醇(94%) + 1,2-甲苯(6%)	97.1
682	甲酸异丁酯(55%) + 氯代异戊烷(45%)	95.5	730	1-丙醇	97.2
683	乙酸丙酯(47.5%) + 甲基环己烷(52.5%)	95.5			
684	甲酸(74%) + 邻二甲苯(26%)	95.7			

续表

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
731	水(54%) + 丁酸丁酯(46%)	97.2	779	2-戊醇(18%) + 甲基环己烷(82%)	98.6
733	水(56%) + 二异戊基醚(44%)	97.3	780	硝基甲烷(<60%) + 甲酸丁酯(>40%)	98.7
734	2-丁醇(53%) + 乙酸丙酯(47.0%)	97.3	781	水(83%) + 1-庚醇(17%)	98.7
735	水(55%) + 1-庚基-2-乙氧基乙醇(45%)	97.4	782	水(<81%) + 2-辛醇(>19%)	98.7
736	硝基甲烷(68%) + 3-戊醇(32%)	97.4	783	二噁烷(<60%) + 2-丁醇(>40%)	<98.8
737	二噁烷(34%) + 氯代异戊烷(64%)	97.5	784	4-氯-2-甲基丁烷	98.8
738	甲基异丁基甲酮(13%) + 庚烷(87%)	97.5	785	水(72%) + 2-丙氧基乙醇(28%)	98.8
739	水(10.6%) + 甲酸(40.4%) + 间二甲苯(49.0%)	97.5	786	水(87.3%) + 1-羟基-4-甲基-2-戊酮(12.7%)	98.8
740	硝基甲烷(45%) + 乙酸丙酯(55%)	97.6	787	2-乙氧基乙醇(13%) + 甲基环己烷(87%)	98.8
741	2-甲基-1-丙醇(13%) + 甲氧基丁醇(87%)	97.6	788	2-甲基-1-丙醇(13%) + 丙酸乙酯(87%)	<98.9
742	2-丁醇(<59%) + 丁酸甲酯(>41%)	<97.7	789	水(76.5%) + 1,3-二氧-2-丙醇(23.5%)	99
743	水(66.6%) + 二(2-氯乙基)醚(34.4%)	97.7	790	水(80%) + 乳酸甲酯(20%)	99
744	水(73%) + 1-己醇(27%)	97.7	791	丙酸乙酯	99.1
745	3-氯戊烷	97.8	792	水(82.2%) + 丙酸(17.8%)	99.1
746	水(56.5%) + 2-氯乙醇(43.5%)	97.8	793	水(76%) + 2-丁氧基乙醇(24%)	99.1
747	硝基甲烷(70%) + 1-丁醇(30%)	97.8	794	水(81.5%) + 苯乙酮(8.5%)	99.1
748	2-氯乙醇(11%) + 氯代异戊烷(89%)	97.8	795	水(76.6%) + 1,2-二氧基乙醇(23.4%)	99.1
749	3-戊醇(22%) + 甲基环己烷(78%)	97.8	796	甲酸(73%) + 4-氯甲苯(27%)	99.1
750	1,1-二乙氧基乙醇(28%) + 庚烷(72%)	97.8	797	硝基甲烷(55%) + 二乙基甲酮(45%)	99.1
751	3-甲基-1-丁醇(<8%) + 庚烷(>92%)	<97.9	798	水(76%) + 2-乙氧基-2-乙氧基醚(24%)	99.2
752	水(50.8%) + 糠醛(9.2%)	97.9	799	硝基甲烷(56%) + 甲基丙基甲酮(44%)	99.2
753	水(79%) + 环己醇(21%)	97.9	800	水(70%) + 2-乙氧基乙醇(30%)	99.3
754	硝基甲烷(50%) + 丁酸甲酯(50%)	97.9	801	甲酸(68%) + 1,1,2,2-四氯乙烷(32%)	99.3
755	乙醇胺 + 庚烷	<98.0	802	水(81.6%) + 丁酸(18.4%)	99.4
756	丙酸乙酯(>56%) + 氯代异戊烷(<50%)	<98.0	803	水(86.8%) + 二(2-氯乙基)甲醚(13.2%)	99.4
757	乙二醇(3%) + 庚烷(97%)	98.0	804	水(90%) + 1-辛醇(10%)	99.4
758	3-氯-1,2-环氧丙烷(25%) + 2-丁醇(75%)	98.0	805	水(65%) + 二(2-乙氧基)乙醚(35%)	99.4
759	2-丁醇(58%) + 二乙基甲酮(42%)	98.0	806	2-甲基-2-丁醇(52%) + 甲苯(48%)	99.4
760	2-丁醇(68%) + 甲酸丁酯(32%)	98.0	807	2-丁醇	99.5
761	丙酸乙酯(70%) + 2-甲基-2-丁醇(30%)	98.0	808	水(83.9%) + 3,3,5-三甲基-2-环己烯-1-酮(16.1%)	99.5
762	氯代异戊烷(64%) + 甲基环己烷(36%)	98.0			
763	3-氯-1,2-环氧丙烷(>4%) + 庚烷(<96%)	<98.1	809	水(84.6%) + 1,2-二乙氧基乙醇(15.4%)	99.7
764	甲酸(68%) + 溴苯(32%)	98.1			
765	乙酸异丁酯(<13%) + 庚烷(>87%)	<98.2	810	1,1-二乙氧基乙醇(40%) + 甲基环己烷(60%)	99.7
766	甲酸异丁酯	98.4	811	水(81.5%) + 2-甲氧基乙醇(18.5%)	99.8
767	庚烷	98.4	812	水(92%) + 2-丁氧基-2-乙氧基-2-乙基醚(8%)	99.8
768	水(82%) + 2-甲基环己醇(18%)	98.4	813	水(94.7%) + 二(2-乙氧基)醚(5.3%)	99.8
769	水(65%) + 二戊醚(35%)	98.4	814	乙酸丙酯(58%) + 2-甲基-2-丁醇(42%)	99.8
770	甲基环己烷(5%) + 庚烷(95%)	98.4	815	丁酸甲酯(53%) + 2-甲基-2-丁醇(47%)	99.8
771	水(84%) + 1-庚醇(16%)	~98.5	816	水(91%) + 苯甲醇(9%)	99.9
772	水(62.4%) + 二(2-氯异丙基)醚(37.4%)	98.5	817	硝基甲烷	100.0
773	甲酸(72%) + 2-氯甲苯(28%)	98.5	818	1-氯-2-甲基丁烷	100
774	硝基甲烷(73%) + 2-戊醇(27%)	98.5	819	甲基异丁基甲酮(<20%) + 甲基环己烷(>80%)	<100.1
775	二乙基甲酮(25%) + 氯代异戊烷(75%)	98.5	820	硝基甲烷(>85%) + 吡啶(<15%)	<100.5
776	乙酸丙酯(32%) + 氯代异戊烷(68%)	98.5	821	乙醇胺(<10%) + 甲基环己烷(>90%)	<100.5
777	硝基乙烷(>30%) + 2-甲基-2-丁醇(<70%)	<98.6	822	二噁烷(<64%) + 辛烷(>36%)	<100.5
778	水(80%) + 硝基苯(20%)	98.6			

续表

序号	组 分	沸点 t/°C	序号	组 分	沸点 t/°C
823	1-甲基-1-丁醇-甲基环己烷(92%)	100.5	866	甲酸(33%) + 二乙基甲酮(67%)	105.3
824	硝基甲烷(56.5%) + 二噁烷(43.5%)	100.5	867	甲酸(52%) + 甲基丙基甲酮(48%)	105.4
825	硝基甲烷(88%) + 3-甲基-1-丁醇(12%)	100.6	868	乙酸(52.5%) + 辛烷(47.5%)	105.5
826	乙醇(4%) + 甲基环己烷(96%)	100.6	869	1-丁醇(27%) + 甲苯(73%)	105.7
827	甲酸	100.7	870	1,1,2-三氯乙烷(70%) + 乙酸(30%)	106.0
828	二噁烷(70%) + 2-甲基-2-丁醇(20%)	100.7	871	1-丁醇(<15%) + 甲酸丁酯(>85%)	106.0
829	乙基甲酮(60%) + 2-甲基-2-丁醇(40%)	110.7	872	2-甲氧基乙醇(25.5%) + 甲苯(74.5%)	106.1
830	3-氧-1,2-环氧丙烷(>5%) + 甲基环己烷(<95%)	<100.8	873	硝基乙烷(>27%) + 甲苯(<73%)	106.2
831	二噁烷 + 乙酸丙酯	<110.8	874	甲酸丁酯(>70%) + 甲苯(<30%)	<106.4
832	甲基丙基甲酮(35%) + 乙酸丙酯(65%)	100.8	875	甲酸丁酯(<98.5%) + 1,3-戊醇(>1.5%)	<106.5
833	二乙基甲酮(40%) + 乙酸丙酯(60%)	100.8	876	1-甲氧基-2-丙醇(30%) + 甲苯(70%)	106.5
834	二噁烷 + 丁酸甲酯	<100.9	877	3-戊醇(33%) + 甲苯(67%)	106.5
835	甲基环己烷	100.9	878	甲酸丁酯	106.5
836	甲基丙基甲酮(56%) + 2-甲基-2-丁醇(42%)	100.9	879	1,2-二溴乙烷(37%) + 2-甲基-1-丙醇(63%)	106.8
837	1-戊醇 + 甲基环己烷	<101.9	880	2-氧乙醇(25%) + 甲苯(75%)	106.9
838	2-甲基-1-丙醇(19%) + 乙酸丙酯(81%)	101.0	881	2-戊醇(28%) + 甲苯(72%)	107.0
839	甲酸正丁酯(35%) + 2-甲基-2-丁醇(65%)	101.0	882	2-甲基-1-丙醇(63%) + 甲苯(37%)	107.2
840	2-甲基-1-丙醇(45%) + 甲苯(55%)	101.1	883	水(22.7%) + 甲酸(77.3%)	107.4
841	2-甲基-2-丁醇(75%) + 辛烷(25%)	101.1	884	四氯乙烷(62%) + 乙酸(38%)	107.4
842	硝基甲烷(96%) + 乙酸(4%)	101.2	885	2-甲基-1-丙醇(>79%) + 乙苯(<21%)	107.5
843	二噁烷	101.3	886	2-甲基-1-丙醇(89%) + 苯二甲苯(11%)	107.5
844	2-甲基-1-丙醇(25%) + 丁酸甲酯(75%)	101.3	887	硝基乙烷(55%) + 1-丁醇(45%)	107.7
845	乙酸丙酯(≈68%) + 1,1-二乙氧基乙烷(≈32%)	101.3	888	二甲基-1-丙醇(78%) + 乙酸异丁酯(22%)	107.8
846	四氯乙烷(27%) + 2-甲基-2-丁醇(73%)	101.4	889	2-甲基-1-丙醇(85.5%) + 间二甲苯(14.5%)	107.8
847	乙酸丙酯	101.6	890	1-氯丙烷	107.8
848	二乙基甲酮	101.7	891	2-甲基-1-丙醇(91%) + 甲基异丁基甲酮(9%)	107.97
849	2-甲基-1-丙醇(20%) + 二乙基甲酮(80%)	101.7	892	2-甲基-1-丙醇(>99%) + 二噁烷(<1%)	<108.0
850	二乙基甲酮(55%) + 丁酸甲酯(45%)	101.7	893	2-甲基-1-丙醇	108.0
851	二乙基甲酮(>75%) + 1,1-二乙氧基乙烷(<25%)	101.8	894	1,2-丙二醇-甲苯	108
852	2-甲基-1-丙醇(19%) + 甲基丙基甲酮(81%)	101.8	895	3-氧-1,2-环氧丙烷(29%) + 甲苯(71%)	108.4
853	甲基丙基甲酮(50%) + 丁酸甲酯(50%)	101.9	896	四氯乙烷(71%) + 1-丁醇(29%)	108.6
854	甲基丙基甲酮	102.0	897	1-氧-2-丙醇(15%) + 甲苯(85%)	108.6
855	丁酸甲酯(≈55%) + 1,1-二乙氧基乙烷(≈45%)	102.0	898	四氯乙烷(75.5%) + 2-甲氧基乙醇(24.5%)	108.8
856	丁酸甲酯	102.3	899	四氯乙烷(76%) + 2-氯乙醇(24%)	110.0
857	2-甲基-2-丁醇	102.4	900	二硝基丙烷 + 甲苯	110
858	硝基乙烷(40%) + 2-甲基-1-丙醇(60%)	102.5	901	2-甲氧基乙醇(48%) + 辛烷(52%)	110.0
859	2-甲基-1-丙醇(63%) + 辛烷(35%)	102.5	902	四氯乙烷(48.5%) + 3-氧-1,2-环氧丙烷(51.5%)	110.1
860	2-甲基-1-丙醇(40%) + 甲酸丁酯(60%)	103.0	903	3-甲基-1-丁醇(13%) + 甲苯(87%)	110.1
861	四氯乙烷(60%) + 2-甲基-1-丙醇(40%)	103.1	904	乙二醇(6.5%) + 甲苯(93.5%)	110.2
862	1,1-二乙氧基乙烷	103.6	905	1-丁醇(50%) + 辛烷(50%)	110.2
863	1,1,2-三氯乙烷(>62%) + 2-甲基-1-丙醇(<38%)	<103.8	906	2-乙氧基乙醇(10.8%) + 甲苯(89.2%)	110.2
864	乙酸(34%) + 甲苯(66%)	105.0	907	吡啶(22%) + 甲苯(78%)	110.2
865	3-氧-1,2-环氧丙烷(39.5%) + 2-甲基-1-丙醇(60.5%)	105.0	908	丙酸(3%) + 甲苯(97%)	110.5
			909	乳酸甲酯 + 甲苯	<110.6
			910	甲苯	110.6
			911	甲基异丁基甲酮(3%) + 甲苯(97%)	110.7

续表

序号	组 分	沸点 t/°C	序号	组 分	沸点 t/°C
912	3-氯-1,2-环氧丙烷(51%) + 3-戊醇(46%)	111.5	957	甲基异丁基甲酮-乙酸异丁酯	115.6
913	四氯乙烷(57%) + 1,1,2-三氯乙烷(43%)	112	958	3-氯-1,2-环氧丙烷(75%) + 乙酸乙酯(25%)	115.7
914	硝基乙烷(78%) + 1-甲基-1-丁醇(22%)	112.0	959	1-丁醇(58%) + 丁酸乙酯(42%)	115.9
915	3-氯-1,2-环氧丙烷(57%) + 1-丁醇(43%)	112.0	960	四氯乙烷(83.5%) + 2-乙氧基乙醇(16.5%)	116.0
916	乙酸和丁醇	112.2	961	乙酸(70%) + 1,2-二溴丙烷(30%)	116.0
917	乙酸(30%) + 硝基乙烷(70%)	112.4	962	1-丁醇(67%) + 甲酸异戊酯(33%)	116.0
918	2-氯乙醇(47%) + 辛烷(53%)	112.5	963	2-乙氧基乙醇(58%) + 辛烷(42%)	116.0
919	硝基乙烷(50%) + 乙酸异丁酯(40%)	112.5	964	3-氯-1,2-环氧丙烷	116.1
920	吡啶(<90%) + 辛烷(>10%)	<112.8	965	3-戊醇	116.1
921	四氯乙烷(51.5%) + 吡啶(48.5%)	112.9	966	四氯乙烷(28%) + 乙酸异丁酯(72%)	116.1
922	硝基乙烷 + 甲基异丁基甲酮	<113.0	967	3-氯-1,2-环氧丙烷(<95%) + 1-戊醇(>5%)	<116.2
923	四氯乙烷(72%) + 1-氯-2-丙醇	113.0	968	3-氯-1,2-环氧丙烷 + 氯苯	<116.2
924	3-氯-1,2-环氧丙烷(50%) + 2-戊醇(40%)	113.0	969	四氯乙烷(81%) + 3-甲基-1-丁醇(19%)	116.2
925	四氯乙烷(66%) + 2-戊醇(34%)	113.2	970	乙酸(80%) + 苯乙酮(20%)	116.2
926	甲酸(43%) + 吡啶(57%)	113.4	971	乙酸(78%) + 邻二甲苯(22%)	116.2
927	甲基异丁基甲酮(65%) + 辛烷(35%)	113.4	972	3-氯-1,2-环氧丙烷(≈95%) + 甲基异戊酯(≈5%)	116.2
928	硝基乙烷(>73%) + 丁酸乙酯(<27%)	<113.7	973	1-丁醇(71%) + 对二甲苯(29%)	116.2
929	1,1,2-三氯乙烷	113.7	974	3-氯-1,2-环氧丙烷(>78%) + 丙酸丙酯(<12%)	<116.3
930	硝基乙烷(>83%) + 1-戊醇(<19%)	<113.8	975	1-丁醇(63%) + 硫酸二乙酯(37%)	116.5
931	四氯乙烷(48%) + 甲基异丁基甲酮(52%)	113.9	976	1-丁醇(81.3%) + 甲基异丁基甲酮(18.2%)	116.5
932	硝基乙烷	114.0	977	1-丁醇 + 丙酸丙酯	116.5
933	2-甲氧基乙醇(25%) + 甲基异丁基甲酮(75%)	114.2	978	1-丁醇(71.3%) + 邻二甲苯(28.5%)	116.5
934	1-丁醇(45%) + 乙酸异丁酯(55%)	114.2	979	2-戊醇(32%) + 乙酸异丁酯(68%)	116.5
935	1,2-二溴乙烷(45%) + 乙酸(55%)	114.3	980	乙酸 + 异丙苯	116.8
936	1-丁醇(20%) + 甲基异丁基甲酮(70%)	114.4	981	四氯乙烷(85%) + 1-戊醇(15%)	117.0
937	3-氯-1,2-环氧丙烷(80%) + 辛烷(20%)	114.5	982	乙酸(90%) + α-萘酚(10%)	117.0
938	吡啶 + 乙酸异丁酯	114.5	983	2-甲氧基乙醇(51.2%) + 乙苯(48.8%)	117
939	乙酸(58.3%) + 氯苯(41.5%)	114.6	984	1,2-二溴丙烷(39%) + 1-丁醇(61%)	<117.1
940	乙酸(66%) + 乙苯(34%)	114.7	985	乙酸异丁酯	117.1
941	3-氯-1,2-环氧丙烷(55%) + 乙酸异丁酯(45%)	114.7	986	1-丁醇(77%) + 邻二甲苯(23%)	117.1
942	乙酸异丁酯(<70%) + 辛烷(>30%)	114.7	987	1-丁醇(80%) + 乙基丙基甲酮(20%)	117.2
943	2-戊醇(<56%) + 辛烷(>44%)	<114.8	988	1-丁醇(68.5%) + 乙酸丁酯(31.5%)	117.2
944	吡啶(60%) + 甲基异丁基甲酮(40%)	114.9	989	1-丁醇(80%) + 苯乙酮(20%)	117.2
945	3-戊醇(>95%) + 甲基异丁基甲酮(<5%)	<115.0	990	1-丁醇(82.5%) + 二丁基醚(17.5%)	117.4
946	四氯乙烷(87%) + 2-氯-1-丙醇(13%)	115.0	991	1-丁醇(≈88%) + α-萘酚(≈12%)	117.4
947	乙酸(71%) + 对二甲苯(29%)	115.0	992	吡啶(45%) + 3-戊醇(55%)	117.4
948	甲基异丁基甲酮	115.1	993	1-丁醇(67.4%) + 乙酸丁酯(13.9%) + 乙基醚(18.7%)	117.6
949	乙酸(34.5%) + 3-氯-1,2-环氧丙烷(65.5%)	115.1	994	乙酸	117.7
950	乙酸(72.5%) + 邻二甲苯(27.5%)	115.4	995	2-甲氧基乙醇(32%) + 丁酸乙酯(68%)	117.8
951	3-氯-1,2-环氧丙烷(81%) + 3-甲基-1-丁醇(19%)	115.4	996	1-丁醇	117.9
952	1-丁醇(54%) + 氯苯(46%)	115.4	997	乙酸(95%) + 氯苯(5%)	118.0
953	3-氯-1,2-环氧丙烷(>32%) + 甲基异丁基甲酮(<68%)	<115.5	998	2-戊醇(57%) + 乙苯(43%)	118.0
954	吡啶	115.5	999	2-戊醇(>55%) + 氯苯(>45%)	<118.2
955	1-丁醇(68%) + 乙苯(32%)	115.5	1000	四氯乙烷(35%) + 乙基丙基甲酮(45%)	118.2
956	2-甲氧基乙醇(16%) + 乙酸异丁酯(84%)	115.6	1001	四氯乙烷(65%) + 甲酸异戊酯(35%)	118.2

续表

序号	组 分	沸点 (°C)	序号	组 分	沸点 (°C)
1002	2-戊醇(76%) + 间二甲苯(30%)	118.5	1047	2-甲氧基乙醇(<56%) + 甲基丁基酮(>44%)	<121.5
1003	2-戊醇(>47%) + 丁酸乙酯(<53%)	<118.5	1048	2-氯乙醇(54%) + 对二甲苯(46%)	121.5
1004	丁酸乙酯(<65%) + 辛烷(>35%)	<118.5	1049	丙酸(<50%) + 辛烷(>50%)	121.5
1005	2-甲氧基乙醇(38%) + 丙酸丙酯(62%)	118.5	1050	2-氯乙醇(54.5%) + 间二甲苯(45.5%)	121.9
1006	1-丁醇(71%) + 吡啶(29%)	118.7	1051	2-甲氧基乙醇(68%) + 二丁基醚(32%)	122.0
1007	甲酸异戊酯(<57%) + 辛烷(>43%)	<118.8	1052	1-氯-2-丙醇(55%) + 氯苯(45%)	122.2
1008	丙酸丙酯(<59%) + 辛烷(>41%)	<118.8	1053	1,2-二溴乙烷(66.5%) + 2-氯乙醇(33.5%)	122.3
1009	四氯乙烷(74%) + 碳酸二乙酯(26%)	118.8	1054	2-甲氧基乙醇(73.5%) + 异丙苯(26.5%)	122.4
1010	1,2-二溴乙烷(<47%) + 2-戊醇(>53%)	<119.0	1055	2-甲氧基乙醇(63%) + 2-甲基-2-戊烯-4-酮(40%)	122.5
1011	四氯乙烷(94%) + 乙醇(6%)	119.1	1056	乙基正丙基甲醚(40%) + 丙酸丙酯(60%)	122.5
1012	四氯乙烷(91.5%) + 丙酸(8.5%)	119.1	1057	2-氯乙醇 + 丙酸丙酯	122.7
1013	2-甲氧基乙醇(40%) + 甲酸异戊酯(60%)	119.1	1058	2-丙氧基乙醇(20%) + 辛烷(80%)	122.8
1014	四氯乙烷(57%) + 丁酸丁酯(43%)	119.3	1059	乙醇胺(<16%) + 辛烷(>84%)	<123.0
1015	2-甲氧基乙醇(<57%) + 对二甲苯(>43%)	119.3	1060	2-氯乙醇(56.8%) + 二丁基醚(43.2%)	123.0
1016	2-甲氧基乙醇(<43%) + 乙基丙基甲醚(>57%)	<119.5	1061	1-氯-2-丙醇(<30%) + 甲酸异戊酯(>70%)	123.0
1017	乙酸(77%) + 吡啶(23%)	119.5	1062	乙基丙基甲醚(50%) + 甲酸异戊酯(50%)	123.0
1018	2-甲氧基乙醇(47.5%) + 氯苯(52.5%)	119.5	1063	乙基丙基甲醚 + 丁酸丁酯	123.1
1019	2-甲氧基乙醇(48%) + 乙酸丁酯(52%)	119.5	1064	2-氯乙醇(21%) + 甲酸异戊酯(79%)	123.2
1020	2-甲氧基乙醇(53%) + 间二甲苯(47%)	119.5	1065	2-氯乙醇(60%) + 苯乙醇(40%)	123.2
1021	2-甲氧基乙醇(<7%) + 2-戊醇(>93%)	<119.7	1066	丙酸丙酯	123.4
1022	四氯乙烷(83.5%) + 2-甲基-2-戊烯-4-酮(16.5%)	119.8	1067	乙醇(11.8%) + 辛烷(88.2%)	123.5
1023	四氯乙烷(65%) + 丙酸丙酯(35%)	119.8	1068	2-氯乙醇(66%) + 邻二甲苯(40%)	123.6
1024	3-甲氧基-1-丁醇(35%) + 辛烷(65%)	119.8	1069	2-氯-1-丙醇(>5%) + 甲酸异戊酯(<95%)	<123.7
1025	2-戊醇	119.9	1070	1,2-二溴乙烷(<8%) + 甲酸异戊酯(>92%)	123.7
1026	四氯乙烷(90%) + 乳酸甲酯(10%)	120.0	1071	3-甲基-1-丁醇(18%) + 甲酸异戊酯(82%)	123.7
1027	2-氯乙醇(42%) + 氯苯(58%)	120.0	1072	1,2-二溴丙烷-1-2-甲氧基乙醇	<124.0
1028	四氯乙烷(70%) + 乙酸丁酯(30%)	120.1	1073	甲酸异戊酯	124.2
1029	2-甲氧基乙醇(66%) + 苯乙醇(34%)	120.2	1074	1,2-二溴乙烷(66.5%) + 3-甲基-1-丁醇(33.5%)	124.2
1030	2-甲基丙烷	120.3	1075	3-甲基-1-丁醇(34%) + 氯苯(66%)	124.4
1031	乳酸甲酯(30%) + 辛烷(70%)	120.3	1076	丁酸(<15%) + 辛烷(>85%)	<124.5
1032	四氯乙烷(<92%) + 辛烷(>8%)	<120.5	1077	1-氯-2-丙醇(75%) + 间二甲苯(25%)	124.5
1033	乙酸丁酯(<49%) + 辛烷(>51%)	<120.5	1078	2-甲氧基乙醇	124.8
1034	1-甲氧基-2-丙醇	120.6	1079	1,2-二溴乙烷(>38%) + 1-氯-2-丙醇(<52%)	<124.8
1035	四氯乙烷(95%) + 2-丙氧基乙醇(5%)	120.6	1080	乙基丙基甲醚	125
1036	1,2-二溴乙烷(63.5%) + 2-甲氧基乙醇(36.5%)	120.6	1081	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(<11%) + 氯苯(>89%)	<125.2
1037	四氯乙烷(78.8%) + 丁酸(1.2%)	121.0	1082	碳酸二乙酯(73.5%) + 3-甲基-1-丁醇(26.5%)	125.3
1038	四氯乙烷(96%) + 1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(4%)	121.0	1083	2-氯乙醇(70%) + 异丙苯(30%)	125.4
1039	2-氯乙醇(55%) + 乙苯(45%)	121.0	1084	甲氧基丁基甲醚(32%) + 乙酸丁酯(68%)	125.4
1040	2-甲氧基乙醇(62%) + 苯乙醇(46%)	121.0	1085	碳酸二乙酯(<96%) + 1-戊醇(>4%)	<125.5
1041	2-甲氧基乙醇(63%) + 邻二甲苯(37%)	121.0	1086	1-氯-1-丙醇(<25%) + 乙酸丁酯(>75%)	125.5
1042	2-乙氧基乙醇(3.1%) + 1,2-二乙氧基乙烷(96.9%)	121.0	1087	1-氯-2-丙醇(85%) + 邻二甲苯(15%)	125.5
1043	2-甲基-2-戊烯-4-酮(35%) + 辛烷(65%)	121.0	1088	乙苯(<12%) + 辛烷(>88%)	<125.6
1044	1,2-二乙氧基乙烷	121.1	1089	乙酸丁酯	125.6
1045	四氯乙烷	121.2			
1046	丁酸乙酯	121.4			

续表

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
1090	2-氯乙醇(31%) + 乙酸丁酯(69%)	125.6	1134	2-甲基吡啶	129.4
1091	2-氯乙醇(>26%) + 碳酸二乙酯(<72%)	<125.7	1135	乙酰丙酮(>35%) + 3-甲基-1-丁醇(>35%)	<129.5
1092	辛烷	123.7	1136	2-甲基-2-戊烯-4-醇	129.8
1093	碳酸二乙酯(55%) + 甲基丁基甲醚(35%)	125.7	1137	乙二酯(5.6%) + 氯苯(94.4%)	129.8
1094	碳酸二乙酯	125.8	1138	1-戊醇(40%) + 乙苯(60%)	129.8
1095	2-乙氧基乙醇(35.7%) + 乙酸丁酯(64.3%)	125.8	1139	3-甲基-1-丁醇(70%) + 二丁基醚(30%)	129.8
1096	3-甲基-1-丁醇(17.5%) + 乙酸丁酯(82.5%)	125.9	1140	1,2-二溴乙烷(82%) + 乳酸甲酯(18%)	130.0
1097	乙酸丁酯(95%) + 二丁基醚(5%)	125.9	1141	2-氯乙醇(69%) + 2-甲氧基乙醇(31%)	130.0
1098	2-氯乙醇 + 1,2-二溴乙烷	126.0	1142	2-乙氧基乙醇(55%) + 辛乙烷(45%)	130.0
1099	2-氯-1-丙醇(36%) + 氯苯(64%)	126.0	1143	1,2-二溴乙烷(59%) + 氯苯(41%)	130.1
1100	1-戊醇(25%) + 氯苯(75%)	126.2	1144	2-氯乙醇(~33%) + 2-甲基-2-戊烯-4-醇(~57%)	130.2
1101	3-甲基-1-丁醇(48%) + 乙苯(52%)	126.3	1145	乳酸甲酯(42%) + 对-二甲苯(58%)	130.2
1102	碳酸二乙酯(94%) + 2-甲基-2-戊烯-4-醇(6%)	126.5	1146	2-乙氧基乙醇(55%) + 二丁基醚(45%)	130.2
1103	3-甲基-1-丁醇(5%) + 对二甲苯(48%)	127.0	1147	2-氯-1-丙醇(70%) + 邻二甲苯(30%)	130.5
1104	3-甲基-1-丁醇(53%) + 间二甲苯(47%)	127.1	1148	2-氯-1-丙醇(70%) + 二丁基醚(30%)	130.5
1105	甲基丁基甲醚	127.2	1149	3-甲基-1-丁醇(77%) + α-萘烯(23%)	130.7
1106	2-乙氧基乙醇(32%) + 氯苯(68%)	127.2	1150	乳酸甲酯 + 氯苯	<130.8
1107	1,2-二溴乙烷(<78%) + 1-戊醇(>22%)	<127.3	1151	2-乙氧基乙醇(55%) + 邻二甲苯(45%)	130.8
1108	1-氯-2-丙醇(>81%) + 3-甲基-1-丁醇(<19%)	<127.3	1152	1,2-二溴乙烷(96.5%) + 乙醇(3.5%)	130.9
1109	1-氯-2-丙醇	127.5	1153	2-乙氧基乙醇(57%) + α-萘烯(43%)	<131.0
1110	3-氯乙醇(68%) + 溴苯(32%)	127.5	1154	乙醇胺(15%) + 乙苯(85%)	131.0
1111	1,2-二溴乙烷 + 丙酸 + 氯苯	127.5	1155	1,2-二溴乙烷(96.5%) + 丁酸(3.5%)	131.1
1112	1,2-二溴乙烷(77%) + 2-乙氧基乙醇(23%)	127.5	1156	丙酸(26%) + 乙苯(74%)	131.1
1113	2-乙氧基乙醇(40%) + 乙苯(60%)	127.8	1157	乳酸甲酯(42.5%) + 间二甲苯(57.5%)	131.2
1114	2-氯乙醇(75%) + 3-甲基-1-丁醇(25%)	127.9	1158	1-戊醇(42%) + 对二甲苯(58%)	131.3
1115	1,2-二溴乙烷(82.5%) + 丙酸(17.5%)	128.0	1159	1,2-二溴乙烷	131.4
1116	1,3-二溴乙烷(67%) + 2-氯-1-丙醇(33%)	128.0	1160	1-硝基丙烷	131.4
1117	2-氯乙醇(85%) + 2-氯甲苯(15%)	128.0	1161	1,2-二溴乙烷(90%) + 乙苯(10%)	131.4
1118	1,1,2,2-四氯乙烷(34%) + 2-氯乙醇(66%)	128.2	1162	1,2-二溴丙烷(~50%) + 2-乙氧基乙醇(~50%)	131.5
1119	2-氯乙醇(86.3%) + 二(2-氯乙基)醚(13.7%)	128.2	1163	丁酸(2.8%) + 氯苯(97.2%)	131.5
1120	1,2-二溴丙烷(>52%) + 3-甲基-1-丁醇(<48%)	<128.5	1164	3-甲基-1-丁醇(94%) + 异丙苯(6%)	131.6
1121	乙醇胺(13.5%) + 氯苯(86.5%)	128.6	1165	氯苯	131.7
1122	2-乙氧基乙醇(50%) + 对二甲苯(50%)	128.6	1166	3-甲基-1-丁醇(85%) + 溴苯(15%)	131.7
1123	3-甲基-1-丁醇(59%) + 邻二甲苯(41%)	128.6	1167	3-甲基-1-丁醇	132
1124	2-氯乙醇	128.7	1168	甲酸戊酯	132.1
1125	丙酸(18%) + 氯苯(82%)	128.7	1169	1-乙氧基-2-丙醇	132.2
1126	2-甲基-1-丁醇	128.8	1170	丙酸(34%) + 对二甲苯(66%)	132.5
1127	3-甲基-1-丁醇(63%) + 苯乙烷(37%)	<128.9	1171	3-甲基-1-丁醇 + 2-甲基吡啶	>132.5
1128	2-乙氧基乙醇(18%) + 2-甲基-2-戊烯-4-醇	128.9	1172	丙酸(35%) + 间二甲苯(65%)	132.7
1129	2-乙氧基乙醇(51%) + 间二甲苯(49%)	128.9	1173	乙醇胺(18%) + 间二甲苯(82%)	133.0
1130	2-氯乙醇(75%) + 甲基丁基甲醚(25%)	129.0	1174	乙二酯(13.5%) + 乙苯(86.5%)	133.2
1131	2-氯-1-丙醇(35%) + 间二甲苯(65%)	129.0	1175	2-乙氧基乙醇(67%) + 异丙苯(33%)	133.2
1132	乳酸甲酯(38%) + 乙苯(62%)	129.0	1176	乳酸甲酯(50%) + 邻二甲苯(50%)	133.5
1133	3-甲基-1-丁醇(24%) + 2-甲基-2-戊烯-4-醇(76%)	129.2	1177	2-乙氧基乙醇(90%) + 乙酸异戊酯(10%)	133.8
			1178	3-氯-1-丙醇	134
			1179	乳酸甲酯(52%) + 苯乙烷(48%)	134.0
			1180	2-乙氧基乙醇(72%) + 丁酸丙酯(28%)	134.0

续表

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
1181	1,2-二溴丙烷(67%) + 丙酸(33%)	134.5	1225	乙二醇(6%) + 1,2-二溴丙烷(54%)	138.0
1182	1-戊醇(50%) + 二丁基醚(50%)	134.5	1226	丙酸(66%) + 异丙苯(35%)	138.0
1183	2-丙氧基乙醇(18%) + 乙苯(82%)	134.5	1227	二丙基甲酮(10%) + 间二甲苯(90%)	139.0
1184	乙硫基丙酮(<40%) + 乙苯(>60%)	<135.0	1228	1-己醇(<15%) + 间二甲苯(>85%)	<139.1
1185	2-乙氧基乙醇	135.1	1229	间二甲苯	139.1
1186	乙二醇(14.5%) + 对二甲苯(85.5%)	135.2	1230	正己醇(5%) + 间二甲苯	139.1
1187	2-乙氧基乙醇(86%) + 溴苯(14%)	135.2	1231	1,2,3-三氯丙烷(35%) + 丙酸(65%)	139.5
1188	丙酸(43%) + 邻二甲苯(57%)	135.4	1232	乙酸(35%) + 吡啶(65%)	139.7
1189	丙酸(45%) + 苯乙烯(55%)	135.5	1233	乙二醇(16%) + 邻二甲苯(84%)	140.0
1190	乳酸甲酯(63%) + α -蒎烯(37%)	135.5	1234	1,2-二溴丙烷(>91%) + 乙酸异戊酯(<9%)	<140.2
1191	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷(15%) + 乙苯(85%)	135.5	1235	1,2-二溴丙烷(>72%) + 邻二甲苯(22%)	<140.2
1192	2-氯乙醇(15%) + 2-乙氧基乙醇(85%)	135.7	1236	乙二醇(12%) + 二丁基醚(88%)	140.2
1193	乙二醇(15%) + 间二甲苯(85%)	135.8	1237	丙酸(62.5%) + 溴苯(37.5%)	140.2
1194	丁酸(4%) + 乙苯(96%)	135.8	1238	丙酸(68%) + 2-氯丙苯(32%)	140.2
1195	1,2-二溴丙烷(>80%) + 乙苯(<92%)	135.9	1239	乳酸乙酯(30%) + 邻二甲苯(70%)	140.2
1196	丙酸(45%) + 二丁基醚(55%)	135.9	1240	2-丙氧基乙醇(35%) + 邻二甲苯(65%)	140.3
1197	1,2-丙二醇 + 二丁基醚	135.9	1241	1,2-二溴丙烷	140.5
1198	乙苯	135.2	1242	乳酸甲酯(60%) + 丙酸丁酯(40%)	140.5
1199	丙酸(58.5%) + α -蒎烯(41.5%)	135.3	1243	乳酸乙酯(33%) + 苯乙烯(67%)	140.5
1200	2-丙氧基乙醇(24%) + 对二甲苯(76%)	135.3	1244	2-丙氧基乙醇(37%) + 苯乙烯(63%)	140.5
1201	乙醇胺(16%) + 二丁基醚(84%)	135.5	1245	1,1,2,2-四氯乙烷(50%) + 丙酸(50%)	140.7
1202	乳酸乙酯(17%) + 对二甲苯(83%)	135.5	1246	丙酸	140.8
1203	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷(15%) + 戊醇	<137.0	1247	丙酸(77%) + 4-氯甲苯(23%)	140.8
1204	乙硫丙酮	137.0	1248	乙酸异戊酯(<55%) + 二丁基醚(>45%)	<141.2
1205	乳酸甲酯(42%) + 二丁基醚(58%)	137.0	1249	乙二醇(7%) + 苯乙烯(93%)	141.2
1206	2-丙氧基乙醇(25.5%) + 间二甲苯(74.5%)	137.0	1250	乳酸乙酯 + 二丁基醚	<141.5
1207	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷(26%) + 对二甲苯(80.5%)	137.2	1251	乳酸甲酯(22%) + 溴苯(78%)	141.5
1208	乳酸乙酯(19.5%) + 间二甲苯(80.5%)	137.4	1252	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷(20%) + 乙酸异戊酯(80%)	141.5
1209	1-戊醇	137.5	1253	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷(50%) + 邻二甲苯(50%)	141.5
1210	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷(28%) + 间二甲苯(72%)	137.7	1254	1-乙氧基-2-乙氧基乙烷(88%) + 二丁基醚(12%)	141.7
1211	丁酸(5.5%) + 对二甲苯(94.5%)	137.8	1255	二丙基甲酮(25%) + 乙酸异戊酯(75%)	141.7
1212	乳酸甲酯(62%) + 异丙苯(38%)	137.8	1256	丁酸丙酯(<45%) + 二丁基醚(>55%)	<142.0
1213	乙醇胺(20%) + 邻二甲苯(80%)	<138.0	1257	邻二甲苯(<22%) + 二丁基醚(>78%)	<142.0
1214	乳酸甲酯 + 1-戊醇	<138.0	1258	二丁基醚	142.0
1215	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷(30%) + 二丁基醚(70%)	138.0	1259	乙二醇(2%) + 乙酸异戊酯(98%)	142.0
1216	1,2-二溴丙烷(>35%) + 对二甲苯(<75%)	<138.3	1260	乙醇胺(25%) + α -蒎烯(75%)	142.0
1217	对二甲苯	138.4	1261	1-甲氧基-2-乙氧基乙烷(80%) + α -蒎烯(20%)	142.0
1218	癸醇(>11%) + 二丁基醚(<89%)	<138.5	1262	2-丙氧基乙醇(48%) + α -蒎烯(52%)	142.0
1219	1,2-二溴丙烷(92%) + 丁酸(8%)	138.5	1263	二丙基甲酮(80%) + α -蒎烯(20%)	142.0
1220	丁酸(6%) + 间二甲苯(94%)	138.5	1264	二丙基甲酮(42%) + 邻二甲苯(58%)	142.4
1221	乳酸甲酯(44%) + 乙酸异戊酯(56%)	138.5	1265	2-异丙氧基乙醇	142.5
1222	乳酸甲酯(45%) + 丁酸丙酯(55%)	138.5	1266	乙酸异戊酯	142.5
1223	2-丙氧基乙醇(37%) + 二丁基醚(63%)	138.5	1267	乙醇胺 + 异丙苯	142.5
1224	1,2-二溴丙烷(>92%) + 间二甲苯(<8%)	<138.8	1268	乳酸甲酯(47%) + 二丙基甲酮(53%)	142.7
			1269	丁酸(10%) + 邻二甲苯(90%)	143.0

续表

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
1270	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(51%) + 苯乙烯(39%)	143.0	1319	乙醇胺(28%) + 4-氯甲苯(72%)	148.3
1271	二丙基甲酮(37%) + 丁酸丙酯(53%)	143.0	1320	糠醛(27%) + 异丙苯(73%)	148.5
1272	乳酸乙酯(43.8%) + α -蒎烯(56.2%)	143.7	1321	2-正丙氧基乙醇(68%) + 二茂烯(32%)	148.5
1273	1-己醇(20%) + 邻二甲苯(80%)	143.1	1322	1,1,2,2-四氯乙烷 + 1-丙基甲酮	>148.5
1274	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(<65%) + 丁酸丙酯(<32%)	<143.2	1323	甲酸(18%) + 吡啶(82%)	148.5
1275	乳酸甲酯(55%) + 1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(45%)	143.2	1324	丙酸(74%) + 吡啶(26%)	~149
1276	环己醇(15%) + 邻二甲苯(85%)	143.3	1325	乙酸戊酯	149.2
1277	丁酸丙酯(<89%) + α -蒎烯(>12%)	<143.4	1326	乙二胺(18.5%) + α -蒎烯(81.5%)	149.5
1278	糠醛(1-36%) + α -蒎烯(1-62%)	143.4	1327	乙醇胺(80.5%) + 异戊基胺(19.5%)	149.5
1279	丁酸丙酯(<68%) + 苯乙烯(>32%)	<143.5	1328	丁酸(20%) + 异丙苯(80%)	149.5
1280	丁酸丙酯(<65%) + 邻二甲苯(>35%)	<143.5	1329	2-丙氧基乙醇(60%) + 2-氯甲苯(40%)	149.5
1281	丁酸(15%) + 苯乙烯(85%)	143.5	1330	1-己醇(35%) + 异丙苯(65%)	149.5
1282	乙二胺(3%) + 丁酸丙酯(97%)	143.6	1331	2-丙氧基乙醇(70%) + 4-氯甲苯(30%)	149.7
1283	二丙基甲酮	143.7	1332	环己醇(40%) + α -蒎烯(60%)	149.8
1284	丁酸丙酯	143.8	1333	环己醇(35.5%) + α -蒎烯(64%)	149.9
1285	2,2-二甲基吡啶	144.0	1334	1,1,2,2-四氯乙烷(68%) + 乙酸异戊酯(32%)	150.0
1286	1-己醇(23%) + 苯乙烯(77%)	~144	1335	环己醇(28%) + 异丙苯(72%)	150.0
1287	糠醛(<8%) + 邻二甲苯(>92%)	<144.1	1336	1-己醇(42%) + α -蒎烯(58%)	150.0
1288	3-甲基吡啶	144.1	1337	乳酸乙酯(53%) + 溴苯(47%)	150.1
1289	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(94%) + 异丙苯(6%)	144.8	1338	2-丙氧基乙醇(77%) + 1-异戊基胺(23%)	150.1
1290	邻二甲苯	144.4	1339	乙二胺(12%) + 溴苯(88%)	150.2
1291	环己醇(16%) + 苯乙烯(84%)	144.4	1340	丁酸(28%) + α -蒎烯(72%)	150.2
1292	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(<92%) + 乙酸戊酯(>8%)	<144.5	1341	1,1,2,2-四氯乙烷(>60%) + 丁酸丙酯(<40%)	>150.2
1293	乳酸乙酯(45%) + 异丙苯(55%)	144.5	1342	甲基戊基甲醚	150.4
1294	1,1,2,2-四氯乙烷(92.5%) + 乙二胺(7.5%)	144.9	1343	1,3-二氯-2-丙醇 + α -蒎烯(63.5%)	150.4
1295	糠醛 + 苯乙烯	<145.0	1344	1,2,3-三氯丙烷(>75%) + α -蒎烯(<25%)	150.5
1296	2-正丙氧基乙醇(1-20%) + 丙酸丁酯(1-80%)	<145.0	1345	1,1,2,2-四氯乙烷(55%) + 1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(45%)	150.9
1297	乳酸甲酯	145	1346	乳酸乙酯(65%) + 2-氯甲苯(35%)	151.0
1298	乙酸(49%) + 2-甲基吡啶(51%)	145	1347	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(40%) + α -蒎烯(60%)	151.0
1299	乙醇胺(1-22%) + 溴苯(1-78%)	145.0	1348	糠醛(14%) + 2-丙氧基乙醇(86%)	151.1
1300	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷	145.1	1349	2-正丙氧基乙醇	151.3
1301	苯乙烯	145.2	1350	乳酸乙酯(5%) + 2-丙氧基乙醇(95%)	151.3
1302	4-甲基吡啶	145.4	1351	2-丙氧基乙醇(87.5%) + 1-乙氧基-2-乙酰氧基乙醇(12.5%)	151.3
1303	丙酸丁酯(<46%) + 苯乙烯(>54%)	<145.5	1352	2,3-二氯-1-丙醇(37%) + α -蒎烯(63%)	151.5
1304	丙酸丁酯(<52%) + α -蒎烯(>48%)	<145.6	1353	2-正丙氧基乙醇(25%) + α -蒎烯(75%)	151.5
1305	1,1,2,2-四氯乙烷(98.2%) + 丁酸(1.8%)	145.6	1354	溴苯(66%) + 1-己醇(34%)	151.6
1306	乙二胺(<7%) + 丙酸丁酯(>93%)	<146.0	1355	2-甲基环己醇(13%) + 异丙苯(88%)	151.7
1307	1,2-二溴丙烷(40%) + 二丁基醚(60%)	146.0	1356	异丙苯(80%) + α -蒎烯(20%)	151.8
1308	1,1,2,2-四氯乙烷	146.1	1357	1,1,2,2-四氯乙烷(50%) + 丙酸丁酯(50%)	152.0
1309	乙醇胺(26%) + 2-氯甲苯(74%)	146.5	1358	1,2,3-三氯丙烷(77%) + 丁酸(23%)	152.0
1310	乙酸戊酯(>62%) + α -蒎烯(<38%)	<146.8	1359	乳酸乙酯(72%) + 4-氯甲苯(28%)	152.0
1311	丙酸丁酯	146.8	1360	环己醇(85%) + 异丙苯(15%)	152.0
1312	丙酸(36%) + 1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(64%)	146.9	1361	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(15%) + 异丙苯(85%)	152.0
1313	乙二胺(18%) + 异丙苯(82%)	147.0	1362	丁酸(18%) + 溴苯(82%)	152.2
1314	2-丙氧基乙醇(50%) + 异丙苯(50%)	147.0	1363	异丙苯	152.4
1315	乙基丁基甲酮	147.4	1364	乙二胺(<14%) + 1,2,3-三氯丙烷(>86%)	<152.5
1316	乙二胺(6%) + 丙酸戊酯(94%)	147.6	1365	1,3-二氯-2-丙醇 + 异丙苯	<152.5
1317	1,1,2,2-四氯乙烷(75%) + 丁基胺(25%)	148.0	1366	乙酸(30.4%) + 3-甲基吡啶(69.6%)	152.5
1318	2-丙氧基乙醇(1-48%) + 溴苯(1-52%)	148.2	1367	乙二胺(13%) + 2-氯甲苯(87%)	152.5

续表

序号	组 分	沸点 t/°C	序号	组 分	沸点 t/°C
1368	1,2,3-三氯丙烷(60%) + 1-己醇(40%)	152.8	1419	五氯乙烷(74%) + 丁酸(26%)	156.8
1369	2-甲基环己醇(20%) + α -萘烯(80%)	152.8	1420	五氯乙烷(50%) + 糠醛(50%)	156.8
1370	乳酸乙酯(<88%) + 二戊烯(>12%)	<153.0	1421	丁酸(32%) + 4-氯甲苯(68%)	156.8
1371	二甲基甲酰胺	153.0	1422	甲醚(25%) + 2-甲基吡啶(75%)	157
1372	乙醇胺(37%) + 二戊烯(63%)	153.0	1423	1-己醇(89%) + 二异戊基醚(11%)	157.0
1373	2-(2-甲氧基乙基)乙醇(15%) + α -萘烯(85%)	153.0	1424	糠醛(42%) + 4-氯甲苯(58%)	157.2
1374	1,1,2,2-四氯乙烷(40%) + 乙酸戊酯(60%)	153.1	1425	1-己醇(80%) + 二戊烯(20%)	157.2
1375	糠醛(23%) + 溴苯(77%)	153.3	1426	乙醇胺(40%) + 1,2-二氯苯(60%)	157.3
1376	溴苯(50%) + α -萘烯(50%)	153.4	1427	二(2-氯乙基)醚(<22%) + 1-己醇(>78%)	<157.5
1377	1-己醇(44%) + 2-氯甲苯(56%)	153.5	1428	1,3-二氯-2-丙醇(15%) + 2-氯甲苯(85%)	157.6
1378	溴苯(60%) + 环己醇(40%)	153.6	1429	五氯乙烷(63%) + 环己醇(37%)	157.8
1379	五氯乙烷(35%) + 乳酸乙酯(65%)	153.7	1430	1,1,2,2-四氯乙烷(26%) + 1-乙氧基-2-乙氧基乙烷(74%)	158.2
1380	1,2,3-三氯丙烷(85%) + 乳酸乙酯(15%)	153.7	1431	2,4-二甲基吡啶	158.3
1381	乳酸乙酯(68%) + 环己酮(32%)	153.7	1432	2-氯甲苯 + 2-甲基环己醇	158.4
1382	乳酸乙酯(82%) + 5-环己醇(18%)	153.7	1433	糠醛(>83%) + 二戊烯(<17%)	<158.5
1383	糠醛(35%) + 二异戊基醚(65%)	153.9	1434	2-丁氧基乙醇(12%) + 2-氯甲苯(88%)	158.5
1384	1-己醇(<54%) + 4-氯甲苯(>46%)	<154.0	1435	糠醛(74%) + 2-甲基环己醇(26%)	158.6
1385	乳酸乙酯	154	1436	1,1,2,2-四氯乙烷(45%) + 环己酮(55%)	159.0
1386	乳酸乙酯(94%) + 环己醇(6%)	154.0	1437	丙酸 + 2-甲基吡啶	~159
1387	糠醛(44%) + 1-己醇(56%)	154.1	1438	丙酸 + 4-甲基吡啶	~159
1388	乙酸(30.3%) + 4-甲基吡啶(69.7%)	154.3	1439	2-氯甲苯	159.2
1389	乙醇胺(37%) + 对异丙基苯甲酸(63%)	154.5	1440	环己醇(73.5%) + 二戊烯(26.5%)	159.3
1390	丁酸(27%) + 2-氯甲苯(73%)	154.5	1441	丁酸(42.5%) + 糠醛(57.5%)	159.4
1391	2-氯甲苯 + α -萘烯	154.5	1442	环己醇(79%) + 二异戊基醚(21%)	159.4
1392	五氯乙烷(88%) + 乙二醇(12%)	154.6	1443	环己醇(74%) + 对异丙基苯甲酸(26%)	159.5
1393	乙二醇(14%) + 4-氯甲苯(86%)	154.8	1444	五氯乙烷(78%) + 1,3-二氯-2-丙醇(22%)	159.8
1394	1,2,3-三氯丙烷(69%) + 环己醇(31%)	154.9	1445	乙醇胺(<50%) + 二戊烯(>50%)	<160.0
1395	丁酸丁酯(<20%) + α -萘烯(>80%)	<155.0	1446	1,2,3-三氯丙烷(61%) + 环己酮(39%)	160.0
1396	糠醛(35%) + 2-氯甲苯(65%)	155.0	1447	1,3-二氯-2-丙醇(22%) + 4-氯甲苯(78%)	160.0
1397	环己醇(37%) + 2-氯甲苯(63%)	155.2	1448	乙二醇(16%) + 丁酸丁酯(84%)	160.3
1398	苯胺(15%) + α -萘烯(85%)	155.3	1449	环己醇 + 丁酸丁酯	<160.5
1399	4-氯甲苯(<20%) + α -萘烯(>80%)	<155.5	1450	五氯乙烷	160.5
1400	1,3-二氯-2-丙醇(9%) + 溴苯(91%)	155.5	1451	2-丁氧基乙醇(20%) + 4-氯甲苯(80%)	160.5
1401	溴苯(63%) + 1-乙氧基-2-乙氧基乙烷(37%)	155.5	1452	糠醛(<34%) + 1-庚醇(>6%)	<160.9
1402	1,2,3-三氯丙烷(30%) + 溴苯(70%)	155.6	1453	丁酸(56%) + 二戊烯(44%)	160.9
1403	环己酮	155.7	1454	糠醛(<35%) + 对异丙基苯甲酸(>65%)	<161.0
1404	五氯乙烷(54%) + 1-己醇(46%)	155.7	1455	丁酸(60%) + 对异丙基苯甲酸(40%)	161.0
1405	五氯乙烷(11%) + α -萘烯(89%)	155.7	1456	糠醛(78%) + 1,2-二氯苯(22%)	161.0
1406	环己酮(94%) + 1-己醇(6%)	155.7	1457	环己醇	161.1
1407	溴苯(33.5%) + 2-丁氧基乙醇(66.5%)	155.8	1458	4-氯甲苯(75%) + 2-甲基环己醇(25%)	161.1
1408	1-乙氧基-2-乙氧基乙烷(<63%) + 1-己醇(>37%)	<155.9	1459	糠醛(88%) + 2-丁氧基乙醇(12%)	~161.2
1409	1,2,3-三氯丙烷	156.0	1460	乙二醇(22%) + 二异戊基醚(78%)	161.4
1410	糠醛(35%) + 二戊烯(65%)	156.0	1461	1,1,2,2-四氯乙烷(35%) + 糠醛(65%)	161.6
1411	溴苯	156.1	1462	糠醛	161.7
1412	α -萘烯	156.1	1463	丁酸(34%) + 二异戊基醚(66%)	161.8
1413	1-乙氧基-2-乙氧基乙烷	156.1	1464	4-氯甲苯(82%) + 1-庚醇(18%)	161.9
1414	糠醛(55%) + 环己醇(45%)	156.4	1465	4-氯甲苯	162.4
1415	环己醇(45%) + 4-氯甲苯(55%)	156.5	1466	丁酸(65%) + 1,2-二氯苯(35%)	163.0
1416	1-乙氧基-2-乙氧基乙烷(95%) + 二异戊基醚(5%)	156.5	1467	乙二醇(25%) + 对异丙基苯甲酸(75%)	163.2
1417	1-己醇	156.6	1468	丁酸	163.3
1418	1-乙氧基-2-乙氧基乙烷(90%) + 2-氯甲苯(10%)	156.6	1469	乙二醇(23%) + 二戊烯(77%)	163.3
			1470	糠醛(55%) + 二异戊基醚(45%)	163.5
			1471	丙酸 + 2-甲基吡啶	~164

续表

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
1472	乙醇(30%) + 丁酸丁酯(70%)	164.0	1517	二(2-氯乙基)醚(25%) + 2-丁氧基乙醇(75%)	170.0
1473	2-丁氧基乙醇(53%) + 二戊烯(47%)	164.0			
1474	乙二醇(15%) + 二异丁基甲酮(85%)	164.2	1518	1,2-二氯-2-丙醇(55%) + 对丙基苯甲醚(45%)	171.0
1475	丁酸(82%) + 1-乙氧基-2-乙氧基乙烷(18%)	164.3	1519	2-丁氧基乙醇(81%) + 苯甲酸(9%)	171.0
1476	2-丁氧基乙醇(52.5%) + 二异戊基醚(46.5%)	164.9	1520	乙醇(7%)	171.1
1477	α -2-甲基环己醇	165	1521	乙二醇(21%) + 二(2-氯乙基)醚(79%)	171.1
1478	五氯乙烷(78%) + 环己酮(22%)	165.0	1522	2-丁氧基乙醇	171.2
1479	2-丁氧基乙醇(20%) + 丁酸丁酯(80%)	165.0	1523	苯甲酸(43%) + 二戊烯(57%)	171.2
1480	2-甲基环己醇	165.1	1524	α -甲基环己醇	171.3
1481	2-甲基环己醇(60%) + 二戊烯(40%)	165.3	1525	苯胺(35%) + 二戊烯(65%)	171.3
1482	1,3-二氯-2-丙醇(48%) + 二异戊基醚(52%)	165.7	1526	1-庚醇(50%) + 二戊烯(50%)	171.7
1483	乙二醇(30%) + 1,2-二氯苯(80%)	165.8	1527	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(27%) + 对丙基苯甲酸(73%)	172.0
1484	1,3-二氯-2-丙醇(57%) + 二戊烯(43%)	165.8	1528	2,3-二氯-1-丙醇(42%) + 对丙基苯甲酸(58%)	172.5
1485	2-甲基环己醇(63%) + 二异戊基醚(37%)	166.2	1529	1-庚醇(47%) + 对丙基苯甲酸(53%)	172.5
1486	2-甲基环己醇(<68%) + 对丙基苯甲酸(>32%)	<166.5	1530	甲基乙基甲醚(18%) + 对丙基苯甲酸(82%)	172.5
1487	β -2-甲基环己醇	166.5	1531	二异戊基醚(83%) + 2-辛醇(17%)	172.7
1488	丁酸丁酯	166.6	1532	2-(2-乙氧基乙氧基)乙醇(23%) + 二戊烯(77%)	173.0
1489	乙醇胺(43%) + 2-丁氧基乙醇(57%)	167.0	1533	二异戊基醚	173.4
1490	二(2-氯乙基)醚(<40%) + 甲基环己醇(>60%)	<167.5	1534	乙二醇(>15%) + 苯甲酸(<35%)	<173.5
1491	乙醇(>60%) + 2-丁氧基乙醇(<40%)	<167.5	1535	1,2-二氯-2-丙醇(<87%) + 二戊烯(>63%)	<173.5
1492	2,3-二氯-1-丙醇(37%) + 二异戊基醚(62%)	167.5	1536	α -3-甲基环己醇	173.5
1493	2-甲基环己醇(40%) + 二异丁基甲酮(60%)	167.5	1537	甲基乙基甲醚	173.5
1494	乙二醇(20%) + 甲基乙基甲酮(80%)	168.0	1538	二(2-氯乙基)醚(50%) + 1-庚醇(50%)	173.5
1495	2-丁氧基乙醇(60%) + 对丙基苯甲酸(40%)	168.0	1539	1,2-二氯苯(45%) + 1-庚醇(55%)	173.5
1496	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(35%) + 二戊烯(65%)	168.5	1540	苯胺(27%) + 对丙基苯甲酸(73%)	173.5
1497	苯甲酸(37.5%) + 二异戊基醚(62.5%)	168.6	1541	α -4-甲基环己醇	174.0
1498	乙二醇(25%) + 戊基醚(75%)	168.8	1542	苯甲酸(30%) + 对丙基苯甲酸(70%)	174.0
1499	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(23%) + 二异戊基醚(77%)	168.8	1543	乙醇(17%) + 1-庚醇(83%)	174.1
1500	五氯乙烷(35%) + 二异丁基甲酮(65%)	169.0	1544	2,3-二氯-1-丙醇(40%) + 1,2-二氯苯(60%)	174.2
1501	2,3-二氯-1-丙醇(>44%) + 二戊烯(<56%)	169.0	1545	1,3-二氯-2-丙醇(47%) + 1-庚醇(53%)	174.2
1502	2-丁氧基乙醇(67%) + 二戊基醚(33%)	169.0	1546	β -4-甲基环己醇	174.4
1503	4-羟基-4-甲基-2-戊酮	169.2	1547	苯甲酸(<45%) + 1-庚醇(>55%)	<174.5
1504	二异丁基甲酮	169.3	1548	己酸环己酯	174.5
1505	二(2-氯乙基)醚(39%) + 二异戊基醚(61%)	169.4	1549	2-辛醇(42%) + 二戊烯(58%)	174.8
1506	苯胺(38%) + 二异戊基醚(62%)	169.4	1550	1,3-二氯-2-丙醇	175
1507	1,2-丙二醇 + 甲基乙基甲醚	<169.5	1551	β -2-甲基环己醇	175.0
1508	3-甲基环己醇	169.6	1552	2-辛醇(<40%) + 对丙基苯甲酸(>60%)	<175.2
1509	乙醇	170.0	1553	苯甲酸(58%) + 戊基醚(42%)	175.2
1510	甲基乙基甲醚(55%) + 二戊烯(45%)	170.0	1554	1,2-二氯-2-丙醇(85%) + 2-辛醇(15%)	175.4
1511	1,2-二氯-2-丙醇 + 二异戊基醚	170.3	1555	苯胺(22%) + 1-庚醇(78%)	175.4
1512	2-丁氧基-2-丙醇	170.2	1556	乙二醇(21%) + 2-辛醇(79%)	175.6
1513	1-庚醇(38%) + 二异戊基醚(62%)	170.2	1557	对丙基苯甲酸(60%) + 二戊烯(40%)	175.8
1514	乙醇胺(30%) + 苯胺(10%)	170.3	1558	1-庚醇	175.9
1515	1,3-二氯-2-丙醇(50%) + 1,2-二氯苯(40%)	170.5	1559	二(2-氯乙基)醚(>11%) + 对丙基苯甲酸(<89%)	<176.4
1516	1,2-二氯苯(27%) + 2-丁氧基乙醇(73%)	170.5	1560	苯甲酸(11%) + 二戊烯(89%)	176.4
			1561	二(2-氯乙基)醚(<88%) + 二戊基醚(>12%)	<176.5
			1562	苯甲酸(60%) + 2-辛醇(40%)	176.5
			1563	二戊烯	176.7

续表

序号	组 分	沸点 /°C	序号	组 分	沸点 /°C
1564	二(2-氯乙基)醚(60%) + 1,2-二氯苯(40%)	176.7	1612	1-(2-甲氧基丙氧基)-2-丙醇	189
1565	二(2-氯乙基)醚(<35%) + 二戊烯(>65%)	<176.8	1613	2,5-己二酮(>55%) + 1-辛醇(<45%)	<190.0
1566	四氢糠醇	177.0	1614	乳酸	~190
1567	对丙基苯甲醚	177.1	1615	1,2-乙氧基乙基乙烷	190.8
1568	二(2-氯乙基)醚(<62%) + 2-辛醇(>58%)	<177.2	1616	2,5-己二酮	191.4
1569	1,2-二氯苯(70%) + 苯胺(30%)	177.4	1617	1-丁氧基-2-乙氧基乙基乙烷	191.5
1570	1,3-二氯-2-丙醇(>85%) + 二异丁基酮(<15%)	177.5	1618	2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇(80%) + 苯乙醇(20%)	191.9
1571	1,2-二氯苯(>23%) + 二戊烯(<80%)	177.5	1619	2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇 + 苯甲醚	<192.5
1572	苯胺(55%) + 二戊基醚(45%)	177.5	1620	乙二醇(20%) + 2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇(80%)	192.6
1573	1-辛醇(~6%) + 二戊烯(~94%)	177.5	1621	乙二醇(53.5%) + 苯甲醚(46.5%)	193.4
1574	丙二醇(~1%) + 二戊烯(~99%)	177.7	1622	2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇	194.2
1575	1,2-二氯苯(58%) + 2-辛醇(42%)	177.7	1623	顺十氢化萘	194.6
1576	乙二醇(20.1%) + 二(2-乙氧基乙基)醚(73.9%)	178.0	1624	乙二醇(29.5%) + 2-(2-乙氧基乙氧基)乙醇(70.5%)	195.0
1577	1,2-二氯苯(>48%) + 苯甲醚(<52%)	<178.5	1625	乙二醇 + 2-乙氧基-2'-乙氧基基二乙基乙基醚	195.0
1578	二(2-氯乙基)醚	178.6	1626	苯乙醇(12.5%) + 1-辛醇(87.5%)	195.0
1579	2,5-己二酮(>18%) + 2-辛醇(<82%)	<179.0	1627	1-辛醇	195.3
1580	1,2-乙氧基乙基乙烷(<60%) + 二戊基醚(>40%)	<179.0	1628	乙二醇(72.5%) + 2-(2-乙氧基乙氧基)乙醇(27.5%)	196.2
1581	2-辛醇	179.0	1629	1-(2-乙氧基乙基)-2-丙醇	197
1582	1,3-二氯-2-丙醇(67%) + 甲基己基甲醚(33%)	179.0	1630	乙二醇	197.9
1583	苯胺(36%) + 2-辛醇(64%)	179.0	1631	苯乙醇	202.0
1584	苯甲醚	179.1	1632	2-(2-乙氧基乙氧基)乙醇	202.8
1585	1,2-乙氧基乙基乙烷 + 2-辛醇	179.2	1633	1-苯基乙醇	203.5
1586	2,3-二氯-1-丙醇(35%) + 2-辛醇(65%)	179.4	1634	1,2-二丁氧基乙烷	203.6
1587	乙二醇(<24%) + 1,2-乙氧基乙基乙烷(>76%)	<179.5	1635	硝基苯(38%) + 苯甲醚(62%)	204.2
1588	1,2-丙二醇(43%) + 苯胺(57%)	179.5	1636	苯甲醚	205.4
1589	2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇(46%) + 二戊基醚(54%)	179.5	1637	1,3-丁二醇	207.4
1590	2-辛醇(86%) + 二戊基醚(14%)	179.8	1638	四氢化萘	207.6
1591	乙二醇(<45%) + 2,5-己二酮(>55%)	<180.5	1639	甲酰胺	~210
1592	1,2-二氯苯	180.5	1640	乙二醇(10%) + 硝基苯(90%)	210.0
1593	乙二醇(24%) + 苯胺(76%)	180.6	1641	硝基苯	210.8
1594	2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇(~30%) + 1,2-二乙氧基乙基乙烷(~70%)	181.5	1642	3-氯-1,2-丙二醇	213.0
1595	2,3-二氯-1-丙醇	182	1643	1,3-丙二醇	214.7
1596	2,3-丁二醇	182	1644	3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	215.2
1597	2-(2-乙氧基乙基)乙醇 + 二戊基醚	<185.0	1645	2-乙氧基-2'-乙氧基基二乙基醚	217.4
1598	1,2-丙二醇 + 苯乙醇	<185.5	1646	二(2-氯乙基)甲醚	218.1
1599	苯胺	185.9	1647	二乙基醚	226.2
1600	2,3-二氯-1-丙醇 + 甲基己基甲醚	184.0	1648	1,4-丁二醇	228
1601	苯胺(83%) + 1-辛醇(17%)	184.0	1649	1-(2-丁氧基乙基)-2-丙醇	228
1602	乙二醇(35.5%) + 1-辛醇(64.5%)	184.4	1650	2-(2-丁氧基乙基)乙醇	230.4
1603	反十氢化萘	185.5	1651	二丙二醇	231.8
1604	乙二醇(52%) + 苯乙醇(48%)	185.7	1652	乙二醇 + 2-乙氧基乙醇	<244.5
1605	乙二醇(59%) + 硝基苯(41%)	185.9	1653	2-乙氧基乙醇	244.7
1606	1,2-二乙氧基乙基乙烷 + 1-辛醇	<186.0	1654	二乙二醇	245.0
1607	二戊基醚	186.8	1655	2-丁氧基-2'-乙氧基基二乙基醚	246.8
1608	二(2-氯异丙基)醚	187.0	1656	二(2-丁氧基)醚	254.6
1609	乳酸丁酯	187	1657	2-苯甲酸基乙醇	255.9
1610	1,2-丙二醇	187.4	1658	二乙酸甘油酯	260
1611	二(2-乙氧基乙基)醚	188.9	1659	丙三醇(35%) + 二乙二醇(65%)	265.1
			1660	三乙二醇	287.4
			1661	丙三醇	290
			1662	三乙醇胺	260

表 1.58 不同温度下水的饱和蒸汽压

1. 以 mmHg^① (毫米汞柱) 表示

下表系水与水蒸气接触时的数值。若水与空气接触, 需加上下列校正数值: 温度在 40°C 以下时, 校正值为 $P(0.0775 - 3.73 \times 10^{-5}t)/100$; 温度在 50°C 以上时, 校正值为 $P(0.0652 - 8.75 \times 10^{-5}t)/100$ 。

$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg	$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg	$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg	$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg	$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg
-10.0	2.149	1.0	4.926	12.0	10.518	23.0	21.068	34.0	38.898
-9.8	2.184	1.2	4.936	12.2	10.658	23.2	21.324	34.2	40.244
-9.6	2.219	1.4	5.076	12.4	10.799	23.4	21.583	34.4	40.796
-9.4	2.254	1.6	5.144	12.6	10.941	23.6	21.845	34.6	41.251
-9.2	2.289	1.8	5.216	12.8	11.085	23.8	22.110	34.8	41.711
-9.0	2.325	2.0	5.284	13.0	11.231	24.0	22.377	35.0	42.177
-8.8	2.362	2.2	5.370	13.2	11.379	24.2	22.645	35.2	42.644
-8.6	2.399	2.4	5.447	13.4	11.528	24.4	22.922	35.4	43.117
-8.4	2.437	2.6	5.525	13.6	11.680	24.6	23.198	35.6	43.595
-8.2	2.475	2.8	5.605	13.8	11.833	24.8	23.478	35.8	44.075
-8.0	2.514	3.0	5.685	14.0	11.987	25.0	23.756	36.0	44.563
-7.8	2.553	3.2	5.766	14.2	12.144	25.2	24.039	36.2	45.054
-7.6	2.593	3.4	5.846	14.4	12.302	25.4	24.326	36.4	45.548
-7.4	2.634	3.6	5.931	14.6	12.462	25.6	24.617	36.6	46.050
-7.2	2.674	3.8	6.015	14.8	12.624	25.8	24.912	36.8	46.555
-7.0	2.715	4.0	6.101	15.0	12.788	26.0	25.209	37.0	47.067
-6.8	2.757	4.2	6.187	15.2	12.953	26.2	25.509	37.2	47.582
-6.6	2.800	4.4	6.274	15.4	13.121	26.4	25.812	37.4	48.102
-6.4	2.843	4.6	6.365	15.6	13.290	26.6	26.117	37.6	48.627
-6.2	2.887	4.8	6.453	15.8	13.461	26.8	26.426	37.8	49.159
-6.0	2.931	5.0	6.543	16.0	13.634	27.0	26.739	38.0	49.697
-5.8	2.975	5.2	6.635	16.2	13.809	27.2	27.053	38.2	50.241
-5.6	3.022	5.4	6.728	16.4	13.987	27.4	27.374	38.4	50.774
-5.4	3.069	5.6	6.822	16.6	14.168	27.6	27.696	38.6	51.323
-5.2	3.115	5.8	6.917	16.8	14.347	27.8	28.021	38.8	51.875
-5.0	3.163	6.0	7.015	17.0	14.530	28.0	28.348	39.0	52.443
-4.8	3.211	6.2	7.111	17.2	14.715	28.2	28.680	39.2	53.006
-4.6	3.259	6.4	7.209	17.4	14.903	28.4	29.013	39.4	53.580
-4.4	3.305	6.6	7.309	17.6	15.092	28.6	29.344	39.6	54.158
-4.2	3.359	6.8	7.411	17.8	15.284	28.8	29.697	39.8	54.737
-4.0	3.410	7.0	7.515	18.0	15.477	29.0	30.043	40.0	55.323
-3.8	3.461	7.2	7.617	18.2	15.673	29.2	30.392	40.2	55.911
-3.6	3.514	7.4	7.722	18.4	15.871	29.4	30.743	40.4	56.511
-3.4	3.567	7.6	7.828	18.6	16.071	29.6	31.102	40.6	57.111
-3.2	3.620	7.8	7.936	18.8	16.272	29.8	31.461	40.8	57.722
-3.0	3.673	8.0	8.045	19.0	16.477	30.0	31.824	41.0	58.344
-2.8	3.730	8.2	8.155	19.2	16.685	30.2	32.151	41.2	58.966
-2.6	3.785	8.4	8.267	19.4	16.894	30.4	32.581	41.4	59.585
-2.4	3.841	8.6	8.380	19.6	17.105	30.6	32.932	41.6	60.222
-2.2	3.898	8.8	8.494	19.8	17.319	30.8	33.312	41.8	60.866
-2.0	3.955	9.0	8.609	20.0	17.535	31.0	33.695	42.0	61.509
-1.8	4.015	9.2	8.727	20.2	17.753	31.2	34.082	42.2	62.144
-1.6	4.075	9.4	8.845	20.4	17.974	31.4	34.471	42.4	62.780
-1.4	4.135	9.6	8.965	20.6	18.197	31.6	34.864	42.6	63.425
-1.2	4.196	9.8	9.086	20.8	18.422	31.8	35.261	42.8	64.12
-1.0	4.258	10.0	9.209	21.0	18.650	32.0	35.663	43.0	64.80
-0.8	4.320	10.2	9.335	21.2	18.880	32.2	36.068	43.2	65.48
-0.6	4.383	10.4	9.458	21.4	19.113	32.4	36.477	43.4	66.15
-0.4	4.448	10.6	9.585	21.6	19.349	32.6	36.891	43.6	66.83
-0.2	4.513	10.8	9.714	21.8	19.587	32.8	37.308	43.8	67.46
0.0	4.579	11.0	9.844	22.0	19.827	33.0	37.729	44.0	68.28
0.2	4.647	11.2	9.976	22.2	20.070	33.2	38.155	44.2	68.97
0.4	4.715	11.4	10.105	22.4	20.316	33.4	38.584	44.4	69.69
0.6	4.785	11.6	10.244	22.6	20.565	33.6	39.018	44.6	70.41
0.8	4.855	11.8	10.380	22.8	20.815	33.8	39.457	44.8	71.14

① 1 mmHg = 133.322 Pa。

续表

$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg	$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg	$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg	$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg	$t/^\circ\text{C}$	P/mmHg
45.0	71.68	57.0	129.82	76.0	301.4	92.0	568.69	99.8	754.58
45.2	72.62			76.5	307.7	92.2	571.96		
45.4	73.36	57.5	132.95	77.0	314.1	92.4	575.55	100.0	760.51
45.6	74.12	58.0	136.08			92.6	579.27	101	767.61
45.8	74.88	58.5	139.31	77.5	320.7	92.8	584.22	102	775.68
		59.0	142.60	78.0	327.3			103	784.12
46.0	75.65	59.5	145.99	78.5	334.2	93.0	588.60	104	793.03
46.2	76.43			79.0	341.0	93.2	593.09		
46.4	77.21	60.0	149.38	79.5	348.1	93.4	597.48	105	800.97
46.6	78.00	60.5	152.91			93.6	601.89	106	809.81
46.8	78.80	61.0	156.43	80.0	355.1	93.8	606.38	107	819.67
		61.5	160.10	80.5	362.4			108	829.42
47.0	79.60	62.0	163.77	81.0	369.7	94.0	610.80	109	839.12
47.2	80.41			81.5	377.3	94.2	615.44		
47.4	81.23	62.5	167.58	82.0	384.0	94.4	620.01	110	847.46
47.6	82.05	63.0	171.38			94.6	624.71	111	856.20
47.8	82.87	63.5	175.35	82.5	392.8	94.8	629.24	112	865.44
		64.0	179.31	83.0	400.6			113	874.42
48.0	83.71	64.5	183.43	83.5	408.7	95.0	633.90	114	883.25
48.2	84.56			84.0	416.8	95.2	638.59		
48.4	85.42	65.0	187.54	84.5	425.2	95.4	643.30	115	892.98
48.6	86.28	65.5	191.32			95.6	648.05	116	902.61
48.8	87.14	66.0	196.09	85.0	433.6	95.8	652.82	117	912.55
		66.5	200.33	85.5	442.3			118	922.88
49.0	88.02	67.0	204.96	86.0	450.9	96.0	657.62	119	932.63
49.2	88.90			86.5	459.8	96.2	662.45		
49.4	89.79	67.5	209.57	87.0	468.7	96.4	667.31	120	942.94
49.6	90.69	68.0	214.17			96.6	672.20	121	953.60
49.8	91.59	68.5	218.95	87.5	477.9	96.8	677.12	122	964.04
		69.0	223.73	88.0	487.1			123	974.36
50.0	92.51	69.5	228.72	88.5	496.6	97.0	682.07	124	984.61
50.5	94.85			89.0	506.1	97.2	687.04		
51.0	97.20	70.0	233.7	89.5	515.9	97.4	692.05	125	994.93
51.5	99.65	70.5	238.8			97.6	697.10	126	1005.12
52.0	102.09	71.0	243.9	90.0	525.76	97.8	702.17	127	1015.83
		71.5	249.3	90.2	529.77			128	1026.63
52.5	104.65	72.0	254.6	90.4	533.86	98.0	707.27	129	1037.56
53.0	107.20			90.6	537.86	98.2	712.40		
53.5	109.86	72.5	260.2	90.8	541.95	98.4	717.56	130	1048.16
54.0	112.51	73.0	265.7			98.6	722.75	140	1210.92
54.5	115.28	73.5	271.5	91.0	546.05	98.8	727.98	150	1370.48
		74.0	277.2	91.2	550.18			160	1529.00
55.0	118.04	74.5	283.2	91.4	554.35	99.0	733.24	170	1689.92
55.5	120.92			91.6	558.53	99.2	738.53		
56.0	123.80	75.0	289.1	91.8	562.75	99.4	743.85		
56.5	126.81	75.5	295.3			99.6	749.20		

2. 以 kPa(千帕)表示

下表列出的是水从熔点至临界点的蒸汽压,单位为 kPa(千帕)。

$t/^\circ\text{C}$	P/kPa	$t/^\circ\text{C}$	P/kPa	$t/^\circ\text{C}$	P/kPa	$t/^\circ\text{C}$	P/kPa	$t/^\circ\text{C}$	P/kPa
0	0.61129	14	1.5987	28	3.7818	41	7.7820	55	15.752
1	0.65716	15	1.7058	29	4.0078	42	8.2961	56	16.522
2	0.70605	16	1.8193	30	4.2455	43	8.8463	57	17.324
3	0.75813	17	1.9390			44	9.4075	58	18.155
4	0.81359	18	2.0644	31	4.4953	45	9.9898	59	19.026
5	0.87260	19	2.1978	32	4.7578	46	10.6044	60	19.932
6	0.93537	20	2.3388	33	5.0335	47	10.629		
7	1.0021			34	5.3229	48	11.171	61	20.872
8	1.0730	21	2.4877	35	5.6267	49	11.735	62	21.851
9	1.1482	22	2.6447	36	5.9453	50	12.324	63	22.869
10	1.2281	23	2.8104	37	6.2795			64	23.925
		24	2.9850	38	6.6298	51	12.970	65	25.020
11	1.3129	25	3.1690	39	6.9969	52	13.628	66	26.152
12	1.4027	26	3.3629	40	7.3814	53	14.303	67	27.347
13	1.4979	27	3.5670			54	15.012	68	28.570

● 数据取自 NBS/NRC Steam Tables, J. Hanz, J. S. Gallagher, G. S. Keo 等著, New York Hemisphere Publishing Corp., 1984.

续表

$t/^\circ\text{C}$	P/kPa	$t/^\circ\text{C}$	P/kPa	$t/^\circ\text{C}$	P/kPa	$t/^\circ\text{C}$	P/kPa	$t/^\circ\text{C}$	P/kPa
69	29.852	130	270.02	191	1281.9	252	4109.6	313	10271
70	31.176			192	1310.1	253	4178.9	314	10410
		131	278.20	193	1338.8	254	4249.1	315	10551
71	32.549	132	286.57	194	1368.0	255	4320.2	316	10694
72	33.972	133	295.15	195	1397.6	256	4392.2	317	10838
73	35.448	134	303.93	196	1427.8	257	4465.1	318	10984
74	36.976	135	312.93	197	1458.5	258	4539.0	319	11131
75	38.563	136	322.14	198	1489.7	259	4613.7	320	11279
76	40.205	137	331.67	199	1521.4	260	4689.4		
77	41.905	138	341.22	200	1553.6			321	11429
78	43.665	139	351.05			261	4766.1	322	11581
79	45.487	140	361.19	201	1586.4	262	4843.7	323	11734
80	47.373			202	1619.7	263	4922.3	324	11889
		141	371.53	203	1653.6	264	5001.8	325	12046
81	49.324	142	382.11	204	1688.0	265	5082.3	326	12204
82	51.342	143	392.92	205	1722.9	266	5163.8	327	12364
83	53.428	144	403.98	206	1758.4	267	5246.3	328	12525
84	55.585	145	415.29	207	1794.5	268	5329.8	329	12688
85	57.815	146	426.85	208	1831.1	269	5414.3	330	12852
86	60.119	147	438.67	209	1868.4	270	5499.9		
87	62.499	148	450.75	210	1906.2			331	13019
88	64.958	149	463.10			271	5586.4	332	13187
89	67.496	150	475.72	211	1944.6	272	5674.0	333	13357
90	70.117			212	1983.6	273	5762.7	334	13528
		151	488.61	213	2023.2	274	5852.4	335	13701
91	72.823	152	501.78	214	2063.4	275	5943.1	336	13876
92	75.614	153	515.23	215	2104.2	276	6035.0	337	14053
93	78.494	154	528.96	216	2145.7	277	6127.9	338	14232
94	81.466	155	542.98	217	2187.8	278	6221.9	339	14412
95	84.525	156	557.32	218	2230.5	279	6317.2	340	14594
96	87.686	157	571.94	219	2273.8	280	6413.2		
97	90.945	158	586.87	220	2317.8			341	14778
98	94.301	159	602.11			281	6510.5	342	14964
99	97.759	160	617.66	221	2362.5	282	6608.9	343	15152
100	101.32			222	2407.8	283	6708.6	344	15342
		161	633.52	223	2453.8	284	6809.2	345	15533
101	104.99	162	649.75	224	2500.6	285	6911.1	346	15727
102	108.77	163	666.25	225	2547.9	286	7014.1	347	15922
103	112.66	164	683.10	226	2595.9	287	7118.3	348	16120
104	116.67	165	700.29	227	2644.6	288	7223.7	349	16320
105	120.78	166	717.83	228	2694.1	289	7330.2	350	16521
106	125.02	167	735.70	229	2744.2	290	7438.0		
107	129.39	168	753.94	230	2795.1			351	16825
108	133.88	169	772.52			291	7547.0	352	16932
109	138.50	170	791.47	231	2846.7	292	7657.2	353	17148
110	143.24			232	2899.0	293	7768.6	354	17368
		171	810.78	233	2952.1	294	7881.3	355	17591
111	148.12	172	830.47	234	3005.9	295	7995.2	356	17775
112	153.13	173	850.53	235	3060.4	296	8110.3	357	17992
113	158.29	174	870.98	236	3115.7	297	8226.8	358	18211
114	163.58	175	891.80	237	3171.8	298	8344.5	359	18432
115	168.92	176	913.03	238	3228.6	299	8463.5	360	18655
116	174.41	177	934.64	239	3286.3	300	8583.8		
117	180.04	178	956.60	240	3344.7			361	18881
118	186.23	179	979.09			301	8705.4	362	19110
119	192.28	180	1001.9	241	3403.9	302	8828.3	363	19340
120	198.48			242	3463.5	303	8952.6	364	19574
		181	1025.2	243	3524.7	304	9078.2	365	19809
121	204.85	182	1048.9	244	3586.3	305	9205.1	366	20048
122	211.38	183	1073.0	245	3648.8	306	9333.4	367	20289
123	218.09	184	1097.5	246	3712.1	307	9463.1	368	20533
124	224.96	185	1122.5	247	3776.2	308	9594.2	369	20780
125	232.01	186	1147.9	248	3841.2	309	9726.7	370	21030
126	239.24	187	1173.8	249	3907.0	310	9860.5		
127	246.66	188	1200.1	250	3973.6			371	21286
128	254.25	189	1226.1			311	9995.8	372	21539
129	262.04	190	1254.2	251	4041.2	312	10139	373	21803

表 1-59 不同温度下水的密度

表中数据为不含空气的纯水在压力为 101325Pa (1 大气压) 下的密度 (ρ), 单位为 (g/cm^3)。在不同压力 (以大气压为单位) 时水达到最高密度的温度 $t_m/^\circ\text{C}$ 可由下式求得:

$$t_m = 3.98 - 0.0225(P - 1)$$

温度 $t/^\circ\text{C}$	水的密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	温度 $t/^\circ\text{C}$	水的密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	温度 $t/^\circ\text{C}$	水的密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	温度 $t/^\circ\text{C}$	水的密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	温度 $t/^\circ\text{C}$	水的密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$
0	0.999 84	22	0.997 77	44	0.985 63	66	0.980 01	88	0.966 43
2	0.999 96	24	0.997 30	46	0.985 79	68	0.978 90	90	0.955 31
4	0.999 97	26	0.996 73	48	0.985 93	70	0.977 77	92	0.953 96
6	0.999 94	28	0.996 23	50	0.986 04	72	0.976 61	94	0.952 39
8	0.999 85	30	0.995 65	52	0.987 12	74	0.975 44	96	0.951 20
10	0.999 70	32	0.995 03	54	0.986 18	76	0.974 24	98	0.950 79
12	0.999 50	34	0.994 37	56	0.985 21	78	0.973 03	100	0.950 36
14	0.999 24	36	0.993 69	58	0.984 22	80	0.971 79		
16	0.998 94	38	0.992 97	60	0.983 20	82	0.970 53		
18	0.998 60	40	0.992 22	62	0.982 16	84	0.969 26		
20	0.998 20	42	0.991 44	64	0.981 09	86	0.967 96		

表 1-60 不同压力下水的沸点

1. 压力以 mmHg (毫米汞柱) 表示

说明:

(1) 本表列出压力为 690.0~800.0 mmHg 时水的沸点, 不在此压力范围内的, 可查阅本表 2。

(2) 表中“压力 P/mmHg ”栏内, 横向 0.1~0.9 表示其分度值, 下面只列出温度之小数部分。例如 690.5 mmHg 压力下, 水的沸点为 97.337 $^\circ\text{C}$ 。

(3) 表中小数部分有 * 号者, 其整数应取下一项之整数。例如 707.3 毫米汞柱压力时, 水之沸点为 98.000 $^\circ\text{C}$ 。

(4) mmHg 与 SI 单位的换算因数, 1 mmHg = 133.3224 Pa。

压力 P/mmHg	压力 P/mmHg									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
水的沸点 $t/^\circ\text{C}$										
690	97.317	321	325	329	333	337	341	345	349	352
691	97.357	361	365	369	373	377	381	385	389	393
692	97.397	401	405	409	413	417	421	425	429	432
693	97.437	441	445	449	453	457	461	465	469	473
694	97.477	480	484	488	492	496	500	504	508	512
695	97.516	520	524	528	532	536	540	544	548	552
696	97.556	560	564	568	572	576	580	584	588	592
697	97.596	599	603	607	611	615	619	623	627	632
698	97.635	639	643	647	651	655	659	663	667	671
699	97.675	678	682	685	690	694	698	702	706	710
700	97.714	718	722	726	730	734	738	742	746	750
701	97.754	757	761	765	769	773	777	781	785	789
702	97.793	797	801	805	809	813	816	820	824	828
703	97.832	836	840	844	848	852	856	860	864	868
704	97.872	876	879	883	887	891	895	899	903	907
705	97.911	915	919	923	927	931	935	939	943	947
706	97.950	954	958	962	966	970	974	977	981	985
707	97.989	993	996	1000	1004	1008	1012	1016	1020	1024
708	98.028	032	036	040	043	047	051	055	059	063
709	98.067	071	075	079	082	086	090	094	098	102

续表

压力 P/mmHg	压力 P/mmHg									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	水的沸点 $t/^\circ\text{C}$									
710	98.106	110	114	118	121	125	128	133	137	141
711	98.145	149	153	157	160	164	168	172	176	180
712	98.184	188	192	196	199	203	207	211	215	219
713	98.223	227	230	234	238	242	246	250	254	258
714	98.262	266	270	274	278	282	286	290	293	297
715	98.301	304	308	312	316	320	323	327	331	335
716	98.339	343	347	351	355	358	362	366	370	374
717	98.378	382	385	389	393	397	401	405	409	413
718	98.417	420	424	428	432	436	440	443	447	451
719	98.455	459	463	467	470	474	478	482	486	490
720	98.494	497	501	505	509	513	517	520	524	528
721	98.532	536	540	544	547	551	555	559	563	567
722	98.571	574	578	582	586	590	593	597	601	605
723	98.609	613	617	620	624	628	632	636	640	644
724	98.648	652	655	659	663	667	671	675	678	682
725	98.686	689	693	697	701	705	709	713	716	720
726	98.724	728	732	735	739	743	747	751	755	758
727	98.762	766	770	774	777	781	785	789	793	797
728	98.801	804	808	812	816	819	823	827	831	835
729	98.839	843	846	850	854	858	861	865	869	873
730	98.877	880	884	888	892	896	899	903	907	911
731	98.915	918	922	926	930	934	937	941	945	949
732	98.953	956	960	964	968	972	975	979	983	987
733	98.991	994	998	1002	1006	1010	1013	1017	1021	1025
734	99.029	1032	1036	1040	1044	1048	1051	1055	1059	1063
735	99.067	1070	1074	1078	1082	1085	1089	1093	1097	1101
736	99.105	1109	1112	1116	1119	1123	1127	1131	1135	1138
737	99.142	1146	1150	1153	1157	1161	1165	1169	1172	1176
738	99.180	1184	1187	1191	1195	1199	1203	1206	1210	1214
739	99.218	1221	1225	1229	1233	1236	1240	1244	1248	1252
740	99.255	1259	1263	1267	1270	1274	1278	1282	1285	1289
741	99.293	1297	1300	1304	1308	1312	1316	1319	1323	1327
742	99.331	1334	1338	1342	1346	1349	1353	1357	1361	1364
743	99.368	1372	1376	1379	1383	1387	1391	1394	1398	1402
744	99.406	1409	1413	1417	1421	1424	1428	1432	1436	1439
745	99.443	1447	1451	1454	1458	1462	1466	1469	1473	1477
746	99.481	1484	1488	1492	1495	1499	1503	1507	1510	1514
747	99.518	1522	1526	1529	1533	1537	1540	1544	1548	1551
748	99.555	1559	1563	1566	1570	1574	1578	1581	1585	1589
749	99.593	1596	1600	1604	1607	1611	1615	1619	1622	1626
750	99.630	1633	1637	1641	1645	1648	1652	1656	1659	1663
751	99.667	1671	1674	1678	1682	1686	1689	1693	1697	1700
752	99.704	1708	1712	1715	1719	1723	1726	1730	1734	1738
753	99.741	1745	1749	1752	1756	1760	1764	1767	1771	1775
754	99.778	1782	1786	1790	1793	1797	1801	1804	1808	1812
755	99.815	1819	1823	1827	1830	1834	1838	1841	1845	1849
756	99.852	1856	1860	1863	1867	1871	1875	1878	1882	1886
757	99.889	1885	1889	1893	1896	1900	1903	1907	1911	1915
758	99.926	1920	1924	1927	1931	1935	1938	1942	1946	1950
759	99.963	1967	1970	1974	1978	1982	1985	1989	1993	1996
760	100.000	2004	2007	2011	2015	2018	2022	2026	2030	2034
761	100.037	2040	2044	2048	2052	2055	2059	2063	2066	2070
762	100.073	2077	2081	2085	2088	2092	2096	2099	2103	2107
763	100.110	2114	2118	2121	2125	2129	2132	2136	2140	2143
764	100.147	2151	2154	2158	2162	2165	2169	2173	2176	2180
765	100.184	2187	2191	2195	2198	2202	2206	2209	2213	2216
766	100.220	2224	2227	2231	2235	2238	2242	2246	2249	2253
767	100.257	2260	2264	2268	2271	2275	2279	2283	2286	2290
768	100.293	2297	2300	2304	2308	2311	2315	2319	2322	2326
769	100.330	2325	2329	2331	2334	2338	2342	2345	2349	2353

续表

压力 P/mmHg	压力 P/mmHg									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	水的沸点 $t/^\circ\text{C}$									
770	100.366	370	373	377	381	384	388	392	395	399
771	100.402	406	410	414	417	421	424	428	432	435
772	100.439	442	446	450	453	457	461	464	468	472
773	100.475	479	483	486	490	493	497	501	504	508
774	100.511	515	519	522	526	530	533	537	540	544
775	100.547	551	555	559	562	566	569	573	577	580
776	100.584	588	591	595	598	602	606	609	613	616
777	100.620	624	627	631	634	638	642	645	649	653
778	100.656	660	663	667	671	674	678	681	685	689
779	100.692	696	699	703	707	710	714	718	721	725
780	100.728	732	735	739	743	746	750	753	757	761
781	100.764	768	772	775	779	782	786	789	793	797
782	100.800	804	807	811	815	818	822	825	829	833
783	100.836	840	843	847	851	854	858	861	865	869
784	100.872	876	879	883	886	890	894	897	901	904
785	100.908	912	915	919	922	926	929	933	937	940
786	100.944	947	951	954	958	962	965	969	972	976
787	100.980	984	988	991	995	998	1002	1006	1009	1013
788	101.016	1020	1023	1027	1030	1034	1037	1040	1044	1047
789	101.051	1054	1058	1062	1065	1069	1072	1076	1079	1083
790	101.087	1080	1084	1087	1091	1094	1098	1102	1105	1109
791	101.122	1126	1129	1133	1136	1140	1144	1147	1151	1154
792	101.158	1161	1165	1168	1172	1176	1179	1183	1186	1190
793	101.194	1197	1201	1204	1208	1211	1215	1218	1222	1225
794	101.229	1232	1236	1239	1243	1246	1250	1254	1257	1261
795	101.265	1269	1272	1276	1279	1283	1287	1290	1294	1297
796	101.300	1303	1307	1310	1314	1317	1321	1324	1328	1332
797	101.335	1330	1342	1346	1349	1353	1356	1360	1363	1367
798	101.371	1375	1378	1382	1385	1388	1392	1395	1399	1402
799	101.406	1409	1413	1416	1420	1423	1427	1430	1434	1437
800	101.441									

2. 压力以 atm(标准大气压)表示

压力 ^① P/atm	水的沸点 $t/^\circ\text{C}$	压力 ^① P/atm	水的沸点 $t/^\circ\text{C}$	压力 ^① P/atm	水的沸点 $t/^\circ\text{C}$
1	100.0	11	183.2*	21	213.9
2	119.6	12	187.1	22	216.2
3	132.9	13	190.7	23	218.5
4	142.9	14	194.1	24	220.8
5	151.1	15	197.4	25	222.9
6	158.1	16	200.4	26	225.0
7	164.3	17	203.4	27	227.0
8	169.6	18	206.1		
9	174.3	19	208.8		
10	179.0	20	211.4		

①atm(标准大气压)与 SI 单位的换算因数: 1atm=101 325Pa。

三、常用酸、碱、盐溶液的浓度和密度

表 1-61~表 1-70 中各溶液的浓度以两种方式表示:

1. (物质的量)浓度, c — $\frac{\text{溶质物质的量}}{\text{溶液的体积}}$, 单位 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

2. 质量分数, $w = \frac{\text{溶质的质量}}{\text{溶液的质量}}$, 以%表示。

表 1-61 硝酸溶液的浓度和密度(20℃)

密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HNO ₃ 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HNO ₃ 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HNO ₃ 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HNO ₃ 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.000	0.5353	0.0523	1.145	24.71	4.488	1.290	46.85	9.599	1.435	75.35	17.16
1.005	1.235	0.2001	1.150	25.48	4.645	1.295	47.63	9.739	1.440	76.71	17.53
1.010	2.164	0.3453	1.155	26.24	4.810	1.300	48.42	9.900	1.445	78.07	17.90
1.015	3.073	0.4910	1.160	27.00	4.975	1.305	49.21	10.19	1.450	79.43	18.28
1.020	3.982	0.6445	1.165	27.76	5.132	1.310	50.00	10.39	1.455	80.88	18.68
1.025	4.885	0.7943	1.170	28.51	5.292	1.315	50.85	10.61	1.460	82.39	19.09
1.030	5.784	0.9454	1.175	29.25	5.455	1.320	51.71	10.83	1.465	83.91	19.51
1.035	6.681	1.094	1.180	30.00	5.618	1.325	52.58	11.05	1.470	85.50	19.95
1.040	7.530	1.243	1.185	30.74	5.780	1.330	53.41	11.27	1.475	87.29	20.43
1.045	8.398	1.393	1.190	31.47	5.942	1.335	54.27	11.49	1.480	89.07	20.92
1.050	9.259	1.453	1.195	32.21	6.107	1.340	55.13	11.72	1.485	91.13	21.48
1.055	10.12	1.694	1.200	32.94	6.273	1.345	56.04	11.96	1.490	93.49	22.11
1.060	10.97	1.845	1.205	33.68	6.440	1.350	56.95	12.20	1.495	95.45	22.65
1.065	11.81	1.997	1.210	34.41	6.607	1.355	57.87	12.44	1.500	96.73	23.02
1.070	12.65	2.148	1.215	35.16	6.778	1.360	58.78	12.68	1.504	96.98	23.10
1.075	13.48	2.301	1.220	35.93	6.956	1.365	59.69	12.93	1.502	97.23	23.18
1.080	14.31	2.453	1.225	36.70	7.133	1.370	60.67	13.19	1.503	97.49	23.25
1.085	15.13	2.605	1.230	37.48	7.315	1.375	61.69	13.46	1.504	97.74	23.33
1.090	15.95	2.759	1.235	38.25	7.497	1.380	62.70	13.73	1.505	97.99	23.40
1.095	16.76	2.913	1.240	39.02	7.679	1.385	63.72	14.01	1.506	98.25	23.48
1.100	17.58	3.068	1.245	39.80	7.863	1.390	64.74	14.29	1.507	98.50	23.56
1.105	18.39	3.224	1.250	40.58	8.048	1.395	65.84	14.57	1.508	98.76	23.63
1.110	19.19	3.381	1.255	41.36	8.237	1.400	66.97	14.85	1.509	99.01	23.71
1.115	20.00	3.539	1.260	42.14	8.426	1.405	68.10	15.18	1.510	99.26	23.79
1.120	20.79	3.696	1.265	42.92	8.616	1.410	69.23	15.49	1.511	99.52	23.86
1.125	21.59	3.854	1.270	43.70	8.808	1.415	70.39	15.81	1.512	99.77	23.94
1.130	22.38	4.012	1.275	44.48	9.001	1.420	71.63	16.14	1.513	100.00	24.01
1.135	23.16	4.171	1.280	45.27	9.195	1.425	72.86	16.47			
1.140	23.94	4.330	1.285	46.06	9.394	1.430	74.09	16.81			

表 1-62 硫酸溶液的浓度和密度(20℃)

密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₂ SO ₄ 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₂ SO ₄ 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₂ SO ₄ 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₂ SO ₄ 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.000	0.2609	0.02660	1.040	6.237	0.6613	1.080	11.96	1.317	1.120	17.43	1.990
1.005	0.9855	0.1010	1.045	6.956	0.7411	1.085	12.66	1.401	1.125	18.09	2.075
1.010	1.731	0.1783	1.050	7.704	0.825	1.090	13.36	1.484	1.130	18.75	2.151
1.015	2.485	0.2595	1.055	8.415	0.9054	1.095	14.04	1.567	1.135	19.42	2.247
1.020	3.242	0.3372	1.060	9.129	0.9865	1.100	14.73	1.652	1.140	20.08	2.334
1.025	4.002	0.4180	1.065	9.843	1.066	1.105	15.41	1.735	1.145	20.73	2.420
1.030	4.745	0.4983	1.070	10.56	1.152	1.110	16.08	1.820	1.150	21.38	2.507
1.035	5.491	0.5796	1.075	11.26	1.235	1.115	16.76	1.906	1.155	22.03	2.591

续表

密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₂ SO ₄ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₂ SO ₄ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₂ SO ₄ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₂ SO ₄ 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.100	22.67	2.463	1.345	44.72	5.132	1.530	62.51	9.813	1.715	78.93	13.80
1.165	25.31	2.768	1.360	45.26	5.229	1.535	63.26	9.916	1.720	79.37	13.92
1.170	25.95	2.857	1.385	45.80	5.327	1.540	63.81	10.02	1.725	79.81	14.04
1.175	26.58	2.945	1.400	46.35	5.424	1.545	64.26	10.12	1.730	80.25	14.16
1.180	27.21	3.033	1.405	46.86	5.522	1.550	64.71	10.23	1.735	80.70	14.28
1.185	27.84	3.122	1.420	47.39	5.620	1.555	65.15	10.33	1.740	81.16	14.40
1.190	28.47	3.211	1.425	47.92	5.718	1.560	65.59	10.43	1.745	81.62	14.52
1.195	29.10	3.302	1.430	48.45	5.817	1.565	66.03	10.54	1.750	82.09	14.65
1.200	29.72	3.391	1.435	48.97	5.915	1.570	66.47	10.64	1.755	82.57	14.78
1.205	30.35	3.481	1.440	49.48	6.012	1.575	66.91	10.74	1.760	83.06	14.90
1.210	30.97	3.572	1.445	49.99	6.110	1.580	67.35	10.85	1.765	83.57	15.04
1.215	31.59	3.663	1.450	50.50	6.208	1.585	67.79	10.95	1.770	84.08	15.17
1.220	32.21	3.754	1.455	51.01	6.307	1.590	68.23	11.06	1.775	84.61	15.31
1.225	32.83	3.846	1.460	51.52	6.406	1.595	68.66	11.16	1.780	85.16	15.46
1.230	33.45	3.938	1.465	52.03	6.505	1.600	69.09	11.27	1.785	85.74	15.61
1.235	34.07	4.031	1.470	52.54	6.603	1.605	69.53	11.38	1.790	86.35	15.76
1.240	34.69	4.123	1.475	53.05	6.702	1.610	69.96	11.48	1.795	86.99	15.92
1.245	35.31	4.216	1.480	53.56	6.801	1.615	70.39	11.59	1.800	87.68	16.09
1.250	35.93	4.310	1.485	54.07	6.901	1.620	70.82	11.70	1.805	88.40	16.27
1.255	36.55	4.404	1.490	54.58	7.000	1.625	71.25	11.80	1.810	89.17	16.47
1.260	37.17	4.498	1.495	55.09	7.100	1.630	71.67	11.91	1.815	90.02	16.68
1.265	37.79	4.592	1.500	55.60	7.200	1.635	72.10	12.02	1.820	90.91	16.91
1.270	38.41	4.686	1.505	56.11	7.300	1.640	72.52	12.13	1.825	91.86	17.16
1.275	39.03	4.781	1.510	56.62	7.400	1.645	72.95	12.24	1.830	92.86	17.43
1.280	39.65	4.876	1.515	57.13	7.500	1.650	73.37	12.34	1.835	93.91	17.72
1.285	40.27	4.972	1.520	57.64	7.600	1.655	73.80	12.45	1.840	95.02	18.04
1.290	40.89	5.068	1.525	58.15	7.700	1.660	74.22	12.56	1.845	96.19	18.40
1.295	41.51	5.163	1.530	58.66	7.800	1.665	74.64	12.67	1.850	97.43	18.81
1.300	42.13	5.259	1.535	59.17	7.900	1.670	75.07	12.78	1.855	98.74	19.28
1.305	42.75	5.356	1.540	59.68	8.000	1.675	75.49	12.89	1.860	100.13	19.81
1.310	43.37	5.452	1.545	60.19	8.100	1.680	75.92	13.00	1.865	101.60	20.41
1.315	43.99	5.549	1.550	60.70	8.200	1.685	76.34	13.12	1.870	103.15	21.08
1.320	44.61	5.646	1.555	61.21	8.300	1.690	76.77	13.23	1.875	104.79	21.83
1.325	45.23	5.743	1.560	61.72	8.400	1.695	77.20	13.34	1.880	106.51	22.67
1.330	45.85	5.840	1.565	62.23	8.500	1.700	77.63	13.46	1.885	108.32	23.60
1.335	46.47	5.938	1.570	62.74	8.600	1.705	78.06	13.57	1.890	110.22	24.63
1.340	47.09	6.035	1.575	63.25	8.711	1.710	78.49	13.69	1.895	112.21	25.77

表 1-63 盐酸溶液的浓度和密度(20℃)

密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HCl 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HCl 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HCl 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HCl 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.000	0.000	0.000	1.070	4.388	1.227	1.040	8.490	2.421	1.060	12.51	3.458
1.005	1.360	0.3748	1.075	5.406	1.520	1.045	9.510	2.725	1.065	13.50	3.744
1.010	2.764	0.6547	1.080	6.433	1.817	1.050	10.52	3.029	1.070	14.495	4.053
1.015	3.774	0.9391	1.085	7.464	2.118	1.055	11.52	3.335	1.075	15.485	4.365

续表

密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HCl 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HCl 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HCl 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HCl 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.080	16.47	4.378	1.115	23.29	7.122	1.145	29.17	9.159	1.175	35.20	11.34
1.085	17.45	4.792	1.120	24.25	7.449	1.150	30.14	9.505	1.180	36.23	11.73
1.090	18.43	5.205	1.125	25.22	7.782	1.155	31.14	9.863	1.185	37.27	12.11
1.095	19.41	5.629	1.130	26.20	8.118	1.160	32.14	10.225	1.190	38.32	12.50
1.100	20.39	6.050	1.135	27.18	8.459	1.165	33.16	10.595	1.195	39.37	12.90
1.105	21.38	6.472	1.140	28.18	8.800	1.170	34.18	10.97	1.200	40.00	13.34
1.110	22.33	6.796									

盐酸恒沸点浓度

在蒸馏时大气压力, 千帕(kPa)	103.98	102.86	101.33	99.992	98.659	97.325
与蒸馏液中盐酸浓度(对真空) $w/(\%)$	20.173	20.197	20.221	20.245	20.269	20.293
含有 1mol HCl 的蒸馏溶液质量(在空气中)g/g	180.621	180.407	180.193	179.979	179.766	179.551

表 1-64 磷酸溶液的浓度和密度(20℃)

密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₃ PO ₄ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₃ PO ₄ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₃ PO ₄ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H ₃ PO ₄ 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.200	0.295	0.030	1.140	24.07	2.800	1.260	43.37	5.655	1.420	59.74	8.658
1.005	1.222	0.1253	1.145	24.82	2.900	1.265	44.00	5.771	1.425	60.20	8.766
1.010	2.148	0.2234	1.150	25.57	3.000	1.269	44.63	5.875	1.430	60.64	8.878
1.015	3.074	0.3184	1.155	26.31	3.101	1.295	45.26	5.981	1.435	61.58	8.989
1.020	4.000	0.4164	1.160	27.05	3.203	1.300	45.88	6.087	1.440	61.92	9.089
1.025	4.928	0.5152	1.165	27.78	3.304	1.305	46.49	6.191	1.445	62.45	9.206
1.030	5.856	0.6134	1.170	28.51	3.404	1.310	47.10	6.296	1.450	62.98	9.322
1.035	6.785	0.7124	1.175	29.23	3.505	1.315	47.70	6.400	1.455	63.51	9.432
1.040	7.643	0.8110	1.180	29.94	3.606	1.320	48.30	6.506	1.460	64.03	9.543
1.045	8.596	0.911	1.185	30.65	3.707	1.325	48.89	6.610	1.465	64.55	9.651
1.050	9.429	1.010	1.190	31.35	3.809	1.330	49.48	6.716	1.470	65.07	9.761
1.055	10.32	1.111	1.195	32.06	3.908	1.335	50.07	6.822	1.475	65.58	9.870
1.060	11.19	1.216	1.200	32.75	4.010	1.340	50.66	6.928	1.480	66.09	9.982
1.065	12.08	1.311	1.205	33.44	4.112	1.345	51.25	7.034	1.485	66.60	10.09
1.070	12.92	1.411	1.210	34.13	4.215	1.350	51.84	7.141	1.490	67.10	10.21
1.075	13.76	1.516	1.215	34.82	4.317	1.355	52.42	7.247	1.495	67.60	10.31
1.080	14.60	1.609	1.220	35.50	4.420	1.360	53.00	7.355	1.500	68.10	10.42
1.085	15.43	1.708	1.225	36.17	4.522	1.365	53.57	7.463	1.505	68.60	10.53
1.090	16.26	1.807	1.230	36.84	4.624	1.370	54.14	7.570	1.510	69.09	10.64
1.095	17.07	1.906	1.235	37.51	4.727	1.375	54.71	7.678	1.515	69.58	10.76
1.100	17.87	2.005	1.240	38.17	4.829	1.380	55.28	7.784	1.520	70.07	10.88
1.105	18.68	2.105	1.245	38.83	4.932	1.385	55.85	7.894	1.525	70.56	10.98
1.110	19.46	2.204	1.250	39.49	5.036	1.390	56.42	8.004	1.530	71.04	11.09
1.115	20.25	2.304	1.255	40.14	5.140	1.395	56.98	8.112	1.535	71.52	11.20
1.120	21.03	2.403	1.260	40.79	5.245	1.400	57.54	8.221	1.540	72.00	11.32
1.125	21.80	2.502	1.265	41.44	5.350	1.405	58.09	8.328	1.545	72.48	11.42
1.130	22.56	2.602	1.270	42.09	5.454	1.410	58.64	8.437	1.550	72.95	11.53
1.135	23.32	2.702	1.275	42.73	5.559	1.415	59.19	8.547	1.555	73.42	11.63

续表

密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H_3PO_4 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H_3PO_4 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H_3PO_4 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	H_3PO_4 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.560	73.89	11.76	1.640	81.20	13.59	1.720	88.06	15.45	1.800	94.57	17.37
1.565	74.36	11.88	1.645	81.64	13.71	1.725	88.48	15.57	1.805	94.97	17.50
1.570	74.83	11.99	1.650	82.08	13.82	1.730	88.90	15.70	1.810	95.37	17.62
1.575	75.30	12.11	1.655	82.52	13.94	1.735	89.31	15.81	1.815	95.76	17.74
1.580	75.76	12.22	1.660	82.96	14.06	1.740	89.72	15.93	1.820	96.15	17.85
1.585	76.22	12.33	1.665	83.39	14.17	1.745	90.13	16.04	1.825	96.54	17.98
1.590	76.68	12.45	1.670	83.82	14.29	1.750	90.54	16.16	1.830	96.92	18.10
1.595	77.14	12.56	1.675	84.25	14.40	1.755	90.95	16.28	1.835	97.32	18.23
1.600	77.60	12.67	1.680	84.68	14.52	1.760	91.36	16.41	1.840	97.71	18.34
1.605	78.07	12.78	1.685	85.11	14.63	1.765	91.77	16.53	1.845	98.10	18.47
1.610	78.53	12.90	1.690	85.54	14.75	1.770	92.17	16.65	1.850	98.48	18.60
1.615	78.99	13.01	1.695	85.97	14.87	1.775	92.57	16.77	1.855	98.86	18.72
1.620	79.46	13.12	1.700	86.40	14.98	1.780	92.97	16.89	1.860	99.24	18.84
1.625	79.92	13.24	1.705	86.83	15.10	1.785	93.37	17.00	1.865	99.62	18.96
1.630	80.39	13.36	1.710	87.26	15.22	1.790	93.77	17.13	1.870	100.00	19.08
1.635	80.75	13.48	1.715	87.64	15.33	1.795	94.17	17.25			

表 1-65 高氯酸溶液的浓度和密度(20℃)

密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HClO_4 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HClO_4 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HClO_4 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HClO_4 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.005	1.00	0.1094	1.130	20.25	2.279	1.255	35.49	4.433	1.380	47.49	5.523
1.010	1.90	0.1916	1.135	20.95	2.367	1.260	36.03	4.519	1.385	47.93	5.608
1.015	2.77	0.2799	1.140	21.64	2.456	1.265	36.56	4.604	1.390	48.37	5.692
1.020	3.61	0.3685	1.145	22.32	2.544	1.270	37.08	4.687	1.395	48.80	5.776
1.025	4.43	0.4520	1.150	22.99	2.632	1.275	37.60	4.772	1.400	49.23	5.859
1.030	5.25	0.5383	1.155	23.65	2.719	1.280	38.10	4.854	1.405	49.68	5.948
1.035	6.07	0.6253	1.160	24.30	2.805	1.285	38.60	4.937	1.410	50.10	6.032
1.040	6.88	0.7122	1.165	24.94	2.892	1.290	39.10	5.021	1.415	50.55	6.114
1.045	7.68	0.7983	1.170	25.57	2.978	1.295	39.60	5.105	1.420	50.99	6.196
1.050	8.48	0.8863	1.175	26.20	3.064	1.300	40.10	5.189	1.425	51.41	6.278
1.055	9.28	0.9745	1.180	26.82	3.150	1.305	40.59	5.273	1.430	51.71	6.360
1.060	10.06	1.061	1.185	27.44	3.237	1.310	41.08	5.357	1.435	52.11	6.443
1.065	10.83	1.148	1.190	28.05	3.323	1.315	41.56	5.440	1.440	52.51	6.527
1.070	11.58	1.233	1.195	28.66	3.409	1.320	42.02	5.521	1.445	52.86	6.607
1.075	12.31	1.319	1.200	29.26	3.495	1.325	42.49	5.604	1.450	53.27	6.689
1.080	13.02	1.406	1.205	29.86	3.582	1.330	42.97	5.686	1.455	53.65	6.770
1.085	13.73	1.494	1.210	30.45	3.667	1.335	43.43	5.771	1.460	54.04	6.852
1.090	14.56	1.580	1.215	31.04	3.754	1.340	43.89	5.854	1.465	54.41	6.934
1.095	15.28	1.665	1.220	31.61	3.839	1.345	44.35	5.937	1.470	54.79	7.017
1.100	16.00	1.752	1.225	32.18	3.924	1.350	44.81	6.021	1.475	55.17	7.100
1.105	16.72	1.839	1.230	32.74	4.008	1.355	45.26	6.104	1.480	55.55	7.183
1.110	17.45	1.928	1.235	33.29	4.092	1.360	45.71	6.188	1.485	55.93	7.266
1.115	18.16	2.015	1.240	33.85	4.173	1.365	46.16	6.272	1.490	56.31	7.352
1.120	18.88	2.105	1.245	34.40	4.263	1.370	46.61	6.356	1.495	56.68	7.437
1.125	19.59	2.191	1.250	34.95	4.349	1.375	47.05	6.439	1.500	57.06	7.519

续表

密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HClO ₄ 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HClO ₄ 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HClO ₄ 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	HClO ₄ 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.505	57.44	8.605	1.550	60.78	9.377	1.595	64.12	10.18	1.640	67.51	11.02
1.510	57.81	8.689	1.555	61.15	9.465	1.600	64.50	10.27	1.645	67.89	11.12
1.515	58.17	8.772	1.560	61.52	9.553	1.605	64.88	10.37	1.650	68.26	11.21
1.520	58.54	8.857	1.565	61.89	9.641	1.610	65.26	10.46	1.655	68.64	11.31
1.525	58.91	8.942	1.570	62.26	9.730	1.615	65.63	10.55	1.660	69.02	11.40
1.530	59.28	9.028	1.575	62.63	9.819	1.620	66.01	10.64	1.665	69.40	11.50
1.535	59.66	9.116	1.580	63.00	9.908	1.625	66.39	10.74	1.670	69.77	11.60
1.540	60.04	9.203	1.585	63.37	9.998	1.630	66.76	10.83	1.675	70.15	11.70
1.545	60.41	9.290	1.590	63.74	10.09	1.635	67.13	10.93			

表 1-66 乙酸溶液的浓度和密度(20℃)

密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	CH ₃ COOH 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	CH ₃ COOH 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	CH ₃ COOH 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	CH ₃ COOH 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.000	1.20	6.200	1.025	19.2	8.27	1.050	40.2	7.63	1.065	91.2	16.2
1.005	4.64	6.777	1.030	23.1	8.96	1.055	46.9	8.24	1.060	95.4	16.8
1.010	8.14	7.37	1.035	27.2	9.68	1.060	53.4	8.93	1.055	98.0	17.2
1.015	11.7	7.98	1.040	31.6	10.46	1.065	61.1	9.69	1.050	99.8	17.5
1.020	15.4	8.61	1.045	36.2	11.30	1.070	77—79	13.7—14.1			

表 1-67 氢氧化钾溶液的浓度和密度(20℃)

密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	KOH 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	KOH 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	KOH 浓度		密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	KOH 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.000	0.197	0.9351	1.095	10.49	2.05	1.190	20.37	4.32	1.285	29.73	6.81
1.005	0.743	0.133	1.100	11.03	2.16	1.195	20.88	4.45	1.290	30.21	6.93
1.010	1.295	0.233	1.105	11.56	2.28	1.200	21.38	4.57	1.295	30.68	7.08
1.015	1.84	0.333	1.110	12.08	2.39	1.205	21.88	4.70	1.300	31.15	7.22
1.020	2.38	0.4335	1.115	12.61	2.51	1.210	22.38	4.85	1.305	31.62	7.36
1.025	2.93	0.536	1.120	13.14	2.62	1.215	22.88	4.955	1.310	32.09	7.49
1.030	3.48	0.6395	1.125	13.66	2.74	1.220	23.38	5.08	1.315	32.56	7.63
1.035	4.03	0.744	1.130	14.19	2.86	1.225	23.87	5.21	1.320	33.03	7.77
1.040	4.58	0.848	1.135	14.705	2.975	1.230	24.37	5.34	1.325	33.50	7.91
1.045	5.12	0.954	1.140	15.22	3.09	1.235	24.86	5.47	1.330	33.97	8.05
1.050	5.66	1.06	1.145	15.74	3.21	1.240	25.36	5.60	1.335	34.43	8.19
1.055	6.20	1.17	1.150	16.26	3.33	1.245	25.85	5.74	1.340	34.90	8.335
1.060	6.74	1.27	1.155	16.78	3.45	1.250	26.34	5.87	1.345	35.36	8.48
1.065	7.28	1.38	1.160	17.29	3.58	1.255	26.83	6.00	1.350	35.82	8.62
1.070	7.82	1.49	1.165	17.81	3.70	1.260	27.32	6.135	1.355	36.28	8.76
1.075	8.36	1.60	1.170	18.32	3.82	1.265	27.80	6.27	1.360	36.735	8.905
1.080	8.89	1.71	1.175	18.84	3.945	1.270	28.29	6.40	1.365	37.19	9.05
1.085	9.43	1.82	1.180	19.35	4.07	1.275	28.77	6.54	1.370	37.65	9.19
1.090	9.96	1.94	1.185	19.86	4.195	1.280	29.25	6.67	1.375	38.105	9.34

续表

密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	KOH 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	KOH 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	KOH 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	KOH 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.380	38.56	9.48	1.430	43.153	10.67	1.460	45.66	11.88	1.500	49.10	13.13
1.385	39.01	9.63	1.425	42.60	10.82	1.465	46.005	12.04	1.505	49.63	13.20
1.390	39.46	9.78	1.430	43.04	10.97	1.470	46.53	12.19	1.510	49.65	13.45
1.395	39.92	9.93	1.435	43.48	11.12	1.475	46.98	12.35	1.515	50.38	13.60
1.400	40.37	10.07	1.440	43.92	11.28	1.480	47.33	12.50	1.520	50.80	13.78
1.405	40.82	10.22	1.445	44.36	11.42	1.485	47.82	12.66	1.525	51.22	13.92
1.410	41.26	10.37	1.450	44.79	11.58	1.490	48.25	12.82	1.530	51.54	14.08
1.415	41.71	10.52	1.455	45.23	11.73	1.495	48.673	12.97	1.535	52.05	14.31

表 1-68 氢氧化钠溶液的浓度和密度(20℃)

密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	NaOH 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	NaOH 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	NaOH 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	NaOH 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.000	0.159	0.0398	1.135	12.37	3.370	1.270	24.545	7.024	1.405	37.49	13.17
1.005	0.302	0.151	1.140	12.83	3.655	1.275	25.10	8.000	1.410	37.99	13.33
1.010	0.445	0.264	1.145	13.28	3.801	1.280	25.56	8.178	1.415	38.50	13.61
1.015	1.45	0.378	1.150	13.73	3.947	1.285	26.02	8.557	1.420	38.99	13.81
1.020	1.91	0.494	1.155	14.18	4.095	1.290	26.48	8.539	1.425	39.495	14.07
1.025	2.39	0.611	1.160	14.64	4.244	1.295	26.94	8.522	1.430	40.00	14.30
1.030	2.84	0.731	1.165	15.09	4.395	1.300	27.41	8.506	1.435	40.515	14.53
1.035	3.29	0.851	1.170	15.54	4.545	1.305	27.87	9.092	1.440	41.03	14.77
1.040	3.715	0.971	1.175	15.99	4.697	1.310	28.33	9.278	1.445	41.55	15.01
1.045	4.20	1.097	1.180	16.44	4.850	1.315	28.80	9.466	1.450	42.07	15.25
1.050	4.655	1.222	1.185	16.89	5.004	1.320	29.26	9.653	1.455	42.59	15.49
1.055	5.1	1.347	1.190	17.345	5.160	1.325	29.73	9.847	1.460	43.12	15.74
1.060	5.56	1.474	1.195	17.80	5.317	1.330	30.20	10.04	1.465	43.64	15.96
1.065	6.02	1.602	1.200	18.255	5.476	1.335	30.67	10.53	1.470	44.17	16.23
1.070	6.47	1.731	1.205	18.71	5.636	1.340	31.14	10.43	1.475	44.695	16.49
1.075	6.93	1.862	1.210	19.16	5.796	1.345	31.62	10.63	1.480	45.22	16.73
1.080	7.38	1.992	1.215	19.62	5.958	1.350	32.10	10.83	1.485	45.75	16.98
1.085	7.83	2.123	1.220	20.07	6.122	1.355	32.58	11.03	1.490	46.27	17.23
1.090	8.28	2.257	1.225	20.53	6.286	1.360	33.06	11.21	1.495	46.80	17.40
1.095	8.74	2.391	1.230	20.98	6.451	1.365	33.54	11.45	1.500	47.33	17.75
1.100	9.19	2.527	1.235	21.44	6.619	1.370	34.03	11.65	1.505	47.85	18.00
1.105	9.645	2.664	1.240	21.90	6.788	1.375	34.52	11.84	1.510	48.38	18.26
1.110	10.10	2.802	1.245	22.36	6.958	1.380	35.01	12.05	1.515	48.905	18.52
1.115	10.555	2.942	1.250	22.82	7.129	1.385	35.505	12.29	1.520	49.44	18.78
1.120	11.01	3.082	1.255	23.275	7.302	1.390	36.00	12.52	1.525	49.97	19.05
1.125	11.46	3.224	1.260	23.73	7.475	1.395	36.495	12.73	1.530	50.50	19.31
1.130	11.92	3.367	1.265	24.19	7.650	1.400	36.99	12.95			

表 1-69 氨水的浓度和密度(20℃)

密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	NH ₃ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	NH ₃ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	NH ₃ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	NH ₃ 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
0.993	0.0455	0.0273	0.958	7.26	4.12	0.933	13.47	8.32	0.908	24.68	13.16
0.996	0.512	0.298	0.956	7.77	4.41	0.936	16.06	8.80	0.906	25.33	13.46
0.991	0.077	0.570	0.964	8.25	4.63	0.934	16.65	9.13	0.904	26.00	13.80
0.992	1.43	0.834	0.962	8.82	4.98	0.932	17.24	9.44	0.902	26.57	14.12
0.990	1.89	1.10	0.960	9.34	5.27	0.930	17.85	9.75	0.900	27.33	14.44
0.988	2.35	1.355	0.958	9.87	5.55	0.928	18.45	10.06	0.898	28.00	14.76
0.986	2.82	1.635	0.956	10.40	5.84	0.926	19.06	10.37	0.896	28.57	15.08
0.984	3.30	1.91	0.954	10.95	6.13	0.924	19.67	10.67	0.894	29.33	15.40
0.982	3.78	2.18	0.952	11.40	6.42	0.922	20.27	10.97	0.892	30.00	15.72
0.980	4.27	2.46	0.950	12.03	6.71	0.920	20.88	11.28	0.890	30.658	16.04
0.978	4.76	2.73	0.948	12.58	7.00	0.918	21.50	11.59	0.888	31.37	16.36
0.976	5.25	3.01	0.946	13.14	7.29	0.916	22.125	11.90	0.886	32.09	16.69
0.974	5.75	3.29	0.944	13.71	7.60	0.914	22.75	12.21	0.884	32.84	17.03
0.972	6.25	3.57	0.942	14.29	7.91	0.912	23.39	12.52	0.882	33.545	17.40
0.970	6.75	3.84	0.940	14.88	8.21	0.910	24.03	12.84	0.880	34.35	17.75

表 1-70 碳酸钠溶液的浓度和密度(20℃)

密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	Na ₂ CO ₃ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	Na ₂ CO ₃ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	Na ₂ CO ₃ 浓度		密 度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{ml}^{-1})$	Na ₂ CO ₃ 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
1.000	0.19	0.018	1.050	4.98	0.435	1.100	9.75	1.012	1.150	14.35	1.537
1.005	0.67	0.0633	1.055	5.47	0.544	1.105	10.22	1.065	1.155	14.75	1.607
1.010	1.14	0.109	1.060	5.95	0.535	1.110	10.68	1.113	1.160	15.20	1.662
1.035	1.62	0.155	1.065	6.43	0.546	1.115	11.14	1.172	1.165	15.60	1.714
1.020	2.10	0.202	1.070	6.90	0.596	1.120	11.60	1.228	1.170	16.08	1.765
1.025	2.57	0.248	1.075	7.38	0.744	1.125	12.05	1.273	1.175	16.45	1.823
1.030	3.05	0.296	1.080	7.85	0.800	1.130	12.52	1.335	1.180	16.87	1.878
1.035	3.54	0.345	1.085	8.33	0.853	1.135	13.00	1.392	1.185	17.50	1.934
1.040	4.03	0.395	1.090	8.80	0.905	1.140	13.48	1.446	1.190	17.70	1.987
1.045	4.50	0.444	1.095	9.27	0.958	1.145	13.90	1.501			

表 1-71 某些商品高纯试剂的浓度和密度

高纯试剂	规格	相对密度	$w/(\%)$	备 注	高纯试剂	规格	相对密度	$w/(\%)$	备 注
盐 酸	超纯	1.174~1.180	35.0~38.0	上海试剂 一产品	冰 醋 酸	特纯	1.059	85	上海试剂 一产品
氢 氟 酸	超纯	1.120	48	同上	冰 醋 酸	特纯	1.05	99.5	同上
高 氯 酸	特纯	1.67	70	同上	乙酸36%	特纯	1.045	36	同上
硝 酸	超纯	1.391~1.420	55~58	同上	氢氧化铵	特纯	0.865~0.880	27~30	同上
硫 酸	超纯	1.830~1.835	98	同上					

表 1-72 波美浓度与相对密度对照表

用波美比重计浸入溶液中所测得的数值表示溶液的浓度叫波美浓度，以 $^{\circ}\text{Be}$ 表示。波美比重计有重表和轻表两种，液体相对密度大于1的用重表，小于1的用轻表。刻度的基准是以4℃水的相对密度1.000为0 $^{\circ}\text{Be}$ 。例如1.8429(d_{4}^{20})的硫酸为66 $^{\circ}\text{Be}$ ，测定温度是15℃。

波美读数与相对密度的关系：

$$d = f(n); \quad n \text{ 指波美表读数}$$

$$\text{比水重的液体: } d = \frac{m}{m-n}; \text{ 或 } n = m - \frac{m}{d_{4}^{15}}$$

$$\text{比水轻的液体: } d = \frac{m}{m+n}; \text{ 或 } n = \frac{m}{d_{4}^{15}} - m$$

式中 $m=145$ ，为60°/60°F (15.56℃) 美国标准

$m=144$ ，荷兰所采用的旧标准

$m=146.3$ ，15℃，Gerlach 标准

$m=144.3$ ，15℃，德国通常采用的示性标准

1. 液体相对密度小于1时波美浓度与相对密度对照表

相对密度	波美浓度 $n/^{\circ}\text{Be}$									
	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.60	96.04	92.09	88.28	84.56	81.07	77.55	74.19	71.24	67.76	64.08
0.70	61.70	58.80	55.99	53.24	50.55	47.87	45.48	42.97	40.58	38.23
0.80	35.95	33.72	31.55	29.43	27.37	25.35	23.38	21.49	19.57	17.72
0.90	15.93	14.16	12.44	10.76	9.10	7.49	5.91	4.37	2.84	1.35
1.00	0									

2. 液体相对密度大于1时波美浓度与相对密度对照表

相对密度	波美浓度 $n/^{\circ}\text{Be}$	相对密度	波美浓度 $n/^{\circ}\text{Be}$	相对密度	波美浓度 $n/^{\circ}\text{Be}$	相对密度	波美浓度 $n/^{\circ}\text{Be}$	相对密度	波美浓度 $n/^{\circ}\text{Be}$	相对密度	波美浓度 $n/^{\circ}\text{Be}$	相对密度	波美浓度 $n/^{\circ}\text{Be}$	相对密度	波美浓度 $n/^{\circ}\text{Be}$
1.000	0	1.110	14.2	1.220	26.0	1.330	35.8	1.440	44.1	1.550	51.2	1.660	57.4	1.770	62.8
005	0.7	1.115	14.9	225	26.4	335	36.2	445	44.4	555	51.5	665	57.7	775	63.0
010	1.4	120	15.4	240	26.9	340	36.6	450	44.8	560	51.8	670	57.9	780	63.2
015	2.1	125	16.0	235	27.4	345	37.0	455	45.1	565	52.1	675	58.2	785	63.5
020	2.7	130	16.5	240	27.9	350	37.4	460	45.4	570	52.4	680	58.4	790	63.7
025	3.4	135	17.1	245	28.4	355	37.8	465	45.8	575	52.7	685	58.7	795	64.0
030	4.1	140	17.7	250	28.8	360	38.2	470	46.1	580	53.0	690	58.9	800	64.3
035	4.7	145	18.3	255	29.3	365	38.6	475	46.4	585	53.3	695	59.2	805	64.4
040	5.4	150	18.8	260	29.7	370	39.0	480	46.8	590	53.6	700	59.5	810	64.6
045	6.0	155	19.3	265	30.2	375	39.4	485	47.1	595	53.9	705	59.7	815	64.8
050	6.7	160	19.8	270	30.6	380	39.8	490	47.4	600	54.1	710	60.0	820	65.0
055	7.4	165	20.3	275	31.1	385	40.1	495	47.8	605	54.4	715	60.2	825	65.2
060	8.0	170	20.9	280	31.5	390	40.5	500	48.1	610	54.7	720	60.4	830	65.5
065	8.7	175	21.4	285	32.0	395	40.8	505	48.4	615	55.0	725	60.6	835	65.7
070	9.4	180	22.0	290	32.4	400	41.2	510	48.7	620	55.2	730	60.9	840	65.9
075	10.0	185	22.5	295	32.8	405	41.6	515	49.0	625	55.5	735	61.1	845	66.1
080	10.6	190	23.0	300	33.3	410	42.0	520	49.4	630	55.8	740	61.4	850	66.3
085	11.2	195	23.5	305	33.7	415	42.3	525	49.7	635	56.0	745	61.6	855	66.5
090	11.8	200	24.0	310	34.2	420	42.7	530	50.0	640	56.3	750	61.8	860	66.7
095	12.4	205	24.5	315	34.6	425	43.1	535	50.3	645	56.5	755	62.1	865	67.0
100	13.0	210	25.0	320	35.0	430	43.4	540	50.6	650	56.9	760	62.3		
105	13.6	215	25.5	325	35.4	435	43.8	545	50.9	655	57.1	765	62.5		

第六节 生成常数和离解常数

一、难溶化合物的溶度积

表 1-73 难溶化合物的溶度积

表中所列温度在 18~25℃ 的一些难溶化合物的溶度积常数, 是按化学式的顺序排列。表中数据除第一版中所列者外, 还引用了如下文献的参数:

1. 董维究编著, 化学分析基础, 北京: 高等教育出版社, 1982。
2. 张孙陆, 汤福隆, 张季等编, 现代化学试剂手册, 北京: 化学工业出版社, 1987。

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}	化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
$\text{Ag}(\text{OH})_2$	1.0×10^{-12}	12.0	AgReO_4	8.0×10^{-1}	4.10
Ag_2AsO_4	1.0×10^{-20}	22.0	Ag_2S	6.3×10^{-50}	49.2
AgBr	5.2×10^{-13}	12.28	$1/2\text{Ag}_2\text{S} + \text{H}^+ = \text{Ag}^+ + 1/2\text{H}_2\text{S}$	12×10^{-16}	13.8
$\text{AgBr} + \text{Br}^- = \text{AgBr}_2^-$	1.0×10^{-5}	5.0	AgSCN	1.0×10^{-12}	12.00
$\text{AgBr} + 2\text{Br}^- = \text{AgBr}_3^-$	4.5×10^{-7}	4.35	Ag_2SO_4	1.5×10^{-7}	13.82
$\text{AgBr} + 3\text{Br}^- = \text{AgBr}_4^{3-}$	2.5×10^{-11}	3.60	Ag_2SO_4	1.4×10^{-5}	4.64
AgBrO_3	5.3×10^{-12}	4.28	AgSeCN	4×10^{-10}	13.40
AgCN	1.2×10^{-16}	13.92	AgSeO_3	1.0×10^{-16}	15.00
AgOCN	2.3×10^{-12}	6.64	AgSeO_4	5.7×10^{-8}	7.25
$2\text{AgCN} = \text{Ag}^+ + \text{Ag}(\text{CN})_2^-$	5×10^{-12}	11.3	AgVO_3	5×10^{-11}	6.3
Ag_2CN_2	7.2×10^{-21}	10.34	Ag_2HVO_4	2×10^{-14}	13.7
Ag_2CO_3	8.1×10^{-12}	11.09	$\text{Ag}_2\text{HVO}_4\text{OH}$	1×10^{-14}	24.0
$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_7$	4.4×10^{-12}	2.36	Ag_2WO_4	5.5×10^{-12}	11.26
$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$	3.4×10^{-11}	10.46	Al_2O_3	1.8×10^{-19}	15.8
$\text{Ag}_2[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	3.5×10^{-21}	20.07	$\text{Al}(\text{OH})_3$ 无定形	4.57×10^{-31}	32.34
AgCl	1.8×10^{-10}	9.75	α	3.55×10^{-34}	33.45
$\text{AgCl} + \text{Cl}^- = \text{AgCl}_2^-$	2.0×10^{-7}	4.70	Böhmite	9.55×10^{-31}	34.02
$\text{AgCl} + 2\text{Cl}^- = \text{AgCl}_3^{2-}$	2.0×10^{-5}	4.70	Dayeite	2.75×10^{-22}	35.56
$\text{AgCl} + 3\text{Cl}^- = \text{AgCl}_4^{3-}$	3.5×10^{-7}	4.46	水铝矿	5.01×10^{-27}	36.30
AgClO_2	2.0×10^{-4}	3.7	Al-铜族试剂	2.3×10^{-16}	16.04
$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$	3.1×10^{-12}	12.51	$\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_4^- + \text{H}^+$	1×10^{-12}	13.0
$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$	2.0×10^{-11}	6.70	AlPO_4	6.3×10^{-12}	18.24
Ag_2DDTC	2.51×10^{-22}	19.6	Al_2SiO_5	2×10^{-7}	6.7
$\text{Ag}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	1.58×10^{-14}	10.8	Al_2Se_3	4×10^{-26}	24.4
$\text{Ag}^+ \text{Ag}(\text{CN})_{2-1}$	5.0×10^{-12}	11.3	Al_2S_3 羟基咪唑铝	1.00×10^{-28}	28
AgCNO	2.29×10^{-17}	0.54	$\text{Am}(\text{OH})_3$	2.7×10^{-20}	19.57
Ag 咪唑 2-甲磺	1.3×10^{-18}	17.9	$\text{Am}(\text{OH})_4$	1×10^{-46}	56.0
AgI	8.3×10^{-17}	16.28	$1/2\text{As}_2\text{O}_3 + 3/2\text{H}_2\text{O} = \text{As}^{3+} + 3\text{OH}^-$	2.0×10^{-1}	0.68
$\text{AgI} + \text{I}^- = \text{AgI}_2^-$	4.0×10^{-9}	8.40	$\text{As}_2\text{S}_3 + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{HAsO}_3 + 3\text{H}_2\text{S}$	2.1×10^{-28}	21.38
$\text{AgI} + 2\text{I}^- = \text{AgI}_3^-$	2.5×10^{-5}	2.40	$\text{Au}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	1.0×10^{-10}	10.0
$\text{AgI} + 3\text{I}^- = \text{AgI}_4^{3-}$	1.1×10^{-12}	3.06	$\text{Au}(\text{OH})_3$	5.5×10^{-43}	43.26
AgIO_3	3.0×10^{-8}	7.52	AuCl	2.0×10^{-11}	12.7
Ag_2MoO_4	2.8×10^{-12}	11.55	AuCl_2	1.6×10^{-23}	22.8
AgNO_3	2.8×10^{-10}	8.54	AuCl_3	3.2×10^{-27}	24.5
AgNO_3	6.0×10^{-1}	3.22	AuI_3	1.0×10^{-38}	40.0
$1/2\text{Ag}_2\text{O} + 1/2\text{H}_2\text{O} = \text{Ag}^+ + \text{OH}^-$	2.0×10^{-3}	7.59	$\text{K[Au(SCN)}_4]$	6×10^{-5}	4.2
$1/2\text{Ag}_2\text{O} + 1/2\text{H}_2\text{O} + \text{OH}^- = \text{Ag}_2(\text{OR})_2$	2.0×10^{-1}	3.71	$\text{Na[Au(SCN)}_4]$	4×10^{-14}	3.4
Ag_2O	2.0×10^{-8}	7.71	$\text{Ba}_2(\text{AsO}_4)_2$	6.0×10^{-11}	50.14
Ag_2PO_4	1.4×10^{-12}	15.84	$\text{Ba}(\text{BrO}_3)_2$	3.2×10^{-1}	5.50

续表

化合物的化学式	K_{so}	pK_{so}	化合物的化学式	K_{so}	pK_{so}
$BaCO_3$	5.1×10^{-9}	8.29	CaL_2 8-羟基萘磺钙	2.0×10^{-25}	28.70
$BaCO_3 + CO_2 + H_2O$ $\rightleftharpoons Ba^{2+} + 2HCO_3^-$	4.5×10^{-10}	9.35	$CaMoO_4$	4.17×10^{-11}	7.38
BaC_2O_4	1.6×10^{-8}	5.79	$Ca(OH)_2 \cdot 6H_2O$	7.1×10^{-11}	6.15
$BaC_2O_4 + H_2O$	2.3×10^{-10}	7.64	$Ca[Mg(CO_3)_2]$ (白云石)	1.6×10^{-16}	15.0
$BaCaF_2$	1.2×10^{-10}	9.93	$Ca(NbO_3)_2$	8.7×10^{-8}	17.06
BaF_2	1.04×10^{-9}	5.98	$Ca(OH)_2$	5.5×10^{-11}	5.26
$Ba(H_2O)_2$	4.01×10^{-15}	8.40	$CaHPO_4$	1×10^{-11}	7.0
$Ba(K_2O)_2 \cdot 2H_2O$	11.5×10^{-9}	8.82	$Ca(PO_4)_2$	2.0×10^{-29}	28.70
$BaHPO_4$	3.2×10^{-7}	6.5	$CaSO_4$	3.09×10^{-7}	6.51
$Ba_2(NO_3)_2$	13.4×10^{-12}	22.44	$CaSO_4$	9.1×10^{-7}	3.04
$Ba_2[Fe(CN)_6] \cdot 6H_2O$	3.2×10^{-11}	7.5	$CaSeO_4$	8.1×10^{-11}	3.09
$Ba_2P_2O_7$	3.2×10^{-11}	10.5	$CaSeO_4$	8.6×10^{-11}	3.30
$Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	2.55×10^{-11}	3.59	$Ca(SiF_6)$	8.1×10^{-11}	3.09
$BaMnO_4$	2.5×10^{-10}	9.61	$CaWO_4$	8.7×10^{-11}	8.96
$Ba(NH_4)_2$	4.5×10^{-3}	2.35	$CaSO_4$	2.5×10^{-11}	7.60
$Ba(NbO_3)_2$	3.2×10^{-17}	16.50	$Ca_2(AsO_4)_2$	2.2×10^{-12}	32.66
$Ba(RbO_3)_2$	3.2×10^{-2}	1.28	$CaC_2O_4 \cdot 3H_2O$	9.1×10^{-11}	7.04
BaL_2 8-羟基萘磺钡	3.0×10^{-8}	8.3	$Ca(DDTC)_2$	1.0×10^{-12}	22.0
$BaSO_4$	1.1×10^{-11}	9.96	$Ca(喹啉-2-甲酸)_2$	5.0×10^{-11}	12.3
$BaSeO_4$	3.5×10^{-8}	7.46	$[Cd(NH_3)_5](BF_4)_2$	2.0×10^{-5}	3.7
$BaSi_2O_7$	1.6×10^{-5}	4.79	$Cd(P_2O_7)_2$	2.3×10^{-4}	6.64
$BaSO_3$	18×10^{-9}	6.1	CdF_2	5.43×10^{-13}	2.69
$BaMnO_4$	13.25×10^{-12}	1.5	$CaCO_3$	3.2×10^{-12}	11.28
$Be(NaO_3)_2$	1.2×10^{-15}	15.92	$Cd(CN)_2$	1.0×10^{-5}	6.0
$Be(OH)_2$ (无定形)	1.6×10^{-12}	21.8	CdL_2 邻氨基苯甲酸铈	5.4×10^{-2}	8.27
$Be(OH)_2 + OH^- \rightleftharpoons HBeO_2^- + H_2O$	3.2×10^{-11}	2.50	$Cd_2[Fe(CN)_6]$	3.2×10^{-11}	16.49
$BiAsO_4$	4.4×10^{-10}	9.36	$Cd(OED)_2$ 盐	2.51×10^{-14}	13.6
$Bi(C_2O_4)_3$	3.98×10^{-10}	35.4	碱	3.89×10^{-16}	14.23
$Bi(铜试剂)_2$	6.0×10^{-10}	27.22	$Cd_3(PO_4)_2$	2.8×10^{-12}	32.6
$BiOBr + 2H^+ \rightleftharpoons Bi^{3+} + Br^- + H_2O$	3.0×10^{-7}	6.52	$Cd(OH)_2 + OH^- \rightleftharpoons Cd(OH)_3^-$	2×10^{-9}	4.7
$Bi(OH)_3 + BiO^+ \rightleftharpoons Cl^-$	7×10^{-7}	5.2	CdS	8.0×10^{-23}	26.1
$Bi(OH)_3 + 2H^+ \rightleftharpoons Bi^{3+} + Cl^- + H_2O$	2.1×10^{-7}	6.68	$CdS + 2H^+ \rightleftharpoons Cd^{2+} + H_2S$	6×10^{-5}	5.2
$BiOCl + H_2O \rightleftharpoons Bi^{3+} + Cl^- + 2OH^-$	1.8×10^{-11}	30.75	$CdSeO_4$	1.3×10^{-9}	8.89
BiI_3	8.1×10^{-12}	18.09	$CdWO_4$	2×10^{-12}	5.7
$BiO(NO_3)_2$	2.82×10^{-11}	2.55	$Ce_2(C_2O_4)_3 \cdot 9H_2O$	3.2×10^{-26}	25.5
$Bi(OH)_3$	4×10^{-10}	9.4	$Ce_2(C_6H_4O_4)_3 \cdot 9H_2O$	9.7×10^{-23}	19.01
$Bi(OH)_3$	4×10^{-10}	9.4	CeF_3	8×10^{-16}	15.1
$BiPO_4$	1.3×10^{-10}	22.83	$Ce(IO_3)_3$	3.2×10^{-10}	9.50
$Bi(OHSCN)$	1.6×10^{-11}	6.80	$Ce(OH)_3$	5×10^{-17}	16.3
Bi_2S_3	1×10^{-27}	97.0	$Ce(OH)_4$	1.5×10^{-20}	19.8
$Ca(AsO_4)_2$	6.8×10^{-12}	18.17	$Ce(PH)_4$	3.98×10^{-11}	50.4
$CaCO_3$	2.8×10^{-10}	8.54	$CeSe$	1.0×10^{-14}	23.0
$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HCO_3^-$	5.2×10^{-12}	4.28	$Ce_2(SO_4)_3$	8.0×10^{-11}	10.29
$CaC_2O_4 \cdot H_2O$	4×10^{-11}	8.4	$Ce_2(SO_4)_3$	3.7×10^{-13}	24.43
$CaC_4H_4O_6 \cdot 2H_2O$ (酒石酸钙)	6.7×10^{-7}	6.17	$Ce(酒石酸)$	11.0×10^{-15}	19.0
$CaCrO_4$	7.1×10^{-11}	3.15	$Ce_2(AsO_4)_2$	7.0×10^{-29}	28.12
CaF_2	12.7×10^{-12}	10.57	$CeCl_3$	1.4×10^{-11}	12.84
			$CeCl_3(OH)$	6.3×10^{-9}	7.2
			CeL_2 邻氨基苯甲酸铈	5.1×10^{-10}	9.68

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}	化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
$\text{Cu}_2(\text{Fe}(\text{CN})_6)_2$	1.8×10^{-15}	14.74	$\text{Cu}-(\text{咪唑}-2\text{-甲酸})_2$	1.5×10^{-17}	16.8
CuL_2 8-羟基喹啉衍	1.6×10^{-23}	21.8	$\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	1.3×10^{-18}	15.89
$\text{Co}-(\text{DDTC})_2$	8.71×10^{-21}	20.06	CuI	1.1×10^{-12}	11.96
$\text{Co}-(\text{咪唑}-2\text{-甲酸})_2$	1.6×10^{-15}	13.8	$\text{CuI} + \text{I}^- = \text{CuI}_2^-$	7.3×10^{-4}	3.11
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{BF}_4)_2$	4×10^{-6}	5.4	$\text{Cu}(\text{IO}_3)_2$	7.4×10^{-8}	7.13
$\text{Co}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- = \text{Co}(\text{OH})_3^-$	8×10^{-6}	5.1	CuN_2	4.9×10^{-9}	8.31
$\text{Co}(\text{OH})_2$	1.6×10^{-14}	13.8	$1/2\text{Cu}_2\text{O} + 1/2\text{H}_2\text{O} = \text{Cu}^+ + \text{OH}^-$	1×10^{-14}	14.0
$\text{Co}(\text{Hg}(\text{SCN})_4) = \text{Co}^{2+} + (\text{Hg}(\text{SCN})_4)^{2-}$	1.5×10^{-8}	5.82	$\text{Cu}(\text{N}_3)_2$	6.3×10^{-10}	9.2
$\text{Co}(\text{IO}_3)_2$	1.0×10^{-4}	4.0	$\text{CuO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^-$	2.2×10^{-20}	19.56
$\text{Co}(\text{OH})_2$ 蓝	6.31×10^{-15}	14.2	$\text{CuO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$	1.9×10^{-23}	22.72
淡红, 新	1.58×10^{-16}	14.8	CuI_2 邻氨基苯甲酸铜	6.0×10^{-11}	13.22
淡红, 陈	2.00×10^{-16}	15.7	CuL_2 8-羟基喹啉铜	2.0×10^{-20}	29.7
CoHPO_4	2.0×10^{-7}	6.7	$\text{Cu}_3\text{P}_2\text{O}_7$	3.3×10^{-15}	15.08
$\text{Cu}_2(\text{PO}_4)_2$	2.0×10^{-35}	34.7	$\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$	1.3×10^{-37}	36.9
$\alpha\text{-CoS}$	4×10^{-21}	20.4	Cu -红氨酸	7.67×10^{-14}	15.12
$\beta\text{-CoS}$	2×10^{-25}	24.7	$\text{Cu}-(\text{铜铁试剂})_2$	9.33×10^{-17}	16.93
CoSeO_3	1.6×10^{-7}	6.8	Cu_2S	2.5×10^{-54}	47.6
Cu_2AsO_4	7.7×10^{-21}	20.11	$\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{H}^+ = 2\text{Cu}^+ + \text{H}_2\text{S}$	1×10^{-27}	27.0
$\text{Cr}(\text{OH})_3$	1.0×10^{-17}	17.0	CuS	3.3×10^{-35}	35.2
$\text{Cr}(\text{OH})_3$	6.3×10^{-31}	30.2	$\text{CuS} + 2\text{H}^+ = \text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{S}$	5×10^{-15}	14.2
$[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6](\text{BF}_4)_2$	6.2×10^{-5}	4.21	CuSCN	4.8×10^{-13}	14.32
$[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3$	7.7×10^{-12}	11.11	$\text{CuSCN} + 2\text{HCN} = (\text{Cu}(\text{CN})_2)_2 + 2\text{H}^+ + \text{SCN}^-$	1.3×10^{-9}	8.38
$\text{CrPO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 绿	2.4×10^{-23}	22.62	$\text{CuSCN} + 3\text{SCN}^- = (\text{Cu}(\text{SCN})_4)^{3-}$	2.2×10^{-11}	2.55
紫	1.0×10^{-17}	17.0	CuSeO_3	2.1×10^{-8}	7.58
CrF_2	6.6×10^{-14}	13.18	$\text{Dy}_2(\text{CrO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1.0×10^{-8}	8.0
CuClO_4	4×10^{-5}	2.4	$\text{Dy}(\text{OH})_3$	1.4×10^{-23}	21.85
CuBrO_4	5×10^{-5}	1.7	$\text{Er}(\text{OH})_3$	6.1×10^{-24}	23.35
CuClO_3	4×10^{-5}	1.4	$\text{Eu}(\text{OH})_3$	8.9×10^{-24}	23.05
$\text{Cu}_2(\text{PbCl}_6)$	3.2×10^{-10}	7.5	FeAsO_4	5.7×10^{-22}	20.24
$\text{Cu}_2[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$	5.7×10^{-15}	13.24	FeCO_3	3.2×10^{-11}	10.50
$\text{Cu}(\text{BF}_4)$	5×10^{-5}	4.7	$\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3.2×10^{-7}	6.5
$\text{Cu}(\text{PtF}_6)$	2.4×10^{-6}	5.62	FeF_3	2.36×10^{-5}	5.53
$\text{Cu}(\text{SiF}_6)$	1.3×10^{-10}	4.90	$\text{Fe}_2^+ \text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	3.3×10^{-11}	40.52
Cu_2O	4.3×10^{-20}	23.36	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	8×10^{-16}	15.1
CuMnO_4	8.2×10^{-12}	4.08	$\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_3^-$	8×10^{-16}	5.1
CuReO_4	4.0×10^{-12}	3.40	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	4×10^{-26}	37.4
$\text{Cu}_2(\text{AsO}_4)_2$	7.6×10^{-36}	35.12	$\text{Fe}-(\text{咪唑}-2\text{-甲酸})_2$	1.3×10^{-11}	16.9
$\text{Cu}_2\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$	1.0×10^{-8}	8	$\text{Fe}-(8\text{-羟基喹啉})_2$	3.16×10^{-10}	43.5
CuFe	5.3×10^{-9}	8.28	$\text{Fe}_4(\text{P}_2\text{O}_7)_3$	2.51×10^{-23}	22.6
CuCN	3.2×10^{-20}	19.49	$\text{Fe}-(\text{铜铁试剂})_2$	1.0×10^{-25}	25.0
$\text{CuCN} + \text{CN}^- = \text{Cu}(\text{CN})_2$	1.2×10^{-2}	4.91	FePO_4	1.3×10^{-20}	21.89
$\text{K}_2\text{Cu}(\text{HCO}_3)_4$	3×10^{-12}	11.5	FeS	6.3×10^{-18}	17.2
CuCO_3	2.34×10^{-10}	9.63	$\text{Fe}_2(\text{SeO}_4)_3$	2.0×10^{-24}	30.7
CuC_2O_4	2.3×10^{-8}	7.64	$\text{Ga}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	1.5×10^{-28}	33.82
CuCl	1.3×10^{-5}	5.92	$\text{Ga}(\text{OH})_3$	7.0×10^{-26}	35.15
$\text{CuCl} + \text{Cl}^- = \text{CuCl}_2^-$	7.6×10^{-2}	1.12	GaL_3 8-羟基喹啉铜	8.7×10^{-23}	32.06
$\text{CuCl} + 2\text{Cl}^- = \text{CuCl}_3^{2-}$	3.4×10^{-5}	1.47	$\text{Ga}(\text{OH})_3$	3.16×10^{-25}	24.5
CuCrO_4	3.6×10^{-5}	4.44	$\text{Ga}(\text{HCO}_3)_3$	2×10^{-7}	1.7
$\text{Cu}-(\text{DDTC})_2$	2.5×10^{-20}	23.6			

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}	化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
Gd(OH) ₃	1.8×10^{-25}	22.74	K ₂ Na(Co(NO ₂) ₂) ₂	2.2×10^{-11}	10.65
GeO ₂	1.0×10^{-25}	25.0	KIO ₃	8.5×10^{-5}	3.46
H ⁺ (OH) ₂	4.0×10^{-15}	25.4	K ₂ PdCl ₆	6.0×10^{-11}	5.22
Hg ₂ Br ₂	5.6×10^{-23}	22.24	K ₂ PtF ₆	2.9×10^{-5}	4.54
Hg ₂ (CN) ₂	5×10^{-19}	36.3	K ₂ PtCl ₆	1.1×10^{-5}	4.95
Hg ₂ CO ₃	3.9×10^{-17}	15.05	K ₂ PtBr ₆	6.3×10^{-11}	4.2
Hg ₂ (C ₂ H ₃ O ₂) ₂	3×10^{-11}	13.5	K ₂ SiF ₆	8.7×10^{-11}	6.05
Hg ₂ C ₂ O ₄	2.0×10^{-19}	12.7	K ₄ (UO ₂ (CO ₃) ₃)	6.3×10^{-7}	4.2
Hg ₂ C ₂ O ₄	1.0×10^{-17}	7	KUX ₃ AsO ₄	2.5×10^{-22}	22.60
Hg ₂ C ₄ H ₄ O ₆ 酒石酸汞	1.0×10^{-19}	12.0	KZrF ₆	5×10^{-11}	3.3
Hg ₂ Cl ₂	1.3×10^{-13}	17.88	La ₂ (C ₄ H ₄ O ₆) ₃	2.0×10^{-15}	18.7
Hg ₂ F ₂	3.19×10^{-6}	5.51	La ₂ (C ₂ O ₄) ₃	2.5×10^{-22}	26.60
Hg ₂ CO ₃	2×10^{-15}	8.70	LaF ₃	7×10^{-17}	15.2
Hg ₂ (DDTC) ₂	3.16×10^{-14}	43.5	La(IO ₃) ₃	6.1×10^{-11}	11.21
Hg-(咪唑-2-甲酸) ₂	1.6×10^{-17}	16.8	LaMoO ₄	4.0×10^{-21}	20.4
(Hg ₂) ₃ [Fe(CN) ₆] ₂	5.5×10^{-21}	20.07	La(OH) ₃ 新	1.58×10^{-20}	18.8
Hg ₂ I ₂	1.5×10^{-25}	28.35	La(OH) ₃ 陈	1.0×10^{-20}	20
HgI ₂	2.82×10^{-29}	28.55	La ₂ (WO ₄) ₃ + 3H ₂ O	1.2×10^{-14}	3.50
Hg ₂ (IO ₃) ₂	2.0×10^{-14}	13.71	La ₂ S ₃	2.0×10^{-11}	12.7
Hg(IO ₃) ₂	3.2×10^{-13}	12.50	Li ₃ PO ₄	3.2×10^{-19}	5.6
Hg ₂ (NO ₃) ₂	7.1×10^{-13}	9.15	LiF	3.8×10^{-11}	2.42
Hg ₂ O—H ₂ O = Hg ₂ ²⁺ + 2OH ⁻	1.0×10^{-46}	46.0	Li ₂ CO ₃	2.5×10^{-12}	1.80
Hg ₂ (OH) ₂	5.00×10^{-34}	23.7	Li ₃ (U ₂ AsO ₄) ₃	1.5×10^{-11}	18.62
Hg ₂ (CH ₃ COO) ₂	2.00×10^{-18}	14.7	Lu(OH) ₃	1.9×10^{-24}	23.72
Hg ₂ -(咪唑-2-甲酸) ₂	1.3×10^{-18}	17.9	Mg ₂ (AsO ₄) ₂	2.1×10^{-20}	19.68
Hg 邻非咪唑	2.0×10^{-25}	24.70	MgCO ₃	5.5×10^{-9}	7.46
Hg(OH) ₂	3.0×10^{-36}	25.52	MgCO ₃ + 3H ₂ O	2.14×10^{-7}	4.67
Hg ₂ HPO ₄	4.0×10^{-13}	12.40	MgCO ₃ + 5H ₂ O	7.79×10^{-11}	5.42
Hg ₂ S	3.0×10^{-47}	47.0	MgCO ₃ + CO ₂ + H ₂ O = Mg ²⁺	4.5×10^{-11}	0.35
HgS(红)	4×10^{-28}	52.4	- 2HCO ₃ ⁻		
HgS(黑)	1.6×10^{-52}	51.8	Mg(IO ₃) ₂ + 4H ₂ O	3.2×10^{-11}	2.5
Hg ₂ (SCN) ₂	2.0×10^{-28}	19.7	MgC ₂ O ₄ + 2H ₂ O	1.0×10^{-6}	6.0
Hg ₂ SO ₄	7.4×10^{-7}	6.13	MgI ₂ 6-羟基咪唑	4×10^{-17}	15.4
Hg ₂ SO ₃	1.0×10^{-27}	27.0	MgF ₂	5.5×10^{-11}	8.19
Hg ₂ Se	1.0×10^{-59}	59.0	Mg(NO ₂) ₂	2.3×10^{-17}	16.64
Hg ₂ SeO ₃	1.5×10^{-14}	13.82	Mg(OH) ₂	5.8×10^{-11}	10.74
Hg ₂ WO ₄	1.1×10^{-17}	16.96	MgNH ₄ PO ₄	2.5×10^{-13}	12.60
Hr(OH) ₃	5.0×10^{-23}	22.30	Mg ₃ (PO ₄) ₂	$10^{-28} \sim 10^{-25}$	23~27
In ₄ [Fe(CN) ₆] ₃	1.9×10^{-44}	43.72	MgSeO ₃	1.3×10^{-9}	4.89
In(DDTC) ₃	1.0×10^{-25}	25.0	MgSO ₃	3.2×10^{-5}	2.50
In(OH) ₃ 新	5.01×10^{-34}	33.3	MnI ₂ 邻羧基苯甲酸锰	1.8×10^{-7}	6.75
In(OH) ₃ 陈	1.0×10^{-25}	35	Mn ₃ (AsO ₄) ₂	1.9×10^{-25}	28.72
In-(8-羟基咪唑) ₃	4.5×10^{-12}	31.34	MnCO ₃	1.8×10^{-12}	10.74
In ₂ S ₃	5.7×10^{-24}	23.24	Mn ₂ C ₂ O ₄ + 2H ₂ O	1.1×10^{-15}	14.96
KAu(SCN) ₄	6×10^{-5}	4.2	Mn ₂ [Fe(CN) ₆]	8.0×10^{-13}	12.10
KBrC ₄ H ₃	2.2×10^{-14}	7.65	Mn(OH) ₂	1.9×10^{-13}	12.72
KBrO ₂	5.7×10^{-1}	1.24	Mn(ClO ₃) ₂	4.37×10^{-7}	6.36
K ₂ (Co(HCO ₃) ₂)	3×10^{-12}	11.5	Mn... 8-羟基咪唑	2.0×10^{-22}	21.7
KClO ₃	1.1×10^{-2}	1.97	Mn(OH) ₂ + OH ⁻ = Mn(OH) ₃	1×10^{-5}	5.0
			MnS(无定形的, 淡红)	2.5×10^{-10}	9.6

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}	化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
MnS(结晶形)、绿	2.5×10^{-10}	12.6	Pb-(DIFTC) ₂	2.0×10^{-8}	21.7
MnSeO ₃	1.3×10^{-7}	6.9	Pb-(唑啉-2-甲酸) ₂	2.5×10^{-11}	10.6
(NH ₄) ₂ Ns(Co(NO ₂) ₂)	4×10^{-12}	11.4	PbF ₂	3.7×10^{-8}	7.57
NH ₄ UO ₂ AsO ₄	1.7×10^{-25}	23.77	PbF ₄	8.5×10^{-7}	8.07
Na ₃ AlF ₆	4×10^{-11}	9.39	Pb ₂ (Fen)(CN) ₂	10.5×10^{-13}	14.46
Na ₂ As(SCN) ₄	4×10^{-7}	5.4	PbI ₂	7.1×10^{-9}	8.15
Na ₂ C ₂ (Co(NO ₂) ₂) ₂	2.2×10^{-11}	10.66	PbI ₂ + I ⁻ → PbI ₃ ⁻	2.2×10^{-9}	4.65
Na(NH ₄) ₂ (Co(NO ₂) ₂) ₂	4×10^{-12}	11.4	PbI ₂ + 2I ⁻ → PbI ₄ ²⁻	1.4×10^{-4}	3.85
NaPb(OH)(CO ₃) ₂	1×10^{-6}	5.0	PbI ₂ + 3I ⁻ → PbI ₃ ⁻	9.8×10^{-7}	4.17
Na ₂ (CO ₃) ₂ AsO ₄	1.5×10^{-12}	21.87	PbI ₂ + 4I ⁻ → PbI ₄ ²⁻	5.9×10^{-6}	2.23
Na ₂ Sb(OH) ₄	4.0×10^{-7}	7.4	Pb(OH) ₂	3.2×10^{-14}	12.49
Na ₂ (OH) ₂	3.2×10^{-24}	21.49	PbMoO ₄	1.0×10^{-12}	12
Na ₂ (AsO ₄) ₂	3.1×10^{-25}	25.51	Pb(N ₃) ₂	2.5×10^{-5}	4.60
NiCO ₃	8.8×10^{-25}	8.18	Pb(NbO ₃) ₂	2.4×10^{-12}	16.62
NiL ₂ 8-羟基喹啉	8×10^{-21}	20.1	Pb(OH) ₂	1.2×10^{-15}	14.93
Ni-(DIFTC) ₂	7.94×10^{-24}	23.1	Pb(OH) ₄	3.2×10^{-16}	65.49
NiL ₂ 丁二胺	2.19×10^{-21}	22.66	Pb(OHNO ₃)	2.8×10^{-1}	3.55
Ni-(邻氨基苯甲酸) ₂	3.1×10^{-15}	9.50	PbHPO ₄	1.3×10^{-10}	9.90
Ni-(唑啉-2-甲酸) ₂	8.6×10^{-11}	6.1	PbHPO ₄	5.8×10^{-7}	5.24
[Ni(NH ₃) ₆](ReO ₄) ₂	5.1×10^{-24}	3.29	Pb ₂ (PO ₄) ₂	8.0×10^{-26}	12.10
Ni ₂ (Fe(CN) ₆)	1.3×10^{-15}	14.89	PbS	5.0×10^{-28}	28.00
Ni ₂ CN ₄ = Ni ²⁺ + Ni(CN) ₄ ²⁻	1.7×10^{-22}	8.77	PbS + 2H ⁺ + Pb ²⁺ + H ₂ S	1×10^{-1}	6
(Ni(N ₃ H ₃))SO ₄	7.1×10^{-14}	23.15	Pb(SCN) ₂	2.9×10^{-7}	4.70
Ni(OH) ₂ 新	2.0×10^{-15}	14.7	PbSO ₄	1.6×10^{-8}	7.79
新	6.31×10^{-18}	17.2	PbSeO ₃	4.6×10^{-7}	6.40
Ni ₂ (PO ₄) ₂	5.0×10^{-28}	28.3	PbSeO ₄	3.2×10^{-22}	11.5
Ni(OH) ₂ + OH ⁻ → Ni(OH) ₃	6×10^{-7}	1.2	PbSeO ₄	1.4×10^{-22}	6.34
NiC ₂ O ₄	4×10^{-10}	8.4	PbWO ₄	4.5×10^{-27}	6.35
Ni ₂ P ₂ O ₇	1.7×10^{-12}	12.77	Pd-(唑啉-2-甲酸) ₂	1.3×10^{-11}	12.9
Ni(OH) ₂	1.4×10^{-14}	7.85	Pd(OH) ₂	1.0×10^{-15}	31.0
α-NiS	13.2×10^{-29}	16.5	Pd(OH) ₄	5.3×10^{-21}	70.2
β-NiS	1.0×10^{-24}	24.0	PdS	2.5×10^{-28}	57.69
γ-NiS	2.5×10^{-26}	25.7	Pd(SCN) ₂	4.58×10^{-22}	22.36
NiSeO ₃	1.0×10^{-5}	5.0	Pan(OH) ₂	1×10^{-24}	24.0
NiO ₂ (OH) ₂	2.5×10^{-12}	24.0	PdS	5.5×10^{-28}	28.26
Pb ₂ (AsO ₄) ₂	4.9×10^{-36}	35.39	Pb(OH) ₂	6.8×10^{-14}	21.17
Pb-乙酸盐	1.6×10^{-12}	3.75	PbBr ₂	5.2×10^{-10}	40.5
PbL ₂ 邻氨基苯甲酸铅	1.8×10^{-10}	9.81	PbBr ₄	1×10^{-25}	35.0
PbOHBr	2.0×10^{-20}	14.70	PbS	9.91×10^{-28}	73.0
Pb(Br ₂) ₂	1.8×10^{-11}	10.78	PbF ₂	2.5×10^{-8}	18.6
PbBr ₂	4.0×10^{-2}	4.41	PbF ₄	6.3×10^{-20}	19.2
PbBr ₂ = PbBr ⁺ + Br ⁻	3.8×10^{-4}	3.41	Pb(OH) ₄	5×10^{-10}	12.3
Pb(BrO ₃) ₂	2.0×10^{-5}	1.70	Pb(OH) ₂	2.6×10^{-20}	19.7
Pb(O ₂) ₄	7.4×10^{-14}	13.13	Pb(OH) ₄	1.0×10^{-27}	55.0
PbC ₂ O ₄	4.8×10^{-6}	5.32	PbO ₂ (OH) ₂	5.0×10^{-29}	9.3
PbOHC ₂	2×10^{-4}	13.7	PbO ₂ (OH) ₂	2.0×10^{-28}	24.7
Pb(CrO ₂) ₂	4×10^{-12}	8.4	Pb(HPbO ₃) ₂ + 2H ₂ O	2.0×10^{-28}	27.7
PbC ₂	1.6×10^{-14}	4.19	Re(OH) ₂	8.7×10^{-12}	9.06
PbCF ₃	3.4×10^{-7}	6.62	ReSO ₃	4.9×10^{-11}	10.37
PbCrO ₄	2.8×10^{-13}	12.55	ReClO ₃	2.5×10^{-12}	11.60

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}	化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
$Rh_2[Co(NO_2)_6]$	1.5×10^{-15}	14.83	$TiBr + 3Br^- \rightleftharpoons TiBr_3^-$	1.6×10^{-5}	5.50
$RbIO_3$	5.5×10^{-4}	3.26	$TiBrH_2$	5.5×10^{-7}	1.07
Rb_2PtCl_6	6.3×10^{-3}	7.2	$Ti_2C_2O_4$	2×10^{-4}	3.7
$Rh^{3+}F_3^-$	7.7×10^{-7}	6.12	$TiCl$	1.7×10^{-4}	3.76
$RuSF_6$	5.0×10^{-7}	6.3	$TiCl + Cl^- \rightleftharpoons TiCl_2^-$	1.8×10^{-4}	3.74
$Ru(OH)_2$	1×10^{-24}	24	$TiCl + 2Cl^- \rightleftharpoons TiCl_3^-$	2.0×10^{-5}	4.70
$Ru(OH)_3$	1×10^{-26}	26	Ti_2CrO_4	1.0×10^{-12}	12
$Ru(OH)_4 = Ru(OH)_3 + OH^-$	1×10^{-24}	24	$Ti-ODTC$	7.94×10^{-11}	10.1
Sb_2S_3	1.5×10^{-52}	92.8	$Ti_2[Fe(CN)_6] \cdot 2H_2O$	3×10^{-16}	9.3
$1/2Sb_2O_3 + 3/2H_2O \rightleftharpoons Sb^{3+} + 3OH^-$	2.0×10^{-5}	4.70	TiH	6.5×10^{-3}	2.19
$1/2Sb_2S_3 + H_2O + H^+ \rightleftharpoons SbO^+ + 3/2H_2S$	8×10^{-24}	30.1	$TiH + I^- \rightleftharpoons TiH_2$	1.5×10^{-4}	5.82
SeF_4	4.2×10^{-26}	17.37	$TiH + 2I^- \rightleftharpoons TiH_2$	2.3×10^{-4}	5.64
$Se(OH)_2$	8×10^{-21}	30.1	$TiH + 3I^- \rightleftharpoons TiH_2$	1.0×10^{-4}	9.0
SiO_2 (无定形) $- 2H_2O \rightleftharpoons Si(OH)_4$	2×10^{-5}	2.7	TiH_2	3.1×10^{-4}	5.51
$Sm(OH)_2$	5.2×10^{-23}	22.98	TiN_2	2.2×10^{-4}	3.66
$Sn(OH)_4$	1×10^{-64}	56	$1/2Ti_2O_3 + 3/2H_2O \rightleftharpoons Ti^{3+} + 3OH^-$	6.3×10^{-46}	45.30
$Sn(OH)_2$	1.4×10^{-28}	27.85	TiH_2 8-羟基喹啉	4.0×10^{-24}	32.4
SnS	1.0×10^{-25}	25.0	Ti_2PtO_4	4×10^{-12}	11.4
SnS_2	2.5×10^{-27}	26.6	Ti_2S	5.6×10^{-22}	20.3
$Sr_3(AsO_4)_2$	8.1×10^{-29}	18.09	$TiSCN$	1.7×10^{-4}	3.79
$SrCO_3$	1.1×10^{-10}	9.96	$TiSeO_3$	3×10^{-29}	38.7
$SrC_2O_4 \cdot H_2O$	1.6×10^{-7}	6.80	$TiSeO_4$	1×10^{-4}	4.0
SrL_2 8-羟基喹啉	5×10^{-24}	9.3	$Tm(OH)_3$	5.3×10^{-22}	23.48
$SrCrO_4$	2.2×10^{-5}	4.65	$UF_4 \cdot 2.5H_2O$	5.7×10^{-42}	21.24
SrF_2	2.5×10^{-9}	8.61	UO_2CO_3	1.8×10^{-3}	1.73
$Sr(O_2)_2$	3.3×10^{-7}	6.48	UO_2HAsO_4	3.2×10^{-11}	10.50
$SrMoO_4$	2×10^{-7}	6.7	$UO_2(O_2)_2 \cdot H_2O$	3.2×10^{-5}	7.50
$Sr(NbO_3)_2$	4.2×10^{-15}	17.38	UO_2KAsO_4	2.5×10^{-22}	22.60
$Sr_3(PO_4)_2$	4.0×10^{-26}	27.30	UO_2LiAsO_4	1.8×10^{-15}	18.82
$SrSO_3$	4×10^{-8}	7.4	$UO_2NH_4AsO_4$	1.7×10^{-21}	23.77
$SrSO_4$	3.2×10^{-7}	6.49	UO_2NaAsO_4	1.8×10^{-22}	21.87
$SrSeO_2$	1.8×10^{-7}	5.74	$UO_2C_2O_4 \cdot 3H_2O$	2×10^{-11}	3.7
$SrSeO_4$	3.1×10^{-4}	3.09	$(UO_2)_2(Fe(CN)_6)$	1.1×10^{-14}	18.15
$SrWO_4$	1.7×10^{-10}	9.77	$UO_2(OH)_2$	1.1×10^{-6}	21.95
$Tb(OH)_3$	2.0×10^{-22}	21.7	$UO_2(OH)_2 + OH^- \rightleftharpoons H_2UO_4^- + H_2O$	2.5×10^{-11}	3.60
$TbO_2 + 4H^+ \rightleftharpoons Tb^{3+} + 2H_2O$	2.1×10^{-2}	1.68	UO_2HPO_4	2.1×10^{-11}	10.67
$Tb(OH)_4$	3.0×10^{-34}	53.52	$(UO_2)_3(PO_4)_2$	3.6×10^{-6}	45.7
$TbF_4 \cdot 4H_2O + 2H^+ \rightleftharpoons TbF_3^+ + 3HF + 4H_2O$	5.9×10^{-4}	7.23	$UO_2(SCN)_2$	1.0×10^{-4}	3.4
$Tb(OH)_4$	4.0×10^{-35}	44.4	UO_2SO_3	3.6×10^{-9}	5.58
$Tb(OH)_4$	2.5×10^{-35}	14.6	$VO(OH)_2$	5.9×10^{-23}	22.13
$Tb(C_2H_4)_2$	1.0×10^{-22}	22.0	$1/2V_2O_5 + H^+ \rightleftharpoons VO_2^+ + 1/2H_2O$	2×10^{-5}	0.7
$Tb_2(PO_4)_3$	2.5×10^{-19}	78.6	$(VO)_2(PO_4)_2$	8×10^{-26}	24.1
$Tb(HPO_4)_3$	1×10^{-20}	20	$Y(OH)_3$	2.6×10^{-23}	22.1
$Ti(OH)_3$	1×10^{-40}	40	$Y_2(C_2O_4)_3$	5.2×10^{-29}	28.28
$TiO(OH)_2$	1×10^{-29}	29	$Yb(OH)_3$	3×10^{-23}	23.52
$TiBr$	3.4×10^{-6}	5.47	$Y(OH)_3$	5.5×10^{-24}	23.6
$TiBr + Br^- \rightleftharpoons TiBr_2^-$	2.4×10^{-5}	4.62	$Zn_2(AsO_4)_2$	1.3×10^{-23}	27.89
$TiBr + 2Br^- \rightleftharpoons TiBr_3^-$	8.0×10^{-6}	5.10	$ZnCO_3$	1.4×10^{-11}	10.84
			$ZnC_2O_4 \cdot 2H_2O$	4.8×10^{-8}	7.36

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}	化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
ZnF_2	3.04×10^{-2}	1.52	$Zn(OH)_2 + OH^- = Zn(OH)_3^-$	3×10^{-3}	2.5
$Zn_2[Fe(CN)_6]$	4.0×10^{-12}	12.39	ZnL_2 , 8-羟基喹啉锌	5×10^{-25}	24.3
$Zn(Hg(SCN)_4) = Zn^{2+} + CH_3(SCN)_3^{2-}$	2.2×10^{-7}	6.66	Zn -(咪唑-2-甲酸) $_2$	1.6×10^{-14}	13.8
$Zn(IO_3)_2$	4.29×10^{-6}	5.37	ZnL_2 邻氨基苯甲酸锌	5.9×10^{-20}	9.23
	2.0×10^{-8}	7.7	$Zn_3(PO_4)_2$	9.0×10^{-33}	32.04
$Zn(BO_2)_2$	6.31×10^{-11}	10.2	α -ZnS	1.6×10^{-24}	23.8
$Zn(DTC)_2$	1.26×10^{-17}	16.9	β -ZnS	2.5×10^{-25}	21.6
$Zn(OH)_2$ 无定形	2.09×10^{-17}	15.68	$Zn_3Sb_2O_{13}$	2.6×10^{-7}	6.55
无定形, 陈	1.12×10^{-15}	13.95	$Zr_3(PO_4)_4$	1×10^{-138}	132
晶形, 陈	1.29×10^{-13}	16.92	$Zr(OH)_2$	6.3×10^{-15}	48.2

二、水的离子积常数

表 1-74 水的离子积常数 (0~100℃)

$$K_w = a_{H^+} \cdot a_{OH^-} + \sqrt{K_w} - a_{H^+} - a_{OH^-}$$

$t/^\circ C$	K_w	$a_{H^+} = a_{OH^-}$	$t/^\circ C$	K_w	$a_{H^+} = a_{OH^-}$
0	$10^{-14.94} = 0.11 \times 10^{-14}$	$10^{-7.47} = 0.33 \times 10^{-7}$	30	$10^{-13.26} = 1.48 \times 10^{-14}$	$10^{-6.63} = 1.20 \times 10^{-7}$
5	$10^{-14.70} = 0.17 \times 10^{-14}$	$10^{-7.35} = 0.42 \times 10^{-7}$	31	$10^{-13.10} = 1.55 \times 10^{-14}$	$10^{-6.55} = 1.26 \times 10^{-7}$
10	$10^{-14.46} = 0.30 \times 10^{-14}$	$10^{-7.23} = 0.54 \times 10^{-7}$	32	$10^{-12.95} = 1.70 \times 10^{-14}$	$10^{-6.48} = 1.29 \times 10^{-7}$
15	$10^{-14.34} = 0.46 \times 10^{-14}$	$10^{-7.17} = 0.68 \times 10^{-7}$	33	$10^{-12.74} = 1.82 \times 10^{-14}$	$10^{-6.37} = 1.35 \times 10^{-7}$
16	$10^{-14.30} = 0.50 \times 10^{-14}$	$10^{-7.15} = 0.71 \times 10^{-7}$	34	$10^{-12.51} = 1.95 \times 10^{-14}$	$10^{-6.26} = 1.38 \times 10^{-7}$
17	$10^{-14.26} = 0.55 \times 10^{-14}$	$10^{-7.13} = 0.74 \times 10^{-7}$	35	$10^{-12.36} = 2.09 \times 10^{-14}$	$10^{-6.18} = 1.45 \times 10^{-7}$
18	$10^{-14.22} = 0.60 \times 10^{-14}$	$10^{-7.11} = 0.77 \times 10^{-7}$	36	$10^{-12.15} = 2.24 \times 10^{-14}$	$10^{-6.08} = 1.48 \times 10^{-7}$
19	$10^{-14.18} = 0.65 \times 10^{-14}$	$10^{-7.09} = 0.80 \times 10^{-7}$	37	$10^{-11.92} = 2.40 \times 10^{-14}$	$10^{-5.96} = 1.55 \times 10^{-7}$
20	$10^{-14.14} = 0.69 \times 10^{-14}$	$10^{-7.07} = 0.83 \times 10^{-7}$	38	$10^{-11.68} = 2.57 \times 10^{-14}$	$10^{-5.84} = 1.58 \times 10^{-7}$
21	$10^{-14.12} = 0.76 \times 10^{-14}$	$10^{-7.06} = 0.87 \times 10^{-7}$	39	$10^{-11.55} = 2.75 \times 10^{-14}$	$10^{-5.78} = 1.66 \times 10^{-7}$
22	$10^{-14.08} = 0.81 \times 10^{-14}$	$10^{-7.04} = 0.89 \times 10^{-7}$	40	$10^{-11.33} = 2.95 \times 10^{-14}$	$10^{-5.67} = 1.70 \times 10^{-7}$
23	$10^{-14.04} = 0.87 \times 10^{-14}$	$10^{-7.02} = 0.93 \times 10^{-7}$	50	$10^{-10.29} = 5.5 \times 10^{-14}$	$10^{-5.15} = 2.34 \times 10^{-7}$
24	$10^{-14.02} = 0.93 \times 10^{-14}$	$10^{-7.01} = 0.96 \times 10^{-7}$	60	$10^{-9.29} = 9.55 \times 10^{-14}$	$10^{-4.65} = 3.09 \times 10^{-7}$
25	$10^{-14.00} = 1.00 \times 10^{-14}$	$10^{-7.00} = 1.00 \times 10^{-7}$	70	$10^{-8.27} = 15.8 \times 10^{-14}$	$10^{-4.14} = 3.98 \times 10^{-7}$
26	$10^{-13.98} = 1.10 \times 10^{-14}$	$10^{-6.99} = 1.05 \times 10^{-7}$	80	$10^{-7.20} = 25.1 \times 10^{-14}$	$10^{-3.60} = 5.01 \times 10^{-7}$
27	$10^{-13.95} = 1.17 \times 10^{-14}$	$10^{-6.98} = 1.07 \times 10^{-7}$	90	$10^{-6.12} = 38.0 \times 10^{-14}$	$10^{-3.06} = 6.17 \times 10^{-7}$
28	$10^{-13.94} = 1.20 \times 10^{-14}$	$10^{-6.97} = 1.12 \times 10^{-7}$	100	$10^{-5.13} = 55.0 \times 10^{-14}$	$10^{-2.57} = 7.41 \times 10^{-7}$
29	$10^{-13.96} = 1.38 \times 10^{-14}$	$10^{-6.98} = 1.17 \times 10^{-7}$			

三、酸和碱的离解常数

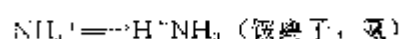
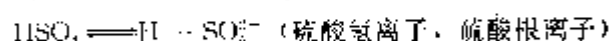
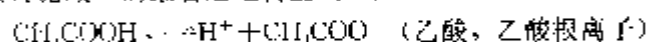
表中所列的是酸的离解常数的负对数值, 即 $-\lg K_a = pK_a$ 。一般的质子转移反应式为:



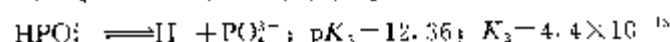
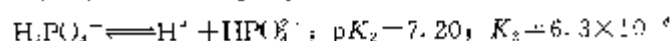
酸的离解常数表示如下:

$$K_a = \frac{[H^+][B^-]}{[HB]}$$

例 (1) 及其共轭碱 B 的最普通电荷型式, 如



具有一个以上的氢离子分级离解的酸, 如磷酸



对 $NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons NH_3 + OH^-$ 的离解平衡, 如果要求以碱的离解常数 K_b 表示时, pK_b 可按下列关系计算。

$$pK_b = pK_w - pK_a$$

其中 $K_w = [H^+][OH^-]$, 是水的离子积, $pK_w = pH + pOH$ 。这样, 氨的 pK_a 和 K_b 值分别为:

$$pK_b = 14.00 - 9.24 = 4.76$$

$$K_b = 1.7 \times 10^{-5}$$

表 1-75 无机酸、碱在水溶液中的离解常数 (25°C)
(按化学式顺序排列)

化 学 式	名 称	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
H_3AsO_4	砷 酸	11.2			
H_3AsO_3	亚砷酸	9.23			
H_3AsO_4	砷 酸	2.20	6.98	11.50	
H_2SO_3	亚 硫酸	5.25	12.74	13.80	
H_2SiO_3	硅 酸	9	9		
HIO_4	高碘酸	8.62			
$HClO$	次氯酸	7.50			
$HClO_2$	亚氯酸	1.96			
HON	羟氨	5.21			
$HCNO$	氰 酸	3.46			
H_2CO_3	碳 酸	6.38	10.25		
H_2CS_3	三硫代碳酸	2.68	8.18		
$H_2C_2O_4$	草 酸	3.93	6.50		
$H_2C_2O_4$	草 酸		1.64		
HF	氢氟酸	3.18			
$H_2F_2 \cdot (CN)_2$	亚砷氰酸	<1	<1	2.22	4.17
H_2GeO_3	锗 酸	8.78	12.72		
HIO_4, H_5IO_6	高碘酸	1.65	8.27	14.98	
HIO_3	碘 酸	3.77			
HIO_4	高碘酸	10.64			
H_2MnO_4	锰 酸		10.15		
H_2MoO_4	钼 酸	2.54	6.96		
NH_4^+	铵离子	9.24			
HN_3	叠氮酸	4.72			

续表

化 学 式	名 称	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
HNO_3	亚硝酸	3.29			
$HON=NOH$	连二次硝酸	6.95	10.84		
$H_3O^+ \cdot NH_2^-$	羟铵离子	5.96			
$H_2N \cdot NH_2SO_3H$	胍基磺酸	3.85			
$[H_2N \cdot NUL]^+$	脒离子	-5.83	7.99		
$H_2N \cdot NO_2$	硝酰胺	6.58			
H_2O_2	过氧化氢	11.65			
H_3PO_3	亚磷酸	1.3	6.6		
H_3PO_4	磷酸	2.12	7.20	12.36	
$H_4P_2O_7$	焦磷酸	1.52	2.36	6.60	9.25
$H_5P_3O_{10}$	次磷酸	1.23			
$H_4P_2O_6$	连二磷酸	2.20	2.81	7.27	10.03
$H_4P_3O_{10} (OH)_2$	二亚氨基三磷酸	-0.8	-2	3.04	7.74 9.95
$(H_2N)_2PO_3H$	二氨基磷酸	4.63			
$HRcO_3$	高砷酸	-1.25			
H_2S	氢硫酸	6.88	14.15		
H_2SO_3	亚硫酸	1.90	7.20		
H_2SO_4	硫酸		1.92		
H_2SO_5	过(氧磺)硫酸		9.3		
$H_2S_2O_5$	硫代硫酸	0.60	1.72		
$H_2S_2O_6$	连二亚硫酸		2.45		
$H_2S_2O_8$	连二硫酸	0.2	3.4		
$HSCN$	硫氰酸	0.85			
$HSe (OH)_4$	六羟络砷酸	2.55			
H_2Se	氢硒酸	3.49	11.9		
H_2SeO_3	亚硒酸	2.57	6.60		
H_2SeO_4	硒酸		1.92		
H_2SiO_3	硅 酸	9.77	11.60		
H_4SiO_4	原硅酸	9.66	11.70	15.90	12.00
H_2Te	氢碲酸	2.61	11		
H_2TeO_3	亚碲酸	2.57	7.74		
H_4TeO_6	原碲酸	7.61	11.00		
H_2VO_4	钒 酸		8.95	14.4	
H_2WO_4	钨 酸	4.2			
$AgOH^{(a)}$	氢氧化银	3.96			
$Be(OH)_2^{(b)}$	氢氧化铍		10.30		
$Ca(OH)_2^{(b)}$	氢氧化钙	2.43	1.49		
$Pb(OH)_2^{(c)}$	氢氧化铅	3.02			
$Zn(OH)_2^{(c)}$	氢氧化锌	3.02			

①表中数据为相应碱的 pK_b 值。

表 1-76 有机酸、碱在水溶液中的离解常数 (25℃)

除另加说明者外,离子强度 I 均为零。质子化阳离子在其 pK_a 值后标记为 (+1), (+2) 等;中性物质如不是显而易见者标记为 (0);带负电荷的酸标记为 (-1), (-2) 等。 pK_a 值后括号中加注的基团(如 SH, 巯基; OH, 羟基)表示为该基团上氢离解时的值。物质按中文名字笔画顺序排列。除特殊注明外均为 25℃ 时。

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
一氯乙酸	0.45			
1,2-乙二酸	6.85(-2)	9.92(+1)		
1,2-乙二酸- N,N' -二甲基- N,N' -二乙酸(20℃)	6.047(0)	10.068(+1)		
1,2-乙二酸- N,N' -二乙酸	6.42	9.46		
1,2-乙二酸- N,N' -二甲基- N,N' -二乙酸	6.047	10.068		
乙二胺- N,N' -二乙酸- N,N' -二丙酸(30℃)	3.00	3.79	5.98	9.53
乙二胺- N,N,N',N' -四乙酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.99	2.67	6.16	10.26
乙二胺- N,N,N',N' -四丙酸(30℃)	3.00	3.43	6.77	9.60
乙二胺- N,N' -二丙酸(30℃)	6.87	9.60		
1,2-乙二硫醇	8.96	10.54		
乙炔二羧酸	1.75	4.40		
乙醇酸(18℃)	3.89	8.35		
乙醇	1.60(+1)			
乙醇	10.63(+3)			
(3-乙氧基)苯甲酸	1.1(+1)	4.90(0)	7.24(-1)	
2-乙氧基乙醇	6.26(+1)			
2-乙氧基乙醇醚	9.38			
乙氧基乙醇(18℃)	3.66			
4-乙氧基吡啶	6.67(+1)			
2-乙氧基苯甲酸(20℃)	4.21			
3-乙氧基苯甲酸(20℃)	4.17			
4-乙氧基苯甲酸(20℃)	4.80			
2-乙氧基苯胺(邻-氨基苯乙醚)	4.47(+1)			
3-乙氧基苯胺	4.17(+1)			
4-乙氧基苯胺	5.25(+1)			
2-乙氧基苯酚	10.109			
3-乙氧基苯酚	9.656			
(4-乙氧基苯基)膦酸	2.05	7.28		
乙氧羧基乙醇	9.13(+1)			
N -乙基乙二胺	7.63(+2)	15.50(+1)		
乙基丁二胺	4.08(0)			
2-乙基丁酸(20℃)	4.710			
乙基巴比土酸	3.69(+1)			
乙基双胍	2.09(+1)	11.47(0)		
亚乙基双胍(30℃)	1.74	2.88	11.34	11.76
亚乙基双(硫代乙酸)(18℃)	3.382(0)	4.352(-1)		
N -乙基邻甲苯胺	4.92(+1)			
乙基甲基(甲)酮肟	12.45			
乙基甲基内二胺	2.86(0)	6.41(-1)		
5-乙基-5-(1-甲丁基)吡唑-1-酸	8.11(0)			
3-乙基-4-(甲氧基)吡啶(20℃)	9.90(+1)			
5-乙基-6-甲基吡啶(20℃)	6.51(+1)			
3-乙基-4-甲基吡啶-1-氯化物	1.534(+1)			
5-乙基-2-甲基吡啶-1-氯化物	-1.288(+1)			
1-乙基-2-甲基吡啶	1.84(+1)			
1-乙基-2-甲基吡啶	10.56(+1)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
<i>N</i> -乙基甘氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.34(+1)	10.23(0)		
乙基过氧化氢	11.80			
乙基丙二酸	2.90(0)	5.55(-1)		
2-基丙基丙二酸	3.14	7.43		
2,2-乙基丙基戊二酸	3.511			
3-乙基丙烯酸	4.695			
3-乙基戊烷-2,4-二酮	11.34			
5-乙基-5-戊烷基巴比土酸	7.960			
2-乙基戊酸(18℃)	4.71			
3-乙基戊二酸	4.28	5.33		
乙基吗啡碱(15℃)	8.08			
乙基吡啶烷	10.43(+1)			
2-乙基-2-吡啶啉	7.87(+1)			
2-乙基吡啶	5.89(+1)			
2-乙基吡啶-1-氧化物	-1.19(+1)			
3-乙基吡啶(20℃)	5.80(+1)			
3-乙基吡啶-1-氧化物	-0.965(+1)			
4-乙基吡啶	5.87(+1)			
2-乙基苯甲酸	3.79			
4-乙基苯甲酸	4.35			
<i>N</i> -乙基苯胺	5.11(+1)			
2-乙基苯胺	4.42(+1)			
3-乙基苯胺	4.70(+1)			
4-乙基苯胺	5.00(+1)			
2-乙基苯酚	10.2			
3-乙基苯酚	10.07			
4-乙基苯酚	10.0			
4-乙基苯基乙酸	4.373			
5-乙基-5-苯基巴比土酸	7.445			
2-乙基苯基吡啶($I=0.16\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	6.27(+1)			
1-乙基吡啶($I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	10.45(+1)			
3-乙基-2-羟基吡啶	5.90(+1)			
3-乙基硫代乙酸	5.06			
<i>N</i> -乙基硫基乙酰胺	8.14(SH)			
<i>N</i> -乙基苯胺	7.40(+1)			
乙基甲基肼	9.60(+1)			
2-乙基吡啶	4.98(+1)			
4-乙基吡啶	5.62(+1)			
乙基醇($I=0.015\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	10.61			
乙酰乙酸(18℃)	3.58			
乙酰乙酸(18℃)	3.58			
乙酰乙酸乙酯	10.68			
2-乙酰吡啶	2.643(+1)			
3-乙酰吡啶	3.256(+1)			
4-乙酰吡啶	3.505(+1)			
乙酰肼	3.24(+1)			
<i>N</i> -乙酰肼	8.23(+1)			
<i>N</i> -乙酰青蒿酸(30℃)	9.50			
β -乙酰苯胺	0.4(+1)	13.39(0)40℃		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-乙酰苯酚	5.19			
4-乙酰苯酚	5.05			
乙酰胺	-0.37(+1)			
3-乙酰氨基吡啶	4.37(+1)			
2-乙酰基苯甲酸	3.85			
3-乙酰基苯甲酸	4.07			
4-乙酰基苯甲酸	4.28			
N-(3-乙酰基)-2-氨基乙酸(20℃)	6.88			
N-(2-乙酰基)氨基乙酸(20℃)	6.62			
2-乙酰-1-萘酚(30℃)	13.40			
2-乙酰基吡啶	14.1			
2-乙酰基苯胺	4.13			
3-乙酰基苯胺	3.83			
1-乙酰基苯胺	3.70			
乙酰异亮氨酸(30℃)	9.40			
N-乙酰-2-氨基乙炔	9.92(SH)			
4-乙酰-β-巯基异亮氨酸(30℃)	10.30			
乙醇酸(羟基乙酸)	3.831			
乙酸	4.756			
乙酰-d(乙酸在重水中)	5.32			
2-乙酰基苯甲酸(乙酰水杨酸)	3.48			
3-乙酰基苯甲酸	4.00			
4-乙酰基苯甲酸	4.38			
乙腈酸	2.43	8.105		
乙氧腈酸	3.29			
N,N-二乙基乙二胺	7.73(+2)	10.46(+1)		
二乙基醇胺(18℃)	3.804			
2,3-二乙基丁二酸,外消旋	3.63	6.46		
2,3-二乙基丁二酸,内消旋	3.54	6.59		
二亚乙基二胺	4.42(+3)	5.21(+2)	10.02(+1)	
二亚乙基三胺五乙酸($pK_1=10.58$)	1.89(0)	2.55(-1)	4.33(+2)	8.50(-3)
5,5-二乙基吡唑酮(佛罗那)	8.020(0)			
二乙基双胍(30℃)	2.53(+1)	11.68(0)		
二乙基甲基胺	10.43(+1)			
二乙基丙二胺	2.51	7.417		
2,2-二乙基戊二胺	3.62	7.12		
N,N-二乙基甘氨酸	2.04(-1)	10.47(0)		
N,N-二乙基胍胺	9.48(-1)			
N,N-二乙基胍胺	6.56(+)			
N,N-二乙基胍甲胺	7.18(+1)			
二乙基胺	10.85(+1)			
o-(二乙基)甲苯	9.44(+1)			
2-(二乙基)-4-氨基苯甲酸乙醇	8.85(+1)			
1-(乙氧基乙基)胺	8.47(+1)			
3,5-二乙氧基苯酚	9.370			
3-(二乙氧基亚膦基)苯甲酸	3.65			
4-(二乙氧基亚膦基)苯甲酸	3.60			
3-(二乙氧基亚膦基)苯酚	3.65			
4-(二乙氧基亚膦基)苯酚	3.28			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
二乙酰基丙酮	7.42			
二乙醇酸	2.96			
二丁胺	11.25(+1)			
二异丁胺	10.91(+1)			
外消旋:2,3-二叔丁基琥珀酸($I=3.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	3.58	10.2		
1,3-二[三(羟甲基)甲基]丙烷(20°C)	6.80(+1)			
己基酸	11.0(+1)			
3-(二甲氨基乙基)吡啶	4.30(+2)	8.86(+1)		
4-(二甲氨基乙基)吡啶	4.55(+2)	8.70(+1)		
2-[2-(二甲氨基)乙基]吡啶	3.46(+2)	8.75(+1)		
4-(二甲氨基)-3-乙基吡啶(20°C)	8.56(+1)			
6-二甲氨基-3,5-二甲基吡啶(20°C)	8.15(+1)			
2-(二甲氨基)乙醇	9.26(+1)			
4-二甲氨基-2,3-二甲基-1-苯基-3-吡啶噻唑-5-酮	4.18(+1)			
4-(二甲氨基)-3-甲基吡啶(20°C)	8.58(+1)			
4-(二甲氨基)-3-异丙基吡啶(20°C)	8.27(+1)			
4-(二甲氨基)吡啶(20°C)	6.09(+1)			
2-(二甲氨基甲基)吡啶	2.58(+2)	8.12(+1)		
3-(二甲氨基甲基)吡啶	3.17(+2)	8.00(+1)		
4-(二甲氨基甲基)吡啶	3.39(+2)	7.65(+1)		
<i>N,N</i> -二甲氨基环己烷	10.72(+1)			
(4-二甲氨基苯基)膦酸	2.0(+1)	4.2	7.35	
4-(二甲氨基苯基)酮	1.647(+1)			
二(2-甲氧基)胺	9.51(+1)			
1,18-二(甲氧基)-3,8-二甲基-4,7-非咯烷	7.21			
(3,4-二甲氧基)苯乙酸	4.333			
2,6-二甲氧基苯甲酸	3.44			
3,5-二甲氧基苯胺	3.86(+1)			
3,5-二甲氧基(苯)酚	9.345			
<i>N,N</i> -二甲基乙二胺- <i>N,N'</i> -双乙酸	6.63	9.53		
<i>N,N</i> -二甲基乙二胺- <i>N,N'</i> -双乙酸	7.40	10.16		
<i>N,N</i> -二甲基乙二胺- <i>N,N'</i> -双乙酸	5.99	9.97		
1,1-二甲基乙醇($I=0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	11.22			
二甲基乙醇酸(18°C)	4.04			
3,5-二甲基-4-(二甲氨基)吡啶(20°C)	8.12(+1)			
2,2-二甲基-1,3-二氧六环-4,6-二酮	5.1			
DL-2,3-二甲基丁二酸	3.82	5.93		
2,3-二甲基丁二酸,内消旋	3.67	5.30		
2,3-二甲基丁二酸,外消旋	3.94	6.20		
2,2-二甲基丁二酸,内消旋	3.77	5.934		
2,2-二甲基丁二酸,外消旋	3.93	6.20		
2,2-二甲基丁酸(18°C)	4.08			
5,5-二甲基-2,4-己二酮	10.61			
二甲基马来酸	3.17	6.05		
二甲基双肌	2.77(+1)	11.52		
1,3-二甲基巴比土酸	4.68(+1)			
<i>N,N</i> -二甲基邻甲苯胺	5.56(+1)			
<i>N,N</i> -二甲基对甲苯胺	7.24(+1)			
3,5-二甲基-4-(甲氧基)吡啶(20°C)	9.96(+1)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2,2-二甲基丙酸(新戊酸)	5.031			
2,2-二甲基丙腈酸	2.84	8.65		
2,2-二甲基丙二酸	3.17	6.06		
3,3-二甲基戊二酸	3.70	6.34		
2,2-二甲基戊酸	4.959			
4,4-二甲基戊酸(18C)	4.79			
2,2-二甲基吡啶(2,4-卢吡啶)	6.74(+1)			
2,4-二甲基吡啶-1-氧化物	1.627(-1)			
2,5-二甲基吡啶(2,5-卢吡啶)	6.43(+1)			
2,5-二甲基吡啶-1-氧化物	1.208(+1)			
2,6-二甲基吡啶(2,6-卢吡啶)	6.71(+1)			
2,6-二甲基吡啶-1-氧化物	1.366(+1)			
3,4-二甲基吡啶(3,4-卢吡啶)	6.47(+1)			
3,4-二甲基吡啶-1-氧化物	1.493(+1)			
3,5-二甲基吡啶(3,5-卢吡啶)	6.09(+1)			
3,5-二甲基吡啶-1-氧化物	1.181(+1)			
2,3-二甲基苯甲酸	3.771			
2,4-二甲基苯甲酸	4.217			
2,5-二甲基苯甲酸	3.990			
2,6-二甲基苯甲酸	3.362			
3,4-二甲基苯甲酸	4.41			
3,5-二甲基苯甲酸	4.302			
<i>N,N</i> -二甲基苯胺-4-磺酸(17C)	2.0(+1)	4.2	7.39	
2,4-二甲基苯胺	4.89(+1)			
2,5-二甲基苯胺	4.53(+1)			
2,6-二甲基苯胺	3.95(+1)			
3,4-二甲基苯胺	5.17(+1)			
3,5-二甲基苯胺	4.763(+1)			
<i>N,N</i> -二甲基苯胺	5.15(-1)			
2,3-二甲基苯胺	4.70(-1)			
<i>N,N</i> -二甲基苯胺	9.02(-1)			
二甲(基)胺	10.77(-1)			
二甲基苯基脒烷基乙酸	5.27			
2,6-二甲基苯氧基乙酸	3.356			
2,4-二甲基苯酚	10.58			
2,5-二甲基苯酚	10.22			
2,6-二甲基苯酚	10.59			
3,4-二甲基苯酚	10.32			
3,5-二甲基苯酚	10.16			
2,3-二甲基苯酚	10.50			
3,5-二甲基-1,3-环己二酮	5.15			
顺-3,3-二甲基-1,2-环丙二甲酸	2.24	8.31		
反-3,3-二甲基-1,2-环丙二甲酸	3.02	5.32		
α,α -二甲基草酰乙酸	1.77	4.62		
5,5-二甲基海因	3.19			
二甲基金霉素($f=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.50(-1)			
1,2-二甲基呋啶	10.22			
2,6-二甲基呋啶-顺式	11.07(+1)			
5,5-二甲基呋啶	5.27	9.83		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
N,N' -二甲基嘧啶	4.630(+2)	8.539(+1)		
2,4-二甲基咪唑	8.38(+1)			
2,3-二甲基苯-1-甲酸	3.33			
2,6-二甲基-4-硝基苯酚	7.190			
3,5-二甲基-4-硝基苯酚	8.245			
1-甲基羟基四环素	7.5	9.4		
2,4-二甲基-8-羟基喹啉	6.20(+1)	10.60(C)		
2,4-二甲基-8-羟基喹啉	5.80(+1)	10.05(C)		
2,4-二甲基-8-羟基喹啉-7-磺酸	8.20(NH ⁺)	10.14(OH)		
2,5-二甲基-4-氨基苯酚	6.27			
2,5-二甲基-4-氨基苯酚	6.21			
2,3-二甲基咪唑	4.94(+1)			
3,5-二甲基咪唑	5.45(+1)			
2,4-二甲基咪唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.98			
2,5-二甲基咪唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.91			
4,5-二甲基咪唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.73			
二丙酮酸(半可基酸)	6.273			
1-甲酚橙($pK_1=10.46(-4)$, $pK_{16}=12.28(-5)$)	—	2.58(-1)	3.23(-2)	6.37(-3)
2-甲氧基苯酚	4.00	10.24		
二羧丙基二胺	7.72(+3)	9.56(+2)	10.65(+1)	
二丙基丙二酸	2.04	7.51		
二异丙基丙二酸	2.124	8.648		
2,2-二丙基戊二酸	3.688	7.31		
二丙胺	10.9(+1)			
二辛丁二酸(20℃)	3.96	6.66		
二苯胺	8.52(+1)			
二苯乙酸	3.09			
二苯胺	0.9(-1)			
二苯基乙酸	3.939			
2,2-二苯基丁二酸,内消旋	3.48			
2,2-二苯基丁二酸,外消旋	3.58			
2,2-二苯基丁二酸,1-甲酯(20℃)	4.47			
2,2-二苯基丁二酸,4-甲酯(20℃)	3.900			
2,2-二苯基己二酸(20℃)	4.17	5.40		
2,2-二苯基己二酸	4.22	5.19		
2,2-二苯基己二酸(20℃)	4.33	5.38		
2,2-二苯基庚二酸(20℃)	3.51	5.38		
2,2-二苯基庚二酸(20℃)	4.28	5.39		
1,3-二苯基脒	10.12			
二苯基硫代卡巴胺	4.50	15		
二苯基丙二酸(35℃)	3.05			
二苯基丙二酸	5.82			
二环己基胺	11.25(+1)			
二环戊基胺	10.93(-1)			
二氯乙酸	1.33			
3,3-二氯丙烯酸	5.17			
七氟代丁酸	0.17			
2,2,3,3,4,4,5,5-八氟戊酸	2.65			
4,4,5,5,6,6,6-七氟代己酸	4.18			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4,4,5,5,6,6,6-七氟代 2-丙酸	3.23			
二氯可待因	3.75(+1)			
二氯吗啡	9.35			
二氯麦角诺文	7.98(+1)			
α -二氯麦角胺	3.37	8.45		
γ -二氯麦角胺	3.60	8.71		
α -二氯麦角醇	3.30			
β -二氯麦角醇	8.23			
二氯槟榔碱	9.70			
二氯槟榔碱甲酯	8.39			
1,4-二氯杂二环[2,2,2]辛烷	2.90(-2)	6.50(+1)		
2,3-二氯杂蔡	3.47(+1)			
2,2'-二氯辛二乙硫醚(50℃)	8.81(-2)	9.55(+1)		
1,8-二氯基-3,6-二硫辛烷(30℃)	8.43(-2)	9.31(+1)		
2,3-二氯基丙酸甲酯($I=0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	4.412(+1)	8.250(0)		
1,3-二氯基-2-丙醇(20℃)	2.93(+2)	9.68(+1)		
2,5-二氯基吡啶(20℃)	2.13(+2)	6.48(+1)		
2,7-二氯基辛烷二酸(20℃, $I=0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.84(+2)	2.54(+1)	9.23(0)	9.89(+1)
1,8-二氯基-3,6-辛烷二酮(30℃)	8.60(+2)	9.57(+1)		
3,5-二氯基苯甲酸	5.30			
1,3-二氯基-2-氯甲基丙烷	6.44(-2)	8.56(+2)	10.38(+1)	
1,3-二氯基- N,N -二(2-氯乙基)丙烷 ($I=0.5 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	5.01(-4)	7.26(+3)	9.49(-2)	10.23(+1)
1,8-二氯基-3-氯基-6-硫代辛烷(30℃)	8.54(-2)	9.46(+1)		
2,6-二氯代 1,2,3,4-四氯化-4-噻唑羧酸 (乳酸酸)	1.8(+1)	9.55(0)		
二羟乙胺	9.88(+1)			
二(2-羟乙基)胺	8.8(+1)			
二羟乙酸	3.30(0)			
2,2-二(羟甲基)-3-羟基丙酸	4.460			
二羟基马来酸	5.10			
1,3-二羟基-2-甲基苯($I=0.55 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	10.05	11.64		
2,4-二羟基-8-甲基嘧啶	9.90			
2,4-二羟基-6-甲基嘧啶	9.52			
1,4-二羟基-2,6-二硝基苯	4.42	9.14		
1,4-二羟基-2,3,5,6-四甲基苯($I=0.55 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	11.25	12.76		
2,4-二羟基嘧啶(20℃)	1.37(-1)	6.54(0)	13(+1)	
3,4-二羟基-3-环丁烯-1,2-二酮	0.541	3.480		
2,3-二羟基-3-环戊烯-1-酮(20℃)	4.72			
二羟基苹果酸	1.92			
1,3-二羟基苯(同苯二酚)	9.44(0)	12.32(-1)		
1,4-二羟基苯(氢醌)	9.91(0)	12.04(-2)		
4,5-二羟基苯-1,3-二磺酸	—	—	7.66(-2)	12.6(-3)
2,3-二羟基苯甲酸(30℃)	2.98	10.14		
2,4-二羟基苯甲酸(β -二羟基苯甲酸)	3.29	8.98		
2,5-二羟基苯甲酸	2.97	10.50		
2,6-二羟基苯甲酸	1.30			
3,4-二羟基苯甲酸	4.48	8.67	11.74	
3,5-二羟基苯甲酸	4.04			
2,5-二羟基-对-苯醌	2.71	5.12		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3,4-二羟基苯甲醛	7.55			
2,4-二羟基-1-萘磺酸钠 ($I=0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	11.98			
1,4-二羟基(25°C), ($I=0.05 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	9.37	10.93		
1,2-二羟基苯(焦儿茶酚) ($I=0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	9.356(0)	12.98(-1)		
二羟基酒石酸	1.85	4.10		
1,2-二羟基-3-硝基苯	6.68			
1,2-二羟基-4-硝基苯 ($I=0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	6.703			
2,4-二羟基嘧啶	<1.3	7.92		
2,6-二羟基嘧啶	7.53(0)	11.84(-1)		
2,4-二羟基嘧啶烷	6.11(+1)			
1,2-二羟基萘酚-3-磺酸(茜素-3-磺酸)		5.54(-1)	11.01(-2)	
二烯丙基胺 ($I=0.02 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	9.29(+1)			
5,5-二烯丙基巴比土酸	7.76(0)			
二氯乙酸	1.26			
二氯乙酸乙酯	2.11			
1,3-二氯-2,5-二羟基苯 ($I=0.05 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	7.30	9.99		
2,5-二氯-3,6-二羟基对苯醌	1.05	2.42		
二氯甲基膦酸	1.14	5.61		
2,2-二氯丙酸	2.06			
2,3-二氯丙酸	2.85			
外消旋-2,3-二氯代丁二酸(25°C)	1.43	2.81		
内消旋-2,3-二氯代丁二酸	1.49	2.97		
3,6-二氯邻基二甲胺	1.46			
3,5-二氯苯胺	2.37(-1)			
4,6-二氯苯氨基-2-甲基乙醇	3.13			
2,4-二氯苯氧基乙醇(2,4-D)	2.64			
2,3-二氯苯酚	7.44			
2,4-二氯苯酚	7.95			
2,6-二氯苯酚	6.78			
3,4-二氯苯酚	6.950			
3,5-二氯苯酚	8.179			
2,4-二氯-6-硝基苯胺	-3.30(+1)			
2,5-二氯-4-硝基苯胺	1.74(+1)			
2,6-二氯-4-硝基苯胺	-3.31(+1)			
3,6-二氯对酞氨酸	2.12	6.47	7.62	
2,2-二氯乙基胺	5.14(+1)			
2,2-二氯基丙酸	2.8			
二硝基甲烷(25°C)	3.60			
1,1-二硝基乙烷(25°C)	5.21			
1,1-二硝基丙烷	5.5			
1,1-二硝基丁烷(25°C)	5.90			
1,1-二硝基戊烷	5.337			
1,1-二硝基癸烷	9.60			
2,3-二硝基苯甲酸	1.85			
2,4-二硝基苯甲酸	1.43			
2,5-二硝基苯甲酸	1.62			
2,6-二硝基苯甲酸	3.14			
3,4-二硝基苯甲酸	2.82			
3,5-二硝基苯甲酸	2.85			

续表

物质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2,4-二硝基苯乙酸	3.50			
2,4-二硝基苯胺	-4.25(+1)			
2,6-二硝基苯胺	-5.23(+1)			
3,5-二硝基苯胺	0.229(+1)			
2,4-二硝基苯酚	4.08			
2,5-二硝基苯酚	5.216			
2,6-二硝基苯酚	3.713			
3,4-二硝基苯酚	5.424			
3,5-二硝基苯酚	6.732			
二硫代二乙酸(18℃)	3.075	4.201		
二硫代草酰胺(红氨酸)	10.89			
1,4-二硫赤藓糖醇	9.5			
1,12-二巯基十二烷基醇	9.07	10.23		
赤型-1,4-二巯基-2,3-丁二醇	8.9			
内消旋-2,3-二巯基-1,2-丙二醇	2.71	3.48	8.89(SH)	10.79(SH)
2,3-二溴丁二酸,外消旋(20℃)	1.43	2.24		
2,3-二溴丁二酸,内消旋(20℃)	1.51	2.71		
二溴代乙酸	1.39			
2,2-二溴丙酸	1.48			
2,3-二溴丙酸	2.33			
3,5-二溴苯胺	2.35(+1)			
3,5-二溴苯酚	8.056			
3,5-二溴苯胺	2.37(+1)			
2,5-二溴吡啶	2.31(+2)	8.20(+1)	10.11(0)	
3,5-二溴(苯)酚	8.103			
马钱子碱	8.26			
1,2-丁二胺	6.399(+2)	9.388(+1)		
1,4-丁二胺	9.35(+2)	10.1(+1)		
2,3-丁二胺	6.91(+2)	10.10(+1)		
丁二酰胺	10.60			
4-丁内酰胺盐(20℃)	3.94(+1)			
2-丁炔-1,4-二酸	1.75	4.40		
2-丁炔酸(丁炔酸)	2.620			
丁腈酸(18℃)	4.23	8.91		
丁胺	10.64(+1)			
异丁胺	10.41(+1)			
叔丁胺	10.685(+1)			
3-丁氨基苯甲酸(20℃)	4.25			
1,2,3,4-丁烷四甲醚	3.43	4.58	5.85	7.16
3-丁烯酸(乙烯基乙酸)	4.68			
异丁烯酸	4.66			
顺-2-丁烯酸(异巴豆酸)	4.44			
反-2-丁烯酸(反巴豆酸)(35℃)	4.676			
2-丁酰胺(仲丁胺)	10.56(+1)			
N-丁基乙二胺	7.53(+2)	10.50(+1)		
异丁基乙酸(18℃)	4.79			
丁基甲胺	10.90(+1)			
2-丁基-甲基-2-吡啶酮	11.84(+1)			
2-叔丁基吡啶	5.76(+1)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-叔丁基吡啶	5.82(+1)			
4-叔丁基吡啶	5.99(+1)			
2,6-二叔丁基吡啶	3.58(+1)			
4-叔丁基苯乙酸	4.417			
2-叔丁基苯甲酸	3.57			
3-叔丁基苯甲酸	4.199			
4-叔丁基苯甲酸	4.389			
4-叔丁基苯胺	3.78(+1)			
N-叔丁基苯胺	7.10(+1)			
1-丁基胍($I=0.02\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	10.43(+1)			
叔丁基氢过氧化物	12.80			
1-(叔丁基)-2-羟基苯	10.62			
1-(叔丁基)-3-羟基苯	10.119			
1-(叔丁基)-4-羟基苯	10.23			
2-叔丁基噻唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.00(+1)			
4-叔丁基噻唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.04(+1)			
丁基次膦酸	3.41			
叔丁基次膦酸	4.24			
叔丁基膦酸	2.79	8.88		
丁酸	4.817			
三乙胺	10.72(+1)			
二(二乙基)胺	4.18(+2)	8.19(+1)		
二(二乙基)胺(20℃)	3.32(+4)	6.67(+3)	9.20(+2)	9.92(+1)
三乙基琥珀酸	2.74			
三乙胺基甲酰胺	5.81			
三乙醇胺[俗名:三(羟乙基)胺]	7.76(+1)			
三异丁胺	10.42(+1)			
2,3,4-三甲苯酚	10.59			
2,4,5-三甲苯酚	10.57			
2,4,6-三甲苯酚	10.88			
3,4,5-三甲苯酚	10.25			
2,3,6-三甲基吡啶($I=0.5\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	7.60(+1)			
2,4,6-三甲基吡啶	7.43(+1)			
2,4,6-三甲基吡啶-1-氧化物	1.990(+1)			
3-(三甲氨基)苯酚	8.06			
4-(三甲氨基)苯酚	8.35			
2,4,6-三甲基苯甲酸	3.448			
2,4,6-三甲基苯胺	4.38(+1)			
三甲基胺	9.80(+1)			
2-(三甲基砷)苯甲酸	4.089			
4-(三甲基砷)苯甲酸	4.192			
三(三甲基砷)胺	4.70(+1)			
2,4,5-三甲基噻唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	4.55			
三丙胺	10.66(+1)			
三苯基乙酸	3.96			
三氯乙酸	0.30			
4,4,4'-三氯丁酸	4.16			
5-三氟甲基-1,2,3,4-四唑	1.70			
2-(三氟甲基)苯胺	3.5(+1)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4-(三氯甲基)苯胺	4.6(+1)			
3-三氯甲基苯胺	8.8(+)			
α,α,α' -三氯丙酮	8.950			
3,3,3-三氯丙酸	3.06			
三氯丙烯酸	1.79			
3,5,5-三氯戊酸	4.50			
4,4,4-三氯巴豆酸	3.15			
4,4,4-三氯苏氨酸	1.554(+1)	7.822(0)		
1 <i>H</i> -1,2,3-三唑	—	9.26		
1 <i>H</i> -1,2,4-三唑	2.385(+1)	5.972		
1,2,3-三唑-4-羧酸	3.32	8.73		
1,2,3-三唑-4,5-二羧酸	1.86	5.90	9.30	
1,2,4-三唑烷-3,5-二酮(尿唑)	5.80			
三(2-羟乙基)胺	7.762(+1)			
3-[三(羟甲基)氨基基]-1-丙磺酸(TAPS)(20°C)	8.4			
2-[三(羟甲基)氨基基]-1-乙磺酸(TESE)	7.50			
2,4,6-三(羟甲基)苯酚	9.56			
三(羟甲基)氨基甲烷(TRIS)	8.08(+1)			
<i>N</i> -1-三(羟甲基)甲基甘氨酸	2.023(+1)	8.135		
1,2,3-三羟基苯(焦精酚)	9.03(0)	11.63(+1)		
1,3,5-三羟基苯(间苯三酚)	8.45(0)	8.88(+1)		
2,4,6-三羟基苯甲酸	1.68(0)			
3,4,5-三羟基苯甲酸	4.19(0)	8.85(+1)		
3,4,5-三羟基环己-1-烯-9-羧酸[D-(+)-莽草酸]	4.15			
三羟甲基胺	8.31(+1)			
三氯乙酸	0.62			
三氯甲基胺	1.63	4.31		
三氯代丙烯酸	1.15			
2,4,5-三氯苯酚	7.37			
3,4,5-三氯苯酚	7.835			
3,3,3-三氯乳酸	2.34			
三氯代碳酸(20°C)	2.64			
2,2,2-三氯基乙醇	2.36			
三氯基甲烷(20°C)	0.37			
2,4,6-三硝基苯胺(苦胺)	-10.23(+1)			
2,4,6-三硝基苯甲酸	0.654			
三溴乙酸	-0.147			
2,4,6-三溴苯甲酸	1.41			
1,3,5-三溴-2,4,6-三醇	7.20	11.10		
正辛(己六)醇:半乳糖醇	13.40			
马来酸	1.910	6.33		
1-马钱子碱(15°C)	2.50	8.20		
D-山梨(糖)醇(17.5°C)	13.50			
1-(+)-山梨糖(18°C)	11.55			
小檗碱(18°C)	11.73(+1)			
1-6-己二胺	9.830(+2)	10.930(+1)		
2,4-己二烯酸(山梨酸)	4.77			
2,4-己二酮	8.49(烯醇)			
	9.32(酮基)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
己二酸	4.418	5.412		
2,6-己二酸	4.418	5.412		
己二酸单酰胺(E-构型-戊酰胺)	4.520			
己腈酸	4.16	9.19		
己腈	10.64(-1)			
反-2-己烯酸	4.74			
反-3-己烯酸	4.72			
3-己烯-4-腈酸	4.58			
4-己烯-5-腈酸	4.74			
己酸(20℃)	4.843			
己腈酸	2.6	7.9		
八甲基二硅烷烷	7.55			
1,2,3,4,9,10-六甲基-4,7-菲咯啉(20℃)	7.26			
1,1,1,3,3,5-六氟-2,2-丙二醇	8.801			
1,2,1,3,3,3-六氟-2-丙醇	9.42			
六氟化吡啶因	11.07			
3,3',4,4',5,5'-六硝基二苯胺	5.43(-1)			
六硝基胺	9.68(-1)			
1-(+)-天冬酰胺		8.80(0)		
异天冬酰胺	2.97(-1)	8.62(0)		
天冬氨酸酐酸($I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)				
可可碱	7.89			
1,1-双(2-羧氨基脲)(20℃, $I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.96	4.04		
双十二烷胺	10.59(+1)			
2,2'-双(亚氨基咪唑)($I=0.3\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.51(+1)			
双乳酸	2.595			
双羧	2.56(+2)	11.51(+1)		
N,N'-双(2-氯乙基)乙二胺(20℃)	3.32(+4)	6.67(+3)	9.25(+2)	9.92(-1)
双(2-氯乙基)醚(30℃)	8.62(+2)	9.59(+1)		
N,N'-双(2-羟乙基)-2-氨基乙醇酸(20℃)(RES)	7.15			
N,N'-双(2-羟乙基)甘氨酸[N-(羟乙基)甘氨酸](20℃)	8.35			
双(2-羟乙基)亚氨基二(羟甲基)甲烷(2-2)	5.46(+1)			
D-(1)-木糖	12.15(0)			
1,9-壬烷二酸(壬二酸)	4.55	5.49		
壬酸	4.95			
毛茛菪香碱	7.3(-1)	6.85(0)		
异毛茛菪香碱(15℃)	7.18(-1)			
巴比土酸		8.372(0)		
乌头碱	8.11(+1)			
四亚乙基五胺[$I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $pK_5=9.37(-1)$]	2.38(-5)	4.72(-4)	8.08(-3)	9.10(+2)
N,N,N',N'-四甲基乙二胺	2.20(+2)	6.55(+1)		
四亚甲基二胺	9.22(-2)	10.75(-1)		
四亚甲基双(硫代乙酸)(18℃)	8.453	4.423		
2,3,5,6-四甲基-4-氨基吡啶	6.07(-1)			
2,3,5,6-四甲基吡啶(20℃)	7.90(-1)			
2,3,5,6-四甲基苯甲酸	3.415			
四环素	3.10(-1)	7.26	9.14	
四外素($I=0.405\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	8.30(+1)	7.68	9.63	
2,2,6,6-四甲基哌啶($I=0.5\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.24(-1)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
四甲基琥珀酸	3.50	7.26		
1,4,5,6-四氢化-1,2-二甲基吡啶	11.38(+1)			
1,4,5,6-四氢化-2-甲基吡啶	9.63(+1)			
四氯化砷根碱	10.56(+1)			
反-四氯化砷-2,3-二羧酸(20℃)	4.00	5.70		
顺-四氯化砷-2,3-二羧酸(20℃)	3.98	6.47		
5,6,7,8-四氢化-1-萘酚	10.28			
5,6,7,8-四氢化-2-萘酚	10.48			
四脱氢丙酮	10.59(+1)			
1,2,3,4-四唑	4.90			
邻甲基乙酸(18℃)	4.36			
对甲基乙酸(18℃)	4.36			
邻甲基腈酸	3.82	8.85		
间甲基腈酸	3.82	8.60		
对甲基腈酸	3.70	8.68		
邻甲苯胺	4.45(+1)			
间甲苯胺	4.71(+1)			
对甲苯胺	5.08(+1)			
邻甲(苯)酚	10.26			
间甲(苯)酚	10.60			
对甲(苯)酚	10.26			
邻甲基硫酚	5.64			
间甲基硫酚	5.58			
对甲基硫酚	5.52			
3-甲基碲酸	4.80			
4-甲基碲酸	4.88			
对甲基亚碲酸	1.7			
邻甲基膦酸	2.10	7.68		
间甲基膦酸	1.88	7.44		
对甲基膦酸	1.64	7.33		
甲膦酸(18℃)	3.42	8.18		
甲胺	10.62(+1)			
2-(2-甲氨基)吡啶(30℃)	3.58(+2)	9.65(+1)		
2-(甲氨基)乙醇	9.88(+1)			
甲氨基乙醇(20℃)	2.146	10.088		
2-(甲氨基甲基)吡啶(30℃)	2.92(+2)	8.82(+1)		
2-(甲氨基甲基)-6-甲基吡啶($I=0.5\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.63(+2)	9.15(+1)		
4-甲氨基-3-甲基吡啶(20℃)	9.83(+1)			
3-(甲氨基)吡啶(30℃)	8.70(+1)			
4-(甲氨基)吡啶(20℃)	9.65(+1)			
4-(甲氨基)-2,3,5,6-四甲基吡啶(20℃)	10.06(+1)			
2-(<i>N</i> -甲氨基)苯甲酸	1.93(+1)	5.34(0)		
3-(<i>N</i> -甲氨基)苯甲酸	—	5.10(0)		
4-(<i>N</i> -甲氨基)苯甲酸	—	5.05		
(3-甲氨基)苯膦酸	1.1(-1)	4.72(+2)	7.30(-1)	
(4-甲氨基)苯膦酸	—	—	7.85(-1)	
2-甲氨基乙醇	9.45(+1)			
2-(<i>N</i> -甲氨基乙酰胺基)吡啶	2.01(+1)			
3-(<i>N</i> -甲氨基乙酰胺基)吡啶	3.52(+1)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
1-(N-甲氧基乙酰氨基)吡啶	4.62(-1)			
甲氧基乙酸	3.570			
3-甲氧基-D-α-丙氨酸	2.037(+1)	9.175(0)		
2-甲氧基-4-(2-丙氧基)苯酚	10.0			
N,N-甲氧基苯胺	9.68(+1)			
反-2-甲氧基肉桂酸	4.462			
反-3-甲氧基肉桂酸	4.376			
反-4-甲氧基肉桂酸	4.539			
2-甲氧基吡啶	3.06(+1)			
3-甲氧基吡啶	4.91(+1)			
4-甲氧基吡啶	6.47(+1)			
4-甲氧基苯乙醇	4.358			
2-甲氧基苯甲酸	4.09			
3-甲氧基苯甲酸	4.08			
4-甲氧基苯甲酸	4.49			
2-甲氧基苯胺	4.53(+1)			
3-甲氧基苯胺	4.20(+1)			
4-甲氧基苯胺	5.36(+1)			
(2'-甲氧基)苯氧基乙酸	3.231			
(3'-甲氧基)苯氧基乙醇	3.141			
(4'-甲氧基)苯氧基乙酸	3.213			
2-甲氧基苯酚	9.99			
3-甲氧基苯酚	9.652			
4-甲氧基苯酚	10.20			
2-甲氧基-4-硝基苯酚	1.53	6.96		
甲氧基咪唑甲胺	7.66(+1)			
2-甲氧基咪唑吡啶	2.21(+1)			
3-甲氧基咪唑吡啶	3.13(+1)			
4-甲氧基咪唑吡啶	3.26(+1)			
2-甲氧基咪唑苯胺	2.23(+1)			
3-甲氧基咪唑苯胺	3.64(+1)			
4-甲氧基咪唑苯胺	2.38(+1)			
4-甲氧基-2-(2'-噻唑偶氮)苯酚	7.83			
3-(2'-甲氧基基)丙酸	4.804			
3-(3'-甲氧基基)丙酸	4.654			
3-(4'-甲氧基基)丙酸	4.689			
3-甲氧基基磺酸	4.65			
4-甲氧基基磺酸	5.05			
(4-甲氧基基)次膦酸(17℃)	2.35			
(2-甲氧基基)膦酸	2.16	7.77		
(4-甲氧基基)膦酸(17℃)	2.4	7.15		
N-甲氧基乙醇	4.23(+1)			
N-甲氧基亚乙基二胺	6.86(+2)	10.15(+1)		
4-甲基-2,2'-二(4-甲基吡啶基)吡啶	5.32(+1)			
5-甲基-2,4-二(4-甲基吡啶基)吡啶(30℃)	6.32(+3)	9.19(+2)	10.35(+1)	
2-甲基-3,5-二硝基苯甲酸	2.97			
2-甲基丁酸	4.761			
3-甲基丁酸(20℃)	4.767			
3-甲基-2-丁烯酸	5.12			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
(E)-2-甲基-2-丁烯酸(玛鲁酸)	4.26			
(Z)-2-甲基-2-丁烯酸(玛丁酸)	4.30			
2-甲基-2-丁硫醇	11.35			
(E)-2-甲基-2-丁烯酸(中康酸)	4.48	6.75		
5-甲基-2,4-己二酮	8.66(烯醇)			
	9.11(酮)			
5-甲基-4-己烯酸	4.80			
1-甲基-1,2,3,4-四氢化-3-吡啶羧酸(烟酰胺;异四氢吡啶)	9.07			
5-甲基-1,2,3,4-四唑	3.31			
甲基双肼	3.00(+2)	11.44(+1)		
1-甲基巴比妥酸	4.35(+1)			
5-甲基巴比妥酸	3.38(+1)			
3-(N-甲基甲炔亚磺酰氨基)吡啶	1.73(+1)			
3-(N-甲基甲炔亚磺酰氨基)吡啶	2.94(+1)			
4-(N-甲基甲炔亚磺酰氨基)吡啶	5.14(+1)			
2-甲基-6-甲氨基吡啶(29C)	5.17(+1)	9.84(0)		
3-甲基-4-甲氨基吡啶(20C)	—	9.84(0)		
N-甲基亚氨基乙二酸	2.16	10.09		
2-甲基-1,2-丙二酸	6.178(+2)	9.420(+1)		
甲基丙二酸	5.07	5.87		
2-甲基-2-丙酸	10.682(+1)			
2-甲基丙酸(18C)	4.66			
2-甲基丙酸	4.853			
2-甲基-2-丙基戊二酸	3.626			
2-甲基-2-丙硫醇	11.7			
2-甲基戊二酸	4.25	5.41		
2-甲基戊酸-2,4-二酮	10.37			
顺-3-甲基-2-戊烯酸	5.15			
反-3-甲基-2-戊烯酸	5.13			
4-甲基-2-戊烯酸	4.70			
2-甲基-3-戊烯酸	4.60			
2-甲基戊酸	4.782			
3-甲基戊酸	4.766			
4-甲基戊酸	4.845			
N-甲基吡啶	7.15(+1)			
(E)-2-甲基肉桂酸	4.500			
(E)-3-甲基肉桂酸	4.442			
(E)-4-甲基肉桂酸	4.564			
2-甲基吡啶	5.06(+1)			
3-甲基吡啶	5.58(+1)			
4-甲基吡啶	6.00(+1)			
2-甲基吡啶-1-氧化物	1.029(+1)			
3-甲基吡啶-1-氧化物	0.921(+1)			
4-甲基吡啶-1-氧化物	2.258(+1)			
6-甲基吡啶-2-羧酸	5.83			
甲基-2-吡啶基(甲)酮衍	3.97			
1-甲基-2-(3-吡啶基)吡啶烷	3.41	7.94		
1-甲基吡啶流	10.40(+1)			
1-甲基-3-吡啶噻	9.88(+1)			

续表

物 质	p <i>K</i> ₁	p <i>K</i> ₂	p <i>K</i> ₃	p <i>K</i> ₄
邻甲基吡啶羧酸(<i>I</i> = 0.16 mol · kg ⁻¹)	4.74			
3-甲基邻苯二甲酸	3.18			
4-甲基邻苯二甲酸	3.89			
2-甲基苯甲酸(邻甲基甲酸)	3.90			
5-甲基苯甲酸	4.269			
4-甲基苯甲酸	4.362			
3-(<i>N</i> -甲基苯甲酰氨基)吡啶	3.66(+1)			
4-(<i>N</i> -甲基苯甲酰氨基)吡啶	4.68(+1)			
2-(<i>N</i> -甲基苯甲酰氨基)吡啶	1.44(+1)			
<i>N</i> -甲基-1-苯甲酰芽子碱	8.67			
2-甲基苯并咪唑(<i>I</i> = 0.15 mol · kg ⁻¹)	5.29(-1)			
<i>N</i> -甲基苯胺	4.85(+4)			
5-甲基-1-苯基-1,2,3-三唑-4-羧酸	3.73			
5-甲基-5-苯基巴比丁酸	6.011(0)			
3-(2-甲基苯基)丙酸	4.66			
3-(3-甲基苯基)丙酸	4.677			
3-(4-甲基苯基)丙酸	4.684			
1-甲基-2-苯基吡咯烷	8.80			
(2-甲基苯氧基)乙酸	3.227			
(3-甲基苯氧基)乙酸	3.203			
(4-甲基苯氧基)乙酸	3.215			
(2-甲基苯基)乙酸(18℃)	4.35			
(4-甲基苯基)乙酸	4.370			
5-甲基-2,4-戊二酮	8.52(烯醇)			
	9.10(酮)			
3-甲基组胺	5.80(+1)	9.80(0)		
3-甲基环己基-1,1-二乙酸	3.49	6.06		
4-甲基环己基-1,1-二乙酸	3.49	6.10		
3-甲基环戊基基-1,1-二乙酸	3.76	5.74		
2-甲基环己烷-1,1-二乙酸	3.53	6.89		
1-甲基环己烷-1-羧酸	5.13			
顺-1-甲基环己烷-1-羧酸	5.63			
反-2-甲基环己烷-1-羧酸	5.73			
顺-3-甲基环己烷-1-羧酸	4.88			
反-3-甲基环己烷-1-羧酸	5.02			
顺-4-甲基环己烷-1-羧酸	5.04			
反-4-甲基环己烷-1-羧酸	4.89			
<i>N</i> -甲基咪唑	10.19(+1)			
2-甲基咪唑	10.95(+1)			
3-甲基咪唑	11.07(+1)			
4-甲基咪唑(<i>I</i> = 0.5 mol · kg ⁻¹)	11.23(+1)			
<i>N</i> -甲基咪唑(<i>I</i> = 0.1 mol · kg ⁻¹)	4.94(+2)	9.09(+1)		
2-甲基咪唑	5.62(+2)	9.60(+1)		
6-甲基-1,10-菲咯啉	5.11(+1)			
<i>N</i> -甲基胞苷	3.88			
5-甲基胞苷	4.21			
1-甲基咪唑	7.06(-1)			
4-甲基咪唑	7.55(+1)			
<i>N</i> -甲基-2'-脱氧胞苷	3.97			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
5-甲基-2'-脱氧胞苷	4.33			
2-甲基-1-苯甲酸	3.11			
N-甲基-1-苯胺	3.75(+1)			
1-甲基黄嘌呤	7.70	12.0		
3-甲基黄嘌呤	8.50	11.3		
7-甲基黄嘌呤	8.33	约13		
5-甲基黄嘌呤	6.25			
1-甲基-2-硝基对苯二酸	3.11			
4-甲基-2-硝基对苯二酸	1.82			
2-甲基-4-硝基苯甲酸	1.86			
2-甲基-6-硝基苯甲酸	1.87			
5-甲基硫代-1,2,3,4-四唑	4.00(+1)			
2-甲基硫代吡啶(20℃)	3.59(+1)			
3-甲基硫代吡啶(20℃)	4.42(+1)			
4-甲基硫代吡啶(20℃)	5.94(+1)			
3-(S-甲基硫代)苯酚	9.53			
4-(S-甲基硫代)苯酚	9.53			
3-甲基异硫脲	9.83(+1)			
邻甲基异脲	9.72(+1)			
5-甲基噻唑	4.62(+1)			
2-甲基-8-羟基噻唑($I=0.005\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	4.58(+1)	11.71(0)		
4-甲基-8-羟基噻唑	4.67(+1)	11.62(0)		
甲基琥珀酸	4.13	5.64		
α -甲基葡萄糖苷	13.71			
4-甲基羧基苯酚	8.47			
2-甲基噻唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.40(+1)			
4-甲基噻唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.18(+1)			
5-甲基噻唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.03(+1)			
3-甲基磺酰基苯酚	9.33			
4-甲基磺酰基苯酚	7.83			
甲基胍酸	2.38	7.74		
甲基次膦酸	3.08			
甲硫醇	10.70			
2-甲基基乙酸(30℃)	9.18(+1)			
甲硫基乙酸	7.68			
甲硫基乙酸	3.72			
4-甲基基苯胺	4.40(+1)			
2-甲酰-3-甲基吡啶(20℃)	3.89(+1)	12.95		
4-甲酰-3-甲氧基吡啶(20℃)	4.45(+1)	11.7		
2-甲酰-3-羟基吡啶(20℃)	3.40(+1)	6.95(OH)		
4-甲酰-3-羟基吡啶	4.05(+1)	6.77(OH)		
甲酸	3.751	6.75(OH)		
甲磺酰基乙酸	2.38			
4-(甲磺酰基)-3,5-二甲基苯酚	8.13			
3-(甲磺酰基)苯甲酸	3.52			
4-(甲磺酰基)苯甲酸	3.64			
3-(甲磺酰基)苯胺	2.62(+1)			
4-(甲磺酰基)苯胺	1.48(+1)			
1,2-丙二胺	5.607(+2)	9.720(+1)		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
1,3-丙二胺	8.49(+2)	10.47(+1)		
丙二酸	2.826	5.696		
丙二酸单酰胺	3.641(0)			
丙二酸氢乙酯	3.55			
丙二酰胺	4.01			
1,2,3-丙三胺	3.72(+3)	7.95(+2)	9.59(+1)	
1,2,3-丙三羧酸	3.67	4.87	6.38	
2-丙炔酸	1.887			
丙酮酸(18℃)	4.21	9.09		
丙脒	10.568(+1)			
异丙脒	10.64(+1)			
2-丙氧基苯甲酸(20℃)	4.24			
3-丙氧基苯甲酸(20℃)	4.20			
4-丙氧基苯甲酸(20℃)	4.78			
2-(异丙氧基)苯甲酸(20℃)	4.24			
3-(异丙氧基)苯甲酸(20℃)	4.15			
4-(异丙氧基)苯甲酸(20℃)	4.68			
异丙基巴比土酸	4.907(+1)			
丙基丙二酸	2.97	5.84		
异丙基丙二酸	2.94	5.88		
异丙基丙二酸·糖	2.401			
3-异丙基-4-(甲氧基)吡啶(20℃)	9.96(+1)			
3-异丙基戊二酸	4.30	5.51		
亚丙基叠胺	8.18(+1)			
2-丙基吡啶	6.30(+1)			
2-异丙基吡啶	5.83(+1)			
3-异丙基吡啶(20℃)	5.72(+1)			
4-异丙基吡啶	6.02(+1)			
4-异丙基苯乙酸	4.391			
N-丙基苯胺	2.21(+1)	10.19(0)		
N-异丙基苯胺	5.50(+1)			
2-异丙基苯甲酸	3.64			
4-异丙基苯甲酸	4.36			
DL-异丙基肾上腺素	8.64(+1)			
丙基膦酸	2.49	8.18		
异丙基膦酸	2.66	8.44		
丙基次膦酸	3.46			
异丙基次膦酸	3.56			
N-丙基苯胺	7.20(+1)			
丙脒酸	4.26			
1-丙脒脒	10.86			
丙脒酸(氨基乙酸)	2.460			
丙脒脒	12.2			
丙脒	4.874			
1,5-戊二胺	10.05(+2)	10.916(+1)		
戊二酸	3.77	6.08		
戊二酸单酰胺	4.600(0)			
戊二酸亚胺	11.43			
3,5-戊二胺	8.24(烯醇)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK
戊酸	8.95(酮基)			
反戊烯二酸	4.14	9.07		
2-戊烯酸	3.77	5.08		
3-戊烯酸	4.70			
4-戊烯酸	3.32			
1-戊酸(戊酸)	4.677			
1-戊酸(戊酸)	4.642			
N-戊基丙胺	7.28(-1)			
甘油	14.15			
DL-甘油酸	3.64			
甘油基-1-磷酸	.....	5.656(-1)		
甘油基-2-磷酸	1.335(0)	5.656(-1)		
D-(+)-甘油糖	12.08			
鸟苷-3'-二磷酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $pK_2=0.6$)	.....	.....	2.9	6.3
鸟苷-5'-三磷酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $pK_3=7.16(-3)$, $pK_2=9.3(-4)$)	.....	.....	.....	5.0(-2)
鸟苷-3'-磷酸	0.7	2.3	5.92	9.38
鸟苷-5'-二磷酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)		2.4	6.1	9.4
鸟(嘌呤核)昔	1.9(-1)	9.25(0)	12.33(0H)	
白土黄碱	6.23(+1)			
白土木碱				
可可碱;3,7-二甲基黄嘌呤	6.68(+1)	7.89		
可待因	7.95(+1)			
D-(+)-半乳糖	12.35			
半乳糖-1-磷酸	1.00	5.17		
肌苷-2'-三磷酸($pK_3=7.68(-4)$)			2.2(-2)	6.92(-3)
腺苷-5' 磷酸	1.54(0)	6.66(-1)		
鸟氨酸二甲基酰胺	8.86(+1)			
肌酸(40°C)	3.28(+1)			
腺肌酸	2.84(+1)			
肌酸酐	3.57(+1)			
1,2-亚乙基二醇	14.22			
2,2'-亚甲基双(4-氯酚)	7.6	11.5		
2,2'-亚甲基双(4,6-二氯酚)	5.6	10.65		
亚甲基双(氯代乙酸)(18°C)	3.310	4.315		
亚甲基琥珀酸	3.85	5.45		
亚丙基双(氯代乙酸)(18°C)	3.435	5.383		
1,5-亚戊基双(氯代乙酸)(18°C)	3.435	4.413		
3,4-亚戊基戊二酸	3.49	6.96		
3,3'-亚氨基二丙酸	4.11(0)	9.51(-1)		
3,3'-亚氨基二丙酸(30°C)	8.02(-2)	9.70(+1)	10.70(0)	
2,2'-亚氨基二乙酸(二甘氨酸)(30°C, $I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.54(0)	9.12(-1)		
N-亚硝基亚氨基二乙酸	2.28	3.38		
4-亚硝基苯酸	6.48			
1-亚硝基羧酸	3.53			
2-亚硝基羧酸	4.10			
瘦肉精酸	3.879			
反肉桂酸	4.435			
次氯酸	1.79(+1)	8.51(0)	12.07(-1)	

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
溴苄啶	5.5			
溴苄(咪唑啶)甘氨酸	29.15(+2)	3.96(0)	12.36	
溴苄基-乙酸(NFA)(20℃)	1.66	2.94	19.33	
衣康酸	3.75	6.43		
二羧乙酸	6.29			
羧基咪唑啶	6.5(+1)	11.55		
吡啶碱	2.86(+1)	6.25(0)		
那可汀	3.13(+1)			
那可因(15℃)	3.5(+1)	9.3		
全氯化-苯酚(20℃)	4.36	6.68		
DL-组氨酸	3.7(+1)			
米涅斯明[C ₁₀ H ₁₁ N ₂]	6.26			
1,3-吡啶啉				
安妥比林				
吡啶卡宾	9.35(+1)			
吡啶	5.69(+1)			
吗啡(20℃)	7.87(+1)	9.85(0)		
吗林	6.492(+1)			
2-(N-吗啉代)乙基羧酸(MES)(20℃)	6.15			
3-(N-吗啉代)-2-羟基(丙)磺酸(37℃)	6.75			
5-(N-吗啉代)丙磺酸(20℃)	7.29			
吡啶	5.17(+1)			
吡啶-6	5.63(+1)			
吡啶-2,3-二羧酸	2.36(+1)	7.08(0)		
吡啶-2,4-二羧酸	2.20(+2)	7.02(0)		
吡啶-2,5-二羧酸	2.16(+1)	6.92(0)		
2-吡啶甲酸	3.64(+1)			
3-吡啶甲酸	3.80(+1)			
4-吡啶甲酸	4.74(+1)			
5-吡啶甲酸	3.42(+1)	10.22(0)		
5-吡啶甲酰胺	4.07(+1)	10.39(0)		
4-吡啶甲酰胺	4.73(+1)	10.03(0)		
2-(2'-吡啶基)丙氨酸	1.37(+2)	4.02(+1)	9.22(0)	
3-(3'-吡啶基)丙氨酸	1.77(+2)	4.64(+1)	9.20(0)	
2-(2'-吡啶基)苯并咪唑($I=0.16\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.58(+1)			
2-(2'-吡啶基)咪唑($I=0.005\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	6.98(+1)			
4-(2'-吡啶基)咪唑($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.49(+1)			
吡啶-1-氯化物	0.684(+1)			
3-吡啶胺(烟酰胺)	3.33(+1)			
3-吡啶胺	1.35(+1)			
3-吡啶羧酸乙酯	3.35(+1)			
4-吡啶羧酸乙酯	3.43(+1)			
4-吡啶羧酸甲酯	3.26(+1)			
吡啶-2-胺酸(吡啶甲酸)	1.41(+1)	5.29(0)		
吡啶-5-胺酸(烟酸)	2.02(+1)	1.15(0)		
吡啶-4-胺酸(异烟酸)	1.41(+1)	4.85(0)		
吡啶烷	11.30(+1)			
吡啶烷-2-胺酸(烟酰胺)	1.22(+1)	10.55(0)		
2-[2-(N-吡啶基)乙基]吡啶	3.60(+2)	9.39(+1)		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-[2-(N-吡咯烷基)乙基]吡啶	4.28(-2)	9.28(+1)		
4-[2-(N-吡咯烷基)乙基]吡啶	4.65(-2)	9.27(-1)		
2-(1-吡咯烷基甲基)吡啶	2.54(+2)	8.56(+1)		
3-(1-吡咯烷基甲基)吡啶	3.14(-2)	8.38(+1)		
4-(1-吡咯烷基甲基)吡啶	3.38(-2)	8.16(+1)		
3-吡啶啉	-0.27(-1)			
吡啶酰胺	11.11(+1)			
吡啶-1-羧酸	4.45			
吡啶-2-羧酸	4.45			
吡啶-3-羧酸	4.453			
吡啶酸(维生素 B ₆)($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.37(+2)	8.01(+1)	10.15(环OH)	
吡啶酸-3-磷酸盐($I=0.15\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)($pK_3=10.92$)	2.5	3.69	5.76	8.61
吡啶素(维生素 B ₆)(8℃)	5.00(-1)	8.96(环OH)		
吡啶酸(维生素 B ₆)	4.20(+1)	8.66(环OH)		
吡啶酸-5-磷酸盐($I=0.15\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<2.5	4.14	6.20	8.60
吡啶	2.61(+1)			
吡嗪	0.6(+1)			
吡嗪羧基酰胺	0.5(+1)			
吩嗪	1.2(+1)			
2-呋喃甲酸(2-羧酸)	3.164			
α -D-呋喃核糖	13.11			
奎宁丁	5.85(-2)	9.92(+1)		
1,8-辛烷二酸(辛二酸)	4.512	5.404		
苄胺	10.65(+1)			
苯胺	4.895			
谷胱甘肽	2.12(+1)	3.53(0)	8.56	9.12
芸香碱	6.87			
苄胺	9.35(+1)			
苄胺-4-羧酸	2.59	9.64		
卡基丁二酸(20℃)	4.11	5.65		
2-苄基吡啶	5.13(+1)			
4-卡基吡啶-1-氢化物	-1.618(+1)			
1-苄基吡啶烷	9.51(+1)			
2-苄基吡啶烷	10.31(+1)			
2-苄基-2-苄基丁二酸(20℃)	3.69	6.47		
3-(羊齿烯)丙酸	4.403			
阿米蒂里卡因		9.5(+1)		
阿尿酸	6.64			
阿朴吗啡(15℃)		8.92		
D-(+)-阿(拉伯)糖				
腺苷	9.30			
腺苷 5'-二磷酸	7.16			
腺苷 3'-三磷酸	7.58			
腺苷-5'-磷酸(5'-腺苷酸)	6.63			
尿酸	5.40	5.53		
尿酸素	8.56			
芽子碱	10.91			
α -D-米芬糖	12.11			
安卢氯酯	10.03	11.62		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
L-(+)-抗坏血酸(维生素C)		11.82		
麦角酸	3.44(+1)	7.68(0)		
异麦角酸	3.32(0)	8.46(NH)		
麦角酮(20℃)	8.15			
麦角异新碱	7.32(+1)			
麦角甾文	6.73(+1)			
环丁基羧酸	4.785			
1,1-环丁二羧酸	3.13	5.88		
顺-1,2-环丁二羧酸	3.90	5.89		
反-1,2-环丁二羧酸	3.79	5.61		
顺-1,3-环丁二羧酸	4.04	5.31		
反-1,3-环丁二羧酸	3.81	5.28		
顺-1,2-环己二羧酸(20℃)	4.34	6.75		
反-1,2-环己二羧酸(20℃)	4.18	6.93		
顺-1,3-环己二羧酸(15℃)	4.10	5.46		
反-1,3-环己二羧酸(19℃)	4.31	5.71		
反-1,4-环己二羧酸(15℃)	4.18	5.42		
顺-1,2-环己二胺	6.43(+2)	9.93(-1)		
反-1,2-环己二胺	6.34(+2)	9.74(-1)		
1,3-环己二酮	5.26			
顺,顺-1,3,5-环己三胺	6.3(+3)	8.7(+2)	10.4(-1)	
环己(酮)亚胺	9.15			
环己胺	10.44(+1)			
2-(环己氨基)乙酸(20℃)(CHES)	3.55			
3-环己氨基-1-丙磺酸(20℃)(CAPS)	10.40			
顺-4-环己烯-1,2-二羧酸(20℃)	3.89	6.78		
反-4-环己烯-1,2-二羧酸(20℃)	3.95	5.81		
环己基乙酸	4.51			
1,1-环己基二乙酸	3.49	6.96		
顺-1,2-环己基二乙酸(20℃)	4.42	5.43		
反-1,2-环己基二乙酸(20℃)	4.38	5.42		
1,1-环己基二羧酸	3.45	4.11		
1,2-亚环己基二(次)氨基乙酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.4	3.5	6.16	12.35
4-环己基丁胺	4.95			
3-环己基丙胺	4.01			
2-环己基吡咯烷	10.76(+1)			
2-环己基-2-吡咯啉	7.91(+1)			
环己基硫代乙酸	3.488			
环己基氧乙酸	3.367			
环己基羧酸	4.90			
环丙烷甲酸	4.827			
环丙烷-1,1-二甲酸	1.82	5.42		
顺环丙烷-1,2-二甲酸	3.33	6.47		
反环丙烷-1,2-二甲酸	3.65	5.13		
5-环丙基-1,2,3,4-四唑	4.90(+1)			
环丙基胺	9.10(+1)			
环戊甲酸	4.905			
环戊烷-1,2-二胺- N,N,N',N' -四乙酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)				10.20
顺环戊烷-1-甲酸-2-乙酸	4.40	5.29		

续表

物 质	p <i>K</i> ₁	p <i>K</i> ₂	p <i>K</i> ₃	p <i>K</i> ₄
反-环戊烷-1-甲酸-2-乙酸	4.39	5.67		
环戊烷-1,1-二甲酸	3.23	4.03		
顺环戊烷-1,2-二甲酸	4.41	6.57		
反环戊烷-1,2-二甲酸	3.96	5.85		
顺环戊烷-1,3-二甲酸	4.26	5.51		
反环戊烷-1,3-二甲酸	4.32	5.42		
1,1-环戊基乙酸	3.86	6.77		
顺环戊基-1,2-二乙醇	4.42	5.42		
反环戊基-1,2-二乙醇	4.43	5.43		
戊酰胺	10.65(+1)			
环氧乙酸二磺酸, 顺	1.93	3.92		
环氧乙酸二磺酸, 反	1.93	3.27		
苯乙酸	1.312			
苯乙基硫代乙酸	3.795			
β -苯乙基羧酸	10.6			
邻苯二甲酸酐	3.79(+)			
邻苯二甲酸酐胺	9.30(+)			
邻苯二甲酸	2.950	3.408		
1,4-苯二甲酸一酐	3.55(+)			
1,3-苯二甲酸一酐	3.60(+)			
1,4-苯二甲酸(对苯二酸)	3.54(+)	4.46(+1)		
1,3-苯二甲酸(异酞酸)	3.62(+)	4.69(+1)		
2-苯二胺	<2(-2)	4.47(+1)		
3-苯二胺	2.65(+2)	4.88(+1)		
4-苯二胺	3.29(+2)	6.08(+1)		
邻苯二酚苯, 邻苯二酚磺酸	7.42	9.76	11.73	
苯二胺	11.08(+1)			
1,2,3-苯三甲胺	2.88	3.75	5.15	
1,2,4-苯三甲胺	2.72	3.84	5.20	
1,3,5-苯三甲胺	2.12	5.19	5.16	
1,2,3,4-苯四甲胺	2.05	3.25	4.75	6.21
1,2,3,5-苯四甲胺	2.38	3.51	4.44	5.81
1,2,4,5-苯四甲胺	1.72	2.87	4.49	5.63
苯五甲胺(p <i>K</i> ₁ —6.46)	1.90	2.77	3.96	5.25
苯六甲胺(p <i>K</i> ₁ —6.32, p <i>K</i> ₂ —7.49)	0.68	2.21	3.52	5.06
3-苯甲胺 1,1,1-三氯丙酮	6.35			
1-苯甲酰丙酮	8.54			
苯甲酰丙酮酸	6.40	12.10		
2-苯甲酰基甲胺	3.54			
苯甲酰胺	3.03(+2)	12.45(+1)		
苯甲酰胺	9.34(+1)			
苯甲胺	5.234			
苯-1-甲酸-2-磺酸		5.78	9.17	
苯-1-甲酸-3-磺酸		4.03	7.03	
苯-1-甲酸-4-磺酸	1.60	2.95	6.89	
吡肼	5.20(+)			
苯并三唑	8.38(+1)			
苯并噁唑	5.45(+1)	12.3(+)		
3,6-苯并咪唑(20℃)	5.90(+1)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
7,8-苯并喹琳(20℃)	4.15(+1)			
苯腈(22℃)		3.48(-1)		
苯-1-腈酸-4-羧酸		4.22(COOH)	8.59	
2-苯氨基乙磺酸				
3-苯氨基乙磺酸				
苯亚氨基二乙酸(20℃)	2.40	4.98		
苯氨基乙酸	3.171			
5-苯氨基-1,2,3,4-四唑	3.49(+1)			
2-苯氧基苯甲酸	3.53			
3-苯氧基苯甲酸	3.957			
4-苯氧基苯甲酸	4.52			
2-苯基乙腈	9.83(+1)			
苯基丁二酸(20℃)	3.78	5.55		
苯基丁腈	4.5(-1)			
4-苯基丁酸	4.767			
苯基噻唑	1.8(+1)			
1-苯基-1,2,3-三唑-4-羧酸	2.88			
1-苯基-1,2,3-三唑-4,5-二羧酸	2.13	4.93		
5-苯基-1,2,3,4-四唑	4.38(+1)			
1-苯基双胍	2.13(+2)	10.76(+1)		
5-苯基巴比土酸	2.514(+1)			
苯基甲酰胺	10.70			
苯基丙二酸	2.58	5.05		
2-苯基丙酸	4.38			
3-苯基丙酸(35℃)	4.664			
苯基丙炔酸(35℃)	2.269			
3-苯基-1丙胺	10.39(+1)			
2-苯基-2-苯基琥珀酸	3.69	6.47		
2-苯基-2-苯基琥珀酸(20℃)	3.74	6.52		
2-苯基苯酚	9.55			
3-苯基苯酚	9.63			
4-苯基苯酚	9.55			
N-苯基吡啶($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	8.71(+1)			
苯基胍	10.77(+1)			
苯基磺代乙酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.75			
1-3-苯基- α -氨基丙酸	2.16(+1)	9.21(0)		
3-苯基- α -氨基丙酸,甲酯	7.05(+1)			
同苯基甜菜碱				
对苯基甜菜碱				
2-苯基-2-羟基丙酸	3.53			
5-苯基-3-羟基丙酸	4.40			
苯基异羟肟酸(20℃)	8.89(0)			
苯偶酰- α -二酚	1.20			
7-苯偶氮基-8-羟基-5-噻唑磺酸	3.41(0)	7.850(-1)		
苯磺酸	4.79			
苯酚	9.39			
苯酚磺酸	7.9			
3-苯酚磺酸	—	9.05(-1)		
苯酚-3-羧酸	1.78	7.03	10.2	

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
苯酚-4-磺酸	1.99	7.25	9.9	
苯酚酚	6.50			
1,4-苯醌单酚	6.20			
苯磺酰基乙酸	2.44			
苯磺酰基乙酸	2.66			
苯磺酸	0.70			
苯重磺酸	1.50			
苯磺酸(17℃)	2.1			
苯磺酸(25℃)	1.83	7.07		
磺-N,N'-二乙酸	<0.1	2.8	3.8	
磺-N,N'-二乙酸	2.40	3.12	7.32	
4-磺基吡啶(20℃)	1.82	3.52	10.79	
肾上腺素,对映体	9.39(+1)			
吡啶	6.35			
松香酸	7.62			
2,4-庚二酮	8.43(酮基)			
	9.15(烯醇)			
炭酸	4.893			
炭二酸	4.484	5.424		
金属指示剂	.....	4	7.85	15
金霉素		7.44	9.27	
异金霉素	3.1(+1)	6.7(0)	8.3(-1)	
苦味酸(2,4,6-三羟基苯酚)(18℃)	0.419			
柠檬碱	7.34(+1)			
4-吡啶醇	10.32			
咖啡碱(40℃)	10.4			
毒芹碱($T=0.5\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	11.24(+1)			
毒芹豆碱	1.76(+1)	7.88(0)		
D-(+)-果糖	12.03			
L-(+)-乳酸	3.858			
海因[俗],乙内酰脲	9.12			
海洛因	7.6(+1)			
茜素黑 SN	5.79	12.8		
茜素黑-3-磺酸	5.54	11.01		
茶碱;1,3-二甲基黄嘌呤	<1(+1)	8.80		
茶林酸	4.52			
草酸	1.271	4.272		
扁桃酸	3.411			
癸二酸	4.59	5.59		
氟乙酸	2.586			
3-氟代丙烯酸	2.55			
氟代扁桃酸	4.214			
4-氟代苯乙酸	4.25			
2-氟代吡啶	-0.44(+1)			
3-氟代吡啶	2.97(+1)			
2-氟代苯氧基乙酸	3.08			
3-氟代苯氧基乙酸	3.08			
4-氟代苯氧基乙酸	3.13			
2-氟苯甲酸	3.27			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-氯苯甲酸	3.865			
4-氯苯甲酸	4.14			
3-氯苯乙酸	4.34			
4-氯苯乙酸	4.50			
2-氯苯胺	3.20(-1)			
3-氯苯胺	3.58(-1)			
4-氯苯胺	4.65(-1)			
2-氯苯酚	8.73			
3-氯苯酚	9.29			
4-氯苯酚	9.89			
2-氯苯甲酸	1.64	6.89		
5-氯尿嘧啶	8.00(0)	约13(-1)		
胞苷-2'-磷酸	0.8(+1)	4.36(0)	6.17(-1)	
胞苷-3'-磷酸	0.80(+1)	4.31(0)	6.04(-1)	13.2(糖)
胞苷-5'-磷酸	—	4.39(0)	6.02(-1)	
胞嘧啶	4.58(+1)	7.15(0)		
胞(嘧啶核)苷	4.08(+1)	12.24(0)		
腺	3.3(+1)	9.2	12.3	
腺基乙酸	2.82(-1)			
腺脱氧核苷-5'-磷酸	—	2.9	6.4	9.7
腺苷	9.79	12.85		
哈尔明,骆驼蓬碱(20℃)	7.61(+1)			
咪唑	7.03(+1)			
咪唑啉-2-酮(仲羧酸)	8.10			
2-(4-咪唑基)乙醇	5.784(+2)	9.756(-1)		
4-(4-咪唑基)丁酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	4.26(+1)	7.62(0)		
3-(4-咪唑基)丙酸($I=0.16\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.96(+1)	7.57(0)		
咪唑	2.33(+1)			
咪唑	5.333(+2)	9.781(+1)		
1,4-咪唑双(乙磺酸)(20℃)	9.80			
咪唑-2-羧酸	1.5	5.41	9.53	
腺苷	11.123(+1)			
2-咪唑羧酸	2.12(+1)	10.75(0)		
3-咪唑羧酸	3.35(+1)	10.64(0)		
4-咪唑羧酸	3.73(+1)	10.72(0)		
1-(2-咪唑基)-2-丙酮(15℃)	3.45			
胡椒碱(15℃)	3.88(+1)			
柯卡因	8.41(-1)			
卓阿卡因(15℃)	9.68(+1)			
柠檬酸	2.29(0)	8.15(-1)		
柠檬酸	3.128	4.761	6.396	
秋水仙碱	1.65(+1)			
奎宁,金鸡纳霜	4.11(+1)	8.52(0)		
奎尼丁	4.20(+1)	8.54(0)		
燕麦草碱(18℃)	4.01	11.39		
柱状剂	3.7	8.3	11.8	
钙黄绿素($pK_2>12$)	<4	5.4	9.0	10.5
氢过氧化枯烯	12.60			
氧代乙酸(乙醛酸)	3.46			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-氧代丁二酸(草酰乙酸)	2.55	4.37		
2-氧代丁酸	2.50			
5-氧代己酸(18℃)	4.662			
2-氧代丙二酸	3.60			
2-氧代丙酸(丙酮酸)	2.43			
3-氧代-1,5-戊二酸	3.10			
4-氧代戊酸(乙酰丙酸)	4.59			
<i>N</i> -(2-氧乙基)吗啉	4.06(+2)	9.15(+1)		
2-(2-氧乙基)吡啶($I=0.5\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	4.24(+2)	9.78(+1)		
<i>N</i> -(2-氧乙基)吡咯烷(30℃)	6.50(-2)	9.74(+1)		
对(2-氧乙基)苯酚	9.3	10.9		
3-(2-氧乙基)吡啶	—	10.2		
<i>N</i> -(2-氧乙基)哌啶(30℃)	6.38	9.89		
2-[2-(2-氧乙基)氧乙基]吡啶	3.50	6.59	9.51	
2-氧乙基膦酸	2.45(-1)	7.0(0)	10.8(-1)	
3-氧甲基-6-甲基吡啶(30℃)	8.70(+1)			
(2-氧甲基)吡啶($I=0.5\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.31(+2)	8.75(+1)		
氧甲基膦酸	2.35	5.9	10.8	
1-氧基乙烷磺酸	-0.33	9.06		
2-氧基乙烷磺酸	1.5	9.05		
2-氧基乙烷-1-磷酸	5.858	10.64		
2-氧基-2-乙基-1-丁醇	9.82(+1)			
3-氧基- <i>N</i> -乙基-3-甲基-2-丁酮肟	9.23(+1)			
4-氧基-3-乙基吡啶(20℃)	9.51(+1)			
2-氧基乙酰胺	7.95(+1)			
氧基乙醇	5.34(+1)			
2-氧基乙醇(乙醇胺)	9.50(+1)			
2-氧基乙磺酸($I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)(半胱胺)	8.23(+1)			
4-氧基-3,5-二甲基吡啶(20℃)	9.54(+1)			
4-氧基-2,5-二甲基苯酚	5.28(+1)	10.40(0)		
4-氧基二苯(甲)酮	2.15(+1)			
2-氧基- <i>N,N</i> -二甲基苯甲酸	1.63(+2)			
1-氧基-2-二(氧甲基)乙烷	3.58(+3)	8.42(0)		
2-氧基- <i>N,N</i> -二羟乙基-2-羟-1,3-丙二醇	6.484(+1)			
12-氧基十二(烷)酸	4.648(+1)			
D-(+)-2-氧基-1-丁醇	9.52(+1)			
3-氧基- <i>N</i> -丁基-3-甲基-2-丁酮肟	9.09(+1)			
4-氧基丁基膦酸	2.55	7.55	10.9	
3-氧基-2,4,6-三硝基甲苯				
4-氧基水杨酸	1.99(+1)	3.917(0)	13.74	
5-氧基水杨酸	2.74(+1)	5.54(0)		
4-氧基-2,3,5,6-四甲基吡啶(20℃)	10.58(+1)			
5-氧基-1,2,3,4-四唑(20℃)	1.75	6.07		
2-氧基-6-甲氧(基)苯并噻唑	4.50(+1)			
1-氧基-3-甲基丁烷	10.64(+1)			
3-氧基-3-甲基-2-丁酮肟	9.09(+1)			
3-氧基- <i>N</i> -甲基-3-甲基-2-丁酮肟	9.23(+1)			
2-氧基-2-甲基-1,3-丙二醇	8.801			
2-氧基-2-甲基-1-丙醇	9.694(+1)			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-氨基-3-甲基吡啶	7.24(+1)			
4-氨基-3-甲基吡啶	9.43(+1)			
2-氨基-4-甲基吡啶	7.48(+1)			
2-氨基-5-甲基吡啶	7.22(+1)			
2-氨基-6-甲基吡啶	7.41(+1)			
2-氨基-4-甲基吡啶(20°C)	4.11(-1)			
氨基甲基磺酸	5.75(+1)			
3-氨基-4-甲基苯磺酸	3.633			
4-氨基-3-甲基苯磺酸	3.125			
2-氨基-4-甲基苯并噻唑	4.7(+1)			
N-氨基甲酰基乙酸	3.04			
2-氨基甲酰基吡啶(20°C)	2.10(+1)			
3-氨基甲酰基吡啶	3.328(+1)			
4-氨基甲酰基吡啶(20°C)	3.61(+1)			
1-氨基-1,2,3-丙三羧酸($I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.10(+1)	3.60(0)	4.60(-1)	9.82(-2)
3-氨基丙炔	9.68(+1)			
3-氨基-N-丙基-3-甲基-2-丁酮肟	9.09(+1)			
3-氨基-N-异丙基-3-甲基-2-丁酮肟	9.08(+1)			
4-氨基-3-异丙基吡啶(20°C)	9.54(+1)			
2-氨基丙炔磺酸	-	9.13		
1-氨基-1-丙醇	9.96(-1)			
1,1'-2-氨基-1-丙醇	9.169(+1)			
3-氨基-1-丙醇	9.96(+1)			
N-氨基吗啉	4.19(+1)			
2-氨基吡啶(20°C)	9.35(+1)			
4-氨基安替比林	4.94(+1)			
2-氨基苄	10.34(+1)			
2-氨基吡啶	6.71(+1)			
3-氨基吡啶	6.03(+1)			
4-氨基吡啶	9.114(+1)			
2-氨基吡啶-1-氧化物	2.58(+1)			
3-氨基吡啶-1-氧化物	1.47(+1)			
4-氨基吡啶-1-氧化物	3.54(+1)			
2-氨基苯磺	2.75(-1)			
4-氨基卡腓	1.74(+1)			
7-氨基庚酸	4.502			
(1'-氨基-C-吡啶基)甲炔	2.38(-2)	7.69(-1)		
1-氨基环丙烷	9.10(+1)	8.11	11.25	
1-氨基环戊烷	10.65(+1)			
1-氨基-1-环戊烷羧酸	2.59(+1)	10.46(0)		
1-氨基-1-环己烷羧酸	2.65(+1)	10.03(0)		
2-氨基-1-环己烷羧酸	3.56(+1)	10.21(0)		
4-氨基苯乙酸(20°C)	3.60	5.26		
2-氨基苯甲酰胺	1.85	3.47	12.80	
2-氨基苯甲酸	2.09(+1)	4.79(0)		
2-氨基苯甲酸, 甲酯	2.36(+1)			
3-氨基苯甲酸	3.07(+1)	4.79(0)		
5-氨基苯甲酸, 甲酯	3.58(+1)			
4-氨基苯甲酸	2.41(-1)	4.85(0)		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-氨基苯甲酸(25℃)	2.45(+1)			
3-氨基苯甲酸	2.92	3.77	8.06	
3-氨基苯甲酸	2.92	4.02	8.52	
4-氨基苯甲酸	2.92	4.02	8.62	
2-氨基苯酚	9.28	9.72		
3-氨基苯酚	9.33	9.57		
4-氨基苯酚	9.50	10.39		
1-氨基-2-(4-氨基苯基)乙	1.36			
2-氨基-2-萘酚	4.40	8.81		
1-氨基-2-萘酚	3.71	9.17		
2-氨基-2-萘酚	—	4.10	7.29	
3-氨基-2-萘酚	—		7.16	
4-氨基-2-萘酚	—		7.55	
2-氨基-2-萘酚	4.2(+1)	7.95(+1)		
2-氨基-2-萘酚(25℃)	4.48(+1)			
2-氨基-2-萘酚	2.45(+1)			
2-氨基-2-萘酚	3.73(+1)			
1-氨基-2-萘酚	3.72(+1)			
1-氨基-2-萘酚	—			
10-氨基-2-萘酚	2.05(+1)	8.54(+2)	9.66(+1)	
1-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	7.4(+1)			
1-氨基-2-萘酚	3.2			
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	1.53(+1)			
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	2.34	4.07		
1-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	9.3(+1)			
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	9.12(+1)			
2-氨基-2-萘酚	10.27			
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	2.20(+1)	9.08(+1)		
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	1.8(+1)	7.9(+1)	10.5(+1)	
2-氨基-2-萘酚	3.78(+1)			
2-氨基-2-萘酚	4.18(+1)			
2-氨基-2-萘酚	4.7(+1)			
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	2.3(+1)	3.192(+1)	10.115(+1)	
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	6.27(+1)			
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	4.58(+1)	12.15(+1)		
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	7.47(+1)			
2-氨基-2-萘酚(2-萘酚)	7.0(+1)			
2-氨基-2-萘酚	2.61	4.35		
2-氨基-2-萘酚	2.89	6.46		
2-氨基-2-萘酚	4.20(+1)			
2-氨基-2-萘酚	2.81			
2-氨基-2-萘酚	1.71			
2-氨基-2-萘酚	5.26			
2-氨基-2-萘酚	2.48			
2-氨基-2-萘酚	3.80			
2-氨基-2-萘酚	3.66			
2-氨基-2-萘酚	5.03			
2-氨基-2-萘酚	2.35			
2-氨基-2-萘酚	5.70			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-氨基- <i>N</i> -萘磺酸	5.75	8.96		
2-氨基-3-萘磺酸	5.85			
5-氨基咪唑(20℃, $I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.46(+1)			
6-氨基咪唑(20℃, $I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.61(+1)			
8-氨基咪唑(20℃, $I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.55(+1)			
2-氨基咪唑(20℃, $I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	7.34(+1)			
3-氨基咪唑(20℃, $I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	4.55(+1)			
4-氨基咪唑(20℃, $I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	9.17(+1)			
7-氨基异咪唑(20℃, $I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	7.67(+1)			
3-氨基异咪唑(20℃, $I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.05(+1)			
8-氨基咪唑	4.86(+1)			
2-氨基咪唑(20℃)	5.58(+1)			
2-氨基-3-萘磺酸	1.38(+2)	8.70(+2)		
3-氨基酚苯甲酸	3.54			
4-氨基酚苯甲酸	3.47			
4-氨基酚苯甲酸	3.42	6.38	10.6	
胰蛋白酶($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	6.35			
豚草碱	1.40	8.20		
DL-亮氨酸	2.35	9.80	8.68	11.25
DL-缬氨酸	1.60	9.50	8.72	11.54
D-酒石酸	3.056	4.366		
酒石酸,内消旋	3.28	4.81		
烟碱,尼古丁	2.15(+1)	7.87(+2)		
烟碱碱	4.76(+1)			
核黄素(维生素B ₂)($I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.9-4.2	9.69		
1-核糖-5'-磷酸	-----	6.76(+1)	11.95(+2)	
咪唑-3-乙酸	4.75			
3-萘酚(3-萘醇)	10.34(---)			
骨胶原;胶原蛋白	6.6	9.23	10.50	
例子甲壳素	10.83			
2-氨基-3-萘酸	3.68	8.37		
D-麻黄碱	10.130			
L-麻黄碱	9.958			
氯乙酸	2.85			
1-氯-2,6-二甲基-4-羟基苯	9.540			
4-氯-2,6-二羟基苯酚	2.97			
1-氯-1,2-二羟基苯	8.522			
3-氯丁基醇(18℃)	3.95	8.85		
2-氯丁酸	2.96			
3-氯丁酸	4.05			
4-氯丁酸	4.50			
3-氯己基-1-醇(18℃)	3.51	8.31		
2-氯巴豆酸	3.14			
3-氯巴豆酸	3.64			
2-氯异巴豆酸	2.80			
3-氯异巴豆酸	4.02			
2-氯代-3-丁烯酸	2.57			
2-氯四咪唑	3.30(+1)	7.44	9.25	
2-氯-2-氨基丙酸	2.475			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-氯-4-甲基苯胺	4.05(-1)			
4-氯-N-甲基苯胺	5.36(+1)			
4-氯-N-甲基苯胺	9.549			
3-氯邻甲苯胺	2.49(+1)			
4-氯邻甲苯胺	3.385(+1)			
5-氯邻甲苯胺	3.85(+1)			
6-氯邻甲苯胺	3.62(+1)			
N-氯对甲苯磺酰胺	4.54(+1)			
氯甲基胂酸	5.40	6.30		
3-氯-4-氨基苯基胂酸	2.25	6.7		
氯丙炔酸	1.845			
2-氯丙腈(18℃)	3.76	8.39		
3-氯丙腈(18℃)	3.63	8.53		
氯丙烷	8.04(+1)			
顺-3-氯丙烯酸(18℃, $I=0.1\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	3.32			
反-3-氯丙烯酸(18℃, $I=0.1\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	3.65			
2-氯丙酸	2.84			
3-氯丙酸	3.992			
2'-氯肉桂酸, 反式	4.234			
3'-氯肉桂酸, 反式	4.294			
4'-氯肉桂酸, 反式	4.413			
3-氯(代)乳酸	3.12			
2-氯吡啶	0.49(+1)			
3-氯吡啶	2.84(+1)			
4-氯吡啶	3.83(+1)			
2-氯苯乙酸	4.066			
3-氯苯乙酸	4.140			
4-氯苯乙酸	4.190			
4-氯-1,2-邻苯二甲酸	1.60			
2-氯苯甲酸	2.877			
3-氯苯甲酸	3.83			
4-氯苯甲酸	3.986			
3-(2'-氯苯)丙酸	4.577			
3-(3'-氯苯)丙酸	4.585			
3-(4'-氯苯)丙酸	4.607			
5-氯苯戊基-1-醇酸(18℃)	3.71	8.77		
4-氯苯腈	3.33	8.25		
2-氯苯胺	2.64(+1)			
3-氯苯胺	3.52(+1)			
4-氯苯胺	3.99(+1)			
3-氯苯乙酸	4.47			
4-氯苯乙酸	4.48			
2-氯苯氨基乙酸	3.65			
3-氯苯氨基乙酸	3.67			
4-氯苯氨基乙酸	3.70			
4-氯苯氨基-2-甲基乙酸	3.20			
3-氯扁桃酸	3.237			
1-氯苯酚	5.9			
2-氯苯腈	1.63	5.98		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
1-氯苯甲酸	1.55	6.65		
4-氯苯甲酸	1.66	6.75		
4-氯-2-硝基苯酸	-1.10(+1)			
2-氯-3-硝基苯甲酸	2.02			
2-氯-4-硝基苯甲酸	1.96			
2-氯-5-硝基苯甲酸	2.17			
2-氯-6-硝基苯甲酸	1.342			
2-氯-6-硝基苯胺	-2.41(+1)			
4-氯-2-硝基苯胺	6.48			
(4-氯-3-硝基苯氨基)乙酸	2.959			
2-氯-4-硝基苯甲酸	1.12	6.14		
3-氯-2-(羟甲基)苯甲酸(20℃)	3.27			
6-氯-2-(羟甲基)苯甲酸(20℃)	2.25			
2-氯-3-羟苯丁酸	2.59			
7-氯-8-羟基喹啉-5-磺酸	2.92	6.80		
2-氯酚	8.55			
3-氯酚	9.10			
4-氯酚	9.43			
4-氯-2-(2'-噻唑基偶氮)(苯)酚	7.09			
1-萘胺	3.92(+1)			
2-萘胺	4.11(+1)			
1-萘基乙酸	4.226			
2-萘基乙酸	4.256			
1-萘基甲酸	3.65	8.55		
1-萘酚(20℃)	9.30			
2-萘酚(20℃)	9.57			
2-萘甲酸	4.164			
1-萘甲酸(1-萘甲酸)	3.695			
萘酚单胺	8.01			
1-萘磺酸	0.57			
萘磺酸($f=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	4.895(+2)	8.90(-1)		
萘磺酸	1.649(+2)	4.936(+1)	8.063(0)	
1.7-菲咯啉	4.30(+1)			
1.10-菲咯啉	4.657(+1)			
6.7-菲咯啉	4.857(+1)			
菲胺	5.58			
黄苔	<2.5(+1)	5.67(0)	12.00(-1)	
黄嘌呤(40℃)	0.88(+1)	9.01		
假托品	9.86(+1)			
假芽子碱	9.73			
假异氰胺($f=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	4.55(+2)			
偶神乙酸		4.67	7.88	
偶神丁酸		4.92	7.64	
偶神丙酸		4.29	8.60	
2-偶神巴豆酸		4.61	8.75	
3-偶神巴豆酸		4.03	8.81	
偶神戊酸		4.89	7.75	
偶神庚(11.0A) [$0.5(-4)$, $pK_4=12.0(-5)$]		1.2	2.7	7.9(-3)
顺水阔叶千里光裂碱				

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-脱氧鸟苷($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.5(+1)			
5-脱氧吡哆醛($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	4.17(+1)	8.14(OH)		
脱氧抗坏血酸(20℃)	3.21	7.92	10.3	
2'-脱氧腺苷($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.8(+1)			
脱氧胆酸	6.58			
2-脱氧葡萄糖	12.52			
α -羧基丁酸	3.886(0)			
γ -羧基丁酸	4.683(0)			
β -羧基丁酸	4.487(0)			
甜菜碱	1.832(-1)			
铬天青S	2.45	4.86	11.47	
铬黑蓝	7.56	9.3	12.4	
烯丙胺	9.69(+1)			
烯丙基乙酸	4.68			
5-烯丙基巴比土酸	4.78(+1)			
5-烯丙基-5-(1-甲丁基)巴比土酸	8.06			
2-烯丙基丙氨酸	4.72			
2-烯丙基苯酚	10.28			
1-烯丙基吡啶	9.65(+1)			
维生素 P_{12}	7.64(+1)			
清蛋白(牛血清)($I=0.15\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	10-10.3			
3-硝代氨基酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.8(+1)			
蔗糖	2.80			
酚酞	9.4			
偶氮树脂;脱甲奎宁	7.53(+1)			
N -(2-羟乙基)乙二胺	7.21(+2)	0.12(+1)		
N' -(2-羟乙基)乙二胺- N,N,N' -三乙醇	2.39	5.37	9.93	
2-羟乙基三甲基胺	8.94(+1)			
N -(羟乙基)双胺	2.8(+2)	11.53(+1)		
N -(2-羟乙基)亚氨基乙二胺($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.2	8.85		
N -(2-羟乙基)咪唑- N' -乙磺酸(20℃)	7.55			
4'-(2-羟乙基)-1'咪唑丙磺酸(20℃)	8.00			
2-羟甲基-2-苯乙酸	4.12			
羟甲基磺酸	1.91	7.15		
2'-羟苯乙酮	9.90			
4'-羟苯乙酮	8.05			
N -羟基乙酰胺	9.40			
3'-羟基乙酮	9.19			
1-羟基-2,4-二羟基甲苯	9.79			
DL-羟基丁二酸(苹果酸)	3.458	5.097		
L-羟基丁二酸	3.40	5.05		
2-羟基丁酸(30℃)	3.65			
L-3-羟基丁酸(30℃)	4.41			
4-羟基丁酸(30℃)	4.71			
4-羟基- α,α,α -三叔甲基	8.675			
1-羟基-2,4,6-三羟基甲苯	9.56			
10-羟基可待因	7.12			
羟基四环素	3.27(+1)	7.32(0)	9.11(-1)	
...羟基-1,2,3,4-四唑	3.32			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-羟基甲苯	10.33			
3-羟基甲苯	10.10			
4-羟基甲苯	10.276			
1-羟基甲苯酚	9.95			
4-羟基甲脲	7.95			
2-羟基-2-甲基丁酸(18℃)	3.991			
3-羟基-2-甲基丁酸(18℃)	4.648			
2-羟基-2-甲基丙酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.717			
4-羟基-4-甲基戊酸(18℃)	4.873			
2-羟基-4-甲基吡啶	4.529(+1)			
(2-羟基-5-甲基苯)甲醇	10.15			
2-羟基-3-甲基苯甲酸	2.99			
2-羟基-4-甲基苯甲酸	3.17			
2-羟基-5-甲基苯甲酸	4.68			
2-羟基-6-甲基苯甲酸	3.32			
1-(1-羟基-1-甲基-2-苯偶氮)-2-萘酚-4-磺酸	8.14	12.25		
8-羟基-2-甲基喹啉	5.55(-1)	10.31(0)		
8-羟基-4-甲基喹啉	5.56(-1)	10.00(0)		
8-羟基-2-甲基喹啉-5-磺酸	4.80(0)	9.30(-1)		
8-羟基-4-甲基喹啉-7-磺酸	4.78(0)	10.01(-1)		
8-羟基-6-甲基喹啉-5-磺酸	4.20(0)	8.7(-1)		
4-羟基-3-甲氧基苯甲酸	4.355			
2-羟基-3-甲氧基苯甲酸	7.912			
3-羟基-4-甲氧基苯甲酸(异香草酸)	8.889			
4-羟基-3-甲氧基苯甲酸(香草酸)	7.396			
1-羟基-2-甲氧基苯胺	8.70(+1)	10.52(0)		
2-羟基-1-甲氧基苯胺	8.89(+1)	10.52(0)		
3-羟基-2-甲氧基苯胺	8.94(+1)	10.42(0)		
羟基丙二酸(丙酮二酸)	2.37	4.74		
2-羟基丙酸	3.858			
1-羟基-2-丙基苯	10.50			
4-羟基戊酸(18℃)	4.686			
4-羟基-3-戊烯酸	4.30			
6-羟基吩嗪(15℃)	2.67			
反-3'-羟基肉桂酸	4.40			
反-2'-羟基肉桂酸	4.814			
1-羟基吡啶(15℃)	5.72			
2-羟基吡啶(15℃)	5.52			
3-羟基吡啶(15℃)	5.90			
2-羟基吡啶	1.25(+1)	11.62(0)		
3-羟基吡啶	4.80(+1)	8.72(0)		
4-羟基吡啶	3.23(+1)	11.09(0)		
2-羟基吡啶-N-氧化物	0.62(+1)	5.97(0)		
2-羟基苯甲酰胺	8.36			
2-羟基苯甲醇(2-羟基苯醇)	9.92			
3-羟基苯甲醇	9.83			
4-羟基苯甲醇	9.62			
2-羟基苯甲醚(水杨醚)	8.34			
3-羟基苯甲醚	9.00			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4-羟基苯甲醛	7.620			
2-羟基苯甲醛腈	1.37(-1)	9.18	12.11	
2-羟基苯甲酸(水杨酸)	2.98	12.38		
3-羟基苯甲酸	4.076	9.85		
4-羟基苯甲酸	4.582	9.23		
4-羟基苯腈	3.89	8.37(苯酚)	10.05	
2-羟基-2-苯基丙酸	3.532			
2-(2-羟基苯基)吡啶(20℃)	4.19(+1)	10.61		
2-羟基苯基羧酸	5.19			
3-羟基苯腈	8.55	10.84		
4-羟基苯腈	—	9.055(-1)		
顺-2-羟基环己烷-1-羧酸	4.796			
反-2-羟基环己烷-1-羧酸	4.682			
顺-3-羟基环己烷-1-羧酸	4.602			
反-3-羟基环己烷-1-羧酸	4.815			
顺-4-羟基环己烷-1-羧酸	4.836			
反-4-羟基环己烷-1-羧酸	4.687			
2-羟基-5-氯苯甲酸	2.63			
2-羟基-1-萘甲酸(20℃)	3.29	9.68		
1-羟基-4-硝基甲苯($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	7.41			
2-羟基-2-硝基苯甲酸	2.23			
2-羟基-3-硝基苯甲酸	1.87			
2-羟基-5-硝基苯甲酸	2.12			
2-羟基-6-硝基苯甲酸	2.24			
2-羟基-4-硝基苯腈	1.22	5.39		
8-羟基-7-硝基喹啉-5-磺酸	1.94(0)	3.750(-1)		
3-羟基-4-羟甲基吡啶(20℃, $I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.90(+1)	8.95(011)		
5-羟基-2-(羟甲基)-4(1-吡喃-4-酮)	7.99	8.03		
3-羟基-2-羟甲基吡啶(20℃, $I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.90(+1)	9.07(011)		
1-羟基-4-羟基甲苯	9.84			
羟基羧酸(38℃, $I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.13(+2)	3.62(+1)	9.17(0)	
8-羟基嘌呤	2.55	8.26		
3-羟基噻唑	3.41(+1)	8.65(0)		
2-羟基噻唑(20℃)	0.31(+1)	11.74		
3-羟基噻唑(20℃)	4.30(+1)	8.06(0)		
4-羟基噻唑(20℃)	2.27(+1)	11.25(0)		
5-羟基噻唑(20℃)	5.20(+1)	8.54(0)		
6-羟基噻唑(20℃)	5.17(+1)	8.88(0)		
7-羟基噻唑(20℃)	5.46(+1)	8.85(0)		
8-羟基噻唑(20℃)	4.91(+1)	9.81(0)		
3-羟基噻唑-5-磺酸	4.092(+1)	3.776(0)		
2-羟基-5-溴苯甲酸	2.61			
3-羟基-7-溴代噻唑-5-磺酸	2.51(0)	7.417(-1)		
4-羟基噻唑	1.3(+1)	7.89(0)		
羟基噻唑	2.55(-1)	9.77(0)		
4-羟基噻唑	1.85(-1)	8.59(0)		
2-羟基噻唑	2.24(-1)	9.17(0)		
4-羟基-3-(2'-噻唑基偶氮)甲苯	8.25			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
硝基乙烷	8.57			
硝基乙酸	1.68			
硝基乙酸乙酯	5.85			
硝基甲烷	10.21			
1-硝基丙烷	8.96			
2-硝基丙烷	7.675			
2-硝基丙酸	3.79			
2-硝基吡啶 ($I=0.02\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	-2.06(+1)			
3-硝基吡啶 ($I=0.02\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.79(+1)			
4-硝基吡啶 ($I=0.02\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.23(+1)			
2-硝基苯乙酮	4.00			
3-硝基苯乙酸	3.97			
4-硝基苯乙酸	3.85			
2-硝基苯-1,4-二羧酸	1.73			
3-硝基苯-1,2-二羧酸	1.88			
4-硝基苯-1,2-二羧酸	2.11			
2-硝基苯甲酸	2.18			
3-硝基苯甲酸	3.46			
4-硝基苯甲酸	3.441			
3-(2'-硝基苯)丙酸	4.504			
3-(4'-硝基苯)丙酸	4.173			
反-2-硝基肉桂酸	4.18			
反-3-硝基肉桂酸	1.12			
反-4-硝基肉桂酸	4.05			
2-硝基对苯二酚	7.63	10.06		
2-硝基苯甲酸	3.37	6.54		
3-硝基苯甲酸	3.41	7.80		
4-硝基苯甲酸	2.90	7.80		
2-硝基苯胺	-0.28(+1)			
3-硝基苯胺	2.48(+1)			
4-硝基苯胺	1.01(+1)			
(2-硝基苯氧基)乙醇	2.896			
(3-硝基苯氧基)乙醇	2.951			
(4-硝基苯氧基)乙醇	2.892			
3-硝基苯酚	4.07			
4-硝基苯酚	4.00			
7-(4-硝基苯偶氮基)-8-羟基-5-噻吩磺酸	3.14(0)	7.495(-1)		
2-硝基苯酚	7.222			
3-硝基苯酚	8.360			
4-硝基苯酚	7.150			
3-硝基苯腈	1.30	6.27		
4-硝基苯腈	1.24	6.23		
3-硝基苯胺	8.984			
N-硝基亚氨基二乙酸	2.21	3.33		
1-硝基-6,7-菲咯啉 ($I=0.2\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	3.23(+1)			
5-硝基-1,10-菲咯啉	3.232(+1)			
6-硝基-1,10-菲咯啉	3.23(-1)			
硝基脲	4.15(-1)			
氮尿酸	6.78			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
胍甲基胍	5.34(+1)			
1-胍甲基胍	4.55(+1)			
2-胍基乙醇	7.7(+1)			
胍基乙醇胍	2.34(+2)	11.17(+1)		
胍基乙酸	2.460			
N-(2-胍基)乙基腺苷	5.68(+1)			
4-胍基-2,6-二甲基(苯)酚	8.27			
4-胍基-3,5-二甲基(苯)酚	8.21			
4-胍基丁酸	4.44			
2-胍基-2-甲基丙酸	2.422			
2-胍基-2-甲基-2-苯乙酸	2.290			
2-胍基丙酸	2.27			
3-胍基丙酸	3.99			
2-胍基吡啶	-0.26(+1)			
3-胍基吡啶	1.45(+1)			
4-胍基吡啶	1.90(+1)			
2-胍基苯甲酸	3.14			
3-胍基苯甲酸	3.63			
4-胍基苯甲酸	3.56			
3-胍基苯酚	8.61			
邻胍基苯氧基乙酸	2.98			
间胍基苯氧基乙酸	3.03			
对胍基苯氧基乙酸	2.93			
反-1-胍基环己烷-2-羧酸	3.865			
2,2'-联吡啶	-0.52(+2)	4.352(+1)		
2,3'-联吡啶(20℃)	1.52(-2)	4.42(+1)		
2,4'-联吡啶(20℃)	1.19(+2)	4.77(+1)		
3,3'-联吡啶(20℃, $I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.0(+2)	4.69(+1)		
3,4'-联吡啶(20℃, $I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.0(+2)	4.85(+1)		
4,4'-联吡啶	3.17(+2)	4.82(+1)		
2-巯基羧酸	3.46			
(1,1'-联苯)-4,4'-二胺	3.63(+2)	4.70(+1)		
α -D-(+)-葡萄糖	12.28			
α -D-葡萄糖-1-酮(酯)	1.11(0)	6.504(-1)		
葡萄糖抗坏血酸	4.28	11.58		
D-葡萄糖	3.86			
喹啉	4.80(+1)			
异喹啉	5.40(+1)			
喹啉喹	0.72(+1)			
D-佛子精	12.74			
塞马酸	3.10	4.60		
替鲁卡因(似佛卡因)	8.85(+1)			
替巴因,二甲基吗啡	7.95(+1)			
香木鳖碱(15℃)	2.90(+2)	8.16(+1)		
硫代乙酸	3.33			
硫代二乙酸	3.32	4.29		
2,2'-硫代二乙酸	3.32	4.29		
3,5'-硫代二丙酸(18℃)	4.085	5.075		
1,4'-硫代二丁酸(18℃)	4.351	5.275		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-取代-5-甲氧卡巴肼	7.583(+1)			
3-取代氨基脲($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.5(+1)			
硫脲	2.03(+1)			
硫氨基乙酸	2.58			
异硫氰酸基乙酸	6.62			
2-巯基乙醇	8.27(+1)	10.53(0)		
2-巯基乙醇	9.88			
巯基乙酸	3.60(0)	10.56(SH)		
2-巯基乙酸乙酯	7.93(SH)			
2-巯基乙酸(20℃)		9.5(-1)		
2-巯基丁酸	3.53(0)			
3-巯基-1,2-丙二醇($I=0.5\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	9.43			
2-巯基丙烷($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	10.86			
2-巯基丙酸	4.32(0)	10.20(SH)		
3-巯基丙酸		10.94(SH)		
2-巯基吡啶(20℃)	-1.07(+1)	10.00(0)		
3-巯基吡啶(20℃)	2.26(+1)	7.03(0)		
4-巯基吡啶(20℃)	1.45(+1)	8.86(0)		
巯基-S-苯乙酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.39			
2-巯基苯甲酸(20℃)	4.05(0)			
3-巯基丙酸乙酯	9.48(SH)			
2-巯基组氨酸	1.84(+1)	8.47(0)	11.4(SH)	
巯基琥珀酸	3.30(0)	4.94(-1)	10.94(SH)	
2-巯基噻吩(20℃)	-1.44(+1)	10.21(0)		
3-巯基噻吩(20℃)	2.33(+1)	6.13(0)		
4-巯基噻吩(20℃)	0.77(+1)	8.83(0)		
DL-琥珀酰亚胺	9.629			
琥珀酰亚胺(琥珀酸单酰胺)	4.39(0)			
琥珀酸	4.207	5.635		
溴乙酸	2.902			
3-溴代-4-(二甲氨基)吡啶(20℃)	6.52(+1)			
2-溴代-4,6-二硝基苯胺	-6.94(+1)			
2-溴代丁酸(35℃)	2.939			
溴代丁二酸	2.55	4.41		
3-溴代-4-甲氧基吡啶(20℃)	7.49(+1)			
2-溴代对甲苯基磷酸	1.81	7.15		
2-溴代丙酸	2.971			
3-溴代丙酸	3.992			
溴代丙炔酸	1.855			
2-溴代肉桂酸,反式	4.41			
2-溴代-2-苯乙酸	2.21			
4-溴代苯甲酸	3.25	8.19		
2-溴代苯胺	2.53(+1)			
3-溴代苯胺	3.53(+1)			
4-溴代苯胺	3.88(+1)			
2-(2'-溴代苯氧基)乙酸	3.12			
2-(3'-溴代苯氧基)乙酸	3.09			
2-(4'-溴代苯氧基)乙酸	3.13			
3-溴代苯胺酸	4.43			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK
4-溴代苯酚	4.50			
4-溴代苯次磺酸(17℃)	2.1			
2-溴代苯腈	1.64	2.00		
3-溴代苯腈	1.46	6.69		
4-溴代苯腈	1.60	6.83		
3-溴代扁桃酸	3.13			
赤-2-溴代-3-氯代丁二酸(19℃, $I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.4	2.6		
苏-2-溴代-3-氯代丁二酸(19℃, $I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.5	2.8		
2-溴代-6-硝基苯甲酸	1.37			
3-溴代-2-羟甲基苯甲酸(20℃)	3.28			
6-溴代-2-羟甲基苯甲酸(20℃)	2.25			
7-溴代-8-羟基喹啉-5-磺酸	2.51	6.70		
(2-溴甲基)丁腈	3.92			
溴甲基腈	1.44	6.52		
2-溴吡啶	0.71(+1)			
3-溴吡啶	2.85(+1)			
4-溴吡啶	3.71(+1)			
2-溴苯甲酸	2.85			
3-溴苯甲酸	3.810			
4-溴苯甲酸	3.99			
2-溴苯酚	8.452			
3-溴苯酚	9.031			
4-溴苯酚	9.54			
2-(溴苯基)乙酸	4.054			
4-(溴苯基)乙酸	4.188			
3-溴喹啉	2.69(+1)			
溴乙酸	3.175			
溴甲基磺酸	1.30	6.72		
2-溴丙腈	3.11			
3-溴丙腈	4.08			
溴代扁桃酸	3.264			
2-溴吡啶	1.52(+1)			
3-溴吡啶	3.25(+1)			
4-溴吡啶(20℃)	4.02(+1)			
2-溴苯乙酸	4.038			
3-溴苯乙酸	4.159			
4-溴苯乙酸	4.178			
2-溴苯甲酸	2.86			
3-溴苯甲酸	3.86			
4-溴苯甲酸	4.06			
2-溴苯氧基乙酸	3.17			
3-溴苯氧基乙酸	3.13			
4-溴苯氧基乙酸	3.15			
2-溴苯胺	2.54(+1)			
3-溴苯胺	3.58(+1)			
4-溴苯胺	3.82(+1)			
2-溴苯酚	8.464			
3-溴苯酚	8.879			
4-溴苯酚	9.200			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-磺基膦酸	1.74	7.06		
5-磺基胺	4.06(+2)	9.20(+1)	11.88(0)	
	(咪唑)	(NH_2)	(重氮基)	
7-溴-8-羟基嘌呤-5-磺酸	2.514	7.417		
腺苷-5'-三磷酸	—	4.00(+1)	6.48(+2)	
腺苷-5'-焦磷酸		4.2(+1)	7.20(+2)	
腺苷-2'-磷酸	3.51(+1)	6.17(0)		
腺苷-3'-磷酸	3.65(0)	5.88(+1)		
腺苷-5'-磷酸	3.74(0)	6.05(+1)	13.06(+2)	
腺嘌呤	4.17(+1)	9.75(0)		
腺(嘌呤核)苷	3.5(+1)	12.34(0)		
腺嘌呤脱氧核苷-5'-磷酸		4.4	5.4	
腺嘌呤-N-氧化物	2.69(+1)	8.49(0)		
葱-1-甲酸				
葱-2-甲酸				
葱-9-甲酸				
葱酮-1-羧酸(20℃)				
葱酮-2-羧酸(20℃)				
9,10-葱酮单脂				
9,10-葱酮-1-磺酸				
9,10-葱酮-2-磺酸				
3,6-噻辛烷二酸($I=1.0\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.055	3.676		
3-酰氨基吡啶	3.95(+1)			
β -巯甲基氨基丙酸	3.51(+1)	9.46(0)		
噻苯胺	5.90(+1)			
噻吩	1.30(+1)			
2,4,5,6(1 <i>H</i> ,3 <i>H</i>) 噻吩四酮-5-肟	4.57(0)			
2,4(1 <i>H</i> ,3 <i>H</i>)-噻吩二酮(尿噻吩)	3.6(+1)	9.46(0)		
缩二脲	12.8			
蝶啶	4.05			
D-核酮酸	4.57	5.10		
磺胺	10.43(+1)			
磺基乙醇		4.0		
5-磺基水杨酸	2.49	12.00		
2-磺基丙酸	1.99			
3-磺基苯甲酸		3.78		
4-磺基苯甲酸	—	3.72		
3-磺基苯酚	0.39	9.07		
4-磺基苯酚	0.58	8.70		
D-糖精酸	5.09(0)			
糖精(邻苯甲酰磺酰亚胺)	2.32	11.68		
2-噻吩甲酸三氟丙酮	5.70(0)			
2-噻吩羧酸(30℃)	3.329			
3-噻吩羧酸(3-噻吩酸)	4.10			
噻唑啉	2.53(+1)			
噻唑胺酸	3.08	8.63		
O-噻唑乙醇胺	5.836(+1)	10.638(0)		
鹰爪豆碱	4.49(+1)	11.76(0)		
萘芦胺	7.49(+1)			
萘芦碱	8.85(+1)			

表 1-77 氨基酸在水溶液中的离解常数(25℃)
(以碳原子数顺序排列)

名 称	分 子 式	pK_{a1}	pK_{a2}	pK_{a3}	pK_{a4}
甘氨酸	NH_2CH_2COOH	2.3507(+1)	9.7796		
丙氨酸	$CH_3CH(NH_2)COOH$	2.345	—		
缬氨酸	CH_3NHCH_2COOH	2.21	10.12		
DL-半胱氨酸	$HSCH_2CH(NH_2)COOH$	1.88	8.15	10.29	
L-半胱氨酸		1.71	8.38	10.86	
高半胱氨酸		2.222(+1)	8.87	10.70	
丝氨酸	$HOCH_2CH(NH_2)COOH$	2.186(+1)	9.25		
异丝氨酸		2.72	9.208		
DL-天冬氨酸	$HOOCCH(NH_2)CH_2COOH$	3.86	9.82(-1)		
苏氨酸	$CH_3CH(OH)CH(NH_2)COOH$	2.088	9.10		
别苏氨酸	$HOCH_2C(CH_3)(NH_2)COOH$	2.108	8.096		
脯氨酸	$(C_5H_7N)-COOH$	1.952	10.640		
谷氨酸	$HOOCCH(NH_2)(CH_2)_2COOH$	2.13	4.31	9.358	
DL-缬氨酸	$(CH_3)_2CHCH(NH_2)COOH$	2.286	9.719		
L-缬氨酸		2.996	9.79		
蛋氨酸	$CH_3S(CH_2)_2CH(NH_2)COOH$	2.22	9.27		
鸟氨酸	$H_2N(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$	1.705	8.69		
L-(+)-鸟氨酸		1.94(+2)	8.65(+1)	10.76	
L-刀豆氨酸	$H_2NC(NH)NH(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$	2.50(+2)	6.60	9.25	
组氨酸	$(C_3H_3N_2)CH_2CH(NH_2)COOH$	1.80	6.04	9.33	
L-胱氨酸	$[HOOCCH(NH_2)CH_2S]_2$	—	—	2.85	3.85
(35℃)		1.6(+2)	2.1(+1)	8.02	8.77
高胱氨酸		1.593(+1)	2.523	8.676	9.413
正白氨酸	$CH_3(CH_2)_4CH(NH_2)COOH$	2.335	—		
异白氨酸		2.318	9.758		
L-白氨酸	$CH_3CH(CH_2)CH_2CH(NH_2)COOH$	2.328(+1)	9.744		
(即亮氨酸)					
赖氨酸	$H_2N(CH_2)_4CH(NH_2)COOH$	1.83	6.07		
L-(+)-赖氨酸		1.83	6.07		
精氨酸	$H_2NC(=NH)NH(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$	1.8217	8.9936	12.47	
酪氨酸	$HOC_6H_4CH_2CH(NH_2)COOH$	2.18(+1)	9.21	10.47(OH)	
色氨酸	$(C_6H_4C_2H_2N)CH_2CH(NH_2)COOH$	2.43	9.44		
L-色氨酸		2.39	9.39		
麻刀豆酸		2.40	3.70	9.20	
L-(+)-瓜氨酸		2.43(+1)	9.416		

表 1-78 取代氨基酸的离解常数(25℃)

(以中文名字笔画为序,表中 pK_a 值后标注说明同表 1-76,除另加说明者外,均为 25℃,离子强度 $I=0$)

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
S-乙基-L-半胱氨酸($I=0.1mol \cdot kg^{-1}$)	2.03(+1)	8.60(0)		
N'-乙基丙氨酸	2.22(+1)	10.22(0)		
N-乙酸- β -丙氨酸	4.445			
N-乙酸- α -丙氨酸	3.735			
N-乙酰半胱氨酸(30℃)	9.52			
N'-乙酰甘氨酸	3.670			

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-乙酰氨基丁酸	3.72			
2-(乙酰氨基)丁酸	3.716			
3-乙酰氨基丙酸	4.445			
<i>N</i> - α -乙酰-L-组氨酸	7.98			
3-二甲氨基丙酸	9.85(+1)			
<i>N,N</i> -二甲基甘氨酸	2.146(+1)	9.940(0)		
<i>N,N</i> -二甲基吡啶甘氨酸	3.11(+1)	8.09(0)		
2,4-二氨基丁酸(20℃)	1.85(+2)	8.24(+1)	10.40(0)	
2,3-二氨基丙酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.33(+2)	6.674(+1)	9.623(0)	
<i>N,N</i> -二(1-羟乙基)甘氨酸	8.333			
3,4-二羟基丙氨酸	2.32(+1)	8.68(0)	9.87(-1)	
3,5-二溴对-L-酪氨酸	2.17(+1)	6.45(0)	7.60(-1)	
2,5-二碘酪氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.72	8.18	9.76	
3,5-二碘酪氨酸	2.117(+1)	6.479(0)	7.821(-1)	
<i>N</i> -丁基甘氨酸	2.35(+1)	10.25(0)		
5,5,5-三氟丙氨酸	2.045(+1)	8.942(0)		
6,6,6-三氟正亮氨酸	2.16(+1)	9.463(0)		
4,4,4-三氟-2-氨基丁酸	1.800(+1)	8.169(0)		
4,4,4-三氟-3-氨基丁酸	2.756(+1)	5.832(0)		
4,4,4-三氟缬氨酸	1.537(+1)	8.096(0)		
5,5,5-三氟正缬氨酸	2.042(+1)	8.916(0)		
L-天冬酰胺酰基甘氨酸		4.53	9.07	
D-天冬氨酸		3.87(0)	10.00(-1)	
天冬氨酸天冬氨酸		3.40	4.70	8.26
α -天冬氨酸组氨酸(38℃, $I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)		3.02	6.82	7.98
β -天冬氨酸组氨酸(38℃, $I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)		2.95	6.93	8.72
<i>N</i> -天冬氨酸-对-酪氨酸($I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)		3.57	8.92	10.23(OH)
<i>N</i> -甲基丙氨酸	2.22(+1)	10.19(0)		
<i>N</i> -甲基甘氨酸(肌氨酸)	2.12(+1)	10.20(0)		
β -甲基-L-半胱氨酸	8.87			
邻甲基苏氨酸	2.02(+1)	9.00(0)		
邻甲基异苏氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.92(+1)	8.90(0)		
1-甲基组氨酸	1.69	6.48	8.85	
2-甲基组氨酸(18℃)	1.7	7.2	9.5	
邻甲基酪氨酸	2.21(+1)	9.35(0)		
<i>N</i> -甲酰甘氨酸	3.43			
<i>N</i> -L-丙氨酸-2-D-氨基丙酸	3.12(+1)	8.30(0)		
<i>N</i> -D-丙氨酸-2-D-氨基丙酸($I=0.10\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.32(+1)	8.13(0)		
<i>N</i> -L-丙氨酸- α -L-氨基丙酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.32(+1)	8.13(0)		
<i>N</i> - α -丙氨酸甘氨酸	3.11(+1)	8.11(0)		
丙氨酸甘氨酸甘氨酸	3.190(+1)	8.15(0)		
β -丙氨酸组氨酸	2.64	8.88	9.40	
<i>N</i> -丙基甘氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.38(+1)	10.03(0)		
<i>N</i> -丙基甘氨酸	3.19(+1)	8.97(0)		
<i>N</i> -异丙基甘氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.36(+1)	10.06(0)		
<i>N</i> -丙酰甘氨酸	3.718(0)			
L-丝氨酸	2.186(+1)	9.208(0)		
丝氨酸, 甲基酯($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	7.03(+1)			
L-异丝氨酸($I=0.10\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.72(+1)	9.25(0)		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_a	pK_b
丝氨酸甘氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.16(+1)	7.33(0)		
L-丝氨酸-L-亮氨酸	3.08(+1)	7.45(0)		
N-甘氨酸天冬酰胺	2.942			
甘氨酸天冬氨酸	2.81(+1)	4.45(0)	8.60(+1)	
甘氨酸丙氨酸丙氨酸	3.38(+1)	3.10(0)		
双甘氨酸甘氨酸	3.225(+1)	8.090(0)		
N-甘氨酸-甘氨酸	3.126(+1)	8.262(0)		
N-甘氨酸肌氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.98(+1)	8.55(0)		
N-甘氨酸丝氨酸	2.98(+1)	8.38(0)		
甘氨酸丝氨酸甘氨酸	3.23	7.99		
甘氨酸-DL-谷氨酸(18°C)	2.88(+1)	8.33(0)		
甘氨酸-L-组氨酸($I=0.16\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	6.70	8.20		
甘氨酸异亮氨酸	8.00			
N-甘氨酸-L-亮氨酸	3.180(+1)	8.327(0)		
N-甘氨酸- α -氨基丙氨酸	3.15(+1)	8.33(0)		
双甘氨酸肌氨酸(35°C)	2.71	2.71	7.94	7.94
L-甘氨酸-脯氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.81(+1)	8.65(0)		
甘氨酸胺	8.03(+1)			
甘氨酸酪氨酸	2.93	8.45	10.49	
甘氨酸缬氨酸	3.15	8.18		
甘氨酸-O-磷酸基丝氨酸	2.80	6.02	8.43	
甘氨酸-乙醇	7.66(+1)			
甘氨酸-甲酯	7.59(+1)			
甘氨酸-O-苯基磺酰基丝氨酸	2.96	8.07		
甘氨酸羟胺	7.10	9.10		
叶酸(羧基谷氨酸)	8.26			
L-(+)-瓜氨酸	2.43(+1)	9.41(0)		
L-(+)-半胱氨酸	1.71(+1)	8.39(0)	10.70(SH)	
L-(+)-半胱氨酸,乙醇	6.69(NH ₂)	9.17(SH)		
L-(+)-半胱氨酸,甲酯	6.56(NH ₂)	8.99(SH)		
L-半胱氨酸-L-天冬酰胺	2.97	7.09	8.47	
L-胱氨酸(35°C)	1.6(+2)	2.1(+1)	8.02(0)	8.71(+1)
半胱氨酸甘氨酸甘氨酸(35°C)	3.12	3.27	6.01	6.87
肌氨酸甲基酰胺	8.28(+1)			
肌氨酸(酸)酰甘氨酸($I=0.16\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.15(+1)	8.56(0)		
肌氨酸(酸)酰肌氨酸	2.92(+1)	9.15(0)		
肌氨酸(酸)酰丝氨酸	3.17(+1)	8.63(0)		
肌氨酸(酸)酰亮氨酸	3.15(+1)	8.67(0)		
肌氨酸酰胺	6.35(+1)			
3,3'-(亚甲基二硫代)二丙氨酸	2.200(+1)	8.16(0)		
L-谷氨酸($I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.15(+1)	9.00(0)		
异谷氨酸胺	3.81(+1)	7.88(0)		
D-(-)-谷氨酸	2.162(+1)	4.272(0)	9.358(+1)	
L-谷氨酸	2.13(+1)	4.37(0)	9.76(+1)	
谷氨酸-1-乙醇	3.85(+1)	7.84(0)		
谷氨酸-5-乙醇	2.15(+1)	9.19(0)		
N-苯甲酰甘氨酸(马尿酸)	3.65			
苯甲酰谷氨酸	3.49	4.99		
苯丙氨酸甘氨酸($I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.10(+1)	7.71(0)		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
苯丙氨酸(苯丙氨酸)($I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.66(-1)	7.57(0)	12.40(-1)	
DL- α -氨基甘氨酸	1.83(-1)	4.30(0)		
β -苯基丝氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	8.79(0)			
α -苯胺基丝氨酸	2.18(-1)	8.79		
α -苯胺基丝氨酸甘氨酸	3.18(-1)	6.95(0)		
α -苯胺基-L-丝氨酸-L-亮氨酸	3.16(-1)	7.12(0)		
异组氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	6.036(+2)	9.274(-1)		
组氨酸甘氨酸	2.40(-2)	5.80(-1)	7.82(0)	
组氨酸组氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.40(-2)	6.80(+1)	7.95(0)	
组氨酸, 甲酯($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.01(-2)	7.23(+1)		
DL-组氨酸	1.82(-2)	6.00(+1)	8.16(0)	
组氨酸酰胺($I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.78(-2)	7.64(+1)		
L-亮氨酸-L-天冬酰胺	5.00(+1)	8.12(0)		
DL-亮氨酸甘氨酸	3.25(-1)	8.28(0)		
L-亮氨酸-L-谷氨酰胺	2.99(-1)	8.11(0)		
亮氨酸酰胺	7.80(+1)			
D-亮氨酸-L-酪氨酸	3.46(+1)	7.84(0)	10.09(-1)	
亮氨酸异丝氨酸(20°C)	3.138(+1)	8.207(0)		
DL-正亮氨酸	2.335(+1)	9.834(0)		
L-异亮氨酸	2.318(-1)	9.758(0)		
L-亮氨酸	2.328(+1)	9.742(0)		
亮氨酸乙酯($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	7.57(+1)			
2'-氨基丙氨酸	2.14(+1)	9.91(0)		
3'-氨基丙氨酸	2.10(+1)	8.98(0)		
4'-氨基丙氨酸	2.13(+1)	9.05(0)		
DL-2-氨基戊酸(DL-正缬氨酸)	2.318(+1)	9.808		
3-氨基戊酸	4.02(+1)	10.399(0)		
4-氨基戊酸	3.97(+1)	10.46(0)		
5-氨基戊酸	4.20(+1)	4.78(0)		
5-氨基戊酸, 乙酯	15.151			
2-氨基-4,4,4-三氯丁酸		8.171(0)		
3-氨基-4,4,4-三氯丁酸		5.831(0)		
2-氨基己酸	2.325(+2)	8.834(0)		
6-氨基己酸	4.375(+1)	10.804(0)		
2-氨基-N-甲基酰胺	3.155(+1)	8.331(0)		
2-氨基-2-甲基丙酸	2.367(+1)	10.205(0)		
2-氨基-3-甲基戊酸	2.320(-1)	9.758(0)		
N-氨基甲酰基- α -D-丙氨酸	3.84(-1)			
N-氨基甲酰基- β -丙氨酸	4.89(-1)			
DL-N-氨基甲酰基丙氨酸	3.892(-1)			
N-氨基甲酰基甘氨酸	3.376			
氨基丙二酸	5.32(+1)	9.83(0)		
α -氨基丙酸	2.34(+1)	8.87(0)		
α -氨基丙酸甲酯($I=0.10\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	7.743(-1)			
β -氨基丙酸	3.55(+1)	10.238(0)		
β -氨基丙酸甲酯($I=0.10\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.170(+1)			
3-氨基丙酸	3.531(+1)	10.235(0)		
2-氨基丁酸	2.286(+1)	9.830(0)		
3-氨基丁酸		10.14(0)		

续表

物 质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4-氨基丁酸	4.061(-1)	10.556(0)		
2-氨基丁酸, 甲酯($c=0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	7.640(+1)			
4-氨基丁酸, 甲酯($c=0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	9.838(+1)			
2-氨基-N-氨基甲酰基丁酸	3.886(+1)			
4-氨基-N-氨基甲酰基丁酸	4.683(+1)			
2-氨基-N-氨基甲酰基-2-甲基丙酸	4.463			
DL-2-氨基-4-羟基丁酸	2.22(+1)	8.87(0)	10.86(St1)	
L-2-氨基-3-羟基丁酸(苏氨酸)	2.088(+1)	9.100(0)		
DL-2-氨基-4-羟基丁酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.265(+1)	9.257(0)		
DL-4-氨基-3-羟基丁酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.834(+1)	9.487(0)		
高胱氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.593(+2)	2.523(+1)	8.476(0)	9.413(-1)
DL-高半胱氨酸	2.222(+1)	8.87	10.86	
N-(2'-氯乙酰)甘氨酸	3.38(0)			
2-氯苯丙氨酸	2.23(+1)	8.94(0)		
3-氯苯丙氨酸	2.17(+1)	8.91(0)		
DL-4-氯苯丙氨酸	2.08(+1)	8.96(0)		
α -羟基天冬酰胺	2.28(+1)	7.20(0)		
β -羟基天冬酰胺	2.09(+1)	8.25(0)		
羟基天冬氨酸	1.91(+1)	3.51(0)	8.11(-1)	
L- β -羟基谷氨酸	2.09	4.18	9.20	
4-羟基脯氨酸, 反式	1.818(+1)	9.662(0)		
L-赖氨酸-L-丙氨酸	3.22(+1)	7.62(0)	10.70(-1)	
L-赖氨酸-D-丙氨酸	3.00(+1)	7.74(0)	10.63(-1)	
赖氨酸谷氨酸	2.03(+2)	4.47(-1)	7.75(0)	10.50(-1)
L-赖氨酸-D-赖氨酸-L-赖氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.91(+2)	7.29(-1)	9.79(0)	10.54(-1)
L-赖氨酸-D-赖氨酸-D-赖氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.94(+2)	7.15(-1)	9.60(0)	10.38(-1)
L-赖氨酸-L-赖氨酸-L-赖氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.08(+2)	7.34(-1)	9.80(0)	10.54(-1)
L-赖氨酸-L-赖氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.01(+2)	7.53(-1)	10.05(0)	10.01(-1)
L-赖氨酸-D-赖氨酸($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.85(+2)	7.23(-1)	9.92(0)	10.89(-1)
L-(+)-赖氨酸	2.18(+2)	8.95(-1)	10.53(0)	
赖氨酸, 甲酯($I=0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	6.965(+1)	10.251(0)		
胍氨酸精氨酸($I=0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.65(+1)	7.39(0)	9.36(-1)	11.82(-2)
胍氨酸酪氨酸	3.52(+1)	7.68(0)	9.80(-1)	10.26(-2)
胍氨酸酰胺	7.48	9.89		
DL-胍氨酸	2.18(+1)	9.21(0)	10.47(OH)	
胍氨酸, 乙酯	7.33	9.80		
胍氨酸酰胺($I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	8.00			
L-缬氨酸甘氨酸	3.23(+1)	8.06(0)		
DL-缬氨酸	2.286(+1)	9.719(0)		
L-缬氨酸	2.996(+1)	9.79(0)		
L-缬氨酸, 甲酯	7.49(+1)			
缬氨酸谷氨酸, 叶酸, 维生素 B ₁₂	8.26			
β -(4'-硝基苯基)丙氨酸	1.95(+1)	8.64(0)	10.26(-1)	
L-硝基丙氨酸(3-硝基-L-丙氨酸)	1.89(+1)	8.7(0)		
O-硝基丝氨酸甘氨酸	3.13	5.41	8.01	
O-硝基-L-丝氨酸-L-亮氨酸	3.11	5.47	8.25	
硝基丝氨酸	2.08	5.65	9.21	

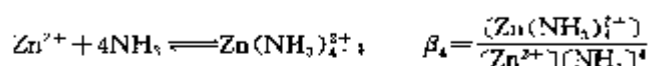
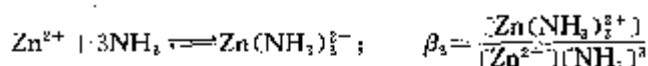
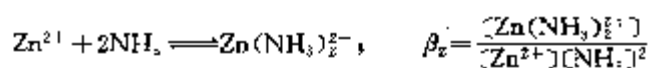
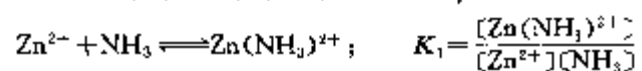
第七节 金属离子配位络合物的基本参数

一、金属络合物形成常数

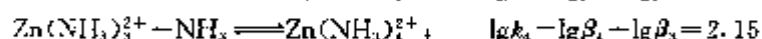
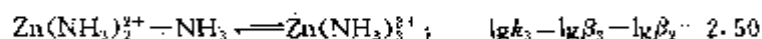
表 1-79、表 1-80 中所列的数据系配位体 L 与中心金属离子的累积形成常数的对数值。即

	累积形成常数	逐级形成常数
$M + L = ML;$	K_1	k_1
$M + 2L = ML_2;$	β_2	$k_1 k_2$
.....		
$M + nL = ML_n$	β_n	$k_1 k_2 \cdots k_n$

以表 1-79 中锌氨络合物为例, 表示下列平衡:



如果要求以反应的逐级形成常数表示, 则第 1 级 $\lg K_1 = \lg k_1 = 2.37$, 对第 2 级及其后继各级, 它的平衡及其相应的常数表示如下:



络合物形成常数又称络合物稳定常数, 络合物形成常数愈大, 表示形成的络合物愈稳定。它的倒数表示络合物的解离程度, 叫络合物的不稳定常数。即 $1/K_1 = 1/K_{\text{不稳}}$

络合物形成常数与离子强度及温度有关, 离子强度愈大, 温度愈高, 形成常数就愈小。除另加说明者外表 1-79 中所列数据, 指温度在 $20^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$, 离子强度 $I=0$ 。但对表 1-80 所列的有机配位体常指有限的离子强度。

表 1-79 金属离子与无机配位体络合物的累积形成常数

表中符号说明: (a) ~ (d) 指在不同浓度的、正负离子均为 1 价的电解质 (如 KNO_3) 溶液中所测得的数值。(a) $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; (b) $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; (c) $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; (d) $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
NH_3	Ag^+	3.24	7.05				
	Au^{3+}			10.3			
	Cd^{2+}	2.65	4.75	6.19	7.12	6.80	5.14
	Co^{2+}	2.11	3.74	4.79	5.55	5.73	5.11
	Cr^{3+}	6.7	14.0	20.1	25.7	30.8	35.2
	Cu^+	5.93	10.83				
	Cu^{2+}	4.31	7.98	11.02	13.32	12.86	
	Fe^{3+}	1.4	2.2				

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
NH ₃	CH ₃ Ilg ⁺	7.60					
	Hg ²⁺	8.8	17.5	18.5	19.28		
	Mn ²⁺	0.8	1.3				
	Ni ²⁺	2.80	5.04	6.77	7.96	8.71	8.74
	Pd ²⁺	9.6	18.5	26.0	32.8		
	Pr ³⁺						35.3
	Zn ²⁺	2.37	4.81	7.31	9.46		
Br ⁻	Ag ⁺	4.38	7.33	8.00	8.75		
	At (AuBr)	2.51					
	Au ³⁺		12.46				
	Ba ²⁺	2.37	4.20	6.90	7.20	8.20	8.30
	Ca ²⁺	1.75	2.34	3.32	3.70		
	Ce ³⁺	3.42					
	Co ²⁺		5.80				
	Cu ²⁺	0.80					
	Fe ²⁺	-0.30	-0.50				
	Hg ²⁺	6.05	17.32	19.74	21.00		
	In ³⁺	1.30	1.88				
	Pb ²⁺	1.77	2.60	3.00	2.3		
	Pd ²⁺	5.17	9.42	12.70	14.9		
	Pr ³⁺				20.5		
	Rh ³⁺		14.3	16.3	17.6	18.4	17.2
	Se ⁴⁺	2.38	3.08				
	Sn ²⁺	1.11	1.81	1.46			
	Tl ⁺	0.93					
	Tl ³⁺	9.7	16.6	21.2	23.9	29.2	21.6
	Ti ³⁺	0.18					
	Y ³⁺	1.32					
Cl	Ag ⁺	3.04	5.04		5.30		
	Am ³⁺	1.17					
	Au ³⁺		9.8				
	Ba ²⁺	2.44	4.7	5.0	5.6		
	Cd ²⁺	1.05	2.50	2.60	2.80		
	Ce ³⁺	0.48					
	Co ²⁺	1.42					
	Cu ²⁺		5.5	5.7			
	Cu ²⁺	0.1	-0.3				
	Cr ³⁺	1.17					
	Fe ²⁺	0.36					
	Fe ³⁺	1.48	2.13	1.99	0.01		
	Hg ²⁺	3.74	13.22	14.07	15.07		
	In ³⁺	1.42	2.23	3.23			
	Mn ²⁺	0.85					
	Pb ²⁺	1.02	2.44	1.70	1.60		
	Pd ²⁺	5.1	10.7	13.1	15.7		
	Pr ³⁺		11.5	14.5	16.0		
	Pu ³⁺	1.17					
	Rn ²⁺	2.0					
	Sn ⁴⁺	1.51	2.24	2.03	1.48		

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
Cl ⁻	Sn ²⁺	2.26	3.49	4.18	4.72		
	Sn ⁴⁺						4
	Tl ⁺	6.52					
	Tl ³⁺	6.14	13.60	15.78	16.60		
	Ti ³⁺	1.38	0.38				
	U ³⁺	0.8					
	UO ₂ ²⁺	0.22					
	Zn ²⁺	0.43	0.61	0.69	0.36		
	Zr ⁴⁺	0.9	1.3	1.5	1.2		
CN ⁻	Ag ⁺		21.1	21.7	20.6		
	Au ⁺		38.3				
	Cd ²⁺	5.48	10.60	15.23	18.78		
	Co ⁴⁺		24.0	28.55	30.39		
	Fe ²⁺		38.3				
	Fe ³⁺						35
	Hg ²⁺	18.00	24.71	28.54	31.4		42
	CH ₃ ·Hg ⁺	13.80					
	Ni ²⁺				31.3		
F ⁻	Zn ²⁺	5.5	11.70	15.70	21.50		
	Al ³⁺	6.11	13.12	15.00	18.00	19.40	19.80
	Am ³⁺	3.39	6.11	9.00			
	Ba ²⁺	4.99	8.80	11.60	15.10		
	Bk ³⁺	1.42					
	Ca	0.8					
	Cd	0.46	0.53				
	Ce ³⁺	3.20					
	Co ²⁺	3.34	6.18	9.10			
	Co ³⁺	0.4					
	Cr ³⁺	4.36	8.70	11.20			
	Cu ²⁺	0.9					
	Dy ³⁺	3.46					
	Fe ²⁺	0.8					
	Fe ³⁺	5.26	9.30	12.00		15.77	
	Ga ³⁺	4.49	8.00	10.50			
	Hf ⁴⁺	9.0	16.5	23.1	28.8	34.0	38.6
	Hg ²⁺	1.03					
	Ia ²⁺	3.70	6.40	8.60	9.80		
	La ³⁺	2.77					
	Mg ²⁺	1.30					
	Mn ²⁺	5.48					
	Mn ³⁺	5.65					
	Ni ²⁺	0.50					
	Np ⁴⁺	8.3	14.5	20.8	25.4		
	Pd ⁴⁺	6.03	14.36				
	Pb ²⁺	1.44	2.54				
	Pb ⁴⁺	3.01					
	Pu ³⁺	6.77					
	Sb ³⁺	3.0	5.7	8.3	10.9		
	Se	6.18	11.44	15.48	18.38		

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
F ⁻	Sn ²⁺	4.08	6.68	9.50			
	(CH ₃) ₂ Sn ²⁺	3.70	6.57	8.00			
	CH ₃ Sn ²⁺	5.10	9.85	14.00	17.10	19.30	
	Th ⁴⁺	8.44	15.09	19.80	23.20		
	TiO ⁺	6.44					
	TiO ²⁺	5.4	9.8	13.7	18.0		
	U ⁴⁺	9.0	15.7	21.2			
	UO ₂ ⁺	5.54	7.97	10.55	12.00		
	VO ₂ ⁺	3.37	5.74	7.29	8.10		
	VO ₂ ⁺	3.04	5.50	6.90	7.00		
	Y ³⁺	4.8	8.5	12.1			
	Zn ²⁺	0.78					
	Zr ⁴⁺	9.4	17.2	23.7	29.5	33.5	38.3
NO ₃	Ba ²⁺	0.92					
	Be ²⁺	1.62					
	Bi ³⁺	1.26					
	Ca ²⁺	0.28					
	Cd ²⁺	0.40					
	Ce ³⁺	1.04	2.55				
	Co ²⁺	0.57					
	Hf ⁴⁺	0.92	2.45	4.32	6.40	8.45	10.29
	Fe ³⁺	1.0					
	La ³⁺	0.26	0.69	1.27			
	Pb ²⁺	1.18					
	Hg ²⁺	0.35					
	Nd ³⁺	0.52	1.14				
	Np ⁴⁺	0.38					
	Pu ³⁺	0.77	1.93	3.09			
	Pu ⁴⁺	0.54					
	Sr ²⁺	0.82					
	Tl ⁺	0.33					
	Ti ³⁺	0.92					
	Th ⁴⁺	0.78	1.89	2.89	3.63		
	U ⁴⁺	0.20	0.37				
	UO ₂ ⁺	0.34	0.45				
	Y ³⁺	0.45	1.30	2.42			
	ZrO ₂ ⁺		1.91		3.54		
FCl ₂	Ba ²⁺	1.05					
	Ca ²⁺	0.89					
	Mg ²⁺	0.72					
	Sr ²⁺	1.00					
	Th ⁴⁺	2.88	4.79	7.15			
OH ⁻	Ag ⁺	2.0	3.99				
	Al ³⁺	9.27			33.03		
	Am ³⁺	7.9					
	As ³⁺ (AsO ⁻)	14.33	18.73	26.60	21.20		
	Be ²⁺	9.7	14.0	15.2			
	Ba ²⁺	12.7	15.8		35.2		
	Li ⁺	1.3					

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$
OH ⁻	Cd ²⁺	4.17	8.33	9.02	8.62		
	Ce ³⁺	4.6					
	Ce ⁴⁺	13.28	26.46				
	Cr ³⁺	8.2					
	Cm ³⁺	7.9					
	Co ²⁺	4.3	8.4	9.7	10.2		
	Cr ³⁺	10.1	17.8		29.9		
	Cu ²⁺	7.0	13.68	17.00	18.5		
	Dy ³⁺	5.2					
	Er ³⁺	5.4					
	Eu ³⁺	5.42					
	Gd ³⁺	4.6					
	Ga ³⁺	11.0	21.7		34.3	38.0	40.3
	Fe ²⁺	5.56	9.77	9.67	8.58		
	Fe ³⁺	11.87	21.17	29.67			
	Hf ⁴⁺	13.7			52.8		
	Hg ²⁺	10.6	21.8	20.9			
	CH ₃ Hg ⁺	9.24					
	Ho ³⁺	5.68					
	I ₂	9.49	11.24				
	In ³⁺	10.0	20.2	29.6	38.9		
	La ³⁺	3.3					
	Lu ³⁺	6.6					
	Mg ²⁺	2.58					
	Mn ²⁺	3.9		8.3			
	Nd ³⁺	5.5					
	Ni ²⁺	4.97	8.55	11.33			
	Np ⁴⁺	12.5					
	NpO ₂ ²⁺	8.9					
	OsO ₄	1.8	1.1				
	Pb ²⁺	14.04	27.84	40.7	51.4		
	Pb ²⁺	7.62	10.85	14.68			
	Pd ²⁺	13.0	25.8				
	Pr ³⁺	4.30					
	Pu ³⁺	7.0					
	Pu ⁴⁺	12.39					
	Pu ⁴⁺ (PuO ₂ ²⁺)	8.3	16.6	20.9			
	Sb ³⁺		24.3	38.7	36.3		
	Se ²⁺	8.9					
	Sm ³⁺	4.8					
	Sn ²⁺	10.4					
	(CH ₃) ₂ Sn ²⁺	10.53	19.04	29.80	43.40		
	Te ⁴⁺			41.6	53.0	64.8	72.0
	Th ³⁺	12.86	25.37				
	Tc ³⁺	12.71					
	U ⁴⁺	13.3				41.2	
	UO ₂ ²⁺	9.5	22.80		32.4		
	V ²⁺	11.1	21.6				
	V ⁴⁺ (VO ₂ ²⁺)	8.6					

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$
OH ⁻	$\text{Y}^{3+}(\text{NO}_3)_3$		25.2		16.2	38.5	
	Y^{3+}	3.0					
	Zn^{2+}	4.40	11.30	14.14	17.66		
	Zr^{4+}	14.3	28.3	41.9	55.3		
1	Ag^+	6.58	11.74	13.68			
	Bi^{3+}	3.63			14.95	16.40	18.80
	ClO_2^-	2.10	2.43	4.40	5.41		
	Cu^+		8.85				
	Fe^{3+}	1.88					
	In^{3+}	1.00	7.26				
	Hg_2^{2+}	12.87	23.82	27.60	29.83		
	CH_3Hg^+	8.60	8.86				
	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^+$		-0.67	0.75			
	Pb^{2+}	2.00	3.15	3.92	4.47		
	Pd^{2+}				24.5		
	Li^+	0.72	3.90	1.08			
	Tl^+	11.41	20.88	27.60	31.82		
PO ₄ ³⁻	Ba^{2+}	4.6					
	Ca^{2+}	4.6					
	Cd^{2+}	5.0					
	Ce^{3+}	12.15					
	Co^{2+}	6.7	9.0				
	Co^{3+}	6.1					
	Hg_2^{2+}		12.38				
	La^{3+}	16.72	16.57				
	Mn^{2+}	16.56	31.85				
	Mg^{2+}	5.7					
	Ni^{2+}	5.8	7.4				
	Pb^{2+}	7.3	10.15				
	Se^{4+}	4.7					
	Y^{3+}		9.7				
	Yb^{3+}	12.5	19.4				
	Zr^{4+}		6.5				
	Zn^{2+}	8.7	11.0				
SO ₄ ²⁻	Ag^+	1.3					
	Ba^{2+}	2.7					
	Ce^{3+}	1.95					
	Fe^{3+}	1.98	3.41	4.08	4.34	4.60	
	Co^{3+}	3.59	5.20				
	Fe^{2+}	4.04	5.38				
	Er^{3+}	3.58					
	Gd^{3+}	3.06					
	Hg_2^{2+}	1.34	2.40				
	Ho^{3+}	3.58					
	In^{3+}	1.78	1.88	2.36			
	La^{3+}	3.64	5.29				
	Nd^{3+}	3.64	5.10				
	Ni^{2+}	2.4					

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
SCN ⁻	Pb ²⁺	2.75					
	Pu ⁴⁺	3.66					
	Pr ³⁺	3.62	4.92				
	Sm ³⁺	4.66	5.20				
	Th ⁴⁺	3.32	5.50				
	U ⁶⁺	3.24	5.42				
	U ⁵⁺	1.70	2.45	3.00			
	Y ³⁺	3.47	5.30				
	Yb ³⁺	3.58	5.20				
	Zr ⁴⁺	3.79	6.64	7.77			
SCN ⁻	Cu ²⁺	7.5	8.3	9.2			
	Ag ⁺	5.30	7.35				
	Hg ²⁺		22.66				
SCN ⁻	Ag ⁺	4.6	7.37	9.08	10.08		
	Au	15.27	16.88				
	Hg ²⁺	1.67	3.00	4.00	4.80	5.50	6.10
	Cd ²⁺	1.30	1.98	2.58	3.6		
	Cr ³⁺	1.67	2.98				
	Co ²⁺	-0.04	-0.70	0	3.00		
	Cu ²⁺	12.13	14.18				
	Ca ²⁺	1.90	3.10				
	Fe ³⁺	2.21	3.64	5.00	6.30	6.20	6.10
	In ³⁺	2.58	3.10	4.63			
	Hg ²⁺	9.08	16.86	19.70	21.76		
	Ni ²⁺	1.18	1.64	1.81			
	Pb ²⁺	0.78	0.99	1.00			
	Ru ³⁺	1.78					
	Sr ²⁺	1.17	1.77	1.74			
	Ti ³⁺	0.80					
	Th ⁴⁺	1.08	1.78				
	U ⁶⁺	1.49	2.11				
	UO ₂ ²⁺	0.76	0.74	1.18			
	V ⁴⁺	2.0					
	V ⁵⁺	0.92					
	Zn ²⁺	1.33	1.91	2.00	1.60		
S ₂ O ₃ ²⁻	Cr ³⁺	3.92	5.61				
	Ag ⁺	8.82	13.46				
	Cu ²⁺	10.27	12.22	13.84			
	Fe ²⁺	2.10					
	Hg ²⁺		29.44	31.90	33.24		
联氨 N ₂ H ₄	Pb ²⁺	5.13	6.35				
	H ⁺ (30°C, b)	7.87					
	Mn ²⁺ (30°C, b)	4.26					
	Co ²⁺ (30°C, b)	1.78	3.34				
	Ni ²⁺ (40°C, b)	2.76	5.20	7.35	9.20	10.75	11.99
	Cu ²⁺ (30°C, b)	6.67					
羟胺 NH ₂ OH	Zn ²⁺ (30°C, b)	3.69	6.69				
	H ⁺ (b)	6.05					
羟胺 NH ₂ OH	Cr ³⁺ (b)	K ₁ 3.4(Cl ⁻ L) -0.18					

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
羟胺 NH_2OH	Mo^{5+} (20°C)	$K(\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ -3.81					
	Mn^{2+} (20°C, d)	0.5					
	Co^{2+} (20°C, d)	0.9					
	Ni^{2+} (20°C, d)	1.5					
	Ag^+ (20°C, d)	1.9	4.9				
	Cu^{2+} (20°C, d)	2.4	4.1				
	Zn^{2+} (20°C, d)	0.4	1.01				
	Pt^{2+} (a)	(a)					

表 1-80 金属离子与有机配位体络合物的累积形成常数

除另加说明者外, 均指 25°C, $I \approx 0$ 。

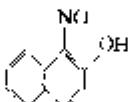
表中符号说明: (a) ~ (d) 各项标注说明同表 1-79。

络 合 剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$
乙酸 CH_3COOH (HL)	Ag^+	0.73	0.64		
	Au^{3+}	1.99	3.28	3.90	
	Ba^{2+}	0.41			
	Be^{2+}	1.62	2.36		
	Ca^{2+}	0.6			
	Ca^{2+}	1.5	2.3	2.4	
	Ce^{3+}	1.68	2.69	3.13	3.18
	Cr^{3+}	2.06	3.09		
	Co^{2+}	1.5	1.9		
	Cr^{3+}	4.63	7.08	9.60	
	Co^{2+} (20°C)	2.16	3.20		
	Fe^{2+} (a)	3.2	6.1	8.3	
	Fe^{3+} (20°C, b)	3.38	6.50	8.30	
	Hg^{2+} (30°C)	5.50	9.30	13.28	17.06
	In^{3+}	3.50	5.95	7.90	9.08
	La^{3+} (20°C, c)	1.56	2.48	2.98	2.95
	Mn^{2+}	9.84	2.06		
	Ni^{2+}	1.12	1.81		
	Pb^{2+}	2.52	4.0	6.4	8.5
	Sn^{2+}	3.3	5.0	7.3	
	TP^+	6.17	11.28	15.10	18.3
	UO_2^{2+} (20°C, c)	2.38	4.36	6.34	
	Y^{3+} (20°C, c)	1.53	2.65	3.38	
	Zn^{2+}	1.5			
乙基丙酮 $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COCH}_3$ (HL)	Al^{3+} (30°C)	8.6	15.5		
	Be^{2+}	7.8	14.5		
	Cd^{2+}	3.84	6.66		
	Ce^{3+}	5.30	9.27	12.66	
	Cr^{3+}	8.96	11.7		
	Co^{2+}	5.40	9.54		
	Cu^{2+}	8.27	15.34		
	Dy^{3+} (30°C)	8.03	10.70	14.04	
	Er^{3+} (30°C)	5.99	10.67	14.09	
	Eu^{3+} (30°C)	5.87	10.35	13.64	
	Fe^{3+} (30°C)	5.07	8.67		

续表

络 合 剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$
乙酰丙酮 $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COCH}_3$ (HL)	Fe^{2+} (30°C)	11.4	22.1	26.7	28.1
	Ga^{3+} (30°C)	9.5	17.9	23.6	
	Gd^{3+} (30°C)	5.9	10.38	13.79	
	Hf^{4+}	8.7	15.4	21.8	
	Hg^{2+}		21.5		
	Ho^{3+}	5.05	10.73	14.13	
	In^{3+}	8.0	15.1		
	La^{3+} (30°C)	5.1	8.90	11.90	
	Lu^{3+} (30°C)	6.23	11.00	13.63	
	Mg^{2+}	3.65	6.27		
	Mn^{2+}	4.24	7.35		
	Mn^{3+}			3.86	
	Nd^{3+}	5.6	9.9	13.1	
	Ni^{2+} (20°C)	6.06	10.77	13.09	
	Pt^{2+}		6.32		
	Pd^{2+} (30°C)	16.2	27.1		
	Pr^{3+} (30°C)	5.4	9.5	12.5	34.1
	Pu^{4+} (a)	10.5	19.7	28.1	
	Sc^{3+} (30°C)	8.0	15.2		
	Sm^{3+} (30°C)	5.9	10.4		
	Tb^{3+} (30°C)	6.02	10.63	14.04	
	Th^{4+}	8.8	16.2	22.5	
	Ti^{3+}	10.43	18.82	24.90	
	Tm^{3+} (30°C)	6.09	10.85	14.33	
	U^{4+} (20°C, a)	8.6	17.0	23.4	
	UO_2^{2+} (30°C)	7.74	14.19		
	VO^{2+}	3.68	15.79		
	V^{3+}	5.4	10.2	14.7	29.5
	Y^{3+} (30°C)	6.4	11.1	13.9	
	Yb^{2+} (30°C)	6.18	11.04	13.54	
	Zn^{2+} (30°C)	4.98	8.81		
	Zr^{4+}	8.4	16.0	23.2	
苯胺丙酮 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_2\text{COCH}_3$ (HL) (在 75% 二噁烷中)	Ba^{2+}		9.4		27.04
	Be^{2+}	12.59	24.01		
	Cd^{2+}	7.79	14.36		
	Ce^{3+}	10.09	19.42		
	Co^{2+}	9.42	17.83		
	Cu^{2+}	12.05	23.01		
	La^{3+}	6.33	11.66	16.78	
	Mg^{2+}	7.69	14.09		
	Mn^{2+}	8.66	15.78		
	Ni^{2+}	9.58	18.00		
	Pb^{2+}	8.84	16.35		
	Pr^{3+}	7.02	13.62	18.74	
	UO_2^{2+}	12.15	23.27		
	Y^{3+}	8.24	14.98		
	Zn^{2+}	9.62	17.90		

续表

络 合 剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$
1-硝基萘酚- (2)  (在 75% 二噁烷中)	Ag^+	7.74			
	Ca^{2+}	6.18	11.38		
	Ce^{3+}	10.57	22.81		
	Cu^{2+}	11.73	23.37		
	Mg^{2+}	6.2	10.61		
	Nd^{3+}	9.5	17.7	25.6	
	Ni^{2+}	10.75	21.29	26.07	
	Pr^{3+}	9.73	17.5		
	Pb^{2+}	9.04	17.56	22.83	
	Th^{4+} (a)	8.50	16.13	21.03	36.23
	Y^{3+}	9.02	17.71	25.01	
	Zn^{2+}	9.32	17.92		
	Zr^{4+}	3.6			
二苯酰甲烷 $(\text{C}_6\text{H}_5\text{CO})_2\text{CH}_2$ (H.L.) (在 75% 二噁烷中)	Ba^{2+}	6.10	11.50		
	Be^{2+}	13.02	26.03		
	Ca^{2+}	7.17	13.75		
	Cd^{2+}	8.67	16.55		
	Ce^{3+}	10.99	21.55	30.38	
	Co^{2+}	10.85	20.95		
	Cu^{2+}	12.98	24.36		
	Cs^+	3.42			
	Fe^{3+}	11.15	21.50		
	K^+	5.67			
	La^{3+}	5.95			
	Mg^{2+}	8.51	16.21		
	Mn^{2+}	9.32	11.79		
	Na^+	4.18			
	Ni^{2+}	10.83	20.72		
	Pb^{2+}	9.75	18.78		
	Rh^+	3.52			
	Sr^{2+}	6.40	12.10		
	Zn^{2+}	10.23	19.65		
8-羟基喹啉-5-磺酸 $\text{C}_9\text{H}_6\text{ONSO}_3\text{H}$ (H.L.)	Be^{2+}	2.31			
	Ca^{2+}	3.52			
	Cd^{2+}	7.70	14.20		
	Ce^{3+}	6.95	11.05	14.95	
	Co^{2+}	8.11	15.06	20.41	
	Cr^{3+}	11.9	21.1		
	Cu^{2+}	11.32	21.87		
	Fe^{3+}	7.16	13.34	18.56	
	Fe^{2+}	8.1	15.7	21.75	
	Fe^{3+}	11.1	22.8	35.65	
	Ga^{3+}	6.54	12.37	17.27	
	La^{3+}	5.53	10.13	16.83	
	Mg^{2+}	4.79	8.19		
	Mn^{2+}	5.57	10.72		

续表

络 合 剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$
8-羟基喹啉-5-磺酸 $C_9H_6ONSO_3H$ (1H ₂ L)	Nd ³⁺	9.3	11.5	16.0	
	Ni ²⁺	9.57	18.27	22.0	
	Pb ²⁺	8.53	16.15		
	Pt ²⁺	6.17	11.37	15.07	
	Sm ³⁺	8.58	12.25	17.04	
	Sr ²⁺	2.75			
	Th ⁴⁺	9.56	18.29	25.92	
	UO ₂ ²⁺	8.52	15.57		
	Zn ²⁺	11.8			
乳酸 $CH_3CH(OH)COOH$ (HL)	Am ³⁺	2.52			
	Ba ²⁺	6.64			
	Ca ²⁺	1.42			
	Cd ²⁺	1.70			
	Ce ³⁺ (20℃, a)	2.76	4.73	5.96	
	Co ²⁺	1.90			
	Cu ²⁺	3.02	4.85		
	Er ³⁺	2.77	5.11	6.70	
	Eu ³⁺	2.53	4.60	5.88	
	Fe ²⁺	7.1			
	Gd ³⁺	2.53	4.63	5.91	
	Hg ²⁺	2.71	4.97	6.55	
	La ³⁺ (20℃, a)	2.60	4.34	5.64	
	Li ⁺	0.20			
	Lu ³⁺	3.27			
	Mg ²⁺	1.37			
	Mn ²⁺	1.43			
	Nd ³⁺	2.47	4.37	5.60	
	Ni ²⁺	2.22			
	Pb ²⁺	3.40	5.80		
	Pt ²⁺ (20℃, a)	2.85	4.90	6.40	
	Sc ³⁺	5.2			
	Sm ³⁺	2.56	4.58	5.99	
	Sr ²⁺	0.96			
	Tb ³⁺	2.61	4.73	6.01	
	Th ⁴⁺	5.5			
	Tm ³⁺	3.19			
	UO ₂ ²⁺	2.76			
	VO ₂ ⁺	2.68	4.83		
	Y ³⁺	2.53	4.79	6.12	
	Yb ³⁺	2.85	5.27	7.96	
	Zn ²⁺	2.20	3.75		
草 酸 $C_2H_2O_4$ (H ₂ L)	Ag ⁺	2.41			
	Al ³⁺	5.26	13.0	16.3	
	Am ³⁺	4.63	8.35	11.15	
	Ba ²⁺	2.31			
	Be ²⁺	4.98	5.38		
	Ca ²⁺	3.0			
	Cd ²⁺	3.52	5.77		
	Ce ³⁺	6.52	10.5	14.2	

续表

络 合 剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$
草 酸 $C_2H_2O_4 (H_2L)$	Co^{2+}	4.79	6.7	9.7	
	Cu^{2+}	6.23	10.27		
	Er^{3+}	4.82	8.21	10.03	
	Fe^{2+}	2.9	4.52	5.22	
	Fe^{3+}	9.4	16.2	20.2	
	Gd^{3+}	6.43	12.38	17.86	
	Ga^{3+}	7.04			
	Hg^{2+}	9.66			
	Hg^{2+}		6.98		
	In^{3+}	5.30	10.52		
	La^{3+}	4.3	7.9	10.3	
	Mg^{2+}	3.43	4.38		
	Mn^{2+}	3.97	5.80		
	Mn^{3+}	9.98	16.57	19.42	
	Mo^{3+}	3.38			
	Nd^{3+}	7.21	11.5	>14	
	Ni^{2+}	5.3	7.64	~8.5	
	NpO_2^{2+}	3.3	7.07		
	Pb^{2+}	4.91	6.76		
	Pu^{3+}	9.31	18.7	28	
	Pu^{4+}	8.74	16.91	23.39	27.50
	PuO_2^{2+}		11.4		
	Sc^{3+}	6.66	11.31	14.32	16.70
	Sr^{2+}	2.54			
	Tb	5.08	8.86	11.85	13.41
	Th^{4+}				24.48
	TiO_2^{+}	2.67			
	Ti^{3+}	2.03			
	UO_2^{2+}	4.99	10.64	11.0	
	VO^{2+}		9.80		
	Y^{3+}	6.52	10.10	11.47	
	Yb^{3+}	7.30	11.7	>14	
	Zn^{2+}	4.89	7.60	8.15	
	Zr^{4+}	9.80	17.14	20.86	21.15
邻苯二甲酸 $C_6H_4 (COOH)_2 (H_2L)$	Ba^{2+}	2.33			
	Ca^{2+}	2.43			
	Cd^{2+}	2.5			
	Co^{2+}	1.81	4.51		
	Cu^{2+}	3.46	4.83		
	La^{3+}		7.74		
	Ni^{2+}	2.14			
	Pb^{2+}	3.4			
	UO_2^{2+}	4.30			
	Zn^{2+}	2.2			
水杨酸 $C_6H_4 (OH) COOH (H_2L)$	Al^{3+}	14.11			
	Be^{2+}	12.51	22.16		
	Cd^{2+}	5.55			
	Ce^{3+}	2.66			
	Co^{2+}	6.72	11.42		
	Cr^{3+}	8.4	15.3		

续表

络 合 剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$
水杨酸 $C_6H_4(OH)COOH (H_2L)$	Cu^{2+}	10.60	18.45		
	Fe^{2+}	9.55	11.23		
	Fe^{3+} (20°C, n)	16.45	28.12	36.86	
	La^{3+}	2.64			
	Mg^{2+} (75%二噻烷)	4.7			
	Mn^{2+}	5.90	9.80		
	Na^{2+}	3.70			
	Ni^{2+}	6.96	11.75		
	Pr^{3+}	2.68			
	Th^{4+}	4.25	7.60	10.08	11.60
	TiO^{2+}	3.09			
	UO_2^{2+}	12.06	20.83		
	V^{2+}	5.3			
	Zn^{2+}	6.85			
丁二酸 $CH_2(COOH)_2$ $CH_2(COOH)_2 (H_2L)$	Ba^{2+}	2.08			
	Be^{2+}	3.08			
	Ca^{2+}	2.0			
	Cd^{2+}	2.2			
	Co^{2+}	2.22			
	Cr^{2+}	3.33			
	Fe^{2+}	2.45			
	Hg^{2+}		7.26		
	Li^{2+}	3.96			
	Mg^{2+}	1.20			
	Mn^{2+}	2.26			
	Nd^{3+}	3.1			
	Ni^{2+}	2.36			
	Pb^{2+}	2.4			
	Ra^{2+}	1.0			
	Sr^{2+}	1.06			
	Zn^{2+}	1.6			
5-磺酸-水杨酸 $C_6H_3(SO_3H)COOH (SO_3H_2L)$	Al^{3+} (a)	15.20	22.83	28.80	
	Ba^{2+} (a)	11.71	20.81		
	Cd^{2+} (a)	15.68	29.08		
	Ce^{2+}	6.83	12.20		
	Co^{2+} (a)	6.13	9.82		
	Cr^{2+} (a)	7	12.3		
	Cu^{2+} (a)	9.56			
	Cu^{2+} (a)	9.52	16.45		
	Fe^{2+} (a)	5.9	9.9		
	Fe^{3+} (a)	14.64	26.18	32.12	
	La^{3+} (a)	9.11			
	Mn^{2+} (a)	5.24	8.24		
	NbO^{2+} (a)	4.0	7.7		
	Ni^{2+} (a)	6.42	10.24		
	Ti^{2+}	12.4			
	UO_2^{2+} (a)	11.14	18.20		
	Zn^{2+} (a)	6.65	10.63		

续表

络 合 剂	金属离子	$\lg A$	$\lg D_1$	$\lg D_2$	$\lg \beta$
羧基乙酸 $\text{HS} \cdot \text{CH}_2\text{COOH} \quad (\text{H}_2\text{L})$	Cr^{3+} (20°C, a)	1.59	3.03		
	Co^{2+}	5.84	12.15		
	Fe^{2+}		15.92		
	Hg^{2+}		43.82		
	La^{3+} (20°C, a)	1.98	2.98		
	Mn^{2+}	4.38	7.68		
	Pb^{2+}	8.5			
	Ni^{2+}	6.98	13.58		
	Y^{3+} (20°C, a)	1.61	3.10		
	Zn^{2+}	7.86	15.94		
酒石酸 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ (H_2L)	Be^{2+}		1.62		
	Bi^{3+}			8.50	
	Ca^{2+}	5.08	9.61		
	Cd^{2+}	2.8			
	Co^{2+}	2.1			
	Cu^{2+}	3.2	5.11	4.78	6.51
	Eu^{3+}	4.08	8.11		
	Fe^{3+}	7.49			
	Hg^{2+}	7.6			
	La^{3+}	3.06			
	Mg^{2+}		1.36		
	V^{5+}	2.43			
	Nd^{3+}	6.0			
	Ni^{2+}	2.06			
	Pb^{2+}	3.78		4.7	
	Ra^{2+}	1.24			
	Sn^{2+}	5.2			
	Si^{2+}	1.60			
	Zn^{2+}	2.68	8.32		
硫 脲 NH_2CSNH_2 (L)	Ag^{+}	7.4	15.1		
	BF_4^{-}	$(\lg \beta_4 = 11.9)$			
	Ca^{2+}	0.6	1.6	2.6	4.6
	Cu^{2+}			13	15.4
	Hg^{2+}		22.1	24.7	26.8
	Pb^{2+}	1.4	5.1	4.7	8.5
8-羟基喹啉 $\text{C}_9\text{H}_6\text{N}_2$ (OH) (HL)	Ru^{3+}	1.23		0.72	
	Ag^{+}	5.20	9.56		
	Ba^{2+}	2.67			
	Be^{2+}	3.33			
	Ce^{3+} (在 75% 乙醇中)	7.5	13.2		
	Ce^{3+}	7.2	13.4		
	Ce^{3+} (在 50% 二噁烷中)	9.15	17.13		
	Co^{2+}	9.1	17.2		
	Cu^{2+}	12.9	21.4		
	Fe^{3+}	8.58	16.93	22.73	
	Fe^{2+}	12.5	23.6	33.9	
	Ga^{3+}	14.7	28.0	40.5	
	La^{3+}	5.95	16.95		
	Mn^{2+} (在 60% 二噁烷中)	6.38	11.81		
	Mn^{2+} (在 50% 二噁烷中)	8.28	15.45		

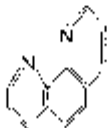
续表

络 合 剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$
8-羟基喹啉 $C_{11}H_8N_2(OH)(HIL)$	Ni^{2+} (在 50% 二噁烷中)	11.44	21.38		
	Pb^{2+} (在 50% 二噁烷中)	10.61	18.70		
	Sm^{3+}	6.84		19.50	
	Sc^{3+}	2.80	6.08		
	Tb^{3+}	10.45	20.46	29.87	38.80
	UO_2^{2+} (在 50% 二噁烷中)	11.25	20.89		
	V^{5+}	9.8	23.5		
	Y^{3+}	8.15	14.90	23.23	
	Zn^{2+} (在 50% 二噁烷中)	9.96	16.36		
吡 啶 $C_5H_5N (L)$	Ag^+	1.97	4.35		
	Cu^{2+}	1.40	1.95	2.27	2.50
	Co^{2+}	1.14	1.54		
	Cu^{2+}	2.59	4.33	4.92	6.54
	Pb^{2+}	5.71			
	Hg^{2+}	5.1	10.0	10.4	
	Mn^{2+}	1.92	2.77	3.77	3.80
	Y^{3+} (20°C, a)	8.44	15.73	21.84	
	Yb^{3+} (20°C, b)	8.48	16.61	21.83	
	Zn^{2+}	1.41		1.61	1.93
吡啶-2,6-二羧酸 $C_5H_3N(COOH)_2 (EIL)$	Ba^{2+} (20°C, b)	3.46			
	Ca^{2+} (20°C, b)	4.6	7.2		
	La^{3+} (20°C, b)	5.7	10.0		
	Ce^{3+} (20°C, b)	4.34	14.42	18.80	
	Co^{2+} (20°C, b)	7.0	12.5		
	Cr^{3+} (20°C, b)	6.14	18.52		
	Dy^{3+} (20°C, b)	5.69	16.19	22.14	
	Er^{3+} (20°C, b)	8.77	16.30	22.14	
	Eu^{3+} (20°C, b)	3.84	15.98	21.00	
	Fe^{2+} (20°C, b)	5.71	10.36		
	Fe^{3+} (20°C, b)	12.91	17.11		
	Gd^{3+} (20°C, b)	5.74	16.06	21.83	
	Ho^{3+} (20°C, b)	8.72	16.23	22.58	
	La^{3+} (20°C, b)	7.98	13.79	18.56	
	Lu^{3+} (20°C, b)	9.03	16.80	21.48	
	Hg^{2+} (20°C, b)	20.28			
	Mg^{2+} (20°C, b)	2.7			
	Mn^{2+} (20°C, b)	5.01	8.40		
	Ni^{2+} (20°C, b)	8.78	15.60	20.56	
	Ni^{2+} (20°C, b)	6.93	13.50		
	Pb^{2+} (20°C, b)	8.70	10.60		
	Pr^{3+} (20°C, b)	8.63	15.10	19.94	
	Sm^{3+} (20°C, b)	8.86	15.86	21.23	
	Sr^{2+} (20°C, b)	3.89			
	Tb^{3+} (20°C, b)	8.68	16.11	22.03	
	Tm^{3+} (20°C, b)	8.23	16.54	22.04	
乙二胺 $(NH_2CH_2CH_2NH_2) (L)$	Ag^+	4.70	7.55		
	Cd^{2+} (20°C)	5.47	10.69	12.00	
	Cu^{2+}	5.91	10.61	13.94	

续表

络 合 剂	金属离子	$\lg K$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$
乙二胺 ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$) (L)	Ce^{4+}	18.7	14.9	15.66	
	Cr^{3+}	5.15	5.19		
	Co^{2+}		10.8		
	Cr^{3+}	10.57	20.00	21.0	
	Fe^{2+}	4.34	7.65	9.70	
	Hg^{2+}	14.3	23.5		
	Mg^{2+}	0.37			
	Mn^{2+}	2.73	4.79	5.67	
	Ni^{2+}	7.52	13.84	16.33	
	Pd^{2+}		26.90		
	V^{3+}	4.6	7.6	8.8	
	Zn^{2+}	5.77	13.83	14.1	
乙醇胺 ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) (L)	Ag^+	3.29	6.92		
	Ca^{2+}		6.68		16.45
	Hg^{2+}	8.51	17.32		
牛氨酸 ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) (HL)	Ag^+	3.41	8.89		
	Ba^{2+}	0.77			
	Be^{2+}		4.95		
	Ca^{2+}	1.36			
	Ce^{3+}	4.74	3.60		
	Co^{2+}	5.23	9.23	10.76	
	Cu^{2+}	8.60	15.54	16.27	
	Dy^{3+}		12.2		
	Er^{3+}		12.7		
	Fe^{2+}	(20°C)	7.8		
	Fe^{3+}	(20°C, h)	10.0		
	Gd^{3+}		11.9		
	Hg^{2+}	10.3	19.2		
	La^{3+}		11.2		
	Mg^{2+}	3.44	6.15		
	Mn^{2+}	3.6	6.6		
	Ni^{2+}	6.18	11.14	15	
	Pb^{2+}	5.47	8.92		
	Pd^{2+}	9.12	17.55		
	Pr^{3+}		11.5		
	Sm^{3+}		11.7		
	Sr^{2+}	0.91			
	Y^{3+}		12.5		
	Yb^{3+}		13.0		
	Zn^{2+}	5.52	9.96		
N-甲基乙醇胺 $\text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{N}-\text{OH}$ $\text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{N}-\text{OH}$ (1:1) (含 10% 吡啶中)	Cd^{2+}	5.7	10.7		
	Co^{2+}	9.80	18.94		
	Cu^{2+}	12.06	23.44		
	Fe^{3+}		7.23		
	La^{3+}	4.6	12.5		
	Ni^{2+}	11.15	21.88		
	Pb^{2+}	7.5			
	Zn^{2+}	7.7	13.9		

续表

络 合 剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$
α, α' -联吡啶 ($C_{10}H_8N_2$) (L)	Ag ⁺	3.63	7.13		
	Cd ²⁺	4.36	7.81	10.47	
	Co ²⁺	5.73	11.57	17.59	
	Cr ³⁺	4.5	10.5	14.0	
	Cu ⁺		14.2		
	Cu ²⁺	8.0	13.60	17.08	
	Fe ²⁺	4.36	8.0	17.45	
	Gd ³⁺	4.52	3.18		
	Hg ²⁺	9.64	16.70	23.50	
	In ³⁺	4.75	8.00		
	Mn ²⁺	4.08	7.84	11.17	
	Mg ²⁺	0.5			
	Ni ²⁺	6.80	13.26	18.46	
	Pb ²⁺	3.0			
	Ti ²⁺			23.38	
	V ³⁺	4.9	9.0	13.1	
	Zn ²⁺	3.30	9.83	13.63	
2-甲基-8-羟基喹啉 $CH_3 \cdot C_{11}H_8N(OH) (HL)$ (在50%乙醇中)	Cd ²⁺	9.00	9.00	16.80	
	Ce ³⁺	7.71			
	Cr ³⁺	5.63	18.50		
	Cu ²⁺	12.48	24.03		
	Fe ³⁺	8.75	17.10		
	In ³⁺	12.2	23.9	35.0	
	Mg ²⁺	5.24	9.64		
	Mn ²⁺	7.44	13.99		
	Ni ²⁺	9.41	17.76		
	Pb ²⁺	10.50	18.50		
	UO ₂ ²⁺	9.4	17		
	Zn ²⁺	9.32	18.72		
1, 10-菲咯啉  (L)	Ag ⁺	5.02	12.07		
	Ca ²⁺	0.7			
	Cd ²⁺	5.93	10.83	14.31	
	Co ²⁺	7.25	13.95	19.00	
	Cu ²⁺	9.08	15.78	20.94	
	Fe ²⁺	5.85	11.45	21.3	
	Fe ³⁺	6.5	11.4	23.5	
	In ³⁺	5.70	10.04	14.00	
	Hg ²⁺		18.50	23.35	
	Mg ²⁺	1.2			
	Mn ²⁺	3.88	7.04	10.11	
	Ni ²⁺	8.80	17.10	24.80	
	Pb ²⁺	4.65	7.5	9	
	Ti ²⁺	11.57	18.30	24.50	
	VO ²⁺	5.47	9.60		
	Zn ²⁺	6.55	12.35	17.55	
甲 酸 HCOOH (HL)	Al ³⁺	(b)	1.78		
	Fe ²⁺		1.36		
	Ca ²⁺		1.43		

续表

络 合 剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$
甲酸 HCOOH (HL)	Cd^{2+} (30°C, b)	1.03	1.22	1.75	
	Co^{2+} (b)	1.45			
	Cr^{3+}	5.73	1.18		
	Cu^{2+}	2.40			
	(a, 在 50% 乙醇)				
	Fe^{2+} (b)	1.45	4.80	5.95	5.1
	Hg^{2+}	5.43			
	Li^{+}	2.74	4.72	7.70	6.70
	Mg^{2+}	1.43			
	Mn^{2+} (b)	0.80			
	Pb^{2+} (30°C, b)	0.35	0.02	1.15	
	Sr^{2+}	1.59			
	UO_2^{2+} (20°C, b)	1.89	3.08	5.50	
	Zn^{2+} (a)	1.97			
氨基甲酸 $\text{H}_2\text{N} \cdot \text{NH}-\text{CS}-\text{NH}_2$ (L)	Ag^{+}				13.10
	Cd^{2+}	2.57	5.70	5.36	
	Co^{2+}	6.11	11.51		
	Hg^{2+} ($I=0.2\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)				26.25
	Pb^{2+}	2.89	22.4	24.3	
	Ru^{2+} (b)	K_1 (mol/L) = 0.75			
	Zn^{2+}		2.8		
二羟基丙醇 $\text{CH}_2\text{SH} \cdot \text{CHSH} \cdot \text{CH}_2\text{OH}$ (H ₂ L)	H^{+} (a)	10.73	11.13		
	Fe^{2+} (30°C, a)		15.73		
	Fe^{3+}	K_1 (T=100) = 35.6			
	Mn^{2+} (30°C, a)	5.23	10.43		
	Ni^{2+} (30°C, a)		22.75		
	Zn^{2+}	13.48	24.3		
二乙醇胺 $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2$ (HL)	H^{+} (a)	8.08			
	Ag^{+} ($I < 0.01\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)		5.38		
	Cd^{2+} (a)	2.70	0.60	5.21	
	Co^{2+} (d)	1.75			
	Cr^{3+} (d)	1.23			
	Hg^{2+} (d)	5.90	13.08		
	Ni^{2+} (d)	2.27	3.09		
3-巯基-1, 2-丙二醇 $\text{C}_3\text{H}_7(\text{OH})_2\text{SH}$ (HL)	H^{+}	9.46			
	Pb^{2+} (a)	7.79			
抗坏血酸	H^{+} (a)	11.34	15.36		
	Ag^{+} (a)	5.68			
	Ca^{2+} ($I=0.16\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	-0.19			
	Co^{2+} (0.1°C, a)	K_1 (C ₆ H ₅) = 1.57			
	Sr^{2+} ($I=0.16\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	-0.35			
	Ti^{3+} (a)	K_1 (TiO (HL) ₂) = 24.8			
		K_2 (TiOH ₂] ²⁺) = 2.1			
		K_1 (TiO (CH ₃) ₂] = 5.25			
		K_2 (Ti (HL) ₂] = 35.3			
二乙基二硫代甲酸 $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{N}-\text{CSHS}$ (HL)	Ag^{+} ($I=0.01\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	8.5			
	75% 乙醇				

续表

络 合 剂	金 属 离 子	$\lg K$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	
二乙氨基二硫代甲酸 ($(C_2H_5)_2NCSSTH(HL)$)	$(CCl_4)^{10}$	2.58	$K(AgHA + HL \rightleftharpoons AgL + H_2A^{2-})$			
	As^{3+}	7.93	$K(AsA + 2HL \rightleftharpoons AsL_2 + H_2A^{2-})$			
	Hg^{2+}	5.72	$K(Hg_2 + 2HA^{2-} \rightleftharpoons Hg(HA)_2 + 2HL)$			
	Cd^{2+}	2.53	$K(Cd(HA)_2 + 2HL \rightleftharpoons CdL_2 + 2H_2A^{2-})$			
	Cu^{2+}	2.5	$K(Cu(HA)_2 + HL \rightleftharpoons CuHAL + HL_2A^{2-})$			
		2.1	$K(CuHAL + HL \rightleftharpoons CuL_2 + H_2A^{2-})$			
		4.6	$K(Cu(HA)_2 + 2HL \rightleftharpoons CuL_2 + 2H_2A^{2-})$			
		0.35	$K(Cu(HA)_2 + CuL \rightleftharpoons 2CuHAL)$			
	Hg^{2+}	2.31	$K(Hg(HA)_2 + 2HL \rightleftharpoons HgL_2 + 2H_2A^{2-})$			
	Li^{+}	4.75	$K(Li_2(HA)_2 + 2HL \rightleftharpoons Li_2L_2 + 2H_2A^{2-})$			
	Pb^{2+}	4.98	$K(Pb(HA)_2 + 2HL \rightleftharpoons PbL_2 + 2H_2A^{2-})$			
	Pd^{2+}	1.4	$K(Pd(HA)_2 + 2HL \rightleftharpoons PdL_2 + 2H_2A^{2-})$			
	Sb^{3+}	2.47	$K(SbA + 2HL \rightleftharpoons SbL_3 + H_2A^{2-})$			
	Se^{4+}	~8.5	$K(Se(HA)_4 + 4HL \rightleftharpoons SeL_4 + 4H_2A^{2-})$			
	Te^{4+}	~5.5	$K(Te(HA)_4 + 4HL \rightleftharpoons TeL_4 + 4H_2A^{2-})$			
	Tl^{+}	3.53	$K(TlHA + HL \rightleftharpoons TlL + H_2A^{2-})$			
	Zn^{2+}	0.24	$K(Zn(HA)_2 + 2HL \rightleftharpoons ZnL_2 + 2H_2A^{2-})$			

① 在 CCl_4 介质中。② H_2A = 二氨基硫代卡巴腓。这里的 K 值为二乙氨基二硫代甲酸与二氨基硫代卡巴腓的竞争络合形成常数。

络 合 剂	金 属 离 子	HL 阴离子络合物		L ⁻ 阴离子络合物		HL ₂ 络合物
		lgK ₁	lgβ ₁	lgK ₁	lgβ ₁	lgβ ₂
柠檬酸 CH ₃ COOH C(OH)(COOH) CH ₂ COOH (HL ₂)	Ag ⁺	7.1				
	Al ³⁺	7.0		26.6		
	Ba ²⁺	2.98				
	Be ²⁺	4.52				
	Ca ²⁺	4.68				
	Ce ³⁺	3.98		11.3		
	Co ²⁺		6.18		9.15	3.7
	Co ³⁺	4.8		12.7		
	Cu ²⁺	4.35		15.2		
	Eu ³⁺		6.46		9.30	
	Fe ²⁺	3.09		11.5		
	Fe ³⁺	12.5		27.0		
	Li ⁺		6.57		9.45	6.22
	Mg ²⁺	3.23				
	Mn ²⁺	3.67				
	Ni ²⁺		6.32		9.70	
	Ni ³⁺	5.11		14.2		
	Pb ²⁺	6.53				
	Pt ²⁺					3.4
	Ra ²⁺	2.26				
	Sr ²⁺	2.8				
	Tl ⁺	1.04				
	UO ₂ ²⁺	5.5	10.2			
	Y ³⁺					3.6
	Yb ³⁺				8	
	Zn ²⁺	4.70		11.4		

续表

络 合 剂	金 属 离 子	$\lg K_f$ (MHB ^{11})		$\lg K_f$ (M (HL) $_{12}$)	
水杨醛肟	Be $^{2+}$	5.53		3.72	
C ₆ H ₅ (OH) CHNOH (H ₂ L)	Be $^{2+}$	<7			
	Cu $^{2+}$	5.92		3.72	
	Cr $^{3+}$	<4.4			
	Co $^{2+}$	8.4		8.15	
	Cu $^{2+}$			4.19	
	Mg $^{2+}$	0.64		4.10	
	Ni $^{2+}$			3.77	
	Si $^{4+}$			3.77	
	Zn $^{2+}$	<5.2			
络 合 剂	金 属 离 子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$
羧基丁二酸 CH ₂ SO ₃ COOH | CH ₂ COOH (H ₂ L)	Ag $^{+}$	7.85			
	Ca $^{2+}$	6.85			
	Hg $^{2+}$	9.04	18.07		
	Ni $^{2+}$	7.97	12.37		
	Zn $^{2+}$	8.47	12.95		
半胱氨酸 CH ₂ SH | C(RNH ₂)COOH (H ₂ L)	Ca $^{2+}$ ($I=0.2\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)		9.89		
	Ca $^{2+}$ (20°C — $0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	9.2	18.9		
	Ca $^{2+}$ (20°C — $0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	16.2			
	Cu $^{+}$ (h)	19.2			
	Cu $^{2+}$ ($I=0.17\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)		18.0		
	Fe $^{2+}$	8.2	11.77		
	Hg $^{2+}$			32.10	
	Hg $^{2+}$ (a)	14.21			
	Mg $^{2+}$ (20°C — $0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<4			
	Mn $^{2+}$ (a)	4.58			
	Ni $^{2+}$ (a)	9.64	19.04		
	Pb $^{2+}$ (a)	11.89			
	Zn $^{2+}$ (a)	9.04	17.51		
噻吩甲酰三氯丙酮 (TIA)  COCH ₂ COCH ₃	Be $^{2+}$		10.6		
	Ca $^{2+}$	6.35	13.8		
	Fe $^{2+}$	10.0			
	Pb $^{2+}$	0.83			
	Pb $^{4+}$	8.9			
	Pu $^{4+}$	9.55			
	Th $^{4+}$	8.1			
	U $^{4+}$	7.2			

二、配位体的基本参数

表 1-81 配位体的酸效应系数 ($\alpha_{L(H_i)}$ 值) 与各级离解常数 (pK_i 值)

pH	氨	乙二胺	三氨基 丙 烷	三氨基 丙 烷	三乙 醇胺	二乙 一胺	三氨基 三乙醇	三乙 四胺	四乙 五胺	五乙 六胺
0	9.55	16.78	16.33	21.50	7.80	22.41	23.68	28.63	35.18	37.60
1	8.25	14.98	14.33	18.50	6.80	20.41	23.68	24.63	30.18	33.99
2	7.25	12.78	12.33	15.51	5.80	16.42	22.68	20.88	25.22	28.89
3	6.25	10.78	10.33	12.55	4.80	13.52	19.68	16.82	20.40	23.89
4	5.25	8.78	8.33	9.91	3.80	11.16	16.68	13.46	16.12	21.89
5	4.25	6.70	6.34	7.73	2.80	9.06	13.68	10.40	12.72	17.89
6	3.25	4.85	4.43	5.71	1.80	7.07	10.88	7.48	9.38	13.89
7	2.25	3.16	2.87	3.74	0.88	4.07	7.88	4.96	6.32	9.20
8	1.27	1.86	1.73	1.89	0.21	3.10	4.77	2.87	3.87	5.80
9	0.44	0.58	0.80	0.76	0.03	1.33	2.20	1.12	1.47	2.41
10	0.07	0.27	0.18	0.17		0.30	0.55	0.21	0.27	0.57
11	0.01	0.04	0.02	0.02			0.10	0.02	0.03	0.07
12							0.01			0.01

所用的各级离解常数的负对数										
pK_1	9.25	6.85	6.61	5.80	7.80	5.34	8.64	8.25	5.06	8.58
pK_2		9.93	9.72	8.02		5.15	8.67	8.56	4.80	7.11
pK_3				5.97		5.84	10.37	9.08	8.19	9.72
pK_4								9.74	9.28	10.22
pK_5									9.85	

pH	NDA	CDTA	DTPA	EDTA	TTHA	HEPDA	NTA	EDAP	EVTP	ANTDA
0	14.01	23.77	28.07	23.64	34.64	17.90	14.25	15.27	22.80	13.04
1	11.08	13.75	23.11	18.03	28.66	14.91	11.24	12.27	8.80	10.08
2	8.33	10.91	18.46	15.51	22.80	12.00	8.29	12.27	4.83	7.22
3	6.80	10.54	14.61	10.60	17.84	9.45	6.85	10.27	1.18	3.06
4	5.55	9.95	11.58	8.44	14.14	7.33	5.72	8.27	8.48	3.77
5	4.46	7.85	9.17	6.45	10.74	5.44	4.71	6.28	6.39	2.73
6	3.63	6.07	7.10	4.85	7.97	3.99	3.72	4.35	4.45	1.74
7	2.63	4.73	5.10	3.22	6.77	2.90	2.71	2.75	2.80	0.80
8	1.54	3.71	4.64	2.27	3.70	1.90	1.77	1.61	1.64	0.19
9	0.92	2.79	0.62	1.28	1.83	0.84	0.78	0.68	0.70	0.02
10	0.15	1.71	0.12	0.45	0.55	0.25	0.18	0.17	0.14	
11	0.02	0.75	0.01	0.07	0.08	0.03	0.02	0.02	0.02	
12		0.13			0.01					
13		0.02								

所用的各级离解常数的负对数										
pK_1	1.70	2.43	1.89	0.9	2.46	2.6	0.80	8.59	3.00	2.75
pK_2	2.67	3.52	2.79	1.6	2.52	3.41	1.80	9.58	2.46	2.48
pK_3	9.64	6.13	4.29	2.0	4.00	5.88	2.48		6.77	7.72
pK_4		11.70	8.61	2.67	5.38		3.71		9.60	
pK_5			10.48	5.16	5.56					
pK_6				10.28	10.34					

续表

pH	EDDA	TTHA	EEDTA	EGTA	酒石酸	柠檬酸	乙二胺四 丙二酸	邻苯二甲 酸	水杨酸	酒基水杨 酸
0	16.12	21.57	22.84	22.51	7.32	14.29	8.96	8.37	16.40	14.24
1	14.12	17.82	18.93	18.53	5.32	11.29	7.98	6.37	11.59	12.24
2	12.12	14.15	15.53	15.26	3.56	8.32	6.95	4.42	12.64	10.55
3	10.12	11.38	12.52	12.43	1.64	5.83	5.48	2.65	10.30	8.81
4	8.15	9.17	10.54	10.28	0.53	3.28	4.39	1.48	9.84	7.73
5	6.15	7.17	8.81	8.26	0.09	1.61	3.39	0.58	8.60	6.72
6	4.23	5.34	6.81	6.26	0.01	0.63	5.35	0.10	7.60	5.17
7	2.72	3.99	4.32	4.27		0.10	1.45	0.01	6.80	4.72
8	1.62	2.93	2.37	2.33		0.01	1.03		5.60	3.72
9	0.69	1.53	0.77	0.76			0.30		4.30	2.72
10	0.14	0.57	0.12	0.12			0.04		3.80	1.70
11	0.01	0.26	0.01	0.01					2.50	0.89
12		0.03							1.50	0.18
13									0.79	0.02

所用各各级离解常数的负对数

pK ₁	6.54	1.84	1.80	2.00	2.98	3.13	8.39	2.98	3.0	2.51
pK ₂	9.59	2.78	2.76	2.65	4.34	4.76		5.11	13.5	11.72
pK ₃		6.22	6.84	6.80		6.10				
pK ₄		10.92	5.47	9.46						

pH	醋酸	乳酸	草酸	磷酸	焦磷酸	柠檬酸	苹果酸	马来酸	氢氟酸	砷化氢	氯化砷酸
0	4.76	5.36	16.46	21.68	19.74	13.54	6.21	3.16	21.63	2.30	
1	3.76	3.73	14.58	18.71	16.85	11.64	8.2	2.16	19.63	0.82	
2	2.77	2.35	12.68	15.93	12.46	9.83	7.21	1.21	17.93	0.15	
3	1.77	1.50	10.66	13.61	9.94	7.85	6.2	0.40	16.03	0.02	
4	0.83	0.40	8.68	11.37	7.80	6.43	5.21	0.06	13.93		
5	0.20	0.07	6.70	9.56	5.86	5.21	4.21		11.64		
6	0.02	0.01	4.84	7.59	3.93	4.29	3.21		9.08		
7			3.42	5.77	2.40	3.20	2.51		7.49		
8			2.34	4.42	1.29	2.29	1.84		6.18		
9			1.35	3.27	0.44	1.51	0.42		5.13		
10			0.56	2.36	0.07	0.47	0.07		4.15		
11			0.08	1.38		0.08			3.15		
12			0.01	0.52					2.15		
13				0.09					1.18		

所用的各级离解常数的负对数

pK ₁	4.76	1.27	6.25	2.12	1.52	3.55	8.21	3.18	6.48	0.8
pK ₂		4.27	10.34	7.20	2.36	10.29			14.15	1.6
pK ₃				12.36	8.60					
pK ₄					5.23					

注: NDA—2-氨基丙二酰胺二乙酸; CITPA—环己二胺四乙酸; DTPA—二乙三胺五乙酸; EDTA—乙二胺四乙酸;
TTHA—三乙四胺六乙酸; HEDTA—乙二胺-N-羟乙基-N', N'-二乙酸; NTA—氨基乙酸; EDOP—乙二胺
N, N'-二丙酸; EDTP—乙二胺四丙酸; ANCA—邻氨基苯甲酸-N, N'-二乙酸; EDDA—乙二胺-N, N'-二乙酸;
PEETA—甲基乙二胺四乙酸; EEDTA—二乙胺二胺四乙酸; EGTA—乙二胺二乙胺二胺四乙酸(或称为乙二胺G
(2-氨基乙胺)四乙酸)。

三、金属离子和配位体的络合效应系数

表 1-82 各种金属和配位体在不同 pH 下的络合系数 $\lg K_{\text{络合}}$ 值:

[illegible]

续表

金属和配体	浓度 $c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	离子强度 $I/(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$	pH																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
Cu^{2+}	MEPA	0.01																	
	CDTA	0.01																	
	EDTA	0.1	0.2																
	EDTA	0.01																	
	Treton	0.1																	
	NTA	0.1																	
	Dan	0.1																	
	吡啶羧酸	0.1																	
	EGTA	0.01																	
	Trien	0.1																	
Cu	Or	0.1																	
	SSol	0.1																	
	Acac	0.1																	
	NH_3	<1																	
	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	0.1	0.1																
	Tart	0.1																	
	Cu	OH ⁻																	
		Tarap	0.1																
		EDTA	0.1	1.5															
			0.01	1.5															
CDTA		0.01	1.5																
Trien		0.1																	
Tric		0.1																	
DTPA		0.01																	
邻苯三唑		0.01	2.1																
Treap		0.1																	
TEA	0.1																		

金属和配体	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ca	EGTA	0.01	0.1	1.8	3.7	6.1	6.5	6.5	10.5	12.5	14.1	13.9	13.6	15.0	15.0	15.0
	SSM	0.1			0.2	1.0	2.0	3.4	5.3	7.8	9.2	11.5	12.1	14.3	14.5	14.5
	Ch	0.1		0.2	0.8	2.9	5.1	6.7	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	13.0	13.0
	NTA	0.1	0.3	2.6	4.3	5.5	6.5	7.5	8.8	10.5	12.3	13.9	14.1	14.3	15.1	15.1
	吡啶羧酸	0.01	0.1	2.0	3.7	4.9	5.2	6.8	7.9	9.1	10.6	12.0	12.6	13.4	14.4	15.4
	NH ₃	0.1	4.4	6.4	10.4	12.6	12.6	12.8	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
		0.1					0.2	1.2	3.6	7.1	10.4	12.2	12.7	12.7	12.7	12.7
		0.1						0.2	1.2	3.6	6.7	6.2	8.6	8.6	8.6	8.6
	Acac	0.01								1.2	3.3	5.5	4.9	4.9	5.1	5.5
	P ₂ O ₄ ⁴⁻	0.01			0.3	1.2	2.6	4.7	6.7	8.7	9.6	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
	C ₂ O ₄ ²⁻	0.1				0.1	1.1	2.3	4.3	5.9	6.8	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
	Tart	0.1					3.1	6.5	6.9	6.5	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
	Ac ⁺	0.1	1.1	0.1	1.0	2.5	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
		0.1				0.3	0.5	1.1	1.1	1.1	1.1	1.8	2.7	3.7	4.7	5.7
Fe ³⁺	OH ⁻															
	DTPA	0.01			1.6	2.7	3.2	6.2	8.7	10.7	12.6	13.3	13.9	17.0	18.0	18.0
	EDTA	0.01		0.5	3.4	6.1	3.2	10.0	11.3	12.4	13.4	14.4	14.3	16.0	16.2	16.2
	EDTA	0.1		0.5	3.6	4.6	3.6	8.3	9.7	10.7	11.7	12.5	12.7	12.8	12.8	12.8
		0.01		0.1	1.8	3.7	3.7	7.5	8.9	10.0	11.0	11.8	12.2	12.3	12.3	12.3
	U ³⁺	0.1				0.5	2.6	4.2	5.5	6.3	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
	NTA	0.1			0.7	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.6	7.4	7.9	8.3	9.3	10.3
		0.01			0.3	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.9	6.7	7.5	8.1	9.1	10.1
	Tetren	0.1						1.0	3.9	6.7	9.0	10.0	10.4	10.4	10.4	10.4
	吡啶羧酸	0.1	0.1	0.3	2.7	3.4	7.8	9.0	9.3	9.5	9.6	9.3	9.3	9.2	9.2	9.3
	D ₂ O	0.1							0.3	2.3	3.6	7.8	9.4	8.4	8.4	8.1
	Tren	0.1							0.4	3.0	5.6	7.1	7.7	7.8	7.8	7.9
	Tren	0.1							1.3	3.5	5.3	6.5	6.8	6.8	6.8	6.8
	Acac	0.01						0.3	1.1	2.3	3.6	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

42
43
44

[illegible]

续表

金属离子/配位体	络合 $c/(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$	离子强度 $I/(\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1})$	pH															
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Mn ²⁺																		
Tetron	0.1	0.1									1.0	3.5	7.6	6.5	6.4	6.6	6.5	
NTA	0.1	0.5				0.1	0.5	1.3	2.3	3.3	3.3	4.3	5.2	5.9	6.0	6.0	6.0	
	0.30	0.1						0.7	1.6	2.5	2.5	3.5	4.3	5.1	5.1	5.1	5.1	
Lacc	0.1	0.1										0.3	2.3	4.1	4.7	4.8	4.6	
Acac	0.1	0.1									0.2	1.3	2.9	4.2	4.6	4.5	4.5	
ED	0.1	0.1										0.1	1.0	2.2	2.8	3.1	3.5*	
C-O ⁺	0.1	0.2			0.2		0.6	1.8	3.2	5.2	7.2	9.2	11.2	12.2	12.2	12.6*	13.4*	
Cl ⁻	0.1	0.2					0.1	0.7	1.5	2.1	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.7*	3.4*	
Ni																		
OH ⁻	0.1	0.1											0.1	0.7	1.6			
CN ⁻	0.1	0.1											22.7	25.7	27.5	27.3	27.3	
邻非啉	0.01	0.1	0.4	6.3	9.3	12.3	15.2	17.5	18.3	18.2	18.2	18.2	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	
DTTA	0.01	0.1		0.1	3.6	5.6	7.8	9.4	10.7	12.7	14.6	15.2	15.3	15.5	15.0	15.0	15.0	
Tron	0.1	0.1					0.2	2.0	4.9	7.5	10.8	14.2	15.3	15.4	15.1	15.4	15.4	
EDTA	0.1	0.5	0.1	2.4	3.1	7.1	9.2	10.9	12.6	14.0	14.0	14.9	16.2	17.0	17.1	17.1	17.1	
	0.30	0.1		1.5	4.2	6.2	8.1	10.0	11.8	13.2	14.3	15.5	16.1	16.1	15.6	16.0	16.2	
Dau	0.1	0.1						0.5	2.8	5.0	10.5	14.1	16.3	16.3	15.9	16.5	16.5	
Terroc	0.1	0.1						0.3	3.8	7.1	10.1	13.2	15.2	16.5	15.6	16.6	16.6	
吡啶羧酸	0.1	0.1						0.3	2.7	5.6	11.2	14.2	16.2	14.2	14.2	14.2	14.2	
Tron	0.1	0.1	0.0	2.2	4.5	7.3	10.3	12.7	13.6	14.2	14.7	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	
NTA	0.1	0.5						0.4	3.1	6.0	9.0	11.6	13.1	13.7	13.6	13.6	13.6	
	0.30	0.1						0.2	6.5	8.2	10.2	12.0	13.4	13.5	13.3	13.4	13.0	
Cu	0.1	0.5						0.2	4.2	6.5	8.5	10.0	11.4	11.8	11.6	11.8	11.8	
EGTA	0.1	0.5						0.2	4.2	6.5	8.5	10.0	11.4	11.8	11.6	11.8	11.8	
Tron	0.1	0.1						0.2	4.2	6.5	8.5	10.0	11.4	11.8	11.6	11.8	11.8	
NTA	0.1	0.5						0.2	4.2	6.5	8.5	10.0	11.4	11.8	11.6	11.8	11.8	
Cu	0.1	0.5						0.2	4.2	6.5	8.5	10.0	11.4	11.8	11.6	11.8	11.8	
EGTA	0.01	0.1						0.2	4.2	6.5	8.5	10.0	11.4	11.8	11.6	11.8	11.8	
TEA	0.1	0.1						0.2	4.2	6.5	8.5	10.0	11.4	11.8	11.6	11.8	11.8	
Acac	0.1	0.1						0.2	4.2	6.5	8.5	10.0	11.4	11.8	11.6	11.8	11.8	
NH ₄ ⁺	1	0.1						0.2	4.2	6.5	8.5	10.0	11.4	11.8	11.6	11.8	11.8	
	0.1	0.1						0.1	0.6	1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	
	0.1	0.1						0.1	0.6	1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	
SSal	0.1	0.1						0.1	0.6	1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	

续表

金属和配位体	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH														
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Th	EDTA	0.1	0.5	4.3	8.0	10.8	13.0	15.0	16.7	18.5	20.2	22.2	24.0	25.2	26.1	27.2	28.3
		0.01	0.2	3.8	7.5	10.4	12.5	14.6	16.4	18.1	19.8	21.6	23.7	25.1	26.2	27.2	28.2
	$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.1	6.5	12.1	15.7	18.5	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
	Acac	0.01	0.3	0.1	0.1	0.1	1.9	3.7	6.2	9.9	13.5	16.3	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1
	F	0.1	6.6	8.9	11.7	14.1	14.9	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Zn	OH ⁻	0.1										0.2	2.4	5.4	8.5	11.8	15.5
	CITTA	0.01			1.6	4.2	6.5	8.7	10.5	11.8	12.9	13.9	14.9	15.6	16.5	16.7	16.7
	DTTA	0.01			1.0	3.8	5.9	7.4	8.9	10.7	12.6	14.2	15.3	15.9	16.0	16.0	16.1
	EDTA	0.1	0.3	2.8	4.9	6.8	8.8	10.3	11.9	13.9	15.9	17.9	19.7	21.7	23.7	25.7	27.7
		0.01	0.1	1.9	4.0	6.0	7.9	9.7	11.1	12.2	13.2	14.2	15.0	15.6	16.5	17.5	18.5
	Tetrao	0.1						1.5	4.9	7.9	10.7	13.0	14.0	14.4	14.4	14.4	14.4
	Tren	0.1						0.9	3.0	6.0	8.9	11.5	13.0	13.6	13.7	13.7	13.7
	CN ⁻	0.1							0.1	3.5	7.5	10.7	12.8	12.7	12.7	12.7	12.7
	Don	0.1							0.8	2.8	6.1	9.7	11.9	12.5	12.5	12.5	12.5
	Trien	0.1						0.6	3.1	5.6	7.8	9.5	10.8	11.1	11.1	11.1	11.1
	EGTA	0.01					0.5	2.4	4.4	6.4	8.4	10.0	10.7	10.8	10.8	10.8	10.8
	NTA	0.1			0.7	2.3	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.3	9.0	9.1	9.2	9.2	9.2
		0.01			0.2	1.6	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.6	8.3	8.5	8.5	8.5	8.5
	吡啶羧酸	0.1		0.3	1.3	3.3	5.0	6.4	8.6	9.9	11.9	13.9	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4
	Cit	0.1				0.3	1.4	2.8	3.2	3.5	3.6	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4
	NH ₃	1								0.4	3.6	7.1	8.7	9.1	9.2	9.2	9.2
Acac		0.1									0.4	3.2	4.7	5.6	6.3	7.1	8.1
		0.01									0.2	1.1	2.6	3.8	4.2	4.3	4.3
	En	0.01									0.2	0.8	2.5	3.7	4.3	4.3	4.3
	$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.1	5.6	1.2	3.1	3.4	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	Tart	0.1			0.2	2.4	2.4	2.8	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
		0.1					0.1	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	Ac ⁻	0.1															

1. 表中配位体符号: Acac⁻ 乙酰丙酮; En⁻ 乙二胺; Tart⁻ 酒石酸; Cit⁻ 柠檬酸; Ac⁻ 乙酸; EDTA⁻ 乙二胺四乙酸; CITTA⁻ 二乙二胺四乙酸; DTPA⁻ 二乙二胺五乙酸; EGTA⁻ 乙二胺三乙酸; NTA⁻ 氨基三乙酸; Don⁻ 二乙二胺; Tetrao⁻ 四乙酸; Trien⁻ 三乙二胺; Sal⁻ 水杨酸; SSal⁻ 邻苯二酚; 配位体上的电荷略去 (除用分子式表示的外); 数值中上标 "x" 者说明在这个 pH 范围, acac⁻ 超过了 50%。

主要参考文献

1. 国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准 (GB 3100~3102-83) 量和单位. 北京: 中国标准出版社, 1994.
2. Nat. Bur. Stand. Tech. News Bull. 1971.
3. National Bureau of Standard (U. S. A.), Policy for NBS Usage of SI Units. J. Chem. Educ. 1971, 48, 309.
4. 李慎安编. 常用计量单位词典. 北京: 计量出版社, 1984.
5. 孙玉均译, 张发长, 杨政编. 实验室法定计量单位实用手册. 北京: 中国标准出版社, 1992.
6. 张铁垣编著. 分析化学中的量和单位. 北京: 中国标准出版社, 1995.
7. Pure Appl. Chem. 1992; 64 (10): 1519~1534.
8. Václav Šedivec, Jan Flek. 有机谱解析手册 (吴贤微, 李世琪, 牛荣珍译). 北京: 化学工业出版社, 1984.
9. E. Hear, J S Gallagher, G S Kell. NBS/NRC Steam Tables. New York: Hemisphere Publishing Corp., 1984.

第二章 分析化学基础知识

第一节 分析用纯水的制备及鉴定

在一般分析工作中用(一次)蒸馏水或去离子水。在超纯分析中用水,还需采用蒸馏、反渗透或去离子后再行蒸馏等方法制备的水。

一、分析用纯水的制备

(一) 蒸馏法

普通分析,用工业提供的一次蒸馏水即可。

实验室中制取蒸馏水多用内阻加热蒸馏设备或硬质玻璃蒸馏器。制取高纯水,则需用银质、金质、石英或聚四氟乙烯蒸馏器。近年来出现的一种新型石英亚沸蒸馏器(图2-1)特别适合于制备高纯水。其特点是在液面上方加热,使液面始终处于亚沸状态,可将水蒸气带出的杂质减至最低。该装置还适用于制备高纯酸(如HCl、HNO₃等)和氨水。

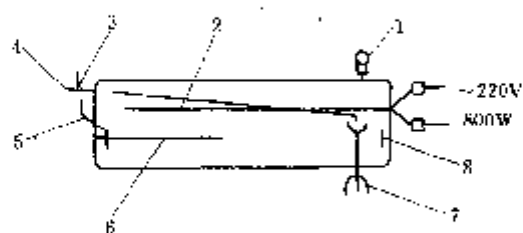


图2-1 亚沸蒸馏器

1—蒸馏口;2—电热丝;3、4—冷却水进出口;5—加液口;6—温度测量点;7—输出连接口;8—输出口

制备蒸馏水时,最初蒸馏出的约200ml水弃去,蒸至剩下1/4原体积的水时停止蒸馏,只收集中间的馏分。蒸馏一次的水为普通蒸馏水,用来洗涤一般的玻璃仪器和配制普通实验溶液。蒸馏二次或三次的称为二次或三次蒸馏水,用于要求较高的实验。但是,实践表明,太多次地重复蒸馏无助于水质的进一步提高,这是因为水质会受到低沸点杂质、空气中的CO₂、器皿的溶解性等诸多因素的影响。

事实上,绝对纯的水是不存在的。水的价格也随水质的提高成倍地增长。不应盲目地追求水的纯度。在实验工作中,往往根据实际工作的需要,制备一些特殊要求的纯水。例如在进行二次蒸馏时,加入适当的试剂可抑制某些杂质的挥发,加入甘露醇可抑制硼的挥发,加入碱性高锰酸钾可破坏有机物和抑制CO₂逸出。下面介绍几种特殊要求的纯水的制备方法。

(1) pH≈7的高纯水 在第一次蒸馏时,加入NaOH和KMnO₄,第二次蒸馏加入磷酸(除NH₃),第三次用石英蒸馏器蒸馏(除去痕量碱金属杂质)。在整个蒸馏过程中,要避免水与大气直接接触。

(2) 不含金属离子的纯水 在1L蒸馏水中,加2ml浓硫酸,然后在硬质玻璃蒸馏器中蒸馏。为消除“暴沸”现象,在蒸馏瓶中放几粒玻璃珠或几根毛细管。这样制得的纯水含有少量硫酸,可用于金属离子的测定。但对于痕量分析,这种水仍不能满足要求,可用亚沸蒸馏水。

(3) 不含二氧化碳的纯水 将蒸馏水置于蒸馏瓶中直接加热半小时即可。制得的水要贮在装有碱石灰干燥管的瓶内。这种水适于配制pH试液、标准缓冲溶液或标准酸等。

(4) 不含有机物的纯水 在普通蒸馏水中加入少量碱性高锰酸钾或索氏试剂,在硬质玻

璃蒸馏器中蒸馏。电导率 $(1.0 \times 10^{-4} \sim 0.8 \times 10^{-4}) \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

(5) 不含氯的纯水 将普通蒸馏水在硬质玻璃蒸馏器中先煮沸再蒸馏, 收集中间馏分。

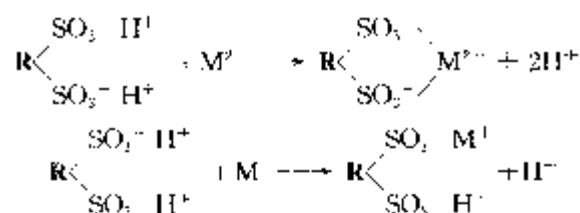
(6) 不含氧的纯水 将蒸馏水在平底烧瓶中煮沸 12h, 随即通过玻璃磨口导管与盛有焦性五倍子酸的碱性溶液吸收瓶连接起来, 冷却后使用。

(7) 不含酚、亚硝酸和碘的水 在蒸馏水中加入氢氧化钠, 使呈碱性, 再用硬质玻璃蒸馏器蒸馏, 也可用活性炭制备不含酚的水。在 1L 水中加 $(10 \sim 20) \text{ mg}$ 活性炭, 充分振荡后, 用三层定性滤纸过滤两次, 除去活性炭。

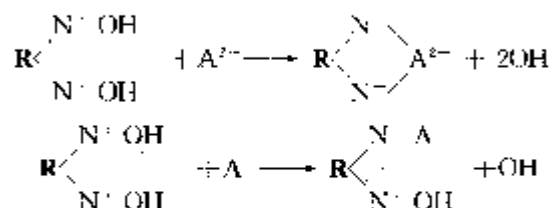
(二) 离子交换法

用离子交换法制得的纯水称为去离子水。它是利用阴、阳离子交换树脂上的 OH^- 和 H^+ 可分别与溶液中其他阴、阳离子交换的能力制备高纯水。其交换反应如下:

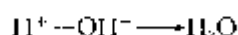
通过强酸性阳离子交换树脂时:



通过强碱性阴离子交换树脂时:



两次交换生成的等当量的 H^+ 和 OH^- 结合成水:



这样就把水中的杂质离子交换掉, 达到纯化水的目的。用这个方法能制取高纯度的水。

采用此法的优点在于制备的水量大、成本低、除去离子的能力强; 缺点在于设备及操作较复杂, 不能除去非电解质(如有机物)杂质, 而且尚有微量树脂溶在水中。目前在实验室, 工厂都广泛应用此法。在市场上有小型的“离子交换纯水器”出售, 可供实验室使用。现将其方法简介如下。

1. 树脂的选择及装柱

用离子交换法制取纯水, 有两种离子交换树脂: 一种是阳离子交换树脂, 一般采用强酸性阳离子交换树脂, 如上海树脂厂的 732 型; 另一种是阴离子交换树脂, 一般采用强碱性阴离子交换树脂, 如上海树脂厂的 717 型、711 型。树脂的粒度在 16—50 目均可。

如果市售的阳离子交换树脂是氢型, 阴离子交换树脂是氯氧型, 那么树脂经反复漂洗, 在除去其中水溶性杂质、灰尘、色素等后装入交换柱即可使用。如果分别为钠型和氯型, 应加处理转为氢型和氢氧型后才能使用。

处理方法: 漂洗。将新树脂放入盆中, 用自来水(或普通水)反复漂洗, 除去其中的色素、水溶性杂质、灰尘等, 直至洗出液不混浊为止。并用蒸馏水浸泡 24h。

醇浸泡。当蒸馏水中无明显混悬物时, 将水排尽, 加入 95% 乙醇浸没树脂层, 搅拌均匀。

浸泡 24h，以除去醇溶性杂质。将乙醇排尽，再用自来水洗至无色、无醇味为止。

酸碱反复处理。阳离子交换树脂，加入 7% 盐酸，没过树脂，放置 (2~3) h，将盐酸排尽，用水洗至 pH 为 (3~4) 止。再用 8% 氢氧化钠按上法操作，用水洗至 pH 为 (9~10) 止。再用 7% 盐酸浸泡 4h，不时搅拌。浸泡完之后，将盐酸排尽，用蒸馏水反复洗至 pH 约为 4 止。阴离子交换树脂，加入 8% 氢氧化钠，操作方法同阳离子交换树脂，洗至 pH 为 (9~10) 止。再用 7% 盐酸，同上法操作，洗至 pH 为 3~4。再用 8% 氢氧化钠浸泡 4h，不时搅拌，浸泡完之后，将氢氧化钠排尽，用蒸馏水洗至 pH 约为 8 止。

经过处理的新树脂，就可以装入交换柱内。但交换柱在装入树脂之前，必须用铬酸洗涤液泡 4h，以除去杂质和油污，然后用自来水冲洗，再用去离子水冲洗干净，即可装入树脂。交换柱中先注水半柱，将树脂和水一起倒入柱中。装柱时应注意，柱中水不能漏干，否则树脂间形成气泡，影响交换量和流速。

树脂用量按体积计算，一般阴离子交换树脂为阳离子交换树脂的 1.5~2 倍，树脂装柱高度相当于柱直径的 4~5 倍为宜。交换柱有几种连结方式。一般的连结方式是：强酸性阳离子交换树脂柱 → 强碱性阴离子交换树脂柱 → 混合树脂柱。装好后即可生产去离子水。

2. 树脂的再生(转型)

树脂的再生与处理方法基本相同。再生方法有两种：即动态再生和静态再生。它们大体分四个过程：逆洗 → 再生 → 洗涤 → 运行。

逆洗。即水从交换柱底部进入，从上面排出，其目的是将被压紧的树脂层抖松，排除树脂碎粒及其他杂质等，以利于再生，逆洗时间一般约 30min，以洗出水不浑浊、清彻透明为合格。逆洗混合柱的时间要长一些，使阴阳离子交换树脂分开。如果分不开，可将混合树脂倒入 20% 的氯化钠溶液中，利用阴、阳离子交换树脂相对密度不同将它们分开。阴离子交换树脂浮在溶液上面，阳离子交换树脂沉在底部。分开以后再按处理阴阳离子交换树脂柱同样过程处理。

再生。对于逆洗后的阳离子交换树脂柱，用 5%~7% 的盐酸溶液从柱的顶部注入，缓缓流经阳离子交换树脂（流速约 $50 \sim 60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ），直到检查流出液中酸的浓度与加进去的酸的浓度差不多时为止（约 1h）。

对于逆洗后的阴离子交换树脂柱，用 6%~8% 的氢氧化钠溶液，从柱的顶部注入，缓缓流经阴离子交换树脂（流速约 $50 \sim 60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ），直到检查流出液中碱的浓度与加进去的碱的浓度差不多时为止（约 1.5h）。

洗涤。交换柱经再生之后，须将柱中多余的再生剂淋洗干净，阳离子交换柱的淋洗用去离子水。开始时的流速同再生流速，待柱中大部分酸被替换出后，流速可加快至 $(80 \sim 100) \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。淋洗终点可用 pH 试纸检查，洗至 pH=3~4 为终点（或用水质纯度仪，测得比较恒定的比电阻为终点）。也可用其他方法控制终点。

阴离子交换柱用去离子水（或用通过阳离子交换树脂的水）淋洗，待柱中大部分碱液被替换出后，流速可加速至 $(80 \sim 100) \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。淋洗终点可用 pH 试纸检查，洗至 pH=8~9 为止，或用酚酞指示液显微红色为止。也可用水质纯度仪，当测得比较恒定的比电阻时即为终点。

运行生产去离子水：淋洗好的交换柱按阳离子交换柱 → 阴离子交换柱 → 混合交换柱串联起来，接通水源，水从每个交换柱的顶部注入，进行生产去离子水。

如果是用小型柱制备去离子水，可参照上述步骤以静态再生，然后装柱再按动态步骤淋

洗到合格的去离子水为止。

3. 注意事项

(1) 离子交换树脂一般可反复再生使用数年仍有效,但在使用时树脂的温度不得超过 50°C ,也不宜长时间与高浓度的强氧化剂接触,否则会加速树脂的破坏,缩短离子交换树脂使用时间。

(2) 在处理离子交换树脂时,每一步骤都必须严格按照所规定的条件进行,特别要注意控制其流速及各个步骤的 pH 值,流速不能太快。常用 pH 纸误差较大,在受潮后更不准确。因此要用干燥的 pH 纸检查,也可用酸度计进行复查。

(3) 树脂长期使用后部分受到污染或中毒等情况,可用20%氯化钠溶液浸泡12h,并按新树脂处理步骤:醇浸泡、酸碱反复处理(1~2)次,然后转型即可消除污染等情况。如果树脂中含有铁、钙会使出水长期不合格,为此,在用酸处理到用 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硫脲酸铵检查铁不显红色及无钙反应为止(钙盐检查按水质检定(1)4、中钙盐检查方法进行)。

(4) 要制备高质量的去离子水,对水源的选择是极为重要的。一般来说,水中无机物杂质含量:盐碱地水>井水(或泉水)>自来水>河水>塘水>雨水。有机物杂质含量,塘水>河水>井水(或泉水)>自来水,如果水源浑浊可加0.002%明矾或少许羟基氯化铝使水澄清,最好经砂滤后再进入交换柱。

(三) 电渗析法

电渗析法是在离子交换技术的基础上发展起来的一种方法。它是在外电场的作用下,利用阴、阳离子交换膜对溶液中离子的选择性透过而使溶液中的溶质和溶剂分离,从而达到净化水的目的。此方法除去杂质的效率较低,适用于要求不很高的分析工作。

二、水质的检定

(一) 物理方法检验

利用电导仪或兆欧表测定水的电阻率是最简便而又实用的方法。水的电阻率越高,表示水中的离子越少,水的纯度越高,通常离子交换水的电阻率 ρ 应在 $0.5\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上时,即可满足日常化学分析的要求,否则,树脂需再生。对于要求较高的分析工作,水的电阻率应更高,表2-1列出了各级水的电阻率 ρ 。

表2-1 各级水的电阻率

水的类型	电阻率 $\rho/\Omega\cdot\text{cm}$ (25°C)	水的类型	电阻率 $\rho/\Omega\cdot\text{cm}$ (25°C)
自来水	1500	复床离子交换水	2.5×10^5
一次蒸馏水(玻璃)	3.5×10^5	混床离子交换水	12.3×10^6
三次蒸馏水(石英)	1.5×10^6	炭吸附剂、混床交换树脂和膜器制水	$25\times 10^6\sim 18\times 10^6$
28次蒸馏水(石英)	16×10^6	绝对水(理论上最大电阻率)	18.3×10^6

(二) 化学方法检验

1. pH 值 取两只试管,各加入水样10ml,甲试管加0.2%甲基红(变色范围 $\text{pH}4.4\sim 6.2$)溶液2滴,不得显红色,于乙试管中滴加0.2%溴百里酚蓝(变色范围 $\text{pH}6.0\sim 7.6$)溶液5滴,不得显蓝色。

2. 硅酸盐的检验 取30ml水样于一小烧杯中,加1:3硝酸5ml和5%钼酸铵溶液5ml,室温下放置5min(或水浴上放置30s),加入10%亚硫酸钠溶液5ml,摇匀,目视有否蓝色,如有蓝色,则为不合格。

3. 氯离子的检验 取水样 30ml 于试管中, 用 5% 硝酸 5 滴酸化, 加 1% 硝酸银溶液 (5~6) 滴, 目视有无白色乳状物, 如有白色乳状物, 则不合格。

4. 钙离子的检查 取水样 30ml 于小烧杯中, 加 5% 氢氧化钾溶液 5ml, 加入少许酸性铬蓝 K 混合指示剂, 如溶液呈红色, 说明水样已有钙离子, 则不合格。

5. 金属离子的检查 取水样 25ml 于小烧杯中, 加 0.2% 铬黑 T 指示剂 1 滴, 加 pH=10.0 的氨缓冲溶液 5ml, 摇匀后如呈现蓝色, 说明 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子含量甚微, 水质合格。如呈现紫红色, 则说明水不合格。

6. 二氧化碳的检查 取水样 30ml 于玻璃塞磨口的三角烧瓶中, 加氢氧化钙试液 25ml, 塞紧, 摇匀后静置 1h, 不得有浑浊。

7. 易氧化物的检验 取水样 100ml 于烧杯中, 加稀硫酸 10ml, 煮沸后, 加 $0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高锰酸钾溶液 2 滴, 煮 10min, 溶液仍呈粉红色为合格。若无色则不合格。

8. 不挥发物的检查 取水样 100ml, 在水浴上蒸干, 并在烘箱中于 105℃ 干燥 1h, 所留残渣不超过 0.1mg 为合格。

第二节 器皿的洗涤

一、分析器皿的洗涤

应用于分析工作的器皿在进行分析工作前必须将所需器皿仔细洗净, 洗净的器皿, 它的内壁应能被水均匀地润湿而无水的条纹, 且不挂水珠。

一般玻璃器皿, 如烧杯、锥形瓶、量杯等的洗涤可用刷子蘸去污粉或合成洗涤剂来刷洗, 再用自来水冲净, 若仍有油污可用铬酸洗涤液来浸泡, 使用时, 先将要洗涤器皿内的水液倒尽, 再将铬酸洗涤液倒入欲洗涤的器皿中浸数分钟至数十分钟, 如将洗涤液预先温热则收效更大, 洗涤液对那些不易用刷子刷到的器皿进行洗涤更为方便。

滴定管如无明显油污的, 可直接用自来水冲洗, 再用滴定管刷刷洗。若有油污则可倒入铬酸洗液, 把滴定管横过来, 两手平端滴定管转动直至洗液布满全管。碱式滴定管则应先将其橡皮管卸下, 把橡皮滴头套在滴定管底部, 然后再倒入洗液, 进行洗涤。污染严重的滴定管可直接倒入铬酸洗涤液浸泡数小时后再用水冲洗。

容量瓶, 用水冲洗后, 如还不干净, 可倒入洗涤液振荡或浸泡, 再用水冲洗干净。但不得使用瓶刷刷洗。

移液管, 吸取洗涤液进行洗涤, 若污染严重则可放在高型玻璃筒或大量筒内用洗涤液浸泡, 再用水冲洗干净, 或用洗耳球吸取四分之一管洗涤液, 再把管横过来, 让洗液布满全管, 再用水冲干净。

上述仪器洗好后, 将用过的洗涤液仍倒入原瓶贮存备用。器皿用自来水冲洗干净, 最后用蒸馏水或去离子水润洗内壁 2~3 次。

二、常用洗涤液

1. 铬酸洗涤液 在台天平上称取研细的重铬酸钾 (又称红矾钾) 5g 置于 250ml 烧杯内, 加水 10ml, 加热使它溶解, 冷却后, 再慢慢加入 80ml 粗浓硫酸 (工业纯, 应注意切不可将水加入浓硫酸中!), 边加边搅拌。配好的洗液应为深褐色。待溶液冷却后, 储于磨口塞小口瓶中密塞备用。器皿用铬酸洗液时应特别小心, 因铬酸洗液为强氧化剂, 腐蚀性很强, 易烫伤皮

肤，烧坏衣服；络有毒，使用时应注意安全，绝对不能用口吸，只能用洗耳球，具体操作如下：

(1) 使用洗液前，必须先将器皿用自来水 and 毛刷洗刷，倾尽器皿内水，以免洗液被水稀释后降低洗液的效率。

(2) 用过的洗液不能随意乱倒，只要洗液未变为绿色，应倒回原瓶，以备下次再用。若洗液变为绿色，表明洗液已失去去污力，要倒入废液缸内，另行处理，绝不能乱倒入下水道。

(3) 用洗液洗涤后的仪器，应先用自来水冲净，再用蒸馏水或去离子水润洗内壁 (2~3) 次。

2. 氢氧化钠的高锰酸钾洗涤液 在台天平上称取高锰酸钾 4g 溶于少量水中，向该溶液中慢慢加入 100ml 10% 的氢氧化钠，混匀后储于带有橡皮塞的玻璃瓶内备用。该洗液用于洗涤油污及有机物沾污的器皿。洗后在器皿上如留有二氧化锰沉淀可用浓硫酸或亚硫酸钠溶液把它洗掉。

3. 肥皂液及碱液洗涤液 当器皿被油脂弄脏时用浓的碱液 (30%~40%) 处理或用热肥皂液洗涤，再用热水和蒸馏水洗清洁。合成洗涤剂适合于洗涤被油脂或某些有机物沾污的器皿。将市售合成洗涤剂 (又称洗衣粉) 用热水配成浓溶液，洗时放入少量溶液，加热效果更好，振荡后倒掉，再用水和蒸馏水洗清洁。如只洗涤剂没有冲净，装水后弯月面变平，洗滴定管、容量瓶等后，用水要冲洗到弯月面正常为止。

4. 硝酸的乙醇洗涤液 此洗液适用于洗涤油脂或有机物质沾污的酸式滴定管。使用时先在滴定管中加入 5ml 乙醇，再沿壁加入 4ml 浓硝酸，用小表面皿盖住滴定管，让溶液在管中保留一段时间，即可除去污垢。

5. 盐酸的乙醇洗涤液 用 1 份盐酸加 2 份乙醇混合配成洗涤液，此洗液适合于洗涤有颜色的有机物质的比色皿。

6. 硫酸亚铁的酸性溶液或草酸及盐酸洗涤液 这些溶液是用于清洗高锰酸钾留在器皿上的二氧化锰用的。大多数不溶于水的无机物质都可以用少量稀盐酸洗去，灼烧过沉淀的瓷坩埚，可用热盐酸 (1+1) 洗涤，然后再用铬酸洗液洗涤。

7. 硝酸洗涤液 在铝和搪瓷器皿中的沉积，用 5%~10% 硝酸除去，酸宜分批加入，每一次都要在气体停止析出后加入。

器皿清洗后用水冲洗，再用蒸馏水或去离子水冲洗，使水沿着器皿的壁完全流掉。如果器皿已洗清洁，壁上便留有均匀的一薄层水膜。

第三节 化学实验室常用器皿和用具

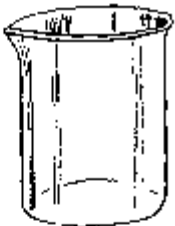
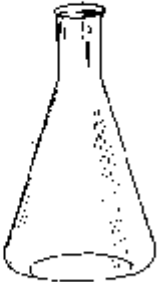
一、常用玻璃器皿和一般用具

玻璃具有良好的化学稳定性，因此，化学实验中大量使用玻璃仪器。根据玻璃的性质分为硬质和软质。软质玻璃的耐热性、硬度、耐腐蚀性较差，但透明度好，一般用于制造非加热仪器，如试剂瓶、漏斗、量筒、吸管等。硬质玻璃的耐热性、耐腐蚀性、耐冲击性都较好，常见的烧杯、烧瓶、试管等。

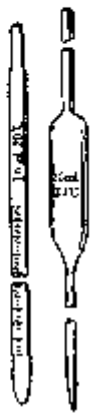
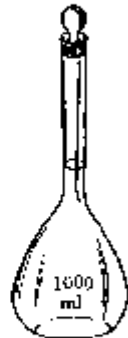
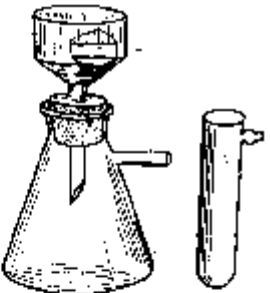
各类器皿和具有不同的用途，根据形状、容积、直径等又分成各种规格，使用时应视实际情况合理选择。

分析化学中常用器皿和用具的图例及用法，见表 2-2。

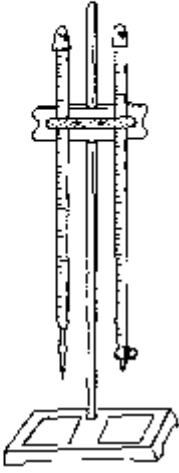
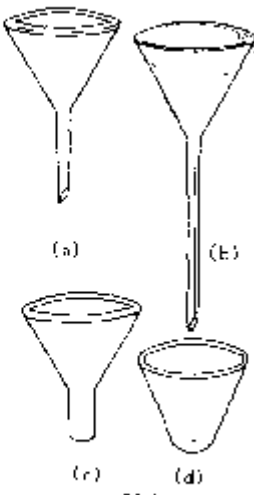
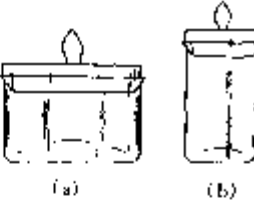
表 2-2 常用玻璃器皿和用具一览表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事
 (a) (b) 试 管	试管： 有刻度的按容积 (ml) 分；无刻度用管口直径×管长 (mm) 表示，如普通试管 19×175mm。 试管分普通试管 (a) 和离心试管 (b)，普通试管又有圆口、平口、有支管、无支管、有塞、无塞等几种。	1. 反应容器，便于操作、观察，用药量少。 2. 离心管用于少量沉淀分离。	1. 反应液体不能超过试管容积的 1/2，加热时不超过 1/3。 2. 玻璃试管可以加热至高温，但不宜骤冷，玻璃试管在温度急剧变化时极易破裂。 3. 一般大试管直接加热，小试管用水浴加热。 4. 加热时试管口不要对人，还应注意使试管下半部受热均匀，加热固体时，管口略向下倾斜。 5. 离心管不能加热。
 烧 杯	以容积 (ml) 表示，如硬质烧杯 400ml，有广口型、高型；有刻度和无刻度等几种。	1. 反应容器，尤其在反应物较多时用，易混合均匀。 2. 可代当水浴用。 3. 配制溶液时用。	1. 反应液体不能超过烧杯容量的 2/3。 2. 加热时放在石棉网上。 3. 可以加热至高温，使用时应注意勿使温度变化过于剧烈。
 锥形瓶	以容积 (ml) 表示，有有塞、无塞；广口、细口和颈型几种，有塞子的又称磨口瓶。	1. 反应容器，加热时可避免液体大量蒸发。 2. 振荡方便，用于滴定操作。 3. 称量瓶用于称量法测定。	1. 同上。 2. 振荡瓶子时瓶口边缘的磨砂部分注意勿擦伤，以免产生漏隙，滴定时打开塞子，用蒸馏水将瓶口塞子上的药液洗入瓶中。
 量 筒	以所能量度的最大容积 (ml) 表示，上口大，下口小的叫量筒。	量取一定体积的液体	1. 不能作为反应容器，不能加热，不可量热的液体。 2. 读数时视线应与液面水平，读取与弯月面最低点平行的刻度。

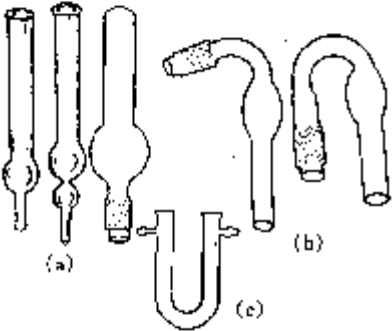
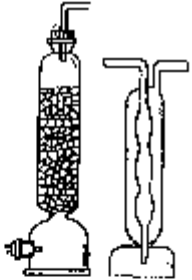
续表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 (a) (b) 吸 管	以所量的最大容量 (ml) 表示, 分有分度的为吸量管 (a), 无分度的为移液管 (b)	精确移取一定体积的液体用	1. 吸管用后立即洗净 2. 具有精确刻度的量器, 不能放在烘箱中烘干 3. 读取刻度的方法同容量瓶
 容量瓶	以容积 (ml) 表示, 分置入式 (in) 和量出式 (ex), 塞子有玻璃、塑料两种, 颜色有无色、棕色两种	配制标准溶液时用	1. 不能加热, 不能代替试剂瓶用, 卒在溶液 2. 读取刻度的方法同量筒 3. 不能放在烘箱内烘干 4. 棕色容量瓶用于配制见光易分解的药品标准溶液 5. 瓶塞与瓶是配套的, 不能互换
 布氏漏斗, 吸滤瓶	布氏漏斗: 瓷制或玻璃制, 以直径 (cm) 表示 吸滤瓶: 以容积 (ml) 表示 过滤管: 直径×管长 (mm), 磨口的以容积表示	吸滤时用, 当沉淀量少时, 用小号漏斗与过滤管配合使用	1. 注意漏斗与滤瓶大小的配合 2. 漏斗大小与过滤的沉淀或晶体量的配合 3. 不能直接加热

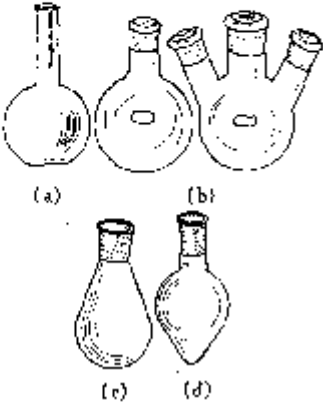
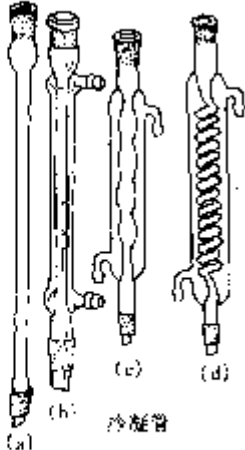
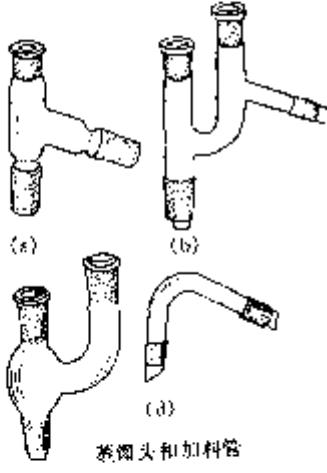
续表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 滴定管	滴定管分酸式、碱式两种, 以容积 (ml) 表示, 颜色分为无色、棕色两种。 滴定管架: 金属制。 滴定管夹: 木质或金属。	1. 用于滴定或量取准确体积的液体。 2. 滴定管夹夹持滴定管, 固定在滴定管架上。	1. 酸液放在具有最薄的碱式管中, 碱液放在带橡皮管的滴定管中。 2. 碱式滴定管不能盛放见光易分解的滴定液。 3. 见光易分解的滴定液宜用棕色滴定管。 4. 滴定前要洗净, 溶液流下时管壁不得挂有水珠, 待溶液上部充满液体, 全管不得留有气泡。 5. 滴定管使用后应立即洗净。
 漏斗	以口径 (cm) 表示, 有短颈 (a)、长颈 (b)、粗颈 (c)、宽颈 (d) 等几种。	1. 过滤。 2. 引导溶液入小口容器中。 3. 粗颈漏斗用于转移固体。	1. 不能用火直接加热。 2. 过滤时, 漏斗颈尖端必须紧靠盛接滤液的容器壁。
 称量瓶	以容积 (cm) 表示: 分扁形 (a)、筒形 (b)。	用于准确称量一定量的固体。	1. 盖子与瓶口配套的, 不能丢失、混乱。 2. 用前应洗净烘干。 3. 不用时应洗净, 在瓶口处垫一小纸条。
 表面皿	以直径 (cm) 表示。	1. 用来盖在蒸发皿、烧杯等容器上, 以免溶液溅出或灰尘落入。 2. 作为称量试剂的容器。	1. 不能用火直接加热。 2. 作容器时, 其直径应比蒸发皿略大。 3. 用于称量时应洗净烘干。

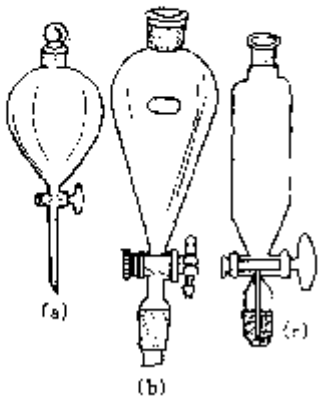
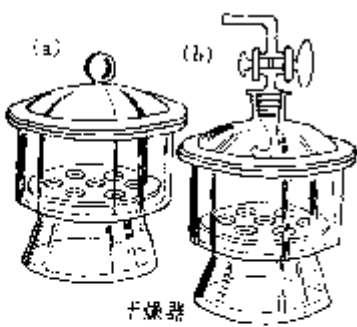
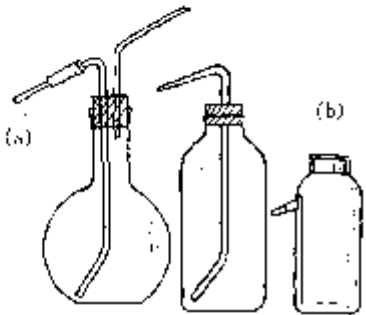
续表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 滴管	由尖嘴玻璃管和橡皮乳头构成	吸取少量(数滴或1—2ml)试剂	1. 溶液不得吸进橡皮乳头 2. 用后立即洗净内、外管壁
 干燥管	以大小表示,有直形(a)、弯形(b)、U形(c)几种	盛装干燥剂干燥气体	1. 干燥剂装球形部分,不宜过多,小管与球形交界处放少许棉花填充 2. 大头进气,小头出气
 洗气瓶	以容积表示	净化气体用,反接也可作安全瓶(缓冲瓶)用	1. 接法要正确(进气管插入液体中) 2. 洗涤液注入容器高度的1/3,不得超过1/2
 干燥塔	以容积表示	净化和干燥气体用	1. 塔体上室应放少许玻璃棉,上室容器放干燥剂(固体) 2. 干燥塔下面进气,上面出气,球形干燥塔内管进气

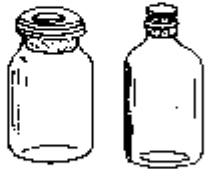
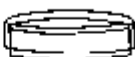
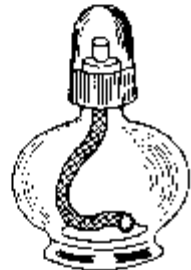
续表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 (a) (b) (c) (d) 烧瓶	以容积 (mL) 表示, 从形状分, 有圆形 (b)、茄形 (c)、梨形 (d); 有细口、厚口、磨口; 平底 (a)、圆底 (b); 长颈 (a)、短颈 (b) 等	1. 圆底烧瓶: 在蒸馏或加热条件下作反应容器, 因圆形受热面积大, 耐压大 2. 平底烧瓶: 配制溶液或代烧瓶用, 还可作洗瓶, 它不耐压, 不能用于减压蒸馏 3. 三口烧瓶: 用于需要搅拌的实验, 中间插搅拌器, 两边插温度计、加料管或滴液漏斗、冷凝管等	1. 盛放液体的量不能超过烧瓶容量的 2/3, 也不能太少 2. 固定在铁架台上, 下垫石棉网加热, 不能直接加热 3. 放在桌面上时, 下面要有木块或有棉垫
 (a) (b) (c) (d) 冷凝管	以外套管长 (cm) 表示, 分直形 (a)、直形 (b)、球形 (c)、蛇形 (d) 冷凝管几种	1. 蒸馏操作作冷却用 2. 球形冷凝管冷却面积大, 适用于加热回流 3. 直形、空气冷凝管用于蒸馏, 沸点低于 140°C 的物质用直形; 高于 140°C 的用空气冷凝管	1. 装配仪器时, 先装冷却水橡皮管, 再装仪器 2. 套管的下面支管通水, 上面支管出水。开冷却水时缓慢, 水部不能太大
 (a) (b) (c) (d) 蒸馏头和加料管	接口仪器	1. 蒸馏头 (a) 用于简单蒸馏, 上口装温度计, 支管接冷凝管 2. 克氏蒸馏头 (b) 用于减压蒸馏, 特别是易发生泡沫或暴流的蒸馏, 正口安装当拆管、带支管的接口插漏液 3. Y 型加料管 (c) 接在三口瓶上呈四口, 可与蒸馏头或蒸馏管 (d) 合用, 组成克氏蒸馏头	1. 磨口处需洁净, 不得有脏物 2. 注意不要让磨口冻结, 用后立即洗净

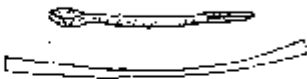
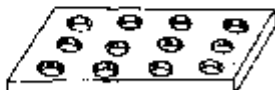
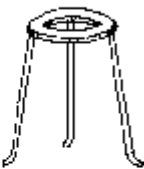
续表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 (a) (b) (c) 分液、滴液漏斗	以容积 (ml)、漏斗颈长和表示, 有球形 (a)、梨形 (b)、筒形 (c)、锥形 (d) 四种	1. 用于液体的分离、洗涤和萃取 2. 气体发生器装置中加液用	1. 漏斗口活塞应用细绳系于漏斗颈上, 防止落出损坏 2. 使用前, 将活塞涂一层凡士林, 插入转动至全透明, 如凡士林少了, 会漏或漏液, 太多会阻止液体仪器判试液 3. 萃取时, 振荡初期应放气数次, 以免漏斗内气压过大 4. 不能加热
 (a) (b) 干燥器	以容积 (cm) 表示, 分普通 (a)、真空干燥 (b) 两种, 颜色分白色、棕色两种	1. 存放物品, 以质物品吸收水汽 2. 定量分析时, 将灼烧过的坩埚放在其中冷却	1. 灼烧过的物品放入干燥器前, 温度不能过高 2. 干燥器内的干燥剂要按时更换 3. 见光易分解的药品宜用棕色干燥器
 (a) (b) (c) 洗瓶	以容积 (ml) 表示, 有玻璃 (a)、塑料 (b) 两种	1. 用蒸馏水洗涤仪器和容器用 2. 塑料洗瓶使用方便, 且中 3. 装适当的洗涤液洗涤沉淀	1. 不能装自来水 2. 塑料洗瓶不能加热
 滴瓶	以容积 (ml) 表示, 分无色、棕色两种	盛放液体试剂	1. 不能加热 2. 棕色瓶盛放见光易分解或不稳定的试剂 3. 碱性试剂要用带橡皮塞的滴瓶盛放 4. 取用试剂时, 滴管要保护完好, 不接触接受容器内壁, 不能插入其它试剂中

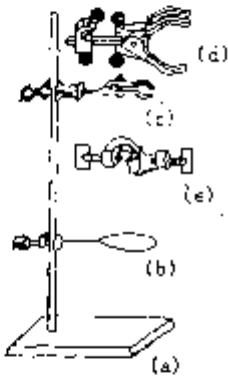
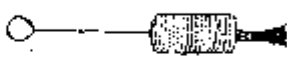
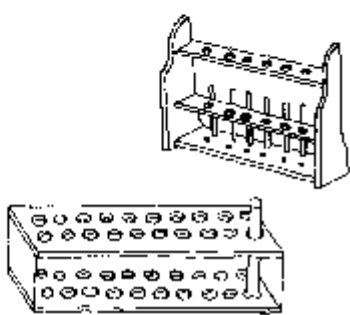
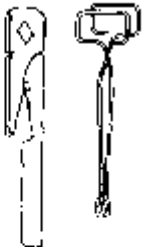
续表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 试剂瓶	以容积表示,有广口瓶、细口瓶两种,又分磨口、不磨口,无色、棕色等。材料又分玻璃与塑料	1. 广口瓶盛放固体试剂 2. 细口瓶盛放液体试剂和溶液	1. 不能加热 2. 取用试剂时,瓶塞应倒放在桌上,不能弄脏、丢失 3. 盛放碱性物质要用橡皮塞或塑料瓶 4. 见光易分解的物质用棕色瓶 5. 有磨口的试剂瓶不用时应洗净,并在磨口处垫上纸系
 比色管	以最大容积表示,有无塞和有塞两种	在目视比色法中,用于比较溶液颜色的深浅	1. 一套比色管应由同种玻璃制成,且大小、形状、高度应用同 2. 不能用试管刷刷洗,以免划伤内壁 3. 比色管应放在特制的、下面垫有白色瓷板或配有镜子的木架上
 培养皿	以玻璃底盖外径 (cm) 表示	放置固体样品	1. 固体样品放在培养皿中,可放在干燥箱或烘箱中干燥 2. 不能加热
 T形管		1. 连接仪器 2. 导管	
 酒精灯	以容积 (ml) 表示	加热物质	1. 必须用火柴点燃,绝不能用另一个燃着的酒精灯来点燃 2. 不用时将灯盖盖上,火焰即熄灭,不能用嘴吹 3. 如需添加酒精应熄灭火焰,然后借助于小漏斗添加
 蒸发皿	瓷质,以上口直径 (cm) 表示,也有石英、铂制皿,有平底、圆底两种	1. 反应容器 2. 灼烧固体 3. 因口大底浅,蒸发速度大,作丝状、浓缩溶液用	1. 耐高温,能直接用火烧 2. 注意不要碰碎,高温时不要用冷水去洗

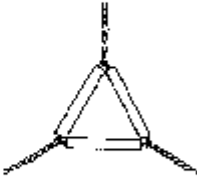
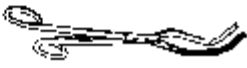
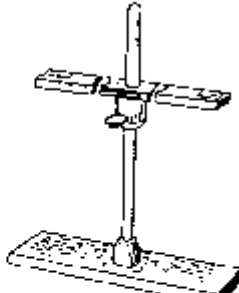
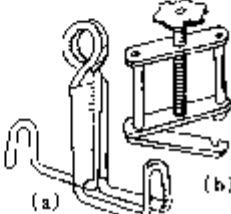
续表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 有盖坩埚	瓷质, 以容积 (ml) 表示。也有石墨、石英、氧化锆、铁、镍和铂制的	耐高温, 灼烧固体样品, 根据固体加性碱选用不同质的坩埚	1. 灼烧时放在泥三角上, 直接用火烧, 防止受热, 可无火灼烧 2. 灼热时, 不要用手去摸, 也不要放在桌上, 以免烧坏桌面 (应放在石棉网上) 3. 加热时, 要用坩埚钳拿取 (高温时, 坩埚钳需预热) 4. 不要用水冷却灼热的坩埚, 以免炸裂
 钵钵	瓷质, 以钵口直径表示, 也有铁、玻璃、玛瑙制的	1. 研磨固体 2. 混合固体物质 3. 根据固体的性质和硬度选用不同质的钵钵	1. 不能代替作反应容器用 2. 放入量不能超过容积的 1/3 3. 易爆物质不能经研磨, 不能研磨
 药匙	以大小表示, 有瓷、骨、塑料制的, 不锈钢勺由不锈钢打制而成	取固体试剂	1. 取少量固体时用小的 2. 药匙大小的选择, 应以拿到试剂后能放进容器口为宜 3. 取用一种药品后, 必须洗净药匙才能取另一种药品
 点滴板	上釉瓷板, 分白、黑两种	进行点滴反应, 观察沉淀生成和颜色变化	
 水浴锅	铜或铝制品	用作水浴加热	1. 选择好圈环, 使加热器皿浸于锅水 2/3 2. 经常补充水, 防止锅底水烧干 3. 使用完后, 将锅内剩水倒出, 并擦干
 三角架	铁制品, 有大小、高低之分	放置加热容器	1. 先放石棉网, 再放加热容器 (水浴锅除外) 2. 不要拿取加热过的三角架, 也不能平落在地, 以免断裂

续表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 石棉网	由铁丝编成, 中间涂有石棉, 有大小之分	加热玻璃反应容器时的承放者, 使加热均匀	1. 不要让石棉网浸水, 以免铁丝锈坏 2. 爱护石棉心, 不要损坏 3. 因石棉致痛, 且外已用高温陶瓷代替
 铁架台、铁圈及铁夹	铁架台 (a) 以高 (cm) 表示; 铁圈 (b) 以直径 (cm) 表示; 铁夹 (c) 又称自由夹, 以大小表示, 有双钳、一钳 (d)、四钳之分; 铁圈、铁夹也可以由十字夹 (e) 加圈或夹组成, 也有铝制的自由夹	1. 固定反应容器用 2. 铁圈可代替漏斗架使用	1. 不可用铁夹或铁圈敲打其它硬物, 以免损坏 2. 应先将铁夹等固定在合适的高度, 并旋紧螺丝, 使之牢固后再进行实验 3. 固定仪器在铁架台上时, 仪器和铁架台的中心应落在铁架台底座中心处
 试管刷	以大小和用途表示, 如试管刷、滴定管刷等	洗仪器及试管用	洗试管时, 要把前部的毛刷住放入试管, 以免铁丝顶端将试管底戳破
 试管及试管架	有木质、金属和塑料三类	承放试管	金属试管架勿碰及酸液
 试管夹	木质或钢铁	加热试管时代替手夹住试管	1. 不要碰火烧杯 2. 夹在试管上部 3. 要从试管底部套上或放下试管夹, 不要把拇指按在夹的活口部分

续表

名 称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 泥三角	以大小分列	1. 坩埚加热时的承放者 2. 小蒸发皿加热时也可用	1. 灼热的泥三角不要滴上冷水, 以免瓷管破裂 2. 选择泥三角时, 要使其侧在其上的坩埚所露出的上部, 不超过本身高度的 $1/3$
 坩埚钳	铁或铜合金, 表面需镀铬	加热坩埚时, 夹取坩埚或封坩盖用	用坩埚钳夹取灼热的坩埚时, 必须将坩埚钳预热, 以免坩埚因局部冷却而破裂
 漏斗架	木制, 有铁丝时可固定于铁架或木架上	过滤时承接漏斗用	固定漏斗架时, 不要把它反放
 夹子	铁或铜制品, (a) 为弹簧夹, (b) 为螺旋夹	用于蒸馏水贮瓶或实验装置中沟通或关闭液体的通路, 螺旋夹可控制流量	1. 应把胶管夹在弹簧夹的中间部位 2. 在蒸馏水贮瓶装置中, 夹子夹持胶管的部位应常变动, 应防止夹持不平引起漏水 3. 实验结束, 应及时拆卸装置, 擦净夹子, 以免锈蚀

二、玻璃滤器

玻璃滤器是利用玻璃粉末烧结制成多孔性滤片, 再焊接在相同或相似的膨胀系数的瓷壳或瓷管上。因此它应包括滤片及与之相熔接而成的玻璃滤器。

(一) 滤片规格

按滤片的平均洞孔大小分成 5 个号, 用以过滤不同的沉淀物。

滤片型号	滤片平均孔径, μm	主要用途
1	80~120	滤除粗颗粒沉淀, 收集或分布粗分子气体
2	40~80	滤除较粗颗粒沉淀, 收集或分布较大分子气体
3	15~40	滤除化学分析中的一般结晶沉淀杂质, 过滤水银, 收集或分布一般气体
4	5~15	滤除细颗粒沉淀, 收集或分布小分子气体
5	2~5	滤除极细颗粒沉淀, 滤除较大细菌
6	<2	滤除细菌

(二) 使用注意事项

(1) 新的玻璃滤器在使用前应以热盐酸或铬酸洗液先行抽滤, 并立即用蒸馏水洗净, 除去滤器中灰尘等外来杂质。

(2) 玻璃滤器不能过滤浓氢氟酸, 热浓磷酸以及热的、冷的浓碱液。这些试剂可溶解滤片的微粒, 使滤孔增大, 并造成滤片脱裂。

(3) 滤片的厚度是兼顾到过滤的速率和必要的机械强度而确定的。因此, 在减压或受压的情况下使用时, 滤片两面的压力差不允许超过 $1\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

(4) 由于滤器几何形状的特殊和熔接边缘的存在, 故升温或冷却时必须十分缓慢。

(5) 玻璃滤器每次用毕或使用一定时间后, 会对沉淀物堵塞滤孔而影响过滤效率, 因此必须及时进行有效的洗涤。洗涤方法如下:

机械冲洗法: 将滤器倒置, 在沉淀物相反方向用蒸馏水反复冲洗, 以洗净沉淀物, 烘干即可用。如有必要, 还可在冲洗时, 采用减压的方法, 提高洗涤效率。

化学洗涤法: 针对不同的沉淀物, 可采用各种有效的洗涤液先行处理, 然后再用蒸馏水中洗干净, 并予烘干。常用的洗涤液列于下表。

过滤沉淀物	主要洗涤液
脂肪、脂膏	四氯化碳或适当的有机溶剂
白阮、粘胶、葡萄糖	盐酸, 热氨, 5%~10%碱液或热硫酸和硝酸的混合物
金属物及碳化物	混有重铬酸盐的湿热浓硫酸或含有少量高氯酸钾和高氯酸钾的浓硫酸, 放置过夜
氯化亚铜、铁粉	混有高氯酸钾的热浓硫酸
铬、酸、钨	100℃浓硫酸
水渣	热浓硝酸
硫化汞	热王水
氯化汞	氯或取代硫酸钠的溶液
铂质和铂质残渣	先用 2% 高氯酸用浓硫酸洗涤, 立即用蒸馏水再用丙酮洗涤, 重复洗涤至无残渣为止
细菌	化学纯浓硫酸 5.72ml、化学纯硝酸钠 2.00g 和蒸馏水 94ml 充分混合均匀

6 号除菌滤器, 经细菌过滤后, 应立即加入洗涤液抽滤一次, 当抽至洗涤液未被滤前, 取该滤器浸入洗涤液中 48h, 滤片的两面均应接触溶液。取出后用热蒸馏水抽滤洗净、烘干即可。

(6) 玻璃滤器不能用以过滤加过活性炭的溶液。

(三) 玻璃滤器规格

玻璃滤器可分为: (1) 垂熔滤片, 垂熔滤片又分毛边 (编号: FO) 和磨边 (编号: FOC), 其两者规格完全一样; (2) F1 及 F2 坩埚式滤器 (古氏); (3) F3 坩埚式滤器 (古氏); (4) F5 漏斗式滤器, 高型 (蒲氏); (5) F8 漏斗式滤器, 高型 (蒲氏), 具磨砂玻璃盖; (6) F9 管式滤器; (7) F15 管式滤器; (8) F16、F17 和 F18 管式气体滤器, 球形; (9) F31 及 F32 气体分布管; (10) F30、F24、F26、F28 和 F152 漏斗式滤器, 低型 (蒲氏); (11) F44、F13、F42 和 F41 管式浸液滤器; (12) F143、F142 管式滤器; (13) F50 称量抽滤器, (中管

式浸液过滤器和称量瓶组成)适用于测定青霉素含量等;(14)F101管式滤器,微量;(15)F102漏斗式滤器,微量。

上述各种滤器又可分多种规格,分别见下列表2-3中各表,其形状如图2-2所示。

表 2-3 玻璃滤器

(1) 垂熔滤片

编 号	滤片号	直径 d/mm	厚度 l/mm	编 号	滤片号	直径 d/mm	厚度 l/mm
FO-1-010	1	10	1.5~2	FO-3-125	3	125	6~7
FO-1-015	1	15	1.5~2	FO-3-138	3	138	6~7
FO-1-021	1	21	2~2.5	FO-3-210	3	210	7~8.5
FO-1-032	1	32	2~2.5	FO-4-010	4	10	1.5~2
FO-1-065	1	65	4~5	FO-4-015	4	15	1.5~2
FO-1-100	1	100	5~6	FO-4-021	4	21	2~2.5
FO-1-125	1	125	6~7	FO-4-032	4	32	2~2.5
FO-1-138	1	138	6~7	FO-4-065	4	65	4~5
FO-1-210	1	210	7~8.5	FO-4-100	4	100	5~6
FO-2-010	2	10	1.5~2	FO-4-125	4	125	6~7
FO-2-015	2	15	1.5~2	FO-4-138	4	138	6~7
FO-2-021	2	21	2~2.5	FO-5-021	5	21	2~2.5
FO-2-032	2	32	2~2.5	FO-5-032	5	32	2~2.5
FO-2-065	2	65	4~5	FO-5-065	5	65	4~5
FO-2-100	2	100	5~6	FO-5-100	5	100	5~6
FO-2-125	2	125	6~7	FO-5-125	5	125	6~7
FO-2-138	2	138	6~7	FO-5-138	5	138	6~7
FO-2-210	2	210	7~8.5	FO-6-021	6	21	2~2.5
FO-3-010	3	10	1.5~2	FO-6-032	6	32	2~2.5
FO-3-015	3	15	1.5~2	FO-6-065	6	65	4~5
FO-3-021	3	21	2~2.5	FO-6-100	6	100	5~6
FO-3-032	3	32	2~2.5	FO-6-125	6	125	6~7
FO-3-065	3	65	4~5	FO-6-138	6	138	6~7
FO-3-100	3	100	5~6				

(2) F1及F2 塔式滤器(古氏)

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片 直径 d/mm
F1-1	8	1	40	21
F1-2	8	2	40	21
F1-3	8	3	40	21
F1-4	8	4	40	21
F1-5	8	5	40	21
F1-6	8	6	40	21
F2-1	10	1	50	21
F2-2	10	2	50	21
F2-3	10	3	50	21
F2-4	10	4	50	21
F2-5	10	5	50	21
F2-6	10	6	50	21

(3) F3 塔式滤器(古氏)

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片 直径 d/mm
F3-1	30	1	60	32
F3-2	30	2	60	32
F3-3	30	3	60	32
F3-4	30	4	60	32
F3-5	30	5	60	32
F3-6	30	6	60	32

(4) F5 漏斗式滤器, 高型(葡氏)

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片 直径 d/mm	瓶外径 ϕ/mm
F5-1	35	1	150	32	9
F5-2	35	2	150	32	9
F5-3	35	3	150	32	9
F5-4	35	4	150	32	9
F5-5	35	5	150	32	9
F5-6	35	6	150	32	9

(5) F8 漏斗式过滤器高型 (桶状) 具磨砂玻璃带

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 φ/mm
F8-1	35	1	150	32	9
F8-2	35	2	150	32	9
F8-3	35	3	150	32	9
F8-4	35	4	150	32	9
F8-5	35	5	150	32	9
F8-6	35	6	150	32	9

(6) F9 管式过滤器

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 φ/mm
F9-1	10	1	100	21	7
F9-2	10	2	100	21	7
F9-3	10	3	100	21	7
F9-4	10	4	100	21	7
F9-5	10	5	100	21	7
F9-6	10	6	100	21	7

(7) F15 管式过滤器

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 φ/mm
F15-1	35	1	175	21	7
F15-2	35	2	175	21	7
F15-3	35	3	175	21	7
F15-4	35	4	175	21	7
F15-5	35	5	175	21	7
F15-6	35	6	175	21	7

(8) F16、F17 和 F18 管式过滤器, 球形

编号	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 φ/mm
F16-1	1	145	15	6
F16-2	2	145	15	6
F16-3	3	145	15	6
F16-4	4	145	15	6
F17-1	1	155	21	9
F17-2	2	155	21	9
F17-3	3	155	21	9
F17-4	4	155	21	9
F18-1	1	170	25	12
F18-2	2	170	25	12
F18-3	3	170	25	12
F18-4	4	170	25	12

(9) F31 及 F32 气体分布管

编号	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 φ/mm
F31-1	1	160	21	9
F31-2	2	160	21	9
F31-3	3	150	21	9
F31-4	4	150	21	9
F32-1	1	150	32	9
F32-2	2	150	32	9
F32-3	3	150	32	9
F32-4	4	150	32	9

(10) F20、F24、F26、F28 和 F152 漏斗式过滤器, 低型 (桶状)

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 φ/mm	编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 φ/mm
F20-1	130	1	175	65	12	F28-3	300	3	320	125	21
F20-2	130	2	175	65	12	F28-4	300	4	320	125	21
F20-3	150	2	175	65	12	F28-5	300	5	320	125	21
F20-4	130	4	175	65	12	F28-6	300	6	320	125	21
F20-5	130	5	175	65	12	F28-1	1200	1	320	138	22
F20-6	130	6	175	65	12	F28-2	1500	2	320	138	22
F24-1	500	1	245	100	20	F28-3	1500	3	320	138	22
F24-2	500	2	245	100	20	F28-4	1500	4	320	138	22
F24-3	500	3	245	100	20	F28-5	1500	5	320	138	22
F24-4	500	4	245	100	20	F28-6	1500	6	320	138	22
F24-5	500	5	245	100	20	F152-1	6000	1	500	210	28
F24-6	500	6	245	100	20	F152-2	6000	2	500	210	28
F28-1	800	1	260	125	21	F152-3	6000	3	500	210	28
F28-2	800	2	260	125	21						

(11) F44、F45、F42和F41筒式浸液过滤器

编号	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	筛网孔径 ϕ/mm
F44-1	1	100	9	5
F44-2	2	100	10	6
F44-3	3	100	10	8
F44-4	4	100	10	6
F45-1	1	150	15	6
F45-2	2	150	15	6
F45-3	3	150	15	6
F45-4	4	150	15	6
F42-1	1	180	21	5
F42-2	2	180	21	6
F42-3	3	180	21	7
F42-4	4	180	21	8
F41-1	1	180	32	6
F41-2	2	180	32	6
F41-3	3	180	32	6
F41-4	4	180	32	6

(12) F143、F142筒式过滤器

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm
F143-1	200	1	200	21
F143-2	200	2	200	21
F143-3	200	3	200	21
F143-4	200	4	250	21
F142-1	200	1	250	32
F142-2	200	2	200	32
F142-3	200	3	200	32
F142-4	200	4	200	32

(13) F20微量抽滤器

(a) 筒式浸液过滤器

编号	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	筛网孔径 ϕ/mm
F20-2	2	50	15	6
F20-3	3	50	15	6

(b) 称量瓶

容量 V/ml (标)	全高 h/mm	最大外径 ϕ/mm
13	65	33

(14) F101筒式过滤器, 微量

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	筛网孔径 ϕ/mm
F101-3	2	3	85	10	6
F101-4	2	4	85	10	6

(15) F102漏斗式过滤器, 微量

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	筛网孔径 ϕ/mm
F102-3	0.6	3	55	10	6
F102-4	0.6	4	65	10	6

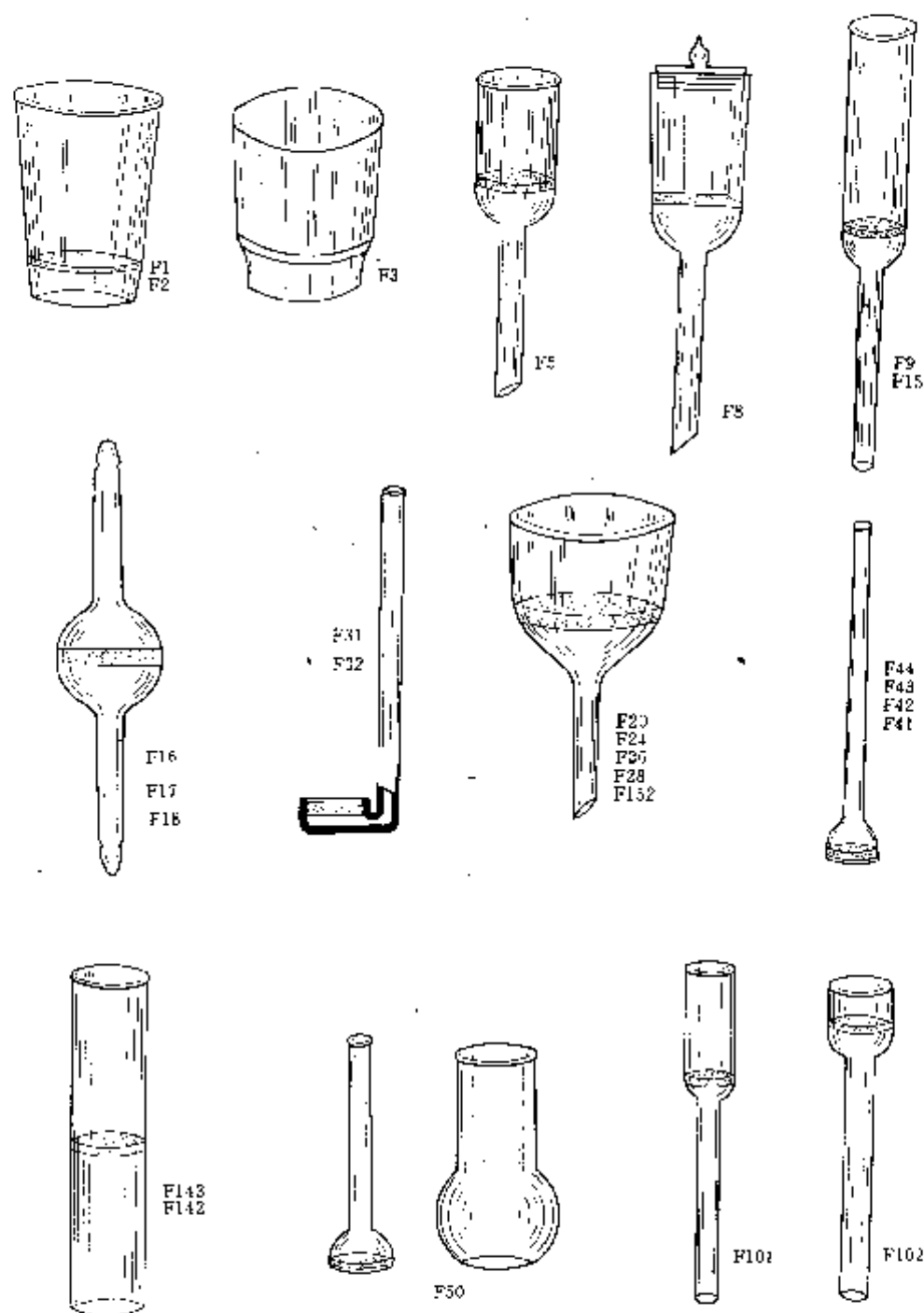


图 2-2 玻璃滤器

第四节 滤纸、滤膜的规格及滤纸浆、石棉浆的制备

一、滤 纸

目前,国产的滤纸有层析定性分析滤纸、定量化学分析滤纸和定性化学分析滤纸。

1. 层析定性分析滤纸 有1号、3号两种,每种又分为快速、中速和慢速三种,其规格见表2-4。

表 2-4 1号、3号层析定性分析滤纸的规格

项 目	单 位	1 号			3 号		
		快 速	中 速	慢 速	快 速	中 速	慢 速
定量	$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	90	90	90	180	180	180
水能溶物	pH 值	7	7	7	7	7	7
水 分	%	7	7	7	7	7	7
灰 分	%	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1
含铁量	$10^{-6} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$	50 以下	50 以下	50 以下	35 以下	25 以下	50 以下
水溶性氯化物	$10^{-6} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$	100 以下	100 以下	100 以下	100 以下	100 以下	100 以下
铜离子含量	$10^{-6} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$	10 以下	10 以下	10 以下	10 以下	10 以下	10 以下
尘埃度 ^①	$\text{个} \cdot \text{m}^{-2}$	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80
吸水率 ^②	mm	60—90	80—120	120—150	60—90	90—120	120—150

① 定量:指单位面积内滤纸的质量,这是滤纸工业上的一个术语。

② 尘埃度:指 1m^2 面积的滤纸上所含尘埃 ($0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$) 的个数。

③ 吸水性:测定法是取 15mm 宽的长条滤纸,浸在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的水中 1cm ,在 30min 内水上升的高度 (以 mm 计)。

2. 定量化学分析滤纸和定性化学分析滤纸的分类 目前,国产的定量和定性化学分析滤纸,分快速、中速、慢速三类。定量滤纸在滤纸盒上用白带 (快速)、蓝带 (中速)、红带 (慢速) 为标志分类,其规格和性能见表 2-5。

滤纸外型规格 圆形有: $\phi 7\text{cm}$ 、 $\phi 9\text{cm}$ 、 $\phi 11\text{cm}$ 、 $\phi 12.5\text{cm}$ 、 $\phi 15\text{cm}$ 、 $\phi 18\text{cm}$; 方形有: $30\text{cm} \times 50\text{cm}$ 、 $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ 等。

表 2-5 定量和定性化学分析滤纸的规格

项 目	单 位	定 量 滤 纸			定 性 滤 纸		
		快 速 (白带)	中 速 (蓝带)	慢 速 (红带)	快 速	中 速	慢 速
定量	$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	75	75	80	75	75	80
分离性能 ^①		氢氧化铁	碳酸锌	硫酸铜 (热)	氢氧化铁	碳酸锌	硫酸铜 (热)
过滤速度 ^②	s	10—30	31—80	81—100	15—30	31—50	61—100
灰 分 ^③	$\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 不大于	0.45	0.50	0.55	0.45	0.50	0.55
水 分	%, 不大于	7	7	7	7	7	7
灰 分	%, 不大于	0.01	0.01	0.01	0.15	0.15	0.15
含铁量	%, 不大于	—	—	—	0.003	0.003	0.003
水溶性氯化物	%, 不大于	—	—	—	0.02	0.02	0.02
水油出液, pH 值		5—8	5—8	5—8	7	7	7
尘埃度	$\text{个} \cdot \text{m}^{-2}$, $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 的尘埃不多于	30	30	30	30	30	30
	$\geq 2\mu\text{m}$ 以上尘埃	不许有	不许有	不许有	不许有	不许有	不许有

① 在一般条件下能从水溶液中被出沉淀,热:指溶液为热的。

② 过滤速度是指:把滤纸折成 60 度角的圆锥形,将滤纸完全浸湿,取 15ml 水进行过滤,开始滤出 5ml 不计,之后计时,滤出 5ml 水所需要的时间 (单位以秒计算)。

③ 一般系指滤纸松紧的程度,以单位面积内的质量表示。

面。

(2) 将市售分析用长纤维酸洗石棉 250g 放入 100ml 比重 1.19 的盐酸及水 100ml, 加热煮沸 8h 以上, 在装有漏斗式玻璃过滤器上的吸滤瓶上用水洗涤至无氯离子 (Cl^-), 用水制成悬浮液备用。或在 (40~50)℃ 下烘干保存备用。

第五节 玛瑙研钵和坩埚

在分析一个样品时, 一般都要进行加热, 灼烧或熔融。根据不同性质的样品, 须要选用各种合适的器皿。各种器皿的特性不同其使用方法也大不相同, 现将几种主要器皿的使用和维护方法简介如下。

(一) 玛瑙研钵

玛瑙研钵是用天然的玛瑙制成, 玛瑙是一种贵重的矿物, 它是石英的变种, 主要化学成分是二氧化硅。另外含有少量其他的氧化物 (铝、铁、钙、镁、锰等的氧化物), 它与很多化学药品不起作用, 而且硬度很大, 所以被广泛用来研磨各种物质。使用时应注意:

- (1) 不许与氢氟酸接触;
- (2) 不许放在热处, 例如不许放在烘箱中烤;
- (3) 遇有大块或结晶体样品, 要在外边压碎敲碎, 再放入玛瑙研钵进行研磨;
- (4) 研钵使用后要用水洗净, 必要时可先用稀盐酸洗, 再用水冲洗干净, 如果仍不干净, 可放入少许食盐研磨若干时间后倒去再洗净, 不得已时可用少许海砂代替食盐以清理;
- (5) 硬度过大、粒度过粗的物体, 最好不要在玛瑙研钵中研磨, 以免划坏表面。

(二) 铂坩埚

铂坩埚主要用于碱熔融及氢氟酸处理样品。

(1) 铂的熔点为 1 773.5℃, 铂坩埚使用时加热温度最高不可超过 1 200℃。加热和灼烧时, 应当在电炉内或煤气灯的氧化焰上进行, 不可在还原焰或冒黑烟的火焰加热铂坩埚。或使铂器接触火焰中的蓝色核心。以免生成碳化铂, 使它变脆而易破裂。

(2) 由于铂较软, 所以拿取铂坩埚时勿太用力, 以免变形或致凹凸。切勿用玻璃棒等尖头物体从铂坩埚中刮出物质致使内壁损伤。可以用带橡皮头的玻璃棒。

(3) 不得在铂坩埚中加热或熔融碱金属的氧化物, 氢氧化物, 氧化物, 硫代硫酸钠, 亚磷酸以及含大量硫的物质, 碱金属的硝酸盐, 亚硝酸盐, 氯化物, 氰化物等在高温下与铂形成脆性磷化铂, 硫化铂等, 它都能侵蚀铂。

(4) 含有重金属, 如铅、铋、锡、锑、砷、银、汞、铜等的样品化合物不可在铂坩埚内灼烧和加热, 这些重金属化合物容易还原成金属与铂生成合金损坏铂坩埚。

(5) 高温加热时, 不可与其他任何金属接触, 必须放在铂三角或陶瓷、粘土、石英等材料的支持物上灼烧也可放在垫有石棉板的电炉或电热板上加热, 但不得直接与铁板或电炉丝接触, 因为在高温时铂易与其他金属形成合金。须用铂头坩埚钳, 镍或不锈钢的钳子只能在低温时使用。

(6) 在铂坩埚内不得处理卤素及能分解出卤素的物质, 如王水、溴水及盐酸与氧化剂 (氯酸盐、硝酸盐、高锰酸盐、二氧化锰、铬酸盐、亚硝酸盐等) 的混合物以及卤化物和氧化剂的混合物。三氯化铁溶液对铂有显著的侵蚀作用, 因此不能与三氯化铁接触。

(7) 成分不明的物质不要在铂坩埚中加热或溶解。

(8) 铂坩埚必须保持清洁, 内外应光亮, 经过长久灼烧之后, 铂坩埚外表可能黯然无光,

这是由于表面有一薄层结晶的关系，日久必定深入到内部以致铂坩埚脆弱而破裂。因此必须及时清除表面不清洁之物，其方法有：

在稀盐酸或稀硝酸内煮沸（用稀盐酸比较方便，配成 $(1.5 \sim 2) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸溶液），注意所用的酸盐中不得含有硝酸、硝酸盐、卤素等氧化剂。

如用稀酸尚不能洗净时，则用焦硫酸钾、碳酸钠或硼砂熔融清洗。

如仍有污点，或表面发乌，则用通过 100 筛目的无尖锐棱角的细砂，用水润湿进行轻轻摩擦；使表面恢复光泽。

除铂坩埚之外，还有铂蒸发皿，燃烧用的铂小舟、铂古氏坩埚、铂电极等仪器，它们的使用和维护与上述相同。

（三）银坩埚

银坩埚用于过氧化钠及苛性碱熔融处理试样。不适于作沉淀称量用。

（1）银的熔点仅 960°C ，因此银坩埚使用温度一般不能超过 700°C ，用银坩埚时要严格控制温度。

（2）新银坩埚应先在 $(300 \sim 400)^\circ\text{C}$ 马弗炉中灼烧数分钟，除去表面油污，并使表面生成一层氧化膜，然后用稀盐酸 $(1:20)$ 煮沸片刻，用水冲洗干净。

（3）银坩埚一经加热，表面就有一层氧化物，使其不受氢氧化钾或氢氧化钠的侵蚀，因此可以用氢氧化钠作为熔剂，也可以用碳酸钾（钠）与硝酸钠（或过氧化钠）作为混熔剂，以烧结法分解试样，但与空气接近的边缘处略起作用，因此熔融时间不能过长（一般不超过 30min）。

（4）绝对不许在其中分解或灼烧含硫的物质，也不许在其中使用碱性硫化熔剂，因银很容易与硫作用生成硫化银。

（5）在熔融状态时，铅、锌、锡、铜、汞等金属盐都能使银坩埚变脆，对于汞盐、硼砂等也不能在银坩埚中灼烧和熔融。

（6）刚从火焰或电炉上取下的热坩埚，不许立刻用水冷却以免产生裂纹。

（7）银易溶于酸，在浸取熔融物时，不可使用酸，更不能长时间浸在酸里，特别是不可接触浓酸（如热的浓硝酸）。

（四）镍坩埚

镍坩埚可用以进行过氧化钠或碱熔融以代替贵金属。

（1）镍熔点 1455°C ，镍坩埚的使用温度不得超过 900°C ，镍在高温中易被氧化，因此不能做沉底的灼烧和称量。

（2）在使用前放在水中煮沸数分钟，除去其污物，必要时可以加少量盐酸煮沸片刻。新的镍坩埚在使用前应先在高温中烧 $(2 \sim 3) \text{ min}$ ，以除去油污，并使表面氧化，延长使用寿命。

（3）可用氢氧化钠、过氧化钠、碳酸钠、碳酸氢钠及含有硝酸钾的碱性熔剂熔融。但不能用硫酸氢钾（钠）、焦硫酸钾（钠）等酸性熔剂以及含硫的碱性硫化物熔剂进行熔融。

（4）熔融状态的铝、锌、锡、铅和汞等金属盐，都能使镍坩埚变脆。硼砂等也不能在镍坩埚中灼烧和熔融。

（5）镍极易溶于酸，浸取熔融物时，不可使用酸，必要时也只能用数滴稀酸 $(1+20)$ 稍洗一下。

(6) 镍坩埚中常含有微量的铬，使用时应注意。

(五) 石英坩埚

石英坩埚的主要化学成分是二氧化硅，其中含有微量的铁、铝、钙、钛、锆等，除氢氟酸外，不与其他酸作用，易与苛性碱及碱金属碳酸盐作用，特别是在高温下，极易与上述物质共同熔融而破坏石英坩埚，对大部分其他化学物质则比较稳定。使用时应注意下列各点。

(1) 石英坩埚对热的稳定性很好，在 1700℃ 以下不软化亦不挥发，但在 1100℃~1200℃ 间开始变成不透明，而失掉机械强度，因此使用时必须严格控制在这个温度以下。

(2) 石英坩埚比玻璃器皿更脆，容易破碎，使用时要特别小心。

(3) 在石英坩埚中绝对不能使用氢氟酸，过氧化钠，苛性碱及碱金属碳酸盐，因为它们对石英都有侵蚀作用，还有多种金属氧化物在高温下能和石英作用而生成硅酸盐，破坏石英坩埚。

(4) 可以用硫酸氢钾（钠），焦硫酸钾（钠）硫代硫酸钠等作为熔剂。

(5) 清洗时，除氢氟酸外，普通稀无机酸均可用作清洗剂。

(六) 聚四氟乙烯坩埚

(1) 化学性能稳定，能耐酸耐碱，不受氢氟酸的侵蚀。

(2) 表面光滑、耐磨，不易破碎、机械强度好等优点。

(3) 在 400℃ 以下稳定，因此使用温度绝对不能超过 400℃。一般控制在 200℃ 左右，主要代替铂器皿用于氢氟酸溶样。

(七) 铁坩埚和刚玉坩埚

因铁的价格低廉，使用普遍。如过氧化钠熔融也可以用铁坩埚来代替镍坩埚。

刚玉坩埚是由多孔性熔融氧化铝制成，是分析化学实验室中常用器皿。质坚而耐熔但易碎，不适用于酸熔剂溶样，只适用于某些碱熔剂熔融样品。但在测定铝和钒有干扰的情况下，不能使用。

在实验室中熔融样品时，需根据熔剂的性质，实验的要求选择适用的坩埚，见表 2-8，在使用时严格控制条件，细心操作。

表 2-8 适用于常用熔剂的坩埚

熔 剂 种 类	适 用 坩 埚						
	铂	铁	镍	银	瓷	刚玉	石英
无水碳酸钠	-	-	-	-	-	-	-
磷酸氢钠	+	+	-	-	-	-	-
1 份无水碳酸钠加 1 份无水碳酸钾	+	+	-	-	-	-	-
6 份无水碳酸钠加 0.5 份磷酸钾	+	+	-	-	-	-	-
3 份无水碳酸钠加 2 份磷酸钠（熔融），研成细粉	+	-	-	-	+	-	-
1 份无水碳酸钠加 1 份氧化铁	+	+	+	-	+	-	-
2 份无水碳酸钠加 1 份氧化铁	+	+	+	-	+	-	-
4 份磷酸氢钠加 1 份氧化铁	+	-	-	-	+	-	-
过氧化钠	-	+	+	-	-	-	-
5 份过氧化钠加 1 份无水碳酸钠	-	+	+	-	-	-	-
4 份过氧化钠加 3 份无水碳酸钠	-	+	+	-	-	-	-

续表

剂 名 称 类 别	适 用 范 围						
	铂	铁	镍	铜	铝	木材	皮革
氢氧化钠 (苛)	—	—	—	—	—	—	—
0 份氢氧化钠 (苛) 加 0.5 份磷酸钠 (苛)	—	—	—	—	—	—	—
氯化剂	—	—	—	—	—	—	—
1 份磷酸钠加 1 份硫酸	—	—	—	—	+	—	—
磷酸氢钙	—	—	—	—	+	—	—
亚硫酸钠	—	—	—	—	—	—	—
0 份氯化亚铁加 10 份亚硫酸钠	—	—	—	—	—	—	—
氯化铜	—	—	—	—	—	—	—
高锰酸钾 (在 212°C 焙干)	—	—	—	—	—	—	—
1:1 份无水硫酸钠加 1 份硫酸	—	—	—	—	—	+	—

注：表中“+”表示可以使用，“—”表示不宜使用。

第六节 常用干燥剂

(一) 干燥剂的特性和适用性

表 2-9 和表 2-10 分别给出了常用干燥剂的特性和适用性。

表 2-9 常用干燥剂的特性

名 称	化 学 式	吸水量	干燥速度	酸 碱 性	再 生 方 法
五氧化二磷	P_2O_5	大	快	酸性	不能再生
分子筛	结晶的铝硅酸盐	大	较快	酸性	烘干、温度随型号而异
氧化钙	CaO	—	慢	碱性	不能再生
高氯酸钙	$Ca(ClO_4)_2$	大	—	中性	烘干再生 (251°C 分解)
六水合高氯酸钙	$Ca(ClO_4)_2 \cdot 6H_2O$	—	—	中性	烘干再生 (251°C 分解)
氢氧化钙 (熔过后的)	KOH	大	较快	碱性	不能再生
活性氧化铝	Al_2O_3	大	快	中性	在 (110~300°C) 下烘干再生
硫酸铜	H_2SO_4	大	快	酸性	蒸发浓缩再生
硫酸钙	$CaSO_4$	小	快	中性	在 161°C (脱水温度) 下脱水再生
硅胶	SiO_2	大	快	酸性	120°C 下烘干再生
氢氧化钠 (熔过后的)	$NaOH$	大	较快	碱性	不能再生
氧化钙	CaO	—	慢	碱性	不能再生
硫酸铜	$CuSO_4$	大	—	微酸性	150°C 下脱水再生
氯化钙 (熔过后的)	$CaCl_2$	大	快	含碱性杂质	200°C 下脱水再生
硫酸镁	$MgSO_4$	大	较快	中性、有的微酸性	200°C 下脱水再生
硫酸钠	Na_2SO_4	大	慢	中性	烘干再生
硫酸钾	K_2SO_4	大	较慢	碱性	100°C 下烘干再生
金属钠	(Na)	—	—	—	不能再生

1. 使用高氯酸盐时务须小心，碱、硫、磷及一切有机物均不可与之直接接触，否则会产生剧烈爆炸。

表 3-10 干燥剂的适用性

干燥剂	适用范围	不适用范围	备注
P ₂ O ₅	大多数中性或酸性气体, 乙炔, 二硫化碳, 烃, 卤代烃, 酸, 醇, 醚 (干燥器、干燥瓶), 酸与酸酐、酮	碱性物质、醇-酮、易发生聚合的物质、氯化氢、氯化氮	使用时应与玻璃、石棉纸、玻璃纸、纸(石等)配合; 一般先用其他干燥剂预干燥; 本品易潮解, 与水作用生成磷酸, 磷酸等
浓 H ₂ SO ₄	大多数中性与酸性气体(干燥器、洗气瓶), 饱和烃, 卤代烃, 芳烃	不饱和的有机化合物, 醇, 酮, 酚, 碱性物质, 胺, 吡啶, 吡咯	不适用于温度高于干燥
BaCl ₂ 、CaO	中性或碱性气体, 醇, 醚	酯, 酮, 酸性物质	特别适用于干燥气体, 与水作用生成 Ba(OH) ₂ 、Ca(OH) ₂
NaOH、KOH	氨, 胺, 醇, 酮 (干燥器)、酮	酯, 酮, 酸性物质	易潮解
K ₂ CO ₃	胺, 醇, 丙酮, 一般的生物碱, 酯, 酮	酯, 酮及其他酸性物质	易潮解
Na	烃, 卤代烃, 胺, 醇, 芳烃	卤代烃(爆炸), 醇, 醚, 酮, 胺及其他易与金属钠起反应的物质	一般先用其他干燥剂预干燥; 与水作用生成 NaOH、H ₂
CaCl ₂	烃, 链烯烃, 醇, 酮, 卤代烃, 酯, 中性气体, 氯化氢	醇, 酮, 酯, 酸, 酸性物质, 某些醚, 酮与酯	价廉, 可与许多含氧、含氮的化合物生成溶化物、络合物或发生反应; 含有 CaO 等碱性杂质
Mg(ClO ₄) ₂	含有氮的气体 (干燥器)	易氧化的有机液体	适用于分析工作, 能溶于多种溶剂中; 处理不当会发生爆炸
Na ₂ SO ₄ , MgSO ₄	普遍适用, 特别适用于酯及酸性物质溶液		价廉; Na ₂ SO ₄ 常作预干燥剂
CaSO ₄	普遍适用 (干燥器)	氯化氢	常用作 Na ₂ SO ₄ 作预干燥剂
硅胶 分子筛	温度 100℃ 以下的绝大多数流动气体; 有机溶剂 (干燥器)	不饱和烃	一般先用其他干燥剂预干燥; 特别适用于低沸点的干燥
CaH ₂	烃, 醇, 醚, C ₄ 及 C ₄ 以上的醇	酮, 含有活泼氢基的化合物	作用比氧化钾缓慢, 但效果差不多, 且较安全, 是较好的还原剂之一, 与水作用生成 Ca(OH) ₂ 、H ₂
LiAlH ₄	烃, 芳基化合物, 醇	含有酸性 H, 卤素, 碳基及酯基等的化合物	使用时小心; 过量的可慢慢加乙酸乙酯将其破坏; 与水作用生成 LiOH、Al(OH) ₃ 与 H ₂

(二) 各类分子筛的化学组成及特性

类 型	孔 径 ($\text{\AA}$, $\times 10^{-8}$ cm)	化 学 组 成	水 吸 附 量 wt (%)	特 性 的 应 用
A 型				
3A 或钠 A 型	3.0	$(0.75\text{CaO} + 0.25\text{Na}_2\text{O}) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	23	只吸附水, 不吸附乙醇、乙二醇、二氧化碳、烃和过大物分子
4A 或钠 A 型	4.0	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	27.5	吸附水、甲醇、乙醇等
5A 或钙 A 型	5.0	$(0.75\text{CaO} + 0.25\text{Na}_2\text{O}) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	27	用于正异构烷烃的分离
X 型				
10X 或钙 X 型	9.0	$(0.75\text{CaO} + 0.75\text{Na}_2\text{O}) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (2.5 + 0.5)\text{SiO}_2$	—	用于烯烃异构体分离
13X 或钠 X 型	10.0	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (2.5 + 0.5)\text{SiO}_2$	19.5	用于催化剂载体与水、二氧化碳、水-胺化氢的吸附
Y 型	10.0	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (3 - 4)\text{SiO}_2$	18.2	经过蒸汽处理后, 仍有高的吸水量

(三) 分子筛按分子大小吸附分类

He, Ne, Ar, H_2 , C_2 , N_2 , H_2O 能被钾 A 型 (3A) 分子筛 吸附	Kr, Xe, CH_4 , CO , NH_3 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 , CH_3OH , CH_3CN , CH_3NH_2 , CH_3Cl , CH_3Br , CO_2 , CS_2	C_2 , C_2H_2 乙炔, $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$, $\text{C}_2\text{H}_3\text{Br}$, CH_3I , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, D_2H_6 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$, CF_4 , CH_3Br , C_2F_6 , CH_3C_2 , CF_3Cl , CHF_3 , CH_3C , $(\text{CH}_3)_3\text{NH}$, CH_3Cl	SF_6 , $\text{C}(\text{CH}_3)_4$, CHCl_3 , $\text{C}(\text{CH}_3)_3\text{Cl}$, CH_3Br , $\text{C}(\text{CH}_3)_3\text{Br}$, CH_3I , $\text{C}(\text{CH}_3)_3\text{OH}$, $\text{N-C}_6\text{H}_5\text{OCl}$, $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$, $\text{N-C}_6\text{H}_5$, 环己烷, $\text{N-C}_6\text{H}_5$, 萘、喹啉, C_6H_6 , 糠醛、四苯, C_6H_6 , B_6H_6 吡啶、单酮类, $(\text{CH}_3)_3\text{N}$, 二氧杂环己烷, -吡啶	正丙基胺 正丁基胺 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$
能被钙 X 型 (10X) 分子筛吸附				
能被钠 X 型 (13X) 分子筛吸附				
能被 Y 型分子筛吸附				

第七章 常用致冷剂

一、实验室用致冷剂

在实验室利用雪、冰和盐按一定比例混合可得到低至 -80°C 的温度。使用液态气体可以得到 -273.15°C 的温度。盐、碱、酸与水、雪、冰的配比及所得到的温度见表 2-11~表 2-13。用于致冷的液态气体见表 2-14。

表 2-11 盐和水(冷至 15℃)混合后的温度

盐	在 100 份水中溶解盐的份数	最低温度 t/℃	盐	在 100 份水中溶解盐的份数	最低温度 t/℃
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	75	9	NH_4Cl	30	-3
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	26	8	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	16	-4
MgSO_4	85	7	CaCl_2	270	8
Na_2CO_3	40	6	NH_4NO_3	130	-12
KNO_3	15	5	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KNO}_3$	33+33	12
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	30	3	NH_4CNS	133	18
KCl	38	2	KCNS	150	24
$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	85	-0.5	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KNO}_3$	100+100	-25

表 2-12 盐或酸与雪或碎冰混合后的温度

加入雪中的物质	100 份雪中加入物质的份数	最低温度 t/℃	加入雪中的物质	100 份雪中加入物质的份数	最低温度 t/℃
Na_2CO_3	20	-2	$\text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$	9+74	-25
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	41	9	$\text{NaNO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$	35+52	26
KCl	30	-11	$\text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{CNS}$	9+67	28
NH_4Cl	25	-15	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	100	-29
NH_4NO_3	50	17	KCl (工业用)	100	30
NaNO_3	50	-18	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KNO}_3$	13+68	31
38% HCl	50	-18	$\text{KCNS} + \text{KNO}_3$	112+2	34
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	62	-19	$\text{NH}_4\text{CNS} + \text{NaNO}_3$	40+55	37
浓 H_2SO_4	25	-20	66% H_2SO_4	100	37
NaCl	33 到 100	-20 到 -22	稀 HNO_3	100	-40
$\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	5.0-60	20	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	125	-40.3
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	82	-21.5	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	150	-40
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{NO}_3$	18.6+44	22.1	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	500	-54
$\text{NH}_4\text{Cl} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	12+6.5	22.5	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	143	-55

表 2-13 盐和冰混合后的温度

物 质	无水物质的质量分数 wt/(%)	最低温度 t/℃	物 质	无水物质的质量分数 wt/(%)	最低温度 t/℃	物 质	无水物质的质量分数 wt/(%)	最低温度 t/℃
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	35.2	-2.7	NH_4Cl	22.9	-15.8	CaCl_2	20.9	-55
MgSO_4	21.5	-3.0	NaNH_2	37.0	-18.5	ZnCl_2	52.0	62
ZnSO_4	27.2	6.6	NaCl	18.9	-21.2	KOH	32.0	-65
BaCl_2	24.0	7.8	NaOH	19.0	-28.0	HCl	21.8	86
MnSO_4	47.5	-10.5	MgCl_2	20.5	35.6			
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	50.0	11.0	K_2CO_3	39.5	-36.5			

表 2-14 一般用以致冷的液态气体

物 质	沸 点 t/°C	三相点 温度 t/°C	三相点压力 kPa (cmHg)	物 质	沸 点 t/°C	三相点 温度 t/°C	三相点压力 kPa (cmHg)
二氧化碳(固)	-78.5	—	—	氮	-195.8	-209.9	13 (9.6)
氧化亚氮	-89.8	-92.4	—	氧	-252.8	-253.1	5.8 (5.1)
甲 烷	-161.4	-183.1	93 (5.0)	氢	-252.8	—	—
氦	4.2	-273.15	2.7×10 ⁻⁵ (0.2)				

① 表示气、液、固三相平衡时温度。

② 表示固体二氧化碳的升华温度。

二、使用液态气体做致冷剂的注意事项

(1) 使用液态气体时，液态气体经过减压阀先进入一个耐压的大橡皮袋和气体缓冲瓶，再由此进入要使用的仪器，这样防止液态气体因减压而突然沸腾气化、压力猛增而发生爆炸的危险。

(2) 使用液态氮，绝对不允许与有机化合物接触，以防止燃烧。

(3) 使用液态氢时，对已气化放出的氢气必须极为谨慎地把它燃烧掉或放入高空，因在空气中含有少量氢气（约 5%）也会发生猛烈爆炸。

(4) 使用干冰时应注意，因二氧化碳在钢瓶中是液体，使用时先在钢瓶出口处接一个既保温又透气的棉布袋，将液态二氧化碳迅速而大量地放出时，因压力降低，二氧化碳在棉布袋中结成干冰。然后再与其他液体混合使用，如与二氯乙烯混合平衡温度达 -60℃；与乙醇混合达 -72℃，与乙醚混合达 -77℃；与丙酮混合达 -78.5℃。

(5) 在使用液态气体时，都必须戴皮（棉）手套，防止低温冻伤，同时对钢瓶的存放有特殊要求，详见第一分册第十章。

低温时常用的几种热传导介质见表 2-15。

表 2-15 低温用的热导体

液 体	20℃时比热容 ^① J/(kcal·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)	凝固点 t _c (G° 似值) /°C	沸 点 t/°C	在所测温度下的粘度 η/ (10 ⁻³ Pa·s)						
				20℃	0℃	20℃	40℃	60℃	-50℃	-100℃
丙 酮	0.55	95	56.5	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9	1.5	—
乙 醇	0.58	115	78.5	1.2	1.8	2.5	5.0	6.5	21.0	50
乙 醚	0.54	116	34.6	0.2	0.3	0.4	0.5	5.8	1.0	1.7
正戊烷	—	-130	36.2	—	—	—	—	—	—	—
正丁烷	0.55	135	-0.5	—	—	—	—	—	—	—
正戊烷	0.55	-160.5	24	0.2	0.3	—	—	—	—	—

① 与 SI 单位的换算关系是：1kcal·kg⁻¹·°C⁻¹ = 4.187×10³J·kg⁻¹·K⁻¹。

第八节 常用加热浴物质

一、常用浴的加热温度

常用加热浴所用载体与极限温度情况见表 2-16。

表 2-16 常用加热浴

名 称	加 热 载 体	极限温度 t/°C	名 称	加 热 载 体	极限温度 t/°C
水浴	水	98	油浴	重石油 ^①	210
空气浴	空气	300			
砂浴	砂	400		甘油	230
硫酸浴	硫酸	250		石蜡油	220
石蜡浴	熔点为 (30—60)°C 的石蜡	300		58—68 号汽缸油	270
金属浴 ^②	铜或铝	500		甲基硅油	250
	铁	600		苯基硅油	300
	铝青铜 (90% Cu, 10% Al 合金)	700			

① 在使用金属浴时，在器皿底部先涂上一层石墨，防止熔融金属粘附在器皿上。特别在用玻璃器皿时，同时，在金属凝固前将其移出金属浴。

② 有机油初次使用，最高温度在 180°C 以下；多次使用后温度可升高到 210°C。

二、用于液体浴的介质

用于液体浴的介质的性质及其使用温度范围见表 2-17。

表 2-17 液体浴介质

介 质	熔 点 t/°C	沸 点 t/°C	使用的温度范围 t/°C	粘 度 $\eta/ (10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{s})$
汞 (C_6H_6)	80.2	217.9	80~200	0.775 (在 100°C)
桐油油	—	—	20~175	50 (在 85°C)
乙二酮	-12.5	137.2	-10~150	21 (在 25°C)
导电液 A (73.5% 三氧化钨, 26.5% 联苯)	19.1	250	15~225	1.0 (在 100°C)
二苯甲酮	48.1	305.3	50~275	4.79 (在 55°C)
80% H_3PO_4 , 20% HPO_3	<20	—	20~250	—
三甘醇	-5	287.4	0~250	47.8 (在 20°C)
甘油 (丙三醇)	—	290	-20~280	1369 (在 30°C)
硅 油 ^①	48	—	40~250	—
66.7% H_3PO_4 , 33.3% H_3PO_3	—	—	125~340	—
石 蜡	约 50	—	60~300	—
氟 酸	10.3	330	20~300	—
硬苯酚油	约 60	约 350	60~320	—
苯	38.9	356.58	35~350	1.5 (在 50°C)
四甲基硅烷油	< 48	456—441	70~400	—
硝 酸	112.3	444.6	120~400	7.1 (在 150°C)
61.3% KNO_3 , 48.7% NaNO_3	219	—	230~500	—
40% NaNO_3	—	—	—	—
7% NaNO_3	142	—	150~500	17.7 (在 149°C)
33% KNO_3	—	—	—	—
汞	327.4	1613	350~600	2.58 (在 350°C)
焊锡 (50% Pb, 50% Sn)	225	—	250~600	—
40% NaOH , 60% KOH	167	—	200~1500	—

① 硅油牌号和特性：

牌 号	201~100	201~350	201~500	201~800	201~1000
粘度范围 $\eta/ (10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{s})$	100±8	350±8	500±8	800±8	1000±8
闪 点 t/°C		>265		>300	

第九节 无机试剂和有机试剂的提纯及制备方法

本节除介绍一般分析工作用的一级试剂、基准试剂的纯制方法外,还提供了光谱分析等要求纯度更高的无机试剂以及有机溶剂和特殊有机试剂的纯制方法。

一、无机试剂的提纯与制备

(一) 盐酸的提纯

1. 蒸馏提纯

(1) 除去一般杂质的盐酸 用二次离子交换水将一级盐酸按盐酸+水=7+3的体积比稀释(或按1+1稀释,按此比例稀释仅能得到浓度为 $6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的盐酸)。将此盐酸1.5L装入2L的石英或硬质玻璃蒸馏瓶中(见图2-3),用可调变压器调节加热器,控制馏速为 $200\text{ml}\cdot\text{h}^{-1}$,弃去前段馏出液150ml,取中段馏出液1L,所得的纯盐酸浓度为 $6.5\sim 7.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,铁、铝、钙、镁、铜、铅、锌、钴、镍、锰、铬、锡的含量在 $5\times 10^{-6}\%\sim 2\times 10^{-7}\%$ 以下。

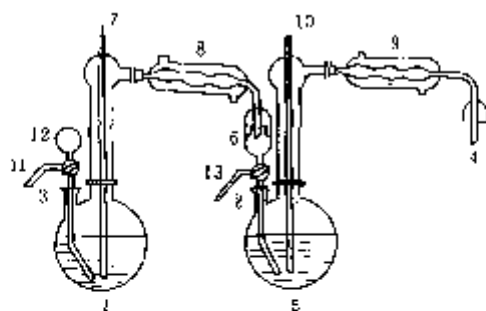


图 2-3 双重蒸馏器的装置

1,5—2L 蒸馏瓶(石英或硬质玻璃);2,3—侧管;
4—馏出液出口;6,12—加料漏斗;7,10—温度计套管;
8,9—冷凝管;11,13—通气管

(2) 除去砷的盐酸 用二次离子交换水将一级盐酸按7+3的体积比稀释,加入适量氧化剂(按体积加入2.5%硝酸或2.5%过氧化氢或高锰酸钾 $0.2\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。将此盐酸1.5L装入2L的石英或硬质玻璃蒸馏瓶中(见图2-3),放置15min后,以 $100\text{ml}\cdot\text{h}^{-1}$ 的馏速进行蒸馏,弃去前段馏出液150ml,取中段馏出液1L备用,砷的含量在 $1\times 10^{-6}\%$ 以下。

2. 等温扩散法提纯

在直径为30cm的干燥器中(若是玻璃的,可在干燥器内喷涂一层白蜡防止沾污),加入3kg盐酸(优级纯),在瓷托板上放置盛有300ml高纯水的聚乙烯或石英容器。

盖好干燥器盖,在室温下放置7~10d(20~30℃放置7d,15~20℃放置10d),取出后即可使用,盐酸浓度约为 $9\sim 10\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,铁、铝、钙、镁、铜、铅、锌、钴、镍、锰、铬、锡的含量在 $2\times 10^{-7}\%$ 以下。

(二) 硝酸的提纯

1. 2L 硬质玻璃蒸馏器(见图2-3)中,放入1.5L硝酸(优级纯),在石墨电炉上借可调变压器调节电炉温度进行蒸馏,馏速为 $200\sim 400\text{ml}\cdot\text{h}^{-1}$,弃去初馏分150ml,收集中间馏分1L。

将上述得到的中间馏分2L,放入3L石英蒸馏器中。将石英蒸馏器固定在石蜡浴中进行蒸馏,借可调变压器控制馏速为 $100\text{ml}\cdot\text{h}^{-1}$,弃去初馏分150ml,收集中间馏分1600ml,铁、铝、钙、镁、铜、铅、锌、钴、镍、锰、铬、锡的含量在 $2\times 10^{-7}\%$ 以下。

(三) 氢氟酸的提纯

1. 除去金属杂质的氢氟酸 在铂蒸馏器中,加入2L氢氟酸(优级纯)以甘油浴加热,借可调变压器调节控制加热器温度,控制馏速为 $100\text{ml}\cdot\text{h}^{-1}$,弃去初馏分200ml,用聚乙烯瓶收集中间馏分1600ml,将此中段馏出液1600ml,按上述手续再蒸馏一次,弃去前段馏出液150ml,收集中段馏出液1250ml,保存在聚乙烯瓶中。铁、铝、钙、镁、铜、铅、锌、钴、镍、

锰、铬、锡的含量在 $(1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-7})\%$ 以下。

2. 除去硅的氢氟酸 在铂蒸馏器中, 放入 750ml 氢氟酸 (优级纯), 加入 0.5g 氯化钠, 在甘油浴上加热, 借可调变压器调节加热温度, 控制馏速为 $100\text{ml} \cdot \text{h}^{-1}$, 弃去初馏分 80ml, 用聚乙烯瓶收集中间馏分 400ml。此中间馏分硅含量在 $1 \times 10^{-4}\%$ 以下, 可作测定硅用。

3. 除去硼的氢氟酸

于铂蒸馏器中, 加入 2g 甘油醇 (优级纯或分析纯) 和 2L 氢氟酸 (优级纯), 用甘油浴加热, 借可调变压器控制温度, 使馏速为 $50\text{ml} \cdot \text{h}^{-1}$ 。弃去初馏分 200ml, 收集中间馏分 1600ml。将此中间馏分 1600ml, 加入 2g 甘油醇, 以同样手续再蒸馏一次, 弃去初馏分 150ml, 收集中间馏分 1250ml, 得到的氢氟酸含硼量一般小于 $10^{-6}\%$ 。

(四) 氢溴酸的提纯

1. 除去金属杂质的氢溴酸

F 硬质玻璃蒸馏器 (图 2-3) 的第一级蒸馏瓶中加入 1.5L 氢溴酸, 在石墨电炉上加热, 用可调变压器控制温度, 使馏速为 $(150 \sim 200)\text{ml} \cdot \text{h}^{-1}$ 。第一级蒸馏出来的稀酸从侧管 2 流出, 弃去温度在 115°C 以前的馏出液。当温度升至 115°C 时, 再转动活塞 13, 使第一级馏出液流入第二级蒸馏瓶中。当第二级蒸馏瓶中的馏出液体积达 1L 时, 开始加热第二级蒸馏瓶, 以 $(150 \sim 200)\text{ml} \cdot \text{h}^{-1}$ 的馏速进行蒸馏, 弃去初馏分 100ml, 收集中间馏分。当第一级蒸馏瓶中氢溴酸的体积只剩下 500ml 左右时, 切断电源和转动活塞 11, 由加料漏斗继续加入 $(1.2 \sim 1.5)\text{L}$ 氢溴酸, 如上述收集 115°C 以后的中间馏分。同上述法将第二套石英蒸馏器连接在第一套玻璃蒸馏器之后, 进行第三次和第四次蒸馏。此时, 由于酸已接近于恒沸混合物, 上述截取稀馏分的手续可省去。每次以侧管放出初馏分 $(50 \sim 100)\text{ml}$, 然后收集第四次中间馏分备用。铁、铅、钙、镁、铜、铝、锌、钴、镍、锰、铬、锡的含量在 $1 \times 10^{-6}\% \sim 3 \times 10^{-7}\%$ 以下。

2. 除去硫的氢溴酸

于石英蒸馏器中, 加入 1.5L 由玻璃蒸馏瓶蒸馏出的氢溴酸。加入 0.2g 纯氯化钡和 0.2ml 经过提纯的溴。用可调变压器控制加热, 使馏速维持在 $100\text{ml} \cdot \text{h}^{-1}$, 弃去初馏分, 直至馏出液无色时, 使馏出液流入第二级蒸馏瓶中。当馏出液的体积约为 1L 左右时, 再进行第二级蒸馏。弃去前段馏出液 100ml, 收集中间馏分备用。硫的含量小于 $2 \times 10^{-6}\%$ 。

(五) 高氯酸的提纯

高氯酸用减压蒸馏法提纯。在 500ml 硬质玻璃蒸馏瓶中, 加入 $(300 \sim 350)\text{ml}$ 高氯酸 ($60\% \sim 65\%$, 分析纯), 用可调变压器控制温度约 $(140 \sim 150)^\circ\text{C}$, 减压至压力约为 $(2.67 \sim 3.33)\text{kPa}$ [$(20 \sim 25)\text{mmHg}$], 馏速为 $(40 \sim 50)\text{ml} \cdot \text{h}^{-1}$, 弃去初馏分 50ml, 收集中间馏分 200ml, 保存在石英试剂瓶中备用。

(六) 氨水的提纯

1. 蒸馏吸收法提纯

将约 2L 二级氨水倾入 5L 硬质玻璃烧瓶中, 加入少量 1% 高锰酸钾溶液至溶液呈微红紫色, 烧瓶口接回流冷凝管, 冷凝管的上端与三个洗气瓶连接 (第一个洗气瓶盛 1% EDTA 二钠溶液, 其余两个均盛离子交换水)。第三个洗气瓶与接收瓶连接, 接收瓶为有机玻璃瓶, 置于混有食盐和冰块的水槽内, 瓶内盛有 1.5L 离子交换水。用调压变压器控制温度。当温度升至 40°C 时, 氨气通过洗气瓶后被接收瓶的水吸收。当大部分氨挥发后, 最后升温至 80°C 使氨全部挥发, 接收瓶中的氨水浓度稍低于 25%。

2. 等温扩散法提纯

将约 2L 二级氨水倾入洗净的大干燥器(液面勿接触瓷托板),瓷托板上放置 3~4 个分盛 200ml 离子交换水的聚乙烯或石英广口容器,从托板小孔,加入氢氧化钠(2~3)g,迅速盖止干燥器,每天摇动一次,(5~6) d 后氨水浓度可达 10%~12%。

(七) 溴的提纯

将 500ml 溴(优级纯或分析纯),放入 1L 分液漏斗中,加入 100ml 三次离子交换水,剧烈振荡 2min,分层后将溴移入另一个分液漏斗中,再以 100ml 水洗涤一次,然后,再以稀硝酸(1-9)洗涤二次和高纯水洗涤一次,每次振荡 2min。

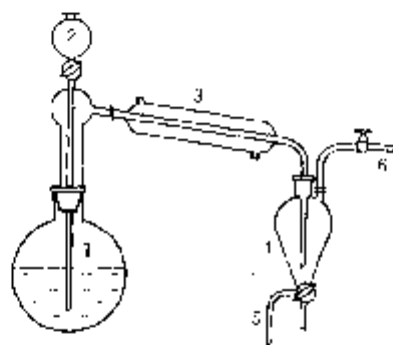


图 2-4 蒸馏装置

1—1L 烧瓶(硬质玻璃);2—加液漏斗;3—冷凝管;4—接收液瓶;5—尾液瓶出口管;6—排气管
将上述洗好的溴移入如图 2-4 的烧瓶中,加入 100ml 40% 溴化钾溶液,在水浴上加热蒸馏。保持水浴温度在 60℃ 左右,使馏速为 100ml·h⁻¹,接收瓶 4 中的液体应淹没流出管口,弃去最初蒸出的溴 50ml,收集中间馏分 300ml,在该装置中不加溴化钾溶液再蒸馏一次,收集中间馏分(200~250)ml 备用。

(八) 钼酸铵的提纯

将 150g 分析纯的钼酸铵溶解于 400ml 升温度为 80℃ 的水中,加入氨水至溶液中出现氨味,加热溶液并用致密定量滤纸(蓝带)过滤,滤液滴入盛有 300ml 的纯制酒精中,冷却滤液至 10℃,并保持 1h。用布氏漏斗抽滤析出的结晶,弃去母液。用纯制酒精洗涤结晶(2~3)次,每次用(20~30)ml。在空气中干燥或在干燥器中用硅胶干燥,也可以在真空干燥箱中(50~60)℃,压力为(6.67~8.00)kPa [(50~60)mmHg] 下干燥。

如果要除去试剂钼酸铵中的磷酸根离子,则在钼酸铵的氨性溶液中加入少量硝酸镁,使之生成磷酸铵镁沉淀过滤除去,然后再按上述手续结晶、过滤、洗涤、干燥。不过此时产品中有镁离子和硝酸根离子,但是用于微量硅、磷、砷的比色测定时,少量镁离子和硝酸根离子并不干扰。

(九) 钒酸铵的提纯

在 1500ml 高纯水和 60ml 纯制氨水(25%)的混合溶液内,加热溶解 100g 钒酸铵。将溶液加热到 70℃,加入 10g 经过处理的活性炭^①,搅拌 10min 后在布氏漏斗中过滤。往滤液中加入 20g 纯制氯化铵(或 150g 纯制硝酸铵),使钒酸铵析出。在布氏漏斗中过滤之,并用 2% 的氯化铵溶液及高纯水洗涤结晶,再用纯酒精洗涤二次。在不超过 25℃ 下于真空干燥箱中干燥之。如果需要更高质量的钒酸铵,则可以按上述法重复结晶一次。

上述产品中欲进一步除去微量硅时,可对所得的钒酸铵作如下的处理:将二次结晶的钒酸铵置于白金皿中,滴入(1~2)ml 纯制氢氟酸,于高温电炉上加热赶掉氢氟酸,取下白金皿,再加 1~2ml 氢氟酸,继续赶掉氟化氢。取下白金皿再滴入 2ml (1+1)高纯硫酸和 5~10 滴纯制硝酸,继续在电炉上加热以除尽氟化氢和微量有机物,电炉温度应当逐渐升高并在

① 活性炭的处理方法:将过筛(80~100)活性炭(工业纯)放在瓷皿中,盖好盖子,放入马弗炉中(最好在通有氢气流线的管状炉或真空炉中)于 800~1000℃ 下灼烧 1h,取出放凉后,放到 1% 盐酸中浸泡数小时,并煮沸半小时,在布氏漏斗中吸滤,用高纯水洗至无氯根,并将洗好的活性炭用高纯水煮半小时,于烘箱中在 110℃ 下干燥之,放在干燥器中,备用。

450℃下保持1h。将生成的五氧化二钒溶于尽量少的氨水中，加20克氯化铵（或150g硝酸铵），使钒酸铵析出。按上述方法过滤、洗涤和干燥钒酸铵。

（十）硼酸的提纯

1. 离子交换法

在加热下将硼酸溶解于高纯水中，将溶液加热至(50~60)℃并使硼酸浓度为10%。趁热用绸布过滤并将滤液注入交换柱中，交换速度控制为(6~10)ml·min⁻¹。将经过离子交换的溶液加热浓缩，然后倒入塑料杯中冷却使硼酸结晶析出，待晶体完全析出后，用布氏漏斗抽滤之，并用少量高纯水洗涤几次并抽干。将结晶的硼酸置于滤纸上在真空干燥箱中压力为(2.67~4.00)kPa[(20~30)mmHg]下烘焙约2h，温度控制在50℃左右，切不可超过55℃。打开真空干燥箱，擦去箱内水分，并继续在(30~40)℃下，真空度为6.87kPa(50mmHg)左右烘焙2h。取出放入干燥器中冷却之。此法提纯的硼酸满足半导体材料分析中对硼酸的要求。

如果使用硼酸溶液，则上述经过离子交换后的硼酸溶液标定浓度后，可以直接使用而无需浓缩、结晶、干燥等一系列操作，这样可以减少污染。

混合床离子交换柱的准备与装填：离子交换树脂选用强酸1号或上海732号强酸性阳离子交换树脂以及上海717号或强碱201号强碱性阴离子交换树脂。将再生转化为氢型的强酸性阳离子交换树脂80ml和再生转化为羟型的强碱性阴离子交换树脂160ml在烧杯中混合均匀后，装至φ20×1000的硬质玻璃交换柱中，此时树脂层高度约为80cm，见图2-5。注意不要在树脂层中形成气泡，若有气泡可用长玻璃棒搅动树脂的方法排除。用高纯水适当淋洗交换柱，并将柱中水位放至比树脂层稍高一点时为止。

树脂的再生：当发现离子交换树脂已交换到饱和时，应对树脂进行再生。单床的再生在交换柱中进行，用高纯水逆洗树脂，洗除机械杂质。然后用1L2mol·L⁻¹的盐酸（阴柱用相同浓度和数量的氢氧化钠溶液）以20ml·min⁻¹的速度通过交换柱，再用高纯水洗涤至阳树脂柱无阳离子，pH=6左右；阴离子交换柱无阴离子，pH=8左右时为止。混合床离子交换树脂则需要将树脂倒出，将阴阳树脂分开后再按上述方法再生。

2. 活性炭吸附法

活性炭的处理方法见“钼酸铵的提纯”中的注文。将硼酸(70~80)g(分析纯)溶解在温度为(70~80)℃的1L热高纯水中，再将处理好的活性炭(10~20)g加至溶液中，在不析出硼酸的温度下搅拌(20~30)min。然后用布氏漏斗抽滤之，将滤液浓缩至(400~500)ml，冷却使之析出结晶。抽滤析出的硼酸，并用少量高纯水洗涤。将洗好的硼酸照前述的方法干燥之。

3. 硝酸法

将100g硼酸溶解于1600ml水中，加入4ml浓硝酸，蒸发溶液至出现结晶，取下冷却。抽滤过滤出结晶，并用水洗至无NO₃⁻（用二苯胺检查），然后烘干。

（十一）氯化钠的提纯

1. 重结晶提纯法

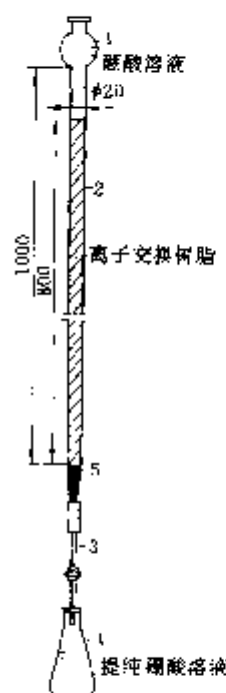


图 2-5 提纯硼酸的离子交换装置图

1—加料漏斗(φ50)；2—交换柱(φ20×1000)；3—溶液导出管(φ8×120)；4—接受瓶；5—支持树脂的玻璃毛

将 40g 分析纯氯化钠溶解于 120ml 高纯水中，加热搅拌使之溶解。加入 (2~3) ml 铁标准液 ($1\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1} \text{Fe}^{3+}$)，搅拌均匀后滴加提纯氨水至溶液 $\text{pH} \approx 10$ 左右，在水浴上加热使生成的氢氧化物沉淀凝聚，过滤除去沉淀。将滤液放于铂皿中，在低温电炉上密闭蒸发器中蒸发至有结晶薄膜出现，冷却抽滤析出的结晶，并用纯制酒精洗涤。在真空干燥箱中于 105°C 和 2.67kPa (20mmHg) 压力下干燥。此法得到的 NaCl 经光谱定性分析仅含有微量的硅、钙、镁和痕量的钡。

2. 用碳酸钠和盐酸制备

取 100g 分析纯碳酸钠，放于 500ml 烧杯中，滴加高纯盐酸中和、溶解，直至不再发生二氧化碳时，停止滴加盐酸。用高纯水洗杯壁并加入 (2~3) ml 铁标准液，加提纯氨水至析出氢氧化铁。其余手续如上所述。

为了提高氯化钠产量和重结晶的纯化效果，在过滤热盐溶液之后，用冰冷滤液并用通入氯化氢的方法使氯化钠析出。通氯化氢的导气管口做成漏斗状，防止析出的 NaCl 将管口堵死。抽滤结晶并用浓盐酸洗涤 3 次，在 $(100 \sim 105)^\circ\text{C}$ 下干燥，在研钵中粉碎成粉末，并于 $(400 \sim 500)^\circ\text{C}$ 下在马弗炉中灼烧至恒重。

上述方法提纯制得的氯化钠用于光谱分析中作载体和配标准用的原始物质。

(十二) 氯化钾的提纯

参看氯化钠的提纯与制备方法。

(十三) 碳酸钠的提纯

1. 第一法 将 30g 分析纯碳酸钠溶于 150ml 高纯水中，待全部溶解后，在溶液中慢慢滴加 (2~3) ml 浓度为 $1\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的铁标准溶液，在滴加铁标准液过程中要不停地搅拌，使杂质与氢氧化铁一起共沉淀。在水浴上加热并放置 1h 使沉淀凝聚，过滤除去胶体沉淀物。加热浓缩滤液至出现结晶时，取下冷却，待结晶完全析出后用布氏漏斗抽滤，并用纯制酒精洗涤 (2~3) 次，每次 20ml。在真空干燥箱中减压干燥，温度为 $(100 \sim 105)^\circ\text{C}$ ，压力为 $(2.67 \sim 3.67)\text{kPa}$ [$(20 \sim 50)\text{mmHg}$] 下烘至无结晶水。为了加速脱水，也可在 $(270 \sim 300)^\circ\text{C}$ 下灼烧之。此法提纯的碳酸钠，经光谱定性分析检查，仅检出了痕量的镁和铝，而原料中有微量的铜、铁、铝、钙、镁。

2. 第二法 将 30g 分析纯或化学纯无水碳酸钠溶解于 150ml 高纯水中，过滤，并向滤液中慢慢通入提纯过的二氧化碳，此时析出碳酸氢钠白色沉淀。因为生成的碳酸氢钠在冷水中的溶解度较小（碳酸氢钠在 100ml 冷水中的溶解度： $0^\circ\text{C} - 6.9\text{g}$ ； $20^\circ\text{C} - 9.75\text{g}$ ），用冰水冷却，并不断振荡或搅拌，以加速反应。通气 2h 后，沉淀基本完全。用玻璃滤器 (3 号) 抽滤析出的沉淀，并用冰冷的高纯水洗涤沉淀，在烘箱中于 105°C 下干燥。将干燥好的碳酸氢钠，置于铂皿中，在马弗炉中 $(270 \sim 300)^\circ\text{C}$ 下灼烧至恒重（大约 1h 左右即可）。

(十四) 结晶焦磷酸钠的提纯

将 50g 化学纯结晶焦磷酸钠置于铂皿中，加入 100ml 高纯水，加热溶解，用玻璃滤器过滤，将滤液置于铂皿中，放到水浴上蒸发，当体积减少到 $1/2 \sim 1/3$ 时，取下慢慢冷却使之结晶。用布氏漏斗过滤，以纯制酒精洗涤，最后于真空干燥箱中 80°C 下干燥即得到产品。

(十五) 无水焦磷酸钠的提纯

称取 10g 化学纯 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，置于 50ml 瓷坩埚内。放到水浴上加热，当温度升至 $(52 \sim 54)^\circ\text{C}$ 时，盐开始溶于结晶水中， 65°C 时全部溶解。趁热在预先加热的漏斗上过滤，滤液置于坩埚中，放到砂浴上加热，除去结晶水。将坩埚再放到马弗炉中，于 $(580 \sim 600)^\circ\text{C}$ 下灼烧 2 小时，取出冷却后即得到无水焦磷酸钠。

(十六) 硫酸钾的提纯

将提纯过的碳酸钾(提纯方法见碳酸钠的提纯法“1.”)置于塑料烧杯中,用10%的纯制硫酸中和,在逐渐滴加稀硫酸的过程中要不断搅拌,当溶液的pH值为7~7.5时,停止滴加硫酸,过滤得到的硫酸钾溶液,将滤液移入铂皿中,蒸发至析出结晶时为止。取下,冷却后,抽滤析出的结晶,用少量冰冷的高纯水洗结晶,在真空干燥箱中100℃左右烘干。

(十七) 重铬酸钾的提纯

将100g分析纯重铬酸钾溶解在(200~300)ml热的高纯水中,用2号玻璃滤器抽滤,将溶液于电炉上蒸发至150ml左右,在强烈搅拌下把溶液倒入一个被冰水冷却的大瓷皿中使之形成一薄层,以制取小粒结晶。用布氏漏斗抽滤得到的结晶,并用少量冷水洗涤之。按上述法重结晶一次。将洗过的二次结晶于(100~105)℃下干燥(2~3)h,然后将温度升至200℃继续干燥(10~12)h。

用此法提纯的产品重铬酸钾含量几乎是100%。光谱定性分析中仅检出了微量的镁、铍和痕量的铝。此法提纯的重铬酸钾可以作为基准物使用。

(十八) 焦硫酸钾的提纯与制备

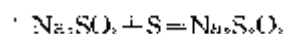
1. 用硫酸和硫酸钾制备 称取87g纯制硫酸钾置于铂皿中,加入26.6ml纯浓硫酸,将铂皿放到石墨电炉上加热至皿内物质开始冒少量烟,而且皿内熔物成为透明熔体不再冒气泡时为止,取下铂皿,冷却至(50~60)℃,趁热将凝固的焦硫酸钾用玛瑙研钵捣碎并将产品放至带磨口的试剂瓶中保存。

2. 用氯化钾和硫酸制备 称取40g纯制氯化钾,置于铂皿中,加入30ml纯浓硫酸,在电炉上加热到不再冒氯化氢雾时为止。取下铂皿,冷却,捣碎,保存方法同上。

3. 用硫酸氢钾制取 将试剂二级硫酸氢钾100g置于铂皿中,在250℃下加热30min,此时析出水蒸气,然后将温度提高至(320~340)℃,到停止冒气泡和发生三氧化硫烟时,再继续加热(5~10)min,取下冷却,捣碎,保存方法同上。

(十九) 五水硫代硫酸钠的制备和提纯

1. 制备 将硫溶于亚硫酸钠溶液时,则可制得硫代硫酸钠:



在附有回流冷凝器的烧瓶中,将100g $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶解在200ml水中的溶液,与14g研细的棒状硫一起煮沸,其硫是预先用乙醇浸润过的(否则它不被溶液浸润,并浮在表面)直到硫不再被溶解时为止。将没有溶解的硫滤出,滤液蒸发到开始结晶时进行冷却,所得结晶在布氏漏斗上抽滤后,再在空气中于二层滤纸上干燥,可得五水硫代硫酸钠60g,产率60%。

2. 提纯 将工业品重结晶,可制得试剂纯的制剂。将700g五水硫代硫酸钠溶解在300ml热水中,过滤后,在不断搅拌下冷却到0℃以制得较细的结晶。析出的盐(450g)在布氏漏斗上抽滤后再在同样条件下重结晶一次。

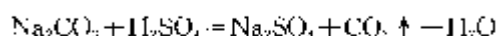
所得制剂一般为分析纯,从母液中还可以分离出一些纯度较低的制剂。

欲制备用于分析操作上的纯制剂时,可将经重结晶提纯过的盐与乙醇一起研细,润在滤器上使乙醇流尽并用无水酒精和乙醚洗涤,然后用滤纸盖住制剂并静置一昼夜。最后将制剂装入干燥瓶中。

用此法精制的制剂含有99.99%的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$,甚至保存5年后,制剂含量仍在99.90%~99.94%间。

(二十) 硫酸钠的制备

用碳酸钠中和硫酸可制得分析纯的硫酸钠



在 20% 的 H_2SO_4 (分析纯) 溶液中一点点地加入干燥的 Na_2CO_3 (化学纯), 直到 CO_2 停止逸出且溶液变成弱碱性时为止。然后将溶液加热至沸, 过滤并将滤液蒸发至出现结晶时, 将溶液冷却即析出 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 结晶。

欲制备无水制剂, 可将水合物 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 在瓷皿中, 在 100℃ 左右加热, 直到形成白色疏松粉末时为止。

(二十一) 氟化钠的提纯与制备

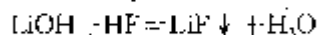
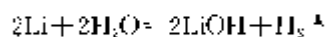
1. 用碳酸钠与氢氟酸制备 将纯制的碳酸钠置于塑料烧杯中, 用少量水湿润, 慢慢滴加纯制氢氟酸, 在加酸过程中要时时摇动。当溶液停止逸出二氧化碳并呈现碱性时, 过滤该溶液。将滤液置铂皿中蒸发, 在胶体物失水后, 提高温度为 200℃ 以上灼烧成白色粉末, 取下冷却, 放至塑料瓶中保存。

此法提纯制得的氟化钠中, 经光谱定性分析仅检出了痕量的铜、镁和铝。适于用作光谱分析中的载体。

2. 重结晶法 在塑料烧杯中用高纯水溶解试剂氟化钠, 制得饱和溶液, 过滤除去不溶物, 在滤液中加入乙醇析出氟化钠, 过滤并用乙醇洗涤, 将结晶于烘箱中 (105~110)℃ 下烘干。

(二十二) 氟化锂的制备

用氢氧化锂和氢氟酸制备: 取 (10~15) g 金属锂, 使之溶解在 150ml 高纯水中, 操作要在塑料烧杯中进行。向生成的氢氧化锂溶液中滴加纯制的氢氟酸并不停地搅拌, 使沉淀慢慢析出。反应式为:



当溶液由碱性变为弱酸性时 (用 pH 试纸试之), 停止加酸并放置半小时, 在布氏漏斗中抽滤析出的氟化锂, 并用除去二氧化碳的高纯水洗涤。将洗过的氟化锂放至铂皿中, 于 (300~400)℃ 下在马弗炉中灼烧, 冷却后放于塑料瓶中保存。此法制得的氟化锂, 经光谱定性分析仅检出微量镁和痕量铝、硅。本产品适于光谱分析中用作载体。

(二十三) 氟化铝的制备

用不锈钢剪刀将光谱纯金属铝剪成碎片, 用纯制盐酸洗除表面的污物, 再用高纯水洗除盐酸。将洗净的金属铝碎片置于铂皿中, 然后用塑料滴管慢慢滴加纯制氢氟酸, 使铝慢慢溶解。溶解的铝转为胶体物质。在铝全部溶解之后, 将温度逐渐升高使溶液蒸发。当胶体物质全部转为白色粉末时, 将温度逐渐提高至 (250~300)℃, 继续加热 (2~3) h, 取下, 放至干燥器中冷却, 用玛瑙研钵粉碎研磨均匀后, 放至塑料瓶中保存。

此法制得的氟化铝 ($\text{AlF}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) 经光谱分析检出微量镁和痕量铜、镉, 其余元素均未检出。此产品用于光谱分析中做载体。

(二十四) 碳酸锂的制备

用苯或乙醚将锂表面的汽油洗净 (因为锂是放在汽油中贮存的, 锂的纯度应为 99.99% 以上), 用钳子夹住锂块以不锈钢剪刀剪成碎片, 将切成碎片的锂慢慢投入盛于塑料杯的高纯水中, 由于锂溶解时放出大量的热, 塑料杯应以冷水冷却。待锂全部溶解之后, 在塑料漏斗中以尼龙布过滤, 向滤液中通入经过纯化的二氧化碳, 直至不再析出沉淀时为止, 用布氏漏斗

抽滤析出的碳酸锂，用热高纯水洗涤沉淀。在真空干燥箱中于 105°C 和 $(2.67\sim4.00)\times10^3$ [$(20\sim30)$ mmHg] 压力下烘干。将得到的碳酸锂保存于塑料瓶中。

此法制得的碳酸锂经光谱定性分析，仅检出痕量铁、铝、钙、镁等元素，适于光谱分析中用作载体。

(二十五) 碳酸钡的制备

将 50g 分析纯氢氧化钡置于烧杯中，加入高纯水 150ml，加热溶解，过滤。向澄清的滤液中通入经过纯化的二氧化碳，直至沉淀不再析出时为止。用布氏漏斗抽滤析出的碳酸钡，用水洗涤几次。将洗涤过的碳酸钡在真空干燥箱中于 $(110\sim120)^{\circ}\text{C}$ 和压力为 $(6.67\sim8.00)\text{kPa}$ [$(50\sim60)$ mmHg] 下烘干。

本法制得的碳酸钡适用于光谱分析。

(二十六) 氧化铜的制备

将 50g 高纯铜 (99.999%) 切成小块，用稀硝酸 (1+3) 洗去表面污物，用高纯水洗除铜表面的酸，将洗净的铜放入 500ml 的三口圆底烧瓶中，用 200ml 纯制稀硝酸 (1+1) 溶解，烧瓶口上装回流冷凝管，加热至 $(100\sim120)^{\circ}\text{C}$ 下溶解金属铜，约 (4~6) h 后即可全部溶解。将溶解液分几次倒入石英皿或铂皿中，在密闭蒸发器中蒸发，蒸发温度为 $(100\sim120)^{\circ}\text{C}$ ，大约 (1~2) h 后蒸干。将皿移至石墨电炉上加热除去三氧化氮，然后转移至马弗炉中于 500°C 下灼烧 1h，将温度提高至 750°C 时再继续灼烧 (1~2) h，冷却后置于磨口试剂瓶中保存。

本品在光谱分析中用作载体。

(二十七) 氧化镓的制备

将 50g 高纯镓 (99.999%) 用高纯水洗涤几次，再用稀硝酸 (1+3) 洗涤，最后用高纯水洗涤硝酸。将洗净的镓置于 500ml 三口烧瓶中，加入 200ml 高纯硝酸 (1+1)，装上回流冷凝管，在 100°C 下加热溶解。若溶不尽时，可添加少量浓硝酸加速分解。大约 (5~6) h 后即可溶尽。将溶液转移至石英或铂皿中，在密闭蒸发器中进行浓缩。当皿内溶液蒸干并成为白色固体时，将皿移至马弗炉中，盖好石英盖，在 300°C 灼烧 1h， 750°C 灼烧 2h。取出冷却后，放入磨口试剂瓶中保存。

本品可作为光谱分析载体。

(二十八) 氧化锆的制备

取相当于 4g 锆的氟锆酸钾 (K_2ZrF_6) 置于铂皿中，放入 5ml 纯制氢氟酸和 15ml 特纯硫酸在石墨板上加热溶解，待溶解完全后继续加热至发生三氧化硫时取下，用三次热水浸出并将浸出液注入 1L 烧杯中，加入三次水至溶液体积达 (600~800) ml，煮沸使溶液澄清（不清时应当过滤），取下，冷却后，向溶液中滴加纯氨水使锆呈氢氧化锆形式沉淀出来，用 3 号玻璃滤器抽滤析出的沉淀，并用三次水洗至无硫酸根为止。

将洗好的氢氧化锆置于 200ml 烧杯中，用 50ml 纯制浓盐酸溶解，溶解液分为两部分各置于 1L 烧杯中，按下法沉淀：加入 400ml 16% 的苦杏仁酸溶液、120ml 纯制浓盐酸、三次水至溶液体积为 900ml，在 $(80\sim85)^{\circ}\text{C}$ 下加热 (20~40) min，此时生成苦杏仁酸锆沉淀。用 3 号玻璃滤器抽滤沉淀，用 2% 的苦杏仁酸盐酸 (1+9) 溶液洗涤沉淀 (5~6) 次，将洗好的沉淀置于铂皿中，在电炉上烘干、灰化，然后在马弗炉中 900°C 下灼烧 (1~2) h，取出冷却后即得到提纯的氧化锆。

本法提纯制备的氧化锆，用作光谱分析的基体和标准。其中铁、铝、钙、镁等主要常见元素含量均在 0.001% 以下。

(二十九) 五氧化二钽的提纯与制备

1. 试剂

硫酸：相对密度 1.84，特纯；

氢氟酸：40%，提纯；

盐酸：38%，提纯；

环己酮：化学药品经蒸馏提纯一次；

硫酸铵：分析纯；

丹宁溶液：20%丹宁盐酸（1+9）溶液。分析纯丹宁溶于 1+5 盐酸后，经双硫腺、铜试剂和 8-羟基喹啉混合物用三氯甲烷萃取；

丹宁盐酸溶液：0.5%丹宁盐酸（3%）溶液。

2. 操作手续

将 6g 氢氧化钽置于 200ml 铂皿中，加入 15ml 氢氟酸，当大部分溶解之后，加入 34ml 浓硫酸，在石墨板上加热至冒白烟时取下，冷却后小心加入 6ml 氢氟酸和 30ml 三次水，混匀后将皿内酸溶液倒入容积为 1L 的聚乙烯瓶中，用水洗铂皿并将洗涤水倾入该瓶中，用三次水将瓶内溶液稀释至 300ml，加入 200ml 环己酮和 10g 硫酸铵，盖好瓶盖并振荡（1~2）min，分液后用聚乙烯吸管将上层有机相吸出放入另一聚乙烯瓶中。水相继续加入 150ml 环己酮萃取，第三次萃取加入 100ml 环己酮。将三次萃取的有机相合并，用氢氟酸（ $0.4\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ）-硫酸（ $2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ）混酸萃取两次，每次加入 200ml 混酸，用以洗除有机相带出的杂质。洗好的有机相注入 1L 分液漏斗中，加入 100ml 硼酸（提纯）-草酸铵（提纯）饱和溶液反萃取，振荡（1~2）min，分层后水相放入洗净的烧杯中，有机相同上法以 100ml 硼酸-草酸铵溶液反萃取两次，将水相合并。

将 100ml 反萃取液置于 1L 烧杯中，加入 100ml 提纯浓盐酸和 700ml 高纯水，加热至沸，趁热加入 100ml 丹宁溶液，煮沸 5min，并于水浴上保温 1h，取下放置过夜。在布氏漏斗中用中等密度的定量滤纸抽滤析出的沉淀，用丹宁洗液洗涤（5~6）次。将沉淀放至白金皿中烘干并灰化，放到马弗炉中于 900℃ 下灼烧（1~2）h，即得到高纯五氧化二钽。

本法制备的五氧化二钽可以作为光谱分析标准物。经光谱定性分析仪检出微量镁、铅、锡、硅、铍和痕量的铀，原料氢氧化钽经化学分析含有 <0.7% 钨、0.023% 铁、0.0058% 钛、0.03% 二氧化硅和 0.005% 三氧化钨。

(三十) 氧化锡的制备

用石英蒸馏器将无水四氯化锡（分析纯）进行蒸馏，弃去低于 110℃ 的前段馏出液，收集高于 110℃ 的中段馏出液（为原料的 70%）。在中段馏出液中加入氨水至溶液呈微碱性，再加入大量的高纯水，搅拌均匀后，倾出清液。沉淀用倾泻法洗涤至无氯离子。将沉淀放在水浴上加热烘干，将它移至石英皿中，在马弗炉中 800℃~900℃ 灼烧至恒重。取出冷却后即得成品。

本方法提纯制备的氧化锡经光谱定性分析仪检出微量的硅、镁、铜和痕量的铝，适用于作为光谱分析标准。

(三十一) 氧化锡的制备

在 500ml 烧杯中加入 15g 分析纯三氯化锡，加入 30ml 高纯盐酸（1+1），在搅拌下使之溶解。用洗净的玻璃滤器抽滤溶液，然后用高纯水将滤液稀释至 400ml，此时析出一氯化锡白色沉淀，澄清后，将清液倾出，用倾泻法洗涤沉淀数次。在洗好的沉淀中，加入 1+25 的高纯氨水 200ml，煮沸（5~10）min，此时一氯化锡转变为三氧化二锡，生成的三氧化二锡

颗粒较一氯化锡小得多。倾出清液，用同样方法再用稀氨水煮沸几次，当全部转化为三氧化二锡时，在倾出液中就不再含有氯离子（用硝酸银检查洗涤液）。再用高纯水倾泻法洗涤沉淀几次，在布氏漏斗中抽滤，用高纯水洗涤至滤液为中性时为止。洗好的沉淀于烘箱中在 150°C 下烘干至恒重。取出冷却后即得成品。

本方法提纯制备的二氧化二锡经光谱定性分析仅检出痕量的铈、镁，适于作光谱分析标准。

（三十二）氯化银的制备

溶解分析纯硝酸银 50g 于 500ml 高纯水中，过滤除去水不溶物，往滤液中慢慢加入 10% 的氯化铵（化学纯）溶液，在滴加氯化铵溶液时要不停地搅拌，使沉淀慢慢析出。当滴加氯化铵不再析出沉淀时，停止加氯化铵，并将其置于暗处使沉淀沉降。倾出清液并加入高纯水（300~400）ml，搅拌，沉降后倾出清液，如此反复倾洗几次。然后加入高纯水 300ml，搅拌之，并在布氏漏斗中过滤，用高纯水洗涤几次，将结晶于真空干燥箱中在 $(70\sim 80)^{\circ}\text{C}$ 和 $(6.67\sim 8.00)\text{ kPa}$ [$(50\sim 60)\text{ mmHg}$] 压力下烘干。将产品置于用黑纸包装的试剂瓶中保存。在操作过程中注意避光，以免生成的氯化银感光变色。

本方法合成的氯化银用作光谱分析中的载体，本产品经光谱定性分析仅检出了微量的铜、金和痕量的硅、镁、铁、铝等元素。

二、有机试剂的提纯与制备

（一）甲醇的提纯^①

将 300ml 化学纯甲醇置于洗净的 500ml 石英蒸馏瓶中，加入（10~15）粒粒状氢氧化钠（优级纯），在水浴上 $(75\sim 80)^{\circ}\text{C}$ 下进行蒸馏，弃去开始蒸出的（20~30）ml，收集中段馏分（沸点为 $(65\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 的），用洗净石英瓶盛装，直至蒸馏瓶内残液大约为 50ml 时结束蒸馏。同法对中段馏分进行再次蒸馏。取第二次蒸馏中段馏分作为成品。

（二）乙醇的提纯

1. 无水乙醇的制取

（1）取 600ml 95% 的乙醇，置于 1L 圆底烧瓶中，加入（80~100）g 氧化钙，在水浴上加热回流（3~4）h，然后将乙醇蒸出，收集在洗净干燥好的瓶中，贮瓶必须有磨口塞。

（2）取 1L 95% 的乙醇，置于 2L 的圆底烧瓶中，加入 250g 新经过灼烧的并于干燥器中冷却放置的氧化钙 250g，盖上带有氯化钙干燥管的塞子，放置 2d，并且要经常摇动。然后在水浴上回流（30~40）min 除去醛。并用分馏柱蒸馏。

（3）在 1L 95% 的乙醇中加入（200~250）g 无水硫酸铜粉末，回流 6h，放置过夜（必须盖上带有氯化钙干燥管的塞子），然后进行蒸馏。

2. 绝对乙醇（99.95%）的制取

（1）在 1L 圆底烧瓶中加入（2~3）g 洗净、干燥的镁条，瓶口装一水冷冷凝管，冷凝管上端插有氯化钙干燥管。往瓶中加入 35ml 99.5% 的乙醇，在沸水浴上加热至微沸之后移去热源，立即加入数粒碘（不要摇动！），不久碘粒周围发生反应并逐渐扩展到全面，最后反应相当激烈。若加入碘粒之后不起反应，可再加入数粒碘，有时还得加热促使其反应。反应结束后，将 500ml 99.5% 的乙醇加到瓶中，加热回流 1h，然后将乙醇蒸出，收集瓶要用磨口塞盖好。

① 本法提纯的甲醇可用于在微量铊的测定中，分离硫酸铊（不溶）和硫酸铯（可溶）。

(2) 在 1 L 99.5% 的乙醇中加入 25g 金属钙，盖好带氯化钙干燥管的盖子放置 2d，然后将乙醇注入蒸馏瓶中蒸馏之。

3. 无氧乙醇的提纯：参看甲醇提纯法。

(三) 正丁醇和异戊醇的提纯

将分析纯正丁醇或异戊醇，用无水碳酸钾或无水硫酸钙干燥，滤出干燥剂并注入硬质玻璃蒸馏器，在油浴上进行常压蒸馏。蒸馏正丁醇时收集 (116.5~118) °C 的馏分；蒸馏异戊醇时收集 (130~131) °C 的馏分。

在进行减压蒸馏时，在蒸馏器和真空泵之间接上一高效吸附柱和洗气装置，防止机械泵油被醇蒸汽所污染。

欲制取纯度较高的异戊醇，可按下述方法处理。蒸馏之前用 EDTA 二钠溶液萃取除去金属杂质，用高锰酸钾稀溶液萃取洗除醛等还原物质，再用稀的亚铁溶液和二次水洗除高锰酸钾，经氯化钙或碳酸钾干燥后进行蒸馏。

(四) 甲酸（蚁酸）的提纯

将 500ml 分析纯甲酸，置于 1L 蒸馏瓶中，常压下蒸馏。用竹油浴加热，以调压变压器调节油浴温度不超过 110 °C，弃去前段馏出液 50ml，收集中段馏出液 (350~400) ml，作为成品。

(五) 乙酸（醋酸）的提纯

1. 冻结法

将浓乙酸冷却至 0 °C，并在 4 °C 下保持几小时，倾出母液，再加入原料乙酸同法操作。将得到的结晶在水浴上微热令其溶解，然后再冷却至 0 °C，此时结晶再次析出，如果要求较高时，同法结晶 (3~4) 次，即得到纯度很高的冰醋酸。

2. 蒸馏法

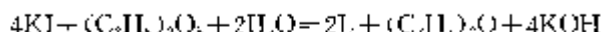
在蒸馏瓶中加入待提纯的乙酸至容积的 2/3 处，在竹油浴上于 130 °C 下加热，蒸馏仪器要有磨口连接。弃去前段馏分 10%，取中段馏分 70% 作为成品。蒸馏速度控制在 (1~2) 滴/s，成品保存于有磨口塞瓶中。

如果原料中含有还原物质醇和醛，可在蒸馏前用粉末状重铬酸钾处理。在烧瓶中加入 500g 乙酸，将烧瓶置于 (40~50) °C 水浴上加热，慢慢将研细的 (3~5) g 重铬酸钾投入烧瓶中，并不断振荡，若反应过程中温度上升很快，则停止加入重铬酸钾，待温度下降后再继续加重铬酸钾。待重铬酸钾加完，静置，澄清后，倾出清液蒸馏之。

若欲除去乙酸中其他酸，可在蒸馏瓶中加入几克乙酸钠蒸馏之。为了防止爆沸，在蒸馏瓶中加入一些玻璃碎屑。

(六) 乙醚的提纯

1. 乙醚中过氧化物的检出 在小试管中取 1ml 乙醚试样，加入等体积的 2% 的碘化钾水溶液和 (1~2) 滴稀盐酸。振荡试管，若醚层呈现黄色或褐色，则证明有过氧化物存在：



析出的碘在醚中的溶解度大，故振荡后碘被提取至醚层，并将其染为黄色。为了便于观察，可加入 (10~15) 滴 0.5% 的淀粉溶液，此时因碘的存在，使淀粉呈蓝色。

2. 过氧化物的除去 乙醚中存在的过氧化物可用还原剂（亚铁盐、盐酸羟胺或亚硫酸钠溶液）洗涤除去。将 500ml 乙醚置于 1L 的分液漏斗中，加入 15ml 20% 的硫酸亚铁铵溶液、5ml (1+1) 硫酸，80ml 二次水，振荡数分钟，分层后弃去水相，同法再洗 (1~2) 次，直到过氧化物除尽为止（用碘化钾检查时，5min 不出现黄色或蓝色时即认为除尽）。最后用二次水，每

次用量 100ml 洗涤两次。将洗好的乙醚放至带磨口塞的棕色瓶中，加入无水氯化钙干燥，放置过夜，然后滤出乙醚，并进行蒸馏。

3. 蒸馏提纯 将上述处理得到的乙醚注入洗净、干燥之蒸馏瓶中，加入乙醚至蒸馏瓶容积的 2/3 处，连接好仪器（使用磨口连接仪器，不能漏气），在 45℃ 的水浴上加热。收集沸程为 (33.5~34.5)℃ 的馏出液，装于棕色带磨口塞子的瓶中。蒸馏瓶中的残液量不得少于 60ml。如果纯度不够，可以重新蒸馏一次。

4. 特殊用途乙醚的制备

(1) 无水乙醚的制取 将经过氯化钙干燥并蒸馏过的乙醚置于棕色小口试剂瓶中，加入少量纯度较高的钠片，瓶口用插有毛细管的软木塞盖好，放置过夜。如果加入的钠已作用完，则需再加入少量钠直到不再产生气泡时为止。将无水乙醚滤入另一干燥洁净的瓶中备用。

为了检查脱水的完全程度，将 10ml 处理过的乙醚置于 25ml 带磨口塞的比色管中，加入 0.5g 无水硫酸铜。硫酸铜不应该呈现绿色或蓝色。

(2) 纯度较高的乙醚的制备 用 0.5% 的高锰酸钾溶液与乙醚共摇，使其中的醚氧化为酸，破坏不饱和化合物，然后用 5% 的氢氧化钠水溶液洗除生成的酸，再用二次水洗涤几次，干燥后进行两次蒸馏。

5. 注意事项

- (1) 严禁明火加热，室内外不得出现任何火源；
- (2) 工作室应保持良好的通风；
- (3) 水浴温度不得超过 45℃，如室温超过 25℃ 时，接受器必须用冰冷却至 (5~10)℃ 以下；
- (4) 蒸馏过程中随时调整蒸馏瓶位置，使醚液面高出水浴面，防止乙醚过热而产生的暴沸。添加乙醚之前要切断水浴电源，稍冷之后再加料；
- (5) 成品应当贮存于棕色带磨口塞的瓶中，尽量装满，盖好瓶盖以减少过氧化物的生成。试剂保存于阴凉避光处或冰箱中。

(七) 异丙醚的合成与提纯

1. 异丙醚的合成

(1) 所需的试剂和仪器

异丙醇：化学纯；	氢氧化钠：分析纯；
硫酸：化学纯；	盐酸：分析纯，1+1；
无水氯化钙：化学纯；	硫酸银：化学纯；
	硬质玻璃蒸馏仪：见图 2-6。

(2) 操作手续 将 100ml 异丙醇置于蒸馏瓶 2 中，加入 5g 硫酸银，小心地加入 100ml 70% 硫酸，振荡数分钟，按图 2-4 装好仪器。接通电源使油浴温度达 120℃，通过加料漏斗每 5~10min 加入 (10~15) ml 异丙醇。生成的异丙醚蒸出经冷凝后流入接受瓶中。

(3) 粗醚的精制 上述合成得到的粗异丙醚中，含有水、异丙醇、亚硫酸等杂质，可用下述方法提纯。将 300ml 粗醚置于 500ml 圆底烧瓶中，加入 60ml (1+1) 盐酸，在烧瓶口上插入一根冷凝管，于 80℃ 的水浴上加热回流半小时，以除去醇类、金属杂质等。然后将混合物加热至沸，冷却后分出下层水溶液。在醚中加入 100ml 二次水，同法继续加热回流半小时，弃去水层，再重复操作一次（或几次，直至水相变清为止）。冷却后将醚层分出，置于 500ml 带支管蒸馏瓶中，加入 10~15 粒氢氧化钠，在 80℃ 水浴上进行蒸馏。弃去开始蒸出的馏分 (10~15) ml，收集 (67~69)℃ 的馏出液，必要时，重蒸馏一次。蒸馏过程中需要经常调整仪器的位置，使醚液面高于水浴面，直到蒸馏瓶内残液大约为 80ml 时，停止蒸馏，千万不要蒸干！

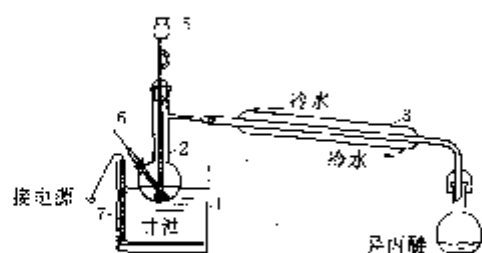


图 2-6 异丙醚合成装置图

1—三颈瓶 (内装甘油); 2—1L 支管炭筒; 3—冷凝器; 4—500ml 广口瓶; 5—加料瓶; 6—温度计 (0—150℃); 7—油浴加热圈 (瓶内装镍丝, 用瓷环将铜管与炉丝隔开)

使醚液面高出水浴面。蒸馏速度为 (2—3) 滴/s。弃去开始蒸出的馏分 (10—20) ml, 收集沸程为 (67—69)℃的馏出液。蒸馏两次。详细操作和注意事项参考乙醚的提纯。

(八) 丙酮的提纯

丙酮可以在普通蒸馏仪器中蒸馏提纯。蒸馏瓶用电水浴加热, 浴温控制在 (65—70)℃, 收集沸程为 (55—57)℃的馏出物。

为了除去还原性有机杂质, 将丙酮与高锰酸钾稀溶液一起回流加热, 直至加入的高锰酸钾紫色不消失为止, 然后将丙酮蒸出。用无水碳酸钾 (或无水氯化钙、无水硫酸钙) 脱水后, 重蒸馏一次。

为了制取无水丙酮, 可以先用灼烧过的碳酸钾、无水氯化钙或五氧化二磷脱水, 然后蒸馏。蒸馏仪器在接受前应事先洗净、烘干。

(九) 甲异丁酮和环己酮的提纯

甲异丁酮与环己酮均可以用蒸馏法提纯, 多用减压蒸馏法。其压力和沸点的关系如下表所示。

表 2-1 环己酮和甲异丁酮的沸点同压力的关系

压力 P/kPa	0.1	1.3	4.5	13.5	40.5	101.3
环己酮/℃	112	88.7	67.3	50.4	32.5	15.5
甲异丁酮/℃	—	38.0	—	58.2	—	15.5

常压蒸馏时需要采用油浴, 在压力为 (2.67—6.87) kPa (20—50 mmHg) 下减压蒸馏时用水浴足以满足要求。减压蒸馏所需用的仪器和注意事项参考“正丁醇和异戊醇提纯”中所述。

欲制取无水环己酮, 可用无水硫酸钠干燥后进行蒸馏。

(十) 乙酸乙酯的提纯

乙酸乙酯 (95%—98% 的试剂) 中, 含有少量游离酸 (乙酸)、乙醇和水等杂质, 可用下述方法加以提纯。

(1) 加入无水碳酸钾脱水, 放置几天, 过滤后蒸馏, 弃去开始蒸出的馏分, 收集沸程为 76—77℃的馏出液。

(2) 用 5% 的碳酸钠水溶液洗涤后再按“(1)”处理。

(3) 在 1L 乙酸乙酯中加入 100ml 乙酸酐和十余滴浓硫酸, 在水浴上加热回流数小时, 分出乙酸乙酯后, 按“(1)”处理。

2. 异丙醚的提纯 异丙醚在放置过程中自动氧化生成不易挥发的过氧化物, 蒸馏时残存于蒸馏瓶中。过氧化物浓度达一定值时自动猛烈爆炸, 因此蒸馏前应当将其除去, 蒸馏时切不可将残液留得过少, 以免爆炸事故的发生。

市售异丙醚中, 时常含有醇、醛等杂质, 高纯分析中, 应当除去它们。提纯方法如下。

(1) 过氧化物的检查和除去: 参看乙醚过氧化物的检查和处理。

(2) 操作手续: 在一般带磨口的硬质玻璃蒸馏器中进行蒸馏。加入的异丙醚不得超过蒸馏瓶容积的 2/3, 在温度为 80℃的水浴上加热,

(十一) 乙酸正丁酯的提纯

将乙酸正丁酯用饱和碳酸氢钠溶液萃取洗涤两次，再用无水硫酸镁干燥之后进行减压蒸馏。

将 500ml 洗涤干燥过的乙酸正丁酯置于烧瓶 2 中，按图 2-7 所示将仪器装好，开动机或真空泵抽出系统内的空气（此时活塞 I、I'、II 接通），当系统内的压力达到 8.00kPa (60mmHg) 时，接通恒温水浴电源，并使其温度控制在 (60~70)℃，蒸馏速度为 1~2 滴/s，待蒸出 50~60ml 后，

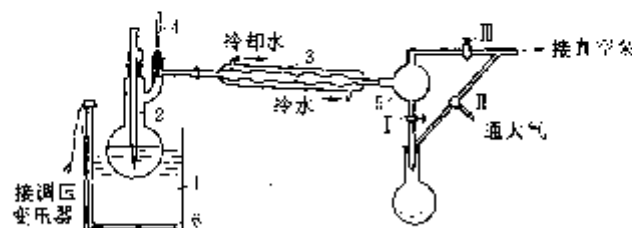


图 2-7 乙酸正丁酯减压蒸馏装置图

关闭活塞 I，使 II 接通大气，卸下接受瓶，并去开始馏出液，装好并接通 I，使接受瓶与泵接通，继续蒸馏，当蒸出 (300~350) ml 时，停止蒸馏。蒸出的这个中段馏分即为成品。注意水浴温度应随真空度的大小而定，以蒸馏速度为准。

(十二) 磷酸三丁酯的提纯

试剂磷酸三丁酯中的有机杂质，可用浓氢氧化钠溶液洗涤，再经无水硫酸钠脱水，然后以减压蒸馏等方法加以提纯。磷酸三丁酯的沸点和压力间的关系如下：

压力 P/kPa	8.0×10^{-1}	2.0	101.3
沸点 $t/^\circ\text{C}$	128~140	160~162	280 (分解)

也可以用水蒸气蒸馏法加以提纯。在磷酸三丁酯中加入少量 0.4% 的氢氧化钠水溶液，用水蒸气蒸馏。将蒸馏出来的磷酸三丁酯用水洗至中性，即得纯品。

减压蒸馏装置如图 2-7 所示，加热使用砂浴或硫酸浴；冷凝管中不通水，即采用空气冷凝。除去低沸点馏分 (30~50) ml。在压力为 (2.67~6.67) kPa (20~50mmHg) 下蒸馏，沸点约为 180℃ 左右，蒸馏速度为 (1~2) 滴/s。

(十三) 三氯甲烷 (氯仿) 的提纯

1. 光气和游离氯的检查

(1) 光气的检查 取 2 滴氯仿置于试管中，加入 3 滴蒸馏水和 1 滴 0.2mol/L 的硝酸银溶液。若出现白色混浊，说明光气存在。

(2) 游离氯的检查 在一小试管中，加入 3 滴待检查的氯仿，加入 5 滴蒸馏水，1 滴 0.5mol/L 的碘化钾溶液。经振荡后，若氯仿因析出的碘而染成玫瑰色或紫色，说明氯仿中有游离氯存在。

因为光气分解后生成氯气和一氧化碳，通过检查氯气的有无也能间接证明光气是否存在。

2. 氯仿的提纯 氯仿中的杂质有水、乙醇、光气和游离氯。在分液漏斗中用酚钠溶液洗除光气，用纯水洗涤乙醇。也可以用浓硫酸洗涤。在分液漏斗中用二次水（每次用量为氯仿体积的一半）洗涤 (5~6) 次，或用浓硫酸（每次用量为氯仿体积的 5%）洗涤二次。然后，用稀氢氧化钠溶液洗二次，二次水洗 2~3 次，经无水氯化钙（或无水硫酸钠、碳酸钾等）脱水后，进行蒸馏。蒸馏速度为 (1~2) 滴/s，收集沸程为 (60~62)℃ 的馏出液，保存于棕色、带磨口塞的试剂瓶中。

(十四) 四氯化碳的提纯

试剂四氯化碳可用直接蒸馏，或者在盐酸羟胺洗涤之后蒸馏的方法提纯，收集沸程为(76~77.5)℃的馏出物。

试剂四氯化碳中含有少量的二硫化碳，可用下述方法除去。

(1) 在圆底烧瓶中加入四氯化碳和氢氧化钾醇溶液（体积为四氯化碳的1.5倍），在(50~60)℃下共摇半小时，然后移入分液漏斗中，用水洗涤除醇，再用少量浓硫酸洗至酸层无色时为止，最后用二次水洗涤二次，经无水氯化钙干燥后蒸馏。氢氧化钾溶液的配制：将60g氢氧化钾溶于100ml乙醇和60ml水的混合液中。

(2) 在四氯化碳中加入5%的氢氧化钠溶液回流(1~2)h，水洗、干燥后蒸馏之。

(3) 加入金属汞回流除硫化物，用稀氢氧化钠溶液洗和水洗后，干燥并蒸馏。

(十五) 二氯乙烷的提纯

(1) 试剂二氯乙烷中含有少量的酸性杂质、水分、氯化物等，可依次在分液漏斗中用5%的氢氧化钠溶液（或稀氢氧化钾溶液）、二次水洗涤之后，用无水氯化钙或五氧化二磷脱水，然后蒸馏。

(2) 将500ml二氯乙烷置于1L分液漏斗中，加入100ml二次水，摇动几分钟，静置分层后，弃去水层。加入50ml浓硫酸，摇荡，静置分层后，弃去酸层，重复这个硫酸洗涤的操作，直至酸层不变色或仅显淡黄色为止。酸洗过的二氯乙烷再依次用二次水、5%的氢氧化钠、二次水在分液漏斗中振荡洗涤，然后用0.5%盐酸羟胺溶液洗涤(1~2)次，每次用50ml，最后再用二次水洗(2~3)次。加入固体无水氯化钙脱水，加入氯化钙的量须使有机相澄清时为止。过滤后蒸馏，弃去开始蒸出的馏分，收集中段馏分作为成品。

(十六) 石油醚的提纯

石油醚中的杂质大部分为芳香烃和不饱和烃。可用下述方法除去：将市售石油醚(60~90℃)倒入10L下口瓶中，加入硫酸（相当于石油醚体积的1/4到1/5），以除去溶于硫酸的烃类。随时振荡之，保持数天后，放出硫酸，用水洗涤两次，再加入10%氢氧化钠溶液和4%高锰酸钾溶液（相当于石油醚体积的1/5），以除去能溶于氢氧化钠溶液的烃类，及氧化还原性物质，并随时振荡之。保持数天后，再放出氢氧化钠、高锰酸钾溶液，如发现高锰酸钾被全部还原，则再继续用氢氧化钠、高锰酸钾溶液重复处理一次，并用水洗涤数次，放尽水层，以无水氯化钙干燥之，在水浴上蒸馏出石油醚，收集60℃以上的馏分保存备用。

(十七) 苯的提纯

试剂苯含有少量的水、噻吩、羟基化合物和不饱和化合物等杂质。噻吩的沸点为84℃，在苯的蒸馏以及用冻结法结晶时均不能将其除去。用下述方法检查噻吩的存在：取3ml苯，加入靛红的浓硫酸溶液10ml（溶有10mg靛红），共同振荡几分钟后，酸层出现蓝绿色则证明噻吩的存在。除去噻吩的最简单方法是与浓硫酸一起振荡，因为噻吩容易被磺化生成噻吩磺酸而溶于硫酸之中。

在1L的分液漏斗中，加入500ml苯和90ml浓硫酸，摇动数分钟并静置，分层后弃去下部酸，同法重复操作2~3次后用水洗二次，再用(50~60)ml碳酸钠溶液(10%)洗涤一次，二次水洗2次，加入氯化钙干燥数小时，过滤并在水浴上进行蒸馏，收集沸点为(80~81)℃的中段馏出液，保存于带磨口塞的试剂瓶中。

(十八) 甲苯的提纯

甲苯内所含的主要杂质为甲基噻吩。甲苯的提纯方法和苯相似，但因甲苯比苯容易磺化，

为减少损耗,分离甲基噻吩磺酸时应在较低的温度下进行。在油浴上分馏时收集 (110~120)°C 的馏分。

(十九) 二硫化碳的提纯

试剂二硫化碳可依次与 0.5% 高锰酸钾溶液、金属汞、0.25% 硫酸溶液在分液漏斗中振荡处理,然后经无水氯化钙干燥后,于水浴上蒸馏之,收集 (46~47)°C 范围内的馏出液作为成品。

(二十) 正己烷的提纯

在常温下,不饱和化合物与浓硫酸起作用,芳香烃也可以用浓硫酸处理除去,苯可以用酸混合液(重量比为:浓硫酸+浓硝酸+水=58+25+17 的混合液)处理除去,芳香族杂质也可以用硅胶吸附除去。酚类等酸性杂质,可用碱液洗涤除去。

将 600ml 化学纯石油醚置于 1L 短颈分液漏斗中,按图 2-8 所示装好分馏柱并联结好冷凝管并在油浴上加热,油浴温度控制为 (80~90)°C,收集沸程为 (66~70)°C 的馏出液,即为粗制正己烷。

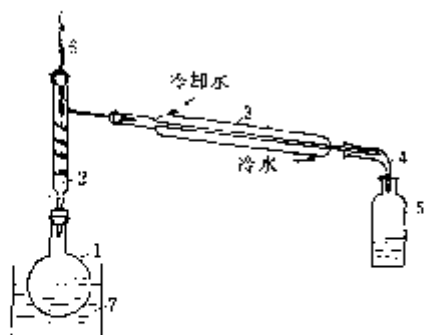


图 2-8 提取正己烷的分馏装置图

1—1L 圆底烧瓶; 2—分馏柱; 3—冷凝器; 4—牛角管; 5—温度计 (0~100°C); 6—接收瓶; 7—油浴或水浴

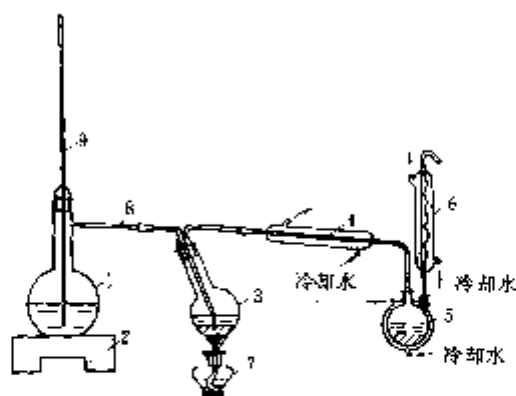


图 2-9 8-羟基喹啉水蒸气蒸馏装置图

1—1L 平底烧瓶; 2—石墨电炉; 3—250ml 圆底烧瓶; 4—水冷凝管; 5—球形接收瓶; 6—酒精灯; 7—水蒸气导管; 8—安全管

将 (600~700) ml 粗正己烷置于 1L 的分馏漏斗中,加入 50ml 浓硫酸共摇,静置分层后,弃去黄色酸层,重复处理 3~4 次。然后依次用 $2.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高锰酸钾的 10% 硫酸溶液、 $0.03\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高锰酸钾的 10% 氢氧化钠溶液处理,最后用二次水洗涤数次。加入无水氯化钙脱水,放置过夜,过滤。按上述法重新分馏一次,收集 (67~69)°C 馏出液作为成品,必要时,通过活性炭吸附柱后再分馏一次。折光率为 1.3804 (25°C)。

(二十一) 8-羟基喹啉的提纯

水蒸气蒸馏法:将 (5.0~10.0)g 分析纯 8-羟基喹啉置于 250ml 蒸馏烧瓶 3 中。在容积为 1L 的平底烧瓶 1 中,加入三次水至不超过该瓶容积的 2/3 作为水蒸气发生器。按图 2-9 所示连接好仪器的各部分。用石墨电炉 2 加热平底烧瓶 1,产生的水蒸气由导管 8 导入烧瓶 3,此时 8-羟基喹啉随水蒸气一起挥发,经冷凝管 4 进入接受瓶 5 中而被冷凝为固体。蒸馏进行至烧瓶 3 中剩下少量 8-羟基喹啉时,将 1 和 3 间联结处(磨口)拆开,切断电源,卸下接受瓶 5,用抽滤法将其中的 8-羟基喹啉滤出,以三次水洗数次,于烘箱中 (30~40)°C 下烘干后即为成品。

注意事项:

- (1) 蒸汽发生器的安全管 9 必须有一定长度, 使瓶内压力平衡;
- (2) 为防止水蒸气在烧瓶 3 中冷凝, 烧瓶 3 下面要用酒精灯加热;
- (3) 冷凝管内冷却水的流速控制到 8-羟基喹啉蒸气在冷凝管 4 中大部分冷凝而又不致固化的程度;
- (4) 为了使通过冷凝管而没有被液化的少量蒸汽冷凝, 采用特制接受器 5。此接受器有一球形冷凝管, 接受瓶瓶壁为双层, 中间可通冷却水。接受器内预先要加入几十毫升三次水;
- (5) 停止蒸馏时, 要先将烧瓶 1 和 3 自磨口处分开, 防止 3 中溶液倒吸入 1 中;
- (6) 烧瓶 3 需要倾斜放置, 防止溅出的液滴被蒸汽带到接受瓶中。

(二十二) 双硫脲的提纯与合成

1. 双硫脲的合成 本法适用于合成少量的纯度较高的双硫脲。

(1) 试剂: 苯肼、二硫化碳、无水乙醇、乙醚、无水甲醇、硫酸 ($0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、氢氧化钠 (10%) 溶液、氢氧化钾 (有机溶剂事先用蒸馏法提纯, 无机试剂采用二级品)。

(2) 合成步骤: 将 1.3g 新蒸馏的苯肼置于小试管中, 加入 6ml 乙醚溶解, 剧烈摇动试管, 往试管中逐滴加入 0.52ml 二硫化碳, 试管口立即用带有微冷凝管的塞子盖住, 继续摇动 5min, 滤出白色沉淀, 用乙醚洗涤。将所得的白色物质置于另一试管中, 不断搅拌下在水浴上加热, 此时有硫化氢析出, 试管内的物质变为黄色且有粘性。当刚出现氨味时, 将试管冷却 (先用水冷, 再用冰冷)。往试管中加入 1.5ml 乙醇, 在搅拌下稍微加热。此时由油状物中析出结晶, 用酒精洗涤。将洗好的结晶物质, 溶于氢氧化钾醇溶液中 (0.6g 氢氧化钾溶于 6ml 甲醇), 将溶液移入带有冷凝管的容器中加热回流, 溶液在短时间内就沸腾, 然后用冰冷却带色的溶液, 将溶液倒入另一试管中, 不断摇动下用 $0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硫酸酸化 (以刚果红为指示剂), 约需硫酸溶液 7ml, 滤出深蓝色沉淀, 溶于 5% 的氢氧化钠溶液中, 过滤后再次用硫酸酸化并析出沉淀, 滤出沉淀, 用水洗至无硫酸根离子为止。将沉淀置于烘箱中 40°C 下干燥。所得的双硫脲欲进一步纯化时, 可用乙醚萃取。产量约 0.3g。

2. 双硫脲的提纯

(1) 将少量双硫脲溶于氯仿或四氯化碳中, 加入 2% 的氨水萃取, 使双硫脲转至水相中, 再用纯氯仿或四氯化碳萃取几次, 弃去有机相, 一直洗涤至有机相中不再呈现红色时为止, 然后加入提纯氯仿或四氯化碳, 用纯制盐酸酸化至弱酸性, 将双硫脲萃取至有机相中, 接着再用纯水洗涤有机相两次。经提纯的双硫脲的氯仿或四氯化碳溶液保存于棕色瓶中, 放在暗处备用。双硫脲的氯仿溶液一周内适用。或者将此双硫脲溶液浓缩、结晶制取固体物备用。

(2) 可用抗坏血酸除去双硫脲中的氧化物。

(3) 双硫脲还可以用乙醚萃取纯化。

(二十三) 铜试剂的提纯

铜试剂又名二乙氨基二硫代甲酸铜。

铜试剂可以用氯仿萃取其水溶液后重结晶法提纯。也可以用合成法制得少量纯品: 取 3ml 重蒸馏的二乙胺, 加入 10ml 氯仿混合, 加入 1ml 重蒸馏的二硫化碳, 然后进行减压浓缩, 过滤出白色结晶, 用少量酒精洗涤, 干燥后即得纯品。

(二十四) 铜铁试剂的提纯

在 (250~300) ml 烧瓶中, 加入 120ml 水并将其加热至 50°C 。搅拌下加入 30g 粉末状的铜铁试剂并使之全部溶解。加入 2g 粉末状试剂活性炭, 搅拌 (10~15) min, 用灼烧过的布

氏漏斗过滤。将滤液冷却至 $(15\sim 20)^{\circ}\text{C}$ ，再冷至 0°C 并放置过夜。

用 1 号玻璃过滤器过滤析出的结晶，用 10ml 乙醇洗涤，再用 10ml 乙醚洗涤，然后在空气中干燥，产率约为 75%。

(二十五) 乙二胺四乙酸二钠 (EDTA) 的提纯

(1) 首先制备乙二胺四乙酸二钠的室温下的饱和水溶液 (100ml 水中大约可溶解 10g) 往此溶液中慢慢地加入乙醇至出现沉淀，过滤析出的沉淀并弃去。往滤液中加入等体积乙醇并真空过滤析出的沉淀，用丙酮洗涤几次，然后再用乙醚洗涤 2~3 次，将沉淀放在一张滤纸上室温下于空气中干燥。

(2) 将乙二胺四乙酸二钠溶于少量热水中，用热滤漏斗过滤，向冷滤液中加入等体积甲醇和丙酮的混合物 (1+1)，并搅拌之。在布氏漏斗上抽滤析出的沉淀，并用甲醇和丙酮混合物洗涤。将沉淀放在表面皿或平底瓷皿上，摊成一层，在 $(80\sim 90)^{\circ}\text{C}$ 下干燥。如果干燥温度较高，试剂常常分解，因而得到的产品不白，此时必须重新进行提纯。

(二十六) 二甲酚橙指示剂的提纯

市售二甲酚橙指示剂，有时络合得不够好，故影响络合滴定终点的观察。将其配制成所需浓度的二甲酚橙溶液，加盐酸使其中杂质沉淀完全，再过滤，除去杂质，将滤液滤入干净的瓶中保存备用。

(二十七) 钙黄绿素的制备

取 6.64g 荧光素溶于 20ml 60% 乙醇和 6ml 30% 氢氧化钠溶液中，再取 10.6g 亚胺基乙酸溶于 12ml 30% 氢氧化钠溶液和 15ml 水中，将两溶液混合均匀，逐滴加入 7.5ml 30% 甲醛溶液，在水浴上 $(70^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C})$ 加热 3h，并时刻搅拌，检查反应是否完成 (即用一滴溶液加氢氧化钾溶液与钙离子，看是否能产生荧光，再用 EDTA 二钠溶液滴定看荧光是否能消失)。稀释体积至 1L，加入氯化钠 150g，使之溶解，用盐酸酸化至 $\text{pH}=2\sim 3$ ，沉淀析出，冷却、过滤，用水洗涤沉淀数次，将沉淀再溶解于乙酸钠溶液中，过滤 (以除去多余的荧光素)，用水洗涤数次，滤液重复用盐酸酸化至 $\text{pH}=2\sim 3$ 沉淀析出，冷却，抽气过滤，再用水洗涤数次，抽滤干。此时沉淀呈糊状，不易干燥，故再将沉淀溶于 150ml 无水乙醇中，温热，此时沉淀呈粉状。冷却，过滤，用无水乙醇洗涤数次，抽滤干，得黄色粉末，在空气中干燥，装入棕色瓶内，保存备用。

(二十八) 罗丹明 B 的提纯

将商品粉红色染料 (罗丹明 B) 研细，加入稀氨水 (约 1%~2%) 浸渍数小时，然后用苯振荡抽提数次，合并数次抽提液，再与稀盐酸一起振荡，罗丹明 B 即溶于盐酸而成盐酸盐，盐酸抽出液用冷水冷却，罗丹明 B 的盐酸盐即结晶析出，吸滤干燥。

(二十九) 双十二烷基二硫代乙二酰胺 (DDO) 的制备

取 46g 十二胺溶于 50ml 无水乙醇中，另取 15g 二硫代乙二酰胺于 500ml 三角瓶中，并加 100ml 无水乙醇。然后将前述溶液倒入三角瓶内，置水浴上加热至红色结晶几乎全溶，取下冷却，用慢速滤纸微漏斗抽气过滤。沉淀移至 600ml 烧杯中，加丙酮 100ml，活性炭 5g 搅拌 (脱色)，并于水浴上加热，使沉淀溶解，趁热迅速抽气过滤 (应将磁漏斗烤热，否则漏斗上将析出沉淀)，用温热丙酮洗涤滤纸数次。再重复于丙酮中加活性炭结晶 3 次，最后将溶液在冷水槽中冷却，析出沉淀，抽气过滤至干，将滤纸连同沉淀取下风干，成品为橙黄色，装入棕色瓶中保存备用。

(三十) 二苄基二硫代乙二酰胺的制备

称取 20g 二硫代乙二酰胺于烧杯中，加入 100ml 乙醇和 38ml 苄胺，在电热板上加热，此

时有特殊臭味逸出，开始二硫代乙二酰胺溶解并和苯胺反应生成黄色的二苯基二硫代乙二酰胺，溶液颜色渐深，并逐渐有淡黄色沉淀生成，反应约需 15min，至沉淀的量不再增加为止。用冷水冷却后，用玻璃砂棒抽滤，用冰冷乙醇洗涤，所得的粗结晶用丙酮溶解（0.7g 粗结晶约需 100ml）冷却、重结晶，反复三次，将沉淀放入干燥器中干燥，即可使用。

（三十一）偶氮氯膦 I (2,7-双(4-氯-2-膦羧基苯基偶氮)-1,8-二羟基萘-3,6-二磺酸) 的制备

1. 2-氨基-5-氯苯磷酸的制备

（1）重氮化 将 80g 邻硝基苯胺加热至 50℃ 溶于 800ml 氟硼酸（相对密度 1.24）中，溶液再用冰冷至 3℃，不断搅拌，于（3~8）℃ 加入 40g 亚硝酸钠进行重氮化。此时析出亮黄色的晶体，溶液在 -1℃ 放置半小时，将沉淀滤出，用冰水（50ml）和乙醚（50ml）洗涤后，置空气中干燥至恒重，可得 118.5g 邻硝基苯胺的氟硼酸重氮盐。

（2）桑德迈耳反应 在 635ml 无水乙酸乙酯中，加入 155ml（1.75mol）三氯化磷和 25g 氯化亚铜。于此混合溶液中，在 30℃ 缓缓加入邻硝基苯胺的氟硼酸重氮盐 118.5g 和 25g 氯化亚铜的混合物。在加入混合物的过程中，温度上升至 50℃ 时开始放出氮气，待氟硼酸重氮盐全部加入后，温度可上升到 65℃，此时反应逐渐完成，氮气停止释放。反应产物在 65℃ 放置 3h，第二天在（15~30）℃ 下加入 10ml 水，在（50~65）℃ 加热 1h，最后在（45~60）℃ 加入 590ml 水，用碳酸氢钠中和至 pH 为 3，加热到 45℃，冷却后析出绿色沉淀（含铜络合物），过滤。滤液中部分未析出的含铜络合物可经乙酸乙酯萃取分离后再析出。将沉淀合并，用水洗涤，在 100℃ 干燥，产量为 32g。将绿色沉淀溶于稀盐酸中（1+2），通入硫化氢以沉淀铜，过滤，将滤液蒸发至一半体积后，加入活性炭除去有色物质，过滤，用碳酸钠中和至 pH 为 3，即有白色无定形沉淀析出，过滤，用冰水（约 75ml）洗涤，在 120℃ 温度下干燥，可得 11g 2-氨基-5-氯苯磷酸。

（3）重结晶 2-氨基-5-氯苯磷酸能溶于水 and 乙醇，可从稀盐酸或乙醇（用盐酸酸化）中重结晶得细针状晶体。

2. 偶氮氯膦 II 的制备

（1）重氮化 称取 4.5g 2-氨基-5-氯苯磷酸于 400ml 烧杯中，加入 4ml 浓盐酸，加水至体积约（20~25）ml，搅拌，溶液为乳状，放入冰浴中冷却，在不断搅拌的条件下，滴加 10ml 亚硝酸钠溶液（1.7g 溶于 10ml 水）进行重氮化。此时溶液从乳状变为淡黄至棕色而全溶。

（2）偶合 称取 2.5g 变色酸溶于 20ml 10% 氢氧化钠溶液中，过滤，将滤液放入冰浴中冷却后，加入上述重氮盐溶液中，此时溶液应为紫色，如呈红色说明混合物溶液为酸性，应立即加入 10% 氢氧化钠溶液，使混合液的 pH 为 8~9，搅拌使偶合反应进行约 1h，溶液由紫色变为蓝色，最后烧杯壁带有绿色，而且溶液变稠。在偶合反应进行中，为了要保持反应混合液的 pH 值在 8~9 范围，应注意在间隔时间为加入苛性钠溶液以调整之。静置（2~3）h，使偶合反应完全，过滤，于滤液中加入 6mol/L 盐酸约 30ml，使溶液 pH<3，静置半小时，此时有深红色晶体析出，抽滤，沉淀用 1mol/L 盐酸 100ml 洗涤（2~3）次后溶于 100ml 2% 氢氧化钠溶液中。所得溶液再用 6mol/L 盐酸酸化至溶液 pH<3，沉淀又重新析出，抽滤，用 1mol/L 盐酸洗涤二次，在 80℃ 干燥。沉淀为含有 4 分子结晶水的偶氮氯膦 II。如在 160℃ 将沉淀继续干燥至恒重，可得到无水结晶粉末。

（三十二）1-苯基-3-甲基-4-苯甲酰基吡唑酮-(S) (PMBP) 的制备

1. 缩合 在 10L 三口烧瓶中，加入 1,3,5-吡唑酮，700g 氢氧化钙 无水酒精悬浊液

(700g 氢氧化钙悬浮于 4000ml 无水酒精中, 把 4000ml 悬浊液全部加完)。搅拌, 加热回流。在溶液快要出现紫青色以前, 立刻将 500ml 苯甲酰氯 (分析纯) 逐滴加入, 约 1h 加完, 反应液由橙变黄, 在回流冷凝管上接一只装有无水氯化钙的干燥管。滴完后继续回流搅拌 2h, 放冷。

2. 水解 配 7 000ml $3\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸溶液 (1 750ml 浓盐酸溶于 5 250ml 水中) 边搅拌, 边将上述缩合后产物倾入其中, 冷却, 逐渐析出黄色沉淀, 继续搅拌几小时 (搅拌速度宜快, 搅拌时间约 3h), 反应液呈粉红色糊状 (结晶粒子很细) 为止。过滤, 粗品用自来水洗涤 (2~3) 次至洗液 $\text{pH} \leq 3$, 即得粗品。

3. 重结晶与转化 将粗品的一半, 用约 600ml 纯氯仿加热溶解回流约半小时后, 分去水层, 将氯仿溶液过滤 (用二层滤纸), 得滤液约 1 000ml, 然后浓缩, 在 (60~62) $^{\circ}\text{C}$ 时蒸出氯仿约 (360~380) ml, 冷却, 得 PMBP 结晶 (0.35~0.4) kg, 颜色为橙黄色, 成品用乙醇洗涤一次, 即呈淡黄色 (熔点 $89^{\circ}\text{C} \sim 91^{\circ}\text{C}$)。另一份半粗品也同样处理。

将两部分母液混合, 蒸去氯仿约 (50~60) ml, 得 (100~150) g PMBP 成品, 再将滤液浓缩 (氯仿几乎快蒸完), 析出 PMBP 残渣, 将它用乙醇洗涤一次或直接用纯氯仿 (冷的) 溶解, 过滤, 蒸去一半氯仿, 再结晶, 也得到 PMBP 成品。

4. 干燥 将产品尽量抽干, 置空气中室温干燥, 不断研细, 翻动。

(三十三) 敏试剂 I [8-羟基萘-3,6-二磺酸-(1-偶氮-2)-1,8-二羟基萘-3,6-二磺酸] 的制备

取 3.8g H 酸 (1-氨基-8-萘酚-3,6-二磺酸钠) 放入 50ml 4% (体积分数) 盐酸溶液中, 将混浊液加热至 35°C , 加入 5ml 14% 的亚硝酸钠溶液, 保持温度 ($30 \sim 35^{\circ}\text{C}$) 之间, 使其重氮化 15min, 然后将生成的悬浊状针形有黄色重氮化合物放冷, 搅拌 (10~15) min, 继续冷却至室温, 然后向混合物中加变色酸 (1,8-二羟基萘-3,6-二磺酸钠) 混合溶液 (混合溶液是由 4g 化学纯变色酸和 5g 乙酸钠共溶于 60ml 水中而制成), 此时呈现紫色, 继续搅拌 5h, 过滤所得到的膏状物质, 烘干, 研成粉末, 即得敏试剂 I 的四钠盐 ($\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_8\text{N}_2\text{S}_4\text{Na}_4$)。

如果欲制取敏试剂 I 的二钠盐, 则将得到的膏状物质, 加热溶于 150ml 水中, 再过滤一次, 以滤去可能存在的微小残渣。向热的滤液中加入 50ml 浓盐酸, 并使之慢慢的冷却, 即析出均质较大的薄片状的紫褐色沉淀。过滤, 用 1+2 盐酸洗涤, 在 120°C 下干燥后, 即得敏试剂 I 二钠盐 ($\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_8\text{N}_2\text{S}_4\text{Na}_2$)。

(三十四) 氯代磺酚 C[●] [4,5-二羟基-3,6-双(5-氯-2-羟基-3-磺基苯偶氮)2,7-萘二磺酸] 的制备与提纯

在直径为 10cm 的搪瓷桶中加入 4-氯-2-氨基-6-磺基苯酚 613g、浓盐酸 1150ml、蒸馏水 5700ml 搅匀, 外用冰盐水冷却至 0°C , 在不断搅拌下滴加亚硝酸钠溶液 (287g 亚硝酸钠溶于 624ml 水中, 预先冷却), 滴加时控制温度 ($0 \sim 2^{\circ}\text{C}$), 加完后搅拌 10min, 使 4-氯-2-氨基-6-磺基苯酚全部溶解 (如有不溶物, 再加入少量亚硝酸钠溶液), 趁冷快速过滤, 弃去不溶物, 将重氮盐溶液保持在 0°C 备用。在直径为 32cm 搪瓷桶中加入变色酸 393g、蒸馏水 4 350ml, 搅拌下加入 30% 氢氧化钠少许 (至 $\text{pH} = 7$) 慢慢加入氧化钙 934g (焙烧), 用冰盐浴使其冷却至 ($0 \sim 5^{\circ}\text{C}$), 然后将备用的重氮盐溶液慢慢滴入, 同时不断搅拌, 温度控制在 ($5 \sim 10^{\circ}\text{C}$)。

滴加时, 用 pH 试纸检验溶液是否呈碱性, 如 $\text{pH} < 8$, 则需再添加 20g 粉状氧化钙, 以确保偶合在碱性条件下进行。反应液由红色逐渐变为蓝色。加完重氮盐后, 在 20°C 搅拌 (1~1.5) h, 放置过夜。

● 氯代磺酚 X。

第二天用浓盐酸(约1800ml)酸化至pH=1,氯代磺酰C呈游离状析出。冷却,过滤,即得氯代磺酰C粗品。

粗品精制 将粗品溶于热碳酸钠溶液中(2850g 碳酸钠溶于(70~80)℃的18500ml 蒸馏水),充分搅匀,乘热过滤,再用少量碳酸钠热溶液洗涤沉淀。滤液用浓盐酸酸化,使pH≈1,室温放置2~3h,使结晶颗粒增大,利于过滤(滤布最好用市质)。沉淀物在120℃烘干,研细,再用1+2盐酸(1份盐酸、2份水)浸泡,用量以使粉末浸没呈稀糊状为宜。2h后(或过夜),过滤,用稀盐酸洗涤1~2次,抽干,在120℃烘干,研细即得氯代磺酰C产品(或质量不好,可再用1+2盐酸浸泡1~2次)。

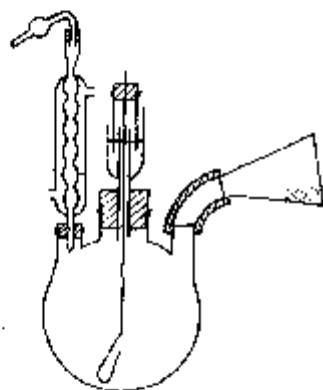


图2-10 酰基化三口烧瓶

(三十五) 1-羟基-4-(对甲苯氨基)-萘醌的制备

1. 酰基化 于250ml 三口烧瓶中先后加入对氯苯酚18g(化学纯)、邻苯二甲酸酐15g(化学纯)和对称四氯乙烷74ml(化学纯)。在加热搅拌下,将预先装好(见图2-10)的44g(1.1t)无水三氯化铝分数次加入,每次加入数量以氯化氢逸出不太激烈为准。待无水三氯化铝加完,反应稍缓和时,可停止搅拌,稍放冷,迅速将三口烧瓶上三氯化铝加料用的三角烧瓶取下,换上温度计,然后继续搅拌和加热,并保持在130℃反应6h。反应后放冷,在边搅边冷情况下倾入300ml 20%盐酸液,接着进行水蒸气蒸馏。过后将残留物放冷过滤。在固体中加入150ml 12%氨水(调节pH约在11左右)和活性炭粉,加热并趁热过滤,滤液待冷却后,渐渐加入20%盐酸液,使溶液呈酸性(pH≈2~3)。待固体析出完全,进行过滤,水洗和干燥,得粗品5-氯-2-羟基-苯甲酰苯甲酸(I)约23g(熔点180℃~184℃),经苯重结晶得淡黄色斜面晶体(熔点199℃~200℃)。

2. 环化^① 取发烟硫酸(约含20%三氧化硫)200ml(化学纯)放入250ml 三口烧瓶中,然后在搅拌下加入硼酸8g(分析纯)和(I),在95℃反应(30~45)min,反应后将反应液冷却,渐渐倾入冰中。析出的固体进行过滤和水洗,最后加6%氨水(溶液呈碱性)搅拌,加热,并趁热过滤。固体经水洗后干燥,得粗制品1-羟基-4-氯萘醌(II)约18g(熔点192℃~193℃)。经冰醋酸重结晶,得橙色针状晶体(熔点193℃~194℃)。

3. 缩合 将(II)与289g 对甲苯胺(分析纯)、32g 无水乙酸钠(化学纯)和0.32g 乙酸钠(化学纯)放在研钵中研细,搅匀,然后放入250ml 三口烧瓶中,维持150℃搅拌加热回流4h。反应后稍放冷,倾入160ml 3%盐酸液,在搅拌下,微热数分钟后倾去盐酸液。然后再进行多次(约6次),每次加160ml 3%盐酸液,并加热趁热过滤,最后所得固体用热水洗涤,抽干、干燥,得粗制品^②。

1-羟基-4-(对-甲苯胺基)-萘醌(II)约19g(熔点160℃~169℃),经冰醋酸重结晶得紫黑色针状晶体(熔点191℃~192℃)。

(三十六) 偶氮肿Ⅱ(1,8-二羟基萘-3,6-二磺酸 2,7-双[(偶氮)-2-苯肿酸])的制备与提纯

1. 偶氮肿Ⅲ的制备

① 环化时用浓硫酸(相对密度1.84)代替发烟硫酸(其用量同发烟硫酸,但不加硼酸),温度在120℃,反应2h亦可,但产率稍低,仅70~80%。

② 本合成所得中间体,粗品未经精制(重结晶)亦可使用,不会影响最后产品的质量,但产品必须经过精制处理。

称取 60g (0.276mol) 邻氨基苯磺酸于微热下溶解在 100ml 水和 30ml 盐酸 (相对密度 1.18) 中。冷却后待氯化氢盐沉淀。加入 (150~200) g 碎冰块, 在不断搅拌下加入 40% 亚硝酸钠溶液 [20g 亚硝酸钠 (0.29mol) 溶于 50ml 水中] 50ml。用淀粉碘化钾试纸试验, 有过剩的亚硝酸时, 再补加一些邻氨基苯磺酸, 溶解 26g (0.0717mol) 变色酸二钠盐于 100ml 水中, 加入几 ml 20% 石灰乳 (20g 氧化钙加 100ml 水)。再加入 (300~400) g 碎冰块冷却, 在不断搅拌下把上面制得的溶液慢慢的加入, 并不断的加入石灰乳使介质保持碱性。溶液开始为红紫色, 随后呈蓝色。于室温下静置 (1~2) h。

为了检查上述反应是否完全, 取 1 滴溶液于 (50~200) ml 蒸馏水中。搅匀后取 (5~10) ml 此溶液于试管中, 加入几滴浓盐酸, 再加 (1~2) 滴钼盐溶液 [(10~20) mg/ml 钼]。溶液呈现翠绿色或蓝绿色 (钼同钼试剂 II 的络合物)。

把检查钼后剩余的溶液分成两份, 向其中之一加入 5~10 滴浓硫酸, 搅匀并冷却试管, 假若反应完全, 当加入硫酸后其颜色同未加硫酸的溶液很易区别, 前者颜色为深绿色。若反应不完全, 加入硫酸后则呈红紫色、深红色或混浊的絮状物出现。这时就必须再加邻氨基苯磺酸重氮盐溶液于变色酸的溶液中, 并相应地加入石灰乳使其保持碱性, 静置, 再按以上所述进行检查。

向制得的混合液中加入 (2~3) L 沸水, (400~500) ml 盐酸 (相对密度 1.18), 不断搅拌使钙盐完全溶解, 并静置过夜。把得到的黑色沉淀过滤, 用 (150~200) ml 盐酸 (1+5) 洗涤, 再用水洗, 弃去滤液。把得到的产物溶于 2L 2% 氢氧化钠溶液中, 滤去不溶的杂质, 酸化滤液至微酸性后再加 (150~160) ml 盐酸 (相对密度 1.18)。静置使沉淀完全后过滤, 用 (200~300) ml 水洗涤, 再用 50ml 乙醇洗涤。为了精制可重复沉淀几次, 得到的偶氮肿 II 约 53g。

2. 偶氮肿 II 的提纯 将欲提纯的偶氮肿 II 3g, 溶于 300ml 水中, 加热, 加入 2 滴浓盐酸酸化, 趁热过滤。滤液盛于 500ml 石英皿中, 置水浴上加热, 在搅拌下滴加 (5~10) ml 浓盐酸, 蒸发至溶液体积约为 80ml。放置 2h, 过滤。所得产品用水洗 2 次, 再用乙醇洗 2 次。按上述步骤再结晶一次, 所得产品在 60℃ 干燥, 即可使用。

(三十七) 亚硝基 R 盐 (2,3,6-β 萘酚二磺酸钠) 的制备

溶解 35g R-盐于 400ml 水中, 然后加入 10ml 浓盐酸使溶液成为酸性。将容器放在冰水中冷却至 5℃, 在激烈搅拌下加入冰冷之亚硝酸钠溶液 (7.2g 亚硝酸钠溶于 20ml 水中)。加时要慢, 最好自滴液漏斗中加入, 全部加完约需半小时。继续搅拌 15min, 过滤, 将生成物与 50ml 水共同搅拌以洗去不纯物, 然后吸滤。以 10ml 冷水洗涤两次, 再以 15ml 乙醇洗一次。

(三十八) 茜素红 S 的制备

把 1 份茜素与 3 份发烟硫酸 (含 20% 三氧化硫) 在 (100~150)℃ 加热数小时, 直到生成物能完全溶于水时为止, 把所得的混合物倒入水中, 并用氢氧化钙把溶液中和再加入碳酸钠使钙盐转化为钠盐, 滤去生成的碳酸钙, 把溶液放在水浴上蒸发至干。

(三十九) 苯蒽酮 (9-苯-2,3,7-三羟基-6-蒽酮) 的制备

1. 苯蒽酮的制备 先配成 A、B 两种溶液

溶液 A: 将 198g 对苯二酚放入 (3 000~4 000) ml 的大玻璃缸或搪瓷缸中, 加入 900ml 乙酸 (50%), 缸中装入一搅拌机, 使溶液混匀, 冷却至 5℃ 以下。

溶液 B: 取 252g 铬酸酐, 放入 1 000ml 烧杯中, 加入 420ml 水和 180ml 冰醋酸, 混匀后, 冷却, 移入分液漏斗中。

当溶液 A 的温度降至 5℃ 时继续开动搅拌机，将溶液 B 由分液漏斗中缓缓加入溶液 A 中，进行反应，约 3h 完成，这时脲酸酐也恰恰加完，立刻过滤，用冷水充分洗涤，所得的黄色结晶，即为对苯醌的粗制品。

将所得的粗制对苯醌（约 200g 湿品）放入 1000ml 的烧瓶中，加入（250~300）ml 乙醇，瓶口装一回流冷凝器，加入少许活性炭，继续装上网流冷却器，在水浴上加热 3~4min，立即迅速过滤，滤液倒入 1000ml 烧瓶中，用流水冷却 10h 后立即将析出的结晶滤出，放搪瓷盘中，把产物铺开，令其在短时间内晾干（不要加热或用日光晒）最后将产品保存于塞紧的褐色瓶中，产量约 130g。

2. 苯芴酮的制备 在 600ml 烧杯中加入 180g 乙酸酐（分析纯），再加 12g（约 7ml）浓硫酸（优级纯）作为催化剂，将烧杯放于冷水中，一边搅拌一边分小份地加入 60g 对苯醌，保持（40~50）℃^① 当所有对苯醌加完后，放置片刻，溶液中开始有沉淀析出，当温度降至 25℃ 时，将烧杯中的溶液和沉淀倒入 750ml 冷水中^②，此时析出大量白色沉淀（1,2,4-苯三酚的三乙酸酯），冷至 10℃ 抽吸过滤，在 250ml 95% 乙醇中重结晶，放于真空干燥器中干燥，取 250g 苯三酚三乙酸酯，加热溶解于 150ml 乙醇（分析纯）、130ml 水、40ml（1+1）硫酸的混合液中，加入 25g（约 24ml）苯甲醛^③，放置 8d 并经常搅拌，将黄色硫酸苯芴酮沉淀抽吸过滤（滤液放置后仍有硫酸苯芴酮沉淀继续析出，可与下次生产时一同过滤回收），用上述混合溶液洗涤沉淀，将洗好之沉淀悬浮于 300ml 水中，加入足够的氢氧化钠（优级纯）至 pH=4~5 使苯芴酮硫酸盐完全水解，搅拌并放置过夜，将红色（橙色）苯芴酮沉淀抽吸过滤，用水洗若干次，最后用酒清洗两次，除去残余的苯甲醛，放入真空干燥器中，干燥后使用。

（四十）二甲氨基苯芴酮（9-[α -(N,N-二甲氨基)- β -苯芴酮]的制备

取 18g（0.072mol·L⁻¹）新制备的苯三酚三乙酸酯和 5g（0.035mol·L⁻¹）N,N-二甲氨基苯甲醛，加热溶解于混合溶剂中（混合溶剂的配制：80ml 酒精，80ml 水和 8ml 浓硫酸混合），所得溶液在水浴上煮沸 10h，然后在室温下放置 10h，将析出硫酸二甲氨基苯芴酮橙红沉淀，过滤，将沉淀溶解于混合溶剂中（其配制和用量与前述一样），将得到的溶液加入少量活性炭，煮沸 5min，然后滤出活性炭，在热的滤液中用氨水中和至 pH=7，这时即析出红色的沉淀二甲氨基苯芴酮沉淀，在热的状态下过滤，并用热水洗涤至无氨味为止，然后烘干研碎即可使用，产量 6.6g（53%）。

（四十一） α -亚硝基- β -萘酚的制备

在烧杯中溶解 20g β -萘酚于 200ml 5% 氢氧化钠溶液中，再加入 10g 亚硝酸钠之粉末，搅拌使其溶解，放于冰盐混合寒剂中冷却至 -5℃，慢慢滴加 30%（质量分数）稀硫酸约 60ml，温度始终要保持在 0℃ 以下，反应完成时，每加入硫酸即有大量氧化氮放出，再继续搅拌半小时后吸滤，以 10ml 冰水洗涤 2 次，尽量吸去水分（水分含量多寡影响生成物之颜色），风干或在真空干燥器中以硫酸干燥，必要时以石油醚再结晶。

（四十二）对硝基苯偶氮间苯二酚的制备

取 14g 对硝基苯胺与 25ml 的浓盐酸混合加热使之溶解后，用冰块致冷剂冷却到 0℃~

① 加入时应缓慢地加入，适当的控制温度（40~50℃），如温度过高则易碳化，过低则影响反应进行。

② 酸加完后，温度降至 25℃ 时，一定要将该溶液慢慢地倒入 750ml 水中，并用力搅拌，以免形成坚硬大块以后过滤时难以处理。

③ 混合液静止后，其沉淀出现很少，或者根本没有，应补加少许苯甲醛与酒精，加热再静止，并经常搅拌。

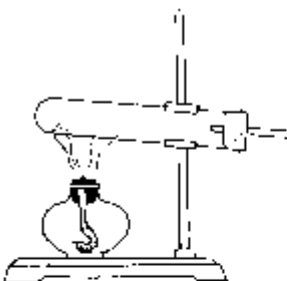
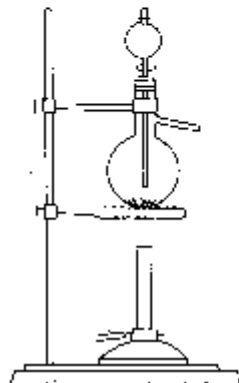
5℃之间，用含 8.5g 亚硝酸钠的冷溶液使之重氮化，然后把生成的重氮化溶液在充分搅拌下慢慢加入含有 10g 间苯二酚的 20ml 10% 氢氧化钠溶液中（加时要慢），加完后再继续搅拌（10~15）min，过滤，干燥，以酒精再结晶（市售有一种颜色为棕色者质量不佳，应为暗红色粉末）。

第十节 气体的获得与纯化

一、制备气体的实验装置

在化学实验中经常要制备少量气体，可根据原料和反应条件，采用下表 2-18 的某一种装置进行。

表 2-18 制备气体的常用装置

制气方法	装置类型	制备气体	注意事项
在试管中加热固体试剂		O_2 、 NH_3	1. 试管口向下倾斜，以免可能凝结在管口的水流到灼热处炸裂试管 2. 先用小火预热均匀加热试管，然后在有固体物质的部位加热 3. 装置不能漏气
固体与液体试剂反应，可加热		CO 、 SO_2 、 Cl_2 、 HCl 、 C_2H_2	1. 分液漏斗颈应插入液体试剂中，或插入小试管中，以保持漏斗的液面高度 2. 必要时可加热，也可用回流装置
固体与液体试剂反应，不加热	启普发生器	H_2 、 CO 、 H_2S 等	详见启普气体发生器

启普气体发生器

1. 部件 启普气体发生器由一个葫芦状的玻璃容器和球形漏斗两部分组成。容器底部有液体的出口，用玻璃塞或橡皮塞塞紧。球形的上部有一气体出口，与带有玻璃活塞的导气管相连接（图 2-11）。

2. 装配 在球形漏斗的颈部涂一层凡士林，插入葫芦状容器，转动几次使其装配严密。导气管上的活塞也要涂一层凡士林。装配见图 2-12。

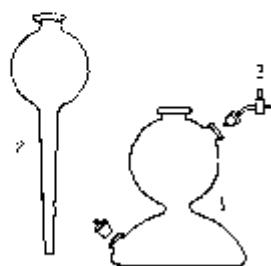


图 2-11 启普气体发生器部件图

1—葫芦状容器；2—球形漏斗；
2—活塞导管

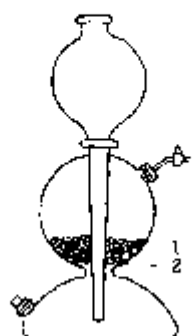


图 2-12 启普气体发生器装置

1—固体药品；2—玻璃棉

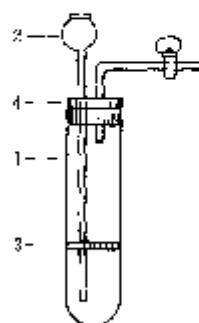


图 2-13 启普发生器的代用装置

1—大试管；2—球形漏斗；
3—多孔瓷板；4—橡皮塞

3. 气密性的检查 开启导气管活塞，从球形漏斗口加水至葫芦状容器下半部的半球体，关闭活塞。继续加水至水面上升到漏斗球形体内，在水面处做一记号。静置片刻，若水面不下降，证明不漏气，即可使用。

4. 试剂的加入 在葫芦状容器的狭窄处垫一些玻璃棉，以免固体药品掉入半球底部，然后由气体出口加入块状或较大颗粒的固体试剂。加入量不宜超过中间球体容积的 $1/3$ 。否则因反应激烈，容易使反应液随气体从导气管冲出。加好固体后，再从球形漏斗加入适量反应液。

5. 气体的发生 打开活塞，反应液即上升至中间球体内与固体接触，便有气体产生。此时可调节活塞以控制气体流速。停止使用时，只要关闭活塞，气体就会将反应液从中间球内压回球形漏斗内，使反应液与固体脱离接触，从而停止气体的发生。若要重新制备气体，只要打开活塞即可。

6. 添加或更换试剂 发生器中的反应液使用一段时间后，浓度逐渐变稀，需要更换反应液和固体试剂（或添加适当固体试剂）。更换反应液时，先用塞子塞紧球形漏斗上口，然后拔下液体出口的塞子，倒掉废液后，重新塞好。由球形漏斗中加入反应液。更换或添加固体试剂时，先关闭导气管的活塞，当反应液压入葫芦状容器下部后，用塞子塞球形漏斗上口，即可取下导气管的橡皮塞，更换或添加固体。

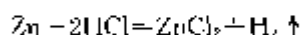
7. 发生器的保管 实验结束后，倒出废液。剩余的固体必要时可洗净回收。洗净仪器，晾干后，在球形漏斗与葫芦状容器、活塞及各个塞子的连接处衬垫一小纸片，可防止时间过久使磨口粘结。

8. 启普发生器的代用装置 当制备少量气体或无启普发生器时，可用图 2-13 的装置代替。

二、常用气体的制备与纯化

(一) 氢气制备与纯化

在实验室中可用比较活泼的金属与硫酸或盐酸作用来制得：



通常是用锌粒用于盐酸（1 体积的 HCl （相对密度 1.19）加 1 体积的水）或硫酸（1 体积

的 H_2SO_4 (相对密度 1.84) 加 8 体积的水) 来制备氢。该反应最好是在启普发生器中进行。若所用的锌很纯, 则发出的气体缓慢。欲使过程加速, 可添加几滴 CaCl_2 溶液 (在使用 H_2SO_4 时, 则加几滴 CuSO_4 溶液), 这时铜沉积在锌上, 并形成电偶, 使锌的溶解速度大大加快。

若使用不够纯的锌和酸时, 所得的氢可能含有下列杂质: 磷化氢、砷化氢、亚硫酸酐、氧化亚氮和氧化氮、二氧化碳、氮、硫化氢、氧和烃类等, 为使氢提纯, 可将它通过烧液 (将 $100\text{gK}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 和 $50\text{gH}_2\text{SO}_4$ (相对密度 1.84) 溶解在 1L 水中) 或者通过高锰酸钾碱性溶液, 然后再用煅烧过的 CaCl_2 或 P_2O_5 进行干燥。经本方法提纯的氢仍含有少量的空气杂质, 为除去经常起有害作用的氧, 可使气体通过装有还原铜末的赤热的玻璃管 (参看氮气制备与纯化的活性制法)。由于氢总是能还原氧化铜, 故柱子可以长期工作, 而无需更换试剂。

电解 KOH 溶液几乎可制得不含任何杂质的纯氢, 本过程最好在图 2-14 所示的装置中进行。

小电解槽的外壳是一个圆柱形的玻璃容器 1, 在它上面严严实实地盖着有机玻璃或石蜡浸过的木材制成的盖子 6, 它是由可拆开的两半组成 (为固定管 5 方便起见)。为推出氧, 需在盖子上钻一个小孔, 在连在盖子上的铜丝下面挂着圆柱形的镍制阴极 2 和阳极 1。阴极是安装在连接气管 5 的玻璃钟罩 3 里。

在容器 1 中装入 $2/3$ 体积的 20% 的 KOH 溶液, 然后将阳极和阴极分别接上电源的正负极。进行电解时, 利用变阻器维持电流强度在 $(3\sim5)\text{A}$ 之间。

在出来的气体中含有氧和碱的液滴, 碱的飞沫被设在排气管的扩大部分 7 处的玻璃棉拦住。为除去极小的雾状碱沫, 可将气体通过加热到 1000°C 的由石英砂制成的石英管 (图 2-14 中没有表示出来)。氧可通过装有活性铜的管 8 除去 (参看氮气制备与纯化中活性铜法)。

然后将氢气在装有硫酸 (相对密度: 1.75, 不能再高!) 的洗瓶 9 中进行干燥。

该装置的电解能力为 $(3\sim4)\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ 纯氢, 它也可并联几个电解槽。

也可利用氧气制备与纯化的电解制氧的装置, 来进行电解制氧。

为除去氢气中的 O_2 、 N_2 和水蒸气, 可使气体通过装有镁屑, 并加热到 $(550\sim560)^\circ\text{C}$ 的瓷管。

使氢气提纯 (特别是除去氮和其他惰性气体) 的一个有效方法是扩散。它是使气体通过赤热的金属钼薄板或通过赤热的钼与金 (或银) 组成的合金薄板。用本方法进行气体纯化的装置大致如图 2-15 所示。将经过高锰酸钾碱溶液除去杂质 As 和 Sb 后的氢气通入钼安瓿 1 中, 并将安瓿 1 装在被电炉 2 加热的石英管 3 中。石英管预先小心地抽真空, 通过钼安瓿瓶壁扩散到管里的纯氢含氮和氧不超过 $10^{-4}\%$ 。对于氢的热扩散提纯, 采用生产能力为 $35\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ 的专用设备是很方便的。

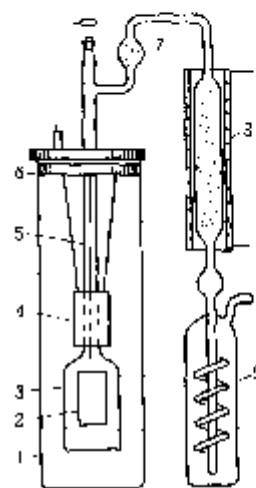


图 2-14 电解法制备氢 (或氧) 的装置

1—玻璃容器; 2—阴极; 3—玻璃钟罩; 4—铜丝; 5—排气管; 6—盖子; 7—装玻璃棉的扩大部分; 8—装有活性铜的管; 9—洗瓶

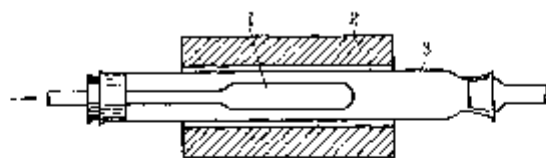


图 2-15 钼扩散法提纯氢装置

1—钼制安瓿; 2—电炉; 3—石英管

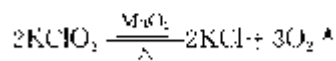
备注:

(1) 在加热或点燃氢时, 应能引起爆炸, 应特别小心。须预先在试管中收集气体样品, 并进行点燃, 当含有大量空气时, 会发生爆炸, 较纯的氢则有尖锐的爆鸣声。纯氢在点燃时平静地燃烧。

(2) 为防止氢焰进入气体发生器, 在一个长 16cm、直径为 10mm 的玻璃管中放置着 10 片紧靠管壁安置的细金属丝网, 并用棉球将它们彼此分开。此玻璃管应安装在气体发生器和燃烧器之间。

(二) 氧气制备与纯化

在催化剂 (MnO_2 或 Fe_2O_3) 存在下, 加热分解 KClO_3 是制备少量氧的最方便的方法:



在 KClO_3 和催化剂中, 不应含有易燃性杂质 (煤、纸等), 否则可引起强烈爆炸! 因此, 将少量的反应混合物预先在金属匙中灼烧是有好处的, 这样可以保证放出的氧是平稳的 (即使在混合物中出现小火花, 也没有危险)。

将 1 份纯级品的 KClO_3 与 0.5 份纯级品的催化剂所组成的混合物, 装在大试管或小烧瓶中, 用灯焰加热, 在生成的氧中含有少量的氯气杂质, 将此气体通过 KOH 溶液, 能够很容易地将它除去。

将高锰酸钾加热分解, 同样可制得氧:



其加热过程类似于 KClO_3 法。

若必须制得不含有痕迹量的氮和惰性气体的氧气时, 最好是预先将高锰酸钾, 在真空及 120°C 下进行加热, 以除去它所吸附的气体, 然后关闭真空泵, 提高温度至 KMnO_4 开始分解。从 318gKMnO_4 中可制得 17L 纯氧。

将碱溶液或含氧酸溶液进行电解, 能制得不含氮的纯氧。电解最好是在内径为 (40~50) mm 的 U 型玻璃管中进行 (图 2-16)。管内装着由镍铁皮或铂铁皮 (更好) 制成圆筒形电极。电解时, 电压 13V。在使用铂电极时, 30% 的 NaOH 溶液、20% 的硫酸都可作为电解质。另外, 20% 的 CrO_3 硫酸 (10%) 的溶液, 或 KMnO_4 溶解在 10% 的 H_2SO_4 中的饱和溶液亦可作为电解质。

如果氧必须在压力为 (196~294) Pa (20~30mmHg) 以上排出, 为使系统压力平衡, 则氢气排出管也应插在烧杯中, 并浸入水中一定深度。

为使出来的氧提纯, 将它通过玻璃棉以除去液沫。然后通过加热到 400°C 的镀铂石棉, 使痕迹量的氢接触氧化。如果采用镍电极, 并在它上面镀一层黑色的 NiO , 则逸出的氧不含有氢。

在重复使用此装置时应特别注意, 不要把电极搞错。

市售 (钢瓶装) 的压缩氧气已相当纯, 在大多数实验工作中可以使用, 用 KMnO_4 、 KOH 和浓 H_2SO_4 溶液来洗涤它是有益的。它里面一般不含有 N_2 杂质。

(三) 氮气制备与纯化

工业氮除去杂质氧的粗提纯, 可采用将气体在赤热铜上通过下述的方法来制得。本方法也可用于从空气中制备氮气。

在耐高温玻璃管中, 装入粒状氧化铜 (也可用卷紧的铜网), 用氧气置换出管中的空气 (断定置换完全与否, 可参看

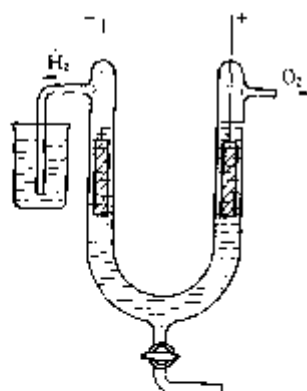


图 2-16 电解制氧装置

氢气制备与纯化备注 (1)), 并在氢气流下将氧化物加热到 $(200 \sim 250)^{\circ}\text{C}$ 。经还原后, 使氧化铜变成金属铜。待管子冷却后, 用工业氮气置换出氢气, 并将此装有铜的管子加热到赤热温度。然后缓慢地通入工业氮气或空气。从管中出来的气体几乎没有氧。为除去 CO_2 , 使气体通过 50% 的 KOH 溶液, 为使其干燥, 再分别使它通过装有 CaCl_2 的柱子及装有浓 H_2SO_4 的洗瓶。

若使气体再通过第二根赤热的铜管时, 则可制得更纯的氮气。

采用活性铜除氧是氮气(氢气、氩气和一些别的气体)提纯的极好方法。其活性铜是固定在硅胶上的。

铜用下面方法进行活化, 往 $250\text{gCuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 溶解在 2L 水的溶液中加入 250g 硅胶(颗粒直径 $(1.5 \sim 2)\text{mm}$) 并将混合物加热到 60°C 。然后将加热到 60°C 的 200gNaOH 溶解在 500mm 水中的溶液倒入上述溶液中。静置 10min 后, 将混合物倒入装有 10L 水的容器中澄清。所得沉淀倾析洗涤, 然后放在布氏漏斗上抽滤。待所得物料稍干后, 将它制成直径为 $(3 \sim 4)\text{mm}$ 的小球, 在 180°C 下干燥数小时, 直到呈现出棕色时为止。然后将它装进带有电热丝加热夹套的玻璃柱(图 2-17)。柱里的空气用氢气置换出来, 加热柱子到 200°C , 并在氢气流下, 将氧化铜还原成金属铜。在此过程中控制颗粒的颜色由棕色转变为深紫色, 待柱子在氢气流下冷却后, 即可进行工作。

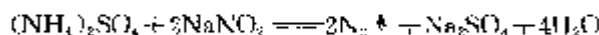
为进行提纯, 首先用氮气吹洗柱子(如图 2-17)所示经旋塞 1 进气, 经旋塞 2 出气)然后将柱子加热到 200°C , 并在整个提纯过程中维持此温度。经提纯后, 气体中的氧含量不超过 0.001% 。随着提纯过程的不进行, 铜逐渐变成氧化铜。因此必须照上面的方法, 周期性地使用氢气将它还原成铜。旋塞 3 是放水用的, 因为在用氮气处理时, 可能会有水聚集在柱里。

对于少量氮气除去痕迹量的氧的十分精密的提纯(例如, 用于极谱工作的), 可利用二价氯化钒溶液来进行。

VCl_2 溶液可用下面方法制得: 将 16g 硫酸氧钒 $\text{VO}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 溶解在 500ml 水中, 再加入 70ml HCl (相对密度 1.19), 然后用水稀释到体积达 1L。取 200ml 制备好的溶液, 并加入 $(10 \sim 15)\text{g}$ 的锌粉, 然后进行搅拌, 直到溶液的颜色由浅蓝色 (V^{4+}) 转变为紫色 (V^{3+}) 时为止。再继续搅拌 10min, 然后将溶液倒入吸收瓶中, 瓶的底上装有不氧化了的颗粒状锌。

建议最好是采用特殊的吸收孔装置, 见图 2-18。经上面的短管(见图 2-18(a))倒入 VCl_2 溶液到孔眼高度的 $1/3$ 处, 被提纯的气体进入中心管, 并通过该管上部球上的小孔进入中间管, 然后以鼓泡形式通过 VCl_2 溶液。这时液体通过下面的小孔被排到中间管的外面。这种结构的吸收器可以保证吸收层有足够高度, 并且锌粒放置处还可以在气体入口处压力显著降低的情况下防止液体倒流。为使装置紧凑, 各部分都应连在垂直的柱上[见图 2-18(b), 图中长度尺寸为 mm]。

不含惰性气体的氮可按下列式制得:



在圆底烧瓶中加入 50g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 饱和溶液, 塞上塞子。在它上面插有滴液漏斗和排气

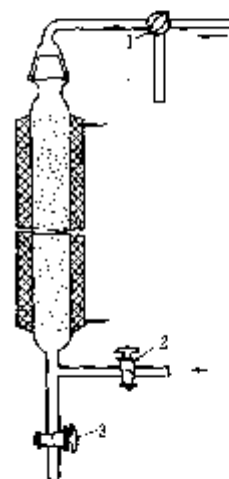


图 2-17 用活性铜提纯氮气的柱子

1—气体进口旋塞; 2—纯净气体出口旋塞; 3—排水旋塞

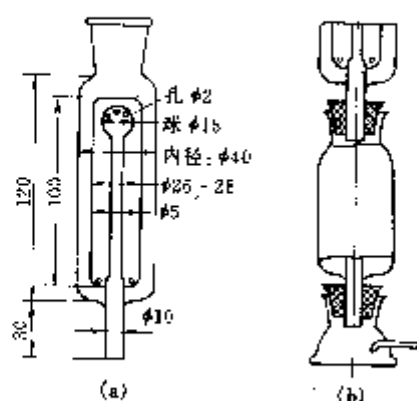


图 2-18 用 VCl_3 溶液提纯
氮气的吸收装置

品), 其规格为 $\phi(10 \sim 15)$ mm, 再经漏斗加入 500ml HCl (相对密度 1.19) 并开始慢慢加热, 然后逐渐强烈加热。为除去酸雾使出来的气体通过装有水的洗瓶。

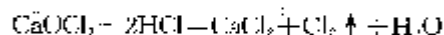
为在填装 MnO_2 时不至打碎烧瓶, 最好是将烧瓶预先充满水, 而在加酸前又将它倒出。

制备氯的类似的方法是用 NaCl 和 H_2SO_4 混合物来代替盐酸:



在 6 份化学纯的 MnO_2 和 3 份 NaCl (化学纯) 的混合物中加入 20 份热的稀 (1:1) H_2SO_4 。在反应结束时将混合物加热是有益的, 出来的氯气中几乎不含水, 但含有少量的氯化氢。

为制得大量的氯 (也可控制为少量) 用漂白粉和盐酸进行反应是相当方便的:



往启普发生器的中部球里放入一些漂白粉小块, 并加入盐酸 (相对密度: 1.12)。为将所得的气体进行提纯, 可使它通过装有水及浓 H_2SO_4 的洗瓶。若长时间停止工作, 最好将酸从设备中倒出。因为它在溶解氯时, 逐渐充满中间球部, 因此在重新工作时可能会放出氯气。短时间停止工作时, 可经通气管鼓入空气, 从设备赶走氯气。

漂白粉块可由新鲜的漂白粉压制而成或 1 份纯漂白粉与 0.25 份纯的医用石膏及少量水混合而成, 以上所采用的几种漂白粉均有出售。

上述三种方法制得氯均含有少量的氧杂质。

欲将含有少量 O_2 、 N_2 、 HCl 、 H_2O 等杂质的工业氯气 (钢瓶装) 提纯, 可先使气体通过二个装有浓硫酸的洗瓶, 然后通过 CaO 柱 (以除去 HCl) 和 P_2O_5 管。为除去 O_2 和 N_2 , 将氯液化, 使气体冷凝在用干冰及丙酮冷却到 -78°C 的受器中, 其不凝性气体 (主要是氧) 用泵抽去。然后将氯蒸发并重新冷凝, 这样的操作重复几次后, 再在真空及空气液化温度下, 采用微分蒸馏方法, 收集其中馏分。这样可以达到彻底的提纯。

(五) 二氧化碳制备与纯化

利用酸与碳酸钙相互作用来制备 CO_2 是最常用的方法:



该反应能够很方便地在启普发生器中进行。在仪器的中间球部放置规格为 (2-3) cm 的大理石块, 并通过球的上部注入稀 (1+1) 盐酸, 反应生成的气体通过装有水和浓 H_2SO_4 的玻璃瓶以除去微量的 HCl 和进行干燥。

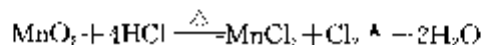
管。将装有溶液的烧瓶放在水浴上加热, 然后经滴液漏斗滴加 50g NaNO_2 饱和溶液, 排出气体的速度可通过滴加 NaNO_2 溶液的速度来调节。

待装置中的空气被完全置换出之后, 再将所得气体收集到贮气器中。至于除去氧及少量氮的氧化物杂质, 可以采用上述任何一种方法。

(四) 氯气制备与纯化

制备氯气均应在通风处进行, 以免中毒。

制备氯的最老的方法之一是用 MnO_2 来氧化盐酸:



在容积为 1L 的烧瓶中加入 100g MnO_2 (工业

欲制备一点也没有空气的 CO_2 ，应将大理石块预先与水共沸几小时，并趁湿时装入反应器中。最后为了除去二氧化碳中的极微量的氧，将它通过装有赤热的铜丝或活性氧化铜（参看“氮气制备与纯化”）的管子，使氧燃尽。

将酸式碳酸钠加热时可制得很纯的 CO_2 。



称取一定量的 NaHCO_3 （化学纯）放入耐高温玻璃制作的长试管中。接上真空并在封闭端加热，使生成的气体通过能够吸收水分的 NaHCO_3 层。为使气体彻底干燥，应使它通过灼烧过的 CaCl_2 或 P_2O_5 。

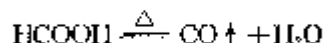
CO_2 也可由市售的钢瓶装的液体 CO_2 制得。液体 CO_2 比较纯（含量：98%~99%），但都含有少量的 O_2 、 N_2 和 CO ，有时含有微量的 H_2S 、 SO_2 和机油。为进行提纯，可将气体通过 2 个装有 5%~7% 的 CrSO_4 或 VOSO_4 溶液的洗瓶。为吸收 H_2SO_4 飞沫，将气体通过装满了 KHCO_3 块的 U 型管。为了除去微量的 H_2S ，使气体通过装有经 CuSO_4 溶液浸过的浮石 U 形管，然后进行干燥，使它通过装有浓硫酸的洗瓶。最后为除去极少量的氧，使它从活性氧化铜（参看“氮气制备与纯化”活性铜法）上通过。

为除去 CO ，使气体在红热温度下通过包着氧化铜粉末的石棉层。这些氧化铜石棉层放在直径为 (25~30) mm 的耐高温玻璃管中，该管是用管式炉进行加热的。

（六）一氧化碳制备与纯化

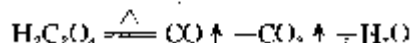
制备一氧化碳应在负压下进行工作。

将甲酸与浓硫酸一起加热时可制得一氧化碳（浓硫酸起脱水作用）：



在装有滴液漏斗及排气管的烧瓶中加入 100ml H_2SO_4 （相对密度：1.84），并加热到 100℃，停止加热，经滴液漏斗逐滴加入 (25~30) ml 85% 的甲酸（工业品）。排出气体的速度用加酸的速度来控制，当出来的气体变慢时，可将烧瓶稍稍加热（若速度太慢可用灯焰加热）。反应能够十分平稳地一直进行到底。

一氧化碳也可由草酸制得，但这时气体中含有 CO_2 ：



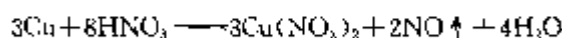
在圆底烧瓶中加入 270ml H_2SO_4 （相对密度：1.84）和 100g $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。烧瓶安装在石棉网上并用灯焰加热，当刚有气体逸出时，将灯移开，因为该反应进行的相当激烈。

反应出来的 CO 中含有 CO_2 、空气和水份，为除去 CO_2 ，使气体通过二个装有 30% KOH 溶液的洗瓶和一个装满一半钠石灰颗粒和固体 KOH 的管子（长 40cm），空气中的氧在气体通过连二亚硫酸钠（ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ）溶液时能够被吸收。为进行干燥可使气体通过灼烧过的 CaCl_2 或浓 H_2SO_4 ，最后通过 P_2O_5 。

市售钢瓶装的一氧化碳可能含有 CO_2 、 O_2 、 H_2 、 CH_4 、 N_2 和 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 。欲进行提纯，使气体通过装有 KOH 溶液洗瓶和装有固体 KOH 的柱子。为除去氧和羰基铁，再使气体缓慢地通过加热到 600℃ 的铜丝或加热到 200℃ 的活性铜（参看“氮气制备与纯化”），至于除去 H_2 、 CH_4 和 N_2 等杂质，可采用液化气体多次分馏法或气体吸附的色谱分离法除去。

（七）一氧化氮制备与纯化

利用金属铜与稀硝酸作用时，能够较顺利地制得一氧化氮：



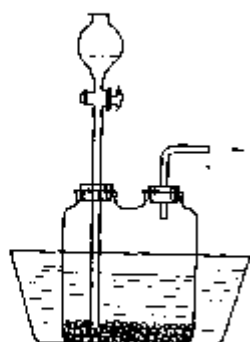


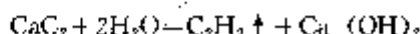
图 2-19 一氧化氮制备装置

将铜屑(或铜丝、铜网花)放入三口瓶(图 2-19)或启普发生器中。然后经滴液漏斗缓慢地加入 HNO_3 (相对密度 1.10~1.15)。不许可明显地加热混合物,以避免生成别的氮的氧化物。因此建议用冷水冷却反应瓶。开始时,瓶中出现的棕色二氧化氮蒸气是由于空气中的氧气氧化 NO 所生成的。

为除去氮的高氧化物及 HNO_3 酸雾,将 NO 气体通过装有 5% NaOH 溶液的洗瓶,并在水上收集起来。必要时,将气体通过装有固体 KOH 的管子进行干燥。

(八) 乙炔的制备与纯化

利用电石与水反应制得乙炔:



在装有滴液漏斗和气体导出管的 1L 圆底烧瓶中,放置 100g CaC_2 ,在水冷却下,从滴液漏斗慢慢滴加水,生成的乙炔经过洗气瓶精制,根据不同的要求,洗气瓶中可装 50% KOH 溶液(除去 CO 等酸性杂质)或铬酸溶液(除去 H_2S 等还原性杂质)。

可通过 CaCl_2 、 H_2SO_4 或 P_2O_5 干燥。乙炔中微量的丙酮可用亚硫酸氢钠浓溶液洗脱,或通过活性炭吸附除去。

第十一节 贵重试剂(汞、银、铂、铀)及某些有机溶剂的回收与净化

一、贵重试剂(汞、银、铂、铀)的回收与净化

(一) 汞的回收与净化

1. 汞残渣的回收 处理实验室中的汞残渣可以采用下述简便方法:蒸发汞残渣至干再与硝酸共热,使之完全溶解,将溶液加热蒸发至干,用水提取后过滤保留滤液(I)残渣再加入王水,重新蒸发至干。将残余物溶于热水中,过滤,并将滤液与滤液(I)合并,以盐酸酸化后用硫化氢饱和之。获得的硫化物沉淀在加热下用多硫化铵处理,重新过滤,剩余的金属硫化物(如汞、铜、铅、镉、铋等硫化物)以稀盐酸洗涤并加热到不再析出硫化氢时为止,再用水洗涤以上硫化物沉淀(基本上为硫化汞)至酸性反应消失后溶于王水中。将溶液蒸发至干,用水提取,过滤,向滤液中加入氢氧化钾溶液,充分用水洗涤析出的氧化汞沉淀,然后再用一般方法加工使其转变为汞盐。

2. 汞的净化 为了提纯用于高纯物质的极谱分析,气体分析扩散泵,电解溶样,合金组成分析的高纯汞,可用工业纯汞或废汞作原料,经过电解、抽洗、洗涤、过滤和真空蒸馏等处理,回收提纯适用的高纯汞。

电解法可以把溶于汞并形成汞齐的杂质元素除掉。汞中的机械杂质,可以用玻璃丝漏斗或用一般漏斗以针扎有小孔的漏纸或多层纱布过滤除去。溶解在汞中的少量活泼金属可以用水或酸中以空气抽洗氧化的方法除去。用稀硝酸可以洗掉汞中的氧化物。真空蒸馏是制取高纯汞的最后手段。

(1) 电解法

①原理 汞在 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸中,控制电压约 (280~300) V,输出电流在 (150~200) mA 之间,在不断剧烈搅拌下电解至汞盐析出(一般约需 2h)。反复电解三次,即能得到阴极

所需之纯汞。

电解装置如图 2-20 所示。

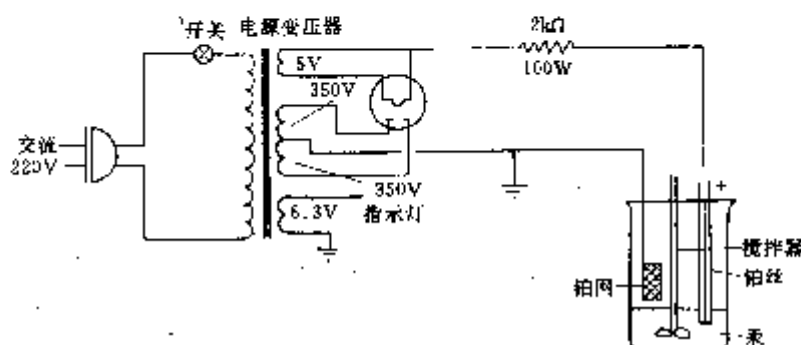


图 2-20 电解汞装置图

②操作方法 将极谱分析后之汞 (5~7) kg 置于 1000ml 烧杯^①中，用水漂洗几次，用四层医用纱布将汞过滤入 800ml 烧杯中，再用水漂洗几次（可利用抽气水泵吸水，但应防止将汞吸出）。倾入 500ml $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸，按图 2-20 所示紧靠烧杯壁接上阴阳极。开动电动搅拌器以剧烈搅动杯底的汞，然后开启整流器电解，直至烧杯中明显地析出浑浊的汞盐为止，为时约需 2h。关闭搅拌器及整流器。按上述手续反复漂洗，电解三次即能得到阴极所需之纯汞。

将经过三次电解的汞，用水泵吸去硫酸，用水精漂，此时会析出一些白色或草绿色盐类，可加入 EDTA 二钠 0.5g 帮助漂洗并搅拌之。最后用 (40~50)℃ 的温水漂洗几次以洗去多余的 EDTA 二钠，直至汞层表面清洁光亮为止。用水泵吸去最后一次漂洗的水后，用干滤纸吸去残余之水珠。

最后将汞用两层干纱布过滤入干燥的广口瓶中备用。

注意事项 a. 电解时应注意安全，应在准备工作完成后再开启整流器。凡要触及电解池硫酸及电极等操作时，必须先切断整流器电源。b. 铂网阴极也可用铂坩埚盖代替，经电解后，电极上会沉积不少金属，可用 1+3 热硝酸溶去汞及一部分杂质，其余杂质可用焦硫酸钾

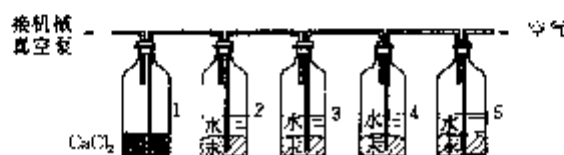


图 2-21 抽洗汞装置示意图

1—容积 3L 干燥、缓冲瓶（内装少量 CaCl_2 ），2、3、4、5—容积在 500℃ 的高温炉中熔融处理 3L 的抽洗瓶（内装 1L 水，1L 汞）

时阴极应在硫酸中，阳极应插入汞中，不可接反。

(2) 抽洗 提纯工业汞、极谱分析或气体分析用过的汞时，因为其中活泼金属很少，仅用抽洗法便能将它除去。对于含汞齐较多的汞，经过电解处理之后，仍有少量残存的汞齐，宜用抽洗法进一步除去。

在图 2-21 所示的抽洗装置中进行抽洗。由于空气将溶于汞中的少量活泼金属氧化为氧化物，并随气泡上升带到上层水或酸中。若汞中汞齐很少，只需用水抽洗，每抽洗 (3~4) h 更

① 用质量较好烧杯并放在瓷盘中。

换一次水,直至经过抽洗,上层水中不再出现混浊物时为止,大约需要 24h。若汞中汞含量较多,则经抽洗后水层混浊物(为汞被氧化而产生的氧化物)很多,需要用 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ 或 5% 硝酸抽洗两次,每次 (1~2) h,然后再用水冲洗。在容积 3L 的抽洗瓶中加入汞 1L,水 1L。抽洗之后的汞再进行下一步的洗涤处理。

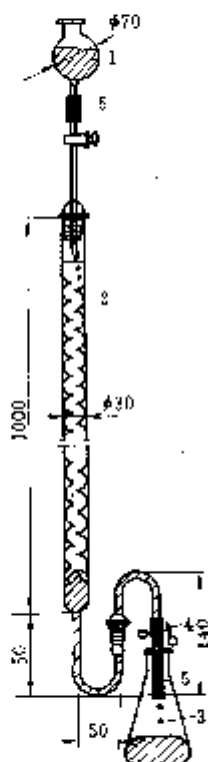


图 2-22 汞洗涤装置

1—加料漏斗; 2—洗涤柱; 3—接受瓶; 4—U形管; 5—无硫橡皮管

(3) 洗涤 将经过抽洗的汞,用一般漏斗和普通定性滤纸过滤两次。第一次过滤用的滤纸用普通针将折叠过的滤纸上穿一些小孔;第二次过滤用的滤纸用细针穿一些更小的孔。

在图 2-22 所示的洗涤柱 2 中加入 5% 的试剂硝酸,由加料漏斗 1 中加入经过过滤的汞,转动活塞使汞呈细碎的汞滴放入洗涤柱中,滴下的汞经过 U 形弯管流入接受杯 3 中。洗完汞后,将洗涤柱中硝酸倒出,用纯水将其洗净,再加入纯水将汞用同样的方法洗涤两次,除去汞表面的酸。如果酸洗不净时,在下一步的真空蒸馏时,汞容易被残留的酸氧化而污染。将洗净的汞再用四层细纱布过滤一次,并用滤纸将汞表面上的水吸去,然后可进行下一步的真空蒸馏。

(4) 真空蒸馏 真空蒸馏器如图 2-23 所示。汞真空蒸馏器是用硬质玻璃制做的。由加汞瓶、加料管、蒸馏釜、冷凝器、出料管、真空泵、调压变压器和蒸馏器固定板等部分组成。将欲蒸馏的汞,注入加汞瓶 7 中,将加汞瓶的位置提高,汞便沿加料管 6 进入蒸馏瓶中,汞加至蒸馏瓶容积的 $1/2$ 左右为止。蒸馏器外缠绕直径为 0.4mm 的镍-铬丝,其电阻为 120Ω ,加热电源用 $1000\text{V} \cdot \text{A}$ 调压变压器控制。为了避免热量损失,于蒸馏瓶外用石棉灰包好,石棉层厚度约 10mm 并留下观察孔 4,用来观察蒸馏瓶内汞的多少、蒸馏情况和测量温度。加料完毕后,降低加料瓶,并接通电源开始加热。同时开动机械真空泵,使支管 10 通过真空橡皮管与真空泵接通,旋转三通活塞 K_1 使真空泵和蒸馏器接通。当仪器内真空度达 $(4.67 \sim 6.67) \text{kPa}$ ($35 \sim 50 \text{mmHg}$) 时,即真空表指示为 $(94.67 \sim 96.67) \text{kPa}$ ($710 \sim 725 \text{mmHg}$) 时,旋转 K_1 切断真空泵。当温度计指示的温度达 $(120 \sim 140)^\circ\text{C}$ 时,汞开始蒸出,将电源电压调至 $(150 \sim 160) \text{V}$ 进行蒸馏。旋转活塞 K_2 将蒸出的汞放至接受瓶 14 中。蒸馏速度控制为 $0.5 \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 。每蒸馏 (3~4) h,切断电源,使仪器冷却后,再加料。为了防止磨口处漏气,应当抹上一层真空油。注意出料管 12 必须插入瓶 13 的汞层下面,加汞瓶 7 中要有一定量的汞,否则将破坏仪器的真空状态。蒸馏过程中应当随时检查系统防止漏气。蒸馏一段时间后,若发现仪器内壁被黑色物质覆盖,则应拆下仪器用硝酸洗除。用此法蒸馏一次之后的汞一般可以满足高纯极谱分析和气体分析的要求。如果需要纯度更高的汞,则可以在该仪器中做二次蒸馏,蒸馏方法同上。最好具备两套蒸馏器,分别做一次和二次蒸馏之用。

(二) 银的回收

1. 从银的卤化物 (AgCl 、 AgBr 、 AgI) 中回收

将银的卤化物用 13%~16% 的 HNO_3 浸泡一昼夜,然后滤出,并用水洗涤。将沉淀与水一起搅匀,所得悬浮物用 H_2SO_4 酸化,直到刚果红呈弱酸性时为止,然后加入锌粒(每 1kgAgCl 加 235g; 1kgAgBr 加 175g; 1kgAgI 加 140g) 靠反应放出的热使混合物逐渐被加热,大多数

锌被溶解, 而银呈粉末状析出。当粉末状的试样在经水仔细洗涤后, 能完全溶解在 HNO_3 中时, 反应即可结束。否则再往反应混合物中添加 10% 的 Zn , 并在水浴上加热几小时。

反应结束后, 将银粉放在布氏漏斗上抽滤, 用水反复洗涤直到没有 Cl^- 或 Br^- 或 I^- 时为止。再用 10% 的 H_2SO_4 处理以溶解过量的 Zn , 然后用水洗到无 SO_4^{2-} 时为止, 最后在 $80 \sim 100^\circ\text{C}$ 下干燥, 产率接近 100%。

2. 从银的残液中 (实验室、照像馆及其他地方) 回收

在盐酸存在下将此类残渣与颗粒状的锌一起煮沸, 没有溶解的锌用瓷铲取出, 还原出来的银用水倾析洗涤, 并溶解在硝酸中, 然后再用盐酸沉淀出 AgCl , 最后将它照上述方法 1. 进行还原。

经洗涤和干燥过的粉状银可直接溶于硝酸制成硝酸银。为此, 将 110g 银一部分一部分地 (每次约 50g) 溶解于适当体积的稀硝酸 (1+1) 内; 溶液蒸发到干涸。将得出的硝酸银溶于水中, 过滤并用水稀释至 1L 浓度为 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

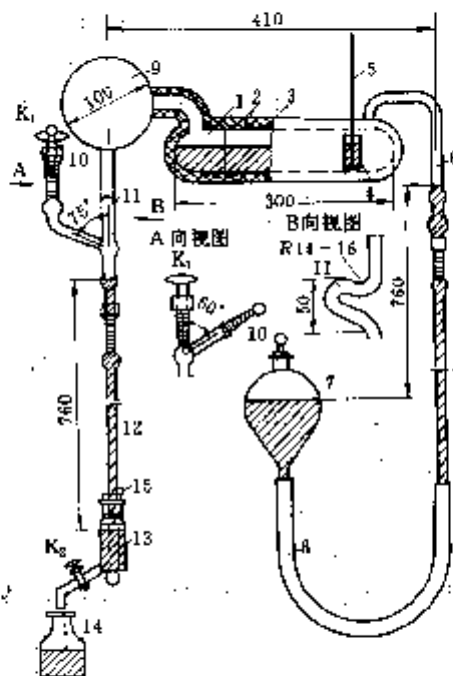
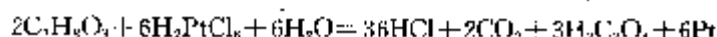


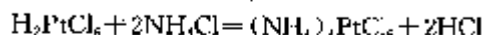
图 2-23 汞真空蒸馏器

(三) 测定钾 (K^+) 后残余物中铂的回收^①

为了从含有氯铂酸钾和氯铂酸钠的酒精水溶液中分离铂。蒸发溶液至剩余少量溶液 (注意不应蒸干, 以免形成爆炸性的乙烯氯化亚铂 $(\text{C}_2\text{H}_4)\text{PtCl}_2$)。在残渣上加以含 8%~10% 甘油的 $6\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液, 沸腾。甘油将铂还原成黑色的金属粉末沉淀:



当溶液褪色时, 将其过滤, 用 100ml 中含 1ml 盐酸和 1g 氯化铵的溶液洗涤铂沉淀。将沉淀干燥、灼烧以分解有机化合物; 在不沸腾的水浴上微微加热溶解于由 1 份硝酸和 4 份盐酸组成的混合液中。将溶液用等体积的水稀释并蒸发到呈糖浆状, 重新加水, 注入等体积的盐酸并重新蒸发。将残渣溶解在尽可能少量的水中, 使溶液的铂浓度接近于 $0.05\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 加热到沸腾, 在 100ml 溶液中加入 50ml 20% 氯化铵溶液, 其反应如下:



为使氯铂酸铵沉淀完全, 加等体积乙醇并放置数小时以上, 然后将氯铂酸铵沉淀滤出

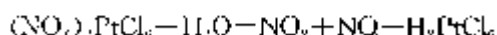
① 从含金属铂废弃物中回收铂的方法: 把含金属铂废弃物加热溶于三水。一次溶解不完, 需反复两三次, 过滤、水洗滤液, 滤液与洗涤液合并。在蒸发皿中蒸干, 加水及等体积的盐酸再蒸发至干。在残渣中加极少量盐酸湿润后, 加适量水溶解, 过滤, 用热水洗涤滤液, 滤液与滤液合并, 并转移至适当容积的容器内, 用金属锌 (棒状) 处理, 直到不再有白色粒子沉淀, 还原便已完全。所析出的金属铂沉淀仔细用水洗涤 (倾泻) 以除去游离酸和锌离子, 将洗涤过的沉淀烘干, 并在耐灶或石墨坩埚内煅烧以得到金属铂。

(带残渣的溶液应当很好地冷却), 先用 20% 氯化铵溶液, 然后用 95% 酒精或冰水洗涤。干燥沉淀, 在瓷坩埚中灼烧, 先用小火, 慢慢加大火力, 其时发生下列反应而形成金属铂:

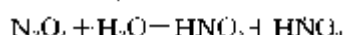


将所得到的海绵状铂溶解于王水中, 在水浴中蒸发到糖浆状, 注入水, 搁置一会, 然后小心地注入等体积盐酸, 重新蒸发。这样重复处理 3~4 次 (为了使亚硝基氯化铂分解)。残渣加水溶解。通氯气至饱和。最后再蒸干, 溶于水, 过滤, 再蒸干。

当铂溶解在王水中时, 除氯铂酸外, 还形成四氯络亚铂酸和亚硝基氯化铂 $(\text{NO}_2)_2\text{PtCl}_6$ 。四氯络亚铂酸使溶液呈深褐色。这些杂质对试剂铂是有害的, 因为有它们存在时, 使铂的分析结果偏低。与水一起蒸发时, 亚硝基氯化铂按下式分解:



由于一部分 NO_2 (N_2O_5) 剩留在溶液中, 所以



硝酸和亚硝酸与溶液中的盐酸形成亚硝酰氯 (NOCl), 后者又重新形成亚硝基氯化铂。所以为了解上述物质, 可如上所述反复地用水和盐酸处理溶液, 一直到不再放出亚硝酸蒸汽为止。在亚硝酸蒸汽蒸发之前, 为了氧化四氯络铂酸中的二价铂可用氯饱和溶液。

最后, 将氯铂酸结晶溶解于 100ml 含 1ml 盐酸的水中, 适当地稀释后, 就可得到所需浓度的试剂。氯铂酸的水溶液呈纯黄色。氯铂酸的褐红色的晶体吸湿性非常大。

(四) 测定钠 (Na^+) 后的残渣中回收乙酸铀酰锌

将分析后的沉淀置于大瓷皿中, 徐徐注入相对密度 1.4 的硝酸至沉淀溶解, 与此同时加热蒸发溶液, 直到出现结晶硬膜时为止。静置 24h, 吸滤析出的结晶, 然后在加热下将所得结晶物重新溶于水中 (水的用量只要盖住结晶就够了), 并放置过夜, 使之结晶, 滤去结晶, 将两次滤去结晶后的滤液合并, 向其中加入为滤液体积 10%~15% 的硝酸 (相对密度 1.4)。用适量水稀释后, 在加热下以过量的氨水沉淀之, 吸滤沉淀, 以稀氨水洗涤, 再次溶于硝酸, 再用氨水沉淀, 重复此操作三次, 然后倾出无色滤液, 而将含有铁和铝之氢氧化物的铀酸铵沉淀, 在 $(60\sim70)^\circ\text{C}$ 干燥之。为了除去杂质, 将干燥后的物质磨碎, 然后放入瓷皿中, 倾入 800ml 水, 并在加热下加入 $(120\sim150)\text{g}$ 碳酸铵, 继续加热并搅拌之, 直到铀酸铵完全溶解为止。

滤去氢氧化铁和氢氧化铝沉淀: 于滤液中缓慢加入硝酸至呈微酸性后, 煮沸溶液并以氢氧化铵沉淀之。将制得的铀酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ 于 $(60\sim70)^\circ\text{C}$ 下进行干燥。

欲制取乙酸铀酰锌溶液时, 可向 20g 铀酸铵中加入 150ml 水及 22ml 60% 的乙酸溶液, 并在搅拌下加热至完全溶解, 同时另取 68g 乙酸锌 $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$ 溶于 75ml 水和 5ml 乙酸的混合液中。将上述两溶液同时加热后合并在一起, 静置 24h, 然后滤出沉淀。滤液即可用作钠的分析试剂。

二、有机溶剂的回收

(一) 异丙醚的回收

1. 化学光谱法测定镓、铟中杂质用异丙醚的回收 用重蒸蒸馏水和 10% 的氢氧化钠洗涤待回收的异丙醚废液, 除去生成的镓、铟的氢氧化物。检查并除去过氧化物。最后 2 次蒸馏提纯。将 500ml 废醚液置于 1L 分液漏斗中, 加入 100ml 蒸馏水, 振荡几分钟, 静置分层后弃去水层。加水 50ml 10% 氢氧化钠溶液, 振荡, 弃去析出的白色沉淀 (收集起来, 可收镓和铟), 重新加入 10% 氢氧化钠 50ml 并振荡, 分出水层。这个操作直到经萃取后, 水相不再显

现白色沉淀时为止。最后用重蒸蒸馏水洗涤2次,每次用水量为200ml。然后,按照异丙醚的提纯步骤进行处理。

2. 低沸点物的处理 在蒸馏时收集积累的低沸点物,经处理后,可以从中回收一部分合格的异丙醚。可用高锰酸钾溶液洗除还原性杂质,再用亚铁溶液洗除高锰酸钾和过氧化物,用碱液洗除杂质酸,经无水氯化钙或碳酸钾脱水后进行两次蒸馏除去金属杂质。将500ml待处理的异丙醚置于1L分液漏斗中,加入100ml重蒸蒸馏水,振荡,静置分层后,分出水层。加入50ml0.002mol·L⁻¹高锰酸钾溶液,振荡,静置分层后,弃去水层。重复这一操作,直至与高锰酸钾振荡后高锰酸钾的紫色不褪时为止。加入100ml重蒸蒸馏水洗除高锰酸钾,然后加入15ml20%硫酸亚铁溶液洗涤(2~3)次,用重蒸蒸馏水洗1次,用40ml5%的碳酸钠洗1次,再用重蒸蒸馏水洗2次(每次用水量为100ml),分出水层后,在醚中加入固体碳酸钾脱水,放置过夜,蒸馏之。收集沸程为(67~69)℃的馏出液,保存于棕色磨口瓶中。

(二) 乙酸乙酯的回收

将使用过的乙酸乙酯废液放在分液漏斗中水洗几次,然后用硫代硫酸钠稀溶液洗涤几次使之褪色,再用水洗几次后,用蒸馏法提纯之。

(三) 三氯甲烷(氯仿)的回收

将废氯仿分别用水、浓硫酸、盐酸羟胺溶液在分液漏斗中洗涤后,按上述法干燥并蒸馏2次。将废氯仿用自来水冲洗,除去水溶性杂质。取水洗过的氯仿500ml置于1L分液漏斗中,加入50ml浓硫酸,振荡几分钟,静置分层后,弃去下层硫酸,重复这一操作至振荡过的硫酸层中呈现无色时为止。然后用重蒸蒸馏水洗除氯仿两次,每次用水200ml。再用0.5%盐酸羟胺溶液(分析纯)50ml洗涤(2~3)次后,用重蒸蒸馏水洗两次。将洗涤好的氯仿按上述法干燥并蒸馏两次即得。

如果氯仿中杂质较多,可在自来水洗涤之后,预蒸馏1次除去大部分杂质,然后再按上述法处理。这样可以节约试剂用量。对于蒸馏法仍不能除去的有机杂质可用活性炭吸附纯化。

(四) 四氯化碳的回收

1. 含有双硫脲的四氯化碳 先用硫酸洗一次,再用水洗2次,除去水层,用无水氯化钙干燥,在水浴上蒸馏出四氯化碳。

2. 含有铜试剂的四氯化碳 将废四氯化碳放入蒸馏瓶中,于水浴上在80℃进行蒸馏回收,用无水氯化钙干燥,过滤备用。

3. 含碘的四氯化碳 在废四氯化碳中,滴加三氯化钛至溶液呈无色,再加水(体积比为2(有机层):4(水层))洗涤(1~2)次,分层后,放去水层,有机层在80℃蒸馏回收复用。或用活性炭吸附,使呈无色,滤后,再依次洗(1~2)次,有机层于78℃蒸馏回收复用。

(五) 苯的回收

1. 含丁基罗丹明B、结晶紫或孔雀绿或其他碱性染料的苯 先用硫酸洗一次,再用水洗两次,分去水层,以生石灰或无水氯化钙干燥,再在水浴上蒸馏出苯。

2. 1-苯基-3-甲基-4-苯甲酰基吡唑酮(5)(PMBP)-苯的回收 在废PMBP-苯液中加入1+1盐酸(体积比为3(有机层):1(水层))洗涤(2~3)次,再用水洗(3~4)次,分去水层即可复用。

(六) 测定铍后废磷酸三丁酯(TBP)-苯的回收

用后的TBP-苯废液,用10%碳酸钠溶液和2mol·L⁻¹硝酸分别依次各洗(1~2)次,再用水洗(3~4)次,仍可复用。

(七) 废二甲苯的回收

将废二甲苯用无水氯化钙干燥后, 直接蒸馏回收, 收集 (136—141)℃馏分。

(八) 含有双十二烷基二硫代乙二酰胺 (DDC) 的石油醚-氯仿和异戊醇-氯仿的回收

将有机层和水层分开后, 将有机层用氢氧化钠溶液洗 1 次, 再用水洗 2 次, 除去水层。在有机层中加入无水氯化钙干燥, 在水浴上分馏出石油醚和氯仿, 再改在油浴上蒸馏出异戊醇。

(九) 含硝酸的甲醇的回收

以上也用氢氧化钠溶液慢慢中和硝酸, 并在水浴上 (64℃左右) 蒸馏出甲醇。因一次蒸馏水分很多, 故必须进行多次蒸馏, 再测定其相对密度 (相对密度: 0.791)。

(十) 其他如萃取铈的苯、萃取铈的甲苯、萃取铈的苯、萃取铈的苯等的回收

可先用浓硫酸或氢氧化钠处理后, 再用水洗数次, 以生石灰干燥后, 在水浴上蒸馏出有机溶剂。

一般处理回收的有机溶剂, 使用前必须经过空白或标准显色的试验, 如效果良好, 方可使用。

第十二节 化合物重要物理化学常数的测定方法

一、熔点的测定^①

熔点或称熔融温度, 即物质由固态熔化成液体的温度或在熔化时自初熔至全熔显示的一段温度。各种物质均有固定的熔点。纯度变更时则熔点改变或熔融温度范围加宽, 测定熔点, 可以区别或检查化合物的纯杂程度。

化合物熔点测定可用熔点测定仪或熔点浴装置等方法测定。下面是采用熔点浴装置的通用测定法。

本方法适用于结晶或粉末状的有机试剂熔点的测定。

(一) 仪器

(1) 熔点管 用中性硬质玻璃制成的毛细管, 一端熔封, 内径 (0.9—1.1) mm, 壁厚 (0.10—0.15) mm, 长度以安装后上端高于传热液体液面为准 (约 100mm)。

(2) 测量温度计 (用于测定熔点范围) 单球内标式, 分度值为 0.1℃, 并具有适当的量程。

(3) 辅助温度计 (用于校正) 分度值为 1℃, 并具有适当的量程。

(4) 加热装置 必须使用可控制温度的加热装置。

(5) 圆底烧瓶 容积约为 250ml, 球部直径约为 80mm, 颈长 (20—30) mm, 口径约为 30mm。

(6) 试管 长为 (100—110) mm, 直径为 20mm。

(7) 传热液体 应选用沸点高于被测物终熔温度, 而且性能稳定、清澈透明、粘度较小的液体作为传热液体。终熔温度在 150℃以下的可采用甘油或液体石蜡; 终熔温度在 300℃以下的可采用硅油。

(二) 操作步骤

(1) 如图 2-24 所示, 将烧瓶、试管、温度计等以橡皮塞连在一起, 烧瓶中注入约其体积

① 参考中华人民共和国国家标准 GB617—83《熔点范围测定通用方法》北京: 中国标准出版社, 1988。

四分之三的传热液体，并向试管中注入适量传热液体，使其液面与烧瓶中传热液体液面在同一平面。

(2) 将样品研成尽可能细密的粉末，装入清洁、干燥的熔点管中，取一长约 800mm 的干燥玻璃管，直立干燥玻璃板上，将装有试样的熔点管在其中投落数次，直到熔点管内样品紧缩至 (2~3)mm 高，如所测的是易分解或易脱水样品，应将熔点另一端熔封。

(3) 先将传热液体的温度缓缓升至比样品规格所规定的熔点范围的初熔温度低 10℃，此时，将装有样品的熔点管附着于测量温度计上，使熔点管样品端与水银球的中部处于同一水平，测量温度计水银球应位于传热液体的中部。使升温速率稳定保持在 $(1.0 \pm 0.1)^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 。如所测的是易分解或易脱水样品，则升温速率应保持在 $3^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

(4) 当样品出现明显的局部液化现象时的温度即为初熔温度，当样品完全熔化时的温度即为终熔温度。记录初熔温度及终熔温度。

(三) 结果的表示

如测定中使用的是全浸式温度计，则应对所测得的熔点范围值进行校正，校正按下式计算：

$$\Delta t = 0.00016 (t_1 - t_2) h \quad (2-1)$$

式中 Δt 校正值，℃；

h 温度计露出液面或胶塞部分的水银柱高度，℃；

t_1 测量计读数，℃；

t_2 露出液面或胶塞部分的水银柱的平均温度，℃。该温度由辅助温度计测得，其水银球位于露出液面或胶塞部分的水银柱中部。

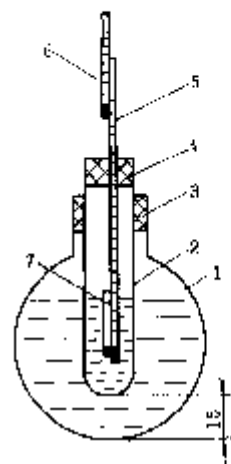


图 2-24 熔点测定装置
1—圆底烧瓶；2—试管；3、4—胶塞；5—温度计；6—辅助温度计；7—熔点管

二、沸程的测定^①

本方法适用于沸点在 $(30 \sim 300)^\circ\text{C}$ 范围以内，并且在蒸馏过程中化学性能稳定的液体有机试剂沸程的测定。

本方法系指在标准状况下 $(1013.25\text{hPa}^\circ, 0^\circ\text{C})$ ，在产品标准规定的温度范围内的馏出物体积。故又称馏程测定法，馏分测定法。

(一) 仪器

(1) 支管蒸馏瓶 用硼硅酸盐玻璃制成，有效容积 100ml，见图 2-25；图中长度单位为 mm，下同。

(2) 测量温度计 水银单球内标式，分度值为 0.1°C ，量程适合于所测样品的温度范围。

(3) 辅助温度计 分度值为 1°C 。

(4) 冷凝器 用硼硅酸盐玻璃制成。水冷凝器见图 2-26，空气冷凝器不设冷凝水套管，其余尺寸均如图 2-25 所示。

(5) 接收器：容积为 100ml，两端分度值为 0.5ml ，见图 2-27。

① 参考中华人民共和国国家标准 GB315-88《沸程测定通用方法》北京：中国标准出版社，1988

② $1\text{hPa} = 1\text{mbar}$ 。

(6) 蒸馏瓶外罩 横断面呈矩形且上下两端开口, 尺寸如图 2-28 所示, 用 0.7mm 厚的金属板制成。

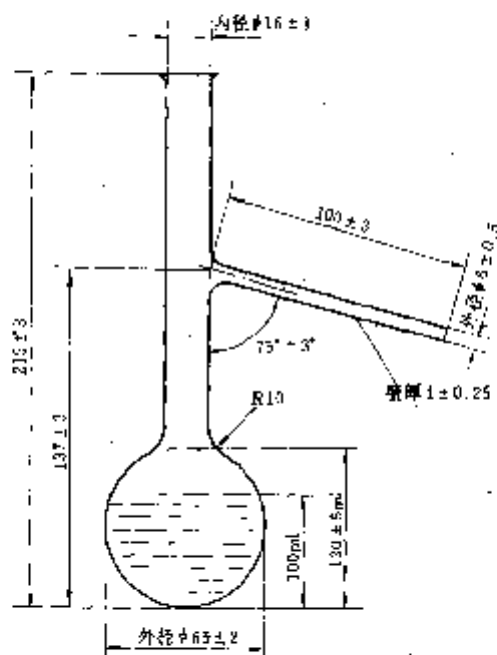


图 2-25 支管蒸馏瓶

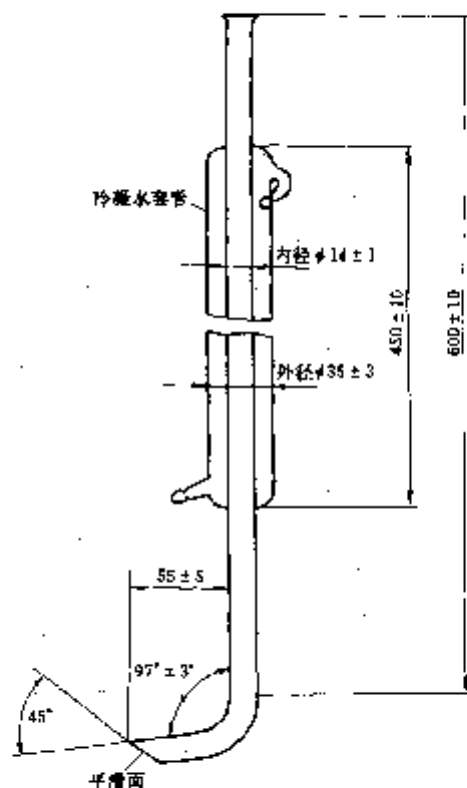


图 2-26 冷凝器

在外罩的正面和后面位于隔热板下方, 各有两个直径为 25mm 的气孔。

在外罩各面的底部各有三个中心距底边 25mm 的气孔。位于两侧面中央的气孔直径为 25mm, 其余 10 个气孔直径均为 12.5mm。

在外罩的两个侧面上各开有一垂直的槽, 用于放置蒸馏瓶的支管, 尺寸见图。

硬质隔热板架厚度为 6mm, 中央孔径为 110mm, 水平安置于罩内, 并与罩的内壁密合, 以保证热源的热气流不与蒸馏瓶壁或颈部接触。隔热板架用三角形金属板固定于罩内四角。

在外罩正面设一活动门, 尺寸如图 2-28 所示, 其四周约比开口宽 5mm。

在外罩的正面和后面, 各设一云母窗置于正中, 其底边与隔热板架顶部水平, 尺寸如图 2-28 所示。

(7) 隔热板 厚度为 6mm, 边长为 150mm 的正方形, 中央孔径为 50mm。

(8) 热源 可使用煤气灯或电加热装置, 当样品沸程下限温度低于 80℃时应除去外罩用水浴加热, 水浴液面应始终不得超过样品液面。

(二) 操作步骤

1. 仪器的安装 如图 2-29 所示安装蒸馏装置。使测量温度计水银球上端与蒸馏瓶的瓶颈和支管接合部下沿保持水平。

将隔热板放置在隔热板架上, 使两个孔基本上同心。将蒸馏瓶置于隔热板的孔上。

2. 气压计读数的校正

(1) 温度校正 气压计的读数应先按仪器说明书的要求进行校正, 然后从气压计读数中减去表 2-19 所给的校正值, 将其校正为 0℃ 时的气压值。

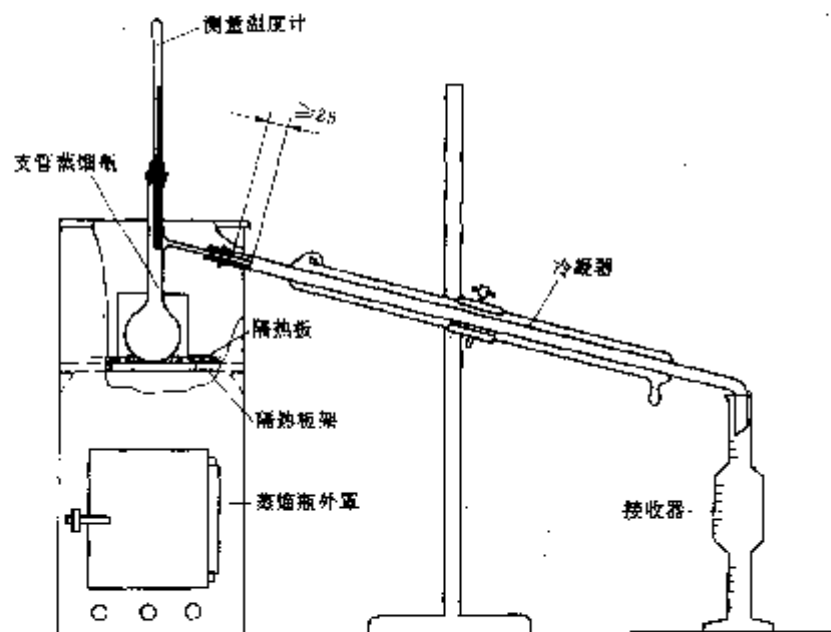


图 2-29 蒸馏仪器安装图

表 2-19 气压计读数的校正值

室温 t/℃	气 压 计 读 数 P/hPa							
	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100
10	1.51	1.55	1.59	1.63	1.67	1.71	1.75	1.79
11	1.66	1.70	1.75	1.79	1.84	1.88	1.93	1.97
12	1.81	1.86	1.90	1.95	2.00	2.05	2.10	2.15
13	1.96	2.01	2.06	2.11	2.17	2.22	2.28	2.33
14	2.11	2.16	2.22	2.28	2.34	2.39	2.45	2.51
15	2.26	2.32	2.38	2.44	2.50	2.56	2.63	2.69
16	2.41	2.47	2.54	2.60	2.67	2.73	2.80	2.87
17	2.56	2.63	2.70	2.77	2.83	2.90	2.97	3.04
18	2.71	2.78	2.85	2.93	3.00	3.07	3.15	3.22
19	2.86	2.93	3.01	3.09	3.17	3.25	3.32	3.40
20	3.01	3.09	3.17	3.25	3.33	3.42	3.50	3.58
21	3.16	3.24	3.33	3.41	3.50	3.59	3.67	3.76
22	3.31	3.40	3.49	3.58	3.67	3.75	3.85	3.94
23	3.46	3.55	3.65	3.74	3.83	3.93	4.02	4.12

续表

温度 $t/^\circ\text{C}$	气压计读数 P/hPa							
	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100
24	3.61	3.71	3.81	3.90	4.00	4.10	4.20	4.29
25	3.75	3.85	3.96	4.06	4.17	4.27	4.37	4.47
26	3.91	4.01	4.12	4.23	4.33	4.44	4.55	4.65
27	4.08	4.17	4.28	4.39	4.50	4.61	4.72	4.83
28	4.21	4.32	4.44	4.55	4.66	4.78	4.89	5.01
29	4.36	4.47	4.59	4.71	4.84	4.96	5.07	5.19
30	4.51	4.63	4.75	4.87	5.00	5.12	5.24	5.37
31	4.66	4.79	4.91	5.04	5.16	5.29	5.41	5.54
32	4.81	4.94	5.07	5.20	5.33	5.46	5.59	5.72
33	4.96	5.09	5.23	5.36	5.49	5.63	5.76	5.90
34	5.11	5.25	5.39	5.52	5.66	5.80	5.94	6.07
35	5.26	5.40	5.54	5.68	5.82	5.97	6.11	6.25

(2) 纬度校正 将气压计读数加上表 2-20 所给的校正值。

表 2-20 气压计读数的纬度校正值

纬度	气压计读数 P/hPa							
	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100
0	-2.48	2.55	2.62	-2.69	-2.76	-2.83	2.90	-2.97
5	2.44	2.51	-2.57	-2.64	-2.71	2.77	2.84	-2.91
10	2.45	2.4	-2.47	-2.53	-2.59	2.65	-2.71	-2.77
15	2.16	-2.22	-2.28	-2.34	-2.39	2.45	-2.51	-2.57
20	-1.32	-1.07	2.02	2.07	2.12	2.17	-2.25	-2.28
25	1.51	-1.64	-1.70	-1.75	1.78	1.84	-1.89	-1.92
30	-1.27	-1.30	-1.32	1.37	1.40	-1.44	-1.48	1.52
35	0.89	0.91	0.95	-0.95	-0.97	-0.99	1.02	-1.05
40	0.48	0.49	-0.50	-0.51	-0.52	0.53	-0.54	-0.55
45	0.05	-0.05	-0.05	0.05	-0.05	-0.05	-0.05	0.05
50	-0.37	-0.39	+0.40	+0.41	+0.43	1.0.44	+0.45	+0.46
55	0.79	+0.81	+0.83	1.0.86	1.0.88	+0.91	+0.92	1.0.95
60	1.17	+1.20	-1.24	1.1.27	-1.30	+1.33	+1.36	1.39
65	1.1.52	+1.56	-1.60	-1.65	1.1.69	+1.73	+1.77	-1.81
70	+1.83	1.1.87	1.1.92	-1.97	+2.02	2.07	-2.12	+2.17

3. 气压对沸程的校正的计算 沸点随气压的变化值按式 (2-2) 计算:

$$\Delta t_p = CV (1013.25 - p) \quad (2-2)$$

式中 Δt_p —— 沸点随气压的变化值, $^\circ\text{C}$;

CV —— 沸点随气压的变化率, (见表 2-21) $^\circ\text{C} \cdot \text{hPa}^{-1}$;

p —— 经 (一) 2. (1) 和 (二) 2. (2) 校正后的气压值, hPa 。

表 2-21 沸程温度随气压变化的校正值

标准中规定的沸程温度 $t_b/^\circ\text{C}$	气压相差 1 kPa 的校正值 $\Delta t_p/^\circ\text{C}$	标准中规定的沸程温度 $t_b/^\circ\text{C}$	气压相差 1 kPa 的校正值 $\Delta t_p/^\circ\text{C}$
10~30	0.026	310~330	0.044
30~50	0.029	330~350	0.047
50~70	0.030	350~370	0.048
70~90	0.032	370~390	0.050
90~110	0.034	390~410	0.052
110~130	0.035	410~430	0.053
130~150	0.038		
150~170	0.039		
170~190	0.041		
190~210	0.043		

观测气压下的沸程温度按式 (2-3) 计算:

$$t_p = t_b - \Delta t_p \quad (2-3)$$

式中 t_p ——观测气压下的沸程温度, $^\circ\text{C}$;

t_b ——产品标准中所规定的沸程温度, $^\circ\text{C}$;

Δt_p ——沸点随气压的变化值, $^\circ\text{C}$ 。

4. 测量温度计读数校正值的计算 若使用全浸式温度计进行测量, 则应对水银柱露出塞外部分进行校正。在与测定样品同样的条件下进行蒸馏 (按 (二) 6 的规定), 然后按式 (2-4) 计算水银柱露出塞外部分的校正值:

$$\Delta t = 0.00016h (t_p - t_w) \quad (2-4)$$

式中 Δt ——水银柱露出塞外部分的校正值, $^\circ\text{C}$;

h ——温度计露出塞外部分的水银柱度数, $^\circ\text{C}$;

t_p ——观测气压下的沸程温度, $^\circ\text{C}$;

t_w ——露出塞外部分的水银柱的平均温度 (用辅助温度计测量, 其液球应位于主温度计露出塞外部分水银柱高度的中点处), $^\circ\text{C}$ 。

5. 观测沸程温度的计算 观测沸程温度按式 (2-5) 计算:

$$t = t_p - \Delta t_p - \Delta t \quad (2-5)$$

式中 t ——观测沸程温度, $^\circ\text{C}$;

t_p ——产品标准中所规定的沸程温度, $^\circ\text{C}$;

Δt_p ——沸点随气压的变化值, $^\circ\text{C}$;

Δt ——水银柱露出塞外部分的校正值, $^\circ\text{C}$ 。

6. 蒸馏 用接收器量取 100±1ml 样品。若样品的沸程温度范围下限低于 80 $^\circ\text{C}$, 则应在 5—10 $^\circ\text{C}$ 的温度下量取样品及测量馏出液体积 (将接收器距瓶端 25mm 处以下浸入 5—10 $^\circ\text{C}$ 的水浴中); 若样品的沸程温度范围下限高于 80 $^\circ\text{C}$, 则在常温下量取样品及测量馏出液体积; 上述测量均采用水冷。若样品的沸程温度范围上限高于 150 $^\circ\text{C}$, 则应采用空气冷凝, 在常温下量取样品及测量馏出液体积。将样品全部转移至蒸馏瓶中, 不得使之流入支管, 向蒸馏瓶中加入几粒清洁、干燥的沸石, 装好温度计, 将接收器 (不必经过干燥) 置于冷凝管下端, 使冷凝管口进入接收器部分不少于 25mm, 也不低于 100ml 刻度线, 接收器口塞以棉塞, 并确保向

冷凝管稳定地提供冷却水。调节蒸馏速度,对于沸程温度低于 100°C 的样品,应使自加热起至第一滴冷凝液滴入接收器的时间为 $(5\sim 10)\text{min}$;对于沸程温度高于 100°C 的样品,上述时间应控制在 $(10\sim 15)\text{min}$,然后将蒸馏速度控制在 $(3\sim 4)\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ 。记录观测沸程温度范围内的馏出物体积。

注意:蒸馏应在通风良好的通风橱内进行。

(三) 沸程温度校正示例

①甲苯(分析纯)的沸程温度校正。

已知:规定的沸程温度 t_b	$(137\sim 140)^{\circ}\text{C}$
室温	24.5°C
气压(室温下的气压)	999.92hPa
测量处纬度	30°
辅助温度计读数 t_a	35.0°C
胶塞上沿处温度计刻度	109.0°C

②温度校正 $999.92-4.06=995.86(\text{hPa})$

③纬度校正 $995.86+(-1.37)=994.49(\text{hPa})$

④按式(2-2)求出沸点随气压的变化值 Δt_p ,然后按式(2-3)计算在观测气压下的沸程温度 t_p :

$$\Delta t_p = 0.028(1013.25-994.49) = 0.71(^{\circ}\text{C})$$

$$137^{\circ}\text{C}; t_p = 137 - 0.71 = 136.29(^{\circ}\text{C})$$

$$140^{\circ}\text{C}; t_p = 140 - 0.71 = 139.29(^{\circ}\text{C})$$

⑤按式(2-4)求出温度计校正值:

$$136.29^{\circ}\text{C}; \Delta t = 0.00015(136.29 - 109.0)(136.29 - 35.0) \\ = 0.44(^{\circ}\text{C})$$

$$139.29^{\circ}\text{C}; \Delta t = 0.00016(139.29 - 109.0)(139.29 - 35.0) \\ = 0.51(^{\circ}\text{C})$$

⑥按式(2-5)求出观测沸程温度:

$$137^{\circ}\text{C}; t = 137 - 0.71 - 0.44 = 135.9(^{\circ}\text{C})$$

$$140^{\circ}\text{C}; t = 140 - 0.71 - 0.51 = 138.8(^{\circ}\text{C})$$

三、沸点的测定

沸点指液体在 101.325kPa 时(1atm)的沸腾温度。

本方法适用于受热易分解、氧化的液体有机试剂的沸点测定。

(一) 仪器

- (1) 三口圆底烧瓶 有效容积为 500ml 。
- (2) 试管 长 $(190\sim 200)\text{mm}$,距试管口约 15mm 处有一直径为 2mm 的侧孔。
- (3) 胶塞 外侧具有出气槽。
- (4) 测量温度计 内标式单球温度计,分度值为 0.1°C ,量程适合于所测样品的沸点温度。
- (5) 辅助温度计 分度值为 1°C 。

● 参考中华人民共和国国家标准 GB616-88《沸点测定通用方法》北京:中国标准出版社,1988。

(二) 测定方法

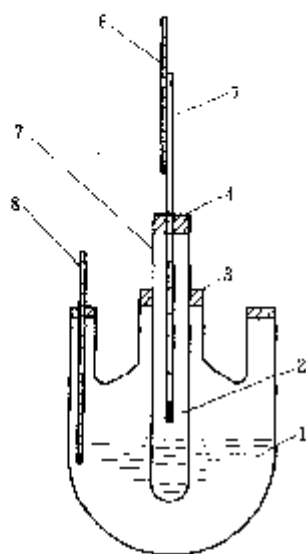


图 2-30 沸点测定装置图

- 1—三口圆底烧瓶; 2—试管; 3—
4—胶塞; 5—测量温度计; 6—侧
助温度计; 7—侧孔; 8—温度计

1. 仪器的安装 如图 2-30 所示, 将三口圆底烧瓶、试管及测量温度计以胶塞连接, 测量温度计下端与试管液面相距 20mm, 将辅助温度计附在测量温度计上, 使其水银球在测量温度计露出胶塞上的水银柱中部。烧瓶中注入约为其体积二分之一的硫酸。

2. 操作步骤 量取适量样品, 注入试管中, 其液面略低于烧瓶中硫酸的液面, 加热, 当温度上升到某一定数值并在相当时间内保持不变时, 此温度即为待测样品的沸点, 记录下室温及气压。

3. 气压对沸点影响的校正 根据测定时的室温及气压, 按式 (2-6) 换算出 0℃ 时的气压:

$$p_0 = p - \Delta p \quad (2-6)$$

式中 p_0 ——0℃ 时的气压, hPa;

p ——室温时的气压, hPa;

Δp ——由室温时之气压换算至 0℃ 时气压之校正值, hPa;
校正值见表 2-19。

根据 0℃ 时的气压与标准气压之差数及标准中规定的沸点温度, 按沸程的测定中表 2-21 求出相应的温度校正值, 当 0℃ 时的气压高于 1013hPa 时, 自测得的温度减去此校正值, 反之则加。

4. 测量温度计读数校正值的计算 若使用全浸式温度计进行测量, 则应对温度计水银柱露出塞外部分进行校正。温度计水银柱露出塞外部分的校正值按式 (2-7) 计算:

$$\Delta t = 0.00016A (t_1 - t_2) \quad (2-7)$$

式中 Δt ——温度计水银柱露出塞外部分的校正值, ℃;

A ——温度计露出塞外部分的水银柱度数, ℃;

t_1 ——观测温度, ℃;

t_2 ——附若于 $\frac{1}{2}A$ 处的辅助温度计温度, ℃。

再按 3. 所得校正后的温度加上此校正值, 即得到该样品的沸点温度。

四、密度的测定 (比重瓶法)^①

本方法适用于液体化学试剂密度的测定。

在本方法中, 物质的密度系指在 20℃ 时单位体积物质的质量。密度用 ρ 表示, 其单位为 $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 。

(一) 仪器

(1) 分析天平 感量为 0.1mg。

(2) 密度瓶 (比重瓶) 容积为 (15~25) ml, 温度计分度值为 0.2℃ (见图 2-31)。

(3) 恒温水浴 温度可控制在 $(20.0 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ 。

(二) 操作步骤

① 参考中华人民共和国国家标准 GB 616—89《密度测定通用方法》北京: 中国标准出版社, 1988。

将密度瓶洗净并干燥,带温度计及侧孔罩称量。然后取下温度计及侧孔罩,用新煮沸并冷却至15℃左右的蒸馏水充满密度瓶,不得带入气泡,插入温度计,将密度瓶置于(20.0±0.1)℃的恒温水浴中,至密度瓶温度计达到20℃,并使侧管中的液面与侧管管口齐平,立即盖上课孔罩,取出密度瓶,用滤纸擦干其外壁上的水,立即称量。

将密度瓶中的水倒出,洗净并使之干燥,带温度计及侧孔罩称量。然后用样品代替水重复上述的操作。

(三) 结果的表示

样品在20℃时的密度按式(2-8)计算:

$$\rho = \frac{m_1 + A}{m_2 + A} \times \rho_0 \quad (2-8)$$

$$A = \rho_0 \times \frac{m_2}{0.9970} \quad (2-9)$$

式中 ρ ——样品在20℃时的密度, $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$;

m_1 ——20℃时充满密度瓶所需样品的表观质量, g;

m_2 ——20℃时充满密度瓶所需蒸馏水的表观质量, g;

ρ_0 ——20.0℃时蒸馏水的密度 ($= 0.99820 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$);

A ——空气浮力校正值;

ρ_a ——干燥空气在20℃, 1013.25hPa^①时的密度值 ($\approx 0.0012 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ^②)。

五、密度的测定 (韦氏天平法)^③

本方法适用于液体化学试剂密度的测定。

在本方法中,物质的密度系指在20℃时单位体积物质的质量。密度用 ρ 表示,其单位为 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

(一) 仪器

- (1) 韦氏天平 浮锤内温度计分度值为0.1℃。
- (2) 恒温水浴 温度可控制在(20.0±0.1)℃。

(二) 操作步骤

(1) 如图2-32所示安装韦氏天平,将浮锤用细铂丝悬于天平横梁末端,并调整底座上的螺丝,使横梁与支架的指针尖相互对正。

(2) 将浮锤全部浸入盛有经煮沸并冷却至约20℃左右蒸馏水的玻璃筒中,不得带入气泡。

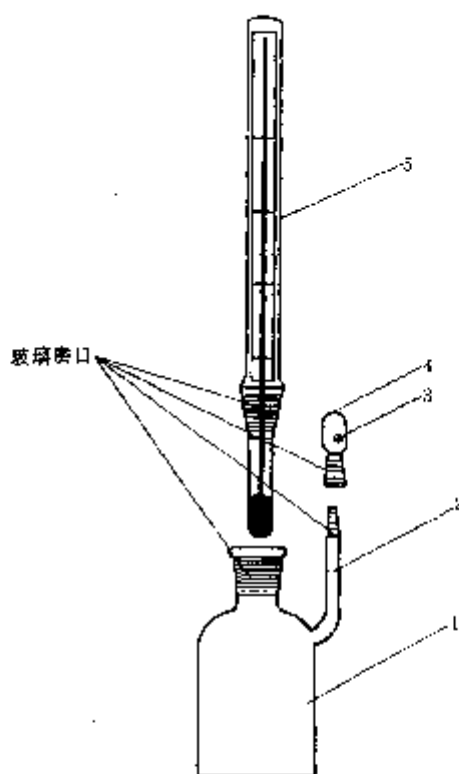


图 2-31 密度瓶 (比重瓶)

1—密度瓶主体; 2—侧管; 3—瓶孔; 4—侧孔罩;
5—温度计

① hPa (Torr)。

② 该值随气压条件略有变化,但这种变化一般对密度测定没有影响。

③ 参考中华人民共和国国家标准 GB511-88《密度测定通用方法》北京:中国标准出版社,1988。

玻璃筒置于恒温水浴中, 恒温至 $(20.0 \pm 0.1)^\circ\text{C}$, 调整天平骑码使指针重新对正, 记录读数。

(3) 将浮锤取出, 使其完全干燥, 在相同的温度下, 用样品代替水重复上述 (2) 的操作。

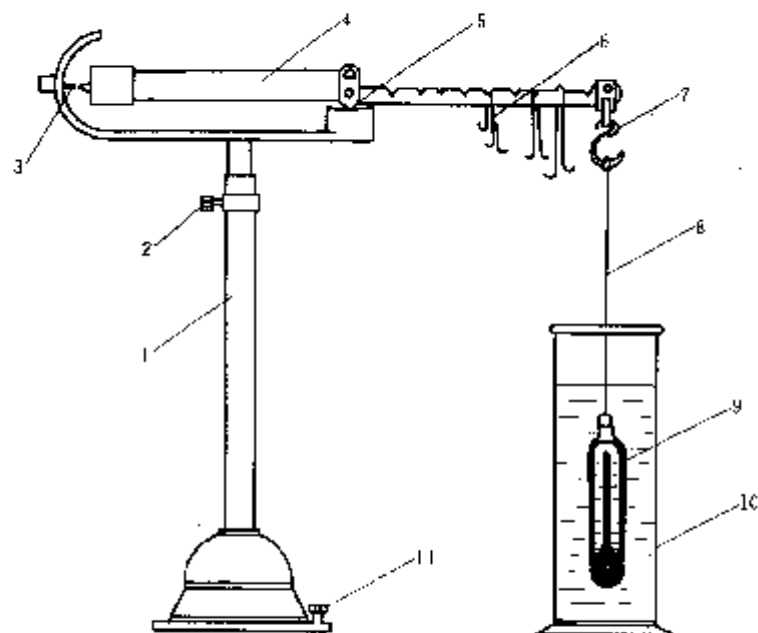


图 2-32 110 天平

1—支架; 2—调节器; 3—指针; 4—横梁; 5—刀口; 6—骑码;
7—小钩; 8—细铂丝; 9—浮锤; 10—玻璃筒; 11—调整螺丝

(三) 结果的表示

样品在 20°C 时的密度按下式 (2-10) 计算:

$$\rho = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \rho_0 \quad (2-10)$$

式中 ρ ——样品在 20°C 时的密度, $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$;

ρ_1 ——浮锤浸于水中时骑码的读数;

ρ_2 ——浮锤浸于样品中时骑码的读数;

ρ_0 —— 20.0°C 时蒸馏水的密度 ($= 0.99820 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$)。

六、凝固点的测定

(一) 仪器

(1) 干燥试管 长 150mm, 内径 20mm。

(2) 套管 长 130mm, 内径 40mm。

(3) 温度计 分度值为 0.1°C 。

(4) 冷却浴 盛有适当的冷却液。

(二) 装置

测定装置图见图 2-33。

(三) 测定方法

称取 (15~20) g 固体样品或量取 15ml 液体样品, 置于干燥试管中。固体样品于超过其熔点的热浴内, 将其熔化, 并加热至高于其凝固点约 10℃, 将温度计插入试管中, 使其不接触试管壁及底, 然后将试管放入低于凝固点 (5~7)℃ 的冷却浴中, 俟样品冷却至低于凝固点 (3~5)℃ 时, 迅速移入事先浸在上述冷却浴的套管中, 搅动样品, 此时液体仍然在过冷状态, 温度甚至还下降。到过冷液体开始凝固时, 温度突然上升而稳定在一定温度, 只要固相和液相同时存在, 温度就稳定在这个数值。此温度即为样品的凝固点。有的样品过冷状态不易破坏, 可在过冷液中加入少量晶种 (用纯品)。

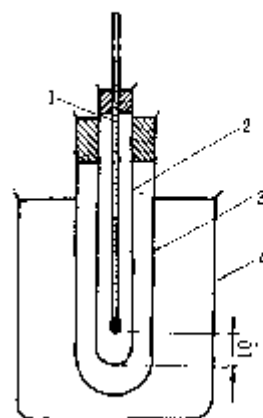


图 2-33 凝固点测定装置

1—温度计; 2—干燥试管; 3—套管; 4—冷却浴

七、结晶点的测定^①

本方法适用于结晶点在 -7℃~70℃ 范围内的有机试剂结晶点的测定。

本方法中, 物质的结晶点系指液体在冷却过程中由液态变为固态时的相变温度。

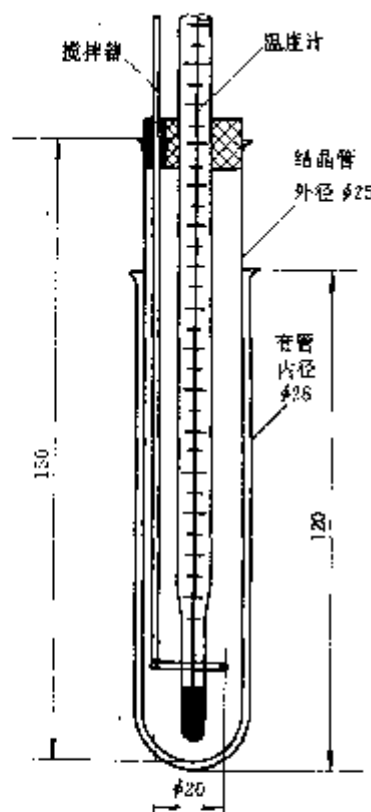


图 2-34 测定结晶点的装置

(一) 仪器

- (1) 结晶管 外径约 25mm, 长约 150mm。
- (2) 套管 内径约 28mm, 长约 120mm, 壁厚 2mm。
- (3) 冷却浴 容积约 500ml 的烧杯, 盛有合适的冷却液 (水、冰水或冰盐水), 并带普通温度计。
- (4) 温度计 分度值为 0.1℃。
- (5) 搅拌器 用玻璃或不锈钢绕成直径约 20mm 的环。

(6) 热浴 容积合适的烧杯, 放在电炉上, 用调压器控温, 并带普通温度计。

(二) 操作步骤

测定装置如图 2-34 所示。加样品于干燥的结晶管中, 使样品在管中的高度约为 60mm (固体样品应适当大于 60mm), 样品若为固体, 应在温度超过其熔点的热浴内将其熔化, 并加热至高于结晶点约 10℃。插入搅拌器装好温度计, 使水银球至管底的距离约为 15mm, 勿使温度计接触管壁。装好套管, 并将结晶管连同套管一起置于温度低于样品结晶点 (5~7)℃ 的冷却浴中, 当样品冷却至低于结晶点 (3~5)℃ 时开始搅拌并观察温度。出现结晶时, 停止搅拌, 这时温度突然上升, 读取最高温度, 准确至 0.1℃, 并进行温度计刻度误差校正, 所得温度即为样品的结晶点。

如果某些样品在一般冷却条件下不易结晶, 可另取少量样品, 在较低温度下使之结晶, 取

① 参考中华人民共和国国家标准 GB638—88《结晶点测定通用方法》, 北京: 中国标准出版社, 1988。

少许作为品种加入样品中,即可测出其结晶点。

八、色度的测定^①

色度的测定可使用比较器、比色计、分光光度计等进行测定,本方法采用目视比色法测定。

本方法适用于色调接近铂-钴标准液前、澄清透明、浅色液体试剂色度的测定,不适用于易碳化物质的测定。色度的单位为黑曾,1黑曾单位系指每升含有1mg以氯铂酸(H_2PtCl_6)形式存在的铂、2mg氯化钴($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)的铂-钴溶液的色度。

(一) 色度标准液的制备

1. 500黑曾单位铂-钴标准溶液 准确称取2.000g氯化钴、2.491g氯铂酸钾,溶于200ml盐酸和适量水中,稀释至2000ml,摇匀。500黑曾单位铂-钴标准溶液应在暗处密封保存,有效期为6个月。

2. 稀铂-钴标准溶液 吸取不同体积的500黑曾单位铂-钴标准溶液,稀释至100ml,可得不同黑曾单位的稀铂-钴标准溶液。计算公式如下:

$$V = \frac{N \times 100}{500} \quad (2-11)$$

式中 V ——配制100ml N 黑曾单位的铂-钴标准溶液所需500黑曾单位铂-钴标准溶液之体积,ml;

N ——欲配制的稀铂-钴标准溶液的黑曾单位数。

稀铂-钴标准溶液应在使用前配制。

(二) 操作步骤

将待测样品注入比色管中,在白色背景下,沿比色管轴线方向用目测法与规定黑曾单位的同体积铂-钴标准溶液比较。

九、粘度的测定

粘度为流体内部阻碍其相对流动的一特性。一般有绝对粘度(又称动力学粘度)和运动粘度(又称运动学粘度)等。

绝对粘度指流体以每秒钟流动1cm时,在每平方厘米上需要切向力的大小。

运动粘度指流体相对密度除该流体的绝对粘度得到的商数。

粘度大小随温度变化,温度愈高,粘度愈小,测定粘度则应注意温度,纯水在20℃时的绝对粘度为 $1.0 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ (0.01P)。

测定粘度的方法很多,此处选用两种常用方法。

(一) 石油产品恩氏粘度测定法^②

本方法适用于测定石油产品的恩氏粘度。

恩氏粘度是试样在某温度从恩氏粘度计流出200ml所需的时间与蒸馏水在20℃流出相同体积所需的时间(s)(即粘度计的水值)之比。在试验过程中,试样流出应成为连续的线状。温度 t 时的恩氏粘度,用符号 E_t 表示,恩氏粘度的单位为条件度,用符号 $^\circ\text{E}$ 代表。

① 参考中华人民共和国国家标准 GB605—88《色度测定通用方法》,北京:中国标准出版社,1988。

② 参考中华人民共和国国家标准 GB266—88《石油产品恩氏粘度测定法》,北京:中国标准出版社,1988。

1. 仪器与材料

(1) 恩氏粘度计 见图 2-35 (图中长度单位为 mm, 下同); 包括装试样的容器, 堵塞流出管用的木塞, 金属三脚架。盛试样的内容器 10 是装在水浴或油浴用的外容器 12 中。这两个容器都用黄铜制造。内容器的底部 8 制成球面形, 内表面要经过抛光并镀金。内容器设有黄铜制的中空凸形盖, 盖上带有两个孔口 1 及 11, 供插入木塞和温度计使用。木塞 2 (图 2-35 (b)) 是用来堵塞仪器的流出孔 6。在内容器中, 从底部起以等距离在器壁上安装有三个向上弯成直角的小尖钉 7, 作为控制油面高度和仪器水平的指示器。在外容器中设有搅拌器 3 和温度计, 此温度计利用外容器壁上的夹子来固定。内容器要用 3 根支持杆及流出管固定在外容器中。流出管要利用通过盖中心孔的木塞堵着。这木塞是用硬木 (黄杨木及其他) 制成, 其规格见图 2-35 (b)。用来放置仪器的铁三脚架 9, 是由一圆圈和三条长脚所组成, 其中两条脚要设有水平调节螺钉 5。恩氏粘度计的主要尺寸见表 2-22 所示。

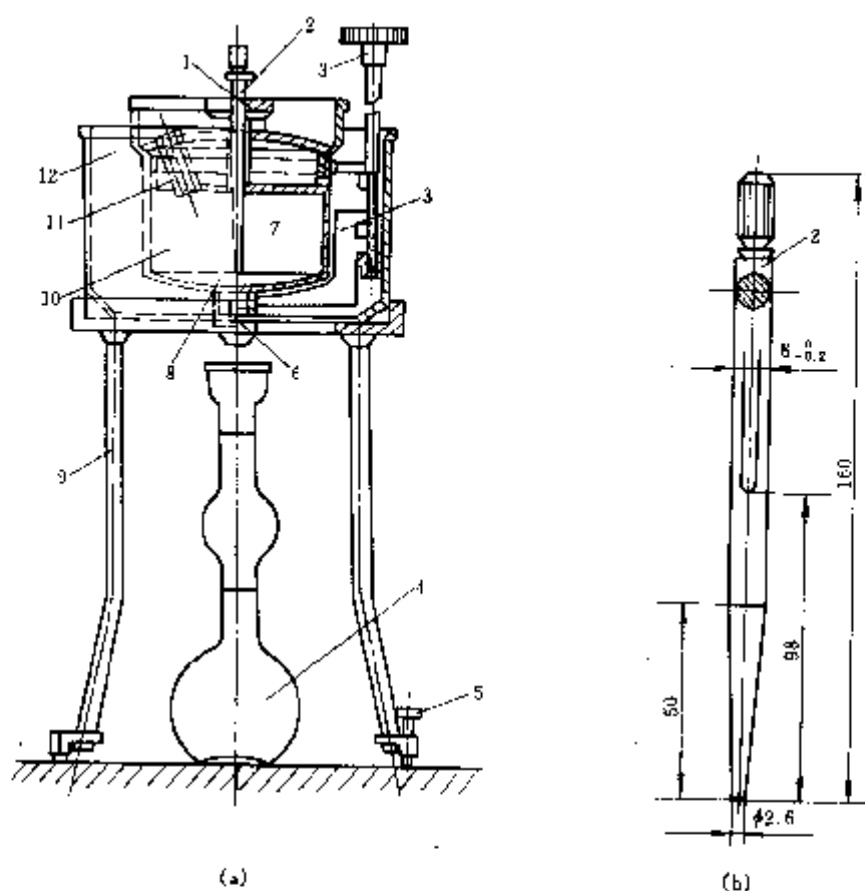


图 2-35 恩氏粘度计

- 1—木塞插孔; 2—木塞; 3—搅拌器; 4—接受瓶; 5—水平调节螺钉;
6—流出孔; 7—小尖钉; 8—球面形底; 9—铁三脚架; 10—内容器;
11—温度计插孔; 12—外容器

表 2-22 恩氏粘度计的主要部位尺寸 (mm)

零 件 名 称	尺 寸	公 差
内容器		
内径	106.0	± 1.00
腹部至扩大部分之间的高度	73.0	± 1.00
底部突出部分的深度	7.0	± 0.10
扩大部分的内径	115.0	± 1.00
扩大部分的高度	33.0	± 2.00
从打尖的水平面至流出管下边缘的距离	52.0	± 0.10
流出管		
总长	20.0	± 0.10
突出部分的长度	3.0	± 0.30
在平底水平面处的内径	2.9	± 0.02
下方末端的内径	2.8	± 0.02

每件恩氏粘度计应在外容器的表面上注明粘度计名称及生产工厂的厂号或厂标, 并注明粘度计的编号。恩氏粘度计的水值, 每 4 个月至少校正 1 次。

(2) 温度计 共两支, 符合 GB 514 中恩氏粘度用温度计要求。

(3) 恩氏粘度计用的接受瓶 接受瓶有两种 (图 2-36), 其一瓶颈刻线为 100ml; 另一为宽口而带有两道刻线的接受瓶, 这两道刻线应表示 100ml 和 200ml。每种接受瓶的最高刻线至瓶口的容量不小于 60ml。接受瓶的刻线必须在 20℃ 时刻划。刻线的位置应在瓶颈细狭部分的中间。瓶颈的内径是 (18 ± 2) mm。

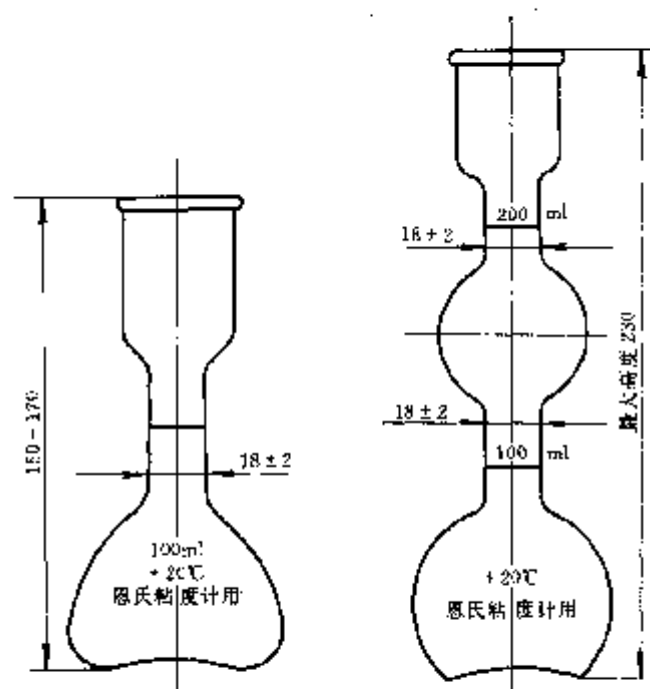


图 2-36 恩氏粘度接受瓶

每只接受瓶刻上“100ml”或“200ml”, “+ 20℃”, “恩氏粘度计用”等字样。

(4) 电加热装置。

(5) 吸量管: 5ml。

(6) 秒表: 分度值为 0.2s。

(7) 润滑油: 50℃运动粘度为 $(20 \sim 60) \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 开口杯法闪点不低于 180℃。

(8) 溶剂油: 符合 GB 1922 中 NY-120 规格。

2. 试剂

(1) 石油醚: (30~60)℃, 化学纯; 或乙醚: 化学纯。

(2) 95%乙醇: 化学纯。

3. 准备工作

(1) 测定粘度计的水值 恩氏粘度计的水值, 是蒸馏水在 20℃时从粘度计流出 200ml 所需的时间 (s)。在测定水值前, 粘度计的内容器要依次用石油醚 (或乙醚), 95%乙醇和蒸馏水洗涤, 并用空气吹干。然后将粘度计的短腿放入铁三脚架的孔内, 用固定螺钉固定。此时, 将洁净、干燥的木塞插入流出管的上孔内。利用预先依次用铬酸洗液、水和蒸馏水仔细洗涤过的接受瓶, 将新蒸馏的蒸馏水 (20℃) 注入粘度计内容器中, 直至内容器中的三个尖钉的尖端刚刚露出水面为止。此外, 又用相同温度的水装在粘度计的外容器中, 直至受到内容器的扩大部分为止。旋转铁三脚架的调整螺钉, 调整粘度计的位置, 使内容器中三个尖钉的尖端都处在同一水平面上。将未经干燥的空接受瓶放在内容器的流出管下面, 稍微提起木塞, 使内容器中的水全部放入接受瓶内, 但这次不计算水的流出时间。此时流出管内要装满水, 并使流出管的底端悬着一大滴水珠。立即将木塞插入流出管内, 重新将接受瓶中的水沿玻璃棒小心地注入内容器中, 切勿溅出。随后, 将空接受瓶放在内容器上倒置 (1~2) min, 使瓶中的水完全流出, 然后将接受瓶放回流出管下面。

内容器中的水和外容器中的液体都要充分搅拌: 首先将插有温度计的盖围绕木塞旋转以便搅拌水; 然后用安装在外容器中的叶片式搅拌器搅拌保温液体。当两个容器中的水和液体温度等于 20℃ (在 5min 内温度差数不超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$), 而且内容器调整为水平状态 (三个尖钉的尖端刚好露出水面) 时, 迅速提起木塞 (应能自动卡住并保持提起的状态, 不允许拔出木塞), 同时开动秒表。此时, 观察水从内容器流出的情况, 当凹液面的下边缘到接受瓶的 200ml 环状标线时, 立即停住秒表。

蒸馏水流出 200ml 的时间要连续测定 4 次。如果各次测定观察结果与其算术平均值的差数不大于 0.5s, 就用这个算术平均值作为第一次测定的平均流出时间。此外, 以同样要求进行另一次平行测定, 并计算符合要求的平均流出时间。如果重复测定的平均流出时间之差数不大于 0.5s, 就取这重复测定的两次结果的算术平均值作为仪器的水值, 其符号为 K_{20} 。

标准粘度计的水值应等于 $(51 \pm 1) \text{ s}$ 。如果水值不在此范围内就不允许使用该仪器测定粘度。

(2) 准备试样 测定粘度前, 用每一平方厘米有至少 576 个孔眼的金属滤网过滤试样。如果试样中含水, 应加入新煅烧并冷却的食盐、硫酸钠或粒状的无水氯化钙进行摇动, 经过静置沉降后才用滤网过滤。

注: 试样中含有不易消失的气泡时, 允许在试样瓶的接真空泵减压 10min 来除去。

4. 试验步骤

(1) 每次测定粘度前, 用滤过的清洁溶剂油仔细洗涤粘度计的内容器及其流出管, 然后用空气吹干。内容器不准擦拭, 只允许用剪齐边缘的滤纸吸去剩下的液滴。

(2) 测定试样在规定温度的粘度时, 先将木塞严密塞住粘度计的流出孔 (但不可过分用

力压着木塞,以免木塞很快磨坏);然后将预先加热到稍高于规定温度的试样(按3准备)注入内容器中,这时试样中不应产生气泡。注入的油面必须稍高于尖钉的尖端。

向粘度计的外容器注入水(测定温度在80℃以下时)或润滑油(测定温度在80~100℃时)该液体应预先加热到稍高于规定温度。为了使试样的温度在试验过程中能保持恒定并能符合规定温度,应使内容器中的试样温度恰好达到规定的温度,此时保持5min,内容器中试样温度应恒定到 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。然后记下外容器中液体的温度。在试验过程中要保持外容器的液体温度恒定到 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ (可以用搅拌器搅拌外容器中的液体,必要时可以用电加热装置稍微加热外容器)。

稍微提起木塞,使多余的试样流下,直至三个尖钉的尖端刚好露出油面为止。如果流出的试样过多,就逐滴补添试样直至尖钉的尖端,但油中不要留有气泡。

粘度计加上盖之后,在流出孔下面放置洁净、干燥的接受瓶。然后绕着木塞小心地旋转插有温度计的盖,利用温度计搅拌试样。

试样中的温度计恰好达到规定温度时,再保持5min(但不进行搅拌),就迅速提起木塞,同时开动秒表。木塞提起的位置应保持与测定水值时相同(也不允许拔出木塞)。当接受瓶中的试样正好达到200ml的标线时(泡沫不予计算),立即停住秒表,并读取试样的流出时间,准确至0.2s。

注:①仲裁试验时,每次重复试验前都要按4.(1)清洗仪器,并向内容器注入1份未经试验的试样;
②燃料油重复测定的两次结果超出精密度的要求时,进行第三次测定前必须按4.(1)清洗仪器,并向内容器注入1份未经试验的试样。

5. 计算 试样在温度 t 时的恩氏粘度 E_t ,其单位为条件度(°E),按下式计算:

$$E_t = \frac{\tau_t}{K_{20}} \quad (2-12)$$

式中 τ_t ——试样在试验温度 t 时从粘度计中流出200ml所需的时间,s;

K_{20} ——粘度计的水值,s。

例:粘度计的水值 $K_{20} = 51.1\text{s}$ 。设燃料油在80℃时从粘度计流出200ml的时间为 $\tau_{80} = 172.8\text{s}$ 。

该燃料油在80℃时的恩氏粘度测定结果为

$$E_{80} = \frac{\tau_{80}}{K_{20}} = \frac{172.8}{51.1} \approx 9.2 \text{ 条件度 (°E)}$$

6. 精密度 重复性,同一操作者重复测定两个流出时间之差不应大于下列数值:

流出时间, s	重复性, s	流出时间, s	重复性, s
≤ 250	1	501 ~ 1 000	5
251 ~ 500	3	$> 1 000$	10

7. 报告 取重复测定两个结果的算术平均值,作为试样的恩氏粘度。

(二) 毛细管粘度计测定法

1. 仪器、试剂与材料

(1) 测定所需仪器

①毛细管粘度计一组,毛细管内径分别为0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0(图2-37a),5.0mm和6.0mm(2-37b)。

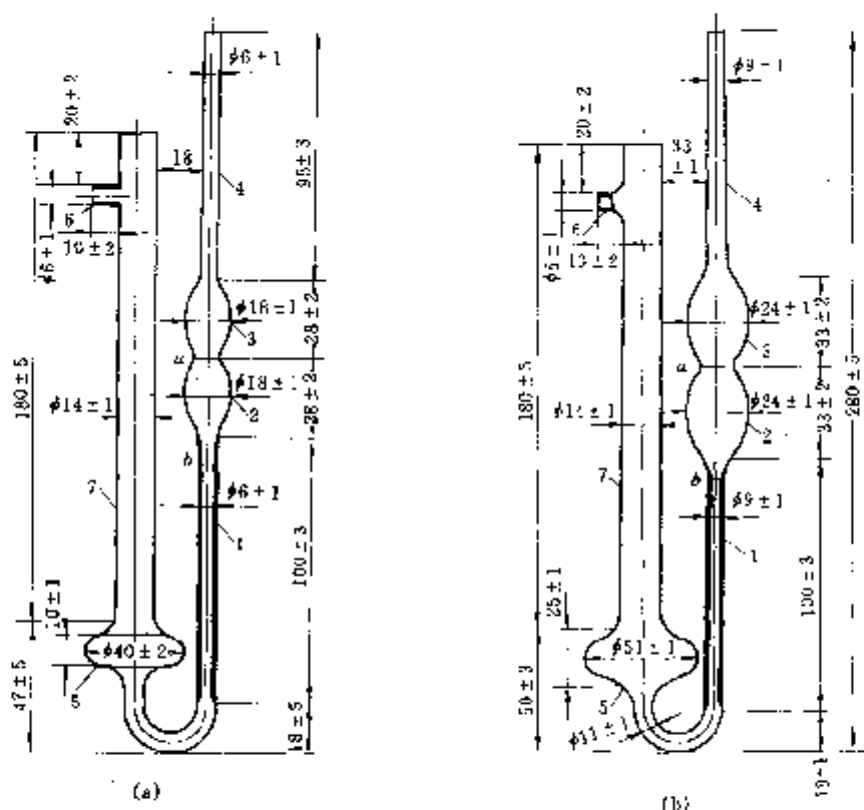


图 2-37 毛细管粘度计

(a) 4mm 毛细管粘度计; (b) 5mm 毛细管粘度计

1 毛细管; 2, 3, 5 扩张部分; 4, 7 管身; 6 支管; a, b 标线

每支粘度计必须有粘度计常数。测定油品的运动粘度时, 应根据试验的温度选用适当的粘度计, 务使油品试样的流动时间能在 (300 ± 180) s 范围内。在低于 0°C 试验高粘度的润滑油时, 可以让油的流动时间增加到 900s, 在 20°C 试验液体燃料时, 可以让流动时间减少到 60s。

②带有透明壁或装有观察孔的恒温浴, 其高度不小于 150mm, 容积不小于 2L, 并且除设有自动搅拌装置和一种能够准确地调节温度的电热装置。但缺乏恒温浴时, 可以使用与恒温浴大小相当的烧杯。在 0°C 和低于 0°C 测定运动粘度时, 使用筒形开有对称视窗的透明保温瓶, 其尺寸与前述透明恒温浴相同, 并设有搅拌装置。根据测定的条件, 要在恒温浴中注入如表 2-23 中列举的任一液体。

③玻璃水银温度计分度为 0.1°C 。测定 -30°C 以下温度的粘度时可以使用同样分度的玻璃合金温度计或其他玻璃液体温度计。

④秒表分度为 0.1s。这个秒表专供测定粘度使用, 不应作他用。

用来测定运动粘度的秒表, 毛细管粘度计, 温度计, 都必须定期进行检定。

(2) 测定所需用试剂

①洗涤用轻汽油或橡胶溶剂油; ②石油醚 ($60^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$); ③乙醇; ④铬酸洗液; ⑤蒸馏水。

表 2-23 不同温度下使用的恒温浴液体

测定的温度 $t/^\circ\text{C}$	恒 温 的 液 体
50~100	透明矿物油 ^① 、甘油或 25%硝酸铈水溶液（这溶液的上面要浮着一层透明的矿物油）
20~40	水
0~-20	水与冰的混合物，或乙醇与干冰（固体二氧化碳）的混合物
0~-50	乙醇与干冰的混合物，在无乙醇的情况下，可用汽油代替

① 恒温浴中的矿物油最好加有抗氧化添加剂，防止氧化。

2. 准备工作

(1) 油品试样含有水或机械杂质时，在试验前必须经过脱水处理，用滤纸过滤除去机械杂质。

对于粘度大的润滑油，可以在漏斗上利用水流泵或其他真空泵进行吸滤，也可以在加热至 $50^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 的温度下进行脱水过滤。

(2) 在测定油品的粘度之前，必须将粘度计用汽油或石油醚洗净。如果粘度计沾有污垢，就用铬酸洗液、水、蒸馏水或乙醇依次洗涤。然后放入烘箱中烘干或用通过棉花滤过的热空气吹干。

(3) 测定运动粘度时，在内径符合要求的清洁干燥的毛细管粘度计内装入油品试样。装油之前，将橡皮管套在支管 6 上，并用手指堵住管身 7 的管口，同时倒置粘度计，然后将管身 4 插入装着油品试样的容器中；这时利用橡皮球、水流泵或其他真空泵将液体吸到标线 b，同时注意不要使管身 4、扩张部分 2 和 3 中的液体发生气泡或裂隙。当液面达到标线 b 时，就从容器里提起粘度计，并迅速恢复其正常状态，同时将管身 4 的管端外壁所沾着的多余试样擦去，并从支管 6 取下橡皮管套在管身 4 上。

(4) 将装有油品试样的粘度计浸入事先准备妥当的恒温浴中，并用夹子将粘度计固定在支架上，在固定位置时，必须把毛细管粘度计的扩张部分 3 浸入一半。

温度计要利用另一只夹子来固定，务使水银球的位置，接近毛细管 1 中央点的水平面，并使温度计上主要测温的刻度位于恒温浴的液面上 10mm 处。

使用全浸式温度计时，如果它的测温刻度露出恒温浴的液面，就依照下式计算温度计液柱露出部分的修正数 Δt ，才能准确地量出液体的温度。

$$\Delta t = Kh(t_1 - t_2) \quad (2-13)$$

式中 K ——常数，水银温度计采用 $K=0.00016$ ，酒精温度计采用 $K=0.001$ ；

h ——露出在浴面上的水银柱或酒精柱高度用温度计的度数表示；

t_1 ——测定粘度时的规定温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_2 ——接近温度计液柱露出部分的空气温度， $^\circ\text{C}$ （用另一支温度计测出）。

试验时取 t_1 减去 Δt 作为温度计上的温度读数。

3. 试验步骤

(1) 将粘度计调整成为垂直状态，要利用铅垂线从两个相互垂直的方向去检查毛细管 1 的垂直情况。

将恒温浴调整到规定的温度，把装好油试样的粘度计浸在恒温浴内，需恒温的时间如下页表所示。

试验的温度必须保持恒定到 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

(2) 利用毛细管粘度计管身 4 所套着的橡皮管将油品试样吸入扩张部分 2，使油面稍高于

标线 a ，并且注意不要让毛细管和扩张部分 2 中的液体产生气泡或裂隙。

(3) 此时观察试样在管身 4 中的流动情况，液面正好到达标线 a 时，开动秒表，液面正好流到标线 b 时，停止秒表。

试样的液面在扩张部分 2 中流动时，注意恒温浴中正在搅拌的液体要保持恒定温度，而且扩张部分中不应出现气泡。

(4) 用秒表记录下来的流动时间，应重复测定至少四次，其中各次流动时间与其算术平均值的差数应符合如下的要求，在温度 $-10^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 测定粘度时，这个差数不应超过算术平均值的 $\pm 0.5\%$ ；在温度于 $-10^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 测定粘度时，这个差数不应超过算术平均值的 $\pm 1.5\%$ ，在低于 -30°C 温度测定粘度时，这个差数不应超过算术平均值的 $\pm 2.5\%$ 。

然后，取不少于三次的流动时间所得的算术平均值，作为试样的平均流动时间。

4. 计算 在温度 t 时，试样的运动粘度 ν_t ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) 按下式计算，

$$\nu_t = C \tau_t \quad (2-14)$$

式中 C — 粘度计常数， $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ；

τ_t — 试样的平均流动时间， s 。

例：粘度计常数为 $4.78 \times 10^{-5} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ，试样在 50°C 时的流动时间为 318.0, 322.4, 322.6, 321.0s，因此流动时间的算术平均值为：

$$\tau_{50} = \frac{318.0 + 322.4 + 322.6 + 321.0}{4} = 321.0 \text{s}$$

各次流动时间与平均流动时间的允许差数等于：

$$\frac{321.0 \times 0.5}{100} = 1.6 \text{s}$$

因为 318.0s 与平均流动时间之差，已超过 1.6s (0.5%)，所以这个读数应弃去，计算平均流动时间时，只采用 322.4, 322.6, 321.0s 的观测读数，它们与算术平均值之差，都没有超过 1.6s (0.5%)。

于是平均流动时间为： $\tau_{50} = \frac{322.4 + 322.6 + 321.0}{3} = 322.0 \text{s}$

试样运动粘度的测定结果为：

$$\nu_{50} = C \tau_{50} = 4.78 \times 10^{-5} \times 322 = 1.54 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

5. 精确度

(1) 用上述步骤测定油品的运动粘度时，在每一试验温度应进行两次测定，在两次测定中，每次测定结果与算术平均值的差数不应超过下列规定范围：

测定粘度的温度， $^{\circ}\text{C}$	$100 \sim -10$	$-10 \sim -30$	低于 -30
允许差数不超过算术平均值的，%	± 0.5	± 1.5	± 2.5

(2) 用符合上述要求的平行测定的两个结果的算术平均值，作为待测油品的运动粘度。

十、比旋光度的测定^①

本方法采用旋光仪测定化学试剂比旋光度的方法，适用于液体有机试剂及溶液的比旋光

① 参考中华人民共和国国家标准 GB635—88《比旋光度测定通用方法》北京：中国标准出版社，1988。

度的测定。

样品的旋光度指从起偏镜透射出的偏振光经过样品时,由于样品物质的旋光作用,使其振动方向改变了一定的角度 α ,将检偏器旋转一定角度,使透过的光强与入射光强相等时旋动的度数。符号用 α 表示,单位为 $(^{\circ})$ (度)。

液体的比旋光度系指在液层长度为1dm,密度为 $1\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$,温度为 20°C 及用钠光谱D线波长测定时的旋光度。符号用 $[\alpha]_D^{20}$ 表示,单位为 $(^{\circ})$ (度)。

溶液的比旋光度系指在液层长度为1dm,浓度为 $1\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$,温度为 20°C 及用钠光谱D线波长测定时的旋光度。符号用 $[\alpha]_D^{20}$ 表示,单位为 $(^{\circ})$ (度)。

(一) 仪器

(1) 旋光仪 可读准至 0.01° 。

(2) 旋光管 其长度的测量精度为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

(二) 操作步骤

按产品标准的规定取样并配制溶液。

按仪器说明书的规定调整旋光仪,待仪器稳定后,用纯溶剂校准旋光仪的零点。

将待测液体或溶液充满洁净、干燥的旋光管,小心地排出气泡,将盖旋紧后放入旋光仪内,在 $(20\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 的条件下,按仪器说明书的规定进行操作并读取旋光度,准确至 0.01° ,左旋以负号表示,右旋以正号表示。

(三) 结果的表示

液体的比旋光度按式(2—15)计算:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha}{l \cdot \rho} \quad (2-15)$$

溶液的比旋光度按式(2—16)计算:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha}{l \cdot c} \quad (2-16)$$

式中 $[\alpha]_D^{20}$ — 20°C 时,用钠光谱D线波长测定时的比旋光度, $(^{\circ})$;

α —测得的旋光度, $(^{\circ})$;

l —旋光管的长度,dm;

ρ —液体在 20°C 时的密度, $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$;

c —溶液中有效组分的浓度, $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 。

十一、折光率的测定^①

本方法采用阿贝型折光仪测定液体有机试剂折光率的通用方法,适用于浅色、透明、折光率范围在13.000~17.000的液体有机试剂。

折光率系指在钠光谱D线、 20°C 的条件下,空气中的光速与被测物中的光速之比值;或光自空气通过被测物时的入射角的正弦与折射角的正弦之比值。符号用 n_D^{20} 表示。

(一) 仪器

(1) 折光仪 阿贝型,精密度为 ± 0.0002 。

(2) 恒温水浴及循环泵 可向被镜提供温度为 $(20.0\pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ 的循环水。

① 参考中华人民共和国国家标准 GB614—88《折光率测定通用方法》北京,中国标准出版社,1988。

(二) 操作步骤

将恒温水浴与棱镜连接, 调节恒温水浴温度, 使棱镜温度保持在 $20.0^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

用二级水或标准玻璃块校正折光仪, 校正方法及标准玻璃块的折光率由仪器说明书给出。二级水的折光率 $n_D^{20} = 1.3330$ 。

在每次测定前都应清洗棱镜表面。如无特殊说明, 可用适当的易挥发性溶剂清洗棱镜表面, 再用镜头纸或医药棉将溶剂吸干。

用滴管向棱镜表面滴加数滴 20°C 左右的样品, 立即闭合棱镜并旋紧, 应使样品均匀、无气泡并充满视场, 待棱镜温度计读数恢复到 $20.0^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

调节反光镜使视场明亮。调节棱镜组旋钮, 使视场中出现明暗界线, 调节补偿棱镜旋钮, 使界线处所呈彩色完全消失, 再调节棱镜组旋钮, 使明暗界线与叉丝中心重合。

读出折光率值, 估读至小数点后第四位。

十二、软化点的测定^①

本方法适用于测定石油沥青的软化点。

石油沥青的软化点是试样在测定条件下, 因受热而下坠达 25.4mm 时的温度, 以 $^{\circ}\text{C}$ 表示。

(一) 仪器与材料

1. 仪器

(1) 沥青软化点测定器

①钢球: 直径为 9.53mm , 重量为 $(3.50 \pm 0.05)\text{g}$ 的钢制圆球。

②试样环: 用黄铜制成的锥环或肩环, 其形状及尺寸要求见图 2-38, 图中长度单位为 mm , 下同。

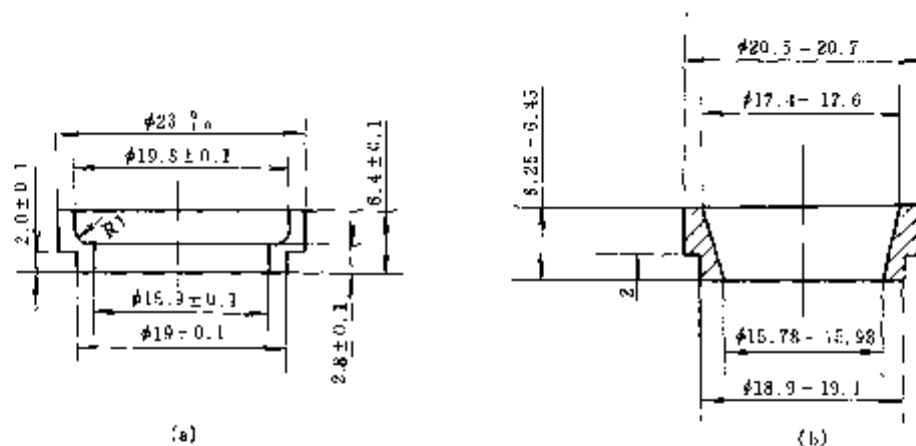


图 2-38 沥青软化点试样环

(a) 黄铜肩环; (b) 黄铜锥环

③钢球定位器: 用黄铜制成, 能使钢球定位于试样环中央。通常推荐的一种钢球定位器的形式及尺寸见图 2-39。

① 参考中华人民共和国国家标准 GB4507-84《石油沥青软化点的测定法》(北京: 中国标准出版社, 1984)。

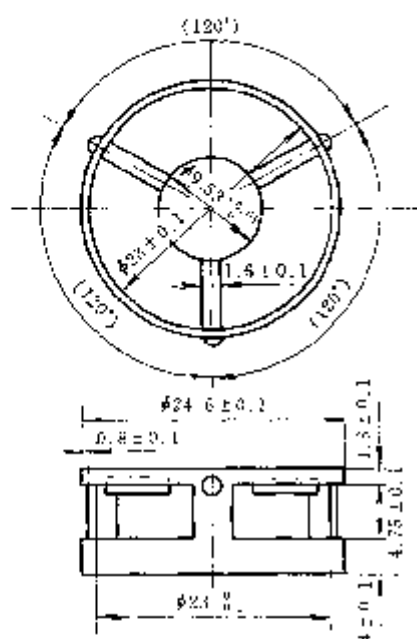


图 2-10 钢球定位器

④支架：由上、中及下承板和定位套组成。环可以水平地安放于中承板上的圆孔中，环的下边缘距下承板应为 25.4mm，其距离由定位套保证。三块板用长螺栓固定在一起。

⑤温度计：应符合 GB 514—83《石油产品试验用液体温度计技术条件》中沥青软化点专用温度计的规格技术要求。

(2) 电炉及其他加热器。

(3) 金属板（一面必须抛光至光洁度 $\nabla 8$ ）或玻璃板。

(4) 刀：切沥青专用。

(5) 筛：筛孔为 $(0.3 \sim 0.5)$ mm 的金属网。

2. 材料

(1) 甘油-滑石粉隔离剂（甘油 2 份，滑石粉 1 份，以重量计）。

(2) 新煮沸过的蒸馏水。

(3) 甘油。

(二) 准备工作

(1) 将黄铜环置于涂有隔离剂的金属板或玻璃板上。

(2) 将预先脱水的试样加热熔化，不断搅拌，以防止局部过热，加热温度不得高于试样估计软化点 100°C ，加热时间不超过 30min。用筛过滤。将试样注入黄铜环内至略高出环面为止，若估计软化点在 120°C 以上时，应将黄铜环与金属板预热至 $(50 \sim 100)^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 试样在 $(15 \sim 30)^{\circ}\text{C}$ 的空气中冷却 30min 后，用热刀刮去高出环面的试样，使与环面齐平。

(4) 估计软化点不高于 80°C 的试样，将盛有试样的黄铜环及板置于盛满水的保温槽内，水温保持在 $(5 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ ，恒温 15min。估计软化点高于 80°C 的试样，将盛有试样的黄铜环及板置于盛满甘油的保温槽内，甘油温度保持在 $(32 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ ，恒温 15min，或将盛试样的环水平地安放在环架中承板的孔内，然后放在盛有水或甘油的烧杯中，恒温 15min，温度要求同保温槽。

(5) 烧杯内注入新煮沸并冷却至 5°C 的蒸馏水（估计软化点不高于 80°C 的试样），或注入预先加热至约 32°C 的甘油（估计软化点高于 80°C 的试样），使水平或甘油面略低于环架底杆上的深度标记。

(三) 试验步骤

(1) 从水或甘油保温槽中取出盛有试样的黄铜环放置在环架中承板的圆孔中，并套上钢球定位器把整个环架放入烧杯内，调整水面或甘油液面至深度标记，环架上任何部分均不得有气泡。将温度计由上承板中心孔垂直插入，使水银球底部与铜环下面齐平。

(2) 将烧杯移放至有石棉网的三脚架上或电炉上，然后将钢球放在试样上（须使各环的平面在全部加热时间内完全处于水平状态）立即加热，使烧杯内水或甘油温度在 3min 后保持每分钟上升 $(5 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ ，在整个测定中如温度的上升速度超出此范围时，则试验应重做。

(3) 试样受热软化下坠至与下承板面接触时的温度即为试样的软化点。取平行测定两个结果的算术平均值作为测定结果。

(四) 精密度 (95%置信水平)

1. 重复性 重复测定两个结果间的差数不得大于下列规定:

软化点, $t/^{\circ}\text{C}$	<80	80~100	100~140
允许差数, $t/^{\circ}\text{C}$	1	2	3

2. 再现性 同一试样由两个试验室各自提供的试验结果之差不应超过 5.5°C 。

十三、闪点与燃点的测定

(一) 用开口杯测定闪点和燃点 (开口杯法)●

本方法适用于测定润滑油和深色石油产品。

油品试样在本标准的规定条件下加热到它的蒸汽与火焰接触发生闪火时的最低温度, 称为开口杯法闪点。

油品试样在本标准的规定条件下加热到能被接触的火焰点着并燃烧不少于 5s 时的最低温度, 称为开口杯法燃点。

1. 仪器与材料

(1) 仪器

①开口闪点测定器: 符合 SY 3609 要求。

②温度计: 符合 GB 514 要求。

③煤气灯、酒精喷灯或电炉 (测定闪点高于 200°C 试样时, 必须使用电炉)。

(2) 材料 溶剂油: 符合 GB 1922 中 NY-120 要求。

2. 准备工作

(1) 试样的水分大于 0.1% 时, 必须脱水。脱水处理是在试样中加入新煅烧并冷却的食盐、硫酸钠或无水氯化钙进行。

闪点低于 100°C 的试样脱水时不必加热; 其他试样允许加热至 $(50\sim 80)^{\circ}\text{C}$ 时用脱水剂脱水。

脱水后, 取试样的上层澄清部分供试验使用。

(2) 内坩埚用溶剂油洗涤后, 放在点燃的煤气灯上加热, 除去遗留的溶剂油。待内坩埚冷却至室温时, 放入装有细砂 (经过煅烧) 的外坩埚中, 使细砂表面距离内坩埚的口部边缘约 12mm, 并使内坩埚底部与外坩埚底部之间保持厚度为 $(5\sim 8)\text{mm}$ 的砂层。对闪点在 300°C 以上的试样进行测定时, 两只坩埚底部之间的砂层厚度允许酌量减薄, 但在试验时必须保持

3. (1)a. 规定的升温速度。

(3) 试样注入内坩埚时, 对于闪点在 210°C 和 210°C 以下的试样, 液面距离坩埚口部边缘为 12mm (即内坩埚内的上刻线处); 对于闪点在 210°C 以上的试样, 液面距离口部边缘为 18mm (即内坩埚内的下刻线处)。

试样向坩埚注入时, 不应溅出, 而且液面以上的坩埚壁不应沾有试样。

(4) 将装好试样的坩埚平稳地放置在支架上的铁环 (或电炉) 中, 并将温度计垂直地固定在温度计夹上, 并使温度计的水银球位于内坩埚中央, 与坩埚底和试样液面的距离大致相

● 参考中华人民共和国国家标准 GB 267—88《石油产品闪点与燃点测定法》北京: 中国标准出版社, 1988。

等。

(5) 测定装置应放在避风和较暗的地方并用防护屏围着,使闪点现象能够看得清楚。

3. 试验步骤

(1) 闪点

a. 加热坩埚,使试样逐渐升高温度,当试样温度达到预计闪点前 60℃时,调整加热速度,使试样温度达到闪点前 40℃时能控制升温速度为每分钟升高 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。

b. 试样温度达到预计闪点前 10℃时,将点火器的火焰放到距离试样液面 $(10 \sim 14)$ mm 处,并在该处水平面上沿着坩埚内径作直线移动,从坩埚的一边移至另一边所经过的时间为 2~3s。试样温度每升高 2℃应重复一次点火试验。

点火器的火焰长度,应预先调整为 $(3 \sim 4)$ mm。

c. 试样液面上方最初出现蓝色火焰时,立即从温度计读出温度作为闪点的测定结果,同时记录大气压力。

注:试样蒸汽的闪火同点火器火焰的闪光不应混淆。如果闪火现象不明显,必须在试样升高 2℃时继续点火证实。

(2) 燃点

a. 测得试样的闪点之后,如果还需要测定燃点,应继续对外坩埚进行加热,使试样的升温速度为每分钟升高 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。然后,按 3. (1) b 所述用点火器的火焰进行点火试验。

b. 试样接触火焰后立即着火并能继续燃烧不少于 5s,此时立即从温度计读出温度作为燃点的测定结果。

(3) 大气压力对闪点和燃点影响的修正

①大气压力低于 99.3kPa (745mmHg) 时,试验所得的闪点或燃点 t_0 (℃) 按式 (2-17) 进行修正 (精确到 1℃):

$$t_0 = t + \Delta t \quad (2-17)$$

式中 t_0 ——相当于 101.3kPa (760mmHg) 大气压力时的闪点或燃点,℃;

t ——在试验条件下测得的闪点或燃点,℃;

Δt ——修正数,℃。

②大气压力在 $(72.0 \sim 101.3)$ kPa $[(540 \sim 760)$ mmHg] 范围内,修正数 $\Delta t/^\circ\text{C}$ 可按式 (2-18) 或式 (2-19) 计算

$$\Delta t = (0.00015t + 0.028)(101.3 - P) \times 7.5 \quad (2-18)$$

$$\Delta t = (0.00015t + 0.028)(760 - P_1) \quad (2-19)$$

式中 P ——试验条件下的大气压力,kPa;

t ——在试验条件下测得的闪点或燃点(300℃以上仍按 300℃计),℃;

0.00015, 0.028——试验常数;

7.5——大气压力单位换算系数;

P_1 ——试验条件下的大气压力,mmHg。

注:对 $(64.0 \sim 71.9)$ kPa $(480 \sim 539)$ mmHg 大气压力范围,测得闪点或燃点的修正数 $\Delta t/^\circ\text{C}$ 也可参照采用式 (2-18) 或式 (2-19) 进行计算。

此外,修正数 $\Delta t/^\circ\text{C}$ 还可以从表 2-24 查出。

表 2-24 不同大气压下闪点或燃点的修正值 Δt

闪点或燃点 $t/^\circ\text{C}$	在下列大气压力 $P/\text{kPa}(\text{mmHg})$ 时的修正值 $\Delta t/^\circ\text{C}$										
	72.0 (540)	74.6 (560)	77.3 (580)	80.0 (600)	82.7 (620)	85.3 (640)	88.0 (660)	90.6 (680)	93.3 (700)	96.0 (720)	98.6 (740)
100	9	9	8	7	6	5	4	3	2	2	1
125	10	9	8	8	7	6	5	4	3	2	1
150	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
175	12	11	10	9	8	6	5	4	3	2	1
200	13	12	10	9	8	7	6	5	4	2	1
225	14	12	11	10	9	7	6	5	4	2	1
250	14	13	12	11	9	8	7	5	4	3	1
275	15	14	12	11	10	8	7	6	4	3	1
300	16	15	13	12	10	9	7	6	4	3	1

4. 精密度 重复性

(1)同一操作者重复测定的两个闪点结果之差不应大于下列数值:

闪点 $t/^\circ\text{C}$	≤ 150	> 150
重复性 $t/^\circ\text{C}$	4	6

(2)同一操作者重复测定的两个燃点结果之差不应大于 6°C 。

5. 报告

(1)取重复测定两个闪点结果的算术平均值,作为试样的闪点。

(2)取重复测定两个燃点结果的算术平均值,作为试样的燃点。

(二)用闭口杯仪器测定闪点(闭口杯法)^①

石油产品用闭口杯在规定条件下加热到它的蒸汽与空气的混合气接触火焰发生闪火时的最低温度,称为闭口杯法闪点。

1. 仪器

(1)闭口闪点测定器(见图 2-40)符合 SY 3205-82《闭口闪点测定器技术条件》。

(2)温度计 符合 GB 514-75《石油产品试验用液体温度计技术条件》。

(3)防护屏 用镀锌铁皮制成,高度(550~650)mm,宽度以适用为宜,屏身内壁涂成黑色。

2. 准备工作

(1)试样的水分超过 0.05% 时,必须脱水。脱水处理是在试样中加入新煅烧并冷却的食盐、硫酸钠或无水氯化钙进行,试样闪点估计低于 100°C 时不必加温,闪点估计高于 100°C 时,可以加热到 $(50\sim 80)^\circ\text{C}$ 。

脱水后,取试样的上层澄清部分供试验使用。

(2)油杯要用无铅汽油洗涤,再用空气吹干。

(3)试样注入油杯时,试样和油杯的温度都不应高于试样脱水的温度。杯中试样要装满到环状标记处,然后盖上清洁、干燥的杯盖,插入温度计,并将油杯放在空气浴中。试验闪点低于 50°C 的试样时,应预先将空气浴冷却到室温 $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ 。

(4)将点火器的灯芯或煤气引火点燃,并将火焰调整到接近球形,其直径为 $(3\sim 4)\text{mm}$ 。

① 参考中华人民共和国国家标准 GB261-83《石油产品闪点测定法》(北京:中国标准出版社,1983)。

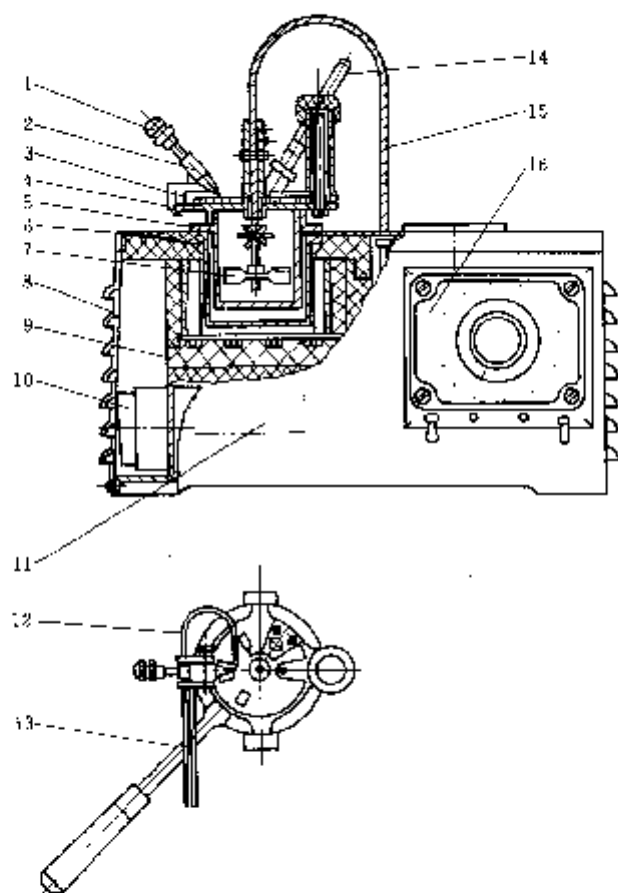


图 2-40 克利夫兰闪点测定仪

1—点火器调节螺丝;2—点火器;3—滑板;4—油杯盖;5—油杯;6—活塞;7—搅拌器;8—壳体;9—电炉盘;10—电动机;11—铭牌;12—点火管;13—铂丝手柄;14—温度计;15—传动软管;16—升关箱

点高于 104℃ 的试样每经 2℃ 进行点火试验。

试样在试验期间都要转动搅拌器进行搅拌,只有在点火时才停止搅拌。点火时,使火焰在 0.5s 内降到杯上含蒸汽的空间中,留在这一位置 1s 立即迅速回到原位。如果看不到闪火,就继续搅拌试样,并按本条的要求重复进行点火试验。

(3)在试样液面上方最初出现蓝色火焰时,立即从温度计读出温度作为闪点的测定结果。得到最初闪火之后,继续按照 3.(2)进行点火试验,应能继续闪火。在最初闪火之后,如果再进行点火却看不到闪火,应更换试样重新试验;只有重复试验的结果依然如此,才能认为测定有效。

4. 大气压力对闪点影响的修正

(1)观察和记录大气压力,按式(2-20)或式(2-21)计算出标准大气压力 101.3kPa (760mmHg)时闪点修正数 $\Delta t/^\circ\text{C}$:

$$\Delta t = 0.25(101.3 - P) \quad (2-20)$$

$$\Delta t = 0.0345(760 - P) \quad (2-21)$$

式中 P ——实际大气压力。式(2-20)中 P 的单位为千帕(kPa);式(2-21)中 P 的单位为

使用灯芯的点火器之前,应向器中加入轻质润滑油(如缝纫机油、变压器油等)作为燃料。

(5)闪点测定器要放在避风且较暗的地点,才便于观察闪火。为了更有效地避免气流和光线的影响,闪点测定器应围有防护屏。

(6)用检定过的气压计,测出试验时的实际大气压力 P 。

3. 试验步骤

(1)用煤气灯或带变压器的电热装置加热时,应注意下列事项:

①试验闪点低于 50℃ 的试样时,从试验开始到结束要不断地进行搅拌,并使试样温度每分钟升高 1℃。

②试验闪点高于 50℃ 的试样时,开始加热速度要均匀上升,并定期进行搅拌。到预计闪点前 40℃ 时,调整加热速度,使在预计闪点前 20℃ 时,升温速度能控制在每分钟升高(2~3)℃,并还要不断进行搅拌。

(2)试样温度到达预期闪点前 10℃ 时,对于闪点低于 104℃ 的试样每经 1℃ 进行点火试验;对于闪

mmHg。

(2)观察到的闪点数值加修正数,修约后以整数报结果。此外,式(2-21)修正数 $\Delta t/^\circ\text{C}$ 还可以从表2-25查出:

5. 精密度 用以下规定来判断结果的可靠性(95%置信水平)。

(1)重复性 同一操作者重复测定两个结果之差,不应超过以下数值:

闪点范围, $t/^\circ\text{C}$	104 或低于 104	高于 104
允许差数, $t/^\circ\text{C}$	2	6

(2)再现性 由两个实验室提出两个结果之差,不应超过以下数值:

闪点范围, $t/^\circ\text{C}$	104 或低于 104	高于 104
允许差数, $t/^\circ\text{C}$	4	8

注:(1)本精密度的再现性不适用于 20 号航空润滑油。

该本精密度是 1979~1980 年用 7 个试样,在 12 个实验室开展统计试验,并对试验结果进行数据处理和分析得到的。

6. 报告 取重复测定两个结果的算术平均值,作为试样的闪点。

表 2-25 不同大气压力范围的闪点修正值 Δt

大气压力 P/mmHg	修正数 $\Delta t/^\circ\text{C}$
630~658	+4
659~687	+3
688~716	+2
717~745	+1
746~805	-1

十四、玻璃化温度的测定

高聚物由高弹态向玻璃态转化时(或相反过程的转化时)所处的温度称为玻璃化温度(T_g)。在此温度下,高聚物的许多性能,如膨胀系数、比热、导热系数、密度、折光率、硬度、介电常数、弹性模量等,均将发生突然的变化。高聚物在低于玻璃化温度时具有玻璃态固体的特征。在多数情况下, T_g 代表高聚物材料的使用极限温度,对于橡胶来说, T_g 是最低工作温度,对于无定形塑料来说, T_g 是最高工作温度。因此,为了工业应用的需要,研究高聚物 T_g 的测定方法是有实际意义的。

测定 T_g 的方法很多,这里仅介绍常用的膨胀计法和热机械分析法。

(一)膨胀计法

1. 原理 膨胀计法测高聚物玻璃化温度的原理基于高聚物在 T_g 以下时,大分子链段的自由运动被冻结,此时高聚物的热膨胀机构主要是克服分子间的次价力。因此,高聚物的容积随温度的增加而线性的增加,如图2-41A段所示。当温度升高到玻璃化温度以上时,被冻结的链解冻,因此,链段的自由运动方属可能,同时高分子链的本身由于链段的扩散运动也发生膨胀,因此在容积-温度曲线上出现转折点,高聚物容积随温度的增加而急剧地线性增加,如图2-41B段所示。对于大多数高聚物来说,容积-温度曲线上的转折是明显的,A、B二段延长线的交点所对应的温度即为玻璃化温度。

2. 方法要点

(1)图2-42给出了测定玻璃化温度用的膨胀计系统。首先须将试样装入安瓿瓶内,对膨胀计系统进行抽真空。后用水银充满安瓿瓶并且使其占据毛细管的一定高度。用冷浴或热浴以每分钟(1~2) $^\circ\text{C}$ 的升温速度降温或加热安瓿瓶,记录温度和毛细管内水银柱的高度,根据所得数据,即可作出水银毛细管高度与温度的关系曲线,并求得曲线的转折点,即为玻璃化温度,如图2-43所示。

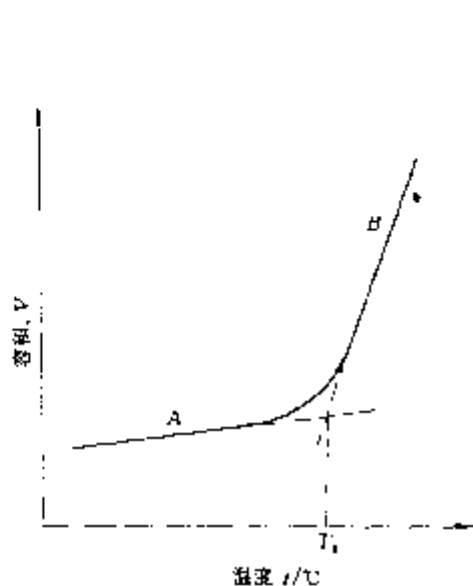


图 2-41 高聚物的容积-温度曲线

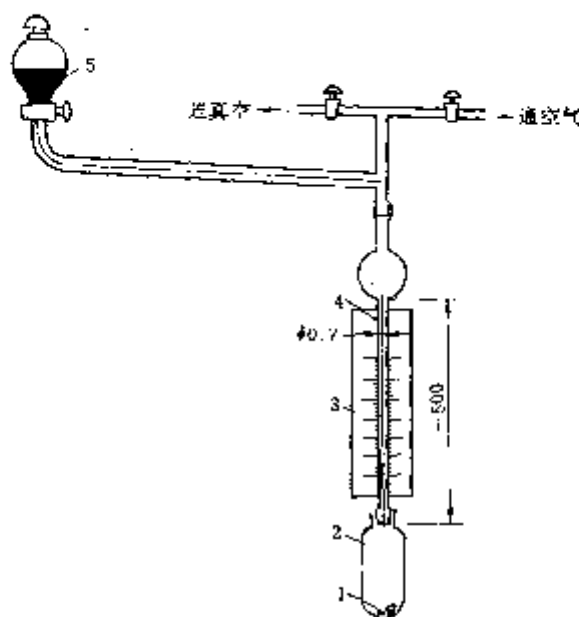


图 2-42 膨胀计示意图

1—试样; 2—容器; 3—标尺; 4—毛细管; 5—水银

(2) 测定时, 如果试样中含有单体、溶剂或增塑剂等物质可使玻璃化温度值剧烈下降。此外, 外界环境以及升温(或降温)的快慢等, 亦能影响 T_g 的测定值。

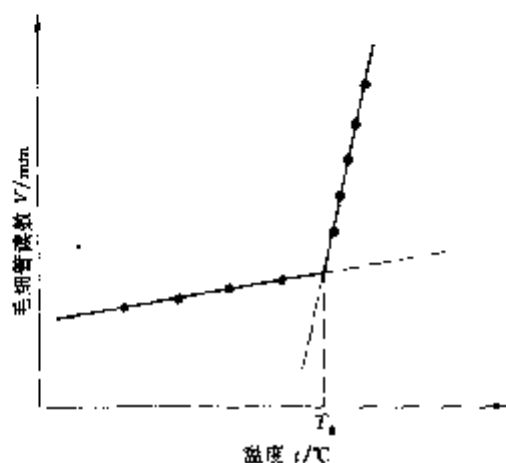


图 2-43 实际测量曲线

(二) 热机械分析法(TMA)^①

本方法适用于无定形热塑性塑料, 亦适用于部分结晶的热塑性塑料, 不适用于高填充无定型热塑性塑料体系。

1. 原理 以一定的加热速率加热试样, 使试样在恒定的较小负荷下随温度发生形变, 塑料试样在玻璃态区域内, 随着温度的增长, 试样几乎不发生形变或形变较小。但当温度接近或达到 T_g 时, 试样就发生剧烈的形变, 这就表明试样开始由玻璃态向高弹态转化, 曲线的转折处的交点, 即是玻璃化温度(T_g)。

2. 仪器 热机械分析仪主要由机架、压头、加荷装置、加热装置、致冷装置、形变测量装置、记录装置、温度程序控制装置等组成(见图 2-44)。

(1) 机架应为刚性结构, 压杆在最大负荷下, 在测试温度范围内, 在轴线方向不发生变形。

(2) 压头的端面应与主轴轴线相垂直, 其偏差不大于 0.2%, 在试验负荷下, 压头不应有任

① 参考中华人民共和国国家标准 GB11998—80《塑料玻璃化温度测定法》(北京, 中国标准出版社, 1989)。

何变形和损伤,其直径为 $(4.0 \pm 1.0)\text{mm}$,长度为 $(10 \pm 1)\text{mm}$ 。

(3) 加荷装置可通过压杆、压头对试样施加所需压强。

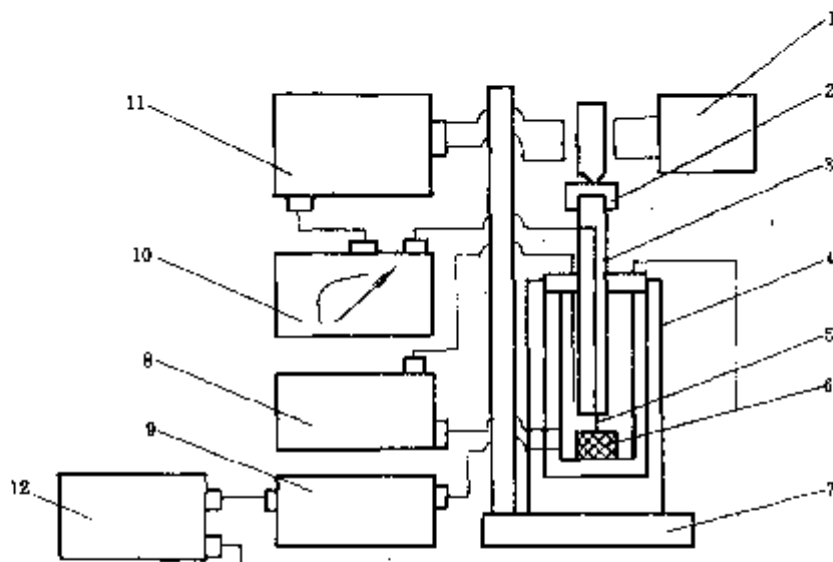


图 2-44 热机械分析仪示意图

1—音频信号源;2—负荷;3—压杆;4—炉子;5—压头;6—试样;7—机架;8—高温程序温度控制器;
9—低温程序温度控制器;10—记录仪;11—形变量转换放大器;12—低温致冷器

(4) 加热装置应有程序控制系统,可调节所需要的加热速率,偏差为 $\pm 0.5^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$,控温精度为 0.5°C ,并能将温度变化转变为电信号输送到记录装置。

(5) 致冷装置应能迅速使炉子与试样冷却到所需温度(最低可至 -150°C)。

(6) 形变测量装置应能感受到探头位移的微小变化,并将这种变化转变为电信号,输送到记录装置。探头每位移 $1\mu\text{m}$ 应至少输出 $1\mu\text{V}$ 的电信号。

(7) 记录装置应能记录探头位移和温度的变化,其灵敏度为探头每移动 $1\mu\text{m}$,记录图偏移至少 1mm 。

3. 试样

(1) 试样尺寸:

① 圆柱形试样 $\phi \times L, \text{mm}; (4.5 \pm 0.5) \times (6.0 \pm 1.0)$;

② 正方柱形试样 $a \times b \times L, \text{mm}; (4.5 \pm 0.5) \times (4.5 \pm 0.5) \times (6.0 \pm 1.0)$ 。

③ 如用其他尺寸试样,应在报告中注明。

(2) 每次取两个试样为一组。

(3) 试样表面应平整,受检的两端面应平行,并与轴线相垂直,可采用机械加工制备。

4. 状态调节 试样应在具有鼓风的烘箱中低于玻璃化温度约 20°C 下烘 2h ,然后放于盛有无水氯化钙干燥器中冷却至室温,再按 GB 2918 规定的标准环境处理 24h ,如有特殊要求,按产品标准或供需双方商定的条件处理。玻璃化温度低于室温的试样放在试样架上预测试,待温度低于玻璃化温度约 20°C 时,保持 5min ,冷却至初始温度,再保持 5min ,可进行正式测量。

5. 试验条件

- (1) 加热速率为 $(1.2 \pm 0.5) ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$;
- (2) 试样承受压强为 $(0.4 \pm 0.2) \text{MPa}$;
- (3) 试验环境按 GB 2918 中规定的常温、常湿;
- (4) 如果试样易受氧化,可用氮气保护。

6. 试验步骤

- (1) 将热机械分析仪接通电源,预热约 15min。
- (2) 将状态调节好的试样,放入热机械分析仪试样架上,加上压杆和所需负荷,保持约 15min,并达到温度稳定。
- (3) 开启温度程序控制开关,以规定的升温速率加热试样,记录仪开始记录温度-形变关系曲线。
- (4) 当温度-形变曲线发生急剧变化后,即可终止试验。

7. 试验结果

- (1) 玻璃化温度(T_g)由温度-形变曲线作切线求得(如图 2-45)。

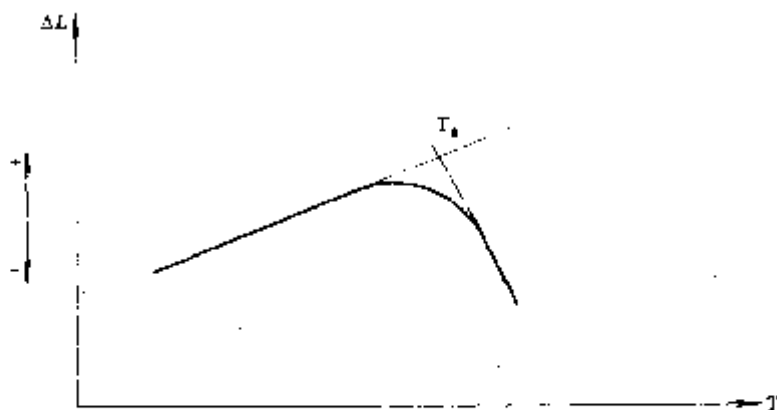


图 2-45 温度-形变曲线

- (2) 以两个试样试验结果的算术平均值作为试验结果。
- 两个试样的结果,相差不得大于 4°C ,否则应重新试验。试验结果修约到整数位。

8. 试验报告 试验报告应包括下列内容:

- (1) 注明按照本国家标准;
- (2) 材料名称、规格、来源及生产厂;
- (3) 试验加热速率、试样所受压强及状态调节情况;
- (4) 试验结果的单个值与平均值;
- (5) 试验日期与试验人员。

9. 注意事项 本标准规定的试验方法所测得的结果与用其他方法测得的结果,不能相比较。

十五、辛烷值的测定(马达法)^①

本方法适用于测定汽车和航空火花点火式发动机用汽油的抗爆性能。其测定结果用马达

① 参考中华人民共和国国家标准 GB501 65X 汽油辛烷值测定法(北京:中国标准出版社,1985)。

法辛烷值米表示,即辛烷值/马达法。例如:85.1/MON。

马达法辛烷值也适用于测定航空汽油贫混合气(飞机巡航速度)运转条件下的抗爆性能。本方法应用于石油炼制、交货验收以及商业、发动机制造业。

辛烷值是表示燃料的抗爆性的条件单位,在数值上等于异辛烷(2,2,4-三甲基戊烷)与正庚烷混合物中异辛烷的体积分数。

异辛烷的抗爆性相当于辛烷值 100,正庚烷的抗爆性相当于辛烷值 0。

(一)设备

爆震试验装置:包括一台连续可变压缩比的单缸发动机,合适的负载设备,辅助设施和仪表,它们都装在一个固定的底座上。美国制造的 ASTM-CFR 试验机被定为本方法的基本试验设备。其他型号的辛烷值试验机也可用于本方法,但基础甲苯标定燃料的试验结果必须符合表 2-26 的要求,试验结果才有效。仲裁试验必须使用设备状况良好的 ASTM-CFR 试验机。

(二)燃料

1. 参比燃料

(1)异辛烷 又称 2,2,4-三甲基戊烷。规格指标见表 2-27。

(2)正庚烷 规格指标见表 2-27。

(3)稀释四乙基铅 用稀释后的四乙基铅溶液可以提高调配精度,稀释后的四乙基铅溶液必须说明浓度。调配前应根据需要,计算好四乙基铅溶液的加入量。

四乙基铅为剧毒物品,使用中应加以防护,妥善保管。

2. 标定燃料 标定燃料是由正庚烷、异辛烷、甲苯、四乙基铅等调合而成的,调合比例和对应的辛烷值见表 2-28、表 2-29。正庚烷、异辛烷、四乙基铅溶液的要求见(二)(1),甲苯规格应符合 GB 3406—82《石油甲苯》,见表 2-30。

(三)发动机的工作状况及试验条件

测定辛烷值时,发动机应保持以下工作状况及试验条件。

1. 发动机转速 $(900 \pm 9) \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在一次试验中,最大变化不超过 $9 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2. 点火时间 点火时间随压缩比的变化而自动变化。它的基本定位是在不经大气压力修正的情况下,数字计数器读数为 264 时,这时的点火时间为上死点前 26° 。

在不同的数字计数器读数下,点火时间应符合下列规定。

数字计数器读数	点火时间(上死点前), $(^\circ)$	数字计数器读数	点火时间(上死点前), $(^\circ)$
264	26	777	9
337	25	861	8
410	24	925	7
484	23	998	6
556	22	1 070	5
630	21	1 143	4
704	20		

3. 火花塞间隙 $0.51 \text{ mm} \pm 0.13 \text{ mm}$ 。

4. 断电器触点间隙 0.51 mm 。

对于一个无触点的点火系统,传感器底部位置与转子(叶片)末端的间隙为 $0.08 \text{ mm} \pm 0.13 \text{ mm}$ 。

5. 气门间隙 $0.20 \text{ mm} \pm 0.03 \text{ mm}$ 。它是在发动机处于测定辛烷值为 100 的热状态标准条件下测定的。

6. 曲轴箱润滑油 用 IQ-10 或 IIC-11 油 (SAE30), 使用性能符合 SC 或 CC 级要求。粘度指数不小于 85, 不允许使用含有粘度指数改进剂的多级油。

7. 润滑油压力 在标准试验条件下, 润滑油压力为 (171.7~206.0)kPa。

8. 润滑油温度 $57^{\circ}\text{C} \pm 8.5^{\circ}\text{C}$ ($135^{\circ}\text{F} \pm 15^{\circ}\text{F}$)。测温敏感元件应全部浸在曲轴箱润滑油中。

9. 冷却液温度 $100^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ($212^{\circ}\text{F} \pm 3^{\circ}\text{F}$)。在一次试验中, 要恒定在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{F}$) 的范围内。

10. 进气湿度 $3.56^{\circ}\text{C} - 7.12\text{g 水} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干空气。

11. 进气温度 $38^{\circ}\text{C} \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ ($100^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$)。用插入进气管孔中的水银温度计测量。

12. 混合气温度 $149^{\circ}\text{C} \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ ($300^{\circ}\text{F} \pm 2^{\circ}\text{F}$)。用插入进气歧管上的水银温度计测量。

13. 化油器喉管直径 不同的海拔高度相应用不同的喉管直径, 规定如下:

海拔高度/m	喉管直径/mm
0~500	14.3
500~1 000	15.1
1 000 以上	19.1

14. 汽缸高度的调整。

(1) 基础汽缸高度的测定

①当发动机处于标准试验温度下, 停机, 取下爆震信号发讯器, 换装汽缸压力表。

②在化油器喉管尺寸符合(三)13 要求的情况下, 用电机拖动发动机, 调整汽缸高度, 使压缩压力符合图 2-46 的要求。

③不改变汽缸高度, 调整数字计数器读数为 920。

(2) 校验基础汽缸高度

①取下汽缸压力表, 将 15.88mm 标准塞规放在两气门之间的位置上, 当活塞处于上死点位置时, 测量当塞规置于活塞与缸头之间(即塞规两面同时与缸头和活塞接触, 但不受挤压, 也就是活塞顶与缸头之间的距离为 15.88mm)时的汽缸高度, 记录数字计数器读数 A_1 的数值。

注意: 在进行这一步骤时, 可先将活塞置于上死点前 90° 位置上, 并把缸头位置上升, 再放进塞规。然后使活塞置于上死点, 再慢慢调节汽缸高度, 用手试推拉塞规, 直到符合要求。上述步骤均用手动操作, 以免损坏设备。

②将活塞置于压缩冲程上死点位置, 调整汽缸高度, 使塞规置于进气门顶帽与活塞顶之间, 状况同(三)14.(2)①记录数字计数器读数 B_1 的数值。

③用(三)14.(2)②方法, 使塞规置于排气门顶帽与活塞顶之间, 记录数字计数器读数 C_1 的数值。

④算出(三)14.(2)①结果与(三)14.(2)②和(三)14.(2)③结果的差值, 差值即为气门高出缸头平面的高度。

⑤将(三)14.(2)④计算的两个结果之和乘以 0.156 得到气门高度补偿校正值 H_1 。

对于数字计数器读数: $H_1 = [(A_1 - B_1) + (A_1 - C_1)] \times 0.156$ (2-22)

(3) 比较

①标准值 数字计数器读数, 其标准值为 916, 即基本数字计数器读数 930 减去平均气门高度补偿校正值 20, 加上火花塞体积校正值 6。

②测量值 数字计数器读数, 其值 $916 + H_1 - A_1$ 应在 $\pm 14 \sim 21$ 之间, 这样汽缸高度的定位是合适的。

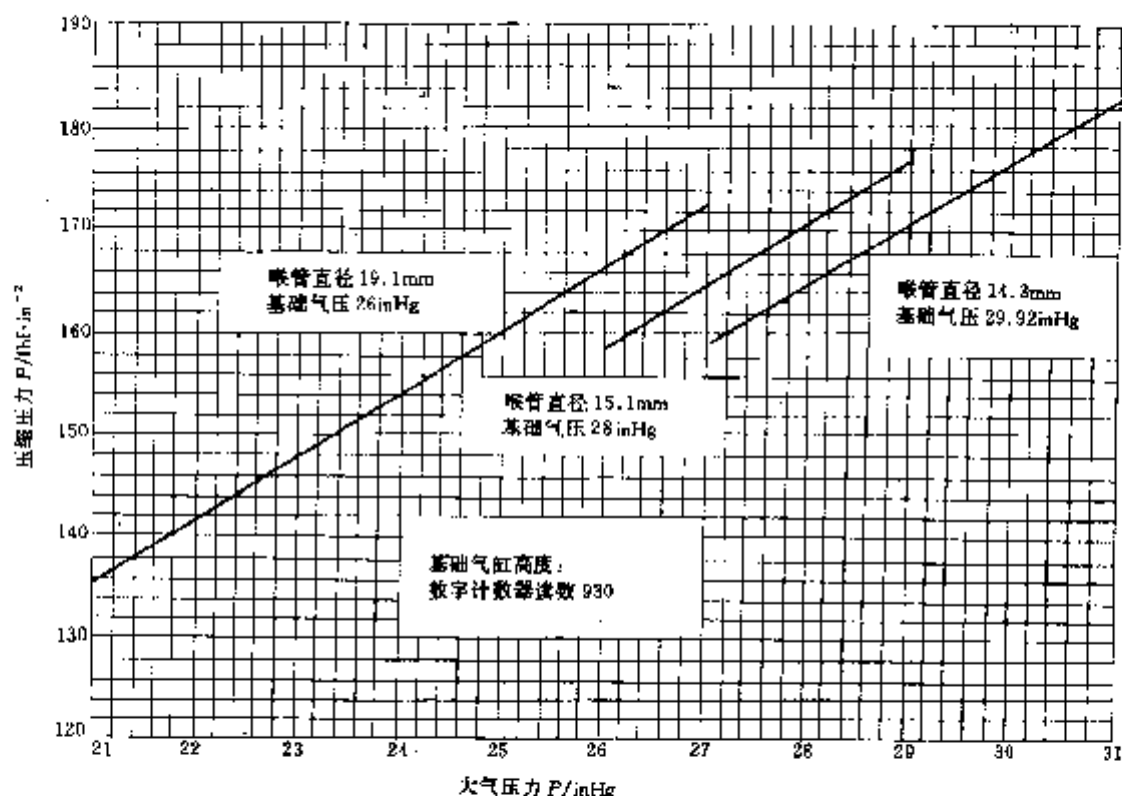


图 2-46 在基础气缸高度下,不同喉管直径,不同大气压力与气缸压缩力关系曲线图

$$1 \text{ hf} \cdot \text{in}^{-2} = 6.895 \text{ kPa}, 1 \text{ inHg} = 3.38 \text{ kPa}, 1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

(4)以上校正如果合适,应全面检查发动机的压缩压力。如压缩压力符合表 2-31 要求,说明发动机的工作状况良好。

15. 燃料-空气混合比 每次试验,无论是试样或是参比燃料,都应把燃料-空气混合比调节到获得最大爆震强度。它是通过改变化油器油罐高度而获得的。最后的燃料液面应指示在玻璃液面计上 0.7~1.7 范围内,否则应清理喷孔或改变喷孔直径,使之满足上述要求。

16. 标准爆震强度 在大气压力为 101.3 kPa (29.92 inHg) 情况下,定义马达法辛烷值与数字计数器读数之间的关系符合表 2-32 要求(其他海拔高度相对应的喉管直径以及辛烷值与数字计数器读数之间的关系见表 2-33 和 2-34 以下同)。对于其它大气压力,其数值应按表 2-35 进行修正。在这种情况下,发动机产生的爆震强度称为标准爆震强度。

17. 基础爆震指示的展宽 当辛烷值为 90 时,调整到使每个辛烷值的爆震指示的展宽为 10~18 分度。虽然展宽幅度会随辛烷值的大小而变化,但是如果在辛烷值为 90 的情况下调好了,在大多数的情况下,评定辛烷值为 80~102 时就不必再作调整。

为了得到更好的展宽水平,可将辛烷值分成若干个区间(如每 10 个辛烷值为一区间),在每个区间的中间位置上调展宽,使展宽幅度均为 (10~18) 分度/每个辛烷值。记录调整合适时每个位置上的“展宽”和“仪表读数”旋钮指的数值。此后在评价该区间辛烷值的试样时,就把上述两旋钮调到合适的位置上。

18. 内插法用参比燃料 用内插法评定时,试样的爆震表读数必须处在两个相邻的参比燃

料读数之间,两个参比燃料辛烷值差数不能大于2个辛烷值单位。辛烷值100以下的试样只能用不含四乙基铅的参比燃料来评定。辛烷值在100~103.5之间时,只能用下列几组参比燃料:

- 100和100.7
- 100.7和101.3
- 101.3和102.5
- 102.5和103.5

19. 压缩比法用参比燃料 试样的爆震表读数必须与(二)参比燃料体系中选择参比燃料混合物相匹配。辛烷值在100~103.5范围内,只能用100.7、101.3、102.5和103.5这几种参比燃料,试样与参比燃料之间的差值,不能超过按(九)4的规定。

20. 试样处理 试样开封前,应冷到(2~10)℃;试样一打开,就应马上倒入适当的化油器油罐中进行试验。

(四)发动机的起车和停车

(1)起车前应检查发动机是否正常,是否缺油、缺水,打开冷却水开关,再用电动机拖动发动机运转,打开点火开关,化油器从一个油罐中抽取燃料,点燃发动机。

(2)停车先关闭燃料,再把燃料从油罐中放出,关闭点火系统。用电动机拖发动机运转1min,关闭电动机,关闭冷却水开关,用手转动飞轮到压缩冲程上死点。

(五)爆震测量仪表及调整

1. 爆震测量仪表 包括信号发讯器,爆震仪和爆震表。

(1)信号发讯器 安装在汽缸头上的信号发讯器直接和燃烧气体相接触,它产生与汽缸内压力变化速率成正比例的电压,这是一个交流脉冲。汽缸内爆震倾向越严重,它产生的电压波幅值就越大。信号发讯器产生的电压信号由一根屏蔽电缆送至爆震仪。

信号发讯器是个精密的部件,不能自行拆卸和磁化。

(2)爆震仪 爆震仪将信号发讯器送来的信号加以整理,放大,为提高分辨能力,仪器设计有可调节阀值,仪器把阈值以下电压波减去,剩余部分进一步放大,将放大后的波形积分,成为直流低电压信号,送到爆震表。

(3)爆震表 爆震表实际上是一个毫伏表,由爆震仪送来的直流低电压用指针位置的形式显示。

一般情况下,信号发讯器,爆震仪和爆震表都不会发生故障,如有故障,可按说明书进行检查和维修。

2. 爆震测量仪表的调整

(1)爆震表的零位调整 在不供电的情况下,调整爆震表上的调整螺丝,使爆震表指针指零。每月至少检查一次。

(2)爆震仪的零位调整 在爆震表零位调好以后,给爆震仪供电,将仪表开关放在“0”位上,时间常数放在“3”上,检查爆震表指针是否对零,如不在零位,可调整爆震仪板面下方的调整螺丝,调好以后,拧好防护螺母,以免误调。这样的调整,每天试验前应进行一次。

(3)调时间常数 调时间常数,就是调积分时间,即调仪表反应的灵敏度。位置“1”积分时间最短,反应的速度也最快,但仪表最不稳定;位置“6”积分时间最长,反应的速度也最慢,但仪表最稳定。通常应把时间常数调到“3”或“4”的位置上。

(4)调“仪表读数” 即调仪表信号的幅值,它的基础位置应在仪表调展宽时与“展宽”位置联合起来调整。

(5)调展宽 即调仪表的区分能力,合适的仪表展宽水平按(三)17要求,以调整辛烷值为90时的展宽水平为例,具体步骤如下:

①用辛烷值为90的参比燃料操作发动机,使发动机工况满足(三)要求。

②逆时针方向旋转“仪表读数”和“展宽”旋钮,将粗调旋钮调到底,细调旋钮调到中间位置上。

③顺时针方向调整“展宽”粗调旋钮,大致放在3的位置上。

④顺时针方向调整“仪表读数”粗调旋钮,使爆震表指针大致指在中间位置上,可用细调旋钮来调整精确的读数。

⑤检查化油器燃料液面位置,使之获得最大爆震强度。在调整中如果爆震表最大读数不易获得,这说明展宽太小,在这种情况下,可以用(五)2.(5)④方法提高展宽水平。

⑥再次调整化油器液面高度,使之获得爆震表最大读数液面。

⑦重新调整“仪表读数”细调旋钮,使爆震表读数为 50 ± 3 。

⑧依据每个辛烷值爆震表读数的差值来确定实际的仪表展宽水平,最简单的办法是不换燃料,改变压缩比,观察爆震表指针位置的变化。如用辛烷值为90的参比燃料工作,则将压缩比调到辛烷值为89,90,91(按表2-32要求)的数字计数器位置上,待平衡后,记录爆震表读数,其差值就是仪表展宽的水平。也可以用改变参比燃料而不改变压缩比的方法,如用辛烷值为89,90,91的参比燃料分别在发动机上工作,化油器燃料液面处于产生最大爆震强度的位置上,待爆震表指针稳定后,记录其读数,其差值即为仪表展宽的水平。

⑨提高展宽:顺时针方向调“展宽”细调旋钮,使爆震表指针为100,再逆时针方向调“仪表读数”细调旋钮,使爆震表指针回到 50 ± 3 。如展宽幅度还不够,可重复上述步骤。

⑩减低展宽:逆时针方向调“展宽”细调旋钮,使爆震表指针为20或更低一些,再顺时针方向调“仪表读数”细调旋钮,使爆震表指针提高到 50 ± 3 ,如展宽幅度还需减低,可重复上述步骤。

⑪在调整中,如发现细调旋钮的调整范围不能满足要求,就应与粗调旋钮配合使用,使之满足调整的需要。

⑫展宽幅度应为每个辛烷值10—18分度,如果每个辛烷值的展宽幅度大于20分度,操作时要多加小心。

(六)试验机标准状态的调整和检查

1. 发动机标准爆震强度的初步检查 当发动机处于(三)标准试验条件下,符合(三)16标准爆震强度的要求,关闭点火开关时,发动机应立即熄火。如不熄火,说明发动机的机械状态不良,这时应检查火花塞和发动机的燃烧室,清除积炭,修复后再重复上述操作。

2. 最大爆震强度燃料-空气混合比和标准爆震强度的获得

(1)初步调整汽缸高度 将试样倒入化油器油罐中,并将液面调整到估计产生最大爆震强度位置上,旋转选择阀,使之用该燃料操作,待发动机处于标准状态后,调整汽缸高度,使爆震表指针指在50或者小一些的位置上。

(2)调整燃料-空气混合比 如液面高度在玻璃液面计上显示为1.3,让爆震表指针达到平衡状态后,再按0.1的增量,把液面升高到1.2、1.1、...,得到较富的燃料-空气混合比状态下的爆震表读数,点到爆震表读数至少比最大值降低5分度,再将燃料液面调回到使爆震表产生最大读数的位置上,如1.2。然后再按同样方法,依次将液面调到1.3、1.4、...,贫燃料-空气混合比状态下工作,直到爆震表读数比最大值降低5分度,再将燃料液面调回到使爆震表产生

最大读数位置上,或者在产生同一爆震表读数的两个液面的中间位置上,如 1.25,这就是最大爆震强度燃料液面。检查上述调整正确性的方法是将液面调到偏离上述位置两侧各 0.1 的位置上,如 1.15 和 1.35,如读数都下降,说明前者调整是正确的;如有的读数增加了,说明前者调整有错,必须重新调整。

(3)化油器冷却 如燃料系统中发现气泡,应放出试样冷却。化油器冷却器可以用米冷却试样,若冷却温度过低,如低于 7℃就会影响试验结果,所以通常不要使用化油器冷却器。

(4)汽缸高度的进一步调整 在确定最大爆震强度燃料液面以后,爆震表读数可能不在 50 ± 3 ,这时应调整汽缸高度,使爆震表读数为 50 ± 3 。

3. 校正评定特性

(1)发动机在标准试验条件下,进行基础甲苯标定燃料的标定试验,试验结果必须符合表 2-26 的要求。

(2)可以按照表 2-28 和表 2-29 更仔细的校正和检查。

(3)校正试验频繁程度的规定

①每天评定试验以前,都必须用基础甲苯标定燃料校正评定特性。

②校正试验的结果仅在 7h 内有效。

③当更换操作人员,停机超过 2h 或停机进行较大的检修和更换零部件时,都应重新校正评定特性。

④每天只选择与试样的辛烷值相接近的甲苯标定燃料进行试验。如果试样的辛烷值估计不出来,先测定试样的辛烷值,然后再校正评定特性,也是可以的。

4. 用检验燃料检查试验设备

(1)检验燃料是用来进一步检查试验设备的状况,它是由试验监督部门组织提供或指定使用的,其组分应比较安定,如由直馏汽油、重整汽油、烷基化汽油和苯类产品等组分调制而成。

(2)由试验监督部门不定期地组织检验燃料试验,以进一步的检查各试验设备的状况。

(七)用内插法评定试样

(1)在同一压缩比下进行(三)18 试验,试样的爆震表读数应在两个参比燃料的爆震表读数之间。

(2)必须按(二)和要求配制参比燃料。

(3)第一个内插参比燃料,按照(六)方法,确定试样产生标准爆震强度时的汽缸高度,根据此时的汽缸高度,用表 2-32 估算出试样的辛烷值。配制一个接近估算辛烷值的参比燃料,倒入化油器的一个油罐中,把燃料液面调到估计产生最大爆震强度的位置上,旋转选择阀,让发动机用这个参比燃料操作,再按照(六)2.(2)方法,调整燃料液面高度,使之获得最大爆震强度液面和最大爆震表读数,并作记录。

(4)第二个内插参比燃料,在进行第一个内插参比燃料试验后,可配制第二个参比燃料,预计上述两种参比燃料的爆震表读数应把试样的爆震表读数包括起来,这两个参比燃料的辛烷值差数不大于 2 个辛烷值单位。把调好的第二个参比燃料倒入化油器的第三个油罐中,用(六)2.(2)方法,调整燃料液面高度,使之获得最大爆震强度液面和最大爆震表读数,并作记录。如果这两种参比燃料的爆震表读数把试样的读数包括了,或者两者中的一个与试样的读数相同,则可按照(七)(7)继续试验。

(5)检查标准爆震强度的一致性 如果第一、二两个参比燃料的爆震表读数不能满足(七)(4)要求,则用已经测得的爆震表读数来估算试样的辛烷值。如汽缸高度与试样的辛烷值之间

的关系符合表 2-32 规定并按表 2-35 进行大气压力修正,差值能满足表 2-36 要求,则可按照(七)(6)方法继续试验,否则要调整汽缸高度,并相应地调整“仪表读数”,重复(七)(2)和(七)(3)操作。

(6)第三个内桶参比燃料 如果第一、二两个参比燃料的爆震表读数不能把试样的读数包括起来,就应根据已测数据预算结果,选择第三个参比燃料,以替换前两者中的一个,并于另一个相配合,以达到把试样的爆震表读数包括起来的目的。

(7)读数规则 在取得一系列试样与参比燃料爆震表读数以后,再检查一次燃料液面,是否是最大爆震强度液面。按照下列顺序测量并记录每种燃料的爆震表读数:

①试样;

②第二个参比燃料;

③第一个参比燃料。重复测量时,参比燃料的顺序应对换一下。每次测量,都必须让爆震表指针稳定后再作记录。

(8)完成一次测试,至少需要下列测试记录次数。

①在下列情况下,需要两组数据

- a. 第一组数据和第二组数据计算辛烷值之差不大于 0.3 个辛烷值单位;
- b. 试样的平均爆震表读数在 50 ± 5 范围内。

②在下列情况下,需要三组数据

- a. 第一组数据和第二组数据计算辛烷值之差不大于 0.5 个辛烷值单位;
- b. 第三组数据计算的辛烷值在前两者之间;
- c. 试样的平均爆震表读数在 50 ± 5 范围内。

③如果第一组数据和第二组数据计算辛烷值之差大于 0.5 个辛烷值单位,或者第三组数据计算的辛烷值不在前两组数据的中间,这些数据都不能用,必须按本方法(七)重新试验。

(9)检查标准爆震强度的一致性 如果试验结果满足了(七)(8)的要求,就可以根据本方法(八)计算出试样的辛烷值,但试样的辛烷值与汽缸高度的关系要符合表 2-32 要求,并按表 2-35 进行大气压力修正,其差值不超过表 2-36 要求。如汽缸高度不符合上述要求,则要调整到符合要求,并要重新测量和记录试验数据。

(10)对随后进行的试样的测定 随后测试样的测定,首先要调整好最大爆震强度燃料液面,必要时调整汽缸高度,使爆震表的读数为 50 ± 3 ,再按照本方法(七),选择参比燃料,检查标准爆震强度的一致性。

如果试验开始时,甲苯标定燃料的试验结果是符合要求的,但是在随后的操作过程中,大气压力变化超过 $0.67\text{kPa}(0.2\text{inHg})$,则要重做基础甲苯标定燃料的试验。

(八)试验结果的计算

(1)试验结果如符合(七)(8)要求,就可以进行计算。首先算出各种燃料的爆震表读数的平均值。

(2)将(八)(1)计算出的平均值,代入式(2-23)计算出试样的辛烷值。精确到二位小数:

$$X = \frac{b-c}{b-a}(A-B) + B \quad (2-23)$$

式中 X ——试样的辛烷值;

A ——高辛烷值参比燃料的辛烷值;

B ——低辛烷值参比燃料的辛烷值;

- a 高辛烷值参比燃料的平均爆震表读数;
- b 低辛烷值参比燃料的平均爆震表读数;
- c 试样的平均爆震表读数。

(3)由(八)(2)计算的结果取一位小数的近似值。第二位小数在4以下者舍去,在6以上者进上,数值为5时,要根据第一位小数的数值来确定第二位小数的进或舍,当第一位小数为偶数时舍去,为奇数时进上。如95.55和95.65都应取为95.6。

(九)用压缩比法评定试样

(1)用压缩比法评定试样时,不需要与参比燃料相比较来确定试样的辛烷值。参比燃料只是用来建立标准爆震强度,试样只要和标准爆震强度相比较就可以被评定。

(2)建立标准爆震强度。用参比燃料建立标准爆震强度,是在发动机符合(三)标准试验条件下进行的,燃料液面高度也应处在产生最大爆震强度位置上。再调整压缩比,使参比燃料辛烷值与汽缸高度之间的关系符合表2-32并用表2-35进行大气压力修正,然后调“仪表读数”旋钮,使爆震指示器指针指向50。

(3)检查展宽是否符合(三)17要求,如不合适应进行调整,调整后要重做(九)(2)操作。

(4)用试样操作发动机,调整燃料液面为最大爆震强度燃料液面,调压缩比,使爆震表读数为50,记录此时的汽缸高度。

(5)建立标准爆震强度的参比燃料与试样辛烷值的最大允许差数。在不同的辛烷值区间,许可差数如下:

试样的辛烷值	参比燃料和试样辛烷值 间最大允许差数	试样的辛烷值	参比燃料和试样辛烷值 间最大允许差数
90以下	2.0	102—105	1.3
90—100	1.0	105以上	2.0
100—102	0.7		

(6)求出几次测量结果的平均值,查表2-32得到试样的辛烷值。

(7)检查标准爆震强度的频繁程度。对于辛烷值低于100的试样,每评定四个试样后需按(九)(2)检查标准爆震强度一次,对于辛烷值高于100的试样,每评定两个试样后检查一次;对于“敏感度大”的高辛烷值汽油,检查的频繁程度要更大些。

(十)精密度

用以下数值来判断本试验结果的可靠性(95%置信水平)。

1. 重复性 本方法的重复性暂不作规定。
2. 再现性 由不同操作者,在不同试验室对同一试样进行测定所提出的试验结果不应超出以下数值:

平均马达法辛烷值范围	辛烷值评定允许差	平均马达法辛烷值范围	辛烷值评定允许差
55—79	1.5	95	1.1
80	1.2	99	1.5
85	1.1	103.1	1.1
90	1.0	105	1.8

辛烷值处于上列数据之间者,再现性评定差限用内插法计算得到。

(十一) 报告

(1) 将从(八)(3)或(九)(6)获得的辛烷值报告为马达法辛烷值, 简称为 $\times\times.\times/\text{MON}$ 。

(2) 对于马达法辛烷值高于 100 的航空汽油, 可按表 2-37 或用高于 100 的马达法品度值 $=100 \div 3$ (马达法辛烷值-100)换算为品度值, 报告为马达法品度值, 简称为 $\times\times\times.\times/\text{MPN}$ 。

表 2-26 基础甲苯标定燃料

经校正的辛烷值	评定允许差数	仲裁试验 评定允许差数	组成 $w/(\%)$		
			甲 苯	异 辛 烷	正 庚 烷
57.8	± 0.5	± 0.5	50	0	50
56.5	± 0.5	± 0.3	58	0	42
54.4	± 0.5	± 0.3	66	0	34
51.1	± 0.5	± 0.3	74	0	26
54.3	± 0.6	± 0.3	74	5	21
53.5	± 0.4	± 0.3	74	10	16
52.5	± 0.6	± 0.3	74	15	11
50.5	± 0.5	± 0.3	74	20	6
49.8	± 0.5	± 0.4	74	25	0

表 2-27 参比燃料规格标准

分 析 项 目	异 辛 烷	正 庚 烷
马达法辛烷值	100.0 ± 0.1	0.0 ± 0.2
20℃时密度 $\rho/g \cdot \text{cm}^{-3}$	0.69193 ± 0.00015	0.68380 ± 0.00015
折光率 n_D^{20}	1.39145 ± 0.0001	1.38770 ± 0.0005
凝固点 $t/^\circ\text{C}$	最低 -107.442	最低 -90.710
回收 50%(101.3kPa) $t/^\circ\text{C}$	99.238 ± 0.025	98.427 ± 0.025
回收差数(80%~20%) $^\circ\text{C}$	最大 0.020	最大 0.020
铅含量 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	不大于 0.0005	不大于 0.0005

表 2-28 甲苯、异辛烷和正庚烷燃料混合物对应的
辛烷值和仲裁试验评定公差

辛 烷 值	评 定 公 差	混合物组成 $w/(\%)$		
		甲 苯	异 辛 烷	正 庚 烷
57.8 ^①	± 0.6	50	0	50
61.0		52	0	48
62.2		54	0	46
64.4		56	0	44
66.6 ^②	± 0.3	58	0	42
68.5		60	0	40
70.5		62	0	38
72.3		64	0	36
74.4 ^③		66	0	34
76.1		68	0	32

续表

辛 烷 值	评 定 公 差	混 合 物 组 成 $w/(%)$		
		甲 苯	异 辛 烷	正 庚 烷
77.0	± 0.3	70	0	30
79.5		72	0	28
81.0 ⁽¹⁾		74	0	26
82.7		74	0	24
84.1		74	0	22
84.9 ⁽²⁾	+0.2	74	3	23
85.5		74	6	20
87.0		74	8	18
88.5 ⁽³⁾		74	10	16
90.0	± 0.3	74	12	14
91.7		74	14	12
92.5 ⁽⁴⁾		74	15	11
93.4		74	17	10
95.1		74	19	8
96.8 ⁽¹⁾	± 0.4	74	23	6
98.2		74	22	4
99.5	± 0.4	74	24	2
100.8 ⁽²⁾		74	26	0
104.0 ⁽⁴⁾		25	75	0
106.8 ⁽³⁾		25	75	0

(1)这些基础标准燃料辛烷值是测定的结果,而其余部分的辛烷值是由这9种油的結果制成修正曲线而得到的。

(2)混合物每升含四乙基铅 0.26ml。

(3)混合物每升含四乙基铅 0.53ml。

表 2-29 异辛烷、正庚烷和四乙基铅的燃料混合物对应的
辛烷值和仲裁试验评定公差

辛 烷 值	评 定 公 差	混 合 物 组 成		
		异辛烷(体积分数)/%	正庚烷(体积分数)/%	四乙基铅/(ml·L ⁻¹)
61.6	± 0.6	30	70	0.53
70.7	± 0.5	50	50	0.53
83.2	± 0.5	65	35	0.53
88.2	± 0.5	70	30	0.53
91.8	+0.5	75	25	0.53
96.2	+0.5	80	20	0.53
100.6	± 0.5	85	15	0.53
104.5	+0.5	90	10	0.53
108.8	± 0.5	95	5	0.53
111.9	± 0.6	99	1	0.53

表 2-30 参比燃料级甲苯规格标准

外观		透明液体, 无不溶水及机械杂质
颜色	不深于	20
密度(20℃), $\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		0.865~0.868
馏程:		
初馏点/℃	不低于	110.5
终馏点/℃	不高于	111.0
烃类杂质含量:		
苯含量(质量分数), %	不大于	0.10
C ₉ 芳烃含量(质量分数), %	不大于	0.10
非芳烃含量(质量分数), %	不大于	0.10
酸值比色, 号	不深于	4
总硫含量 $\text{c/g} \cdot \text{ml}^{-1}$	不大于	1×10^{-4}
压力腐蚀		合格
中性试验		中性

表 2-31 马达法平均压缩压力

大气压力 P/cmHg	29.92	31.00	29.00	28.00
校正因子 ^①	1.000	1.036	0.969	0.936
相当的计数器单位	平均压缩压力(支压钢管直径 14.3mm, $1\text{bf} \cdot \text{in}^{-2}$)			
17	77.5	80.5	75.0	72.5
158	85.5	88.5	83.0	80.5
299	95.0	98.5	92.0	89.0
440	105.0	110.0	103.0	99.0
581	120.0	124.5	115.5	112.0
722	137.5	142.5	133.0	128.5
863	161.0	167.0	155.0	150.5
1004	193.0	200.0	187.0	182.5
1145	236.5	245.0	229.0	221.5

① 校正因子

① 校正因子=大气压力为 29.92mmHg 时的压缩压力^②表 2-32 海拔高度为 0m~500m, 大气压力为 101.3kPa^①, 喉管直径为14.29mm 时, 标准爆震强度数字计数器读数与马达法辛烷值对照表^②

马达法 辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数 字 计 数 器 读 数									
40	171	171	172	172	173	174	175	175	176	176
41	176	177	178	178	179	179	180	180	181	182
42	182	183	184	185	185	186	186	187	188	188
43	189	189	190	190	191	192	192	193	194	195
44	195	196	196	197	197	198	199	199	200	201
45	202	202	203	203	204	204	205	206	207	207
46	208	209	209	210	211	212	212	213	213	214
47	214	215	216	217	218	219	219	220	220	221
48	221	222	223	224	225	226	226	227	227	228
49	228	229	230	231	232	233	233	234	234	235
50	235	236	237	238	239	240	241	242	243	243

续表

马达快 并续值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数 字 计 数 器 读 数									
51	244	244	245	245	245	247	248	249	250	250
52	251	252	252	253	254	255	255	257	257	258
53	259	259	260	261	262	263	264	265	265	266
54	266	267	268	269	270	271	272	273	274	274
55	275	275	276	277	278	279	280	281	282	282
56	283	283	284	285	286	287	288	289	290	291
57	292	292	293	294	295	296	297	298	299	299
58	300	301	302	303	304	305	306	306	307	307
59	308	309	310	311	312	313	314	315	316	316
60	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326
61	327	328	329	329	330	331	332	333	334	335
62	336	337	337	338	339	340	341	342	344	344
63	346	346	347	348	349	350	351	352	353	354
64	355	356	357	357	358	359	360	361	362	362
65	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373
66	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383
67	384	385	386	388	389	390	391	392	393	394
68	395	396	397	398	399	400	401	402	403	405
69	406	407	408	409	410	412	413	414	415	416
70	417	418	420	421	422	423	424	426	427	428
71	429	430	431	433	434	435	437	438	439	440
72	441	443	444	445	446	447	448	450	451	453
73	454	455	457	458	460	461	462	463	464	465
74	467	468	470	473	472	474	475	477	478	479
75	481	482	484	485	486	488	489	491	492	494
76	495	496	498	499	501	502	503	505	506	508
77	509	510	512	513	515	517	519	520	522	524
78	526	527	529	531	533	534	536	537	539	540
79	542	544	546	548	550	551	553	554	556	558
80	560	562	564	565	567	568	570	571	573	575
81	577	578	580	582	584	585	587	589	591	592
82	594	596	598	599	601	603	605	606	608	610
83	612	613	615	617	619	620	622	623	625	627
84	629	631	633	635	637	639	641	643	644	646
85	648	650	652	654	656	658	660	662	664	666
86	668	670	672	674	676	677	679	681	683	685
87	688	690	692	694	695	698	699	702	704	706
88	708	709	712	714	716	718	721	722	725	726
89	728	730	732	735	736	739	740	743	745	746
90	749	750	753	754	757	759	761	763	764	767

续表

马达法 辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数 字 计 数 器 读 数									
91	769	771	773	776	777	780	781	783	785	787
92	790	791	794	795	796	800	801	804	805	808
93	809	812	814	816	818	819	822	824	826	828
94	831	832	835	836	838	840	842	845	846	849
95	850	852	855	856	859	860	863	864	866	869
96	870	873	874	876	879	880	881	884	886	888
97	890	891	894	895	897	900	901	904	905	907
98	910	911	912	915	917	918	921	922	924	926
99	928	929	931	934	935	936	939	941	942	945
100	948	949	950	952	953	955	956	957	959	960
101	960	962	963	965	966	967	969	970	972	973
102	974	976	977	979	980	980	981	983	984	986
103	987	988	988	990	991	991	993	993	994	994
104	995	997	998	1 000	1 001	1 003	1 004	1 005	1 006	1 007
105	1 008	1 010	1 011	1 012	1 014	1 015	1 016	1 017	1 018	1 019
106	1 020	1 021	1 022	1 024	1 025	1 026	1 027	1 028	1 029	1 030
107	1 031	1 032	1 033	1 034	1 035	1 036	1 037	1 038	1 039	1 040
108	1 041	1 041	1 042	1 043	1 044	1 045	1 046	1 046	1 047	1 048
109	1 049	1 050	1 051	1 052	1 053	1 053	1 054	1 055	1 056	1 057
110	1 058	1 058	1 059	1 060	1 061	1 062	1 063	1 063	1 064	1 065
111	1 066	1 067	1 068	1 069	1 069	1 070	1 071	1 072	1 073	1 073
112	1 074	1 075	1 076	1 077	1 078	1 079	1 080	1 080	1 081	1 082
113	1 083	1 084	1 084	1 085	1 086	1 087	1 088	1 089	1 090	1 091
114	1 092	1 093	1 093	1 094	1 095	1 096	1 097	1 097	1 098	1 099
115	1 100	1 101	1 101	1 103	1 103	1 104	1 105	1 105	1 107	1 107
116	1 108	1 110	1 110	1 111	1 111	1 112	1 114	1 114	1 115	1 115
117	1 117	1 118	1 118	1 120	1 120	1 121	1 122	1 122	1 124	1 124
118	1 125	1 125	1 127	1 128	1 128	1 129	1 129	1 131	1 131	1 132
119	1 132	1 134	1 134	1 135	1 136	1 136	1 138	1 139	1 141	1 141
120	1 142	1 142	1 144	1 145						

①其他大气压的校正值见表 2-35。

②允许差数:辛烷值 85 以下为 ± 28 计数器单位;85 以上为 ± 3.5 计数器单位。表 2-33 海拔高度为 500m~1 000m,大气压力为 101.3kPa^①,喉管直径为 15.08mm 时,标准爆震强度数字计数器读数与马达法辛烷值对照表^②

马达法 辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数 字 计 数 器 读 数									
40	45	45	46	47	48	48	49	49	50	51
41	52	53	54	54	55	55	56	56	57	58
42	59	60	61	61	62	62	63	63	64	65
43	66	67	68	68	69	69	70	70	71	72

续表

马达洛 空烧值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数 字 计 数 器 读 数									
44	73	74	75	76	76	76	77	78	79	79
45	80	81	82	83	85	85	86	86	86	87
46	87	88	89	90	92	92	92	93	94	94
47	95	95	97	98	98	99	100	100	101	100
48	103	104	103	106	107	107	108	109	110	110
49	111	111	110	113	114	115	115	117	117	118
50	119	120	121	121	122	123	124	125	126	127
51	127	128	129	130	131	132	133	134	134	135
52	136	137	138	138	139	140	141	142	143	144
53	144	145	146	147	148	149	150	151	151	152
54	153	154	155	156	157	158	159	160	161	161
55	162	163	164	165	167	167	168	169	170	171
56	172	173	174	175	177	177	178	179	179	180
57	181	182	183	184	186	186	187	188	189	190
58	191	192	193	194	196	196	197	198	199	200
59	201	202	203	204	206	206	207	209	210	211
60	212	213	214	215	217	217	219	220	220	221
61	223	224	225	226	228	228	229	230	231	232
62	233	234	235	237	239	239	240	241	243	244
63	245	246	247	248	251	251	252	253	254	255
64	257	258	259	260	262	262	264	265	266	267
65	268	269	271	272	274	275	276	278	279	280
66	281	282	283	285	288	288	289	290	291	292
67	292	293	296	298	298	300	302	303	304	306
68	307	309	310	312	314	314	315	316	317	319
69	320	321	323	324	326	327	328	330	331	333
70	334	336	337	338	340	341	343	344	346	347
71	348	350	351	352	354	355	357	358	361	362
72	364	365	367	368	369	371	372	374	375	376
73	378	379	381	383	385	386	388	390	391	392
74	393	395	397	399	400	402	403	405	406	408
75	410	412	413	415	416	418	420	422	423	424
76	426	428	430	431	433	435	436	438	440	441
77	443	444	446	448	450	451	453	455	457	458
78	460	461	463	465	467	468	470	472	474	475
79	477	479	481	482	484	486	488	490	491	493
80	495	497	499	501	502	504	506	508	510	512
81	515	516	517	519	520	522	524	526	528	530
82	532	533	535	537	539	54	543	545	547	548
83	550	552	554	556	558	560	562	564	566	568

续表

气压计 示数	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
数 字 计 数 器 读 数										
81	570	572	574	576	578	580	582	584	586	587
85	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609
86	608	610	612	615	617	619	622	625	628	629
87	620	631	632	634	636	638	640	642	644	647
88	649	651	653	655	657	659	661	663	665	667
89	669	671	673	675	677	679	681	683	685	687
90	689	691	693	695	697	699	702	704	706	708
91	710	712	714	716	718	720	722	724	726	728
92	730	732	734	736	738	740	742	744	746	748
93	750	752	754	756	758	761	763	765	767	769
94	771	773	775	777	779	781	783	785	787	789
95	791	793	795	797	799	801	803	805	807	809
96	811	813	815	817	819	821	823	825	827	829
97	830	832	834	836	838	840	842	844	846	848
98	850	852	854	856	857	859	861	863	865	867
99	869	870	872	874	876	877	879	881	883	885
100	887	890	892	894	895	897	898	900	902	904
101	905	907	909	911	913	915	917	919	921	922
102	924	926	927	928	930	932	933	935	937	939
103	940	941	942	943	945	946	948	949	950	952
104	953	955	956	957	959	960	961	962	963	964
105	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974
106	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983
107	984	985	985	987	987	988	989	990	991	992
108	993	993	994	995	995	996	997	998	999	1 000
109	1 001	1 001	1 002	1 003	1 004	1 004	1 005	1 005	1 006	1 007
110	1 008	1 009	1 009	1 009	1 010	1 010	1 011	1 012	1 012	1 013
111	1 014	1 014	1 014	1 015	1 016	1 017	1 018	1 018	1 019	1 020
112	1 021	1 022	1 023	1 024	1 025	1 025	1 026	1 027	1 028	1 028
113	1 029	1 029	1 030	1 031	1 032	1 033	1 034	1 035	1 036	1 037
114	1 038	1 039	1 040	1 041	1 042	1 042	1 043	1 044	1 045	1 046
115	1 046	1 048	1 048	1 049	1 049	1 050	1 051	1 052	1 053	1 053
116	1 055	1 056	1 056	1 058	1 059	1 060	1 060	1 062	1 063	1 064
117	1 065	1 066	1 066	1 067	1 067	1 069	1 070	1 070	1 072	1 072
118	1 073	1 074	1 074	1 076	1 076	1 077	1 077	1 079	1 079	1 080
119	1 080	1 081	1 081	1 083	1 083	1 084	1 085	1 086	1 087	1 089
120	1 089	1 090	1 090	1 091						

注:其他大气压的校正值见表 2-35。

允许差数:示数 85 以下为 ± 23 计数器单位;85 以上为 ± 35 计数器单位。

表 2-34 海拔高度为 1000m 以上,大气压力为 101.3kPa²⁾,喉管直径为 19.05mm 时,标准爆震强度数字计数误差数与马达法辛烷值对照表¹⁾

马达法 平烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数 字 计 数 器 读 数									
40										
41	—	—	0	0	1	2	3	5	4	4
42	5	6	7	7	8	9	10	13	11	11
43	12	13	14	15	16	18	17	17	18	18
44	19	20	21	22	23	23	24	24	25	26
45	27	28	28	29	30	31	31	32	33	34
46	34	35	35	36	37	38	38	39	40	41
47	42	43	44	44	45	45	46	47	48	48
48	49	50	51	52	53	54	54	55	56	56
49	57	58	59	60	61	62	62	63	63	64
50	65	66	67	68	69	70	71	72	72	73
51	74	75	76	76	77	78	79	79	80	81
52	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90
53	91	92	93	93	94	95	96	97	98	99
54	100	101	102	103	103	104	105	106	107	108
55	109	110	110	111	112	113	114	115	116	117
56	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
57	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
58	138	139	140	141	141	142	144	145	146	147
59	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157
60	158	159	160	161	162	164	165	166	167	168
61	169	170	171	172	173	174	175	176	178	179
62	180	181	182	183	185	186	187	188	189	190
63	192	193	194	195	196	197	199	200	201	202
64	203	204	205	207	208	209	210	212	213	214
65	215	216	217	219	220	221	223	224	225	226
66	227	228	230	231	233	234	235	237	238	239
67	240	241	243	244	245	247	248	250	251	252
68	254	255	257	258	259	260	261	262	264	265
69	266	268	269	271	272	274	275	276	278	279
70	281	282	283	285	286	288	289	290	292	293
71	295	296	298	299	300	302	303	305	307	309
72	310	312	313	314	316	317	319	320	321	323
73	324	326	327	329	331	333	334	336	337	338
74	340	341	343	345	347	348	350	351	352	354
75	356	358	360	361	362	364	366	368	369	371
76	372	374	376	378	379	381	382	384	386	388
77	389	391	393	395	396	398	399	401	403	405
78	406	408	410	412	413	415	417	419	420	422
79	424	426	427	429	430	432	434	436	435	440

续表

马达法 平烧值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数 字 计 数 器 读 数									
80	441	440	441	447	448	450	452	454	456	458
81	460	461	463	465	467	469	471	472	474	475
82	478	480	482	484	485	487	489	491	493	495
83	497	499	501	502	504	505	508	510	512	514
84	516	518	520	522	524	526	528	530	532	534
85	536	538	540	542	543	545	547	549	551	553
86	555	557	559	561	563	565	567	569	571	573
87	575	577	579	581	583	585	587	589	591	593
88	595	597	599	601	603	605	607	609	611	614
89	618	617	619	621	622	625	626	630	632	634
90	636	638	640	642	644	646	648	650	652	654
91	656	658	660	662	664	666	668	670	672	674
92	676	678	681	683	685	687	689	691	693	695
93	697	699	701	703	705	707	709	711	713	715
94	717	719	721	723	725	727	729	731	733	735
95	737	738	741	743	745	747	750	752	754	756
96	758	760	761	763	765	767	769	771	773	775
97	777	779	781	783	785	787	789	791	792	794
98	796	798	800	802	804	806	808	809	811	813
99	815	816	818	820	822	824	825	828	829	831
100	833	836	839	840	842	843	845	847	849	851
101	852	853	855	857	860	862	864	865	867	869
102	870	872	874	875	876	878	880	882	884	885
103	886	887	888	890	891	893	894	895	897	898
104	900	901	902	904	905	906	907	908	909	911
105	912	913	914	915	916	916	917	918	919	920
106	921	922	923	924	925	925	926	927	928	929
107	930	931	932	933	934	935	936	936	937	938
108	939	939	940	941	942	943	944	945	946	946
109	947	948	948	949	949	950	951	952	953	953
110	954	955	955	956	956	957	957	958	958	959
111	959	960	961	962	962	963	964	965	966	966
112	967	968	969	970	971	971	972	973	974	975
113	976	976	977	977	978	978	980	981	982	983
114	984	985	986	986	987	988	989	990	991	992
115	993	994	994	995	997	997	998	1 000	1 001	1 001
116	1 002	1 004	1 004	1 005	1 005	1 007	1 008	1 008	1 010	1 010
117	1 011	1 012	1 012	1 014	1 014	1 015	1 017	1 017	1 018	1 018
118	1 019	1 021	1 021	1 022	1 022	1 024	1 024	1 025	1 025	1 026
119	1 026	1 028	1 028	1 029	1 029	1 031	1 032	1 032	1 034	1 034
120	1 035	1 035	1 036	1 036						

①其他大气压的校正值见表 2-35。

②允许差数, 平烧值 85 以下为 128 计数器单位; 85 以上为 35 计数器单位。

表 2-35 用于应用标准爆震强度表的计数器读数

和各种不同气压计数器读数的校正值^{a)}

(马达法)

大气压力 P (kPa(inHg))	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
为校正实际大气压数字计数器读数, 对表 2-32、2-33、2-34 数值中加上下列数值										
为校正实际大气压数字计数器读数, 由计数器读数减去下列数值										
71.2(22.9)	计数器校正值	388	351	327	328	319	315	310	306	302
77.5(23.0)	计数器校正值	292	283	287	281	276	272	266	264	259
83.2(23.9)	计数器校正值	241	247	243	238	234	230	226	221	217
89.7(25.9)	计数器校正值	209	204	200	196	192	188	183	179	175
96.0(26.0)	计数器校正值	166	162	158	154	149	146	141	137	133
91.4(27.0)	计数器校正值	124	120	116	111	107	103	99	94	90
94.8(28.0)	计数器校正值	82	78	73	68	64	61	56	52	48
98.2(29.0)	计数器校正值	39	35	31	27	23	18	14	10	6
为校正实际大气压数字计数器读数, 对表 2-32、2-33、2-34 数值中减去下列数值										
为校正实际大气压数字计数器读数, 将下列数值加在数字计数器读数上										
101.3(30.0)	计数器校正值	3	7	11	16	20	24	28	32	37

1. 调整计数器指示器使底部计数按实际气压补偿如下: 对气压数值小于 101.3kPa(29.92inHg)时, 提高或降低计数器底座, 使其处于分度位置, 再调整气短高度, 使上部计数比下部计数大出相当于上面所列指示器校正值; 对气压大于 101.3kPa(29.92inHg)时, 调整计数器使下部读数比上部读数大出相当于校正值的数值。调整后, 使计数器运转 1 号位置。

表 2-36 标准爆震强度汽缸高度公差

辛烷值范围	计数器读数	辛烷值范围	计数器读数
85 以下	28	100 以下	
85 以上	250	100 以上	+35

表 2-37 100 以上辛烷值换算为品度值表

辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	100.0	100.3	100.5	100.9	101.2	101.5	101.8	102.1	102.4	102.7
101	102.0	103.3	103.6	103.9	104.2	104.5	104.8	105.1	105.4	105.7
102	106.0	106.3	106.6	106.8	107.2	107.5	107.8	108.1	108.4	108.7
103	109.0	109.3	109.6	109.9	110.2	110.5	110.8	111.1	111.4	111.7
104	112.0	112.3	112.6	112.9	113.2	113.5	113.8	114.1	114.4	114.7
105	115.0	115.3	115.6	115.9	116.2	116.5	116.8	117.1	117.4	117.7
106	118.0	118.3	118.6	118.9	119.2	119.5	119.8	120.1	120.4	120.7
107	121.0	121.3	121.6	121.9	122.2	122.5	122.8	123.1	123.4	123.7
108	124.0	124.3	124.6	124.9	125.2	125.5	125.8	126.1	126.4	126.7
109	127.0	127.3	127.6	127.9	128.2	128.5	128.8	129.1	129.4	129.7
110	130.0	130.3	130.6	130.9	131.2	131.5	131.8	132.1	132.4	132.7
111	133.0	133.3	133.6	133.9	134.2	134.5	134.8	135.1	135.4	135.7
112	136.0	136.3	136.6	136.9	137.2	137.5	137.8	138.1	138.4	138.7
113	139.0	139.3	139.6	139.9	140.2	140.5	140.8	141.1	141.4	141.7
114	142.0	142.3	142.6	142.9	143.2	143.5	143.8	144.1	144.4	144.7
115	145.0	145.3	145.6	145.9	146.2	146.5	146.8	147.1	147.4	147.7
116	148.0	148.3	148.6	148.9	149.2	149.5	149.8	150.1	150.4	150.7

续表

辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
117	151.6	151.3	151.0	151.0	152.2	152.5	152.8	155.1	155.1	153.7
118	154.0	154.3	154.6	154.9	155.2	155.5	155.8	156.1	156.4	156.7
119	157.0	157.2	157.6	157.9	158.2	158.5	158.8	159.1	159.1	159.7
120	160.0	160.2	160.4	160.9						

主要参考文献

1. R. C. Weast, ed. Handbook of Chemistry and Physics, 63rd. Ed. Cleveland, CRC Press, Inc., 1982-1983.
2. 孙尔康等四人编, 化学实验基础, 南京: 南京大学出版社, 1991.
3. 冶金分析试剂的提纯与配制编写组编, 冶金分析试剂的提纯与配制, 北京: 冶金工业出版社, 1973.
4. J. O. B. O. 里亚金, H. H. 安格洛夫编, 仇道华译, 纯化学物质的制备, 太原: 山西科学教育出版社, 1986.

第二篇 准备工作及试剂

第三章 试剂和溶液

第一节 一般问题

一、化学试剂分类

化学试剂是一类具有各种纯度标准,用于教学、科学研究、分析测试,并可作为某些新兴工业所需的纯和特纯的功能材料和原料的精细化学品。化学试剂种类繁多,目前尚无统一分类方法。我国编制的化学试剂经营目录,按试剂用途—化学组成将化学试剂分为十大类,如表 3-1 所示。

表 3-1 化学试剂分类表

序号	名 称	说 明
1	无机分析试剂	用于化学分析的无机化学品,如金属、非金属单质、氧化物、酸、碱、盐等试剂
2	有机分析试剂	用于化学分析的有机化学品,如烃、醛、酮、酸及其衍生物
3	特效试剂	在无机分析中测定、分离、鉴定元素时所专用的一些有机试剂,如沉淀剂、显色剂、螯合剂等
4	基准试剂	主要用于标定标准溶液的浓度,这类试剂的特点是纯度高,杂质少,稳定性好,化学组成恒定
5	标准物质	用于化学分析、仪器分析时作对比的化学标准品,或用于校准仪器的化学品
6	指示剂和试纸	用于滴定分析中指示滴定终点,或用于检验气体或溶液中某些物质存在的试剂。试纸是用指示剂或试剂溶液处理过的纸纸条
7	仪器分析试剂	用于仪器分析的试剂
8	生化试剂	用于生命科学研究的试剂
9	高纯物质	用作某些特殊需要的工业材料(如电子工业原材料、单晶、光导纤维)和一些痕量分析用试剂,其纯度一般在 4 个“9”(99.99%)以上,杂质总量控制在 0.01% 以下
10	液晶	液晶是液态晶体的简称,它既具有流动性、表面张力等液体的特征,又具有光学各向异性、双折射等固态晶体的特征

二、化学试剂规格

化学试剂规格又称试剂级别,反映试剂的质量。试剂规格一般按试剂的纯度、杂质含量来划分。为了保证和控制试剂产品的质量,国家或有关部门制订和颁布“试剂标准”,对试剂的规格标准和检验的方法标准作出规定。我国自 1978 年以来在原化学工业部制订的部颁标准(HG)的基础上,经过修订后陆续颁布了《国家标准·化学试剂》。

我国的试剂规格基本上按纯度划分为高纯、光谱纯、基准、分光纯、优级纯、分析纯和化学纯等 7 种。国家主管部门颁布质量指标的主要是优级纯、分析纯和化学纯等 3 种规格(见表 3-2)。

选用试剂的主要依据是该试剂所含杂质对分析要求有无影响,若试剂纯度不符合要求,应对试剂进行纯化处理。

表 3-2 化学试剂规格

名 称	级别	代号	标志颜色	应 用
优级纯试剂 (保证试剂)	一级	GR	绿色	纯度最高、杂质含量最低,适用于最精密分析工作和科学研究工作
分析纯试剂	二级	AR	红色	纯度略次于优级纯,适用于重要分析工作及一般研究工作
化学纯试剂	三级	CP	蓝色	纯度与分析纯相差较大,适用于工矿、学校一般分析工作

三、溶液浓度表示方法

溶液浓度是指一定量(质量或体积)的溶液中所含的溶质的数量。制备试剂溶液必须标明溶液的浓度。分析工作中常用的溶液浓度表示方法如表 3-3 所示。

表 3-3 溶液浓度表示方法

序号	名 称	符号	单位	含 义
1	密度	ρ	$\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$	在规定温度下单位体积物质的质量
2	物质 B 的物质的量浓度	c_B	$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	物质 B 的量除以混合物的体积。物质的量的国际单位制基本单位是摩尔,其定义:摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元数与 0.012 kg 碳-12 的原子数目相等。在使用摩尔时,基本单元应予指明,可以是原子、分子、离子、电子及其他核子,或是这些核子的特定组合
3	物质 B 的质量摩尔浓度	b_B, m_B	$\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$	物质 B 的物质的量除以混合物的质量
4	体积比浓度	$A+B$		由 A 体积的试剂与 B 体积的稀释剂混合而成
5	物质 B 的质量浓度	ρ_B	$\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	单位体积中含有溶质的质量
6	体积分数	φ	%	100ml 溶液中含有液体溶质的体积 (ml) 数
7	质量分数	w	%	100g 溶液中含有溶质的质量 (g) 数
8	滴定度	T	$\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$	有四种表示方法。 (1) 每毫升标准溶液中含有滴定剂的克数,用 T_A 表示, A 是滴定剂的化学式 (2) 每毫升标准溶液相当于被测物质的克数,用 $T_{A/B}$ 表示, A 是滴定剂的化学式, B 是被测物质的化学式

第二节 普通酸、碱及盐类溶液的配制

一、酸溶液的配制

1. 盐酸 (HCl) 浓盐酸的密度 $1.18 \sim 1.19 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 含量 $w = 35\% \sim 38\%$, 近似浓度 $c(\text{HCl})$ 约 $12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸配制: 量取浓盐酸 83ml, 加水稀释至 1L。

$c(\text{HCl}) = 6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸配制: 量取浓盐酸 500ml, 加水稀释至 1L。

2. 硝酸 (HNO_3) 浓硝酸的密度 $(1.39 \sim 1.40) \text{ g/ml}$, 含量 $w = 65\% \sim 68\%$, 近似浓度 $c(\text{HNO}_3)$ 约 $15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$c(\text{HNO}_3) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸配制: 量取浓硝酸 64ml, 加水稀释至 1L, 用棕色瓶贮存。

$c(\text{HNO}_3) = 6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸配制: 量取浓硝酸 381ml, 加水稀释至 1L, 用棕色瓶贮存。

3. 硫酸 (H_2SO_4) 浓硫酸的密度 $(1.83 \sim 1.84) \text{ g/ml}$, 含量 $w = 95\% \sim 98\%$, 近似浓度 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 约 $18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸配制: 量取 56ml 浓硫酸, 在不断搅拌下缓缓加入适量水中, 待冷却至室温后, 加水至 1L。(配制硫酸溶液, 有大量热量放出, 必须注意安全, 硫酸宜缓慢加入, 溶液应不断搅拌)。

$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸配制: 量取 56ml 浓硫酸, 在不断搅拌下缓缓加入适量水中, 待冷却至室温后, 加水至 1L。

4. 磷酸 (H_3PO_4) 浓磷酸的密度 $1.69\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 含量 $w = 85\%$, 近似浓度 $c(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 约 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$c(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸配制: 量取浓磷酸 66ml, 缓慢加入适量水中, 稀释至 1L。

5. 高氯酸 (HClO_4) 浓高氯酸的密度 $1.68\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 含量 $w = 70\%$, 近似浓度 $c(\text{HClO}_4)$ 约 $12\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$c(\text{HClO}_4) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高氯酸配制: 量取浓高酸 83ml, 缓缓加入适量水中, 稀释至 1L。

6. 氢氟酸 (HF) 浓氢氟酸的密度 $1.13\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 含量 $w = 40\%$, 近似浓度 $c(\text{HF})$ 约 $22.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$c(\text{HF}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氟酸配制: 量取浓氢氟酸 35ml, 加入适量水中, 稀释至 1L。用塑料容器贮存。

7. 氢溴酸 (HBr) 浓氢溴酸的密度 $1.49\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 含量 $w = 47\%$, 近似浓度 $c(\text{HBr})$ 约 $9\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$c(\text{HBr}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢溴酸配制: 量取浓氢溴酸 110ml, 加入适量水中, 稀释至 1L。

8. 冰乙酸 (CH_3COOH) 密度 $1.05\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 近似浓度约 $17\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸配制: 量取冰乙酸 60ml, 加入适量水中, 稀释至 1L。

二、碱溶液的配制

1. 氢氧化钠 (NaOH) 白色固体。

$c(\text{NaOH}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液配制: 将称取的 40g 氢氧化钠, 分几次加入适量水中, 不断搅拌 (注意: 溶解时大量发热!), 溶解后让其冷却至室温, 加水稀释至 1L。用塑料容器贮存。

2. 氢氧化钾 (KOH) 白色固体

$c(\text{KOH}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钾溶液配制: 称取 56g 氢氧化钾, 分几次加入适量水中, 不断搅拌使其溶解, 冷却至室温后加水稀释至 1L。用塑料容器贮存。

3. 氨水 ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 浓氨水密度 $(0.90 \sim 0.91)\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 含 $\text{NH}_3 w = 28\%$, 近似浓度 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) \approx 15\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氨水溶液配制: 量取 66ml 浓氨水, 用水稀释至 1L。

4. 氢氧化钙饱和溶液 $c[\text{Ca}(\text{OH})_2] \approx 0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

5. 氢氧化钡饱和溶液 $c[\text{Ba}(\text{OH})_2] \approx 0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

三、盐溶液的配制

表 3-4 盐溶液的配制

名 称	浓 度 $c/\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	配 制 方 法
硝酸银	$c(\text{AgNO}_3) = 1$	169.87g AgNO_3 , 溶于适量水中, 稀释成 1L, 用棕色瓶贮存
硝酸铝	$c[\text{Al}(\text{NO}_3)_3] = 1$	375.12g $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释成 1L
氯化铝	$c(\text{AlCl}_3) = 1$	135.34g AlCl_3 , 溶于适量水中, 稀释成 1L
硫酸铝	$c[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] = 1$	660.41g $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释成 1L
氯化铁	$c(\text{FeCl}_3) = 0.1$	20.624g $\text{FeCl}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释成 1L
硫酸钡	$c[\text{Ba}(\text{NO}_3)_2] = 0.1$	26.14g $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, 溶于适量水中, 稀释成 1L

续表

名 称	浓 度 $c/\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	配 制 方 法
硝酸铋	$c[\text{Bi}(\text{NO}_3)_3] = 0.1$	39.5g $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, 溶于适量 1:5 硝酸中, 用 1:5 硝酸稀释成 1L
氯化铋	$c(\text{BiCl}_3) = 1$	315.34g BiCl_3 , 溶于 1:5 盐酸中, 用 1:5 盐酸稀释成 1L
氯化钙	$c(\text{CaCl}_2) = 1$	219.5g $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水, 稀释至 1L
硝酸钙	$c[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2] = 1$	236.15g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水, 稀释至 1L
硝酸镉	$c[\text{Cd}(\text{NO}_3)_2] = 0.1$	30.849g $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化镉	$c(\text{CdCl}_2) = 0.1$	18.331g $\text{CdCl}_2 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硫酸镉	$c(\text{CdSO}_4) = 0.1$	28.05g $\text{CdSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硝酸钴	$c[\text{Co}(\text{NO}_3)_2] = 1$	291.03g $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化钴	$c(\text{CoCl}_2) = 1$	237.93g $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硫酸钴	$c(\text{CoSO}_4) = 1$	281.10g $\text{CoSO}_4 \cdot 7\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硝酸铬	$c[\text{Cr}(\text{NO}_3)_3] = 0.1$	23.81g $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化铬	$c(\text{CrCl}_3) = 0.1$	26.043g $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硫酸铬	$c[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = 0.1$	71.64g $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, 溶于水稀释至 1L
硝酸铜	$c[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 1$	241.60g $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, 5ml 浓硫酸, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化铜	$c(\text{CuCl}_2) = 1$	170.46g $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硫酸铜	$c(\text{CuSO}_4) = 1$	249.68g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
三氯化铁	$c(\text{FeCl}_3) = 1$	270.30g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量加了 20ml 浓盐酸的水中, 再用水稀释至 1L
硝酸铁	$c[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3] = 1$	404.00g $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量加了 20ml 浓硝酸的水中, 再用水稀释至 1L
硫酸亚铁	$c(\text{FeSO}_4) = 1$	278.01g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量加了 10ml 浓硫酸的水中, 再用水稀释至 1L, 用前新配, 短期保存
氯化亚铁	$c(\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2) = 0.1$	48.28g $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 加 10ml 浓硫酸再用水稀释至 1L, 短期保存
硫酸亚铁铵	$c[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2] = 0.1$	36.213g $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 加 10ml 浓硫酸再用水稀释至 1L, 用时新配
硝酸汞	$c[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2] = 0.1$	32.460g $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化汞	$c(\text{HgCl}_2) = 0.1$	27.150g HgCl_2 , 溶于适量水中, 稀释至 1L, 系极毒物
硝酸亚汞	$c[\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2] = 0.1$	55.122g $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 溶于 1.0mol/L 硝酸中, 用水稀释至 1L
氯化钾	$c(\text{KCl}) = 1$	74.55g KCl , 溶于适量水中, 稀释至 1L
硝酸钾	$c(\text{KNO}_3) = 1$	101.10g KNO_3 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
铬酸钾	$c(\text{K}_2\text{CrO}_4) = 1$	194.19g K_2CrO_4 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
重铬酸钾	$c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0.1$	29.418g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
亚硝酸钾	$c(\text{KNO}_2) = 1$	65.10g KNO_2 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
碘化钾	$c(\text{KI}) = 1$	166.00g KI , 溶于适量水中, 稀释至 1L, 置于棕色瓶中
亚铁氰化钾	$c[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6] = 0.1$	36.835g $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
铁氰化钾	$c[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6] = 0.1$	32.925g $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硫氰酸钾	$c(\text{KSCN}) = 1$	97.18g KSCN , 溶于适量水中, 稀释至 1L
溴化钾	$c(\text{KBr}) = 1$	119.00g KBr , 溶于适量水中, 稀释至 1L
碳酸钾	$c(\text{K}_2\text{CO}_3) = 1$	174.24g $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯酸钾	$c(\text{KClO}_3) = 0.1$	12.255g KClO_3 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
氰化钾	$c(\text{KCN}) = 1$	65.12g KCN , 溶于适量水中, 稀释至 1L, 系极毒物
硫酸钾	$c(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0.1$	17.426g K_2SO_4 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
高锰酸钾	$c(\text{KMnO}_4) = 0.1$	15.803g KMnO_4 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
硝酸镁	$c[\text{Mg}(\text{NO}_3)_2] = 1$	255.41g $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化镁	$c(\text{MgCl}_2) = 1$	203.36g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硫酸镁	$c(\text{MgSO}_4) = 1$	246.47g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硝酸锰	$c[\text{Mn}(\text{NO}_3)_2] = 1$	287.06g $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化锰	$c(\text{MnCl}_2) = 1$	197.91g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L

续表

名 称	浓 度 $c/\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	配 制 方 法
硫酸锰	$c(\text{MnSO}_4) = 1$	223.06g $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化铵	$c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 1$	53.49g NH_4Cl , 溶于适量水中, 稀释至 1L
乙酸铵	$c(\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}) = 1$	77.08g $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
草酸铵	$c[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4] = 1$	142.11g $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硝酸铵	$c(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 1$	80.04g NH_4NO_3 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
过硫酸铵	$c[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8] = 0.1$	22.82g $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, 溶于适量水中, 稀释至 1L, 用时加热
硫氰酸铵	$c(\text{NH}_4\text{SCN}) = 1$	76.12g NH_4SCN , 溶于适量水中, 稀释至 1L
磷酸氢二铵	$c[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4] = 1$	132.06g $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硒化铵	$c[(\text{NH}_4)_2\text{Se}] = 6$	通硒化氢气体于 200ml 浓氨水中直至饱和, 然后加浓氨水 200ml, 用水稀释至 1L
氯化钠	$c(\text{NaCl}) = 1$	58.44g 氯化钠, 溶于适量水中, 稀释至 1L
乙酸钠	$c(\text{NaCH}_3\text{COO}) = 1$	136.09g $\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
碳酸钠	$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1$	105.99g Na_2CO_3 (或 286.14g $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 溶于适量水中, 稀释至 1L
硒化钠	$c(\text{Na}_2\text{Se}) = 1$	249.78g $\text{Na}_2\text{Se} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 40g NaOH , 溶于适量水中, 稀释至 1L
硝酸钠	$c(\text{NaNO}_3) = 1$	65.01g NaNO_3 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
亚硝酸钠	$c(\text{NaNO}_2) = 1$	69.01g NaNO_2 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
硫酸钠	$c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1$	322.17g $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
四羧酸钠	$c(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 0.1$	38.137g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硒代硫酸钠	$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5) = 1$	243.18g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
草酸钠	$c(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0.1$	13.410g $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
磷酸氢二钠	$c(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.1$	35.814g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
磷酸钠	$c(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0.1$	16.391g Na_3PO_4 , 溶于适量水中, 稀释至 1L
氟化钠	$c(\text{NaF}) = 0.5$	21g NaF , 溶于适量水中, 稀释至 1L
硝酸镍	$c[\text{Ni}(\text{NO}_3)_2] = 1$	290.80g $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化镍	$c(\text{NiCl}_2) = 1$	237.70g $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硫酸镍	$c(\text{NiSO}_4) = 1$	250.86g $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硝酸铅	$c[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2] = 1$	331.21g $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, 溶于适量水中, 加 15ml 6mol $\cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸, 稀释至 1L
乙酸钠	$c[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2] = 1$	379.33g $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
氯化亚锡	$c(\text{SnCl}_2) = 1$	225.65g $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 溶于 170ml 浓盐酸中, 用水稀释至 1L 加入纯锡粒或锡, 以防氧化, 用前新配
四氯化锡	$c(\text{SnCl}_4) = 0.1$	25.050g SnCl_4 溶于 6mol $\cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸中, 并用 6mol $\cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸稀释至 1L
硝酸锌	$c[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2] = 1$	297.48g $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L
硫酸锌	$c(\text{ZnSO}_4) = 1$	237.55g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 溶于适量水中, 稀释至 1L

第三节 元素和离子的标准溶液

一、元素和离子的标准溶液的配制

元素和离子的标准溶液须用基准物质或纯度在分析纯以上的试剂配制, 作为标准应用于光度分析 (或浊度分析), 极谱分析和化学光谱分析等方面。浓度低于 $0.1\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}$ 的标准溶液, 应于使用前配制或稀释。在保存期间有混浊或沉淀生成时, 应予重新配制。配制方法见表 3-5。

表 3-5 元素和离子的标准溶液的配制方法

元素或离子	配 制 方 法
Ag	1. 称取 1.0003g 金属银置于 300ml 烧杯中, 加入 25ml 浓硝酸, 加热溶解并赶去氮的氧化物, 冷却后移入 1L 容量瓶中, 水稀释至刻度, 摇匀, $1\text{ml} > 1\text{mg}$ 银 2. 称取 1.5784g 硝酸银, 溶于 100ml 水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, $1\text{ml} > 1\text{mg}$ 银

元素或离子	配 制 方 法
Al	1. 称取 1.0000g 金属铝置于 300ml 烧杯中, 加入 20ml 水, 3g 氢氧化钠, 待稍溶解后, 用盐酸缓慢地中和至出现混浊, 加入过量盐酸 20ml, 加热使其溶解 (小心不断搅拌), 等冷却后移入 1L 容量瓶中, 水稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 铝 2. 称取 1.755g 硫酸铝钾 ($KAl(SO_4)_3 \cdot 12H_2O$) 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 水稀释至标线, 1ml $\approx$ 0.1mg 铝
As	称取 1.3203g 三氧化二砷 (预先经 100~110℃ 烘 3h, 干燥器中冷却) 溶于 20ml 10% 的氢氧化钠溶液, 加热并不断搅拌之, 溶解后, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至 500ml, 加酚酞二滴以盐酸中和至中性并过量两滴, 用水稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg 砷
As ₂	称取 1.0000g 砷金属于 100ml 烧杯中, 加入水 20ml, 在水浴上加热溶解后, 加入氯化钾 2g, 浓盐酸 167ml, 使酸度保持在 5mol/L, 移入 1L 容量瓶中, 用浓盐酸水稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 砷
B	称取 0.7192g 硼酸 (H_2BO_3) 溶于少量水中, 加热使其溶解, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 硼
Ba	称取 1.7787g 氯化钡 ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$), 溶于少量煮沸过的水中, 移入 1L 容量瓶中, 用煮沸过的水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 钡
Bc	称取 1.0000g 金属铍置于 300ml 烧杯中, 用 1+1 盐酸或 1+1 硫酸分解, 在砂浴上慢慢加热, 使金属分解后, 冷却, 将此溶液移入 1L 容量瓶, 稀释至标线, 溶液酸度保持在 1%~2%, 1ml $\approx$ 1mg 铍
Bk	称取 1.0000g 金属铍置于 500ml 烧杯中, 加 50ml 1+1 硝酸加热溶解, 待完全溶解后, 将上, 移入预先加入 50ml 硝酸的 1L 容量瓶中, 水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 铍
Br	称取 1.4890g 溴化钾, 溶于水移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 1ml $\approx$ 1mg 溴
BaCl ₂	称取 0.1366g 溴酸钾, 溶于水移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 1ml $\approx$ 0.1mg BrO ₃
CN	称取 0.2500g 氰化钾, 溶于水并加热至冷却的水中, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 用聚乙烯容器贮存, 1ml $\approx$ 0.1mg CN
Ca 钙	称取于 (270~300)℃ 灼烧至恒重的无水碳酸钠 0.1766g, 溶于不含二氧化碳的水中, 移入 1L 容量瓶中, 用不含二氧化碳的水稀释至刻度, 1ml $\approx$ 0.1mg Ca
Ca	称取 (105~110)℃ 干燥至恒重的碳酸钙 ($CaCO_3$) 2.4972g, 置于 300ml 烧杯中, 加水 20ml, 滴加 1+1 盐酸至完全溶解, 再加 10ml, 煮沸除去二氧化碳, 冷却后移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 钙
Cd	1. 称取 1.0000g 金属镉于 300ml 烧杯中, 加入 (20~30) ml 1+1 盐酸溶解, 冷却, 移入 1L 容量瓶中, 水稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 镉 2. 称取 0.2032g 氯化镉 ($CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$) 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 1ml $\approx$ 0.1mg 镉
Ce	称取 3.1000g 硫酸铈 [$Ce(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$] 溶于加了 2ml 浓硝酸的水中, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 铈
Cl	称取在 (400~450)℃ 灼烧至恒重的氯化钠 1.6443g, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 氯
ClO ₃	称取 0.1445g 氯酸钾 ($KClO_3$), 溶于水, 移入 1L 容量瓶, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg ClO ₃
Co	称取金属钴 1.0000g 置于 300ml 烧杯中, 加 1+1 硝酸 50ml, 在水浴上加热溶解, 冷却后, 加入少量水煮沸, 冷却, 移入 1L 容量瓶中, 水稀释至标线, 摇匀, 此溶液硝酸酸度应保持 2%~3%, 1ml $\approx$ 1mg 钴
Cr	称取 120℃ 干燥至恒重的重铬酸钾 3.7346g, 溶于少量水中, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 铬
Cu	称取 1.0000g 金属铜置于 300ml 烧杯中, 加入 20ml 1+1 硝酸溶解, 在砂浴上加热至近干, 然后加入 10ml 浓硝酸, 小心蒸至冒三氧化硫白烟, 冷却后, 加水使全部盐类溶解, 冷却, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 铜
F	称取在 (110~120)℃ 干燥至恒重的氟化钠 0.3301g, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 氟
Fe	称取 1.4000g 金属铁, 用 30ml 1+1 硝酸溶解 (也可用 1+1 盐酸或 1+1 硫酸溶解), 溶解后加热除去三氧化氮, 冷却, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 铁
Ga	称取 1.0000g 金属镓, 置于 300ml 烧杯中, 加入 (20~30) ml 1+1 盐酸, 滴加几滴硝酸, 在水浴上加热使其溶解, 冷却后移入 1L 容量瓶中, 水稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 镓
Gie	称取 1.0000g 金属锗, 置于 300ml 烧杯中, 加 (20~30) ml 6% 过氧化氢, 在水浴上加热溶解, 加入少量氢氧化钠可加速其溶解, 溶完后加几 ml 热水, 用 1+1 盐酸中和并过量几 ml, 煮沸除去三氧化氢, 冷却后移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 锗
Hg	1. 称取 1.6621g 硝酸汞, 置于 300ml 烧杯中, 加入 25% 硝酸 20ml, 用水稀释至 50ml, 使之完全溶解, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至标线, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 汞 2. 称取金属汞 1.0000g, 置于 250ml 烧杯中, 加入 1+1 亚酸 (20~30) ml, 放入通风橱中慢慢加热分解, 待溶完后, 加水稀释, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至标线, 摇匀, 硝酸浓度为 1%, 1ml $\approx$ 1mg 汞
I	称取 1.3080g 碘化钾, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 碘
Ia	称取 1.0000g 金属铟, 置于 300ml 烧杯中, 加 (20~30) ml 1+1 盐酸溶解, 在水浴上加热, 使之完全溶解, 冷却, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 铟

元素符号	配 制 方 法
Ir	称取 22.84mg 氯铱酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{IrCl}_6]$, 溶于 1mol/L 盐酸中, 移入 500ml 容量瓶中, 用 1mol/L 盐酸稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 20 μg 铱
K	称取 1.9067g 在 (400~450) $^{\circ}\text{C}$ 灼烧至恒重的氯化钾, 用水溶解, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg K ⁺
La	称取 1.1728g 氧化镧 (La_2O_3), 溶于 50ml 1:1 盐酸, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 镧
Mg	1. 称取 1.0000g 金属镁, 加入 20ml 水, 慢慢加入 20ml 盐酸, 待完全溶解后加热煮沸, 冷却, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 镁 2. 称取于 800 $^{\circ}\text{C}$ 灼烧至恒重的氧化镁 1.6580g, 按照上述方法配制, 1ml $\approx$ 1mg 镁
Mn	1. 称取于 (400~500) $^{\circ}\text{C}$ 灼烧至恒重的硫酸锰 2.749g, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 锰 2. 称取金属锰 1.0000g (称量前用稀硫酸洗去表面氧化物, 再用水洗除酸后并烘干), 用 20ml 1:4 硫酸溶解, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 锰
Mo	1. 称取 1.5003g 三氧化钼, 溶于少量稀氢氧化钠溶液中, 用水稀释至 50ml, 用硫酸酸化后过量 10ml, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 钼 2. 称取 1.8403g 钼酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 置于 300ml 烧杯中, 以少量水溶解, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 钼
N	称取于 (100~105) $^{\circ}\text{C}$ 干燥至恒重的氯化铵 3.8190g, 溶于少量水中, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 氮
NH ₄ ⁺	称取于 (100~105) $^{\circ}\text{C}$ 干燥至恒重的氯化铵 0.2935g, 溶于少量水中, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg NH ₄ ⁺
NO ₂ ⁻	称取 0.1500g 亚硝酸钠, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg NO ₂ ⁻
NO ₃ ⁻	称取于 (120~130) $^{\circ}\text{C}$ 干燥至恒重的硝酸钾 1.630g, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg NO ₃ ⁻
Ni	称取于 (500~600) $^{\circ}\text{C}$ 灼烧至恒重的氯化镍 2.5421g, 溶于少量水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 镍
Nb	称取 25mg 五氯化二砷于石英坩埚中, 加入浓硫酸 3g, 在 700 $^{\circ}\text{C}$ 熔融至透明, 冷却, 加数滴硫酸继续熔融, 如此反复处理几次, 直至熔融物澄清为止, 取出, 冷却, 用近沸的 5% 酒石酸溶液浸取, 加热使其完全溶解, 冷却后移入 250ml 容量瓶中, 用 5% 酒石酸溶液稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg Nb ₂ O ₅
Ni	1. 称取 1.0000g 金属镍置于 300ml 烧杯中, 加入 15ml 1:1 硝酸, 水浴上加热溶解, 溶液加热煮沸, 冷却, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 镍 2. 称取 0.8730g 硫酸镍铵 $(\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg 镍
Os	称取 23.08mg 氯铱酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{OsCl}_6]$, 加盐酸 10ml, 水 50ml, 加热溶解, 冷却后, 移入 100ml 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 100mg 铱
P	称取 4.2633g 磷酸氢二钠, 溶于少量水中, 移入 1L 容量瓶中, 水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 磷
PO ₄ ³⁻	称取 0.1433g 磷酸三氯钾, 溶于少量水中, 移入 1L 容量瓶中, 水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg PO ₄ ³⁻
Pb	1. 称取 1.0000g 金属铅, 置于 300ml 烧杯中, 加入 30ml 1+2 硝酸溶解, 待溶解完全后, 加热除去过氧化氢, 冷却, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 铅 2. 称取 0.1598g 磷酸铅溶于少量水及 1ml 硝酸中, 移入 1L 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg 铅
Pd	称取 0.1000g 金属钯, 用土法溶解, 加入氯化钠 0.2g, 于水浴上煮沸两次, 加入盐酸 10ml 和水 20ml, 溶解后移入 100ml 容量瓶中, 水稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 钯, 工作溶液用 1mol/L 盐酸稀释
Pt	制备方法同钯
Ra	称取 1.0000g 金属镭, 置于 300ml 烧杯中, 加入 20ml 1+1 盐酸并滴加 30% 过氧化氢使镭分解完全, 加少许水并加热煮沸除去过氧化氢, 冷却后移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 镭
Ra	称取 38.55mg 氯镭酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{RaCl}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}]$, 溶于 1mol/L 盐酸中, 移入 500ml 容量瓶中, 用 1mol/L 盐酸稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 20 μg 镭
Ra	称取 32.98mg 氯钋酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{Ra}(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_6]$, 加 10ml 盐酸, 50ml 水, 温热溶解, 冷却后移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg 钋
S	称取在 105 $^{\circ}\text{C}$ 干燥 (1~2) h 的无水硫酸钠 4.4299g (或硫酸钾 5.4349g) 置于 300ml 烧杯中, 用 5% 盐酸溶解, 移入 1L 容量瓶中, 用 5% 盐酸稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 1mg 硫
SCN ⁻	称取 0.1311g 硫氰酸铵, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg SCN ⁻
SO ₄ ²⁻	称取在 105 $^{\circ}\text{C}$ 干燥 (1~2) h 的无水硫酸钠 0.1478g, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg SO ₄ ²⁻
SO ₄ ²⁻	称取 0.2213g 钒代硫酸钠 $(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$, 溶于水, 移入 1L 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 1ml $\approx$ 0.1mg SO ₄ ²⁻

续表

元素或离子	配 制 方 法
Sn	称取 1.0000g 金属锡,置于 300ml 烧杯中,加入 (20~30) ml 1+1 硫酸,加热溶解,完全溶解后,用 1+1 硫酸稀释,移入 1L 容量瓶中,用 1+1 硫酸稀释至标线,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 锡
Se	称取 0.1636g 三氧化二硒,溶于 10ml 2mol/L 盐酸中,移入 100ml 容量瓶中,稀释至标线,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 硒
Se	1. 称取 1.0000g 硒,置于 300ml 烧杯中,加入 10ml 水和 10ml 浓盐酸,在水浴上加热溶解,滴加几滴硝酸,分解完全后,移入 1L 容量瓶中,用水稀释至刻度,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 硒 2. 称取 0.1403g 三氧化二硒,溶于水,移入 1L 容量瓶中,稀释至刻度,摇匀,1ml $\approx$ 0.1mg 硒
Si	称取 2.1852g 二氧化硅,置于铂坩埚中,加 10g 无水碳酸钠,混匀,于 1000℃加热至完全熔融,冷却后用热水浸出,加热至溶液澄清,冷却,移入 1L 容量瓶中,用水稀释至刻度,摇匀,用聚乙烯容器贮存,1ml $\approx$ 1mg 硅
SiO ₂	称取 0.7898g 二氧化硅,同 Si 方法处理,配制,1ml $\approx$ 1mg SiO ₂
Sn	称取 1.0000g 金属锡,用 10ml 1+1 盐酸溶解,冷却后移入 1L 容量瓶中,加入 80ml 浓盐酸,用水稀释至刻度,摇匀,盐酸浓度为 10%,1ml $\approx$ 1mg 锡
Sr	称取三氯化铈 (SrCl ₂ ·6H ₂ O) 3.04g,溶于 0.5mol/L 盐酸中,移入 1L 容量瓶中,用 0.3mol/L 盐酸稀释至刻度,摇匀,1ml $\approx$ 0.1mg 铈
Ta	配制方法与铋相同
Te	称取 1.0000g 铈,置于 300ml 烧杯中,加入 (20~30) ml 浓盐酸及浓硝酸数滴,在水浴上加热溶解,然后移入 1L 容量瓶中,用水稀释至刻度,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 铈
Th	称取三氯化铀 0.5000g 于 250ml 烧杯中,加入盐酸 10ml 和少量氯化钠,加热溶解后,加入高氯酸 2ml,蒸发至干,加盐酸 2ml,在水浴上蒸干,加入 2% 硫酸 20ml,微热,冷却后用 2% 硫酸转入 500ml 容量瓶中,并稀释至刻度,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 三氯化铀
Ti	1. 称取 0.1688g 二氧化钛,加 3g 焦硫酸钾,熔融,冷却,以 0.5mol/L 硫酸溶解,移入 1L 容量瓶中,并用 0.5mol/L 硫酸稀释至刻度,摇匀,1ml $\approx$ 0.1mg 钛 2. 称取 1.0000g 金属铈,放入 250ml 铂皿中,加入少许水后,慢慢滴加高氯酸使样品溶解,再滴加硝酸,使低价铈完全氧化,加入 10ml 浓硝酸,摇匀,在电炉上蒸发至冒浓酸白烟,取下冷却至室温后,用 5% 硫酸移入 1L 容量瓶,并稀释至标线,摇匀,硫酸浓度约为 10%,1ml $\approx$ 1mg 钛
Tl	1. 称取 0.1175g 氯化亚砷 (TlCl),溶于 5ml 硫酸中,移入 1L 容量瓶中,稀释至刻度,摇匀,1ml $\approx$ 0.1mg 砷 2. 称取 1.0000g 金属铈,置于 300ml 烧杯中,加入 20ml 1+1 硝酸,使之溶解后,用水稀释并移入 1L 容量瓶中,用水稀释至标线,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 铈
U	称取 2.1090g 硝酸铀酰 (UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O),溶于少量水中,加入 10ml 浓硝酸,移入 1L 容量瓶中,用水稀释至刻度,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 铀
V	称取 2.2963g 钒酸铵 (NH ₄ VO ₃),溶于加有几粒氢氧化钠的 100ml 水中,溶解后,用 1+1 硫酸中和至酸性,移入 1L 容量瓶中,用水稀释至标线,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 钒
W	称取 1.2611g 三氧化钨 (在 110℃烘于 1 小时,冷却),用 20% 氢氧化钠溶液 (30~40 ml) 稍加热溶解,冷却后移入 1L 容量瓶中,用水稀释至标线,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 钨
Zn	称取 1.0000g 金属锌,置于 300ml 烧杯中,加 (30~40) ml 1+1 盐酸,使其溶解,待溶液加热煮沸几分钟,冷却,移入 1L 容量瓶中,用水稀释至标线,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 锌
Zr	称取 5.5328g 氯化锆酸 (ZrCl ₄ ·8H ₂ O),置于 300ml 烧杯中,加入 (40~50) ml 10% 盐酸溶解,移入 1L 容量瓶,用 10% 盐酸稀释至标线,摇匀,1ml $\approx$ 1mg 锆

二、测定化学试剂杂质用标准溶液

本节所列 83 种杂质标准溶液为国家标准 (GB502-88) 用于检定化学试剂中杂质含量规定的标准溶液^[2],也可用于其他化学品中杂质含量的测定。表中标准溶液按化学式英文字母顺序排列,有机化合物按碳氢原子数顺序排在无机化合物后面。

表 3-6 测定化学试剂杂质用标准溶液的配制方法

序号	名称和化学式	配 制 方 法
1	银 Ag	银 (1ml 溶液含有 0.1mg Ag) 称取 0.136g 硝酸银,溶于水,移入 1000ml 容量瓶中,稀释至刻度,贮存于棕色瓶中
2	铝 Al	铝 (1ml 溶液含有 0.1mg Al) 称取 0.759g 硫酸铝钾 (KAl(SO ₄) ₃ ·12H ₂ O),溶于水,加 10ml 硫酸溶液 (25%),移入 1000ml 容量瓶中,稀释至刻度

续表

序号	名称和化学式	配 制 方 法
3	砷 As	砷 (1ml 溶液含有 0.1mgAs) 称取 5.132g 干燥砷干燥器中干燥至恒重的三氧化二砷, 温热溶于 1-2ml 氢氧化钠溶液 (100g·L ⁻¹) 中, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
4	金 Au	金 (1ml 溶液含有 1mgAu) 称取 0.1000g 金属金, 加 10ml 盐酸, 5ml 硝酸溶解, 在水浴上蒸发至近干, 移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度
5	硼 B	硼 (1ml 溶液含有 0.1mgB) 称取 0.572g 硼酸, 加 10ml 水, 加热溶解, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
6	钡 Ba	钡 (1ml 溶液含有 0.1mgBa) 称取 0.178g 氯化钡 (BaCl ₂ ·2H ₂ O), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
7	铍 Be	铍 (1ml 溶液含有 1mgBe) 称取 1.966g 硫酸铍 (BeSO ₄ ·4H ₂ O), 溶于水, 加 1ml 硫酸, 移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度
8	铋 Bi	铋 (1ml 溶液含有 0.1mgBi) 1. 称取 0.232g 铋铋盐 [Bi(NO ₃) ₃ ·5H ₂ O], 用 10ml 硝酸溶液 (25%) 溶解, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。 2. 称取 0.100g 金属铋, 溶于 6ml 硝酸中, 煮沸除去三氧化二氮气体, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
9	溴化物 Br	溴化物 (1ml 溶液含有 0.1mgBr) 称取 0.149g 溴化钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 贮存于棕色瓶中
10	溴酸盐 BrO ₃	溴酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mgBrO ₃) 称取 0.131g 溴酸钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 贮存于棕色瓶中
11	碳 C	碳 (1ml 溶液含有 1mgC) 称取 8.826g 于 (270~300)℃灼烧至恒重的无水碳酸钠, 溶于无二氧化碳的水中, 移入 1000ml 容量瓶中, 用无二氧化碳的水稀释至刻度
12	碳基化合物 CO	碳基化合物 (1ml 溶液含有 1mgCO) 称取 10.45g 丙酮 (相当 5.00gCO) 置于含有 50ml 无碳基甲醇的 100ml 容量瓶中, 用无碳基甲醇稀释至刻度, 充分混匀。量取 20.00ml 此溶液于 1000ml 容量瓶中, 用无碳基甲醇稀释至刻度, 此标准溶液使用前制备
13	二氧化碳 CO ₂	二氧化碳 (1ml 溶液含有 0.1mgCO ₂) 称取 0.240g 于 (270~300)℃灼烧至恒重的无水碳酸钠, 溶于无二氧化碳的水中, 移入 1000ml 容量瓶中, 用无二氧化碳的水稀释至刻度
14	碳酸盐 CO ₃	碳酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mgCO ₃) 称取 0.177g 于 (270~300)℃灼烧至恒重的无水碳酸钠, 溶于无二氧化碳的水中, 移入 1000ml 容量瓶中, 用无二氧化碳的水稀释至刻度
15	二硫化碳 CS ₂	二硫化碳 (1ml 溶液含有 1mgCS ₂) 称取 0.500g 二硫化碳, 溶于四氯化碳, 移入 500ml 容量瓶中, 用四氯化碳稀释至刻度, 此标准溶液使用前制备
16	钙 Ca	钙 (1ml 溶液含有 0.1mgCa) 1. 称取 0.250g 于 (105~115)℃干燥至恒重的碳酸钙, 溶于 10ml 盐酸溶液 (10%) 中, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 0.367g 氯化钙 (CaCl ₂ ·2H ₂ O), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
17	镉 Cd	镉 (1ml 溶液含有 0.1mgCd) 称取 0.203g 氯化镉 (CdCl ₂ · $2\frac{1}{2}$ H ₂ O), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度

续表

序号	名称和化学式	配 制 方 法
18	氯 Cl	氯 (1ml 溶液含有 0.1mgCl) 称取约 4g 氯胺 T ($\text{C}_6\text{H}_7\text{ClN}_2\text{NaO}_2 \cdot \text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 置于 1000ml 容量瓶中, 溶于水, 稀释至刻度 (溶液 I) 准确量取 1ml 溶液 I, 置于 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液使用前制备 氯胺 T 水溶液体积按式 (3-1) 计算: $V = \frac{m \cdot 100}{X} \quad (3-1)$ 式中: V——氯胺 T 水溶液之体积, ml; X——1ml 溶液 I 含氯之质量, $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$; $G \cdot 100$——配制 1000ml 氯胺 T 标准溶液所需氯之质量, g; 注: (溶液 I) 含量测定 量取 5.00ml 溶液 I, 注入碘量瓶中, 加 100ml 水、2g 碘化钾及 5ml 盐酸溶液 (19%), 在暗处放置 10min, 用硫代硫酸钠标准溶液 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ($0.1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 滴定。近终点时, 加入 3ml 淀粉指示液 ($5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 继续滴定至溶液蓝色消失 氯含量按下式计算: $X = \frac{V \cdot c \cdot 0.03545}{G} \quad (3-2)$ 式中: X——氯之含量, $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$; V——硫代硫酸钠标准溶液之用量, ml; c——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 0.03545——与 1.00ml 硫代硫酸钠标准溶液 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ($1.000\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 相当的以克 (g) 表示的氯的质量。
19	氯化物 Cl ⁻	氯化物 (1ml 溶液含有 0.1mgCl) 称取 0.103g 于 (500~600)℃灼烧至恒重的氯化钠, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
20	氯酸盐 ClO ₃ ⁻	氯酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mgClO₃⁻) 称取 0.147g 氯酸钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
21	钴 Co	钴 (1ml 溶液含有 1mgCo) 称取 2.680g 无水硫酸钴 (用 $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 在 (500~550)℃灼烧至恒重, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
22	铬 Cr	铬 (1ml 溶液含有 0.1mgCr) 1. 称取 0.573g 预先于 105℃干燥 1h 的铬酸钾, 溶于含有 1 滴氢氧化钠溶液 (100g·L⁻¹) 的少量水中, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 0.283g 亚铬酸钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
23	铬酸盐 CrO ₄ ²⁻	铬酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mgCrO₄²⁻) 称取 0.167g 预先于 (105~110)℃干燥 1h 的铬酸钾, 溶于含有 1 滴氢氧化钠溶液 (100g·L⁻¹) 的少量水中, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
24	铜 Cu	铜 (1ml 溶液含有 0.1mgCu) 称取 0.393g 硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
25	氟化物 F	氟化物 (1ml 溶液含有 0.1mgF) 称取 0.221g 氟化钠, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 贮存于聚乙烯瓶中
26	亚铁 (Fe ²⁺)	亚铁 (1ml 溶液含有 0.1mgFe²⁺) 称取 0.792g 硫酸亚铁铵 [$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$], 溶于含有 0.5ml 磷酸的水中, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液使用前制备

序号	名称和化学式	配 制 方 法
27	铁 Fe	铁 (1ml 溶液含有 0.1mgFe) 称取 0.854g 硫酸亚铁 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 溶于水, 加 10ml 硫酸溶液 (15%), 移入 1 000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
28	六氰合铁 (I) 酸盐 $[\text{Fe}(\text{CN})_5]^-$	六氰合铁 (I) 酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mgFe (CN) $_5$) 称取 0.198g 六氰合铁 (I) 酸钾 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_5] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 溶于水, 移入 1 000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
29	镉 Cd	镉 (1ml 溶液含有 1mgCd) 称取 0.134g 二氧化镉, 溶于 5ml 硝酸, 移入 100ml 容量瓶中, 小心稀释至刻度
30	锆 Zr	锆 (1ml 溶液含有 0.1mgZr) 称取 0.100g 锆, 加热溶于 (3~5) ml 30% 过氧化氢中, 逐滴加入氨水至白色沉淀溶解, 用硫酸溶液 (20%) 中和并过量 0.5ml, 移入 1 000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
31	汞 Hg	汞 (1ml 溶液含有 0.1mgHg) 1. 称取 0.135g 氯化汞, 溶于水, 移入 1 000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 0.162g 硝酸汞, 用 10ml 硝酸溶液 (1+9) 溶解, 移入 1 000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
32	过氧化氢 H_2O_2	过氧化氢 (1ml 溶液含有 1mgH $_2$ O $_2$) 称取 mg 30% 过氧化氢, 溶于 1 000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液使用前制备 30% 过氧化氢质量按下式计算: $m = \frac{1.000}{X} \quad (3-3)$ 式中 m ——30% 过氧化氢之质量, g; X ——30% 过氧化氢之百分含量; 1.000——配制 1 000ml 过氧化氢标准溶液所需过氧化氢之质量, g。 注: 30% 过氧化氢含量测定 量取 1.8ml (2g) 30% 过氧化氢, 注入具塞锥形瓶中, 称准至 0.0002g, 移入 250ml 容量瓶中, 稀释至刻度。量取 25.00ml, 加 10ml 硫酸溶液 (20%), 用高锰酸钾标准溶液 $\left[c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \right]$ 滴定至溶液呈粉红色, 保持 30s 30% 过氧化氢含量按下式计算: $X = \frac{V \cdot c \times 0.01701}{m} \times 100 \quad (3-4)$ 式中 X ——30% 过氧化氢之百分含量, %; V ——高锰酸钾标准溶液之用量, ml; c ——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度, mol/L; m ——30% 过氧化氢之质量, g; 0.01701——与 1.00ml 高锰酸钾标准溶液 $\left[c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \right]$ 相当的以克 (g) 表示的过氧化氢的质量。
33	碘化物 I	碘化物 (1ml 溶液含有 0.1mgI) 称取 0.131g 碘化钾, 溶于水, 移入 1 000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。贮存于棕色瓶中
34	碘酸盐 IO $_3^-$	碘酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mgIO $_3^-$) 称取 0.122g 碘酸钾, 溶于水, 移入 1 000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。贮存于棕色瓶中
35	铟 In	铟 (1ml 溶液含有 1mgIn) 称取 0.100g 金属铟, 加 15ml 盐酸溶液 (20%), 加热溶解, 冷却, 移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度

续表

序号	名称和化学式	配 制 方 法
36	钾 K	钾 (1ml溶液含有 0.1mgK) 1. 称取 0.191g 于 (500~600)℃灼烧至恒重的氯化钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 0.259g 硝酸钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
37	镁 Mg	镁 (1ml溶液含有 0.1mgMg) 1. 称取 0.166g 于 800℃灼烧至恒重的氧化镁, 溶于 2.5ml 盐酸及少量水中, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 1.014g 硫酸镁 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
38	锰 Mn	锰 (1ml溶液含有 0.1mgMn) 1. 称取 0.275g 于 (400~500)℃灼烧至恒重的无水硫酸锰, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 0.208g 硫酸锰 ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
39	钼 Mo	钼 (1ml溶液含有 0.1mgMo) 称取 0.181g 钼酸铵 ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
40	氮 N	氮 (1ml溶液含有 0.1mgN) 1. 称取 0.382g 于 (100~105)℃干燥至恒重的氯化铵, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 0.607g 硝酸铵, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
41	铵 NH_4	铵 (1ml溶液含有 0.1mg NH_4) 称取 0.297g 于 (105~110)℃干燥至恒重的氯化铵, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
42	亚硝酸盐 NO_2^-	亚硝酸盐 (1ml溶液含有 0.1mg NO_2^-) 称取 0.150g 亚硝酸钠, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 此标准溶液使用前制备
43	硝酸盐 NO_3^-	硝酸盐 (1ml溶液含有 0.1mg NO_3^-) 1. 称取 0.163g 于 (120~130)℃干燥至恒重的硝酸钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 0.137g 硝酸钠, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
44	钠 Na	钠 (1ml溶液含有 0.1mgNa) 称取 0.254g 于 (500~600)℃灼烧至恒重的氯化钠, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。贮存于聚乙烯瓶中
45	铌 Nb	铌 (1ml溶液含有 0.1mgNb) 称取 0.143g 经乳钵研细的二氧化铌和 4g 粉末状的焦硫酸钾, 二者分层放入石英坩埚中, 于 500℃灼烧熔融, 取出冷却, 用 20ml 酒石酸溶液 ($150\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) 加热溶解, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
46	镍 Ni	镍 (1ml溶液含有 0.1mgNi) 1. 称取 0.674g 硫酸镍铵 ($\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 0.448g 硫酸镍 ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
47	磷 P	磷 (1ml溶液含有 0.1mgP) 称取 0.439g 磷酸二氢钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
48	磷酸盐 PO_4	磷酸盐 (1ml溶液含有 0.1mg PO_4) 称取 0.143g 磷酸二氢钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
49	铅 Pb	铅 (1ml溶液含有 0.1mgPb) 称取 0.150g 磷酸铅, 用 10ml 硝酸溶液 (1+9) 溶解, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度

续表

序号	名称和化学式	配 制 方 法
50	钯 Pd	钯 (1ml 溶液含有 1mgPd) 称取 1.666g 钯先在 (105~110)℃ 干燥 1h 的氯化钯, 加 50ml 盐酸溶液 (20%) 溶解, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
51	钼 Mo	钼 (1ml 溶液含有 1mgMo) 称取 0.248g 钼钼酸钾, 溶于水, 移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度
52	硫 S	硫 (1ml 溶液含有 0.1mgS) 称取 0.544g 硫酸钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
53	硫化物 S	硫化物 (1ml 溶液含有 0.1mgS) 称取 0.749g 硫化钠 ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
54	硫氰酸盐 CNS	硫氰酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mgCNS) 称取 0.131g 硫氰酸钾, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
55	硫酸盐 SO_4	硫酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mg SO_4) 1. 称取 0.148g 于 (105~110)℃ 干燥至恒重的无水硫酸铜, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度 2. 称取 0.181g 硫酸钡, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
56	硫代硫酸盐 S_2O_3	硫代硫酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mg S_2O_3) 称取 0.221g 硫代硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 溶于煮沸过的水, 移入 1000ml 容量瓶中, 用煮沸过的水稀释至刻度
57	锑 Sb	锑 (1ml 溶液含有 0.1mgSb) 称取 0.274g 锑石酸锑钾 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{KO}_2\text{Sb} \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), 溶于盐酸溶液 (10%) 中, 移入 1000ml 容量瓶中, 用盐酸溶液 (10%) 稀释至刻度
58	硒 Se	硒 (1ml 溶液含有 0.1mgSe) 称取 0.41g 二氧化硒, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度
59	硅 Si	硅 (1ml 溶液含有 0.1mgSi) 称取 0.214g 二氧化硅, 置于铂坩埚中, 加 1g 无水碳酸钠, 混合, 于 1000℃ 加热至完全熔融, 冷却, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。贮存于聚乙烯瓶中
60	二氧化硅 SiO_2	二氧化硅 (1ml 溶液含有 1mg SiO_2) 称取 1.000g 二氧化硅, 置于铂坩埚中, 加 2.3g 无水碳酸钠, 混合, 于 1000℃ 加热至完全熔融, 冷却, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 贮存于聚乙烯瓶中
61	硅酸盐 SiO_3	硅酸盐 (1ml 溶液含有 1mg SiO_3) 称取 0.750g 二氧化硅, 置于铂坩埚中, 加 2.5g 无水碳酸钠, 混合, 于 1000℃ 加热至完全熔融, 冷却, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 贮存于聚乙烯瓶中
62	六氟合硅酸盐 SiF_6	六氟合硅酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mg SiF_6) 称取 m 六氟合硅酸 (30%~32%), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。贮存于聚乙烯瓶中 六氟合硅酸质量按下式计算 $m = \frac{1.0341 \times 0.100}{X} \quad (1-5)$ 式中 m——六氟合硅酸之质量, g; X——六氟合硅酸之含量, %; 0.100——配制 1000ml 六氟合硅酸盐标准溶液所需六氟合硅酸之质量, g; 1.0341——六氟合硅酸盐换算为六氟合硅酸之系数。

序号	名称和化学式	试剂与注
62	六氟合硅酸盐 SiF_6	注：六氟合硅酸含量测定 称取 4g 六氟合硅酸，称准至 0.0002g，置于聚乙烯瓶中，加 100ml 水、10ml 饱和氯化钾溶液及 3 滴酚酞指示液（10g/L），冷却至 0℃，用氢氧化钠标准溶液（$c(\text{NaOH}) = 1\text{mol/L}$）滴定至粉红色，保持 15s（$V_1$），然后加热至 80℃，继续用氢氧化钠标准溶液（$c(\text{NaOH}) = 1\text{mol/L}$）滴定至溶液呈稳定的粉红色（$V_2$）。 六氟合硅酸含量按下式计算： $X = \frac{V_2 - V_1 \times 0.036\,023}{m} \times 100 \quad (3-17)$ 式中：X——六氟合硅酸之含量，%； V_2——滴定至第二终点氢氧化钠标准溶液之用量，ml； V_1——氢氧化钠标准溶液之物质计量浓度，mol/L； m——六氟合硅酸之质量，g 0.036 023——与 1.00ml 氢氧化钠标准溶液（$c(\text{NaOH}) = 1.00\text{mol/L}$）相当的以克（g）表示的六氟合硅酸的质量。
63	锡 Sn	锡（1ml 溶液含有 0.1mg Sn） 称取 0.100g 金属锡，溶于盐酸溶液（20%）中，移入 100ml 容量瓶中，用盐酸溶液（20%）稀释至刻度 量取 10.00ml 上述溶液，移入 100ml 容量瓶中，加 15ml 盐酸溶液（20%），稀释至刻度，此标准溶液使用前制备
64	铈 Ce	铈（1ml 溶液含有 0.1mg Sn） 称取 0.304g 氯化铈（$\text{SnCl}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$），溶于水，移入 1000ml 容量瓶中，稀释至刻度
65	铊 Tl	铊（1ml 溶液含有 1mg Tl） 称取 1.000g 金属铊，加（20~30）ml 盐酸及数滴硝酸，加热溶解，移入 1000ml 容量瓶中，稀释至刻度
66	钛 Ti	钛（1ml 溶液含有 0.1mg Ti） 称取 0.107g 二氧化钛，加（2~4）g 焦磷酸钾，于 500℃ 灼烧熔融，冷却，用硫酸溶液（1%）溶解，移入 1000ml 容量瓶中，稀释至刻度
67	铈 Ti	铈（1ml 溶液含有 0.1mg Ti） 称取 0.118g 氧化亚铈，溶于 5ml 硫酸，移入 1000ml 容量瓶中，稀释至刻度
68	钒 V	钒（1ml 溶液含有 1mg V） 称取 0.250g 偏钒酸铵，溶于水（必要时可加热），移入 100ml 容量瓶中，稀释至刻度
69	铊 W	铊（1ml 溶液含有 1mg W） 称取 1.262g 钨酸在（105~110）℃ 干燥 1h 的三氧化钨，加（30~40）ml 氢氧化钠溶液（200g/L），加热溶解，冷却，移入 1000ml 容量瓶中，稀释至刻度 注：可用钨酸钡在（400~500）℃ 灼烧 30min 分解后生成的三氧化钨制备
70	铕 Zr	铕（1ml 溶液含有 0.1mg Zr） 1. 称取 0.125g 氯化铕，溶于 100ml 水及 1ml 硝酸中，移入 1000ml 容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取 0.410g 硫酸铕（$\text{ZrSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$），溶于水，移入 1000ml 容量瓶中，稀释至刻度
71	铈 Zr	铈（1ml 溶液含有 0.1mg Zr） 称取 0.353g 氯化铈（$\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$），加（30~40）ml 盐酸溶液（10%）溶解，移入 1000ml 容量瓶中，用盐酸溶液（10%）稀释至刻度
72	甲醛 HCHO	甲醛（1ml 溶液含有 1mg HCHO） 称取 1mg 甲醛溶液，置于 1000ml 容量瓶中，稀释至刻度，此标准溶液使用前制备 甲醛溶液质量按下式计算： $m = \frac{1.000}{X} \quad (3-18)$

序号	名称和化学式	配 制 方 法
32	甲醛 HCHO	式中 m——甲醛溶液之质量, g; X——甲醛溶液之含量, %; 1.000——配制 1000ml 甲醛杂质标准溶液所需甲醛溶液之质量, g。 注: 甲醛溶液含量测定 称取 3ml 甲醛溶液, 称准至 0.0002g, 加入 30ml 亚硫酸钠溶液 [$c(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 在 1.00 中, 用硫酸标准溶液 [$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定至溶液由蓝色变为无色。 注: ①亚硫酸钠溶液 [$c(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 制备: 称取 126g 亚硫酸钠, 溶于水, 稀释至 1000ml, 加百里香酚指示液 ($1\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用硫酸溶液 (5%) 中和至无色。 甲醛溶液含量按下式计算: $X = \frac{V \times c \times 0.03003}{m} \times 100 \quad (3-6)$ 式中 X——甲醛溶液之含量, %; V——硫酸标准溶液之用量, ml; c——硫酸标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m——甲醛溶液之质量, g。 0.03003——与 1.00ml 硫酸标准溶液 [$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 1.000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 相当的以克(g)表示的甲醛的质量。
33	甲醇 CH_3OH	甲醇 (1ml 溶液含有 10g CH_3OH) 称取 1.000g 甲醇, 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液使用前制备。
34	草酸盐 C_2O_4	草酸盐 (1ml 溶液含有 0.1mg C_2O_4) 称取 0.143g 草酸 ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液使用前制备。
35	乙酸盐 CH_3COO	乙酸盐 (1ml 溶液含有 10mg CH_3COO) 称取 23.050g 乙酸钠 ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。
36	乙醛 CH_3CHO	乙醛 (1ml 溶液含有 1mg CH_3CHO) 称取 9840% 乙醇溶液, 置于 1000ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液使用前制备。 40% 乙醛质量按下式计算: $m = \frac{1.000}{X} \quad (3-7)$ 式中 m——40% 乙醛的质量, g; X——40% 乙醛的含量, %; 1.000——配制 1000ml 乙醛杂质标准溶液所需乙醛之质量, g。 注: 40% 乙醛含量测定 将 50.00ml 氯化羟胺溶液 [$c(\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}) = 2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 注入具塞锥形瓶中, 称量, 加入 1.5ml 40% 乙醛, 放置 30min, 再称量, 两次称量均称准至 0.0002g, 加 10 滴溴酚蓝指示液 ($10.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用氢氧化钠标准溶液 [$c(\text{NaOH}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定, 同时做空白试验。 空白试验是称取 50.00ml 氯化羟胺溶液 [$c(\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}) = 2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 加 30ml 水, 与样品同时同样操作。 40% 乙醛含量按下式计算: $X = c \times \left[(V_1 - \frac{V_2}{n}) \times 0.04405 \right] \times 100 \quad (3-10)$ 式中 X——40% 乙醛的含量, %; V_1——氢氧化钠标准溶液的用量, ml;

续表

序号	名称和化学式	配 制 方 法	备 注
76	乙醛 CH_3CHO	V_1 ——空白试验氢氧化钠标准溶液的用量, ml; c ——氢氧化钠标准溶液的物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m ——10%乙醛的质量, g; 0.044 05——与1.00ml 氢氧化钠标准溶液 ($c(\text{NaOH}) = 1.0000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 相当的以克 (g) 表示的乙醛的质量。	
77	缩二脲 $\text{C}_3\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2$	缩二脲 (1ml 溶液含有 0.1mg $\text{NH}_2\text{CONHCONH}_2$)	
78	丙酮 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	称取 0.100g 缩二脲, 溶于水, 移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液供使用前制备	
79	乙酸酐 $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$	丙酮 (1ml 溶液含有 1mg $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOCH}_3$)	
80	糖脲 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_4$	称取 1.000g 丙酮, 溶于水, 移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度。此标准溶液供使用前制备	
81	酚 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	乙酸酐 (1ml 溶液含有 1mg $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$)	
82	葡萄糖 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	称取 0.100g 乙酸酐, 置于 100ml 容量瓶中, 用无乙酰基的冰乙酸溶解, 用无乙酰基的冰乙酸稀释至刻度。此标准溶液使用前制备	
83	水杨酸 $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$	注: 无乙酰基的冰乙酸的制备, 将冰乙酸回流半小时蒸馏制得	
84	苯酚 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	糖脲 (1ml 溶液含有 1mg $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_4$)	
85	葡萄糖 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	称取 1.000g 苯酚, 溶于水, 移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度	
86	水杨酸 $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$	葡萄糖 (1ml 溶液含有 1mg $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	
87	水杨酸 $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$	称取 1.000g 葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度	
88	水杨酸 $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$	水杨酸 (1ml 溶液含有 0.1mg $\text{HOC}_6\text{H}_4\text{COOH}$)	
89	水杨酸 $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$	称取 0.100g 水杨酸, 加少量水和 1ml 冰乙酸溶解, 移入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度	

第四节 滴定分析用标准物质和标准溶液

一、滴定分析用标准物质

表 3-7 滴定分析用标准物质

序号	名称和化学式	式量	预 处 理
1	氯化钠 ¹ NaCl	58.443	在白金坩埚内于 500℃ ~ 650℃ 保持 (40 ~ 45) min, 硫酸干燥器中冷却
2	草酸钠 ² $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	134.069	于 150℃ ~ 200℃ 保持 (1 ~ 1.5) h, 硫酸干燥器中冷却
3	碳酸钠 ³ Na_2CO_3	105.989	在白金坩埚内于 500℃ ~ 650℃ 保持 (40 ~ 45) min, 硫酸干燥器中冷却
4	三氧化二砷 ⁴ As_2O_3	197.841	于 105℃ 保持 3h ~ 4h, 硫酸干燥器中冷却
5	邻苯二甲酸氢钾 ⁵ $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$	204.220	于 120℃ ~ 125℃ 干燥至恒重, 硫酸干燥器中冷却
6	碘酸钾 ⁶ KIO_3	214.004	于 120℃ ~ 140℃ 保持 1.5h ~ 2h, 硫酸干燥器中冷却
7	重铬酸钾 ⁷ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	294.182	研细, 于 130℃ ~ 140℃ 保持 3h ~ 4h, 于硫酸干燥器中冷却
8	氧化锌 ⁸ ZnO	81.37	在白金坩埚内于 700℃ ~ 800℃ 保持 (40 ~ 45) min, 硫酸干燥器中冷却
9	对氨基苯磺酸 ⁹ $\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$	173.098	在抽真空的硫酸干燥器中放置
10	溴酸钾 ¹⁰ KBrO_3	167.004	于 120℃ ~ 140℃ 保持 1.5h ~ 2h, 硫酸干燥器中冷却

续表

序号	名称和化学式	含量	预处理
11	碳酸钙 CaCO_3	100.090	于110℃~120℃保持1.5h~2h, 硫酸干燥器中冷却
12	氧化镁 MgO	40.304	在白瓷坩埚内于200℃~300℃保持(40~45)min, 硫酸干燥器中冷却
13	氯化钠 NaCl	41.502	在白瓷坩埚内于500℃~650℃保持(40~45)min, 硫酸干燥器中冷却
14	氨基磺酸 HOSOC_6H_5	97.082	在抽真空的硫酸干燥器中放置48h
15	锌 Zn	65.38	用盐酸(2+98)、水、丙酮依次洗涤, 于硫酸干燥器中放置24h以上
16	铜 Cu	63.546	用乙酸(2+98)、水、乙醇(95%)、甲醇依次洗涤, 于硫酸干燥器中放置24h以上

① 基准试剂, 参考中华人民共和国国家标准 GB 1253-77~1261-77, 化学试剂: 基准试剂, 第一部分, 北京, 中国标准出版社, 1977。

二、滴定分析用标准溶液^②

本节所列滴定分析标准溶液如表 3-8 所示。国家标准 (GB 601-88)《化学试剂滴定分析(容量分析)标准溶液的制备》对表 3-8 中标准溶液的配制和标定方法分别如表 3-9 所示。标准溶液制备的一般规定如下:

- (1) 本标准中所用的水, 在没有注明其他要求时, 应符合 GB 6682《实验室用水规格》中三级水的规格。
- (2) 本标准中所用试剂的纯度应在分析纯以上。
- (3) 工作中所用分析天平的砝码、滴定管、容量瓶及移液管均需定期校正。
- (4) 本标准中标定时所用的基准试剂为容量分析工作基准试剂; 制备标准溶液时所用的试剂为分析纯以上试剂。
- (5) 本标准中所制备的标准溶液的浓度均指 20℃时的浓度。在标定和使用时, 如温度有差异, 应按表 3-10 补正。
- (6) “标定”或“比较”标准溶液浓度时, 平行试验不得少于 8 次, 两人各作四平行, 每人四平行测定结果的极差与平均值之比不得大于 0.1%。两人测定结果平均值之差不得大于 0.1%, 结果取平均值。浓度值取四位有效数字。
- (7) 本标准中凡规定用“标定”和“比较”两种方法测定浓度时, 不得略去其中任何一种, 且两种方法测得的浓度值之差不得大于 0.3%, 以标定结果为准。
- (8) 制备的标准溶液浓度与规定浓度相对误差不得大于 5%。
- (9) 配制浓度等于或低于 $0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 标准溶液时, 应于临用前将浓度高的标准溶液用煮沸并冷却的水稀释, 必要时重新标定。
- (10) 碘量法反应时, 溶液的温度不能过高, 一般在 15℃~20℃之间进行滴定。
- (11) 滴定分析(容量分析)用标准溶液在常温(15℃~25℃)下, 保存时间一般不得超过 3 个月。

表 3-8 滴定分析用标准溶液

序号	名称	浓度 ^① $c/\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	制备方法
1	草酸标准溶液	$c(\frac{1}{2}\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = 0.1$	(0.1N) 参见表 3-9 中序号 11
2	重铬酸钾标准溶液	$c(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0.1$	(0.1N) 参见表 3-9 中序号 5

续表

序号	名 称	浓度 ^a $c/\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	制备方法
3	碘标准溶液	$c(1/2 \text{ I}_2) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 9
4	碘酸钾标准溶液	$c(1/6 \text{ KIO}_3) = 0.1$ (0.05M)	参见表 3-9 中序号 10
		$c(1/6 \text{ KIO}_3) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 10
5	高氯酸标准溶液	$c(\text{HClO}_4) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 24
6	高锰酸钾标准溶液	$c(1/5 \text{ KMnO}_4) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 12
7	硫代硫酸钠标准溶液	$c(1/2 \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.1$ (0.1M)	参见表 3-9 中序号 8
8	硫氰酸钠 (或硫氰酸钾) 标准溶液	$c(\text{NaCNS}) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 25
9	硫酸标准溶液	$c(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4) = 1$ (1N)	参见表 3-9 中序号 3
		$c(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4) = 0.5$ (0.5N)	参见表 3-9 中序号 4
		$c(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 5
10	硫酸钾 (或硫酸钾盐) 标准溶液	$c[\text{K}_2(\text{SO}_4)_2] = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 14
11	硫酸亚铁铵标准溶液	$c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2] = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 13
12	氯化铁 (或硫酸铁) 标准溶液	$c(\text{FeCl}_3) = 0.1$ (0.1M)	参见表 3-9 中序号 7
13	氯化钠标准溶液	$c(\text{NaCl}) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 19
14	氯化锌标准溶液	$c(\text{ZnCl}_2) = 0.1$ (0.1M)	参见表 3-9 中序号 16
15	氢氧化钠标准溶液	$c(\text{NaOH}) = 1$ (1N)	参见表 3-9 中序号 1
		$c(\text{NaOH}) = 0.5$ (0.5N)	参见表 3-9 中序号 2
		$c(\text{NaOH}) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 4
16	亚硫酸钠标准溶液	$c(1/2 \text{ Na}_2\text{SO}_3) = 1$ (1N)	参见表 3-9 中序号 4
		$c(1/2 \text{ Na}_2\text{SO}_3) = 0.5$ (0.5N)	参见表 3-9 中序号 5
		$c(1/2 \text{ Na}_2\text{SO}_3) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 4
17	硝酸银标准溶液	$c(\text{AgNO}_3) = 0.05$ (0.05M)	参见表 3-9 中序号 18
18	硝酸银标准溶液	$c(\text{AgNO}_3) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 21
19	溴标准溶液	$c(1/6 \text{ KBrO}_3) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 7
20	溴酸钾标准溶液	$c(1/6 \text{ KBrO}_3) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 8
21	亚硝酸钠标准溶液	$c(\text{NaNO}_2) = 0.5$ (0.5M)	参见表 3-9 中序号 22
		$c(\text{NaNO}_2) = 0.1$ (0.1M)	参见表 3-9 中序号 2
22	盐酸标准溶液	$c(\text{HCl}) = 1$ (1N)	参见表 3-9 中序号 2
		$c(\text{HCl}) = 0.5$ (0.5N)	参见表 3-9 中序号 3
		$c(\text{HCl}) = 0.1$ (0.1N)	参见表 3-9 中序号 2
23	乙二胺四乙酸二钠标准溶液	$c(\text{EDTA}) = 0.1$ (0.1M)	参见表 3-9 中序号 15
		$c(\text{EDTA}) = 0.05$ (0.05M)	参见表 3-9 中序号 16
		$c(\text{EDTA}) = 0.01$ (0.01M)	参见表 3-9 中序号 16

注：括号中所列浓度为换算前的非法定单位及数据。

表 3-9 滴定分析用标准溶液的配制

序号	标准溶液的制备
1	氢氧化钠标准溶液 $c(\text{NaOH}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 100g 氢氧化钠, 溶于 100mL 水中, 摇匀, 注入聚乙烯容器中, 密闭放置至溶液澄清。用塑料虹吸 50mL 体积的上层清液, 注入 1 000mL 无二氧化碳的水中, 摇匀。 2. 标定 (1) 测定方法 称取 5g 于 105℃ ~ 110℃ 烘至恒重的基准邻苯二甲酸氢钾, 称准至 0.0001g, 溶于 80mL 体积的无二氧化碳的水中, 加 2 滴酚酞指示液 ($10\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用配制好的氢氧化钠溶液滴定至溶液呈粉红色, 同时作空白试验。 (2) 计算 氢氧化钠标准溶液浓度按式 (3-11) 计算:

序号	标准溶液的制备															
1	$c(\text{NaOH}) = \frac{m}{(V_1 - V_2) \times 0.2042} \quad (5-11)$ 式中：$c(\text{NaOH})$——氢氧化钠标准溶液之物质的量浓度，$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$； m——邻苯二甲酸氢钾之质量，g； V_1——氢氧化钠溶液之用量，ml； V_2——空白试验氢氧化钠溶液之用量，ml； 0.2042——与 1.00ml 氢氧化钠标准溶液 [$c(\text{NaOH}) = 1.000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 相当的以克 ($\text{g}$) 表示的邻苯二甲酸氢钾的质量。 2. 比较 (1) 测定方法 量取 $(30.00 \sim 35.00) \text{ ml}$，$c(\text{HCl}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的盐酸标准溶液，加 50ml 无二氧化碳的水及 2 滴酚酞指示液 ($10\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)，用配制好的氢氧化钠溶液滴定，近终点时加热至 80°C，继续滴定至溶液呈粉红色。 (2) 计算 氢氧化钠标准溶液浓度按式 (5-12) 计算： $c(\text{NaOH}) = \frac{V_1 \cdot c_1}{V} \quad (5-12)$ 式中：$c(\text{NaOH})$——氢氧化钠标准溶液之物质的量浓度，$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$； V_1——盐酸标准溶液之用量，ml； c_1——盐酸标准溶液之物质的量浓度，$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$； V——氢氧化钠溶液之用量，ml。 $c(\text{NaOH}) = 0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $c(\text{NaOH}) = 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 标准溶液参照上述方法制备，改变的参数列于下表： <table><tr><th>标准溶液浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$</th><th>配制时量取氢氧化钠 溶液的体积 ml</th><th>标定时称取 基准物质的量 g</th><th>溶解基准物 质的水 ml</th><th>比较所用盐酸 标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$</th></tr><tr><td>$c(\text{NaOH}) = 0.5$</td><td>20</td><td>3</td><td>50</td><td>$c(\text{HCl}) = 0.5$</td></tr><tr><td>$c(\text{NaOH}) = 0.1$</td><td>5</td><td>0.6</td><td>50</td><td>$c(\text{HCl}) = 0.1$</td></tr></table>	标准溶液浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	配制时量取氢氧化钠 溶液的体积 ml	标定时称取 基准物质的量 g	溶解基准物 质的水 ml	比较所用盐酸 标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	$c(\text{NaOH}) = 0.5$	20	3	50	$c(\text{HCl}) = 0.5$	$c(\text{NaOH}) = 0.1$	5	0.6	50	$c(\text{HCl}) = 0.1$
标准溶液浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	配制时量取氢氧化钠 溶液的体积 ml	标定时称取 基准物质的量 g	溶解基准物 质的水 ml	比较所用盐酸 标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$												
$c(\text{NaOH}) = 0.5$	20	3	50	$c(\text{HCl}) = 0.5$												
$c(\text{NaOH}) = 0.1$	5	0.6	50	$c(\text{HCl}) = 0.1$												
2	盐酸标准溶液 $c(\text{HCl}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 量取盐酸 90ml 注入 (200ml) 水中，混合。 2. 标定 (1) 测定方法 称取 1.6g 于 $(270 \sim 300)^\circ\text{C}$ 灼烧至恒重的基准无水碳酸钠，称准至 0.0001g，溶于 50ml 水中，加 10 滴溴甲酚绿-甲基红混合指示液，用配制好的盐酸溶液滴定至溶液由绿色变为暗红色，煮沸 2min，冷却后继续滴定至溶液再呈粉红色，同时作空白试验。 (2) 计算 盐酸标准溶液浓度按式 (5-13) 计算： $c(\text{HCl}) = \frac{m}{(V_1 - V_2) \times 0.05299} \quad (5-13)$ 式中：$c(\text{HCl})$——盐酸标准溶液之物质的量浓度，$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$； m——无水碳酸钠之质量，g； V_1——盐酸溶液之用量，ml； V_2——空白试验盐酸溶液之用量，ml； 0.05299——与 1.00ml 盐酸标准溶液 [$c(\text{HCl}) = 1.000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 相当的以克 ($\text{g}$) 表示的无水碳酸钠的质量。															

续表

序号 5 标准溶液的制备

2

3. 比较

(1) 测定方法

量取 (30.00~35.00) ml $c(\text{NaOH}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的氢氧化钠标准溶液, 加 50ml 无二氧化碳的水及 2 滴酚酞指示液 ($10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用配制好的盐酸溶液滴定, 近终点时加热至 80°C , 继续滴定至溶液呈粉红色。

(2) 计算

盐酸标准溶液浓度按式 (3-14) 计算:

$$c(\text{HCl}) = \frac{V_1 \cdot c_1}{V_2} \quad (3-14)$$

式中: $c(\text{HCl})$ — 盐酸标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

V_1 — 氢氧化钠标准溶液之用量, ml;

c_1 — 氢氧化钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

V_2 — 盐酸溶液之用量, ml;

$c(\text{HCl}) = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $c(\text{HCl}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 标准溶液按照上述方法制备, 改变的参数如下所示:

标准溶液浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	配制时量取盐 酸的体积 ml	标定时称取基 准物质的质量 g	比较所用氨基乙 醇标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
$c(\text{HCl}) = 0.5$	45	0.8	$c(\text{NaOH}) = 0.5$
$c(\text{HCl}) = 0.1$	9	0.2	$c(\text{NaOH}) = 0.1$

3

硫酸标准溶液 $c\left(\frac{1}{2} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4\right) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

1. 配制

量取硫酸 30ml, 缓慢加入 1000ml 水中, 冷却, 摇匀。

2. 标定

(1) 测定方法

称取 1.6g (1.50~1.80) g 灼烧至恒重的基准无水碳酸钠, 称准至 0.0001g, 溶于 50ml 水中, 加入 2 滴溴甲酚绿-甲酚红混合指示液, 用配制好的硫酸溶液滴定至溶液由绿色变为暗红色, 煮沸 2min, 冷却后继续滴定至溶液呈暗红色, 同时作空白试验。

(2) 计算

硫酸标准溶液浓度按式 (3-15) 计算:

$$c\left(\frac{1}{2} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4\right) = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times \frac{m}{0.05295} \quad (3-15)$$

式中: $c\left(\frac{1}{2} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4\right)$ — 硫酸标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

m — 无水碳酸钠之质量, g;

V_1 — 硫酸溶液之用量, ml;

V_2 — 空白试验硫酸溶液之用量, ml;

0.05295 — 与 1.00ml 硫酸标准溶液 $\left[c\left(\frac{1}{2} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4\right) = 1.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\right]$ 相当的以克 (g) 表示的

无水碳酸钠的质量。

3. 比较

(1) 测定方法

量取 (30.00~35.00) ml $c(\text{NaOH}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的氢氧化钠标准溶液, 加 50ml 无二氧化碳的水及 2 滴酚酞指示液 ($10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用配制好的硫酸溶液滴定, 近终点时加热至 80°C , 继续滴定至溶液呈粉红色。

(2) 计算 硫酸标准溶液浓度按式 (3-16) 计算:

$$c\left(\frac{1}{2} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4\right) = \frac{V_1 \cdot c_1}{V_2} \quad (3-16)$$

序号	标准溶液的制备												
5	式(3-15) $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$——硫酸标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1——氢氧化钠标准溶液之用量, ml; c_1——氢氧化钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V——硫酸溶液之用量, ml; $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 标准溶液参照上述方法制备, 改变的参数如表所示: <table><tr><th>标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$</th><th>配制时量取硫酸 酸的体积 ml</th><th>测定时体积差 连续滴定的毫升数 R</th><th>比较所用氢氧化钠 标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$</th></tr><tr><td>$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.5$</td><td>15</td><td>0.8</td><td>$c(\text{NaOH}) = 0.5$</td></tr><tr><td>$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.1$</td><td>3</td><td>0.2</td><td>$c(\text{NaOH}) = 0.1$</td></tr></table>	标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	配制时量取硫酸 酸的体积 ml	测定时体积差 连续滴定的毫升数 R	比较所用氢氧化钠 标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.5$	15	0.8	$c(\text{NaOH}) = 0.5$	$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.1$	3	0.2	$c(\text{NaOH}) = 0.1$
标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	配制时量取硫酸 酸的体积 ml	测定时体积差 连续滴定的毫升数 R	比较所用氢氧化钠 标准溶液的浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$										
$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.5$	15	0.8	$c(\text{NaOH}) = 0.5$										
$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.1$	3	0.2	$c(\text{NaOH}) = 0.1$										
6	碳酸钠标准溶液, $c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 $53g$ 无水碳酸钠, 溶于 1000 ml 水中, 摇匀 2. 标定 (1) 测定方法 量取 $(30.00 \sim 35.00) \text{ ml}$ 配制好的碳酸钠溶液, 加 50 ml 水, 加 10 滴溴甲酚绿-甲基红混合指示液, 用 $c(\text{HCl}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的盐酸标准溶液滴定至溶液由绿色变为暗红色, 煮沸 5 min, 冷却后继续滴定至溶液再呈暗红色。 (2) 计算 碳酸钠标准溶液浓度按式 (3-17) 计算: $c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right) = \frac{V_1 \cdot c_1}{V} \quad (3-17)$ 式中 $c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right)$——碳酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1——盐酸标准溶液之用量, ml; c_1——盐酸标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V——碳酸钠溶液之用量, ml; $c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 标准溶液参照上述方法制备, 配制时称取 $53g$ 无水碳酸钠, 测定时加入水量为 2 ml, 所用盐酸标准溶液的浓度为 $c(\text{HCl}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$												
6	重铬酸钾标准溶液 $c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 $49g$ 重铬酸钾, 溶于 1000 ml 水中, 摇匀 2. 标定 (1) 测定方法 量取 $(30.00 \sim 35.00) \text{ ml}$ 配制好的重铬酸钾溶液 $\left[c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\right]$, 置于碘量瓶中, 加 $2g$ 碘化钾及 50 ml 硫酸溶液 (20%), 摇匀, 于暗处放置 10 min, 加 350 ml 水, 用硫代硫酸钠标准溶液 V_2 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $= 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 滴定, 近终点时加 3 ml 淀粉指示液 ($5g \cdot \text{L}^{-1}$), 继续滴定至溶液由蓝色变为亮绿色, 同时作空白试验。 (2) 计算 重铬酸钾标准溶液浓度按式 (3-18) 计算: $c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c_1}{V} \quad (3-18)$ 式中 $c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right)$——重铬酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;												

序号	标准溶液的制备
5	V_1 ——硫代硫酸钠标准溶液之用量, ml; V_2 ——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量, ml; c_1 ——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V ——重铬酸钾溶液之用量, ml。
6	硫代硫酸钠标准溶液 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 25g 硫代硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (或 15g 无水硫代硫酸钠), 溶于 1000ml 水中, 缓缓煮沸 10min, 冷却, 放置两周后过滤备用 2. 标定 (1) 测定方法 称取 0.15g 于 120°C 烘至恒重的基准重铬酸钾, 称准至 0.0001g, 置于碘量瓶中, 溶于 25ml 水, 加 2g 碘化钾及 20ml 硫酸溶液 (20%), 摇匀, 于暗处放置 10min, 加 150ml 水, 用配制好的硫代硫酸钠溶液 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 滴定, 近终点时加 3ml 淀粉指示液 ($5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 继续滴定至溶液由蓝色变为亮绿色, 同时作空白试验 (2) 计算 硫代硫酸钠标准溶液浓度按式 (3-19) 计算: $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{m}{(V_1 - V_2) \times 0.04903} \quad (3-19)$ 式中 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m——重铬酸钾之质量, g; V_1——硫代硫酸钠溶液之用量, ml; V_2——空白试验硫代硫酸钠溶液之用量, ml; 0.04903——与 1.00ml 硫代硫酸钠标准溶液 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 1.000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 相当的以克 (μ) 表示的重铬酸钾的质量。 3. 比较 (1) 测定方法 准确量取 (30.00~35.00) ml 碘标准溶液 [$c(\frac{1}{2}\text{I}_2) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 置于碘量瓶中, 加 150ml 水, 用配制好的硫代硫酸钠溶液 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 滴定, 近终点时加 3ml 淀粉指示液 ($5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 继续滴定至溶液蓝色消失 同时作水所消耗量的空白试验: 取 250ml 水, 加 0.05ml 碘标准溶液 [$c(\frac{1}{2}\text{I}_2) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 及 3ml 淀粉指示液 ($5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用配制好的硫代硫酸钠溶液 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 滴定至溶液蓝色消失。 (2) 计算 硫代硫酸钠标准溶液浓度按式 (3-20) 计算: $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{(V_1 - 0.05) \times c_1}{V - V_2} \times 4 \quad (3-20)$ 式中 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1——碘标准溶液之用量, ml; c_1——碘标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V——硫代硫酸钠溶液之用量, ml; V_2——空白试验硫代硫酸钠溶液之用量, ml; 0.05——空白试验中加入碘标准溶液之用量, ml。
7	溴标准溶液 $c(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 3g 溴酸钾及 25g 碘化钾, 溶于 1000ml 水中, 摇匀 2. 标定 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的溴溶液 [$c(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 置于碘量瓶中, 加 2g 碘化钾及 5ml 盐酸溶液 (20%), 摇匀, 于暗处放置 5min, 加 150ml 水, 用硫代硫酸钠标准溶液 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 滴定, 近终点时加 3ml 淀粉指示液 ($5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 继续滴定至溶液蓝色消失, 同时作空白试验

序号	标准溶液的制备
7	(2) 计算 溴标准溶液浓度按式 (3-21) 计算: $c\left(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3\right) = \frac{(V_2 - V_3) \times c_1}{V} \quad (3-21)$ 式中 $c\left(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3\right)$——溴标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_2——硫代硫酸钠标准溶液之用量, ml; V_3——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量, ml; c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V——溴溶液之用量, ml。
8	溴酸钾标准溶液 $c\left(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 3g 溴酸钾, 溶于 1000ml 水中, 摇匀。 2. 标定 (1) 测定方法 量取 (30.00 ~ 35.00) ml 配制好的溴酸钾溶液 $\left[c\left(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\right]$, 置于碘量瓶中, 加 2g 碘化钾及 5ml 盐酸溶液 (20%), 摇匀, 于暗处放置 5min, 加 150ml 水, 用硫代硫酸钠标准溶液 $[c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}]$ 滴定, 近终点时加 3ml 淀粉指示液 (5g $\cdot \text{L}^{-1}$), 继续滴定至溶液蓝色消失。同时作空白试验。 (2) 计算 溴酸钾标准溶液浓度按式 (3-22) 计算: $c\left(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3\right) = \frac{(V_1 - V_2) \times c_1}{V} \quad (3-22)$ 式中 $c\left(\frac{1}{6}\text{KBrO}_3\right)$——溴酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1——硫代硫酸钠标准溶液之用量, ml; V_2——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量, ml; c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V——溴酸钾溶液之用量, ml。
9	碘标准溶液 $c\left(\frac{1}{2}\text{I}_2\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 15g 碘及 35g 碘化钾, 溶于 1000ml 水中, 稀释至 1000ml, 摇匀, 保存于棕色具塞瓶中。 2. 标定 (1) 测定方法 称取 0.15g 预先在硫酸干燥器中干燥至恒重的基准三氧化二砷, 称准至 0.0001g, 置于碘量瓶中, 加 4ml 氢氧化钠溶液 $[c(\text{NaOH}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}]$ 溶解, 加 50ml 水, 加 2 滴酚酞指示液 (10g $\cdot \text{L}^{-1}$), 用硫酸溶液 $\left[c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\right]$ 中和, 加 3g 碳酸氢钠及 3ml 淀粉指示液 (5g $\cdot \text{L}^{-1}$), 用配制好的碘溶液 $\left[c\left(\frac{1}{2}\text{I}_2\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\right]$ 滴定至溶液呈浅蓝色。同时作空白试验。 (2) 计算 碘标准溶液浓度按式 (3-23) 计算: $c\left(\frac{1}{2}\text{I}_2\right) = \frac{m}{(V_1 - V_2) \times 0.04946} \quad (3-23)$ 式中 $c\left(\frac{1}{2}\text{I}_2\right)$——碘标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m——三氧化二砷质量, g; V_1——碘溶液之用量, ml; V_2——空白试验碘溶液之用量, ml; 0.04946——与 1.000ml 碘标准溶液 $\left[c\left(\frac{1}{2}\text{I}_2\right) = 1.000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\right]$ 相当的以克 (g) 表示的三氧化二砷的质量。

续表

顺序号	标准溶液的制备
9	3. 比较 (1) 测定方法 准确量取 (30.00~35.00) ml 碘代硫酸钠标准溶液 [$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$]，置于碘量瓶中，加 150ml 水，用配制好的碘溶液 [$c(\frac{1}{2}\text{I}_2) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定，近终点时加 3ml 淀粉指示液 ($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)，继续滴定至溶液蓝色消失时作水所消耗碘的空白试验。取 250ml 水，加 0.05ml 配制好的碘溶液 [$c(\frac{1}{2}\text{I}_2) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 及 3ml 淀粉指示液 ($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)，用碘代硫酸钠标准溶液 [$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定至溶液蓝色消失。 (2) 计算 碘标准溶液浓度按式 (3-24) 计算： $c(\frac{1}{2}\text{I}_2) = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c_1}{V_1 - 0.05} \quad (3-24)$ 式中 $c(\frac{1}{2}\text{I}_2)$——碘标准溶液之物质的量浓度，$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$； V_1——碘代硫酸钠标准溶液之用量，ml； V_2——空白试验碘代硫酸钠标准溶液之用量，ml； c_1——碘代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$； V_1——碘溶液之用量，ml； 0.05——空白试验中加入碘溶液之用量，ml；
10	碘酸钾标准溶液 $c(\frac{1}{6}\text{KIO}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 3.6g 碘酸钾，溶于 1000ml 水中，摇匀。 2. 标定 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的碘酸钾溶液，置于碘量瓶中，加 2g 碘化钾，加 50ml 盐酸溶液 (20%)，摇匀，于暗处放置 5min，加 150ml 水，用碘代硫酸钠标准溶液 [$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定，近终点时加 3ml 淀粉指示液 ($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)，继续滴定至溶液蓝色消失。同时作空白试验。 (2) 计算 碘酸钾标准溶液浓度按式 (3-25) 计算： $c(\frac{1}{6}\text{KIO}_3) = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c_1}{V_1} \quad (3-25)$ 式中 $c(\frac{1}{6}\text{KIO}_3)$——碘酸钾标准溶液之物质的量浓度，$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$； V_1——碘代硫酸钠标准溶液之用量，ml； V_2——空白试验碘代硫酸钠标准溶液之用量，ml； c_1——碘代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$； V_1——碘酸钾溶液之用量，ml； $c(\frac{1}{6}\text{KIO}_3) = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 标准溶液参照上述方法制备，配制时称取碘酸钾应改为 11g，标定时量取的碘酸钾溶液为 (10~13) ml 并加水 20ml，加入碘化钾改为 3g。
11	草酸标准溶液 $c(\frac{1}{2}\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 6.4g 草酸 ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，溶于 1000ml 水中，摇匀。 2. 标定 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的草酸溶液 [$c(\frac{1}{2}\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$]，加 150ml 硫酸溶液 (8+92)，用高锰酸钾标准溶液 [$c(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定，近终点时加热至 65℃，继续滴定至溶液呈粉红色保持 30s，同时作空白试验。 (2) 计算 草酸标准溶液浓度按式 (3-26) 计算：

顺序号	标准溶液的制备
11	$c\left(\frac{1}{2}\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4\right) = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c_1}{V} \quad (3-25)$ 式中 $c\left(\frac{1}{2}\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4\right)$——草酸标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1——高锰酸钾标准溶液之用量, ml; V_2——空白试验高锰酸钾标准溶液之用量, ml; c_1——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V——草酸溶液之用量, ml。
12	高锰酸钾标准溶液 $c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 3.3g 高锰酸钾, 溶于 1000ml 水中, 缓缓煮沸 15min, 冷却后置于暗处保存两周。以 4 号玻璃滤纸过滤于干燥的棕色瓶中。 注: 过滤高锰酸钾溶液所使用的 4 号玻璃滤纸应先以同样的高锰酸钾溶液缓缓煮沸 5min, 收集瓶也要用此高锰酸钾溶液洗涤 2~3 次。 2. 标定 (1) 测定方法 称取 0.2g 于 $(105 \sim 110)^\circ\text{C}$ 烘至恒重的基准草酸钠, 称准至 0.0001g, 溶于 100ml 硫酸溶液 (3.1.92) 中, 用配制好的高锰酸钾溶液 $\left[c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\right]$ 滴定, 近终点时加热至 65°C, 继续滴定至溶液呈粉红色保持 30s, 同时作空白试验。 (2) 计算 高锰酸钾标准溶液浓度按式 (3-27) 计算: $c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = \frac{m}{(V_1 - V_2) \times 0.06705} \quad (3-27)$ 式中 $c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right)$——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m——草酸钠之质量, g; V_1——高锰酸钾溶液之用量, ml; V_2——空白试验高锰酸钾溶液之用量, ml; 0.06705——与 1.00ml 高锰酸钾标准溶液 $\left[c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 1.000 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}\right]$ 相当的以克 (g) 表示的草酸钠的质量。 3. 比较 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的高锰酸钾溶液 $\left[c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\right]$, 置于碘量瓶中, 加 2g 碘化钾及 20ml 硫酸溶液 (20%), 摇匀, 于暗处放置 5min, 加 150ml 水, 用硫代硫酸钠标准溶液 $[c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}]$ 滴定, 近终点时加 3ml 淀粉指示液 (5g/L), 继续滴定至溶液蓝色消失, 同时作空白试验。 (2) 计算 高锰酸钾标准溶液浓度按式 (3-28) 计算: $c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c_1}{V} \quad (3-28)$ 式中 $c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right)$——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1——硫代硫酸钠标准溶液之用量, ml; V_2——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量, ml; c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V——高锰酸钾溶液之用量, ml。
13	硫酸亚铁标准溶液 $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 40g 硫酸亚铁铵 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶于 300ml 硫酸溶液 (20%) 中, 加 700ml 水, 摇匀。

顺序号	标准溶液的制备
15	2. 标定 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的硫酸亚铁铵溶液 [$c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 加 25ml 无氧的水, 用高锰酸钾标准溶液 [$c(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定至溶液呈粉红色, 保持 30s (2) 计算 硫酸亚铁铵标准溶液浓度按式 (3-29) 计算: $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2] = \frac{V_2 \cdot c_1}{V} \quad (3-29)$ 式中 $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$ ——硫酸亚铁铵标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_2 ——高锰酸钾标准溶液之用量, ml; c_1 ——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V ——硫酸亚铁铵溶液之用量, ml. 注: 本标准溶液使用前标定
11	硫酸钾 (或硫酸钾铵) 标准溶液 $c[\text{K}_2(\text{SO}_4)_2] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 40g 硫酸钾 ($\text{K}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (或 67g 硫酸钾铵 [$2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{K}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$]), 加 30ml 水及 28ml 硫酸, 再加 300ml 水, 加热溶解, 再加入 650ml 水, 摇匀 2. 标定 (1) 测定方法 称取 0.2g 于 (105~110)℃ 烘至恒重的基准草酸钠, 称准至 0.0001g, 溶于 75ml 水中, 加 4ml 硫酸溶液 (20%) 及 10ml 盐酸, 加热至 (55~70)℃, 用配制好的硫酸钾 (或硫酸钾铵) 溶液 [$c[\text{K}_2(\text{SO}_4)_2] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定至溶液呈浅黄色, 加入 3 滴亚铁-邻菲罗啉指示液^①使溶液变为桔红色, 继续滴定至溶液呈浅蓝色, 同时作空白试验 注: ①亚铁-邻菲罗啉指示液的配制: 称取 0.7g 硫酸亚铁 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 置于小烧杯中, 加 30ml 稀磷酸液 [$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 溶解, 再加入 1.5g 邻菲罗啉振荡溶解后, 用硫酸溶液 [$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 稀释至 100ml (2) 计算 硫酸钾 (或硫酸钾铵) 标准溶液浓度按式 (3-30) 计算: $c[\text{K}_2(\text{SO}_4)_2] = \frac{m}{(V_1 - V_2) \times 0.04760} \quad (3-30)$ 式中 $c[\text{K}_2(\text{SO}_4)_2]$ ——硫酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m ——草酸钠的质量, g; V_1 ——硫酸钾溶液之用量, ml; V_2 ——空白试验硫酸钾溶液之用量, ml; 0.04760 ——与 1.00ml 硫酸钾标准溶液 [$c[\text{K}_2(\text{SO}_4)_2] = 1.000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 相当的以克 (g) 表示的草酸钠的质量. 3. 比较 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的硫酸钾 (或硫酸钾铵) 溶液 [$c[\text{K}_2(\text{SO}_4)_2] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 置于碘量瓶中, 加 2g 碘化钾及 20ml 硫酸溶液 (20%), 摇匀, 于暗处放置 5min, 加 150ml 水, 用碘代硫酸钠标准溶液 [$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定, 近终点时加 3ml 淀粉指示液 ($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 继续滴定至溶液蓝色消失, 同时作空白试验 (2) 计算 硫酸钾 (或硫酸钾铵) 标准溶液浓度按式 (3-31) 计算: $c[\text{K}_2(\text{SO}_4)_2] = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c_2}{V} \quad (3-31)$ 式中 $c[\text{K}_2(\text{SO}_4)_2]$ ——硫酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1 ——碘代硫酸钠标准溶液之用量, ml;

顺序号	标准溶液的制备
14	V_2 ——空白试验代硫酸钠标准溶液之用量, ml; c_1 ——代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V ——硫酸钾溶液之用量, ml.
15	乙二胺四乙酸二钠标准溶液 $c(\text{EDTA}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 40g 乙二胺四乙酸二钠, 加热溶于 1 000ml 水中, 冷却, 摇匀。 配制 $c(\text{EDTA}) = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 标准溶液称取 20g 乙二胺四乙酸二钠; 配制 $c(\text{EDTA}) = 0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 标准溶液称取 8g 乙二胺四乙酸二钠。 2. 标定 (1) 测定方法 乙二胺四乙酸二钠标准溶液 $c(\text{EDTA}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 称取 0.25g 于 300°C 灼烧至恒重的基准氧化锌, 称准至 0.0001g, 用少量水湿润, 加 2ml 盐酸溶液 (20%) 使样品溶解, 加 100ml 水, 用氨水溶液 (10%) 中和至 $\text{pH} = 7 \sim 8$, 加 10ml 氨-氯化铵缓冲溶液甲 ($\text{pH} \approx 10$) 及 5 滴铬黑 T 指示液 ($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用配制好的乙二胺四乙酸二钠溶液 $c(\text{EDTA}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 滴定至溶液由紫色变为纯蓝色, 同时作空白试验。 (乙二胺四乙酸二钠标准溶液 $c(\text{EDTA}) = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{EDTA}) = 0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$: 称取规定量 (1, 0.4g) 于 300°C 灼烧至恒重的基准氧化锌, 称准至 0.0002g, 用少量水湿润, 加盐酸溶液 (20%) 至样品溶解, 移入 250ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 取 (30.00~35.00) ml, 加 70ml 水, 用氨水溶液 (10%) 中和至 $\text{pH} = 7 \sim 8$, 加 10ml 氨-氯化铵缓冲溶液甲 ($\text{pH} \approx 10$) 及 5 滴铬黑 T 指示液 ($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用配制好的乙二胺四乙酸二钠溶液滴定至溶液由紫色变为纯蓝色, 同时作空白试验。 (2) 计算 乙二胺四乙酸二钠标准溶液浓度按式 (3-32) 计算: $c(\text{EDTA}) = \frac{m}{(V_1 - V_2) \times 0.08138} \quad (3-32)$ 式中 $c(\text{EDTA})$ ——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m ——氧化锌之质量, g; V_1 ——乙二胺四乙酸二钠溶液之用量, ml; V_2 ——空白试验乙二胺四乙酸二钠溶液之用量, ml; 0.08138 ——与 1.00ml 乙二胺四乙酸二钠标准溶液 $c(\text{EDTA}) = 1.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 相当的以克 (g) 表示的氧化锌的质量。
16	氯化锌标准溶液 $c(\text{ZnCl}_2) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 14g 氯化锌, 溶于 1 000ml 盐酸溶液 ($\rho = 0.05\%$) 中, 摇匀。 2. 标定 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的氯化锌溶液 ($c(\text{ZnCl}_2) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), 加 70ml 水及 10ml 氨-氯化铵缓冲溶液甲 ($\text{pH} \approx 10$), 加 5 滴铬黑 T 指示液 ($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用乙二胺四乙酸二钠标准溶液 $c(\text{EDTA}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 滴定至溶液由紫色变为纯蓝色, 同时作空白试验。 (2) 计算 氯化锌标准溶液浓度按式 (3-33) 计算: $c(\text{ZnCl}_2) = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c_1}{V} \quad (3-33)$ 式中 $c(\text{ZnCl}_2)$ ——氯化锌标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1 ——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量, ml; V_2 ——空白试验乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量, ml; c_1 ——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V ——氯化锌溶液之用量, ml.
17	氯化镁 (或硫酸镁) 标准溶液 $c(\text{MgCl}_2) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 21g 氯化镁 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (或 25g 硫酸镁 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)) 溶于 1 000ml 盐酸溶液 (0.5+99.5) 中, 放置二个月, 用 3 号玻璃滤器过滤, 摇匀。

序号	标准溶液的制备
17	2. 标定 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的氯化镁溶液 [$c(\text{MgCl}_2) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 加 70 ml 水及 10 ml 氨-氯化铵缓冲液甲 ($\text{pH} = 10$), 加 5 滴铬黑 T 指示液 ($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用乙二胺四乙酸二钠标准溶液 [$c(\text{EDTA}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定至溶液由紫色变为纯蓝色。同时作空白试验。 (2) 计算 氯化镁 (或硫酸镁) 标准溶液浓度按式 (3-34) 计算: $c(\text{MgCl}_2) = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c_1}{V} \quad (3-34)$ 式中 $c(\text{MgCl}_2)$ ——氯化镁标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1 ——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量, ml; V_2 ——空白试验乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量, ml; c_1 ——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V ——氯化镁溶液之用量, ml。
18	硝酸铅标准溶液 $c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 17 g 硝酸铅, 溶于 1000 ml 硝酸溶液 (2.5 : 99.5) 中, 摇匀。 2. 标定 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的硝酸铅溶液 [$c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 加 3 ml 冰乙酸及 5 g 六次甲基四胺, 加 70 ml 水及 2 滴二甲酚橙指示液 ($2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用乙二胺四乙酸二钠标准溶液 [$c(\text{EDTA}) = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定至溶液呈亮黄色。 (2) 计算 硝酸铅标准溶液浓度按式 (3-35) 计算: $c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{V_1 \cdot c_1}{V} \quad (3-35)$ 式中 $c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)$ ——硝酸铅标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1 ——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量, ml; c_1 ——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V ——硝酸铅溶液之用量, ml。
19	氯化钠标准溶液 $c(\text{NaCl}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 5.9 g 氯化钠, 溶于 100 ml 水中, 摇匀。 2. 标定 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的氯化钠溶液 [$c(\text{NaCl}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 加 40 ml 水及 10 ml 淀粉溶液 ($10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用硝酸银标准溶液 [$c(\text{AgNO}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定, 用 216 型银电极作指示电极, 用 217 型双盐桥饱和甘汞电极作参比电极。按 GB 8725 中二级微商法之规定确定终点。 (2) 计算 氯化钠标准溶液浓度按式 (3-36) 计算: $c(\text{NaCl}) = \frac{V_1 \cdot c_1}{V} \quad (3-36)$ 式中 $c(\text{NaCl})$ ——氯化钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1 ——硝酸银标准溶液之用量, ml; c_1 ——硝酸银标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V ——氯化钠溶液之用量, ml。
20	硫氰酸钠 (或硫氰酸钾) 标准溶液 $c(\text{NaCNS}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 6.2 g 硫氰酸钠 (或 9.7 g 硫氰酸钾) 溶于 1000 ml 水中, 摇匀。 2. 标定 (1) 测定方法 称取 0.5 g 于瓷皿干燥器中干燥至恒重的基准硝酸银, 称准至 0.0004 g, 溶于 100 ml 水中, 加 2 ml 硫酸铁铵指示液 ($30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) 及 10 ml 硝酸溶液 (20%), 在摇动下用配制好的硫氰酸钠 (或硫氰酸钾) 溶液 [$c(\text{NaCNS}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定, 终点前摇动溶液至完全变亮后, 继续滴定至溶液所呈浅棕色保持 30 s。

续表

顺序号	标准溶液的制备
20	(2) 计算 硫氰酸钾 (或硫氰酸钾) 标准溶液浓度按式 (3-37) 计算: $c(\text{NaCNS}) = \frac{m}{V \times 0.1659} \quad (3-37)$ 式中 $c(\text{NaCNS})$ —— 硫氰酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m —— 硝酸银之质量, g; V —— 硫氰酸钾溶液之用量, ml; 0.1659 —— 与 1.00ml 硫氰酸钾标准溶液 [$c(\text{NaCNS}) = 1.000(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$] 相当的以克 (g) 表示的硝酸银的质量。 3. 比较 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 硝酸银标准溶液 [$c(\text{AgNO}_3) = 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 加 70ml 水、1ml 硝酸汞指示液 ($80\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) 及 10ml 硝酸溶液 (25%), 在摇动下用配制好的硫氰酸钾 (或硫氰酸钾) 溶液 [$c(\text{NaCNS}) = 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定, 终点前摇动溶液至完全澄清后, 继续滴定至溶液所呈浅棕红色保持 30s。 (2) 计算 硫氰酸钾 (或硫氰酸钾) 标准溶液浓度按式 (3-38) 计算: $c(\text{NaCNS}) = \frac{V_1 \cdot c_1}{V} \quad (3-38)$ 式中 $c(\text{NaCNS})$ —— 硫氰酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1 —— 硝酸银标准溶液之用量, ml; c_1 —— 硝酸银标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V —— 硫氰酸钾溶液之用量, ml。
21	硝酸银标准溶液 $c(\text{AgNO}_3) = 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取 17.5g 硝酸银, 溶于 1000ml 水中, 摇匀, 溶液保存于棕色瓶中。 2. 标定 (1) 测定方法 称取 0.2g 于 (500~600) °C 灼烧至恒重的基准氯化钠, 称准至 0.0001g, 溶于 70ml 水中, 加 10ml 淀粉溶液 ($10\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 用配制好的硝酸银溶液 [$c(\text{AgNO}_3) = 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定, 用 216 型银电极作指示电极, 用 217 型双盐桥饱和甘汞电极作参比电极, 按 GB9725 中二银微商法之规定确定终点。 (2) 计算 硝酸银标准溶液浓度按式 (3-39) 计算: $c(\text{AgNO}_3) = \frac{m}{V \times 0.05844} \quad (3-39)$ 式中 $c(\text{AgNO}_3)$ —— 硝酸银标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m —— 氯化钠之质量, g; V —— 硝酸银溶液之用量, ml; 0.05844 —— 与 1.00ml 硝酸银标准溶液 [$c(\text{AgNO}_3) = 1.000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 相当的以克 (g) 表示的氯化钠质量。 3. 比较 (1) 测定方法 量取 (30.00~35.00) ml 配制好的硝酸银溶液 [$c(\text{AgNO}_3) = 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$], 加 40ml 水、1ml 硝酸, 用硫氰酸钾标准溶液 [$c(\text{KCN}) = 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 滴定, 用 216 型银电极作指示电极, 217 型双盐桥饱和甘汞电极作参比电极, 按 GB9725 中二银微商法之规定确定终点。 (2) 计算 硝酸银标准溶液浓度按式 (3-40) 计算: $c(\text{AgNO}_3) = \frac{V_1 \cdot c_1}{V} \quad (3-40)$ 式中 $c(\text{AgNO}_3)$ —— 硝酸银标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1 —— 硫氰酸钾标准溶液之用量, ml; c_1 —— 硫氰酸钾标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V —— 硝酸银溶液之用量, ml。

顺序号	标准溶液的制备												
22	亚硝酸钠标准溶液 $c(\text{NaNO}_2) = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 称取下述规定量的亚硝酸钠、氢氧化钠及无水碳酸钠, 溶于 1 000ml 水中, 摇匀。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>$c(\text{NaNO}_2), \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$</th><th>亚硝酸钠, g</th><th>氢氧化钠, g</th><th>无水碳酸钠, g</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td><td>36</td><td>0.5</td><td>1</td></tr> <tr> <td>0.1</td><td>7.2</td><td>0.1</td><td>0.2</td></tr> </tbody> </table> 2. 标定 (1) 测定方法 称取下述规定量的于 120°C 烘至恒重的基准无水对氨基苯磺酸, 称准至 0.0001g, 加下述规定体积的氨水溶解, 加 200ml 水及 20ml 盐酸, 按电位滴定法安装好电极和测量仪表 (见下图)。将装有配好的亚硝酸钠溶液的滴管下口插入溶液内约 10mm 处, 在搅拌下于 $(15 \sim 25)^\circ\text{C}$ 进行滴定, 近终点时, 将滴管的尖端提出液面, 用少量水冲洗尖端, 冲洗液并入溶液中, 继续缓慢滴定, 并观察按流计读数和指针偏转情况, 直至加入滴定液搅拌后电流突增, 并不再回复时为滴定终点。 (2) 计算 亚硝酸钠标准溶液浓度按式 (3-41) 计算: $c(\text{NaNO}_2) = \frac{m}{V \times 0.1732} \quad (3-41)$ 式中 $c(\text{NaNO}_2)$ ——亚硝酸钠标准溶液之物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; m ——无水对氨基苯磺酸之质量, g; V ——亚硝酸钠溶液之用量, ml; 0.1732 ——与 1.00ml 亚硝酸钠标准溶液 [$c(\text{NaNO}_2) = 1.000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 相当的以克 (g) 表示的无水对氨基苯磺酸的质量。 注: 本标准溶液使用铂标定。 测量仪表安装示意图 R—电阻, 其阻值与检流计临界阻尼电阻值近似; R_1—电阻, 60—70Ω (或用可变电阻), 使加于二电极上的电压约为 50mV; R_2—电阻, 2 000Ω; E—1.5V 干电池; K—开关; G—检流计, 灵敏度为 10 $\mu\text{A}/\text{格}$; P—铂电极	$c(\text{NaNO}_2), \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	亚硝酸钠, g	氢氧化钠, g	无水碳酸钠, g	0.5	36	0.5	1	0.1	7.2	0.1	0.2
$c(\text{NaNO}_2), \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	亚硝酸钠, g	氢氧化钠, g	无水碳酸钠, g										
0.5	36	0.5	1										
0.1	7.2	0.1	0.2										
23	高氯酸标准溶液 $c(\text{HClO}_4) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1. 配制 量取 8.5ml 高氯酸, 在搅拌下注入 500ml 冰乙酸中, 摇匀, 在室温下滴加 20ml 乙酸酐, 搅拌至溶液均匀。冷却后用冰乙醇稀释至 1 000ml, 摇匀。 2. 标定												

序号	标准溶液的制备
23	(1) 测定方法 称取 0.6g 于 (105~110)℃ 烘至恒重的基准邻苯二甲酸氢钾, 称准至 0.0001g, 置于干燥的锥形瓶中, 加入 50ml 冰乙酸, 加热溶解, 加 2~3 滴结晶紫指示液 ($5g \cdot L^{-1}$), 用配制好的高氯酸溶液 $c(HClO_4) = 0.1mol \cdot L^{-1}$ 滴定至溶液由紫色变为蓝色 (微带紫色)。 (2) 计算 高氯酸标准溶液浓度按式 (3-42) 计算: $c(HClO_4) = \frac{m}{V \times 0.2042} \quad (3-42)$ 式中 $c(HClO_4)$ ——高氯酸标准溶液之物质的量浓度, $mol \cdot L^{-1}$; m ——邻苯二甲酸氢钾之质量, g; V ——高氯酸溶液之用量, ml; 0.2042 ——与 1.00ml 高氯酸标准溶液 [$c(HClO_4) = 1.000mol \cdot L^{-1}$] 相当的以克 (g) 表示的邻苯二甲酸氢钾的质量。 注: 本溶液使用的标定, 标定高氯酸标准溶液时的温度应与使用该标准溶液滴定时的温度相同。

表 3-10 不同标准溶液, 不同浓度的温度补正值

补正值 温度 $t/^\circ C$	标准溶液种类 水和 $0.05mol \cdot L^{-1}$ 以下的 各种水溶液	$0.1mol \cdot L^{-1}$ 和 $0.2mol \cdot L^{-1}$ 各种水溶液	硫酸溶液 $c(HCl) =$ $0.5mol \cdot L^{-1}$	盐酸溶液 $c(HCl) =$ $1mol \cdot L^{-1}$	硫酸溶液 $c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right) =$ $0.5mol \cdot L^{-1}$ 氢氧化钠溶液 $c(NaOH) =$ $0.5mol \cdot L^{-1}$	硫酸溶液 $c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right) =$ $1mol \cdot L^{-1}$ 氢氧化钠溶液 $c(NaOH) =$ $1mol \cdot L^{-1}$
5	+1.38	+1.7	+1.9	+2.3	-2.4	+3.6
6	+1.38	+1.7	+1.9	+2.2	-2.3	+3.4
7	+1.38	+1.6	+1.8	+2.2	-2.2	+3.2
8	+1.33	+1.6	+1.8	+2.1	-2.2	+3.0
9	+1.29	+1.5	+1.7	+2.0	-2.1	+2.7
10	+1.23	+1.5	+1.6	+1.9	-2.0	+2.5
11	+1.17	+1.4	+1.5	+1.8	+1.8	+2.3
12	+1.10	+1.3	+1.4	+1.6	+1.7	+2.0
13	-0.99	+1.1	+1.2	+1.4	+1.5	+1.8
14	-0.88	+1.0	+1.1	+1.2	+1.3	+1.6
15	-0.77	+0.9	+0.9	+1.0	+1.1	+1.3
16	+0.64	-0.7	+0.8	-0.8	+0.9	-1.1
17	+0.50	-0.6	+0.6	-0.6	+0.7	-0.8
18	+0.34	-0.4	+0.4	-0.4	+0.5	+0.5
19	+0.18	-0.2	-0.2	+0.2	-0.2	+0.3
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	-0.18	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
22	-0.38	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6
23	-0.58	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-0.9
24	-0.80	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.2
25	-1.03	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5
26	-1.25	-1.4	-1.4	-1.4	-1.5	-1.8
27	-1.51	-1.7	-1.7	-1.7	-1.8	-2.1
28	-1.75	-2.0	-2.0	-2.0	-2.1	-2.4
29	-2.01	-2.3	-2.3	-2.3	-2.4	-2.8
30	-2.30	-2.5	-2.5	-2.6	-2.6	-3.2
31	-2.53	-2.7	-2.7	-2.9	-3.1	-3.5

校正 值	标准 溶液 种类	续表					
		水和 $0.05\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下各种水溶液	$0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 各种水溶液	盐酸溶液 $c(\text{HCl}) =$ $0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	硫酸溶液 $c(\text{HCl}) =$ $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	硫酸溶液 $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) =$ $0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液 $c(\text{NaOH}) =$ $0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	硫酸溶液 $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) =$ $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液 $c(\text{NaOH}) =$ $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
温度 $t/^\circ\text{C}$							
32		-2.86	-3.0	-3.0	-3.2	-3.4	-3.5
33		-3.04	-3.2	-3.2	-3.5	-3.7	-4.2
34		-3.42	-3.7	-3.6	-3.8	-4.1	-4.6
35		-3.78	-4.0	-4.0	-4.1	-4.4	-5.0
36		-4.10	-4.3	-4.3	-4.4	-4.7	-5.3

注：1. 本表数值是以 20°C 为标准温度以实测法测出；

2. 表中带有“+”、“-”号的数值是以 20°C 为分界，室温低于 20°C 时补正值均为“+”，高于 20°C 时补正值均为“-”；

3. 本表的用法：如 1L 硫酸溶液 $[c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}]$ 由 25°C 换算为 20°C 时，其体积修正值为 -1.5ml，故

$$40.00\text{ml 换算为 } 20^\circ\text{C 时的体积为：} V_{20} = 40.00 - \frac{1.5}{1000} \times 40.00 = 39.94\text{ml}.$$

第五节 缓冲溶液

本节列举各种 pH 值的缓冲溶液^[1]。在缓冲溶液一览表(表 3-11)中，列出各种缓冲溶液的名称、缓冲体系组成、基本溶液的浓度(配制方法)及适用的 pH 范围。具体的配制方法分别参见本节所列的表 3-12 至表 3-30。

表 3-11 缓冲溶液一览表

名称	A 液	B 液	pH 范围	配制方法
pH 测定标准缓冲溶液				见表 3-12
指示剂 pH 变色敏感定缓冲溶液	1. 0.1mol·L ⁻¹ 盐酸	0.2mol·L ⁻¹ 氯化钾 (14.90gKCl·L ⁻¹)	1.7~2.2	见表 3-13
	2. 0.1mol·L ⁻¹ 盐酸	0.2mol·L ⁻¹ 邻苯二甲酸氢钾 (40.8gKHC ₈ H ₄ O ₄ ·L ⁻¹)	2.2~3.8	
	3. 0.1mol·L ⁻¹ 氢氧化钠	0.2mol·L ⁻¹ 邻苯二甲酸氢钾	4.0~6.2	
	4. 0.1mol·L ⁻¹ 氢氧化钠	0.2mol·L ⁻¹ 磷酸二氢钾 (27.2gKH ₂ PO ₄ ·L ⁻¹)	5.8~8.0	
	5. 0.1mol·L ⁻¹ 氢氧化钠	0.2mol·L ⁻¹ 硼酸-氯化钾 (12.4gH ₃ BO ₃ +14.9gKCl·L ⁻¹)	7.8~10.0	
	6. 0.1mol·L ⁻¹ 氢氧化钠	0.2mol·L ⁻¹ 甘氨酸-氯化钠 (7.51gC ₂ H ₅ O ₂ N+5.35gNaCl·L ⁻¹)	10.0~13.0	
Clark-Lubs 缓冲溶液	1. 0.2mol·L ⁻¹ 氯化钾 (14.9gKCl·L ⁻¹)	0.2mol·L ⁻¹ 盐酸	1.0~2.2	见表 3-14
	2. 0.2mol·L ⁻¹ 邻苯二甲酸氢钾 (40.8gKHC ₈ H ₄ O ₄ ·L ⁻¹)	0.2mol·L ⁻¹ 盐酸	3.2~3.8	
	3. 0.2mol·L ⁻¹ 邻苯二甲酸氢钾	0.2mol·L ⁻¹ 氢氧化钠	4.0~6.2	
	4. 0.2mol·L ⁻¹ 磷酸二氢钾 (27.2gKH ₂ PO ₄ ·L ⁻¹)	0.2mol·L ⁻¹ 氢氧化钠	5.8~8.0	
	5. 0.2mol·L ⁻¹ 硼酸 + 0.2mol·L ⁻¹ 氯化钾 (12.4gH ₃ BO ₃ +14.9gKCl·L ⁻¹)	0.2mol·L ⁻¹ 氢氧化钠	7.8~10.0	

续表

名 称	A 液	B 液	pH 范围	配制方法
Sørensen 缓冲溶液	1. 0.1mol · L ⁻¹ 甘氨酸-0.1mol · L ⁻¹ 氯化钠 (7.51gC ₂ H ₅ O ₂ N + 5.85gNaCl · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	1.2~4.6	见表 3-15
	2. 0.1mol · L ⁻¹ 甘氨酸-0.1mol · L ⁻¹ 氯化钠	0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠	8.6~13.0	
	3. 0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸钠 (21.0gC ₆ H ₅ O ₇ · H ₂ O + 200ml 0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠 L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	1.1~4.0	
	4. 0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸钠	0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠	5.0~6.7	
	5. 0.2mol · L ⁻¹ 硼砂 (76.4gNa ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	7.6~9.2	
	6. 0.2mol · L ⁻¹ 硼砂	0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠	9.3~12.4	
	7. 1/15mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钾 (9.07gKH ₂ PO ₄ · L ⁻¹)	1/15mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钠 (11.9gNa ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O · L ⁻¹)	5.3~8.0	
Krebs 缓冲溶液	1. 0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸二氢钾 (23.0gK ₂ C ₆ H ₅ O ₇ · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸 (21.0gC ₆ H ₅ O ₇ · H ₂ O · L ⁻¹)	2.2~3.6	见表 3-6
	2. 同上	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	2.2~3.0	
	3. 同上	0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠	3.8~6.0	
	4. 0.05mol · L ⁻¹ 丁二酸 (9.90gC ₄ H ₄ O ₄ · L ⁻¹)	0.05mol · L ⁻¹ 硼砂 (19.1gNa ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O · L ⁻¹)	3.0~5.8	
	5. 0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸二氢钾 (23.0gK ₂ C ₆ H ₅ O ₇ · L ⁻¹)	同上	3.8~6.0	
	6. 0.1mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钾 (13.6gKH ₂ PO ₄ · L ⁻¹)	同上	5.8~9.2	
	7. 0.05mol · L ⁻¹ 硼砂 (19.1gNa ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O · L ⁻¹)	0.05mol · L ⁻¹ 碳酸钠 (5.30gNa ₂ CO ₃ · L ⁻¹)	9.2~11.0	
	8. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	0.1mol · L ⁻¹ 碳酸钠 (10.6gNa ₂ CO ₃ · L ⁻¹)	10.2~11.2	
Michaelis 缓冲溶液	9. 0.1mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钠 (17.8gNa ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠	11.0~12.0	见表 3-17
	1. 0.1mol · L ⁻¹ 酒石酸 (7.50gC ₄ H ₄ O ₆ · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 酒石酸钠 (7.50gC ₄ H ₄ O ₆ + 100ml 0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠)	1.4~4.5	
	2. 0.1mol · L ⁻¹ 乳酸 (9.01gC ₃ H ₅ O ₃ · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 乳酸钠 (9.01gC ₃ H ₅ O ₃ + 100ml 0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠)	2.3~5.3	
	3. 0.1mol · L ⁻¹ 乙酸 (6.01gC ₂ H ₃ O ₂ · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 乙酸钠 (13.6gC ₂ H ₃ O ₂ Na · 3H ₂ O · L ⁻¹)	3.2~6.2	
	4. 1/30mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钾 (4.54gKH ₂ PO ₄ · L ⁻¹)	1/30mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钠 (5.94gNa ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O · L ⁻¹)	5.2~8.3	
	5. 0.1mol · L ⁻¹ 氯化铵 (5.35gNH ₄ Cl · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 氨水	8.0~11.0	
	6. 1/2mol · L ⁻¹ 二乙基巴妥酸 钾盐 = 1/2mol · L ⁻¹ 乙酸钠 (25.5gC ₈ H ₁₁ O ₃ N ₃ Na + 19.5gC ₂ H ₃ O ₂ Na · 3H ₂ O · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	2.6~9.2	
	7. 0.1mol · L ⁻¹ 二乙基巴妥酸 钠盐 (20.5gC ₈ H ₁₁ O ₃ N ₃ Na · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	6.8~9.6	
	8. 0.2mol · L ⁻¹ 二甲基氨基乙酸 钠 (25.0gC ₄ H ₁₁ O ₂ NNa · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	8.6~10.6	

续表

名 称	A 液	B 液	pH 范围	配制方法
Atkins Pantin 缓冲溶液	0.2mol · L ⁻¹ 硼酸-0.2mol · L ⁻¹ 氯化钾 (12.4g H ₃ BO ₃ + 14.9g KCl · L ⁻¹)	0.2mol · L ⁻¹ 碳酸钠 (21.2g Na ₂ CO ₃ · L ⁻¹)	7.1~11.0	见表 3-18
Palitzsch 缓冲溶液	0.05mol · L ⁻¹ 偏硅 (15.1g Na ₂ SiO ₃ + 101g OL ⁻¹)	0.2mol · L ⁻¹ 硼酸 + 0.05mol · L ⁻¹ 氯化钠 (12.4g H ₃ BO ₃ + 2.92g NaCl · L ⁻¹)	6.3~9.2	见表 3-19
McIlvaine 缓冲溶液	0.2mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钠 (35.6g Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸 (21.0g C ₆ H ₈ O ₇ · H ₂ O · L ⁻¹)	2.2~8.0	见表 3-20
Menzel 缓冲溶液	1.0.2mol · L ⁻¹ 碳酸钠 (21.2g Na ₂ CO ₃ · L ⁻¹)	0.2mol · L ⁻¹ 碳酸氢钠 (16.8g NaHCO ₃ · L ⁻¹)	9.5~11.5	见表 3-21
	2.0.1mol · L ⁻¹ 碳酸钠	0.1mol · L ⁻¹ 碳酸氢钠	9.5~10.2	
	3.0.05mol · L ⁻¹ 碳酸钠	0.05mol · L ⁻¹ 碳酸氢钠	8.9~11.4	
	4.0.02mol · L ⁻¹ 碳酸钠	0.02mol · L ⁻¹ 碳酸氢钠	9.5~11.2	
Walpole 缓冲溶液	1.1mol · L ⁻¹ 乙酸钠 (130g CH ₃ COONa · 3H ₂ O · L ⁻¹)	1mol · L ⁻¹ 盐酸	0.65~5.2	见表 3-22
	2.0.2mol · L ⁻¹ 乙酸 (12g CH ₃ COOH · L ⁻¹)	0.2mol · L ⁻¹ 乙酸钠 (27.2g CH ₃ COONa · 3H ₂ O · L ⁻¹)	3.5~5.6	
Hastings-Sendroy 缓冲溶液	1/15mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钠 (21.9g Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O · L ⁻¹)	1/15mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钾 (9.08g KH ₂ PO ₄ · L ⁻¹)	6.8~8.0	见表 3-23
Larson Robison 广用缓冲溶液	1.1/25mol · L ⁻¹ 混合酸 (3.52g H ₃ PO ₄ (2.71ml 85% 正磷酸) + 2.40g 乙酸 (2.36ml 冰乙酸) + 2.47g H ₃ BO ₃ · L ⁻¹)	0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠 (8.0g NaOH · L ⁻¹)	1.8~12.0	见表 3-24
	2.1/25mol · L ⁻¹ 混合酸 (8.40g 柠檬酸 (水) + 5.45g KH ₂ PO ₄ + 2.47g H ₃ BO ₃ + 7.37g 二乙基巴比妥酸 + 1.46g 盐酸 (3.36ml 36.5% 盐酸) · L ⁻¹)	0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠 (8.0g NaOH · L ⁻¹)	2.4~12.2	
Gomori 缓冲溶液	1.0.2mol · L ⁻¹ 2,4,6 三甲基吡啶 (26.4ml (CH ₃) ₃ C ₅ H ₂ N · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	6.1~8.3	见表 3-25
	2.0.2mol · L ⁻¹ 2 氨基-3 羟甲基 (1,3) 丙二醇 (24.3g (CH ₂ OH) ₂ (CH ₂ NH ₂) · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	7.2~9.1	
	3.0.2mol · L ⁻¹ 2 氨基-3 羟甲基 (1,3) 丙二醇 (21.6g (CH ₂ OH) ₂ (CH ₂ NH ₂) · L ⁻¹)	0.1mol · L ⁻¹ 盐酸	7.5~9.7	
苛性缓冲溶液	1.2.33% 磷酸二氢钠	1.44% 碳酸钠	6.1~7.6	见表 3-26
	2.0.263mol · L ⁻¹ 柠檬酸 (55.3g C ₆ H ₈ O ₇ · H ₂ O · L ⁻¹)	0.123mol · L ⁻¹ 磷酸二氢钠 (21.9g Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O · L ⁻¹)	2.1~5.3	
	3.1.77% 磷酸二氢钠	1.77% 磷酸氢二钠 (二水盐)	6.9~7.6	
甲酸-甲酸钠缓冲溶液	0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠	0.1mol · L ⁻¹ 甲酸	2.6~4.8	见表 3-27
N-乙基吗啡-盐酸缓冲溶液	0.2mol · L ⁻¹ N-乙基吗啡 (23.03g · L ⁻¹)	1mol · L ⁻¹ 盐酸	7.5~8.2	见表 3-28
挥发性的缓冲溶液			1.9~9.3	见表 3-29
普通缓冲溶液			1~13	见表 3-30

表 3-12 pH 值测定用标准缓冲溶液

名 称	标准缓冲溶液制备 ^①	不同温度(℃)时各标准缓冲溶液的 pH 值									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	
草酸盐标准缓冲溶液	$c(\text{KH}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ 为 $0.05\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。称取 12.71g 四草酸钾 $(\text{KH}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ 溶于无二氧化碳的水, 稀释至 1 000ml	1.67	1.57	1.67	1.67	1.68	1.68	1.69	1.69	1.69	
酒石酸盐标准缓冲溶液	在 25℃ 时, 用无二氧化碳的水溶解外消旋的酒石酸氢钾 $(\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6)$, 并剧烈振荡至成饱和溶液	—	—	—	—	—	3.56	3.55	3.55	3.55	
苯二甲酸盐标准缓冲溶液	$c(\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2\text{HCO}_2\text{K}))$ 为 $0.05\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。称取 10.21g $(\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2\text{HCO}_2\text{K}))$ 于 110℃ 干燥 2h 的苯二甲酸氢钾 $(\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2\text{HCO}_2\text{K}))$ 溶于无二氧化碳的水, 稀释至 1 000ml	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.01	4.01	4.02	4.04	
磷酸盐标准缓冲溶液	称取 3.40g 磷酸二氢钾 (KH_2PO_4) 和 3.55g 磷酸氢二钠 $(\text{Na}_2\text{HPO}_4)$, 溶于无二氧化碳的水, 稀释至 1 000ml。磷酸二氢钾在磷酸氢二钠内预先在 $120 \pm 1^\circ\text{C}$ 干燥 2h。此溶液的浓度 $c(\text{KH}_2\text{PO}_4)$ 为 $0.025\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{Na}_2\text{HPO}_4)$ 为 $0.025\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	6.98	6.95	6.92	6.90	6.88	6.83	6.85	6.84	6.84	
硼酸盐标准缓冲溶液	$c(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ 为 $0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。称取 3.81g 四硼酸钠 $(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ 溶于无二氧化碳的水, 稀释至 1 000ml。存放时应防止空气中二氧化碳进入	9.45	9.40	9.38	9.37	9.22	9.18	9.14	9.10	9.06	
氢氧化钙标准缓冲溶液	于 25℃, 用无二氧化碳的水制备氢氧化钙的饱和溶液。氢氧化钙溶液的浓度 $c(\frac{1}{2}\text{Ca}(\text{OH})_2)$ 应在 $(0.0400 \sim 0.0432)\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。氢氧化钙饱和液的浓度可以酚红为指示剂, 用盐酸标准溶液 $c(\text{HCl}) = 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 滴定测出。存放时应防止空气中二氧化碳进入, 一旦出现混浊, 应弃去重配	13.12	13.21	13.00	12.81	12.63	12.45	12.30	12.14	1.98	

① 上述标准缓冲溶液必须用 pH 标准试剂配制, 见中华人民共和国国家标准 GB 9724-88《化学试剂 pH 测定通则》。

表 3-13 指示剂 pH 变色域测定用缓冲溶液

(1) 盐酸-氯化钾缓冲溶液												
A. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml	94.56	75.10	59.68	47.49	37.64	29.90	23.76	18.86	14.58	11.90	9.46	7.52
B. 0.2mol · L ⁻¹ 氯化钾, ml	2.70	12.45	20.16	26.30	31.29	35.00	38.10	40.00	42.60	44.05	45.50	46.25
水	加至 100ml											
pH	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
(2) 邻苯二甲酸氢钾-盐酸缓冲溶液												
A. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml	46.60	37.60	33.00	26.50	20.40	14.80	9.95	6.00	2.65			
B. 0.2mol · L ⁻¹ 邻苯二甲酸氢钾, ml	25											
水	加至 100ml											
pH	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8			
(3) 邻苯二甲酸氢钾-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml	0.40	3.65	7.65	12.00	17.50	23.55	29.75	35.25	39.70	43.10	45.40	47.00
B. 0.2mol · L ⁻¹ 邻苯二甲酸氢钾, ml	25											
水	加至 100ml											
pH	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2

续表

(4) 磷酸二氢钾-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.1mol·L ⁻¹ 氢氧化钠, ml	3.65	5.64	8.55	12.60	17.74	23.60	29.54	34.50	39.34	42.74	45.17	46.45
B. 0.2mol·L ⁻¹ 磷酸二氢钾, ml	25											
水	加至 100ml											
pH	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0
(5) 磷酸-氯化钾-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.1mol·L ⁻¹ 氢氧化钠, ml	2.65	4.00	5.90	8.55	12.00	16.40	21.40	26.70	32.00	36.85	40.80	43.00
B. 0.2mol·L ⁻¹ 磷酸-氯化钾, ml	25											
水	加至 100ml											
pH	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	9.3	9.4	9.6	9.8	10.0
(6) 甘氨酸-氯化钠-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.1mol·L ⁻¹ 氢氧化钠, ml	37.50	41.00	44.00	46.00	47.50	48.50	49.80	50.20	51.00	51.10	52.10	
B. 0.1mol·L ⁻¹ 甘氨酸-氯化钠, ml	62.50	59.00	56.00	54.00	52.50	51.20	50.20	49.80	49.00	48.90	47.90	
pH	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8		
A. 0.1mol·L ⁻¹ 氢氧化钠, ml	54.00		55.00		60.30		67.00		77.50		82.50	
B. 0.2mol·L ⁻¹ 甘氨酸-氯化钠, ml	46.00		44.00		39.70		32.50		22.50		7.50	
pH	12.0		12.2		12.4		12.6		12.8		13.0	

表 3-14 Clark-Lubs 缓冲溶液的配制

(1) 氯化钾-盐酸缓冲溶液												
A. 0.2mol·L ⁻¹ 氯化钾, ml	50		50		50		50		50		50	
B. 0.2mol·L ⁻¹ 盐酸, ml	97.0		64.5		41.5		26.5		16.6		10.6	
水, ml	53.0		85.5		108.5		123.7		133.4		139.4	
pH(20℃)	1.0		1.2		1.4		1.6		1.8		2.0	
(2) 邻苯二甲酸氢钾-盐酸缓冲溶液												
A. 0.2mol·L ⁻¹ 邻苯二甲酸氢钾, ml	50		50		50		50		50		50	
B. 0.2mol·L ⁻¹ 盐酸, ml	46.70		39.60		32.95		26.42		20.32		14.70	
水, ml	103.30		110.40		117.05		123.58		129.68		135.30	
pH(20℃)	2.2		2.4		2.6		2.8		3.0		3.2	
(3) 邻苯二甲酸氢钾-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.2mol·L ⁻¹ 邻苯二甲酸氢钾, ml	50		50		50		50		50		50	
B. 0.2mol·L ⁻¹ 氢氧化钠, ml	0.40		3.70		7.50		12.15		17.70		23.85	
水, ml	149.60		146.30		142.50		137.85		132.00		126.09	
pH(20℃)	4.0		4.2		4.4		4.6		4.8		5.0	
(4) 磷酸二氢钾-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.2mol·L ⁻¹ 磷酸二氢钾, ml	50		50		50		50		50		50	

续表

H. 0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml	3.22	3.70	3.80	12.60	17.80	23.63	29.63	35.00	35.50	42.80	45.29	46.80
水, ml	146.28	144.30	141.40	137.40	132.20	126.37	120.37	115.00	110.50	107.20	104.80	103.20
pH(20℃)	5.2	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0

(5) 硼酸 + 氯化钾 - 氢氧化钠缓冲溶液

A. 0.2mol · L ⁻¹ 硼酸 + 0.2mol · L ⁻¹ 氯化钾, ml	50	50	50	50	50	50	30	50	50	50	50	50
B. 0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml	2.61	3.97	5.90	8.50	12.00	16.30	21.30	26.70	32.00	36.85	40.80	43.90
水, ml	107.39	106.03	104.10	101.50	98.00	93.70	88.70	83.30	78.00	73.15	69.20	66.10
pH(20℃)	7.8	8.0	8.2	8.4	8.5	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0

表 3-15 Sørensen 缓冲溶液的配制

(1) 甘氨酸 + 氯化钠 - 盐酸缓冲溶液												
A. 0.1mol · L ⁻¹ 甘氨酸 + 0.1mol · L ⁻¹ 氯化钠, ml		0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	9.5
B. 0.2mol · L ⁻¹ 盐酸, ml		10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
pH(18℃)		1.04	1.15	1.25	1.42	1.65	1.93	2.28	2.61	2.92	3.14	4.58

(2) 甘氨酸 + 氯化钠 - 氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.1mol · L ⁻¹ 甘氨酸 + 0.1mol · L ⁻¹ 氯化钠, ml		9.5	9.0	8.0	7.0	6.0	5.5	5.1	5.0	4.9	4.8	4.0
B. 0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5	4.9	5.0	5.1	5.5	6.0
pH	10℃	8.75	9.10	9.45	9.90	10.34	10.68	11.29	11.35	11.80	12.34	12.65
	20℃	8.53	8.88	9.31	9.66	10.09	10.42	11.01	11.25	11.51	12.04	12.33
	30℃	8.52	8.67	9.08	9.42	9.83	10.17	10.74	10.97	11.22	11.74	12.03
	40℃	8.12	8.45	8.85	9.18	9.58	9.91	10.46	10.70	10.93	11.44	12.72

(3) 柠檬酸钠 - 盐酸缓冲溶液												
A. 0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸钠, ml		0.0	1.0	2.0	3.0	3.33	4.0	4.5	4.75	5.0	5.5	6.0
B. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml		10.0	9.0	8.0	7.0	6.67	6.0	5.5	5.25	5.0	4.5	4.0
pH(18℃)		1.04	1.17	1.43	1.93	2.27	2.73	3.33	3.69	3.94	4.34	4.90

(4) 柠檬酸钠 - 氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸钠, ml		10.0	9.5	9.0	8.0	7.0	6.0	5.5	5.25	5.0	4.5	4.0
B. 0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5	4.75	5.0	5.5	6.0
pH	10℃	4.93	4.99	5.08	5.27	5.53	5.94	6.30	6.45	6.60	6.75	6.90
	20℃	4.96	5.02	5.11	5.31	5.57	5.98	6.34	6.49	6.64	6.79	6.94
	30℃	5.00	5.06	5.15	5.35	5.60	6.01	6.37	6.52	6.67	6.82	6.97
	40℃	5.04	5.10	5.19	5.39	5.64	6.04	6.41	6.56	6.71	6.86	7.01

(5) 硼砂 - 盐酸缓冲溶液												
A. 0.2mol · L ⁻¹ 硼砂, ml		10.0	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.25
B. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.25	4.75

续表

pH	16℃	9.36	9.22	9.14	9.05	8.96	8.84	8.72	8.64	8.52	8.47	7.96	7.64
	20℃	9.23	9.15	9.07	8.99	8.89	8.79	8.67	8.59	8.27	8.13	7.93	7.61
	30℃	9.15	9.06	8.97	8.92	8.82	8.72	8.61	8.44	8.23	8.09	7.89	7.58
	40℃	9.08	8.97	8.94	8.85	8.77	8.76	8.68	8.40	8.28	8.08	7.86	7.54

(6) 硼酸-氢氧化钠缓冲溶液

A. 0.2mol · L ⁻¹ 硼砂, ml		10	9	8	7	6	5	4
B. 0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		0	1	2	3	4	5	6
pH	10℃	9.30	9.42	9.57	9.75	10.05	11.24	12.64
	20℃	9.23	9.35	9.48	9.66	9.94	11.04	12.32
	30℃	9.15	9.26	9.39	9.55	9.80	10.83	12.00
	40℃	9.08	9.18	9.30	9.44	9.67	10.61	11.68

(7) 磷酸二氢钾-磷酸氢二钠缓冲溶液

A. 1/15mol/L 磷酸二氢钾, ml	10.0	9.75	9.5	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	0.5	0.0
B. 1/15mol/L 磷酸氢二钠, ml	0.0	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0
pH(18℃)	4.49	5.29	5.39	5.92	6.24	6.47	6.64	6.81	6.98	7.17	7.38	7.72	8.04	9.18

表 3-16 Kolthoff 缓冲溶液的配制

(1) 柠檬酸二氢钾-柠檬酸缓冲溶液														
A. 0.1mol/L 柠檬酸二氢钾, ml		0.95	1.97	3.00	4.22	5.55	7.0	8.30	9.59					
B. 0.1mol/L 柠檬酸, ml		9.05	8.03	7.00	5.78	4.45	3.0	1.70	0.41					
pH(18℃)		2.2	2.4	2.6	2.6	3.0	3.2	3.4	3.6					
(2) 柠檬酸二氢钾-盐酸缓冲溶液														
A. 0.1mol/L 柠檬酸二氢钾, ml		25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
B. 0.1mol/L 盐酸, ml		24.85	21.70	18.40	15.10	11.80	8.60	5.35	2.10					
水, ml		0.15	3.30	6.60	9.90	13.20	16.40	19.65	22.90					
pH(18℃)		2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6					
(3) 柠檬酸二氢钾-氢氧化钠缓冲溶液														
A. 0.1mol/L 柠檬酸二氢钾, ml	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
B. 0.2mol/L 氢氧化钠, ml	1.0	4.50	8.15	11.85	15.75	19.50	23.35	27.10	30.50	34.00	37.2	40.6		
水, ml	24.0	20.50	16.85	13.15	9.25	5.40	1.65	0	0	0	0	0		
pH(18℃)	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0		
(4) 丁二酸-硼砂缓冲溶液														
A. 0.05mol/L 丁二酸, ml	9.86	9.65	9.40	9.05	8.63	8.22	7.78	7.38	7.00	6.65	6.32	6.05	5.70	5.37
B. 0.05mol/L 硼砂, ml	0.14	0.35	0.60	0.95	1.37	1.78	2.22	2.62	3.00	3.35	3.68	3.95	4.21	4.43
pH(18℃)	3.0	3.2	3.4	3.5	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.8
(5) 柠檬酸二氢钾-硼砂缓冲溶液														
A. 0.1mol/L 柠檬酸二氢钾, ml	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
B. 0.05mol/L 硼砂, ml	0.65	4.4	8.8	13.5	18.0	22.8	27.4	31.2	34.9	38.3	41.7	44.1		

续表

pH(18℃)	7.44	7.9	7.8	7.95	8.4	8.2	8.4	8.43	8.6	8.78
A. 0.2mol · L ⁻¹ 硼酸 + 0.2mol · L ⁻¹ 氯化钾, ml	65.5	63.0	60.0	58.4	50.0	49.7	50.0	42.0	30.0	26.0
B. 0.2mol · L ⁻¹ 碳酸钠, ml	33.5	37.0	40.0	41.6	50.0	50.3	50.0	57.1	70.0	74.0
水, ml	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
pH(18℃)	8.8	9.0	9.03	9.2	9.39	9.40	9.51	9.6	9.63	9.8
A. 0.2mol · L ⁻¹ 硼酸 + 0.2mol · L ⁻¹ 氯化钾, ml	80.0	79.1	77.1	76.0	73.4	73.0	73.8	75.7	80.0	81.5
B. 0.2mol · L ⁻¹ 碳酸钠, ml	20.0	20.9	22.9	24.0	26.6	27.0	26.2	24.3	20.0	18.5
水, ml	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
pH(18℃)	8.98	9.0	9.02	9.25	9.40	9.53	9.6	9.6	9.65	9.8

表 3-19 Palitzsch 缓冲溶液的配制

硼酸-氯化钠-硼砂缓冲溶液

A. 0.05mol · L ⁻¹ 硼砂, ml	0.3	0.4	1.0	1.5	2.0	2.8	2.0	3.0	3.5
B. 0.2mol · L ⁻¹ 硼酸 + 0.05mol · L ⁻¹ 氯化钠, ml	9.7	9.4	9.0	8.5	8.0	7.7	7.5	7.0	6.5
pH(18℃)	6.77	7.05	7.36	7.60	7.76	7.86	7.94	8.08	8.20
A. 0.05mol · L ⁻¹ 硼砂, ml	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
B. 0.2mol · L ⁻¹ 硼酸 + 0.05mol · L ⁻¹ 氯化钠, ml	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	2.0	1.0	0
pH(18℃)	8.31	8.41	8.51	8.60	8.65	8.83	8.98	9.11	9.21

表 3-20 Mcllvaine 缓冲溶液的配制

磷酸氢二钠-柠檬酸缓冲溶液

A. 0.2mol · L ⁻¹ 磷酸氢二钠, ml	0.4	1.24	2.18	3.17	4.11	4.94	5.70	6.44	7.10	7.71
B. 0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸, ml	15.50	18.76	17.82	16.83	15.89	15.06	14.30	13.56	12.90	12.29
pH	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
A. 0.2mol · L ⁻¹ 磷酸氢二钠, ml	8.24	8.82	9.25	9.60	10.00	10.72	11.15	11.80	12.60	13.60
B. 0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸, ml	12.72	11.18	10.65	10.11	9.70	9.29	8.85	8.40	7.91	7.37
pH	4.2	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.2	5.4
A. 0.2mol · L ⁻¹ 磷酸氢二钠, ml	13.22	18.82	14.55	15.43	16.47	17.39	18.17	18.77	19.15	19.45
B. 0.1mol · L ⁻¹ 柠檬酸, ml	6.78	6.15	5.45	4.75	3.53	2.61	1.81	1.27	0.85	0.53
pH	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0

表 3-21 Menzel 缓冲溶液的配制

(1) 碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液

A. 0.2mol · L ⁻¹ 碳酸钠, ml	2.5	1.0	5.0	6.0	7.5	9.0	10.0
B. 0.2mol · L ⁻¹ 碳酸氢钠, ml	7.5	3.0	5.0	4.0	2.5	1.0	0
pH(18℃)	9.17	9.73	9.90	10.03	10.35	10.77	11.54

(2) 碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液

续表

A. 0.1mol · L ⁻¹ 碳酸钠, ml	4.0		5.0		6.25			
B. 0.1mol · L ⁻¹ 碳酸氢钠, ml	5.0		5.0		5.75			
pH(18℃)	9.83		9.97		10.16			
(2) 碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液								
A. 0.05mol · L ⁻¹ 碳酸钠, ml	2.0	3.3	4.0	5.0	6.2	8.0	10.0	
B. 0.05mol · L ⁻¹ 碳酸氢钠, ml	8.0	6.7	4.0	3.0	2.3	2.0	0	
pH(18℃)	9.80	9.79	9.84	10.10	10.35	10.54	11.23	
(3) 碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液								
A. 0.02mol · L ⁻¹ 碳酸钠, ml	1.0	2.5	4.0	5.0	6.0	7.5	8.0	10.0
B. 0.02mol · L ⁻¹ 碳酸氢钠, ml	9.0	7.5	6.0	5.0	4.0	2.5	1.0	0
pH(18℃)	9.84	9.77	9.82	9.80	9.85	10.14	10.58	11.37

表 3-22 Walpole 缓冲溶液的配制

(1) 盐酸-乙酸钠缓冲溶液													
A. 1mol/L 乙酸钠, ml	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
B. 1mol/L 盐酸, ml	100	90.0	80.0	70.0	65.0	60.0	55.0	53.5	52.5	51.0	50.0	49.75	
水, ml	150	110.0	120.0	130.0	135.0	140.0	145.0	146.5	147.5	149.0	150.0	150.25	
pH	0.65	0.75	0.91	1.09	1.24	1.42	1.71	1.31	1.99	2.32	2.64	2.72	
A. 1mol/L 乙酸钠, ml	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
B. 1mol/L 盐酸, ml	48.5	47.5	46.25	45.0	42.5	40.0	35.0	30.0	25.0	20.0	15.0	10.0	
水, ml	151.5	152.5	153.75	155.0	157.5	160.0	165.0	170.0	175.0	180.0	185.0	190.0	
pH	3.09	3.24	3.49	3.81	4.14	4.35	4.49	4.39	4.56	4.76	4.95	5.20	
(2) 乙酸-乙酸钠缓冲溶液													
A. 0.2mol/L 乙酸, ml		18.8	17.6	16.4	14.7	12.8	10.2	8.0	5.9	4.2	2.9	1.9	
B. 0.2mol/L 乙酸钠, ml		1.5	2.4	3.6	5.3	7.4	9.8	2.0	11.1	15.8	17.1	18.1	
pH(18℃)		3.9	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	

表 3-23 Hastings-Sendroy 缓冲溶液的配制

磷酸氢二钠-磷酸二氢钾缓冲溶液													
A. 1/15mol/L 磷酸氢二钠, ml	49.6	52.5	55.4	58.2	61.1	65.0	66.6	69.2	72.0	74.4	76.8	78.0	
B. 1/15mol/L 磷酸二氢钾, ml	50.4	47.5	44.6	41.8	38.9	36.1	33.4	30.8	28.0	25.6	23.2	21.1	
pH	20℃	6.805	6.862	6.909	6.956	7.005	7.057	7.106	7.154	7.212	7.261	7.313	7.361
	30℃	6.783	6.829	6.855	6.924	6.979	7.028	7.076	7.128	7.181	7.230	7.288	7.356
A. 1/15mol/L 磷酸氢二钠, ml	50.8	82.6	84.1	85.7	87.0	88.2	89.4	90.5	91.5	92.3	93.1	93.8	94.7
B. 1/15mol/L 磷酸二氢钾, ml	19.2	17.4	15.9	14.3	13.0	11.8	10.6	9.5	8.5	7.7	6.8	6.2	5.3
pH	20℃	7.412	7.453	7.501	7.551	7.610	7.655	7.705	7.751	7.806	7.848	7.900	7.948
	30℃	7.384	7.439	7.481	7.530	7.576	7.626	7.672	7.726	7.776	7.821	7.877	7.919

表 3-24 Britton-Robinson 广泛缓冲溶液的配制

(1) 混合酸-氢氧化钠缓冲溶液													
A. 1/25mol · L ⁻¹ 混合酸, ml		100											
B. 0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5
pH(18℃)		1.81	1.89	1.98	2.09	2.21	2.36	2.56	2.87	3.29	3.78	4.10	4.35
A. 1/25mol · L ⁻¹ 混合酸, ml		100											
B. 0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5
pH(18℃)		5.72	5.79	5.87	5.99	6.10	6.26	6.40	6.54	6.66	6.78	6.90	7.00
A. 1/25mol · L ⁻¹ 混合酸, ml		100											
B. 0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		72.5	75.0	77.5	80.0	82.5	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100
pH(18℃)		9.37	9.42	9.45	9.48	9.50	9.52	9.54	9.56	9.58	9.60	9.62	9.64
(2) 混合酸-氢氧化钠缓冲溶液													
A. 1/25mol · L ⁻¹ 混合酸, ml		100											
B. 0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
pH (18℃)	a ^①	2.40	2.55	2.73	2.92	3.12	3.35	3.57	3.80	4.02	4.21	4.40	4.57
	b ^②	2.58	2.72	2.86	3.03	3.21	3.43	3.66	3.87	4.09	4.26	4.42	4.58
A. 1/25mol · L ⁻¹ 混合酸, ml		100											
B. 0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68
pH (18℃)	a ^①	4.74	4.91	5.08	5.25	5.40	5.57	5.70	5.91	6.10	6.28	6.45	6.62
	b ^②	4.75	4.91	5.08	5.25	5.40	5.57	5.70	5.91	6.10	6.28	6.45	6.62
A. 1/25mol · L ⁻¹ 混合酸, ml		100											
B. 0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72
pH (18℃)	a ^①	6.94	7.12	7.30	7.45	7.63	7.79	7.98	8.15	8.35	8.55	8.75	8.97
	b ^②	6.94	7.12	7.30	7.45	7.63	7.79	7.98	8.15	8.35	8.55	8.75	8.97
A. 1/25mol · L ⁻¹ 混合酸, ml		100											
B. 0.2mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml		76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
pH (18℃)	a ^①	9.41	9.45	9.48	9.51	9.54	9.57	9.60	9.63	9.66	9.69	9.72	9.75
	b ^②	9.41	9.45	9.48	9.51	9.54	9.57	9.60	9.63	9.66	9.69	9.72	9.75

①A + D 溶液的 pH 值。

②A + B 溶液用水稀释至 200ml 时溶液的 pH 值。

表 3-25 Gomori 缓冲溶液的配制

(1) 2,4,6-三甲基吡啶-盐酸缓冲溶液										
A. 0.2mol · L ⁻¹ 2,4,6-三甲基吡啶, ml		25.0								
B. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml		45.0	42.5	40.0	37.5	35.0	32.5	30.0	27.5	25.0
水, ml		40.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0

续表

pH	23℃	6.45	6.62	6.80	6.98	7.08	7.18	7.22	7.33	7.49
	37℃	6.37	6.54	6.72	6.84	6.95	7.05	7.14	7.22	7.32
A. 0.2mol · L ⁻¹ 2,4,6-三甲基吡隆, ml		25.0								
B. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml		22.5	20.0	17.5	15.0	12.5	10.0	7.5	5.0	
水, ml		52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	
pH	23℃	7.50	7.37	7.27	7.17	7.08	6.99	6.90	6.81	6.73
	37℃	7.40	7.30	7.20	7.10	7.00	6.90	6.80	6.70	6.63

(2) 2-氨基-2-羟基-(1,3)丙二酮-盐酸缓冲溶液 (tris 缓冲溶液)

A. 0.2mol · L ⁻¹ 2-氨基-2-羟基-(1,3)丙二酮, ml		25.0								
B. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml		45.0	42.5	40.0	37.5	35.0	32.5	30.0	27.5	25.0
水, ml		30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0
pH	23℃	7.20	7.38	7.54	7.66	7.77	7.87	7.96	8.05	8.14
	37℃	7.05	7.22	7.40	7.52	7.63	7.73	7.82	7.90	8.00
A. 0.2mol · L ⁻¹ 2-氨基-2-羟基-(1,3)丙二酮, ml		25.0								
B. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml		22.5	20.0	17.5	15.0	12.5	10.0	7.5	5.0	
水, ml		52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	
pH	23℃	8.23	8.32	8.40	8.50	8.62	8.74	8.82	8.90	9.00
	37℃	8.10	8.18	8.27	8.37	8.46	8.50	8.58	8.67	8.75

(3) 2-氨基-2-羟基-(1,3)丙二酮-盐酸缓冲溶液

A. 0.2mol · L ⁻¹ 2-氨基-2-羟基-(1,3)丙二酮, ml		25.0								
B. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml		45.0	42.5	40.0	37.5	35.0	32.5	30.0	27.5	25.0
水, ml		30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0
pH	23℃	7.83	8.00	8.18	8.30	8.40	8.50	8.60	8.70	8.78
	37℃	7.72	7.90	8.07	8.20	8.30	8.40	8.50	8.58	8.67
A. 0.2mol · L ⁻¹ 2-氨基-2-羟基-(1,3)丙二酮, ml		25.0								
B. 0.1mol · L ⁻¹ 盐酸, ml		22.5	20.0	17.5	15.0	12.5	10.0	7.5	5.0	
水, ml		52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	
pH	23℃	8.87	8.96	9.05	9.15	9.26	9.38	9.56	9.72	
	37℃	8.76	8.85	8.94	9.03	9.15	9.27	9.45	9.62	

表 3-26 零渗透缓冲溶液的配制

(1) 磷酸二氢钾-碳酸氢钠缓冲溶液 (畜血动物)									
A. 2.33% 磷酸二氢钾, ml		8.0		6.0		4.0		2.0	
B. 1.41% 碳酸氢钠, ml		2.0		4.0		6.0		8.0	
pH		6.66		6.91		7.10		7.39	
(2) 柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲溶液 (畜血动物)									
A. 0.263mol · L ⁻¹ 柠檬酸, ml		9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
									1.0

续表

B. 0.123mol · L ⁻¹ 磷酸氢二钠, ml	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
pH	3.05	2.87	2.50	2.69	2.94	3.28	3.81	4.79	6.33

(3) 磷酸二氢钾-磷酸氢二钠缓冲液(冷血动物)

A. 1.77% 磷酸二氢钾, ml	8.2	7.2	6.9	4.7	3.5	2.4	1.6	1.0	0.2
B. 1.77% 磷酸氢二钠, ml	1.8	2.8	4.1	5.3	6.5	7.6	8.4	9.0	9.8
pH	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6

表 3-27 甲酸-甲酸钠缓冲溶液的配制

A. 0.1mol · L ⁻¹ 氢氧化钠, ml	50.0									
B. 0.1mol · L ⁻¹ 甲酸, ml	684	442	294	203	146	110	87.9	73.3	55.1	59.5
水	加至 1L									
pH(25℃)	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.5

表 3-28 N-乙基吗啡-盐酸缓冲溶液的配制

A. 0.2mol · L ⁻¹ N-乙基吗啡, ml	50.0									
B. mol · L ⁻¹ 盐酸, ml	8.0	7.1	6.1	5.0	4.0	3.0	2.2	1.5	1.0	0.5
水	加至 1L									
pH(25℃)	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8

表 3-29 挥发性的缓冲溶液的配制

pH	配 制 方 法	主要用途
1.9	乙酸(67ml), 甲醛(25ml, 88%)加水配成 1L	一般用
2.3	甲醛(25ml, 88%)加水配成 1L	一般用
3.1	吡啶(3ml), 乙酸(100ml)加水配成 1L	一般用
3.1	吡啶(16.1ml), 甲酸(30ml)加水配成 1L	柱色谱
3.1	吡啶(16.1ml), 乙酸(260ml)加水配成 1L	柱色谱
3.3	吡啶(3ml), 乙酸(50ml)加水配成 1L	一般用
3.6	按吡啶: 乙酸: 水 = 1: 10: 89 体积比配制	高压纸上电泳
3.7	按吡啶: 乙酸: 水 = 1: 10: 289 体积比配制	高压纸上电泳
4.1	吡啶(14.2ml), 乙酸(138ml)加水配成 1L	柱色谱
4.7	吡啶(25ml), 乙酸(25ml)加水配成 1L	一般用
5.1	吡啶(161ml), 乙酸(145ml)加水配成 1L	柱色谱
5.4	吡啶(8ml), 乙酸(2ml)加水配成 1L	一般用
5.5	吡啶(100ml), 乙酸(4ml)加水配成 1L	一般用
5.5	按吡啶: 乙酸: 水 = 10: 0.4: 99 体积比配制	高压纸上电泳
7.9	0.03mol · L ⁻¹ NH ₄ HCO ₃	一般用
8.0	N-乙基吗啡(23ml), 乙酸(3ml)加水配成 1L	一般用
8.0	吡啶(17ml), α-甲基吡啶(117ml), 乙酸(0.5ml)加水配成 1L	柱色谱
8.5	吡啶(40ml), 2,4,6-三甲基吡啶(40ml), 乙酸(115ml)加水配成 1L	柱色谱
8.9	(NH ₄) ₂ CO ₃ (20g · L ⁻¹)	一般用
9.5	吡啶(30ml), N-乙基吗啡(50ml), 乙酸(0.4~2.0ml)加水配成 1L	柱色谱

表 3-30 普通缓冲溶液的配制

pH	配 制 方 法
6	1mol·L ⁻¹ 蔗糖
7	0.1mol·L ⁻¹ 磷酸
8	0.01mol·L ⁻¹ 盐酸
3.3	NaCH ₃ COO·3H ₂ O 8g, 溶于适量水中, 加 5mol·L ⁻¹ 乙酸 154ml, 稀至 500ml
4.0	NaCH ₃ COO·3H ₂ O 20g, 溶于适量水中, 加 5mol·L ⁻¹ 乙酸 154ml, 稀至 500ml
4.3	NaCH ₃ COO·3H ₂ O 32g, 溶于适量水中, 加 5mol·L ⁻¹ 乙酸 68ml, 稀至 500ml
5.0	NaCH ₃ COO·3H ₂ O 50g, 溶于适量水中, 加 5mol·L ⁻¹ 乙酸 34ml, 稀至 500ml
5.7	NaCH ₃ COO·3H ₂ O 60g, 溶于适量水中, 加 5mol·L ⁻¹ 乙酸 13ml, 稀至 500ml
7	NH ₄ CH ₃ COO 77g, 用水溶解后, 稀至 500ml
7.5	NH ₄ Cl 60g, 溶于适量水中, 加 15mol·L ⁻¹ 氨水 1.4ml, 稀至 500ml
8.0	NH ₄ Cl 50g, 溶于适量水中, 加 15mol·L ⁻¹ 氨水 3.5ml, 稀至 500ml
8.5	NH ₄ Cl 40g, 溶于适量水中, 加 15mol·L ⁻¹ 氨水 8.8ml, 稀至 500ml
9.0	NH ₄ Cl 35g, 溶于适量水中, 加 15mol·L ⁻¹ 氨水 24ml, 稀至 500ml
9.5	NH ₄ Cl 30g, 溶于适量水中, 加 15mol·L ⁻¹ 氨水 64ml, 稀至 500ml
10.0	NH ₄ Cl 27g, 溶于适量水中, 加 15mol·L ⁻¹ 氨水 137ml, 稀至 500ml
10.5	NH ₄ Cl 3g, 溶于适量水中, 加 15mol·L ⁻¹ 氨水 175ml, 稀至 500ml
11	NH ₄ Cl 3g, 溶于适量水中, 加 15mol·L ⁻¹ 氨水 207ml, 稀至 500ml
12	0.01mol·L ⁻¹ 氢氧化钠
13	0.1mol·L ⁻¹ 氢氧化钠

主要参考文献

1. 中华人民共和国国家标准 GB 3100-3102-93, 量和单位, 北京: 中国标准出版社, 1993.
2. 中华人民共和国国家标准 GB 602-88, 化学试剂, 杂质测定用标准溶液的制备, 北京: 中国标准出版社, 1988.
3. 中华人民共和国国家标准 GB 601-88, 化学试剂, 滴定分析(容量分析)标准溶液的制备, 北京: 中国标准出版社, 1988.
4. 日本化学会编, 化学便览, 基础篇 I, 改订 2 版, 丸善株式会社昭和 50 年.
5. 中华人民共和国国家标准 GB 9724-88, 化学试剂, pH 测定通则, 北京: 中国标准出版社, 1988.
6. 费书彪编著, 化学试剂配制手册, 南京: 江苏科学技术出版社, 1993.

第四章 普通分析仪器的校正

第一节 天平及砝码^①

一、天平的类型和准确度级别

本节列举的天平是非自动天平中的杠杆式天平,不包括皿式天平、自动记录天平及各类专用天平。一般天平的型号和准确度级别如表 4-1 所示。天平的准确度级别按天平的最大称量(max)与检定标尺分度值(e)之比值(n)划分, $n=\max/e$,共分为 10 级。例如,最大称量为 200g,检定标尺分度值为 0.0001g,那么, $n=200/0.0001=2\times 10^6$ 。从表 4-2 可知该天平的准确度级别为 3 级。

表 4-1 一般分析天平的型号与性能指标

名称	型号	最大称量 g	检定标尺分度值 mg	最大称量与检定标尺 分度值之比	准确度级别
半机械加码电光天平	TG328B	200	0.1	2×10^6	3
全机械加码电光天平	TG328A	200	0.1	2×10^6	3
微量天平	TD328A	20	0.01	2×10^6	3
阻尼天平	TG528B	200	0.4	5×10^5	5
全机械加码单盘天平	DY-100	100	0.1	1×10^6	4

表 4-2 天平的准确度级别

准确度级别	最大称量与检定标尺分度值之比	准确度级别	最大称量与检定标尺分度值之比
1	$1\times 10^7\leq n\leq 2\times 10^7$	6	$2\times 10^5\leq n\leq 4\times 10^5$
2	$4\times 10^6\leq n\leq 1\times 10^7$	7	$1\times 10^5\leq n\leq 2\times 10^5$
3	$2\times 10^6\leq n\leq 4\times 10^6$	8	$4\times 10^4\leq n\leq 1\times 10^5$
4	$1\times 10^6\leq n\leq 2\times 10^6$	9	$2\times 10^4\leq n\leq 4\times 10^4$
5	$4\times 10^5\leq n\leq 1\times 10^6$	10	$1\times 10^4\leq n\leq 2\times 10^4$

二、天平的计量性能

天平的计量性能规定天平衡量的精确度,它包括稳定性、灵敏性、正确性和示值变动性四项。

(一)稳定性

天平的稳定性系指平衡中天平横梁在受到扰动离开平衡位置后,仍能自动恢复原来平衡位置的能力。它是天平计量的先决条件。保证天平横梁及承重系统的稳定平衡状态的必要条件,是该系统的重心必须处于中刀刃(支点)的下方。重心与支点的距离愈大,天平愈稳定。若

① 主要参照中华人民共和国国家标准,GB/T 4168—92,非自动天平杠杆式天平 JJG98—90,非自动天平试行检定规程,GB1167—84,1—5 等砝码 JJG99—90,砝码试行检定规程。北京:中国标准出版社。

重心高于中刀刃,则天平失去稳定平衡状态而无法计量。天平的稳定性和灵敏性和示值变动性之间有密切关系,重心位置愈高,天平愈灵敏,但也愈不稳定,示值变动性也就较大。因此,在一架调校好的天平中,只是这些相互矛盾的因素在一定条件下达到相对的统一。对于稳定性,不规定具体的检定指标,实际上它包含在天平的灵敏性和示值变动性之中。

(二) 灵敏性(或称灵敏度)

天平的灵敏性是指天平能够“觉察”出两盘中物体重量之差的能力,能“觉察”出的重量愈小,灵敏性愈好。天平的灵敏度可以指针的线位移或角位移与引起此位移的被测量的变动量之比表示,其数学式为:

$$E = \frac{n\lambda}{r} \quad \text{或} \quad E = \frac{\alpha}{r} \quad (4-1)$$

式中 E ——天平的灵敏度;

n ——指针偏移的分度数;

λ ——读数标牌每一分度的宽度,mm;

r ——测定灵敏度用的小砝码,mg;

α ——横梁偏转的角位移,度。

一般使用中,经常利用“分度值”这个概念。分度值就是使天平的平衡位置在标牌上产生一个分度变化所需要的重量值。这就是通常所指的“感量”。对于同一台天平,分度值与灵敏度互为倒数关系,即

$$S = \frac{1}{E}$$

式中 S ——天平标牌的分度值或感量。

灵敏度的单位:在线位移中以 mm/mg 表示;在角位移中以 ($^{\circ}$)/mg 表示,分度值的单位以 mg/分度表示。

灵敏度由天平横梁及承重系统重心与支点的距离所规定。由于横梁上三个刀刃不是绝对地在同一平面上,因此,空天平的重心位置与载重时重心位置不能完全相同。这就产生空载时灵敏度与载重时灵敏度的差别,而这一差别不是调节重心球位置所能解决的,必须校正刀座位置才能解决。对于固定分度值的天平,要求空载时灵敏度与全载重时灵敏度一致。对于非同定分度值的天平,可通过实验测出的灵敏度加以校正。

(三) 正确性

天平的正确性系指横梁两臂长具有正确固定的比例关系而言。对于等臂天平来说,正确性通常用不等臂性来说明。正确性好的天平,横梁两臂的长度之差应符合一定要求。由不等臂性引起的误差是系统误差而且与被测量物体的重量成正比。因此规定此项误差以天平在最大载荷时由臂长不等引起的误差的量值表示。在精密衡量中,一般可用交换法或替代法消除衡量结果中的这一误差。

对于具有机械加码的天平,需要指出,减码式单盘天平由于横梁结构决定了用它衡量的方法只能是替代衡量法,即物体和砝码在天平的同一臂进行替代衡量,因而这一类天平不存在不等臂性误差的问题。而对于采用直接衡量法的机械加码式天平(如 TG328A 型),物体和砝码在天平的两臂进行衡量时,不等臂性误差被带进衡量结果中去了。这类天平的不等臂性误差,在检定天平时与砝码本身的质量偏差成为一个综合值,因此应当注意,机械加码式天平上的砝码应挂在天平上检定,也只能在该天平上使用。

(四) 示值变动性

天平的示值变动性是指天平在载荷不变的情况下, 多次开关天平平衡点变化的情况。它表明天平衡量结果的可靠程度。如果天平的示值变动性大于该天平的分度值, 显然天平的灵敏度就失去了意义。这说明在不能保证示值变动性不超出一定范围的条件下, 单纯提高灵敏度是没有意义的。因此规定两者的比例关系是 1:1。天平元件的质量和所处的调整状态是产生变动性的内在因素, 但是环境温度, 气流, 震动等外界因素对它也有影响。

各级天平的计量性能指标见表 4-3。

表 4-3 各级天平计量性能指标

精度 级别	示值变动性(分度)	分 度 值 误 差				横梁不等臂性误差(分度)				游码 标尺、 链条 标尺、 称量 误差 (分度)
		具有阻尼器的微分标尺和 数字标尺的天平(分度)		普通标尺天平(最大 实际分度值)		具有阻尼器的微 分标尺和数字标 尺的天平		普通标尺天平		
		空秤与全秤量 之差	左盘与右盘 之差	空秤与 全秤量 之差	左盘与 右盘之 差	新生产、 修秤后	使用中	新生产、 修秤后	使用中	
		新生产、 修秤后	使用中	新生产、 修秤后、使用中	新生产、 修秤后、使用中					
1-3级		空秤 ±1	空秤 ±1		1 K					
4-5级	1	全秤量 ±2	全秤量 ±2	2	1 5	3	9	3	6	1
6-10级					1 5					

注: 1. 具有阻尼器的微分标尺和数字标尺天平的分度值误差, 以微分标尺或数字标尺的零位至正式分度单位时的微幅计, 当单向微分标尺和数字标尺的分度数大于 100 分度时, 则应规定均匀分布在标尺上的 5 个点, 其误差, 空秤时为 1 分度; 全秤量时, 在标尺 1/2 及其以内的各测点为 ±1 分度, 大于标尺 1/2 时为 $\pm \frac{2}{3}$ 分度。对于双盘标准天平, 微分标尺和数字标尺应为双向, 但使用中的双盘标准天平, 微分标尺允许用单向。

2. 普通标尺天平的分度值误差, 以最大实际分度值计, 普通标尺天平的实际分度值不得大于其标称分度值。

3. 分度值不大于 0.001mg 的天平, 其游码标尺称量误差不得大于 2 分度。

4. 定做微计机构的天平, 其示值变动性不大于该机构的 1 分度, 并且其余计量性能也符合与此机构分度值的相应比例关系时, 天平的精度可按微计机构的分度值计算。

三、天平计量性能的检查

检查天平计量性能的过程, 通常叫做天平的检定。天平的正式检定应按天平检定规程进行。对于实验室中天平计量性能的检查, 可适当简化, 操作步骤简述如下。

表 4-4 天平计量性能检查记录

观测程序	砝盘上的载荷		平衡位置 L_i	观测程序	称量上的载荷		平衡位置 L_i
	左 盘	右 盘			左 盘	右 盘	
1	0	0	L_0	5	$P_2(-K)$	$P_1(+K)$	L_5
2	P_1	0	L_2	6	$P_1(-K)$	$P_1(+K)$	L_6
3	$P_1(+K)$	$P_2(-K)$	L_3	7	0	0	L_7
4	0	0	L_4				

(1) 无载荷的空天平平衡位置的调整和测定。测得平衡位置 L_0 ，在以后的各项测定中不得再作调整；

(2) 空称灵敏度测定。在左盘加小砝码 r ，对于微分标牌天平， r 应相等与微分标牌正式读数的最大值，对于普通标牌天平， r 应相当于必须能改变平衡位置不少于 3 个分度的量值的砝码。测得平衡位置为 L_1 ；

(3) 测定天平的不等臂性误差。取下小砝码 r ，把相当于天平最大称量的一对砝码 P_1 和 P_2 分别放在两盘中心（这一对砝码最好是经过调校的等量砝码），半开天平，若天平不平衡，即关住天平，在较轻的一盘中加适当的重物使其平衡，测定天平的平衡位置 L_2 ；

(4) 测定空天平平衡位置。取下砝码 P_1 和 P_2 （包括加上去的平衡重物），测得空天平平衡位置 L_3 ；

(5) 交换砝码 P_1 和 P_2 位置（包括加上去的平衡重物），继续测定天平的不等臂性误差。若天平不平衡，在较轻的盘中加标准小砝码直至天平平衡，测得平衡位置 L_4 ；

(6) 测定天平载重时的灵敏度。两盘中的砝码保持不动，将小砝码 r 加在左盘，开动天平，测得平衡位置 L_5 ；

(7) 测定空天平平衡点。取下盘中全部砝码，测得空天平平衡位置 L_6 。至此，检查操作完毕。

检查结果计算：

$$\text{灵敏度：空称分度值 } (S_0) \quad S_0 = \frac{r}{L_1 - L_0} \quad (4-2)$$

$$\text{全载重分度值 } (S_P) \quad S_P = \frac{r}{|L_5 - L_4|} \quad (4-3)$$

不等臂性误差 (Y)：

$$Y = \frac{K}{2S_P} \pm \left(\frac{L_2 - L_3}{2} - \frac{L_1 + L_4}{2} \right) \quad (4-4)$$

测定不等臂性误差时，若小砝码 K 加于左盘，公式中 $\frac{K}{2S_P}$ 前为正号表示右臂较长；当 K 加于右盘时，则在 $\frac{K}{2S_P}$ 前为负号，即左臂较长；如在交换砝码后不需要添加小砝码 K ，若公式中括号里的差数为正时，即表示右臂较长；如括号里的差数为负数时，则表示左臂较长。以上规定是指标牌的零点位于右面或零点位于中间而左“+”右“-”指针向下的天平。如果零点在中间或在左面而有“+”左“-”，那么当括号中的差数为正时，就表示左臂较长，而括号前改用负号。

天平的示值变动性 (Δ_0) $\Delta_0 = L_6(\text{最大}) - L_0(\text{最小})$

式中 L_0 是空天平的各次平衡位置。 (4-5)

四、砝码的分类与性能

(一) 砝码分类

砝码按其是否有修正值分为两大类。有修正值的砝码分为一、二等；无修正值的砝码分为 1~7 级。

(二) 砝码质量值

一等砝码采用真空质量值，二等砝码以及 1~7 级砝码一般采用折算质量值。

砝码的折算质量就是一个实际砝码与材料密度为 $8.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的假想砝码在空气密度为

$0.0012\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的条件下相互平衡,后者的真空质量值就称为前者的折算质量值,其中 $0.0012\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 称为砝码的统一约定密度。

砝码折算质量值 m' 与真空质量值 m 之间的折算关系为:

$$m' = m + (V^* - V) \rho_{\text{空},20} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{空},20}}{\rho}\right) m \quad (4-6)$$

$$m = m' + (V - V^*) \rho_{\text{空},20} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{空},20}}{\rho}\right) m' \quad (4-7)$$

式中 ρ ——砝码的材料密度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$;

$\rho_{\text{空},20}$ ——约定的标准空气密度, $0.0012\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$;

V ——砝码的实际体积, cm^3 ;

V^* ——砝码材料按统一约定密度计算时的体积, cm^3 。

(三) 砝码质量的标称值和组合

砝码质量的标称值 m' 通常情况下应为:

$$m' = a \times 10^b \text{kg} \quad (4-8)$$

式中 $a = 1, 2, 5$;

$b = 3 \sim -8$ 的整数,其中 -8 只适用于 $5 \times 10^{-6}\text{kg}$ 。

砝码的组合方式有:

(1、2、2、5) $\times 10^b \text{kg}$ (优先选用)

(1、1、2、5) $\times 10^b \text{kg}$

(1、1、1、2、5) $\times 10^b \text{kg}$

(1、1、2、2、5) $\times 10^b \text{kg}$

(四) 砝码的检定精度、修正值和允差

各等砝码的检定精度和质量允差如表 4-5 所示,检定精度是检定砝码时掌握的标准,其要求比质量允差更高。各等砝码经检定后必须在检定证书中给出质量修正值。

各级砝码的质量允差如表 4-6 所示。各级砝码检定后不给出修正值,但首次检定时或修理后检定时的砝码质量修正值不得大于该砝码质量允差的三分之一。

分析天平最常用的砝码是不给出修正值的三级砝码。

表 4-5 各种准确度等级砝码的允差值表

准确度等级 允 差 标称质量值 ¹⁾	一 等		二 等		备 注
	质量允差 +mg	检定精度 ±mg	质量允差 +mg	检定精度 ±mg	
200g	0.5	0.2	1.5	0.5	使用中的一等、二等砝码按实际值计算 新制的一等、二等砝码的质量允差为规定值的二分之一
100g	0.4	0.1	1.0	0.4	
50g	0.3	0.1	0.6	0.3	
20g	0.2	0.06	0.4	0.2	
10g	0.15	0.04	0.3	0.17	
5g	0.10	0.02	0.2	0.06	
1g	0.05	0.01	0.15	0.04	
0.5g	0.03	0.007	0.15	0.03	

续表

标称质量 ^①	准确度等级		一等		备 注
	允 差		质量允差 +mg	检定精度 +mg	
2g			0.20	0.005	使用中的一等、二等砝码按实际值计算 新制的一等、二等砝码的质量允差为规定值的二分之一
1g			0.10	0.005	
500mg			0.05	0.004	
300mg			0.05	0.004	
200mg			0.05	0.004	
100mg			0.05	0.004	
50mg			0.05	0.004	
30mg			0.05	0.004	
20mg			0.05	0.004	
10mg			0.05	0.004	
5mg			0.05	0.004	
3mg			0.05	0.004	
2mg			0.05	0.004	
1mg			0.05	0.004	
0.5mg			0.05	0.003	
0.2mg			0.005	0.002	
0.1mg			0.005	0.002	
0.05mg			0.005	0.002	

① 标称质量为 3×10^4 kg 的砝码不许再生产。

表 4-6 1~5 级砝码的允差值

标称质量 值	准确度等级 (±)mg	允 差 值				
		1 级 F_1	2 级 F_2	3 级 F_3	4 级 F_4	5 级 M_1
200g		0.10	0.10	1.0	3.0	10
100g		0.05	0.15	0.5	1.5	5
50g		0.030	0.10	0.30	1.0	3
20g		0.025	0.08	0.25	0.8	2.5
10g		0.020	0.06	0.20	0.6	2.0
5g		0.015	0.05	0.15	0.5	1.5
2g		0.012	0.04	0.12	0.4	1.2
1g		0.010	0.03	0.10	0.3	1.0
500mg		0.008	0.025	0.08	0.25	0.8
200mg		0.006	0.020	0.06	0.20	0.6
100mg		0.005	0.015	0.05	0.15	0.5
50mg		0.004	0.012	0.04	0.12	0.4
20mg		0.003	0.010	0.03	0.10	0.3
10mg		0.002	0.008	0.02	0.06	0.2
5mg		0.002	0.006	0.02	0.06	0.2
2mg		0.002	0.006	0.02	0.06	0.2
1mg		0.002	0.005	0.02	0.06	0.2

五、砝码的检定

砝码在使用过程中,由于种种原因可能引起质量误差,因此有必要对砝码的质量作定期检定。砝码的正式检定应按照砝码检定规程进行。本节仅列举实验室中检定工作砝码是否符合质量允差的一种方法。

检定砝码应该有一架计量性能较好的天平和一副作标准用的砝码,此砝码须经计量单位检定并给出质量修正值,平时不应用做工作砝码。被检定的砝码不得有表面镀层脱落和生锈现象,在检定前必须进行清洁处理,并待砝码温度与室温平衡后,方可进行检定。

质量测定方法采用替代衡量法(简称替代法),单个砝码的检定操作如下:

(1) 将作为标准用的砝码 B 放到天平的一个盘里,以相当的重物 T 置于另一盘平衡之,开启天平,记下四个连续读数或两次静止点读数。关住天平;

(2) 取下标准砝码 B ,并在此盘中放上相同标称值的被检砝码 A 。若在置换砝码后,天平的平衡状态被破坏,须在较轻的称盘上添加标准小砝码 r ,以恢复平衡。随即记下四个连续读数或两次静止点读数。关住天平;

(3) 若在此载荷下的分度值 S 事先没有测定,即于天平的任一盘中放上标准小砝码 r ,并记下四个连续读数或两次静止点读数。小砝码 r 所改变的天平平衡位置与前述灵敏度测定相同;

(4) 将检定时所得读数记入检定记录表(表 4-7)的有关栏内。

表 4-7 替代衡量法记录表

观察顺序	左 盘	右 盘	读 数				平衡位置 I_0	添加的小砝码	
			I_1	I_2	I_3	I_4		左 盘	右 盘
1	T	B					$I_0 =$		
2	T	A					$I_A =$		
3	T	$A + r$					$I_A +$		

根据检定得出的数据,按下式算出被检砝码的质量:

$$A = B \pm (L_A - L_B) S \pm a \quad (4-9)$$

$$S = \frac{r}{(I_r - I_A)} \quad (4-10)$$

按照上述方法,依次将被检砝码组内的各个砝码,分别与作为标准的相同标称值的砝码相比较,并计算其结果。

检定结果符合该等级砝码质量允差认为合格。超过规定的质量允差时,应进行调修;无法调修者可根据具体情况作降级处理,或报废。

六、砝码的使用与维护

(1) 各等砝码按检定系统表的规定使用。一等、二等砝码使用实际质量,各级砝码用标称质量。

(2) 暂不使用的砝码必须放在砝码盒内。砝码盒放在洁净、干燥而无明显温度波动的房间或专用的玻璃干燥皿中。

(3) 二等及 4 级以上砝码不应徒手拿取,应用镊子、夹叉或垫以柔软洁净的鹿皮、真丝绸布或带上细纱手套拿取。取放砝码必须轻拿轻放。大砝码起吊时要平稳、缓慢、轻放,不

得碰坏或划伤砝码的表面。砝码表面如有锈蚀、镀层脱落或有较深较长的划痕时，立即停止使用，修理后重新检定。

(4) 砝码的表面应保持清洁。各等3级以上砝码定期用无水乙醇、航空汽油、苯、乙醚或丙酮清洗。清洗实心的砝码时，将砝码置于铺有真丝绸布的浅盘中，按要求进行清洗。清洗时可用软毛刷轻轻刷洗，然后放在另外一个铺有干燥柔软、清洁的真丝绸布或鹿皮的浅盘中，用干燥而柔软清洁的真丝绸布或鹿皮沾去砝码表面残存的液体，晾干（洗涤时严禁砝码碰撞）。清洗带调整腔的3、4级砝码时，应用清洁、柔软的鹿皮或真丝绸布沾少许清洗液轻轻擦拭，除去砝码表面的污垢和灰尘，严防清洗液渗入调整腔。清洗5级以下砝码时，如表面只有灰尘，可用清洁的毛刷或柔软洁净的真丝绸布、亚麻布除去灰尘，对于表面涂漆的砝码如有污垢时，可用沾有温肥皂水的亚麻布擦洗，随后用干燥而柔软的真丝绸布或亚麻布擦干。

(5) 砝码的检定证书应放在砝码盒内。砝码必须按周期检定，除周期检定和正式修理以外，不得启动砝码的调整腔盖或启动计量机关在砝码上所做的印封标记，无检定证书或其他合格印记的砝码一律不准使用。

第二节 容量器皿的校正

一、容量器皿的校准

容量器皿的容积与它所标出的数值并非都十分准确地相符，因此在进行准确度要求较高的分析工作时，必须对所使用的量器进行校准。

容量的基本单位是立方分米(dm^3)即升。1L是指在101325Pa(1atm)下，质量为1kg的水在其密度为最大值的温度(3.98℃)时所占的容积。但一般分析工作不可能在3.98℃下进行，因此通常以20℃作为标准温度，即在20℃时1L容积等于3.98℃时质量为1kg水所占的容积。校正的方法是称量一定容积的水，然后根据该温度时水的密度，将水的质量换算成容积。

由于水的密度和玻璃容器的体积随温度的变化而改变，以及在空气中称量有空气浮力的影响，因此将任一温度下水的质量换算成容积时必须考虑以下几个因素：

- (1) 校准温度下水的密度；
- (2) 校准温度与标准温度之间玻璃的热膨胀；
- (3) 空气浮力对水和所用容器及砝码的影响。

在20℃容积为1L的容器，在不同温度下，用水充满该容积时，于空气中以黄铜砝码称取的水重数据列于表4-8中。将三项校准值综合，得到不同温度，不同体积的水在空气中用黄铜砝码称得的质量列于表4-9。容量器皿校准时，称量容量器皿量入或量出的水的质量，除以在该温度下在空气中以黄铜砝码称得的水的质量，即得该容器的实际容积。

表4-8 不同温度下1L水的质量

温度 $t/^\circ\text{C}$	1000ml水在真空中的质量 m/g	水相对密度随温度而变化的改正数 A/g	用黄铜砝码在空气中称量的改正数 B/g	玻璃膨胀改正数 C/g	改正数总和 $(A+B+C)/g$	1000 $(A+B+C)/g$
9	999.85	0.19	1.0	0.28	1.57	998.43
10	999.73	0.27	1.09	0.26	1.61	998.39
11	999.63	0.37	1.09	0.23	1.69	998.31

续表

温 度 $t/^{\circ}\text{C}$	1000ml 水在真空 中的质量 m/g	水和密度随温度 而变化的改正 数 A/g	用黄铜砝码在 空气中称量的 改正数 B/g	玻璃膨胀改正 数 C/g	改正数总和 $(A+B+C)/\text{g}$	1000 $(m-A-B$ $+C)/\text{g}$
12	999.52	0.48	1.09	0.20	1.77	998.23
13	999.40	0.60	1.08	0.18	1.86	998.14
14	999.27	0.73	1.08	0.15	1.96	998.04
15	999.13	0.87	1.07	0.13	2.07	997.93
16	998.97	1.03	1.07	0.10	2.20	997.80
17	998.80	1.20	1.07	0.08	2.35	997.65
18	998.62	1.38	1.06	0.06	2.49	997.47
19	998.43	1.57	1.06	0.04	2.66	997.24
20	998.23	1.77	1.05	0.00	2.82	996.98
21	998.02	1.98	1.05	-0.03	3.00	996.69
22	997.80	2.20	1.05	-0.07	3.20	996.30
23	997.57	2.43	1.04	-0.08	3.39	995.81
24	997.33	2.67	1.04	-0.10	3.61	995.29
25	997.08	2.92	1.03	-0.14	3.82	994.78
26	996.82	3.18	1.03	-0.15	4.06	994.21
27	996.55	3.45	1.03	-0.18	4.30	993.60
28	996.27	3.74	1.02	-0.20	4.55	992.95
29	995.98	4.02	1.02	-0.24	4.81	992.29
30	995.68	4.32	1.01	-0.25	5.08	991.62
31	995.37	4.63	1.01	0.22	5.35	990.94
32	995.06	4.94	1.01	0.30	5.65	990.25
33	994.73	5.27	1.00	0.33	5.94	989.66
34	994.40	5.60	1.00	0.35	6.25	989.03
35	994.06	5.94	0.99	0.38	6.55	988.45

(C) 指铂铱玻璃。

由于玻璃成分的不同,其体热膨胀系数亦不相同,因此计算量器在标准温度 20°C 的容量时,可按下列式计算:

$$V_m = (I_L - I_E) \times \left(\frac{1}{\rho_w - \rho_A} \right) \times \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_R} \right) \times [1 - \gamma(t - 20)] \quad (4-11)$$

式中 I_L ——盛水容器的天平读数, g;

I_E ——空容器的天平读数, g;

ρ_A ——空气密度, $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$;

ρ_R ——砝码在调整到其标称质量时的实际密度,或根据砝码调整的基准密度(见注),
 $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 。或当使用无法码电子天平时,已调整的砝码的基准密度(见注);

ρ_w —— $t^{\circ}\text{C}$ 时,水的密度, $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$;

γ ——受检量器玻璃的体热膨胀系数, K^{-1} ;

t ——校准时使用的水的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

注:砝码在空气中称量时按砝码密度为 $8.0\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 来调整至准确的结果,电子天平亦以这个密度为基准进行调整的。其中 ρ_w 、 ρ_A 、 γ 的相应值可在表 4-10、表 4-11 和表 4-12 或有关资料上查到。

玻璃量器容量最简单的计算如下:

将式 (4-11) 的 2、3、4 项的乘积以 Z 来表示,则该式可近似写成:

$$V_m = (I_L - I_E) + V_n(Z - 1) \quad (4-12)$$

表 4-9 不同温度下不同体积水的质量 (m/g)

t/°C	V/cm ³										1
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
5	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
6	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
7	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
8	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
9	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
10	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
11	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
12	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
13	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
14	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
15	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
16	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
17	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
18	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
19	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
20	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
21	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
22	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
23	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
24	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
25	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
26	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
27	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
28	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
29	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
30	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
31	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
32	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
33	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
34	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
35	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
36	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
37	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
38	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
39	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962
40	1997.10	2028.55	2060.27	2092.37	2124.79	2157.53	2190.59	2223.97	2257.67	2291.69	0.1962

本表系在不同温度下以水充满各种容积的煤油量器，在空气中用黄铜砝码称取的水质量。

式中 V_0 ——量器的标称容量。

表 4-13、4-14、4-15、4-16, 列出了 $V_0=1000\text{ml}$ 的 $V_0(2-1)$ 值, 这些表中计入了水的密度、玻璃的热膨胀以及空气浮力的综合影响, 且设: $\rho_A=1.2\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\rho_F=8000.0\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (见式 (4-11)) 并分别等于 $10\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 、 $15\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 、 $25\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 和 $30\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 。

ρ_A 的 $1.2\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的值接近于平均值, 且相当于 10°C 时空气压力 $0.975\times 10^5\text{Pa}$ 、 20°C 时的 $1.015\times 10^5\text{Pa}$ 或 30°C 时的 $1.055\times 10^5\text{Pa}$, 适用于其他空气压力和温度的修正换算值列于表 4-11, 这些修正值也适用于标称容量为 1000ml 的量器且假定在空气相对湿度为 50% 和含有 0.04% (体积分数) 的二氧化碳情况下计算的。在这些条件下的实际正常偏差只会产生可忽略的误差。

表 4-10 不含空气的水的密度

温度 $t/^\circ\text{C}$	密度 $\rho_{\text{水}}/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	温度 $t/^\circ\text{C}$	密度 $\rho_{\text{水}}/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
15	0.999 098	26	0.998 589
16	0.998 941	27	0.998 511
17	0.998 773	28	0.998 432
18	0.998 593	29	0.998 343
19	0.998 403	30	0.998 345
20	0.998 202	31	0.997 134
21	0.997 990	32	0.996 529
22	0.997 768	33	0.996 701
23	0.997 536	34	0.996 369
24	0.997 291	35	0.996 030
25	0.997 043		

表 4-11 温度 $(10\sim 30)^\circ\text{C}$ 、绝对压力在 $(0.930\sim 1.040)\times 10^5\text{Pa}$ ($930\sim 1040\text{mbar}$) 之间的干燥空气密度 $\rho_A(P, t)/\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$

压力 $P_A/10^5\text{Pa}$ 温度 $t/^\circ\text{C}$	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.030	1.040
10	1.145	1.137	1.130	1.122	1.114	1.106	1.119	1.231	1.243	1.256	1.268	1.280
11	1.141	1.133	1.125	1.117	1.109	1.102	1.214	1.227	1.239	1.251	1.263	1.275
12	1.137	1.129	1.121	1.113	1.105	1.098	1.210	1.222	1.235	1.247	1.259	1.271
13	1.133	1.125	1.117	1.109	1.101	1.094	1.206	1.218	1.230	1.243	1.255	1.267
14	1.129	1.121	1.113	1.105	1.097	1.090	1.202	1.214	1.226	1.238	1.250	1.262
15	1.125	1.117	1.109	1.101	1.093	1.085	1.197	1.210	1.222	1.234	1.246	1.258
16	1.121	1.113	1.105	1.107	1.089	1.081	1.193	1.205	1.217	1.230	1.242	1.254
17	1.117	1.109	1.101	1.093	1.085	1.077	1.189	1.201	1.213	1.225	1.237	1.249
18	1.113	1.105	1.097	1.109	1.061	1.073	1.185	1.197	1.209	1.221	1.233	1.245
19	1.109	1.101	1.093	1.105	1.067	1.069	1.181	1.193	1.205	1.217	1.229	1.241
20	1.105	1.097	1.089	1.101	1.063	1.065	1.177	1.189	1.201	1.213	1.225	1.237
21	1.102	1.094	1.086	1.098	1.060	1.061	1.173	1.185	1.197	1.209	1.221	1.233
22	1.098	1.090	1.082	1.094	1.056	1.057	1.169	1.181	1.193	1.205	1.217	1.229
23	1.094	1.086	1.078	1.090	1.052	1.053	1.165	1.177	1.189	1.201	1.213	1.225
24	1.091	1.083	1.075	1.087	1.049	1.050	1.161	1.173	1.185	1.197	1.209	1.221
25	1.087	1.079	1.071	1.083	1.045	1.046	1.157	1.169	1.181	1.193	1.205	1.217
26	1.083	1.075	1.067	1.079	1.041	1.042	1.153	1.165	1.177	1.189	1.201	1.213
27	1.080	1.071	1.063	1.075	1.037	1.038	1.149	1.161	1.173	1.185	1.197	1.209
28	1.076	1.068	1.060	1.072	1.034	1.035	1.144	1.156	1.168	1.180	1.192	1.204
29	1.072	1.064	1.056	1.068	1.030	1.031	1.140	1.152	1.164	1.176	1.188	1.200
30	1.069	1.061	1.053	1.065	1.027	1.028	1.136	1.148	1.160	1.172	1.184	1.196

表 4-12 几种玻璃的体热膨胀系数

材 料	体热膨胀系数/ $10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	材 料	体热膨胀系数/ $10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
硼硅酸盐玻璃 (石英)	1.8	硼硅酸盐玻璃 钠钙玻璃	10 25

表 4-13 适用于由体热膨胀系数为 $10 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 的玻璃 (如硼硅酸盐玻璃)
制成的、标称容量为 1 000ml 的量器的修正值

水的温度 / $^{\circ}\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.25	1.25
6	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.27	1.27	1.27	1.27
7	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.30	1.30	1.31	1.31	1.32
8	1.32	1.33	1.33	1.34	1.34	1.35	1.35	1.36	1.37	1.37
9	1.38	1.39	1.39	1.40	1.41	1.41	1.42	1.43	1.43	1.44
10	1.45	1.46	1.47	1.47	1.48	1.49	1.50	1.51	1.52	1.53
11	1.53	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.60	1.61	1.62
12	1.63	1.64	1.65	1.66	1.67	1.69	1.70	1.71	1.72	1.73
13	1.74	1.75	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81	1.83	1.84	1.85
14	1.86	1.88	1.89	1.90	1.92	1.93	1.94	1.96	1.97	1.99
15	2.00	2.01	2.02	2.04	2.06	2.07	2.09	2.10	2.12	2.13
16	2.15	2.16	2.18	2.19	2.21	2.22	2.24	2.25	2.27	2.29
17	2.30	2.32	2.34	2.35	2.37	2.39	2.40	2.42	2.44	2.46
18	2.47	2.49	2.51	2.53	2.54	2.56	2.58	2.60	2.62	2.64
19	2.65	2.67	2.69	2.71	2.73	2.75	2.77	2.79	2.81	2.83
20	2.84	2.86	2.88	2.90	2.92	2.94	2.96	2.98	3.00	3.03
21	3.05	3.07	3.09	3.11	3.13	3.15	3.17	3.19	3.22	3.24
22	3.26	3.28	3.30	3.32	3.35	3.37	3.39	3.41	3.43	3.46
23	3.48	3.50	3.53	3.55	3.57	3.59	3.62	3.64	3.66	3.69
24	3.71	3.74	3.76	3.78	3.81	3.83	3.86	3.88	3.90	3.93
25	3.95	3.98	4.00	4.03	4.05	4.08	4.10	4.13	4.15	4.18
26	4.20	4.22	4.25	4.27	4.31	4.33	4.36	4.39	4.41	4.44
27	4.47	4.49	4.52	4.55	4.57	4.60	4.63	4.65	4.68	4.71
28	4.73	4.76	4.79	4.82	4.85	4.87	4.90	4.93	4.96	4.98
29	5.01	5.04	5.07	5.10	5.13	5.16	5.18	5.21	5.24	5.27
30	5.30	5.33	5.36	5.39	5.42	5.45	5.48	5.51	5.54	5.57
31	5.60	5.63	5.66	5.69	5.72	5.75	5.78	5.81	5.84	5.87
32	5.90	5.93	5.96	6.00	6.03	6.06	6.09	6.12	6.15	6.18
33	6.22	6.25	6.28	6.31	6.34	6.38	6.41	6.44	6.47	6.50
34	6.54	6.57	6.60	6.63	6.67	6.70	6.73	6.77	6.80	6.85
35	6.87									

注: 表中每一行为整数度以下的分度值, 倒水的温度为 5.0°C 时 1 000ml 量器的修正值为 1.24ml。

表 4-14 适用于由体热膨胀系数为 $15 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 的玻璃 (如中性玻璃)
制成的、标称容量为 1 000ml 的量器的修正值

水的温度 / $^{\circ}\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32
6	1.32	1.32	1.32	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.34	1.34
7	1.34	1.35	1.35	1.35	1.36	1.36	1.36	1.37	1.37	1.38
8	1.38	1.39	1.39	1.40	1.40	1.41	1.41	1.42	1.42	1.43
9	1.43	1.44	1.45	1.45	1.46	1.47	1.47	1.48	1.49	1.49
10	1.50	1.51	1.51	1.52	1.53	1.54	1.55	1.55	1.56	1.57
11	1.58	1.59	1.60	1.61	1.61	1.62	1.63	1.64	1.65	1.66
12	1.67	1.68	1.69	1.70	1.71	1.72	1.73	1.74	1.76	1.77
13	1.78	1.79	1.80	1.82	1.82	1.83	1.85	1.86	1.87	1.88
14	1.89	1.91	1.92	1.93	1.95	1.96	1.97	1.98	2.00	2.01

续表

水温/℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
14	2.02	2.04	2.05	2.06	2.08	2.09	2.11	2.12	2.14	2.15
15	2.17	2.18	2.20	2.21	2.23	2.24	2.25	2.27	2.29	2.30
16	2.32	2.34	2.35	2.37	2.38	2.40	2.42	2.43	2.45	2.47
18	2.48	2.50	2.52	2.53	2.55	2.57	2.58	2.60	2.62	2.64
19	2.65	2.68	2.70	2.71	2.73	2.75	2.77	2.79	2.81	2.83
20	2.84	2.86	2.88	2.90	2.92	2.94	2.96	2.98	3.00	3.02
21	3.04	3.06	3.08	3.10	3.12	3.14	3.16	3.19	3.21	3.23
22	3.25	3.27	3.29	3.31	3.33	3.35	3.38	3.40	3.42	3.44
23	3.47	3.47	3.51	3.53	3.55	3.58	3.60	3.62	3.65	3.67
24	3.69	3.72	3.74	3.76	3.79	3.81	3.83	3.86	3.88	3.90
25	3.93	3.95	3.98	4.00	4.03	4.05	4.08	4.10	4.12	4.15
26	4.17	4.20	4.21	4.25	4.28	4.30	4.33	4.35	4.38	4.40
27	4.43	4.45	4.48	4.51	4.54	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67
28	4.69	4.72	4.75	4.78	4.80	4.83	4.86	4.89	4.91	4.94
29	4.97	5.00	5.03	5.05	5.08	5.11	5.14	5.17	5.19	5.22
30	5.25	5.28	5.31	5.34	5.37	5.40	5.42	5.45	5.48	5.51
31	5.54	5.57	5.60	5.63	5.66	5.69	5.72	5.75	5.79	5.81
32	5.84	5.87	5.90	5.93	5.96	6.00	6.03	6.06	6.09	6.12
33	6.15	6.18	6.21	6.24	6.28	6.31	6.34	6.37	6.40	6.44
34	6.47	6.50	6.53	6.56	6.60	6.63	6.66	6.69	6.73	6.76
35	6.79									

表 4-15 适用于由体热膨胀系数为 $25 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 的玻璃制成的、
标称容量为 1 000ml 的量器的修正值

水温/℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
6	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.47	1.47	1.47	1.47
7	1.47	1.48	1.48	1.48	1.48	1.49	1.49	1.49	1.49	1.50
8	1.50	1.50	1.51	1.51	1.52	1.52	1.52	1.53	1.53	1.54
9	1.54	1.55	1.55	1.56	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59
10	1.60	1.61	1.61	1.62	1.63	1.63	1.64	1.65	1.65	1.66
11	1.67	1.68	1.68	1.69	1.70	1.71	1.72	1.73	1.73	1.74
12	1.75	1.76	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81	1.82	1.83	1.84
13	1.85	1.86	1.87	1.88	1.89	1.90	1.91	1.92	1.94	1.94
14	1.95	1.97	1.98	1.99	2.00	2.01	2.03	2.04	2.05	2.06
15	2.07	2.09	2.10	2.11	2.12	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19
16	2.21	2.22	2.23	2.25	2.26	2.28	2.29	2.30	2.32	2.33
17	2.35	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.44	2.46	2.47	2.49
18	2.50	2.52	2.54	2.55	2.57	2.58	2.60	2.62	2.63	2.65
19	2.67	2.68	2.70	2.72	2.74	2.76	2.77	2.79	2.81	2.83
20	2.84	2.86	2.88	2.90	2.92	2.94	2.96	2.97	2.99	3.01
21	3.03	3.05	3.07	3.09	3.11	3.13	3.15	3.17	3.19	3.21
22	3.23	3.25	3.27	3.29	3.31	3.33	3.35	3.37	3.39	3.41
23	3.44	3.46	3.48	3.50	3.52	3.54	3.56	3.59	3.61	3.63
24	3.65	3.67	3.70	3.72	3.74	3.76	3.79	3.81	3.83	3.86
25	3.88	3.90	3.93	3.95	3.97	4.00	4.02	4.04	4.07	4.09
26	4.12	4.14	4.16	4.19	4.21	4.24	4.26	4.29	4.31	4.34
27	4.38	4.39	4.41	4.44	4.46	4.49	4.51	4.53	4.56	4.59

二、玻璃量器的最大允许公差

表 4-17 标准温度 20℃ 时标准容量允差^①

容 量 V/ml	标准容量允差, L ml																		
	无塞滴定管 具塞滴定管 微量滴定管		吸 量 管								容量瓶		量筒		量杯				
			单标线者		有分度和无分度有二分线者				标出式										
					完全标出式		不完全标出式												
	A 级	B 级	A 级	B 级	A 级	B 级	A 级	B 级		A 级	B 级	量入式	量出式						
2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.66	1.20	16.0	20.0	—					
1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.46	0.86	8.0	10.0	16.0					
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25	0.50	2.5	5.0	6.0					
250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	0.30	1.0	2.0	3.0					
200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	0.30	—	—	—					
100	0.30	0.20	0.080	0.160	—	—	—	—	—	0.10	0.20	0.5	1.0	1.5					
50	0.05	0.10	0.030	0.100	0.100	0.200	0.100	0.200	—	0.05	0.10	0.25	0.5	1.0					
40	—	—	—	—	0.100	0.200	0.100	0.200	—	—	—	—	—	—					
25	0.05	0.10	0.030	0.060	0.100	0.200	0.100	0.200	—	0.05	0.08	0.25	0.5	—					
20	—	—	0.030	0.060	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5					
15	—	—	0.025	0.050	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
5	0.025	0.05	0.020	0.040	0.050	0.100	0.050	0.100	0.060	0.02	0.04	0.1	0.2	0.4					
3	0.01	0.02	0.015	0.030	0.025	0.050	0.025	0.050	0.060	0.02	0.04	0.05	0.1	0.2					
4	—	—	0.015	0.030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
3	—	—	0.015	0.030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
2	0.01	0.02	0.010	0.020	0.012	0.025	0.012	0.025	0.025	—	—	—	—	—					
1	0.01	0.02	0.007	0.015	0.008	0.015	0.008	0.015	0.015	—	—	—	—	—					
0.5	—	—	—	—	—	—	—	0.010	0.010	—	—	—	—	—					
0.25	—	—	—	—	—	—	—	0.005	0.008	—	—	—	—	—					
0.20	—	—	—	—	—	—	—	0.005	0.006	—	—	—	—	—					
0.10	—	—	—	—	—	—	—	0.003	0.004	—	—	—	—	—					

①参考中华人民共和国国家标准 GB 12363—12368-91, GB/T 12809—12813-91, 国家技术监督局发布, 北京: 中国标准出版社, 1991。

第三节 温度计的校正

一、1990 年国际温标 (ITS-90)

1990 年国际温标 (The International Temperature Scale of 1990, ITS-90) 是根据 1987 年第 18 届国际计量大会第 7 号决议和 1989 年第 77 届国际计量委员会通过, 从 1990 年 1 月 1 日起在全世界实行。本温标替代原 1968 年国际实用温标 (IPTS-68, 1973 年修订版) 和 1976 年 0.5K 到 30K 暂行温标, 我国国家技术监督局 (1990) 553 号文规定, 我国于 1994 年 1 月 1 日起全面实施 ITS-90 国际温标。

(一) 温度单位

热力学温度 (符号为 T) 是基本的物理量, 其单位为开尔文 (符号为 K), 定义为水三相点的热力学温度的 $1/273.16$ 。

由于在以前的温标定义中, 使用了与 273.15K (冰点) 的差值表示温度, 因此, 现在仍

保留这种方法。用这种方法表示的热力学温度称为摄氏温度（符号为 t ），定义为：

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15$$

摄氏温度的单位为摄氏度（符号为 $^{\circ}\text{C}$ ），根据定义，它的大小等于开尔文，温差可以用开尔文或摄氏度来表示。

1990年国际温标（ITS-90）同时定义国际开尔文温度（符号为 T_{90} ）和国际摄氏温度 t_{90} ， T_{90} 与 t_{90} 之间的关系为：

$$t_{\text{90}}/^{\circ}\text{C} = T_{\text{90}}/\text{K} - 273.15$$

物理量 T_{90} 的单位为开尔文（符号为K），而 t_{90} 的单位为摄氏度（符号为 $^{\circ}\text{C}$ ），与热力学温度 T 和摄氏温度 t 一样。

（二）1990年国际温标（ITS-90）的定义

0.65K到5.0K之间， T_{90} 由 ^3He 和 ^4He 的蒸汽压与温度的关系式定义。

由3.0K到氮三相点（24.5561K）之间， T_{90} 是用氮气体温度计定义的。它使用三个定义固定点及利用规定的内插方法来分度。这三个定义固定点是可以实验复现，并具有给定值。

平衡氢三相点（13.8033K）到银凝固点（961.78 $^{\circ}\text{C}$ ）以上， T_{90} 借助于一个定义点和普朗克辐射定律来定义。

表 4-18 ITS-90 定义固定点

序 号	温 度		物 质 ^a	状 态 ^d	W ₉₀ (T_{90})
	T_{90}/K	$t_{\text{90}}/^{\circ}\text{C}$			
1	3-...	-273.15 - -268.15	He	V	
2	13.8033	-258.3467	e-H ₂	T	0.001 130 17
3	-17	-255.15	e-H ₂ (或 H ₂)	V (或 G)	
4	-20.3	-252.85	e-H ₂ (或 H ₂)	V (或 G)	
5	24.5561	-248.5959	Ne	T	0.002 419 34
6	54.3584	-218.7961	O ₂	T	0.001 718 04
7	83.8058	-189.3442	Ar	T	0.215 859 73
8	234.3-56	-38.8344	Hg	T	0.844 142 11
9	273.15	0.01	H ₂ O	T	1.000 000 00
10	302.9146	29.7646	Co	M	1.118 135 89
11	424.7483	151.5985	In	F	1.600 831 85
12	505.078	231.928	Sn	F	1.453 797 68
13	692.677	419.527	Zn	F	2.568 917 59
14	932.473	659.323	Al	F	5.375 008 66
15	1234.55	961.78	Ag	F	4.286 420 53
16	1337.33	1064.18	Au	F	
17	1357.77	1084.62	Cu	F	

① 除 ^3He 外，其他物质均为自然同位素成分。

e-H₂ 为正、仲分子态处于平衡浓度时的氢。

② 对于这些不同状态的定义，以及有关复现这些不同状态的建议，可参阅“ITS-90补充资料”。

表中各符号的含义为：

V— 蒸汽压点；

T— 三相点，在此温度下，固、液和气的相互平衡；

G— 气体温度计点；

M、F— 熔点和凝固点，在 101.325 kPa 压力下，固、液相互平衡温度。

ITS-90 的定义固定点列于表 4-18。大部分定义固定点的压力对温度影响列于表 4-19, 压力效应是由于敏感元件有一定的浸没深度或其他原因所引起的。其详细的内插公式请参阅国家技术监督局计量司编的《1990 国际温标宣贯手册》(中国计量出版社 1990 年 12 月出版)。

表 4-19 压力对一些定义固定点温度值的影响¹⁾

物 质	平衡温度的给定值 T_s / K	温度对压力的变率 $(dT_s/dP) / (10^{-6} \text{K} \cdot \text{Pa}^{-1}) = (dT_s/dP) \cdot (10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^{-1})$	
三相点	273.15	34	0.25
氢三相点	94.0481	18	1.9
氖三相点	64.8644	12	1.5
氦三相点	83.8058	25	3.0
汞三相点	234.3176	5.4	7.1
水三相点	273.15	-7.3	-0.75
镓三相点	302.9146	-2.0	-1.2
铟三相点	429.7485	1.9	1.3
锡三相点	505.078	3.3	2.2
锗三相点	685.4677	4.3	2.9
硅三相点	955.473	7.0	4.9
镱三相点	1234.91	8.7	5.4
金三相点	1337.33	7.1	6.0
铂三相点	1357.77	5.3	2.5

1) 对于熔点和凝固点, 参考压力为标准大气压 ($P = 101325 \text{Pa}$)。

对于三相点, 压力效应仅来源于容器中液体的静压力。

2) 相当于每标准大气压的毫升数。

3) 相当于每米液柱的毫升数。

ITS-90 实施后, 1958 年国际实用温标 (IPTS-68) 所测得的 T_{90} 值与相应的 T_{90} 值之间有明显的数值差, 其值见表 4-20。

表 4-20 ITS-90 与 IPTS-68 和 ITS-90 与 IPTS-68 的温度差值

 $(T_{90} - T_{68})$, $(T_{90} - T_{90})$ 和 $(t_{90} - t_{68})$

$(T_{90} - T_{68}) / \text{mK}$										
T_{68} / K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	-0.5
10	-0.6	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.3	-1.6	-1.8	-2.0
20	-2.2	-2.5	-2.7	-3.0	-3.2	-3.5	-3.8	-4.1	..	..
$(T_{90} - T_{90}) / \text{K}$										
T_{90} / K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0	0	0	0	-0.006	-0.003	-0.004	-0.005	-0.003	-0.009
20	-0.009	-0.008	-0.007	-0.007	-0.006	-0.005	-0.004	-0.004	-0.005	-0.006
30	-0.008	-0.007	-0.006	-0.006	-0.006	-0.007	-0.007	-0.007	-0.006	-0.006
40	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.007	-0.007	-0.007	-0.006	-0.006
50	-0.005	-0.005	-0.005	-0.004	-0.003	-0.002	-0.001	0.000	0.001	0.002
60	-0.003	-0.003	-0.004	-0.004	-0.005	-0.005	-0.006	-0.006	-0.007	-0.007
70	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
80	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
90	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
T_{90} / K	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	0.005	0.011	0.013	0.014	0.014	0.014	0.014	0.013	0.012	0.012
200	0.011	0.010	0.009	0.009	0.007	0.005	0.003	0.001	..	..
$(t_{90} - t_{68}) / ^\circ\text{C}$										
$t_{68} / ^\circ\text{C}$	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-100	0.013	0.013	0.014	0.014	0.014	0.013	0.012	0.010	0.008	0.008
0	0.000	0.002	0.004	0.005	0.005	0.006	0.010	0.011	0.012	0.012

续表

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	$(t_{90} - t_{90})/^{\circ}\text{C}$									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0.000	-0.002	-0.005	-0.007	-0.010	-0.013	-0.016	-0.018	-0.021	-0.024
100	-0.026	-0.028	-0.030	-0.032	-0.034	-0.035	-0.037	-0.038	-0.039	-0.039
200	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040	-0.039	-0.038
300	-0.039	-0.039	-0.039	-0.040	-0.040	-0.041	-0.042	-0.043	-0.045	-0.046
400	-0.048	-0.051	-0.055	-0.058	-0.059	-0.062	-0.065	-0.068	-0.072	-0.075
500	-0.079	-0.083	-0.087	-0.090	-0.094	-0.098	-0.101	-0.105	-0.108	-0.112
600	-0.115	-0.118	-0.122	-0.125 ^①	-0.098	-0.094	-0.092	-0.08	-0.11	-0.16
700	-0.20	-0.24	-0.28	-0.31	-0.33	-0.35	-0.36	-0.36	-0.36	-0.35
800	-0.34	-0.45	-0.59	-0.70	-0.77	-0.83	-0.87	-0.90	-0.93	-0.95
900	-0.01	-0.03	-0.06	-0.08	-0.10	-0.12	-0.14	-0.16	-0.17	-0.18
1000	-0.19	-0.26	-0.31	-0.32	-0.34	-0.34	-0.35	-0.35	-0.36	-0.36
$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
1000		0.16	0.30	0.015 ^②	0.035 ^②	0.044 ^②	0.45	0.74	0.30	0.06
2000	-0.72	-0.79	-0.85	-0.93	-1.00	-1.07	-1.15	-1.24	-1.32	-1.41
3000	-1.50	-1.55	-1.60	-1.78	-1.85	-1.99	-2.10	-2.21	-2.32	-2.48

①在 $t_{90} = 610.5^{\circ}\text{C}$ 处, $(t_{90} - t_{90})$ 一阶导数出现不连续, 则 $(t_{90} - t_{90}) = -0.125^{\circ}\text{C}$ 。

②原文有负号, 系 -0.035 , -0.029 和 -0.044 之误。

二、实验室玻璃温度计的校正

(一) 玻璃液体温度计的准确度

这类温度计的特点是感温液体与显示部分(标尺)组成一个不可分离的整体,一旦制成就不能再进行刻度调整。它根据显示部分的分度值分为9种,见表4-21。不同分度值的温度计有不同的允许误差,见表4-22。

表 4-21 温度计分度表 (°C)

分 度 值	修正值保留末位所在位数 (分度值的十分位)	修正值保留一个单位数值 (分度值的十分之一)	修正值的舍入界限值 (分度值的十分之一的一半)
0.01	千 分 位	0.001	0.0005
0.02	千 分 位	0.002	0.001
0.05	千 分 位	0.005	0.0025
0.1	百 分 位	0.01	0.005
0.2	百 分 位	0.02	0.01
0.5	百 分 位	0.05	0.025
1	千 分 位	0.1	0.05
2	千 分 位	0.2	0.1
5	千 分 位	0.5	0.25

从表4-20中可以看出,在 $-90^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 范围内 ITS-90 与 IPTS-68,除 0°C 未变化外,其余各点温度均有变化,最小差值为 0.002°C ,最大差值为 0.115°C 。因此,ITS-90实施后,生产的温度计,必须按 t_{90} 进行定点分度,其示值允许误差按检定规程的规定值要求。对 ITS-90 实施之前,生产的温度计,则要根据 $t_{90} - t_{68}$ 的差值,将示值允许误差单方向平移后,再进行判别,其 $t_{90} - t_{68} = \Delta$ 见表4-23。

表 4-22 温度计的允许误差

温度计上 限温度 $t_2/^\circ\text{C}$	精密温度计					普通温度计				
	分 度					值 $/^\circ\text{C}$				
	0.1	0.2	0.3	0.5	1	1	2	3	5	10
	允 许 零 点 上 升 值 $/^\circ\text{C}$									
100	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—
200	0.08	0.08	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	—	—
300	0.15	0.10	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	1
400	—	0.10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.8	2
液体 玻璃 温度计	精密温度计					普通温度计				
	分 度					值 $/^\circ\text{C}$				
	—					—				
有机 液体	—					—				
	—					—				
	—					—				
	—					—				
水	—					—				
	—					—				
汞	—					—				
	—					—				

表 4-23 t_{20} 、 t_{50} 的差值(Δ)($^\circ\text{C}$)

温度	$t_{20} - t_{50} - \Delta$		温度	$t_{20} - t_{50} - \Delta$		温度	$t_{20} - t_{50} - \Delta$	
	一等标准 水银温度计	二等标准 水银温度计		一等标准	二等标准		一等标准	二等标准
-30	—	+0.01	85	-0.0225	—	300	0.04	0.04
-20	—	+0.01	90	-0.025	0.02	310	—	0.04
-10	—	+0.01	95	0.025	—	320	—	0.04
0	+0.01	+0.01	100	-0.025	0.03	330	—	0.04
5	0.005	0.005	110	0.03	—	340	—	0.04
10	0.005	0.005	120	-0.03	—	350	—	0.04
15	0.005	0.005	130	0.03	—	360	—	0.04
20	0.005	0.005	140	-0.03	—	370	—	0.04
25	0.005	0.005	150	0.04	—	380	—	0.045
30	0.005	0.005	160	-0.04	—	390	—	0.05
35	0.005	0.005	170	0.04	—	400	—	0.05
40	0.005	0.005	180	0.05	—	410	—	0.05
45	0.005	0.005	190	0.04	—	420	—	0.05
50	0.005	0.005	200	0.04	—	430	—	0.05
55	0.005	0.005	210	-0.04	—	440	—	0.05
60	0.005	0.005	220	0.04	—	450	—	0.05
65	0.005	0.005	230	-0.04	—	460	—	0.055
70	0.005	0.005	240	0.04	—	470	—	0.05
75	0.005	0.005	250	-0.04	—	480	—	0.05
80	0.005	0.005	260	0.04	—	490	—	0.055
85	0.005	0.005	270	-0.04	—	500	—	0.05
90	0.005	0.005	280	0.04	—	—	—	—
95	0.005	0.005	290	-0.04	—	—	—	—
100	0.005	0.005	300	0.04	—	—	—	—

(二) 使用温度计的浸没深度

在使用温度计时,应按规定的浸没深度垂直固定在恒温槽盖的小孔中。对半浸温度计,必须使液面在温度计上所刻的液面线处,而对于全浸温度计则应使露出液柱不大于 10mm,如果无法全浸,应按下式计算露出液柱修正值 δ (用 $^{\circ}\text{C}$ 表示),并加入示值中:

$$\delta = \alpha(t - t_1)$$

式中 α ——温度计内液体的视膨胀系数(水银为 0.00016、酒精为 0.00103、煤油为 0.00092);

α ——露出液柱的度数;

t ——标准温度计测得的恒温槽中介质的实际温度;

t_1 ——借助辅助温度计测得的露出液柱的平均温度(辅助温度计的水银球应放置在露出液柱部分的中间。为测得温度的恒定,应等待 10min~15min 后读数)。

(三) 温度计的零点和沸点的校正

(1) 零点的校正 取三个直径不同的圆桶,最小的以蒸馏水洗净,加入碎冰后用有小孔的橡皮塞塞紧,将小桶放入中号桶中央,空隙装满碎小冰块,中号桶与大桶之间填棉花作保温层,将欲校正的温度计插入橡皮塞孔中,露出零点于塞外,塞紧橡皮塞而观察其零点,如有移差应根据所观察之刻度予以校正。

(2) 沸点的校正 取经过零点校正的温度计,将其放入蒸馏水中,根据其不同气压^①时的沸点,测定其温度的刻度。

100 $^{\circ}\text{C}$ 温度计:

大气压 P/mmHg	水的沸点 $t/^{\circ}\text{C}$	大气压 P/mmHg	水的沸点 $t/^{\circ}\text{C}$
750	99.63	765	100.18
755	99.81	770	100.37
760	100.00		

(四) 刻度的校正

取符合零点及沸点的温度计二支作为标准温度计,与被校正的温度计同时插入(温)的溶液中(溶液可以是水、甘油、变压器油等)使温度均匀上升,每订正一点时必须保持 (5~10) min,一般 (10~100) $^{\circ}\text{C}$ 温度计校正 20 点,取二支标准温度计之平均值与被校温度计之差,作为被校温度计的订正值,如订正值超过 0.3 $^{\circ}\text{C}$,则该温度计不能用于精确的试验中。

(五) 借助于纯化合物的熔点以校正温度计

纯化合物(又称标准化合物)的熔点、沸点、结晶点都经准确的测定,因此可将欲校正的温度计放到纯化合物中观察其熔点(或熔点、结晶点)的温度,对温度计进行校正。也可以测定几种不同熔点(或沸点、结晶点)的纯化合物的熔点(或沸点、结晶点),以测得值作纵坐标,测得值与应有值的差数为横坐标作图,得到一条校正曲线,供以后换算成准确熔点(或沸点、结晶点)之用。常用的纯化合物及其熔点、沸点、结晶点见表 4-24。

表 4-24 用以校准温度计和温差电偶的定点^①

缩写和符号的含义:	沸——760mmHg 之下的沸点;	凝——凝固点;
	晶——结晶点;	P ——压力, mmHg 数;
	转——转换点;	平——在标准气压下凝固和汽化的平衡点
	熔——熔点;	

① 由于实验所用为水银柱温度计,为保证实验值的真实可靠性故仍使用 mmHg 为压力的计算单位, 1mmHg = 7.35564 $\times 10^{-2}$ Pa。

总结

[illegible]

③ 此表温度为 t_{SK} , 其 t_0 按表 4-25 进行换算, 表中压力为 mmHg 。1 $\text{mmHg} = 1.33322 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 。

③ 这种化合物是卫生部规定的检查剂是零正温度计用的。

3. 校定电阻温度计时用的近似值。

第五章 各类分析试样的采集、保存与制备

第一节 水样的采集与保存

水样的采集与保存是水化学研究工作的重要部分,使用正确的采样方法及很好地保存样品,是使分析结果正确反映水中被测组分真实含量的必要条件。因此,在任何情况下都必须严格遵守取样规则,以保证分析数据可靠。

供分析用的水样应该能够代表该水的全面性。水样采集的方法、次数、深度、时间等都由采样分析的目的来决定。

一、取样注意事项

(1) 水样的体积取决于分析项目、所需精度及水的矿化度等,通常应超过各项测定所需水样总体积的 20%~30%。一般简单分析需水(500~1 000) ml;全分析需 3 000 ml;特殊测定则应根据分析的项目来确定。

(2) 盛水样的容器应使用无色硬质玻璃瓶或聚乙烯塑料瓶。在取样前先用洗液(10%盐酸溶液、热肥皂水、漂白粉溶液或合成洗涤剂)等任何一种把玻璃瓶洗干净。玻璃瓶的塞子最好是磨口玻璃塞,也可以用橡皮塞(事先必须用 10%碳酸钠溶液煮过,再以 1+5 盐酸及水煮过,并用蒸馏水洗干净)或软木塞(用蒸馏水煮过并冲洗干净)。绝对禁止使用木料、纸团和金属制的塞子。

(3) 取样前至少用水样洗涤样瓶和塞子 3 次,取样时水应缓缓注入瓶中,不要起泡,不要用力搅动水源,并注意勿使砂石、浮土颗粒或植物杂质进入瓶中。

(4) 采集水样时,不能把瓶子完全装满,至少留有 2 cm(或 10 ml~20 ml)的空间,以防水温或气温改变时将瓶塞挤掉。

(5) 取好水样塞好瓶塞(保证不漏水),用石蜡或火漆封瓶口。如水样运送较远,则应用纱布或绳子将瓶口缠紧,然后再以石蜡或火漆封住。

(6) 如欲采取平行分析水样,则必须在同样条件下同时取样。

(7) 采集高温泉水样时,在瓶塞上插一根内径极细的玻璃管,待水样冷却至室温后,拔出取蜡管,再密封瓶口。

二、各类水样采集的一般方法

(一) 洁净水的采集

(1) 采集自来水或具有抽水设备的井水时,应先放水数分钟,使积留在水管中的杂质冲走,然后才取样。

(2) 没有抽水设备的井水,应该先将水桶冲洗干净,然后再取出井水装入样瓶,或直接用水样采集瓶(图 5-1)采集。

(3) 采集河、湖表面的水样时,应该将样瓶浸入水面下(20~50) cm 处,再将水样装入瓶中。如遇水面较宽时应该在不同的地方分别采集,这样才具有代表性。

(4) 采集河、湖较深处水样时，应当用水样采集瓶。最简单方法是用一根杆子，上面用夹子固定一个取样瓶，或是用一根绳子系着一个取样瓶，将已洗净的金属块或砖石紧系瓶底，另用一根绳子系在瓶塞上，将取样瓶沉降到预定的深度时，再拉绳子打开瓶塞取样。

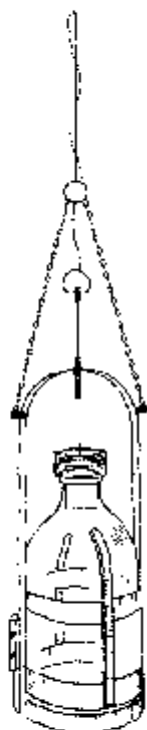


图 5-1 水样采集瓶

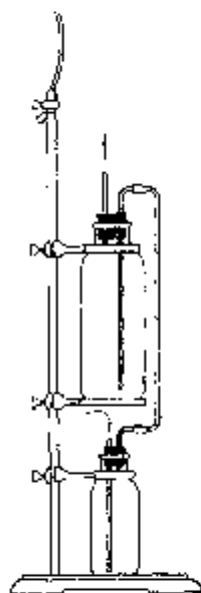


图 5-2 测定水中气体的水样采取装置

(5) 采集测定水中溶解氧的水样，则按下述方法进行，并最好使用容量为 250ml 或 300ml 溶解氧测定瓶。如果没有这种瓶，可用 250ml 磨口紫密玻璃塞试瓶。采集水样时，应注意不要使空气进入水样。可采用：

① 采集自来水样时，要用橡皮管接在水龙头上，并把橡皮管的另一端插到瓶底部，待瓶中水样装满并向外流出数分钟，然后取出橡皮管，迅速盖好玻璃塞。

② 对于塘水、井水、游泳池中的水样，采集时可参照图 5-2 装置一套简单的设备。先将样瓶（250 或 300ml）与一个大瓶（500ml）按图装好，并将二瓶固定起来使之便于下沉。在粗绳上标明深度。采集水样时，将取样设备投入水中，使之迅速下沉并达到所需要的深度。此时使水样进入样瓶并赶出大瓶的空气，直至大瓶不再存有空气为止。提出水面后，将样瓶取下，迅速用玻璃塞盖紧。送来的水样如果装在大瓶中，应该用虹吸方法把水样移入样瓶中。

水样采集完毕，要将样瓶编号，以免错乱。最好就地进行化学处理，使溶解氧固定（否则应保存在 4℃ 左右，再送到实验室）；但滴定工作可在实验室进行。

(6) 如果采集测定某些其他项目用的水样，可以根据特定要求加入保存剂。

(二) 生活污水的采集

生活污水的成分复杂，变化很大，为使水样具有代表性就必须分多次采集后加以混合。一般是每小时采集一次（集水样体积可根据流量取适当的比例），将 24h 内收集的水样混合，作为代表性样品。

废水样的瓶子须用 3000ml 的细口瓶。最后总容量应该在 (2500~3000) ml。水样应保

存在冰水里,温度在 $(4\sim5)^{\circ}\text{C}$ 左右。取水样的瓶子及设备要每天用清水冲洗干净,防止污水内细菌的生长。取污水后,瓶子要立刻贴好标签纸并涂上石蜡,防止标注的字褪色。

污水样采集后,应该尽快送往实验室分析。测定溶解氧、生物需氧量、余氯、硫化氢等项目,须于采样后立即进行。如遇特殊情形,不能立刻分析,可加入保存剂。如果确定要加保存剂,最好一开始就加,使水样进入水样瓶中时即与保存剂混合。

(1) 做生物化学需氧量分析的水样,不可加入任何保存剂。

(2) 一般分析用的水样可于每升水中加入 5ml 氯仿(预先用蒸馏水洗 $(2\sim3)$ 次,加少量无水硫酸镁吸水,储于棕色瓶中)作保存剂,使水样的耗氧量不至于改变。

(3) 若测各类含氮化合物,可加入适量化学纯硫酸,使硫酸浓度约为 $0.015\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 即可。但经本法处理过的水,会降低悬浮性固体及耗氧量。

(三) 工业废水的采集

由于工业工艺过程的特殊情况,工业废水成分往往在几分钟内就有改变。所以水样采集方法比生活污水的采集更为复杂。

采样的方法、次数、时间等都应根据分析目的和具体条件而定。但是共同的原则是:所采集的水样有足够的代表性。如废水的水质不稳定,则应每隔数分钟取样一次,然后将整个生产过程所取的水样混合均匀。如果水质比较稳定,则可每隔 $(1\sim2)\text{h}$ 取样一次而后混合均匀。如果废水是间歇性排放,则应适应这种特点而取样。

水样采集时还应考虑到取水量的问题,每次取水量应根据废水量按比例增减。

在测定某些特定的项目时,可以向水样中加入某种保存剂,这就视各测定项目而定。但因为成分复杂和测定项目的各不相同,任一保存剂均有产生影响的可能,没有一种普遍适用的工业废水保存剂。一般而言,低温保存比较可行。

除以上特点外,其他应注意事项同上。

表 5-1 工业废水取样方法

取样方法	方法梗概	适用范围	采用手段
一次水样采集法	在废水排放口、渠等取样处,对水样进行一次采集。	用于生产工艺稳定 and 排放的水质变化不大的场合。	无色耐腐玻璃容器、聚乙烯塑料容器或水桶。
平均水样采集法	在废水排放口、渠、沟渠设采样点,每隔一定时间(如 1h 、 2h ...)采集水样,然后将采集的水样混合成混合样品。	用于生产工艺不稳定且排放的水质经常有变化的场合,可以获得某段时间的水质平均值。	最可利用上述手段,但很费时。应用自动水样采集器。
动态水样采集法	在上述取样位置处,于一定期间(如 1d 、 1周 ...)每隔一定时间(如 0.5h 、 1h ...)采集水样一次,分别对水样分析。	用于了解排放的工业废水中某物质含量的动态变化规律,可获得某一时间里的水平、均值、最大、最小值。	宜用自动水样采集器。
比例平均水样采集法	在上述取样位置处,根据排放废水流量分布曲线,按正比关系分配水样采集量,然后分析。	用于生产工艺不稳定,排放口废水流量变化较大的场合,可获得采样期间的平均值。	宜用与流量自动装置配套的自动水样采集器。

(四) 自然降水的采集

降水样品通常由有关部门选点采集,50万以下人口的城市设2个点,50万以上人口的城市设3个点。采样点的布设应兼顾到城区、乡村或清洁对照点。采样点的设置应考虑区域的环境特点,尽量避开排放酸、碱物质和粉尘的局部污染源,应注意避开主要街道交通污染源的影响。采样点周围应无遮挡雨雪的高大树木或建筑物。

采集雨水可以用自动采样器,也可用聚乙烯塑料小桶(上口直径和高均为 20cm 左右);采

集雪水的容器（聚乙烯塑料）的上口直径在 40cm 以上。放置位置高于基准面 1.2m。

每次降雨（雪）开始，立即将备用的采样器放置在预定的采样点支架上。每次降雨取全过程雨样，一天中若有几次降雨过程就需测几次 pH 值。如遇连续几天降雨，则每天上午 8:00 测一次，即 24h 算一次降雨。

存放降水的容器以白色的聚乙烯塑料瓶为好，不能用带颜色的塑料瓶，也不要玻璃瓶来装，以免在存放过程中因玻璃瓶中钾、钠、钙、镁等杂质的溶出而污染样品。

由于降水中常常含有尘埃颗粒物、微生物等微粒，所以除了测定 pH 值和电导值以外，一般均需过滤。但玻璃砂芯漏斗和滤纸的孔径太大，以有机微孔滤膜为好。

三、采样和分析的间隔时间

采样和分析的间隔时间越短则分析结果越可靠。对某些成分和物理数据的测定应在现场即时进行，否则在送样到实验室之前或在存放过程中可能发生改变。

采集与分析之间允许的间隔时间取决于水样的性质和保存条件，而无明确的规定，供物理化学检验用水样的允许存放时间为：

洁净的水	72h
轻度污染的水	48h
严重污染的水	12h

采集与分析相隔的时间应注明于检验报告中。

如确实不能立刻分析的水样，可以加入保存剂加以保存，具体见表 5-2 和表 5-3。

表 5-2 一般水样保存方法

检测项目	要求体积 V/ml	贮存用容器		保存温度	保存剂	可保存 时间	备 注
		玻璃	塑料				
酸度	100	+	+	4℃ 冷存		24h	
碱度	100	—	+	4℃ 冷存		24h	
pH	25	+	+	冷至 4℃ 现场测定			
温度	1 000	—	+	现场测定			
电导率	100	+	—	4℃ 冷存		24h	水样应恢复至 25℃ 时测定，最好现场测定
透明度	100	+	—	4℃ 冷存		7d	
色度	50	+	—	4℃ 冷存		24h	
嗅	50	—	—	4℃ 冷存		24h	
味		+	+	4℃ 冷存		24h	
生化需氧量 BOD ₅	1 500	+	+	4℃ 冷存		6h	
化学需氧量 COD	50	+	+		硫酸至 pH<2	7d	
总有机碳 TOC	25	+	+		硫酸至 pH<2	7d	
悬浮物	100	+	+	现场过滤		6 个月	
残留物可过滤	100	+	+	4℃ 冷存		7d	
残留物不可过滤	100	+	+	4℃ 冷存		7d	
残留物总量	100	+	+	4℃ 冷存		7d	
残留物挥发性	100	+	+	4℃ 冷存		7d	
溶解物	1 000	+	+	无要求		24h	
硬度	100	—	+			7d	
溶解氧（电极法）	300	—	+		现场测定		
Winkler 法	300	—	+		现场固定	4h~8h	
磷化合物							
溶解性	50	—	+	过滤 4℃		24h 加 H ₂ PO ₄	

续表

测定项目	要求体积 V/ml	储存用容器		保存温度	保存剂	可保存 时间	备 注
		塑料	玻璃				
可水解 总磷	50	+	+	冷至 4℃	硫酸至 pH<2	24h	2E HgCl ₂ 2F HgCl ₂ 2G HgCl ₂
可溶性总磷	50	+	+	冷至 4℃		2d	
可溶性总磷	50	+	+	现场测定		2d	
氧化物	500	-	-	冷至 4℃	NaOH 至 pH=12	24h	
氧化物	50	-	-	-	-	2d	
需氧量	50	-	-	现场测定		24h	
溴化物	100	-	-	冷至 4℃		24h	
碘化物	100	-	-	冷至 4℃		24h	
氰化物	500	+	+	冷至 4℃	NaOH 至 pH>8	24h	
氨、氮氮	1000	+	+	冷至 4℃	硫酸至 pH<2	24h	可用 $>2 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HgCl ₂ , 但一般不用
凯氏法	500	+	-	冷至 4℃	硫酸至 pH<2	24h	可用 $>2 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HgCl ₂ , 但一般不用
硝酸盐	100	+	+	冷至 4℃	硫酸至 pH<2	24h	可用 $>2 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HgCl ₂ , 但一般不用
亚硝酸盐	50	+	+	冷至 4℃		24h	可用 $>2 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HgCl ₂ , 但一般不用
硫酸根	50	-	-	冷至 4℃		2d	
硫化物	500	-	+	冷至 4℃	5ml 乙酸锌	24h	
亚硫酸盐	50	+	+	冷至 4℃		24h	
钾	100	+	+	-	硝酸至 pH<2	6 个月	
钠	50	+	+	-	硝酸至 pH<2	6 个月	
钙、铜、铁、镁、锌	50	+	+	冷至 4℃		2d	
砷	-	+	-	-	HCl (2mol · L ⁻¹)	2 个月	
钼 (溶解性)	-	-	-	-	-	-	
品 型	-	-	-	过滤	硝酸至 pH<2	6 个月	
铬 (六价)	-	-	新硬 玻璃 瓶	-	硝酸至 pH<2	当天	
铬 (总量)	-	-	新硬 玻璃 瓶	-	2% 多加 5ml 加 硝酸至 pH<2	当天	
汞 (溶解性)	500	-	-	-	2% 多加 5ml 过滤, 加硝 酸至 pH<2	33d (玻)	
总量	100	-	+	-	加硝酸至 pH<2	13d (玻)	
汞	-	+	+	-	pH<2	13d (玻)	
铜、铝、钼	-	+	+	-	硝酸, pH<2	2 个月	
镍	-	+	+	-	pH<1.5	33d	
钴	-	-	-	过滤	pH<1.5	3 个月	
钒	500	-	-	-	0.1mol · L ⁻¹ -HCl	-	
酚类	500	-	-	冷至 4℃	硫酸至 pH<1	24h	
三氯乙醛	-	+	+	冷至 4℃	硫酸至 pH<1	当天分析	
邻苯二甲酸 (NTA)	50	+	+	至 4℃		2d	
油类	500	-	-	至 4℃	硫酸至 pH<2	2d	
阴离子洗涤剂	250	-	-	-	硝酸至 pH<2	24h	

第二节 食物样品的采集与制备

一、采样方法

样品分为检样、原始样品、平均样品三种。

由整批食物的各个部分采取的少量样品称为检样。把许多份检样综合在一起称为原始样品。只能把质量相同的检样混在一起作成若干份原始样品。原始样品经过处理再抽取其中一部分作检验用者称为平均样品。将样品装入预先洗净烘干的广口瓶中，瓶签上注明名称、采样日期、交货数量、采样方法及其他应说明的情况，并由经手人密封。

表 5-5 食物样品采取的一般方法

散装样品（粮食及散装食品等）	用双套网筛取样或取样，每一包装顶部上、中、下三层取出 3 份包样，整批的所有检样合为原始样品，用“四分法”缩分原始样品至所需数量为止，即为平均样品
罐的半固体样品	用采样器从上、中、下层分别取出检样，然后混合缩减至所需数量的平均样品
液体样品	一般采用虹吸法分层取样，每层各取 500ml 左右，装入小口瓶中混匀，也可用长吸管或特制采样器采样（采样前须充分混合均匀）
小包装的样品	罐头、瓶装奶粉等连包装一起采样
使肉类等组成不均匀样品	视检验目的，可由被检物有代表性的各部分（肌肉、脂肪、……，蔬菜的根、根茎、叶等）分别采样，经充分打碎、混合后成为平均样品

二、食品的采样量及注意事项

不同的分析项目所需的样品量是不相同的，需根据具体的项目要求而定。对罐装、桶装或袋装食品，有一个取样的基数，其中部分食品的最小取样量见表 5-6。

表 5-6 部分食品的采样量及注意事项

样品	取 样 类 型	取 样 量 及 方 法
罐 头	按生产班次	为 1/3 200，尾数超过 1 200 罐的增取 1 罐，但每批每个品种取样基数不得少于 1 罐
大 食 品	按系属规格	生产量较大时，≥20 200 罐以上按 1/3 2 000 计，尾数超 1 000 罐者，增取 1 罐 生产量小时，同品种、同规格可合并班次取样，并班后总数不过 5 200 罐 则每班次不少于 1 罐且每批后基数不少于 3 罐 每罐检取 1 罐，但每批每个品种不得少于 3 罐
牛 乳	按桶取样数并混合样逐口按重量	不少于 250ml，用特制搅拌棒以螺旋式转动搅匀后取样（0.2~1.0 ml/kg），用采样管采于同一样品瓶中混匀，采集一定量并按每 100ml 样品加 1~2 滴甲酚
全 脂 奶 粉	桶或箱包装	总数的 1%，用开口采样桶采后自容器的四角及中心各取一桶，置于盘中搅匀，取总量的 1%备用
	瓶或听装	总数的 1%同批号的堆场中按不同方位取样，但不少于 3 瓶，尾数超 1 200 件的应加抽 1 件

三、样品的保存

采集的样品应在当天进行分析，以防止其中水分或挥发性物质的散失及其他待测物质含量的变化。如果不能立即进行分析，必须加以妥善保存。应当把样品保存在密封洁净的容器内，必要时放在避光处，但切忌使用带有橡皮垫的容器。容易腐烂变质的样品需保存在 0℃~5℃，保存时间也不宜过长，以免样品变质或待测物质的分解。

若条件允许，可采用升华干燥法（冷冻干燥法）来保存样品。样品经冷冻，高真空

[(10~40) Pa, -10℃~-30℃]脱水。此时食品的化学和物理结构变化极小,保存时间也很长。

四、样品的制备

为保证分析结果的正确性,对分析样品必须加以适当处理即制备。制备包括样品的分取、粉碎及混匀等过程,其具体方法因产品类别不同而异,也因测定项目的不同而不同,见表5-7和表5-8。

表 5-7 常规食品样品的制备方法

样 品 种 类	制 备 方 法
液体、浆体或悬浮液体及不溶液体	将样品充分摇动或搅拌均匀 分离后分别采取
固体样品	切细、捣碎,反复研磨或用其他方法研细,常用绞肉机、粉碎机、研钵等
水果及其他罐头	将碎屑须清除果核、肉,禽罐头、鱼类罐头须将调味品(葱、辣椒等)分出后捣碎,常用高速组织捣碎机等
鱼类	洗净去鳞后取肌肉部分,置纱布上控水至1min内纱布不滴水,切细混匀取样,若量大则以四分法缩分留样。备用样品置于玻璃样品瓶中,置冰箱保存
贝类和甲壳类	洗净取可食部分(贝类需含壳内汁液),蛤、蜆经速冻后逐层剥出,切细混匀取样,备用样品贮于玻璃样品瓶中,置冰箱保存

表 5-8 测定农药残留量时样品的制备方法

粮 食	充分混匀,用四分法取20g粉碎,全部过0.4mm筛
蔬菜和水果	先洗去泥沙并除去表面附着水。依当地食用习惯,取可食用部分沿纵轴剖开,各取四分之一,切碎,充分混匀
肉类	除去皮和骨,将肥瘦肉混合取样。每份样品在检测农药残留量的同时还应进行脂肪含量的测定,以便必要时分别计算农药在脂肪和瘦肉中的残留量
豆类	去壳后全部混匀
禽类	去毛、开膛去内脏,洗净并除去表面附着水。纵向剖开至具骨骼的肌肉绞成泥状,充分混匀,检测农药残留量时同时进行肌苷酸的测定
鱼类	每份鱼样至少三条,去鳞、去头、尾及内脏,洗净并除去表面附着水,纵向剖开每条的一半,去骨刺后全部绞成泥状,充分混匀

五、食品样品的前处理

食品样品由于其本身(蛋白质、脂肪、糖类等)对分析测定常常产生干扰,在测定前必须进行预处理。

表 5-9 食品样品的预处理方法及适用范围

类 型	方 法	适 用 范 围 及 条 件
有机物破坏法	干法灰化 湿法消化	温度在550℃,为避免测定物质的损失,可加入固定剂 所需试剂需视样品及检测项目而定,适用于金属离子测定

续表

类 型	方 法	适 用 范 围 及 条 件
蒸馏法	常压蒸馏 减压蒸馏 水汽蒸馏 分 馏 扫集共蒸馏	<80℃用水浴, >90℃用油浴、砂浴、盐浴或直接加热 适用于高沸点或热稳定性较差的物质间分离 分离较低沸点且不与水混溶的有机组份 用于分离干燥较难或沸点沸点差较小的组份 集蒸馏、分析等方法之一, 高效省时省溶剂, 适用于蔬菜、水果、食用油脂和乳制品中有机磷(磷)农药残留量
溶剂提取法	溶剂萃取法 超声波法	所用溶剂与样品组成及检测项目而定 用于从混合物中提取其物质, 常用索氏抽提器进行操作 常用于分离食品中的蛋白质
磺化和皂化法	磺化净化法 皂 化 法	用于处理油脂或含油脂样品以增大其亲水性, 其中磺化法主要用于对酸稳定的有机磷农药, 一般不用干有机磷农药 皂化法主要用于除去一些碱、稳定的农药中混入的脂肪
色谱分离法	薄层色谱法 柱色谱法	色谱分离法同时也是鉴定的方法, 目前以柱色谱更常用

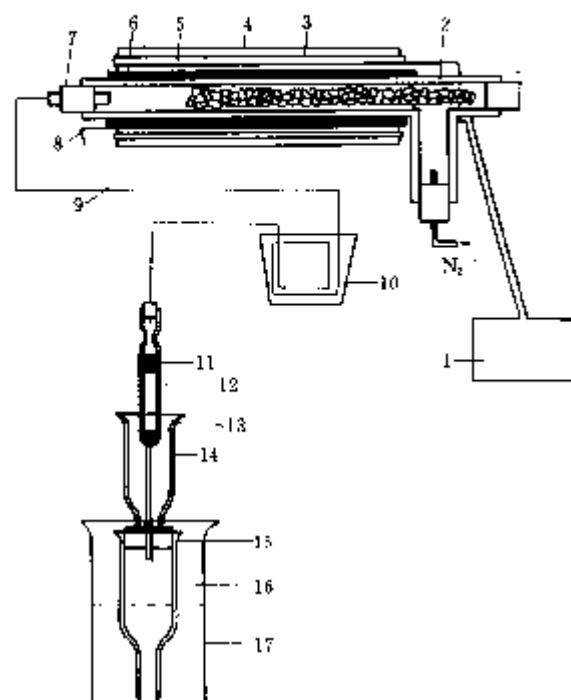


图 3-3 扫集共蒸馏装置

1—可变压器; 2—斯特勒(Storherr)管(填充12—15cm硅烷化的玻璃棉); 3—石棉; 4—绝缘层; 5—加热板;
6—铜管; 7—硅橡胶塞; 8—高温计; 9—载气乙接管; 10—水或冰浴; 11—硅烷化玻璃; 12—ANAKROM ABS
(一种吸附剂)4cm; 13—尾接管; 14—硅烷化玻璃棉; 15—19—22号标准接口; 16—离心管; 17—盛水烧杯

其原理是样品抽提液用注射器从Storherr管的一端注入后, 农药和溶剂在已加热的管内汽化, 被载气流吸入冷凝管, 再经过微层析柱进入收集器内, 而脂肪和色素留在Storherr管和微层析柱中。此法省时省溶剂, 新型自动化扫集共蒸馏装置有20条净化通道, 可在2.5h内净化20种样品抽提液。

第三节 土壤样品的采集与制备

一、土壤样品的采集

土壤样品的采集方法对分析结果和评价影响很大,采样时的误差往往比分析的测定误差更大。因而,必须严格采样,保证土样具有代表性,能正确真实地反映原采样地块的土壤情况。土壤采集的时间、地点、层次、方法、数量等都由土样分析的目的来决定。

1. 采样前的准备工作 采样前必须了解采样地区的自然条件(母质、地形、植被、水文、气候等),土壤特征(土壤类型、层次特征、分布)及农业生产特性(土地利用、作物生长、产量、水利、化肥农药的使用情况等),是否受到污染及污染的历史与现状等情况。在调查的基础上,根据需求和可能来布设采样点,同时挑选一定面积的对照地块。

2. 采样点的选择 由于土壤本身在空间分布上具有较大的不均匀性,需要在同一采样地点作多点采样,再混合均匀。当采样地点的面积不大($1\,000\text{m}^2\sim 2\,000\text{m}^2$ 以内)时,可在不同方位上选择5~10个有代表性的采样点,采样点的分布不能太集中,通常采用下列方法(图5-4)。

表 5-10 土壤样品采样点选择方法

方 法 名 称	适 用 范 围	具 体 方 法
对角线采样法	受污染的水灌溉的田块	自该田地的进水口向对角作直线并等分,此对角线三等分,以每等分的分点作采样点,可视不同情况作适当的变动
梅花形采样法	适宜上面面积较小,地势平坦、土壤较均匀的田块	一般取5~10个采样点
棋盘式采样法	中等面积,地势平坦、地形完整,但土壤较不均匀的田块	采样点一般在15个以上,测定固体废物污染程度在20个以上
蛇形采样法	面积较大,地势不太平坦,土壤不均匀	采样点较多

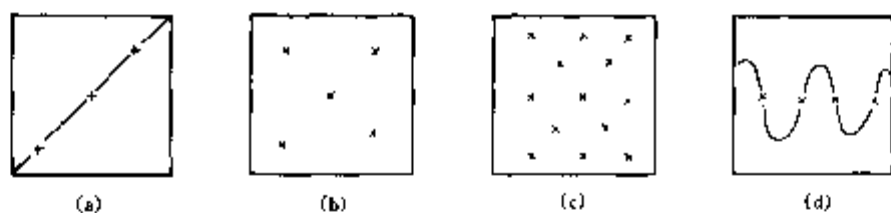


图 5-4 土壤的采样方法

(a) 对角线采样法; (b) 梅花形采样法; (c) 棋盘式采样法; (d) 蛇形采样法

3. 采样深度 如果只需一般性地了解土壤受污染情况,采取深度约15cm的耕层土壤和耕层以下(15~30)cm的土样。如果要了解土壤污染深度,则应按土壤剖面层次分层取样。在每个采样点上,按层垂直向下切取土壤。每个点取厚约1cm的土壤,且在每个点上所取的土量要基本相等,采样完毕后将各点的土样混合均匀即可。如要测定重金属,则应将和金属采样器接触部分剥去。

4. 采样时间 采样时间视测定目的而定。若为了了解土壤污染情况,则可随时采集土样测定;若为了了解在该田块上生长的植物污染状况,则可在植物收获季节同时采集土壤和植物样品。

5. 土样数量 一般要求采样 1kg 左右。由于土壤样品不均匀需多点采样而取土量较大时,应反复以四分法缩分至所需量。

6. 注意事项

(1) 采样点不能选在田边、路边和肥堆边。

(2) 经最后缩分所得的土样应装入塑料袋中,同时备好记有采样地点、日期、样品情况、采样人等项目的标签。

二、土壤样品的制备

1. 土样的风干 除了测定游离挥发酚等项目需用新鲜土样外,大多数项目需用风干土样,因为风干的土样较易混匀,重复性和准确性都较好。风干的方法为:将采回的土样倒在盘中,趁半干状态把土块压碎,除去植物残根等杂物,铺成薄层并经常翻动,在阴凉处使其慢慢风干。

2. 磨碎与过筛 风干后的土样,用有机玻璃棒(或木棒)碾碎后过 2mm 塑料(尼龙)筛,除去 2mm 以上的砂砾和植物残体(若砂砾量多时应计算其占土样的百分比)。然后将细土样用四分法缩分至足够量(如测重金属约需 100g),其余土样另装瓶备用。留下的样品进一步磨细过 0.25mm 孔径的塑料(尼龙)筛,充分拌匀后装瓶备用。

3. 含水量的测定 无论何种土样均须测定土样的含水量以便按烘干土为基准进行计算。可在百分之一的天平上称取土样(20~30)g,在 105℃下烘(4~6)h,干燥至恒重,计算含水量,以 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 表示。

第四节 植物样品的采集与制备

与任何其他采样一样,采集前应对所采集对象作必要的调查,选出采样区 and 对照采样区。在采样区内再划出和固定一些有代表性并生长典型的小区。根据采样的次数及每次采样的数目决定预选株数或梯段的数目。

一、采样的一般原则

(1) 代表性 选择能代表总体的一定数量的植株为样品。采集作物或蔬菜时不能采集田埂地边及离田埂 2m 以内的样品;若采集水生植物则应注意离开污染物排放口适当距离。

(2) 典型性 采样部位要能反映所需了解的情况,不能将植株部位随意混合。

(3) 适时性 根据研究的需要,在植物不同的生长发育阶段,定期采样。

二、样品采集量

这主要需考虑样品分部位处理后是否有代表性以及是否够分析之用。一般要求至少有 1xg 干重样品。新鲜样品则按 80%~90% 的水分来计算,样品量要比干重量多 50~10 倍(不少于 5xg 新鲜样品)。

三、样品的采集方法

根据研究对象在选好的样区内分别采集不同植株的根、茎、叶、果等植物的不同部位。

于农作物、蔬菜的采集,一般在各采样小区内采取一个代表样品(在该地块中分别于5~10处,采取5~10个样品混合组成)。常以梅花形或在小五点取样,或在小区内以交叉间隔方式取样,如图5-5所示。

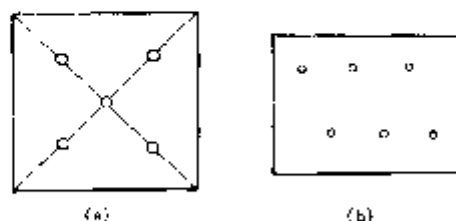


图5-5 梅花形和交叉间隔取法

对一般旱作物,若采集的样品为根部,在抖掉其附着在根上的泥土时,须注意不损失其根毛部位,以尽量保持根系的完整。对水稻根系还需立即用水洗净泥土,带回室内后立即用清水洗4次,时间不超过半小时为宜(不准浸泡),洗净后用纱布擦干。

采集果树样品要注意树龄、株型、生长势、载果数量和果实着生的部位及方位。蔬菜样品中的叶菜,若用鲜样进行分析,在采集时(尤其是在夏

天)植株最好连根带泥一同挖起,或用湿布将样品包住,或用塑料袋装好,不使其萎蔫。浮萍、藻类等水生植物一般采集全株,若采集点受污染较重,在除去其他水草、小螺后用清水冲洗干净。

所有植物样品都须用布口袋装好,并附上标签,同时做好采样记录,对特殊情况尤其需详细记录以备查考。

从现场采集的样品,应该立即放在干燥通风处晾干。对需用鲜样作监测的应立即送实验室进行处理和分析,当天处理不完的应暂时冷藏在冰箱里。

四. 植物样品的制备

根据分析项目的不同要求,对各不同种类的原始样品用不同方法进行选取:

(1) 块根、块茎、瓜果等,切成4块或8块,各取四分之一或八分之一;

(2) 粮食 充分混匀后平铺于玻璃板或木板上,以多点取样或四分法选取。得到所需量的平均样品后再作进一步处理,制成分析样品。

1. 新鲜样品的制备 对植物中易起变化的物质(酚、甙等)及多汁的瓜果、蔬菜样品需在新鲜状态下进行分析。制备时先将平均样品洗净晾干,切碎并混合均匀,取其中100g,加入等量蒸馏水(多汁样品可不加,含水少的可加两倍量水),用电动捣碎机打成均匀浆状(较软样品1min左右,较硬样品2min以上)。对纤维过多的样品(根、茎秆、叶子等)不能用捣碎机捣碎时可用剪刀或不锈钢刀切成很小碎块混合均匀供分析之用。

2. 风干样品的制备 用干样进行分析的样品,应尽快晾干(亦可用鼓风干燥箱于40℃~60℃烘干)。样品干燥后,去掉灰尘、杂物,切碎,用电动磨碎机粉碎(谷类果实先脱粒再粉碎),全部通过1mm的筛网(有些样品需过0.25mm的筛网),储存于磨口瓶中备用。

若测定样品中金属元素的含量,应该注意金属器械的污染问题,以防干扰。

五. 含水量的测定

分析结果常以干重比较各样品间某成分含量,故在制备新鲜或烘干样品时须同时测定含水量,最常用的是烘干法。称取一定量的新鲜样品于(100~105)℃烘干至恒重,以失重计算含水量。

含有大量易热分解组分的样品,可在真空干燥箱中用低温烘至恒重。

含水量很高(80%~95%)的样品(浆果、幼嫩蔬菜等)在采集当时就会有相当水分蒸

发,即使含水量测定的误差很小,所引起干物质含量的误差也相当大。这类样品以鲜重计算更好,可附记水分含量以作参考。

已烘干样品在研磨和储存过程中也会吸收水分,故在称量前须烘干除去。粉状样品的物理状态与原始样品有所不同,受高温易分解,故需严格控制烘干温度和时间。通常在 65℃ 烘 (4~5) h 即可。

第五节 大气样品的采集

大气样品的采集方法包括直接采样法、富集采样法和无动力采样法。

一、直接采样法

当空气被测组分浓度较高,或所用分析方法灵敏度高而直接进样即能满足环境监测要求时,可用直接采样法。常用的采样容器有注射器、塑料袋、球胆等。

表 5-11 大气样品直接采样方法

方 法	操 作 要 求
注射器采样法	先用现场空气抽洗 (2~3) 次,再抽样至 100mL,密封进样口,回实验室分析。采样后样品不宜长时间存放,最好当天分析完毕。此法多用于有机蒸汽的采集。
塑料袋采样法	用二道球打入现场空气抽洗 (2~3) 次后,再装待测样品,夹紧进气口,回实验室进行分析。所用塑料袋不宜与所采集的被测物质起化学反应,也不宜对被测物产生吸附和渗透现象。采样时,常用的塑料袋有聚乙烯袋、聚四氟乙烯袋及聚酯袋等。为减少对被测物质的吸附,有些塑料袋内壁上涂有金属膜,如铝膜、锡等。
真空瓶采样法	将空气中被测物质采集在预先抽成真空的玻璃瓶或玻璃采样管中。所用采样瓶(管)必须用耐比玻璃制成,容积一般为 (500~1000) mL。抽真空时瓶外面应装安全保护套。装瓶至剩余压力为 1.33kPa 左右即可。如瓶中预先装有吸收液,可抽至液满为止。采样时,在现场打开瓶塞,被吸空气即冲入瓶中,关闭瓶塞,带回实验室分析。采样体积为真空采样瓶(管)的体积。如果真空度达不到所要求的 1.33kPa 时,采样体积的计算应扣除残余压力: $V = V_0 (P - P') / P$ $V \text{ --- 采样体积, (L)}$ $P \text{ --- 大气压力, (kPa)}$ $V_0 \text{ --- 真空采样瓶体积, (L)}$ $P' \text{ --- 瓶中残余压力, (kPa)}$

二、富集采样法

当空气被测物质的浓度很低 [$(1 \sim 10^{-3}) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$], 而所用的分析方法又不能直接测出其含量时,需用富集采样法进行空气样品的采集。富集采样的时间一般都比较长,所得的分析结果是在富集采样时间内的平均浓度。从环境保护角度看,它更能反映环境污染的真实情况,所以富集采样在空气污染监测中更有重要意义。

富集采样法有溶液吸收法、固体吸收法、低温冷凝法、滤料采样法、个体剂量器法等。需根据监测目的和要求、被测物的理化性质、在空气中的存在状态、所用的分析方法等来选择。

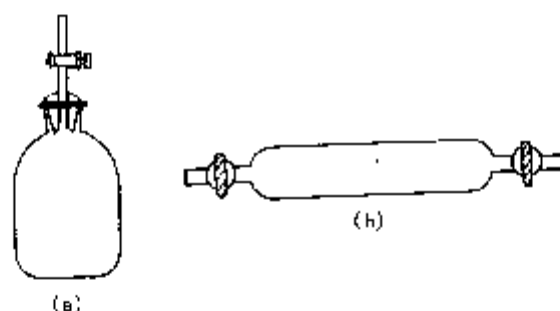


图 5-2 真空采气瓶和真空采气管
(a) 真空采气瓶; (b) 真空采气管

(一) 溶液吸收法

溶液吸收法是用吸收液采集空气中气态、蒸汽态样品组分以及某些气溶胶的方法。当空气样品通过吸收液时，吸收液界面上的被测物质的分子由于溶解作用或化学反应，很快地进入吸收液中。同时气泡中的气体分子因存在浓度梯度而运动速度极快，能迅速扩散到气-液界面上，因此，整个气泡中被测物质分子很快地被溶液吸收。这就是气体吸收法的原理。

理想的吸收液应是理化性质稳定，在空气中和在采样过程中自身不会发生变化，挥发性小，并能在较高气温下经受较长时间采样而无明显的挥发损失，有选择的吸收，吸收效率高，能迅速地溶解被测物质或与被测物质起化学反应。常用的吸收液有：水、水溶液、有机溶剂等。吸收液的选择需根据被测物质的理化性质及所用分析方法而定。最理想的吸收液是含有显色剂的，边采样边吸收，不仅采样后即可出色定量，而且可以控制采样的时间，使显色强度恰好在测定范围内。当用有机溶剂作吸收液时，因其挥发性大，在大流量、长时间采样时会有明显的损失，此时应添加有机溶剂至原有体积。

由于某些气溶胶的小颗粒表面附有一层蒸汽，在气泡通过液体时，小颗粒不易被捕集，同时气溶胶颗粒也不像气体分子那样很快地扩散到气-液界面上，故用气泡吸收管捕集气溶胶效率很差。补救办法为：

(1) 采用冲击式吸收管——使空气以很快的速度冲击到盛有吸收液的吸收管底部，使气溶胶颗粒因惯性作用被冲击到管底，再被管中吸收液捕获。本法不适用于采集气态或蒸汽态物质。

(2) 采用多孔玻板吸收管（瓶）——让空气样品通过多孔玻板，使其分散成极细的小气泡进入吸收液中，气溶胶颗粒一部分在通过多孔玻板时，被弯曲的孔道所阻留，然后进入吸收液中；一部分在通过多孔玻板后，形成很细小的气泡，被吸收液吸收。

所以多孔玻板吸收管不仅对气态或蒸汽态物质吸收效率高，而且对与其共存的气溶胶也有很高的采样效率。

(二) 固体吸收法

固体吸收法是用固体吸附剂采集空气中被测物质的方法。固体吸收剂主要有颗粒状吸附剂、纤维状滤料和筛孔状滤料。

表 5-12 固体吸收的吸附剂种类

种类	构成及作用	基 本 性 能
颗 粒 状 吸 附 剂	有良好的机械强度、稳定的理化性质、强的吸附能力和容易解吸等性能。对气态和蒸汽态物质的采样靠吸附作用，而对气溶胶的采样则靠阻留作用和筛捕作用。	硅胶——常用的有粗孔和中孔硅胶，细孔的少用。在 100℃ ~ 200℃ 供干燥使用。对极性物质吸附作用强烈。吸附能力较活性炭弱，吸附容量较小，较易解吸（于 350℃ 通蒸汽即可）。
		活性炭——用于吸附非极性和弱极性有机气体和蒸汽，吸附容量大，吸附力强，对水吸附极少，适用于有机气体和水蒸汽混合物的采集，特别适宜在浓度低，湿度高的地点长时间采样，较难解吸（需用热解吸和有机溶剂解吸法，以后者为佳）。
		沸石类——不属多孔物质，仅靠其粗糙表面吸附，比表面小，吸附能力低，易解吸。本身性质稳定，不受酸、碱、有机溶剂等影响。
		高分子多孔微球——多孔性芳香族聚合物，比表面大，有一定的机械强度，具疏水性、耐潮湿、耐辐射、耐高温（250℃ ~ 450℃），主要用于采集有机蒸汽，特别适于采集大分子、高沸点且有一定挥发性的蒸汽态或蒸汽态与气溶胶共存于空气中的有机化合物，常用品牌及性能见表 5-13。

续表

种类	构成及作用	具 有 的 特 性
纤维	由天然或合成纤维素与粗底叠交形成的纤维，主要用于采样气溶胶，要求操作简便、价格便宜、携带方便、保存时间长，其他用途各不相同，有直接拦截、惯性碰撞、扩散沉降、静电吸引、重力沉降等。	玻璃纤维——由熟熔玻璃纤维聚集制成，具有机械强度高、不易破裂、价格低廉等优点，其纤维较粗，孔隙较少，通气阻力大。主要是直接拦截，惯性碰撞和扩散沉降的机理。 玻璃纤维滤膜——由纯超细玻璃纤维制成，具有耐高温(400℃~500℃)、吸附性小、通气阻力小、采样效率高优点，适于大流量采集低浓度被测物。因在制作过程中需添加部分某些金属元素，故这些金属元素的空白值较高，同时其机械强度低，质地疏松，其采集机理主要是直接拦截、惯性碰撞、扩散沉降。 过氯乙烯滤膜——由过氯乙烯纤维制成，粗细介于滤纸和玻璃纤维之间，其金属元素空白值低，机械强度高，但耐热性能差。其采集机理几乎包括所有作用，静电引力作用特别强。
微孔滤膜	由纤维素基或聚酰胺类微孔，孔径均匀，结构上不同干纤维状滤料。	微孔滤膜——由硝酸纤维素和少量乙醚纤维素混合制成，其采样效率高，金属元素空白值低，适宜用于采集和分析金属性气溶胶。 核孔滤膜——由聚碳酸酯薄膜经辐射后，经中子轰击击穿或辐射分解，产生的分裂碎片穿过薄膜形成微孔，再经化学腐蚀处理，得到所需大小的孔径，核孔滤膜孔径均匀、机械强度高、不吸水，适于做精密重量分析，但采样效率较低。 微滤膜——由铸制的金属板烧结制成，孔径均匀，能耐高温，抗化学腐蚀性，适用于采集酸、碱气溶胶及带有有机溶剂性质的有机样品。

表 5-13 用于空气采样的几种高分子多孔微球

名 称	组 成	平均孔径 $D/\mu\text{m}$	比表面积 $A/(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$
Aercharlite XAD-2	二乙烯基苯-苯乙烯共聚物	30	300
Aercharlite XAD-4	二乙烯基苯-苯乙烯共聚物	50	700~800
Chromasorb 102	二乙烯基苯-苯乙烯共聚物	45	300~400
Porapak Q	甲基-乙烯基苯-二乙烯基苯共聚物	70~80	540
Porapak X	二乙烯基苯-苯乙烯-极性单体共聚物	70~80	510~750
Porapak GC	聚二甲基硅氧烷	720	18.5

注： μm 为微米单位， $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$ 。

所有固体吸附剂均可经化学改性（如浸渍某些化学试剂）提高采集效率。为使浸渍的吸附剂保持一定湿度以利于进行化学反应和溶解作用，往往在浸渍试剂中加入少量甘油。

（三）冷冻浓缩法

冷冻浓缩法主要用于采集低沸点物质。值得注意的是空气中的水蒸汽也被凝结在收集器中，会对测定造成误差，应设法消除。

（四）静电沉降法

此法常用于采集气溶胶。当空气样品通过(12 000~20 000) V 电压的电场时，气体分子电离所产生的离子附着于气溶胶粒子上使粒子带电，此带电粒子在电场作用下沉降到收集电极上，然后将收集电极表面沉降物质洗下分析。此法采样效率高，速度快，但仪器设备及维护要求较高，且不能在有易燃易爆气体、蒸汽、粉尘的场合使用。

（五）个体剂量器法

个体剂量器法适于采气态和蒸气态样，它利用被测物质分子自身离运动（扩散或渗透），到达吸收液或吸附剂表面而被吸收或被吸附，不需抽气动力。

（1）扩散法 根据 Fick 扩散定律，物质分子在空气中沿浓度梯度运动，其质量传递速率符合下式：

$$W = \frac{DA}{L} (\rho_1 - \rho_2)$$

式中 W ——质量传递速度和分子扩散速度, $\text{ng} \cdot \text{s}^{-1}$;

A ——扩散带的截面积, cm^2 ;

ρ_2 ——空气中被测物质的质量浓度, $\text{ng} \cdot \text{cm}^{-3}$;

D ——分子扩散系数, $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$;

L ——扩散带的长度, cm ;

ρ_1 ——介质表面被测物质的质量浓度, $\text{ng} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

$(\rho_1 - \rho_2)$ 表示在整个扩散带长度 L 上的浓度变化, 若所用的吸收剂能有效地吸收到达它表面的全部物质分子, 则 $\rho_2 = 0$ 。此时等式两边同乘以量器的采样时间 t , 可得下式:

$$M = \frac{DA}{L} \rho_1 \cdot t$$

式中 M ——扩散到吸收剂上的物质总质量, ng 。

公式表明剂量器采样的总质量与剂量器本身结构、被测物在空气中的浓度及分子的扩散系数、采样时间有关。对某一被测物及结构一定的剂量器而言, DA/L 是一常数——剂量器的采样速度 ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)。因而, 吸收的总质量就与被测物在空气中的浓度及采样时间有关, 即:

$$\rho = \frac{ML}{DA \cdot t}$$

由上式可计算出空气中被测物质的浓度。

(2) 渗透法 渗透法是利用被测物质分子的渗透作用来完成采样的目的。分子通过渗透膜进入吸附剂或吸收液而被吸附或吸收。其计算公式为:

$$\rho = \frac{WK}{t}$$

式中 ρ ——空气中被测物质的浓度, $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;

K ——被测物质的渗透常数, $\text{h} \cdot \text{L}^{-1}$;

W ——剂量器采集到的被测物质的总量, μg ;

t ——采样时间, h 。

其中, K 值与渗透膜材料与被测物质的性质有关, 由实验求得。

三、无动力采样

无动力采样往往用于单一的几个检测项目。有过氧化铅法、碱片法采集大气中的含硫化合物, 以测定大气硫酸盐化速率; 石灰滤纸法采集大气中的微量氟化物; 用集尘缸采样, 测定尘自自然沉降量等。

四、采样效率的评价方法

采集气态和蒸汽态样品常用溶液吸收法和填充性固体吸附法, 评价这些采样方法效率的有绝对比较法和相对比较法。

1. 绝对比较法 精确配制一个已知浓度的标准气体样品, 然后用所选用的采样方法采集标准气体, 测定其浓度, 比较实测浓度 ρ_1 和配气浓度 ρ_0 , 其采样效率 K 为:

$$K = \rho_1 / \rho_0 \times 100\%$$

用本方法评价采样效率虽然比较理想, 但由于配制已知浓度的标准气比较困难, 在实际应用

中往往受到限制。

2. 相对比较法 配制一个恒定浓度的气体样品, 而其浓度不一定要求准确已知。然后用 2~3 个采样管串联起来采样, 分别测定各管的含量 (ρ), 计算第一管含量占各管总量的百分数, 其采样效率为:

$$K = \rho_1 / (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3) \times 100\%$$

用本方法计算采样效率时, 要求第二管和第三管的浓度相对第一管是极小的, 这样三个管相加之和就近似于所配气的浓度。有时还需串联更多的吸收管采样, 以期求得与所配气的浓度更接近。本法只适用于一定浓度范围内的气体, 如果气体浓度太低, 由于分析方法灵敏度所限, 测定结果误差较大, 采样效率只是一个估计值。

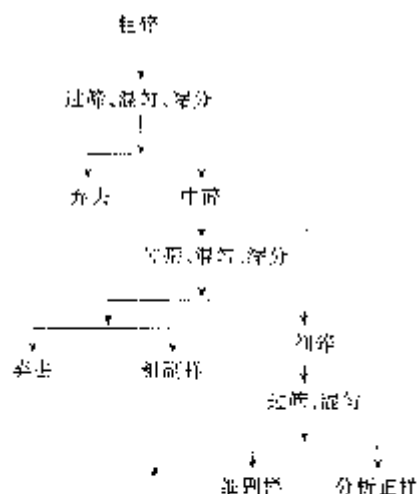
主要参考文献

1. 《环境检验分析方法》编写组编著, 环境检验分析方法, 北京: 科学出版社, 1982 年, 第 5~20 页。
2. 中国医学科学院卫生研究所编著, 水质分析法, 人民卫生出版社, 1983 年, 第 13~15 页。
3. 国家环境保护局《空气和废气监测分析方法》编写组编, 空气和废气监测分析方法, 北京: 中国环境科学出版社, 1986, 19~20 页。
4. 《环境保护业务手册》编写组编, 环境保护业务手册 (内部资料), 1986, 第 7~9 页。

第六章 分析样品的准备与处理

第一节 分析样品的准备

送至实验室来的样品,对一整批物料都具有足够的代表性。在制备分析样品的过程中,不使其失去足够的代表性,这与分析结果的准确性同等重要。对于组分不均匀的物料,必须经过一定程序的加工处理,才能作为供分析用的试样。固体样品加工的一般程序如下:



实际上不可能把全部样品都加工成为分析样品,因此在处理过程中要不断进行缩分。具有足够代表性的样品的最低可靠重量,按照切乔特公式进行计算:

$$Q = Kd^2$$

式中 Q ——样品的最低可靠重量, kg;

K ——根据物料特性确定的缩分系数;

d ——样品中最大颗粒的直径, mm。

某些物料的缩分系数 (K) 值见表 6-1。

样品的最大颗粒直径 (d), 以粉碎后样品能全部通过的孔径最小的筛号孔径为准。几种试验筛的筛号及孔径如表 6-2 所示。

根据样品的颗粒大小和缩分系数, 在表 6-3 中可以查到样品最低可靠重量的 Q 值。最后将样品研细到符合分析样品的要求。

表 6-1 各类矿石的缩分系数 K 的参考值

矿 种	K 值	矿 种	K 值
铁、锰	0.1~0.2	菱铁矿、石灰石、白云岩	0.05~0.1
铜、钴、钨	0.1~0.5	脉金（颗粒基本上小于0.1mm）	0.2
钨（碳化物）、钼	0.2~0.5	脉金（颗粒基本上不大于0.5mm）	0.4
镍（硅酸盐）、铝土矿（均一的）	0.1~0.3	脉金（颗粒基本上大于0.5mm）	0.3~1
铬	不大于0.25~0.3	铝、包、锆、铪、铈、镱、钽及稀土元素	0.1~0.2，一般为0.2
铅、锌、锡	0.2	磷灰石（矿物分布均匀者）、萤石、黄铁矿、高岭土、粘土、石英岩	0.1~0.2
铝土矿	0.3~0.5	明矾、石膏、萤石	0.2
铋、汞	不小于0.1~0.2		

表 6-2 粒度分析用试验筛的筛号及孔径

GB4003—85 (中国) ⁽¹⁾			ASTM (美国)			JIS (日本)		
筛孔基本尺寸/mm		网线直径 φ/mm	筛号	孔径/mm	网线直径 φ/mm	筛号	孔径/mm	网线直径 φ/mm
主要尺寸	补充尺寸							
5.60		1.60	31/2	5.66	1.448	5600	5.66	1.600
	4.50	1.40	4	4.76	1.270	4760	4.76	1.290
4.00		1.40	5	4.00	1.118	4000	4.00	1.080
	3.55	1.25	6	3.36	1.040	3360	3.36	0.870
2.80		1.12	8			2830	2.83	0.800
	2.50	1.00	8	2.38	0.840	2380	2.38	0.300
2.00		0.90	10	2.00	0.760	2000	2.00	0.760
	1.80	0.80	12	1.68	0.690	1680	1.68	0.740
1.40		0.71	14	1.41	0.603	1410	1.41	0.710
	1.25	0.63	16	1.19	0.541	1190	1.19	0.620
1.00		0.55	18	1.10	0.435	1000	1.00	0.590
	0.900	0.50	20	0.84	0.419	840	0.84	0.430
0.710		0.450	28	0.77	0.370	710	0.71	0.350
	0.630	0.400	30	0.59	0.330	590	0.59	0.320
0.500		0.315	35	0.50	0.290	500	0.50	0.290
	0.450	0.280	40	0.42	0.249	420	0.42	0.390
0.355		0.224	45	0.35	0.220	350	0.35	0.260
	0.280	0.180	50	0.297	0.188	297	0.297	0.232
0.250		0.160	60	0.250	0.162	250	0.250	0.212
	0.200	0.140	70	0.210	0.140	210	0.210	0.181
0.180		0.125	80	0.177	0.120	177	0.177	0.141
	0.140	0.100	100	0.149	0.102	149	0.149	0.105
0.125		0.090	120	0.125	0.086	125	0.125	0.087
	0.100	0.071	140	0.105	0.074	105	0.105	0.070
0.090		0.063	170	0.088	0.064	88	0.088	0.061
	0.071	0.050	200	0.074	0.053	74	0.074	0.052
0.063		0.045	230	0.062	0.045	62	0.062	0.040
	0.050	0.036	270	0.053	0.040	53	0.053	0.038
0.045		0.032	325	0.044	0.036	41	0.044	0.034
	0.032	0.028	400	0.037	0.033			

(1) 本表仅列出中华人民共和国国家标准 GB 4003—85《试验筛标准》中筛孔小于 5.60mm 的主要尺寸和部分补充尺寸。

種差

[illegible]

三、熔融法分解试样

熔融法分解试样的适用对象及具体操作见表 6-5。

表 6-6 熔融法分解试样

熔 剂	熔剂配法及操作时间 t/min	温度 t/°C	适用范围	适用对象
1. 碱性熔剂				
碳酸钠 (或碳酸钾)	试样的 5~8 倍用量徐徐升温 (40~50 min)	900~1200	铁、镍、白金	铁、钴、钛、钒等氧化物, 酸不溶性残渣, 砷酸盐, 不溶性硫酸盐、碱、铁、镍、钒等矿物
碳酸钠+碳酸钾 (2:1)	试样的 5~8 倍用量		白金	钨合金、钼及含钨+金属的矿物, 氯化物矿物
氢氧化钾 (氢氧化钠)	试样的 10~20 倍用量 (30min)	<500	铁、镍、银、铜	铀、钍、镭、钋、铯等矿物, 两性元素氧化物, 硫化物 (测磷)、碳化硅
碳酸钠、三氧化二硼、碳酸钾	三者等量混合, 试样的 10~15 倍用量 (30~60 min)	缓慢分解	白金	铬铁矿、钛矿、含硅酸盐矿物
碳酸钠+硼砂 (3:1)	试样的 10~12 倍用量	800~850	瓷	分解铬铁矿、钛铁矿、锆英石等
2. 酸性熔剂				
硫酸氢钾 (或焦硫酸钾)	试样的 8~10 倍用量, 徐徐升温, 形成焦硫酸盐 (40~60 min)	500~700	白金、石英、瓷	铝、铍、铁、钴、钨、钼、钽、钇、钆等氧化物, 硅酸盐、磷铁矿、锰矿, 冶炼炉渣, 稀土元素含量多的矿物, 白金坩埚残渣
氟化钾	试样的 8~10 倍用量	低温	白金	硅酸盐稀上和钽的矿物
氟化硼 (熔剂后研细备用)	试样的 5~8 倍用量	380	白金	硅酸盐, 许多金属氧化物
铋盐熔剂 (可用氟化铋、氯化铋、硝酸铋、硫酸铋, 以及它们的混合物)	试样的 10~20 倍用量	110~350	瓷	铜、铅、铋的硫化物矿物, 铁矿、镍矿、锰矿, 硅酸盐
氟氧化钾+氟硫酸钾 (1:10)	试样的 8~10 倍用量		白金	分解某些硅酸盐矿物、锆英石、稀土、钽、钼、铌矿物等
碳酸钾+氟化铋	与试样等量氟化铋与 8 倍量碳酸钾混合 (60min)	900	镍、白金	硅酸盐, 岩石中碱金属含量, 含硫多的试样, 氯化铋可用氟化钨代替
3. 氧化性熔剂				
过氧化钠	试样的 10 倍用量 (先在地坩内壁沾上一层碳酸钠可防止腐蚀) (15min)	600~700	铁、镍、银	钨合金、铬矿、铬铁矿、铜、镍、钴、钼、钨、钽等矿石, 硅铁、硅化物矿物、硼化物矿物、磷矿、碱、铀等金属
氢氧化钠+过氧化钠 (1~2+5)	试样+氢氧化钠+过氧化钠 (1~2+5)	>800	铁、镍、银	钨合金、钨合金、钨矿、钨矿、钨矿
过氧化钠+碳酸钠 (5+1)	试样的 10 倍用量 (以过氧化钠为准)	>600	铁、镍、银	磷矿物、磷矿物、硅化物矿物、钨铁
碳酸钠+硝酸钾 (4+1)	试样的 10 倍用量	700~750	铁、镍、银	钨合金、钨矿、钨矿、钨矿、钨矿、钨矿、钨矿
4. 还原性熔剂				
氢氧化钠+氟化钾 (3+0.1)		400	铁、镍、银	锡石
碳酸钠+硫 (1+1)	试样的 8~12 倍用量	400~450	瓷	分解含砷、锡、钨的矿石及合金, 使其形成可溶性的硫代酸盐
5. 半熔法熔剂				
碳酸钠+氧化铋 (2+1)	试样的 10~12 倍用量	700~750	铁、镍、银	铁合金和磷铁矿
碳酸钠+氧化铋 (1+2)	试样的 4~10 倍用量	700~750	同上	铁合金, 测定煤中的硫
碳酸钠+氧化铋 (2~3)	试样的 8~10 倍用量	800~850	同上	硫化物矿物中硫的测定

四、增压溶样法

增压溶样法是一种在密闭条件下分解试样的方法, 需要专用的增压溶样器。增压溶样器

一般用不锈钢外壳和聚四氟乙烯内筒组成,盖子用螺纹或螺栓紧固。样品和溶剂用聚四氟乙烯烧杯盛放。再将烧杯放在增压溶样器中进行分解。由于此法在密闭条件下加热加压,具有溶剂用量少、溶样效率高,可以减少玷污,适用范围广等优点。此法主要用于处理一般方法特别难分解的样品。增压溶样法分解试样的应用参见表 6-7。

表 6-7 增压溶样法分解试样

样 品	质量 m/g	分解试剂 V/ml	分解温 度 $\theta/^\circ\text{C}$	分解 时间 t/h	分解率 %	样品分解状况
十字石	0.2	HF(10)+HClO ₄ (10)	230±10	1	100	
十字石	0.25	HF(20)	220~230	2		紫色块状沉淀
十字石	0.5	HF(6)+HClO ₄ (4)	240	3	45	
十字石	0.6	HF(7)+H ₃ PO ₄ (14)	240	4.5	100	
十字石	0.1	HF(1)-(1+1)H ₂ SO ₄ (0.5)	420	10	100	细粒沉淀
十字石	0.1	HF(1.5)	375	19	100	AlF ₃ 沉淀
红柱石	0.26	HF(10)+H ₃ PO ₄ (10)	220~230	6	>98	微量黑色沉淀
红柱石	0.5~0.8	HF(7)+H ₃ PO ₄ (16)	240	5	100	用 H ₂ SO ₄ 或 H ₂ SO ₄ +HF 分解 不完全
红柱石	0.8	HF(10)+HClO ₄ (10)	240	5	45.5	
斧石	0.25	HF(20)	220~230	6	100	大量灰黑色沉淀,溶于 HCl
斧石	0.25	HF(20)	220~230	3.5	100	大量白色沉淀,溶于 HCl
叶蜡石	0.25	HF(20)	220~230	2.5	100	灰色沉淀,溶于 HCl
榭石	0.25	HF(20)	220~230	3	100	大量白色沉淀,溶于 HCl
榭石	0.5	HF(7.5)-(1+1)H ₂ SO ₄ (5)	240	5.5	92	
电气石	0.20	HF(10)-(1+1)H ₂ SO ₄ (10)	220~230	4	100	白灰色沉淀,溶于 HCl
电气石	0.5	HF(12.5)+(1+1)H ₂ SO ₄ (12.5)	240	3.5	100	
蓝晶石	0.2	HF(10)+HClO ₄ (10)	250±10	1	100	
蓝晶石	0.1	HF(1.5)	400	18	100	少量沉淀
硅线石	0.1	HF(1.5)	400	18	100	
石榴石	0.02	HF(1)	425	5	100	少量沉淀
透云母	0.5	(1+1)H ₂ SO ₄ (20)	240	8	99	残渣中含钙
普通辉石		HF(15)	240	13	100	
微斜长石	0.5	HF(15)	240	13	99	
绿柱石	0.1	HF(20)	220~230	1	100	
绿柱石	0.1	HF(20)	220~230	3.5	100	
绿柱石	0.1	HF(10)+HNO ₃ (10)	220~230	2	100	大量白色 AlF ₃ 沉淀,含微甚微
绿柱石	0.2	HF(10)+HCl(10)	220~230	2	100	大量白色 AlF ₃ 沉淀,含微甚微
绿柱石	0.2	HF(10)+H ₂ SO ₄ (10)	220~230	2	100	少量白灰色沉淀
绿柱石	0.2	HF(10)+HClO ₄ (10)	220~230	2	100	大量白色 AlF ₃ 沉淀,含微甚微
绿柱石	0.2	HF(10)+HClO ₄ (10)	250±10	1	100	
绿柱石	0.3	HF(20)	230	10	100	
绿柱石	0.3	HF(10)+H ₃ PO ₄ (10)	240	4	100	
绿柱石	0.1	HF(1.5)	400	18	100	AlF ₃ 沉淀
萤石	0.5~1	HF(12)+(2+1)H ₂ SO ₄ (12)	240	5	100	
萤石	0.5	HF(8.5)+HClO ₄ (2.5)	240	3.5	91.3	络氧化
萤石	0.05	HF(1.5)	425	17	100	大量绿色沉淀
萤石	0.05	HCl(1.5)	425	17	100	少量胶状沉淀,不含络
单斜辉石		HF(5)+(1+1)H ₂ SO ₄ (5)	240	12	100	
锆铁矿		HF(5)+(1+1)H ₂ SO ₄ (5)	240	8	100	
钽铁矿		HF(5)+(1+1)H ₂ SO ₄ (5)	240	8	100	
红铁辉矿	0.2	HCl(15)	240	6	100	
黄铁矿		HF(5)+(1+1)H ₂ SO ₄ (5)	240	5		很不完全

续表

样 品	质量 m/g	分解试剂 V/ml	分解温 度 $^{\circ}\text{C}$	分解 时间 t/h	分解率 %	样品分解状况
萤石		HF	240	10	100	
萤石	0.25	HF(20)	220~230	6	81	
萤石	0.5	HF(25)	240	5	<50	HF 能以 H_3PO_4 、 H_2SO_4 、 HClO_4 均不能完全分解
萤石	0.025	HF(1)	400	4	70	
萤石	0.025	HF(1.5)	425	20	100	
黄 玉	0.25	HF(20)	220~230	3	51	
黄 玉	0.2	HF(10)+ HClO_4 (40)	250 $\pm$ 10	1	35	
石 英	1	HF(12)+ HClO_4 (3)	240	10	100	原样品粒度为 1mm
石 英	1	HF(13)+ H_2SO_4 (2)	240	10	100	原样品粒度为 1mm
石 英	1	30% KOH(15)	240	5	100	
假蓝宝石	0.03	HF(1.5)	400	17	100	少量沉淀
刚 玉		HF(5)+(1+1) H_2SO_4 (5)	240	4	100	少许铝盐沉淀
刚 玉	0.5	HCl(15)	240	3.5	95.7	
刚 玉	0.5	(1+1) HClO_4 (15)	240	3.5	88.4	
刚 玉	0.5	HF(15)	240	3.5	100	
刚 玉	0.5	HF(15)+ HClO_4 (3)	240	3.5	100	
刚 玉	0.5	(2+1) H_2SO_4 (15)	240	3	100	
刚 玉	0.5	(1+1) H_2SO_4 (5)+ H_3PO_4 (5)	240	4.5	100	
磁铁矿	0.5	HBr(20)	240	10	>95.6	
磁铁矿	0.7	HBr(14)+HF(1)	240	10	100	
磁铁矿	0.6	70% H_2SO_4 (25)	240	6.5	100	
磁铁矿		HF(5)+(1+1) H_2SO_4 (15)	240	4	100	
铁铁矿	1	65% H_2SO_4 (5)	240	3	100	
铁铁矿		HF(5)+(1+1) H_2SO_4 (5)	240	5	100	铁水解
磷 石	0.5	HCl(15)	240	7	100	
金红石	0.25	HF(20)	220~230	3	35.8	
金红石		HF(5)+(1+1) H_2SO_4 (5)	240	16	100	
金绿宝石	0.1	HF(10)+(1+1) H_2SO_4 (10)	220~230	5	100	AlF_3 沉淀
金绿宝石	0.1	HF(1.5)	400	20	100	$\text{AlF}_3 + (\text{H}_2\text{O})\text{AlF}_2$ 沉淀
金绿宝石	0.1	HCl(1.5)	400	19		多量试样未分解
铬铁矿		HF(5)+(1+1) H_2SO_4 (5)	240	5	100	
铬铁矿	0.25	HF(10)+(1+1) H_2SO_4 (10)	220~230	4	100	
铬铁矿	0.8	HF(12.5)+(2+1) H_2SO_4 (12.5)	240	5	99.2	
铈铁矿	0.2	HF(10)+ HClO_4 (10)	250 $\pm$ 10	1	100	
铈铁矿	0.5	H_2SO_4 (25)	240	3	99	
黄铁矿	0.6	H_2SO_4 (20)+ Br_2 (1)	240	6.5	93.8	
磁黄铁矿	0.2	HF(10)+ HClO_4 (10)	250 $\pm$ 10	1	100	
黄铜矿	0.2	HF(10)+ HClO_4 (10)	250 $\pm$ 10	1	100	
磷钨矿	0.1	HCl(10)	220~230	2.5	54	
磷钨矿	0.1	HF(10)+ HNO_3 (10)	220~230	6	100	少量沉淀,含 YF_3
花岗岩 G1	0.03	HF(1.5)	400	17	100	极少量沉淀
板 岩	0.2	HF(1)+ H_3PO_4 (10)	240	8	100	

五、有机试样分解方法

表 6-8 所列有机试样的分解方法适用于测定有机物中金属、硫和卤素。

表 6-8 有机试样分解方法

分类	方法或溶剂	适用对象	装置与操作	附注
干法灰化法	坩埚灰化法	铝、铍、硼、铁、硅、锡	白金坩埚，(500~550)℃变为氯化物后溶解	
		银、金、铂	瓷坩埚，变为金属后用硝酸或王水溶解	
		钼、钙、铜、钾、锂、镁、锰、钠、铅、铈	白金坩埚，变为硫酸盐	船存在时为防止其还原加硝酸
	氢瓶燃烧法	卤素、硫、微量金属	试样在装有吸收液和氧气的三角烧瓶中燃烧	Schöniger 法
	燃烧法	卤素、硫	燃烧管，氧气流中 (20~80) min, Na ₂ SO ₄ +Na ₂ CO ₃ 吸收液吸收	Pregl 法
	低温灰化法	银、砷、金、钴、铬、镍、钨、铜、铁、汞、碘、铝、锰、钠、镍、铅、镉、硒、铂族(食品、石墨、滤纸、离子交换树脂)	低温灰化装置，<120℃	借高频激发的氧气进行氧化分解
湿法灰化法	单一酸：浓硝酸	用浓硝酸或有不溶性氧化物生成时	玻璃玻璃容器	不是强力的分解剂
	浓硝酸	留待		良好的氧化剂
	混合酸：浓硝酸+浓硫酸	金、铋、钴、铜、铀等	凯氏烧瓶	
	硝酸-高氯酸	汞除外，其他金属元素，锑、碲、钼等(蛋白质、赛璐珞，高分子聚合物，煤、燃料油、橡胶)	凯氏烧瓶，67% HNO ₃ +75% HClO ₄ (1:1)，由室温徐徐升温	钨、铌作为催化剂
	酸-氧化剂：浓硫酸+过氧化氢	含铍、金、砷、铋、钨、汞、铊等金属有机化合物 含有色素的物质(合成橡胶等)	试样中先加硫酸后加 30% 过氧化氢 硫酸+硝酸加热，冷却后再滴加过氧化氢(2~3次)	过氧化氢沿壁加下去
	浓硫酸+重铬酸钾	肉素	凯氏烧瓶	冷却管并用
	硝酸-高锰酸钾	汞(食品)		使用回流冷却器
	发烟硝酸	溴、铬、钒、挥发性有机金属化合物	发烟硝酸与硝酸银在试管中加热(250℃~200℃, 5h~3h)	磷不适用，Carius 法
	过氧化氢、磷酸亚铁	一般有机物(油脂、塑料除外)	试样碎片，30% H ₂ O ₂ 稀 HNO ₃ 调节 pH2, FeSO ₄ ≈ 0.001mol · L ⁻¹ , 90℃~95℃加热 2h	Sansoni 法
特殊法	过氧化钠，氮酸钾法	砷、硼、卤素、铈、硫、铈、钙	试样加 Na ₂ O ₂ 、KClO ₃ 加热(1~1.5) mm	试样要细至 60 目，干燥。测卤素、砷时可用 KNO ₃ 代替 KClO ₃
	加热银法	卤素、硫	氧气流中加热分解，市加热的汞吸收测定、硫	
	碱金属熔融法	卤素、磷、硫	瓷坩埚，钠、钾、镁等 400℃，加热 15min	形成相应的盐
	石灰熔融法	磷	耐热器，石灰与硝酸盐或碳酸钠熔融	形成磷酸盐

六、试样的蒸馏处理

表 6-9 试样蒸馏处理

分类	溶 剂	操 作	温度 t/℃	容器	适用对象
氧化性	强磷酸 ^① + 磷酸钾	试样 (0~15)mg, K ₃ O ₃ (0.2~0.4)g, 强磷酸 (3~4)ml	<250	硬质玻璃	活性炭、木炭、石墨、有机化合物中的 C、金属钨、碳化钨中的 C、有机化合物、生物体中的 C
	强磷酸 + 重铬酸钾	强磷酸 100g, K ₂ Cr ₂ O ₇ 10g	<240		堆积物、土壤、生物试样中 Ru ¹⁰¹ , Ru
	强磷酸 + 重铬酸钾 + 重铬酸银	100g + 0g + 0.5g			滑石、陶土、粘土中的 Cl
	强磷酸 + 重铬酸钾 + 浓硫酸	试样 1g 分别加溶剂 30ml + 25g + 40ml	<120		煤、褐煤中的 Ge
	强磷酸 + 硫酸高铈	试样 1g 分别加溶剂 30ml + 10g	<280		沉积物、岩石、生物试样中 As, Hg, Os (中子活化分析)
还原性	强磷酸 - 氯化亚锡	SnCl ₂ · 2H ₂ O 50g, 强磷酸 250g, 加热至 300℃	<300	硬质玻璃	Al ₂ O ₃ 中的 SO ₄ ²⁻ 、硫酸盐、亚硫酸盐、砷化物、有机物中的硫 (强磷酸 + 重铬酸钾法中氧化为 SO ₄ ²⁻)、黄铁矿中的 S ₂ 、农药中的 Hg
	强磷酸 + 溴化铵 (溴化钾)	强磷酸 30g, 溴化铵 1g	<250		沉积物、岩石、生物体试样中 Se

①强磷酸是由正磷酸加热浓缩 (300℃左右) 而得到的稠粘状物, 为正磷酸、焦磷酸和三聚合磷酸等几种聚合磷酸的混合物, 能在较低温度 (250℃~300℃) 分解试样。

七、金属在酸、碱中的溶解性质

表 6-10 金属在酸、碱中的溶解性质

元素符号	元素名称	在 酸、碱 中 的 溶 解 性 质
Ag	银	易溶于硝酸、溶于热浓硫酸, 不溶于盐酸和冷硫酸
Al	铝	易溶于盐酸, 难溶于硝酸和稀硫酸, 铝及其合金易溶于浓的苛性碱溶液 (20%~40% NaOH 或 KOH)
As	砷	溶于硝酸和盐酸的混合酸中; 在加热至冒烟时溶于浓硫酸, 不溶于盐酸和稀硫酸
Au	金	溶于硝酸和盐酸的混合酸中
B	硼	溶于氧化性酸, 浓硫酸和浓硝酸中, 甚至溶于加热至冒烟的高氯酸中。与苛性碱熔融生成偏硼酸盐
Be	铍	易溶于盐酸、硫酸和热硝酸。冷硝酸使铍表面“钝化”, 生成氧化铍薄膜
Bi	铋	易溶于稀硝酸、硝酸和盐酸混合酸, 热浓硫酸, 不溶于稀盐酸和稀硫酸
Cd	镉	溶于热稀硝酸, 难溶于稀盐酸和稀硫酸, 但在过氧化氢存在下可加速其溶解
Ce	铈	易溶于酸, 生成三价的铈盐
Ca	钙	溶于稀硝酸、稀盐酸和稀硫酸, 浓硫酸和浓硝酸使钙“钝化”
Cr	铬	易溶于盐酸和高氯酸中, 也溶于稀硫酸。在硝酸中因表面“钝化”而使进一步溶解很慢
Cu	铜	易溶于硝酸, 不溶于盐酸和稀硫酸。加热至冒烟时浓硫酸也溶解铜。在氧化剂 (例如 Fe ³⁺ , H ₂ O ₂ , HNO ₃ 等) 存在下盐酸也能溶解铜
Fe	铁	易溶于硝酸、稀硫酸和盐酸, 极难的铁溶于硝酸而不溶于盐酸
Ga	镓	易溶于硫酸及盐酸, 在硝酸中溶解很慢, 易溶于强碱 (例如 NaOH, KOH) 溶液中, 在氨水中溶解得更为显著
Ge	锗	易溶于王水、过氧化氢的碱性溶液, 酸对锗的作用很微弱, 在硝酸中生成一氧化锗的水合物
Hf	铪	不溶于盐酸和稀硫酸, 而易溶于王水和氢氟酸
Hg	汞	易溶于硝酸和热浓硫酸, 不溶于盐酸和稀硫酸
In	铟	易溶于盐酸, 难溶于硫酸, 极难溶于浓硝酸
La	镧	La 和其他稀土, 易溶于盐酸、硝酸和硫酸溶液中
Mg	镁	易溶于所有的稀酸 (其中包括乙酸), 也溶于浓氯化铵溶液
Mn	锰	溶于稀硝酸、盐酸和硫酸, 生成二价锰盐 (Mn ²⁺); 在浓硫酸中溶解并析出 SO ₂
Mo	钼	易溶于王水, 氢氟酸和硝酸的混合酸, 浓硫酸在加热至冒烟时也溶解钼; 在加热的稀盐酸中溶解很慢, 在氧化剂存在下与碱熔融; 浓硝酸使钼“钝化”

元素符号	元素名称	在酸、碱中的溶解性质
Nb	铌	不溶于冷水和浓硝酸；溶于加有硝酸的氢氟酸中，溶于加有 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 或 K_2SO_4 的浓硫酸（加热并冒烟）；与碱熔融生成铌酸盐
Ni	镍	溶于稀硝酸，在浓硝酸中“钝化”而不溶，能溶于稀盐酸和稀硫酸
Pb	铅	易溶于稀硝酸，加热时溶于浓硝酸和硫酸；溶于乙酸
Pt	铂族元素	铂是铂金中最活泼的一个元素，它溶于浓硝酸及热硫酸中，溶于王水，铂溶于王水，钌、铑、铈、铁不溶于一般无机酸和王水。铂族金属在氧化剂存在时与碱一起熔融，并可转变为可溶性化合物
Ru	铀	溶于硝酸或浓硫酸溶液，浓硫酸在加热下缓慢溶解铀，在盐酸及稀硝酸中溶解很慢
Sb	锑	溶于加热至冒烟的浓硫酸中，溶于硝酸和盐酸的混酸，溶于硝酸和酒石酸混合液中。在浓硝酸中生成不溶的四氧化二锑 (Sb_2O_4)
Se	硒	溶于硝酸生成可溶性硒酸 (H_2SeO_4) ，也溶于王水
Sn	锡	溶于盐酸、硫酸和硝酸的混合液中；溶于热浓硫酸；在硝酸中生成不溶的偏锡酸 (H_2SnO_3) 沉淀
Ta	钽	不溶于冷水和硝酸，在没有白金存在时，氢氟酸不与它作用，浓硫酸仅在加热下才与它作用；溶于加有硝酸的氢氟酸中，与碱熔融生成钽酸盐
Ti	钛	溶于硝酸生成可溶性的稀酸 (H_2TiO_4) ，溶于王水，浓硫酸和 NaOH-HCN 溶液中
Th	钍	易溶于浓硫酸以及盐酸和硝酸的混合液中，单独硝酸使钍“钝化”
Tl	铊	溶于 $(1+1)$ 盐酸和 $(1+5)$ 硫酸，生成三价铊盐并呈紫色，极易溶于稀氢氟酸、氢氯酸和硝酸的混合液中，溶于硝酸中以生成不溶的偏铊酸而使钍“钝化”，而这样偏铊酸能溶于盐酸和硫酸中
Tl	铊	易溶于硝酸，难溶于硫酸，能溶于盐酸
U	铀	溶于氢硫酸和浓酸，溶于硝酸，浓硝酸使铀“钝化”
V	钒	溶于冷水和浓硝酸；加热下溶于浓硫酸和氢氟酸，同碱熔融生成钒酸盐；不溶于稀硫酸和盐酸
W	钨	不溶于硫酸和盐酸，浓硝酸和王水将钨表面氧化并使之转化为不溶的钨酸；溶于氢氟酸和硝酸；溶于含磷酸的酸混合物中，这是因为生成十二钨磷酸 $(\text{H}_2\text{O})_2\text{P}(\text{WO}_3)_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 的缘故，在过氧化氢存在下，溶于饱和草酸中，在氧化剂存在下（例如 KIO_3 ），用碱或 Na_2CO_3 熔融生成钨酸盐
Zn	锌	易溶于硝酸、硫酸和盐酸，锌及其合金易溶于苛性碱（ NaOH 或 KOH ）浓溶液中
Zr	锆	溶于王水和氢氟酸，也溶于氢氯酸和硝酸的混合液中，难溶于硫酸和浓盐酸中，溶于 5% 的盐酸，甚至加热也不溶解

八、无机试样分解方法

表 6-11 无机试样的分解方法

样品质量	待测元素	分解试剂
银（纯银）：1g	Ag	20ml HNO_3 (d=1.2)
银（粗银）：0.5g	Ag	7.5ml HNO_3 (d=1.2)
银合金（含银 10%~90% 的银焊料）：1g	Ag	10ml HNO_3 (1+1)
各种银合金：1g	Ag 及其他金属	10ml HNO_3 (1+1)
$\text{KAg}(\text{CN})_2$ ：1g	Ag	20ml H_2SO_4 ，加热至冒烟
银矿：2g	Al, Ca, Cr, Fe, Mn, P, Si, Ti, V	7g NaOH （颗粒），约 700°C，煮沸 1h
银矿：1g	Al, Fe, Si, Ti	30ml HNO_3/HCl (1+1) → 15ml H_2SO_4 (1+1) 溶于 10ml 盐酸
银矿：1g	Al, Ca, Cr, Mn, Fe, Si, Ti, V	1g Na_2CO_3 , 30min, 1100°C，灼烧，AAS 测定
银矿：1g	Ca, Cr, Fe, Mn, Si, Ti, V, Zn	1-2g H_3BO_3 + 2g Li_2CO_3 , 1100°C，灼烧，AAS 测定
银矿：1g	Ca	25ml HCl 充分煮沸
高纯银：1g	Be, Bi, Mn, Ti, V, Zr	50ml HCl (1+1) + 1ml CaCl_2 (1:5mg/ml)

续表

样 品: 质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂 ^{a)}
高纯铝: 3g	Fe, Cd, Cu, Mg, Ni, Si	20ml NaOH (20%), 聚四氟乙烯烧杯
高纯铝: 1g	Fe	15ml HCl (1+1) + 15ml HNO ₃ (2+3), 玻璃烧杯
高纯铝: 0.1g~1g	B	5ml~20ml H ₂ SO ₄ (1+1) + 3次滴加 1ml H ₂ O ₂ (30%) + 3次滴加 1ml HgCl ₂ 溶液 (50g/100ml), 石英烧杯
高纯铝: 0.25g	Ag	10ml H ₂ SO ₄ (1+1), 玻璃烧杯
高纯铝: 3g	Zn	40ml HCl (1+1) + 1ml CuCl ₂ + 2H ₂ O (1.5mg/ml), 玻璃烧杯
纯铝: 0.5g~2.5g	Ba, Ca, Fe, Ga, Na, Ti, Zn	15ml~50ml HCl (1+1), 玻璃或石英烧杯
纯铝: 0.5g~3g	B, Cr, Cu, Pb, Ti, V	10ml~20ml NaOH (25%), 如果必要可加水, 聚四氟乙烯烧杯
纯铝: 1g~10g	Co, Mg, Ni	10ml~75ml NaOH (20%), 聚四氟乙烯烧杯
纯铝: 1g~2g	Mn	20ml H ₂ SO ₄ (1+1) + 10ml HNO ₃ , 玻璃烧杯
纯铝: 1g	Ga	20ml 7mol/L HCl, 玻璃烧杯
含有少量合金元素的铝: 1g~5g	Cu, Co, Mn, Na, Sb	20ml~50ml HCl (1+1), 如果必要可加 H ₂ O ₂
0.5g~2g	Sn, Zn, Cr, Fe, Nb, Pb, Ti	10ml~120ml NaOH (20%)
铝/铜合金: 见数	Cu	20ml 混合酸 [70ml H ₂ SO ₄ (1+1) + 30ml HNO ₃ + 7ml HCl]
铝/镁合金: 0.25g~2g	Mg	10ml~50ml NaOH (20%)
铝/硅合金: 1g	Si	10g NaOH + 20ml H ₂ O, 镍烧杯
铝/钒合金: 1g~2g	V, Zn	50ml~100ml 混合酸 + 500ml H ₂ SO ₄ + 100ml H ₃ PO ₄ + 600ml H ₂ O
铝/铌合金: 1g		20ml NaOH (0.25g/ml), 玻璃烧杯
氢氧化铝: 7.5g	Cu, Fe, Ga, Mg, Mn, Ni, P, S, Si, Ti, V	10.3g Na ₂ CO ₃ + 3.3g Na ₂ B ₄ O ₇ (或 12g Na ₂ CO ₃ + 4g H ₂ SO ₄) 20min, 1000°C, 铂坩埚
氢氧化铝: 1g	Zn	20ml H ₂ PO ₄ , 原子吸收光谱法测定
氢氧化铝: 1g	Na	25ml H ₂ SO ₄ , 加热至冒烟, AAS测定
氢氧化铝: 2g	F	热水解, 2h~4h, 1000°C, 石英仪器
三氧化二铝 (或刚玉): 5g	Fe, Si, Ti, V	5g Li ₂ BO ₃ + 10g Na ₂ CO ₃ , 10min, 1000°C, 铂坩埚溶于 2mol/L H ₂ SO ₄
三氧化二铝 (或刚玉): 5g	Cr, Cu, Ga, Fe, Mg, Mn, Ni, P, S, Si, Ti, V	4g H ₂ BO ₃ + 12g Na ₂ CO ₃ (或 10.3g Na ₂ CO ₃ + 3.3g Na ₂ B ₄ O ₇) 20min, 1000°C, 铂坩埚
三氧化二铝 (或刚玉): 1g	Na	1.4g Li ₂ CO ₃ + 1.75g B ₂ O ₃ , 20min, 1150°C, 铂坩埚
三氧化二铝: 3g	Na	20ml HF + 50ml NH ₃ (1+1) + 20ml H ₂ O, 铂皿, 加热至猛烈冒烟
三氧化二铝: 1g	Ca	7.2ml HCl + 2ml H ₂ O, 12h, 270°C, 封闭玻璃
三氧化二铝: 2g	Cl, F	热水解, 2h~4h, 1000°C, 石英仪器
含砷矿石及残渣: 2g	As	20ml HNO ₃ , 溶解后, 同 20ml H ₂ SO ₄ (1+1) 加热至猛烈冒烟; 铁或镍坩埚
2g	As	12g~16g NaOH
硫化砷: 100g	Ag, Au	100ml H ₂ SO ₄
三氧化二砷: 0.1g	As	100ml H ₂ SO ₄ + 0.5g S, 煮沸除砷, 测定砷
三氧化二砷: 0.2g	S	2ml 乙醇 + 3ml Hg ₂ , 5min, 析出 5ml HCl, 煮沸
纯金: 0.25g	Au	0.625g Ag + 1g 试样, 于 1000°C 分出银, 把银溶于 HNO ₃
金: 100g	微量 Ag	100ml HNO ₃ + 500ml HCl + 50ml H ₂ O

样品质量	待测元素	分解试剂 ¹⁾
金合金: 0.5g~1g	Ag, Au, Cd, Cu, Fe, Pb, Pt, Sn	2ml~15ml 王水
KAu(CN) ₂ : 约0.3g	Au	30ml H ₂ SO ₄ , 加热至剧烈冒烟
粗硼砂: 5g	B	50ml H ₂ O, 煮沸 5min, 然后在蒸汽浴上 15min
铁硼合金: 0.5g	B	50ml HCl (1+1) + 几滴 HNO ₃
铁硼合金: 1g	B	10g Na ₂ O ₂ , 慢慢加热至 500°C, 铁坩埚
铁硼合金: 1g	B	3g Na ₂ KCO ₃ + 5g Na ₂ O ₂ , 铁坩埚
硼化铁: 0.25g	B	5g Na ₂ CO ₃ , 样品上下再放一层 Na ₂ CO ₃ (各 5g) 铂坩埚
氮化硼: 0.25g	N	15ml HF (26%~30%), 150°C, 4h, 有电磁搅拌的聚四氟乙烯内衬增压器
氮化硼: 0.2g	N	10g LiOH · 2H ₂ O, 铂坩埚中熔融, 用石英器皿
重晶石 (BaSO ₄): 1g	Al, Fe, S, Si, Sr	与 2g Na ₂ CO ₃ 混合, 再覆盖 7g~9g Na ₂ CO ₃ , 烧结, 在灰瓷铂坩埚内于 1200°C 加热 20min; 用 20ml 热水溶解铂坩埚; 用 5ml H ₂ SO ₄ 加热至冒烟
绿柱石: 0.5g	Be	3g KF
铍: 1g	Al, Fe, Ni	40ml HCl (1+1)
铍: 0.5g~1g	B, Si	50ml NaOH (0.45g · ml ⁻¹)
铍: 1g	Cu	15ml HNO ₃ 一少量水
铍: 0.3g	F	35ml H ₂ SO ₄ + 25ml H ₂ O
铝/铍合金: 0.25g~0.50g	Be	20ml HCl (1+1) + 2ml HNO ₃ (1+1)
铜/铍合金: 5g	Be, Cu	42ml 混合酸 (300ml H ₂ SO ₄ + 210ml HNO ₃ + 750ml H ₂ O)
镍铁合金: 2g	Be	50ml HNO ₃ (1+1) + 100ml H ₂ O
镍/铍合金: 5g	Be	50ml H ₂ SO ₄ + 50ml HNO ₃
铍矿石: 1g	Li, Mo, Pb, Sb, Sn, W	20g Na ₂ O ₂ , 镍坩埚
铍矿石: 1g~5g	As	HNO ₃ , 另 20ml H ₂ SO ₄ (1+1) 加热至冒烟
铍: 2.5g	As	20ml HNO ₃ , 另 15ml H ₂ SO ₄ (1+1) 加热至冒烟
铋: 1g	Pb	氯化 300°C, 溶解铋溶于 HNO ₃ (1+1)
铋: 2g~10g	Ag, Cu, Te	10ml~50ml HNO ₃ (1+1)
铋合金: 1g	Bi, Cd, Cu, Pb	5g 硼石酸 + 10ml H ₂ O + 10ml HNO ₃ (1+1)
铋合金: 1g	Su	25ml H ₂ SO ₄
活性碳: 5g	微量 Hg	10ml H ₂ SO ₄ + 25ml HNO ₃ + 0.1g V ₂ O ₅ , 回流下加热 2h
焦炭、焦炭灰: 0.25g	Cr, Cu, Fe, Ni, Ti, V	3g Na ₂ B ₄ O ₇ , 20mm, 1000°C~1100°C, 铂坩埚
焦炭、焦炭灰: 0.25g	Al, Cu, Si	2.5g Na ₂ CO ₃ , 20min, 1000°C~1100°C, 铂坩埚
焦炭、焦炭灰: 0.1g	K, Na	用 2ml HNO ₃ (1+1) + 2ml HClO ₄ (1+4) + 5ml HF, 溶解渣于 H ₂ SO ₄
焦炭、焦炭灰: 1g	S	3g MgO + Na ₂ CO ₃ (2+1), 750°C~800°C 铂坩埚
焦炭、石墨: 0.5g	S	在 O ₂ 中燃烧, 1250°C
沥青: 0.1g~0.5g	S	在 O ₂ 气流中燃烧, 900°C~1000°C
石灰石: 0.25g	Mg	10ml HCl (1+1)
萤石: 见第		
石膏: 0.5g	Al, Ca, Fe, Mg	溶于 40ml 热的约 2mol · L ⁻¹ HCl 并加 150ml 水, 煮沸 (5~10) min

续表

样 品、质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂 ⁽¹⁾
铜: 0.25g	Cu, Fe, Pb, Ti, Zn	150ml HNO ₃ (1+1)
铜矿半锅渣: 0.5g~2.5g	Cd, Co, Pb, Ti, Zn,	100ml~50ml HNO ₃ (1+1), 用 20ml H ₂ SO ₄ (1+1) 加热至冒烟
铜矿半、锅渣: 2g~5g	Pb	12g~30g Na ₂ O ₂ , 铁坩埚
铜矿石、矿渣及刮屑: 2g	Co, Cu, Ni, Pb	25ml HNO ₃ + 10ml H ₂ O, 用 H ₂ SO ₄ (1+1) 剧烈冒烟
	Co, Cu, Ni, Pb	15g~20g Na ₂ O ₂ + 1g NaKCO ₃ , 熔融 10min, 三氧化二锡中熔
铜: 2.5g~4g	Co, Ni	50ml HNO ₃ (1+1)
铜: 1g	Ca, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn	50ml HNO ₃ (2+2)
铜: 10g	S	200ml 混合酸 (5个体积 HCl + 1个体积 HNO ₃), 如需要再加 HF 在 60℃~70℃ 溶解样品
铜合金 (0.1%~0.5% Cu);	Co	5ml HCl/HNO ₃ (3-1), 小心温热
0.15g~0.50g		
铜合金: 见“硬铜合金”		
氯化铜: 2g	Cu, Mn, Ni	25ml HCl + 少量水
铜铁矿: 0.5g	Cr	10g Na ₂ O ₂ , 刚玉坩埚
铜矿石: 1g	Cr	15g Na ₂ O ₂ + 2g NaOH + 3g NaKCO ₃ , 缓慢加热 (10min) 到红热, 铁坩埚
铜矿石: 1g	Fe, P	30ml 浓 HClO ₄ 煮沸 3h~5h
铜: 1g	Cr	15g Na ₂ O ₂ + 2g NaOH + 3g NaKCO ₃ , 铁坩埚 (衬一层熔融氢氧化钠)
铜: 1g~2g	Si	40ml H ₂ SO ₄ (1+1)
铜: 10g	S	250ml H ₃ PO ₄ (d=1.4), 小心温热
铁铜合金: 0.5g	Cr	8g Na ₂ O ₂ + 4g NaKCO ₃ , 在镍坩埚中熔融
铁铜合金: 0.5g	Cr	8g Na ₂ O ₂ ; 再覆盖 2g Na ₂ O ₂ , 5min, 600℃~700℃, 铁坩埚
铁铜合金: 0.2g~1g	C, S	0.5g Sn + 1g Fe; 在 O ₂ 气流中燃烧, 1350℃
铁铜合金: 1g	Sn	40ml H ₂ SO ₄ (1+4)
铁铜合金: 1g~10g	N	100ml H ₂ O + (10~40) ml H ₂ SO ₄
碳化铜: 0.5g	Cr	10g~15g Na ₂ O ₂ , 铁坩埚
碳化铜: 1g	Fe	10ml~20ml HClO ₄ , 铂皿; 加热至冒烟
碳化铜: 0.5g~1g	Si	5g Na ₂ CO ₃ + 2g KNO ₃ (分几次加), 铂皿中灼融
紫铜: 见铁		
铜/锡合金: 见锡		
铜矿石、黄铜矿、冰铜: 2g~5g	Pb	20ml~40ml HNO ₃ (2+1) + 20ml~40ml H ₂ SO ₄ (1+1), 温热溶解, 加热至冒烟
铜矿石、黄铜矿、冰铜: 2g~5g	Bi, Sb	50ml HNO ₃ (2+1)
含铜渣、灰、刮屑: 10g	Cu	加入 50ml H ₂ O, 50ml HNO ₃ (1+1), 10min 后加入 50ml HNO ₃ (2+1) 和 2m~3m HF
纯铜: 5g	Cr	42ml 混合酸 (300ml H ₂ SO ₄ + 210ml HNO ₃ + 750ml H ₂ O)
沉积铜、黑铜、转炉铜、	Cu	100ml H ₂ O + 200ml HNO ₃
阳极铜: 10g~20g		
废铜: 10g	Cu, Ni, Pb	100ml HNO ₃ (1+1), 溶解时冷却, 然后加热
粗铜: 25g	Ca, Bi, Ni, P, Pb, Sb, Sn	50ml H ₂ O, 然后分几次加入 200ml HNO ₃ (1+1) 溶解时冷却, 然后加热

样 品 质 量	待 测 元 素	分 析 试 剂
钨钼: 5g	Fe	40ml HCl (7+3) + 40ml H ₂ O ₂ (30%)
钨钼: 0.5g~5g	Se, Ti	25ml ~ 125ml H ₂ SO ₄ (1+4), 然后慢慢加 10ml~30ml H ₂ O ₂
钨合金: 2g	Cu, Al, Fe, Be, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, P, Ni, Pb, Zn	25ml HNO ₃ (1+1), 然后用 20ml H ₂ SO ₄ (1+1) 加热至剧烈冒烟
钨合金: 2g	Su	25ml HNO ₃ (1+1), SuO ₂ + aq 留于残渣中
钨钼: 2g	Su, Cu, Pb	25ml HNO ₃ (1+1), SuO ₂ + aq 留于残渣中
钨钼: 0.5g~5g	Cu, Pb, Zn	20ml~50ml HNO ₃ (1+1)
钨合金: 1g~2g	S	70ml~60ml HNO ₃ (1+1), 然后用 20ml HCl 加热至干
铜/硅合金: 2g	Cu	25ml HNO ₃ (1+1), 溶 SiO ₂ 于 HF, 电解测定铜
铜合金: 1g	S	50ml 混合物 (1kgH ₂ O (d=1.1) + 500gHCOOH (95%~100%) + 100g 次氯酸钠)
铜/铝合金: 见铜		
铜/铝合金: 见铁		
铜/铝合金: 见镍		
萤石/钨: 0.7g	F	70ml HClO ₄ + 约 50ml H ₂ O, 蒸馏氟化氢
CaF ₂ , AlF ₃ , Na ₂ AlF ₆ : 0.1g	F	热水解, 加 0.4gV ₂ O ₅ , 盐, 1000°C ~ 1050°C, 镍坩埚
Na ₂ AlF ₆ : 0.5g	F	2gSiO ₂ + 5gNa ₂ CO ₃ , 最高 700°C, 铂坩埚
AlF ₃ , Na ₂ AlF ₆ : 0.5g	Al, Cu, Fe	5gK ₂ S ₂ O ₇ , 700°C, 铂坩埚
AlF ₃ , Na ₂ AlF ₆ : 0.5g	S	12gH ₂ BO ₃ + 5gNa ₂ CO ₃ , 20min; 1000°C, 铂坩埚
CaF ₂ , AlF ₃ , Na ₂ AlF ₆ : 0.2g	Be	二次用 4ml HClO ₄ 加热至干, 然后用 5gNa ₂ CO ₃ 熔融残渣, 1000°C, 铂坩埚
Na ₂ AlF ₆ : 0.5g	Na	5ml 浓 H ₂ SO ₄ , 加热至冒烟; 铂皿
AlF ₃ , Na ₂ AlF ₆ : 0.2g~0.5g	S	0.3ml~0.5ml HClO ₄ , 加热至冒烟; 铂皿
铁矿石: 0.5g	Fe	几毫升水 + 25ml HCl, 煮沸, 加 5ml HNO ₃ , 用 HF + H ₂ SO ₄ 加热至干, 再用 3gNa ₂ S ₂ O ₇ 熔融
铁矿石: 0.5g	Fe	D, 3gNa ₂ CO ₃ , 800°C ~ 1000°C 烧结 10min 然后溶于 20ml HCl (1+1)
铁矿石: 0.5g~2g	Si	几毫升水 + 25ml HCl, 煮沸, 加 5ml HNO ₃ , 煮沸几分钟, 然后用 25ml HClO ₄ 加热至冒烟
铁矿石: 0.25g~1g	Al	10ml~25ml HCl + 5ml~10ml HNO ₃
铁矿石: 0.5g~1g	Ca, Mg, Mn	30ml HCl + 10ml HNO ₃
铁矿石: 0.5g	Ti	3gNa ₂ CO ₃ + 2gNa ₂ B ₄ O ₇ + 10H ₂ O, 10min; 900°C ~ 1000°C
铁矿石: 0.5g	V	4gNa ₂ CO ₃ + 2gNa ₂ B ₄ O ₇ + 10H ₂ O; 如果需要, 加 NaNO ₃ 烧 10min
铁矿石: 1g	Cr	+ 5gNa ₂ CO ₃ + 5gNa ₂ O ₂ , 铂坩埚, 红热
铁矿石: 0.5g~4g	P	20ml~50ml HCl + 1ml HNO ₃
铁矿石: 0.5g~5g	全 S	10gNa ₂ CO ₃ + 5gNa ₂ O ₂ , 铂坩埚
铁矿石: 0.3g	Fe	2gNa ₂ O ₂ , 铂坩埚, 红热下熔融至清, 用 10ml 水提取, 然后酸化
铁矿石: 1.1g	全 Fe 或 Fe (I)	10g 聚合磷酸 (85% H ₃ PO ₄), 加热至 300°C, 石英管, 在 290°C 加热 30min, 溶于水

续表

样品质量	待测元素	分解试剂
方铅矿: 0.5g	S	15ml HNO_3 + 5ml HCl , 室温下 12h; 煮沸赶 HNO_3
黄铁矿: 0.5g~1g	Cu	35ml 王水 + 几滴 HF (40%), 室温下几小时; 煮沸赶 HNO_3
黄铁矿: 0.5g	Co	6g 混合熔剂 (1份 Na_2CO_3 + 1份 K_2CO_3 + 2份 Na_2O_2), 二氯化二锡助熔; 熔块溶于 HCl
煅烧过的黄铁矿: 5g	Cu	60ml HCl + 50ml HNO_3 + 少许 KClO_4 , 室温下 12h
煅烧过的黄铁矿: 0.5g~0.5g	S	0.5g 金属钾 + 少许 Na_2CO_3 , 熔块; 过量的钾溶于 CH_3OH 并放出 H_2S
煅烧过的黄铁矿: 2g	Pb, Zn	20ml H_2SO_4 + 5ml 发烟 HNO_3 (必要时可多加 HNO_3), (1~2) h, 减压蒸馏
生铁、铸铁: 1g	全 C	O_2 气流, 1700~1550°C
生铁、铸铁: 1g	分离 C	50ml HNO_3 (1+1) + (1~2) ml HF
生铁、铸铁: 1g~5g	S	20ml~50ml HCl (1+1), 然后氧化用 HNO_3 氧化
合金钢: 0.5g~2g	S	30ml~50ml 混合酸 (1个体积 HNO_3 + 3个体积 HClO_4 (60%))
铁、钢: 0.5g	Mn	15ml HNO_3 (1+1)
铸钢: 1g	Mn	50ml H_2SO_4 (1+1)
生铁、钢: 0.5g~2g	P	20ml~50ml HNO_3 (1+1), 如果需要, 可加 HF ; 最后氧化用 KMnO_4
铸钢: 0.2g~0.5g	P	40ml HNO_3 (1+1) + 15ml HCl + 50ml HClO_4 + 10~15 滴 HF
生铁、钢: 0.5g~1g	S	O_2 气流, 1100°C
生铁、钢: 5g~10g	S	100ml HCl
铁: 1g	B	15ml H_2SO_4 (1+1) + 5ml H_2O_2 (5%), 回流 1h
铸钢: 0.25g~2g	Cr	60ml H_2SO_4 (1+5) + 10ml H_3PO_4 , 最后氧化用 HNO_3
铸钢: 0.25g~1g	Cr	20ml~40ml HCl (1+1) + HNO_3 ; 如果需要, 可用 20ml HClO_4 加热
含硼钢: 2~5g	Co	40ml HCl (2+1) + 10ml HNO_3
铁: 5g~10g	Mg	70ml HCl ; 用 3.5ml HNO_3 + 0.25g~0.5g KClO_4 氧化
铸钢: 0.25g~10g	Mo	20ml~70ml H_2SO_4 (1+1), 最后氧化用 HNO_3
铸钢: 1g~3g	Ni	10ml~20ml HClO_4 (60%)
含铌钢: 2g	Te	20ml HBr/Br_2 (90ml HBr + 5ml Br_2)
刀具钢: 0.5g~3g	V	60ml H_2SO_4 (1+5) + 10ml H_3PO_4 , 最后氧化用 HNO_3
铌钢: 0.5g~5g	W	60ml~100ml HCl (1+1)
铌/铌钨: 0.5g	Cr	10ml HClO_4 + 10ml H_3PO_4
铌/铌钨: 0.5g	Nb	10ml HClO_4 + 20ml HNO_3/HCl + 10ml HNO_3 + 50ml HCl + 40ml H_2O
特殊合金: 见其他合金成分项		
镍: 2g	Co, Fe, Zn	40ml HCl (1+1) + 5ml HNO_3 (1+1)
三氧化二镍: 0.5g	Ni	10ml HCl
镍原料: 0.5g~1g	Ge	2.5g~5g Na_2CO_3 ; 用少量 Na_2O_2 覆盖, 缓慢升温熔融
二氧化镍: 5g	As	10ml 水 + 10ml HNO_3 + 100ml HCl 煮沸 1h~2h
铜 (原料): 1g~2.5g	Li	25ml HNO_3 + 25ml H_2SO_4 , 加热至冒烟

续表

样 品 质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂 ⁽¹⁾
铜: 1g 铜: 1g 铜: 5g 铜: 25g	Cd, Pb, Zn Cu Fe, Ti Sb, Sn	15ml HBr 10ml HNO ₃ (1+1) 25ml HCl 20ml 90% 溶液 (500g FeCl ₃ + 6H ₂ O, 加 HCl 至 11%) 50ml 用 Fe ₂ 饱和的浓 HCl
汞矿石、熔渣、半成品: 1g~10g	Hg	5ml ~ 10ml H ₂ O + (15~60) ml 混合酸 (HCl+HNO ₃ 5+1) 5ml H ₂ SO ₄ (1+1)
锂矿石: 0.2g 锂: 2g	Li K, Na	50ml 二氧杂环己烷, 然后加 5ml 二氧杂 己烷/15% (1+1) 200ml H ₂ O + 250ml HCl (15~20) ml HCl (1+1)
锂化合物: 100g 锂: 0.5g~1g 锂: 0.1g~1g 锂: 2g 锂: 1g	Al, Ca, Fe, K, Mg, Na Al, Fe Cd, Zn Cl Cu	5ml H ₂ SO ₄ (1+1) 45ml HNO ₃ (1+1) 50ml H ₂ O + 10ml H ₂ SO ₄ (1+1) + 5ml HNO ₃ (1+1) 50ml H ₂ O + 10ml H ₂ SO ₄ (1+1)
铯合金: 1g 铯合金: 1g 铯合金: 1g	Al, Cd, Ca, Fe, Pb, Zn Ca, 铯, Ni, Th, Zr Cu, Mn	25ml HCl (1+1) 100ml H ₂ SO ₄ (1+1), 然后加 5ml HNO ₃ (1+1) 50ml 溴水, 15ml H ₂ SO ₄ (50ml H ₂ SO ₄ 加水 至 200ml)
铯合金: 1g	Cu	25ml H ₂ O + 15ml HBr/Br ₂ (250ml HBr 中 加 1 滴 Br ₂) 25ml HCl (1+1)
铯/钨合金: 1g 铯/钨合金: 1g~2g 铯/铜合金: 1g~2g	Al Cl Cu	25ml H ₂ SO ₄ (1+1) 50ml HCl (1+1) 或用 30% H ₂ O ₂
铯矿石: 0.3g~0.4g	Mn	10ml HCl + 10ml HNO ₃ + (4~5) ml HF + 10ml HClO ₄ , 加热至冒 HClO ₄ 烟
铯矿石: 1g 铯矿石: 0.2g~0.4g 铯矿石: 5g 铯: 1g 铯: 1g	Mn, Fe, P Si As Mn Si	50ml HCl 5g KOH, 3min~4min; (450~500) °C; 银 皿 15g Na ₂ O ₂ , 银坩埚 30ml HNO ₃ 30ml 混合酸 (6 个体积 HClO ₄ (60%) + 1 个体积 HNO ₃) (5ml HNO ₃ (1+1) + 8ml HClO ₄) 30ml HNO ₃ 30ml HNO ₃ + 60ml H ₂ SO ₄ (1+1) 12g Na ₂ O ₂ + 5g Na ₂ CO ₃ , 银坩埚 20g Na ₂ O ₂ , 银坩埚
铯铁合金: 0.25g 铯铁合金: 1g 铯铁合金: 1g 铯铁合金: 1g 铯铁合金: 2.5g 铯铁合金: 0.3g	Mn Mn, P Si C As Mn	10ml HF, 然后滴加 HNO ₃ , 最后用 8ml HClO ₄ 加热至冒烟 30ml 6mol/L HCl + 1ml H ₂ O ₂ (30%) 15g Na ₂ O ₂ 与样品混合, 再覆盖 5g Na ₂ O ₂ , 银坩埚 5g K ₂ S ₂ O ₇ , 铂皿
二氧化锰 (电解的): 5g	Cu, Ca, Fe, Ni	5ml H ₂ SO ₄ + 5ml~10ml HNO ₃ , 铂皿; 加 热至冒烟
二硫化钨精矿, 燃烧过的钨矿石: 1g 燃烧过的钨矿石: 1g	Mn Al	用 10ml NH ₃ 蒸发, 然后用 5ml HF 处理, 烧四氧乙稀皿
二硫化钨精矿, 燃烧过的钨矿石: 1g~2g 燃烧过的钨矿石: 1g	P Ni	25ml HCl + 20ml HNO ₃ + 10ml HClO ₄ , 加 热至冒烟
二硫化钨精矿, 燃烧过的钨矿石: 0.5g	P	

续表

样 品 质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂 ¹⁰⁾
二硫化钨精矿, 煅烧过的钨矿石: 1g	Pb, Sn	10ml HNO ₃ 用热水萃取残渣, 钨溶解
二硫化钨精矿, 煅烧过的钨矿石: 1g~2g	Re	1g NaClO ₂ + 20ml HNO ₃
煅烧过的钨矿石: 1g	Sb	10ml H ₂ SO ₄ (1+1) + 20ml HF + 10 滴~15 滴 HNO ₃ , 钨皿; 蒸发至干
二硫化钨精矿, 煅烧过的钨矿石: 1g	Se	8g Na ₂ O ₂ + 3g Na ₂ CO ₃ , 然后再覆盖 2g Na ₂ O ₂ , 镍坩埚
煅烧过的钨矿石: 0.5g~1g	Zn	10g Na ₂ CO ₃ , 钨皿
钨: 0.5g	Mo	20ml~40ml HNO ₃ (1+1)
钨铁合金: 1g	Mo	15g Na ₂ O ₂ , 镍坩埚
钨铁合金: 0.5g	Mn, Si	10ml HNO ₃ (1+1) + 10ml H ₂ SO ₄ (1+1), 加热至冒烟
钨铁合金: 3g	W	50ml HCl (1+1) + HNO ₃ (滴加)
钨铁合金: 1~2g	Cu, P	20ml HCl + 5ml HNO ₃
二氧化钨: 1~5g	S	2~5g Na ₂ CO ₃ 与样品混合, 再覆盖 2~5g Na ₂ CO ₃ , 钨皿
钨、钼矿石, 精矿: 1g	Nb, Ta, Al	10g K ₂ S ₂ O ₇ , 钨皿
钨、钼矿石, 精矿: 1g~2g	Nb, Ta	18g Na ₂ O ₂ 与样品混合, 再覆盖 5g Na ₂ O ₂ , 镍坩埚
钨、钼矿石, 矿渣: 1g~2g	Nb, Ta	用 2ml H ₂ SO ₄ 加热至干, 然后用 15g Na ₂ O ₂ 熔融, 再用 5g Na ₂ O ₂ 进行第二次熔融, 三氧化二钨坩埚
钨、钼精矿: 1g	Ca	20g~25g Na ₂ O ₂ , 镍坩埚
钼矿石: 0.1g~1g	F, Cl	加 1g SiO ₂ + 0.5g V ₂ O ₅ , 热水解 1000 C~1300 C; 石英仪器
钨、钼精矿: 1g	Si	用 10g K ₂ S ₂ O ₇ 熔融, 然后用 40ml H ₂ SO ₄ 加热至干, 钨皿
钨、钼精矿: 1g	Se	18g Na ₂ O ₂ + 5g Na ₂ CO ₃ , 镍坩埚
钨、钼精矿: 2~5g	Sn	20g~25g Na ₂ O ₂ , 镍坩埚
钨、钼精矿: 0.1g	Ti	4g K ₂ S ₂ O ₇ , 钨皿
钼矿石: 0.25g	U	用 0.5ml H ₂ SO ₄ + 0.5ml HClO ₄ 蒸发至干, 然后用 3g K ₂ S ₂ O ₇ 熔融, 石英坩埚
钨、钼精矿, 矿渣: 1g	Zr	15g Na ₂ CO ₃ + 2g H ₃ BO ₃ , 钨皿
钨、钼: 3g	Nb, Ta	10ml HF, 滴加 HNO ₃ , 钨皿
钨: 10g	Ta, Fe	25ml HF, 滴加 HNO ₃ , 用 40ml H ₂ SO ₄ (1+1) 加热至冒烟, 钨皿
钨: 2g	Nb	灼烧 30min; 然后用 10g K ₂ S ₂ O ₇ 熔融, 石英坩埚
钨、钼: 5g	Mo, W	30ml HF, 然后滴加 HNO ₃ , 聚四氟乙烯皿
钨: 0.5g	Mo, W	10ml H ₂ SO ₄ + 3g NH ₄ HSO ₄ , 钨坩埚
钨: 0.5g	Fe	2ml HF, 滴加 HNO ₃ (1+1), 钨坩埚
钨、钼: 1g~5g	Ca, Cu, Fe, Mn, Ni	10ml~30ml HF, 滴加 HNO ₃ , 钨皿
钨: 1g	N	10ml HF + 5ml HCl, 然后加 HF + H ₂ O ₂ , 钨坩埚
钼: 0.5g	N	1g K ₂ Cr ₂ O ₇ + 2ml H ₂ PO ₄ + 10ml H ₂ O, 聚四氟乙烯皿
钨铁合金: 0.5g	Nb, Ta, Ti	40ml 混合酸 (200ml HCl + 300ml H ₂ O) + 200ml HF 用 H ₂ O 稀至 1:1; 最后滴加 HNO ₃ , 塑料器皿
钨钼-铁合金: 1g~2g	Nb, Ta	15g Na ₂ O ₂ + 2~5g K ₂ XO ₃ + 2~5g Na ₂ CO ₃ , 镍坩埚
钨钼-铁合金: 1g	Nb, Ta	18g Na ₂ O ₂ 熔融, 然后再用 10g Na ₂ O ₂ 熔融, 三氧化二钨坩埚
钨钼-铁合金: 0.5g~1g	Si, Ti	20g K ₂ S ₂ O ₇ , 钨皿

样品, 质量	待测元素	分解试剂 ⁽¹⁾
铌钽-铁合金: 1g~2g	Sn	15gNa ₂ O ₂ , 镍坩埚
碳化钽/钨: 0.1g~0.2g	Mn, W	1mlHF, 2滴~3滴HNO ₃ , 用H ₂ SO ₄ 冒烟, 钨皿
氧化钽/钨: 0.25g	Mo, W	2g~3gNa ₂ CO ₃ , 铂皿
氯化钽/钨、碳化钽/钨: 1g~5g	Co, Cr, Fe, Mn	10ml~30mlHF, 滴加HNO ₃ , 铂或聚四氟乙烯皿
氯化钽、碳化钽: 0.1g~1g	B	5g(NH ₄) ₂ SO ₄ +20mlH ₂ SO ₄ , 带有回流冷凝管的熔融石英烧杯
氧化钨/钨: 0.5g~1g	Si	5gNaOH, 镍坩埚
氧化钨/钽: 1g	P	12gNa ₂ O ₂ , 镍坩埚
铈矿石和矿渣: 2g~5g	Ni, Co, Cu	10mlH ₂ O+25ml(1N)用40mlH ₂ SO ₄ (1+1)冒烟
铈: 2.5g	Ni	50mlHNO ₃ (1+1), 若需要可加10mlHCl
铈: 1g	Co, Fe	20mlHNO ₃ (2+3), 用10mlHCl蒸发至干
铈: 10g	Cu, Mn, Pb, Zn	100mlHNO ₃ (2+3)
铈: 2.5g	Al, Mg	25mlHNO ₃ (1+1)
铈: 1g	Si	25mlHNO ₃ (1+4)
铈/铁合金: 5g	Ni	50mlH ₂ SO ₄ +50mlHNO ₃
铈/铜合金:	Cu, Co, Fe, Ni, Mo	20ml混合酸(200mlH ₂ O+200mlHNO ₃ +600mlHClO ₄)
铈/铜合金: 1g~2g	Sn	5mlHCl+20mlHNO ₃ (1+1)
铈/锡合金: 0.5g	Ni	20ml混合酸(10mlHNO ₃ +40mlH ₂ O+30mlHCl), 用10mlHClO ₄ 冒烟
铈/铬合金: 0.5g	Cr	10mlHClO ₄ +10mlH ₂ PO ₄
铈/钨合金: 见玻璃		
磷酸盐矿石: 0.1g	P, Fe, Si	4g混合熔剂(100gNa ₂ CO ₃ :30gNa ₂ B ₄ O ₇ +0.5gKNO ₃), 5min, 亮红热, 铂坩埚
白磷或红磷: 1g	微量元素	50ml7mol/LHNO ₃ , 石英器皿
P ₂ O ₅ : 0.5g	P, S	40mlNaOH(5%)+10gNa ₂ O ₂ , 用H ₂ O稀释至150ml, 然后煮沸15min
P ₂ O ₅ : 1g	Fe	10mlNaOH(30%)+30mlH ₂ O ₂ (15%), 石英烧杯
磷铁合金: 0.5g	P	20mlHNO ₃ (用H ₂ 饱和)+1mlH ₂ SO ₄ (1~2)mlHF铂皿
磷铁合金: 1g	P	3gNa ₂ CO ₃ +5g~7gNa ₂ O ₂ , 三氧化二铝坩埚
磷铁合金: 0.2g~0.5g	Mn	HF+HNO ₃ , 用15mlH ₂ SO ₄ (1+1)冒烟
磷铁合金: 0.3g	Si	40ml1-Evol+1L ⁽¹⁾ H ₂ SO ₄ +10ml3mol/L ⁽¹⁾ HNO ₃ +2.5mlHF, >3h, 80°C, 聚四氟烧杯
磷铁合金: 2.5g	Cr, Mn, V	20mlHNO ₃ +5mlH ₂ SO ₄ +5mlHF, 铂皿
铜铋磷合金: 0.5g	P	25mlHNO ₃ (2+3)
磷酸盐、聚磷酸盐: 0.5g	Fe, P	4gNaOH, 30min, 400°C, 金皿
聚磷酸盐: 1.5g	P, 碱金属	用25ml0.5mol/L ⁽¹⁾ H ₂ SO ₄ 煮沸3h, 回流下煮沸
铅矿石: 2g	Pb, Bi, Sb, Sn	10gNa ₂ O ₂ 与样品混合, 再用Na ₂ O ₂ +1gNaOH混合物覆盖, 铁坩埚
铅矿石: 1g	Pb, Zn	30mlHClO ₄ +3mlHNO ₃
铅矿石: 2g	Cu	30mlHCl, 温热至析出H ₂ S, 加5mlHNO ₃ , 蒸发至小体积
铅矿石: 1g~2g	Zn	用20mlHCl煮沸, 然后加10mlHNO ₃ +20mlH ₂ SO ₄ (1+1)并蒸发至干
铅矿石: 1g~5g	As	用浓HNO ₃ 分解, 然后用20mlH ₂ SO ₄ 冒烟

续表

样品质量	待测元素	分解试剂
铅: 2g~5g	Cu, Zn	10ml + 20ml H ₂ SO ₄
铅: 10g	Bi, Sb, Sn	10ml 6N 石炭酸溶液 0.2g + ml ⁻¹ + 25ml HNO ₃
铅: 25g	Fe, Zn	250ml HNO ₃ (1+1)
铅: 50g	As, Fe, Sb, Sn	250ml HNO ₃ (1+4)
铅: 20g	Ag, Bi, Cu	100ml HNO ₃ (1+3) 1g 酒石酸
铅: 10g	As	300ml FeCl ₃ 溶液 (250g FeCl ₃ · 6H ₂ O 加 HCl 至 1L)
铅合金: 2g	Pb, Cu	20ml HBr/Br ₂ (20ml Br ₂ + 180ml HBr)
铅合金: 10g	Pb, Te, Sb, Sn	100ml HCl/Br ₂ (10ml + 15ml Br ₂ + 100ml HCl)
铅合金 (硬铅): 10g	Pb, Cd, Cu	100ml HNO ₃ (1+1) + 100ml 饱和酒石酸溶液
铅合金: 10g	Ba, Ca, Fe, Li, Na, Ni, Sn, Zn	60ml HNO ₃ (1+2)
铅合金: 2g~10g	Al, As	20ml + 50ml H ₂ SO ₄
铅合金: 10g	Sn	50ml HCl (如果需要, 可加些 KClO ₃)
四氧化三铅: 1g	Pb, 杂质	10ml 2mol/L HNO ₃ + 3ml H ₂ O ₂ (3%)
四氧化三铅: 10g	金属铅	50ml 乙酸铵 (50%) (5g NaH ₂ PO ₄ + HCl + CH ₃ COOH, 加水至 150ml)
PbO ₂ : 2g	Pb	30ml HNO ₃ (1+2), 用 H ₂ SO ₄ (1+1) 冒烟
纯铅: 1g	Pt	20ml 王水, 然后加 3ml + 5ml HCl (1+1) 蒸发 2 次
纯铅: 0.25g	Pt, Pd, Ir, Rh	20ml 稀王水 (1+1)
铊: 1g	Rh, Pd, Pt, Au	氯化, 溶于王水 (RhCl ₃ 保持不溶), 氯化银变为 700°C
铊: 1g	Ru, Os, Pd, Ir, Rh, Pt	8g KOH + 1g KNO ₃ , 铊、银或金熔块
铊: 10g	Os	氟气流, 600°C ~ 850°C, 生成 (bCl ₂)
铊: 1g	Ru, Rh, Pd, Ir, Pt	4g KOH + 1g KNO ₃
铊: 1g	Ru, Rh, Pd, Os, Pt	氟化, 600°C, 用稀王水 (1+2) 提取残渣
铊矿: 1g	Os, Ir, Rh, Ru, Pd, Pt, As	4g KOH + 1g KNO ₃ , 用各种方法处理残渣
铂灰: 0.5g~1g	Pt	15ml 王水
铂灰: 0.5g~1g	Pd	15ml 王水
铂泥: 5g~12.5g	Pd, Pt, Ag, Au	60ml H ₂ SO ₄ , 煮沸 20min
催化剂: 5g~10g	Pt	稀王水 (1+3), 12h 水浴
铂矿石、矿渣、烟尘: 2g	Sb, Sn	20g Na ₂ O ₂ , 700°C, 铁坩埚
铂矿石、矿渣、烟尘: 2g	As	20ml HNO ₃ , 用 20ml H ₂ SO ₄ (1+1) 冒烟
铂矿石、矿渣、烟尘: 5g	Cu, Pb	100ml HBr + 10ml Br ₂ , 蒸发, 用 50ml HNO ₃ (1+1) 冒烟残渣
铂: 0.2g	Sb	20ml H ₂ SO ₄ , 然后加 40ml HCl + 30ml H ₂ O
铂: 2.5g	Bi, Sn	50ml HCl/Br ₂ (150ml Br ₂ + 150ml HCl)
铂: 5g~10g	As	250ml FeCl ₃ 溶液 (350g FeCl ₃ · 6H ₂ O + 1000ml HCl)
铂: 10g	Cu, Fe, Ni, Pb, Zn	200ml HCl/Br ₂ (150ml Br ₂ + 100ml HCl)
铂: 5g	S	30ml HBr (2+1)
铂合金: 见锡		
Sb ₂ O ₃ : 0.14g	Sb	10ml H ₂ SO ₄ + 0.5g S, 煮沸除硫测定锡 (1)
铈和镨矿石、矿渣: 50g	Se, Te	用水润湿, 然后加 200ml HNO ₃
铈: 1g	Se	30ml H ₂ O + 2g K ₂ SeO ₄
铈: 25g	Te	50ml HNO ₃ (d = 1.5), 用 20ml H ₂ SO ₄ (1+1) 蒸发 2 次

续表

样品、质量	待测元素	分解试剂
含锶岩石和沉积物: 0.5g~1g	Se	30g 缩合磷酸 (含 4% H_2PO_4) 加热至 320°C 和 0.1g NH_4Br , 玻璃烧瓶, 慢慢加热至 290°C, 在气流中蒸出 $SeBr_2$
锶: 0.5g	Te	50ml HCl (1:1) + 1g K_2SeO_4
碲: 10g	Se	100ml HCl (1:1) + 2g~10g K_2SeO_4
纯碲: 1g	Al, Ca, Fe, Na, P, Ti	1ml H_2SO_4 (1:1) + 3ml HF , 然后添加 3ml HNO_3 ; 再用 1ml HF + 5ml HNO_3 + 5ml H_2SO_4 (1:1) 加热至冒烟
硅: 硅铁合金: 0.4g~0.5g	Si	5g $KNaCO_3$ 覆盖 1g Na_2CO_3 熔块; 分次加入 5g Na_2O_2 并再熔块, 镍坩埚
硅铁合金: 0.1g	Si	40ml 1.5mol/L H_2SO_4 + 10ml 3mol/L HNO_3 + 2.5ml HF (40%), 2h, 50°C, 聚四氟乙烯杯
硅铁合金: 1g~2g	Fe, Si	20ml~30ml 10% 滴加 HNO_3 , 铂皿
硅铁合金: 1g	Al, Ca, Fe, Ti	像处理纯硅一样用 HF/H_2SO_4 冒烟, 用 $Na_2B_4O_7$ 在 110°C 熔块或溶
硅铁合金: 0.25g	Al, P	10ml 1% NO_2 (1:1); 分次加 5ml HF , 铂皿
硅铁合金: 1g	Si	5g $NaKCO_3$ 覆盖 2g $NaKCO_3$, 然后分次加 2g Na_2O_2 , 镍坩埚
硅铁合金: 1g	Mn	50ml HNO_3 + 3ml HF , 铂皿
Si_3N_4 : 0.25g	Al, Ca, U	15ml HF (20%~30%), 6h, 150°C, 有电磁搅拌的聚四氟乙烯内衬高压器
SiC : 0.2g	C	5g 硼酸铝; 氟气流, 1h; 共上柱瓷舟
石英、砂子: 1g~2g	主要杂质	在 1ml H_2O + 10ml HF + 1ml H_2SO_4 (1:1) 溶液中放置 12h, 然后用 5ml HF + 0.5ml H_2SO_4 冒烟, 金皿, 溶于 HCl (1:1)
硅酸盐 (普通):	主要成分	把样品与 8 倍样品量的 Na_2CO_3 混合, 于足磅灯熔融 30min, 不适于难溶硅酸盐 样品与 8 倍样品量的 Na_2CO_3 + $Na_2B_4O_7$ 混合, 并足磅灯熔融 30min, 适于所有的硅酸盐, 包括硅矿石 0.5g 样品 + 3g Na_2O_2 + 1.5g $NaOH$; 于 440°C 烧结 30min~50min, 适于难溶硅酸盐, 不适于硅矿石 0.5g 样品 + 2g H_2O ; 小心驱除水分, 然后并足磅灯加热 1min, 适于所有的硅酸盐 0.5g 样品 + 3g H_2O + 2g U_3O_8 ; 并足磅灯加热 15min; 不适于所有的难溶硅酸盐 0.2g 样品 + 1g H_2O ; 950°C 加热 10min~15min, 不适于所有的难溶硅酸盐, 或硅矿石
硅酸盐 (普通): 0.25g	Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si, Ti	2.5ml HCl + 3ml HF + 1ml HNO_3 ; 1.5h; 140°C; 聚四氟乙烯内衬高压器, 用原子吸收光谱法测定
硅酸盐 (普通): 0.1g	Al, Fe, K, Na, Mg, Ti	3ml H_2SO_4 + 5ml HF (重复加); 水浴; 铂皿; 用原子吸收光谱法测定
硅酸盐 (普通): 0.1g	Al, Ca, Fe, Mg, Na	3ml H_2O + 5ml HF (重复加); 水浴; 铂皿; 用原子吸收光谱法测定
硅酸盐 (普通): 0.25g	Ca, Co, Cr, Fe, K, Mg, Na	1.5g $LiNO_3$, 铂坩埚, 在 1500°C 加热至熔体沸腾, 溶于 125ml 2.5mol/L HCl ; 用原子吸收光谱法测定
硅酸盐 (普通):	主要成分 (Si, B, F 除外)	HF + $HClO_4$ 0.5ml H_2O + 5ml HF ; 1ml $HClO_4$; 用 1ml 高氯酸重复冒烟; 用 2ml HCl (1:1) 溶解 1ml H_2O + 10ml HF ; 2ml $HClO_4$; 用 1ml 高氯酸重复冒烟; 用 5ml HCl (1:1) 溶解 1ml H_2O + 10ml HF ; 2ml $HClO_4$; 用 2ml $HClO_4$ 重复冒烟; 用 10ml HCl (1:1) 溶解

续表

样 品; 质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂 ¹⁾
含二氧化硅低的矿物; 1g 含三氧化二铁小于1%的硅酸盐; 1g~2g	主要成分	1ml H ₂ O+25ml HCl (1+1), 加热
硅酸盐; 1g	主要成分	30ml HCl (1+1) + 0.5ml H ₂ SO ₄ (1+1)
硅酸盐, 玻璃; 0.3g	碱金属	1ml H ₂ O + 15ml HF + 2ml HClO ₄ , 用 HClO ₄ 重复冒烟
硅酸盐; 约0.2g	B	1g~2g NaOH; 金或铂皿; 10min; 150°C
硅酸盐; 1g	F	热水解; 与1.5倍样品量的H ₂ O ₂ 混合; 950°C; 维克玻璃仪器
硅酸盐; 1g~2g	F	热水解; 与1.5g Cl ₂ O ₂ 混合; 950°C; 维克 玻璃仪器
硅酸盐; 1g	Ti, Zn	1ml H ₂ O+10ml HF+1ml H ₂ SO ₄ (1+1); 放置12h, 然后加热至冒烟; 用5ml HF + 0.5ml H ₂ SO ₄ 重复冒烟; 用2ml H ₂ SO ₄ 溶解 残渣
硅酸盐; 1g	Fe	1ml H ₂ O+10ml HF+10ml HNO ₃ , 蒸发至 干, 加5ml HNO ₃ 再蒸发至干; 用10ml H ₂ O 溶解残渣
硅酸盐; 1g	P, Si	5g NaOH; 30min; 450°C; 金皿; 残渣溶 于75ml HCl (1+1)
铝硅酸盐 (透闪石、长石、高岭 土); 1g	主要成分 (除 Si, B, F 外)	1ml H ₂ O + 10ml HF + 1ml H ₂ SO ₄ (1+1); 放置30min~12h, 然后加热至冒烟; 加5g K ₂ S ₂ O ₈ 加热至350°C, 再在550°C 熔10min; 残渣溶于10ml HCl (1+1) 110ml H ₂ O
高岭土; 碱金属小于1%而铜、钨、 钼的硅酸盐; 1g	主要成分	1ml H ₂ O+10ml HF+1ml H ₂ SO ₄ (1+1); 放置30min~12h, 然后加热至冒烟; 加5g K ₂ S ₂ O ₈ 加热至350°C, 再在550°C 熔10min; 残渣溶于10ml HCl (1+1) 110ml H ₂ O
高铝铝硅酸盐; 0.5g		2.5g Na ₂ CO ₃ + 1.5g Na ₂ B ₄ O ₇
水泥 (波特兰水泥、波特兰矿渣水 泥、火山灰水泥)	Al, Ca, Fe, Mg, Si	2.5g NH ₄ Cl + 10ml HCl
铝硅酸盐 (粘土、长石、陶瓷等, Al ₂ O ₃ 小于45%); 1g	Si	2g Na ₂ CO ₃
铝硅酸盐 (Al ₂ O ₃ 小于45%); 1g	Si	2.5g Na ₂ K ₂ CO ₃ + 1g Na ₂ B ₄ O ₇
铝硅酸盐 (Al ₂ O ₃ 小于45%); 1g		在10ml HF + 1ml 约5mol/L H ₂ SO ₄ 混 酸中放置30min~60min; 加热至冒烟; 用 10ml HF + 1ml H ₂ SO ₄ 蒸发至干, 加热至 600°C 5min, 然后在950°C~1000°C 用 2.5g Na ₂ CO ₃ + 1g Na ₂ B ₄ O ₇ 熔融
富铝红柱石; 1g	Al, Ti, Fe, Mg, Si, Ti	2g Na ₂ CO ₃ ; 60min; 1200°C; 铂坩埚
富铝红柱石; 1g	Ca, Fe, Mg, K, Na	5ml HNO ₃ (1+1) + 5ml HClO ₄ (1+1) + 10ml HF; 蒸发至干, 再加5ml HClO ₄ (1+ 1) 蒸发至干并重复; 使用铂坩埚
钠-钙玻璃; 1g	S	2g Na ₂ CO ₃ 与样品混合, 再覆盖 1g Na ₂ CO ₃ ; 15min~20min; 1000°C 铂坩埚
钠-钙玻璃; 2~5g	Al, Ca, Fe, Mg, K, Na, Ti	3ml H ₂ O + 20ml HF + 2ml H ₂ SO ₄ (1+1) 加热至冒烟, 再加5ml HF 蒸发至干, 在 550°C 加热残渣15min~20min; 于铂皿中, 残渣溶于10ml HCl (1+1)
钠-钙玻璃; 1g	K, Na	1ml H ₂ O + 10ml HF + 2ml HClO ₄ , 加热至 冒烟, 再加2ml HF 并加热至干, 加2滴~3 滴 HClO ₄ 加热至冒烟; 铂皿, 残渣溶于50ml 水
钠-钙玻璃; 2~5g	S	8g Na ₂ CO ₃ 与样品混合, 再覆盖 1.5g Na ₂ CO ₃ ; 10min; 1100°C; 铂皿
钠-钙玻璃; 1g	Al, Ba, Ca, Fe, Ti, Mg	1ml H ₂ O + 10ml HF + 1ml H ₂ SO ₄ (1+1); 铂皿
钠-钙玻璃; 1g	K, Na	1ml H ₂ O + 10ml HF + 2ml HClO ₄ ; 铂皿
钠-钙玻璃; 1g	Al, Ba, Ca, Fe, Mg, Ti, Zn	1ml H ₂ O + 10ml HF + 1ml H ₂ SO ₄ (1+1); 铂皿

续表

样品: 质量	待测元素	分解试剂 ^c
磷酸盐玻璃: 0.25g	B	4g NaOH; 30min; 400°C; 金皿
乳白玻璃: 1g	Al, Ba, Ca, Fe, Mg, Ti, Zn	1ml H ₂ O + 10ml HF + 1ml H ₂ SO ₄ (1+1); 铂皿
乳白玻璃: 0.5g	Cs, K, Na, Mg, Zn	1ml H ₂ O + 10ml HF + 1ml H ₂ SO ₄ (1+1); 铂皿
乳白玻璃: 1g	P	4g NaOH; 30min; 400°C; 金皿
磷酸盐玻璃: 1g	Al, P	1ml H ₂ O + 10ml HF + 1ml H ₂ SO ₄ (1+1); 加热至冒烟, 加 5ml HF + 1ml H ₂ SO ₄ , 再加热至冒烟, 用 10g Na ₂ CO ₃ + 0.2g NaNO ₂ 熔融 10min, 用 120ml H ₂ O 提取, 过滤, 再用 3.5g Na ₂ CO ₃ + 1.5g Na ₂ B ₄ O ₇ 熔融残渣
萨普雷马克玻璃: 1g	Al, Ba, Ca, Fe, Mg, Ti, Zn	1ml H ₂ O + 10ml HF + 1ml H ₂ SO ₄ (1+1); 加热至冒烟, 加 5ml HF 和 1ml H ₂ SO ₄ , 加热至冒烟, 在 500°C 加热 5min, 用 10g Na ₂ CO ₃ + 0.2g NaNO ₂ 熔融残渣
萨普雷马克玻璃: 3g	K, Na	1ml H ₂ O + 10ml HF; 1ml HClO ₄ ; 铂皿
萨普雷马克玻璃: 1g	Sn	5g Na ₂ CO ₃ ; 铂坩埚
铅玻璃: 0.5g	Pb	1ml H ₂ O + 10ml HF + 2ml HClO ₄ ; 铂皿; 残渣溶于 HCl (1+1)
铅结晶玻璃: 1g	Al, Ba, Ca, Fe, Pb, Ti	1ml H ₂ O + 10ml HF + 2ml HClO ₄ ; 加热至冒烟, 加 1ml HClO ₄ , 再加热至冒烟, 铂皿; 残渣溶于 10ml HCl (1+1)
制造安瓿的棕色玻璃: 1g	Sb	几滴 H ₂ O + 10ml HF + 0.5ml ~ 1ml HClO ₄ ; 铂皿
制造安瓿的棕色玻璃: 0.3g ~ 0.5g	As	3g ~ 5g Na ₂ CO ₃ ; 铂坩埚
锡矿石、灰分、矿渣: 2g ~ 5g	Sn, Sb, W	10g ~ 20g Na ₂ CO ₃ + 5g ~ 10g NaOH; 慢慢加热至暗红色; 快熔块
锡矿石: 1g	As	20ml HNO ₃ (1+1); 煮沸; 加 20ml H ₂ SO ₄ (1+1); 加热至冒烟
纯锡: 1g	As, Sb	15ml 浓 H ₂ SO ₄ ; 冒烟 10min
锡合金: 1g	Sn, Cd, Cu, Pb, Sb, Zn	25ml Br ₂ /HCl (150ml Br ₂ + 1000ml HCl); 缓慢加热
青铜: 2g	Cu, Pb	25ml HNO ₃ (1+1); SnO ₂ ; 留于残渣中
青铜: 1g ~ 2g	Sn	5ml HCl + 20ml HNO ₃ (1+1)
青铜: 1g	Su	60ml HCl (1+1) + 7ml H ₂ O; (30%)
铜/锡/铅合金: 0.5g ~ 1g	Pb	5ml HRF + 10ml HNO ₃ (1+1)
铜/锡合金 (焊料): 0.3g ~ 1.5g	Sn	20ml H ₂ SO ₄ + 5g KHSO ₄
铜/铅/锡/铋合金 (轴承合金): 0.3g ~ 2g	Sn	20ml H ₂ SO ₄ + 5g KHSO ₄
铜/铅/锡/铋合金: 2g	Cu, Pb	20ml Br/HBr (20ml Br ₂ + 180ml HBr)
铋/锡/铋合金: 5g	As	20ml H ₂ SO ₄ + 15g KHSO ₄
铋/锡/铋合金: 2g	Cu	20ml Br ₂ /HBr (20ml Br ₂ + 180ml HBr)
长石英 (SiSO ₄) ₄ : 1g	Al, Ba, Ca, Fe, Sn, Sr	2g 2g Na ₂ CO ₃ 混合, 再覆盖 7g ~ 9g Na ₂ CO ₃ ; 在铂坩埚内烧结, 然后在 1,000°C 加热 45min, 溶于 50ml 热 H ₂ O
钽: 见钽		
铌: 见铌		
二氧化铌: 1g	Tb	5ml ~ 10ml HClO ₄ ; 加热至冒烟; 加 1 滴 HF 并加热
钛矿石: 0.35g ~ 0.25g	Ti	1.5g ~ 2.5g K ₂ SeO ₇ ; 石英坩埚
钛矿石: 1g	Al, Cr, Ti, V	7g NaOH + 3g Na ₂ CO ₃ ; 铂坩埚
二氧化钛精矿: 0.2g ~ 0.3g	Ti	5g Na ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃ /Na ₂ B ₄ O ₇ (1-1+1); 铂坩埚; 950°C
钛铁矿: 0.2g ~ 0.3g	Ti	5g Na ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃ /Na ₂ B ₄ O ₇ ; 铂坩埚; 950°C

续表

样 品 质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂 ^a
纯钛、海绵钛: 1g	Cl, Fe, Mg	10ml H ₂ O + 5ml HF (滴加)
纯钛: 0.5g	Al, Mg	40ml H ₂ SO ₄ (1-4)
纯钛: 1g	Fe	50ml HCl (1+1) + 6 滴 HF
纯钛: 0.5g	Si	40ml H ₂ O + 5ml HF (150ml HF + 350ml H ₂ O)
钛/铝合金: 0.5g	Al	40ml H ₂ SO ₄ (1-4)
钛/锡合金: 0.25g~0.50g	Cr	50ml H ₂ SO ₄ (1-4)
钛/钒合金: 0.5g~1g	V	50ml~100ml H ₂ SO ₄ (1+1)
钛铁合金: 1g	Al, Ti	30ml HCl (1+1)
钛铁合金: 0.5g	Ti	40ml H ₂ SO ₄ (1+1)
钛铁合金 (酸不溶): 0.5g	Ti	12g Na ₂ O ₂ + 4g Na ₂ CO ₃ ; 氧化铝坩埚
钛铁合金: 2.5g	Cr, V	100ml HCl (1+1) + 90ml H ₂ SO ₄ /H ₂ PO ₄ 320ml H ₂ SO ₄ (1+1) + 80ml H ₃ PO ₄ 加水至 1600ml
二氧化钛颜料: 见无机颜料		
瓷原料: 2g	Ti	25ml HNO ₃ (1+1) + 25ml H ₂ SO ₄ (1+1)
瓷: 5g	Ag, Bi, Cd, Cu, Fe, Hg, Zn	20ml HNO ₃ (1+1)
瓷: 5g	As	30ml H ₂ SO ₄
铀矿石: 0.5g~4g	U	5ml HNO ₃ + 30ml HF, 加热至干, 再加2~3ml H ₂ SO ₄ 并加热至冒烟
铀精矿: 10g	U	少许 H ₂ O + 50ml HNO ₃ (1+1)
铀精矿: 1g	B	10ml H ₃ PO ₄
钒矿石: 5g	V, Pb	40ml HNO ₃ (1+1) + 20ml HCl (1+1), 如果需要, 加几滴 HF; 加 80ml H ₂ SO ₄ (1+1) 加热至冒烟
钒矿石, 矿渣, 残渣: 2g	V	15g Na ₂ O ₂ + 5g Na ₂ CO ₃ ; 铁坩埚
钒铁合金: 0.25g	V	30ml 混合酸 (600ml HNO ₃ (1+1) + 300ml H ₂ SO ₄ + 30ml HCl (1+1))
钒铁合金: 2g	Si	15g Na ₂ O ₂ ; 镍坩埚
钨矿石: 2.5g	W, Mo	15g NaKCO ₃ ; 镍坩埚或铂皿
钨矿石: 2g	W, Mo, As, Sn	20g NaKCO ₃ ; 镍坩埚
钨矿石: 1.25g	Fe, Mn	25g Na ₂ O ₂ ; 氧化铝坩埚
钨矿石: 1g	As	15g Na ₂ O ₂ + 5g NaKCO ₃ ; 镍坩埚
钨矿石: 1g~2g	Ca	10g Na ₂ O ₂ + 5g NaKCO ₃ ; 氧化铝坩埚
钨矿石: 0.1g~1g	Cl, F	热水解; 加 1g SiO ₂ + 0.5g V ₂ O ₅ ; 1900℃~1300℃
钨矿石: 2.5g	P	100ml 王水
钨/铋矿: 2.5g	Sn	25g Na ₂ O ₂ ; 铁坩埚
钨矿石: 0.25g	Hf	0.5ml H ₂ SO ₄ + 0.5ml HClO ₄ ; 加热至冒烟 再用 3g K ₂ S ₂ O ₇ 熔融; 石英坩埚
钨: 1g	W, Sn	空气中 700℃ 氧化, 然后用 2g NaKCO ₃ ; 铂坩埚熔融
钨: 1g	Ca, Fe, K, Mo, Na (微量)	5ml HF + HNO ₃ (滴加); 铂坩埚; 水溶上; 用原子吸收光谱法测定
钨粉: 2g	Fe, Mn	2ml~3ml H ₂ O + 10ml H ₂ O ₂ (30%) (分几次加入)
H ₂ WO ₄ : 2g	Pb, Mo	2ml~3ml H ₂ O + 10ml H ₂ O ₂ (30%) (分几次加入); 溶干 25ml NaOH (0.3g·ml ⁻¹)
WO ₃ : 3g	Si	2.5g Na ₂ CO ₃ ; 再用 2.5g Na ₂ CO ₃ 覆盖; 铂皿
WO ₃ : 0.1g~1g	B	20ml H ₂ SO ₄ + 5g (NH ₄) ₂ SO ₄ ; 石英烧瓶; 回流冷凝管
碳化钨: 1g	Ca, Fe, K, Mo, Na	5ml HF + HNO ₃ (滴加); 铂皿; 水溶上

续表

样 品; 质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂 ^①
氯化钙: 0.1~1g	B	20ml H_2SO_4 + 5g $(NH_4)_2SO_4$; 石英烧瓶, 回流冷凝管
氯化钙-锡: 0.2g~0.3g	Ti	10g Na_2O_2 ; 用 5g $K_2S_2O_8$ + 10 滴 H_2SO_4 熔融残渣; 氧化铝坩埚
锌原料、飘尘: 1.25g	Zn, Ba, Cd, Cu, Pb	少许 H_2O + 15ml HCl + 5ml HNO_3 ; 蒸发至干; 溶于 5ml HCl (1+1), 加 10ml H_2SO_4 (1+1) 加热至冒烟
锌原料、飘尘: 3g	F, Sn	10g Na_2O_2 + 10g $NaOH$; 镍坩埚
锌原料、飘尘: 1.25g~5g	全硫	50ml~100ml 用 Br_2 饱和的 HCl ; 冷浸取 1h
锌原料: 0.5g~1g	硫化物硫	20ml H_2O ; 80ml 酸性混合物 (250ml HCl + 40g $SnCl_2 \cdot 2H_2O$, 加水至 1000ml)
锌原料、飘尘: 5g~10g	Cl	100ml HNO_3 (1+2); 2h, 冷却
锌钨粉: 1g	Ca, Mg	20ml HCl + 少许 HNO_3
锌, 锌合金: 20g	Cd, Cu, Pb	30ml HNO_3 (2+1)
纯锌: 200g	Cd	650ml HCl ; 慢慢加入 100ml HNO_3
锌: 1g	Cd, Pb	10ml HCl
粗锌: 20g	Pb	150ml H_2O + 30ml H_2SO_4
锌: 0.5g	Pb	20ml HNO_3 (15+85)
锌合金: 10g	Al, Mg	35ml HCl
锌、锌合金: 2g	Fe, Sn	20ml HCl ; 用几滴 H_2O_2 (30%) 氧化
铜/镍/锌合金: 2g	Zn	25ml HNO_3 (1+1)
锌/铜/铝合金: 1g	Al	20ml H_2SO_4 (1+5)
锌/铜/铝合金: 2.5g	Cu	20ml HNO_3 (1+1)
铜/锌合金: 见铜		
铜白: 见无机颜料		
$ZrSiO_4$: 0.1g	Zr	0.5g KHF_4 ; 加热至液体变为固体, 然后加 5ml H_2SO_4 (1+1), 蒸发除去大部分硫酸; 溶于 50ml HCl (1, 1)
$ZrSiO_4$: 0.5g	Zr	2.5g Na_2CO_3 + 1.5g $Na_2B_4O_7$; 高温炉加热
铈合金: 1g	Cr, Fe, Ni	15ml H_2SO_4 ; 小心滴加 H_2O_2 至反应开始
铈/锡合金: 3g	Sn	50ml H_2SO_4 (1+1); 加热至冒烟
铈/锡合金: 2g~4g	Sn	50ml HCl + (2~3)ml HF (分几次加); 锥形瓶
铈合金: 2g	Mn	40ml H_2SO_4 (1+1) + 2ml HF (滴加); 铂皿
铈合金: 1g	Cu, Si	15ml H_2O + 2ml HF ; 铂皿
铈铁合金: 1g	Zr	20ml HNO_3 ; 滴加 HF ; 铂皿
铈铁合金: 1g	Zr	5ml H_2SO_4 ; 慢慢滴加 20ml HF ; 加热至冒烟; 铂皿
铈铁合金: 0.5g	Si	4g~5g $NaKCO_3$ 与样品混合, 覆盖 1g $NaKCO_3$; 慢慢加热烧纳, 然后加 5~6g Na_2O 并熔融; 镍坩埚
硬质合金:		
1g	Co	5ml HF + 1ml HNO_3 ; 铂皿
2.5g	Co, Mo, W	5ml~10ml HF + HNO_3 (滴加) 加至冒烟, 然后用 15g $NaKCO_3$ 熔融残渣; 铂皿
1g	Mo, W	10g Na_2O_2 + 5g Na_2CO_3 ; 铁坩埚
1g	Co, Fe, Nb	40ml HNO_3 + 5ml HF
	Ni, Ta, Ti	用 10ml H_2SO_4 加热至冒烟; 铂皿
2g	Cr, V	40ml HNO_3 + 5ml HF + 20ml H_2SO_4 (1+1) + 50ml; 铂皿
2g	Nb, Ta	10ml HF + HNO_3 (滴加); 铂皿
0.5g	Zn	5g $K_2S_2O_8$; 熔融后, 加 10 滴 H_2SO_4 再熔融

续表

样 品 质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂 ^①
无机颜料		
氧化铁颜料: 2g	Fe, Al	50ml HCl + 2ml HNO ₃
氧化铁颜料: 1g	Cu, Mn	50ml HCl (1+1)
氧化铁颜料: 1g	Fe (Ⅱ)	100ml H ₂ SO ₄ (1+1), CO ₂ 气氛
二氧化钛颜料: 0.15g	Ti	15ml 酸性混合物 (500g (NH ₄) ₂ SO ₄ + 750ml H ₂ SO ₄), 凯氏烧瓶
二氧化钛颜料: 1g	Sb, Si	30ml 上述的酸性混合物, 凯氏烧瓶
二氧化钛颜料: 0.1g	Al	1.5g K ₂ S ₂ O ₈ , 石英坩埚
二氧化钛颜料: 1g	微量金属	10ml HF
碳酸铅: 0.5g~1g	Pb	10ml HNO ₃ (约 4mol · L ⁻¹)
四氧化三铅 (红丹): 0.5g~1g	Pb	10ml HNO ₃ (约 4mol · L ⁻¹)
四氧化三铅 (红丹): 0.5g~1g	Pb (IV)	25ml CH ₃ COONa (每升 600g 三水合乙酸 钠) + 25ml CH ₃ COOH (30%) + 30ml 0.1mol · L ⁻¹ Na ₂ S ₂ O ₄ 滴定剩余的硫酸根基
四氧化三铅 (红丹): 10g	不溶的残渣	20ml HNO ₃ (约 4mol · L ⁻¹) + H ₂ O ₂ (3%, 滴加)
锌白: 1.25g	Zn	5ml HCl (1+1)
锌白: 10g~50g	Pb, Mn	20ml~130ml HCl
锌白: 40g	Ca, Mg	50ml H ₂ SO ₄ (1+1) + 125ml H ₂ O
锌白: 50g~100g	Cu, Cd	(200~300) ml H ₂ O + (150~250) ml HNO ₃
锌白: 50g	Fe	300ml H ₂ O + 125ml HNO ₃
锌白: 20g	Cl	200ml H ₂ O + 50ml HNO ₃
氧化铬颜料: 0.5g	Cr	5g~5g Na ₂ O ₂ ; 氧化铬坩埚
氧化铬颜料: 5g	Si	20ml H ₂ SO ₄ (1+1) + 25ml HClO ₄ (60%), Cr (Ⅲ) 氧化
氧化铬颜料: 5g	Cu, Mn	40ml HClO ₄ (60%), Cr (Ⅲ) 氧化

①分解试样用的试剂, 未注明浓度者均为未经稀释的市售浓溶液。

主要参考文献

1. 中华人民共和国国家标准, GB 5003-85, 试验师, 北京: 中国标准出版社, 1985.
2. 鲁道夫·博克著, 谢长生等译, 分析化学分解方法手册, 贵阳: 贵州人民出版社, 1982.
3. 中国光学光谱专业委员会编, 分析样品的预处理, 1985.

第三篇 安全知识

第七章 分析实验室一般安全操作守则

第一节 一般安全操作

一、防止中毒

(1) 一切试剂药品瓶，要有标签。剧毒性药品必须制订保管、使用制度，专人管理，并严格遵守。此类药品应设专柜并加锁，须与一般药品分开。毒性物质撒落时，应立即全部收拾起来，并把落过毒物的桌子和地板洗净（采用冲洗、中和、稀释、消毒等方法）。

(2) 严禁试剂入口，用移液管吸取有毒样品时应用橡皮球操作不得用嘴；如须以鼻鉴别试剂时，应将试剂瓶远离鼻子，以手轻轻煽动，稍闻其味即可，严禁以鼻子接近瓶口鉴别。

(3) 严禁食具和仪器互相代用。如曾使用毒物进行工作，则离开实验室时要仔细洗手、洗脸和漱口，脱去工作服。

(4) 对于某些有毒的气体或蒸气，如氮的氧化物、溴、氯、硫化氢、汞、磷、砷化物、氢氟酸、吡啶等，必须在抽毒罩和通风橱内进行操作处理，头部应该在通风橱外面，否则，可能引起危害健康的人身事故。凡有必要使用防毒面具的工作地点应悬挂一个防毒面具，以备分析人员急需时戴用。

(5) 取有毒试样时需站在上风；采用球胆取气分析时，要保证球胆不漏气，用完后要放在室外排空。

(6) 中毒时必须急救中毒者，如果是由于吸入煤气或其他毒性气体、蒸气，那么应立即把中毒者移到新鲜空气中，如果中毒是由于吞入毒物，那么最有效的办法是借呕吐以排除胃中的毒物，必须立即将发生的中毒事故通知医务所，救护得愈早，恢复健康也愈快。

二、防止燃烧和爆炸

(1) 挥发性有机药品应存放在通风良好的处所、冰箱或铁柜内。易燃药品如汽油、乙醚、二硫化碳、苯、酒精及其他低沸点物质，煤焦油馏产物等不可放在煤气灯、电炉或其他火源的附近。因这类易燃性有机溶剂的蒸气大都比空气重，能在地面上或工作台上流动，而在相当远处被火焰点着甚至引起爆炸。室温过高，启用易挥发物时应设法冷却。

(2) 启开易挥发的试剂瓶时，尤其在夏季，不可使瓶口对着自己或他人的脸部。因在启开时常极易有大量气液冲出，如不小心，会引起严重伤害事故。在室温高的情况下打开密封的装有易挥发试剂的瓶子时，最好先把试剂瓶在冷水里浸一段时间。

(3) 实验过程中对于易挥发及易燃性有机溶剂如有必要以加热排除时，应在水浴锅或严密电热板上缓慢地进行，严禁用火焰或电炉直接加热。

(4) 在蒸馏可燃性物质时，首先应将水充入冷凝器内，并确信水流已定时，再旋开开

关加热（不能用直接火加热）。接收器最好置于沙浴中。在蒸馏过程中要时刻注视仪器和冷凝器的正常工作，甚至在短时间内也不能置之不顾。如需往蒸馏器内补充液体，应先灭火，放冷后再进行。

（5）身上或手上沾有易燃物时，应立即清洗干净，不得靠近灯火，以防着火。落有氧化剂溶液液滴的衣服，稍微加热就能发火，应注意及时予以清除。

（6）高温物体如灼热的坩埚、磁舟或燃烧管等，要放在不能起火的安全地方。

（7）严禁氧化剂与可燃物一起研磨，不能在纸上称量过氧化钠。在工作中不要使用不知其成分的物质，因为反应时可能形成危险的产物（包括可燃性的、有爆炸性的或有毒性的产物）。

（8）爆炸类药品，如苦味酸、高氯酸和高氯酸盐、过氧化氢以及高压气体等，应放在低温处保管，不得与其他易燃物放在一起，移动或起用时不得激烈振动，高压气体的出气口不准对着人。

（9）易发生爆炸的操作，不得对着人进行。例如过氧化钠熔融时，坩埚口不得对着人；又如用高氯酸处理或回收含高氯酸的冰醋酸时，要加强安全措施，应事先避免可能发生的伤害，必要时，应戴面罩或使用防护挡板。

（10）装有挥发性物或受热分解放出气体的药品（如五氯化磷）的瓶子最好不用石蜡封瓶塞。当瓶口因用蜡封住而打不开时，不能把瓶子放在火上烘烤。

（11）分析中，有时需要对加热处理的溶液在隔绝二氧化碳的情况下冷却，但冷却时不能把容器塞紧，以防冷却时爆炸，可以在塞子上装碱石灰管。

三、防止腐蚀、化学灼烧、烫伤、割伤

（1）腐蚀类刺激性药品，如强酸、强碱、浓氨水、三氯化磷、氯化氧磷、浓过氧化氢、氢氟酸、冰醋酸和溴水等，取用时尽可能戴上橡皮手套和防护眼镜等。如瓶子较大，搬运时必须一手托住底部，一手拿住瓶颈。腐蚀性物品不得在烘箱内烘烤。用移液管吸取有腐蚀性、刺激性液体时，必须用橡皮球操作。

（2）开启大瓶液体药品时，须用锯子将石膏锯开，禁止用他物敲打，以免瓶子破裂。要用手推车或担架以搬运装酸或其他腐蚀性液体的坛子，严禁把坛子背扛搬运！要用特备的虹吸管移出有危险性的液体，并戴上保护眼镜、橡皮手套和围裙。

（3）稀释硫酸时必须在烧杯等耐热容器内进行，而且必须在玻璃棒不断搅拌下，仔细缓慢地将浓硫酸加入水中，而绝对不能将水加注到硫酸中去。在溶解氢氧化钠、氢氧化钾等发热物时，也必须在耐热容器内进行。如需将浓酸或浓碱中和，则必须先行稀释。

（4）在压碎或研磨苛性碱和其他危险物质时，要注意防范小碎块或其他危险物质碎片溅散，以免严重烧伤眼睛、面孔或身体的其他各部位。

（5）用浓硫酸做加热浴的操作（如测定熔点）必须小心进行，眼睛要离开一定距离，火焰不能超过石棉网的石棉芯，搅拌时要小心均匀。某些在浓硫酸介质中进行的检定反应（例如用靛兰检定硝酸根）及加入浓硫酸混匀时应该用玻璃棒搅拌，切忌以振摇代替搅拌，以免突然发热溅出伤人。

（6）取下正在沸腾的水或溶液时，须先用烧杯夹子摇动后才能取下使用，以防使用时突然沸腾溅出伤人。

（7）切割玻璃管（棒）及塞子钻孔，往往造成伤害。要记住使用玻璃和打孔器的安全工

作的基本规程。往玻璃管上套橡皮管时,必须正确选择它的直径,不要使用薄壁的玻璃管,且须将管端烧圆滑后才插入。最好用水或甘油浸湿橡皮管的内部,并用布裹手,以防玻璃管破碎时扎伤手部。把玻璃管插入塞内时,必须握住塞子的侧面,不要把它撑在手掌上。

(8) 装配或拆卸仪器时,要防备玻璃管和其他部分的损坏,以避免受到严重的伤害。特别是在拆卸仪器时这种危险更大。因为在这种情况下,仪器的各个玻璃组成部分常带有毛刺或脏物,工作中应经常采取防止损坏的措施,如用金属的(或厚玻璃的)保护管连接在要加固的玻璃零件上,或者在连接的零件之间放置有弹性的衬垫等。

四、其他方面

(1) 分析室应装备足够数量的安全用具,如沙箱、灭火器、救火毯子、冲洗龙头、洗眼器、护目镜、屏障、防护衣和防毒面具;每个工作人员都应知道其放置位置和安全使用方法。每个工作人员还应该知道实验室内煤气阀、水阀和电闸的位置,以便必要时可随时关闭。

(2) 工作人员必须熟悉和遵守化学危险品安全使用规程、以及煤气、电器设备安全守则。

(3) 分析室内禁止吸烟、进食,也不能用烧杯等仪器当茶杯使用。禁止赤膊、穿拖鞋进入分析实验室。

(4) 一切固体不溶物、浓酸和浓碱废液,严禁倒入水槽,以防堵塞和侵蚀水道。残余毒物更应采取妥善处理,切勿任意丢弃或倒在水槽中。含氰化钾(钠)的废液,应先将 CN^- 转化成 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 后再倒入水槽(每200ml废液中加25ml 10%碳酸钠及25ml 30% $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液,搅匀)。

(5) 分析室工作结束后,应当进行安全检查,离开时要关闭一切电源、热源、水源和门窗。

第二节 使用煤气设备的安全守则

(1) 煤气灯及煤气管道要经常检查,如果在实验室内已闻到煤气的气味,要立即停止使用,在没有完全排除房间内的煤气前,不要点火,也不要接通电流,要及时修理,修好后再用,煤气有双重危险性,因为它不仅有毒,并且能与空气形成爆炸性混合物。漏出煤气的房间,待换过新鲜空气后,用肥皂水涂于可疑处或接头处,试验和检查煤气设备中漏气之处,严禁用火试验。

(2) 点煤气灯时,必须先闭风,次点火,再开煤气,最后调节风量。停用时要先闭风,后闭煤气。如不依次序,就有发生爆炸和火灾的危险。

(3) 由于煤气开关或导管零件装配不紧,造成煤气侵入空气中而着火时,立即关闭通向漏气地点途中的开关或气阀,立刻用湿抹布或石棉纸覆盖物等扑灭火焰,在未修好之前,不准使用这段煤气线路。

(4) 使用煤气灯时要注意防止内燃,下班前更要详细检查是否完全熄灭,以免发生意外。

(5) 因发生故障临时停止煤气供应时,要立即关闭一切仪器上的煤气开关、分开关和总开关,因此时往往容易忘记关闭开关,以致恢复煤气供应时,使实验室内充满煤气。

(6) 无人在室内,禁止使用煤气灯。

(7) 在点燃的煤气灯的近旁,不得放置易燃物品(如抹布、毛巾,易燃易爆的药品、试剂等)。

第三节 使用电器设备的安全守则

- (1) 一切电器设备在使用前,应检查是否漏电,外壳是否带电,接地线是否脱落。
- (2) 在使用电气动力时,必须事先检查电开关、马达和机械设备的各部分是否安置妥善。
- (3) 开始工作或停止工作时,必须将开关彻底扣严或拉下。
- (4) 安置电器设备的房间、场所,必须保持干燥,不得有漏水或地面潮湿现象。注意电线的干燥度,遵守使用电器的规程,离开房间时,要切断电加温仪器的电流。
- (5) 在更换保险丝时,要按负荷量选用合格保险丝,不得加大或以铜丝代替使用。
- (6) 在实验室内不要有裸露的电线头,不要用它接通电灯、仪器或电动机。要记住实验室内发出火花的危险性,因空气中可能有构成爆炸混合物的可燃性气体或蒸气。
- (7) 电器开关箱内,不准放任何物品,以免导电燃烧。
- (8) 严禁用铁柄毛刷清扫电门和用湿布擦电门。严禁用潮湿的手接触电器。擦拭电器设备前,应将全部电源断开。
- (9) 凡电器动力设备如电风扇、马达等发生过热现象,应立即停止运转,并请求维修。
- (10) 实验时必须先接好线路再插上电源,实验结束时,必须先切断电源,再拆线路。
- (11) 停止电流供应时,要关闭一切加温和其他电气仪器,只连接着一盏检查灯,电灯明亮时指示电流已恢复供应,然后遵守为开始接通仪器时所规定的一切预防方法重新进行工作。如果中断电流供应,忘记关闭一切开关,当恢复电流供应时,在仪器内(特别是精密仪器,铂制加温器等)立刻通入能使仪器损坏的电流。同时,在同一电源线上接通过多仪器时,也将造成电线负荷过重,有时甚至可能引起电线着火或击穿绝缘。
- (12) 定碳、定流电炉的两端和高温硅碳棒箱式炉的硅碳棒端均应设安全罩,严禁将安置妥善的安全罩随意撤掉,以免发生触电事故。
- (13) 禁止在电气设备或线路上洒水,以免漏电。
- (14) 凡使用 110V 以上电源装置,仪器的金属部分必须安装地线,要使用有绝缘手柄的工具。
- (15) 用高压电流工作时,要穿上胶鞋并戴上橡皮手套,站在橡皮的小地毯上,不要信赖自己的小心谨慎。
- (16) 实验室所有电气设备不得私自拆动及随便进行修理。
- (17) 受到电流伤害时,要立即用不导电的物体把触电者从电线上挪开,同时采取措施切断电流。把触电者转移到有新鲜空气的地方进行人工呼吸并迅速通知医务所。

第四节 防火与灭火

- (1) 平时要注意偶然着火的可能性,准备适用于各种情况的灭火材料包括消火砂、石棉布、毯子、各类灭火器。消火砂要经常保持干净,且不可有水浸入。
- (2) 加热试样或实验过程中起火时,应先立即用湿抹布或石棉布熄灭灯火并拔去电炉插头,关闭煤气阀、总电门。特别是易燃液体和固体(有机物)着火时,不能用水去浇,因为除甲醇、乙醇等少数化合物外,大多数有机物比重小于水,例如燃着的油能浮在水面上继续燃烧并且逐渐扩大燃烧面积。因此除了小范围可用湿抹布覆盖外,要立即用消火砂、泡沫灭火器或干粉灭火器来扑灭。精密仪器则应用四氯化碳灭火。
- (3) 电线着火时须关闭总电门,立即切断电流,再用四氯化碳灭火器熄灭已燃烧的电线。

并及时通知值班电气装配工人,不许用水或泡沫灭火器熄灭燃烧的电线。

(4) 衣服着火时应立即以毯子之类蒙盖在着火者身上以熄灭燃烧着的衣服,不应慌张跑动,否则加强气流流向燃烧着的衣服,使火焰加大。

(5) 常用灭火器及适用范围见表 7-1。

表 7-1 常用灭火器及适用范围

类 型	药 液 成 分	适 用 范 围
酸碱式	H_2SO_4 、 $NaHCO_3$	适用于非油类及切断了电路的电器失火等一般火灾,而不适用于忌酸性的化学药品(如氰化钠等)和忌水的化工产品(如钾、钠、镁、电石等)失火
泡沫式	$Al_2(SO_4)_3$ 、 $NaHCO_3$	适用于扑灭油类及苯、重油、松香水、凡立水等易燃液体失火,而不适用于在内酮、甲醇、乙醇等易溶于水的液体失火
高倍数泡沫	脂肪醇、磷酸钠加稳定剂、发泡剂	适用于火源集中,泡沫容易堆积等场合的火灾,如烟油池、室内仓库、油类、木材纤维等
二氧化碳	液体 CO_2	适用于电器失火(包括精密仪器、电子设备失火)
干粉灭火器 ^①	主要由 $NaHCO_3$ 、磷酸铝、云母粉、滑石粉、石英粉等混合配成	适用于扑救油类、可燃气体、电器设备、精密仪器、文件记录及易燃液体等物品的初起火灾
四氯化碳 ^②	液体 CCl_4	适用于电器失火,忌用于钾、钠、镁、铝等失火,否则易发生分解爆炸;严禁用于扑救电石、乙炔气、二硫化碳等失火,否则会产生剧毒的光气
1211	CF_2ClBr	灭火效果好,主要应用于油类有机溶剂、高压电气设备、精密仪器等失火

① 在干粉灭火器上装有二氧化碳作为喷射动力。干粉灭火器喷出的灭火粉末,盖在固体的燃烧物上,能够构成阻碍燃烧的隔离层,且能通过受热而分解出不燃性气体,就可以稀释燃烧区域中的含氧量,同时干粉中还有中断燃烧连锁反应的作用,因此灭火速度快。干粉灭火器综合了泡沫式、二氧化碳和四氯化碳灭火器的优点。

② 此类灭火器已很少使用。

实验室备用的灭火器须按时检查并调换药液。临使用前须检查喷嘴是否畅通,如果有阻塞,应用铁丝疏通后再使用,以免造成爆炸事故。

如燃烧已延及室内电器电线部分,则按第四节之(3)办理,以免灭火器喷出的药液因导电而造成灭火人员的触电事故。

第五节 现场采样安全注意事项

(1) 进入车间需戴安全帽。

(2) 经过酸、碱、氨等管线下面,如发现滴漏时,不得抬头仰望。不得在运动的设备上通行。禁止以电线作扶手,切忌靠近高压电线。

(3) 登高取样时应注意安全,必要时戴安全带。

(4) 所采样品为危险品时,采样者要完全了解样品的危险性及预防措施,并受过使用安全装备的训练,包括灭火器、防护眼镜和防护服等。采取安全防范措施。如对有毒物质样品取样时,根据样品毒性的具体情况,使用防毒面具、呼吸罩以保护呼吸器官;戴橡皮手套或涂上保护软膏来保护皮肤;戴防护眼镜防止眼睛受伤害。采样前及采样后应向有关主管人汇报,出现异常情况,包括采样者感到不适时都应立即向主管人报告。

所采样品为危险品时,采样者应有第二人陪伴。

(5) 对在通过旋塞取流体样品时,为了避免打开旋塞流体大量流出,采样设备应具有随时限制流出总量和流速的装置。

对液体采样时,为了预防溅出,应当准备接受桶和漏斗以便安全地收集溅出物,并为采样者设置防备防护板。

对液体和气体的采样,在任何时候都应该能用阀门来切断采样点与物料或管线的联系。该阀门应安装在采样点附近,但不要太靠近,以便万一发生意外时可以安全地控制流体。

对高压设备中取气体试样时,需先将气样通过减压设备,然后采样。

(6) 在任何情况下,采样者都必须确保所有被打开了的部件和采样口均按照要求重新关闭上。

第六节 化学危险品安全知识

一、化学危险品安全知识一览表

关于表 7-2 化学危险品安全知识一览表的说明:

1. 表 7-2 列举 700 余种常见的无机化学物质和有机化学物质。这些物质或对人或生物有毒害,或易燃易爆,或化学性质特别活泼,具有一定的化学危险性。对于这些化学物质,使用者应对它们的安全知识有所了解,以便在接触或使用过程中,采取相应的措施,谨防发生危险。

2. 本表的编排分无机化合物和有机化合物两部分。无机化合物部分按化学式的元素字母顺序排列,一些无明确化学式的物质(如烟雾和粉尘等),按其主要元素或成分编排;有机化合物部分按化学式中碳氢原子数递增顺序编排。某些无氧原子的碳化物,如 CCl_4 和 CCl_3O 等排在碳原子数相同的有机化合物的后面;又如 CO 、 CN 等则编排在无机化合物相应的位置。

3. 表中各栏目内容的简要说明

第一栏,顺序号。

第二栏,化学名称和化学式。化学名称以《英汉化学化工词典》为依据。

第三栏,环境中最高允许浓度。本栏列举化学物质在环境空气和地面水中规定的最高容许浓度。空气中最高容许浓度的单位为“ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ”,表中列出两种数值:无括号的数值是我国《工业企业设计卫生标准》(TJ36—79)中规定的车间空气中有害物质的最高容许浓度;括号中的数值是美国对作业场所空气中有害物质规定的最高容许浓度的时间加权平均容许浓度值(TLV—TWA),人员在该容许浓度情况下,每日工作 8h,对身体不会产生危害。表中加注“皮”表示该物质可以通过皮肤(或粘膜、眼睛)侵入人体产生影响。地面水中最高容许浓度的单位是“ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ”,表中列出两种数值:无括号的数值是我国《工业企业设计卫生标准》(TJ36—79)中规定的地面水中有害物质的最高容许浓度;括号中的数值来源于前苏联《饮用水和生活用水中有害物质的最高容许浓度》。由于环境标准种类繁多,同一物质在不同标准中的允许浓度也不相同,在此难以一一列出。为了便于查找,兹将我国已经颁布的有关环境标准目录列于表 7-3 以供参考。

第四栏,依的短期暴露对健康的相对危害。本栏概述化学危险品暴露对人体粘膜接触、皮肤渗透、吸入以及吞服后产生危害及影响。

中毒——可使人体某些器官及其功能受到损害,长期接触会产生慢性中毒;

刺激——对人体皮肤或粘膜有强刺激作用;

厌恶——使人感到厌恶不适;

温(雾)热——由烟雾、粉尘引起人体发热,脱离接触后会消退;

麻醉——使人体神经中枢受抑制产生睡眠或昏迷;

致癌——可能引发肿瘤或癌症。(关于化学物质的致癌性在本节《三、化学致癌物质》中另有说明。)

第五栏,化学危险性等级。化学物质的化学危险性从危害健康、可燃性和化学稳定性 3 个方面予以表述,并用 4、3、2、1、0 五个等级来表示其危险性程度的差别。

(1) 危害健康

- 4——短期暴露即会引起死亡，或者经医治后仍有严重后遗症；
- 3——短期暴露会引起严重危害，经过医治后还会有暂时的或残留的损伤；
- 2——引起暂时中毒，不能工作或可能产生残留损伤；
- 1——暴露后会引起刺激或不适；
- 0——在燃烧条件下也无危害。

(2) 可燃性

- 4——在常温常压下会迅速地完全地气化、扩散和易燃的物质；
- 3——在常温下即能被点燃的液体和固体；
- 2——在高温下才能被点燃的物质；
- 1——须经预热后才能被点燃的物质；
- 0——不燃烧物质。

(3) 化学稳定性

- 4——常温下容易爆炸或者有爆炸性反应的物质；
- 3——能爆炸或有爆炸性反应，但要有引发源，或预先加热，或与水有爆炸性反应的物质；
- 2——不稳定的和具有激烈化学反应，但不爆炸的物质，或与水发生激烈反应，与水能形成潜在爆炸性的物质；
- 1——通常是稳定的，但温度和压力提高时变得不稳定，或者与水反应，但无猛烈能量放出的物质；
- 0——即使遇火源也是稳定的，也不与水起反应的物质。

本栏中注有符号“W”表示遇水有剧烈化学反应。

第六栏，灭火剂。指明某种化学危险品发生火灾时应该使用的灭火剂：1——水；2——泡沫灭火剂；3——二氧化碳或干性化学灭火剂；4——气体火险中使用的灭火剂；5——金属火险中使用的灭火剂。

第七栏，在空气中燃烧的极限值。当某种气体或蒸气与空气（或氧）形成可燃混合物（爆炸混合物）时，在与火源接触火焰但不会发生传播的情况下，该气体或蒸气在空气（或氧）中浓度的下限值和上限值，以气体或蒸气在空气中的体积分数，%表示。由于燃烧极限视氧的含量不同而有很大差别，又受到温度和压力的影响（增加温度和压力一般是使下限值降低和使上限值升高），故这一栏数据可能有些出入。表中除了特别注明的均系指在标准状况下大气中的数据。

第八栏，闪点。指出液体（包括某些固体）产生的蒸气足以与液体表面附近的空气或在容器内形成燃烧混合物时的温度。注有“OC”的表示开口杯测定的温度，该温度略高于闭口杯测定的数值。

第九栏，着火点。物质（固体、液体和气体）受热后着火或者引起自燃所必需的最低温度。

第十栏，沸点。101.325kPa 压力下液体沸腾的温度。括号内的数值是该物质的熔点。“d”表示该物质分解。

第十一栏，蒸气压。单位为 133.32Pa。右上角注是该蒸气压的温度（℃）。

第十二栏，密度或相对密度。表中密度单位除在数值后注明者外，均为“g·ml⁻¹”。相对密度无量纲。数值的右上角注是测定密度时的温度，右下角注是参考物质——水的温度（℃）。

第十三栏，物质在水中的溶解度。“∞”表示无限；“v”表示 100ml 水中溶解大于 50g；“s”表示 100ml 水中溶解（5~50）g；“δ”表示 100ml 水中溶解少于 5g；“i”表示难溶于水；“d”表示该物质与水接触分解；“s/d”表示该物质溶于热水同时发生分解。

表 7-2 化学危险品安全知识一览表

(一)无机化合物

序号	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		浓度的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值(体积分数 $\mu(\%)$)		闪点 $\theta/^\circ\text{C}$	着火点 $\theta/^\circ\text{C}$	沸点 (熔点) $\theta/^\circ\text{C}$	蒸气压 133.32Pa	密度或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地下水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性毒性	可燃性	化学稳定性		下	上						
1	银 Ag	(0.01)	(0.05)													
2	铝 Al				0	1	1	5			粉末有爆炸危险		(659.7)		2.702	
3	氯化铝 AlCl_3			刺激眼、鼻、喉									182.7		2.44	s/d
4	氩 Ar			窒息									-185.7	47 ¹⁰⁰	1.784 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	g
5	砷 As	(0.5)	0.04	中毒									615 升华		5.727	i
6	砷化物	(0.5)		中毒												
7	砷化氢 AsH_3	0.3(0.2)		中毒									-55 升华		2.631 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	g
8	三氧化二砷 As_2O_3	0.3(0.5)	(0.05)	中毒									(315)		3.738	e
9	硼 B		(0.3)						粉末与空气接触受燃烧				(230)		2.45	i
10	三氯化硼 BCl_3			腐蚀性液体,刺激呼吸									12.5	477	1.351	
11	三氟化硼 BF_3	(3)		中毒									-99.9	27.9 ¹⁰	2.99 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	g
12	硼乙烷 B_2H_6	(0.1)		中毒	2	4W	3	4	0.9	98	-90	145	-92.5	760 ¹⁰	0.443 液体	分解成 H_2BO_2 和水
13	戊硼烷 B_5H_9	(0.01)		中毒					0.42		≈ 30 纯	≈ 35 纯	55.4 (46.8)	60°	0.66	d
14	癸硼烷 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}$	(0.2)皮		中毒	3	2	1				-80	149	213 (89.7)	66 ¹⁰	0.94 ¹⁰	g
15	硼酐 B_2O_3	(15)											1850		2.45	e
16	钡的可溶性化合物	(0.5)	(4)	吞服,眼睛接触,吸入,皮肤渗透,剧毒												
17	氯化钡 BaCl_2		(4)	吞服,眼睛接触,吸入,皮肤渗透,剧毒									1560		2.856	s

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭 火 剂	在空气中燃烧的限制值体积分数 φ (%)		闪点 θ / $^{\circ}\text{C}$	着火点 θ / $^{\circ}\text{C}$	沸点 (熔点) θ / $^{\circ}\text{C}$	蒸气压 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下 限	上 限						
18	氢氧化铋 $\text{Bi}(\text{OH})_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	(0.5)		刺激眼、鼻、喉									(78)		2.18	s
19	铍 Be	0.001 (0.002)	0.0002	吸入慢性中毒	4	1	1		粉末爆炸				(1228)		1.85 ²⁰	i
20	溴 Br_2	(0.7)	(0.2)	强腐蚀性	4	0	1						58.78	77.3 ¹	2.928 ²⁴	s
21	五氟化溴 BrF_5			刺激性、腐蚀性									40.3	136 ¹	2.482	
22	三氟化溴 BrF_3	(3)		强腐蚀性、剧毒									127	18 ²⁵	2.843	
23	碳黑 C	(3.5)														
24	氰 CN	(5)皮	0.03	中毒												
25	溴化氰 CNBr	(0.5)		很毒									51.1	920 ²⁰	2.015 ²⁶	s
26	氯化氰 CNCl	(0.5)		体积分数浓度 $\varphi = 1.6 \times 10^{-4}$ 10min 即可使人致死									13.1	2.1	1.2	
27	一氧化碳 CO	30(55)		化学窒息、中毒	2	4	0	4	12.5	74		631	-191.5	760 ¹⁰⁴	1.250 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	s
28	二氧化碳 CO_2	(9000)		高浓度会引起麻痹									-78.5 升华		1.977 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	s
29	氧硫化碳 COS				3	4	1	4	12	29			-50.2		1.073 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	s
30	二硫化碳 CS_2	10(60)皮	2.1(10)	慢性中毒	2	3	0	1,3	1.3	44	-30	100	46.3	360 ²⁵	1.261	i
31	钙 Ca				1	1W	2	s	细粉在室温即可燃烧				1240		1.54	与水反应生成 H_2 和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$
32	砷酸钙 $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$	(1)		中毒									(1455)		3.620	s
33	碳化钙 CaC_2				1	4W	2		喷水放出乙炔				2300		2.22	d
34	次氯酸钙 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$			刺激	2	1	2		与酸和强氧化剂接触危险				d100		2.35	s

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限体积分数 (%)	熔点 (°C)	着火点 (°C)	沸点 (°C)	蒸气压力 (kPa)	密度 或 相对密度	在水中的溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性毒性	慢性毒性	化学稳定性								
35	氧化钙 CaO	(5)		刺激眼、鼻、咽喉	3	0	1		与水作用发热可以着火			(584)		3.25~3.28	i
36	氢氧化钙 $\text{Ca}(\text{OH})_2$			刺激眼、鼻、咽喉								(458)		2.604	v
37	镉 Cd		0.01	有毒					燃烧形成很危险的烟			257+2 (321)		8.642	i
38	氯化镉 CdCl_2		0.01	剧毒											
39	镉的可溶性盐类及金属烟尘	(0.05)		中毒											
40	氧化镉烟尘 CdO	0.1		中毒								升华 1559		8.15	i
41	铈 Ce							5	易燃	150~180		2417 (834)		6.768	4-
42	氯 Cl_2	1(3)		强腐蚀性, 刺激呼吸	3	0	1		与可燃物有爆炸性反应			-34.6	5.36		6
43	三氟化氯 ClF_3	(0.4)		剧毒					强氧化剂, 可使有机物着火, 在一定温度下可使金属着火, 与水和水反应激烈						
44	一氯化碘 ClI			正常贮存会有变质并有危险										0.18	d
45	二氧化氯 ClO_2	(0.3)		强酸						快速加热到 100°C 可能爆炸		11 (-69)	490	3.09 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	6
46	氟化氯三氧 ClO_3F	(13.5)		谨防吸入、吞服及皮肤接触							强氧化剂			液体 1.434	
47	钴 Co	(0.1)	1.0	中毒								3550		8.0	i
48	硝酸钴 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			在 74°C 分解出氮的氧化物有毒	1	0	1		氧化性物质					1.87	v
49	铬 Cr	(1)		中毒								2480		7.20 ²⁰	i
50	铬的可溶性盐类	(0.5)	0.05(Ⅲ)	中毒											
51	非水溶性的铬化合物	(1)	0.5(Ⅲ)	中毒										4.11	6
52	三氟化铬 CrF_3			强烈刺激											

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			火灾	在空气中燃烧的 极限值(体积分数%)		闪点 °C	着火点 °C	沸点 (熔点) °C	蒸气压 (32Pa)	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危害	可燃性	化学 稳定性		下 限	上 限						
53	三氧化铬 CrO_3	0.05(0.1)	(0.1)	刺激,中毒												
54	可溶性亚铬盐	(0.5)	(0.5)	中毒												
55	铬 Cr							5	与水有爆炸性反应				550 (28.5)		1.8785 ²⁰	d
56	铬的烟雾	(0.1)	0.1	刺激												
57	铬的粉尘	(1.0)		刺激												
58	碳酸铬 CrCO_3			刺激,腐蚀									(d200)		4.0	i
59	铬 Dy								粉末自燃				2600 (1407)		8.530	i
60	氟离子 F^-	(2.5)	1.0(1.5)	中毒												
61	氟 F_2	(0.2)		剧毒	4	0W	3	1					-183	1	1.6915 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{HF}(\text{C})$
62	铁氧化物烟尘	(10)		中毒												
63	抗酸铁粉末	(1)		中毒												
64	钪 Sc								粉末自燃				3630 (1312)		2.5	i
65	镱 CeH			剧毒,强刺激性,腐蚀性					可燃		气		-30		3.45 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	
66	氢 H_2			有窒息作用	0	4		4	有爆炸性 4.0 75			585	-252.8		0.0898 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	g
67	偏砷酸 HASO_3	(0.5)		中毒									d			d
68	溴化氢 HBr	(10)		有毒,强刺激性,腐蚀性									-87.0		3.5 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	v
69	氯化氢 $\text{HCl}(\text{气})$	15(7)		毒性大,浓度为 0.13%~0.2% 时,几分钟有生命危险												
70	硫代氯酸 HClO_2S				3	0W	2						153		1.750 ²⁰	分解成 H_2SO_3 与 H_2O

续表

序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			灭 火 剂	在空气中燃烧时 极限值体积分数 %(V/V)		闪点 t/°C	着火点 t/°C	沸点 (沸点) t/°C	蒸气压 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·L ⁻¹		危害性	可燃性	化学 稳定性		下 限	上 限						
71	高氯酸 HClO ₄ (70%~72%)				3	0	3		极强氧化剂、干燥剂,具 有爆炸性				200		1.66	∞
72	氢氰酸 HCN(96%)			吞服,吸入,经伤口 渗入,剧毒	4	4	2	1	6	41	-18(0)	538	26	807		∞
73	氰化氢 HCN	0.3(1)支		吸入或渗入皮肤, 剧毒	4	1	2	1	6	41	气	538	25		0.6884g	∞
74	氢氟酸 HF(水)			避免任何接触,吸入												∞
75	氟化氢 HF	1(2)支		腐蚀性极强,中毒	4	0	0						19.45		0.991	∞
76	碘化氢 HI			有毒,对皮肤、眼粘 膜强刺激,强腐蚀									-35.5			v
77	氯磺酸 HIO ₃			对皮肤、眼、粘膜刺激									d110		4.629	v
78	硝酸 HNO ₃	(5)	10(以 N计)	对皮肤、眼、粘膜刺激	2	0	1						83		1.5027g	∞
79	过氧化氢 H ₂ O ₂ (90%)	(1.4)		强腐蚀性	2	0	3		不燃烧,与还原剂可能爆炸				140	52	1.392g	∞
80	过氧化氢 H ₂ O ₂ (50%)			强腐蚀性					不燃烧				107.8			
81	过氧化氢 H ₂ O ₂ (35%)			强腐蚀性					不燃烧				113.5			
82	氨基氰 H ₂ NCN			刺激性腐蚀性				1,3			1g1				1.0729g	v
83	硫化氢 H ₂ S	10(15)		中毒	3	4	0	1	4-8	45	气	250	-60.7	5.6	1.539 g·L ⁻¹	v
84	硒化氢 H ₂ Se	(0.2)		剧毒					可燃		气		-42		2.004 g·L ⁻¹	δ
85	硫酸 H ₂ SO ₄	2(1)	(500)	刺激眼、鼻、喉	3	0W	1						338	1.27	6.602 g·L ⁻¹ 1.897	∞
86	发烟硫酸 H ₂ SO ₄ + SO ₂	(1)		强腐蚀性,刺激	3	0W	1									∞
87	磷酸 H ₃ PO ₄	(1)		刺激									213	0.0285 ²⁰	1.834 ²⁰	v

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		按的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭 火 剂	在空气中燃烧的限制值体积分数 ϕ (%)		闪点 $\theta/^{\circ}\text{C}$	着火点 $\theta/^{\circ}\text{C}$	熔点 (熔点) $\theta/^{\circ}\text{C}$	蒸气压 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下 限	上 限						
88	氦 He			窒息作用									-269		0.1249	i
89	铊 HI	(0.5)						5			粉末危险	23 粉末	>8200 (2200)		13.33	i
90	汞 Hg	0.01 (0.1)皮	0.001 (0.005)	蒸气有毒,盐类通常使细胞中毒									356.58	0.0025 ⁹	13.5945 ⁹	1
91	氯化汞 HgCl_2	0.1		慢性中毒									302			s
92	有机汞化合物	0.005 (0.01)皮		中毒												
93	碘 I_2	(1)												309 ²³	4.93	8
94	五氯化碘 IF_5			剧毒,强腐蚀									56		3.75	
95	铟 In			有毒									2300		7.3	
96	钾 K^+				3	1	2	5	与水反应生成 H_2 ,放出热量会着火爆炸			774 (83.35)	8 ⁴²⁹	0.86	生成 KOH	
97	氯酸钾 KClO_3				1	0	2		能与易氧化物形成爆炸物			400		2.32	6	
98	氟化钾 KF			对皮肤、眼睛、粘膜有刺激									1505		2.48	v
99	氢氧化钾 KOH			对皮肤、粘膜强腐蚀	3	0	1						1325~ 1340	1 ¹¹⁶	2.044	v
100	过氧化钾 K_2O_2			有毒	3	0W	2		与水激烈反应形成爆炸混合物							
101	过硫化钾 K_2S_2			与水或酸反应生成 H_2S	2		0		粉末在空气中会燃烧				(47%)			s
102	亚硫酸钾 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$				1	0	1						<100		2.477	8
103	氪 Kr			有窒息作用									-152.0			
104	铷 Rb								粉末自燃				3450 (623)		8.162	d
105	铯 Cs				5	1W	2	6					1317		0.545	1

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		经短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 g/(%)		闪点 R/C	着火点 R/C	沸点 (熔点) R/C	蒸气压 133-32Pa	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·L ⁻¹		危害性	可燃性	化学稳定性		下	上						
106	四氢化铝锂 LiAlH ₄			强腐蚀性	3	1W	2				潮湿会引起燃烧		d>125		0.917	d
107	六氢化铝锂 LiAlH ₆								在空气中分解不燃烧				d>210		1.26	s
108	碳酸锂 Li ₂ CO ₃			刺激眼、鼻、喉									d1310		2.11	s
109	氢化锂 LiH	(0.025)		刺激、中毒	1	4W	2	5	自燃			在空气中能自燃	680		0.82	d
110	铈 Ce								粉末自燃				3327 (1632)		9.872	
111	镁 Mg							5			粉末有爆炸危险		110.7		1.74	l,d
112	高氯酸镁 MgCl ₂ O ₄				1	0	1	1	可与易氧化物质形成爆炸混合物							
113	氧化镁烟雾 MgO	(15)		金属(烟雾)热												
114	锰 Mn	(5)	(10MnO ₂)	中毒									2152		7.20	d
115	硫酸亚锰 MnSO ₄			慢性中毒									d850		3.25	v
116	可溶性钡化合物	4(5)	0.5	中毒												
117	不溶性钡化合物	6(15)		中毒												
118	氮 N ₂			窒息作用									-195.8	10 ^{-22.2}	1.2506 g·L ⁻¹	s
119	氟化氮 NF ₃	(29)		中毒									-128.8		1.537-128	s
120	氨 NH ₃	30(35)			3	1	0	4	15	25	气	651	-33.5		0.7716 g·L ⁻¹	v
121	重铬酸铵 (NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	(0.1)		刺激使皮肤溃烂, 衣服吸入有危险				1	可燃固体与有机物有爆炸性反应				d180	225℃自燃		s
122	氟化铵 NH ₄ F			有毒									升华		1.315	v
123	硝酸铵 NH ₄ NO ₃				2	1	3	1	有爆炸危险						1.725	v

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的限制值体积分数 φ(%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (熔点) θ/℃	蒸汽压 133.32Pa	密度或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地下水 mg·L ⁻¹		急性 健康	慢性 健康	化学 稳定性		下 限	上 限						
124	氨水 NH ₃ (水) (28%)		(2.0)	强刺激									(-77)		2.15	s
125	硫氰酸铵 NH ₄ SCN		(0.1)	有毒									d160			
126	氨基磺酸铵 N ₂ H ₆ SO ₃	(15)		中毒												
127	一氧化氮 NO			慢性中毒									-152		气 3.0 g·L ⁻¹	s
128	二氧化氮 NO ₂	5(9)		慢性中毒									21.2		1.4494	s
129	三氧化二氮 N ₂ O ₃			剧毒									3.5			
130	四氧化二氮 N ₂ O ₄			慢性中毒	3	0	1						158			
131	亚硝酸酐 NOCl			吸入,接触危险									-5.8		气 3.0 g·L ⁻¹	d
132	钠 Na				3	1W	2	5	与水接触极危险			在空气中 中自然	830	1432	0.97 ²⁰	形成 NaOH +H ₂
133	氰化钠 NaCN		(0.01)	剧毒,与水接触放出HCN	2	0	0						1496			s
134	次氯酸钠 NaClO				1	1	2	1					d180-202			s
135	氯酸钠 NaClO ₃		(20)		1	0	2		形成爆炸性 混合物						2.490 ¹⁵	v
136	高氯酸钠 NaClO ₄			刺激									d320		2.168 ⁴	v
137	氟化钠 NaF	1(以 F计)	(1.5)	中毒											2.558 ⁴	v
138	氢氧化钠 NaOH			内吸刺激眼、鼻、喉,能形成NaOH					与水接触 可能着火或 爆炸				(800) d851		0.92	i
139	叠氮化钠 NaN ₃			剧毒,能形成有毒的叠氮酸					可以形成爆炸性的叠氮酸的气体						1.446	
140	氨基钠 NaNH ₂			灼伤皮肤和眼					与水反应非常激烈				400			d 形成 NaOH

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 $\phi(\%)$	闪点 $t/^\circ\text{C}$	着火点 $t/^\circ\text{C}$	沸点 (熔点) $t/^\circ\text{C}$	蒸气压 133.32Pa	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危害性	可燃性	化学稳定性								
141	钾钠合金 NaK				3	0W	2		与水在空气中接触非常危险		在空气中自燃				
142	氢氧化钠 NaOH	0.05(2)		刺激眼、鼻、喉	2	0	1					1390		2.130	s
143	过氧化钠 Na_2O_2			着火很危险, 谨防吸入	2	0W	2		强氧化剂与水反应剧烈			(480)		2.603	s
144	硅酸钠 $\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$ ($x=3\sim5$)		(50)	强碱性, 入眼危险											s
145	硫化钠 Na_2S			与水或酸反应放出 H_2S	2	1	0					(1180)		1.8561 ^d	s
146	铌 Nb								粉末自燃						
147	氦 He			窒息作用								-245		0.835 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	i
148	镍(固体物) Ni		0.5	能引起皮肤病											
149	羰基镍 $\text{Ni}(\text{CO})_4$	0.001 (0.007)		暴露有致命和致癌危险					在空气中(60°C)激烈分解			43	261 ¹⁵	1.32 ¹⁷	g
150	臭氧 O_3	0.3		强刺激, 1.7×10^{-3} 体积分数几分钟即可致命					强氧化剂可能爆炸			-111.9		2.144 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	s
151	二氟化氧 OF_2	(0.1)		中毒								-144.8		1.90	g + d
152	四氧化锇 OsO_4	(0.002)		刺激, 剧毒, 对眼睛危险								130		4.906	s
153	红磷 P_4			慢性中毒	1	1	1				<200	280		2.34	g
154	黄磷 P_4	0.03(0.1)		中毒	3	3	1	1	在空气中自燃		30	280.5		1.82 ²⁰	g
155	三氯化磷 PCl_3			刺激	3	0W	2					75.5 ¹⁹		1.574	d
156	五氯化磷 PCl_5			刺激								162 升华		4.658 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	d
157	三溴化磷 PBr_3			有毒, 腐蚀性								172.9		2.852 ²¹	d
158	五氯化磷 PF_5			刺激呼吸道								64.6			

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		依国际劳工组织对健康的相对危害	化学危险性等级			式次剂	在空气中燃烧时的 极限值体积分数 $\phi(\%)$		闪点 $\theta(^{\circ}\text{C})$	着火点 $\theta(^{\circ}\text{C})$	沸点 (熔点) $\theta(^{\circ}\text{C})$	蒸气压 103.32kPa	密度 或 相对密度	在水中 的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性 毒性	慢性 毒性	稳定性		下限	上限						
159	磷化氢 PH_3	(0.4)		剧毒					>1		气	40~60 即燃	-84.7		液体 0.796	s
160	五氧化二磷 P_2O_5	1		腐蚀性极强									300 升半		2.39	形成 H_3PO_4
161	五硫化二磷 P_2S_5	(1)		与水反应生成 H_2S	3	1W	2	3	粉末可燃			282	314		2.03	i
162	镭 Ra			放射性,可能致癌											15.73	
163	铅 Pb	0.05 尘 (0.2)	0.1, (0.1)	慢性中毒									1315		11.269	i
164	硫酸铅 $\text{Pb}(\text{AcO})_2$	(0.15)		慢性中毒									(1342)		7.80	s
165	钋 Po			β 放射性												
166	钋 Po			剧毒, α 放射性,内 吸可能致癌									952 $\pm$ 2		9.4	s
167	镨 Pr								粉末自燃				3127 (935)		6.64 6.782	d
168	钋 Po			通过吸入而吸收; 电离辐射强												
169	铯 Cs			可能引起肿瘤,贫 血,抽搐									1240 (780)		6.0	s
170	铷 Rb								在空气中自燃 与水反应剧烈				700 (38.5)		1.382 液 1.475	d
171	硫 S_8			燃烧生成刺激性的 SO_2	2	1	0	1.3			207	232	444.6		2.075 ¹⁰	i ₁
172	二氯化硫 SCl_2			刺激性,暴露极限 建议 $\phi=10^{-6}$					若慢慢加热在 40 $^{\circ}\text{C}$ 以上 可以分解				59 (-78)		7.3 ⁻²³	
173	一氯化硫 S_2Cl_2	(6)		刺激	2	1	0	3			118	234	130 (-76)	6.813 ²⁵	1.675	d
174	四氯化硫 SF_4			剧毒									40		液体 1.9151	
175	二氧化硫 SO_2	15(13)		刺激、中毒	3	0	0						-10		气 2.3 液 1.5	s
176	三氧化硫 SO_3			刺激、中毒									44.8 (16.63)			d

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		急性短期暴露对健康的相对危害	化学危险性 等级 危害可 燃性 健康性 稳定性	火灾 类别	在空气中燃烧 的极限值体积分数 φ/(%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·L ⁻¹				下 限	上 限						
177	亚砷酰氯 SOCl ₂			140℃以上分解成 Cl ₂ 、SO ₂ 、S ₂ 、Cl ₂ 与水作用,分解成 SO ₂ 、HCl,刺激性,暴露极限值以体积分数 φ=10 ⁻³							73.3 (105)	179 ²⁾	1.455 ²⁾	
178	砷酰氯 SO ₂ Cl ₂	(20)		中毒							53.1		3.72 g·L ⁻¹	
179	亚砷酸氯 SOF ₃			对眼睛强烈刺激										
180	铋 Sb	(0.5)	0.03	中毒							(630.5)		6.684	1
181	三氯化铋 SbCl ₃	(0.5)	(0.05)	刺激,要湿被润 HCl							223		3.140	2
182	五氯化铋 SbCl ₅	(0.5)		中毒							(2.8)		液体 2.716	1
183	二氯化二铋 Sb ₂ Cl ₆	(0.5)		中毒							(655)		3.2	6
184	铋化氢 SbH ₃	(0.5)		很毒	1	2	1.3		195	395	358-383		0.948	1
185	铋 Se		0.01	有毒							585 (217.4)		4.81 ²⁾	2
186	硒化合物	0.1(0.2)	(0.201)	中毒										
187	六氯化硒 SeF ₆	(0.4)		中毒							-34.5		3.25 g·L ⁻¹	6.4
188	硅烷 SiH ₄						在空气中自燃				112			
189	二氧化硅 SiO ₂	2		砂肺							2289 (1710)		2.2(2.5)	
190	四氯化锡 SnCl ₄	(2)		中毒							114.2		液体 2.226	2
191	锗 Ge		(1.5)	化合物有一定毒性							1500		2.6 ²⁾	
192	锗 Te	(5)		中毒							约 600 ²⁾		10.39	1
193	铊 Tl						粉末自燃				2840 (1856)		8.272	1
194	碲 Te	(0.1)	0.01	中毒			在空气中缓慢燃烧				1390		6.25	1

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的 极限值和分数 φ(%)	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (沸点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·L ⁻¹		危害性	可燃性	稳定性								
195	钍 Th							5	粉末自燃	有爆炸危险		4230		11.7	i
196	硝酸钍 Th(NO ₃) ₄				1	0	1		氧化性物质						
197	铈 Ce							5	能在氮中燃烧	粉末有爆炸危险		3262		4.3 ¹⁰	i
198	二氧化铈 CeO ₂	(15)										1825		4.17	i
199	四氯化铈 CeCl ₄		(0.1)				W					136.4		液体 1.726	v
200	铈 Ce			很毒,建议容许浓度 0.1mg·m ⁻³								1460 (303.5)		11.85	
201	可溶性铈化合物	(0.1)S		中毒											
202	硫酸亚铈 Ce ₂ SO ₄			吞服引起惊厥、麻痹								d		5.77	8
203	铈 Ce	(0.25)		中毒				5	粉末自燃			3818 (1150)		19.08 ⁴	i
204	可溶性铈化合物	(0.05)		中毒											
205	不溶性铈化合物	(0.25)		中毒											
206	五氧化二钒 V ₂ O ₅		0.1(V)	慢性中毒								d 1750		5.57 ¹³	8
207	钒的粉尘 V ₂ O ₅	0.5(0.5)		刺激											
208	钒的烟雾 V ₂ O ₅	0.1(0.1)		刺激											
209	钒 V ₂			可使人窒息								-108		气 5.897 g·L ⁻¹	
210	钇 Y	(1)		中毒					粉末自燃			1427 (824)		4.34	v
211	铈 Zn		1.0	燃烧产物会引起发热	0	1	1	5	粉末可在空气中燃烧	有爆炸危险		907 (419)		7.14	i
212	氯化铈 ZnCl ₂	(1)		刺激	2	0	2					732		2.91 ¹⁵	v
213	氧化铈烟尘	5(5)		金属(烟雾)热											

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭 火 剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 φ (%)		闪点 θ /C	着火点 θ /C	沸点 (熔点) θ /C	蒸气压 133-32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下 限	上 限						
214	硬脂酸锌 $\text{Zn}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$							1.3			276OC	429	(130)			i
215	锆 Zr								粉末有爆炸 危险				>2000 (1820)	6.49		i
216	锆化合物 Zr	5(5)		中毒												

(二)有机化合物

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭 火 剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 φ (%)		闪点 θ /C	着火点 θ /C	沸点 (熔点) θ /C	蒸气压 133-32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下 限	上 限						
1	三溴甲烷 CHBr_3	(50)皮		中毒									149.5	5.6 ²⁶	2.8399	8
2	一氯二氟甲烷 CHClF_2		(10)	低毒,容许浓度体 积分数 $\varphi=10^{-3}$					不燃				-40.8		1.118	i
3	二氯一氟甲烷 CHCl_2F	(4200)		麻醉				4				552	5		1.426	i
4	二氯甲烷 CH_2Cl_2	(240)		慢性中毒									61.2	200 ²⁵	1.4816	8
5	三氯代甲醇醇 Cl_3CSH	(0.8)		刺激												
6	溴氯甲烷 CH_2BrCl	(1050)		麻醉									68	155~ 160 ²⁵	1.951	8
7	二氯甲烷 CH_2Cl_2	(1700)	(2.5)	皮肤接触发痛、麻醉	2	0	0		(15.5 ~ 65 在 O_2 中)			662	40	440 ²⁵	1.335	8
8	重氮甲烷 CH_2N_2	(0.4)		剧毒,过敏,有生命 危险,致畸物质					爆炸		气	极易燃	-23			2
9	甲醛 CH_2O	3(3)	0.5, (0.001)	对皮肤、呼吸道过敏		4		1.4	2.3	73	气	430	-21			
10	甲酸 CH_2O_2	(9)		刺激	3	2	0	1.3			59	531	100.7	43 ²⁵	1.220 ²⁶	8
11	溴甲烷 CH_3Br	(80)皮		慢性中毒	3	1	0			15		537	3.59		1.732	8
12	氯甲烷 CH_3Cl	(210)		慢性中毒	2	4	0		8.1	17.4		652	-23.76		0.92	s

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		除的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			火灾	在空气中燃烧的最高极限分数 φ (%)	闪点 $t/^\circ\text{C}$	燃点 $t/^\circ\text{C}$	沸点 (熔点) $t/^\circ\text{C}$	蒸气压 133.32Pa	密 度 液、固、气 相对密度	在水中 的溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危害性	可燃性	稳定性								
13	碘甲烷 CH_3I	1(28)级		中毒								42-3		2.28	3
14	硝基甲烷 CH_3NO_2	(250)	(0.005)	刺激中毒	1	3	4	3	7.3	35	279	108	27.820	1.1324	5
15	甲烷 CH_4			单纯窒息				4	5.0	15.0	537	-161.16		0.415	6
16	乙炔 C_2H_2	(5)		中毒										1.17	1
17	甲醇 CH_3O	50(260)	(8.0)	麻醉中毒,永久性伤害	1	3	0	3	6.0	26	-11	-94.56	1600	0.7914	25
18	甲酸 $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$			刺激皮肤,但不吸入								(20)		1.4912	5
19	甲硫醇 CH_3S	(20)*	(0.002)	浓度高会引起麻醉,中毒	2	4	0	4	3.5	21.5	< 18	5 (-123)	760 mmHg	0.8367	8
20	甲胺 CH_3N	5(12)	(1.0)	皮肤、呼吸道的刺激	3	4	0	3.5	4.5	23.7	气	-6.52 (55.45)	11200	0.6990	5
21	二甲胺 CH_3N_2	(0.35)级		中毒							< 25	27	43.675	0.7	8
22	一溴二氯甲烷 CBrCl_2			麻醉					不燃			-24			6
23	二溴二氯甲烷 CBr_2Cl_2	(860)		毒性较低					不燃			24.5		2.28	5
24	四氯化碳 CCl_4			很高	3	0	1					129.5		3.42	6
25	一氯三氟甲烷 CClF_3			毒性较低					不燃			-84.1		7.01 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	5
26	二氯二氟甲烷 CCl_2F_2		(10)	麻醉					不燃			-29	1033	1.392	5
27	光气 COCl_2	(0.4)		剧毒						气		2.02	680	1.392	3
28	三氯氟甲烷 CCl_3F	(5600)		麻醉								23.77		液 1.454	6
29	氯化砒 CCl_3NO_2	(0.7)		刺激眼、鼻、喉								115	16.950	1.6358	8
30	氯代醚 CF_4			对器官强烈刺激								-85.1		1.139	3
31	四氯化碳 CF_4			毒性低,有麻醉作用					不燃气体			128	760 mmHg	3.42	6

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		急性短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\phi(\%)$		闪点 $\theta/^\circ\text{C}$	着火点 $\theta/^\circ\text{C}$	沸点 (沸点) $\theta/^\circ\text{C}$	蒸气压 133.32Pa	密度 或 相对密度	在水中的溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性毒性	慢性毒性	化学稳定性		下 限	上 限						
32	四氯化碳 CCl_4	25(65)皮	(0.3)	中毒					不燃烧, 热分解产物有毒				120.8	113 ²⁵	1.5311	g
33	四硝基甲烷 $\text{C}(\text{NO}_2)_4$	(8)	(0.5)	中毒									126	13 ²⁵	1.6372 ²⁴	i
34	三氯乙烷 C_2HCl_3	(530)	(0.5)	慢性中毒					12.5	90	32		47	77 ²⁵	1.482 ²⁵	g
35	三氯乙醇 $\text{C}_2\text{HCl}_2\text{O}$		(0.2)	吸入可能引起致命的肺脏伤害									99.7 (57.5)		1.505	
36	二氯乙酰胺 $\text{C}_2\text{HCl}_2\text{O}$				3	2	1				66		107~108		1.5316	d
37	三氯醋酸 $\text{C}_2\text{HCl}_2\text{O}_2$			刺激									197.5 (57.5)		1.6298	
38	二氯醋酸 $\text{C}_2\text{HCl}_2\text{O}_2$			刺激									72.4	181 ²⁵	1.5351 ²⁵	
39	乙炔 C_2H_2			单纯窒息	1	4	2		(溶解在内酯中, 贮存在钢瓶内)				-83.6 升华		0.6181 ²⁴	g
40	1,1,2,2-四溴乙烷 $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$	(14)		分解释放出剧毒蒸气	3	0	1		2.5	21		259	239~242		2.9672	i
41	氯乙腈 $\text{C}_2\text{H}_2\text{ClN}$			刺激眼、鼻、喉									123~124		1.193 ²⁵	v
42	1,1-二氯乙烷 $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2$			慢性中毒	2	4	2		3.6	11.4	-15	158	37		1.3	
43	顺式 1,2-二氯乙烷 $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	(750)		慢性中毒	2	3	2	2.3	9.7	12.8	4		60.2	208 ²⁵	1.2837	g
44	反式 1,2-二氯乙烷 $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$			慢性中毒	2	3	2	2.3	9.7	12.8	2		47.5	324 ²⁵		
45	氯乙酰胺 $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2\text{O}$			刺激眼、鼻、喉									108~754		1.4177 ²⁵	d
46	三氯乙酸 $\text{C}_2\text{HCl}_2\text{O}_2$												152~193	1 ²⁵	1.5654	g
47	1,1,2,2-四氯乙烷 $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$	(50)皮		中毒									145	5 ²⁵	1.5984	g
48	1,1-二氯乙烷 $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2$								3.5	21.3			85.7		0.6831 ²⁵	g
49	乙醛 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	(0.9)		皮肤、呼吸过敏, 中毒									50			d

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		该物质的暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			火 灾 危 险	在空气中燃烧的 极限值体积分数 φ/(%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (熔点) θ/℃	蒸气压 133-32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·L ⁻¹		危险 健康	可燃 性	化学 稳定性		下 限	上 限						
50	乙二醇 C ₂ H ₄ (O) ₂			皮肤染色,皮肤、呼吸 道过敏							220		50.4		1.11 ²⁵	v
51	草酸 C ₂ H ₂ O ₄	(1)											157 升华		1.90	s
52	溴乙烷 C ₂ H ₅ Br								可燃				15.8		1.4033	
53	溴乙酸 C ₂ H ₃ BrO ₂			有毒									208		1.934	v
54	乙酰溴 C ₂ H ₃ BrO			刺激眼睛,内吸危险									76.7		1.663	d
55	氯乙烯 C ₂ H ₃ Cl	32(1300)		麻醉、中毒	2	4	2	3	4	22	13	472	84	87 ²⁵	1.256	g
56	1-氯-1,1-二氟乙烷 C ₂ H ₃ ClF ₂			毒性较低				4	5.0	14.8	可燃	632	-9.2		1.118	d
57	氯乙酸 C ₂ H ₃ ClO ₂												189	1 ²⁵	1.4043	v
58	乙酰氯 C ₂ H ₃ ClO				3	5W	2	3			4	390	51.2		1.1039	d
59	氯甲酸甲酯 C ₂ H ₃ ClO ₂			有毒、刺激、避免任 何接触					可燃		12	504	21~72		1.236	d
60	1,1,1-三氯乙烷 C ₂ H ₃ Cl ₃	(1900)		麻醉									74	127	1.3492	i
61	1,1,2-三氯乙烷 C ₂ H ₃ Cl ₃	(45)皮		慢性中毒									113.7	16.7 ²⁵	1.4432	g
62	氯乙醚 C ₂ H ₅ ClO	(3)		刺激									83(43)		1.190	v
63	氟乙烷 C ₂ H ₅ F			低毒	2	4	1		2.6± 0.5	21.7± 1.0			-72			
64	碘乙酸 C ₂ H ₃ IO ₂			可能引起皮肤病									4			s ^b
65	乙腈 C ₂ H ₃ N	3(70)	5(0.7)	中毒	2	3	1	3	4.4	16.0	5	524	80.06	73 ²⁵	0.7854	s
66	异氰酸甲酯 C ₂ H ₃ NO	(0.05)皮		刺激剧毒				3	5.3	26.0	7.20℃	534	33.1		0.7337	g
67	异硫氰酸甲酯 C ₂ H ₃ NS												119		1.4651	g
68	乙烷 C ₂ H ₆		(0.5)	用作麻醉剂	1	4	2	4	3.1	32		450	-104		0.60126	i

续表

顺 序 号	物质名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			火灾 危险 等级	在空气中燃烧时的 极限值体积百分 数(%)		闪点 /°C	着火点 /°C	沸点 (°C)	蒸气压 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危险 等级	可燃 性	化学 稳定性		下 限	上 限						
69	1,2-二溴乙烷 $\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$	(150)皮		慢性中毒									131	15 ²⁵	2.180 ²⁵	8
70	氯乙酰胺 $\text{C}_2\text{H}_4\text{ClNO}$			很毒									224(121)			8
71	1,2-二氯乙烷 $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	(200)		刺激呼吸系统和皮肤,引起冻伤、中毒	2	3	0		6.2	16	13	413	84	87.2 ²⁵	1.286	8
72	1,1-二氯乙烷 $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2$	(400)		慢性中毒	2	3	C				5		57	284 ²⁵	1.1776	8
73	1,1-二氟乙烷 $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2$			1.1.毒,但在使用时要适当通风,以防缺氧而窒息				4	3.7	18.0			-24.7		0.835 ²⁵ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1
74	乙二胺、磷酸酯 $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_6$	(2)		中毒									175.13	0.043 ²⁵	1.4018	1
75	乙醇 $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$	(100)	0.05 (0.2)	皮肤、呼吸道过敏	2	4	2	1,3,4	4.1	55	38	185	20.8	540 ²⁵	0.786~ 0.796 ²⁵	200
76	环氧乙烷 $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}$	(10)		刺激、中毒	2	2	3	1,2,3	3	100	<-18	429	13~15 (-115)	825 ²⁵	0.8221 ²⁵	20
77	乙酸 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	(25)		刺激	2	2	1	1,3	4.0	16.0	43	524	16.5	15 ²⁵	1.048~ 1.053 ²⁵	200
78	甲酸甲酯 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	(750)		刺激	2	4	0	3,4	5.9	26	-19	456	31.50	600 ²⁵	0.9857 ²⁵	8
79	过乙酸 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_3$			刺激	3	2	3		可燃液体,对热和震动敏感		41		105 1.6爆炸		1.226	8
80	溴乙烷 $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$	(880)		刺激、中毒	2	3	0		6.7	11.5		311.11	38.4	475 ²⁵	1.4604	8
81	氯乙烷 $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	(2500)		麻醉、中毒	2	4	1	3,4	3.5	18.4	50	519	131	589 ²⁵	0.8928	8
82	2-氯乙醇 $\text{C}_2\text{H}_4\text{ClO}$	(16)皮		慢性中毒	3	2	0		4.9	15.9	60	125	128	4.0 ²⁵	1.204	20
83	氯甲酸 $\text{C}_2\text{H}_3\text{ClO}$			对眼、鼻强烈刺激											1.07	
84	碘乙烷 $\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$								可燃				72		1.870	20
85	乙腈亚胺 $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$	(1)		皮肤、呼吸道过敏,中毒	3	3	3	1,3	3.6	46	11	722	56	160 ²⁵	0.831	20
86	亚硝酸/胺 $\text{C}_2\text{H}_3\text{NO}_2$			分解形成有毒的氮的氧化物	2	4	4		4.1	50	-35	480	17.2			

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			天 然 剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 %(%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (沸点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密 度 相 对 密 度	在水中的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·L ⁻¹		急性 健康 危害	慢性 健康 危害	环境 危害		下 限	上 限						
87	硝基乙烷 C ₂ H ₅ NO ₂	(310)	(1.0)	麻醉刺激	1	3	3	3	3.4		38	360	115 爆炸	15.6 ⁶⁰	1.0466	2
88	羧代乙酰胺 C ₂ H ₅ NS			动物致癌									11			8
89	乙烷 C ₂ H ₆			高浓度时单纯窒息	1	4	0	4	3.0	12.5		315	-88-63		0.572	1
90	亚硝基二甲胺 C ₂ H ₅ NO			由于这一化合物剧 毒和可能致癌,不应 有任何接触												
91	甲醚 C ₂ H ₆ O					4	6	3,4	3.4	18	气	350	-23.6	2128 ⁶	0.66	8
92	乙醇 C ₂ H ₅ O	(1500)		刺激中毒	2	3	0	1,3	3.3	19	13	423	78.3	51	0.7893	∞
93	2-羟基乙醇 C ₂ H ₆ OS		(0.64)		2	2		1,3			74		157~158		1.143	5
94	碳酸二甲酯 C ₂ H ₆ O ₃					3					19		50		0.62924 ⁶⁰	1
95	硫酸二甲酯 C ₂ H ₆ O ₄ S	(5)度		可能致癌、刺激	4	2	0	1,2,3			83		180.5		1.3822	5
96	乙硫醇 C ₂ H ₆ S	(1)		中毒	2	4	0		2.8	13.0	<12 ⁷	293	37 (144.4)		0.8381	8
97	二甲硫 C ₂ H ₆ S		(0.01)		4	4	0	3	3.2	19.7	<-3	206	37.4		0.8458	1
98	二甲胺 C ₂ H ₇ N	(5000)	(0.1)	皮肤、呼吸道过敏、 中毒	3	4	0	2,4	3.8	14.4	<18	435	5.4 2 大气压 ¹		0.6804 ¹	5
99	乙胺 C ₂ H ₇ N	(18)	(0.5)	刺激				2,3,4	3.5	14.0			16.4	400 ⁶	0.6892 ¹	∞
100	乙胺(70%水溶液) C ₂ H ₇ N	(18)		刺激	3	4	0	1,3	3.3	14.0	18	384	17		0.6	∞
101	氨基乙醇 C ₂ H ₇ NO	(5)	(0.5)	中毒	3	3	0	1,3			83		170	0.1 ²	1.040	∞
102	1,1-二甲肼 C ₂ H ₈ N ₂	(1)度		中毒					3	95	-5	219	81	105.5 ¹⁷	0.7914 ¹⁷	5
103	乙二胺 C ₂ H ₈ N ₂	(25)	(0.2)	皮肤、呼吸道过敏	3	2	0	1,3			45		116.5	10 ¹⁷	0.8855 ¹⁷	5
104	溴二氯乙烷 C ₂ HCl ₂ Br			有窒息和麻醉作用					不燃				1~0			
105	一氯五氯乙烷 CCl ₂ F ₃			基本无毒,高出容 许浓度 15% 体积分 数					不燃温度不燃				-38.7		1.20	1

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		依的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数, %		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (沸点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg · m ⁻³	地面水 mg · L ⁻¹		危害健康	可燃性	化学稳定性		下 限	上 限						
106	三氯乙烷 C ₂ Cl ₃	(100)		中毒	3	4	2	4	8.4	36.7					1.305	
107	草酰氯 C ₂ Cl ₂ O ₂			剧烈烧伤吸入危险									63~64		1.486 ¹⁾	d
108	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷 C ₂ Cl ₂ F ₃	(7600)		麻醉									47.7		1.5695	i
109	三氯乙腈 C ₂ Cl ₃ N			有毒									84.6 ²⁾		1.4463	
110	四氯乙烷 C ₂ Cl ₄	(760)		麻醉												
111	1,1,2,2-四氯-2,2-二氟乙烷 C ₂ Cl ₂ F ₂	(4170)		中毒									91.5			i
112	1,1,2,2-四氯-1,2-二氟乙烷 C ₂ Cl ₂ F ₂	(4170)		中毒									92.8		1.5447	i
113	六氯乙烷 C ₂ Cl ₆	(15)皮		中毒									180		2.051	j
114	六氟乙烷 C ₂ F ₆			低毒,防止分解产物吸入					不 燃				-78		1.690 ⁻¹³⁾	
115	氰 C ₂ N ₂	(25)		中毒					6	32	气		-21	2.895 ²⁾	0.9337	
116	1,2-二氯四氟乙烷 C ₂ F ₄ Cl ₂	(7600)		低毒、麻醉					不燃				3.6		1.440	i
117	丙二腈 C ₃ H ₂ N ₂		(0.02)	毒性与氰化物相似									218~219		1.0494	s
118	溴丙炔 C ₃ H ₂ Br								加热要爆炸				80~90		1.520	
119	丙烯腈 C ₃ H ₃ N	2(45)皮	2.0(2.0)	慢性中毒	4	3P	2	3	3.0	17	0	481	77.5~ 77.9	110~ 115 ²⁾	0.8060	s, s ^b
120	液化石油气 C ₃ ~C ₄	(1800)		麻醉												
121	丙二烯 C ₃ H ₄			麻醉					极易着火				-34.5		1.787	
122	丙炔 C ₃ H ₄	(1650)		麻醉	2	4	2	4	1.7		气		-23.2	744 ²⁾	0.7962	
123	1,3-二氯丙烯 C ₃ H ₃ Cl ₂		(0.4)								21		104	32 ²⁾	1.225	i

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		染的短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			或 火 剂	在空气中燃爆的 极限值体积分数 φ(%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg · m ⁻³	地下水 mg · L ⁻¹		危害 健康	燃 性	化学 稳定性		下 限	上 限						
124	氨基乙酸 C ₂ H ₅ N ₂ O			低毒									(118)			s
125	丙烯酸 C ₃ H ₄ O	0.3(0.25)	0.1(0.01)	皮肤、呼吸道过敏	3	3	2	3	2.8	31	>18	278	52.5 ~53.5	214 ²⁰	0.8625	v
126	烯丙基醇 C ₃ H ₆ O			刺激眼、鼻、喉									114~115		0.9628	s
127	丙烯酸 C ₃ H ₄ O ₂		(0.5)					1			49	429	141.6	3.1 ⁴⁷	1.0611	so
128	羟基丙酸 C ₃ H ₆ O ₃			剧毒,并证明在动物 皮肤上产生肿瘤, 应防止任何接触												
129	3-溴丙烯 C ₃ H ₅ Br				3	3	1		4.4	7.3	-1	296	70		1.388	i
130	3-氯丙烯 C ₃ H ₅ Cl	(8)	(0.5)	慢性中毒、刺激	3	3	1		3.5	11.1	-32	392	45	355 ⁵⁰	0.9897	i
131	1-氯-2,3-环氧丙烷 C ₃ H ₅ ClO	(20)			3	2	0				41		116.5	13 ⁵⁰	1.180	2,c ^b
132	1-氯-2-丙酮 C ₃ H ₅ ClO			强刺激									170		1.15 ⁵⁰	s
133	丙酰氯 C ₃ H ₅ ClO				3	3	1				12		80		1.0545 ⁵⁰	d
134	氯甲酸乙酯 C ₃ H ₅ ClO ₂					3	1	3			13	/	95		1.3577 ⁵⁰	d
135	1,2,3-三氯丙烷 C ₃ H ₅ Cl ₃	(500)		慢性中毒,刺激	3	2	0				82		136		1.394 ⁵¹	d
136	3-溴丙烯 C ₃ H ₅ Br			刺激眼、鼻、喉									102~103		1.8454 ⁵¹	i
137	乳糖(丙醇糖) C ₃ H ₅ NO			剧毒							77		20 ⁵¹		0.982	...
138	丙烯酸 C ₃ H ₄ NO	(0.3)皮		皮肤呼吸道过敏、 中毒							138	424	d		1.122	v
139	硝化甘油 C ₃ H ₅ (NO ₃) ₃	(2)		中毒					极危险,受热 和震动易爆炸							
140	环丙烷 C ₃ H ₆	(800)		吸入窒息	1	4	0	4	2.4	10.4		495	33	246~32	0.7234 ⁵⁴	6
141	丙烷 C ₃ H ₈	(500)	(0.5)	单纯窒息、麻醉剂	1	4	1		2.4	10.3		927	47.7		液 0.5130	v

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 (%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (沸点) θ/℃	蒸气压 155-32Pa	密度 或 相对密度	在水中 的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·l ⁻¹		急性毒性	慢性毒性	稳定性		下 限	上 限						
142	1-氯-1-硝基丙烷 C ₃ H ₆ ClNO ₂	(100)		刺激		2	3	1,3			62		141~143	5.8 ⁽¹⁾	1.209	8
143	丙酮 C ₃ H ₆ O	400(2400)		麻醉	1	3	0	1,3	2.6	12.5	-20	538	56.2	225 ⁽²⁾	0.7908	∞
144	丙醛 C ₃ H ₆ O	2(5)皮	(0.1)		3	3	1	1,3	2.5	18	21	378	57	23.8 ⁽³⁾	0.845 ⁽²⁾	∞
145	甲氧基乙烯 C ₃ H ₆ O				2	4	2				气		8		0.7723	6
146	丙胺 C ₃ H ₇ O			皮肤呼吸道过敏	2	3	1		2.9	17	9~17	207	48.8	300 ⁽¹⁾	0.807 ⁽²⁾	5
147	氧化丙烷 C ₃ H ₆ O	(240)		皮肤呼吸道过敏、 中毒	2	4	2	2,4	2.1	21.5	-37		33.9	445 ⁽²⁾	0.6304 ⁽²⁾	8
148	甲酸乙酯 C ₃ H ₆ O	(300)			2	3	0	2,3	2.7	13.3	-20	433	134.3	250 ⁽²⁾	0.9117	5
149	酯酸甲酯 C ₃ H ₆ O ₂	150(840)	(0.1)	麻醉、中毒				3	3.1	16	-10	502	37	235 ⁽²⁾	0.9223	5
150	丙酸 C ₃ H ₆ O ₂				2	2	0				54	513	141	10 ⁽²⁾	0.9949 ⁽²⁾	∞
151	邻水甘油 C ₃ H ₆ O ₃	(100)		中毒										0.9 ⁽²⁾	1.117 ⁽²⁾	∞
152	二噁烷 C ₄ H ₆ O ₂				3	2	0	2,3	3.6	25	45	414	114.5		1.17	5
153	1-氯丙烷 C ₃ H ₇ Cl			慢性中毒	2	3	0		2.6	11.1	<-18		46.60	350 ⁽²⁾	0.8923	8
154	丙腈 C ₃ H ₃ N			刺激性	3	3	1	1,3	2.2	22	-29	374	58		0.7613	∞
155	丙腈亚胺 C ₃ H ₃ N	(5)皮		皮肤呼吸道过敏、 中毒									63.84			5
156	二甲基甲酰胺 C ₃ H ₇ NO	(300) _m		中毒	1	2	0	1,2,3		15.2	58	445	13.2	3.7 ⁽²⁾	0.9445 ⁽²⁾	∞
157	1-硝基丙烷 C ₃ H ₇ NO ₂	(90)		中毒	1	2	3	3	2.6		49	421	130.5~ 131.5	2.5 ⁽²⁾	1.0221	8
158	2-硝基丙烷 C ₃ H ₇ NO ₂	(90)		中毒	1	3	3	3	2.6		39	428	加热至 120℃ 可能爆炸	12.7 ⁽²⁾	1.021	8
159	硝酸丙酯 C ₃ H ₇ NO ₃	(110)		中毒	2	3	3	1,2,3	2	100	20	117	110.5	16 ⁽²⁾	1.0580	8
160	丙烷 C ₃ H ₈	(1890)		窒息窒息	1	4	0	4	2.2	9.5	气	425	44.5	8.8 ⁽²⁾	0.5834 ⁽²⁾	5

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			灭 火 剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 φ(%)		闪点 6/℃	着火点 θ/℃	沸点 (熔点) θ/℃	蒸气压 33.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg · m ⁻³	地面水 mg · L ⁻¹		危害 健康	可燃 性	化学 稳定性		下 限	上 限						
162	异丙醇 C ₃ H ₈ O	(580)	(0.25)	麻醉、刺激	1	3	0	1,3	2.3	12.7	12	396	82.4	44 ²⁵	0.7851 ²⁵	∞
162	甲基乙基醚 C ₃ H ₈ O			麻醉剂	2	4	1		2	10.1	-37	190	11			
163	正丙醇 C ₃ H ₈ O	200(300)	(0.25)	麻醉	1	3	0		2.5	13.5	22	404	97.1	20.8 ²⁵	0.7796	v
164	甲基乙二醇 C ₃ H ₈ O ₂	(3000)		中毒	2	3	2	3			18	237	43.9	100 ²⁵	0.856	v
165	2-甲氧基乙醇 C ₃ H ₈ O ₂	(80)皮		慢性中毒				1,3	2.3	24.5	96	288	124.3	9.7 ²⁵	0.8647	∞
166	碳酸二甲酯 C ₃ H ₆ FO ₃				2	3	1				<27		67.3		0.915 ²⁵	d
167	异丙胺 C ₃ H ₉ N	(12)		刺激	3	4	0	1,3,4	2.0	10.4	-37	102	33.0	480 ²⁵	0.691	∞
168	丙胺 C ₃ H ₉ N		(0.5)		3	3	0		2.0	10.4	-37	318	49	400 ²⁵	0.7198	s
169	三甲胺 C ₃ H ₉ N		(5.2)		3	4	0	1	2.0	11.6	气	190	3.5	730 ²⁵	0.5079	v
170	马来酐 C ₄ H ₂ O ₃	(1)		皮肤呼吸道过敏、 中毒	3	1	1	1,3	1.4	7.1	102	477	196	0.16 ²⁵		i
171	戊醛 C ₅ H ₁₀ O		(0.5)		3	4	1				<0		32		0.8066 ²⁵	i
172	马来酸 C ₄ H ₄ O ₄			皮肤呼吸道过敏									(130)			
173	噻吩 C ₄ H ₄ S		(2.0)								-1.1		84.12		1.0581 ²⁵	i
174	2-氯-1,3-丁二烯 C ₄ H ₃ Cl	(50)皮		慢性中毒				4	4.0	20.0	-20		56.4	210.4	0.9583 ²⁵	6
175	1-氯-1,3-丁二烯 C ₄ H ₃ Cl	2	(0.1)		3	4	2	4	4.3	16	<-6.1		32.6		0.9	
176	丁烯酰氯 C ₄ H ₅ OCl			刺激眼和呼吸道									124~125		1.0405	d
177	1,2-丙二醇碳酸酯 C ₄ H ₈ O ₃				1	1	0	1,3			135		166		0.9435 ²⁵	6
178	1,3-丁二烯 C ₄ H ₆	100(2000)		麻醉	2	4	2	4	2.0	11.5	气	42.3	4.4			i
179	1-丁炔 C ₄ H ₆			单纯窒息					可燃				8.7		0.689	

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		急性短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			天 火 剂	在空气中燃烧范 围(体积分数 %)		闪点 $t/^\circ\text{C}$	着火点 $t/^\circ\text{C}$	沸点 (熔点) $t/^\circ\text{C}$	蒸气压 153-32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性 健康	短期 危害	化学 稳定性		下 限	上 限						
180	1,3-二氯-2-丁烯 $\text{C}_4\text{H}_6\text{Cl}_2$		(0.1)		2	3	0				27		123~136			
181	丁烯醇 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$				2	3	2	2.3			2		79~80		0.8633 ²⁵	
182	丁烯醇 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$	(6)		皮肤呼吸道过敏、 中毒	3	3	2	3	2-1	15-5	7	227	104	1520	0.8843 ²⁵	
183	乙基乙炔基醚 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}$										< 7		50		0.7929	形成过 氧化物
184	乙烯基醚 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$				2	3	2		1.3	36.5	42	FD	39		0.769	
185	丁内酯 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$			皮肤刺激							24		205		1.049 ²⁵	
186	异丁烯酸 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$				3	2	2				27		162-3	1 ²⁵	0.9504	
187	丙烯酸甲酯 $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	(35)皮	(0.02)	呼吸道皮肤过敏	2	3	2		2.8	25	3		80.5 (-78.5)	100 ²⁵	0.9561	
188	乙酸酐 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$	(20)		刺激	2	2	2	3	2.9	10.3	34	230	140	10 ²⁵	1.085 ²⁵	
189	溴乙酸乙酯 $\text{C}_4\text{H}_7\text{BrO}_2$										48		159		1.5056 ²⁵	
190	3-氯-2-甲基-丙烯 $\text{C}_4\text{H}_7\text{Cl}$			刺激眼和呼吸道									71.5~ 72.5		0.925	
191	氯乙酸乙酯 $\text{C}_4\text{H}_7\text{ClO}_2$			刺激眼、鼻、喉	2	2	0				66		147		1.257 ²⁵	
192	敌敌畏 $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}_2\text{O}_4\text{P}$	(1)皮		中毒									84	0.61 ²⁵	2.415	
193	氟乙酸乙酯 $\text{C}_4\text{H}_7\text{FO}_2$			剧毒												
194	3-甲基丙烯 $\text{C}_4\text{H}_8\text{NO}$	(40)		剧毒	4	1	2				74	688	82	0.6 ²⁵	0.932	
195	2-丁烯 C_4H_8	100	(0.2)	单纯窒息				4	1-7	9-0		230	3-7	790	0.6213	
196	1-丁烯 C_4H_8			单纯窒息	1	4	0	4	1-6	9-3	-80	384	-6.3	760 ^{-1.3}	0.5646	
197	异丁烯 C_4H_8			单纯窒息	1	4	0	4	1-8	8-8	气	465	6-6		0.5932	

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		急性短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			火灾 危险性	在空气中燃烧的 极限值体积分数 φ(%)		闪点 t/°C	着火点 t/°C	沸点 (熔点) t/°C	蒸气压 13.3-32Pa	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg/m ³	地面水 mg/L		危害性	可燃性	稳定性		下限	上限						
198	二氯乙醚 C ₂ H ₄ Cl ₂ O	(30)		慢性中毒	2	2	0	1,2,3			55	369	178	0.13 ^m	1.2155	i
199	1,4-二亚硝基咪唑 C ₄ H ₃ N ₃ O ₂			动物致癌												
200	2-丁酮 C ₄ H ₈ O			刺激	1	3	0		1.7	11.4	7	474	79.6		0.8054	v
201	丁醛 C ₄ H ₈ O	10		皮肤呼吸道过敏	2	3	1	2	1.5		-22	218	75.7 (-99)	30 ^m	0.8170 ^m	s
202	乙酐基乙基醚 C ₄ H ₈ O										<-46		86	4.28	0.754	a
203	异丁醇 C ₄ H ₁₀ O				2	3		3	1.5	10.5	-16	210	62	115 ^m	0.787~ 0.7913 ^m	a
204	1,2-丙二醇 C ₃ H ₈ O				0	1	0	1,3	2.6	12.5	93	421	189	0.19 ^m	1.0361	∞
205	四氢呋喃 C ₄ H ₈ O	(500)		刺激,中毒	2	3	1	1,3	2	11.8	14	321	64~65		0.888	v
206	乙酸乙酯 C ₄ H ₈ O ₂	300(1400)	(0.1)	刺激	1	3	0	3	2.2	11.5	4	324	77.06	100 ³⁵	0.9005	s
207	正丁酸 C ₄ H ₈ O ₂				2	2	0	1,3	2.3	10.0	66	172	163.5	0.84 ³⁵	0.947	∞
208	丁酸 C ₄ H ₈ O ₂	(500)皮		慢性中毒(肺病)	2	3	1	1	2.0	22	12	360	101	37 ^m	1.0313 ¹	∞
209	甲酸丙酯 C ₄ H ₈ O ₂				2	3		2,3			-3	150	81.3	85 ^m	0.9005	b
210	八氯环丁烷 C ₂ F ₈			有一定毒性									1.2		液 1.5297	
211	1-溴丁烷 C ₄ H ₉ Br				2	3	0				16	250	101.3		1.2764 ¹	i
212	氯丁烷 C ₄ H ₉ Cl			慢性中毒	2	3	0		1.8	10.1	7	160	78.4		0.8865	i
213	氯乙酸 C ₂ H ₃ ClO ₂				2	0		3			14	232	124.5~ 126.5			
214	四氢吡咯烷 C ₄ H ₉ N				2	3	1	1,3			3		88.8~ 89.0	128 ¹²⁹	0.85 ^m	∞
215	N,N'-二甲基乙脒 C ₃ H ₉ NO	(35)皮		皮肤呼吸道过敏, 中毒	3	4	0	3,4	2.8	14.4	<-18	130	7.4	2mm ¹⁰	0.6824	v

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		浓的短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			式 火 剂	在空气中燃烧的 最低值体积分 数(%)		闪点 0/℃	着火点 0/℃	沸点 (熔点) 0/℃	蒸气压 13.3-32Pa	密 度 或 相对密度	在水 中 的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性 健康	可燃 性	化学 稳定性		下 限	上 限						
216	吗啡 $\text{C}_{17}\text{H}_{19}\text{NO}$	(70)皮	(0.54)	刺激, 半毒	2	2	G	1.5			38		128	0 ⁹⁹	0.9984	~
217	正丁基锂 $\text{C}_4\text{H}_9\text{Li}$			皮肤接触腐蚀性烧伤					在浓度大会自燃, 在溶剂中非常可燃溶剂之中							
218	丁烷 C_4H_{10}			单纯窒息	2	4	G	4	1.5	8.3	气	105	-0.5	1825 ⁹⁹	0.5812	v
219	异丁烷 C_4H_{10}				1	4	G	4	1.8	8.4	气	162	-12		0.563	s
220	氯化二乙基铝 $\text{C}_2\text{H}_5\text{AlCl}_2$			腐蚀性很强, 燃烧 产物有毒	3	3	C	3	与空气接触要燃烧				203			d
221	三氯化硼乙醚络合物 $\text{C}_2\text{H}_5\text{BF}_3\text{O}$				3	2	C				64		201 (125.8)		1.1	
222	正丁醇 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	200(300)	(1.0)	麻醉	1	3	C	1.3	1.7	18	29	365	117.3	6.5 ⁹⁷	0.8098	s
223	异丁醇 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	(450)	(1.0)	麻醉	1	3	C	1.3			24	406	99.5	23.9 ⁹⁹	0.8080	s
224	叔丁醇 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	(300)		刺激, 麻醉	1	3	C	1.3	2.4	5.0	11	475	82.2~82	12.0 ⁹⁸	0.7856 ⁹⁷	∞
225	乙醚 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	500(1200)	(0.3)	麻醉	2	4	1	3.1	1.5	4.8	45	180	34.6	458.9	0.714	s
226	异丁醇 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	(300)		刺激	1	3	C	1.3	1.7	16.9	26	441	107	13.2 ⁹⁸	0.805	s
227	1,2-二甲氧基乙烷 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$					2	2				40		86		0.8663 ⁹⁷	s
228	2-乙氧基乙醇 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$	(240)皮		中毒					1.7	15.8	43	238	125	5.3 ⁹⁷	0.9297	∞
229	叔丁基过氧化氢 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$				1	4	4	3	可燃, 对热和 震动敏感		38	爆炸	d		0.853	d
230	硫醚二乙烷 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}$			可能使动物致害	3	1	1	3			104	436	208		1.1774	d ⁹⁷
231	正丁硫醇 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}$	(35)	(0.006)	中毒	2	3	0				2		97.8			d
232	叔丁基醇 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}$				0	3			可燃		< 24		54.22	0.9547		i
233	二乙基锌 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{Zn}$			燃烧生成 ZnO 烟 尘, 容许浓度 $5\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	0	3	3		与空气接触着火, 与水反 应剧烈				112 (28)		1.257	d

续表

序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		体的短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			火 灾 剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 %(%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·L ⁻¹		急性 毒性	可燃 性	化学 稳定性		下 限	上 限						
234	正丁胺 C ₄ H ₁₁ N	(15)皮		皮肤呼吸道过敏、 刺激	3	3	0	1.3	1.7	9.6	12	312	77.8	10 ²⁵	0.764	∞
235	叔丁胺 C ₄ H ₉ N				3	4	0						43.2		0.6862	∞
236	二乙胺 C ₄ H ₁₁ N	(75)	(2.5)	刺激	3	3	0	3	1.8	10.1	<-26	312	58.8	105 ²⁵	0.7103	v
237	异丁胺 C ₄ H ₉ N				3	3	0				-9	378	67.4	100	0.738	
238	磷酸铅 C ₁₂ H ₁₀ O ₈ Pb			慢性中毒									(280)		305	s
239	四甲基铅 C ₄ H ₁₀ Pb	(0.075)皮		中毒	3	3	3				38		110		1.285	i
240	二乙三胺 C ₂ H ₁₁ N ₃			刺激腐蚀可以引起 过敏							102	395	237.1	3.37 ²⁰	0.9542	∞
241	糠醛 C ₅ H ₄ O ₂	(20)皮	(1.0)	可致	1	2	1	1.2, 3	3.1		60	318	161.7	1 ²²	1.1598	s, v ^h
242	宁康酮 C ₅ H ₈ O ₂			皮肤呼吸道过敏									213~214		1.2169	d
243	吡啶 C ₅ H ₅ N	4(15)	0.2~(0.2)	中毒	2	3	0	1.3	3	12~4	8	542	115.5	20 ²⁵	0.9819 ²²	∞
244	环戊二烯 C ₅ H ₆	(200)		中毒									40.83 (-85)		0.8021	i
245	1,3-二氯-5,5-二甲基 海因 C ₅ H ₈ Cl ₂ N ₂ O ₂	(0.2)		中毒												
246	2-氨基吡啶 C ₅ H ₆ N ₂	(2)		中毒									205			s
247	2-甲基呋喃 C ₅ H ₆ O					3	1				-50		63~63.5		0.8158 ²	3
248	糠醇 C ₅ H ₈ O ₂	(20)		中毒	1	2	1	1.3	1.8	6.3	75	401	171 ²⁵	151.8	1.1250 ²⁵	∞ ^d
249	1-甲基吡啶 C ₅ H ₇ N		(0.05)			3					16		115~118		0.9145	3
250	甲苯-1,3-二烯 C ₆ H ₆				2	4	1	3.4			-64	220	34		0.8620 ¹	i
251	壬戌酮 C ₆ H ₈ O				2	3	0				26		130.65		0.8509 ^{1,2}	i

续表

顺 序	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		浓的短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			灭 火 剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 g/(%)		闪点 g/°C	着火点 g/°C	沸点 (熔点) g/°C	蒸气压 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气	地面水		危害	可燃	化学 稳定性									
		mg·m ⁻³	mg·L ⁻¹		健康	性	性		下 限	上 限						
252	二苯醚 C ₁₂ H ₁₀ O					0	5				18		86~87		0.923 ₄	s
253	丙烯酸乙酯 C ₅ H ₈ O ₂	(100)皮	(0.005)	皮肤呼吸道过敏	2	3P	2		1.8	饱和	8.9	385	99.1~ 99.5	14.5 ^h	0.921 ₄ ^h	s
254	乙酸异丙酯 C ₅ H ₁₀ O ₂				2	3					14		92~94		0.9090	δ
255	异丁烯酸甲酯 C ₅ H ₈ O ₂	(410)	(0.01)	刺激	2	3P	2		2.1	12.5	10	421	100	68.2 ^h	0.536	δ
256	乙酸丙酯 C ₅ H ₁₀ O ₂			皮肤呼吸道过敏	2	2	0				41	340	140.5 (-23.5)		0.8721	v
257	环戊烷 C ₅ H ₁₀				1	3	0				<7		40.3		0.7510 ^g	i
258	1-己烯 C ₆ H ₁₂				1	3	0				<-7		63.3		0.701 ^h	i
259	2-甲基-1-丁烯 C ₅ H ₁₀					4	0				<-7		38.6		0.6623	i
260	2-甲基-2-丁烯 C ₅ H ₁₀					3	0				<-7		38~42		0.66701 ^h	δ
261	N-甲基丁胺 C ₅ H ₁₁ N			毒性大有刺激									20.05	434 ^h	0.627	
262	2-戊酮 C ₅ H ₁₀ O	(700)		刺激					1.55	5-15	7.2		102	14 ^h	0.8124 ₃ ^g	δ
263	3-戊酮 C ₅ H ₁₀ O				1	3	0				13	125	102.7		0.8519	v
264	甲基正丁醇 C ₅ H ₁₂ O ₂				3	2	0	2.3	1.7	8.0	18	227	107	50 ^h	0.911	δ
265	乙酸异丙酯 C ₅ H ₁₀ O ₂	(350)		刺激	1	3	0	2.1	1.8	7.8	2	465	93	73 ^h	0.8732	g
266	丁酸甲酯 C ₅ H ₁₀ O ₂					3	0	2.3			14		102.3	40 ^h	0.8982	δ
267	乙酸丙酯 C ₅ H ₁₀ O ₂	300(840)		麻醉	1	3	0		2.0	8	12	450	101.6	25 ^h	0.8884 ₃ ^g	δ
268	碳酸二乙酯 C ₆ H ₁₄ O ₃	(70)				3	1	2.3					126		0.9752	i
269	乳酸乙酯 C ₅ H ₁₀ O ₃				2	2	0	1.3			46	400		5 ^h	1.0415	s
270	甲氧基乙醇乙酸酯 C ₅ H ₁₂ O ₃	(120)皮		慢性中毒				1.5	1.5	12.3	45	304	144.5	2.0~ 3.7 ^h	1.0090	s

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		急性短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧时的 最低和最高体积分数 (%)		闪点 /°C	着火点 /°C	沸点 (熔点) /°C	蒸气压力 125.32Pa 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·L ⁻¹		危险性	易燃性	稳定性		下限	上限					
271	溴乙烷 C ₂ H ₅ Br				1	3	0				32		129.4	1.2177	i
272	1-氯戊烷 C ₅ H ₁₁ Cl				1	3	0		1.6	8.5	13	232	108.2	0.8828	-
273	嘧啶 C ₄ H ₄ N ₂				2	3	3				16		108.0	40 ^{0.2}	0.8506 ²⁰
274	新戊烷 C ₅ H ₁₂			单纯窒息和麻醉性		4	0	4	1.4	7.5	< 6.7	150	9.45	603 ³⁷	0.613 ₀
275	戊烷 C ₅ H ₁₂	(1500)		麻醉	1	4	0	2,3,4	1.4	8.0	40	260	35.074	500 ²⁰	0.6262 ²⁰
276	2-戊醇 C ₅ H ₁₂ O	(350)	(1.5)	麻醉	1	2	0	2,3	1.2	9.0	39	347	118~ 115.5	0.8103	v
277	3-戊醇 C ₅ H ₁₂ O	(280)		麻醉	1	2	0		1.2	9.0	41		115.5	2 ³⁰	0.8134
278	叔戊醇 C ₅ H ₁₂ O	(350)		麻醉					1.2	9.0	39	437		0.809	
279	2,2-二甲氧基丙烷 C ₃ H ₈ O ₂			引起窒息							-7		80	100 ⁶⁰	0.850 ⁶⁰
280	1-戊醇 C ₅ H ₁₂ O	160(390)	(1.5)	麻醉	1	3	0		1.2	10.0	33	300	137.3	0.811 ₀	i
281	1,5-戊二醇 C ₅ H ₁₂ O ₂				1	1	0				124		260	0.9939 ³⁵	s
282	戊胺 C ₅ H ₁₃ N				3	3	0				7.2		103	0.7161	
283	五氯酚 C ₆ HCl ₅ O	0.3(0.5)皮	(0.3)	刺激发疹,慢性中毒									309~310	0.00011 ²⁰	1.978
284	二硝基氟苯 C ₆ H ₃ ClN ₂ O ₄	1	0.5,(0.5)	皮肤呼吸过敏	3	1	4	1,3	2.0	22	194	432	315	1.4982	1.9 ⁰
285	1,2,4-三氯代苯 C ₆ H ₃ Cl ₃		0.02		2	1	0	1,2,3			99		218.5	1.4542	i
286	三硝基苯 C ₆ H ₃ (NO ₂) ₃	1	(0.4)	刺激呼吸过敏	2	4	4	遇爆炸					61		s
287	苦味酸 C ₆ H ₃ N ₃ O ₇	(0.1)皮	0.5(0.5)	刺激、中毒	2	4	4	1	易爆炸			<300	(122.2)		8.9 ⁰
288	1-氯-2-硝基苯 C ₆ H ₄ ClNO ₂				3	1	1	1,3			127		242	1.9273 ²⁰	i
289	1-氯-3-硝基苯 C ₆ H ₄ ClNO ₂				3	1	1				127				

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		慢性短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			火灾剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ (%)		闪点 $t_f/^\circ\text{C}$	着火点 $t_d/^\circ\text{C}$	沸点(熔点) $t_b/t_m/^\circ\text{C}$	蒸气压 $p^s/33-321^\circ\text{Pa}$	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性毒性	可燃性	化学稳定性		下限	上限						
290	1-氯-4-硝基苯 $\text{C}_6\text{H}_4\text{ClNO}_2$	(1)皮	2-5(0.06)								127		246		1.368	1
291	邻二氯苯 $\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	(300)	0.02, (0.002)	慢性中毒	2	2	0	1,2,3	2.2	8.2	63	413	179	1.367	1.3048	1
292	对二氯苯 $\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	(450)	0.02	中毒	2	2	0	1,2,3			68		174		1.333	1
293	间二硝基苯 $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_2\text{O}_4$	(1)皮	0.5(0.5)	蒸汽剧毒					震动和火焰有爆炸危险		150		281		1.5752	1
294	邻二硝基苯 $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_2\text{O}_4$	(1)皮		蒸汽剧毒	3	1	4	1,3			150		319		1.4019	3
295	对二硝基苯 $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_2\text{O}_4$	(1)皮		蒸汽剧毒							150		289		1.621	3
296	2,4-二硝基苯酚 $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_2\text{O}_5$		(0.06)	被皮肤很快吸收,使肝肾受到慢性毒害,超过 0.2mg 可致死					燃烧时有着火危险				(114)		1.681	3
297	对苯醌 $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2$	(3-4)	(0.20)									560	升华	高	1.318	3
298	溴代苯 $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$			皮肤刺激	2	2	0	1,2,3			57.1	553	155~156		1.52139	1
299	氯代苯 $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	50(350)	0.02(0.02)	慢性中毒	2	3	0	2,3	1.3	7.1	29	638	132	12.7	1.1064	1
300	2,4-二硝基苯酚 $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_2\text{O}_5$		(0.05)	刺激皮肤黏膜,吸入有害	3	1	3	1,3			244		(187.5~188)		1.615	1
301	硝基苯 $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	5(2)	(0.2)		3	2	0	1,2,3	1.8		88	482	210.8		1.2037	3
302	苯 C_6H_6	40(50)	2.5(0.5)	慢性中毒	2	3	0	2,3	1.4	8.0	-17	562	80.1	100 ⁶⁰	0.8787	3
303	高沸点六六六 $\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_6$	0.05(0.3)	0.02(0.02)	慢性中毒									285	0.3 ⁶⁰	1.87 ⁶⁰	1
304	间硝基苯胺 $\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_2$			有毒,毒性比对硝基苯胺低	3	1	1						234		1.442 ⁶⁰	3
305	邻硝基苯胺 $\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_2$			有毒	3	1	1				165	321	305~307		1.1747 ⁶⁰	3
306	对硝基苯胺 $\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_2$	(1)皮		易由皮肤快速吸收	3	1	1	1,3	燃烧形成有毒烟气有爆炸性		155		210 ⁶⁰		1.437 ⁶⁰	3

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		急性短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			火灾 危险性	在空气中燃烧的 极限值体积分数 (%)		闪点 t/℃	着火点 t/℃	沸点 (沸点) t/℃	蒸气压 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg · m ⁻³	地面水 mg · L ⁻¹		危害 健康	可燃 性	化学 稳定性		下 限	上 限						
307	苯酚 C ₆ H ₆ O	5(18)	0.01 (0.001)	中毒	3	2	0	1,3			79	715	182	0.3513	1.0729	s, v ^h
308	氯醚 C ₆ H ₅ OCl	(2)	(0.2)	中毒				1,3			165	516	285	4 ¹⁰⁰	1.328	s, v ^h
309	乙酸乙酯 C ₄ H ₈ O ₂				2	3	2	2,3	2.6	13.4	8	427	72~73	115 ²⁰	1.3941	.
310	焦樟脑 C ₁₅ H ₁₀ O ₂			有毒, 过敏									3263		1.458	
311	2-甲基吡啶 C ₆ H ₇ N		(0.4)		2	2	0	3			38	538	128.8		0.9497	v
312	苯胺 C ₆ H ₇ N	5(13)皮	(0.1)	慢性中毒	3	2	0	1,2,3	1.3		70	617	184.3	15 ²⁰	1.0216	s, v ^h
313	邻氨基酚 C ₆ H ₇ NO		(0.01)	过敏									升华			g
314	对苯二胺 C ₆ H ₈ N ₂	(0.1)皮	(0.1)	刺激									275			s ^h
315	苯胍 C ₆ H ₈ N ₂	(22)皮	(0.01)	眼灼伤, 皮肤呼吸 道过敏	3	2	0	1,3			89		174	243	1.0992	s ^h
316	富马酸二甲酯 C ₆ H ₈ O ₄			眼接触危险									(241)			s, v ^h
317	环己烯 C ₆ H ₁₀	100(1000)	(0.02)	麻醉	1	3	0				<7		83		0.8116 ²⁰	.
318	环己酮 C ₆ H ₁₀ O	30(200)	(0.5)	麻醉	1	2	0	1,3			44	420	155	4.5 ²⁰	0.9987 ²⁰	d
319	异丙叉丙酮 C ₆ H ₁₀ O	(100)		麻醉	3	3	0	3	可燃		32	344	130~131	8.5 ²⁰	0.8578	s
320	1-丙炔基 2,3-环氧 丙烷 C ₆ H ₁₀ O ₂	(45)		对眼睛有强烈刺激							57		154	4.7(27)	0.9698	
321	巴豆酸乙酯 C ₈ H ₁₄ O ₂				2	3	0				2		145~147		0.9183 ²⁰	i
322	二环氧甘油醚 C ₆ H ₁₀ O ₃	(2.8)		皮肤呼吸道过敏、 中毒									280	0.39 ²⁰	1.262	
323	乙酸乙酯/酯 C ₆ H ₁₀ O ₂				2	2	0	1,3			84		181	0.8 ²⁰	1.03	s
324	丙酸酐 C ₆ H ₁₀ O ₃				2	2	.				59	316	190~191	1 ²⁰	1.010~ 1.015 ²⁰	il
325	环己烷 C ₆ H ₁₂	(1050)	(0.1)	麻醉	1	3	0	2,3	1.8	8	-20	260	81	103.60 ²⁰	0.77913 ²⁰	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧或爆炸极限体积分数(%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (沸点) θ/℃	蒸汽压 133-32Pa	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg/m ³	地下水 mg/L		急性 毒性	可燃性	化学 稳定性		下限	上限						
326	乙烯基丁基醚 C ₈ H ₁₆ O				4	3	2				9		55.8	42 ^h	0.7742	
327	环己醇 C ₆ H ₁₂ O	50(200)	(0.5)	麻醉	1	2	0	1,2,3			68	300	161.1	3.5 ^h	0.9524 ^h	s
328	乙酸丁酯 C ₆ H ₁₂ O ₂	300(710)	(0.1)	刺激、麻醉	1	3	0	2,3	1.4	7.6	27	399	127	16 ^h	0.883	s
329	乙酸仲丁酯 C ₆ H ₁₂ O ₂	(930)		刺激、麻醉	1	3	0	2,3	1.7		31		112	24	0.8750	i
330	乙酸叔丁酯 C ₆ H ₁₂ O ₂	(930)		刺激、麻醉									95		0.8020	
331	乙酸异丁酯 C ₆ H ₁₂ O ₂	(700)		刺激	1	3	0	2,3	1.3	7.5	16	423	117.2	20 ^h	0.8747	s
332	己酸 C ₆ H ₁₂ O ₂				2	1	0				102		205	1 ^h	0.8262 ^h	s
333	2-己醇 C ₆ H ₁₂ O ₂	(410)		刺激	2	3	0		1.2	5	35	533	126	3.5 ^h	0.8116	s
334	双丙酮醇 C ₆ H ₁₂ O ₂	(240)		刺激、中毒	1	2	0		1.8	5.5	54	505		0.92 ^h	0.8306	v
335	缩水甘油异丙醚 C ₅ H ₁₀ O ₂	(240)		中毒									137	9.4 ^h	0.8156	s
336	乙酸-2-乙氧基乙酯 C ₆ H ₁₂ O ₄	(540)皮		中毒					1.2	12.7	53	382	175.4		0.9745	v
337	三聚乙醛 C ₆ H ₁₂ O ₃				2	3	1	1,3			36	238	128.0		0.8423	v, s ^h
338	环己胺 C ₆ H ₁₁ N				2	3	0	3				293	134.5		0.8555 ^h	s
339	N-乙基吡啶 C ₆ H ₇ NO	(92)皮		中毒刺激	2	3	0	1,2,3			32				0.9	s
340	二乙氧基酮 C ₆ H ₁₂ O ₃								正常贮存中能变质并引起危险							
341	2,2-二甲基丁烷 C ₆ H ₁₄					3	0	3	1.2	7.0	-48	425	45.7		0.6742 ^h	i
342	己烷 C ₆ H ₁₄	(1800)		在评价其健康危害时 要考虑其杂质	1	3	0	2,3	1.1	7.3	-30	201	68	150 ^h	0.6595 ^h	i
343	乙丁醇 C ₆ H ₁₄ O				2	3	0				4		92		0.7190	
344	异丙醚 C ₆ H ₁₄ O	(1050)		麻醉	2	3	1	2,3	1.4	21	28	443	69	119.4 ^h	0.7024	s

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			火灾剂	在空气中燃烧时 极限值体积分数 g/l (%)		闪点 g/C	着火点 g/C	沸点 (熔点) g/C	蒸气压 kPa (20°C)	溶解度 相对密度	在水中 的溶解度
		空气 mg · m ⁻³	肺脏水 μg · l ⁻¹		急性 毒性	慢性 毒性	致癌性		下 限	上 限						
345	4-甲基-2-戊醇 C ₆ H ₁₄ O	(100)度		麻醉中毒	2	2	0		1.0	5.5	41		130	352 ^h	0.8225	g
346	4-甲基-2-戊酮 C ₆ H ₁₂ O				2	2	0		1.4	7.5	23	480	116-85	7.5 ^h	0.8015	g
347	乙酯 C ₆ H ₁₂ O ₂				2	3	0	3	1.0	10.4	20	220	102	20 ^h	0.821	g
348	2-丁氧基乙醇 C ₆ H ₁₄ O ₂	(240)度		慢性中毒				1.3	1.1	12.7	51	248	121	0.88 ^h	0.9027	∞
349	二异丙胺 C ₆ H ₁₅ N	(20)度		刺激	3	3	0	1.3			1			70 ^h	0.7228 ^h	g
350	己胺 C ₆ H ₁₅ N				2	3	0				29		128~130	6.5 ^h	0.7038	g
351	二乙胺 C ₆ H ₁₅ N	(100)	(2.8)	刺激	2	3	0	2.3	1.2	8.0	-6.7		55~56	100 ^h	0.72558 ^h	g, 油
352	二乙氧基乙醇 C ₆ H ₁₅ NO	(50)度		刺激	3	2	0	1.3			60		153		0.884	∞
353	1,6-己二胺 C ₆ H ₁₅ N ₂			皮肤过敏									204			g
354	异氰酸苯基 C ₆ H ₅ NO				在正常贮存下可能变质而发 生危险								55		1.093	d
355	三硝基甲苯 C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	(1-5)度	0.3(0.5)	中毒	2	4	1						240 爆炸	0.648 ^h	1.551	g
356	N-甲基-N,2,4,6-四 硝基苯胺 C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	(1.5)度		中毒									187 爆炸	1.57		g
357	苯酰氯 C ₇ H ₅ Cl				2	2	1	1,2,3			72		197.5		1.205	g
358	二氯甲苯 C ₇ H ₄ Cl ₂		(0.02)	慢性中毒									205.2		1.3557	g
359	2,4-二硝基甲苯 C ₇ H ₅ N ₂ O ₄	(1.5)度	(0.5)	中毒	3	1	3	1.3					(60)		1.321 ^h	g
360	2,6-二硝基甲苯 C ₇ H ₅ N ₂ O ₄	(1.5)度	(0.5)	中毒	3	1	3						(60)		1.2633	
361	4,6-二硝基苯甲酰胺 C ₇ H ₅ N ₃ O ₄	(0.2)度	(0.5)	很毒									(85)			g

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高允许浓度		急性短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			火灾危险性	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi_l(\%)$		闪点 $t_f/^\circ\text{C}$	着火点 $t_d/^\circ\text{C}$	沸点(熔点) $t_b/t_m/^\circ\text{C}$	蒸气压 133.32Pa	密度或 相对密度	在水中的溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性毒性	可燃性	化学危险性		下限	上限						
362	苯甲醛 $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$				2	2	0	1,2,3			64	192	178.1	1 ¹⁴	1.0415	8
363	醋酸 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$			皮肤刺激									(253d)		1.0494	8,9 ^a
364	2-氯甲苯 $\text{C}_7\text{H}_7\text{Cl}$	(5)		刺激、中毒	2	2	0		1,1		67	365	179.3		1.107	1,4 ^a
365	间硝基甲苯 $\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}_2$	5(30)皮		中毒									232.6 (15)	1.0 ⁶⁰	1.1371 ¹⁷	1
366	邻硝基甲苯 $\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}_2$	5(30)皮	(0.05)	中毒									220.4 (2.9)	1.5 ⁶⁰	1.1629	1
367	对硝基甲苯 $\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}_2$	5(30)皮		中毒		1	3	1,3			106		238.3 (51.7)	1.3 ⁶⁰	1.209	1
368	甲苯 C_7H_8	100(200)	(0.5)	中毒	2	3	0	2,3	1,2	7.1	4	535	110.6	30 ^{60,114}	0.8669 ¹⁸	1
369	苯醇 $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$				2	1	0				101	436	205.35	0.15 ²³	1.5419	8
370	间甲苯酚 $\text{C}_7\text{H}_7\text{O}$	(22)皮	(0.004)	中毒	3	1	0	1,3			54	559	202.8	3.72 ¹⁷	1.0336 ¹⁹	8,9 ^a
371	邻甲苯酚 $\text{C}_7\text{H}_7\text{O}$	(22)皮	(0.004)	中毒	2	2	0	1,2,3			81	599	191.2	3.72 ¹⁷	1.0465 ²⁰	8
372	对甲苯酚 $\text{C}_7\text{H}_7\text{O}$	(22)皮	(0.004)	中毒	2	1	0	1,3			94	559	202	3.72 ¹⁷	1.0347 ²⁰	8,8 ^b
373	2-甲基硫酚 $\text{C}_7\text{H}_8\text{S}$			刺激									9.4~9.5		1.058	1
374	N-甲苯胺 $\text{C}_7\text{H}_9\text{N}$	5(9)皮		中毒									196.25		0.989 ¹²	1
375	间甲苯胺 $\text{C}_7\text{H}_9\text{N}$	5		慢性中毒							86	482	203.2	1 ¹⁴	0.9916 ²¹	1
376	邻甲苯胺 $\text{C}_7\text{H}_9\text{N}$	5		中毒	2	2	0	1,2,3			85	482	199.7	1 ¹⁴	1.008 ²⁰	1
377	对甲苯胺 $\text{C}_7\text{H}_9\text{N}$	5		中毒	2	2	0	1,2,3			87	482	200.4	1 ¹⁷	1.049 ²¹	1
378	邻茴香胺 $\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}$	(0.5)皮		慢性中毒									224		1.0923	8
379	对茴香胺 $\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}$	(0.5)皮		中毒									243		1.0605	8
380	环庚酮 $\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}$			中等毒性,抑制神经系统中枢									178.5~ 179.5		0.9305 ²⁰	8
381	2-甲基环己酮 $\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}$	(160)皮		麻醉	2	0	1,2,3				48		165	165	0.9245	1

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		急性短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级		火灾危险性	在空气中燃烧的 极限值体积分数 φ(%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (沸点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度	
		空气 mg·m ⁻³	地面水 mg·L ⁻¹		危害性	健康性		化学稳定性	下 限							上 限
382	丙酸二乙酯 C ₇ H ₁₄ O ₂				0	1	0	1,2		93		199	10 ^{0.1}	1.0530	8	
383	磷剂(Phosdra) C ₇ H ₁₁ O ₅ P	(0.1)皮		中毒						79		210	0.0025 ¹⁾	1.23	1	
384	甲基环己烷 C ₇ H ₁₄	(2000)		麻醉		3	0	2,3	1,2	-4	285	100.4	43 ^{0.1}	0.7695	i	
385	2-庚酮 C ₇ H ₁₄ O	(465)		刺激	1	2	0			49	535	151	1.6 ^{0.1}	0.8111 ⁰	v	
386	3-庚酮 C ₇ H ₁₄ O	(230)		刺激	1	2	0			46		156	1.4 ^{0.1}	0.8183 ⁰	i	
387	2-甲基环己醇 C ₇ H ₁₄ O	(235)		刺激		2	0	1,2,3		296		167.2~ 167.6	1.5 ^{0.1}	0.9241 ⁰	6	
388	癸甘油正丁基醚 C ₇ H ₁₆ O ₂	(270)		皮肤呼吸道过敏								154	3.2 ^{0.1}	0.8087	6	
389	乙酸异戊酯 C ₇ H ₁₄ O ₂	(525)		刺激				2,3		7.5	25	379	142	5 ^{0.1}	0.8670	6
390	乙酸(正)戊酯 C ₇ H ₁₄ O ₂	(525)	(0.08)	刺激	1	3	0		1,1	7.3	25	379	148.6	5 ^{0.1}	0.8756	8
391	庚烷 C ₇ H ₁₆	(2050)		麻醉	1	3	0	2,3	1,2	6.7	-4	223	98.12	150 ^{0.1}	0.6837	i
392	二丙基乙二醇甲醚 C ₇ H ₁₆ O ₂	(600)皮		中毒							85		189	0.3 ^{0.1}	0.931	10
393	正庚胺 C ₇ H ₁₇ N				2	2	0				54		158.3		0.777 ⁰	8
394	苯二甲酸酐 C ₈ H ₆ O ₃	(12)	(0.5)	皮肤呼吸道过敏	2	1	0	1,3	1,7	10.5	152	584	284.5 升华		1.527	8
395	2,4,5-三氯苯氧基醋酸 C ₈ H ₅ Cl ₃ O ₂	(25)		刺激眼睛									(157~ 158)			8
396	二氯(2,4-D) C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₂	(10)		中毒	2	2	0	1,2,3		5-9	47	438	177		0.8585	i
397	2-氯乙苯酚 C ₈ H ₇ ClO	(0.3)		刺激眼、鼻、喉									276		1.1922	i
398	苯乙烯 C ₈ H ₈	40(420)	0.3(0.1)	刺激、麻醉	2	3	2	2,3	1,1	6.1	32	490	145~146	4.3 ^{0.1}	0.9090 ⁰	i
399	2,4-滴砒钠(Crag D) C ₈ H ₇ Cl ₂ NaO ₂ S	(15)		中毒												8
400	皮砒磷 C ₈ H ₇ Cl ₂ O ₂ PS	(140)	(0.4)	中毒												

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		经短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			灭 火 剂	在空气中燃烧时 极限体积分数 (%)		凝固 点/ °C	着火点 °C	沸点 (沸点) °C	蒸气压 133.32Pa	密 度 相对密度	在水中 的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地下水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性 毒性	慢性 毒性	稳定性		下	限						
401	茴香醇 $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$				2	1	0				118		249.6	1 ²⁵	1.1192	i
402	苯胺甲酯 $\text{C}_8\text{H}_9\text{O}_2$				0	2	0				83		199.6		1.0937	i
403	醋酸苯酯 $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$				2	2	0	1,3			80		195.7		1.0927 ²⁵	0
404	乙酸苯胺 $\text{C}_9\text{H}_9\text{NO}$			急性毒性很低				1,3			155	329	304		1.2135	2 ²⁵
405	4-乙酰氨基联苯 $\text{C}_{14}\text{H}_{11}\text{NO}_2$			有致癌可能									(166)		1.298	6
406	乙苯 C_8H_{10}	(435)	(3,01)	中毒	2	3	0	2,3	1,0		15	432	156		0.8972	i
407	间-二甲苯 C_8H_{10}	130(435)		刺激	2	1	0	2,3	1,1	7.0	29	228	139	10 ²⁵	0.8684 ²⁵	i
408	邻-二甲苯 C_8H_{10}	700(435)		刺激	2	3	0	2,3	1,1	6.0	32	161	144	10 ²⁵	0.8983 ²⁵	i
409	对-二甲苯 C_8H_{10}	100(435)		刺激	2	3	0	2,3	1,1	7.0	27	525	13.8	10 ²⁵	0.8706 ²⁵	i
410	异丁酸甲酯 $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$			皮肤过敏									(27~28)		1.230	
411	N,N-二甲苯胺 $\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N}$	(25)皮		分解形成有毒烟雾	3	2	0	1,2,3			53	271	194.15		0.9563	8
412	N-乙替苯胺 $\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N}$				3	2	0	1,2,3			85		204.72		0.9825 ²⁵	i
413	N,N-二甲苯胺 $\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N}$	(25)皮		慢性中毒	3	1	0	1,2,3			97		192~195		0.9557	8
414	四甲基琥珀腈 $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_2$	(3)皮		中毒									(103)		1.070	
415	磷酸二异丙酯 $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{P}_2\text{O}_5$			防止吸入和皮肤接 触,是胆碱酯酶很强 的抑制剂,受磷形成 1HP												
416	甲基丙烯酸丁酯 $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$				2	2	0				52		163		0.845	i
417	丁酸酐 $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_4$				3	2	1	3			75	507	195	0.3 ²⁵	0.940 ²⁵	d
418	Demeton $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{O}_6\text{PS}_2$	(1)皮		中毒										0.001 ²⁵	1.1183	0

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等效			火 火 剂	在空气中燃烧的 极限值(体积分数) φ(%)		闪点 θ/℃	着火点 9/℃	沸点 (熔点) θ/℃	蒸气出 133.32Pa	密 度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 mg · m ⁻³	地面水 mg · L ⁻¹		危害 性	可燃 性	化学 稳定性		下 限	上 限						
419	二异丙过二碳酸盐 C ₈ H ₁₆ O ₈				0	4	1		12℃自动分解, 对震动和热敏感				(8)			
420	2,4,4-三甲基-1-戊烯 C ₈ H ₁₆					3	0				7		101.44		0.7150	i
421	2,4,4-三甲基-2-戊烯 C ₈ H ₁₆					3	0				1.7		105			
422	5-甲基-3-庚酮 C ₈ H ₁₆ O	(130)		刺激							57		160.5	2.6 ²⁰	0.800	i
423	正辛烷 C ₈ H ₁₈	(1000)		麻醉	0	3	0	2,3	1.0	4.56	15	220	125~128	10.45	0.7025	i
424	乙酸异丁酯 C ₆ H ₁₂ O ₂	(295)		刺激	1	2	0	3			45		141	3.8 ²⁰	0.855	d
425	2,2,4-三甲戊烷 C ₈ H ₁₈			皮肤刺激		3	0	5	1.1	6.0	-12	18	98.2		0.6518 ²⁰	i
426	丁醚 C ₈ H ₁₈ O				2	3	0	3	1.3	7.6	23	154	141	4.8 ²⁰	0.769	e
427	铬酸叔丁酯 C ₈ H ₁₈ O ₂ Cr	(0.1)皮 (以 CrO ₃ 计)		中毒												
428	二丁基二氯化锡 (C ₄ H ₉) ₂ · SnCl ₂			眼、皮肤刺激											1.36	d
429	二丁胺 C ₈ H ₁₇ N				3	2	0	1,2,3			52		159	1.5 ²⁰	0.661	g
430	磷酸三丁酯 C ₈ H ₁₉ O ₄ P	(5)		中毒												
431	硫普特 (C ₂ H ₅ O) ₄ P ₂ O ₅	(0.2)皮		中毒											1.166	i
432	焦磷酸四乙酯 C ₈ H ₁₈ P ₂ O ₇	(0.05)		中毒										挥发	1.1847	i
433	四乙基钙 C ₈ H ₁₈ Ph	0.005	不得检出	中毒	5	2	3				55		d 200		1.858	i
434	四亚乙基五胺 C ₈ H ₁₈ N ₅			皮肤呼吸道过敏	2	1	0	1,3			163			<0.01 ²⁰	0.958	~
435	2,4-二异氰基甲苯酯 C ₈ H ₁₂ N ₂ O ₂	(0.14)		刺激·引起过敏、中毒	2	1	2				33		250	180	1.21	i
436	8-羟基喹啉 C ₈ H ₇ NO			可能致癌									276(76)			

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的范围(体积分数%)		闪点 6/℃	着火点 6/℃	沸点 (熔点) 6/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限						
437	肉桂醛 $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}$			有毒							10				1.048 ²¹	8
438	2-甲基苯乙炔 C_9H_{10}	(480)		刺激	1	2	1		1.9	9.1	51	574	167~170		0.8133 ¹⁷	i
439	间对甲基苯乙炔 C_9H_{10}	(480)		该化合物系甲基苯乙炔的同位, 对皮肤有刺激							60		170~171		0.890	8
440	乙酸苯酯 $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$				1	1	0				102	441	213.5	1.966	1.057 ²⁶	8
441	1,4-二噁烷 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	(52)		中毒									245	0.01 ²	1.1092	8
442	异丙苯 C_9H_{12}	(245)皮	0.25	麻醉, 中毒	0	2	0	2.3	0.88	6.50	44	424	152~153	10 ^{24.5}	0.864 ¹⁹	i
443	丙苯 C_9H_{12}		(0.2)			3	0				30		159.2		0.8520 ¹⁹	i
444	2,2-二甲苯氢过氧化物 $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}_2$			有毒, 皮肤过敏	1	2	4		蒸气与空气形成爆炸混合物		19	221	153		1.048	
445	异佛尔酮 $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	(140)		慢性中毒, 刺激	2	1	0	1.3	0.8	3.8	96	462	215.2	0.44 ²⁵	0.9228	8
446	二甲基二硫代甲酸铁 $\text{C}_2\text{H}_{16}\text{FeN}_4\text{S}_6$	(15)														
447	六氯苯 $\text{C}_6\text{H}_2\text{Cl}_6$	1(0.2)皮		中毒												
448	五氯苯 C_6HCl_5	1(0.5)皮		刺激发疹 慢性中毒												
449	四氯苯 $\text{C}_6\text{H}_2\text{Cl}_4$	1(0.5)皮		中毒												
450	三氯 $\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$	1(0.5)皮		中毒									(95~96)		1.37— 1.53 ¹	i
451	氯丹 $\text{C}_{10}\text{H}_5\text{Cl}_3$	1(0.5)皮		慢性中毒												
452	氯代联烯 $\text{C}_{10}\text{H}_6\text{Cl}_6$	(0.5)皮														
453	2-硝基苯 $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$				1	1	0	1.3			164		304		1.332	i
454	苯 C_6H_6	100(50)	(0.05)	中毒	2	2	0	1.8	0.9	5.9	79	326	210.8	0.082	1.1452 ²⁷	i
455	八氯苯 C_6Cl_8	1(0.1)皮		中毒									(185)		2.00	
456	1-萘胺 $\text{C}_{10}\text{H}_9\text{N}$				2	1	0	1.3			157	300.8 升华			1.123 ²⁵	8

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		按短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧时的极限值(体积分数)(%)		闪点 9/℃	着火点 #/℃	沸点 (沸点) 9/℃	蒸气压 133.32Pa	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气	地面水		危害	可燃	化学稳定性									
		mg·m ⁻³	mg·L ⁻¹		急性	慢性	稳定性		下限	上限						
457	2-萘胺 C ₁₀ H ₇ N			致癌物质												
458	酞酸二甲酯 C ₁₀ H ₁₂ O ₄	(5)		刺激眼和粘膜、麻醉							137	318	282~285		1.1600	
459	乙酰乙酰萘胺 C ₁₆ H ₁₁ NO ₂				2	1	0				185		85			0
460	双茂 C ₁₀ H ₁₂				1	3	1				32		170	10 ⁻⁴	0.8302	1
461	四氢萘 C ₁₀ H ₁₂	190			1	2	0	1,2,3			71	384	207.3		0.9729	1
462	谷硫磷 C ₁₀ H ₁₃ N ₃ O ₂ PS	(0.2)皮		中毒												
463	乙氧乙酰萘胺 C ₁₅ H ₁₃ NO				0	2	0	1,2,3			32				0.942	1
464	对异丙基苯甲硫 C ₁₀ H ₁₂				2	2	0	1,2,3		5.6	47	436	177		0.8565 ²⁰	1
465	双硫磷 C ₁₀ H ₁₁ (NO) ₂ PS	0.05 (0.1)皮	0.02 (0.05)	中毒	4	1	0						357	0.0003 ²⁰	1.26	-
466	烟碱 C ₁₀ H ₇ N ₂	(0.5)皮		中毒	4	1	0	2	0.7	4.0		245	247.3	1 ⁵⁻⁴	1.010 ²⁰	0
467	乙酸异戊酯 C ₁₁ H ₁₄ O ₂	(850)		中毒	1	3	0	2,3	1-12	7.6	22		121	9 ²⁰	0.862	0
468	二乙基胺 C ₁₀ H ₁₅ N				5	2	0	1,3			85	332	214.27		0.8350 ¹	0
469	樟脑 C ₁₀ H ₁₆ O	(2)		中毒	2	2	0	1,2,3			55	405	209		0.945 ²	0
470	萘二烯-1,8 C ₁₀ H ₆					2	0				45	237			0.8402	1
471	2-萘烯 C ₁₀ H ₈			刺激眼、鼻、喉,可引起皮肤斑疹	1	3	0	2,3			50		158.2		0.8582	0
472	十氢萘 C ₁₀ H ₁₈				2	2	0	1,2,3	0.7	4.5	35	250	185.5	10 ⁻⁴	0.8700 ²⁰	1
473	碳醇-2 C ₁₀ H ₁₈ O				2	2	0	1,3			65		(210)升华		1.011 ²⁰	1
474	马拉硫磷 C ₁₀ H ₁₆ O ₂ PS ₂	2(16)皮	0.25 (0.05)	中毒										4×10 ⁻⁵ (30℃)	1.234	0
475	正癸烷 C ₁₀ H ₂₂				0	2	0	2,3	0.8	5.4	43	208	174.1		0.7350 ²	1

续表

顺 序 号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		急性短期暴露对 健康的相对危害	化学危险性 等级			灭 火 剂	在空气中燃烧的 极限值体积分数 %(%)		闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点 (熔点) θ/℃	蒸气压 133.321Pa	密 度 或 相对密度	在水 中 的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危害 健康	可燃 性	化学 稳定性		下 限	上 限						
476	正戊醇 $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$				1	2	0	1,3			37	171	190		0.744	i
477	异硫氰酸 α -萘酯 $\text{C}_{11}\text{H}_7\text{NS}$			通过皮肤吸收可引起皮炎、寒战、发热、肾脏损害												
478	1-甲基萘 $\text{C}_{11}\text{H}_{10}$				2	2	0	3	对光敏感			528	240~243		1.0287 ¹⁵	i
479	α -萘磺胺(安妥) $\text{C}_{11}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{S}$	(0.3)		中毒									(138)			
480	过苯甲酸叔丁酯 $\text{C}_{13}\text{H}_{20}\text{O}_3$				1	3	4	3	可燃,对热敏感		68	113 自己 促进分解	113		1.035	d
481	对叔丁基甲苯 $\text{C}_{11}\text{H}_{14}$	(60)		中毒									133	0.65 ²⁵	0.8534	i
482	三氯联苯(42%Cl) $\text{C}_{12}\text{H}_5\text{Cl}_3$	(1)皮		慢性中毒,可诱发疹							175—180			30 ²⁰⁰	1.376~ 1.388	i
483	五氯联苯(54%Cl) $\text{C}_{12}\text{H}_3\text{Cl}_5$	(0.5)皮		慢性中毒,可诱发疹										9 ²⁰⁰	1.536~ 1.548	i
484	艾氏剂 $\text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_6$	(0.25)反	(0.002)	中毒									(104)			i
485	狄氏剂 $\text{C}_{12}\text{H}_2\text{Cl}_8$	(0.1)皮		中毒									(175~ 176)		1.75	i
486	异狄氏剂 $\text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_6\text{O}$	(0.1)皮		中毒									(200)			i
487	对溴联苯 $\text{C}_{12}\text{H}_9\text{Br}$				2	1	0				144		310		0.9327	i
488	联苯 $\text{C}_{12}\text{H}_{10}$	7(1)		刺激	2	1	0	1,2,3	0.6	5.8	113	540	253.8		1.9869	i
489	苯酚 $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}$	(7)		刺激							96	646	258.4	0.0213 ²⁵	1.0863	i
490	2-氨基联苯 $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{N}$				2	1	0						299			i
491	二苯胺 $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{N}$	(10)	(0.05)		3	1	0	1,3			153	634	302		1.160	i
492	西维因(Sevin) $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{NO}_2$	(6)	(0.1)	中毒												
493	联苯胺 $\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{N}_2$			对人的膀胱肿瘤有影响,任何暴露包括皮肤都极危险												

续表

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		液体的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi(\%)$		闪点 $t/^\circ\text{C}$	着火点 $t/^\circ\text{C}$	沸点 (熔点) $t/^\circ\text{C}$	蒸气压 133.32Pa	密度 或 相对密度	在水中的溶解度	
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		急性毒性	可燃性	化学稳定性		下限	上限							
							稳定性										化学性
494	邻苯二甲酸二乙酯 $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4$				0	1	0	1,2,3			117		256	0.95(70)	1.23214	i	
495	环己基苯 $\text{C}_{12}\text{H}_{16}$				2	1	0				99		238.9		0.9502	i	
496	三丁胺 $\text{C}_{11}\text{H}_{27}\text{N}$				2	2	0	1,2,3			86		216~217	20 ¹⁰⁰	0.7782 ₂₅	g	
497	磷酸三丁酯 $\text{C}_{12}\text{H}_{27}\text{O}_4\text{P}$	(5)	(0.02)	刺激	2	1	0	1,2,3			146		289		0.9727	s	
498	吡啶 $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$			刺激眼、鼻、喉									345~348		1.005	g ^b	
499	二苯基甲烷 $\text{C}_{12}\text{H}_{10}$				1	1	0	1,2,3			130	486	265.6		1.006	i	
500	DDT $\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$	0.3 (1.6)反	0.2 (0.1)	可能使人致癌,中毒									(108.5)		1.53	i	
501	菲 $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$		(0.4)	本品不致癌				1,2,3					340		1.182	i	
502	过氧化苯甲酰 $\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_4$	(5)		刺激眼、鼻、喉,中毒	1	4	4	1,2,3	分解蒸气可燃,对热和震动敏感				(103.5)			g	
503	2-叔戊酰蒽醌二酮-1,3 $\text{C}_{24}\text{H}_{18}\text{O}_6$	(0.1)		中毒													
504	伊皮恩 $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_2\text{NPS}$	(0.5)皮		中毒									(36)	3×10^{-1} (100°C)	1.5078	g	
505	亚甲基二对苯基胍 $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{N}_4\text{O}_2$	(0.2)															
506	苯基胍 $\text{C}_7\text{H}_7\text{N}$			皮肤呼吸道过敏													
507	甲氧氯 $\text{C}_{11}\text{H}_{17}\text{ClO}_2$			中毒									(94)			s	
508	邻苯二甲酸二丁酯 $\text{C}_{14}\text{H}_{20}\text{O}_4$	(5)		刺激	0	1	0	1,2,3			157	403	340	2.35	1.043	i	
509	间联三苯 $\text{C}_{18}\text{H}_{12}$	1, (5.4)		刺激		1	0	1,3			135		305			i	
510	邻联二苯 $\text{C}_{18}\text{H}_{12}$	1(5.4)		刺激		1	0	1,3			163		32			i	
511	对联三苯 $\text{C}_{18}\text{H}_{12}$	1(9.4)		刺激													
512	磷酸三苯酯 $\text{C}_{18}\text{H}_{15}\text{O}_4\text{P}$	(3)		中毒	2	1	0	1,3			200				1.2055	i	

续表

序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的最限值体积分数 ϕ (%)		闪点 6/℃	着火点 8/℃	沸点 (熔点) 8/℃	蒸气压 133.22Pa	密度 或 相对密度	在水中的 溶解度
		空气 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	地面水 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		危险	可燃	化学 稳定性		下	上						
513	杀鼠灵 $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_4$	(0.1)		中毒									(161)			i
514	马钱子碱 $\text{C}_{21}\text{H}_{33}\text{N}_2\text{O}_7$	(0.15)		中毒											1.36	g
515	磷酸三邻甲苯酯 $\text{C}_9\text{H}_9\text{O}_4\text{P}$	(0.1)		能引起疼痛	2	1	0	1,2,3			225	385		10^{mm}	1.247	g
516	香木蜜碱 $\text{C}_{20}\text{H}_{29}\text{N}_2\text{O}_4$			中毒									(178)			g
517	鱼藤酮 $\text{C}_{24}\text{H}_{30}\text{O}_4$	(5)		中毒												i
518	酞酸二甲酯 $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_4$	(5)		中毒	0	1	0	1,3			218	410	358	0.01^{mm}	0.986	i

二、化学物质环境标准

我国颁布的环境标准（1992年底止）中有关化学物质内容部分如表7-3所示。

表 7-3 我国关于化学物质的环境标准

(1) 环境质量标准

序号	编号	标准名称	发布日期	实施日期
1	GB5095-82	大气环境质量标准	04/05/82	08/01/82
2	GB3097-82	海水水质标准	04/05/82	08/01/82
3	GB3838-86	地面水环境质量标准	04/05/86	06/01/86
4	GB1327-88	保护农作物的农业污染物最高允许浓度	05/23/88	10/01/88
5	GB11697-89	渔业水质标准	04/23/89	03/01/90
6	GB12941-91	景观娱乐用水水质标准	05/18/91	02/01/92
7	GB3084-92	农田灌溉水质标准	04/01/92	10/01/92

(2) 污染物排放标准

序号	编号	标准名称	发布日期	实施日期
1	GBJ4-73	工业“三废”排放试行标准	11/17/73	01/01/74
2	GB1455-79	机动车辆允许噪声标准	02/23/79	02/23/79
3	GB143-83	医院污水综合排放标准	01/03/83	01/03/83
4	GB3545-83	甜菜制糖工业水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
5	GB3546-83	甘蔗制糖工业水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
6	GB3547-83	合成脂肪酸工业污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
7	GB3548-83	合成洗涤剂工业污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
8	GB3549-83	制革工业水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
9	GB3550-83	石棉开发工业水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
10	GB3551-83	石油炼制工业污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
11	GB3552-83	船舶污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
12	GB3553-83	电影洗片水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
13	GB3842-83	汽油车怠速污染物排放标准	09/14/83	04/01/84
14	GB3843-83	柴油车自由加速烟度排放标准	09/14/83	04/01/84
15	GB3844-83	汽油柴油机全负荷烟度排放标准	09/14/83	04/01/84
16	GB4274-84	橡胶工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
17	GB4275-84	照像金工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
18	GB4276-84	火炸药工业硫酸盐污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
19	GB4277-84	铅汞工业污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
20	GB4278-84	二硝基重氮酚工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
21	GB4279-84	叠氮化铅、三硝基间苯二酚、D.S. 炸药工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
22	GB4280-84	糖业工业污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
23	GB4281-84	石油化工水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
24	GB4282-84	硫酸工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
25	GB4283-84	黄磷工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
26	GB4285-84	船舶工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85

续表

序号	编号	标准名称	发布日期	实施日期
27	GB4911—85	钢铁工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
28	GB4912—85	有色金属工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
29	GB4913—85	有色冶金工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
30	GB4914—85	海洋石油开发工业含油污水排放标准	01/18/85	08/01/85
31	GB4915—85	水泥工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
32	GB4916—85	造纸工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
33	GB4917—85	海盐工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
34	GB5085—85	有色金属工业固体废物污染物排放标准	04/25/85	10/01/85
35	GB5468—85	铁路货车洗刷废水排放标准	10/04/85	02/01/86
36	GB8978—88	污水综合排放标准	04/05/88	01/01/89
37	GB8978—88	工业炉窑烟尘排放标准	05/04/88	06/01/88
38	GB11641—89	轻型汽车排气污染物排放标准	08/17/89	01/01/90
39	GB12592—90	含氯废渣污染物控制标准	10/16/90	07/01/91
40	GB13015—91	含多氯联苯污染物控制标准	05/27/91	03/01/93
41	GB13223—91	燃煤电厂大气污染物排放标准	10/29/91	01/08/92
42	GB13271—91	锅炉大气污染物排放标准	09/14/91	01/08/92
43	GB13277—92	纺织染整工业水污染物排放标准	07/05/92	07/01/92
44	GB13344—92	造纸工业水污染物排放标准	06/07/92	07/01/92
45	GB13346—92	钢铁工业水污染物排放标准	05/07/92	07/01/92
46	GB13357—92	肉类加工工业水污染物排放标准	05/07/92	07/01/92
47	GB13358—92	合成氨工业水污染物排放标准	05/07/92	07/01/92

三、化学致癌物质

人类环境中大量化学物质的存在与人类癌症有密切关系。世界卫生组织(WHO)国际癌症研究中心(IARC)自1971年开始实施化学物质对人类致癌危险性的评价。至1978年底,编辑出版了《IARC关于化学物质对人类致癌危险性的专题论文集》1~20卷,总共对420种化学物质、化学物质组分和工艺过程作了评价。评价认为有142种从实验动物获得了充分的致癌性证据(见表7-4)。对已发表过病例报告或流行病学研究资料的60种化学物质进行了进一步评价,根据有关资料和证据的充分程度,评价认为其中有18种对人类具有肯定的致癌性(表7-5),另18种可能对人类具有致癌性(表7-6),其余24种尚缺乏足够资料,就其对人类的致癌性作出评价(表7-7)。化学致癌物质对人体作用的靶器官如表7-8所示。

表7-4 对实验动物具有充分致癌性证据的化学物质⁽¹⁾

序号	化 合 物	序号	化 合 物
1	丙烯腈	9	石棉
2	放线菌素类	10	氮杂丝氨酸
3	黄曲霉毒素类	11	苯并(a)蒽
4	邻氨基偶氮苯类	12	联苯胺
5	4-氨基联苯	13	苯并(a)荧蒽
6	2-氨基-5-(5-硝基-2-呋喃基)-3,4-吡啶二唑	14	苯并(a)芘
7	阿米替林(氨基三甲)	15	下基紫杉醇
8	杀螨特	16	砷

续表

序号	化 合 物	序号	化 合 物
17	氯化铍	65	乙炔基醚、醚
18	磷酸铍	66	二溴化乙醚
19	硼酸铍	67	乙氧硼酸
20	双氧甲醚*	68	甲氧羧酸乙酯
21	β -1内酯	69	2-(2-甲氧基胍基)-4-(5-硝基-2-咪唑基)噻唑
22	锡*	70	缩水甘油醚
23	氯化锡	71	六氟化苯
24	氯化锡	72	六甲磺酸酐
25	硫酸锡	73	胍
26	硫化锡	74	胍并(1,2,3-cd)吡
27	铬酸钙	75	葡聚糖铁*
28	四氯化碳*	76	异黄樟素
29	苯丁酸氮芥*	77	向非黄草碱
30	十氯酮(开蓬)	78	醇酸铝
31	氟仿	79	醇酸铝
32	钴*	80	碱式醇酸铝
33	柠檬红2号	81	左旋苯丙氨酸氮芥(米尔法兰)*
34	苏铁素	82	消旋苯丙氨酸氮芥(溶肉瘤素)
35	环磷酰胺*	83	甲乙醚醇醚(乙烯基醚二酞甲基醚)
36	柔红霉素	84	2-甲基氮丙啶
37	N,N'-二乙氧联苯胺	85	甲基氧化偶氮基甲醇醇酸酐
38	4,4'-二氨基二苯基醚	86	4,4'-甲叉双(2-氯苯胺)
39	2,4'-二氨基甲苯	87	4,4'-甲叉双(2-甲苯胺)
40	二苯并(a,h)吡啶	88	亚磺酸甲酯
41	二苯并(a,j)吡啶	89	甲基磺酸甲酯
42	二苯并(a,h)基	90	N-甲基-N'-硝基-N'-亚硝基胍
43	7H-二苯并(c,g)吡啶	91	甲基磺胺嘧啶
44	二苯并(a,e)吡	92	灭蚊灵(十二氯五环癸烷)
45	二苯并(a,h)烷	93	丝裂霉素C
46	二苯并(a,i)吡	94	野百合碱
47	1,2-二溴-3-氯丙烷	95	5-(吗啡甲基)-3-[(5-硝基-萘叉)-氨基]-2-噻唑烷酮
48	3,3'-二氯联苯*	96	2-溴胺*
49	3,3'-二氯-4,4'-二氨基二苯基醚	97	锂*
50	1,2-二氯乙烷	98	碱式硫化锂
51	二环氧丁烷	99	硝基咪唑啉
52	1,2-二乙基胍	100	5-硝基胍
53	己烯雌酚*	101	1-[(5-硝基萘叉)氨基]-2-咪唑烷酮
54	硫酸二乙酯	102	N-(4-(5-硝基-2-咪唑基)-2-噻唑基)乙酰胺
55	二氢黄樟素	103	氮芥及其盐酸盐
56	3,3'-二甲氧联苯胺(邻联(二)茴香胺)	104	N-氧化氮芥及其盐酸盐
57	对二甲胺基偶氮苯	105	N-亚硝基二正丁胺
58	反-2,2'-(二甲胺基)甲基亚氨基-5,5'-(2-(5-硝基-2-咪唑基)乙烯基)-1,3,4-噻二唑	106	N-亚硝基二乙醇胺
59	3,3'-二甲基联苯胺(邻联甲苯胺)	107	N-亚硝基二乙醇胺
60	二甲基氨基甲酰胺*	108	N-亚硝基二甲胺
61	1,1'-二甲基胍	109	N-亚硝基二正丙胺
62	1,2'-二甲基胍	110	N-亚硝基-N'乙基胍
63	硫酸二甲酯*	111	N-亚硝基甲基乙胺
64	1,4-二噁烷	112	N-亚硝基-N'甲基胍

续表

序号	化 合 物	序号	化 合 物
113	N-亚硝基-N-甲基苯胺	128	丙基硫原酰胺
114	N-亚硝基甲基乙烯胺	129	黄樟素
115	N-亚硝基吗啡	130	烟炭、焦油 and 矿物油类*
116	N-亚硝基去甲尼古丁	131	小檗碱糖甙类
117	N-亚硝基吡啶	132	链霉素
118	N-亚硝基吡咯烷	133	塞凡酮
119	N-亚硝基肌氨酸	134	硫代乙酰胺
120	糖二醇-17β	135	砷源
121	吡啶	136	毒杀宁
122	油酸 SS	137	三乙基硫代磷酸酯 (噻普唑)*
123	多氯联苯类*	138	三(2,3-二溴丙基)磷酸盐
124	丽春红 MX	139	苯虫脲 (商品级)
125	丽春红 JR	140	尿嘧啶氮芥
126	1,3-丙烷羧基琥珀内酯	141	尿烷 (氨基甲酸乙酯)
127	β-丙内酯	142	氯乙烯*

① 表中带“*”号的表示该物质已有关于人类癌症的资料。

表 7-5 对人类致癌的化学物质或工业生产过程

序号	化学物质 ^① 或工业生产过程	序号	化学物质或工业生产过程
1	4-氨基联苯	10	己烯雌酚
2	砷和某些砷化合物	11	地下赤铁矿采矿过程*
3	石棉	12	异丙基制漆过程(强酸法)*
4	金胺制造过程*	13	米尔德兰(左旋苯丙氨酸氮芥)
5	苯	14	芥子气
6	联苯胺	15	2-萘胺
7	N,N-双(2-氯乙基)-2-萘胺(强致癌物)	16	镍的提炼过程*
8	双氯甲醚和工业品级氯甲甲醚	17	烟炭、焦油和矿物油类*
9	铬和某些铬化合物	18	氯乙烯

① 表中带“*”号为尚不能确切指明可能对人类产生致癌作用的特定化合物。

表 7-6 对人类可能致癌的化学物质

序号	化 学 物 质 ^①	序号	化 学 物 质
1	黄曲霉毒素类	10	砷和某些砷化合物*
2	镍和某些镍化合物*	11	四氯化锡
3	苯丁酸氮芥	12	二甲氨基基甲酰胺
4	环磷酰胺	13	硫酸二甲酯
5	镍和某些镍化合物*	14	环氧乙烷
6	三乙基硫代磷酸酯(噻普唑)	15	右旋糖酐铁
7	丙硫脲	16	康夏龙
8	阿米脱(氨基三唑)	17	非那西丁
9	金胺	18	多氯联苯类

① 表中带“*”号的为尚不能确切指明可能对人类产生致癌作用的特定化合物。

表 7-7 对人类致癌性尚无足够证据可以进行评价的化学物质

序号	化 学 物 质 ⁽¹⁾	序号	化 学 物 质
1	氯霉素	13	N-甲基-2-萘胺(弱致癌剂)
2	氟丹和七氟	14	苯妥因
3	氯丁二烯	15	利血平
4	二氯二(2-氯乙基)烷(滴液烷)	16	苯乙烯
5	狄元素(氧桥氧甲桥奈)	17	三氯乙烯
6	环氧氯丙烷(表氯醇)	18	二乙烯基胺-对-苯醌(二核醌)
7	赤铁矿 ⁽²⁾	19	邻和对二甲苯
8	六六六(六氯环己烷)(工业品级六六六和林丹)	20	二氯苯胺
9	异烟肼	21	氨基二氯胺
10	异丙基油类	22	2,3,7,8-四氯二苯-对-二噁英
11	铅和某些铅化合物	23	邻和对甲苯胺
12	苯巴比妥	24	二氯乙烷(亚乙基氯)

(1) 表中带“*”者为尚不能确切指明可能对人类产生致癌作用的特定化合物。

表 7-8 化学致癌物质的靶器官部位

序号	靶器官部位	化 学 致 癌 物 质 ⁽¹⁾
1	肺部	铍和某些铍化合物, 芥子气
2	胃肠道	丙烯腈(结肠)*、石棉*、氯丁二烯、环氧乙烷、铅和某些铅化合物、烟灰、焦油和矿物油类*、氯乙烯
3	肝脏	黄曲霉毒素类, 砷和某些砷化合物、四氯化砷、苯并(a)芘、苯巴比妥、苯妥因、2,3,7,8-四氯二苯-对-二噁英、氯乙烯* (血管肉瘤)
4	胰腺-间皮瘤	石棉*
5	鼻及鼻窦	铈和某些铈化合物、异丙基油类、异丙醇制造过程、芥子气、镍和某些镍化合物、镍的提炼过程*
6	喉部	石棉*、异丙基油类、异丙醇制造过程、芥子气、镍和某些镍化合物、镍的提炼过程、烟灰、焦油和矿物油类
7	肺-气管、支气管	丙烯腈、阿米脱、砷和某些砷化合物*、石棉*、铍和某些铍化合物、双氧甲酐和氧甲酐酐*、铈和某些铈化合物、氯丁二烯、铈和某些铈化合物*、硫酸二甲酯、环氧氯丙烷、赤铁矿(氧化铁)、地下赤铁矿采矿过程*、六氯环己烷、(六六六)异烟肼和某些铅化合物、芥子气*、镍和某些镍化合物、镍的提炼过程*、烟灰、焦油和矿物油类*、2,3,7,8-四氯二苯-对-二噁英、氯乙烯*、偏二氯乙烯
8	胰腺-间皮瘤	石棉*
9	骨	铍和某些铍化合物
10	结缔组织	右旋糖酐铁
11	皮肤	砷和某些砷化合物*、氯丁二烯、多氯联苯类(黑色素瘤)、烟灰、焦油和矿物油类*
12	乳腺	己烯雌酚、利血平
13	女性生殖道、子宫内膜卵巢、阴道(透明细胞癌)	己烯雌酚
14	前列腺	铈和某些铈化合物
15	膀胱	4-氨基联苯*、金胺、金胺制造过程*、联苯胺*、N,N-双(2-氯乙基)-2-萘胺(氯苯胺)*、环磷酰胺、异烟肼、铈和某些铈化合物(尿道)、2-萘胺*、非那西丁、N-甲基-2-萘胺、邻和对甲苯胺、烟灰、焦油和矿物油类*
16	肾	铈和某些铈化合物、铈和某些铈化合物(尿道)、非那西丁
17	中枢神经系统	氟丹和七氟、苯巴比妥、苯妥因、氯乙烯*

续表

序号	靶器官部位	化学致癌物质 ^①
18	造血淋巴系统	卽和某些砷化合物, 苯*, 苯丁酸氮芥, 氮芥类、氮芥和七氮、氮芥二烯、环磷酰胺、邻和对二氯苯、环氧氯丙烷、环氧乙烷、六氯环己烷(六六六)、美尔法林、氧苯丁氧酮、亚巴比妥、苯基丁氧酮、苯妥因、左乙烯、三氯乙烷、三乙烯 砷代砷酰胺(砷砷砷)、氮乙烯
19	所有部位肿瘤	阿米脱、吸入性麻醉剂、砷和某些砷化合物、多氯联苯类

① 表中带“*”者表示该化学物质对所靶器官部位的致癌性已获得“充分的证据”, 其余化学物质仅在有关文献中曾提到该靶器官。

主要参考文献

1. 杨胜壁等编, 化学危险品安全实用手册, 成都: 四川科学技术出版社, 1987.
2. 中华人民共和国国家标准 GB 3723—83, 工业用化学产品采样安全通则, 北京: 中国标准出版社, 1983.
3. 消防常识问答编写组编, 消防常识问答, 上海: 上海人民出版社, 1975.
4. Norman V. Steeve, Handbook of laboratory Safety, 2nd Ed. Cleveland, Ohio, CRC, 1972.
5. 中华人民共和国, 工业企业设计卫生标准 TJ36—79, 北京: 中国标准出版社, 1979.
6. 管卫光编, 空气中有害气体手册, 机械工业出版社, 北京, 1989.
7. S. M. 普格什移普, 张宏才译, 大气中工业排放有害有机化合物手册, 北京: 中国环境科学出版社, 1986.
8. K. K. 卢莱耶鲁, 崔世喜等译, 工业污水的化学分析, 北京: 化学工业出版社, 1985.
9. R. Albrecht 著, 于致宽译, 化学物质与人类癌症, 北京: 人民卫生出版社, 1983.

第八章 安全分析

安全分析在化工生产车间尤其是三防性（防火、防毒、防爆）的车间，具有极其重要的意义。安全分析的准确与否关系到车间及整个工厂的安全。为此要严格执行分析制度，一丝不苟，以确保人身与国家财产的安全。

安全分析分两类，即动火分析和有毒气体分析。工作中可根据下列三种情况决定进行哪一类安全分析：在容器外动火，在容器内取样时，只做动火分析；人在容器内工作不动火时，只做有毒气体分析；人在容器内工作进行动火时，应同时做动火分析与有毒气体分析。

为确保维修人员的绝对安全，凡动火的容器和管道必须设法吹净。

（一）容器和管道的吹净方法

（1）空气吹净 由于此法稍有使用不当，遇有火苗时易引起爆炸，因此一般不采用。

（2）蒸汽吹净 此法可靠，能普遍采用。但人欲进入容器内时，则需用空气重复排气以免窒息。

（3）惰性气体吹净 此处的“惰性气体”系指不燃或对造气无用的那些气体而言，例如二氧化碳、氮气。“惰性气体”适用于管道、容器的吹净。如果人要进入容器内时，吹净之后仍需要用空气重复置换。此法虽好，但受到二氧化碳、氮气来源等条件的限制。

（4）用水排气 此法可靠，但费时间不经济，一般的动火分析不采用此法。如果人要进入容器内时可采用此法。

上述四种吹净方法中蒸汽吹净比较理想，其他三种可根据具体情况选用。动火时还应注意将各个系统隔绝开，压力表阀和取样阀中留存的气体也要注意排尽。

（二）安全分析的注意事项

（1）仪器要经常保持正常，不漏气，要求做到分析及时，结果准确。

（2）要分清对象是哪一类安全分析。

（3）应了解容器或管道所采用的吹净方法。

（4）检查所采用的安全措施是否与动火证上要求的相符，否则可拒绝取样。

（三）安全分析的取样

橡皮管用绳子扎在竹杆上，插入深度需在 2m 以上。如是在管道法兰间隙或容器管道上小孔中取样，插入需在 1m 以上。如果是较大的容器，较长的管道，应插入更深些，例如合成氨厂的气柜、水洗塔及相应的管道，则其插入深度需在 4m 以上。须注意死角地方，要保证全部取到。若在室内取样，不可停留在一方，在动火处的四周均需取到。动火证上除准确填写分析结果外，应填写清楚以下各点：取样时间、取样的具体地点、有关的安全措施、分析人员签字。

（四）安全分析方法

动火分析与有毒气体分析均属气体分析范畴，对于各种易燃、易爆、有毒气体的具体分析方法可参考有关专业书，例如环保分析、燃料分析等，在本手册第二分册第三篇第十五章“气体分析”有关部分中也有介绍。本书仅对动火分析中决定是否动火的“可燃性气体含量的测定手续”“试验气体爆炸情况的测定手续”和“几种可燃、易爆气体的具体动火分析方法”

作一介绍。对于有毒气体分析仪就目前国内采用的关于某些有毒气体的取样方法、吸收剂、测定用试剂与反应原理、测定方法等列表介绍。

第一节 动火分析

一、燃烧法测定可燃性气体总量

1. 测定手续 用气体分析器量气管取样 100ml, 直接以氢氧化钠及焦性没食子酸钾溶液分别吸收二氧化碳和氧气以测定其含量(%)。

设: $w_{CO_2}/(\%) = A$ $w_{O_2}/(\%) = B$

如果氧气的含量在 15% 以上, 另取样 100ml, 直接将气体送入铂丝呈红热状态的燃烧瓶内, 来回送 3 次, 其减少体积 C 可在量管上直接读出。但这一读数, 并非可燃性气体的真实体积, 而是可燃性气体加上耗氧的总和, 故经燃烧后的气体需要以氢氧化钠及焦性没食子酸钾溶液分别吸收二氧化碳及氧。

设: $w_{CO_2}/(\%) = A_1$ $w_{O_2}/(\%) = B_1$

则其可燃性气体含量 X 可依下式计算:

$$X = [C + (A_1 - A)] - (B - B_1)$$

若经过燃烧后减少体积 $C^{①} < 0.5\%$ 即可不用吸收, 将数据填写在动火证上, 可以动火。如果减少体积 $C > 0.5\%$, 则经过吸收并按照上式计算。若可燃性气体含量 $X < 0.5\%$, 可以动火; 可燃性气体含量 $X > 0.5\%$, 不准动火。

2. 注意事项 注意燃烧瓶夹套必须用水冷却, 控制燃烧瓶铂丝呈红热状态, 如呈白热状态则会烧毁铂丝。

二、爆炸法试验气体爆炸燃烧情况

1. 测定手续 用气体分析器量气管取样 100ml, 送入爆炸瓶, 通电察看是否呈现爆炸。将气体抽回量气管, 观察读数有无变化。另取 100ml 用氢氧化钠及焦性没食子酸钾溶液分别吸收二氧化碳及氧。当使用氮气吹净时, 只分析二氧化碳或可燃性气体含量。

2. 注意事项 若氧含量大于 20% 而小于 21% 通电不爆, 方可填写在动火证上, 准予动火。

若氧含量大于 21% 时不得动火。因其超过空气中最高含氧量, 应查看取样处是否有氧从钢瓶内渗出, 否则分析仪器一定有问题, 须进行全面检查。

使用惰性气体吹净容器管道(采用空气复吹), 需采用燃烧法测定, 当分析结果氧含量在 20% 以上时, 二氧化碳不应超过 0.5%, 否则需找原因。

三、几种可燃可爆气体的动火分析方法

(一) 动火氢、一氧化碳(H_2 , CO)的简易分析

用球胆在容器或动火点周围取样, 将样气引入气体分析仪排气 3 次, 然后准确量取 100ml 样气, 送入爆炸瓶, 如不爆炸且无火花发生, 再将样气送入焦性没食子酸钾溶液吸收瓶吸收, 氧的含量(%), 如在 20%~21% 则为合格, 可以动火。

① 这是一般标准, 具体工程对其可燃性气体含量另有明确规定。

(二) 动火乙炔 (C_2H_2) 的简易分析

将 2 只保氏吸收瓶串联并各注入 $10\text{ml } 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸银 ($AgNO_3$) 标准溶液, 使与动火设备的排气口相连, 调节气流速度以使吸收瓶中气泡可数, 采集气样 8L 。

拆除与设备的联系, 将保氏吸收瓶中反应液注入 250ml 三角烧瓶中并用蒸馏水冲洗吸收瓶, 洗液并入三角瓶中, 注入 (1+1) 硝酸 (HNO_3) 8ml , 以铁明矾为指示剂, 用 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫氰酸铵 (NH_4CNS) 回滴至血红色为终点。

$$\text{乙炔质量分数 } (w) \text{ 计算 } w_{C_2H_2}/(\%) = \frac{(C_{AgNO_3} V_{AgNO_3} - C_{NH_4CNS} V_{NH_4CNS}) \times 0.013 \times 100}{8 \times \frac{26}{22.4}}$$

控制指标: C_2H_2 应在 $0.2\% \sim 0.3\%$ 。

(三) 动火氯乙烯 (CH_2CHCl) 的简易分析

(1) 将奥氏气体分析器的取样管与动火设备的排气口相连, 借分析器的水准球取样 (排气 10 次左右) 读取取样体积 V_0 。

(2) 借水准球将气体引入盛有 20% 氢氧化钾 (KOH) 吸收液的吸收瓶中, 充分吸收气体中的二氧化碳 (CO_2) 至读数恒定, 读取吸收后的气体体积 V_1 。

(3) 将剩余气体引入盛有 3% 溴水的吸收瓶中, 充分吸收氯乙烯 (CH_2CHCl), 吸收氯乙烯 (CH_2CHCl) 后的剩余气体引入盛有 20% 氢氧化钾 (KOH) 的吸收瓶中吸收溴蒸气, 读取吸收后的气体体积 V_2 。

$$(4) \varphi_{CH_2CHCl}/(\%) = \frac{V_1 - V_2}{V_0} \times 100, \text{ 控制指标: 氯乙烯 } (CH_2CHCl) \text{ 含量 } \varphi < 0.4\%.$$

(5) 注意事项: 设备系统动火取样时, 必须进排气多次, 以期得到较有代表性的气体试样; 溴水浓度必须在 3% 左右, 浓度低则吸收率差, 会影响结果偏低。

(四) 合成氯化氢 (HCl) 点火以前对氯内含氢量的控制分析

氯内氢含量的测定方法 (燃烧法) 如下。

(1) 控制指标 氯内氢含量 $\varphi < 0.4\%$ 。

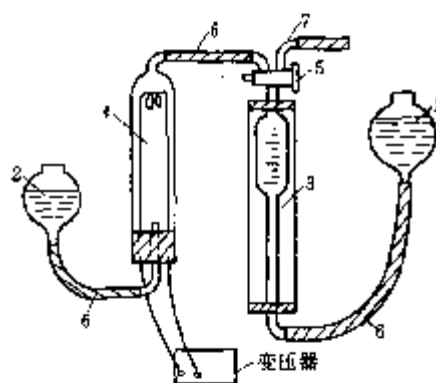
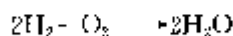


图 8-1 氯内氢含量测定用燃烧仪

1、2—水准瓶; 3—量气管; 4—燃烧管; 5—三通活塞; 6—联接管; 7—气嘴

(2) 方法原理 利用氢气和氧气通过灼热的铂丝燃烧, 生成水, 由燃烧后减少的气体体积计算氯内氢含量。



(3) 仪器 燃烧器一组；单头量气管 100ml；水准瓶（球）250ml 燃烧仪如图 8-1 所示。

(4) 分析步骤 在测定之前，燃烧管 4 及连接管 5、量气管 3 都要充满水。将单头量气管和 7 相连，使活塞 5 和 7 相通，放低水准瓶 1，把单头量气管中吸收氯气后的剩余气体吸入量气管 3 中。再旋转活塞 5 使其与 6 相通，提高水准瓶 1，把量气管中气体压入燃烧管 4 中。

再旋转活塞 5 使其与 7 相通，再放低水准瓶 1 吸入 (80ml~90ml) 空气，关闭活塞 5。

旋转活塞 5 使其与连接管 6 相通，放低水准瓶 1 将燃烧管 4 中的气体吸到量气管 3 中，关闭活塞 5，静置 30s，把水准瓶液面对准量气管液面，读取混合气体的体积为 V_1 。

再旋转活塞 5 使其与连接管 6 相通，并提高水准瓶 1，把量气管 3 中气体压入燃烧管 4，关闭活塞 5 通电 1.5min，借水准瓶来回拉动水面，以使反应完全，关闭电源。

放低水准瓶 1，将燃烧的残余气体抽回量气管中，静置 30s，把水准瓶水面对准量气管水面，读取燃烧后气体体积 V_2 。

(5) 计算

$$\phi_{H_2}/(\%) = \frac{(V_1 - V_2)2/3}{V_0} \times 100$$

式中 V_0 ——氯气取样体积；

V_1 ——燃烧前混合气体体积；

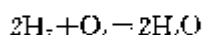
V_2 ——燃烧后剩余气体体积；

2/3——换算为氢气气体的换算系数。

(6) 注意事项 燃烧前后读取体积数时静置时间要相等；气体转移前管路中必须充满水。

(五) 空气中含氢量的分析

(1) 原理 二分子氢与一分子氧，在明火引爆下，爆炸生成二分子水蒸汽，反应式为



由于在室温下，水蒸汽冷凝成水，不占体积，因此氢气的体积为爆炸前混合气体体积与爆炸后剩余气体体积之差的 2/3 倍。

(2) 操作 装置如图 8-2。

标准氢取样：将球胆压扁卷紧，以排除空气。打开氧气瓶（或管道）取样阀，接上球胆，让氢气充入以供分析。

检漏：使气体量管内液面上升至活塞①以上，关闭活塞①，放下水准管，观察液面是否下降，如下降活塞应重新擦油。对活塞②③也应同样进行检漏。

标准氢测定：用水准管将爆炸球内气体引出，并调节好零点，将充有标准氢的球胆接于活塞②，然后打开活塞②，用氢气冲洗 2 次，再准确量取氢气 5ml，关闭活塞②，打开活塞③，将氢气压入爆炸球内，再关闭活塞③；打开活塞①②③抽取空气冲洗气体量管 2 次，量取纯净空气约 (20~25) ml。关闭活塞①，打开活塞③，将空气与爆炸球内氢气混合 (2~3) 次，再将爆炸球内气体拉出，调节零点，关闭活塞③，准确读取爆炸前混合气体的体积为 V_1 ml。打开活塞③，将气体全部压入爆炸球内，关闭活塞③，通电点火爆炸，然后打开活塞③，将残余气体抽回气体量管，并调节零点，关闭活塞③，准确读取残余气体的体积为 V_2 ml。则标准氢体积 $V_H = V_1 - V_2$ 。标准氢需测定 (2~3) 次，并将数据相近的结果求出平均值。

空气中含氢的测定：按标准氢测定法，在爆炸球内加入 5ml 标准氢，然后将气体量管内的残余氢赶净，液面升到活塞①以上，并使左边的接头充满封闭液，然后将欲测定的气体通过活塞①拉入 25ml 的气体，关闭活塞①，打开活塞③，与标准氢混合均匀，调节零点，准确

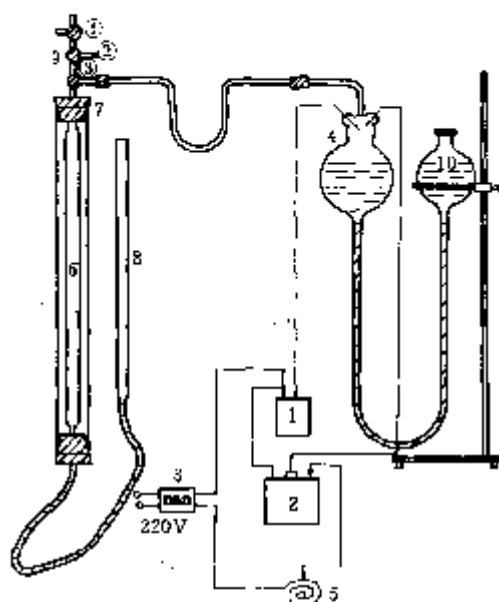


图 3-2 含氢量分析装置图

1—油浸风泵电容器 (1μF±5%, 400V); 2—通用式发火线圈 (10V); 3—电铃变压器 (220-512V); 4—爆炸球, 球内为铂丝, 两小耳接水银与外引线接; 5—点火开关; 6—气体量管; 7—冷却装置; 8—水准管; 9—①②③三通活塞; 10—平衡瓶

读取爆炸前的体积为 V_A , 并将其压入爆炸球内, 关闭活塞③, 点火爆炸, 打开活塞③。准确读取爆炸后的体积为 V_B 。

$$(3) \text{ 计算 } \varphi_{H_2} / (\%) = \frac{(V_A - V_B) - V_{H_2}}{25} \times \frac{2}{3} \times 100$$

(4) 说明 空气含氢高于 1.5% 以上, 可不加标准氢, 直接将气样压入爆炸球内点火爆炸即可。

测标准氢时, 一定要保持周围无氢气, 否则会使测定结果偏低。在空气含氢高时, 爆炸球易被炸裂, 应以铜丝网包裹, 以保证安全。空气含氢量 φ_{H_2} 的控制指标: $\varphi < 0.4\%$ (体积分数)。

第二节 有毒气体分析

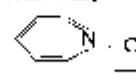
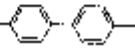
一、有毒气体和有害物质的测定方法

气样中有毒气体、有害物质的测定方法见表 8-1。

二、几种常见有害气体的快速检气管

用以检查常见有害气体的快速检气管性能可参见表 8-2 (表中黑体字表示载体)。

表 8-1 有毒气体和有害物质的测定方法

有毒气体或 有害物质	采 样 方 法	吸收液 (或吸收剂) 和主要试剂	反 应 原 理 与 反 应 特 征	测 定 方 法
一氧化碳	方法(1)将洗净的取样瓶 (100ml~150ml) 用真空泵抽成部分真空, 然后吸入碱性硝酸银溶液 20ml, 再将取样瓶一端旋塞打开吸入气样, 关好旋塞	碱性硝酸银溶液: 100ml 0.1mol/L 硝酸银加 12ml 25%氨水及 800ml 0.5mol/L 氢氧化钠稀释至 1L, 铜管暗处 14 天后用	当取样瓶用力振荡时, 碱性硝酸银溶液遇一氧化碳由无色透明变黑, 这是由于硝酸银被还原生成金属银沉淀, 苛性碱加速此还原作用。主要反应为: $2Ag^+ + 2NH_3 + 2OH^- + CO \rightarrow 2Ag \downarrow + 2NH_4^+ + CO_3^{2-}$	仔细观察溶液变色情况, 从溶液由无色变棕色或黑色所需时间, 得出气样中一氧化碳大概含量
	方法(2)用一氧化碳快速测定器的取样唧筒抽取气样 50ml, 将测定管两端旋开, 装接在采样唧筒上, 然后将唧筒内气样采用定时法或不定时法使之经过测定管	测定管中指示剂主要成分为以硅胶为载体, 吸附了硅钨酸根和硫酸钡的酸性溶液而制成的	正常情况下指示剂呈鲜黄色, 当与一氧化碳作用后, 硫酸钡先还原为钨, 继而钨与硅钨酸根反应生成硅钨蓝。其反应如下: $PdSO_4 + CO + H_2O \rightarrow Pd + CO_2 + H_2SO_4$ $12Pd + (NH_4)_4H_4(Si(MoO_4O_3)_2) \cdot 14H_2SO_4 \rightarrow H_2[Si(MoO_4O_3)_3] + 2(NH_4)_2SO_4 + 12PdSO_4 + 12H_2O$	按采样时现场的温度, 由指示剂产生的颜色变化与标准色板比色定量
氰化氢	方法(1)串联 2 个各装 10ml 吸收液的大型气泡吸收管, 以 1L·min ⁻¹ 速度, 抽取 2L~5L 气样, 吸取样品液 5ml 于比色管中	吸收液为 0.1mol/L 氢氧化钠溶液。主要试剂为: 吡啶-盐酸苯胺溶液; 临用时取吡啶试剂 (吡啶: 水: 盐酸为 80:40:10 体积比) 50ml, 加 5% 盐酸苯胺溶液 6ml, 饱和溴水: 0.5% 硫酸肼	氰化物在中性或弱酸性中, 如溴能转化为溴化氰, 用还原剂肼除去剩余的溴, 再加吡啶-盐酸苯胺, 生成红色化合物。反应为 $HCN + Br_2 \rightarrow CNBr + HBr$  $-CH=CH-CH=CH-NR \cdot 10H_2O + NH_4CN$ R 代表 H ₂ N- 	此法灵敏度极高, 可测定微量氰化物, 对高浓度的样品可取少量样品或稀释后取一部分来分析。按一系列氢氰酸含量 (0.0.1. 0.4μl~1.5μg) 配制标准色列管, 向全部标准管及样品管中加入数滴饱和溴水, 逐滴加入 0.5% 硫酸肼溶液至黄色褪去再加 1 滴, 最后各加入 3.6ml 吡啶-盐酸苯胺溶液摇匀, 显色时的温度不超过 20℃, 在暗处放置 15min, 在 520nm 进行比色, 标准色列管与样品必须同时做, 避免因放置时间不同而使显色深浅不同
	方法(2)串联 2 个各装 10ml 吸收液的大型气泡吸收管, 以 1L·min ⁻¹ 速度抽取 2L~5L 气样, 吸取样品液 5ml 于比色管中	吸收液为 0.1mol/L 氢氧化钠溶液。主要试剂为: 1-苯基-3-甲基-5-邻氯萘醌 ^① 饱和溶液; 1% 靛胺丁溶液, 新鲜配制; 双邻氯萘醌 ^② 溶液 (双邻氯萘醌 0.025g 溶于 25ml 吡啶中); 邻氯萘醌混合试剂 (双邻氯萘醌溶液 10ml, 加入 1-苯基-3-甲基-5-邻氯萘醌溶液 50ml, 混合), 每日新鲜配制	氰化物在中性或弱酸性中, 用靛胺丁使其转化为氯化靛, 随后加入邻氯萘醌混合试剂生成蓝色	加入靛胺丁溶液混合, 放置 (1~2) min, 加入双邻氯萘醌混合剂混合, 放置静置 20min 后 1~620nm 波长下测定, 用一系列的氯化氢含量配制标准色列管, 以便绘制标准曲线 (1)(2) 法所用标准溶液与毫升相当于 0.001mg 氰化氢标准溶液系用氰化钾配制

续表

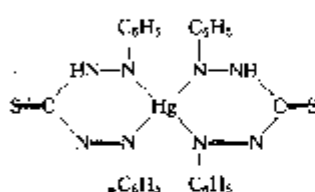
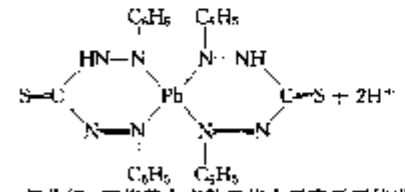
有毒气体或 有害物质	采 样 方 法	吸收液 (或吸收剂) 和主要试剂	反 应 原 理 与 反 应 特 征	测 定 方 法
二硫化碳	串联两个各装 10ml 吸收液的喷射式采样瓶, 以每分钟 0.5L 速度, 抽取 30L 空气。将 10ml 样品液放入 25ml 比色管中。	吸收液系取 1.0ml 新蒸馏的二乙胺, 用无水乙醇溶解, 稀释至 100ml 备用。其他主要试剂为 0.05% 乙酸铜。	在铜盐存在下, 二硫化碳与二乙胺作用生成黄至棕色的二乙氨基二硫代甲酸铜, 可用于比色测定, 反应如下: $CS_2 + NI(C_2H_5)_2 \rightarrow (C_2H_5)_2N-CSSH_2 (C_2H_5)_2N-CSSH + NH(C_2H_5)_2 \rightarrow (C_2H_5)_2NCSSH + NH(C_2H_5)_2$ $2 (C_2H_5)_2NCSSH + NI(C_2H_5)_2 + Cu(CH_3COO)_2 \rightarrow [(C_2H_5)_2N-CSSH]_2Cu + 2CH_3COOH + 2NH(C_2H_5)_2$	用一系列的二硫化碳含量配制标准色列管, 标准溶液每毫升含 0.1mg 二硫化碳。向样品管和标准管加入相同量乙酸铜溶液, 放置 10min 比色定量。
氨	用盛有 5ml 吸收液的大型气泡吸收管, 以 0.5L·min ⁻¹ 速度, 抽取 1L 气样, 从吸收管中吸取 (1~5) ml 样品液于比色管中, 加无氨水至 10ml。	吸收液为 0.01mol·L ⁻¹ 钼酸 ($\frac{1}{2}H_2SO_4$) 或盐酸溶液。主要试剂为纳氏试剂 (碘汞化钾的碱性溶液) 将 17g/300ml 二氯化汞溶液加到 35g/100ml 碘化钾溶液中, 然后加 600ml 20% 氢氧化钠, 不断搅拌, 在暗处放置一夜, 将上层清液移到棕色瓶中备用。	氨可与纳氏试剂作用生成黄色至棕色络合物, 根据颜色深浅比色测定氨的含量。其反应如下: $2K_2CHgI_2 + 3KOH + NH_4OH \rightarrow \left[\begin{array}{c} Hg \\ \diagup \quad \diagdown \\ O \quad \quad NH_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ Hg \end{array} \right] I^- + 7KI + 3H_2O$	用一系列的氨含量配制标准色列管, 标准溶液每毫升含 0.02mg 氨。向全部标准管和样品管中各加入相同量纳氏试剂, 混匀, 放置 5min 后, 目视比色。
磷化氢	方法 (1) 串联 2 个各装 2ml 吸收液的小型气泡吸收管, 以 100ml·min ⁻¹ 速度抽取 (3~5) L 气样。	吸收液为 0.1mol·L ⁻¹ 高锰酸钾溶液与 1mol·L ⁻¹ 硝酸溶液等量混合, 临用时配制。主要试剂: 5% 钼酸铵溶液为钼酸铵甲液 (25g/300ml) 与磷酸乙液 (75/250, 体积比) 的混合液; 10% 亚硫酸钠溶液; 饱和亚硫酸钠溶液; 0.5% 对苯二酚溶液。	磷化氢在酸性溶液中被高锰酸钾氧化, 生成磷酸, 磷酸与钼酸铵在酸性溶液中形成磷钼酸铵, 用还原剂还原成钼蓝, 按蓝色的深浅比色定量。其反应如下: $5PH_3 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow 5H_3PO_4 + 8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 12H_2O + 2H_3PO_4 + 24(NH_4)_2MoO_4 + 21H_2SO_4$ $\rightarrow 2(NH_4)_3PO_4 + 12MnO_2 + 21(NH_4)_2SO_4 + 24H_2O$ $(NH_4)_3PO_4 + 12MnO_2 \xrightarrow[3H_2SO_4]{4HCl} (MnO_2)_2 + 4MnO_2 + H_3PO_4 + 3NH_4HSO_4 + 2H_2O$	按一系列的磷化氢含量配制标准色列管, 标准溶液 (由磷酸 + 钼酸配制) 1 毫升含 0.01mg PH ₃ 。 于吸收管和标准管中滴加饱和亚硫酸钠至高锰酸钾褪色, 多加一滴移至比色管, 用水补足至一定体积, 于各管中加入相同量 (1+1) 硫酸, 10% 亚硫酸钠混合液, 加 5% 钼酸铵, 混匀, 再加 0.5% 对苯二酚溶液, 混匀, 于 (50~60)°C 恒温水浴放置 3h, 65nm 比色。
	方法 (2) 将磷化氢试纸剪成约 2cm ² , 夹在采样夹中气样进口处, 连上氯化钙砂干燥管, 用 100ml 针筒以 100ml·min ⁻¹ 速度抽取气样 100ml。	磷化氢试纸的制备方法: 将 23% 硝酸银溶液倾在培养皿中, 将上述规格滤纸浸在硝酸银溶液中 (3~5) min, 取出后于 (60~80)°C 烘箱中烘干, 保存暗处, 最好用前临时制备。	硝酸银遇不同浓度磷化氢气体生成磷化银而呈浅棕或深棕色, 反应为: $PH_3 + 3AgNO_3 \rightarrow Ag_3P + 3HNO_3$	采样管与人工标准色板比色定量。人工标准色板, 以磷化氢配气方法, 按 PH ₃ 在一定浓度范围内, 采样后用钼蓝法比色定量, 同时用磷化氢试纸采样显色后, 用广告色绘制成 "0, 0.4~3.0 mg·m ⁻³ " 的六个色阶, 夹在有机玻璃中避光保存。

续表

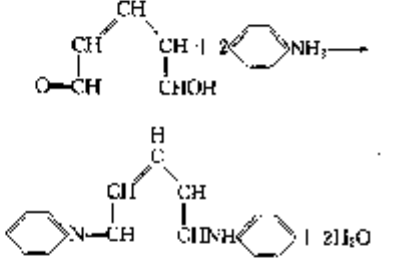
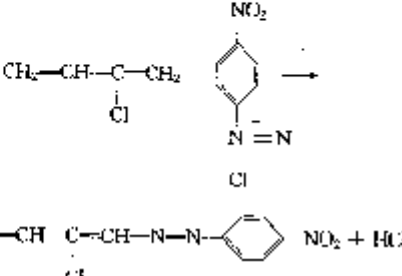
有毒气体或 有害物质	采样方法	吸收液(或吸收剂) 和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
三氧化砷 和砷酸雾	串联2个各装有10ml 吸收液的多孔板吸收管, 以1L·min ⁻¹ 的速度抽 取(25~30)L气样	吸收液为0.01mol·L ⁻¹ 氢 氧化钡溶液。主要试剂:酸作 氯化钡溶液,取氯化钡5g,加 水溶解,再加盐酸6.1ml,然 后用水稀释至100ml备用	样品液与氯化钡溶液作用生成硫酸钡沉淀,在浓度不 大时形成浑浊	吸取样品液5ml,并按一系列硫酸含量 配制硫酸标准色列管。标准溶液(由 K ₂ SO ₄ 配制)0.01mg·ml ⁻¹ 硫酸。于各 管中分别加入相同量的酸性氯化钡溶液, 摇匀,放置16min后进行比色
硫化氢	串联2个各装有10ml吸 收液的大型气泡吸收管,以 (0.2~0.3)L·min ⁻¹ 的速 度,抽取(1~2)L气样	吸收液为0.2%亚砷酸钠。取 亚砷酸钠2g,加碳酸钠5g,再加水 30ml,振荡使其溶解,然后用水 稀释至1L。主要试剂:1%硝酸 银1.0g,溶于50ml水中,再加 入硫酸10ml	硫化氢与亚砷酸钠和硫酸作用,形成稳定的硫代砷 酸根: $2\text{Na}_2\text{AsO}_3 + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{As}_2\text{S}_3 + 4\text{NaOH}$ $\text{As}_2\text{S}_3 + 3(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow 3\text{CO}_2 + (\text{NH}_4)_3\text{AsO}_3 +$ $(\text{NH}_4)_3\text{AsS}_3$ 在硝酸银的硫酸溶液中,硫代砷酸根转变为硫代砷酸 银,并很快地分解为棕色硫化银: $(\text{NH}_4)_3\text{AsO}_3 + (\text{NH}_4)_3\text{AsS}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{H}_2\text{O} + \text{As}_2\text{S}_3$ $+ 3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ $6\text{AgNO}_3 + \text{As}_2\text{S}_3 \rightarrow 3\text{Ag}_2\text{S} + 2\text{As}(\text{NO}_3)_3$	吸取样品液5ml,并按一系列硫化氢含 量配制硫化氢标准色列管。标准溶液 (由0.1mol·L ⁻¹ 硫代砷酸钠配制)0 0.01mg·ml ⁻¹ 硫化氢 各管中分别加相同量的淀粉溶液,1% 硝酸银溶液,摇匀,放置5min后进行比 色。其中淀粉系起保护硫化银胶体作用
氯	方法(1)采样时,25ml 吸收液与1ml 0.05mol· L ⁻¹ ($\frac{1}{2}\text{I}_2\text{SO}_4$)混合,串 联2个各装有5ml上述吸 收液的大型气泡吸收管,以 0.5L·min ⁻¹ 速度采集气 样,当前吸收管中吸收液 的颜色有明显改变时,即可 停止采样 方法(2)串联2个各装有 5ml吸收液的大型气泡吸 收管,以0.5L·min ⁻¹ 速度 采集气样,当第一管出现紫 红色时即停止采样	吸收液:原液为0.1g甲基橙 溶于(80~100)ml(40~50)℃ 水中,将溶液冷却至20℃,再加 入0.0g碘化钾及20ml乙醇,然 后加水至1L,再将原液以水稀 释20倍即得吸收液。临用前用 氯标准液标定,25ml吸收液 应消耗(2.5~3.0)ml氯标准 液,否则应予调整。其他主要试 剂为0.025mol·L ⁻¹ 硫酸及 0.02mol·L ⁻¹ 硫代硫酸钠等 吸收液:取磷酸盐缓冲液(由 2.4gNaH ₂ PO ₄ ·3H ₂ O及4.6g K ₂ HPO ₄ ·H ₂ O共溶于50ml水 中,加10ml0.8%EDTA二钠盐 溶液,水稀释至100ml, pH≈ 6.8)3ml及对氨基二乙基苯胺 溶液5ml至100ml容量瓶,水稀 至刻度,混匀。主要试剂:对氨 基二乙基苯胺(简称DPD)溶 液,称取0.1gDPD草酸盐(或 0.15gDPD硫酸盐)溶于50ml 水中,加入2ml10% (体积分 数)硫酸,2.5ml0.8%EDTA二 钠盐溶液,用水稀释至100ml备用	在酸性溶液中,氯遇碘化钾产生溴,溴能破坏甲基橙 使其褪色。氯含量愈高颜色愈淡,反应为: $\text{Cl}_2 + 2\text{KI} \rightarrow 2\text{KCl} + \text{I}_2$ $2\text{Br}_2 + (\text{CH}_3)_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{N} \rightarrow \text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}$ $(\text{CH}_3)_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{NBr}_2 \rightarrow \text{Br}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}$ 氯与对氨基二乙基苯胺作用,生成紫色化合物	根据颜色减弱程度比色定量 从样品吸收液中取2.5ml放入比色管 中,并按一系列氯含量配制标准色列。氯 标准溶液(由漂白粉配制,取出一定体积, 加一定量硫酸和碘化钾,以0.02mol· L ⁻¹ 硫代硫酸钠标定,临用时再稀释)0 0.01mg·ml ⁻¹ 氯。全部标准管各加等量 吸收液和少量0.25mol·L ⁻¹ 硫酸,用水 稀释至2.5ml,摇匀,在白色背景下与样品 吸收液一起目视比色 根据颜色的深浅,进行比色定量。将吸 收液移入比色管中,并按一系列氯含量配 制标准色列。氯标准溶液同(1);2min后 用540nm波长或绿色滤光片测定光密度 或目视比色

有毒气体或 有害物质	采 样 方 法	吸收液 (或吸收剂) 和主要试剂	反 应 原 理 与 反 应 特 征	测 定 方 法
氯化氢及 氯化物灰尘	方法 (1) 用装有 10ml 水的小型冲击 式吸收管, 以 $3\text{L} \cdot$ min^{-1} 的速度抽取 30L 气样。如气样中 只含有氯化氢气体, 可串联两个各装有 5ml 水的大型气泡 吸收管, 以 $2\text{L} \cdot$ min^{-1} 的速度抽取 (20~30) L 气样	吸收液: 水; 主要试剂: 羊毛锦 花青 R 试剂, 称取 0.36g 羊毛锦 花青 R 溶于 1L 水中, 静置 24h 后 用; 硝酸镉溶液, 0.044g $\text{Zr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶于少量水中, 加入 140ml 浓盐酸, 水稀释至 1L; 1% 高锰酸钾溶液, 高锰酸钾 1g 加 水溶解后, 在振荡下慢慢加入 2ml 硫酸, 用水稀释至 100ml	羊毛锦花青 R 与镉盐作用生成红色 化合物, 遇氯化物后生成 $(\text{ZrF}_6)^{2-}$ 络离 子, 使颜色变淡, 可按变淡程度定量	将两吸收管中吸收液混合, 取出 5ml 样品液, 加入 0.2ml 1% 高锰酸钾, 于 130°C 通入水蒸汽蒸馏, 收集蒸馏液 50ml, 取出 8ml 蒸馏液于比色管, 加 1ml 羊毛锦花青 R 试 剂, 混匀, 再加 1ml 硝酸镉溶液摇匀, 15min 后 (520~ 530) nm 比色; 并做一系列氯化氢含量配制标准管, 氯化 氢标准溶液 (由氯化钠配制) $5.0 \sim 0.01\text{mg}$ 氯化氢, ml^{-1} , 蒸 馏液显色与样品管同, 按标准曲线查出样品液中氯化氢含 量, 参比液: 1ml 羊毛锦花青 R + 1ml 体积分数为 14% 的 盐酸水稀释至 10ml
	方法 (2) 采样同 (1)	吸收液: 水; 主要试剂: 茜素磺 酸锆溶液, 配制 $0.45\text{g}/100\text{ml}$ $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 溶液; 另配制 $0.70\text{g}/100\text{ml}$ 茜素磺酸锆溶液, 将 此溶液缓慢注于前一溶液, 再用 (1:10) 稀硫酸将混合液稀释至 1L 备用; 1% 高锰酸钾同 (1)	茜素磺酸锆与镉盐作用形成红色化 合物, 遇氯化物后生成 $(\text{ZrF}_6)^{2-}$ 络离 子, 使颜色变淡, 按变淡程度定量	将两个吸收管中吸收液混合, 取出 5ml 样品液分析, 蒸 馏手续同 (1); 并按一系列氯化氢含量配制标准管, 标准 溶液同 (1), 然后向样品及标准管各加相同量茜素磺酸锆 溶液, 混匀, 放置 30min 后目视比色
汞	方法 (1) 串联两个 各装有 10ml 吸收液 的冲击式采样瓶, 以 $1\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度采 集气样 30L, 放置 24h 方法 (2) 串联两个 各装有 10ml 吸收液 的冲击式采样瓶, 以 $1\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度抽 取 200L 气样	吸收液: 将 $0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高锰 酸钾和 (1+19) 稀硫酸等体积混合 而成。其他主要试剂: 10% 盐酸羟 胺溶液, 3% 氯化亚锡溶液, 均用 无汞水配制 吸收液同 (1); 主要试剂: 双硫 踪溶液, 先按常法提纯后配制成浓 的双硫踪溶液; 临用时在分光光度 计上, 以氯仿调零点, 将浓的双硫 踪溶液以氯仿稀释, 用 530nm 波 长校正溶液透光率为 $(42 \pm 3.5)\%$	按汞蒸气对波长 253.7 Å 的紫外线具 有强烈的吸收作用, 从对紫外线吸收的 多少而测定汞的含量。先将样品消化, 使有机汞转化为二价汞, 用氯化亚锡使 汞还原, 再用一定流量的无汞气体, 将 样品中的汞蒸气吹入测量仪 在酸性条件下, 低价汞和有机汞经高 锰酸钾氧化生成高价汞, 高价汞与双硫 踪在 pH=1~2 溶液中, 生成橙色络合 物, 此络合物可用氯仿提取用氯水将过 量的双硫踪洗去后, 以单色法进行比色 定量, 反应如下:	用 10% 盐酸羟胺除去样品液中高锰酸钾的紫红色, 并将 被测样品液 10ml 置于汞蒸气发生管中, 接通气路橡皮管, 加入 30% 氯化亚锡若干发生管后, 立即塞紧管塞, 转动 三路活塞开关, 使气流通过发生管, 将样品液中汞蒸气吹 入测量仪, 由自动平衡记录仪记录峰高, 从标准曲线查 出汞的含量 在一系列含汞量的汞标准溶液中加入吸收液补充到 10ml, 然后按样品相同手续测出峰高 (减去空白) 为纵 坐标, 汞标准 (μg) 为横坐标绘制标准曲线 将采样液移到 60ml 分液漏斗中, 另外将 10ml 吸收液和 10ml 汞标准溶液分别置于两个 30ml 分液漏斗中, 加 10% 盐酸羟胺立即用高锰酸钾将红色褪去后, 加入 1 滴, 加入 一定量 5% EDTA 二钠溶液, 摇匀, 加入 10ml 透光率 42% 双硫踪溶液, 振摇静置, 分层; 将氯仿层分别移入另外的 分液漏斗, 用 $0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氨水洗涤 (2~3) 次, 将氯仿层 放入有少量无汞酸钠的漏斗中, 经滤纸滤入小试管。在 490nm 的波长下测定标准和空白溶液的光密度 (以氯仿为 参比), 并比较求得每立方米气样中的汞 (μg)

续表

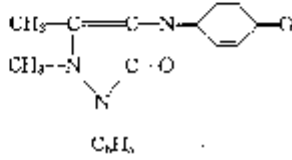
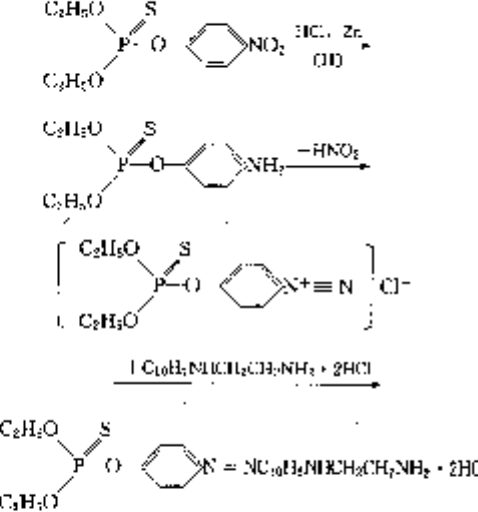
有毒气体或 有害物质	采 样 方 法	吸收液 (或吸收剂) 和主要试剂	反 应 原 理 与 反 应 特 征	测 定 方 法
汞			$\text{Hg}^{++} + \text{ZS} \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ | \\ \text{NH}-\text{NH} \\ | \\ \text{N}=\text{N} \\ | \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \longrightarrow$ 	
铅 (以铅烟和铅尘存在, 包括某些铅化合物的气溶胶)	取慢速定量滤纸, 置于蒸发皿内加入 3% 硝酸, 在沸水浴上加热煮沸 1min, 用重蒸馏水洗至中性, 按分析步骤检验无铅后, 晾干保存待用。 将上述滤纸, 根据滤纸采样漏斗规格剪成一定直径的圆片, 放在采样夹内, 将滤纸夹紧, 使不漏气, 按漏斗进气口径不同 (10mm~38mm) 以 5L~8L·min⁻¹ 的速度, 采样 20min~30min, 采气完毕, 取出滤纸, 向内折叠, 待分析用。	主要试剂: ① 按常规法提纯双硫腙, 加入氯仿适量, 配成双硫腙氯仿液 (约 0.01%) 避光冰箱保存; ② 双硫腙氯仿液, 将储备液稀释约 8 倍, 在光电比色计上校正溶液浓度, 透光度为 70% (510nm, 1cm 比色杯); ③ 干扰去除液, 15ml 50% 柠檬酸铵, 5ml 10% 氯化钾溶液, 1ml 20% 盐酸羟胺溶液; ④ 双硫腙洗除液, 5ml 10% 氯化钾及 15ml 浓氨水 (重蒸, 比重 0.90) 用重蒸馏水稀释至 500ml; ⑤ 0.04% 酚红水溶液	双硫腙在弱碱性溶液中, 可与铅离子生成红色络合物——双硫腙铅, 它溶于氯仿、四氯化碳、苯等有机溶剂。 $\text{Pb}^{++} + 2 \left[\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ | \\ \text{NH} \quad \text{NH} \\ | \quad | \\ \text{S}=\text{C} \quad \text{C}=\text{S} \\ | \quad | \\ \text{N}=\text{N} \quad \text{N}=\text{N} \\ | \quad | \\ \text{C}_6\text{H}_5 \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right] \longrightarrow$  加入氯化钾, 可能蔽大多数干扰金属离子不能进入氯仿层, 仅铋、锡、铈等仍干扰, 如在 pH=2~3, 用双硫腙氯仿溶液预先提取, 则可消除锡、铈的干扰消除, 用强碱性溶液对双硫腙氯仿提取液进行反萃取, 可使铅进入水层而与铋分离, 加入柠檬酸盐, 以防止氢氧化铋沉淀被吸附而共沉淀而受损失。	将采样滤纸放在小烧杯中, 加 20ml 3% 硝酸加热煮沸 (15~20) min, 并将此溶液和洗液一并倒入刻度试管, 稀至 20ml, 取出 10ml 分析。 样品管及标准管 (系列为 0, 0.001~0.005mgPb 标准液, 并用 3% HNO₃ 稀释至 10ml), 以酚红指示剂加氨水调至 pH=9~10, 加干扰去除液及一定量透光率 70% 双硫腙, 振荡后, 以氯仿层比色 (510nm) 或以单色法测定, 将上述所得双硫腙氯仿提取液加入一定量双硫腙洗除液振荡后, 氯仿层以目视或光电比色 (518nm)。

续表

有毒气体或 有害物质	采 样 方 法	吸收液 (或吸收剂) 和主要试剂	反应原理与反应特征	测 定 方 法
				
氯丁二烯	串联 2 支各盛 5.0ml 无醛乙醇的多孔玻板吸收管, 将吸收管浸入碎冰中, 以 $1\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 流量采取气样 50L~100L	吸收液: 无醛乙醇, 在 1L 乙醇中加入 25g 氢氧化钾及 2g~3g 间苯二胺盐酸盐, 放入沸水浴中回流数小时, 然后慢慢蒸馏, 收集中间馏分。 主要试剂: 对硝基苯胺盐酸盐试剂, 0.3g 对硝基苯胺溶于 5ml 蒸馏水中, 另取 1.5g 亚硝酸钠溶于 4ml 水, 于前一溶液中加入 14g 碎冰, 待冰块溶完后, 将亚硝酸钠溶液倾入其中, 搅拌后放置数分钟即可使用, 用前新配。	对硝基苯胺盐酸盐与氯丁二烯作用产生黄色化合物, 反应如下: 	将两支吸收管内的样品溶液合并, 置于比色管中, 加入一定量对硝基苯胺盐酸盐, 于 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 恒温水浴中加热半小时, 以冷水冷却至室温, 立即以目视法与标准管进行比色。 标准比色管: 以一系列氯丁二烯的 (0、0.1~0.6)ml 标准液, 加无醛乙醇至 10ml 体积, 按样品管同样步骤显色。 标准液为 $50.0\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 氯丁二烯
苯、甲苯和二 甲苯共同存在 时的分别测定	(1) 苯 串联 2 个小型气泡采样管, 内各盛 2ml 硝化混合液, 以 $100\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度采气 (500~1000) min	吸收液: 硝化混合剂, 以 10g 硝酸铵溶于 100ml 相对密度为 1.84 的硫酸。 其他试剂: 乙醚, 丙酮, $w=40\%$ 氢氧化钠溶液	苯于硝化混合液中被硝化后生成二硝基苯, 在强碱性溶液中 ($\text{pH}=14$), 用乙醚抽提, 于乙醚层中加入丙酮及氢氧化钠, 即出现黄紫色, 可用于比色定量	采样管置于沸水浴中 9.0min 后, 移入比色管中, 稀至 20ml, 取出上述样液 5ml 加酚酞指示剂 1 滴, 加 40% NaOH 至呈红色, 再加一定量 40% NaOH, 以一定体积醚提取, 分取醚层, 添加乙醚至 10ml, 取出 3ml, 加入一定量丙酮、氢氧化钠溶液, 于 575nm 测其吸光度, 标准色列为 (0、0.002~0.030)mg (由 0.1mg $\cdot \text{ml}^{-1}$ 苯标准液配成, 加一定量醚至 5ml 体积) 显色于续同样品管

有毒气体或 有害物质	采样方法	吸收液(或吸收剂) 和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
苯、甲苯和二 甲苯共同存在时 的分别测定	(2)甲苯 可用上述分 析过苯剩下的样品液	吸收液同苯,其他试剂除测 苯所压外,尚需乙醇、浓氨水, 缓冲液为 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸 钡和 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氨水,等体 积混合	甲苯在硝化混合液中被硝化生成二硝基甲苯,在碱性 溶液中($\text{pH}=8$)用乙醚提取,加入乙醇与氨水反应呈 紫色,可用于比色定量	取测定过苯的剩下的样品液 10ml ,加 酚酞指示剂,加浓氨水中和至显红色,冷 后加一定体积缓冲液,以一定体积乙醚提 取,分出醚层并添加乙醚至 10ml ,取出 5ml 加一定量乙醇、氨水摇匀,一刻钟后 于 530nm 测定光密度,标准色列为 $(0, 0.005 \sim 0.06) \mu\text{g}$ 甲苯(由 $0.2\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}$ 甲苯标准液配成,并加一定量乙醚至 5ml 体积),显色手续同样品管
	(3)二甲苯 串联2个 小型气泡采样管,内各盛 2ml 稀硝化混合液,以 $(8 \sim 10)\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度抽 取空气 $(500 \sim 1000) \text{ml}$	吸收液,稀硝化混合液, 10g 硝酸钡溶于 100ml , $w \sim 85\%$ 的硫酸中,其他试剂:乙醇及 0.5% 氢氧化钠乙醇溶液	二甲苯于较稀的硝化混合剂中被硝化后用乙醚提取, 于乙醚层中加入乙醇及 NaOH 反应而呈蓝绿色,可用于 比色定量	采样管置于 50°C 水浴中半小时,移入分 液漏斗并加 10ml 乙醚提取,分出醚层于比 色管,加乙醚至 10ml 刻度,取出 5ml 加一 定量乙醇和氢氧化钠溶液,于 610nm 测 其光密度,标准色列为 $(0, 0.02 \sim 0.20)$ mg 二甲苯(由 $0.2\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}$ 二甲苯标准 液配成,加醚至 5ml),显色手续同样品管
硝基苯	串联二个各装有 10ml 10% 乙醇溶液的大型气 泡吸收管, $(0.4 \sim 0.5)$ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 速度抽取 2L 气样	吸收液: 10% 乙醇溶液,主 要试剂: 2.5% 氨基磺酸钠溶 液, 1% 萘基乙二胺盐酸盐溶 液, 4% 重碳酸钠溶液,以上均 临用时配制;锌粉, $6\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸, 2% 硫酸铜溶液	在酸性介质中硝基苯经锌铜联合剂还原成苯胺,经重 氮化后与萘基乙二胺偶合成紫红色染料反应如下: $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 \xrightarrow{\text{HCl}} \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 \xrightarrow{\text{NaNO}_2/\text{HCl}} \text{C}_6\text{H}_5\text{N}=\text{N}^+\text{Cl}^-$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}=\text{N}^+\text{Cl}^- + \text{C}_{10}\text{H}_7\text{NHC}_6\text{H}_4\text{N}_2\text{H}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{N}=\text{NC}_{10}\text{H}_7\text{NHC}_6\text{H}_4\text{N}_2\text{H}_2 + 2\text{HCl}$	从前步采样管中各取样品液 5ml 于试 管中 标准色列管为 $(0, 0.001 \sim 0.012) \text{mg}$ 硝基苯(由 $0.01\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}$ 硝基苯标准液 配制,加 10% 乙醇溶液至 5ml 体积) 于采样管及标准管各加一定体积水, $6\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 及一定量锌粉, 2% CuSO_4 , 10min 后滤至 10ml 比色管中用水 稀释至刻度,加 1 滴 4% NaNO_2 , 放置后再 加一定量萘基乙二胺,混匀,放置一定时 间,于 570nm 测定光密度
苯酚	串联二个各装 10ml 吸 收液的大型气泡吸收管, 以 $0.5\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度 抽取 5L 气样	吸收液: 0.01% 碳酸钠溶 液,主要试剂 1% 4-氨基安替 比林溶液, 1% 铁氰化钾溶液	酚在碱性溶液中被氧化剂存在下,与 4-氨基安替比林 作用生成红色安替比林染料,可用于比色定量,反应如 下: $\text{CH}_3-\text{C}(\text{NH}_2)=\text{C}(\text{OH})-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2 + \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} \xrightarrow{\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6} \text{CH}_3-\text{C}(\text{NH}_2)=\text{C}(\text{O})-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2 + \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$	从吸收管中各取 5ml 样品液,分别移入 比色管中 标准色列管为 $(0, 0.0005 \sim 0.01) \text{mg}$ 酚(由 $0.01\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}$ 酚标准液配制,并用 吸收液放至 5ml) 向样品管和标准管加入一定量 1% 4-氨 基安替比林及 1% 铁氰化钾溶液混匀,放 置一定时间,于 500nm , 1cm 比色杯比色

续表

有毒气体或 有毒物质	采 样 方 法	吸收液 (或吸收剂) 剂主要试剂	反 应 原 理 与 反 应 特 征	测 定 方 法
			 C_6H_5	
1605 (对 硫磷)	取质地紧密的定量滤 纸,剪成直径 3cm 的圆 块,放入滤纸采样器内, 以 $5\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 速度采集 (50~100) L 气样。将滤 纸剪成小块放入试管供 分析用	主要试剂: 10%乙醇 (体积 分数) 0.25g/100ml 亚硝酸钠溶 液 0.25g/100ml 氨基磺酸溶 液 1g/100ml <i>N</i> -(1-萘基)-乙 二胺盐酸盐溶液 5mol/L 盐酸溶液及锌粉	将 1605 还原成胺基化合物,经重 氮化反应,再使与 <i>N</i>-(1-萘基)-乙二胺盐酸盐混合,生 成紫红色染料。反应式如下: 	加 10%乙醇 8ml 于有采样滤纸的带塞 试管中 标准色列为 (0, 0.035~0.035) mg/1605 (由 0.035mg + ml⁻¹ 1605 标准液配制,并 用 10%乙醇加至 8ml) 标准管和样品管各加一定量 5mol/L 1-萘基磺酸钠及锌粉,1 滴 1%硫酸铜,塞 上管塞,置沸水浴煮沸,冷却,过滤于比 色管,加入一定量 0.25%亚硝酸钠、2.5% 氨基磺酸钠、1%<i>N</i>-(1-萘基)-乙二胺盐酸 盐均经旋光,并加水至一定体积,放置一 定时间,于 540nm 比色定量

有毒气体或 有害物质	采样方法	吸收液(或吸收剂) 和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
1059 (内吸磷) 3911 (甲拌磷)	取一支内装发有 2ml 5% 甲醇溶液的 U 型多孔玻板吸收管, 以 (0.1~0.5) L·min ⁻¹ 的速度抽吸 (1~10) L 空气	吸收液: 5% 甲醇溶液 主要试剂: ① 缓冲液 pH 7.2: 16.72g Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O 及 2.72g KH ₂ PO ₄ 溶于 1L 水中 ② 氯化乙酰胆碱溶液: 0.100g 氯化乙酰胆碱溶于 100ml 上述缓冲液 ③ 碱性羟胺溶液, 临用前以 13.9% 盐酸羟胺溶液和 14% 氢氧化钠溶液等体积混合 ④ 三氯醋酸溶液: 10g 三氯 醋酸于 100ml (1~2) 盐酸水 溶液中 ⑤ 溴水: 以 0.4ml 饱和溴水 用水稀释至 100ml ⑥ 标准溶液: 2mg·ml ⁻¹ 1059、3911 的储备液用 5% 甲 醇溶液稀释成为 1.5μg· ml ⁻¹ 1059 标准溶液及 0.2 μg·ml ⁻¹ 3911 标准溶液 ⑦ 胆碱酯酶溶液: 取健康马 血清为酶原, 用缓冲液稀释成 酶活力为 70%~80% 酶活力测定如下: 取健康马血清 3ml, 于 25ml 量瓶内用缓冲液稀释至刻度, 并以此液配制酶活力标准管, 系列为 0、0.1、0.3、0.5、0.7、 0.8、0.9、1.0ml 马血清溶液, 并以缓冲液补足至 1ml, 此溶 液即相当于每 25ml 含纯马血 清的毫升数为 0、0.3、0.9、 1.5、2.1、2.4、2.7、3.0, 各 管加水 1ml, 置 37℃ 恒温水浴 预热 10min, 然后在各管每隔 1min 加 1.0ml 氯化乙酰胆碱 溶液, 并准确在 37℃ 下反应 0.5h, 不时振荡, 并顺序从水 浴取出 (每隔 1min 加一管)	1059 及 3911 经溴氧化后, 对胆碱酯酶有抑制作用, 而 胆碱酯酶能促进乙酰胆碱的水解, 乙酰胆碱的量, 可用 羟胺铁比色法进行定量, 由此换算成有机磷农药的含 量, 反应式如下: $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_4\text{N}^+(\text{CH}_3)_3 \xrightarrow[\text{水解}]{\text{胆碱酯酶}} \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3 + \text{CH}_3\text{COOH}$ $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_4\text{N}^+(\text{CH}_3)_3 + \text{NH}_2\text{OH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CONHOH} + \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$ $3\text{CH}_3\text{CONHOH} + \text{FeCl}_3 \longrightarrow [\text{CH}_3\text{CONHO}]_3\text{Fe} + 3\text{HCl}$ 红棕色	将吸收管的进气口反复用管内吸收液 洗涤, 使吸附在进气口玻璃管壁上的有机磷 农药溶于吸收液中, 然后倒入小烧杯中, 取出 1.0ml 样品溶液置于 11 号比色管 中 配制标准管, 以 0、0.075、0.15、0.30、 0.60、0.90、1.20、1.50μg 1059 为系列, 各 用 5% 甲醇加至体积为 1ml, 并作一 B 管 (与 0 管同), 为 1ml 5% 甲醇 在 B 管中加 1ml 缓冲液, 并将样品管和 标准管 (包括 B 管) 放在 37℃ 恒温水浴中 预热 10min, 向各管加入 1.0ml 胆碱酯酶 溶液 (每隔 1min 加一管, 但 B 管不加), 在 恒温水浴中准确反应 0.5h, 再在各管中 加 1.0ml 氯化乙酰胆碱溶液 (每隔 1min 加一管), 再反应 0.5h, 然后每隔 1min 取 出一管, 加入 2ml 碱性羟胺溶液, 强烈振 摇 4min, 然后各管加 1ml 三氯醋酸溶液, 过滤, 滤液中加入 1.0ml 氯化铁溶液激烈振 摇后于 520nm 读取光密度 按下列公式计算出胆碱酯酶被 1059 抑 制的百分数为: $1 - \frac{B-X}{B-C} \times 100\% = \frac{X-C}{B-C}$ × 100%, B 和 C 为对照管 B 和 0 管的光 密度, X 为含有 1059 标准管及样品管的 光密度 用 1059 含量对相应的胆碱酯酶百分抑 制率绘制标准曲线, 计算出样品的百分抑 制率, 再由标准曲线查出 1059 含量 3911 分析步骤同 1059, 只是取出 1.0ml 样品溶液后需先加 0.1ml 溴水氧化 3911 标准管 (系列: 0、0.02、0.04、 0.10、0.14、0.16、0.20μg 3911) 及 B 管各 加 0.1ml 溴水, 并以 5% 甲醇加足至 1.1ml) B 管 3911 亦为 0μg, 以下操作同 1059, 计算: $X = \frac{2C}{V_s}$ 式中 X 一气流中 1059 (或 3911) 的浓 度, mg·m ⁻³

续表

有毒气体或 有毒物质	采 样 方 法	吸收液(或吸收剂) 和主要试剂	反 应 原 理 与 反 应 特 征	测 定 方 法
1039 (内吸磷) 39.1 (甲拌磷)		加入 2.0ml 碱性羟胺溶液。振摇 4min, 再各加 1ml 三氯酚酞, 过滤, 滤液各加 1ml 三氯化铁溶液, 在 550nm 以水作对照测光密度。用公式 $\frac{B-X}{B} \times 100$ 计算 (式中 B 为 0 管的光密度, X 为各管的光密度) 得到氯化乙酰胆碱在 37℃ 被酶水解 0.5h 的水解百分数。取其中水解为 70%~80% 的马血清作标准, 按其中马血清的量 (即 25ml 溶液中含纯马血清毫升数) 来配制有机磷酸酯标准液。		C ——所取样品中 1050 (或 39.1) 含量, μg ; V_0 ——为换算成标准状况下的样来体积, L。

表 8-1 快速检气管性能

检 气 管	灵敏度 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	抽气量 ml	抽气速度 $\text{ml} \cdot \text{s}^{-1}$	颜色变化	试 剂 内 容	类 型
一氧化碳甲型	20	450	1.5	黄→绿→蓝	硫酸钡、钼酸铵、硫酸、硅胶 详见 (1) 一氧化碳之方法 (2)	比 色
一氧化碳乙型	20	450	1.5	黄→绿→蓝	硫酸钡、钼酸铵、硫酸、硅胶 详见 (1) 一氧化碳之方法 (2)	比 色 可除乙烯干扰
一氧化碳丙型	20	450	1.5	黄→绿→蓝	硫酸钡、钼酸铵、硫酸、硅胶 详见 (1) 一氧化碳之方法 (2)	比 色 可除乙烯及氧化氮干扰
一氧化氮	25	100	1.5	白→绿	五氧化二磷、发烟硫酸、硅胶	比长度
二氧化碳	400	100	3.5	蓝→白	百里酚酞、氢氧化钠、氯化铝	比长度
二氧化硫	10	400	1	棕黄→红	亚硝基铁氰化钠、氯化锌、乌洛托品、陶瓷	比长度
硫化氢	10	200	2	白→褐	醋酸铅、氯化钡、陶瓷	比长度
氟	2	100	2	黄→红	荧光素、溴化钾、碳酸钾、氢氧化钾、硅胶	比长度
氯	10	100	2	红→黄	百里酚酞、硫酸、硅胶	比长度
氯化氢	10	100	1	白→绿	联邻甲苯胺、硅胶	比长度
氟氰酸	0.2	100	2	白→蓝绿	联邻甲苯胺、硫酸铜、硅胶	比长度
丙烯腈	0.4	100	2	白→蓝绿	联邻甲苯胺、硫酸铜、硅胶	比长度
磷化氢	3	100	2	白→黑	硝酸银、硅胶	比长度
苯	10	100	1	白→紫褐	发烟硫酸、多聚甲醛、硅胶	比长度

三、气相色谱法测定气样中的有毒气体物质

1. 苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯

进样量：1ml 气体。色谱柱：5%有机皂土，5%邻苯二甲酸二壬酯。

担体：上试酸洗 101，(60~80) 目，纸速 $5\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

柱长：2m，内径 4mm，柱温 55°C 。

鉴定器：氢火焰离子化。载气：氮 $50\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ，空气 $500\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2. 苯、异丙苯、苯乙烯

进样量：气体 1ml，柱温 109°C ，纸速 $5\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

色谱柱：15%聚乙二醇-400+5%双甘油，柱长 2m，内径 4mm。

担体：6201，(40~60) 目。载气：氮 $83\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ，氢 $39\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ，空气 $680\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

鉴定器：氢火焰离子化。

3. 乙醛、丙醛、丁醛、丙烯醛、丙酮

进样量：液体，50 μl 。

色谱柱：30%聚乙二醇-4000，载体：6201，(40~60) 目。

柱长: 2m, 内径 4mm, 柱温 80℃。

鉴定器: 氢火焰离子化。载气: 氢 $35\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

空气: $400\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$, 纸速 $5\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

4. 苯、甲苯、氯苯

进样量: 气体 1ml。鉴定器: 氢火焰离子化。

色谱柱: GDX-01, (40~60) 目, 纸速 $6.35\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

柱长: 1.5m, 内径 4mm, 柱温 200℃。

载气: 氮 $60\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$, 氢 $30\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$, 空气 $120\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

5. CO 、 CO_2 、 C_2H_4 、 C_2H_6

色谱柱: 活性炭, 2-25m, 内径 4mm, (30~40) 目。

鉴定器: 热导池, 程序升温 (80~170)℃, 鉴定器温度: 100℃。

载气: 氮 $23\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

6. 滴滴涕等有机氯农药

电子俘获鉴定器对具有强负性原子或基团 (如卤素、硝基等) 的分子十分灵敏。

色谱柱: Chromosorb W (60~80) 目, 5% 硅油 QF-1 (Silicone 0:1 QF 1) 和 5% 硅油 DC-200 (Silicone 0:1 DC-200)。

柱温: 190℃, 注射温度 220℃。溶剂: 苯。

载气: $90\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。柱长 1.2m, 内径 4mm。

7. 农药甲基-1605、1605

色谱柱: SE-30, 2%, 1.5m, 内径 4mm。

柱温: 170℃, 溶剂用丙酮。鉴定器: 氢火焰离子化, 载气用氮, 燃气用氢, 空气。

8. 丙烯醛

色谱柱: 5% 聚乙二醇-400, 6201 载体 (40 目~60 目)。

柱长: 0.5m, 内径 4mm, 柱温 40℃。

载气: 氢 (30~40) $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$, 空气 $400\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

鉴定器: 氢火焰离子化。进样量: 空气 1ml。

9. 苯、甲苯、氯苯、二甲基、异丙苯

色谱柱: 0.5% 真空硅脂 (High Vacuum Silicone), 玻璃粉载体, (80~100) 目。

柱长: 1.8m, 内径 4mm。

柱温: 50℃ 及 60℃。鉴定器: 氢火焰离子化。

进样量: 液体 (0.2~1) μl 。气体: (1~5) ml。

载气: 氮 (30~35) $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$, 氢 $30\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$, 空气 (400~500) $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

第九章 强氧化剂、爆炸性物质的处理与防爆

第一节 一般概念

强氧化剂是指具有强烈氧化性的物质。它们在标准电位顺序中的位置越低，标准电位值愈正，在化学反应中愈易获得电子，则这类物质（分子、原子或离子）就是越强的氧化剂。在没有还原剂放出电子，氧化剂当然不可能获得电子。氧化剂本身，一般是不会燃烧的，但在空气中遇酸或受潮解，强热或与其他还原性物质、易燃物、可燃物接触，即能分解引起燃烧或与可燃物质构成爆炸性混合物。强氧化剂如氟、三价钴盐、过硫酸盐（或 $S_2O_8^{2-}$ ）、过氧化氢、过氧化物、高锰酸盐（或 MnO_4^- ）、氯酸盐（或 ClO_3^- ）、溴酸盐（或 BrO_3^- ）、重铬酸盐（或 $Cr_2O_7^{2-}$ ）、氯等等。

爆炸性物质指具有猛烈爆炸性的物质，当其受到高热、摩擦、冲击或与其他物质接触发生作用后，能在瞬间发生剧烈反应，产生大量的热量和气体，并使气体的体积迅速增加而引起爆炸。下列物质均属于敏感性强、易分解和引起爆炸的物质：

臭氧、过氧化物（含特有的 $-O-O-$ 基）；

氯酸和高氯酸化合物（含特有的 $Cl-O$ 原子团）；

氮的卤化物（含特有的 $-N-X$ 基， X 表示卤素）；

亚硝基化合物（含特有的 $-NO$ 基）；

重氮化合物和叠氮化合物（含特有的 $\begin{array}{c} N \\ | \\ N \end{array}$ ， $\begin{array}{c} N \\ || \\ N \end{array}$ 基或原子团 $N=N$ ）；

雷酸盐（含特有的 $-ONC$ 基或原子团 $-N=C$ ）；

乙炔等炔类和炔化物（含 $C-C$ 基）。

实际上，某些强氧化剂本身就是爆炸性物质，如硝酸盐、过氧化物、高氯酸盐。

爆炸是当物质极迅速地发生突然变化时，其分子、原子或原子核内的能量转变为物质运动能的结果，在爆炸的一瞬间有大量的能量放出。爆炸时，物质状态急剧改变，温度和压力剧烈升高。化学反应所发生的爆炸（例如氢、氧混合物的爆炸、三硝基甲苯的爆炸等）和原子核分裂链式反应所引起的爆炸都是典型的爆炸。本节所述只限于化学反应所发生的爆炸。

爆炸极限是当可燃气体、可燃液体的蒸气（或可燃粉尘）与空气混合并达到一定浓度时，遇到火源就会发生爆炸。这个遇到火源能够发生爆炸的浓度范围，叫做**爆炸极限**，通常用可燃气体、蒸气（或粉尘）在空气中的体积分数（%）来表示。但可燃气体、蒸气（或粉尘）与空气的混合物并不是在任何混合比例下都有可能发生爆炸，而是有一个发生爆炸的浓度范围，即有一个最低的爆炸浓度——**爆炸下限**，和一个最高的爆炸浓度——**爆炸上限**，只有在这两个浓度之间，才有爆炸的危险。如只可燃气体、蒸气（或粉尘）在空气中的浓度低于爆炸下限，遇到明火，既不会爆炸，也不会燃烧；高于爆炸上限，遇到明火，虽然不会爆炸，但接触空气却能燃烧。因为低于爆炸下限时，空气所占的比例很大，可燃物质的浓度不够；高于爆炸上限时，则含有大量可燃物质，而空气却不足，缺少助燃的氧气。

了解各种可燃气体或蒸气（或粉尘）的爆炸极限，对于做好防火、防爆工作具有重要意义。

义。首先,根据某些可燃气体或蒸气(或粉尘)的爆炸极限,可以看出它们的危险程度。可燃气体或蒸气(或粉尘)危险的大小,主要取决于爆炸极限幅度的大小,幅度越大,其危险性就越大。例如乙炔,爆炸下限是2.5%,上限是80%;乙烷,下限是3.00%,上限是12.50%。两者相比,乙炔的危险性就比乙烷大得多。因为乙炔的爆炸极限幅度是乙烷的8.1倍,这就意味着乙炔发生爆炸的机会比乙烷多8.1倍。其次,根据某些可燃气体、蒸气(或粉尘)的爆炸极限,可以看出在哪些情况下容易使它们进入爆炸范围。爆炸下限较低的可燃气体或蒸气,如果泄漏在空气中,即使它们的量不是很大,也容易进入爆炸范围,具有很大的爆炸危险性,因此,在生产、使用这类物质时,就要特别注意防止“跑、冒、滴、漏”。对于爆炸上限较高的可燃气体或蒸气,如具有空气进入它们的容器或管道设备中,则不需要很大的数量,就能使之进入爆炸范围,危险性也很大,因此,对这类易燃气体或蒸气的生产、使用,要注意设备的密闭并保持正压,严防空气渗入。

各种可燃、易爆气体在空气中(或在氧气中)的爆炸极限列于表9-1及9-2。表中所给出的爆炸极限数据,系全部在大气压及室温下,于直径为2英寸^①或大于2英寸的弹式器(或管)中向上传播(火焰)所测定得的,所有数值以体积百分率为基础。但某些气体的爆炸上限,由于它们的蒸气压较低,则是在稍高的温度下测定得到的。

混合气体的爆炸范围列于表9-3。

表 9-1 气体和蒸气在空气中的爆炸极限 (可燃性极限)^a

化 合 物	化 学 式	可燃性极限 φ (%)		化 合 物	化 学 式	可燃性极限 φ (%)	
		下 限	上 限			下 限	上 限
烷 烃 类				芳 香 类			
甲 烷	CH_4	5.00	15.00	苯	C_6H_6	1.40	7.10
乙 烷	C_2H_6	3.00	12.50	甲 苯	C_6H_5	1.27	6.75
丙 烷	C_3H_8	2.12	9.35	邻二甲苯	C_8H_{10}	1.00	6.00
正丁烷	C_4H_{10}	1.80	8.41	环 烃 类			
异丁烷	C_4H_{10}	1.80	8.44	环丙烷	C_3H_6	2.40	10.40
正戊烷	C_5H_{12}	1.40	7.80	环己烷	C_6H_{12}	1.26	7.75
异戊烷	C_5H_{12}	1.32	7.60	甲基环己烷	C_7H_{14}	1.15	6.70
2, 2-二甲基丙烷	C_5H_{12}	1.38	7.50	酸 类			
正己烷	C_6H_{14}	1.18	7.40	乙 酸	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	5.45	17.00
正庚烷	C_7H_{16}	1.10	6.70	氢氰酸	HCN	5.30	40.00
2, 3-二甲基丙烷	C_5H_{12}	1.12	6.75	酯 类			
辛 烷	C_8H_{18}	0.95		甲酸甲酯	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	5.35	22.70
壬 烷	C_9H_{20}	0.83		甲酸乙酯	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	2.71	16.40
癸 烷	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	0.77	5.35	乙酸甲酯	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	3.15	15.60
烯 烃 类				乙酸乙酯	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	2.18	11.40
乙 烯	C_2H_4	2.75	28.65	乙酸丙酯	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	1.77	8.60
丙 烯	C_3H_6	2.00	11.10	乙酸异丙酯	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	1.78	7.60
1-丁 烯	C_4H_8	1.65	9.65	丁醇丁酯	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	1.39	7.55
2-丁 烯	C_4H_8	1.75	9.70	乙酸戊酯	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	1.10	
戊 烯	C_5H_{10}	1.42	8.70	氢			
炔 烃 类				氢	H_2	4.00	74.20
乙 炔	C_2H_2	2.55	80.00	氮化合物			
				氨	NH_3	15.50	27.50
				氰	C_2N_2	6.60	42.60

① 1英寸(吋) = 2.54cm。

续表

化合物	化学式	可燃性极限 φ (%)		化合物	化学式	可燃性极限 φ (%)	
		下 限	上 限			下 限	上 限
吡 啶	C_5H_5N	1.81	12.40	酮 类			
硝酸乙酯	$C_2H_5NO_3$	3.80	—	丙 酮	C_3H_6O	2.55	12.80
亚硝酸乙酯	$C_2H_5NO_2$	3.01	50.00	甲基乙基酮	C_4H_8O	1.81	9.50
氧化物				甲基丙基酮	$C_5H_{10}O$	1.55	8.15
一氧化碳	CO	12.50	74.20	甲基丁基酮	$C_6H_{12}O$	1.30	7.60
环氧乙烷	C_2H_4O	3.00	80.00	氯化物			
氧化丙烯	C_3H_4O	2.00	22.00	甲基氯	CH_3Cl	8.25	18.70
二噁烷	$C_4H_8O_2$	1.07	22.25	乙基氯	C_2H_5Cl	4.00	14.80
过氧化二乙基	$C_4H_{10}O_2$	2.34	—	丙基氯	C_3H_7Cl	2.60	11.10
硫化物				丁基氯	C_4H_9Cl	1.85	10.10
二硫化碳	CS_2	1.25	50.00	异丁基氯	C_4H_9Cl	2.05	8.75
硫化氢	H_2S	4.30	45.50	丙烯基氯	C_3H_5Cl	3.28	11.15
硫氧化碳	COS	11.90	28.50	戊基氯	$C_5H_{11}Cl$	1.60	8.63
碳烯类				乙基基氯	C_2H_5Cl	4.60	21.70
松节油	$C_{10}H_{16}$	0.80	—	二氯乙烷	$C_2H_4Cl_2$	6.20	15.00
醇类				二氯丙烯	$C_3H_4Cl_2$	3.40	14.50
甲 醇	CH_3O	6.72	36.50	溴化物			
乙 醇	C_2H_5O	3.28	18.95	甲基溴	CH_3Br	13.50	14.50
丙醇醇	C_3H_7O	2.50	18.00	乙基溴	C_2H_5Br	6.75	11.25
正丙醇	C_3H_7O	2.15	13.50	丙基基溴	C_3H_7Br	4.36	7.25
异丙醇	C_3H_7O	2.02	11.80	胺 类			
正丁醇	C_4H_9O	1.45	11.25	甲 胺	CH_3N	4.55	20.75
异丁醇	C_4H_9O	1.68	—	乙 胺	C_2H_5N	3.55	13.95
正戊醇	$C_5H_{11}O$	1.19	—	二甲胺	C_2H_7N	2.60	14.40
异戊醇	$C_5H_{11}O$	1.20	9.00	丙 胺	C_3H_7N	2.04	10.35
醚 类				二乙胺	$C_4H_{11}N$	1.77	10.00
乙 醚	C_2H_5O	3.97	57.00	三甲胺	C_3H_9N	2.00	11.60
2-丁醇醚	$C_4H_{10}O$	2.12	15.50	二乙胺	$C_4H_{11}N$	1.25	7.90
糠 醇	$C_5H_8O_2$	2.10	—	小麦面粉 ^①		$9.7g \cdot m^{-2}$	
三聚乙醇	$C_6H_{14}O_2$	1.30	—	铝 粉		$40g \cdot m^{-2}$	
醚 类				硫 粉		$3.3g \cdot m^{-2}$	
甲乙醚	C_3H_8O	2.00	10.00	硫磺粉		$13.5g \cdot m^{-2}$	
二乙醚	$C_4H_{10}O$	1.85	36.50	煤 粉		$35g \cdot m^{-2}$	
二乙基醚	$C_4H_{10}O$	1.70	27.00				

① 主要摘自 Weast, "Handbook of Chemistry and Physics" D-131, 第 63 版 (1982~1983)。

② 小麦面粉、铝粉、硫粉、硫磺粉、煤粉指粉尘在空气中的爆炸下限。

表 9-3 气体和蒸气在空气中的爆炸极限 (可燃性极限)^①

化合物	化学式	可燃性极限 φ (%)		化合物	化学式	可燃性极限 φ (%)	
		下 限	上 限			下 限	上 限
氢	H_2	4.65	93.8	丙 烯	C_3H_6	2.10	52.8
氘	D_2	5.00	95.0	环丙烷	C_3H_4	2.45	63.1
一氧化碳	CO	15.50	93.9	氨	NH_3	13.50	79.0
甲 烷	CH_4	5.40	59.2	乙 醚	C_2H_5O	2.10	82.0
乙 烷	C_2H_6	4.10	50.5	二乙醚	$C_4H_{10}O$	1.85	85.5
乙 炔	C_2H_2	2.90	79.9				

① 摘自 Weast, "Handbook of Chemistry and Physics" D-131 第 63 版 (1982~1983)。

表 9-3 某些混合气体的爆炸极限

气 体 名 称	气 体 组 分 φ (%)						爆炸极限(在空气中) φ (%)	
	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	下 限	上 限
水煤气	6.2	0.3	39.2	49.2	2.3	3.0	5.9	69.5
高炉煤气	9~12	0.2~0.4	26~30	1.5~3.0	0.2~0.5	55~60	46~56	60~70
半水煤气	7.0	0.2	32.0	40.0	0.8	20.0	8.1	70.5
焦炉煤气	1.5~3	0.3~0.8	5~8	55~60	23~27	3~7	6.0	30.0
发生炉煤气	5.2	0	27.3	12.4	0.7	53.4	20.3	73.7

第二节 遇强氧化剂可能引起燃烧或爆炸的危险物质及其他危险物质

一、能引起燃烧的物质

浓硝酸、浓硫酸与松节油、乙醇等，浓硝酸与纤维织物等；
 过氧化钠与乙酸、甲醇、丙酮、乙二醇等；
 溴与磷、锌粉、镁粉混合；
 三氯化氯与有机物或灼热金属；
 高锰酸钾与有机物、易燃物；
 硫酸与过氧化钠；
 氧化汞与硫磺；
 臭氧与有机物。

二、能形成爆炸混合物的物质

高氯酸与乙醇及其他有机物（另详见第五节高氯酸和高氯酸盐的处理）；
 高氯酸盐、氯酸盐与硫酸；
 氯酸盐与硫或硫化锑；
 氯酸盐与磷或氟化物；
 氯酸盐或硝酸盐与铝、镁；
 氯酸盐、硝酸盐、硝酸与磷；
 铬酐（三氧化铬）或高锰酸钾与硫酸、硫磺、甘油或有机物；
 过硫酸铵与铝粉遇水；
 高铁氰化钾、高汞氰化钾、卤素与氨；
 硝酸钠与硫氰化钡；
 硝酸钾与乙酸钠；
 硝酸铵与锌粉遇少量水；
 硝酸盐与酯类；
 硝酸盐与氯化亚锡；
 亚硝酸盐与氯化钾；
 硝酸与噻吩或与碘化氢；
 硝酸与镁、锌或其他活泼轻金属；

硝酸-亚硝酸盐与有机物及铝；

过氧化物与镁、锌或铝；

液态空气或氧气与有机物接触，压缩氧与油脂接触；

发烟硫酸或氯磺酸与水；

次氯酸钙与有机物；

发烟硝酸与乙醚；

卤素和铝粉遇少量水。

上述一和二的情况很难严格分开，一般说强氧化剂与有机物接触极易引起燃烧与爆炸。

三、其他危险性混合物或物质

1. 遇水着火或爆炸的物质及其他可燃物质

(1) 钾、钠、电石、活化金属（如米尼镍等活性镍）等遇水着火或爆炸。

(2) 三氯化铝、三氯化磷、五氯化磷、磷化钙遇水均有发火爆炸的可能。

(3) 浓蚁酸（甲酸）极不稳定，可能爆炸。

(4) 液体氮与汞（流体压力计里的汞）也可能构成爆炸性化合物。

2. 乙炔化物（碳化物） 当乙炔和类似的化合物与银、铜、二价汞和某些其他金属等盐溶液反应时生成乙炔化物。爆炸沉淀物，特别是铜及银的碳化物非常容易爆炸，当这些乙炔化物中夹杂有氧化性酸根（硝酸根、溴酸根、高氯酸根等）及卤素时，会大大增加爆炸的危险性，若夹杂着没有氧化性能的阴离子时（硫酸根、磷酸根、有机酸根）则能降低乙炔化物的爆炸性。

3. 叠氮与重氮化合物及硝基化合物 叠氮酸、叠氮酸钠、叠氮酸铅、重氮甲烷等叠氮与重氮化合物；间硝基苯、三硝基苯酚、三硝基甲苯、硝化纤维素、硝化甘油等硝基化合物受热、震动、撞击、或遇明火时都易爆炸。

4. 可燃性蒸气和气体 可燃性蒸气和气体如氢、氨、一氧化碳、二硫化碳、乙炔、环氧乙烷、甲烷、丁烷、苯、甲醇、乙醇、乙醛、丙酮、乙醚、乙酸乙酯、己烷等低级烃等与空气或氧气的混合物是特别危险的“爆炸混合物”，它们在一定比例下会发生爆炸，其爆炸极限见表 9-1-3。气相反应时的爆炸非常危险，因为许多因素能够急剧改变气体反应的速度，并且在气体混合物的一部分中开始的反应能迅速地扩展到全部混合物。关于改变气体反应速度的一般原因，将于第六节中讨论。

第三节 醚中过氧化物的爆炸与控制

乙醚、异丙醚、二噁烷、四氢呋喃及其他醚类均倾向于从空气中吸收氧并与之反应形成不稳定的过氧化物，当它们被蒸发或蒸馏变浓时，或当这些过氧化物与其他化合物生成爆炸混合物时，或因受热、震动或摩擦时，都会产生极猛烈的爆炸。由于自动氧化在有机化合物中形成的过氧化物已引起过许多实验室的意外事故。过氧化氢、氢过氧化物、羟烷基过氧化物的爆炸都没有象醚氧化所生成的过氧化物的残留物的爆炸那样猛烈，因此对于这类过氧化物的检定、阻化、消除或控制从安全的角度来看都是十分重要的。

一、乙醚的爆炸

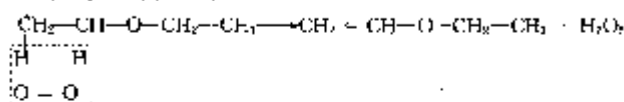
乙醚在室温时的蒸气压很高，闪点（-45℃）与着火点很低，每升空气含 1g 乙醚蒸气即

能燃烧，着火温度是 180°C 。使用乙醚的操作，决不能用直接火，应该用蒸汽浴加热。乙醚蒸气的相对密度很大（比空气重 2.6 倍），所以从瓶中或其他仪器里渗漏出来的蒸气，会沿着实验桌、椅、地板蔓延开去，这种蒸气能被远处的火种所点燃。乙醚和空气或氧气的混合物，其混合比例在广大的限界间都会爆炸，因此乙醚着火的危险性远远超过汽油。

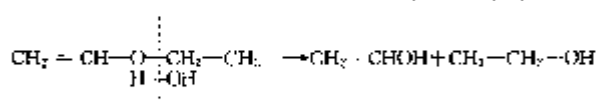
虽然乙醚有较大的化学稳定性，但是它在长期与空气接触的情况下，逐渐氧化而生成过氧化物，这种过氧化物极易爆炸，这常常是在使用乙醚时未予认真对待而造成猛烈爆炸的原因。蒸馏放置很久的乙醚时，当蒸馏瓶中留下少量的液体（在这些液体中，积聚了乙醚的过氧化物，它们较乙醚不易挥发），有时即发生猛烈的爆炸。曾有记载将被认为是化学纯粹的乙醚，在水浴上进行蒸馏，当将近蒸馏完毕时，所剩余的油状残渣，在 100°C 以下的温度，发生激烈爆炸，毁坏全部玻璃器皿。也曾记载在脂肪测定中，用乙醚提取脂肪，当大部分乙醚已在水浴上蒸去后，将乙醚残留物（实为脂肪+过氧化物）在 105°C 下烘干过程中发生猛烈爆炸，毁坏烘箱。

曾经发现，蒸馏乙醚时从一只薄壁蒸馏烧瓶爆炸飞散出来的玻璃碎片可使位于数米以外的厚壁玻璃器皿造成整齐的穿孔，可见其爆炸之猛烈。

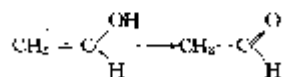
乙醚同空气中的氧作用而生成过氧化物，可作如下解释：开始由 1 分子乙醚和 1 分子氧生成 1 分子乙烯醚和 1 分子过氧化氢：



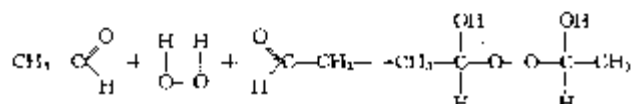
生成的不饱和醚由于水解的结果分解成 1 分子乙醇和 1 分子乙烯醇：



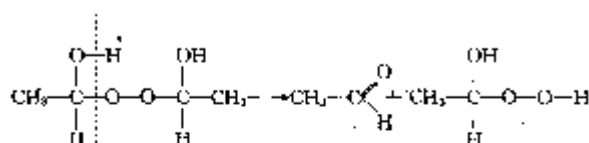
乙烯醇立即重排成乙醛：



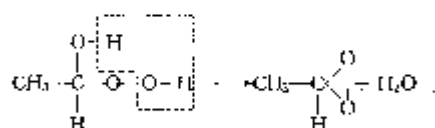
如此生成的乙醛按照以下方式与过氧化氢作用：



这个产物可以叫做过氧化二羟二乙烷，但是爆炸的主要原因不是这个过氧化物。过氧化二羟二乙烷能分解成乙醛和羟乙基过氧化氢：



而羟乙基过氧化氢失去一分子水转变成亚乙基过氧化物，这是一个十分不安定而有猛烈爆炸性的物质：



这种过氧化物的沸点较乙醚高,因此爆炸往往发生在回收蒸馏的末尾,将乙醚蒸馏到原来体积的1/10时,就存在了爆炸的危险;而且过氧化物是一个强烈的氧化剂,可能引起我们所不希望的反应。

在使用乙醚之前,即使不需要完全蒸干,亦应检查一下是否含有过氧化物。可以用过氧化物的各种特征反应来发现乙醚中过氧化物的存在。

二、乙醚及其他醚中过氧化物的检查与测定

用碘化钾方法试验乙醚中过氧化物 在避直射日光下,加1ml新配制的10%碘化钾溶液至一盛有10ml乙醚的无色玻璃具塞量筒中,对着白色背景从横断方向观察,两液层均应无色。

9ml乙醚加入1ml饱和碘化钾溶液,震荡,若醚层出现黄色,则其中至少有多于0.0005%的过氧化物(就单一的有机物结构而论),则此种乙醚应设法处理。

用亚铁氰化钾检查醚中过氧化物 混合新配制的5ml1%硫酸亚铁铵、0.5ml的0.50mol·L⁻¹硫酸及0.5ml的0.1mol·L⁻¹硫氰酸铵(如此时显色要用微量锌粉脱色)溶液,并与被检验的等体积的醚类一起震荡,如有过氧化物存在则显现红色。

定量测定四氢呋喃和二噁烷中的过氧化物的方法 加6ml冰醋酸,4ml三氯甲烷,1g碘化钾于50ml上述醚中,以0.1mol·L⁻¹硫代硫酸钠溶液滴定,上述醚中所含过氧化物的百分率为:

$$\frac{c_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}/\text{ml}\times 1.7}{\text{样品量 } m/\text{g}}$$

从用N,N-二甲基-对-苯二胺硫酸盐检出微量量级的过氧化苯酰和过氧化十二(烷)酰已发展成一种从醚类中快速检出痕量过氧化物的方法。

二烷基过氧化物只有在强酸条件下水解为氢过氧化物后才能检出。

三、乙醚及其他醚中过氧化物的阻化与抑制

已知在贮存乙醚时,通常要加入阻化剂以阻止其自动氧化,例如使乙醚与活性炭或活性氧化铝保持接触可以防止贮存中的乙醚发生爆炸。必须指出,阻化剂只能阻止过氧化物的形成,是不能消灭已经形成的过氧化物。所以在蒸馏醚之前,仍应对有否此类过氧化物的存在进行检查,如有发现则应该在蒸馏之前,先行设法消除。

保存乙醚时若加入金属钠则可以达到破坏过氧化物的目的。

有好几种物质已用来稳定醚类并阻止过氧化物的形成,包括加入0.001%氢醌或二苯胺、多元酚、氨基酚与芳(基)胺类,于100ml醚中加入0.0001g 1,2,3-苯三酚(焦性没食子酸)能在两年之间阻止过氧化物的形成,虽然铁能作为乙醚的抑制剂,而铁、铅、铝则不能抑制异丙醚的过氧化,据报道,树脂Dowex-1^①能有效抑制乙醚中过氧化物的形成,0.01%的1-萘酚对于异丙醚,氢醌对于四氢呋喃,氯化亚锡或硫酸亚铁对于二噁烷均分别有抑制作用。取代的芪醌已作为阻止醚类及其他化合物的“氧化恶化作用”的稳定剂。

四、乙醚及其他醚中过氧化物的除去

为了除去乙醚中所含的过氧化物,可以加入2mol·L⁻¹硫酸亚铁的酸性溶液振荡(或每升

① 树脂Dowex-1 (Nalcite SBR)系Dow Chemical公司商品,树脂类型为季胺强碱性(苯乙烯),相当于我国国产强碱性阴离子交换树脂717、711。

乙醚或其他醚加入40g30%硫酸亚铁水溶液),有时,特别当含有较高浓度过氧化物时,这一反应进行得很激烈,乙醚甚至开始沸腾,数分钟后,过氧化物就不再存在,此时乙醚内含有过氧化物的分解产物——乙醛和乙酸,为了除去它们,可以和铬酸溶液共同振荡,然后用氢氧化钠溶液使之呈碱性;分离后再加入碳酸钠进行蒸馏。也可以在用硫酸亚铁处理后,依次以氯化钙饱和溶液、无水氯化钙、金属钠处理,最后进行蒸馏,可参见第一篇第二章第九节“乙醚的提纯”。

除去醚类中氢过氧化物的试剂,包括亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、氯化亚锡、锂四氢化阿兰醇(注意,用此物质曾引起火灾)、锌与酸、钠与醇、铜-锌、高锰酸钾、氢氧化银、二氧化铅。

对含有次烷基或二烷基过氧化物的醚类,可用锌溶于醋酸或盐酸,钠溶于酒精(注意,容易引起氢的着火)来还原或用铜-锌电极来净化。

加1份23%氢氧化钠于10份乙醚或四氢呋喃中,搅拌30min后能完全除去过氧化物;加小片的氢氧化钠对四氢呋喃中所含的过氧化物经过两天之后可以降低但不能除去。四氢呋喃中的过氧化物可用1%氢碘化钠水溶液搅拌后除去,时间仅15min。

可用氧化铝柱除去乙醚、丁醚、二噁烷及石油馏分中的过氧化物和痕量水,也可用来除去四氢呋喃、十氢化萘、1,2,3,4-四氢化萘、异丙醚、对异丙基苯中的过氧化物。

氯化钙已用于得到无水及无过氧化物的二噁烷,手续是通过网流并继之以蒸馏,而且这种技术也适用于其他醚类。

亚铈盐加氢氧化钠即制得氢氧化亚铈 $\text{Ce}(\text{OH})_3$,在含有过氧化物的醚类中加入氢氧化亚铈,一二分钟后,氢氧化亚铈被过氧化物氧化,由白色变红棕色,在15min内能完全除去过氧化物,过氧化铈化合物及未变化的氢氧化亚铈用离心法及倾出法除去(注意,若用电动离心法而无防爆装置,则可燃蒸气易着火)。

但应指出,2-特丁基过氧化物不能从酸化过的碘化钾溶液析出碘,也不会与氢氧化亚铈反应。

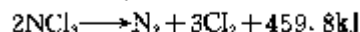
第四节 三氯化氮爆炸的预防及三氯化氮的测定

氮的许多无机化合物都是强烈的爆炸性物质,例如,当长期静置或加热氨-银络合物溶液时会析出氯化银 Ag_3N 。这种化合物在湿润状态时会发生爆炸,甚至在进行定性分析工作时也曾发生过这种危险。因此氨性银溶液不准长期放置留待将来使用,如有析出的 Ag_3N ,必须以浓盐酸分解之。氯化亚铈 Tl_3N 也是非常不稳定的,甚至与水接触也会分解而爆炸。

氯作用于浓氯化铵溶液生成黄色油滴状的三氯化氮 NCl_3 :



三氯化氮和许多有机物质接触时,或加热至90℃以上以及被撞击时,即按下式以剧烈爆炸的形式而分解,并放出大量的热:



碘作用于浓氨溶液时,析出碘化氮暗褐色沉淀,它是带有数量不定的氮的三碘化氮 (NI_3) 化合物,碘化氮极不安定,在干燥状态下稍一接触即行爆炸。

总之,在与氮和它的衍生物反应时常常会生成爆炸性物质,在以氮作为介质进行反应的工作中更不能忽视这一点,例如,在液态氮进行碘化铅与氨基钾的反应中容易获得“ PbNH ”,这种化合物在加热或遇水时极易爆炸。

上述这些无机氮化合物中,对三氯化氮应给以特别注意。本节着重讨论三氯化氮爆炸的预

防及其测定方法。因某些厂曾发生了液氯的严重爆炸事故,经查明爆炸原因是由于盐水中有人为带入的铵盐,在适当条件($\text{pH} < 4.5$ 时)下铵盐与氯作用而产生三氯化氮,这是一种爆炸性物质,由它引起了爆炸。为此,在氯碱工业安全生产上,除对氯内氯含量的问题需要足够重视外,对于三氯化氮亦应高度警惕和十分重视,以防意外事故的发生,经某厂反复研究试验,认为生产上要控制以下几个主要指标:

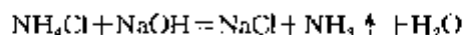
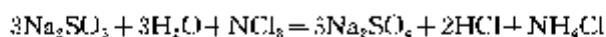
盐水含铵:无机铵 $< 1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,总铵 $< 4\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;

自来水含铵:无机铵 $< 0.2\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;

氯液排污含 NCl_3 : $< 30\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,达到 $40\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,应注意烧碱车间的加强分析;当达到 $50\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,除各方面寻找原因研究措施解决外,应增加排污次数,并加强分析观察动向;达到 $60\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,应采取紧急措施找出原因;如还有继续升高的趋势,则应作出紧急处理。又此处氯液排污指标是指原氯进热交换器前的原氯预冷却器以外的系统设备排污而言的。今特介绍某厂对于三氯化氮的试行分析方法如下:

一、氯液排污中三氯化氮的测定

原理 利用亚硫酸钠与三氯化氮的氧化还原反应。反应中,三氯化氮被还原成铵离子(NH_4^+)而溶于水,再在碱性介质中蒸出氨,用标准酸吸收后以碱回滴。主要反应为:



仪器 ①500ml双口或三口圆底烧瓶,②齿形分馏柱,③250ml三角烧瓶2只,④具塞漏斗,⑤球形冷凝管,⑥甘油浴,⑦分液漏斗。

试剂 30%氢氧化钠溶液,饱和亚硫酸钠溶液,0.0500mol·L⁻¹硫酸,0.1000mol·L⁻¹氢氧化钠溶液,0.1%甲基橙。

步骤 装置如图9-1所示,注意连接处不漏气。先取试样25ml于三角瓶中,加入50ml亚硫酸钠溶液充分摇动1h后,在分液漏斗中将油状物与水层分开,并将油状物以每次约10ml蒸馏水洗约5次,洗水与原水层合并通过漏斗4加入蒸馏烧瓶1中,再从漏斗4加入30%氢氧化钠溶液50ml(注意勿漏气),然后加热蒸馏,蒸出的氨被预先盛放于三角瓶3中的0.0500mol·L⁻¹硫酸 $V_{\text{酸}}/\text{ml}$ 所吸收,最后用甲基橙作指示剂用0.1000mol·L⁻¹氢氧化钠溶液回滴用去 $V_{\text{碱}}/\text{ml}$ 。

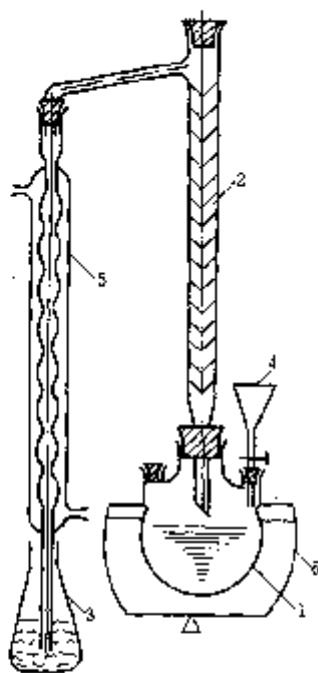


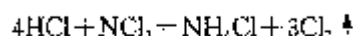
图9-1 测定氯液排污中三氯化氮的蒸馏装置

$$\text{计算 } \text{NCl}_3/\text{g} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{2(c_{\text{酸}}/\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot V_{\text{酸}}/\text{ml} - c_{\text{碱}}/\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot V_{\text{碱}}/\text{ml}) \times 120.4}{25}$$

二、原料氯中三氯化氮的测定

原理 利用三氯化氮与盐酸作用成氯化铵,微量铵离子(NH_4^+)用奈氏试剂进行比色定

量。



仪器 250ml 气体洗瓶2只, 标准比色管一套, 25ml 包氏吸收管数只。

试剂 奈氏试剂, 分析纯浓盐酸, 15%氢氧化钠溶液。

步骤 将原料氯先经过缓冲瓶, 并以每秒2~3个气泡通过盛有20ml 浓盐酸的包氏吸收管, 最后以盛有15%氢氧化钠溶液的洗瓶^①吸收氯气, 通氯时间约4h, 至氢氧化钠接近作用完毕时停止通氯。然后将盐酸吸收液放在磁蒸发皿内加热蒸发至近干(勿使过干), 再用蒸馏水25ml 将其洗入比色管中, 加入氢氧化钠溶液和奈氏试剂各1ml, 直接与标准色比色, 如有干扰离子可用酒石酸钾或酒石酸钠作掩蔽剂。

标准色的配制, 称取优级纯或分析纯无水氯化铵3.00g, 稀释至1000ml, 从中吸出20ml 再稀释至1L, 取此稀液的(0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5) ml 各稀释至25ml 于标准比色管中, 得标准液每标准比色管分别含(0.004, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05) mg 铵离子(NH_4^+), 分别加入氢氧化钠溶液和奈氏试剂各1ml 即得标准色系列。

$$\text{计算} \quad w_{\text{NCl}_3}/(\%) = \frac{c}{1000} \times \frac{120.4}{18} \times \frac{G}{c} \times 100$$

式中 w_{NCl_3} NCl_3 的质量分数, %;

G ——碱吸收瓶吸收氯后的增量, g;

c ——标准比色管含铵离子(NH_4^+), mg。

如果样品颜色太深, 可适当稀释后再进行比色。

三、液氯中三氯化氮的测定

原理、试剂及仪器同上。

取样 用热水瓶取好液氯样品, 事先用-30℃以下的盐水将气体洗瓶及量筒预冷好, 再取出样品约100ml 立即倾注于洗瓶中, 密闭连接好装置, 使气化的氯逐渐通过包氏吸收管内的浓盐酸, 再以盛有15%氢氧化钠溶液的洗瓶吸收氯气, 余气用水力泵抽气, 使其充分吸收。下一步的操作和计算均可参照原料氯中三氯化氮的测定方法进行。

四、盐水(或自来水)含铵量的测定

取盐水(或自来水)50ml, 放入开氏烧瓶中, 加入30%氢氧化钠溶液1ml, 再加入蒸馏水50ml, 进行加热蒸馏, 用比色管接受冷凝液, 待蒸馏至50ml 时取下比色管, 加1ml 30%氢氧化钠溶液, 再加1ml 奈氏试剂进行比色, 比色时于另一支比色管中加50ml 蒸馏水, 也加1ml 30%氢氧化钠溶液及1ml 奈氏试剂, 然后慢慢滴加标准铵液(一般浓度为含 NH_4^+ 0.1mg·L⁻¹), 当两管色度相同时, 记下所用标准铵液数量, 按下式计算无机铵含量 c :

$$c_{\text{NH}_4^+}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{V \times 0.1}{50} \times 1000$$

式中 V ——用去标准铵液体积, ml。

测定前均需作空白试验, 计算时减去空白数。

盐水中总铵量的测定法 取样品10ml 于三角烧瓶中, 加0.2g 硫酸铜(催化剂), 加2g 硫

^① 盛碱溶液洗瓶(即碱吸收瓶)在吸收氯气前后均应称量。

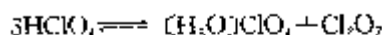
酸钾(提高沸点),加入10ml浓硫酸,摇匀后,放在电炉上加热直至三角瓶中充满白烟时,停止加热,冷却后用蒸馏水冲洗到开氏烧瓶中,然后按上述方法(但应加50ml氢氧化钠溶液)进行测定及计算。

第五节 高氯酸和高氯酸盐的处理

一、高氯酸的性质

高氯酸是一种广泛使用的分析试剂,它用于溶解铬矿石、不锈钢、钨铁、氟矿石或湿法灰化破坏有机物以测定有机物中的无机成分,以及用于非水滴定,但如使用不当,常会引起爆炸,为此必须了解它的性质并正确掌握使用方法。

市售高氯酸相对密度为1.67~1.70,含量 $w=70\%\sim 72\%$, $5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,沸点为203℃,化学纯高氯酸溶液的比重参见表9-4。浓度低于85%的高氯酸水溶液,在室温并隔绝尘土和有机物等条件下可以长期保存,但若浓缩高氯酸水溶液到85%(相当于一水合物 $\text{H}_3\text{O}\cdot\text{ClO}_4$)以上时,就会逐渐变色而爆炸。无水高氯酸是强氧化性的无色液体,可发生以下反应而部分形成七氧化二氯:



随后七氧化二氯又按下式分解:



表 9-4 化学纯高氯酸溶液的浓度(w)与相对密度的关系

$w_{\text{HClO}_4}/(\%)$	特定组成或指标	相对密度25℃/4℃ (73°F/39°F)	$w_{\text{HClO}_4}/(\%)$	特定组成或指标	相对密度25℃/4℃ (73°F/39°F)
60	—	1.5483	71	—	1.6777
65	$\text{HClO}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$	1.5967	72	—	1.6912
66	—	1.6102	72.5	恒沸点(203℃)	1.6980
67	—	1.6237	73 ⁰	—	1.7047
68	—	1.6372	73.6	$19\text{ClO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.7129
69	—	1.6507	74	—	1.7189
70	—	1.6642	75	—	1.7318

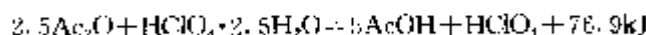
① $w>73\%$ 的高氯酸,即使在相对干燥的空气中也能发烟,在室温下也是很强的氧化剂。

ClO_2 为黄褐色气体,是一个吸热性很强的(生成热为-27kcal)和非常不稳定的化合物,受热或与有机物接触立即发生猛烈爆炸而分解为氧和氯,也正是这些反应说明无水高氯酸的不稳定性,有时简直在保存时它也会发生爆炸。因此分析实验室中不用无水的和浓度高于85%的高氯酸。

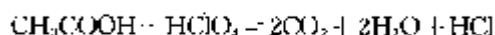
热的 $w=60\%\sim 72\%$ 高氯酸是强氧化剂和强脱水剂,热的浓高氯酸的氧化能力强于硫酸,而与硫酸-三氧化铬混合物相似,遇易氧化物质如有机物,则常易发生猛烈的爆炸。冷的高氯酸却没有氧化性质,而仅仅是强酸。

溶解于高氯酸会发生爆炸,这是铋的独特性质。

所有有关高氯酸爆炸的记录都和无水高氯酸、它的有机衍生物或有机物被高氯酸迅速氧化有关。例如,将浓高氯酸和浓硫酸混合,由于硫酸使高氯酸脱水,产生无水高氯酸而引起爆炸。因此浓高氯酸切勿与浓硫酸混合使用。又高氯酸和乙酸酐或冰醋酸的混合物曾发生极猛烈的爆炸,这是由于乙酸酐吸水而产生无水高氯酸的缘故,这可用以下方程式表示:



式中 Ac_2O 代表乙酸酐, AcOH 代表乙酸。说明当这些试剂混合时放出相当量的热。若有过量的乙酸酐^①存在, 则可看作是无水高氯酸在乙酸中的溶液, 这是一个爆炸性很强的混合物, 能发生以下的完全燃烧反应:



据测定爆炸温度为 2400°C , 在此温度下 1g 的这种混合物能在瞬间产生约 7L 的气体。

把测定钾的熔液(含乙醇和高氯酸)加热也会引起爆炸, 是由于形成了高氯酸乙醇。

用高氯酸氧化有机物质时, 若反应物颜色变浅黄, 并继续变为黄、浅棕而暗棕, 随之就会爆炸, 所以一开始变色, 就应迅速稀释和冷却。如果颜色变化过快就应立刻迅速离开现场, 以免引起伤害事故。通常处理有机物时应先用硝酸氧化, 再加高氯酸完成氧化作用, 且高氯酸应该过量, 过量的高氯酸溶液起稀释作用, 从而避免爆炸的可能性。对于大量的有机物, 或者是硝酸也不易分解的物质(脂肪酸、石蜡等)以用硝酸-硫酸-高氯酸混合物分解为宜。此时可先用硝酸处理试样, 再加入硫酸并热至 $(160 \sim 180)^\circ\text{C}$, 最后分批(每次少量)加入高氯酸或高氯酸-硝酸混合物, 这样操作较为安全, 因每次只氧化一小部分试样。与高氯酸不混合的有机试样会发生猛烈爆炸, 因为氧化作用集中于接触的表面的缘故。如果先用硝酸、硫酸处理, 就能破坏原试样为较简单化合物, 而使之溶解于高氯酸, 便不致发生爆炸的危险。温度对高氯酸的氧化是重要的影响因素, 迅速冷却或用冷水稀释, 可停止氧化作用。另一方面, 氧化反应进行过快时将发生爆炸, 而爆炸剧烈的程度主要取决于有机物的量, 为此, 用尽可能少的试样作分析是安全措施之一。

在一大气压下蒸馏稀高氯酸水溶液时最初蒸出的是水, 然后是稀酸, 最后可得一恒沸点混合物, 沸点为 203°C , 含高氯酸 72.4% 和水 27.6% 。因此任何稀于 72% 的高氯酸都可以借蒸馏法而获得浓高氯酸。当然蒸馏应在全部是玻璃磨口仪器中进行, 要绝对避免用软木塞、橡皮塞、润滑油等有机物质, 较好的办法是在真空中蒸馏高氯酸(在 2.67kPa 压力下, 恒沸混合物能在 111°C 时蒸出来)。

浓高氯酸决不可在聚乙烯皿中加热, 否则会发生爆炸。

二、对分析实验室中蒸发高氯酸用的通风橱和管道的要求

普通分析化学实验室为高氯酸蒸发用的通风橱和管道, 最好采用陶瓷或石棉制的板和圆筒, 而且应定时用水冲洗, 以防高氯酸凝聚过多与尘土作用而爆炸。瓷砖适用于作通风橱内的工作桌面, 粘合剂也要采用不易燃烧的例如用水玻璃、水泥。绝不可用红铅和甘油或其他易氧化的材料。近年来也采用聚氯乙烯塑料板制成通风橱和管道, 聚氯乙烯对燃烧有一定的自灭性。木制的通风橱经长时间使用, 吸收和凝聚高氯酸蒸气, 再遇热(如电炉加热试样等)会发生火灾和爆炸。若万不得已采用普通的木框玻璃通风橱时, 则应注意以下几点:

- (1) 应采用质地致密的木料作通风橱;
- (2) 应充分通风, 以防止高氯酸蒸气凝聚;
- (3) 常用水冲洗通风橱内部, 特别是木料部分;
- (4) 定期检查木料有无变质(可取一小片木材在电热板上加热, 视其是否易于着火。因含氧化剂的木料比不含的易于燃烧)。

高氯酸蒸气与易燃气体或其蒸气会形成爆炸猛烈的混合物, 切忌使之相遇。因此蒸发高氯

① 在非水滴定中, 经常在高氯酸的冰醋酸溶液加入适量乙酸酐除去溶液中的水分, 注意不应加入过多以免爆炸。

酸的室内,决不能同时蒸发乙醚、乙醇等溶剂,其他房间如使用同一通风管道,也不能排出易燃烧的蒸气。

三、高氯酸的安全处理简则

根据以上所述的高氯酸的危险性质,今将其使用和安全处理简则归纳如下:

- (1)使用高氯酸时应戴面罩,以防不测。
- (2)高氯酸应盛于耐玻璃塞的玻璃瓶中,放置在玻璃皿、瓷皿或瓷砖之上以防溢漏。
- (3)高氯酸附近不可放有机药品或还原物质如乙醇、甘油、次磷酸盐等。
- (4)万一洒落在桌面上,应迅速用水冲去,尽可能不用棉布拭擦。
- (5)变色的高氯酸应以水稀释后倒入水槽并继续用水冲洗除去。
- (6)对前人未分析过的试样进行高氯酸处理时,或进行未作过的有高氯酸参加的反应,最好先取微量样品作试验,观察有无爆炸的危险。
- (7)高氯酸接触脱水剂浓硫酸、五氧化二磷或醋酸酐,脱水后会起火和爆炸。
- (8)乙醇、甘油或其他能形成酯的物质,决不能与高氯酸共热,否则猛烈爆炸。
- (9)某些无机物如次磷酸盐和三价铋或铊的化合物,遇热的高氯酸会爆炸。不论氧化无机或有机物质,应加入大量高氯酸(意指大大多于氧化所需之量),多余的高氯酸可起稀释作用。
- (10)破坏有机物(包括生物试样)需先用硝酸处理,将易氧化的部分除去,难氧化的部分也起部分分解,再加高氯酸以完成氧化。含氮杂环化合物一般不易被硝酸氧化,须用其他步骤氧化。不与高氯酸混溶的物质(如油脂)不能用高氯酸氧化,否则因局部作用而猛烈爆炸。
- (11)蒸发稀的高氯酸溶液最后得恒沸点酸,但要注意热的高氯酸不可接触有机物,如果溶液中有金属盐就不应蒸干溶液,以防危险。
- (12)高氯酸是强酸,应避免与皮肤,眼睛或呼吸器官直接接触,否则会引起严重的化学灼伤。
- (13)加热高氯酸应用电热器、蒸汽浴或砂浴,不能使用油浴或直接火。
- (14)废弃高氯酸应在玻璃或耐腐蚀容器中用10倍量冷水冲稀,充分搅拌后排入酸沟,再用大量水冲走。
- (15)由高氯酸引起的火灾时,应用大量水灭火。考虑到火场中可能存在有机物会引起爆炸,不可轻易接近。

四、高氯酸盐对热和震动的敏感性

高氯酸盐在分析上用得比高氯酸少,主要用于无机离子锂、铷、铯、铜、铋、锰、钴、镍的检出与定量沉淀,以及有机碱、生物碱的分离与检出,其中有一些还是标准方法。此外,高氯酸镁或铋还是优良的下燥剂。

高氯酸盐可粗略地分成两大类:①一类对热和震动敏感度较大,其中包括纯粹的无机含氮高氯酸盐、重金属高氯酸盐类、氟化高氯酸盐^①(Fluorine Perchlorate)(FOClO_3)、有机高氯酸、高氯酸酯以及任何高氯酸盐和有机物质、金属粉末或硫的混合物。②一类对热和震动敏感度较小,其中包括纯粹的高氯酸铵、碱金属的高氯酸盐、碱土金属的高氯酸盐、高氯酸氟(Perchloryl fluoride)。

① 其他卤素的高氯酸盐也能爆炸。

目前,对于安全处理高氯酸盐还没有统一规定。大致可以认为,许多重金属和有机碱高氯酸盐,以及高氯酸胍和氟化高氯酸盐(Fluorine Perchlorate)是非常敏感的,必须十分小心谨慎,应看做“起爆药”一样加以处理。例如,高氯酸吡啶在碰击下能起爆,又如高氯酸银-苯络合物为炸药。对于上述高氯酸盐,必须避免摩擦、加热、火花、震动和重金属的沾污,并且工作时要对所有工作人员准备防护屏障、保护衣,甚至适当的隔离。

高氯酸铵、碱金属、碱土金属的高氯酸盐的危险性较少,但处理不当也会引起爆炸。例如高氯酸镁是良好的干燥剂,但一般情况下不要用盛有高氯酸镁的干燥器来干燥有机化合物,如果干燥器另盛有酸则更是危险。有时干燥器上所涂抹的润滑脂也将会成为引起爆炸的一种隐患,不可不加以预防。如果有必要用它来干燥有机液体时,则应事先测定高氯酸镁的纯度。这是因为在制备高氯酸镁时其中残留有游离高氯酸,而高氯酸镁作干燥剂引起的爆炸是由于此系统中形成了高氯酸酯。应当引起注意的是高氯酸甲酯和乙酯,它们是猛烈爆炸性的化合物,已知的许多次爆炸均是由于用标准方法测定高氯酸盐或以高氯酸钾形态测定钾的过程中采用了乙醇萃取。

第六节 实验室内发生爆炸的原因、爆炸情况与防爆措施

一、爆炸原因和爆炸情况

实验室内产生爆炸的原因有二,一是由于器皿内和大气间压力差逐渐加大;二是由于反应时反应区域内的压力急剧升高或降低。

(一)器皿内和大气间压力差加大引起的爆炸

(1)当器皿内部的压力减小时,如器皿壁的坚固性不够,仪器被压碎,这种爆炸称为压碎爆炸,这是危险性较小的一种爆炸。在器皿壁的厚度和机械强度相同时,器皿能支持压力的限度在很大的程度上决定于器皿的形状,如圆底烧瓶要比平底的坚固得多,而平底烧瓶中周的又比锥形的要坚固些,球形的器皿可以保证其最大的坚固性。

发生压碎爆炸时,可能伤及爆炸器皿附近的工作人员。如果被压碎的器皿中盛的是毒物或可燃物质,或是能与空气形成爆炸性混合物时,在这种情况下,可能发生中毒、失火或爆炸混合物的极强烈爆炸,危险性更大。

(2)当器皿内部的压力加大到器皿爆炸的限度时,此时,成为爆炸原因的能量就是压缩气体或蒸气的热能。在爆炸的瞬间,气体急剧膨胀,它的一部分热能转变为功,这类爆炸要比压碎爆炸危险得多,因为破裂器皿的一些部分或掉下来的零件以很大的威力向各方飞散,甚至使工作人员受到致命的伤害,实验室受到严重的破坏,如果使用有害物质工作时,还会引起中毒、失火或形成爆炸混合物的第二次爆炸。

(二)化学反应区域内压力急剧改变引起的爆炸

(1)某些化合物(所谓爆炸物质)迅速地,在千分之几秒内分解。分解过程中一般都会离析出大量的气体,同时放出大量的热。如乙醚中的亚乙基过氧化物,氮的卤化物等等。

(2)在固体和液体物质间发生迅速反应,结果生成大量气体或放出大量的热,以致引起四周气体容积的急剧增大。例如,镁、锌或其他轻金属与硝酸的反应;用高氯酸处理与其不混合的某些固体有机物试样的反应等。

(3)当气体间迅速反应时,由于反应获得的产物有着与原来物质不同的容积,结果致使压力急剧改变(包括气体反应后占有与反应前不同的容积,或者由气体变液体或固体,但前者是

主要的)。如果反应时放出热量,必然使气体混合物的容积迅速扩大。

关于气体间反应,其反应速度受到下面这些因素的影响:

光的影响 众所周知,氢与氯间的反应,在黑暗中十分迟缓地进行,在强光照射下则发生连锁反应类型的爆炸;又如甲烷与氯的混合物,在黑暗中长时间内也不反应,但在日光照射下会引起激烈的反应,如果两种气体的比例适当则能发生爆炸。

压力的影响 许多反应的速度随着温度及压力的改变而急剧加大和减小。例如磷化氢(PH_3)与氧混合时一般不反应,如果减小压力,则在某种压力下,混合物会骤然爆炸。又如在含有空气和氯化硅混合物的设备内造成真空时也发生过类似的爆炸;大多数气体爆炸的危险性都是在一定的压力范围内,高于和低于这种爆炸区域的压力时,反应速度仍然可以测量。

表面活性物质的影响 气体反应的方向和速度有时受表面活性物质的影响而急剧改变。例如,在球形器皿内于530℃时氢与氧之间完全没有反应,但是向器皿内插入石英、玻璃、磁、铜或铁棒时就发生爆炸,说明吸着是这一反应的前提;又如被多孔性炭吸着的氯具有特别强烈的反应性能。

制造反应器皿材料的影响 制造反应器皿所用的材料同样能够影响某些反应的速度。如氢和氯在玻璃器皿中混合甚至在液态空气的温度下于黑暗中也会发生爆炸。而在银制器皿中则在一般温度下才能发生反应,若改用氯处理过的金属镁所制的器皿,则必须加热才能反应。

杂质的影响 对有气体参与的反应,很重要的一点是应该知道少量杂质对反应过程的影响如何。众所周知,许多反应如果没有必需的催化剂“水”,反应就不会发生。例如,如果没有水,干燥的氯没有氧化的性能,干燥的空气也完全不能氧化钠或磷。干燥的氢和氧的混合物甚至加热到1000℃也不爆炸。痕量的水会急剧加速臭氧、氯氧化物等这些物质的分解,少量的硫化氢会极度降低水煤气和空气混合物的燃点,并因此促使其爆炸。

此外,撞击、摩擦或产生其他产物的爆炸等,均能成为爆炸的原因。

在化学体系内的爆炸不外乎以链锁(或链式)反应或热反应的状态进行。链锁的分叉是爆炸性链式反应极重要的因素。热反应中要发生爆炸,必须使反应过程中获得的热量多于损失的热量,因此产生的热量异常急剧地加速反应。

二、防 爆 措 施

在使用危险物质工作时,为了消除爆炸可能性或防止发生人身事故,应该遵守下列原则:

(1)在工作地点使用预防爆炸或减少其危害后果的仪器和设备,包括:充分坚固器壁的仪器,例如真空装置上的玻璃器皿要用偏光镜加以检查,压力调节器或安全阀;用金属或其他较玻璃坚固的材料如有机玻璃或塑料所制的安全罩、套(见图9-2);用防护板使爆炸碎片不可能触及工作人员和易被损坏的设备;附有比仪器本身达到爆炸条件前先行损坏的安全零件装置等等。在进行有爆炸危险工作的通风橱内的玻璃要用金属网保护,或用嵌网的特种玻璃。

在管式炉内存在有爆炸的可能性时,工作人员应禁止站在炉孔的对面,切忌以脸部部位靠近炉孔。

(2)要清楚地知道工作中所用每一种物质的物理和化学性质,反应混合物的成分,使用物质的纯度,仪器结构(包括器皿的材料),进行工作的条件(温度、压力),并且应使能激发爆炸的刺激物——火花、热体等远离工作地点。

(3)将气体充装于预先加热的仪器内时,不要用可燃性气体排出空气,或相反地用空气排出可燃性气体,应该使用氮或二氧化碳来排除,否则就有可能发生爆炸的危险。

用新气体填充气量计时,必须换水;在所有不能确定气量计内气体的成分的情况下,都应当换水。

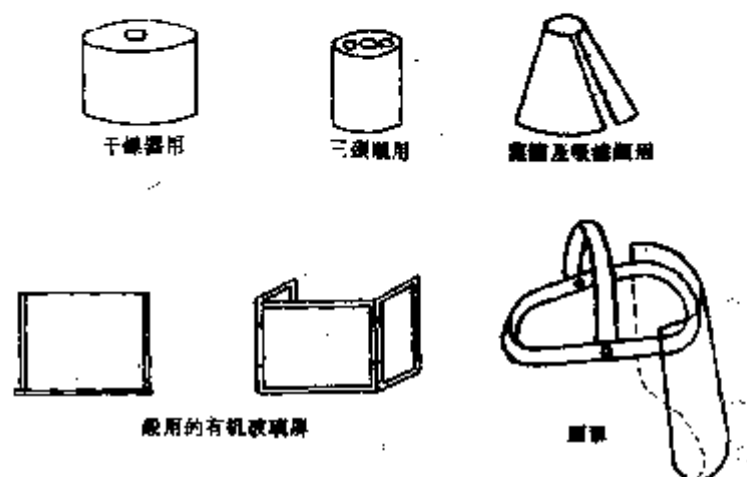


图 9-2 一般防护用的安全罩、套

(4)如果在由几个部分组成的仪器之中有可能形成爆炸混合物时,则在连接导管内装上保险器,这种保险器由里面嵌有铜网塞的玻璃短管制成,有这样的装置,发火火焰就不能扩展到这种保险器的区域之外。假使用液封的办法将几个器皿组成的系统分隔为各个部分时,也能获得相同的效果。

(5)在任何情况下对于危险物质都必须取用能保证实验结果的必要精确性或可靠性的最小量来进行工作,并且绝对不能用直接火加热。

(6)应该记住改变气相反应速度的最普遍的影响因素(光、压力、表面活性物质、器皿材料及杂质等)。

(7)在用爆炸性物质工作时,使用带磨口塞的玻璃瓶是非常危险的,关闭或开启磨口塞的摩擦都可能成为爆炸的原因。因此必须用软木塞或橡皮塞并应保持其充分清洁。干燥爆炸性物质时,绝对禁止关闭烘箱门,最好在惰性气体气氛下进行,保证干燥时加热的均匀性与消除局部自燃的可能性。

还要及时销毁爆炸性物质残渣:卤氮化合物可以用氨使之成碱性而销毁;叠氮化合物及雷酸银则由酸化而销毁;偶氮化合物可与水共同煮沸,乙炔化物可以硫化铵分解,过氧化物则用还原方法销毁。

主要参考文献

1. N. V. Steere, "Handbook of Laboratory Safety", 2nd Ed., Cleveland, CRC Press, Inc., 1971.
2. 杨胜壁等编, 化学危险品安全实用手册, 成都: 四川科学技术出版社, 1987.
3. 樊树权, 化学通报, 1966(1), 1~8.

第十章 气瓶（钢瓶）及高压气体的使用

第一节 气瓶的结构与减压器

一、气瓶的结构

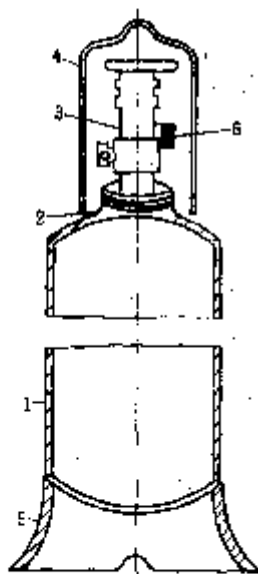


图10-1 氧气瓶剖视图

1—瓶体；2—瓶口；3—
启闭气门；4—瓶帽；5—
瓶座；6—气门侧面接头

气瓶是高压容器，瓶内要灌入高压气体，还要承受搬运、滚动，有的还要经受震动冲击等外界的作用力。因此对其质量要求严，材料要求高。它一般是用无缝合金或碳素钢管制成的圆柱形容器。气瓶壁厚5—8cm。容量12—55L不等。底部呈圆形，通常都在底部可装上钢质平底座，使气瓶可以竖放。气瓶顶部装有启闭气门（即气瓶开关阀），图10-1是氧气钢瓶剖视图。它是一个柱形瓶体，上端有瓶口。瓶口的内壁和外壁均有螺纹，用以装上启闭气门和瓶帽。瓶口外面还套有一个增强用的钢环圈。瓶座通常制成方形，便于立稳，卧放时也不致滚动。气瓶上还应装有两个防震圈。

启闭气门的材料必须根据气瓶所装气体的性质选用。气门侧面接头的连接螺纹，用于可燃气体的应为左旋，非可燃气体的应为右旋，这是为防止把可燃性气体压缩到盛有空气或氧气的钢瓶中去的可能性，以及防止偶然把可燃气体的气瓶连接到有爆炸危险的装置上去的可能性。

二、减压器的结构和作用原理

由于气瓶内的压力一般很高，而使用所需压力却往往比较小，单靠启闭气门不能准确调节气体的放出量。为降低压力并保持稳压，就需要装上减压器，它是调节压力不可缺少的一个重要部件，必须正确操作和维护，方可保证气瓶的正常使用。

不同工作气体有不同的减压器。不同的减压器，外表都漆以不同的颜色加以标志，如用于氧的为天蓝色；用于乙炔的为白色；用于氢的为深绿色；用于氮的为黑色；用于丙烷为灰色等等。必须注意的是用于氧的减压器可用在装有氮或空气的气瓶上，而用于氮的减压器只有在充分洗除油脂后才可用在氧的气瓶上。

气瓶用减压器的设计输送能力，对氧气来说，流量可达 $40\sim 60\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ，工作压力可达15个表压力；对乙炔气来说，流量可达 $5\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 。

按减压器的构造和作用原理分类，减压器有杠杆式和弹簧式两类。杠杆式减压器虽有许多优点，但由于构造复杂，很多单位都不愿意使用。目前一般都使用弹簧式减压器。弹簧式减压器，又分为反作用和正作用两种。反作用的减压器（见图10-2）是进入的高压气体，其压力作用在活门的上面，也就是说进气有使活门关闭的趋向。而在正作用的减压器中（见图10-3）进入的高压气体是在减压器活门的下面，有使活门开启趋向。

无论任何一种减压器，它的工作原理都不外乎是在工作过程中，调节和保持活门开启或

关闭，或使流量处于某种稳定状态。

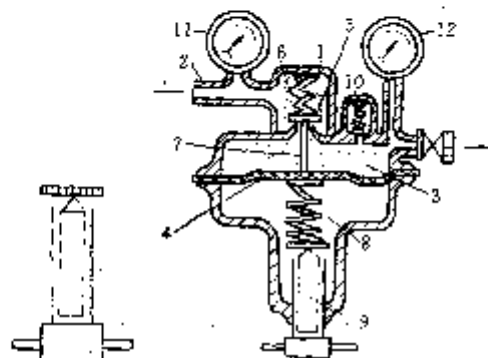


图10-2 反作用弹簧式减压器

1—高压气室；2—管接头；3—低压气室；4—薄膜；
5—减压活门；6—回动弹簧；7—支杆；8—调节弹
簧；9—调节螺栓；10—安全活门；11—高压压力计；
12—低压压力计

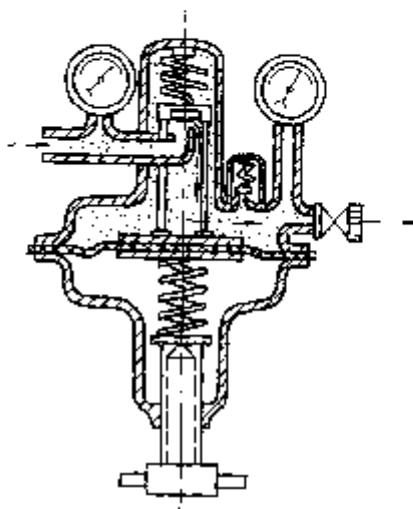


图10-3 正作用弹簧式减压器

现以反作用弹簧式的减压器为例，说明其工作原理（参照图10-2）。高压气体经过管接头2进入减压器的高压气室1，然后进入装有薄膜4的低压室3里。压缩气体通过减压活门5的开口时，其能量消耗于克服活门的阻力，因而压力降低。回动弹簧6从上面压到活门上，而调节弹簧8从下面通过支杆7压到活门上，因而弹簧对薄膜和支杆的压力，以及活门的上升量，都可以用螺栓9来调节。如果通过减压器的气体消耗量减少，那么气室内的压力就会升高，薄膜向下移动，压缩弹簧，于是活门接近座孔，使进入气室里的的气体减少。在气室内的压力没有降落时及作用在薄膜与活门上的压力没有恢复平衡时，这个动作一直在进行着。当放出的气体增多时，气室里的压力降低，在弹簧的作用下使活门的上升量增加，于是通过活门放入的气体增加。假如通过活门进入气室内的气体比由减压器放出的气体多，那么气室内的压力又将增加，从而，又压缩弹簧使反方向上受弹簧作用的活门的上升量减小。减压器有安全活门10来保护薄膜，以免工作室内的气体压力增加到不容许高度时发生爆裂。减压器上还有高压压力计11和低压压力计12，前者可读出进口的高压气体的压力，后者可读出出口的工作气体的压力。

三、在装卸和使用减压器时的注意事项

减压器装卸、使用时应注意以下几点：

（1）在装卸时，必须注意管接头2，防止丝扣滑牙，以免装旋不牢而射出。卸下时要注意轻放，妥善保存，避免撞击、振动，不要放在有腐蚀性物质的地方，并防止灰尘落入表内，以免阻塞失灵。

（2）在装减压器前应先将气瓶气门联接口的垃圾吹除，装好后先开气瓶气门，然后将减压器调节螺丝9慢慢旋紧，使支杆7顶住活门5。此时弹簧6向上压缩，将减压阀座开启，气体由此经过低压室通向使用部分。当气体流入低压室要注意有无漏气现象。

(3) 用完先关闭气瓶气门, 放尽减压器进出口的气体, 然后将螺杆9松掉。反之, 如不松掉调节螺杆, 使弹簧长期压缩, 就会疲劳失灵。

(4) 氧气瓶用的减压器内外严防被油脂沾污, 以免氧气与油污起化学反应引起燃烧。

(5) 氧气瓶放气和打开减压器时, 动作必须缓慢, 放气太快, 气体过快地流进阀门时, 会产生静电火花, 也是引起氧气瓶爆炸的原因之一。其他可燃易爆气体如乙炔、氢、丙烷等均应如此。

(6) 工作时, 必须经常注意压力表的读数。

四、减压器的故障及一般修理

关于减压器的故障及其一般修理可归纳如下:

(1) 减压器联接部分的漏气, 主要是螺纹配合松动, 或者是垫圈损坏, 查出后, 把螺纹扳紧或调换垫圈。

(2) 安全活门漏气主要是活门垫料与弹簧的变形所致, 一般只需调整弹簧或更换活门垫料。

(3) 减压器上盖有漏气时, 为薄膜片损坏, 应拆开更换。

(4) 调节螺杆在松开状态下, 当低压室压力有缓缓上升现象时, 这称为盲风或自流, 主要是活门上或阀座上有了垃圾或损坏。修理时将后部螺塞拆开, 取出活门, 去除垃圾或调换活门的密封垫就可解决。

(5) 遇到压力降落过大或压力回升过大时, 主要原因也是活门副密封不良或有垃圾等, 可按第(4)条同样方法进行修理。

(6) 在工作了一段时间后, 发现气体供不上或压力表指针有较大摆动时, 这是活门口产生了冻结现象(气体流动时吸热的缘故), 可以用清洁热水、蒸汽等方法温热解冻, 切不可用明火加温。

(7) 当压力表指针回不到零位或损坏时, 应修理或更换后再用。

(8) 不熟悉减压器构造的工作人员, 不要随便对其进行修理。

第二节 高压气瓶使用规程

(1) 禁止敲击、碰撞; 气瓶应可靠地固定在支架上, 以防滑倒。

(2) 开启高压气瓶时, 操作者须站在气瓶出气口的侧面, 气瓶应直立, 然后缓缓旋开瓶阀, 气体必须经减压阀减压, 不得直接放气。

(3) 高压气瓶上选用的减压阀要专用, 安装时螺扣要上紧。

(4) 开关高压气瓶瓶阀时, 应用手或专门扳手, 不得随便使用凿子、钳子等工具硬扳, 以防损坏瓶阀。

(5) 氧气瓶及其专用工具严禁与油类接触, 氧气瓶附近也不得有油类存在, 操作者必须将手洗干净, 绝对不能穿用沾有油脂或油污的工作服、手套及油手操作, 以防万一氧气冲出后发生燃烧甚至爆炸。

(6) 氧气瓶、可燃性气瓶与明火距离应不小于10m; 有困难时, 应有可靠的隔热防护措施, 但不得小于5m。

(7) 高压气瓶应避免曝晒及强烈振动, 远离火源。

(8) 使用装有易燃、易爆、有毒气体的气瓶工作地点, 应保证良好的通风换气。

(9) 气瓶内气体不得全部用尽, 剩余残压^①即余压一般应为 $2\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 左右, 至少不得低于 $0.5\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

(10) 各种气瓶必须定期进行技术检验。充装一般气体的气瓶, 每3年检验1次; 充装腐蚀性气体的气瓶每两年检验1次。气瓶在使用过程中, 如发现有严重腐蚀或其他严重损伤应提前进行检验。盛装剧毒或高毒介质的气瓶, 在定期技术检验同时, 还应进行气密性试验。

第三节 高压气体钢瓶的漆色及标志

高压气体钢瓶的漆色与标志, 参见表10-1。气瓶的漆色和标志示意图参见图10-4 (见508页)。

表10-1 高压气体钢瓶的漆色与标志^①

序号	气瓶名称	化学式	外表面颜色	字 样	字 样 色	色 环
1	氢	H_2	深绿	氢	红	P-150不加色环 P=200黄色环一道 P=300黄色环二道
2	氧	O_2	天蓝	氧	黑	P-150不加色环 P=200白色环一道 P=300白色环二道
3	氨	NH_3	黄	液 氨	黑	
4	氯	Cl_2	草绿	液 氯	白	
5	空 气		黑	空 气	白	
6	氮	N_2	黑	氮	黄	P-150不加色环 P=200白色环一道 P=300白色环二道
7	硫化氢	H_2S	白	液化硫化氢	红	
8	碳酸二氯	COCl_2	白	液化光气	黑	
9	二氧化碳	CO_2	铝白	液化二氧化碳	黑	P-150不加色环 P=200黑色环一道
10	二氟一氯甲烷	CF_2Cl_2	铝白	液化氟氯烷-12	黑	
11	三氟甲烷	CF_3Cl	铝白	液化氟氯烷-13	黑	P=80不加色环 P=125草绿色环一道

^① 关于剩余残压的说明。气瓶内贮存的气体品种很多, 但不不管是哪一种气瓶, 在使用中都必须留有一定压力的余气, 不得用尽, 以使其他气体进不去, 根据所要气体性质的不同, 剩余残压也有所不同, 如果已经用到规定的剩余残压, 就不能再使用, 并应立即将气瓶闭关, 不让余气漏掉。因为气瓶所盛气体的纯度都有一定的要求, 以保证气体质量和使用时的安全。如果气瓶不留余气, 则空气或其他气体就会侵入气瓶内, 使原有气体不纯, 下次再充气使用时就会发生事故。例如氢气本身不燃不爆, 广泛用于置换易燃、易爆气体 (如氢气) 以便进行化学反应或设备检修动火等。如果氢气瓶内进入空气, 空气中含有氧气, 因而氢气中也有了氧气, 在用氢气置换时, 就混进了氧气, 氧气如和易燃气体混合, 势必发生危险。又在化学分析中对所用气体的纯度要求很高, 稍有不纯, 即影响数据的正确性而使工作失败。更重要的一点是: 气瓶不留余气, 可能使性质相抵触的气体, 例如氧乙炔焰切割及氧乙炔焰焊接时, 如果氢气瓶、乙炔气瓶或氧气瓶不留余压, 则往往会发生氢气或乙炔混入氧气瓶中, 或氧气混入氢气或乙炔气瓶中, 当场发生爆炸事故, 即使氧乙炔焰或氧乙炔焰熄火后形成的倒灌, 当场虽未爆炸, 但混有氧气的氢气瓶或乙炔气瓶或混有氢气、乙炔气的氧气瓶, 在充气后再使用时, 仍存在爆炸危险性。又如原子吸收分光光度分析用乙炔气瓶, 也必须注意留有余压, 谨防空气或其他性质相抵触的气体侵入乙炔气瓶中。

气瓶充气前, 对每一只气瓶都要做余气检查, 不留余气的气瓶失去了检验条件。对于没有余气的气瓶, 充气前应严格的情况, 万一疏忽, 充入了性质相抵触的气体, 则后果更严重。可见气瓶剩余残压对安全生产有重大意义。

续表

序号	气瓶名称	化学式	外表面颜色	字 样	字 样 颜色	色 环
12	四氟乙烷	CF_4	铝白	氟氯烷-14	黑	
13	二氟氯甲烷	CHFCl_2	铝白	液化氟氯烷-21	黑	
14	二氟氯甲烷	CHF_2Cl	铝白	液化氟氯烷-22	黑	
15	三氟甲烷	CHF_3	铝白	液化氟氯烷-23	黑	
16	二氯四氟乙烷	$\text{CF}_2\text{Cl}-\text{CF}_2\text{Cl}$	铝白	液化氟氯烷-114	黑	
17	六氟乙烷	CF_3-CF_3	铝白	液化氟氯烷-116	黑	$P=80$ 不加色环 $P=125$ 草绿色环一道
18	三氟乙烷	CH_3CF_3	铝白	液化氟氯烷-143	黑	
19	偏二氟乙烷	CH_3CHF_2	铝白	液化氟氯烷-152a	黑	
20	二氟溴氯甲烷	CF_2ClBr	铝白	液化氟氯烷-12B1	黑	
21	三氟溴甲烷	CF_3Br	铝白	液化氟氯烷-13B1	LPO	$P=80$ 不加色环 $P=135$ 草绿色环一道
22	二氟氯乙烷	$\text{CH}_3\text{CF}_2\text{Cl}$	铝白	液化氟氯烷-142	红	
23	甲 烷	CH_4	褐	甲 烷	白	$P=150$ 不加色环 $P=200$ 黄色环一道 $P=300$ 黄色环二道
24	乙 烷	C_2H_6	褐	液化乙烷	白	$P=125$ 不加色环 $P=150$ 黄色环一道 $P=200$ 黄色环二道
25	丙 烷	C_3H_8	褐	液化丙烷	白	
26	环丙烷	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}_2 \end{array}$	褐	液化环丙烷	白	
27	正丁烷	正- C_4H_{10}	褐	液化正丁烷	白	
28	异丁烷	异- C_4H_{10}	褐	液化异丁烷	白	
29	乙 烯	C_2H_4	褐	液化乙烯	黄	$P=125$ 不加色环 $P=150$ 白色环一道 $P=200$ 白色环二道
30	丙 烯	C_3H_6	褐	液化丙烯	黄	
31	1-丁烯	1- C_4H_8	褐	液化丁烯	黄	
32	异丁烯	异- C_4H_8	褐	液化异丁烯	黄	
33	1, 3-丁二烯	1, 3- C_4H_6	褐	液化丁二烯	黄	
34	氩	Ar	灰	氩	绿	
35	氦	He	灰	氦	绿	

续表

序号	气瓶名称	化学式	外表面颜色	字样	字样颜色	色环
56	氦	Ne	灰	氦	绿	$P=150$ 不加色环
57	氪	Kr	灰	氪	绿	$P=210$ 白色环一道
58	氙	Xe	灰	液氙	绿	$P=300$ 白色环二道
59	三氟化硼	BF_3	灰	三氟化硼	黑	
40	溴化氢	HBr	灰	液化溴化氢	黑	
41	氟化氢	HF	灰	液化氟化氢	黑	
42	氯化氢	HCl	灰	液化氯化氢	黑	
43	氧化亚氮	N_2O	灰	液化氧化亚氮	黑	$P=125$ 不加色环 $P=150$ 草绿色环一道
44	四氧化二氮	N_2O_4	灰	液化四氧化二氮	黑	
45	二氧化硫	SO_2	灰	液化二氧化硫	黑	
46	六氟化硫	SF_6	灰	液化六氟化硫	黑	$P=80$ 不加色环 $P=125$ 草绿色环一道
47	六氟丙烯	C_3F_6	灰	液化全氟丙烯	黑	
48	煤气		灰	煤气	红	$P=150$ 不加色环 $P=200$ 黄色环一道 $P=300$ 黄色环二道
49	乙烯基甲醛	$CH_2=CHOCH_3$	灰	液化乙烯基甲醛	红	
50	氯甲烷	CH_3Cl	灰	液化氯甲烷	红	
51	氯乙烷	C_2H_5Cl	灰	液化氯乙烷	红	
52	氯乙烯	$CH_2=CHCl$	灰	液化氯乙烯	红	
53	三氯氯乙烯	$CF_2=CFCl$	灰	液化三氯氯乙烯	红	
54	溴甲烷	CH_3Br	灰	液化溴甲烷	红	
55	溴乙烯	$CH_2=CHBr$	灰	液化溴乙烯	红	
56	氟乙烯	$CH_2=CHF$	灰	液化氟乙烯	红	$P=80$ 不加色环
57	偏二氯乙烯	$CH_2=CH_2$	灰	液化偏二氯乙烯	红	$P=125$ 黄色环一道
58	甲胺	CN_2NH	灰	液化甲胺	红	
59	二甲胺	$(CH_3)_2NH$	灰	液化二甲胺	红	
60	三甲胺	$(CH_3)_3N$	灰	液化三甲胺	红	
61	乙胺	$C_2H_5NH_2$	灰	液化乙胺	红	
62	甲醚	$(CH_3)_2O$	灰	液化甲醚	红	
63	环氧乙烷	$\begin{array}{c} CH_2-CH_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ O \end{array}$	灰	液化环氧乙烷	红	
64	其他气体		灰	气体名称	可燃的 红不燃 的黑	

① P 为气瓶设计压力, 单位 $kgf \cdot cm^{-2}$ ($1 kgf \cdot cm^{-2} = 0.0980665 kPa$)。同一种高压液化气体, 规定两个或两个以上充装系数的, 应在色环下方注明该种气瓶的设计压力, 字体高度不小于 80mm。

气体中某一主要组分 $\varphi \geq 98\%$ 的为单一气体; 气体中某一主要组分 $\varphi < 98\%$ 的为混合气体。

第四节 气体钢瓶的搬运、存放和充装

(1) 在搬运与存放时, 气瓶上的安全帽应旋紧; 气瓶上应装好两个防震胶圈。

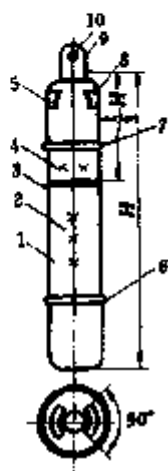


图10-4 气瓶的涂色、标志示意图

1—整体涂色(包括瓶帽); 2—所属单位 10-2。

名称; 3—色环; 4—全体名称; 5—制造
钢印(除油漆); 6、7—防震圈; 8—检
验钢印(除油漆); 9—安全帽; 10—气
孔

(2) 气瓶装在车上应妥善加以固定。车辆装运气瓶一般应横向放置, 头部朝向一方, 装车高度不得超过车厢高。装卸时禁止采用抛、滑或其他容易引起碰击的方法。

(3) 装运气瓶的车辆应有明显的“危险品”标志。车上严禁烟火。易燃品、油脂和带有油污的物品, 不得与氧气瓶或强氧化剂气瓶同车运输。所装介质相互接触后, 能引起爆炸、燃烧的气瓶不得同车运输。

(4) 气瓶应存放在阴凉、干燥、远离火源(如阳光、暖气、炉火等)地方。

(5) 充装有毒气体的气瓶, 或充装有介质互相接触后能引起燃烧、爆炸的气瓶, 必须分室储存。

(6) 充装有易于起聚合反应的气体气瓶, 如乙炔、乙烯等, 必须规定储存期限。

(7) 气瓶与其他化学危险品也不得任意混放, 参见表

(8) 气瓶瓶体有缺陷不能保证安全使用的, 或安全附件不全、损坏或不符合规定的, 均不应送交气体制造厂充装气体。

表10-2 高压气体钢瓶的分类储存规定

气体性质	气体名称	不准共同储存的物品种类
可燃气体	氢、甲烷、乙烷、丙烷、乙炔、液化石油气、丙烯、甲醛、液态烃、氢甲烷、一氧化碳	除惰性不燃气体(如氮、二氧化碳、氧、氩)外, 不准和其他种类易燃、易爆物品共同储存
助燃气体	氧、压缩空气、氯(兼有毒性)	除惰性不燃气体和有毒物品(如光气、氯化苦、五氧化二磷、氰化钾)外, 不准和其他种类的易燃、易爆物品共同储存
不燃气体	氦、二氧化碳、氧、氮	除气体、有毒物品和氧化剂(如氯酸钾、钠、硝酸钾、钠、过氧化钠)外, 不准和其他种类的物品共同储存

第五节 几种压缩可燃气和助燃气的特殊性质和安全处理

一、乙 炔

乙炔是将颗粒活性炭、木炭、石棉或硅藻土等多孔性物质填充在气瓶内, 再将丙酮掺入, 通入乙炔使之溶解于丙酮中, 直至15℃时压力达15.5kg·cm⁻²。国外曾有报道, 在乙炔站充灌

● 指供原子吸收分光光度分析用。

乙炔瓶,当瓶压力到达 $23\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 时,往往因容器密封不良会喷出气体。此时,操作人员采取措施制止气体喷出,由于衣服和人体摩擦发生静电,当手伸到容器附近,便产生放电火花,引起爆炸事故。

乙炔是极易燃烧、容易爆炸的气体。含有7%~13% (指体积分数,下同)乙炔的乙炔-空气混合气和含有大约30%乙炔的乙炔-氧气混合气最易爆炸。在未经净化的乙炔内可能含有0.03%~1.8%的磷化氢。磷化氢的自燃点很低,气态磷化氢(PH_3)在温度为 100°C 时就会自燃,而液态磷化氢(P_2H_4),甚至在稍低于 100°C 的温度下也会自燃。因此当乙炔中含有空气时,有磷化氢存在,就可能构成乙炔-空气混合气的爆炸起火。一般规定乙炔中磷化氢含量不得超过0.2%,而乙炔含量应在98%以上,硫化氢含量应小于0.1%。空气能剧烈地增加乙炔的爆炸性,应尽量地减少其含量。乙炔和铜、银、汞等金属或其盐类长期接触,会生成乙炔铜(Cu_2C_2)和乙炔银(Ag_2C_2)等易爆物质。因此,凡供乙炔用的器材(如管路和零件),都不能使用银和含铜量在70%以上的铜合金。乙炔和氯、次氯酸盐等化合会发生燃烧和爆炸。因此,乙炔燃烧时,绝对禁止用四氯化碳来灭火。存放乙炔气瓶处要通风良好,温度要保持 35°C 以下。充灌后的乙炔气瓶要静置24h后应用,以免使用时受丙酮的影响。这种影响特别是表现在原子吸收分光光度分析中作为燃气时的火焰不稳,噪音增大,其原因之一就是受到丙酮蒸气的作用。为了防止气体回缩,应该装上回闪阻止器。

应当注意,当气瓶内还剩有相当量乙炔时(一般最低降低到1个表压),就需要换用另一只新乙炔气瓶。

在使用乙炔气瓶过程中,应经常注意瓶身温度情况。如瓶身有发热情况,说明瓶内有自动聚合,此时,应立即停止使用,关闭气门并迅速用冷水浇瓶身,直至瓶身冷却,不再发热为止。

二、氢 气

氢气无毒、无腐蚀性,极易燃烧,单独存在时比较稳定。但因其密度小,易从微孔漏出,而且它的扩散速度很快,易和其他气体混合。因此要检查氢气导管是否漏气,特别是连接处一定要用肥皂水检查,氢气在空气中的爆炸极限为4.00%~74.20% (体积分数),其燃烧速度比碳氢化合物等气体快,在常温和 101.3kPa (1atm)下约为 $2.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (指氢气约占混合物的40%)。

存放氢气的气瓶处,一定要严禁烟火、远离火种、热源,储于阴凉通风的仓间。应与氧气、压缩空气、氧化剂、氟、氯等分间存放,严禁混储混运。

三、氧 气

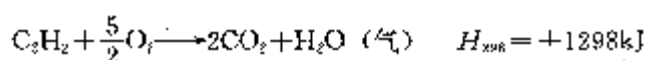
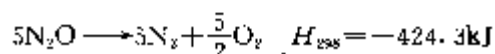
氧气是强烈的助燃气体。纯氧在高温下是很活泼的,当温度不变而压力增加时,氧气可以和油类发生剧烈的化学反应而引起发热自燃、产生强烈的爆炸。例如一般工业矿物油与 $3.04\times 10^5\text{kPa}$ (30atm)以上的氧气接触就能自燃。因此氧气气瓶一定要严防同油脂接触。氧气瓶中绝对不能混入其他可燃气体或误用其他可燃气体气瓶来充灌氧气。由于氧气瓶一般是在 20°C 、 $1.52\times 10^5\text{kPa}$ (150atm)的条件下充灌的。氧气气瓶的压力会随温度增高而增高,因此要禁止在强烈阳光下曝晒,以免随着钢瓶壁温增高引起瓶内压力过高。实验室有时需用液态氧[●]蒸发

● 关于使用液化气体应该注意点可参阅第一篇第二章第七节致冷剂的有关部分。

制得不含水分的气态氧。在这步操作中不要使液氧滴在手上、脸上或身体其他裸露部分。液氧滴在皮肤上,会引起烧伤或严重冻伤。由于液氧具有剧烈的氧化性能,因此处理液氧的工作地点,不能放置棉、麻一类碎屑。这类物质浸上液氧后,着火时会引起爆炸。操作人员身上应避免溅上液氧,围布和头发极易吸收氧气,吸氧后接触明火时,会发生燃烧。

四、氧化亚氮

氧化亚氮也称笑气,具有麻醉兴奋作用,因此使用时要特别注意通风。液态氧化亚氮在20℃时的蒸气压为5066kPa(50atm)。氧化亚氮受热时分解为含氧和氮的混合物,可燃性气体即可借混合物中的氧而燃烧。例如,原子吸收分光光度计就是使用氧化亚氮-乙炔火焰以行燃烧的,反应为:



在此过程中氧化亚氮分解为含氧33.3%和氮66.7%的混合物,乙炔即借其中的氧燃烧。乙炔为吸热化合物,分解时将放出它在生成时所吸收的全部热量。但在氧化亚氮-乙炔火焰中发生的反应比一般火焰要复杂。燃烧时要严禁从原子吸收分光光度计的喷雾室的排水阀吸入空气,否则会引起爆炸。

主要参考文献

1. 中华人民共和国国家劳动总局公布:气瓶安全监察规程,1979。
2. 上海市化工轻工供应公司编,化学危险品使用手册,北京:化学工业出版社,1992。
3. 北京市劳动保护科学研究所情报组编,安全技术与工业卫生专题资料,1975。

第十一章 防毒和防放射性措施

第一节 防毒措施

一、毒物与中毒的一般概念

由于某种物质侵入人体而引起的局部刺激或整个机体功能的障碍的任何疾病都称为中毒。凡可使人体受害引起中毒的外来物质则称为毒物。毒物是相对的，一定的毒物只有在一定条件下和一定量时才能发挥毒效引起中毒。例如某些药物，少量能起治疗作用，过量则能致人于死命。

个别的一些人，对于某些物质的作用有过敏现象，而这些物质对于大多数人却毫无害处。同样，各人对毒性物质的敏感性也不完全相同。毒物的一切说明和定义都是按照它对大多数人的作用而确定。凡侵入体内并能引起死亡的毒物的剂量称为致死量或致命剂量。

根据毒物引起病态的性质，中毒可分为急性、亚急性和慢性三类。大量毒物在短时间内侵入人体，或虽然毒物的侵入量不大，但机体对此毒物较敏感，常在几分钟、几小时至几十小时内发生明显的中毒症状，如不及时抢救，严重者可致死，称为急性中毒。少量毒物长时间反复侵入人体，由于毒物的蓄积及反复作用，经过几个月或几年以后逐渐发生中毒症状，称为慢性中毒。亚急性中毒则介于急性和慢性中毒之间。

影响中毒的因素很多，与毒物的理化性质，侵入人体的数量，作用的时间，以及侵入的途径等均有关系，与受侵害的人体本身的生理状况也有密切影响。有的毒物极少量即可引起中毒，如氰化物；但也有的毒物需相当量才能引起中毒。凡毒物量愈大，接触时间愈长，则引起的中毒一般都较深。此外，各人的年龄、体质、耐受力、习惯性均有所不同，因而对中毒的反应差异甚大。

为了预防在分析实验室内使用毒性物质时的偶然中毒，应当知道毒物可能经过什么途径侵入体内以及各种毒物的作用，采取有效措施以免中毒，万一中毒也可尽快加以急救，摆脱危险。

二、毒物侵入人体的途径和被吸收的情况

大部分毒物是在生产和实验过程经过呼吸道吸入，例如各种有毒气体、蒸气、烟雾或灰尘（如一氧化碳、氢氟酸蒸气、磷的粉尘或烟雾等）。另一些毒物经由消化道侵入，主要原因除了误服外，有时是由于手上沾染毒物，于吸烟或进食时咽入而中毒。此类毒物以剧毒的粉剂最为常见，如砷化物、氰化物等。还有几种毒物可以通过皮肤、粘膜吸收而中毒，如汞剂、苯胺类、硝基苯等。此外，还有一些毒物仅对皮肤、眼、鼻、咽部粘膜产生刺激作用。皮肤上的伤口如沾上毒物，可以直接侵入，进入血流。

毒物无论从皮肤、消化道或呼吸道吸收以后，逐渐侵入血流而分布于身体一些部位。其中由皮肤侵入的通过毛囊吸收，比较缓慢。经消化道侵入者在消化道吸收后进入血流，从呼吸道侵入的多在肺泡中吸收，因此中毒都比较迅速。

毒物在人体内经过各种物理与化学的变化,通常经肝脏的解毒作用,大部分通过肾脏随尿排出。挥发性气体可以由呼吸道排出。某些不溶解的金属盐则由粪便排出,还有一些毒物可随皮肤汗腺、皮脂腺、唾液、乳汁等排出。没有或不能及时排出的毒物,在体内与新陈代谢各种产物的急剧化合,会发生不同程度的中毒症状,以至死亡。

慢性中毒的一些毒物可以在人体的肝脏、脂肪组织、骨骼、肌肉与脑内产生积累作用。当毒物积累到一定程度时,即在临床方面表现为中毒症状。

为此在生产与实验过程中,应该尽可能避免或减少与毒物直接接触的可能性,注意现场的通风条件,将空气中的毒物含量控制在阈限浓度(或最高许可浓度)以下,注意加强自身或周围的防护装备与设备,遵守预防原则与防护操作规程等,以防止毒物侵入人体或损害各器官。

三、预防原则

除在第七章述及的分析实验室防止中毒方面的安全守则外,还应遵守下述预防原则:

(1) 用无毒或少毒的物质来代替毒物,是预防中毒的最根本方法。例如水中微量砷的测定,二乙基二硫代氨基甲酸银-吡啶法比较灵敏,但吡啶不仅气味难闻,而且毒性很大,因此可考虑改用二乙基二硫代氨基甲酸银-盐酸麻黄素氯仿法,后者的灵敏度与前法接近,但毒性大为减小。

(2) 借助于车间或分析实验室的良好通风和有毒气体离析逸出处所污染空气的排出(通过风橱,或用真空泵、水泵连接于发生器),防止吸入有毒气体、蒸气、烟雾和灰尘等,是预防有毒物质最可靠的方法之一。

必须指出实验室内广泛应用的各种有机溶剂,其中很多是有毒的,人体吸入这类溶剂的蒸气时就会中毒(见表11-1),不仅对呼吸系统有害,对心血管、造血机能及神经系统都有损害,因此千万不可粗心大意。

表11-1 挥发性溶剂的毒性作用及许可的浓度界限(最高容许浓度)

第一类	第二类	第三类	第四类
属于这一类的是生产和实验条件下不遵守预防规程时引起麻醉现象的急性中毒的溶剂,许可的浓度界限为 $0.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (或以上),如汽油(0.3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和醇(乙醇— $1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;丙醇、丁醇— $0.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$);丙酮、乙酸、酯(乙酸戊酯、乙酸乙酯、乙酸丁酯)、氯化苯(十氯化萘 $0.1\sim0.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,四氯化萘)、乙醚	属于这一类的溶剂毒性较大,如甲醇、乙酸甲酯、四氯化碳、二氯乙烷、三氯乙烯、氯苯、吡啶。这类溶剂在生产和实验条件下不遵守安全规程时,大多数引起急性中毒,在很多情况下则引起严重的中毒,此时除了麻醉的症状常常使神经及其他系统受到损害,在这类物质浓度不大时,长期影响下则可招致慢性中毒。许可的浓度界限为 $0.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。	属于这一类的溶剂,其毒性都很大,如二硫化碳、苯、甲苯、二甲苯,除了麻醉症状的急性中毒外,并在造血或神经系统内引起持久变化的慢性中毒。许可的浓度界限:二硫化碳为 $0.01\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;苯、甲苯和二甲苯为 $0.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。	属于这一类的是特别危险的物质,如使用时不加小心会引起严重的和致命的中毒。这些物质在保证 1L 空气中只有百分之几 mg 的蒸气浓度条件下才能使用,这类物质如四氯乙烷和五氯乙烷

(3) 注意遵守个人卫生和个人防护规程 绝对禁止在使用毒物或有可能被毒物污染的车间和实验室存放食物、饮食或吸烟。在不能保证毒物不落在衣服或身上的条件下进行工作时,下班后应洗澡,并换去工作服(包括胶皮鞋等),不许将穿用衣服和工作服叠放在一起。在工作时间内只有经过仔细洗手或漱口(必要时用消毒液)后才能在指定的房间用膳和饮水,平时经常洗浴,保持个人卫生。

在必要的情况下,应按规定戴防护眼镜,穿防护工作服、胶皮鞋,戴手套,在有毒气体

可能出现的场所，必要时应戴双层口罩或各型防毒面具，在可由皮肤吸收的毒物的场所进行工作时，应穿橡皮服和戴橡胶手套等。

(4) 定期体格检查 根据接触毒物的工种进行针对性的定期体格检查（包括验血及X线检查），以便发现病情及时治疗。

(5) 根据国家劳动保护条例，按接触毒物的工种，适当缩短工作日和增加必要的营养，以增进工作人员对毒物的抵抗力。

四、防毒口罩与防毒面具

(一) 防护口罩与防毒面具中所用的过滤性防毒物质

一般防护可以使用双层纱布口罩内夹过滤性物质，或使用带有滤盒（或滤毒罐）的防毒面具。使用的过滤性防毒物质主要有下面几种：

(1) 防护酸性气体（如氯、硫化氢、氰化氢、二氧化氮、氯化氢、二氧化硫、三氧化硫、光气）——用氢氧化钠与氢氧化钾、硝酸盐（如碳酸钠），并加用活性炭。

(2) 防护氨气、胂蒸气 用硼酸、柠檬酸、强酸的酸性盐类（如硫酸氢钠），能与氨和胂络合的重金属氧化物和盐类（如氧化铜、硫酸铜等）。

(3) 防护有机芳香烃类蒸气——用活性炭。

(4) 防护醛、酮、卤代烃类蒸气 用氢氧化钾或氢氧化钠、碳酸钠，加用活性炭。

(5) 防护氰化物蒸气 用某些金属的氢氧化物和盐类（如氢氧化铝、硫酸铜）。

(6) 防护一氧化碳——用二氧化锰加氧化铜。

(7) 防护砷、锑化合物蒸气——用二氧化锰、次氯酸盐或过氧化钠等。

(8) 防护重金属蒸气 用氧化剂（如次氯酸盐），加用活性炭。

(二) 防毒面具的组成与构造

防毒面具一般由滤毒罐（滤盒）、带导气管的头带式面罩、面具袋等。其剖视示意图11-1。

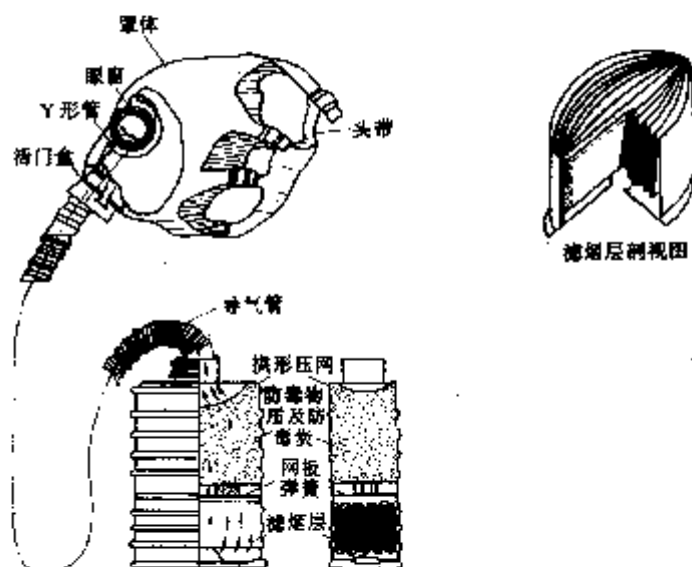


图 11-1 防毒面具剖视示意图

滤毒罐（或滤盒）为圆柱形（或圆筒形）。罐内沿气流方向装有过滤毒烟的滤烟层和吸收有毒气体或蒸气的装填层，采用层装式^①。滤烟层是由特制的滤烟纸折叠而成使之有较大的有效过滤面积（大约达1500cm²左右）。装填层是用直径为1mm上下的活性炭（或防毒炭）加上特殊过滤性防毒物质装填而成，重量约400g上下。在装填层的上面有两层金属的拱形压网，拱的凸出面朝下，其作用是压紧装填层和增加罐壁装填层的厚度，从而减少有毒气体蒸气沿罐壁的渗透。为了防止装填层的炭粉等被吸入面罩，在这两层压网内还夹有一张丝棉垫纸。在装填层的下面也装有一块可垂直移动的弹簧网板，下网板卡在罐壳内的凸棱上。这样装填层始终被均匀压紧，不致因运输和使用而造成装填层中活性炭等的移动和磨碎。

滤毒罐的罐壳是由黑铁皮制成。罐颈带有螺纹，用以连接导气管。罐底有进气孔，内有一挡板，用以保护滤烟层和分散吸入的气流，为了保证罐壳有必要的坚固性，其上有几道（5~8道不等）外凸棱。

面罩由罩体、眼窗、Y形管、活门盒、导气管等组成。面罩的罩体是天然橡胶制成，橡皮厚度根据实际需要，面部要略厚一些，头部要柔软一些、弹性好，便于折叠和佩戴。罩体内有Y形管使吸入的空气先经过眼窗以促使凝结在眼窗的水汽蒸发。

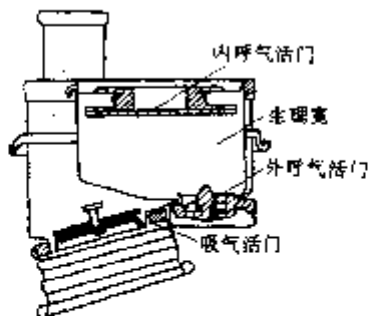


图 11-2 面罩活门盒

面罩下部装有一个包括呼气活门和吸气活门的活门盒，吸气活门、呼气活门均为单向活门，其构造如图11-2所示。

吸入空气由吸气活门引入Y形管。呼出的废气不再经过滤毒罐，而由呼气活门直接排出。这样，既能降低呼气阻力，又可避免滤毒罐装填层受潮。两道呼气活门之间的空间称为生理室，容积约为50cm³，它的作用是将经外呼气活门漏入的污毒空气稀释；这样，经内呼气活门漏入面罩的毒剂浓度就小得多，从而提高了面具的气密性。这种两道呼气活门的结构，还有利于保护呼气活门免受损伤。

属于面罩部分的还有导气管。导气管的自然长度为60cm，断面的最小直径为2cm，两端装有金属或塑料的螺纹接头，分别与滤毒罐和面罩相连接。为防止导气管压瘪妨碍呼吸，做成波纹形。为增加导气管强度并防止橡皮老化，在橡皮管外包有一层针织布，导气管橡皮连同针织布的总厚度为1mm。

面具袋用帆布制成，主要是为了携带和保护面罩及滤毒罐，面罩和滤毒罐分别装面具袋的两个小格内，除了避免挤压以外，主要用以固定滤毒罐。在面具袋的底部固定有两根支撑滤毒罐的小木条，以便空气能自由进入滤毒罐，因此面具袋还对空气中的灰尘起了顶滤的作用。

（三）防毒面具的使用简则

使用防毒面具时必须遵守下列规则：

（1）凡有必要使用防毒面具的化验室内的一切工作人员，都应当好好学习使用规则，并且要善于检查它的气密性。气密性检查的方法是：首先正确地戴好面具，然后用手堵住滤毒罐

^① 也有采用筒装式者，外层为滤烟层，里层是装填层。

进气孔,同时用力吸气,若感到闭塞不透气,则说明面具基本上是气密的,否则,需按下列步骤进行检查。

检查面罩 可用手捏住导气管上端,另一手堵住呼气活门的出气孔,然后用力吸气,如感到闭塞,则证明面罩是气密的;否则说明面罩有损坏或佩戴不合适。

检查呼气活门 在面罩气密性良好的基础上,进行呼气活门检查,此时将堵住呼气活门的手松开,用力吸气,仍感到闭塞,则说明呼气活门是气密的;反之,则说明呼气活门漏气。

检查导气管 捏住导气管的下端,或堵住导气管下端进气口,用力吸气,若感到闭塞,则导气管是气密的;反之,则导气管漏气,此时可对导气管进行逐段检查,确定漏气部位。

如果经上述检查后,证明各部件良好,若面具仍有漏气现象,则可能是滤毒罐漏气,则应更换滤毒罐再检查。

在检查过程中,对所发现的损坏或漏气部位,均应作出记号,以便及时修理或更换零部件。

(2) 防毒面具的面罩须按照使用者头部的大小选择。

(3) 必须定期检查面罩的气密性。

(4) 防毒面具必须具备使有毒害气体(或蒸气)不致为害的滤毒罐。

(5) 滤毒罐经长期使用后或在有高浓度有毒气体(或蒸气)的空气中工作后应予更换。

(6) 如果在有毒的空气中,氧供应不足(低于16%)或工作时的空气不知被何种毒物(或气体)沾污时,则不得使用一般的过滤式的防毒面具,在这种情况下应该使用氧气呼吸器。

(7) 防毒面具存放在仓库内时,滤毒罐下面进气孔应该封好,否则滤烟层、装填层的吸收性能逐渐减弱。

充分研究防毒面具的组成、构造和性能以后,便易于掌握这些简则,遵守这些简则就可使自己在工作过程免于受到有毒气体或蒸气(包括烟雾等)的危害。

五、汞中毒的预防

汞是在温度不低于 -39°C 能保持液态的唯一金属,汞对空气和一些其他试剂的作用有相当的稳定性。液态汞有很好的流动性并具有高度的导电率,因此汞成为很多仪器中最需要的物质之一。然而,汞易挥发,它的蒸气极毒,经常与少量汞蒸气接触能引起中毒。一般说汞蒸气在空气中的含量达到 $1\times 10^{-5}\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,就要发生中毒。汞的毒性是积累性的,它能逐渐贮积于体内。如果每日吸收 $0.05\text{mg}\sim 0.1\text{mg}$ 的汞蒸气,数月之后就有可能发生汞中毒,这对于从事极谱分析工作者尤其应引起重视。

(一) 使用汞时的注意事项

(1) 使用汞工作时,不许用薄壁玻璃容器和一些薄壁管。因为汞的比重很大,这些薄壁玻璃容器和管子不够坚实极易损坏,使汞洒出和泼溅以致难以收拾。即使厚壁的,如果注入汞过分迅速时也能将它打碎。因此向管内或容器注入汞时应该使用特制的坚实的具有长端的漏斗。向高形器皿内注入汞时,最好使器皿略略倾斜,而器皿底部用柔軟的衬垫垫稳,然后将汞沿着器皿壁缓缓注入以防溅出。

(2) 应该尽可能避免在敞开的容器内使用,因在室温时每立方米为汞饱和的空气含 $(15\sim 20)\text{mg}$ 汞,已大大超过极限容许浓度。若用汞做搅拌器的封闭液时,必须注意勿使汞逸出。在热的设备上,切不可用汞作封闭液,如有可能,用水或油把汞掩盖起来。

(3) 汞旁不要放置发热体,绝对不要在烘箱中烘汞,因汞蒸气压随温度的升高而增加颇

快。不同温度下的汞蒸气压及其在空气中的浓度见表11-2。

表11-2 不同温度下的汞蒸气压及其在空气中的浓度

温度 $t/^{\circ}\text{C}$	$P(\text{汞蒸气})/\text{Pa}$	$c_{\text{g}}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\rho/10^{-6}$
20	0.159	0.015	2
30	0.373	0.034	4
40	0.813	0.07	8.5
60	3.33	0.35	42.5
100	36.4	3.3	400
200	2310	213	25800
300	32900	2900	348000

此使用时要尽量避免汞洒出。

(二) 极谱室防止汞蒸气中毒的简则及拾汞简单装置

- (1) 极谱室应通风良好，必须装有排风设备。汞的蒸馏应在室外或单独房间中进行。
- (2) 实验操作前应检查仪器安放处或仪器连接处是否牢固，橡皮管或塑料管的连接处一律用铜线缚牢，以免在实验时脱落使汞流出。
- (3) 室中一切汞不能暴露在空气中，或将其盖紧，或在其面上放水。
- (4) 尽量防止汞自容器和毛细管上洒落在桌上，尤其是地上。为此将盛汞的容器、储汞瓶及滴汞电极装置放在瓷盘或特制的水泥台上。
- (5) 如果汞滴在外面，立即用汞夹、收集洒出汞的吸管或拾汞棒将所有微小的汞滴拣起，然后喷上用盐酸酸化过的 $w=0.1\%$ 高锰酸钾溶液（每升这种高锰酸钾溶液中加入5ml浓盐酸）过（1~2）h后再清除；或喷上 $w=20\%$ 三氯化铁水溶液让其自行干燥，干燥后再消除。特别应该指出的是三氯化铁水溶液为对汞具有氧化性能并同时可将汞转化为不溶性化合物的一种非常好的去汞剂。但金属器物（除铅质外）上面有汞的细滴时，则不能用三氯化铁除汞，因金属本身会受这种溶液的作用而损坏。要消除落在地上的汞，也可撒硫磺粉，将汞洒落地区覆盖一段时间（此时生成硫化汞），再设法扫净。
- (6) 在实验中，擦过汞齐或汞的滤纸或布必须放在有水之瓷缸内。
- (7) 极谱室中每日排气1次，每次0.5h；每次进入极谱室工作时，必须先排气0.5h后才进行工作。
- (8) 极谱室中严禁吸烟、饮食，伤口处切勿与汞接触。
- (9) 注意个人卫生，工作完毕要洗手，每日洗刷口腔数次，多运动，多吃蛋白质，定期检查身体。
- (10) 拾汞棒（或刷）的制备：将直径0.2mm的铜丝或0.1mm厚的条形铜片，浸入用硝酸酸化过的硝酸汞溶液中，这时汞即镀在铜丝（片）上成为拾汞棒（或刷）。洒出或挥发而沉积在桌上、地上的汞可用拾汞棒加以摩擦收集。
- (11) 收集洒出汞的移液管或吸管的简单装置如图11-3所示。

(三) 用气体消除汞的毒害

进行蒸馏汞或其他有汞蒸发工作的房间，如果仅在工作处和地板上去掉汞，则经过一段时间后墙壁与天花板将被汞污染（粉浆或油漆都容易吸着汞蒸气）。这时，若使用液体以去除墙壁和天花板上的汞剂很不方便，而用硫化氢去汞则比较方便。用它消除汞的毒害，主要是利用生成硫化汞，使之成为阻碍液体汞蒸发的薄膜。将需要消除汞毒的房间仔细关闭，然后用

(4) 装汞的仪器下面一律放置浅瓷盘，使得在操作过程中偶然洒出的汞滴不至散落桌上或地面。

(5) 经常使用汞的实验室的排风扇最好装在墙脚，地板要无缝，否则留存的细小汞滴将慢慢地蒸发，长期毒化实验室内的空气。汞的蒸发与表面积大小有很大关系，如果汞的表面没有氧化，蒸发速度与汞滴的半径成反比例。汞的细滴的危险性比整滴和整体的汞要大得多，因

$0.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的硫化氢充满空间,维持40h(当然不能忘记硫化氢本身的毒性,它的极限容许浓度为 $10\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$),事后应充分排风。也有人主张用排放到空气中低于卫生标准许可的氯来消除空气中的汞蒸气,但用氯去汞的缺点是对金属零件的腐蚀性很大,特别是有水分存在时,反应更为迅速。

(四)工作服上的汞和汞有机化合物的消除

由于汞及其化合物中毒的积累特性,对于接触汞及其化合物的分析人员应特别注意工作服的清洁。衣服如被金属汞滴沾污时,应在室外适当地点,将它垂直地抖落15min以上,然后将工作服在 $w=2.5\%$ 肥皂溶液和 $w=2.5\%$ 碳酸钠溶液内洗涤30min左右,并须更换3次洗涤液,最后再在热水内冲洗干净。

为了消除工作服上的乙基氯化汞,用 $w=0.5\%$ 碳酸钠溶液在30min内洗涤3次就可以了。为清除二乙基汞,可用 $(120\sim 130)^{\circ}\text{C}$ 的热蒸汽把工作服蒸馏2h。如果工作服同时被乙基氯化汞、二乙基汞、金属汞和氯化汞沾污时,则应先用热蒸汽再以 $w=2.5\%$ 肥皂溶液和 $w=2.5\%$ 碳酸钠洗涤相继进行,条件同清除汞的“洗涤”和二乙基汞气体的“蒸馏除去法”。

在此必须提及的是汞-有机化合物要比汞蒸气及其盐类更危险,它的中毒发展最快。

第二节 防放射性措施

一、有关名词的解释、特有的单位系统和换算

(一)放射性同位素与稳定性同位素

有放射性的同位素称为“放射性同位素”,没有放射性的同位素就称为“稳定性同位素”。例如 ^{31}P 、 ^{59}Co ,它们不放出射线,没有放射性,所以是稳定性同位素;而 ^{32}P 、 ^{60}Co 能放出射线,有放射性,所以是放射性同位素。在通常情况下,元素左下角的原子序数可不写出,只写出元素左上角的原子质量数就行,如 ^{32}P 、 ^{60}Co 等。

(二)放射性同位素制剂及放射性化工制品、辐射源、检查校正源、标准源、中子源

1. 放射性同位素制剂及放射性化工制品 含有放射性同位素的化学制品,称为“放射性同位素制剂”(或放射性化学试剂)及放射性化工制品”,如含有放射性同位素的酸、碱、盐类和有机化合物类等。

2. 辐射源 放射性强度较大的固体或液体的放射性同位素,通常称为“辐射源”,它是用金属或其他容器封闭着,常见的辐射源有 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{204}Tl 等。

3. 检查校正源 专供给检查和校正测量放射性的仪器、仪表的放射源,称为“检查校正源”,常见的也是 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 等。

4. 标准源 在核物理、放射化学、生物学、医学、地质勘探和工农业部门中,经常需要用一些强度已知的放射源,作为同类型放射源的基准。这些可作为基准的放射源,称为标准源,把未知强度的放射源与标准源加以比较,通过比较测量,便可简便而准确地得到待测放射源的强度。一般要求标准源的强度应较稳定,强度测量的准确度应较高。

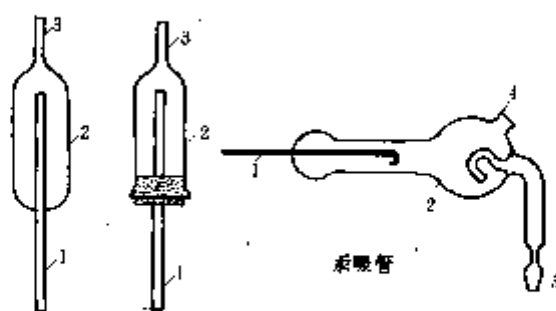


图 11-3 汞的移液管

1—收集汞的管; 2—盛收汞的部分; 3—连接梨形橡皮球或真空泵(即气泵); 4—密封塞

5. 中子源 由某两种元素(其中一种为放射性元素)混合,而能不断放射出中子的源,称为“中子源”。如镭-铍中子源、钚-铍中子源等。

(三)放射性活度、剂量、吸收剂量、照射量、吸收剂量率、剂量当量、最大容许剂量当量和最大容许剂量

1. 放射性活度 衡量放射性物质(放射源)放出射线量的大小的一种物理量,通常称做“放射性活度”,SI单位(国际单位制)以“贝可”表示,符号是“Bq”。1贝可表示在1s内发生了一次核衰变。

旧放射性活度专用单位是“居里(Ci)”或“克镭当量”。

居里:当放射性核素在1s内发生 3.7×10^{10} 次核衰变时,其放射性活度就是1Ci。

1居里(Ci) = 10^3 毫居里(mCi) = 10^6 微居里(μ Ci) = 3.7×10^{10} 贝可(Bq)

克镭当量:是用来表示 γ 射线的放射性活度的。凡放出 γ 射线的物质同1g镭(与其衰变的子体成平衡,并且放置于0.5mm厚的铅管内)在同样的条件所引起的电离作用相等时,则其放射性就叫做1克镭当量。

1克镭当量 = 1000毫克镭当量

1毫克镭当量 = 1000微克镭当量

对于放出 γ 射线的放射性物质来说,居里和克镭当量这两个单位是可以互相换算的,表11-3中列出了常用放射性同位素1mCi相当的毫克镭当量数。

2. 剂量 电离辐射作用于生物体时,能引起各种生物效应。剂量一词是借用医学上的术语,用来度量射线对物质或生物体的作用程度。在医学上应用药物治疗疾病,或确定药物毒性时,需要掌握使用的药物量即药物剂量。同样,在应用射线治疗疾病或预防它的有害作用时,也需要知道人体受到了多少照射,这就是辐射剂量这一概念的由来。但是怎样来衡量照射的多少,是一个很复杂的问题。随着辐射剂量学的发展,“剂量”这一名词的确切涵义经历了不少演变,在历史上曾经提出过各种各样的剂量单位。为了避免混淆,国际辐射单位与测量委员会在1962年的报告书中提出建议,把剂量这个名词仅仅用来指“吸收剂量”。

3. 吸收剂量(符号为 D) 为“致电离辐射”授予某一体积单元中物质的平均能量除以该体积单元中物质的质量的商,即 $D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$ 。其中 $d\bar{\epsilon}$ 即电离辐射给予一个体积单元中物质的平均能量, dm 即该体积单元中物质的质量。SI单位为焦·千克⁻¹,用符号J·kg⁻¹表示,专门名称为戈(瑞),用符号Gy表示。

1戈瑞(Gy) = 1J·kg⁻¹。

4. 照射量(符号为 X) 是 dQ 除以 dm 所得的商,其中 dQ 为光子在质量为 dm 的某一体积单元的空气中释放的所有电子(负电子和正子)在空气中全部被阻时,产生一种符号的离子总电荷的绝对值;即 $X = dQ/dm$ 。照射量或称辐照量的SI单位为库·千克⁻¹,用符号C·kg⁻¹表示。

5. 吸收剂量率(符号为 $\dot{D}$) 简称剂量率。定义为某一时间间隔 dt 内吸收剂量的增量除以该时间间隔的商,即 $\dot{D} = dD/dt$ 。其专用单位是戈瑞或其倍数或分倍数除以适当的时间单位所得的商,如戈瑞·秒⁻¹(Gy·s⁻¹)等。

6. 剂量当量(符号为 H) 一般地说,某一吸收剂量的生物效应与射线种类以及照射条件有关。例如在相同的吸收剂量下, α 射线对生物机体的危害程度要比X射线约大十倍,这个倍数以前叫做相对生物效应系数,现在称为质量系数或称性质因数(Q)。为了防护的目的,便

于将人体所受的各种电离辐射剂量统一衡量,采用了剂量当量这一术语。剂量当量定义为生物组织内被研究的一点上的吸收剂量(D),线质系数(Q)和其他修正因数(N)的乘积,即剂量当量 $H=DQN$ 。剂量当量(H)的SI单位为希沃特(Sv)。

表11-3 常用放射性同位素

同位素名称	符号	半衰期	主要放射线	射线能量 MeV ^a	1mCi 相当的毫克镭当量	同位素名称	符号	半衰期	主要放射线	射线能量 MeV ^a	1mCi 相当的毫克镭当量
³ 氚	³ H	12.26a	β	0.018		^{109m} 银	^{109m} Ag	255d	γ	1.5	1.77
¹³⁷ 铯	¹³⁷ Cs	53.37a	α	0.46	0.937	^{135m} 铯	^{135m} Cs	4.6d	γ	0.93	0.13
¹⁴⁷ 钐	¹⁴⁷ Sm	5730a	β	0.157		^{114m} 铟	^{114m} In	50.6d	γ	0.19	0.023
²⁴¹ 钚	²⁴¹ Pu	2.602a	γ	1.3	1.43	^{113m} 锡	^{113m} Sn	115d	α, β	0.29	0.29
³² 磷	³² P	14.3d	β	1.7		¹²⁵ 铯	¹²⁵ Cs	66.3d	γ	1.7	1.37
³⁵ 硫	³⁵ S	85d	β	0.17		¹²⁷ 碘	¹²⁷ I	5.4h	γ	0.69	0.049
⁴⁵ 钾	⁴⁵ K	1.28×10^{15} a	γ	1.46	0.096	¹³¹ 碘	¹³¹ I	8.07d	γ	0.36	0.27
¹³⁷ 铯	¹³⁷ Cs	165d	β	0.26		¹³⁴ 铯	¹³⁴ Cs	2.06a	γ	0.79	1.18
^{137m} 铯	^{137m} Cs	20s	γ	1.12	1.32	¹³⁷ 铯	¹³⁷ Cs	30.23a	γ	0.66	0.42
⁴⁴ 钪	⁴⁴ Sc	15.6d	γ	1.33	1.87	¹³² 铯	¹³² Cs	1.2.6d	γ	0.54	0.3
⁵¹ 铬	⁵¹ Cr	27.8d	γ	0.32	0.018	¹³⁴ 铯	¹³⁴ Cs	284.9d	γ	0.13	0.03
⁵⁴ 锰	⁵⁴ Mn	303d	γ	0.84	0.58	¹⁴⁷ 钐	¹⁴⁷ Sm	2.5a	β	0.73	
⁵⁵ 铁	⁵⁵ Fe	45.1d	γ	1.30	0.74	¹⁵³ 钐	¹⁵³ Sm	1.81a	γ	0.1	0.02
⁶⁰ 钴	⁶⁰ Co	77d	γ	2.17	1.19	¹⁵⁹ 铈	¹⁵⁹ Ce	242d	γ	0.1	0.03
⁶⁰ 钴	⁶⁰ Co	5.26a	γ	1.24	1.57	¹⁷⁶ 镱	¹⁷⁶ Yb	128.6d	γ	0.68	0.0039
⁶³ 镍	⁶³ Ni	92a	β	0.06		¹⁸⁰ 钨	¹⁸⁰ W	42.4d	γ	0.41	0.37
⁶⁴ 铜	⁶⁴ Cu	12.6h	γ	1.34	0.14	¹⁸⁷ 钨	¹⁸⁷ W	75.8d	β	0.43	
⁶⁵ 锌	⁶⁵ Zn	243.6d	γ	1.12	0.34	¹⁸⁸ 铈	¹⁸⁸ Ce	94d	γ	0.63	0.18
⁷⁵ 砷	⁷⁵ As	38.83h	β	0.7		¹⁹² 铈	¹⁹² Ce	74d	γ	0.57	0.59
⁷⁶ 硒	⁷⁶ Se	120.4d	α	0.27	0.13	¹⁹⁸ 金	¹⁹⁸ Au	2.696d	γ	0.41	0.20
⁸² 溴	⁸² Br	35.5h	γ	1.35	1.76	²⁰¹ 汞	²⁰¹ Hg	46.67d	γ	0.28	0.15
⁸⁶ 铷	⁸⁶ Rb	18.65d	γ	1.08	0.062	²⁰³ 铊	²⁰³ Tl	3.78d	β	0.72	
⁸⁹ 锶	⁸⁹ Sr	52d	β	1.5		²¹⁰ 铅	²¹⁰ Pb	21a	γ	0.03	0.0027
⁹⁰ 锶	⁹⁰ Sr	28.1a	β	0.54		²¹⁴ 钋	²¹⁴ Po	138.36d	α	5.30	
⁹⁰ 锶	⁹⁰ Sr	65d	γ	0.75	0.50	²²³ 镭	²²³ Ra	1600a	γ	0.18	
⁹⁶ 锿	⁹⁶ Nd	56.15d	γ	0.76	0.50	²³² 钍	²³² Th	1.413a	γ	0.22	0.0014
⁹⁹ 锿	⁹⁹ Tc	2.12×10^5 a	γ	0.30		铀	U	几亿a	α		
¹⁰⁶ 钌	¹⁰⁶ Ru	367d	β	0.14		²³⁵ 铀	²³⁵ U	2.438×10^8 a	α		
¹⁰⁶ 钌	¹⁰⁶ Ru	35.8d	γ	0.32	0.011						

- ① 同位素质量数旁带有 m 者为同质异能素,有为数不多的同位素可以在它的某一激发态停留着一个较大的时间,这样的激发态称为亚稳态(metastable state),处于亚稳态的同位素则称为同质异能素。某些资料上也有用质量数旁注以 * 号来表示同质异能素的。
- ② 电子伏特(eV):物理学中用来量度微观粒子能量的一种单位。其定义为:1个电子通过电势差为1V的电场时所获得(或减少)的能量,1eV= 1.602×10^{-19} J。在核物理中常用它的一百万倍即百万电子伏特(MeV)也叫做兆电子伏特作为能量单位。

此量限用于辐射防护方面,但不能用于高水平的事故照射。在国际辐射单位与测量委员会(ICRU)的第十九号报告中介绍了线质系数(Q)对线能量转移(LET)的相互关系,对于外照射, N (其他修正因数)目前被定为1。

线质系数(Q)与线能量转移(LET)的关系如下:

线能量转移,在水中每微克损失的能量/keV	线质系数
<3.5	1
7	2
23	5
53	10
173	20

为便于应用,将不同射线的线质系数 Q 简化如表11-4。

表11-4 不同射线的线质系数(Q)^①

照射类型	射线种类	线质系数
外照射	X、 γ 电子	1
	热中子及能量 $<0.005\text{MeV}$ 的中能中子	3
	中能中子(0.02MeV)	5
	中能中子(0.1MeV)	8
	快中子(0.5—10MeV)	10
	重反冲核	20
内照射	β^- 、 β^+ 、 γ 、 e^- 、X	1
	α	10
	裂变过程中的碎片, α 发射过程中的反冲核	20

① Q 值只限容许剂量当量范围内使用,不适用于大剂量及大剂量的急性照射。

② $1\text{MeV}=1.602\times 10^{-13}\text{J}$ 。

7. 最大容许剂量当量和最大容许剂量 为了确保人身安全,规定一个每人在一定时间内所受射线照射对人身健康没有危害的最大容许标准,这种剂量当量标准称为“最大容许剂量当量”,在国家标准“放射防护规定”GBJ8—74第二章有所规定。不少国家采用下表中所列的最大容许剂量标准,它是按每人每天所受射线照射对人身健康没有危害的最大容许标准,这种剂量标准则称为“最大容许剂量”:

射线类型	每日最大容许剂量/伦
X、 β 、 γ 射线	0.05
α 射线、快中子	0.005
热中子	0.01

必须指出,最大容许剂量当量标准或最大容许剂量标准是会随着科学的发展而有所变化的。

(四) 外照射与内照射(或称外部照射与内部照射)

外照射是指射线在身体外表面的照射,而内照射是由于防护不当放射性物质被吸入(呼吸道)、吃进(消化道)或从伤口、皮肤和粘膜等处侵入人体内所引起的照射。内照射的危险性从某种意义上来说,要比外照射大得多。因为人们可以设法使外照射减低到安全水平以下,同时还可尽量地不停留在可能遭受放射性的地点,然而这一些对于内照射来说都是办不到的。对于内照射来讲,从伤口进入比吸入危险,而吸入又比吞咽危险,虽然如此,但就防护的观点而论,应该根本不让放射性物质通过任何方式进入人体。

二、射线对人体的影响及其防护^①

(一) 射线对人体的影响

表明放射性元素特征的三种辐射中, α 射线具有显著的生理作用,它的电离本领极大,且在不大的吸收层内发生这种作用($1\mu\text{m}$ 有2000~6000对离子,比起 β 射线来要大600~700倍)。 α 的能量愈大,破坏性也愈大,因为射线的生物作用与电离的密度有关系。 α 的致伤集中,细胞一死就是一团,故不易恢复。当然,在外部照射时,因其不能透过皮肤,故致伤程度减至

① 医学上有一分支称为放射医学,它的主要任务是研究电离辐射对生物机体的作用以及放射性损伤的发病机理、诊断、治疗和预防等问题,根据研究方法和应用目的的不同,其主要内容有放射病理学、放射毒理学、放射卫生学、放射诊断学、放射治疗学等各个方面,此外还包括放射性同位素在医学上的应用。

很小,然而皮肤也会引起烧伤或发炎。外部照射,它不及 γ 射线危害大。但可以想象, α 在身体内部的危害就很大了。 β 射线也具有较为显著的生理作用,它的电离本领也很大,并在不很大的范围内分布(在几个毫米中),在 $1\mu\text{m}$ 约生成3~10对离子,如受了 β 的伤害,一般是容易恢复的。因为伤害不很集中,死细胞的旁边还有很多好的细胞,易借新陈代谢恢复正常。外部照射时,它被皮肤及皮下的一些细胞所吸收而引起皮炎等,但不如 γ 射线为害大。 β 在体内的危害次于 α 。应该注意的是 α 、 β 射线对于皮肤和各种各样感受器官等的伤害,实际上也会或多或少使各种器官系统产生复杂的反射影响。故 α 、 β 这种非穿透性射线的剂量,不是可以因其穿透性小而相对地增大,而是应该采取和穿透性射线的最大允许剂量相同的值作为其最大允许剂量。 γ 射线的穿透性很大,电离作用或多或少是均匀的,做体外照射时,它的危害最大,它易引起体内的各种病症。

X射线同 γ 射线一样,它的穿透性很大,按其活性来说,接近于 γ 射线。强烈X射线的作用,或微弱X射线长时间的作用都将引起身体的剧烈破坏。

中子流不带电,在人体内的自由射程较长(5MeV的中子在人体射程为6.37cm),其危害不仅限于表面一带,中子在进入人体后与氢原子碰撞的减速慢化过程中,氢原子得到最大的能量而形成反冲质子;其后,已被慢化的中子和氯作用起核反应又产生反冲质子。这些带有很大能量的反冲质子,使生物体产生强烈的电离,危害很大。此外中子与体内氢、碳、氮、钠起核反应中放出的 γ 射线和 γ 放射体所放出的 γ 射线一样,对人体起严重的伤害作用,所以说中子的危害不管是体内或体外都是很大的。

质子流因为本身带有电荷,其作用和 α 射线很相似,但如果能量很大的质子,其危害远比 α 粒子大。

在上述射线的影响下,身体的正常生活机能会遭到严重破坏,使血液成分发生急剧变化,淋巴球、白血球均随所受剂量的增加而下降,血小板在照射后也会减少,从而产生血液系统的病症如贫血、出血性紫斑,有时甚至患白血病致人于死命。此外这些射线还能损害神经系统与消化系统,如失眠头痛,记忆力衰退,新陈代谢作用紊乱和破坏,毛发脱落,趾甲、指甲患病、肌肉萎缩,食欲减退,溃疡,小肠部分肠粘膜坏死、绒毛脱落等。从深远的影响来说,所有各种射线粒子都会引起恶性肿瘤或皮肤的癌。恶性肿瘤并不是在照射之后立即出现,一般是有潜伏期的,至于侵入体内的放射性物质,则会长期地保存体内,经数年以后才发现病患更是众所周知的事实。

在放射性辐射的电离作用下,可能造成DNA分子的损伤(如分子链的断裂或错误修复等)。生殖细胞中的DNA分子受损伤,就可能把这种损伤信息传给后代,从而在后代身上出现某种程度的遗传疾病。

因此,放射性实验室分析人员应十分重视射线的防护,只要作了必要的防护措施,规定了操作规程,设置灵敏的探测器进行监护以及必要的检查和必要的治疗制度,是完全可以避免辐射的危害的。

(二) 射线的防护

1. 防护的基本原则

(1) 实践的正当性 为了防止不必要的照射,一切辐射实践都必须有正当理由,净利益必须超过代价。

(2) 辐射防护最优化 所有照射都应保持在可以合理做到的最低水平。

(3) 个人剂量限制 个人所受的照射剂量不超过规定的剂量限值。

(4) 避免放射性物质进入体内和污染身体。

2. 对体外照射（外照射）的防护

(1) 剂量防护 在不影响实验和工作的条件下尽量少用。因按衰变定律 $\frac{dN}{dt} = \lambda N$; λ 为比例常数, 称为衰变常数, N 是尚未衰变的总核数, 可见 N 大, $\frac{dN}{dt}$ 就大。

(2) 时间防护 人体所接受的剂量大小与受照射的时间成正比, 因此要减少照射时间, 从而达到防护目的。为此不要在有放射性物质 (特别是 β 、 γ 体) 的周围作不必要的停留。工作时操作力求简单、快速、准确。也可以增配工作人员轮换操作, 以减少每人受照射时间。

(3) 距离防护 人体所接受的剂量大小与接触放射性物质距离的平方成反比。接触放射性物质的距离增加1倍则剂量就小到1/4, 因此随着距离的增加, 剂量的减小是很显著的。原则上是距离愈远愈好。为此, 操作放射性物质可以利用各种夹具, 以增长接触的距离, 但夹具也不宜太长, 否则会增加操作的困难。

(4) 屏蔽防护 就是利用适当的材料对射线进行屏蔽的防护方法, 在放射源与人体之间放置能吸收或减弱射线的屏蔽。相对密度较大的金属材料 (如铁、铅等)、水泥和水对 γ 射线和 X 射线阻挡性能较好; 相对密度较小的材料 (如锡、铀、石蜡、硼砂等) 对中子的阻挡性能较好; β 射线和 α 射线容易阻挡, 一般用轻金属铝、塑料、有机玻璃等来阻挡即可。屏蔽物除了需要长期固定者外, 都应做成可以拆装, 而且要求做到不让射线从接缝处透出屏外。如果屏蔽物是不透明的 (如铅屏), 又不便于用眼睛直接去观察, 则在工作时可以备一镜子, 通过反射来进行操作, 当然事前应该操练纯熟, 否则容易发生洒泼等事故。

3. 对放射性物质进入人体的预防

(1) 防止由消化系统进入人体 绝对禁止用口吸取溶液。当然在实验室内也不应吃喝、吸烟, 或以其他东西与口腔接触。吸取液体必须有长距离控制的注射器, 以消除溶液侵入口内的可能性。

工作必要时一定要戴手套口罩。口罩和手套内部特别是口罩要保持高度的清洁, 戴上手套后不要乱摸别的东西, 不要用已破的手套, 并须注意手套的表面及里面, 不要将沾污了的外表而翻转到里面戴上手去。因此要注意戴手套的顺序和方法, 尽可能不接触活性的一面。

指甲要常剪。工作后, 离实验室前应很好的洗手, 检查手以及可能污染的部分到容许程度以下才能离开。

(2) 防止通过呼吸系统进入体内 室中保持高度的清洁, 经常清扫, 不要用扫帚干扫, 因为这样会引起尘土飞扬, 应用吸尘器吸去地面上的灰尘或潮湿的拖布擦拭。遇有污染时应慎重处理。

室中要有良好的通风, 必要的工作如煮沸、烤干、蒸发等, 均应在通风柜中进行。处理粉末应在手套箱中进行。还要经常调节气流使新鲜空气先通过工作者而后经过放射性物质排出。工作中如必要还可戴过滤型呼吸器, 呼吸器特别是其内部应保持高度清洁。

(3) 防止通过皮肤进入体内 小心工作, 不要让仪器等物, 特别是沾有放射性的部分刺破皮肤, 这是最危险的。

手如有小伤要妥善扎好后戴上手套再工作, 如伤部不小, 需停止工作。

不要用有机溶剂洗手和涂敷皮肤, 否则会加大对放射性物质的渗透性 (如溶有放射性物质的乙醚、氯仿、三氯乙烯等溶液可以通过正常的皮肤进入体内。)

除上述的具体措施外, 下面四条原则也是重要的应力求做到:

- ①选择同位素时,在满足实验要求的情况下,尽量取危险性小的来应用。
- ②取用的量尽可能的少。
- ③尽可能的简化手续,缩短操作时间。
- ④尽量减少以至杜绝放射性物质散布造成污染。放射性废物应贮存在专用的废物筒中,定期处理。

三、对放射性污染的处理

(一) 去除污染的方法

因沾污的情况,被沾污表面的特点有所不同,去除污染的方法也各异,很难规定一种通用的方法,一般应先用水清洗去污,固水是最常用、最普通的去污剂,若不能达到要求时,再根据不同情况采用不同的洗液及方法。

1. 常用的洗液

- (1) 10%柠檬酸-盐酸(将柠檬酸溶解于稀盐酸中), 10%柠檬酸, $8\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硝酸, 6%乙酸, $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐酸或10%盐酸, 3%盐酸。
- (2) 10%氨水, 5%氢氧化钠。
- (3) 3%柠檬酸钠, 1%磷酸钠。
- (4) 0.5%乙二胺四乙酸钠(NaEDTA), 去除金属放射性同位素的污染,较之其他洗液效果良好。

除上述洗液外,用相同状态的化合物的稳定性同位素溶液去除污染可以得到良好效果,例如

洗 ^{140}Ba	用 $6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$
洗 ^{32}P	用 $3\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HNO}_3 + 1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{H}_3\text{PO}_4$
洗 ^{131}I	用56%HI

应该指出的是发现污染后应立即洗涤,放置时间越久越不易洗掉。下面为一些常用的除放射性沾污步骤,可供参考。

2. 除沾污的步骤

- (1) 物体表面沾污的除去 见表11-5。

表11-5 几种表面污染的处理

表面性质	去污剂	用法	备注
橡胶制品	肥皂、合成洗涤剂	一般清洗	
	稀硝酸	洗刷、冲洗	不适用于 ^{14}C , ^{131}I
玻璃和瓷制品	肥皂、合成洗涤剂	刷洗、冲洗	
	铬酸混合液、盐酸、柠檬酸	将器皿放入盛有3%盐酸和10%柠檬酸溶液中浸泡1h,取出用水冲洗后,再置于洗液(重铬酸钾在浓硫酸中的饱和溶液)中浸泡15min,最后用水冲洗	浓盐酸不适用于 ^{14}C , ^{131}I 等
金属器具	肥皂、合成洗涤剂、柠檬酸钠、EDTA等	一般清洗	
	柠檬酸和稀硝酸	对不锈钢,无氧干10%柠檬酸溶液中浸泡1h,用水冲洗后再置于稀硝酸中浸泡2h,再用水冲洗	

续表

表面性质	去污剂	用法	备注
油漆类	温水、水蒸汽、合成洗涤剂	对污染局部进行擦洗	
	柠檬酸、草酸	3%溶液擦洗	
	磷酸钠	1%溶液刷洗	不能用于铝上的油漆
	有机溶剂	用二甲苯等有机溶剂擦洗	注意通风
	NaOH, KOH	浓溶液擦洗去掉油漆 刮去	适用于局部
混凝土和砖	盐酸、柠檬酸	用两者混合液多次清洗	
		刮去或更换	适用于局部
瓷 砖	柠檬酸铵	3%溶液擦洗	
	盐酸、EDTA、磷酸钠	10%溶液擦洗	
		更换	适用于局部
漆 布	四氯化碳、柠檬酸铵、EDTA、盐酸	配成溶液清洗	
塑 料	柠檬酸铵	用煤油等有机溶剂稀释后擦洗	
	酸类、四氯化碳	稀释液清洗	
未涂漆木器具		刮去涂层	

(2) 工作服上沾污的除去 首先将工作服仔细检查, 按其放射性分为3类:

β 、 γ 放射源污染了的, 计数的脉冲小于 $1000 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$, 可以用平常洗衣服的方式清洗;

β 、 γ 放射源污染了的, 计数的脉冲大于 $1000 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$ 及 α 放射性同位素所污染的, 这两类衣服可按下列5步清洗: 水中冲洗, 在6%柠檬酸的热溶液中冲洗; 热水冲洗; 浸在热水中加去污剂洗, 在酸中冲洗, 在热水中冲洗, 但这一步须重复两次; 最后用水冲洗3次。

每次洗涤为5min。若完成前3步后, α 、 γ 放射源的脉冲读数仍然超过 $1000 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$, 则只能将其分别妥善保管直至放射性衰减至允许值以下。

(3) 手套和手上沾污的去除 手套在脱下之前, 先用肥皂清洗, 然后用水冲洗, 测定放射性, 如仍有放射性物质存在则用1%柠檬酸水, 然后再用水洗。

手上污染的去除 (也适合于皮肤的其他裸露区域) 手的沾污程度很轻时, 用肥皂及软毛刷子及温水刷洗5min, 测量放射性, 不超过容许程度即可。如果超过, 再重新洗5min, 如放射性仍然超过容许程度, 则应采取其他方法洗手。若已知是何种同位素污染时, 则根据该种同位素的性质及手的耐受程度决定适当的洗液。若不了解污染是何种放射性物质或受混合的放射性物质所污染时, 可采取以下步骤:

将手浸入饱和的高锰酸钾溶液, 然后用水洗手; 用新鲜的5%亚硫酸氢钠洗手, 再用水洗; 如有必要也可用稀酸 (不应大于 $3 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 否则会产生看不出的皮肤龟裂, 沾污不但不易洗下来, 倒反钻了进去) 洗手; 结束后用羊毛脂或软膏擦手。

前已述及清除皮肤沾污的洗液, 不应采用有机溶剂。

若手或皮肤表面污染严重, 也可用氧化钛与甘油搅拌成糊状, 擦洗2min 再用肥皂、温水洗净。

(二) 放射性废物的排除

首先, 将实验过程中产生的放射性废物收集在专用的污物桶中, 桶的外部涂上红漆或写上红字, 最好将同一种放射性同位素所沾污的废物收集在一个桶内, 以减少处理时的困难。

其次, 根据放射性同位素半衰期的长短和性质可采用不同的方法来处理。一般说, 半衰期长的比半衰期短的不易处理。下面按放射性同位素的半衰期长短, 将常用同位素分为3类, 并简述其处理的方法如下:

1. 半衰期为两周左右或两周以下的同位素 这类同位素在实验室中常用的有 ^{40}K (半衰期为12.4h), ^{24}Na (半衰期为15.0h), ^{131}I (半衰期为8.07d), ^{32}P (半衰期为14.3d)。这几种同位素, 由于半衰期短, 对其废物处理的最好方法是废物桶密闭后, 置于专门的贮存室, 放置一定时间(10个半衰期), 使其衰变后再行处理。处理方式是由下水道排出或将其焚化。如果是从下水道排出则按GBJ8-74的规定, 应该将放射性同位素含量用水稀释至确保本单位下水道总排出口水中的放射性物质的含量低于露天水源中的限制浓度。如果是焚化处理, 则排入大气的放射性物质应满足GBJ8-74规定的要求, 使其在不同人员所在地区空气中的浓度, 不超过其相应地区空气中的限制浓度(每周平均浓度)。

可以认为直接与皮肤接触的液体中 ^{131}I 的浓度不超过 $0.5\mu\text{Ci}\cdot\text{L}^{-1}$ 时是没有危险的。

用稳定性同位素稀释法对 ^{32}P 的排除有特殊的意义, 因为有些微生物积累磷的能力非常强, 如果用磷酸盐形态的稳定性磷稀释(按10g稳定性磷对1mCi放射性磷的比例), 则可使此放射性减低到生物积累作用表现不出来的程度。

2. 中等程度半衰期的同位素 这类放射性同位素常用者有 ^{45}Ca (半衰期165d), ^{59}Fe (半衰期为45.1d), ^{65}Zn (半衰期为243.6d) 及 ^{35}S (半衰期为88d) 等同位素。对这几种放射性同位素的排除比较妥善的方法是经过浓缩或焚化后埋在地中。但应确保露天水源、地下水不被放射性物质所污染。

3. 半衰期长的同位素 这类放射性同位素常用者有 ^{60}Co (半衰期为5.26a), ^{14}C (半衰期为5730a)。对半衰期长的金属放射性同位素, 最妥善的处理方法依然是经过浓缩或焚化后埋在地中。一般说固体放射性废物可送至特制的不锈钢焚化炉中并供给过剩空气以进行充分的燃烧, 将焚化后的灰经过与粘土混合的烧结处理或与水泥原料混合使之成为水泥块, 再埋在距地面1.5m以下。液体废物可用蒸发(挥发性放射性元素除外)、离子交换及凝集剂(硫酸铝钾、氯化铁、磷酸钠、氢氧化钙等)等方法使之浓缩后, 装入容器, 再埋于坑底。上述废物埋藏地点应远离市区, 且防护监测区的范围不得小于300m, 废物坑附近不得修建房屋。

(三) 严重事故的处理

1. 对于辐射大的溶液的溅泼的处理步骤

- (1) 手上戴手套, 将容器扶正。
- (2) 立即通知别人离开。
- (3) 冲洗掉手上皮肤上的污染, 脱去溅泼时沾污了的衣服。
- (4) 报告有关人员进行处理, 进行处理的人, 应穿着佩带防护、清理、测量三个方面的仪器、设备。
- (5) 小心地吸起溶液, 再用特殊吸水纸将溅液吸干。
- (6) 保持湿润状态, 加入适当的酸洗涤, 再吸干, 重复几次。
- (7) 用水洗涤, 再吸干, 重复几次。
- (8) 进行测量, 到容许剂量以下, 恢复工作。

(9) 详细记录经过情况,以便分析原因,取得教训,防止再发生该类事故。

其中(5)~(9)不管大小溅泼都是必需的。(6)、(7)两项,视不同同位素在不同的材料情况下,而有所不同。具体情况可以参看前面一、“去除污染的方法”。

2. 对于放射性粉末撒泼的处理步骤:

(1) 通知别人小心地离开,不要引起粉末飞扬;同时关通风扇。

(2) 关闭引起粉末飞扬的门窗。

(3) 迅速用水冲去皮肤上的沾污,脱去沾污了的衣服。

(4) 报告有关人员,进行处理。进行处理的人除如上节1.(4)规定应穿着佩带必要的设备仪器外,另外应备有滤过型呼吸器或隔绝的单独呼吸系统。

(5) 小心地回收粉末,对难于回收的部分则用相应的酸溶解之。

(6) 如液体溅泼中按(6)~(9)进行。

3. 被放射性器皿割伤的皮肤的处理步骤

(1) 立即冲洗割破部分愈早愈好,然手用0.5%的EDTA二钠溶液洗涤。此时应用于压伤口上方几厘米处,停止静脉血液循环,但不要破坏动脉血液循环。

(2) 报告负责人。

(3) 就医,情况严重的,还要切除伤口部分。

4. 对吸入或吞入放射性物质的处理

报告负责人,立即就医,减少被吞入放射性物质在消化系统中的吸收的办法有:

(1) 吃催吐剂或进行洗胃;

(2) 吃相应的沉淀剂,减少胃肠中的吸收;

(3) 吃合适的泻药促使其排出。

吞入稀土金属的放射性同位素时,可服用草酸盐含量较高的蔬菜如菠菜,也可服用极细的羧基阳离子交换树脂,切忌使用络合剂,因为它们会增加这些同位素的溶解度。

吞入碱土金属的放射性同位素时,因其硫酸盐不易溶解,故可用硫酸镁治疗。因碱土金属在肠胃道中极易被吸收,必须立即治疗。大量服用磷酸钙可以减少铯的吸收。但忌吃奶粉,因它促进这些同位素的吸收。

表11-6长寿命亲骨性同位素在体内的最大容许积存量及表11-7放射性同位素的毒性分组,有助于了解放射性同位素的相对危险程度。

表11-6 长寿命亲骨性同位素在体内的最大容许积存量 (q_m)

放射性同位素 名称	符号	体内最大容 许积存量 / μCi	放射性同位素 名称	符号	体内最大容 许积存量 / μCi	放射性同位素 名称	符号	体内最大容 许积存量 / μCi	放射性同位素 名称	符号	体内最大容 许积存量 / μCi
钍	^{232}Th	30	镭	^{226}Ra	0.02	铯	^{137}Cs	0.05	镉	^{109}Cd	0.04
镭	^{226}Ra	4	镎	^{237}Np	0.05		^{242m}Am	0.07		^{105}Rh	0.04
	^{90}Sr	2	钚	^{239}Pu	0.04		^{243}Am	0.05		^{106}Rh	0.04
铀	^{238}U	100		^{240}Pu	0.04	钷	^{147}Pm	0.04		^{107}Rh	0.01
钷	^{147}Pm	0.1		^{241}Pu	0.04		^{148}Pm	0.05	铊	^{205}Tl	0.02
钷	^{147}Pm	0.1		^{242}Pu	0.9		^{149}Pm	0.04		^{206}Tl	0.04
钷	^{147}Pm	0.1		^{243}Pu	0.05		^{150}Pm	0.005			
钷	^{147}Pm	0.08		^{244}Pu	0.04	铊	^{205}Tl	0.7			

四、对开放型放射性实验室的主要防护要求

对开放型放射性实验室建筑的主要防护要求,应按GBJ8-74第七章的规定,这里着重对小规模第3类工作单位实验室的设计与装备在符合防护要求方面作简要介绍。

放射性实验室应该具有特殊的设计及装备。为确保充分净化起见,墙壁、天花板、门窗都必须平滑不应留有易于贮积尘埃的角、缝。墙壁所用材料应当便于洗涤而不致受到损坏。一切角落、裂缝、设备和墙壁间的空隙都必须仔细堵严,使之无法贮积放射性物质。地面必须平滑、无空隙和裂缝、坚固并易于净化,一般可以用大一些和厚一些的上釉瓷砖来铺,接缝处用石灰填塞好再涂一层硝基纤维漆。电灯、电线应当装在墙壁内以免积聚污垢的尘土。

桌子的工作台面对于保证安全工作具有重大的意义。最好用不锈钢的薄板盖上面,薄钢板前面与左右要带有边缘,并使其稍稍向后倾斜以便使液体流入桌子后面边上的排水沟内,排水沟与桌子应形成一个整体。桌子与地板必须有一定的距离,以便于从桌子下面洗涤或用吸尘器吸出其下面的尘埃。柜子与桌子要少用把手,少用抽屉。把手、门把手以及煤气管、自来水管和真空开关的龙头,都要用易于净化的塑料或金属制造。洗涤池可用不锈钢或上釉的瓷器。

放射性实验室的通风至为重要。通风橱应特别设计,出气道口可以安上一个活动障板,这样可调节通风率。通风橱的工作台面最好也用不锈钢制造,距橱口20cm的地方可划一直线,一切操作应在线的后边进行。橱内前部的左右两端可装两个环形倾泻池,这要比一般设在后面的安全方便。必须保证使用煤气、水、电、真空、导管等开关的便利。现在有两种方法安装这些线路:第一种方法是将一切连接橡皮管的开关和管端装于通风橱的外面;第二种方法是将开关装在外面,而连接的管端则位于橱内。每一种方法都有自己的优缺点,应根据工作的具体条件和种类加以选择。

通风橱应避免空气流的影响,不要安置在强空气流的地方。室内若有两个橱,马达应由一个开关控制,通风橱不用时橱窗应随时关上。如果一个橱通风一橱不通风,则不通风的那一橱的橱窗一定要关好,以避免未通风橱内的沾污空气传布至室内。通风橱的出气道的口,应高出屋顶1.5m至3m,以免沾污空气回入室内(对于规模较大的放射性工作单位,应根据操作性质和特点,将通风系统合理组合,严防污染气体的倒流;排风机应设在靠近排气口一端,而排气口须超过周围50m范围内最高屋脊3m以上)。

通风橱的鼓风机应在屋顶。那么马达与橱间的压力小于大气压,若排气管有漏气的地方,亦不过把空气从外面吸入管内,然后再从管口排出;假若马达设在橱的上面,那么马达以上的压力大于大气压,排气管若漏气,则沾污的空气会从管内漏出而进入室内。并且应该用离心式的马达将它装在管道之外,而不要用轴流式的马达装在管道内,这样可以避免马达不被沾污。

对于放射性同位素的贮存,应使其射线不致对工作人员有害,也不致影响照相胶片或影响计数率。

实验室中的气流应从无放射性的地点或弱放射性的地方通向放射性强的地方。

操作放射性的房间应该聚集在一起,而不操作放射性的房间,如办公室等应该聚集在另一处。

总之,放射性实验室的设计须考虑3个要素:①安全,②经济,③便利,但应以安全为第一要素。在确保安全的条件下,设置一些简单、经济的操作设备是完全必要的,例如手套箱便是这样的操作设备之一。它是一只密闭的金属箱,内装有手套,手可从手套伸入箱内工作,不

致被沾污，放射性物质也不会吸入体内。弱 β 放射体如 ^{32}S 及 ^{14}C 最好在箱内操作。箱内通风的通风机功率可小于1马力，使箱内维持 $(98\sim 19.6)\text{ Pa}$ [$(10\sim 20)\text{ mmHg}$] 的负压。由箱内排出的空气，可先通过滤器再入通风管道。手套箱的优点：一是可局限沾污，二是去污的空间也比用通风橱为小。在更简单的工作中，手套箱也可不通风。

主要参考文献

1. 中国科学院原子能研究所编. 放射性同位素应用知识. 北京: 科学出版社, 1959.
2. 环境保护工作手册编写组编. 环境保护工作手册. 成都: 四川科学技术出版社, 1986.
3. 章仲儒主编. 放射卫生学. 北京: 原子能出版社, 1985.
4. 中华人民共和国国家标准 GB4874, 放射防护规定. 北京: 中国标准出版社, 1974.
5. 中华人民共和国国家标准 GB48703-88, 放射防护规定. 北京: 中国标准出版社, 1988.

第十二章 不幸事故的急救与处理

下述仅供发生不幸事故和发生各种物质中毒时进行急救及治疗的参考。情况严重时,必须立即送医疗单位诊治。

第一节 烧伤的急救

一、一般处置

烧伤包括烫伤及火伤。急救的主要目的在于减轻痛的感觉并保护皮肤的受伤表面不受感染。为此,当灼伤遍及身体表面积过大时,应将伤者的衣服脱掉,用消过毒的布被单包好,各种烧伤的主要危险是患者身体损失大量水分,因此必须给患者大量热的饮料。

对一般烧伤伤员可以口服烧伤饮料或含盐开水防休克。为解除伤员痛苦,可以用针刺止痛,或口服吗啡0.01g或肌肉注射度冷丁(50~100)mg。伤势严重者,应迅速转送医院,但对正在休克期的伤员,不能未作处理即加转送,这会加重休克。对休克伤员最好请医护人员前来抢救。送伤者至医院时要防寒、防暑、防晒,必要时输液。

对四肢及躯干部二度烧伤面积又不太大者,可以用薄油纱布覆盖在已清洗(可先用无菌生理盐水洗后,再用1+2000新洁尔灭冲洗)拭干的创面,并用几层纱布包裹,两三天后即须换敷料,但内层敷料可以不换,特殊情况除外。

凡烧伤面积大,三度烧伤多者,尽可能用暴露疗法,不宜包扎。暴露疗法应在医疗单位进行。下面介绍几种烧伤外用中草药:

1. 轻度烧伤 可用清凉乳剂(消石灰500g加蒸馏水或冷开水四碗,搅拌、沉降,取上层清液和等体积芝麻油混合)涂于伤处,必要时包扎。

2. 二度烧伤 烧伤2号:榆树皮(内皮)粉5份,黄柏粉2份,用80%乙醇浸泡48h后挤出浸液,过滤备用。用法:喷涂于已清洗的创面,然后暴露疗法。

烧伤粉:地榆78%,黄连2%,冰片20%(均为质量分数)均研成细粉,经120目筛过筛,混匀,用时用香油调敷创面。暴露或包扎。

二、化学灼伤的急救

化学灼伤时,应迅速解脱衣服。首先用手帕、纱布或吸水性良好的纸片等物吸去皮肤上的化学毒物液滴,用大量清水彻底冲洗,再以适合于消除这种有毒化学药品的特种溶剂,溶液或药剂仔细洗涤处理伤处。今将一般急救或治疗法列于表12-1。

表12-1 化学灼伤的急救或治疗

单质和化合物	急救或治疗方法
碱类:氢氧化钾、氢氧化钠、氨、氧化钙、碳酸钠、碳酸钾	立即用大量清水作较长时间冲洗,然后用2%乙酸或2%柠檬酸或4%醋酸冲洗;其中对氧化钙的灼伤时,可用任何一种植物油洗擦伤处
碱金属氟化物、氢氰酸	先用高锰酸钾溶液洗,再用氯化铵溶液冲洗

续表

单质和化合物	急救或治疗方法
溴	用1体积(25%)氨十1体积松节油十10体积乙醇(95%)的混合液处理,不可单纯用水冲洗,以免增加水解反应而使损害程度加重
铬酸	先用大量水冲,然后用硫化铵溶液擦洗
氢氟酸	先用大量冷水冲洗较长时间,直至伤口表面发红,然后用 $50\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 碳酸氢钠溶液洗,再以甘油与氧化镁(2:1)悬液涂抹,用消毒纱布包扎
磷	不可将创面暴露于空气或用油质类涂抹。应先以 $30\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 硫酸铜溶液洗净残余的磷,再用(1+1000)高锰酸钾溶液敷,外涂以保护剂,用绷带包扎
苯酚	先用大量水冲,然后再用4体积乙醇(70%)与1体积氯化铁($1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)的混合液洗,或先用大量水冲后,再用50%乙醇冲洗(2~3)次,再用生理盐水冲洗10min,最后用5%碘代酚钠溶液敷(2~3)d
氯化钾、硝酸银	先用水冲,再用 $50\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 碳酸氢钠溶液清洗,涂药膏及磺胺粉
酸类:硫酸、盐酸、硝酸、磷酸、乙酸、蚁酸、草酸、苦味酸	用大量的水冲洗,然后用2%碳酸氢钠溶液冲洗

注:化学灼伤较重者,应及时使用磺胺类抗菌素和抗菌素。

三、眼睛灼伤的处理

眼睛受到任何伤害时,必须立即请眼科医师诊治。但在医师救护前,对于眼睛的化学灼伤的急救应该是分秒必争。若眼睛被溶于水的化学药品灼伤时,应立即去最近的地方冲洗眼睛或淋浴,用流水缓慢冲洗眼睛15min以上,淋洗时轻轻用手指撑开上下眼睑,并嘱伤员眼球向各方转动,再速请眼科医生诊治。如果是碱灼伤时,再用4%硼酸或2%柠檬酸溶液冲洗,冲洗后反复滴氯霉素等微酸性眼药水;而在酸灼伤时,则用2%碳酸氢钠溶液冲洗,并洗后可反复滴磺胺乙酰钠等微碱性眼药水。

第二节 创伤与中毒的急救

一、创伤的急救

用消毒镊子或消毒纱布机械地把伤口清理干净,并用3~5%的碘酒涂在伤口四周。碘酒是消毒的药物,也可使毛细管止血。对于创伤轻的毛细管出血,伤口消毒后即可用止血粉外敷。

不论是毛细管出血(渗出血液,出血少),静脉出血(暗红色血,流出慢)还是动脉出血(喷射状出血,血多)都可以用压迫法止血,压迫在什么位置,看创口部位决定。实验室内应具备急救绷带包。在伤口比较严重、出血较多时,应在四肢伤口上部包扎止血带止血,并用消毒纱布盖住伤口,仍大量流血时特别是动脉出血应迅速送医疗单位治疗。

用止血带止血应注意每1h(上肢)或2h(下肢)必须放松1次,每次放松(1~2)min,此时用指压法止血,冬天气温低血液循环慢时0.5h就要松1次,放松要慢。

应强调指出,分析室对于创伤的止血,只能是做一些送医务室前的准备,除小伤之外,一般都应由医务人员处理为宜。

二、中毒的急救

对中毒者的急救,主要在于把患者送往医疗单位或在医生到达之前,立即将患者从中毒物质作用区域移出,并设法排除其体内的毒物,如服用催吐剂,洗胃,洗肠,或者迅速用“解

毒剂”以消除消化器官内毒物的毒害。同时必须十分注意维持患者最重要生理系统和器官的活动,因为各种毒物对于心-血管系统和呼吸器官经常都会带来严重的影响。如果是呼吸失调和停顿,立即施行人工呼吸和使用各种刺激呼吸中枢活动的药剂,例如让患者吸入含有5%二氧化碳的氧气;如果是心脏活动失调时,必须给患者皮下注射(2~4)ml消毒樟脑油或毛地黄注射剂。对于一些常用洗胃、催吐、催泻、吸收毒物、解毒、中和或缓冲毒物、止痛、强心用等药剂,参见本章第四节。

表12-2列举某些毒物中毒时的急救法和治疗法。表中所用药物均是医学上所用,切忌用化学试剂代替,特别是内服药;急救和治疗一般均应由医务人员进行。因农药引起的中毒,其急救常用药品列于表12-3。

表12-2 某些毒物中毒时的急救和治疗

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
氯	主要通过呼吸道和皮肤黏膜对人体发生中毒作用 刺激眼结膜,流泪、羞明 鼻咽黏膜发炎、喉干、咳嗽、打喷嚏;呼吸道损害,窒息、冷汗,脉搏虚弱甚至肺水肿,心力逐渐衰竭而死亡	①立即离开有氯气的场所,脱去被污染的衣服 ②静脉注射5%葡萄糖(40~100)ml ③眼受刺激用2%苏打水洗眼;咽喉炎可吸入2%苏打水热蒸气 ④重症者保温,吸氧,注射强心剂,但禁用吗啡 ⑤开发肺炎时,应用抗菌素药剂
一氧化碳及煤气	由呼吸道经肺脏吸收而进入血液,很快形成碳基血红蛋白,使血色丧失运输氧的能力 轻度中毒:头痛、眩晕,有时恶心、呕吐、疲乏无力,精神不振 中度中毒:除上述症状外,迅速发生意识障碍,全身软弱无力,甚至有肢体瘫痪现象,意识不清,逐渐加深而致死 重度中毒:迅速陷入昏迷,很快因呼吸停止而死亡,有时还出现中枢神经系统各种损害症状,如各种瘫痪及肌肉控制力消失,失语症,癫痫等 中毒时全身皮肤常呈鲜红色,时间长者也可发绀(皮肤带有一点红的黑色)	①立即将患者移至新鲜空气处,保暖不使受寒,禁用兴奋剂 ②呼吸衰竭者,应立即行人工呼吸,并给以含5%~7%二氧化碳的氧气 ③输入5%葡萄糖盐水(1500~2000)ml ④定期静脉注射1%重甲蓝的葡萄糖溶液(30~50)ml ⑤发生呼吸循环衰竭者,同时注射盐酸山梗菜碱,尼可刹米,樟脑等强心剂 ⑥急性重症中毒者,迅速放血(200~400)ml,必要时输入等量新鲜血液 ⑦重症中毒者,可用抗菌制剂预防感染
硫化氢	经由呼吸道侵入,与呼吸酶中的铁质结合使酶活性减弱,并引起中枢神经系统中毒 轻度中毒:头晕、头痛、恶心、呕吐、倦怠、虚弱、结膜炎,有时会发生支气管炎,肺炎肺水肿,尿中出现蛋白 中度中毒:呕吐、冷汗、肠绞痛、腹泻、小便困难、呼吸短促、心悸,并可使意识突然丧失、昏迷、窒息而死亡	①立即离开中毒区 ②呼吸治疗并注射呼吸兴奋剂如尼可刹米、盐酸山梗菜碱等 ③重症:注射0.1%阿朴吗啡1ml催吐 ④开发支气管炎及肺炎者,应对症治疗,同时用抗菌素药剂 ⑤眼受刺激时,立即用2%苏打水冲洗,稀敷剂和碳酸液和敷稀布
二氧化硫及三氧化硫	经由呼吸道侵入 粘膜损害:有强烈的刺激作用,结膜炎、流泪、流涕、咽干、咽喉等 呼吸道损害:气管、支气管炎 重度中毒:咳嗽、压迫感及胸痛、谷咽困难、急性支气管炎、发绀、肺水肿甚至死亡	①立即离开中毒环境,呼吸新鲜空气,如发现肺水肿应输氧气 ②服碳酸氢钠或乳酸钠治疗酸中毒 ③眼受刺激时,应充分用2%苏打水洗眼
氮的氧化物(主要成分为NO、NO ₂ 及硝酸蒸气)	通过呼吸道对深部呼吸器官起损害作用 刺激眼结膜、口腔、咽喉粘膜肿胀充血,能引起呼吸道的刺激症状和炎症,可能发生不同程度的支气管炎、肺炎、肺水肿,严重者导致肺坏疽 由于“NO”-OH对血红蛋白作用而形成变性血红蛋白,出现口唇指甲发绀、全身衰弱、眩晕等症 由于损害神经系统,故吸入高浓度的氮氧化物时可迅速出现窒息现象而很快死亡	①迅速离开中毒地点,并保持绝对安静,甚至中度中毒时亦应如此 ②呼吸新鲜空气,必要时吸入氧气 ③立即静脉注射50%葡萄糖(20~40)ml ④发绀并有静脉充血时,为防止发生肺水肿,可放血(250~300)ml,禁用吗啡 ⑤继发肺部感染时,用抗菌素药剂 ⑥对症处理,如止咳剂、镇静剂

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
氧化亚氮 (笑气)	经呼吸道吸入, 对中枢神经系统起兴奋麻醉作用 耳鸣, 狂妄状态、因麻醉而失去知觉, 全身青紫, 严重者由于呼吸停止而死亡	①迅速离开中毒场所 ②行人工呼吸并使之吸入含5%~10%氧化亚氮的氧气 ③静脉注射50%葡萄糖溶液 ④皮下注射中枢兴奋剂安钠加或盐酸山梗菜碱
盐酸	经过呼吸道及皮肤 很少发生严重的化学性炎症现象; 急性者刺激黏膜和皮肤, 喉头有灼热感及刺痛, 结膜发炎及角膜上皮脱落	①如系皮肤与盐酸接触, 则迅速用水冲洗几次即能免除刺激性症状 ②误吞时, 首先必须洗胃, 洗胃后内服氧化镁乳剂或橄榄油
亚硝酸 (或亚硝酸盐)	经过呼吸道吸入, 也可从皮肤渗入 急性中毒, 轻度者有黏膜刺激症状, 唇正紫、头痛、眩晕、四肢无力、胸部压迫感、恶心、呕吐、心悸、血压上升、气喘、瞳孔放大, 严重者则呼吸不规则、意识逐渐昏迷、死亡性痉挛, 角弓反张, 大小便失禁, 全身反射消失, 皮肤黏膜出现鲜红色, 血压下降, 可迅速发生呼吸障碍而死亡, 急性中毒治愈后, 还可发生许多神经系统后遗症	①急性中毒时应立即移出毒区, 脱去衣服, 予以人工呼吸 (不可用口对鼻的人工呼吸, 以防中毒) ②呼吸困难, 令吸入氧气或含5%~10%二氧化碳的氧气, 注射尼可刹米、盐酸山梗菜碱等呼吸兴奋剂 ③首先给予高铁白色素形成剂, 如吸入亚硝酸异戊酯0.5ml, 或静脉注入1%美蓝 (即亚甲蓝) 的25%葡萄糖溶液 (30~50) ml, 或注射新配制的 (1~2)%亚硝酸钠溶液 (5~15) ml, 并同时静脉注射50%葡萄糖注射液 (25~50) ml ④为有助于毒物排出, 每隔 (2~3) h 静脉注射50%葡萄糖 (20~40) ml ⑤内服毒物时, 除以上急救方法外, 还用2%小苏打溶液或 (1:5000) 高锰酸钾溶液洗胃, 同时用1%阿朴啡0.5ml 催吐 ⑥皮肤黏膜受刺激时, 用2%小苏打溶液或清水多次冲洗
氯氟醚 (或氟化物)	可由呼吸道、胃肠道或皮肤侵入人体, 使牙齿、骨骼、造血、神经系统受损害 接触氯氟醚蒸气, 可出现皮肤发痒、疼痛、湿疹、各种皮疹, 指甲上呈现黄色、青色斑点, 直接接触氯氟醚则使其深入皮下组织及血管, 化脓坏死, 极难治愈 吸入氯氟醚蒸气时, 可刺激黏膜而引起支气管炎 长期接触的慢性中毒者, 全身骨骼均可受侵害, 或者骨质疏松变形 (即所谓氟骨病) 甚至发生自发性骨折, 血液中色素和淋巴细胞百分比增加, 而颗粒白血球减少, 甚至全部消失, 并可发生植物神经系统各种症状, 严重者可以引起中枢性肺炎 服用时可引起高热, 全身发紫, 四肢麻木, 肌肉痉挛, 恶心、呕吐、腹泻、严重者心脏活动衰竭, 甚至虚脱	①当触皮肤时, 迅速用稀氨水或清水冲洗及必要的外科手术 ②误服中毒者, 用2%氯化钙或稀氨水 (200~300) ml 洗胃, 并服磷酸可待因止痛, 腹部热敷等 ③静脉注射10%葡萄糖酸钙或注射10%氯化钙10ml, 每日3次 ④呼吸循环衰竭时, 立即吸氧, 注射兴奋剂如尼可刹米、咖啡因等, 有气喉者, 静脉注射10%氯化钠溶液 (5~10) ml, 隔日一次 ⑤慢性中毒及骨髓、神经、造血系统受损害者, 应长期治疗
氨	可由呼吸道、消化道及皮肤黏膜侵入人体 严重刺激眼、口、喉、肺、咳嗽, 声音嘶哑, 胃带水样, 呼吸困难, 胸痛, 严重时可见肺水肿, 心力衰竭, 或窒息而死亡, 皮肤接触氨水时, 可以引起化学灼伤, 红肿、起泡、糜烂, 严重时, 口度糜烂, 食道黏膜受腐蚀而引起剧烈疼痛, 呕吐、血性痰等	①如系吸入氨而中毒者, 应立即离开中毒场所, 经皮肤接触氨而中毒者, 立刻用水或稀醋酸充分洗涤, 因误食中毒者, 可谨慎洗胃 ②内服稀醋酸、酸果汁、柠檬汁或2%稀盐酸 ③畏服者, 可打服蛋白水、牛乳、橄榄油, 并对症治疗, 如止痛等 ④喉水肿呼吸十分困难时, 宜作气管切开

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
钾及钾化物	可由呼吸道、消化道及皮肤侵入人体。缓慢中毒可使消化系统及神经系统均受损害。 钾化物蒸气吸入可发生黄疸、肝硬变、肝脾肿大等。 吸收三氯化钾或钾化氯蒸气时, 剧烈刺激鼻咽喉黏膜, 咳嗽、气喘、呼吸困难、眼结膜角膜炎。 误服急性中毒者, 恶心、呕吐并带血, 腹泻并混有大量粘液和血液, 剧烈头痛, 很快心力衰竭, 尿闭死亡。	①吸收钾化物蒸气而中毒者, 立即离开现场, 呼吸含5%二氧化碳的氧气或新鲜空气。 ②误服急性中毒者, 需立即用炭粉、硫酸铁或氧化铁悬液洗胃, 并注射解毒剂——稀苯氧醇(RA11) 每日2~4次肌肉注入, 每次2ml, 或者注射二巯基丙磺酸钠或二巯丁二钠, 对症治疗。 ③无论是急性误服或慢性积累使消化呼吸系统中毒时, 应静脉注射葡萄糖、氯化钙或生理盐水。 ④鼻咽喉损害, 用1%可卡因涂局部, 含碘片或1%~2%苏打水含漱或灌洗。 ⑤皮肤受损害时, 涂以氧化锌或硼酸软膏, 有浅表溃疡者, 应定期换药防止化脓。
硒、碲	经由呼吸道和消化道侵入人体。 硒、碲及其化合物蒸气吸入或误服时, 呼吸有大蒜样臭味, 精神不振, 嗜睡, 鼻咽喉有刺激作用, 也可发生恶心、呕吐、腹痛、腹泻、便秘等。	与砷同, 并给以利尿剂。
铊及铊化物	铊的粉尘、蒸气和烟雾能通过呼吸道吸入而中毒; 液体铊化物由消化道或皮肤吸收侵入人体。 急性中毒: 主要引起肠胃与肝脏损害, 误服后口腔有灼烧感, 恶心、呕吐, 吐中物呈黑色, 便秘, 呼吸气中有蒜臭, 一两周后可出现黄疸, 肝肿大, 有压痛, 也可发生咯血、便血、血尿、鼻出血等出血症状, 严重者神经系统中毒, 嗜睡、昏迷, 心率不齐, 呼吸衰竭, 可致死亡。 慢性积累性中毒, 使骨骼系统受损害, 因铊侵入人体后沉着于骨组织, 致骨质疏松、骨髓炎、骨质坏死, 甚至成缺血性。铊化物蒸气能刺激眼结膜, 并使皮肤产生各种程度的化学性灼伤。	①误服铊中毒者, 迅速用0.1%硫酸铜溶液催吐并洗胃, 也可同时用(1+2000)高锰酸钾溶液洗胃。 禁用油类泻剂, 可用缓泻剂, 如硫酸镁。 ②静脉输入5%葡萄糖盐水(1000~2000) ml。 ③肝脏受损时, 大量注射50%葡萄糖与维生素B、C、K等, 也可同时注射少量胰酶(4~8u) 保护肝脏。 ④有呼吸与心脏衰竭时, 用安钠加、尼可刹米、盐酸山梗菜碱等兴奋剂。 ⑤患粘膜炎者, 用2%小苏打溶液洗眼多次。 ⑥铊中毒应严格禁食脂肪、油腻饮食。
二硫化碳	通过呼吸道然后被血液吸收而进入人体, 或接触皮肤渗透吸收。 急性中毒: 头痛、急躁、多言、踉跄、精神失常、肌肉僵硬, 继而昏迷人事, 死亡。 慢性中毒: 为神经系统障碍, 如疲乏、头昏、失眠、记忆力丧失, 视觉混乱甚至失明, 实际上所有神经系统, 都能受它的影响。	①急性中毒者, 应立即移出毒区, 行人工呼吸和输氧, 给以饮料咖啡等, 并对症处理。 ②慢性中毒者, 应给高度维生素量的饮食并以维生素B作补充。 ③对慢性中毒, 须经过神经科、眼科医疗才能恢复痊愈。
溴及溴化物	主要通过呼吸道吸入引起中毒, 吸入溴蒸气后立即咽喉发干, 疼痛, 不断咳嗽, 粘膜发红, 流泪, 口腔粘膜染成褐色, 大量流涎, 呼出的气体中有臭味, 严重者发生气喘, 呼吸困难, 有时小叶肺炎, 甚至休克或虚脱。 溴直接侵害皮肤, 或因吸入中毒时, 均可发生各种皮疹, 剧烈发痒, 也可伴发全身症状。 内服过量溴化物时, 失去反射作用, 昏迷, 人事不省。 误吞服时, 舌和口内粘膜均呈褐色, 全部胃肠道剧疼, 呕吐、泻肚, 全身青紫, 虚脱。	①急性中毒, 需立即离开现场, 吸入新鲜空气、水蒸汽和氨的混合物, 严重者需吸入含二氧化碳5%的氧气。 ②大量饮温水, 内服牛奶, 喝冰块或冰水。 ③静脉注射生理盐水至少(1500~2500) ml。 ④呼吸道刺激时, 用苏打水喷雾吸入。 ⑤误吞服时用0.5%硫代硫酸钠溶液洗胃, 服用淀粉糊剂、氧化镁、碱性饮料, 其他同①~④条。
碘	通过呼吸道吸入碘蒸气时, 呼气有特殊臭气, 流鼻涕, 发干, 咽喉部有异物感, 咳嗽, 呼吸困难等。 刺激眼粘膜产生结膜炎、皮炎, 并发生各种类型皮疹。 如果误用碘酊, 口内粘膜灼伤并呈褐色, 眼部红肿, 呕吐物呈暗黄色或蓝色, 上腹部疼痛, 腹泻有时带血, 常常有血尿、虚脱, 并可并发肺炎、支气管炎及出血性肾炎等。	①吸收碘蒸气中毒者, 立即离开毒区, 呼吸新鲜空气、水蒸汽和苏打溶液的混合物。 ②误服中毒者, 用0.5%硫代硫酸钠溶液洗胃, 多喝水, 服用淀粉糊剂、氧化镁、碳酸氢钠, 注射强心剂。 ③对症治疗, 如贫血时治疗贫血等。

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治法
汞及汞盐	经由呼吸道、消化道及皮肤直接吸收侵入人体 急性中毒：严重口腔炎、流涎、口腔金属味、恶心呕吐、腹痛、腹泻、全身衰弱、尿含蛋白质、尿量减少或尿闭，很快死亡 慢性中毒：消化系统和神经系统受损害，发生牙龈的疾患、牙龈带青色或出血、消化不良、贫血、腹痛、腹泻、肝肿大、神经失常、记忆力丧失、头痛、骨节痛	①急性中毒时，用活性炭，悬液或活性炭粉，或高压灌肠 ②立即注射二巯基丙醇(BAL)，每日2~4次，50%葡萄糖液(20~40)ml，多次静脉注入 ③用硫酸镁(20~40)g作泻剂，每日1~2次 ④慢性中毒者，静脉注射10%硫代硫酸钠20ml，每日注射2次，(10~15)次为一个疗程 ⑤发生尿毒症现象，须注入大量生理盐水，放血，并注射强心剂 ⑥植物神经障碍显著者，静脉注射10%氯化钙，每日10ml，(10~12)次为一个疗程 ⑦口腔炎用0.25%高锰酸钾或3%过氧化氢溶液含漱与冲洗 ⑧坐浴疗法：①5%二巯基丙磺酸钠3ml，每日肌肉注射2次，连续(3~7)d，急性中毒时，第1昼夜(3~4)次，第2昼夜(2~3)次，第3~7日每日1~2次 ②二巯基丁二酸钠1g，每日静脉注射1次，连续3天，急性中毒时每日可给1g~2g分2次注射，连续3d~5d
铀及铀化合物	由呼吸道及皮肤黏膜侵入人体 吸入氧化铀粉尘蒸气可引起“金属热”，数小时后出现咽喉疼痛感，口腔内有甜味、头痛、肌肉疼痛、全身疲乏、发热、寒颤、阵发性咳嗽、呼吸困难，持续1d~2d，有时并发支气管炎 消化系统受损害时，有恶心、呕吐、腹痛、腹泻，并能引起胃炎或使溃疡病恶化 皮肤黏膜直接接触氧化铀或硫酸铀溶液时，可产生灼伤感、疼痛，甚至产生肉眼微疮、鼻中隔糜烂穿孔等	①轻者不需治疗，只需安静休息，大量饮水，禁忌酸的含有二氧化铀的饮料 ②急性中毒者可用4%小苏打溶液或0.2%碳酸氢钠洗胃 ③注射生理盐水(1000~1500)ml ④对症治疗
钡及其化合物	由呼吸道侵入人体 急性中毒：喉头和眼睛刺激感、头痛、头晕、咳嗽、呼吸困难等，严重者可发展为支气管肺炎或肺气肿 慢性中毒：接触后(5~8)a，以肺气肿、肾功能损害为主	①应着重防治肺水肿的发生 ②早期可给予大剂量肾上腺皮质激素 ③用乙二胺四乙酸二钙钠驱钡 ④慢性中毒，增加营养，给予维生素D(每日口服2万单位，何时每周注射6万u)及钙剂
钋及其化合物	钋系经由呼吸道或消化道进入人体 口腔内有甜金属味、口腔炎、流涎、牙龈边缘发青(PtS)，恶心呕吐、肠绞痛，同时伴有肝肿大、疼痛，有时出现黄疸，五者脉率减少，血压升高，尿量减少甚至尿闭 慢性钋中毒引起贫血，痉挛性便秘，肢体麻痺瘫痪及各种精神症状，甚至昏迷致死	①离开有毒区 ②用硫酸钡(25~33%)或硫酸钠口服，每周2~3次，每日静脉注射10%硫代硫酸钠10ml ③肠绞痛者用葡萄糖钙(10~20)ml静脉注射或用0.2%硫酸阿托品、吗啡等皮下注射 ④钋中毒性脑病需经常注射50%葡萄糖溶液 ⑤合适的饮食为治疗钋中毒最为有效的方法，例如加强营养蛋白质饮食，每日给以大量维生素B、维生素C制剂 ⑥驱钋疗法：用络合剂治疗钋中毒 ⑦乙二胺四乙酸二钙钠，每日1g于250ml 5%葡萄糖溶液内，用静脉滴注，3d~7d为一个疗程，休息3d~5d再继续第2个疗程，可连续(3~3)个疗程 ⑧二巯基丁二酸钠每日1g，静脉注射1次，连续3d为一个疗程，停3d~4d，再继续第2个疗程
锑化合物	通过呼吸道和皮肤侵入，吸入含锑化合物的粉尘或溶液飞沫可使口腔、鼻咽黏膜发炎，严重者形成溃疡(鼻隔穿孔)，甚至嗅觉减退或完全丧失 皮肤接触，最初出现发痒红点，以后侵入深部，继之组织坏死，愈合缓慢；严重时消化系统有烧灼感，口腔黏膜增厚与水肿，呕吐，有时带血，上腹疼痛，肝肿大，严重者与食道狭窄	①皮肤损害时，先用清水或1%~2%苏打水多次冲洗，再涂以磺胺或硼酸软膏 ②鼻咽黏膜损害，可用清水或苏打水灌洗，或用硼酸水或苏打水喷雾或含漱 ③严重急性中毒时，用温热水7L~10L少量多次洗胃，也可用小苏打或其他弱碱性溶液灌洗，洗胃后内服氧化镁乳剂或橄榄油 ④食道狭窄的病变，应用营养高的液体食物保证入量 ⑤对症治疗

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法与治疗方法
锰化合物	主要以粉尘形式由呼吸道进入人体。主要症状为精神与神经紊乱,如头痛、精神紧张、失眠、多梦、记忆力减退、继之以帕金森综合征,如动作迟缓、肌肉僵硬、震颤、步态障碍、感觉异常等。	①发现有锰中毒者应停止接触有关工作。 ②给予阿托品、氯喹啉或苯胺类药物使用,每日3~4次,每次用10~20mg。 ③大量注射维生素B ₁₂ 。 ④多服维生素E,用乙二胺四乙酸二钠。
镍及镍化合物	通过呼吸道与皮肤接触侵入人体。口中金属味、咽喉、食道和胃内烧灼感、恶心、呕吐、食欲不振、便秘或腹泻、冷汗、发冷、虚弱、呼吸困难、胸痛、严重者可能窒息而死。刺激皮肤和黏膜,皮肤有搔痒、发红、湿疹、水泡等,刺激眼睛可发生结膜炎与角膜炎。急性中毒时还可出现头晕、发热、发冷、四肢无力、精神疲倦等全身症状。	①急救中毒者应立即用1%碳酸氢钠溶液洗胃,内服1%~3%稀醋,吞冰块,内服稀米汤、蛋清水等。 ②内服解酸药或解酸药(10~20g)或制水有虚脱、全身衰竭者,用安眠药、樟脑磺酸钠,足量利米等中枢兴奋剂注射。 ③肌肉注射二巯基丙醇(DMSA),用量以每公斤体重为(2~3)mg计算,最初每4h一次,以后视病情减少注射次数,按病情延用(7~14)d。 ④接受、可局部注射3%二巯基丙醇油膏,如中毒,用3%二巯基丙醇水溶液洗眼。
铊盐	通过消化道吸收或经皮肤黏膜吸收。铊盐有可溶性铊盐进入人体。可溶性铊盐后消化道有灼热感、恶心、呕吐、泄泻、腹痛、肠麻痹、血压下降、致心律失常而死亡。表现在神经系统受累者,头痛、头昏、视力减退、全身无力、麻木,也可发生惊厥或各种程度的意识障碍,甚至昏迷致死。	①急性中毒时,立即用1%硫酸铜溶液洗胃,按剂量为可溶性铊盐。 ②口服二巯基丙醇或二巯基丙醇(20~30g)。 ③发生心力衰竭时,注射安钠加或樟脑磺酸钠,足量利米等兴奋剂。 ④慢性中毒主要是乏力、肌痛、肌无力、每1(3~5)g,新近用1(1mg)每1(1)~0.3mg,内服或注射。 ⑤中毒后立即用升压药。 ⑥产生气急、呼吸困难的吸氧,并肌肉注射解酸药。 ⑦皮肤与黏膜治疗为口服海狗油25mg,1~3次,或静脉注射15%氯化钠10ml,1d为一疗程。 ⑧本症治疗,如有出血时按出血治疗。
铍及其化合物	主要是通过皮肤接触,引起皮肤过敏反应。局部有刺痒感,然后出现丘疹、脓疱、红斑。	①立即停止接触,并给于抗过敏药物、维生素C及维生素E。 ②局部可用0.5%二巯基丙醇液。
铈及其化合物	主要通过消化道、呼吸道及皮肤吸收。铈盐大剂量,12~24h后发生恶心、呕吐、腹痛、腹泻,中毒量较小,发生多发性神经炎、周围神经炎、四肢感觉异常,以及贫血、脱发等。慢性中毒:全身乏力、肢体疼痛及脱发。	①从眼中中毒者,服1%硼酸或硼化钠100ml,然后洗胃。口服铈盐,再用1%硼化钠250mg/kg,分4次口服,每次溶于15%甘露醇200ml。 ②严重中毒可用换血疗法或透析疗法。 ③慢性中毒可用维生素E、维生素C、维生素B ₁₂ 、维生素B ₆ 等含氮氨基酸。
钡化合物	主要通过消化道进入人体。钡盐中毒及钡化合物对发生急性肠胃炎,以黏膜呈灰白色,呕吐物呈灰白色,有时有头痛、胸痛、烦躁等神经症状,严重时可见四肢麻木。	①急性中毒者用2%氯化钠或氯化钙溶液洗胃。 ②内服蛋清水、牛奶、稀米汤、用牛奶咖啡或法洛溶液。 ③内服2%氯化钙或1%~2%氯化钾,每(1~2)~(3~5)ml。 ④严重时伴有安钠加和樟脑磺酸钠注射。
乙炔 (C ₂ H ₂)	通过呼吸道进入人体。大都由于乙炔在密闭空间产生毒性反应,主要表现为中枢神经系统受损害,如昏迷、抽搐、多汗、嗜睡、走路不稳等,严重者意识障碍、呼吸麻痹、发绀、瞳孔反应消失、昏迷、脉搏微弱或不正常,也表现为精神紊乱等症。	①将患者立即移至新鲜空气处,保持温暖及安静,必要时使之吸入含5%二氧化碳的氧气。 ②严重中毒者用水合氯醛或副醛(4~6)ml灌肠。 ③注射中枢兴奋剂,如安钠加、樟脑磺酸钠等。
光气 (COCl ₂)	主要通过呼吸进入人体。光气反应缓慢,往往数小时后症状突然加重,所以很危险。初期仅有刺激气管、支气管刺激症状,如干咳等,随后,皮肤黏膜发绀,强烈肺水肿,呼吸困难甚至窒息,鼻翼煽动,口吐血性泡沫,同时可见皮肤黏膜扩张,脉搏快速,血压下降,继而心脏心力衰竭而死亡。	①使中毒者平卧位,以减少氧气的需要量,注意通风,但需保暖。 ②不可进行人工呼吸,应使立即吸入氧气或5%二氧化碳吸入。 ③立即注射5%~10%氯化钠或10%葡萄糖50~100ml,以纠正肺水肿。此后尚需继续注射葡萄糖盐水。 ④心力衰竭者给予强心剂,而非因缺氧引起。应用强心剂,如强心苷类,如地高辛、洋地黄等,应用强心剂,如地高辛。

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
氯甲烷 (CH_3Cl)	主要由呼吸道吸入 急性中毒: 头痛、眩晕、恶心、视力模糊、语言障碍、精神错乱等, 严重时尚有抽搐、不安、抽搐、血压升高、昏迷、呼吸中有烂肉气味。尿中可出现蛋白, 甚至少尿、尿闭。 慢性中毒: 困倦、头痛、情绪不稳定等神经衰弱或麻痹等表现。	①迅速将患者移至新鲜空气处, 注意保暖安静, 部分患者可在短时间内恢复健康。 ②给予吸氧, 至患者呼出气体无烂肉气味为止。 ③对症处理, 并特别注意防治酸中毒和肺水肿。有烦躁或抽搐, 可用巴比妥类镇静剂, 而不宜采用水合氯醛及氯仿, 避免抽搐及脂肪。
三氯甲烷 (CHCl_3)	主要通过呼吸道吸入 急性中毒: 刺激黏膜, 流泪、流涎, 类似酒醉、呕吐、瞳孔缩小, 严重时瞳孔散大, 对光线没有反应, 脉搏微弱而数稀, 面色青白, 呼吸微弱, 体温下降, 呼出的空气有氯仿气味。 慢性中毒: 消化不良, 体重减轻, 失眠, 精神紊乱。 误服者: 呕吐、赤痢、黄疸, 呼吸衰竭, 失去知觉, 脉缓, 血压下降。	①将患者立即移至新鲜空气处, 保持温暖和安静。 ②施行人工呼吸和输含5%二氧化碳的氧气。 ③静脉注射2L加热到40℃左右的生理食盐水。 ④肝型中毒者可加安钠加、樟脑磺酸钠等。 ⑤误服者先洗胃, 服活性炭, 施行人工呼吸, 注射阿托品与肾上腺素, 安钠加、樟脑磺酸钠, 并静注注射20ml 40%葡萄糖溶液, 同时或复注射5个单位的胰岛素。
四氯化碳 (CCl_4)	通过呼吸道吸入中毒 主要引起肝、肾以及神经系统的损害。 刺激鼻、眼和喉, 头痛、头晕、呕吐、视力紊乱、腹泻、吐血、便血, 有时出现黄疸、肝肿大、肾炎、重症者有尿量与尿毒症出现, 脉搏虚数, 意识不清, 嗜睡, 有时也早醒、幻觉等。兴奋状态, 可引起各种皮炎。	①急性中毒者, 应立即施行人工呼吸, 吸氧, 必要时注射吗啡可待因等镇痛剂。 ②有肝脏损害时, 用高糖、低脂肪、肉类蛋白质、高维生素饮食, 同时给予胆碱、维生素B、维生素K。 ③全身症状严重者, 可以使用10%葡萄糖酸钙静脉注射或静脉输入10%葡萄糖溶液。 ④禁用磺胺药及肾上腺素。
1,2-二氯乙烷 ($\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$)	通过呼吸道吸入, 也能通过完好皮肤吸收中毒。 主要引起内脏与神经系统损害。 急性中毒: 患者有头痛、嗜睡、恶心、呕吐、鼻塞、咽喉黏膜轻度刺激症状, 面部发红, 严重者则全身无力、眩晕、剧烈呕吐、上腹部疼痛, 肝肿大, 心悸、血压增高, 全身解痉, 甚至昏迷而死亡。 慢性中毒: 持续性头痛、疲乏、恶心、咽喉黏膜与呼吸道出血, 一般尚有肝脏症状, 皮肤长期接触可产生皮炎, 甚至坏死。 误服者: 昏迷, 不断呕吐胆汁, 有时带血, 肝肿大, 有时带胆汁, 呼出气体有氯仿、醛类, 失去知觉, 虚脱, 由于心衰竭而死亡。	①急性中毒应立即施行人工呼吸, 吸氧, 必要时注射强心剂。 ②有肝脏损害时, 用高糖、低脂肪、肉类蛋白质、高维生素饮食, 同时服用吗啡、维生素B及维生素K。 ③全身症状严重者, 尚可用10%葡萄糖酸钙静脉注射。 ④慢性中毒时按慢性肝损害治疗。 ⑤误服时: 洗胃并用强碱冲洗, 使患者吸入含5%二氧化碳的氧气, 保暖, 静脉注射10ml 10%氯化钙溶液或10~20ml 40%葡萄糖溶液, 必要时注射安钠加和樟脑磺酸钠。 ⑥禁用磺胺药及肾上腺素。
乙烯 (C_2H_4)	经由呼吸进入人体, 症状同一氧化碳。	同一氧化碳。
氯乙烯类: 氯乙烯 ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) 氯乙烷 ($\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl}$)	通过呼吸进入人体, 两者都有强烈的麻醉作用, 尤以氯乙烯对人的毒性最大。 氯乙烯易引起三叉神经麻痹, 表现为面部感觉麻木, 角膜损伤, 视神经受损, 出现视力下降, 有时还可引起上肢麻木, 无力, 疼痛等多发性炎症, 慢性中毒者, 除上述症状外, 还可产生头痛、眩晕、烦躁、癫痫, 患者也可发生抽搐、昏迷而致死。 呼吸系统受害: 喉部充血、咳嗽、胸痛等。 消化系统受害: 恶心、呕吐、剧烈腹痛等。	①中毒后应立即移出毒区, 吸入氧气或含5%二氧化碳的氧气。 ②静脉注射10%葡萄糖酸钙(10~20)ml, 或静脉注射50%葡萄糖(40~60)ml。 ③为眼肌酸痛, 每日4g~8g, 连服3d以后, 每日1g~4g; 乳酸钙或葡萄糖钙每日(4~8)g。 ④对症治疗止痉剂、止吐剂、止咳剂、镇静剂等。 ⑤出现神经麻痹感觉障碍者注射维生素B₁, 每日(50~80)mg; 维生素B₁₂, 每日(100~300)μg; 有运动障碍者, 注射新斯的明0.5mg, 每日1次, 或1%地匹哌1ml, 每日1次。
甲酸 (HCOOH)	经由呼吸且或与皮肤接触而产生毒害。 急性中毒: 流泪、急性结膜炎、鼻炎、咳嗽、支气管炎、肺受刺激、喉内压迫、头痛等。 慢性中毒: 视力减退、手指变褐色、指甲疼痛。 皮肤接触时引起各种皮炎。	①急性中毒时吸入氧气, 注射葡萄糖。 ②用稀的乙酸液或3%碳酸氢钠溶液洗胃。 ③黏膜受刺激后, 用2%小苏打水洗眼或喷雾吸入。 ④皮肤损害时, 用氯化钙、硼酸软膏等治疗。

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
乙醛 (CH_3CHO)	经由呼吸道或与皮肤接触而产生毒害。 急性中毒：鼻腔、咽喉的刺激症状，嗅觉丧失，严重者可有胸闷、气急、剧烈咳嗽，咯泡沫痰等支气管炎或肺水肿的症状，也可有头痛、嗜睡，甚至神志不清。 慢性中毒：红听、记忆力减退，步态不稳和食欲丧失等。	①将患者尽快移至新鲜空气处，以5%碳酸氢钠溶液雾化吸入。 ②有肺水肿，可静脉注射速尿或利尿酸。 ③支气管炎者可注射氨茶碱。 ④误服者，可用2%碳酸氢钠溶液或活性炭洗胃。 ⑤皮肤接触可以用大量清水冲洗。
丙酮 (CH_3COCH_3)	主要通过呼吸进入人体。 轻度中毒：眼及上呼吸道粘膜受刺激，如流泪、流涕、畏光，呈现麻醉作用，感觉头痛。 重度中毒：眩晕、嗜睡、痉挛，尿中出现蛋白和红细胞。	移往新鲜空气处休息。
甲醇 (CH_3OH)	通过呼吸道或皮肤吸收中毒。 吸入蒸气中毒：主要为神经系症状：剧烈头痛、头昏、恶心、耳鸣、视神经受损害最明显，视力模糊，或者可以完全失明。 误服中毒：(5~10) ml即可产生严重症状，恶心、呕吐，全身皮肤产生显著青紫，呼吸逐渐困难，脉搏弱而快，四肢痉挛，重者即很快呼吸停止而死亡。	①急性误服中毒者，立即洗胃，吸入氧气，放血并输入生理盐水或葡萄糖盐水，也可静脉注入1%亚甲蓝溶液 (5~10) ml，或肌肉注射高锰酸钾溶液 (5~10) ml。 ②维持血液的 pH 值，内服大量的碱性水饮料，静脉注射3%小苏打溶液 (50~60) g，以后每小时注入 (7~10) g。 ③神经系统症状明显者，用多次腰椎穿刺，减轻脑水肿，同时须注射维生素 B ₁ 、B ₂ 、烟酸、维生素 C 等。 ④吸入蒸气中毒者，应立即移出毒区，除上述治疗外，注射解毒剂。
乙二醇 ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$)	主要通过消化道。 开始时无害，经 (4~6) h 后，胸下部疼痛，呕吐，非常渴，腰痛，知觉模糊，兴奋，面部和结膜充血，肌僵硬，排泄大小便失去控制能力，心脏活动下降，尿出现强烈酸性反应与蛋白，尿沉内有红细胞和非典型的草酸盐晶体。	①先洗胃，必要时放血，并服用碱性饮料。 ②静脉注射500ml 5%碳酸氢钠溶液。 ③注射中枢兴奋剂安钠加，葡萄糖酸钠等。 ④对症治疗：止痛、止吐等。
甲酸 (HCOOH)	主要通过呼吸道进入人体，对眼、鼻、口腔粘膜有强烈的刺激作用，轻者可发生流泪、流涕、咳嗽、咽喉痛、喉痛、咳嗽等症状，重者发生胸闷、胸痛、胃灼热感、暖气、恶心、多酸症状。 接触皮肤时引起强烈的灼伤感，疼痛；重者能发泡，甚至烧伤。	①眼、鼻、口腔、咽喉粘膜受刺激时，先用清水冲洗，再用2%小苏打水冲洗或喷雾吸入。 ②皮肤损害者，先用大量水冲洗，灼伤者涂敷3%硼酸溶液。
乙酸 (醋酸) (CH_3COOH)	主要通过呼吸道进入人体，急性吸入醋酸蒸气可引起剧烈的干燥，有时甚至呼吸困难，慢性吸入，可引起萎缩性鼻炎、咽炎、喉炎、气管炎与支气管炎，刺激眼粘膜引起结膜炎。 误服时，引起全身中毒症状，如急性呕吐、血性腹泻、溶血现象，甚至休克而死。	①全身性中毒者，须立即注射安钠加、樟脑磺酸钠或肾上腺素。 ②内服中毒者，首先用温热水 75~100L 洗胃，原则上少量多次。 ③呼吸道损害时，除用一般镇咳剂外，应用2%碳酸氢钠溶液含漱，声带有水肿时，需用喷雾器将2%上述溶液喷入。 ④眼损害时，用温水冲洗，伴有结膜水肿者，尚需加用湿冷敷和消炎软膏。
一氯醋酸 ($\text{CH}_2\text{Cl}\cdot\text{COOH}$) 和三氯醋酸 ($\text{CCl}_3\cdot\text{COOH}$)	侵入人体途径和醋酸类似。 中毒症状：主要是刺激皮肤、眼、鼻及上呼吸道粘膜，引起流泪、流涕、咳嗽、咽喉作痒、声音嘶哑、剧烈咳嗽、胸痛与压迫感、体质过敏者，尚能出现呼吸困难、哮喘与全身皮疹等现象。 此外三氯醋酸与皮肤接触，易引起烧伤，其作用类似强酸。	与乙酸同：皮肤、粘膜均宜用大量清水洗涤。
草酸 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)	主要通过呼吸道侵入中毒。 口腔和咽喉灼伤，舌及口腔粘膜呈灰白色，呕吐物常常带血或呈褐色，腹部剧痛，尿闭和尿少，胸部压迫感、呼吸困难、脉缓、体温下降、痉挛、瞳孔放大、虚脱。	①服用石灰乳、石灰水、白浆及泻剂蓖麻子油。 ②静脉注射5%~10%的氯化钙或乳酸钙溶液或5%~10%葡萄糖酸钙。 ③注射中枢兴奋剂安钠加、樟脑磺酸钠。 ④服用利尿剂。

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
亚硝酸酯(常见者为亚硝酸乙酯、亚硝酸丁酯和亚硝酸异戊酯)	主要通过呼吸道及皮肤吸收而中毒 急性中毒者:剧烈的搏动性头痛、心悸、脉搏加速、面部潮红、严重者血压下降、胸闷、呼吸困难,甚至虚脱。血内形成变性血红蛋白,有时皮肤呈棕紫色。表现在神经系统损害者:轻者发生眩晕、无力、视力减弱,重者手足麻木、瞳孔放大或意识不清。以亚硝酸异戊酯的中毒表现最为明显。 慢性中毒者:以顽固性头痛最多,其他症状与急性中毒者类似,但较少发生心血管系统或神经系统症状	①急性中毒者立即离开毒区使之吸氧 ②出现呼吸困难或循环衰竭者,立即注射中枢兴奋剂尼可刹米、盐酸山梗菜碱或安钠加,同时静脉滴注生理盐水或5%葡萄糖等液体 ③皮肤显著发绀者,静脉注入1%亚甲蓝(5~10)ml或10%硫代硫酸钠10ml ④慢性中毒者,每日注射50%葡萄糖(40~60)ml,维生素C(100~300)mg
硫酸二甲酯 ($\text{CH}_3\text{O})_2\text{SO}_2$	经由呼吸道及皮肤吸收而中毒 皮肤溃烂、眼、鼻、咽喉部黏膜肿胀、充血、喉哑,剧烈咳嗽,支气管炎,肺水肿,头痛,意识紊乱,嗜睡,肢体麻痹,甚至昏迷而死	①中毒时应立即离开毒区,呼吸新鲜空气,更换工作服 ②眼部损害者,立即用2%小苏打溶液多次冲洗,以后滴入0.5%盐酸地卡因点眼,也可试用0.5%可的松或氢化可的松溶液 ③呼吸器损害者,可用盐酸地卡因溶液或用复方安息酸酐吸入,含碘喉片或薄荷素片 ④全身症状严重有需吸入氧气,静脉输入5%葡萄糖或输血 ⑤神经系统受损害者,注射维生素B ₁ 、B ₁₂ 与谷氨酸
磷酸二丁酯 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_2\text{P}_2\text{O}_5$	主要由呼吸道与皮肤吸收引起中毒 强烈刺激眼、鼻、咽喉黏膜及皮肤,引起大量流泪、流泪,眼内刺痛,鼻喉发干与刺痛,咳嗽,呼吸不畅,饮食无味,并产生皮炎及疱疹	同硫酸二甲酯
苯(C_6H_6)及其同系物 (如甲苯 $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$)	通过呼吸道及皮肤渗透侵入人体而产生毒害 急性中毒者:沉醉状,依体面苍白色,继以面红、耳热、头晕、头痛、呕吐、视力紊乱,步态蹒跚,甚至肌肉抽搐,或肢体痉挛,很快昏迷而死 慢性中毒者:其中以造血器官与神经系统损害最为显著:衰弱、头晕、头痛、疲乏、失眠或嗜睡、记忆力减退、体重减轻、牙龈、鼻腔、鼻窦出血,妇女则子宫颈糜烂,月经过多,红细胞数减少,血红蛋白下降,血小板数明显减少,白血球也减少;血管、心脏、肝、肾均受损害,极易感染病菌,神经系统严重受损害者,可发生共济失调,感觉障碍,联合运动障碍,多发性神经炎及出现各种锥体束病理	①急性苯及其同系物中毒者,应立即施行人工呼吸,同时输入氧气,并注射盐酸山梗菜碱与尼可刹米(忌用肾上腺素),给以热饮料 ②慢性贫血者,内服硫酸铁,注射肝糖、维生素B ₁₂ ,或少数多次输血 ③颗粒性白血球减少者,可用各种核苷酸 ④大量维生素C,内服与注射,并给以含钙量高的营养食物 ⑤全身性苯中毒者,静脉注射10%硫代硫酸钠 ⑥伴有继发感染时,可用磺胺或青霉素注射 ⑦皮肤损害者,用温水多次洗涤,涂敷白色洗剂或炉甘石洗剂
苯酚($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)	主要通过呼吸道及皮肤接触而中毒 刺激皮肤及黏膜,皮肤接触呈白色灼伤,如不立即清除,将引起局部腐烂,极难治愈 慢性中毒者:恶心呕吐,消化障碍,心悸、昏迷、意识紊乱、肾炎、肝脏退化、贫血及各种神经系症状,甚至可昏迷致死 误服者:在严重情况下不省人事,失去知觉,并由中枢神经系统瘫痪而引起呼吸停止直至死亡	①皮肤损害者,立即用2%苏打水或生理盐水冲洗 ②咽喉有刺激症状时,用2%苏打水含漱或用喷雾器吸入 ③误服者须用温水、氧化镁或硫酸铜(30g·L ⁻¹)洗胃,直到恶的气味消失为止,继续饮服柠檬糖浆,使受害者保持安静,清醒,不可给以热质饮料 必要时使呼吸含5%二氧化碳的氧气
苯甲酸 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$)	主要对皮肤与呼吸道有刺激作用 流泪、眼红、眼痛、咳嗽。酸蒸气吸入时尚感恶心、呕吐,皮肤接触时,有轻度皮炎、湿疹等	同乙酸
苯甲酸酯类(如苯甲酸乙酯 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOC}_2\text{H}_5$,苯甲酸β-萘酯)	主要通过呼吸道或与皮肤接触而引起毒害 鼻、咽部刺激后,黏膜肿胀、流泪、声音嘶哑、咳嗽等,接触皮肤后产生各种皮炎或湿疹,重者能形成溃疡	同硫酸二甲酯

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法与治疗方法
硝基苯及其衍生物 硝基苯 (C ₆ H ₅ NO ₂) C ₆ H ₄ (NO ₂) ₂	通过呼吸道与皮肤侵入 急性中毒者: 头痛、眩晕、眼花、恶心、呕吐、发绀、脉搏失常、血压下降、指甲床和上下唇均发紫、严重者呼吸困难、意识模糊、小便暗黑、血中中性血色素增多、脉搏微弱而细、最后失去知觉而死亡。 慢性中毒者: 面色苍白、贫血、食欲不振、头痛、黄斑、嗜睡等; 此外, 皮肤也可发生各种皮炎。	同左
苯胺及其衍生物 (C ₆ H ₅ NH ₂ 及甲基苯胺、二甲苯胺、二乙基苯胺、二氨基苯胺、一氨基苯胺、二氨基苯胺)	主要通过呼吸道与皮肤接触侵入人体引起中毒。 急性中毒者: 头痛、恶心、呕吐、发绀、心悸、脉搏加快、血压增高、严重时意识不清、伴有阵发性寒战和抽搐、体温下降、瞳孔放大、很快死亡。 慢性中毒者: 造血系统损害、血液中毒、红血球数目逐渐减少、红血球大小不均、血色素变为变性血色素; 泌尿系统损害、排厚尿、血尿、尿频; 少数人发生尿道的炎症或膀胱癌; 神经系统受损害者有各种神经官能症出现及植物神经系统功能失调、皮肤亦能发生各种接触性皮炎。	①急性中毒者: 立即放血, 吸入氧气, 呼吸困难的者立即施行人工呼吸。 ②循环衰竭时, 用肾上腺素、安钠加等迅速注入, 禁食含酒精饮料或油腻食物。 ③静脉点滴生理盐水或5%葡萄糖盐水, 发绀者, 需静脉注射1%亚甲蓝溶液 (5~10) ml 或10%维生素K ₃ 注射液10ml。 ④慢性中毒者, 需长期口服各种维生素或每日注射50%葡萄糖 (40~50) ml, 必要时少量多次输血。
苯胺 (C ₆ H ₅ NH ₂)	主要通过呼吸道与皮肤引起人体中毒。 轻度中毒者: 头痛、发冷、面色苍白、暂时性腹泻、腹痛及食欲不振、数天后非痊愈。 中度中毒者: 造血系统与神经系统受损害, 表现严重贫血, 血液中发现变性血红蛋白、尿与指甲、鼻尖有白紫现象, 或剧烈头痛、三凹征、眼球震颤、舌有抽搐、全身无力、意识紊乱、严重者致死。 皮肤接触发生丘疹、水疱、渗出、常沿淋巴管蔓延及全身, 伴有搔痒及流水等。 对眼、鼻、咽喉粘膜也有刺激作用。	①发现中毒时立即离开毒区, 并吸入新鲜空气。 ②严重中毒者: 放血 (200~400) ml, 吸入氧气或含5%二氧化碳的氧气, 呼吸衰竭者, 施行人工呼吸同时静脉注射山梗菜碱、尼可刹米等中枢兴奋剂。 ③静脉点滴生理盐水或葡萄糖溶液有青紫现象者, 同时注射1%亚甲蓝溶液 (5~10) ml 或10%维生素K ₃ 注射液10ml。 ④癫痫样抽搐者, 立即口服活性炭 (10~20) g, 也可使用5%硫喷妥10ml 或硫酸阿托品0.5mg 皮下注射。 ⑤慢性中毒引起贫血者, 需长期服用铁剂、叶酸与维生素B ₁₂ , 严重者少量多次输血。 ⑥慢性中毒发生神经系统症状者, 需长期注射维生素B ₁ 、B ₆ 、葡萄糖等。
石油烃类 (石油产品中 的各种饱和或不饱和烃)	主要通过呼吸道与皮肤接触而引起中毒。 急性中毒: 主要是吸入高浓度汽油蒸气, 立即出现头痛、头晕、心悸、思想紊乱、肌肉酸痛、抽搐等症, 有时还引起咳嗽、咯血、呼吸困难、恶心呕吐、体温下降、血压下降、甚至致死。其他石油产品很少引起急性中毒。 一般石油烃类均能引起呼吸系统、泌尿系统、神经系统与刺激皮肤和粘膜等慢性中毒症状。 某些润滑油和石油残渣长期刺激皮肤, 甚至可发生皮肤癌。	①急性中毒出现呼吸困难或意识不清时, 立即吸氧或含5%二氧化碳的氧气, 呼吸衰竭者, 施行人工呼吸同时静脉注射山梗菜碱、尼可刹米等中枢兴奋剂。 ②血床下降引起休克者, 立即注射安钠加、尼可刹米, 同时静脉注射或点滴葡萄糖溶液、复方肾上腺素。 ③剧烈呕吐者: 静脉注射50%葡萄糖 (40~60) ml。 ④造血系统受损害者, 口服硫酸亚铁, 注射叶酸、维生素B ₁₂ , 或少量多次输血。 ⑤粘膜受刺激时, 应用碳酸氢钠溶液喷雾吸入, 或用2%~3%该溶液滴眼或鼻。 ⑥皮肤损害时, 用温水或苏打水洗, 涂敷白色洗剂或如石洗剂。

表12-3 某些农药中毒常用急救药品及用法

药 品	剂 型	用 途	使用 方 法	备 注
硫酸阿托品	片剂、注射剂	有机磷和氨基甲酸酯类农药中毒的拮抗剂	1mg 口服或静脉注射	中毒病情未见好转, (15~30) min 可重复注射至硫酸阿托品化为止
解磷定	注射剂	有机磷中毒解毒复能剂	0.8g 缓慢静脉注射	可加5%葡萄糖 (500~1000) ml 作静脉注射
氯磷定	注射剂	有机磷中毒解毒复能剂	0.75g 肌肉注射	

续表

药 品	剂 型	用 途	使用 方法	备 注
二巯基丁二酸钠	注射剂	汞中毒解毒剂	$1g \cdot d^{-1}$, 分2次静脉注射	
二巯基丙磺酸钠	注射剂	汞中毒解毒剂	5%二巯基丙磺酸钠水溶液 $5ml \cdot d^{-1}$, 分2次肌肉注射, 连用三天休息四天为一疗程	按病情不同治疗二、四个疗程, 休息1个月, 使尿汞恢复至 $0.05mg \cdot L^{-1}$ 以下方痊愈
二巯基丙醇(BAL)	注射剂	砷中毒解毒剂	$(2.5 \sim 3) mg \cdot kg^{-1}$ 体重, 肌肉注射	第1、2日4h一次, 第3日改为每6h1次, 第4至10日改为每12h2次, 直至恢复为止
亚硝酸戊脂	吸入剂	亚硝酸盐中毒专用解毒药	用棉花吸入7~10滴, 放在病人鼻部	
硫酸铜	口服	硫化砷解毒用	口服1%硫酸铜溶液, 每5min1汤匙, 直至呕吐或用0.65%~0.1%稀硫酸灌洗胃	
石灰水		氟毒剂解毒用	洗胃	
新斯的明	注射剂 $1ml 0.5mg$ $2ml 1mg$	硫酸阿托品中毒的解毒药	每次 $(0.5 \sim 2) mg$, 肌肉注射	
通用解毒药: (配方一) 硫酸亚铁饱和溶液10份 鞣制碱(氯化镁)9份 动物活性炭(骨炭)5份 水50份		尚无适当解毒剂时可以服用; 对砷物质中毒时不适用	一般每5min饮1汤匙, 危急时应先多饮些, 视情况增减或停饮	服用通用解毒药, 仅是种救急的办法, 应寻求专用或特效解毒药, 服用通用解毒药后, 仍应立即送医疗单位, 以免延误而造成不幸事故
通用解毒药: (配方二) 活性炭2份 氯化镁 1份 鞣酸 1份 (如无鞣酸可用浓茶代替)	口服	尚无适当解毒剂时可以服用; 对砷物质中毒时不适用	取该药15g, 与半玻璃杯的温开水调和后服用	同上
冬眠灵	注射剂 $1ml 25mg$ $2ml 50mg$	镇静	每次 $0.025g \sim 0.05g$, 肌肉注射或静脉滴注	
尼可刹米(可拉明)	注射剂 $1ml 0.25g$ $1.5ml 0.375g$	用于中枢性呼吸及循环衰竭	$(1 \sim 1.5) ml$, 肌肉注射	
盐酸山梗菜碱	注射剂 $1ml 3mg$ $1ml 10mg$	兴奋呼吸中枢	$(2 \sim 5) mg$, 肌肉注射或静脉注射	
葡萄糖酸去甲肾上腺素	注射剂	升压	$(1 \sim 2) mg$ 加5%葡萄糖溶液 $(500 \sim 1000) ml$, 静脉滴注	每分钟不得超过 $0.025mg$

主要参考文献

1. B. H. Никольский 主编, 陶坤译, 苏联化学手册, 第三册, 北京, 科学出版社, 1963.
2. 马克·利菲尔著, 王兰芬译, 化学事故急救手册, 北京, 化学工业出版社, 1987.
3. 中毒防治编写组编, 中毒防治, 杭州, 浙江科学出版社, 1981.

第四篇 实验室标准化管理

第十三章 计量检测与质量检验

第一节 计量、测量、测试和质量检验

1. 计量 实际上就是实现单位统一和量值准确可靠的测量。计量属于测量的范畴,但是是一种特殊形式的,为使测量的单位量值在允许的公差范围内溯源到基本单位的测量,它可以理解为“以实现单位统一、量值准确可靠为目的的测量,涉及整个测量领域;或者说:保证单位统一、量值准确可靠的测量,它对整个测量领域起指导、监督、保证和仲裁作用”。由此可见,计量不同于一般测量,它要求量制统一、量值准确,其对象不是一般的产品,而是具有某一精度级别的测量手段。

2. 测量 是以确定被测对象量值为目的的全部操作。随着人类的进步,人们把确定的已知量定为某一量的单位量,通过它和另一个未知量相比较而使未知量成为已知量,并将该量的大小用“量值”表达。“量值”的定义为“由数值和计量单位的乘积所表示的量的大小”,量值成为自然现象和物体可定性分析及定量测定的一种属性。因此,测量就不仅仅局限于单独的物理量的测量,而要对多种量同时进行定性、定量的综合测定。

3. 测试 是具有试验性质的测量,也就是在科研生产中,为确定物体的特性所进行的具有试验过程和研究性质的测量,包括定性分析、定量测定,是测量和试验的全过程。

测试与测量是有联系也有区别的。测试的目的往往是为了解决科研和生产中的问题,确定物质、材料、仪器、设备的某些性能,选择生产环节的最佳方案,或分析某一产品的质量等问题等。产品质量检验属于测试活动的一种,可以是单项测试,也可以是综合测试。在测试过程中,试验和测量是交叉进行的。

4. 质量检验 是对产品进行检测、检查、试验或将产品的质量特性与规定要求进行比较的过程。其目的是要科学地把握产品的特性,从而剔除那些不符合要求的产品,确保产品质量能达到标准要求。质量检验分为生产检验(第一方检验)——生产者的检验;验收检验(第二方检验)——消费者和买方的检验;第三方检验——独立于卖方或买方的机构进行的检验。其中,通过行政的或法律的规定而进行的质量检验称为监督检验。

第二节 计量器具及其检定

一、计量器具

计量器具是用来测量并能得到被测对象确切值的一种工具或装置。其测量方法可以是直接测量,也可以是间接测量,即通过测量两个以上的量再用公式计算后得到另一个所需的量。因此,把凡能用以直接或间接测出被测对象量值的技术装置(即量具、用于统一量值的标准物质、计量仪器仪表、计量装置的统称)称为计量器具。计量器具的特点是:①用于测量;②为了确定被测对象的量值;③本身是一种技术装置。计量器具所显示或指示的最低值到最高值

的范围称为示值范围。在允许误差限内计量器具的被测量值的范围称为测量范围。

计量器具按计量学用途可分为：计量基准、计量标准、工作用计量器具。

1. 计量基准 一般又分为国家基准、副基准和工作基准。用来复现和保存计量单位，具有现代科学技术所能达到的最高准确度，经国家鉴定并批准，作为统一全国计量单位量值的最高依据的计量器具称为国家计量基准。所谓复现就是把计量单位从定义变为实物。通过直接或间接与国家基准比对来确定其量值，并经国家鉴定批准的计量器具称为副基准。经与国家基准或副基准校准或比对，并经国家鉴定，实际用以鉴定计量标准的计量器具称为工作基准。国家计量基准是全国量值溯源的最终端，它是统一全国量值的最高依据。建立副基准的目的主要是代替国家基准的日常使用，也可用于验证国家基准的变化。工作基准主要是用于一般的量值传递，即检定计量标准，以防止国家基准或副基准由于使用频繁而丧失其应有的准确度或遭到损坏。

2. 计量标准 是按国家规定的准确度等级，作为检定依据用的计量器具或物质。其目的是将基准所复现的单位量值通过检定逐级传递到工作用计量器具，从而确保工作用计量器具量值的准确和一致，以保证国民经济各部门中所进行的测量达到统一。

3. 工作用计量器具 是不用于检定工作而只用于日常测量的计量器具。计量器具只有在准确一致的基础上才有使用价值，这就需要对计量器具进行计量检定——为评定计量器具的计量性能（准确度、稳定度、灵敏度等）并确定其是否合格所进行的全部工作。“检定”是统一量值、确保计量器具准确一致的重要措施，也是在全国计量实行国家监督的一种手段，它具有法制性。根据我国计量立法的基本原则之一——“统一立法、区别对待”，以及各种计量器具的不同用途及可能对社会产生的影响程度，对计量器具的检定采取了“强制检定”和“非强制检定”这两种法制管理的形式。

二、计量器具的强制检定

强制检定是由县级以上政府计量行政部门指定的计量检定机构对强制检定范围内的计量器具所实行的定点定期检定。

强制检定的计量器具包括：①社会公用计量标准器具；②部门根据需要建立的最高计量标准；③企业、事业单位根据需要建立的最高计量标准器具；④用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测四个方面并列入《中华人民共和国强制检定的工作计量器具目录》内的55类111种工作计量器具，见表13-1。

对列入强制检定范围的计量器具，使用单位不能自由选择检定单位，必须将社会公用计量标准和最高计量标准送主持考核的单位指定或授权的技术机构进行周期检定。其周期长短由执行强制检定的计量检定机构根据计量检定规程确定。执行强制检定的机构对检定合格的计量器具发给国家统一规定的检定证书、检定合格证或者在计量器具上加盖检定合格印。对检定不合格的则发给检定结果通知书或者注销原检定合格证、印。

表13-1 中华人民共和国强制检定的工作计量器具明细目录

编号	种类	具体工作计量器具
1	尺	竹木直尺、装管尺、钢卷尺、带铰钢卷尺、铁路轨距尺
2	面积计	皮革面积计
3	玻璃液体温度计	玻璃液体温度计
4	体温计	体温计

续表

编号	种 类	具 体 工 作 计 量 器 具
5	石油闪点温度计	石油闪点温度计
6	谷物水分测定仪	谷物水分测定仪
7	热量计	热量计
8	砵码	砵码、链码、增砵、分量砵
9	天平	天平
10	秤	杆秤、腕秤、案秤、台秤、地秤、皮带秤、吊秤、电子秤、行李秤、邮政秤、计价收费专用秤、寄称机
11	定量包装机	定量包装机、定量灌装机
12	轨道衡	轨道衡
13	容量器	谷物容量器
14	计量罐, 计量槽车	立式计量罐、卧式计量罐、球形计量罐、汽车计量罐车、铁路计量罐车、船舶计量罐
15	燃油加油机	燃油加油机
16	液体量提	液体量提
17	食用油售油器	食用油售油器
18	酒精计	酒精计
19	密度计	密度计
20	糖量计	糖量计
21	乳汁计	乳汁计
22	煤气表	煤气表
23	水表	水表
24	流量计	液体流量计、气体流量计、蒸汽流量计
25	压力表	压力表、风压表、氧气表
26	血压计	血压计、血压表
27	血压计	血压计
28	汽车里程表	汽车里程表
29	出租汽车里程计价表	出租汽车里程计价表
30	测速仪	公路管理测速监测仪
31	测振仪	振源监测仪
32	电度表	单相电度表、三相电度表、分时计费电度表
33	测量互感器	电流互感器、电压互感器
34	绝缘(接地)电阻测量仪	绝缘电阻测量仪、接地电阻测量仪
35	场强计	场强计
36	心电图仪	心电图仪、脑电图仪
37	照射量计	照射量计、医用辐射源
38	电离辐射防护仪	射线监测仪、照射量计、放射性表面污染仪、个人剂量计
39	括度计	括度计
40	激光能量、功率计	激光能量计、激光功率计、医用激光源
41	超声功率计	超声功率计、医用超声源
42	声级计	声级计
43	听力计	听力计
44	有害气体分析仪	CO分析仪、CO ₂ 分析仪、SO ₂ 分析仪、溴氯仪、H ₂ S测定仪
45	酸度计	酸度计、重碳酸碱平衡分析仪
46	瓦斯计	瓦斯报警器、瓦斯测定仪
47	测汞仪	测汞仪
48	火焰光度计	火焰光度计
49	分光光度计	可见光分光光度计、紫外分光光度计、红外分光光度计、荧光分光光度计、原子吸收分光光度计
50	比色计	透射光电比色计、荧光光电比色计

续表

编号	种 类	具 体 工 作 计 量 器 具
51	粉尘、粉尘测量仪	粉尘测量仪、粉尘测量仪
52	水质污染监测仪	水质监测仪、水质综合分析仪、氨氮仪、溶氧测定仪
53	呼出气酒精含量探测器	呼出气体酒精含量探测器
54	血球计数器	电子血球计数器
55	照光度计	照光度计

三、计量器具的非强制检定

非强制检定则是由使用单位对强制检定以外的其他依法管理的计量器具自行进行的定期检定。非强制检定虽然在管理形式上与强制检定不同，但仍然具有强制性，仍必须进行定期的检定，不规定周期、不进行定期检定或经检定不合格而继续使用的，都是违法行为。

非强制检定的计量器具包括：①企、事业单位的次级标准（低于最高标准）的计量标准装置；②除强制检定的工作计量器具以外的、属于《中华人民共和国依法管理的计量器具目录》范畴内的计量器具。表13-2列出了其中与分析化学相关的部分非强制检定的计量器具。

非强制检定的计量器具可由企、事业单位根据情况制定本单位管理的计量器具明细目录及相应的检定周期（不得超过计量检定规程规定的最长期限），以保证使用的非强制检定的计量器具的定期检定。使用单位可根据经济合理、就地就近的原则自行选择有合法对外出具检定证书的单位承担或自行检定，若自行检定则应建标并考核合格。

表13-2 与分析化学相关的部分非强制检定的计量器具

种 类	非 强 制 检 定 的 计 量 器 具 名 称
1. 长度计量器具	干涉仪、色散激光器、工具显微镜、读数显微镜、光学计、锥度测量仪、孔径测量仪、比较仪、测微仪、光学仪器器具、尺、基线尺、光栅尺、光切测量装置、线尺、卡尺、千分尺、百分表、千分表、测微计、平尺、百分尺检具、百分表检定器、千分表检定仪、测微仪检定器、滑尺仪、角度块、角度规、直角尺、正弦尺、方尺、水平仪、象限仪、直角尺检定仪、水平仪检定器、基尺、卡规、环规、塞尺、半径样板、测厚仪、面积计等
2. 热学计量器具	热电偶、热电阻、温度计、高温计、辐射温度计、温度计检定装置、电子电位差计、电子平衡电桥、高温毫伏计、比率计、温度指示调节仪、温度自动控制仪、测温电桥热量计、比热装置、热物性测定装置、热流计、热像仪等
3. 力学计量器具	砝码、天平、秤、称重传感器、台秤检定器、砵器、注射器、计量罐、容量器、密度计、酒精计、乳汁计、糖量计、盐量计、压力计、压力真空计、气压计、微压计、压力表、压力真空表、微压表、压力变送器、压力传感器、压力表校验仪、真空计、流量计、流速计、流量二次仪表、流量变送器、流量检定装置、标准体积管、标准块、压头、硬度计、转速表检定装置、测速器、测速仪、转速表等
4. 电磁学计量器具	标准电池、标准电压源、标准电源源、标准电功率源、标准电阻、电阻箱、标准电容、测量用可变电容器、电容器、标准电感、标准互感线圈、互感器、电位器、标准电池比较仪、电桥、电阻测量仪、欧姆表、毫欧表、兆欧表、电阻计、电表检定装置、电导率、电容表、微安表、电压表、毫伏表、微伏表、电功率表、频率表、功率因数表、相位表、检流计、万用表、互感器校验仪、互感器校验仪检定装置、测量互感器、当流分压箱、分流计等
5. 无线电计量器具	高频毫伏表、标准信号发生器、高频阻抗分析仪、高频标准电阻、高频标准电感、高频标准电容、Q表、高频Q值标准线圈、高频介质标准材料、高频微波功率计、高频微波功率指示器、高频微波功率比较装置、晶体管参数测试仪、电视综合测试仪、电视参数测试仪、示波器、示波器校准仪等
6. 时间计量器具	时间间隔计数器、秒表、电子秒表、电子计时器等
7. 光学计量器具	标准色板、色差计、白度计、测色光密度计、标准色片、感光度标准、感光仪、光密度计、激光能量计、激光功率计、衍射计等

种 类	非强制检定的计量器具名称
8. 物理化学计量器具	电导仪、酸度计、离子计、电位滴定仪、库仑计、极谱仪、伏安分析仪、比色计、分光光度计、光度计、光谱仪、旋光仪、折射率仪、浊度计、色谱仪、电泳仪、烟尘粉尘测量仪、粒度测量仪、水质监测仪、测汞仪、气体分析仪、瓦斯计、测汞仪、测磷仪、呼出气体酒精含量探测器、熔点测定仪、水分测定仪、湿度计、标准湿度发生器、露点仪、粘度计、测量用电子显微镜、X光衍射仪、能谱仪、电子探针、离子探针、质谱仪、波谱仪等
9. 标准物质	钢铁成分分析标准物质、有色金属成分分析标准物质、建材成分分析标准物质、核材料成分分析与放射性测量标准物质、高分子材料特性测量标准物质、化工产品成分分析标准物质、地质矿产成分分析标准物质、环境化学分析标准物质、临床化学分析与药品成分分析标准物质、食品成分分析标准物质、煤炭石油成分分析和物理特性测量标准物质、物理特性与物理化学特性测量标准物质、工程技术特性测量标准物质等

四、计量器具的校验

计量器具的校验是指在尚没有检定系统和检定规程的条件下,评定计量器具的计量检测性能,确定其是否合格,根据需要所进行的全部工作。根据我国的实际情况,计量器具的校验分为通用计量器具的校验、专用计量器具的校验和标准物质的使用。

(一) 通用计量器具的校验

通用计量器具指的是《中华人民共和国依法管理的计量器具目录》所指的第1至第10类计量器具,其校验(和检定)须按以下原则进行:

(1) 本单位的最高计量标准器具必须按《计量法》的规定经有关人民政府计量行政部门考核合格,并具有有效的合格证书。

(2) 其他标准和工作计量器具可以自校或自校,也可送法定计量检定机构进行检定或校验。

(3) 凡本单位具有检定系统表中所规定等级的合格的计量标准器,有取得相应项目的检定员证件的人员和合适的环境条件的,可以自行对这个项目的计量检测仪器进行检定,自校合格的贴合格标志。

(4) 其他计量检测仪器可以自行校验,自校仪器必须有相应的计量标准器和校验方法,由从事该项目5年以上的技术人员进行。校验环境条件也要符合要求。

(5) 自校工作中计量标准器量程不够时,校验超过部分,经扩展其量程,其准确度能满足要求者,可以给出扩大量程后的校验结果,同时必须给出扩大量程部分的误差分析材料,被校仪器准予使用;当计量标准器的量程虽然不能满足计量器具的全部要求,但能满足使用单位需要的部分量程时,可以只在这段量程内校验,被校验计量器具也需限定量程使用。

(6) 对于没有校验用计量标准器的,则可采用:

①用于综合校验的计量检测仪器,可通过对基本参数的校验来进行。如果这类仪器本身带有自校程序,还必须包括用自校程序进行自校。

②可以通过3台以上的计量、检测仪器的比对,判断其比对结果是否在允许误差范围内。

③国内同种仪器少于3台者,可以根据制造厂的技术条件进行校验。

凡按照②、③校验的仪器,其校验证书上只能给出准用的结论,同时只贴准用标志。

(二) 专用计量器具的校验

专用计量器具的校验原则上以自校为主,也可以与法定计量机构合作进行,但不论是自校还是合作进行,都必须满足以下条件:

①有相应的合格的校验用的计量标准器；

②按规定要求制定好《计量器具校验方法和试验设备检验方法》，并已报送计量管理机构和当地省级计量行政部门备案；

③有经考核合格的人员；

④有合适的校验环境条件。

对某些特殊的专用计量器具，为了统一量值的需要，经济合理地解决这种专用计量器具的校验问题，国家专门机构统一授权有条件的单位承担这种专用计量器具的校验工作，并且只承认被授权单位对该种专用计量器具的校验证书，对其他自校证书则不予承认。

五、对计量器具检定的法规要求

计量器具的检定必须按照国家计量检定系统表进行。计量检定必须执行计量检定规程。这是《中华人民共和国计量法》所规定的。

（一）计量检定系统表

计量检定系统表（亦称计量检定系统）是国家法定技术文件，它规定了国家基准、各级标准、直至工作计量器具的检定程序，其内容包括对基准、标准、工作计量器具的名称、测量范围、准确度和检定方法等的规定。一般来说，建立一种基准器，就有一个相应的计量检定系统。图13-1所示的是质量（重量）的计量检定系统表。

计量检定系统的制定必须保证测量结果的溯源性——通过连续的比较链将结果与相应的计量基准器（通常为国际基准器或国家基准器）的量值联系起来。由于工作和量值传递的需要，企业、事业单位也可以建立起本单位的量值传递系统表，其最高计量标准不必一直绘制到国家或国际基准器而只需绘制到本单位以外的上一级计量标准即可。它不具有法律效力。

（二）计量检定规程

计量检定规程是指为评定计量器具的计量性能，作为检定依据的法定技术文件，它分为国家、地方和部门三类，分别由国务院计量行政部门（在全国范围内施行）、省级人民政府计量行政部门（在本行政区域内施行）和国务院有关部门（在本部门内施行）制定。当正式发布国家计量检定规程后，相应地方和部门计量检定规程即应废止；因特殊原因需继续施行的其各项技术规定不得低于国家计量检定规程，不得与国家计量检定规程相抵触。制定检定规程的内容及要求包括：引言、概述、技术要求、检定条件、检定项目、检定方法、检定结果处理、检定周期及附录等。

技术要求中一般应着重于受检计量器具的计量特性、使用安全可靠性等有关内容。如测量范围、准确度、灵敏度、稳定度及相应的动态特性等；物理或机械性能方面的密度、硬度、温度、耐溶性、耐腐蚀性、抗干扰能力等；安全可靠性方面的绝缘强度、密封性能、封印要求、其他安全防护设施等；外观质量如表面粗糙度、刻度清晰度，以及对划痕、碰伤、毛刺、裂纹、气泡等方面的要求。

检定条件包括环境条件和设备条件。应考虑温度、振动、电源电压、电磁场干扰等环境条件的要求，以及计量标准、主动辅助设施等设备条件。

检定项目是指受检计量器具的受检部位和内容。检定项目应与主要技术要求基本对应，确定受检项目要从实际需要出发，明确合理，切实可行。其中，有些计量器具可根据具体情况，对使用中和修理后的检定项目允许与新制造的检定项目有所区别。

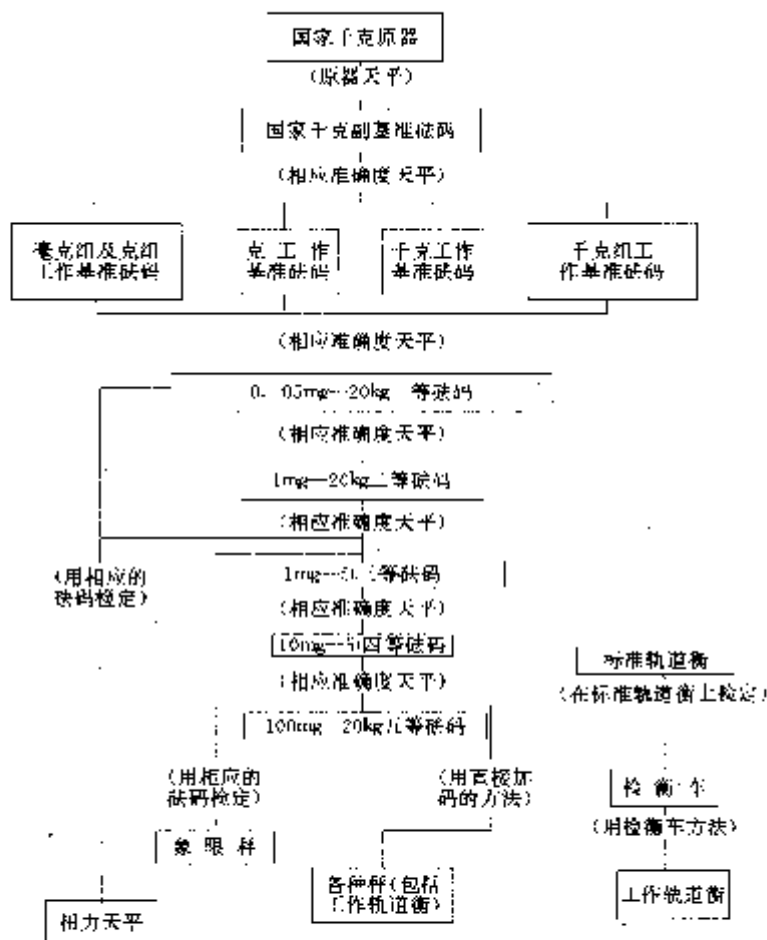


图13-1 质量（重量）计量检定系统表

检定方法也就是对计量器具受检项目进行检定时所规定的具体方法和步骤，包括必要的示意图、方框图、接线图及计算公式。方法的确定要有理论根据，并切实可行，具体明确，所有的公式、常数、系数必须有可靠的根据。

在采用检定规程中有关规定的检定形式检定结束后，要对受检计量器具的合格或不合格作出明确的结论，合格的发给检定证书、检定合格证或加盖检定合格印；检定不合格的则要发给检定结果通知书，或注销原检定合格证、印。

由于计量器具在使用过程中其性能会发生一定的变化，每隔一段时间必须重新检定。检定周期的长短应根据受检计量器具的计量特性、使用环境条件和使用频繁程度等多方面的因素来确定，因而检定规程中一般只规定最长检定周期。

计量器具的发展极为迅速，一些计量器具并没有相应的计量检定规程可以参照，但必须对这些计量器具进行周期性的校准。此时，使用这些计量器具的单位可以自行制定校验方法以作为校准时的技术依据。这些方法在本单位有一定的权威性，当其上升为地方、部门或国家计量检定规程后，就可成为技术法规性文件。

（三）在用计量器具法制管理要求

根据计量法规要求，对计量器具采取了不同的法制管理要求，见表13-3

表13.3 在用计量器具法制管理要求

计量分类	强制检定计量器具		非强制检定计量器具				标准物质 (属计量标准)	试验设备 (不属于计量器具)
	最高计量标准	强制检定工作计量器具	次级标准	非强制检定计量器具				
法制要求				通用	专用	辅助		
建立和购置条件	1. 办理《计量标准考核合格证书》, 由主管部门考核发证 2. 办理计量检定员证, 由主管部门发证	1. 应购置有《制造计量器具许可证》的产品 2. 报主管部门备案	1. 办理计量标准考核合格证书, 由主管部门考核发证 2. 办理计量检定员证, 由主管部门发证	应购置有《制造计量器具许可证》的产品	自行组织验收	与主机配套考核	应购置有《制造计量器具许可证》的产品	自行组织验收
日常管理	1. 实行定点定期检定 2. 由主管部门考核合格 3. 执行计量检定规程 4. 给合格印、证	1. 实行定点定期检定 2. 由主管部门考核合格 3. 执行计量检定规程 4. 给合格印、证	1. 自行检定 2. 用本单位的量具 3. 执行计量检定规程 4. 给合格印、证	1. 自行检定 2. 用本单位的量具 3. 执行计量检定规程 4. 给合格印、证	1. 自行检定 2. 用本单位的量具 3. 执行计量检定规程 4. 给合格印、证	1. 自行检定 2. 用本单位的量具 3. 执行计量检定规程 4. 给合格印、证	在有效期内使用	1. 自行检定 2. 用本单位的量具 3. 执行计量检定规程 4. 给合格印、证

第三节 标准物质

标准物质 是指在规定条件下, 具有高稳定的物理、化学或计量学特性, 并经正式批准作为标准用于校准测量器具、评价测量方法或确定材料特性量值的物质或材料。它应该具有以下特点:

- (1) 本身是一种物质或材料, 而不是一种器具或装置。
- (2) 其目的是为统一量值作为计量标准使用, 用于校准仪器、评价测量方法或确定材料特性的量值。它是计量标准的一种形式, 要通过检定并正式批准, 具有准确的检定数据和证书, 具有一定的法律地位。
- (3) 本身具有一定条件, 必须在规定的条件下具有高稳定的物理、化学或计量学特性, 如具有确定的化学成分或物理特性, 性能参数高度稳定, 成分性质高度均匀, 或在规定的制取和测量方法下具有可达到的最高准确度。

在检验工作中, 凡需使用标准物质的, 都必须使用国家颁发了许可证的标准物质。需要使用国内不能生产的进口标准物质时, 必须满足以下条件:

- ①在合格期内, 有合格证书;
- ②经过分析测试, 证明性能符合要求;
- ③使用新的批号时, 必须进行比对测试;
- ④分析测试的数据, 必须归档保存, 以便进行检查。

实验室常用的标准物质见表3-7。

主要参考文献

1. 杨若江, 包敏生, 李军农编著, 计量实验室计量认证及规范化管理, 北京: 中国计量出版社, 1993年。

第十四章 实验室的规范化管理

第一节 实验室组织系统

实验室组织系统主要包括三个方面：有功能健全、能满足所开展的检测工作要求的组织机构；有质量保证体系；有保证检测工作公平性的措施。

（一）组织机构

实验室组织机构通常如图14-1所示，每个机构都应有一套工作人员（可兼任）各司其职。各小组都需注明人员的人数、职称等情况，以期形成一个完整的实验室组织机构。

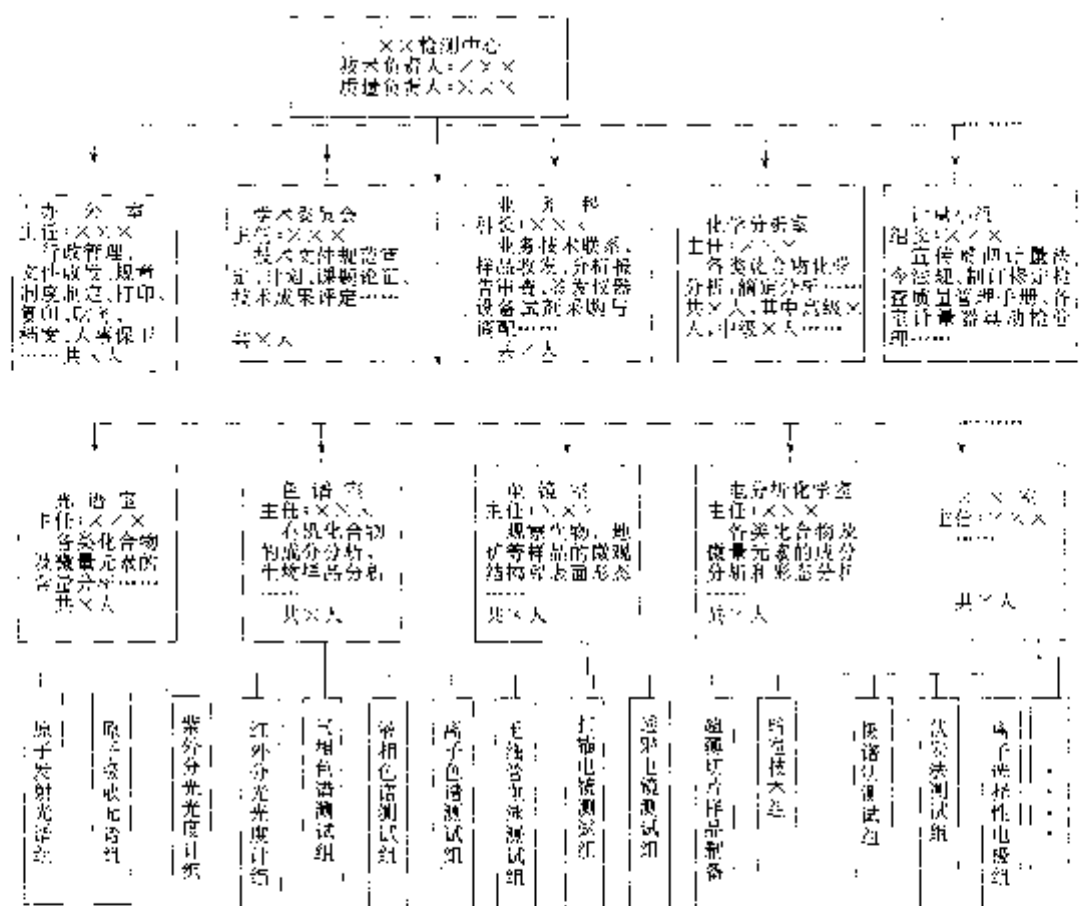


图14-1 实验室组织机构框图示例

（二）质量保证体系

质量保证体系是分析检测工作的一个关键环节，包括：检测机构的各科室都应有人负责检测的质量监督工作、有与此相关的一整套完善的规章制度和措施等。可以有图14-2所示的质量保证体系框图。

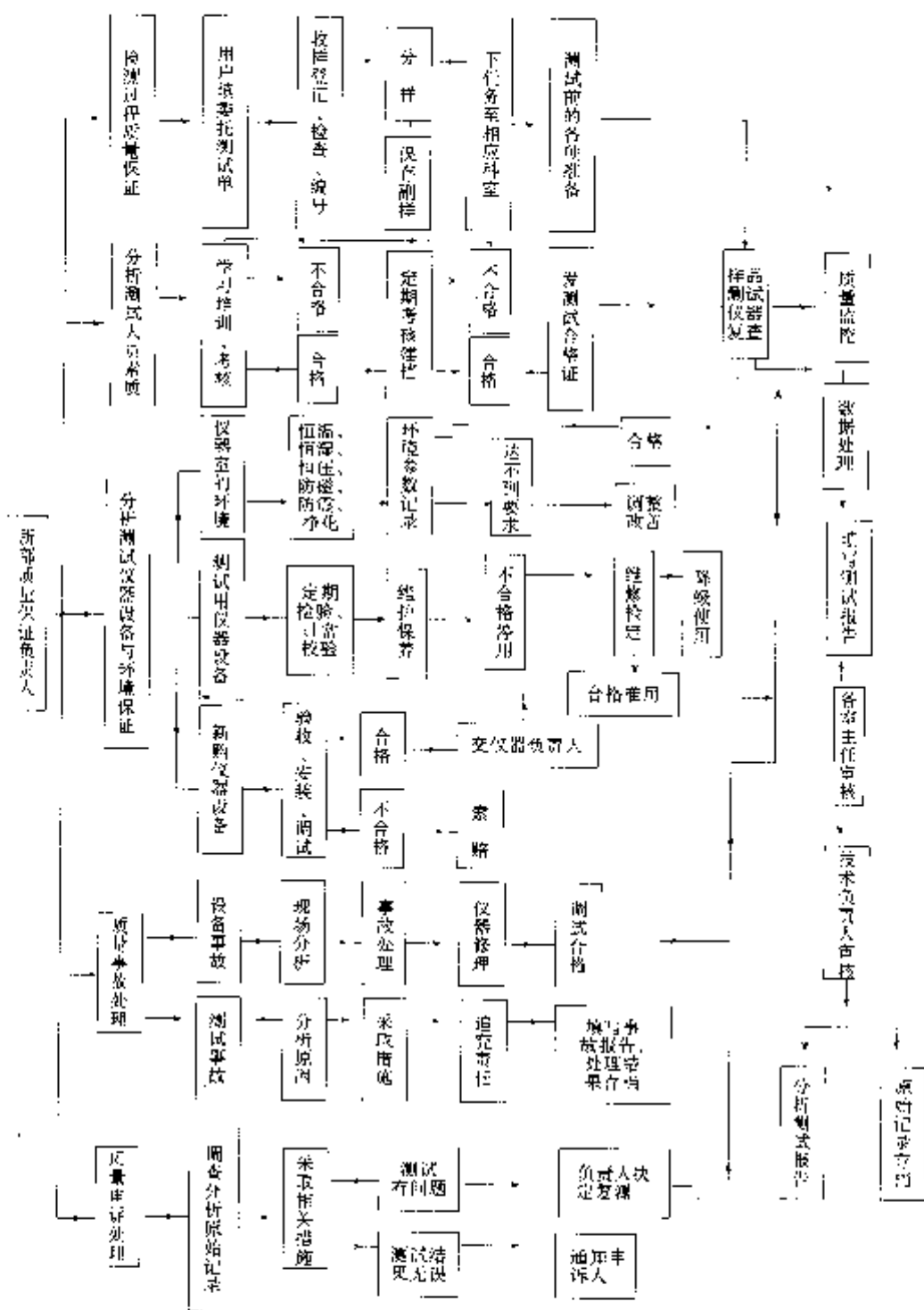


图14-2 实验室质量保证体系框图

（三）公正性保证

公正性是保证质检机构工作质量的关键因素，要求：①对所有用户的检测服务都能保证同样的服务水平；②为用户保密，无关人员不得随意接触用户提供的资料、样品和检测数据；③不得将用户提供的技术资料及技术成果用于开发工作，检测人员不得从事与检测业务有关的开发工作；④检测工作不受行政干预，不受经济利益和其他利益的影响。

第二节 实验室各岗位责任制度

工作制度健全及坚持贯彻执行体现了一个单位的管理水平，对检测单位则直接关系到检测工作的质量。因而，各实验室必须建立健全的各岗位的责任制度。各岗位责任制包括各部门的岗位职责和各类人员的岗位职责，需视各单位具体情况选择制定。

（一）各负责人及各类人员的岗位职责

1. 中心主要负责人的岗位职责 负责全面领导工作，制定发展计划、审定年度及专项计划并组织实验；负责重大问题的决策审查，及对人、财、物的统一调度；主持制订、贯彻实施各项规章制度并督促检查其执行情况，切实保证能公正、科学、准确地进行各类检验工作；负责与各有关方面的协调，及时解决出现的实际问题；决定内部机构设置、中层干部聘任等。

2. 技术负责人的岗位职责 负责各项技术业务工作的组织领导和实施，负责科研和测试工作的质量；负责技术管理并对实验过程中的安全负技术责任；掌握对测试工作的要求并根据具体情况提出方案；负责检查测试工作情况，解决好测试工作中的技术问题；组织贯彻执行测试工作技术管理制度及规范、规程，纠正违反工作程序和操作规程的实验以保证工作质量；领导重要课题及专题研究报告的评定工作；会同有关部门组织技术培训和考核，帮助技术人员提高技术水平；审查并批准测试工作计划、实施细则、操作规程；审查和签发测试报告，行使质量否决权。

3. 质量保证负责人的岗位职责 负责计量检定和实验测试的质量工作，协同技术负责人完成质检任务，解决检验工作中出现的重大技术质量问题；负责检查实验仪器的工作状态、样品测试方法的准确情况及国家标准、实施细则等的执行情况；负责对测试数据进行审查以保证测试数据准确可靠；主持对测试人员的技术培训、考核工作，对测试人员的晋升、奖惩提出建议；负责审批和修改测试实施细则、操作规程、规范并检查其贯彻执行情况；负责处理测试纠纷和送检单位的申诉；负责对原始记录、测试报告等技术资料进行检查以确保测试结果准确、可靠、完整、公正；定期组织召开由技术负责人参加的测试质量评价会。

4. 各专业室主任的岗位职责 根据本室的检测任务确定质量目标，全面负责本室检测质量；掌握本专业国内外的现状和发展趋势，提出新的检测方案，制定本室检测细则，熟悉样品的检验标准；熟悉检验质量控制理论，解决本室检测工作中的疑难问题；具体安排本室的科研与测试工作，组织专业技术人员完成各项检测任务，定期对工作情况和质量进行评定；提出仪器的购置、更新、改造计划和仪器设备的大修、降级使用及报废计划；审定原始记录及各类检查报告，对各类事故提出处理意见；负责本专业技术人员的培训和考核、指导本室技术人员的业务工作并督促其按有关规程进行各项检测工作。

5. 测试人员的岗位职责 具有上岗合格证，熟悉本职工作，了解所用仪器设备的性能；严格执行质量管理手册，坚决按检定规程、国家标准、实施细则等开展测试工作；严格按操作规程正确使用和维护仪器，对所负责的仪器设备做到按要求定期保养，使用后及时填写使用

情况记录；认真填写原始记录，做好技术数据归档前的整理工作，以保证原始数据准确、可靠、完整、清晰；协助技术负责人拟制和审定有关技术文件，做好安全保密工作；积极认真完成各项实验任务。

6. 计量检定人员的岗位职责 正确使用计量标准器具、标准物质，并对它们按规定进行计量检定以保证其具备良好的技术状态；执行计量技术法规及计量器具检定规程；确保检定数据、结论正确、各类数据齐全；检查各测试室在用检测仪器的周期计量制度的执行情况，制止使用不合格仪器和超检定周期的检测仪器，并将有关情况及时向上级报告。

7. 业务接待员的岗位职责 熟悉本职业业务，热忱接待用户；认真检查所收样品，并填写测试任务书或检样卡，办理样品测试的有关手续；收到样品后尽快发放给有关测试人员，分析测试完毕后及时通知送检单位领取测试报告，并做好测试结果的保密工作；严格按各业务收费标准收费；送检单位对测试报告结果提出异议时，及时上报领导，协助有关部门处理；根据工作要求，做好留样的保管工作。

8. 资料档案保管人的岗位职责 负责各种仪器设备的资料及科技档案的保管；收集和管理有关实验技术资料和分析测试的标准、规程，并注意保管各类仪器设备的操作说明书和自校规程等资料；对各类资料均需建卡、建账，统一编号，并制定借阅、调阅制度；负责各种对外分析测试项目的原始记录和测试报告存根的收集、整理、归档工作；严格遵守保密制度，对外分析测试、实验的资料，未经负责人同意不得向他人提供，并不得随意复制、散发检验报告，不得泄露原始数据；对有关资料档案要收放整齐，做到方便使用；过期资料的销毁应严格履行报批手续，并造册登记入档。

（二）各科、室的岗位职责

1. 业务科职责 全面负责质量管理，领导计量管理工作；接待并安排分析测试任务，制订科研计划，组织申报课题，组织课题及新产品的鉴定工作；负责分析测试报告签发；负责样品的收发、保管和检后处理；负责仪器设备的订购、调配和登记以及科研、测试所需试剂、器材等物品的采购、验收、保管和发放；负责统计上报各类业务报表；完成领导布置的其他工作。

2. 办公室职责 负责财务管理，编制财务计划，填写行政、后勤、财务等有关报表；负责档案的收集、整理和管理；负责文件的打印、收发、传阅和催办；负责日常行政工作、安全保卫工作；负责办公用品、水电、车辆等的使用管理和日常维修；完成领导布置的其他工作。

3. 实验室职责 严格按国家各级标准或说明书进行测试，按时完成业务科下达的测试任务，保证测试结果准确无误；出具测试报告；负责仪器设备的选型、调试、使用、保养；负责编制、申报本室所需器材、低值易耗品的计划，合理使用，妥善保管；研究开发新的测试方法，开发测试仪器的新功能；负责本室业务技术成果的初审工作，积极开展技术交流活动；完成下达的其他任务。

（三）各层次人员的技术职责

1. 高级职称人员的职责 主持或指导制订重大技术工作计划及实施方案，并对计划和方案进行审核；负责拟定、审核重要的技术文件，解决测试过程中的复杂、重要和难度大的技术问题，负责对质检监督检验的综合判定；开展新的测试方法研究和测试设备的研制工作；指导下、初级技术人员的工作，并根据有关部门的安排，对中、初级技术人员进行必要的技术培训和考核；参加或负责技术成果的评议工作；对分管范围内的贵重仪器的购置、使用

和处理负技术、经济责任。

2. 中级职称人员的职责 制定分管测试工作的计划及实施方案,解决本专业较复杂的业务、技术问题;担任样品测试(或项目研究)的负责人,参加或具体负责技术成果的技术评议工作;编制和审核测试报告,必要时接受室主任委托审定测试报告;指导初级技术人员从事测试工作,并参加有关部门组织的对下一级测试人员进行的技术考核;对分管范围内的一般测试仪器的购置、使用和处理负技术、经济责任。

3. 初级人员(助理工程师)的职责 负责解决本专业一般性技术问题,担任测试专业组(或项目研究)负责人,及时反映分管工作情况,提出开展工作的建议;指导技术员从事测试工作;出具测试数据,并对数据正确性负责,参与编制和校对测试报告;做好分管范围内测试仪器的使用、维护和保管工作。

4. 初级人员(技术员)的职责 掌握本专业基础知识和操作技能,分担辅助性业务技术工作;出具原始检验数据,进行数据处理、编制检验报告,并对其准确性负责;做好所使用的检验仪器的维护、保管工作。

第三节 实验室计量检测仪器、设备的质量监控

(一) 仪器设备的管理

中心所有的仪器、设备均实行统一管理调度,指定专人负责。使用仪器、设备必须认真填写使用记录本,发现问题及时向仪器、设备负责人反映,各仪器、设备负责人要认真维护好设备,严禁违反操作规程或无操作证的人员使用。分析测试用的仪器必须检定合格,并在检定周期内、经认证确定使用。

(二) 仪器设备的检定

所有仪器设备必须按国家检定规程在一定周期内进行计量检定(参见本手册第十三章第二节),计量检定工作由业务科、各测试室有关专业人员负责,对所有被检仪器设备的检定应具备符合要求的环境条件,每次检定必须有完整的原始记录,并按规定进行审核,原始记录和检定证书一起存档。凡经计量检定的仪器设备均由仪表室按检定结果贴上合格(绿)、准用(黄)或停用(红)3种标志。

(三) 仪器设备的使用、维修和保养

测试仪器、设备的维修由仪表室专人负责管理,各测试室根据仪器、设备的技术状态和使用时间填写维修清单,由仪表室在规定的时间内进行维修。在计量检定中发现仪器、设备损坏或性能下降时,由仪表室进行维修,维修情况填入仪器、设备档案。维修后的仪器、设备都应重新计量检定(不管其是否在原计量周期之内),且计量工作原则上不应由原修理人员担任。

(四) 检测仪器量值的溯源

检测仪器量值的溯源通常需按图14-3所示程序进行。不同单位可根据各自单位的特点作适当更改,但必须经上级计量主管部门批准后方可实施。

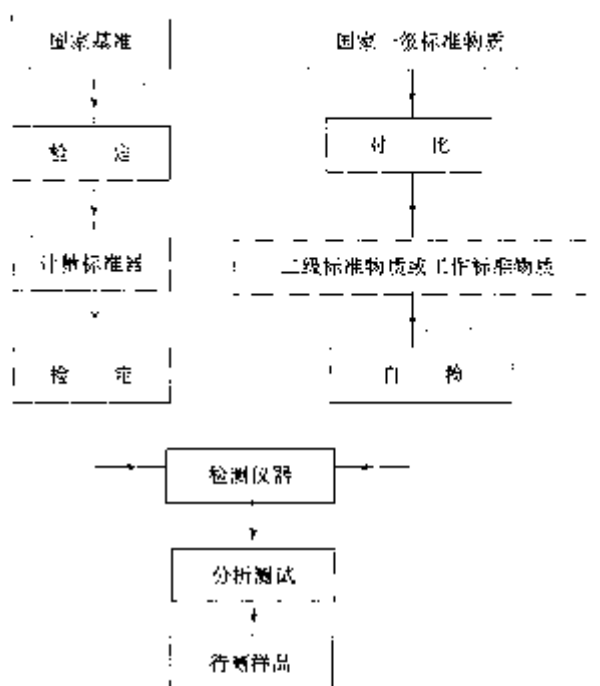


图 14-3 检测仪器量值的溯源程序示意图

第四节 实验室分析人员的素质

实验室各类人员应该具有与其职位（岗位）相适应的基本素质。所有人员必须坚持原则，忠于职守，遵守各项规章制度，作风正派，秉公办事，严格按产品技术标准、测试大纲进行各项测试工作。

（一）技术负责人、质量负责人、质量检验管理人员的素质

作为负责人应熟悉国家、部门、地方关于产品质量检验方面的政策、法、令、法规、规定；熟悉产品技术标准、相关标准、参考标准；熟悉抽样理论，能熟练地应用各类抽样标准，确定样本大小；熟悉1~2项测试技术，具备编制审定检测实施细则、审查检验报告的能力；熟悉掌握检验质量控制理论，具有对检测工作进行质量诊断的能力；熟悉国内外同类产品的检测方法、检测技术的现状及发展趋势，掌握国内外检测仪器、设备的信息；不断学习新知识，不断进行知识更新；熟练掌握一门外语。

（二）计量检定人员的素质

凡从事计量检定工作的人员必须具备高中以上文化程度，具备从事计量检定工作所必备的知识和技能，并经上级计量行政部门考核并取得《检定员证》；应不断学习新知识，随时了解国内外本领域计量技术的现状及检测仪器的信息；计量检定复核人员应真正起到复核的作用，复核人员必须是从事该项目2年以上的工程师或从事该项目5年以上的检定人员；见习人员、学徒工代培人员不得独立从事检测工作，不得在检定证书上签字。

（三）检测人员的素质

检测人员必须经考核合格并取得《检验员证》；必须熟悉该检验仪器的性能，具备使用该仪器的知识，经过考核合格并取得《操作证书》才能操作使用大型、精密、贵重检测仪器设

备；应掌握所从事检验项目的有关产品标准，了解本领域国内外测试技术、检测仪器的现状和发展方向，具备制定检测大纲、采用国内外最新技术进行检测工作的能力；应具备独立进行数据处理的工作能力；应对检验工作持严肃的态度，以数据说话，不受来自行政的或其他各方面的影响与干扰。

第五节 实验室检测工作质量监控

检测工作是一个质检机构整个工作中的关键环节，并将直接影响到质检机构的工作质量。为了确保质检机构提供的数据准确可靠，也就是在相同的条件下能够重复；要求在检测的全过程中，对影响检测结果的每一个因素——被检对象、所用仪器设备及工作环境条件等都必须有检查、有核对、有记录，且必须校对检测所得到的所有数据。

因此，检测机构必须具有与其检测业务范围相关的有关标准、规程、规范等技术文件，并据此制定详细的实施细则。

检验过程主要环节及检验报告审批、送发的一般过程如图14-4所示。

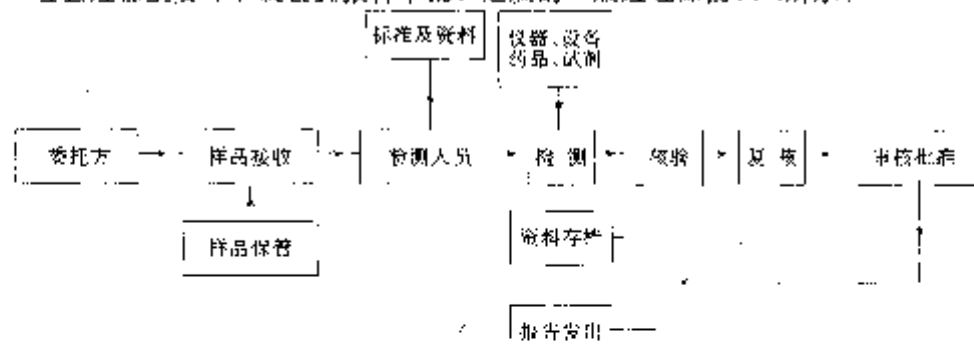


图 14-4 检验过程和检验报告审批过程

（一）检验质量目标

分析检验工作在任何时候都必须坚持质量第一的原则，其首次检验无差错率应达到95%，经复核后，检验无差错率应达到98%，审批后发出的检验报告，其无差错率应达到99%。

（二）抽样

凡需对整体产品进行质量判断的检验项目均应进行抽样检验。对送样产品，检验结果仅对来样负责，不对整体产品质量作任何评价。抽样时一般采用随机抽样，确定样本大小后，由产品存放单位提供产品编号进行随机抽取，原则上抽样人不得与样品直接见面。

样本应在生产单位、销售单位或使用单位的已检验合格的库存产品中抽取。在特殊情况下，也允许在生产线的终端、在已经检验的合格品中抽取（应特别注意的是，出厂检验是生产线的终端，因此，在生产终端抽样，也即产品已生产完毕，并已通过出厂检验点）。

抽样前不得事先通知被检产品生产单位。抽样结束后，样品应立即封存，连同出厂检验合格证一并发往指定地点。

样本大小的确定：凡产品技术标准中已规定样本大小的，按标准的规定执行。凡产品技术标准中未规定样本大小的，按下列方法确定：

①连续批、验收型检验，按 GB2828—81 执行；②连续批、调整型检验，按 GB2829—81 执行；③质量指标为产品不合格率的计量检验，按 GB6378—86 执行；④破坏性检验的样本大小由委托单位自定；⑤其余按百分比抽样。

$N \leq 100$	$n = 2$
$100 < N \leq 1000$	$n = N/100 \quad (n \leq 2)$
$N > 1000$	$n = N/100 \quad (n \geq 30)$

(N : 批量; n : 样本大小)

抽样时还须注意: ①在生产单位的库存中抽样时, 抽样基数不得小于样本的5倍; ②在生产线的终端抽样时, 当天产量不得少于均衡生产的平均日产量; ③在用户和销售单位抽样时, 抽样基数不得小于样本的2倍。

样本确定后, 抽样人以适当的方式封存, 由样本所在单位以适当的方式运往检验部门。运输方式应不损坏样本的外观及性能。样品箱、样品桶、样品的包装也应满足上述要求。

抽样结束后, 由抽样人填写样品登记表, 其内容应该有: 产品生产单位; 产品名称、型号、图号; 样品中单件产品编号及封样器编号; 抽样依据; 样本大小; 抽样基数; 抽样地点; 运输方式; 抽样日期; 抽样人姓名、封样人姓名。

(三) 检测前的检查

(1) 检验人员需对样品进行检查, 确认其外观质量及工作状态并记录在案。

(2) 检验人员应检查实验室的环境条件(温度、湿度、照度、震动、电源等)并记录在案。

(3) 检验人员需检查检测仪器、设备的性能是否正常, 是否有计量合格证或准用证, 并记录在案。

(4) 检验人员应对测试仪器、设备的安装方式、安装位置、连接方式等进行检查, 并记录在案。

(5) 在进行不可重复的试验前, 应有被检产品生产单位的代表对检测方法、检测仪器、检测条件进行检查, 确认无误并签字认可后方可开始试验。此类检验不接受复测申诉。

(四) 检测实施细则

(1) 检测实施细则一般包括下列内容:

①产品技术标准;

②抽样方法及其样本大小;

③检测项目、被测参数大小及允许变化范围;

④检测仪器、设备的名称、型号、量程、准确度、分辨率;

⑤检测系统框图;

⑥计量检测前后, 对被测样品、计量检测仪器的检查项目;

⑦对测量用仪器及设备的安装要求;

⑧对电源、供气、供水压力及环境条件(温度、湿度、振动)等的检查及从保证计量检测结果可靠角度出发允许的变化范围的规定;

⑨在计量检测过程中发生异常现象——如1) 被测件损坏或被测件工作异常, 2) 首次测量超差, 3) 计量测试结果散布太大——时的处理办法;

⑩在计量检测过程中发生事故——如1) 停电、停水、停气或发生其他非人力可避免的自然灾害, 2) 计量检测仪器、设备发生意外损坏——时的处理办法;

⑪检测结果判断方法。

(2) 为保证检测系统测量的准确度, 可用如下公式计算:

①由一台检测仪器或设备组成的简单检测系统

$$\delta = \sqrt{\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_C^2}$$

式中 δ ——测量准确度；

δ_A ——仪器设备检定误差；

δ_B ——人工误差；

δ_C ——安装及环境误差。

②由多台检测仪器或设备组成的复杂检测系统,先对每一台检测仪器或设备分别检定,得出其检定误差,在此基础上按下列计算:

$$\delta = \sqrt{\sum \delta_{Ai}^2 + \delta_B^2 + \delta_C^2}$$

式中 δ ——系统测量准确度；

δ_{Ai} ——每台检测仪器、设备的检定误差；

δ_B ——人工误差；

δ_C ——安装及环境误差。

③某些专用检测设备则应通过试验确定其检测数据的重复性。

(3) 为保证检测结果的可靠性,还要注意检测仪器的量程、分辨率和测量不确定度符合下列要求(产品技术标准或测量方法标准中明确指定测量仪器、设备的除外):

$$1/5 \leq S \leq 2/3 S$$

$$r \leq 1/10 T$$

$$U \leq (1/3 - 1/10) T$$

式中 A ——被测参数大小；

S ——测量仪器量程；

r ——测量仪器分辨率；

T ——被测参数允许变化范围；

U ——测量仪器的测量不确定度。

(五) 检测工作的质量控制

为了保证检测工作的质量,必须注意以下几个方面:

(1) 检测工作应严格按产品技术规定的检测方法或检测实施细则进行。

(2) 检验人员应经严格考核,每项检验工作的人员一般不少于2人,要防止检测数据在传递过程中发生差错。

(3) 在检测过程中出现边缘数据时应重复测量3次。

(4) 在检测过程中出现首次测量超差、首次测量被测件损坏或重复检测数据散布太大这种情况之一时应停止检测工作,在对被测件、检测仪器、设备的工作状态及安装状态、检测环境条件进行详细检查并经实验室主任确认后方可再开始检测,同时应对发生的问题进行记备查。

(5) 因外界干扰(停电、停水、停气等)而中断试验后,凡影响检验质量者必须重新开始检验工作,并将情况记备查;凡检验质量受外界干扰(停电、停水、停气等)影响后无法重新开始的检验项目则要先采用应急措施,以保证检验质量不受影响。

(6) 因检验仪器、设备故障或损坏而中断试验者,可用相同等级的、满足测试工作要求的代用仪器重新进行检验;无代用仪器、设备者必须将损坏的仪器设备修复并重新检定或校验合格后,方可开始检验。

(7) 凡因检测工作的失误或产品本身的原因造成在检测过程中样品损坏,无法得出完整的检测数据者,所有检验数据作废;重新抽样进行的检验必须完成全部项目,检验报告以第二次检验数据为准,不允许将两次检验的数据拼凑检验报告。

(8) 检测过程中如发生检测设备损坏、被测件损坏、人身伤亡等重大事故时,应保护现场并向技术负责人报告,待妥善处理后再进行检验。

(9) 检测工作结束后,全部检测数据应进行复核,确认无误才允许对被测件作检后处理。

(10) 检验工作结束后,应有专人对测试仪器设备的技术状态、被测件的状态、环境条件进行检查并记录在案备查。

(六) 常规分析的质量管理与控制图

人员、分析方法、仪器设备、原材料和环境是影响分析质量的主要因素,在正常情况下,只要对这五个方面有良好的管理和控制,就能使分析质量在事先获得一定的保证。可以采用质量控制图法来进行实验室内部的质量控制管理。

控制图假定分析数据大致符合正态分布, $N(\mu, \sigma^2)$ 在 $\pm 3\sigma$ 误差限内的覆盖率为 99.73%, 即超出一侧的数据出现的概率 $\approx 0.1\%$, 在正常情况下不应该也不可能出现。以测量值为纵坐标, 以日期或测量顺序为横坐标作图即为单值控制图, 也叫 $\bar{x}$ 控制图, 相当于将正常的正态分布图按顺时针方向转 90° 后再上下翻转 180° 所得到的图形。

控制图的制作以经验为基础, 对一个管理样, 至少要独立分析 20 次以上, 计算其标准偏差, 然后绘制控制图。所有这些结果不应在同一天内测定, 最好在一段时间里, 穿插在日常分析工作中, 用常规方法分析, 将结果积累而得。该系列测定值的平均值为 $\bar{x}$, 标准偏差为 s , 以 $\bar{x}$ 作中心线 (CL), 上下控制限 (UCL 和 LCL) 分别设在平均值的上下两边 ($\bar{x} + 3s$) 和 ($\bar{x} - 3s$) 处, 而上下警告限则分别在 ($\bar{x} + 2s$) 和 ($\bar{x} - 2s$) 处, 以虚线表示之。图 14-5 示例为某管理水样中铜含量测定的质量控制图。

在日常分析未知样时附带分析这份管理样, 并将管理样“打点”到这张控制图上。如果“打点”不出界, 表示分析的各种条件正常, 影响分析结果的只有偶然性因素而没有系统因素, 反映分析过程处于稳定状态或控制状态, 因此, 同时进行的未知样的分析结果也是可靠的。如果“打点出界”就可判断那一天的分析条件有异常 (正常情况下打点出界的可能性为 1% 左右), 除了偶然因素以外还可能有系统误差存在。这提示我们该找出系统原因并将其消除, 从而使分析过程逐步趋近并最后达到控制状态。

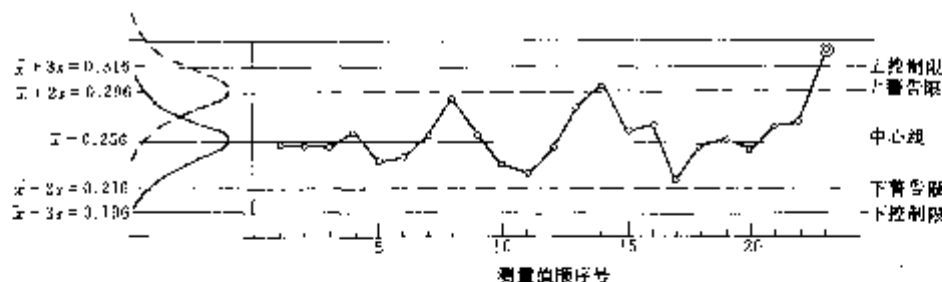


图 14-5 某管理水样中铜含量测定的质量控制图

$$\bar{x} = 0.256 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}, s = 0.020 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

判断分析过程是否处于控制状态的一些规则如下:

(1) 在点基本上随机排列时, 符合以下情况的均属正常: ①连续 25 点全部在界限之内; ②连续 35 点中在界外的不超过 1 点; ③连续 100 点中在界外的点不超过 2 点。

(2) 在中心线一侧连续出现的点叫“连”，其点数叫“连长”。当“连长”不小于7时，则认为有异常。

(3) 点逐渐上升或下降的状态成为“倾向”。当有连续不少于7点的上升或下降的“倾向”时，则判断有异常。

(4) 中心线一侧点连续出现而属以下情况的，则判断有异常：①连续11点中至少有10点；②连续14点中至少有12点；③连续17点中至少有14点；④连续20点中至少有16点。

(5) 点屡屡超出警告限而接近控制限属下列情况的，均为有异常：①连续3点中至少有2点；②连续7点中至少有3点；③连续10点中至少有4点。

(6) 所有点都集中在中心线附近（偏离极小），同样判断有异常。

在控制状态下测得的管理样分析数据积累更多后，可以将这些数据和原始数据一起重新计算平均值和标准偏差，再校正原来的控制图。

其他几种控制图：

(1) 多样控制图（ $\bar{x}$ 控制图）当检验人员对单一管理水样的测定值已经熟知时，就可能产生主观误差。如果在一段浓度范围内设置几个管理样，只要这些管理样的标准差基本一致，是一常数，就可将控制图稍作修改，以0为中心线，以误差 $\bar{x}$ 作纵坐标，仍以时间或实验次序为横坐标，以 $\pm 3s$ 为上、下控制限，以 $\pm 2s$ 为上、下警告限，以每次分析结果的误差值 $\bar{x} - \mu_i$ 在图上打点，即得多样控制图（ μ_i 代表第*i*个管理样的标准值），再采用密码分发这些管理样，就可避免主观误差。

(2) 平均值-极差控制图（ $\bar{x}$ - R 控制图） $\bar{x}$ - R 控制图实验上是两种图合并而成，对于计量数据而言，这是最常用、最基本的控制图。 $\bar{x}$ 控制图主要用于观察分布的平均值的变化， R 控制图主要用于观察分布的分散情况的变化。 $\bar{x}$ - R 控制图则将两者联合运用，可用来观察分布的总变化。

绘制 $\bar{x}$ - R 控制图时，至少要将管理样积累20对（每对做两次重复测定）测定数据，然后计算每对数据的平均值（ $\bar{x}_i$ ）和极差（ R_i ），再计算总平均值（ $\bar{X}$ ）和平均极差（ $\bar{R}$ ）：

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{R} = 1/n \sum R_i$$

利用表14-1所列控制图各因子计算上、下控制限（90%置信度）。

$\bar{X}$ 控制图：上控制限 $= \bar{X} + A_2 \bar{R}$

下控制限 $= \bar{X} - A_2 \bar{R}$

上警告限 $= \bar{X} + 2/3 A_2 \bar{R}$

下警告限 $= \bar{X} - 2/3 A_2 \bar{R}$

R 的控制限：上控制限 $= D_4 \bar{R}$

下控制限 $= D_3 \bar{R}$

上警告限 $= \bar{R} + 2/3 (D_4 \bar{R} - \bar{R})$

$= \bar{R} [(2D_4 + 1)/3] - H \bar{R}$

下警告限 $= \bar{R} - 2/3 (D_4 \bar{R} - \bar{R})$

A_2 、 D_3 、 D_4 、 H 为分别取决于重复测定次数的常数（见表14-1）。

表 14-1 计算控制图各条线的诸因子

每批样本容量 (n) (重复测定次数)	A_2	D_4	E_2	H
2	1.88	0	3.27	2.51
3	1.02	0	2.83	2.05
4	0.73	0	2.56	1.83
5	0.58	0	2.43	1.74
6	0.48	0	2.30	1.67
7	0.42	0.075	2.18	1.63
8	0.37	0.136	2.06	1.57

当 $\bar{x}$ - R 控制图绘制以后, 将逐日结果标于图上, 管理样与欲测的未知样同时分析, 计算重复测定管理样两次的结果的平均值和极差, 点于 $\bar{x}$ - R 控制图上。如果 $\bar{x}$ 和 R 都处于控制状态, 表明当天分析条件正常, 未知样的结果可靠。如果 $\bar{x}$ 和 R 两者之一超过控制限, 就需采取校正措施。

第六节 分析数据记录和检测报告的要求

(一) 原始记录

原始记录是检测结果的如实记载, 不允许随意更改, 不许删减, 一般不允许外单位查阅。记录原始数据的表格有国家相对统一的格式, 不能用铅笔填写, 内容须填写完整并有检测人员和校核人员的签名。校核者必须认真核对检测数据, 凡是可以重复检测的项目, 校核量不得少于 5%。

原始记录如需更改, 应在作废数据下划条形水平线, 将正确数据填入上方, 并加盖更改人印章。

原始记录在检查报告发出的同时归档, 有专门资料室的则送资料室保存。保存期不少于 5 年。

(二) 数据整理

检测数据的有效位数应与检测系统的准确度相适应, 不足部分以“0”补齐, 以使测试数据的有效位数相等。同一参数检测数据个数 3~10 间用算术平均值法, 大于 10 时用均方根法处理。

检测数据异常值按以下规则进行判断: ①检验每一单元内的检测结果中的异常值用 Grubbs 法; ②检验结果方差中的异常值用 Cochran 法; ③检验各实验室平均值中的异常值用 Dixon 法。当确定某一数据为异常值后, 用图 14-6 所列程序确定该值是否可以剔除, 整理后的数据应填入原始记录表中的相应位置上。

(三) 检测报告

检测报告是检验机构检验质量优劣的集中反映, 必须保证其内在的和外观的质量。检测报告应采用统一的格式, 不准用铅笔填写, 各检测数据均应采用法定计量单位, 项目应填写完整, 签名齐全, 文字简洁, 字迹清晰, 数据准确, 结论正确。检测报告不允许更改。

检测报告由各实验室主任审核, 审核范围包括报告的外观质量和内在质量。在审核中发现错误应由原填写人重新填写, 审核人不得自行更改。审核后的检测报告应经质量负责人签署意见, 由技术负责人批准, 并注明份数。

检测报告的发送登记及发送由办公室专人负责。检测报告的发送范围包括:

①属上级下达的检测任务，任务下达部门、产品生产单位、该单位的上级主管单位各一份，留档一份；

②委托检测项目仅向委托单位发一份，留档一份，严禁将检测报告发往同类产品生产单位。

当发出的检测报告发现错误时，应重新发一份报告代替，注明所代替的检测报告的编号，并将原检测报告收回。收回的检测报告应办理登记手续。

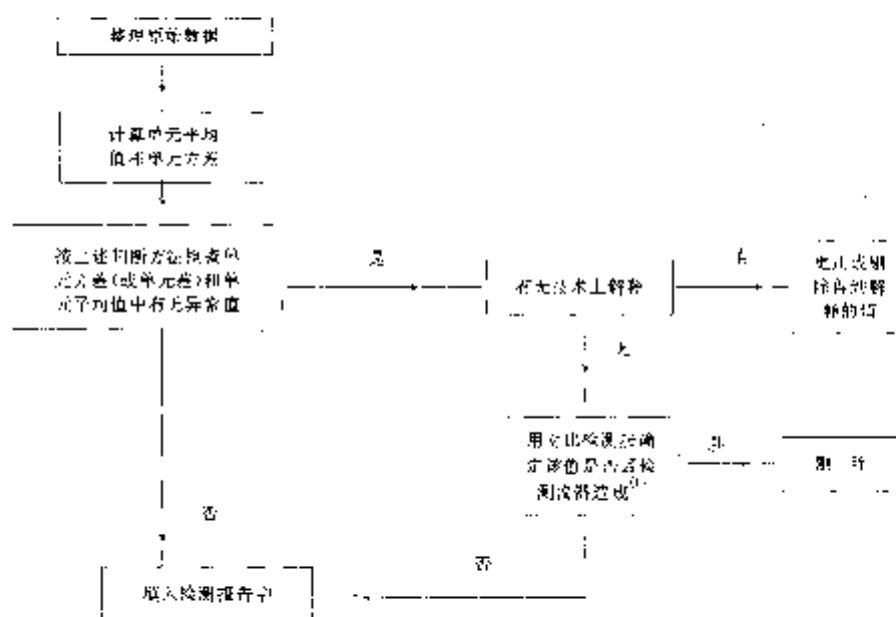


图14-6 异常值判定程序

①对比检测是用3台与原检测仪器准确度相同的仪器对原检测项目进行重复试验，若检测结果与原测试数据相符，则证明此异常值是由产品性能波动造成，若不相符，则证明此值是由仪器造成，可以剔除。

第七节 实验室日常工作制度

由于不同实验室的检验任务相差很大，不同实验室的组织形式也各不相同，其日常工作管理制度也就会有很大差别，但以下几个方面都是需要的。

（一）实验室管理制度

实验室是进行测试工作的场所，必须保持清洁、整齐、安静，在实验室内严禁随地吐痰，严禁抽烟、吃东西、喝水，禁止将与测试工作无关的物品带入实验室，任何人进入要换鞋更衣的实验室都应按规定更换工作服、鞋，实验室须健全卫生管理制度，每周（或每日）清扫一次；下班后或节假日必须切断电源、水源、气源，关好门窗，以保证安全；配备消防设施、灭火器并经常检查，任何人不得私自挪动或挪作他用，妥善保管仪器、设备的零部件，连接线、常用工具应排列整齐，不得横跨过道；外来人员参观必须事先联系，经批准后由有关人员接待。

（二）检验工作管理制度

具有常规检验任务的实验室需每月编制检验计划，临时任务可以临时安排；按照检验计划，由办公室填写任务通知单，连同样品领取单、样品交接单、样品技术资料交接单和样品

处理登记表各2份,交各检验室;各检验室将任务落实到各检验人员,检验人员持任务通知单、样品领取单、样品交接单、样品技术资料交接单和样品处理登记表去样品室领取样品及其他资料,并办理交接手续,其中样品交接单、样品技术资料交接单随检验工序流转;检验工作完成后,由检验人员在检验工作通知单的相应栏目填写相关内容,经实验室主任签署意见后将返回联交回办公室;检验工作质量及任务完成情况每月汇总上报。

(三) 事故分析报告制度

检验过程中发生下列情况按事故处理:样品丢失、损坏、零部件丢失;样品生产单位提供的技术资料丢失或失密,检验报告丢失,原始记录丢失或失密;因人员、检测设备、仪器、检测条件不符合检测工作的要求,试验方法错误,数据差错,从而造成的检验结论错误;检测过程中发生仪器设备损坏、人员伤亡。

因突然停水停电或其他外界干扰而中断检测,影响数据可靠性和正确性的属意外事故;因仪器设备老化等非人为因素所造成的不按事故处理。

重大、大事故发生后应立即采取有效措施,防止事态扩大,抢救伤亡人员并保护现场,通知有关人员处理事故。事故发生后3天内由发生事故单位填写事故报告单,报办公室;5天内由中心负责人主持召开事故分析会作出相应处理,并在1周内上报上级主管部门;针对问题制定相应的解决办法。

表14-2 实验室事故等级分类

	小事故	一般事故	大事故	重大事故
经济损失	≤100元	(100~1000)元	(1000~5000)元	≥5000元
人员伤亡	1人受伤,停工≤3d	1人受伤,停工(3~12)天;或2人受伤,停工(1~6)个月	3人以上受伤,停工(1~6)个月	3人以上受伤,停工(6)个月以上,或1人伤残死亡

(四) 计量器具管理制度

计量标准器具是最高实物标准,用于量值传递,特殊情况必须用于产品质量检验时应经中心(所)批准;计量标准器具的计量检定工作和维护保养工作由专人负责;计量标准器具保存环境应满足其说明书的要求,保持其技术状态处于最佳状态;计量标准器具的使用操作人员必须经考核合格并取得操作证书,每次使用都应作使用记录。

(五) 标准物质及样品管理制度

标准物质是工作基准,也是一种计量标准器。标准物质由业务科保存,保存环境应使其不变质,不降低其使用性能;标准物质的购置由各使用科室提出申请,经中心负责人批准后统一购买,并按说明书上规定的使用期限定期更换,不得购买无许可证的标准物质;标准物质的发放需履行登记手续。

样品保管必须有专人负责;样品到达后由该人会同有关专业室共同开封检查,确认样本完好后编号并办理登记手续,然后入样品保管室保存;样品上应有明显的区分标志;确保不同厂家的同类产品不致混淆,确保样品与已检样品不致混淆;样品保管室的环境条件应符合样品所需的要求,不致使样品变质、丧失或降低其功能;样品保管必须账、物、卡三者相符;样品检验时由各专业室填单领取并办理相关手续;检验工作结束,检验结果经核实无误后将剩余样品送回保管室,可通知来样单位领回(复检样品保管期一般为申诉有效期限1个月,过期不领取则作无主物品处理);除用户有特殊要求外,破坏性检验后的样品一般不再保存;备

用样品至少需保管3个月。

(六) 仪器设备的购置、验收及管理制度

计量标准器具、测试仪器、设备、测试用化学试剂、玻璃器皿等的购置由各测试室提出申请，由中心主任批准后交业务科办理；普通试剂、器皿等在年初提出全年计划；对于临时性的、专用性强的、有效期短的物品提前1个月提出计划，由业务科统一采购。

各类仪器、设备、试剂等到货后由各使用科室进行质量复检，不能自检的应请有关单位来人复检，复检合格方能接收，填写相应卡片，不合格的统一由业务科联系返修或退货。

中心所有的仪器、设备实行统一管理调度，指定专人负责的原则。使用仪器、设备必须认真填写使用记录本，发现问题及时向仪器、设备负责人反映；各仪器、设备负责人要认真维护好设备，严禁违反操作规程或无操作证的人员使用仪器、设备。

仪器设备严禁超量程、超负荷、超周期使用或带病运行，凡因违反上述规定而产生的一切后果均由责任者承担。仪器设备在使用中发现异常，应立即停止使用，并查明原因，进行维修。测试仪器、设备的维修由仪表室管理，具体措施参见第三节内容。

当测试仪器、设备的技术性能降低或功能丧失、损坏时，应办理降级使用或报废手续。凡降级使用的仪器、设备均应由各测试室提出申请，由仪表室确定其实际检定精度，提出使用范围的建议，经中心主任批准后实施。降级使用情况应载入设备档案。凡报废的仪器、设备应由测试室填写《仪器、设备报废申请单》，经仪表室确认后由中心主任批准并填入设备档案。已报废的仪器、设备不应存放在实验室内，其档案由办公室统一保管。

计量标准器一律不出借，一般不得直接用于检测。中心内部仪器的借用由各测试室自行商定，但仪器、设备所有权的调动应经中心领导同意，并在技术档案上备案。外单位借用仪器、设备应办理书面手续并经中心领导批准，借出和归还都应检查仪器、设备的功能是否正常，并办理交接手续。

(七) 技术资料管理制度

技术资料的管理由办公室负责。

应该长期保存的技术资料：国家、地区、部门有关产品质量检验工作的政策、法令、文件、法规和规定；产品技术标准、相关标准、参考标准（国内外的）；检测规程、规范、大纲、细则、操作规程和方法（国外的、国内的或自编的）；计量检定规程、暂行校验方法；仪器说明书、计量合格证、仪器仪表及设备的验收、维修、大修、使用、降级、报废的记录；仪器设备明细表和台账；产品图纸、工艺文件及其他技术文件。

属于定期保存的资料有：各类检验原始记录（保管期不少于5a）；各类检验报告（保管期不少于5a）；用户反馈意见及处理结果（保管期不少于5a）；样品入库、发放及处理登记本（保管期不少于3a）；检验报告发放登记本（保管期不少于3a）。

技术资料入库时应办理交接手续，统一编号，且按保存期长短分类；测试人员如需借阅资料，应办理借阅手续。原始资料未经技术负责人许可，不允许复制。资料室人员要严格为用户保守技术机密，否则以违反纪律处理。超过保管期的技术资料应分门别类造册登记，经中心主任批准后才能销毁。

(八) 保密制度

保密范围：本中心业务、政策文件、技术水平、发展方向、科研项目的内容和进度；本中心未公开的技术资料、情报资料、检测仪器设备的技术条件及技术文件；本中心从事检测的特殊方法、技术手段和关键技术资料；送检单位的送检样品及全部技术资料，送检新产品

鉴定检验的技术文件及资料：检测原始记录、检验报告、仲裁报告、质量分析报告、检验事故分析报告的内容。

保密要求：认真遵守国家机关工作人员保密守则，凡违反本制度的规定所造成影响和损失者酌情严肃处理；原始记录一般不允许被检产品单位或其他单位查阅；文件、技术资料、检验报告的查阅须经技术负责人批准，履行借阅手续，按时归还，如有损坏或遗失的要追究责任；不向任何无关人员透露中心内部有关保密事项；有关内部计划、报表、技术资料、检验记录、试验报告（总结）及科技情报资料等应由专人保管，任何人不得随意编印、转借和向外泄漏。

（九）技术安全管理制度

技术资料管理由中心的副主任主管并由办公室处理日常工作，各室也应设相应的不脱产人员分管。全中心所有工作人员都应自觉遵守安全制度和有关规定，严格执行操作规程，正确使用仪器、设备、工具，不得违章作业。外来人员、新来人员、见习人员、实习人员都应在接受安全教育后进入工作岗位，各单位每季度检查一次安全工作，全中心每半年检查一次，并写出检查报告。

（十）危险物品、贵重物品的管理制度

易燃、易爆、腐蚀性物品、剧毒品、放射性物品均属危险品，由业务科专人专库专账保管。各科室需用的危险品必须填写购买申请书，经室主任签字、领导批准后由业务科统一购买，任何部门不得自行购买。危险品的领用须经室主任签字批准，业务科核准后限额发放。危险品仓库应按规定与周围建筑设施、电源、火源间隔一定的距离并按其要求采取相应的安全措施。

贵重物品由办公室设专人专库建专账保管；领用贵重物品须经室主任签字批准后方可领用；领取后的贵重物品由领取人妥善保管，在使用过程中丢失，按责任事故处理；领用后未用或用后剩余的贵重物品应及早退回仓库，注明数量入库入账。

（十一）检验质量申诉的处理制度

检验质量申诉由质量负责人处理，并向中心负责人报告处理结果。受理检验质量申诉的有效期最长为自发出检验报告之日起3个月，特殊检测项目应在检验报告上另行注明，超过期限的质量申诉不予受理。

检验质量申诉包括以下几种：

- （1）被检产品生产单位要求对检验结果作进一步解释，但未对检验质量表示明确异议。
- （2）被检产品生产单位明确表示不同意检验结果而要求复查。
- （3）被检产品生产单位未向本中心提出异议，而直接向上级主管部门申诉。

检验质量争议的处理程序如下：

- （1）办公室将申诉分类登记后交质量负责人处理。
- （2）质量负责人会同相关检测室主任检查原检验报告；查阅原始记录、检测仪器、检测方法、测试环境、数据处理、结论判断方法等。如确实无误，签发确认原检验报告正确有效的文件并办理登记手续。
- （3）若经检查确因原始记录、数据处理、检验报告、结论判断等环节的失误而造成误判的应发题为《对于原编号为××的检验报告的更改》的报告，原检验报告作废，并办理登记手续，对造成错误的直接责任人作适当处理。
- （4）若经查是因原测试条件、检测仪器、检测方法的错误而造成误检的应将各用样品重新进行检验，重新发送检验报告，一切费用回本中心负担，并对责任人进行处理。

(5) 如确认原检验报告正确无误, 则送样单位需支付与原测试费相等的复验费。

(6) 如送样单位对复测结果仍有异议, 可向上级部门反映, 由高一测试单位重新抽样检验, 经济责任由败诉方负担。不可重复性试验原则上不受理申诉。

有关检验质量申诉的全部资料均作为技术档案在处理一个月后由质量负责人整理后交办公室归档。

第八节 实验室环境要求

为了确保检测质量, 实验室环境应满足以下条件:

(1) 满足该实验室工作任务的要求, 其中对部分实验室 (包括化验室及平时存放仪器设备的仪器室) 的环境 (温度、湿度和其他要求) 应满足相应的仪器设备使用保管的技术要求, 对某些电磁检测设备的仪器室需有电磁屏蔽设施。仪器室内应配备供检查仪器用的试验台 (桌)。

(2) 实验室内应保持清洁、整齐, 精密大型仪器室应有更衣换鞋的过渡间。

(3) 检测仪器设备的放置应便于操作人员的操作, 不能将实验室兼作检测人员的办公室。

(4) 实验室应有防火安全设施, 化验室应有通风设施。室内管道和电气线路的布置要整齐, 电、水、气要有各自相应的安全管理措施。化学药品的放置应合乎安全管理的要求。

(5) 实验室应配备必要的安全防护器具, 如防毒面具、橡皮手套和防护眼镜等。

(6) 三废处理应满足环保部门的要求。噪声大的试验设备 (如破碎机等) 应与操作人员的工作间隔离, 工作间的噪声不得大于 70 dB。

实验室环境的部分具体条件如下:

①电源电压: 220V 及 (380 ± 10) V, 配备稳压电源, 计算机配不间断电源

②电磁屏蔽: 特殊仪器室用双层铜丝网或铁皮屏蔽

③仪器室温度: $(25 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ (用空调器控制)。

④仪器室湿度: $< 70\%$ (用去湿机控制)

⑤仪器室噪声: $< 55\text{dB}$, 其外部噪声可由双层钢窗阻隔

⑥仪器室防震: 采用防震沟

⑦天平安装: 加防震座

⑧实验准备室: 有通风柜

⑨防火设施: 配备 1211 灭火器

主要参考文献

1. 赵片江、单毅生、李加农编著. 测试实验室计量认证及规范化管理. 北京: 中国计量出版社, 1992年.

第五篇 分析测试数据的统计处理

第十五章 数理统计基础

第一节 基础知识

一、总体和样本

1. 总体 又称母体,是指研究对象的全体或是指研究对象的某一特性的集合。
2. 样本 又称子样,是指从总体中随机抽取出有限个个体的集合。样本中所包含个体的数目称样本容量 (n)。

二、真 值

真值是指被测量本身所具有的真实大小。实际测量中不可能得到真值。实际工作中所用的真值 (ρ) 有三类:

1. 理论真值 如三角形内角之和等于 180° 。
2. 约定真值 是指用完善测量所得到的量值充分接近于真值,可以代替真值使用的量值,由国际计量大会定义的单位,如国际单位制 (SI) 的基本单位。
3. 相对真值 是指标准参考物质的证书上所标出的数值,如国际原子量。

三、均 值

1. 算术平均值 ($\bar{x}$) 是指 n 次等精度测定所得到的测定值 (x_i) 的总和除以测定次数所得的商。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (i=1, 2, \cdots, n) \quad (15-1)$$

2. 加权平均值 ($\bar{w}$) 由不等精度测定所得到的测定值 x_i 乘以各自加权因子 w_i 之和除以总权所计算的平均值:

$$\bar{w} = \frac{\sum_{i=1}^m (w_i x_i)}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (i=1, 2, \cdots, m) \quad (15-2)$$

式中 m 为组数, w_i 为测定值的权, $w_i = \frac{1}{s_i^2}$, s_i^2 是测定值的方差。

3. 均值的性质

- (1) 均值使偏差 (d) 之和为零。

$$\text{设} \quad d_i = x_i - \bar{x} \quad (15-3)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n x_i - n\bar{x} = 0$$

(2) 均值是偏差平方和 (Q) 最小的值。

$$Q = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (15-4)$$

$$\text{设 } \bar{x} = a, \text{ 则 } \frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - a)^2 \right]$$

$$\text{当 } \frac{\partial Q}{\partial a} = 0 \text{ 时, } a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

(3) 样本均值 $\bar{x}$ 是总体均值 μ 的无偏估计值。

四、中位数 (M)

把一组数据从小到大排列后,当样本容量 n 为奇数时,排在正中间的那个测量值就是中位数;若 n 为偶数,中位数是中间两个测量值的平均值,中位数与均值比较,受极端值的影响较小,中位数的绝对偏差之和最小。

五、精密度和准确度

1. 精密度 是表示多次重复测定某一量所得到的测量值 (x) 的离散程度。它可用偏差 (d), 平均偏差 ($\bar{d}$), 标准偏差 (s) 和极差 (R) 来量度。

$$\text{偏差 } d_i = x_i - \bar{x} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (15-5)$$

式中 $\bar{x}$ 是测量值的平均值。

$$\text{平均偏差 } \bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (15-6)$$

$$\text{相对平均偏差} = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (15-7)$$

$$\text{标准偏差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (15-8)$$

$$\text{相对标准偏差} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (15-9)$$

极差 (R), 一组数据中最大值与最小值之差称为极差, 又称全距或范围。

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (15-10)$$

2. 准确度 是指测定值 (x_i) 与真值 (μ) 的相符程度, 它表示测定值的可靠性, 用误差 (ε) 和相对误差表示。

$$\varepsilon_i = x_i - \mu \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (15-11)$$

$$\text{相对误差} = \frac{\varepsilon}{\mu} \times 100\% \quad (15-12)$$

六、方差及标准偏差

1. 方差 方差是指测量值 (x) 的离散程度, 总体方差 (σ^2) 定义为: 测量值对总体均值 (μ) 的误差平方和的平均:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (n \rightarrow \infty) \quad (15-13)$$

在通常的测量中, 只作有限次测量, 其方差估计值 (s^2) 是指测量值对均值的偏差平方和的平均:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (15-14)$$

其中 $n-1=f$ 称为自由度, f 是指偏差平方和中独立项的数目。

2. 标准偏差 方差的平方根的正值为标准偏差 (或标准差)。总体标准偏差记为 σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (n \rightarrow \infty) \quad (15-15a)$$

样本标准偏差记为 s

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (15-15b)$$

3. 平均值的标准偏差 对于一组等精度的测定, 其总体平均值的标准偏差 ($\sigma_{\bar{x}}$) 为

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma_x \quad (15-16)$$

在实际工作中, 测定次数是有限的, 即样本平均值的标准偏差 ($s_{\bar{x}}$) 为

$$s_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} s_x \quad (15-17a)$$

对于不等精度的测定, 即加权平均值的标准偏差 ($s_{\bar{x}}$) 为

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{s_i^2}\right)}} \quad (15-17b)$$

七、标准偏差的计算方法

1. 由样本值直接计算 (Hessel 法) 若有一组测定值 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 各测定值是等精度的, 且服从正态分布, 则标准偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2/n}{n-1}}$$

2. 极差法 当测量值次数 $n < 10$ 时, 标准偏差 (s)

$$s = \frac{1}{c} R \quad (15-18)$$

式中 R 为极差, c 是随 n 而变的一个系数, 见表15-1。

当 $n > 10$ 时, 可将 n 个数据分成 k 组, 一般每组内包含的测定值个数 $n_i < 10$, 则

$$s = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{R_i}{c_i} \quad (15-19)$$

式中 R_i 是各组内极差, c_i 是与组内数据个数 n_i 有关的系数, 当分组是均匀的, 即 $n_1 = n_2 = \dots =$

n_b , 则 $c_1=c_2=\cdots=c_b$, 那么上式可简化为

$$s = \frac{1}{c} \frac{\sum_{i=1}^b R_i}{b} = \frac{\bar{R}}{c} \quad (15-20)$$

式中 $\bar{R}$ 是平均极差, c 则是随 n 及 b 而变的系数 (见表15-1)

表15-1 由极差 R 估算标准偏差 s 时校正因数 c 值及自由度 f 值表

$$s = \frac{R}{c_1} = \frac{1}{c_1} \frac{\sum_{i=1}^b R_i}{b}$$

$n \backslash b$	b	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	$b \geq 5$	$b = \infty$
2	f c_1	1.0 1.41	1.5 1.28	2.8 1.23	3.7 1.21	4.6 1.19	9.0 1.16	13.4 1.15	17.6 1.14	22.2 1.14	26.5 1.14	$0.878k + 0.25$ $1.128 + 0.32/k$	1.128
3	f c_1	2.0 1.91	3.8 1.81	5.7 1.77	7.5 1.75	9.3 1.74	13.4 1.72	27.5 1.71	36.6 1.70	45.6 1.70	54.7 1.70	$1.815k + 0.25$ $1.693 + 0.23/k$	1.693
4	f c_1	2.9 2.24	3.7 2.16	8.4 2.12	11.1 2.11	13.9 2.10	27.6 2.08	41.3 2.07	55.0 2.06	68.7 2.06	82.4 2.06	$2.718k + 0.25$ $2.069 + 0.18/k$	2.058
5	f c_1	3.8 2.48	7.5 2.40	11.1 2.38	14.7 2.37	18.4 2.36	36.5 2.34	54.8 2.33	72.7 2.33	90.8 2.33	108.9 2.33	$3.623k + 0.25$ $2.326 + 0.16/k$	2.326
6	f c_1	4.7 2.67	9.2 2.60	13.6 2.58	18.1 2.57	22.6 2.56	44.9 2.55	67.2 2.54	89.6 2.54	111.9 2.54	134.2 2.54	$4.486k + 0.25$ $2.534 + 0.14/k$	2.534
7	f c_1	5.5 2.83	10.8 2.77	16.0 2.75	21.3 2.74	26.5 2.73	52.9 2.72	79.3 2.71	105.6 2.71	131.8 2.71	158.3 2.71	$5.287k + 0.25$ $2.704 + 0.15/k$	2.704
8	f c_1	6.3 2.95	12.3 2.91	18.3 2.88	24.4 2.88	30.1 2.87	60.6 2.86	90.7 2.85	120.9 2.85	151.0 2.85	181.2 2.85	$6.031k + 0.25$ $2.847 + 0.12/k$	2.847
9	f c_1	7.0 3.08	13.4 3.32	20.5 3.01	27.3 3.00	34.0 2.99	67.8 2.98	101.6 2.96	135.3 2.96	169.2 2.97	203.0 2.97	$6.759k + 0.25$ $2.970 + 0.11/k$	2.970
10	f c_1	7.7 3.18	15.1 3.12	22.5 3.11	30.1 3.10	37.5 3.10	74.8 3.09	112.0 3.08	149.3 3.08	186.6 3.08	223.8 3.08	$7.453k + 0.25$ $3.078 + 0.10/k$	3.078

3. 中位数法 在小样本测定中, 当偏差取自中位数, 则可按照表 (15-2) 中公式计算标准偏差。

表15-2 用对中位数偏差计算标准偏差公式

测定次数 n	计算公式	测定次数 n	计算公式
2	$0.8862(x_2 - x_1)$	12	$0.1524(x_{12} + x_{11} + x_8 - x_4 - x_2 - x_1)$
3	$0.5908(x_3 - x_1)$	13	$0.1456(x_{13} + x_{12} + x_{10} - x_4 - x_2 - x_1)$
4	$0.4857(x_4 - x_1)$	14	$0.1389(x_{14} + x_{13} + x_{11} + x_8 - x_2 - x_1)$
5	$0.4288(x_5 - x_1)$	15	$0.1325(x_{15} + x_{14} + x_{12} + x_8 - x_2 - x_1)$
6	$0.2619(x_6 + x_5 - x_2 - x_1)$	16	$0.1311(x_{16} + x_{15} + x_{13} + x_8 - x_2 - x_1)$
7	$0.2370(x_7 + x_6 - x_2 - x_1)$	17	$0.1050(x_{17} + x_{16} + x_{14} + x_{12} - x_2 - x_1)$
8	$0.2197(x_8 + x_7 - x_2 - x_1)$	18	$0.1020(x_{18} + x_{17} + x_{15} + x_{13} - x_2 - x_1)$
9	$0.2068(x_9 + x_8 - x_2 - x_1)$	19	$0.5859(x_{19} + x_{18} + x_{16} + x_{14} - x_2 - x_1)$
10	$0.1968(x_{10} + x_9 - x_2 - x_1)$	20	$0.5706(x_{20} + x_{19} + x_{17} + x_{15} - x_2 - x_1)$
11	$0.1608(x_{11} + x_{10} - x_2 - x_1)$		

4. 最大误差法 若真值已知, 在 n 次测定中得到 n 个误差 $\epsilon_i = x_i - \mu$, 其中绝对值最大的误差为 $|\epsilon|_{\max}$, 则标准偏差可由下式估算。

$$s = c_n \cdot |e_i|_{\max} = \frac{|e_i|_{\max}}{k_n} \quad (15-21)$$

式中 c_n 是与测定次数 n 有关的系数, $c_n = \frac{1}{k_n}$, c_n 值见表15-3。

表15-3 最大误差法系数 c_n 与测定次数的关系

n	c_n	n	c_n	n	c_n	n	c_n	n	c_n
1	1.27	6	0.61	11	0.52	16	0.48	21	0.46
2	0.88	7	0.58	12	0.51	17	0.48	22	0.45
3	0.73	8	0.56	13	0.50	18	0.47	23	0.45
4	0.68	9	0.55	14	0.50	19	0.47	24	0.45
5	0.64	10	0.55	15	0.49	20	0.46	25	0.44

5. 最大偏差法 若进行 n 次独立测定, 得 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 均值 $\bar{x}$, 其偏差

$$d_i = x_i - \bar{x}$$

因此, 单次测定的标准偏差为

$$s = \frac{|d_i|_{\max}}{k_n} \quad (15-22)$$

式中 k_n 与测定次数有关的系数, 其值见表15-4。

表15-4 最大偏差法 k_n 系数表

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30
k_n	1.77	1.02	0.83	0.74	0.68	0.64	0.61	0.59	0.57	0.51	0.48	0.46	0.44

第二节 正态分布

一、正态分布的概率密度函数

随机变量所有可能的取值和每一个可能取值的相应概率的分布称为随机变量的概率分布。在分析测试中, 测量值和测定误差都是随机变量, 它服从一定的概率分布。

若有 n 个测定值 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 当 n 足够大时, 这 n 个测定值, 通常表现为正态分布, 可用正态概率密度函数来表示。对任何正态变量 x , 概率密度函数 $f(x)$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], (-\infty < x < +\infty) \quad (15-23)$$

式中 μ 是总体均值, 表示样本值的集中趋势, 在不存在系统误差的情况下, 就是真值。

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx \quad (15-24)$$

σ^2 是总体方差, 表示测定值的离散程度。

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x-\mu)^2 \cdot f(x) dx \quad (15-25)$$

随机变量 x 的正态分布可表示为 $N(\mu, \sigma^2)$, x 的分布曲线如图15-1所示。

正态分布具有下列重要性质:

(1) 在 $x=\mu$ 点, $f(x)$ 达到极大值, 当 $\sigma=1$, $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \approx 0.4$; 当 $\sigma=0.5$, $f(x) = \frac{1}{0.5\sqrt{2\pi}}$

≈ 0.8 , σ 越小, 测定值精密度越好, 集中在均值附近的越多。

(2) 正态分布密度函数曲线, 关于 $x = \mu$ 时是对称的, 即相对于平均值而言, 测定值出现正负偏差的机会是相同的。

(3) 在 $x = \mu + \sigma$ 处, 各有一个拐点。

(4) μ 的变化, 导致曲线的平移, 但不改变它的形状。利用这一性质, 通过统计检验, 可以对测试中是否存在系统误差做出判断。

(5) σ^2 的变化, 使曲线变宽或变窄, 而不改变 μ 值, 利用这一性质, 通过统计检验, 可以对测试的精密度是否有显著性差异做出判断。

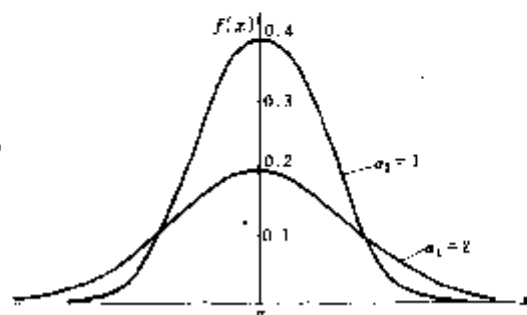


图 15-1 正态分布, 概率密度曲线
(μ 相同, $\sigma_1 < \sigma_2$)

二、随机误差的分布

如果将(15-19)式中的自变量(x , 测定值)换作单次测定的误差(ξ)

$$\xi = x - \mu$$

则可得到随机误差正态分布密度函数 $f(\xi)$

$$f(\xi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma^2}\right) \quad (15-26)$$

记为 $N(0, \sigma^2)$ 分布曲线如图15-2所示。

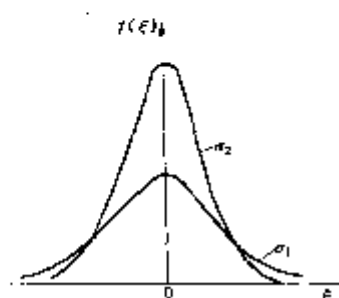


图 15-2 随机误差的正态分布曲线
($\sigma_1 = 2\sigma_2$)

从随机误差正态分布曲线看出:

(1) 当横坐标 $\xi = x - \mu = 0$ 时, 概率密度 $f(\xi)$ 值最大

$$f(\xi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

因此, 曲线形状只取决于标准偏差 σ 。

当 $\sigma = 0.5$, $f(\xi) \approx 0.8$; 当 $\sigma = 1.0$, $f(\xi) \approx 0.4$; 当 $\sigma = 2.0$, $f(\xi) \approx 0.2$ 。所以, 当 σ 越小, 曲线越陡。

(2) 纵坐标从 $x = 0$ 移到 $x = \mu$, 所以, 曲线以 $\xi = 0$ 的点线为对称轴。

随机误差具有如下性质:

(1) 对称性, 正负误差出现的概率相等。

(2) 出现小误差的概率大, 大误差的概率小。此外, 有时(15-19)式还可表示为

$$f(\xi) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \exp(-h^2 \xi^2) \quad (15-27)$$

式中 $h = \frac{1}{\sigma\sqrt{2}}$

h 与 σ 成反比, 即 σ 越小, h 就越大, 精密度越高。因此, h 又称精密度指数。

三、标准正态分布

如果以标准偏差 σ 为单位表示随机误差,即横坐标用变量 u 表示

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (15-28)$$

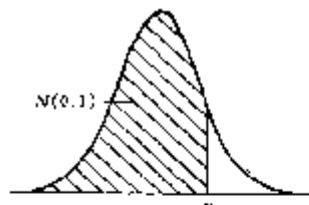
则得到

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) \quad (15-29)$$

$f(u)$ 仍为随机误差的正态分布密度函数。由于两个基本参数 ($\mu=0, \sigma=1$) 已确定, 所以它的分布也是确定的。称为标准正态分布, 记为 $N(0, 1)$ 。其曲线的位置和形状是唯一的。因此, 可把标准正态分布制成表 15-5, 由标准正态分布表, 可以方便的求得 x 落在某一区间的概率。

表 15-5(1) 标准正态分布的累积分布 $N(0, 1)$ 数值表

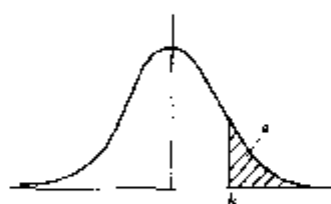
$$N(0, 1) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du$$



u	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7938	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8532	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8688	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9912	.9914
2.4	.9916	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9975	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998
z	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291	3.691	4.417	
$N(u)$	.90	.95	.975	.99	.995	.999	.9995	.99995	.99999	
$2N(u) - 1$	.20	.70	.95	.98	.99	.998	.999	.9999	.99999	

表15-5(2) 标准正态分布表

$$\sigma = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) \cdot du$$



k	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641
0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3935	.3897	.3859
0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.9	.1843	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0839	.0823
1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.6	.0548	.0537	.0526	.0515	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
1.8	.0359	.0350	.0341	.0333	.0325	.0317	.0310	.0302	.0294	.0287
1.9	.0280	.0272	.0264	.0256	.0249	.0242	.0235	.0228	.0221	.0214
2.0	.0208	.0202	.0195	.0189	.0183	.0177	.0171	.0166	.0160	.0155
2.1	.0150	.0145	.0140	.0135	.0130	.0125	.0120	.0116	.0111	.0106
2.2	.0102	.0097	.0093	.0089	.0085	.0081	.0077	.0073	.0069	.0065
2.3	.0061	.0057	.0054	.0050	.0047	.0043	.0040	.0037	.0034	.0031
2.4	.0028	.0025	.0022	.0020	.0017	.0015	.0012	.0010	.0008	.0006
2.5	.0005	.0003	.0002	.0001	.0001	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

四、对数正态分布

由于在实际的分析测试中,所获得的数据,不一定都服从正态分布,有的数据经过对数变换,以 $\lg x$ (或 $\ln x$) 代替测定值 x 后,数据 $\lg x$ (或 $\ln x$) 服从正态分布,则称 x 服从对数正态分布,其数据就可按正态分布处理。

第三节 t 分 布

分析测试数据当 $n > 30$ 时,一般都服从正态分布,因此,可以用大样本的均值 $\bar{x}$ 和方差 s^2

作为总体均值 μ 和 σ^2 的无偏估计量。而在通常的分析测试中,只进行3~5次测定,都是小样本试验,需用小样本统计理论来处理,可用 t 分布来处理, t 分布是与正态分布相类似的一种统计分布,统计量 t 定义为

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s_x / \sqrt{n}} = \frac{\bar{x} - \mu}{s_x / \sqrt{n}} \quad (15-30)$$

式中, $\bar{x}$ 是样本平均值; μ 是样本真值(总体均值); s_x 是样本均值的标准偏差; s_x 是单次测定值的标准偏差,则 $s_x = s_y / \sqrt{n}$ 。

t 分布的概率密度函数 $f(t)$

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi f}} \frac{\Gamma(\frac{f+1}{2})}{\Gamma(\frac{f}{2})} \left(1 + \frac{t^2}{f}\right)^{-\frac{(f+1)}{2}} \quad (15-31)$$

式中 f 为自由度,其值 $f = n - 1$, t 的概率密度曲线见图15-3。

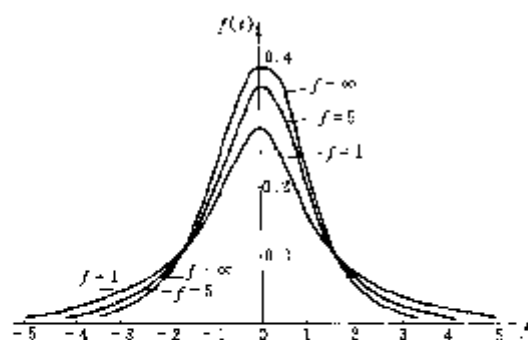


图 15-3 t 分布曲线

从 t 分布概率密度函数及曲线看出

(1) 函数 $f(t)$ 只取决于 f 和 t , t 分布临界值见表15-6。

(2) 所有曲线都保持了正态分布曲线的形状,当 $f < 10$ 时, t 分布曲线与正态分布曲线差别较大,随着 f 增大, t 分布概率密度曲线逐渐接近正态分布概率密度曲线,当 $f \rightarrow \infty$ 时,二者是严格一致的,这时统计量 t 等于统计量 u ,即 $t = u$ 。从(15-30)式可以得到式(15-32)。

$$\bar{x} - t \frac{s_x}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (15-32)$$

(15-32)式表示总体平均值的置信区间。 t 值取决于约定显著性水平 α (置信度 $E = 1 - \alpha$) 和样本容量 n 。 t_{α} 临界值可由表15-6查得,实验精密度越高(即 s 值越小),误差限越小,则用样本均值估计总体均值就越准确。

表15-6(1) t 分布临界值表(单侧)

$$p\{t(f) > t_{\alpha}(f)\} = \alpha$$



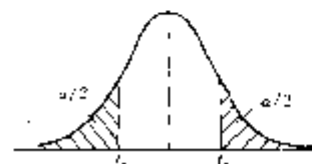
t	$\alpha=0.25$	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3138	12.7062	31.8207	63.6574
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.5248
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.7464	4.5407	5.8409
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0322
6	0.7176	1.4308	1.9432	2.4479	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3546	2.9980	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7538	3.1693

续表

f	$\alpha = 0.25$	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
11	0.6972	1.3654	1.7959	2.2110	2.7163	2.7053
12	0.6957	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	2.6745
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1554	2.6502	2.6423
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1418	2.6245	2.6166
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1215	2.6025	2.5967
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1159	2.5835	2.5808
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1058	2.5659	2.5782
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.5744
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.5695
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.5653
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5177	2.5614
22	0.6858	1.3213	1.7171	2.0759	2.5083	2.5588
23	0.6853	1.3196	1.7139	2.0647	2.4999	2.5572
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.5549
25	0.6844	1.3165	1.7081	2.0573	2.4851	2.5524
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0535	2.4786	2.5487
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.5470
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.5453
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.5444
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.5430
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.5420
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.5385
33	0.6820	1.3079	1.6924	2.0345	2.4448	2.5353
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.5361
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.5338
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.5316
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.5314
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.5315
39	0.6808	1.3036	1.6848	2.0227	2.4258	2.5309
40	0.6807	1.3031	1.6838	2.0211	2.4233	2.5305
41	0.6805	1.3025	1.6825	2.0195	2.4208	2.5302
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.5298
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.5295
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.5292
45	0.6800	1.3006	1.6794	2.0141	2.4121	2.5286

表15-6(2) : 分布临界值表(双侧)

$$P(|z| > z_{\alpha/2}) = \alpha$$



$f \backslash \alpha$	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	6.31	12.71	31.82	63.66	636.62
2	2.92	4.30	6.97	9.93	31.60
3	2.35	3.18	4.54	5.84	12.94
4	2.13	2.78	3.75	4.80	8.63
5	2.02	2.57	3.37	4.03	6.86
6	1.94	2.45	3.14	3.71	5.96
7	1.90	2.37	3.00	3.50	5.41
8	1.86	2.31	2.90	3.36	5.04
9	1.83	2.26	2.82	3.25	4.78
10	1.81	2.23	2.76	3.17	4.58

续表

$\alpha \backslash f$	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
11	1.80	2.20	2.72	3.1	4.41
12	1.78	2.18	2.68	3.06	4.32
13	1.77	2.16	2.65	3.01	4.22
14	1.76	2.15	2.62	2.96	4.14
15	1.75	2.13	2.60	2.93	4.07
16	1.75	2.12	2.58	2.92	4.02
17	1.74	2.11	2.57	2.90	3.97
18	1.73	2.10	2.55	2.88	3.92
19	1.73	2.09	2.54	2.86	3.88
20	1.73	2.08	2.53	2.85	3.85
21	1.72	2.08	2.52	2.83	3.82
22	1.72	2.07	2.51	2.82	3.79
23	1.71	2.07	2.50	2.81	3.77
24	1.71	2.06	2.49	2.80	3.75
25	1.71	2.06	2.48	2.78	3.73
26	1.71	2.06	2.48	2.78	3.71
27	1.70	2.05	2.47	2.77	3.69
28	1.70	2.05	2.47	2.76	3.67
29	1.70	2.04	2.46	2.75	3.66
30	1.70	2.04	2.46	2.75	3.65
40	1.68	2.02	2.42	2.70	3.55
60	1.67	2.00	2.39	2.66	3.46
120	1.66	1.98	2.36	2.62	3.37
∞	1.64	1.96	2.33	2.58	3.29

第四节 χ^2 分 布

一、 χ^2 分布概率密度函数

若 x 是遵从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 的随机变量, 从总体中随机抽取容量为 n 的样本, 样本方差为 s^2 , 则统计量,

$$\chi_{n-1}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \quad (15-33)$$

它遵从 $f=n-1$ 的 χ^2 分布, 其概率密度函数为

$$f(\chi^2) = \frac{1}{2^{f/2} \cdot \Gamma\left(\frac{f}{2}\right)} \cdot (\chi^2)^{\frac{(f-2)}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{\chi^2}{2}\right) \quad (15-34)$$

$$(0 \leq \chi^2 < \infty)$$

其曲线如图15-4所示。

χ^2 分布曲线是不对称的, 随着样本容量增大, 曲线不对称性逐渐减小, χ^2 分布表见表15-7。

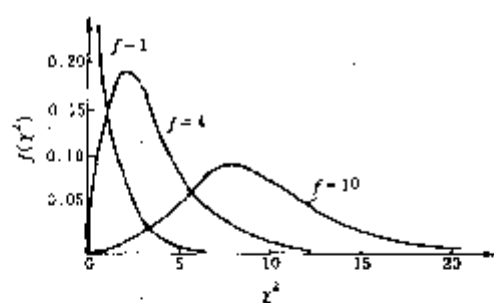


图 15-4 χ^2 分布概率密度曲线

二、估计总体方差 σ^2 的置信区间利用(15-33)式可估计总体方差 σ^2 的置信区间

$$\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{(1-\alpha/2), f}} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{(\alpha/2), f}} \quad (15-35)$$

式中 α 是给定的显著性水平, 在给定的 α 和 f 值下 χ^2 值可由表15-7查得。表15-7 χ^2 分布表

$$P\{\chi^2(f) > \chi^2_{\alpha}(f)\} = \alpha$$



$f \backslash \alpha$	0.985	0.99	0.975	0.95	0.90	0.75	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1			0.001	0.004	0.016	0.102	1.323	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	0.575	2.773	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	1.213	4.108	5.271	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	1.923	3.362	4.779	6.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	2.675	6.626	9.236	11.071	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	3.455	7.841	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	4.285	9.037	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	5.071	10.219	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	5.899	11.388	14.684	16.919	19.023	21.666	23.580
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	6.737	12.549	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.845	4.575	5.578	7.584	13.701	17.275	19.675	21.920	24.721	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	8.438	14.845	18.549	21.026	23.337	26.217	28.299
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	9.299	15.984	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	10.105	17.117	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.252	7.261	8.547	11.037	18.245	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	11.979	19.369	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.554	8.672	10.085	12.792	20.489	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.255	7.015	8.231	9.390	10.865	13.675	21.605	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	14.562	22.718	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	15.452	23.828	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.240	16.344	24.935	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.042	17.240	26.039	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	14.848	18.137	27.147	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.843	15.659	19.037	28.241	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559
25	10.520	11.524	13.120	14.611	16.473	19.939	29.330	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	20.843	30.435	35.563	38.885	41.923	45.642	48.280
27	11.808	12.879	14.573	16.15	18.114	21.749	31.528	36.741	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.563	15.308	16.924	18.939	22.657	32.620	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.257	16.047	17.708	19.768	23.567	33.711	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.954	16.791	18.493	20.599	24.478	34.800	40.256	43.775	46.979	50.892	53.672

续表

α	0.995	0.99	0.975	0.95	0.90	0.75	0.55	0.40	0.25	0.025	0.01	0.005
31	14.438	15.655	17.519	19.281	21.431	25.330	35.867	41.422	44.985	48.232	52.191	57.007
32	15.134	16.352	18.291	20.073	22.371	26.364	36.973	42.585	46.194	49.480	53.486	58.328
33	15.815	17.074	19.047	20.867	23.119	27.219	38.058	43.745	47.400	50.725	54.776	59.643
34	16.501	17.785	19.806	21.653	23.852	28.136	39.141	44.963	48.602	51.906	56.061	60.964
35	17.192	18.509	20.569	22.435	24.797	29.054	40.223	46.050	49.802	53.203	57.443	62.275
36	17.887	19.233	21.336	23.259	25.645	29.973	41.304	47.212	51.098	54.437	58.619	63.581
37	18.586	19.960	22.106	24.075	26.492	30.893	42.383	48.363	52.192	55.668	59.892	64.883
38	19.289	20.691	22.878	24.894	27.343	31.815	43.462	49.513	53.384	56.896	61.152	66.181
39	19.986	21.426	23.654	25.695	28.196	32.737	44.539	50.660	54.572	58.20	62.426	67.479
40	20.707	22.164	24.433	26.499	29.051	33.660	45.616	51.805	55.758	59.342	63.691	68.765
41	21.421	22.906	25.215	27.326	29.907	34.585	46.692	52.949	56.942	60.581	64.950	69.053
42	22.138	23.650	25.999	28.144	30.765	35.510	47.766	54.090	58.124	61.777	66.206	70.335
43	22.855	24.398	26.785	28.966	31.625	36.436	48.840	55.230	59.304	62.990	67.459	71.615
44	23.584	25.148	27.573	29.787	32.487	37.363	49.913	56.369	60.481	64.201	68.710	72.893
45	24.311	25.901	28.366	30.612	33.350	38.291	50.986	57.505	61.656	65.410	69.957	74.163

第五节 F 分 布

若 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为总体 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 的一个随机样本, $x'_1, x'_2, \dots, x'_n$ 为另一个总体 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 的随机样本, 并且相互独立, 它们的方差分别为 s_1^2 和 s_2^2 , 则统计量:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (15-36)$$

遵从第一自由度 $f_1 = n_1 - 1$ 和第二自由度 $f_2 = n_2 - 1$ 的 F 分布。

F 分布的概率密度函数为

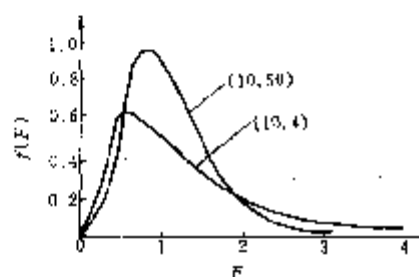


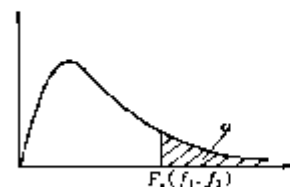
图 15-5 F 分布曲线

$$f(F) = \frac{\Gamma\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{f_1}{2}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{f_2}{2}\right)} \cdot f_1^{\frac{f_1}{2}} \cdot f_2^{\frac{f_2}{2}} \cdot \frac{F^{\frac{(f_1-2)}{2}}}{(f_2 + f_1 F)^{\frac{(f_1+f_2)}{2}}} \quad (15-37)$$

它取决于 F 值和计算样本方差 s_1^2 和 s_2^2 的自由度 f_1 和 f_2 , 相应的 F 分布曲线如图 15-5 所示。

从图 15-5 看出 F 分布曲线是不对称的, 但随着

f_1, f_2 增加不对称性减少。 F 分布表见表 15-8。

表 15-8 (1) F 分布表 ($\alpha=0.01$)

$f_1 \backslash f_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	∞
1	4052	1999.5	5403	5625	5764	5859	5926	5982	6022	6056	6096	6137	6200	6312	6366
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.42	99.43	99.45	99.48	99.50
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.05	26.87	26.65	26.52	26.43
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.27	15.06	14.86	14.69	14.55	14.37	14.20	14.02	13.85	13.76
5	16.26	13.27	12.05	11.39	10.97	10.73	10.54	10.39	10.26	10.15	9.98	9.82	9.65	9.50	9.42
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.52	8.35	8.19	8.07	7.97	7.79	7.64	7.48	7.34	7.27
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.24	7.08	6.94	6.83	6.74	6.56	6.42	6.26	6.13	6.07
8	11.26	8.66	7.59	7.01	6.63	6.42	6.27	6.14	6.04	5.95	5.77	5.64	5.48	5.35	5.30
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.05	5.85	5.70	5.58	5.49	5.40	5.22	5.09	4.93	4.81	4.76
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.63	5.44	5.29	5.17	5.08	4.99	4.81	4.68	4.52	4.40	4.36
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.13	4.98	4.86	4.77	4.68	4.50	4.37	4.21	4.09	4.05
12	9.33	6.92	5.95	5.41	5.06	4.87	4.72	4.60	4.51	4.42	4.24	4.11	3.95	3.83	3.79
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.67	4.52	4.40	4.31	4.22	4.04	3.91	3.75	3.63	3.59
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.50	4.35	4.23	4.14	4.05	3.87	3.74	3.58	3.46	3.42
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.54	4.35	4.20	4.08	3.99	3.90	3.72	3.59	3.43	3.31	3.27
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.42	4.23	4.08	3.96	3.87	3.78	3.60	3.47	3.31	3.19	3.15
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.32	4.13	3.98	3.86	3.77	3.68	3.50	3.37	3.21	3.09	3.05
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.23	4.04	3.89	3.77	3.68	3.59	3.41	3.28	3.12	3.00	2.96
19	8.18	5.92	5.01	4.50	4.15	3.96	3.81	3.69	3.60	3.51	3.33	3.20	3.04	2.92	2.88
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.08	3.89	3.74	3.62	3.53	3.44	3.26	3.13	2.97	2.85	2.81
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.02	3.83	3.68	3.56	3.47	3.38	3.20	3.07	2.91	2.79	2.75
22	7.95	5.72	4.82	4.32	3.97	3.78	3.63	3.51	3.42	3.33	3.15	3.02	2.86	2.74	2.70
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.91	3.72	3.57	3.45	3.36	3.27	3.09	2.96	2.80	2.68	2.64
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.87	3.68	3.53	3.41	3.32	3.23	3.05	2.92	2.76	2.64	2.60
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.83	3.64	3.49	3.37	3.28	3.19	3.01	2.88	2.72	2.60	2.56
30	7.58	5.39	4.51	4.02	3.67	3.48	3.33	3.21	3.12	3.03	2.85	2.72	2.56	2.44	2.40
40	7.31	5.18	4.31	3.82	3.47	3.28	3.13	3.01	2.92	2.83	2.65	2.52	2.36	2.24	2.20
50	7.08	4.96	4.10	3.61	3.26	3.07	2.92	2.80	2.71	2.62	2.44	2.31	2.15	2.03	1.99
100	6.65	4.75	3.90	3.41	3.06	2.87	2.72	2.60	2.51	2.42	2.24	2.11	1.95	1.83	1.79
120	6.42	4.51	3.78	3.29	2.94	2.75	2.60	2.48	2.39	2.30	2.12	1.99	1.83	1.71	1.67

表 15-8 (2) F 分布表 ($\alpha=0.025$)

$f_2 \backslash f_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	∞
1	847.8	799.5	764.2	739.6	721.8	707.1	694.2	682.7	673.3	665.5	658.7	652.9	647.8	643.4	639.1	635.1	631.4	628.0
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.38	14.34	14.31	14.29	14.28	14.27	14.26	14.25
4	12.22	10.67	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.78	8.73	8.69	8.67	8.66	8.65	8.64	8.63
5	10.01	8.43	7.75	7.38	7.15	6.99	6.85	6.76	6.68	6.62	6.57	6.53	6.50	6.48	6.47	6.46	6.45	6.44
6	8.61	7.25	6.58	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.45	5.39	5.35	5.32	5.30	5.29	5.28	5.27	5.26
7	8.07	6.74	6.08	5.74	5.50	5.32	5.19	5.09	5.01	4.94	4.88	4.84	4.81	4.79	4.78	4.77	4.76	4.75
8	7.57	6.25	5.60	5.26	5.02	4.84	4.71	4.61	4.53	4.46	4.40	4.36	4.33	4.31	4.30	4.29	4.28	4.27
9	7.21	5.91	5.26	4.92	4.68	4.50	4.37	4.27	4.19	4.12	4.06	4.02	3.99	3.97	3.96	3.95	3.94	3.93
10	6.94	5.65	5.00	4.66	4.42	4.24	4.11	4.01	3.93	3.86	3.80	3.76	3.73	3.71	3.70	3.69	3.68	3.67
11	6.72	5.45	4.80	4.46	4.22	4.04	3.91	3.81	3.73	3.66	3.60	3.56	3.53	3.51	3.50	3.49	3.48	3.47
12	6.55	5.29	4.64	4.30	4.06	3.88	3.75	3.65	3.57	3.50	3.44	3.40	3.37	3.35	3.34	3.33	3.32	3.31
13	6.41	5.15	4.50	4.16	3.92	3.74	3.61	3.51	3.43	3.36	3.30	3.26	3.23	3.21	3.20	3.19	3.18	3.17
14	6.30	5.05	4.40	4.06	3.82	3.64	3.51	3.41	3.33	3.26	3.20	3.16	3.13	3.11	3.10	3.09	3.08	3.07
15	6.20	4.95	4.30	3.96	3.72	3.54	3.41	3.31	3.23	3.16	3.10	3.06	3.03	3.01	3.00	2.99	2.98	2.97
16	6.12	4.87	4.22	3.88	3.64	3.46	3.33	3.23	3.15	3.08	3.02	2.98	2.95	2.93	2.92	2.91	2.90	2.89
17	6.04	4.80	4.14	3.80	3.56	3.38	3.25	3.15	3.07	3.00	2.94	2.90	2.87	2.85	2.84	2.83	2.82	2.81
18	5.98	4.74	4.08	3.74	3.50	3.32	3.19	3.09	3.01	2.94	2.88	2.84	2.81	2.79	2.78	2.77	2.76	2.75
19	5.92	4.68	4.02	3.68	3.44	3.26	3.13	3.03	2.95	2.88	2.82	2.78	2.75	2.73	2.72	2.71	2.70	2.69
20	5.87	4.63	3.97	3.63	3.39	3.21	3.08	2.98	2.90	2.83	2.77	2.73	2.70	2.68	2.67	2.66	2.65	2.64
21	5.83	4.59	3.93	3.59	3.35	3.17	3.04	2.94	2.86	2.79	2.73	2.69	2.66	2.64	2.63	2.62	2.61	2.60
22	5.79	4.55	3.89	3.55	3.31	3.13	3.00	2.90	2.82	2.75	2.69	2.65	2.62	2.60	2.59	2.58	2.57	2.56
23	5.75	4.51	3.85	3.51	3.27	3.09	2.96	2.86	2.78	2.71	2.65	2.61	2.58	2.56	2.55	2.54	2.53	2.52
24	5.72	4.48	3.82	3.48	3.24	3.06	2.93	2.83	2.75	2.68	2.62	2.58	2.55	2.53	2.52	2.51	2.50	2.49
25	5.69	4.45	3.79	3.45	3.21	3.03	2.90	2.80	2.72	2.65	2.59	2.55	2.52	2.50	2.49	2.48	2.47	2.46
26	5.66	4.42	3.76	3.42	3.18	3.00	2.87	2.77	2.69	2.62	2.56	2.52	2.49	2.47	2.46	2.45	2.44	2.43
27	5.63	4.39	3.73	3.39	3.15	2.97	2.84	2.74	2.66	2.59	2.53	2.49	2.46	2.44	2.43	2.42	2.41	2.40
28	5.61	4.37	3.71	3.37	3.13	2.95	2.82	2.72	2.64	2.57	2.51	2.47	2.44	2.42	2.41	2.40	2.39	2.38
29	5.59	4.35	3.69	3.35	3.11	2.93	2.80	2.70	2.62	2.55	2.49	2.45	2.42	2.40	2.39	2.38	2.37	2.36
30	5.57	4.33	3.67	3.33	3.09	2.91	2.78	2.68	2.60	2.53	2.47	2.43	2.40	2.38	2.37	2.36	2.35	2.34
40	5.42	4.18	3.52	3.18	2.94	2.76	2.63	2.53	2.45	2.38	2.32	2.28	2.25	2.23	2.22	2.21	2.20	2.19
60	5.29	4.05	3.39	3.05	2.81	2.63	2.50	2.40	2.32	2.25	2.19	2.15	2.12	2.10	2.09	2.08	2.07	2.06
∞	5.02	3.99	3.12	2.78	2.54	2.36	2.23	2.13	2.05	1.98	1.92	1.88	1.85	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79

表 15-8 (3) F 分布表 ($\alpha=0.05$)

$f_1 \backslash f_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.8	230.2	234.0	238.4	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.50	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.85	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.45	4.43	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.23
8	5.32	4.40	4.01	3.78	3.63	3.53	3.45	3.39	3.34	3.30	3.23	3.17	3.10	3.07	3.04	3.00	2.96	2.89
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.75	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.05	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.65
29	4.18	3.32	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.39
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.45	1.39	1.32	1.00

表 15-8 (4) F 分布表 ($\alpha=0.10$)

$f_1 \backslash f_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	∞
1	161.45	191.64	215.99	234.32	250.10	263.88	276.24	287.45	297.77	307.32	316.27	324.59	332.34	339.66	346.48	352.84	358.79	364.41
2	18.51	16.18	14.59	13.27	12.16	11.20	10.37	9.64	9.00	8.44	7.94	7.49	7.08	6.71	6.38	6.07	5.78	5.51
3	9.58	8.45	7.46	6.58	5.83	5.21	4.62	4.07	3.56	3.09	2.66	2.27	1.92	1.61	1.34	1.09	0.86	0.67
4	6.59	5.69	4.91	4.25	3.63	3.12	2.63	2.17	1.74	1.34	0.97	0.63	0.39	0.24	0.14	0.08	0.04	0.02
5	5.19	4.41	3.75	3.20	2.68	2.25	1.84	1.45	1.09	0.76	0.47	0.26	0.14	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00
6	4.35	3.68	3.13	2.63	2.19	1.77	1.37	0.99	0.66	0.39	0.22	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
7	3.86	3.29	2.77	2.30	1.87	1.45	1.06	0.69	0.38	0.21	0.11	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
8	3.50	2.94	2.44	2.00	1.57	1.15	0.77	0.41	0.22	0.11	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	3.24	2.69	2.20	1.77	1.35	0.94	0.57	0.29	0.15	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	3.05	2.51	2.03	1.62	1.21	0.80	0.44	0.23	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	2.80	2.27	1.81	1.41	1.00	0.59	0.33	0.17	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	2.55	2.03	1.58	1.19	0.78	0.47	0.25	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	2.30	1.79	1.35	0.97	0.56	0.34	0.18	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	2.15	1.65	1.22	0.85	0.44	0.27	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	2.00	1.51	1.09	0.73	0.32	0.19	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	1.85	1.37	0.96	0.61	0.20	0.12	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	1.70	1.23	0.83	0.49	0.08	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	1.60	1.13	0.74	0.39	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	1.50	1.03	0.65	0.31	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 15-8 (5) F 分布表 ($\alpha=0.25$)

$f_1 \backslash f_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	∞
1	5.63	7.50	8.20	8.58	8.82	8.98	9.10	9.19	9.26	9.32	9.41	9.49	9.58	9.70	9.85
2	2.57	3.00	3.15	3.23	3.28	3.31	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43	3.45	3.46
3	2.02	2.28	2.36	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.44	2.44	2.45	2.46	2.46	2.47	2.47
4	1.81	2.00	2.06	2.08	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
5	1.69	1.85	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.87	1.87
6	1.62	1.76	1.78	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.76	1.76	1.74	1.74
7	1.57	1.70	1.72	1.72	1.71	1.71	1.70	1.70	1.69	1.69	1.68	1.68	1.67	1.65	1.65
8	1.54	1.66	1.67	1.66	1.66	1.65	1.64	1.64	1.64	1.63	1.62	1.62	1.61	1.59	1.58
9	1.51	1.62	1.63	1.63	1.62	1.61	1.60	1.60	1.59	1.58	1.58	1.57	1.56	1.54	1.53
10	1.49	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.50	1.48
11	1.47	1.58	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.47	1.45
12	1.46	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.44	1.42
13	1.45	1.55	1.55	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.42	1.40
14	1.44	1.54	1.54	1.52	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.40	1.38
15	1.43	1.52	1.52	1.51	1.49	1.48	1.47	1.46	1.46	1.45	1.44	1.43	1.41	1.38	1.36
16	1.42	1.51	1.51	1.50	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.41	1.40	1.36	1.34
17	1.42	1.51	1.50	1.49	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.43	1.41	1.40	1.39	1.35	1.33
18	1.41	1.50	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.40	1.39	1.38	1.34	1.32
19	1.41	1.49	1.49	1.47	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.40	1.38	1.37	1.33	1.30
20	1.40	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.37	1.36	1.32	1.29
21	1.40	1.48	1.48	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.31	1.28
22	1.40	1.48	1.47	1.45	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.39	1.37	1.36	1.34	1.30	1.28
23	1.39	1.47	1.47	1.45	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.30	1.27
24	1.39	1.47	1.46	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.38	1.36	1.35	1.33	1.29	1.26
25	1.39	1.47	1.46	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.32	1.28	1.25
30	1.38	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.30	1.26	1.22
40	1.36	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	1.30	1.28	1.22	1.19
60	1.35	1.42	1.41	1.38	1.37	1.35	1.32	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27	1.25	1.19	1.15
120	1.34	1.40	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.16	1.10
∞	1.32	1.30	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24	1.22	1.19	1.12	1.09

第十六章 分析测试数据的统计检验

第一节 测试数据分布类型的检验

分析测试数据的分布一般有3种类型：正态分布，对数正态分布和偏态分布。在分析化学中获得的数据，通常为正态分布。在痕量分析中，测试数据有时不遵从正态分析，而服从对数正态分布，为了分清数据分布的规律性，可采用以下方法。

一、直 方 图

对于一组测定值 ($n \geq 100$)，制作直方图，步骤如下：

- ①找出测定值中最大值和最小值，求出极差。
- ②根据样本的大小分组，求出组距 (Δx)。
- ③确定分组边界值和组中值。
- ④数出各组的频数 (n_i)，求出频率 (n_i/n) 和相对频率 [$n_i/(n \cdot \Delta x)$]。
- ⑤以组距 (Δx) 为横坐标，相对频率为纵坐标作直方图。

例如用碘法测定某一铜合金中，铜含量的一组实验数据如下表所示，经分组处理后，求出频率和相对频率，列成表16-1。然后以组距 (Δx) 为横坐标，相对频率为纵坐标作直方图，见图16-1。

铜含量 $w/(%)$ 数据

60.04	60.92	61.58	60.55	60.17
61.22	59.88	60.22	61.00	60.57
60.37	60.77	60.54	61.31	60.62
61.25	61.17	60.92	61.07	61.12
60.86	60.84	60.63	60.65	60.65
60.64	60.41	60.58	60.70	60.47
61.02	61.25	60.42	61.31	61.63
61.20	61.30	60.25	60.32	60.98
60.75	60.97	60.53	60.64	60.76
60.82	60.65	60.50	60.77	61.14
60.43	61.32	61.41	60.76	60.69
60.74	61.06	60.37	60.36	59.98
60.60	60.76	60.35	60.12	60.91
60.53	60.94	60.70	60.77	60.33
61.05	61.10	60.40	61.62	61.01
60.58	60.53	60.92	60.80	60.61
60.59	60.57	60.62	60.58	60.67
61.15	61.04	61.06	61.63	61.00
60.65	60.63	60.76	60.59	60.82
60.76	60.65	60.78	60.43	60.92
61.38	60.14	60.83	60.81	60.97
60.54	60.83	60.99	60.90	60.07

从图16-1看出，所有矩形面积之和等于频率的总和：

$$S_B = \sum S_i = \sum \frac{n_i}{n \cdot \Delta x} \cdot \Delta x = \frac{\sum n_i}{n} = 1 \quad (16-1)$$

如果样本容量无限增多 ($n \rightarrow \infty$)，组距分得很细 ($\Delta x \rightarrow 0$) 时，直方图趋近一条平滑的曲线，从曲线的形状，可以初步判断测试数据的分布状况。

二、正态概率图示检验法

正态概率纸是通过标准正态分布来设计的。对于标准正态分布，其累计分布函数可表示为

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du$$

当 u 等距离变化时， u 为 $\dots, -3, -2, -1, 0,$

1, 2, 3, ... 由标准正态分布可分别求得它们的概率: 0.13%, 2.3%, 15.9%, 84.1%, 97.7%, 累计分布函数曲线如图 (16-2)。如果把 u 值作为纵坐标, 设纵坐标 $\Phi(u) = 50\%$ 的点为中心, 相应于 $u=0$, 正态分布累计分布函数曲线可变为直线, 见图 (16-3)。

表 16-1 频率分布表

组 序	分 组	n_i	$\frac{n_i}{n}$	$\frac{n_i}{n+\Delta x}$
1	55.835~60.035	2	0.018	0.090
2	60.035~60.235	5	0.045	0.250
3	60.235~60.435	11	0.100	0.500
4	60.435~60.635	22	0.200	1.000
5	60.635~60.835	26	0.256	1.180
6	61.835~61.035	20	0.182	0.910
7	61.035~61.235	13	0.118	0.590
8	61.235~61.435	7	0.064	0.320
9	61.435~61.635	3	0.027	0.135
10	61.635~61.835	1	0.009	0.045
Σ		110	1	

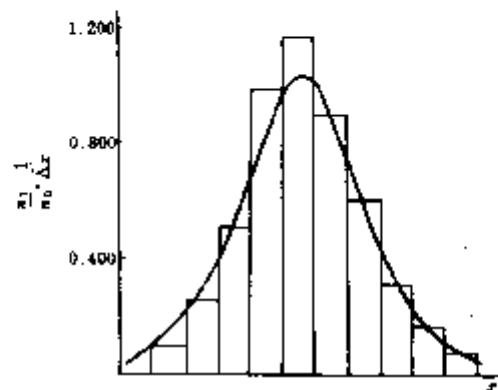


图 16-1 直方图

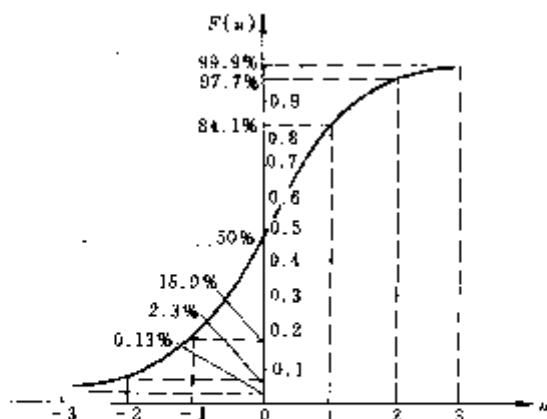


图 16-2 标准正态分布的累计分布函数曲线

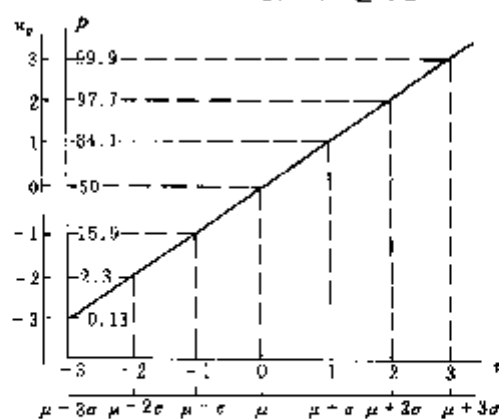


图 16-3 坐标系变换

对于一般的正态分布可用:

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (16-2)$$

化为标准正态分布, 所以一般形式的正态分布函数表示在这种正态概率纸上就是通过点 $(\mu, 0)$, 斜率为 $\frac{1}{\sigma}$ 的直线 ($u\sigma = x - \mu$, $\therefore \mu = x - u\sigma$)。对于一般正态分布, 在直线上, 纵坐标 $p = 50\%$ 所对应的横坐标为 μ , 纵坐标 $p = 15.9\%$, 所对应的横坐标为 $\mu - \sigma$, 由此可求得正态分布参数 μ 和 σ 。其具体作法是:

- ①将样本测定值按大小顺序排成 $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$;
- ②对于每个 x_i 计算出一个 $p(x_i)$, 现用中位秩公式计算

$$p(x_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (16-3)$$

- ③在概率纸上描点 $(x_i, p(x_i))$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

如果这 n 个点近似在一直线上, 可认为样本测定值服从正态分布, 由直线可求出均值 μ 和标准偏差 σ , 则所检验样本测定值服从正态分布 $N(\mu, \sigma)$ 。

续表

$\begin{matrix} \nearrow \\ \searrow \end{matrix}$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0.4843	0.4590	0.4342	0.4403	0.4450	0.4407	0.4368	0.4328	0.4251	0.4234
2	0.3165	0.3156	0.3136	0.3098	0.3069	0.3043	0.3015	0.2992	0.2968	0.2944
3	0.2578	0.2571	0.2563	0.2554	0.2543	0.2533	0.2522	0.2510	0.2499	0.2487
4	0.2119	0.2131	0.2139	0.2145	0.2148	0.2151	0.2152	0.2151	0.2150	0.2148
5	0.1736	0.1764	0.1787	0.1807	0.1822	0.1836	0.1848	0.1857	0.1864	0.1870
6	0.1399	0.1443	0.1480	0.1512	0.1539	0.1563	0.1581	0.1601	0.1616	0.1630
7	0.1092	0.1150	0.1201	0.1243	0.1281	0.1316	0.1346	0.1372	0.1395	0.1415
8	0.0804	0.0878	0.0941	0.0997	0.1045	0.1089	0.1128	0.1162	0.1192	0.1219
9	0.0530	0.0618	0.0696	0.0764	0.0823	0.0876	0.0923	0.0965	0.1002	0.1036
10	0.0263	0.0368	0.0459	0.0539	0.0610	0.0672	0.0728	0.0778	0.0822	0.0862
11	0.0000	0.0122	0.0228	0.0321	0.0403	0.0475	0.0540	0.0598	0.0650	0.0697
12	—	—	0.0000	0.0107	0.0230	0.0384	0.0558	0.0742	0.0933	0.0537
13	—	—	—	—	0.0090	0.0094	0.0178	0.0253	0.0320	0.0381
14	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0084	0.0159	0.0227
15	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0076
$\begin{matrix} \nearrow \\ \searrow \end{matrix}$	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	0.4320	0.4188	0.4153	0.4127	0.4096	0.4068	0.4040	0.4015	0.3989	0.3964
2	0.2921	0.2888	0.2876	0.2854	0.2834	0.2813	0.2794	0.2774	0.2755	0.2737
3	0.2475	0.2463	0.2451	0.2439	0.2427	0.2415	0.2403	0.2391	0.2380	0.2368
4	0.2145	0.2141	0.2137	0.2132	0.2127	0.2121	0.2116	0.2110	0.2104	0.2098
5	0.1874	0.1878	0.1880	0.1882	0.1883	0.1883	0.1883	0.1881	0.1880	0.1878
6	0.1641	0.1651	0.1660	0.1673	0.1678	0.1678	0.1683	0.1686	0.1689	0.1691
7	0.1433	0.1449	0.1463	0.1473	0.1487	0.1496	0.1506	0.1513	0.1520	0.1526
8	0.1243	0.1265	0.1284	0.1301	0.1317	0.1331	0.1344	0.1356	0.1366	0.1375
9	0.1065	0.1093	0.1118	0.1140	0.1150	0.1179	0.1196	0.1211	0.1225	0.1237
10	0.0890	0.0931	0.0961	0.0988	0.1013	0.1036	0.1056	0.1075	0.1092	0.1108
11	0.0739	0.0777	0.0812	0.0844	0.0873	0.0900	0.0924	0.0947	0.0967	0.0986
12	0.0585	0.0629	0.0669	0.0706	0.0749	0.0790	0.0828	0.0864	0.0898	0.0930
13	0.0435	0.0485	0.0530	0.0572	0.0610	0.0645	0.0677	0.0706	0.0733	0.0759
14	0.0289	0.0344	0.0393	0.0441	0.0484	0.0523	0.0559	0.0592	0.0622	0.0651
15	0.0144	0.0206	0.0262	0.0314	0.0361	0.0404	0.0444	0.0481	0.0515	0.0546
16	0.0000	0.0068	0.0131	0.0187	0.0239	0.0287	0.0331	0.0372	0.0408	0.0444
17	—	—	0.0000	0.0062	0.0119	0.0172	0.0220	0.0264	0.0305	0.0343
18	—	—	—	—	0.0000	0.0057	0.0110	0.0158	0.0203	0.0241
19	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0053	0.0101	0.0146
20	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0049
$\begin{matrix} \nearrow \\ \searrow \end{matrix}$	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	0.3940	0.3917	0.3894	0.3873	0.3850	0.3830	0.3808	0.3789	0.3770	0.3751
2	0.2719	0.2701	0.2684	0.2667	0.2651	0.2635	0.2620	0.2604	0.2589	0.2574
3	0.2357	0.2345	0.2334	0.2323	0.2313	0.2302	0.2291	0.2281	0.2271	0.2260
4	0.2091	0.2086	0.2078	0.2072	0.2065	0.2058	0.2052	0.2045	0.2038	0.2032
5	0.1876	0.1874	0.1871	0.1868	0.1865	0.1862	0.1859	0.1855	0.1851	0.1847
6	0.1693	0.1694	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1693	0.1692	0.1691
7	0.1531	0.1535	0.1539	0.1543	0.1545	0.1548	0.1550	0.1551	0.1553	0.1554
8	0.1384	0.1392	0.1398	0.1405	0.1410	0.1415	0.1420	0.1423	0.1427	0.1430
9	0.1249	0.1259	0.1269	0.1278	0.1285	0.1293	0.1300	0.1306	0.1312	0.1317
10	0.1123	0.1136	0.1149	0.1159	0.1170	0.1180	0.1189	0.1197	0.1205	0.1212
11	0.1004	0.1020	0.1035	0.1049	0.1062	0.1073	0.1085	0.1095	0.1105	0.1113
12	0.0891	0.0909	0.0927	0.0943	0.0959	0.0972	0.0986	0.0998	0.1010	0.1020
13	0.0782	0.0804	0.0824	0.0842	0.0860	0.0876	0.0892	0.0906	0.0919	0.0932
14	0.0677	0.0701	0.0724	0.0745	0.0765	0.0783	0.0801	0.0817	0.0832	0.0846
15	0.0575	0.0602	0.0628	0.0651	0.0673	0.0694	0.0713	0.0731	0.0748	0.0764
16	0.0476	0.0506	0.0534	0.0560	0.0584	0.0607	0.0628	0.0648	0.0667	0.0685
17	0.0379	0.0411	0.0442	0.0471	0.0497	0.0522	0.0546	0.0568	0.0588	0.0608
18	0.0283	0.0318	0.0352	0.0383	0.0412	0.0439	0.0465	0.0489	0.0511	0.0532
19	0.0188	0.0227	0.0263	0.0296	0.0328	0.0357	0.0385	0.0411	0.0436	0.0459
20	0.0094	0.0136	0.0175	0.0211	0.0244	0.0277	0.0307	0.0335	0.0361	0.0386
21	0.0000	0.0046	0.0087	0.0126	0.0163	0.0197	0.0229	0.0259	0.0288	0.0314
22	—	—	0.0000	0.0042	0.0081	0.0118	0.0153	0.0185	0.0215	0.0244
23	—	—	—	—	0.0000	0.0039	0.0076	0.0111	0.0143	0.0174
24	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0037	0.0071	0.0104
25	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0035

式(16-6)中,分母为样本值的偏差平方和,分子为样本值排序后,前后相对应的两个

样本值之差乘上权系数的总和的平方。如果样本来自正态总体分布, 样本的分布近似对称, W 值应接近 1。如果样本不是来自正态总体, 样本的分布是不对称的, 则分母变大, W 值小于 1, 样本分布偏离正态总体越远, 不对称性越大, W 值越小。如果约定的显著性水平为 α , 计算的 W 值等于或大于相应的 α 和样本容量 n 时的夏皮罗-威尔克临界值 $W_{(\alpha, n)}$, 则有 $(1-\alpha)$ 置信度, 认为“样本服从正态分布”的假设是正确的。反之, 若 $W < W_{(\alpha, n)}$, 则不能接受样本服从正态分布的统计假设。 $W_{(\alpha, n)}$ 值见表 16-3。

表 16-3 W 检验临界值 $W_{(\alpha, n)}$

(n=3, 4, …, 50)

 α 为显著性水平

α n	1%	2%	5%	10%	50%	α n	1%	2%	5%	10%	50%
3	0.753	0.756	0.767	0.780	0.939	27	0.894	0.906	0.923	0.935	0.965
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	28	0.896	0.908	0.924	0.936	0.966
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	29	0.898	0.910	0.926	0.937	0.966
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	30	0.900	0.912	0.927	0.939	0.967
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.926	31	0.902	0.914	0.929	0.940	0.967
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	32	0.904	0.915	0.930	0.941	0.968
9	0.764	0.794	0.829	0.859	0.935	33	0.906	0.917	0.931	0.942	0.968
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	34	0.908	0.919	0.932	0.943	0.969
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	35	0.910	0.920	0.934	0.944	0.969
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	36	0.912	0.922	0.935	0.945	0.970
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	37	0.914	0.924	0.936	0.946	0.970
14	0.825	0.846	0.874	0.896	0.947	38	0.916	0.925	0.936	0.947	0.971
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	39	0.917	0.927	0.939	0.948	0.971
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	40	0.919	0.928	0.940	0.949	0.972
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	41	0.920	0.929	0.941	0.950	0.972
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	42	0.922	0.930	0.942	0.951	0.972
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957	43	0.923	0.932	0.943	0.951	0.973
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959	44	0.924	0.933	0.944	0.952	0.973
21	0.873	0.888	0.908	0.923	0.960	45	0.926	0.934	0.945	0.953	0.973
22	0.878	0.892	0.911	0.926	0.961	46	0.927	0.935	0.945	0.953	0.974
23	0.881	0.895	0.914	0.928	0.962	47	0.928	0.936	0.945	0.954	0.974
24	0.884	0.898	0.916	0.930	0.963	48	0.929	0.937	0.947	0.954	0.974
25	0.888	0.901	0.918	0.931	0.964	49	0.929	0.937	0.947	0.955	0.974
26	0.891	0.904	0.920	0.933	0.965	50	0.930	0.938	0.947	0.955	0.974

五、偏度-峰度检验法

正态分布函数是以平均值为中心, 左右两侧对称的一条曲线, 曲线的高度和宽度受平均值和标准偏差制约。若用 C_s 和 C_k 分别代表正态分布函数的偏度和峰度, 它们的数值可用式 (16-7a) 和 (16-7b) 计算。

$$C_s = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad (16-7a)$$

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{s^4} \quad (16-7b)$$

式中 n 为样本容量, x_i 为第 i 个样本值, $\bar{x}$ 和 s 为其平均值和标准偏差。从理论上讲, 正态分

布曲线的 $C_s=0$, $C_e=3$ 。如果样本为非正态分布, 则曲线分布不对称, 即 $C_s \neq 0$ ($C_s < 0$, 曲线左偏; $C_s > 0$, 曲线右偏), 或峰的高度过高或过低, C_e 值偏离了。统计学上, C_s 和 C_e 偏离理论值的程度, 用偏度-峰度检验的临界值作为判断的依据。判断准则: 若 $|C_s| < C_{s\alpha}(n)$ 且 $C_e(a_F, n) < C_e < C_e(a_U, n)$, 认为样本服从正态分布。若 $|C_s| > C_{s\alpha}(n)$ 或 $C_e > C_e(a_U, n)$ 或 $C_e < C_e(a_F, n)$, 则认为样本为非正态分布。其中, $C_{s\alpha}(n)$ 是在显著性水平为 α 和样本容量为 n 时的偏度临界值, $C_e(a_U, n)$ 和 $C_e(a_F, n)$ 分别为峰度的上、下两个临界值, 其值从表16-4查得。

表16-4 偏度-峰度检验的分位数表

n	偏 度		峰 度			
	0.05	0.01	0.05		0.01	
			下 限	上 限	下 限	上 限
8	0.36	1.42	2.80	3.70	1.57	4.53
9	0.37	1.41	2.14	3.85	1.16	4.82
10	0.38	1.39	2.05	3.91	1.00	5.00
12	0.41	1.34	1.95	4.05	0.80	5.20
15	0.45	1.26	1.87	4.13	0.68	5.32
20	0.57	1.15	1.83	4.17	0.54	5.36
25	0.71	1.06	1.84	4.16	0.70	5.30
30	0.86	0.98	1.89	4.11	0.79	5.21
35	0.82	0.92	1.90	4.12	0.87	5.13
40	0.56	0.87	1.94	4.05	0.96	5.04
45	0.56	0.82	2.00	4.00	1.06	4.94
50	0.53	0.79	2.01	3.99	1.12	4.85
60	0.49	0.72	2.06	3.94	1.22	4.72
70	0.46	0.67	2.11	3.89	1.32	4.68
80	0.43	0.63	2.15	3.85	1.42	4.58
90	0.41	0.60	2.19	3.81	1.52	4.46
100	0.39	0.57	2.23	3.77	1.61	4.36

第二节 离群值的检验

检验离群值的方法是假定被检验的一组测定值是来自同一正态总体, 给定一个合理的显著性水平 α , 根据 α 和样本容量 n 确定一个误差限度, 即相应的统计检验的临界值。因此, 凡是检验离群值的实验统计量超过临界值, 就有 $(1-\alpha)$ 的置信度认为它不属于随机误差的范围, 此数据应予舍去。其方法有:

一、3倍标准偏差准则

在一组测定值中, 按大小排序为 $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$, 如果 x_1 或 x_n 与测定的平均值 $\bar{x}$ 之差的绝对值大于3倍标准偏差, 即

$$|x_1 - \bar{x}| > 3s \text{ 或 } |x_n - \bar{x}| > 3s \quad (16-8)$$

则认为 x_1 或 x_n 为异常值, 应从测定数据中舍去, 反之, 则不能舍去。式 (16-8) 中 s 为标准偏差, 当采用较严格的检验时, 可用2倍标准偏差。此方法适用于大样本测定。

二、狄克松检验法

群离值的狄克松 (Dixon) 检验法的步骤为:

- (1) 将样本值按大小顺序排列 $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$, 设 x_1 或 x_n 可能是离群值。
 (2) 计算离群值与最邻近数据的差值, 除以全组数据的极差, 其商为 D 值。

$$D = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} \text{ 或 } D = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \quad (16-9)$$

- (3) 判断, 如果计算的 D 值大小或等于 D 临界值 (见表16-5), 应舍去, 反之, 应保留此数据。

表16-5 狄克松检验法的临界值表 (单侧)

n	统计量	α			
		0.10	0.05	0.01	0.005
3	$D_{10} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1}$ 或 $D_{10} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1}$	0.886	0.941	0.988	0.994
4		0.579	0.765	0.880	0.926
5		0.357	0.642	0.780	0.821
6		0.182	0.500	0.698	0.740
7		0.134	0.407	0.637	0.680
8	$D_{10} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_2}$ 或 $D_{10} = \frac{x_2 - x_1}{x_{n-1} - x_1}$	0.179	0.554	0.683	0.725
9		0.141	0.512	0.635	0.677
10		0.109	0.477	0.597	0.639
11	$D_{10} = \frac{x_2 - x_{10}}{x_n - x_2}$ 或 $D_{10} = \frac{x_2 - x_1}{x_{n-10} - x_1}$	0.517	0.576	0.679	0.713
12		0.490	0.546	0.642	0.675
13		0.467	0.521	0.615	0.648
14		0.449	0.500	0.601	0.634
15		0.432	0.485	0.588	0.621
16	$D_{10} = \frac{x_2 - x_{10}}{x_n - x_2}$ 或 $D_{10} = \frac{x_2 - x_1}{x_{n-10} - x_1}$	0.454	0.507	0.595	0.624
17		0.438	0.490	0.577	0.605
18		0.424	0.475	0.561	0.589
19		0.412	0.462	0.547	0.575
20		0.401	0.450	0.535	0.562
21		0.391	0.440	0.524	0.551
22		0.382	0.430	0.514	0.541
23		0.374	0.421	0.505	0.532
24		0.367	0.413	0.497	0.524
25		0.360	0.406	0.489	0.516
26		0.354	0.399	0.482	0.508
27		0.348	0.393	0.475	0.501
28		0.342	0.387	0.469	0.495
29		0.337	0.381	0.463	0.489
30		0.332	0.376	0.457	0.483

三、格鲁布斯检验法

格鲁布斯检验离群值时采用统计量为:

$$G = \frac{|x_d - \bar{x}|}{s} \quad (16-10)$$

公式 (16-10) 中 x_d 表示可能的离群值; $\bar{x}$ 为所有被检验数据的平均值; s 为其标准偏差, 或用统计量 γ 进行检验。

$$\gamma = \frac{|x_d - \bar{x}|}{s \sqrt{\frac{n-1}{n}}} \quad (16-11)$$

式中符号与式 (16-10) 的符号具有相同意义, n 表示样本容量。由 (16-10) 和 (16-11) 式计算的 G 和 γ 值, 如分别大于各自的相应显著性水平 α 和测定次数 n 时的临界值 $G_{\alpha, n}$ 和 $\gamma_{\alpha, n}$,

则将 x_d 作为异常值舍去, $G_{\alpha,n}$, $Y_{\alpha,n}$ 见表16-6和表16-7。

表16-6 格鲁布斯检验临界值 $G_{\alpha,n}$ 表

n	α		n	α		n	α	
	0.01	0.05		0.01	0.05		0.01	0.05
3	1.15	1.15	12	2.53	2.25	21	2.91	2.58
4	1.43	1.43	13	2.61	2.33	22	2.94	2.59
5	1.75	1.67	14	2.66	2.37	23	2.96	2.62
6	1.94	1.82	15	2.70	2.41	24	2.99	2.64
7	2.10	1.94	16	2.74	2.44	25	3.01	2.66
8	2.22	2.03	17	2.78	2.47	30	3.10	2.74
9	2.32	2.11	18	2.82	2.50	35	3.18	2.81
10	2.41	2.18	19	2.85	2.53	40	3.24	2.87
11	2.48	2.24	20	2.88	2.57	50	3.34	2.96

表16-7 Y 检验的临界值 $Y_{\alpha,n}$ 表

n	α		n	α		n	α	
	0.01	0.05		0.01	0.05		0.01	0.05
3	1.154	1.112	10	2.540	2.256	17	2.871	2.551
4	1.732	1.629	11	2.606	2.343	18	2.903	2.577
5	1.955	1.869	12	2.663	2.387	19	2.932	2.600
6	2.130	1.996	13	2.714	2.426	20	2.959	2.623
7	2.265	2.093	14	2.759	2.461	21	2.984	2.644
8	2.374	2.172	15	2.800	2.493	22	3.008	2.664
9	2.464	2.237	16	2.837	2.525	23	3.030	2.683

四、 t 检验法

t 检验法的统计量

$$t_d = \frac{|x_d - \bar{x}|}{s} \quad (16-12)$$

式中 x_d 为离群值, $\bar{x}$ 和 s 为不包括离群值在内的 $(n-1)$ 个测定值的平均值和标准偏差。由式(16-12)式计算的 t_d 值大于表16-8中一定显著性水平 α 与测定次数 n 时的临界值 $t_{\alpha,n}$ 时, 应将 x_d 作为异常值舍去。反之, x_d 应保留。

表16-8 t 检验的临界值 $t_{\alpha,n}$ 表

n	α		n	α		n	α	
	0.01	0.05		0.01	0.05		0.01	0.05
4	11.46	4.97	13	3.23	2.29	22	2.91	2.14
5	8.53	3.56	14	3.17	2.26	23	2.90	2.13
6	5.94	2.94	15	3.12	2.24	24	2.88	2.12
7	4.36	2.78	16	3.08	2.22	25	2.86	2.11
8	3.98	2.67	17	3.04	2.20	26	2.85	2.10
9	3.71	2.51	18	3.01	2.18	27	2.84	2.10
10	3.59	2.43	19	2.98	2.17	28	2.83	2.09
11	3.41	2.37	20	2.95	2.16	29	2.82	2.09
12	3.31	2.33	21	2.93	2.15	30	2.81	2.08

五、 L_R 极差检验法

用极差检验离群值, 所用统计量是:

$$L_R = \frac{|x_d - \bar{x}|}{R} \quad (16-13)$$

式中 R 为极差。由 (16-13) 式计算的 t_R 值大于表 16-10 中给定的显著性水平 α 和测定次数 n 时的临界值, 则可把 x_L 作为异常值舍去。反之则保留此值。

表 16-9 t_R 临界值表 ($\alpha=0.05$)

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20
t_R	1.53	1.05	0.84	0.78	0.69	0.64	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.46

六、实验室间离群值的检验

若有 m 个实验室对同一试样进行测定, 得到 m 个平均值: $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$, 检验 $\bar{x}_1$ 或 $\bar{x}_m$ 是否是离群值, 其统计量

$$T_1' = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}}{\bar{s}_x} \quad \text{或} \quad T_m' = \frac{\bar{x}_m - \bar{x}}{\bar{s}_x} \quad (16-14)$$

式中 $\bar{x}$ 为实验室间测定平均值的标准偏差。若测定次数 n 相同时, 实验室间单次测定的标准偏差为

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{1}{m(n-1)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (16-15a)$$

若测定次数不相同 ($n_1 \neq n_2 \neq \dots \neq n_m$) 时, 则

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - 1) s_i^2}{\sum_{i=1}^m n_i - m}} \quad (16-15b)$$

式中 s_i 为第 i 实验室单次测定的标准偏差。实验室间平均值测定的标准偏差为

$$\bar{s}_x = \frac{\bar{s}}{\sqrt{m}} \quad (16-16)$$

当由 (16-14) 式计算的 T' 大于表 16-10 中相应显著性水平 α 和 m 下的临界值时, 则表明被检验的 $\bar{x}_1$ 或 $\bar{x}_m$ 与其他的实验室平均值之间有显著性差异, 应将它舍去。反之, 则应保留。

表 16-10 实验室间离群值检验临界值表

f	被检验的测定值的数目 m												被检验的测定值的数目 m											
	$\alpha=0.01$												$\alpha=0.05$											
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	3	4	5	6	7	8	9	10	12	3	4	5	6	7	8
10	2.73	3.16	3.52	3.78	3.92	3.98	3.99	3.99	4.04	2.01	2.27	2.46	2.60	2.72	2.81	2.89	2.96	3.08	2.73	3.16	3.52	3.78	3.92	3.98
11	2.72	3.02	3.24	3.39	3.52	3.63	3.72	3.79	3.93	1.98	2.24	2.42	2.56	2.67	2.76	2.84	2.91	3.03	2.72	3.02	3.24	3.39	3.52	3.63
12	2.67	2.96	3.17	3.32	3.45	3.55	3.64	3.71	3.84	1.96	2.21	2.39	2.52	2.63	2.72	2.80	2.87	2.98	2.67	2.96	3.17	3.32	3.45	3.55
13	2.63	2.92	3.12	3.27	3.38	3.48	3.57	3.64	3.76	1.94	2.19	2.36	2.50	2.60	2.69	2.76	2.83	2.94	2.63	2.92	3.12	3.27	3.38	3.48
14	2.60	2.88	3.07	3.22	3.33	3.43	3.51	3.58	3.70	1.93	2.17	2.34	2.47	2.57	2.66	2.74	2.80	2.91	2.60	2.88	3.07	3.22	3.33	3.43
15	2.57	2.84	3.03	3.17	3.29	3.38	3.46	3.53	3.65	1.91	2.15	2.32	2.45	2.55	2.64	2.71	2.77	2.88	2.57	2.84	3.03	3.17	3.29	3.38
16	2.54	2.81	3.00	3.14	3.25	3.34	3.42	3.49	3.60	1.90	2.14	2.31	2.44	2.53	2.62	2.69	2.75	2.86	2.54	2.81	3.00	3.14	3.25	3.34
17	2.52	2.79	2.97	3.11	3.22	3.31	3.38	3.45	3.56	1.89	2.13	2.29	2.42	2.52	2.60	2.67	2.73	2.84	2.52	2.79	2.97	3.11	3.22	3.31
18	2.50	2.77	2.95	3.08	3.19	3.28	3.35	3.42	3.53	1.88	2.11	2.28	2.40	2.50	2.58	2.65	2.71	2.82	2.50	2.77	2.95	3.08	3.19	3.28
19	2.49	2.75	2.93	3.06	3.16	3.25	3.33	3.39	3.50	1.87	2.11	2.27	2.39	2.49	2.57	2.64	2.70	2.80	2.49	2.75	2.93	3.06	3.16	3.25
20	2.47	2.73	2.91	3.04	3.14	3.23	3.30	3.37	3.47	1.87	2.10	2.25	2.38	2.47	2.56	2.63	2.68	2.78	2.47	2.73	2.91	3.04	3.14	3.23
24	2.42	2.68	2.84	2.97	3.07	3.16	3.25	3.29	3.38	1.84	2.07	2.23	2.34	2.44	2.52	2.58	2.64	2.74	2.42	2.68	2.84	2.97	3.07	3.16

续表

f	被检验的测定值的数目 m												被检验的测定值的数目 m											
	$\alpha = 0.01$												$\alpha = 0.05$											
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43
37	2.38	2.52	2.79	2.97	3.01	3.08	3.15	3.21	3.30	3.82	2.04	2.20	2.31	2.40	2.48	2.54	2.60	2.69	2.77	2.84	2.91	2.97	3.03	3.09
40	2.34	2.57	2.75	2.86	2.94	3.02	3.08	3.13	3.22	3.80	2.02	2.17	2.28	2.37	2.44	2.50	2.56	2.65	2.73	2.80	2.87	2.93	2.99	3.05
50	2.29	2.52	2.68	2.79	2.88	2.95	3.01	3.06	3.15	3.78	1.99	2.14	2.25	2.35	2.41	2.47	2.52	2.61	2.69	2.76	2.83	2.89	2.95	3.01
120	2.25	2.48	2.62	2.73	2.82	2.89	2.95	3.00	3.08	3.76	1.96	2.11	2.22	2.30	2.37	2.43	2.48	2.57	2.65	2.72	2.79	2.85	2.91	2.97
150	2.22	2.45	2.57	2.68	2.76	2.83	2.88	2.93	3.01	3.74	1.94	2.08	2.18	2.27	2.33	2.39	2.44	2.53	2.61	2.68	2.75	2.81	2.87	2.93

第三节 均值的检验

一、 u 检验法

u 检验是在总体方差 (σ^2) 已知条件下, 检验平均值的方法, 其步骤:

(1) 提出待检验的假设 $H_0: \bar{x} = \mu_0$,

(2) 根据样本值 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 及已知 σ 计算统计量 u ,

$$u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (16-17)$$

(3) 由给定的 α (或 $1-\alpha$) 查正态分布数值表15-4得 u_α 临界值。

(4) 比较由 (16-17) 式计算的 u 值及 u_α 临界值, 如果

$|u| > u_\alpha$, 拒绝原假设 H_0 ;

$|u| \leq u_\alpha$, 接受原假设 H_0 。

(5) 根据检验结果做出结论, 并对结论进行解释和说明。

二、 t 检验法

大样本测定中, 通常情况下遵从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$, 其中 μ 为总体均值, σ 为总体的标准偏差, 直接可用 u 检验。而化学分析一般只进行少数 n 次测定, 是小样本试验, 不能求得总体均值 μ 和总体标准偏差 σ , 只能得到样本均值 $\bar{x}$ 和样本标准偏差 s , 所以只能用统计量 t 来检验。

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (16-18)$$

t 检验程序为

(1) 提出检验假设, $H_0: \bar{x} = \mu_0$;

(2) 根据样本值 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 计算统计量 t 。

(3) 根据给定的显著性水平 α 和测定次数 n , 查 t 分布表15-6, 得 $t_{\alpha, f}$ 临界值。

(4) 比较计算的 t 值与 $t_{\alpha, f}$ 临界值, 如果

$t > t_{\alpha, f}$, 有显著性差异, 拒绝原假设 H_0 ;

$t \leq t_{\alpha, f}$, 无显著性差异, 接受原假设 H_0 。

(5) 根据检验结果做出结论, 并做出合理的解释。

1. 一个平均值的检验 这实际上是用标准试样法检验样本的平均值。把标样的名义值作为真值 (μ), 对要鉴定的某个新的分析方法, 用标样进行 n 次测定, 从样本值计算得 $\bar{x}$, s^2 。

现在的任务是确定 $\bar{x}$ 和 μ 是否一致, 即提出检验假设 $H_0: x = \mu$, 按照 t 检验法进行。如果样本是由同一总体抽取的, 分析方法又不存在系统误差, 则 $|t| < t_{\alpha, f}$, 即在约定的显著性水平 α 和测定次数 n 下应无显著性差异。反之, $|t| > t_{\alpha, f}$, 即样本的平均值与标样的名义之间存在显著性差异, 则新的分析方法有系统误差。

2. 两种方法互相检验 又称两个均值的比较, 它使用的统计量为

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{s_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (16-19a)$$

式中 $\bar{x}_1$ 和 $\bar{x}_2$ 分别为方法1和方法2的测定值的平均值; s_1 和 s_2 为其标准偏差; n 为其样本容量。这里 $n_1 = n_2 = n$ 。也可使用两个样本合并后的方差, 则:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{s^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (16-19b)$$

式中 s^2 为两个样本的合并方差

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (16-20)$$

并按 t 检验法进行检验。若 $t > t_{\alpha, f}$, 两个测定值的平均值有显著性差异, 反之, 认为两个平均值无显著性差异。临界值 $t_{\alpha, f}$ 中 α 为显著性水平; f 为自由度, 这里 $f = n_1 + n_2 - 2$, $t_{\alpha, f}$ 值可从表 15-6 查得。

3. 成对比较试验数据的检验 成对试验 t 检验法所用统计量是

$$t = \frac{|\bar{d} - d_0|}{\sqrt{s_d^2/n}} \quad (16-21)$$

式中 $\bar{d}$ 为每种试样在两种方法测定值之差 d_i 的平均值

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

n 为试样数, 当 $n \rightarrow \infty$ 时, $\bar{d} \rightarrow 0$, d_0 为成对数据差值的期望值, $d_0 = 0$, s_d 为成对测定值之差的 标准偏差

$$s_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2 \right]} \quad (16-22)$$

在有限次测定中, 两种方法, 两个实验室或两个分析人员测定值是否存在显著性差异, 通过比较 (16-19) 式中计算的统计量 t 与相应的 $t_{\alpha, f}$ 临界值, 即可做出判断。若 $t > t_{\alpha, f}$, 则有显著性差异, 反之, 测定值之间无显著性差异。 $t_{\alpha, f}$ 值从表 15-6 中查得。

第四节 方差的检验

一、一个总体方差的检验

一个总体方差的检验采用统计量

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{s^2} = \frac{1}{s^2} (n-1) s^2 \quad (16-23)$$

式中 s^2 是样本方差, σ^2 是总体方差, 统计量 χ^2 的大小反映了样本方差 s^2 与总体方差 σ^2 的差异程度, 在约定的显著性水平 α 和自由度下, 若 $\chi^2 > \chi^2_{1-\alpha/2, f_1}$ 或 $\chi^2 > \chi^2_{\alpha/2, f_1}$, 则说明样本方差与总体方差有显著性差异, 反之, 样本方差和总体方差是一致的, 临界值 $\chi^2_{1-\alpha/2, f_1}$ 和 $\chi^2_{\alpha/2, f_1}$ 在 χ^2 分布表 15-7。

二、两个总体方差的检验

两个总体方差的检验即 F 检验, 它的统计量是

$$F = (f_1, f_2) = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (16-24)$$

式中 s_1^2 和 s_2^2 分别是样本 1 和样本 2 的方差, 通常把数值大的作为分子, 数值小的作为分母, f_1 和 f_2 分别为计算 s_1^2 和 s_2^2 的自由度, $f_1 = n_1 - 1$, $f_2 = n_2 - 1$ 。

F 检验的步骤:

① 提出假设检验 $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ 或 $\sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$

② 由样本值 $x_1, x_2, \dots, x_{n_1}, y_1, y_2, \dots, y_{n_2}$, 计算

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \bar{y})^2} \cdot \frac{(n_2 - 1)}{(n_1 - 1)} \quad (i = 1, 2, \dots, n_1 \text{ (或 } n_2)) \quad (16-25)$$

③ 由给定的显著性水平 α 及 f_1, f_2 , 查 F 分布表 (表 15-8), 得 F_{α, f_1, f_2} (或 $F_{\alpha/2, f_1, f_2}$, $F_{1-\alpha/2, f_1, f_2}$)

④ 将计算的 F 值与 F_{α, f_1, f_2} 值比较, 若

$F > F_{\alpha, f_1, f_2}$, 显著性差异, 拒绝原假设 H_0 。

$F \leq F_{\alpha, f_1, f_2}$, 无显著性差异, 接受原假设 H_0 。

⑤ 根据检验结果做出结论, 并对结论提出解释。

当 $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ 时, 为双侧检验。

三、多个方差的检验

当有两个以上方差需要检验时, 可用 F 检验法检验一组方差中最大方差与最小方差。如果两者没有显著性差异, 则介于二者之间的那些方差也可以认为无显著性差异, 因此整组方差可认为同属于一个总体。如果两者有显著性差异, 则需要进行两两比较, 或直接用巴特莱 (Bartlett) 法、柯奇拉 (Cochran) 法和哈特利 (Hartley) 法。

(一) 巴特莱法

设有 m 个总体 ($m \geq 3$), 均遵从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$, 由 m 个总体中分别独立地抽取样本容量为 $n_1, n_2, \dots, n_m$ 的子样, 各样本方差分别为 $s_1^2, s_2^2, \dots, s_m^2$, 这时要检验的原假设 $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_m^2$, 其统计量

$$B = \frac{2 \cdot 303}{C} (f \lg s^2 - \sum_{i=1}^m f_i \lg s_i^2) \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (16-26)$$

式中 $C = 1 + \frac{1}{3(m-1)} \left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{f_i} - \frac{1}{f} \right)$

$$s^2 = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^m f_i s_i^2$$

$$f = \frac{\sum_{i=1}^m f_i}{f_i = n_i - 1}$$

f 为平均加权方差, n_i 和 s_i 为第 i 个样本的容量和方差。当各样本的容量相等时, 即 $f_1 = f_2 = \dots = f_m = f$ 时, (16-23) 式简化为

$$B = \frac{2.303}{C} m f s \left(\lg \bar{s}^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lg s_i^2 \right) \quad (16-27)$$

式中 $C = 1 + \frac{m+1}{3mf}$

在给定的显著性水平 α 和自由度 $(m-1)$ 下, 如果 $B > \chi_{(m-1)}^2$, 则最大方差的样本与其他样本的方差有显著性差异, 反之, 各样本的方差无显著性差异。临界值 $\chi_{(m-1)}^2$ 可从表 15-6 查得。

(二) 柯奇拉检验法

当各样本值测定次数相同时, 即 $n_1 = n_2 = \dots = n_m$, 可用柯奇拉法或哈特利法代替巴特莱法, 使检验更为简便。柯奇拉检验法使用的统计量是

$$G_{\max} = \frac{s_{\max}^2}{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_m^2} \quad (16-28)$$

式中 $s_{\max}^2$ 是被检验的 m 个方差中最大的方差, n 为样本容量, 自由度 $f = n-1$ 。

哈特利检验法使用的统计量为

$$F_{\max} = \frac{s_{\max}^2}{s_m^2} \quad (16-29)$$

检验步骤可参照 F 检验程序进行。 $G_{\alpha, f}$ 和 $F_{\alpha, f}$ 临界值表分别为表 16-11 和表 16-12。

表 16-11 Cochran 法 (最大方差法) 比较多个方差时的 G 临界值

显著性水平 $\alpha=0.05$																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	3E	144	∞	∞
2	0.9935	0.9750	0.9292	0.9057	0.8772	0.8534	0.8352	0.8159	0.8010	0.7880	0.7341	0.5602	0.5613	0.5000	0.5000	0.5000
3	0.9500	0.8705	0.7877	0.7457	0.7071	0.6771	0.6530	0.6333	0.6157	0.6025	0.5176	0.4744	0.4331	0.3913	0.3500	0.3500
4	0.9065	0.7875	0.6811	0.6287	0.5895	0.5598	0.5365	0.5176	0.5017	0.4884	0.4366	0.3720	0.3693	0.2500	0.2500	0.2500
5	0.8412	0.6838	0.5561	0.5441	0.5067	0.4783	0.4564	0.4387	0.4241	0.4118	0.3745	0.3066	0.2571	0.2090	0.2090	0.2090
6	0.7808	0.6181	0.5121	0.4803	0.4447	0.4131	0.3980	0.3817	0.3682	0.3566	0.3135	0.2612	0.2119	0.1657	0.1657	0.1657
7	0.7271	0.5612	0.4800	0.4307	0.3974	0.3726	0.3545	0.3384	0.3259	0.3154	0.2756	0.2278	0.1803	0.1429	0.1429	0.1429
8	0.6798	0.5157	0.4377	0.3910	0.3595	0.3335	0.3185	0.3043	0.2926	0.2829	0.2462	0.2022	0.1676	0.1350	0.1350	0.1350
9	0.6385	0.4775	0.4027	0.3584	0.3286	0.3037	0.2901	0.2768	0.2659	0.2563	0.2226	0.1820	0.1448	0.1111	0.1111	0.1111
10	0.6020	0.4450	0.3733	0.3311	0.3023	0.2825	0.2666	0.2541	0.2430	0.2353	0.2032	0.1655	0.1308	0.1000	0.1000	0.1000
12	0.5410	0.3924	0.3264	0.2880	0.2624	0.2435	0.2299	0.2187	0.2098	0.2020	0.1737	0.1403	0.1109	0.0899	0.0899	0.0899
15	0.4706	0.3316	0.2758	0.2415	0.2195	0.2034	0.1911	0.1815	0.1735	0.1671	0.1429	0.1144	0.0889	0.0667	0.0667	0.0667
20	0.3891	0.2795	0.2305	0.1921	0.1725	0.1609	0.1501	0.1429	0.1357	0.1303	0.1158	0.0872	0.0675	0.0500	0.0500	0.0500
24	0.3434	0.2354	0.1907	0.1656	0.1493	0.1374	0.1286	0.1216	0.1160	0.1113	0.0942	0.0743	0.0567	0.0417	0.0417	0.0417
30	0.2920	0.1980	0.1593	0.1377	0.1237	0.1137	0.1061	0.1002	0.0958	0.0921	0.0771	0.0604	0.0457	0.0333	0.0333	0.0333
40	0.2370	0.1576	0.1259	0.1082	0.0966	0.0887	0.0827	0.0780	0.0745	0.0713	0.0595	0.0462	0.0347	0.0250	0.0250	0.0250
50	0.1737	0.1101	0.0895	0.0765	0.0682	0.0623	0.0583	0.0552	0.0520	0.0497	0.0411	0.0318	0.0231	0.0167	0.0167	0.0167
120	0.0598	0.0652	0.0495	0.0419	0.0371	0.0337	0.0312	0.0292	0.0275	0.0250	0.0218	0.0165	0.0120	0.0083	0.0083	0.0083
∞	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

显著性水平 $\alpha=0.01$																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	3E	144	∞	∞
2	0.9800	0.9950	0.9784	0.9550	0.9273	0.9172	0.8998	0.8823	0.8674	0.8530	0.7940	0.7067	0.5652	0.5000	0.5000	0.5000
3	0.9533	0.9423	0.8817	0.8435	0.7934	0.7606	0.7335	0.7107	0.6912	0.6748	0.6059	0.5153	0.4249	0.3553	0.3553	0.3553

续表

f	显著性水平 $\alpha=0.01$													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	40
1	0.8678	0.8615	0.7814	0.712	0.6581	0.6119	0.5729	0.5397	0.5102	0.4838	0.4584	0.4357	0.4151	0.3960
2	0.9278	0.7885	0.6957	0.6329	0.5875	0.5531	0.5259	0.5037	0.4854	0.4697	0.4564	0.4451	0.4344	0.4200
3	0.8328	0.7218	0.6258	0.5635	0.5185	0.4861	0.4608	0.4401	0.4229	0.4084	0.3959	0.3858	0.3769	0.3667
4	0.8076	0.6844	0.5885	0.5260	0.4810	0.4487	0.4233	0.3911	0.3731	0.3616	0.3505	0.3404	0.3315	0.3229
5	0.7845	0.6552	0.5593	0.4967	0.4517	0.4194	0.3940	0.3618	0.3438	0.3323	0.3212	0.3111	0.3022	0.2936
6	0.7644	0.6351	0.5392	0.4766	0.4316	0.3993	0.3739	0.3417	0.3237	0.3122	0.3011	0.2910	0.2821	0.2735
7	0.7464	0.6171	0.5212	0.4586	0.4136	0.3813	0.3559	0.3237	0.3057	0.2942	0.2831	0.2730	0.2641	0.2555
8	0.7304	0.6011	0.5052	0.4426	0.3976	0.3653	0.3399	0.3077	0.2897	0.2782	0.2671	0.2570	0.2481	0.2395
9	0.7154	0.5861	0.4902	0.4276	0.3826	0.3503	0.3249	0.2927	0.2747	0.2632	0.2521	0.2420	0.2331	0.2245
10	0.7014	0.5721	0.4762	0.4136	0.3686	0.3363	0.3109	0.2787	0.2607	0.2492	0.2381	0.2280	0.2191	0.2105
12	0.6874	0.5581	0.4622	0.3996	0.3546	0.3223	0.2969	0.2647	0.2467	0.2352	0.2241	0.2140	0.2051	0.1965
15	0.6734	0.5441	0.4482	0.3856	0.3406	0.3083	0.2829	0.2507	0.2327	0.2212	0.2101	0.2000	0.1911	0.1825
20	0.6594	0.5301	0.4342	0.3716	0.3266	0.2943	0.2689	0.2367	0.2187	0.2072	0.1961	0.1860	0.1771	0.1685
24	0.6454	0.5161	0.4202	0.3576	0.3126	0.2803	0.2549	0.2227	0.2047	0.1932	0.1821	0.1720	0.1631	0.1545
30	0.6314	0.5021	0.4062	0.3436	0.2986	0.2663	0.2409	0.2087	0.1907	0.1792	0.1681	0.1580	0.1491	0.1405
40	0.6174	0.4881	0.3922	0.3296	0.2846	0.2523	0.2269	0.1947	0.1767	0.1652	0.1541	0.1440	0.1351	0.1265
50	0.6034	0.4741	0.3782	0.3156	0.2706	0.2383	0.2129	0.1807	0.1627	0.1512	0.1401	0.1300	0.1211	0.1125
60	0.5894	0.4601	0.3642	0.3016	0.2566	0.2243	0.1989	0.1667	0.1487	0.1372	0.1261	0.1160	0.1071	0.0985
70	0.5754	0.4461	0.3502	0.2876	0.2426	0.2103	0.1849	0.1527	0.1347	0.1232	0.1121	0.1020	0.0931	0.0845
80	0.5614	0.4321	0.3362	0.2736	0.2286	0.1963	0.1709	0.1387	0.1207	0.1092	0.0981	0.0880	0.0791	0.0705
90	0.5474	0.4181	0.3222	0.2596	0.2146	0.1823	0.1569	0.1247	0.1067	0.0952	0.0841	0.0740	0.0651	0.0565
100	0.5334	0.4041	0.3082	0.2456	0.2006	0.1683	0.1429	0.1107	0.0927	0.0812	0.0701	0.0600	0.0511	0.0425
∞	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表16-12 哈特利检验临界值 F_{α,n_1,n_2} 表

df		显著性水平 $\alpha=0.05$											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	4	9.60	15.5	20.6	25.2	29.5	33.6	37.5	41.1	44.5	47.6	51.4	
2	5	7.15	10.8	13.7	16.3	18.7	20.8	22.9	24.7	26.5	28.2	29.9	
3	6	5.82	8.36	10.4	12.1	13.7	15.0	16.3	17.3	18.6	19.7	20.7	
4	7	4.99	6.94	8.44	9.70	10.8	11.8	12.7	13.5	14.3	15.1	15.8	
5	8	4.43	6.00	7.18	8.12	9.09	9.76	10.5	11.1	11.7	12.2	12.7	
6	9	4.03	5.34	6.31	7.11	7.80	8.41	8.95	9.45	9.91	10.3	10.7	
7	10	3.72	4.85	5.67	6.34	6.82	7.42	7.87	8.28	8.66	9.01	9.34	
8	12	3.28	4.10	4.79	5.30	5.72	6.09	6.42	6.72	7.00	7.25	7.48	
9	15	2.86	3.54	4.01	4.37	4.68	4.95	5.19	5.40	5.59	5.77	5.93	
10	20	2.46	2.95	3.29	3.54	3.74	3.94	4.10	4.24	4.37	4.49	4.59	
12	30	2.07	2.40	2.61	2.78	2.91	3.02	3.12	3.21	3.29	3.36	3.43	
15	60	1.67	1.85	1.96	2.04	2.11	2.17	2.22	2.26	2.30	2.33	2.36	

df		显著性水平 $\alpha=0.01$											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	4	23.2	37	40	39	39	39	39	39	39	39	39	
2	5	14.9	22	28	33	36	38	40	42	44	46	48	
3	6	11.1	15.5	19.1	22	25	27	30	32	34	36	37	
4	7	8.98	12.1	14.3	16.5	18.4	20	22	24	26	28	29	
5	8	7.80	9.9	11.7	13.2	14.5	15.8	16.9	17.9	18.9	19.8	20	
6	9	6.94	8.5	9.8	11.1	12.1	13.1	13.9	14.7	15.5	16.2	16.8	
7	10	6.35	7.4	8.4	9.6	10.4	11.1	11.8	12.4	12.9	13.4	13.9	
8	12	5.91	6.7	7.6	8.6	9.2	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.6	
9	15	5.57	6.3	7.1	8.0	8.5	9.0	9.4	9.7	10.1	10.4	10.7	
10	20	5.32	5.9	6.7	7.5	8.0	8.4	8.8	9.1	9.4	9.7	10.0	
12	30	4.94	5.4	6.1	6.8	7.3	7.7	8.0	8.3	8.6	8.8	9.1	
15	60	4.57	4.9	5.5	6.1	6.5	6.9	7.1	7.3	7.5	7.8	8.0	
20	120	4.22	4.5	5.0	5.5	5.8	6.1	6.3	6.5	6.7	6.8	7.0	
30	240	3.86	4.0	4.4	4.8	5.1	5.3	5.5	5.6	5.8	5.9	6.0	
40	360	3.62	3.7	4.1	4.4	4.7	4.9	5.1	5.2	5.4	5.5	5.6	
50	480	3.43	3.5	3.9	4.2	4.4	4.6	4.7	4.8	5.0	5.1	5.2	
60	600	3.29	3.3	3.7	4.0	4.2	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	

第十七章 方差分析

方差分析是数理统计的基本方法之一，是根据方差的加和性原理，将试验结果总方差分解为各因素的方差和误差的方差，并用 F 检验法对各因素效应作出科学估计。在方差分析中，把考察的结果称为试验指标，影响试验结果的条件称为因素，因素所处的状态称为水平。在一定的试验条件下的测定值与其平均值之差的平方和称为变差平方和。

第一节 单因素方差分析

若因素 A 有 p 个水平，每个水平进行了 n 次试验，试验安排见表 17-1，样本值的各项变差平方和的计算公式是

表 17-1 单因素多水平试验安排及其结果

试验次数	试 验 水 平					
	A_1	A_2	.....	A_p	.....	A_p
1	x_{11}	x_{12}	.....	x_{1p}	.....	x_{1p}
2	x_{21}	x_{22}	.....	x_{2p}	.....	x_{2p}
...	...	...		...		...
j	x_{j1}	x_{j2}	.....	x_{jp}	.....	x_{jp}
...	...	...		...		...
n	x_{n1}	x_{n2}	.....	x_{np}	.....	x_{np}

$$Q_T = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n x_{ij} \right)^2 \quad (17-1)$$

$$Q_A = \sum_{i=1}^p n (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^p \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} \right)^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n x_{ij} \right)^2 \quad (17-2)$$

$$Q_e = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^p \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} \right)^2 \quad (17-3)$$

式中 Q_T 为总的变差平方和， Q_A 为因素 A 水平变化引起的变差平方和， Q_e 为试验误差引起的变差平方和。

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n x_{ij}, \quad \bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}, \quad N = p \times n$$

它们的自由度是

$$f_T = N - 1, f_A = p - 1, f_e = p(n - 1) \quad (17-4)$$

计算它们的方差估计值

$$s_T^2 = \frac{Q_T}{f_T} \quad (17-5a)$$

$$s_A^2 = \frac{Q_A}{f_A} \quad (17-5b)$$

$$s_e^2 = \frac{Q_e}{f_e} \quad (17-5c)$$

单因素方差分析，方差检验的统计量为 $F = s_A^2/s_e^2$

进行 F 检验, 在给定的显著性水平 α 和 f_A, f_e 条件下, 若计算 F 值大于 $F_{(\alpha, f_A, f_e)}$ 临界值 (查 F 分布表) 表示因素水平变化的影响显著, 必须严格控制; 反之, 则因素水平变化对试验结果无显著影响。把以上分析结果列出方差分析表 (表 17-2)。

表 17-2 单因素方差分析表

方差来源	变异平方和	自由度	方差估计值	预期方差	F 值	$F_{(\alpha, f_1, f_2)}$
因素 A 的变化	Q_A	$f_A = p - 1$	$\bar{x}_A - Q_A / f_A$	$\sigma_A^2 + \sigma_e^2$	$\hat{\sigma}_A^2 / \hat{\sigma}_e^2$	
试验误差	Q_e	$f_e = p(n - 1)$	$\bar{x}_e - Q_e / f_e$	σ_e^2		
总距	Q_T	$f_T = N - 1$				

以上是单因素多水平等重复试验的方差分析, 如果重复的试验次数不相等, 即 $n_1 \neq n_2 \neq \dots \neq n_p$ 时, 则在计算 Q_A 和 Q_e 时要按试验的 n_i 计算。

$$Q_A = \sum_{i=1}^p n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^p \frac{1}{n_i} \left(\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \right)^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \right)^2$$

$$Q_e = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \sum_{i=1}^p \frac{1}{n_i} \left(\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \right)^2$$

式中 $N = \sum_{i=1}^p n_i$
 $(i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, n_i)$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}$$

而其预期方差为

$$\left[\frac{\left(\sum_{i=1}^p n_i \right)^2}{(p-1) \cdot \sum_{i=1}^p n_i} - \sum_{i=1}^p \frac{n_i^2}{n_i} \right] \sigma_A^2 = \sigma_e^2 \quad (17-6)$$

第二节 双因素方差分析

一、无交互效应时的双因素方差分析

今研究因素 A, B 对测定结果的影响, 若每个因素都包含多个水平, 因素 A 有 l 个水平, 因素 B 有 m 个水平, 即为双因素多水平试验, 全面试验安排表见表 17-3。

表 17-3 双因素多水平全面试验安排表

因素 B 因素 A	B_1	B_2	.....	B_j	.....	B_m
A_1	x_{11}	x_{12}	.....	x_{1j}	.....	x_{1m}
A_2	x_{21}	x_{22}	.....	x_{2j}	.....	x_{2m}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
A_i	x_{i1}	x_{i2}	.....	x_{ij}	.....	x_{im}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
A_l	x_{l1}	x_{l2}	.....	x_{lj}	.....	x_{lm}

双因素方差分析的基本原理与单因素方差分析类似,也是应用变差平方和的加和性原理。即总变差平方和 Q_T 能分解成因素 A 的变差平方和 Q_A 和因素 B 的变差平方和 Q_B 及试验误差平方和 Q_e 。

$$Q_T = Q_A + Q_B + Q_e$$

总平方和是全部数据相对于总平均值 $\bar{x}$ 的变差平方和。

$$Q_T = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m x_{ij}^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m x_{ij} \right)^2 \quad (17-7)$$

$$Q_A = m \sum_{i=1}^l (\bar{x}_{A_i} - \bar{x})^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^l \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} \right)^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m x_{ij} \right)^2 \quad (17-8)$$

$$Q_B = l \sum_{j=1}^m (\bar{x}_{B_j} - \bar{x})^2 = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^l x_{ij} \right)^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m x_{ij} \right)^2 \quad (17-9)$$

$$\begin{aligned} Q_e &= \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_{A_i} - x_{B_j} + \bar{x})^2 \\ &= \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m x_{ij}^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^l \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} \right)^2 - \frac{1}{l} \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^l x_{ij} \right)^2 + \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m x_{ij} \right)^2 \end{aligned} \quad (17-10)$$

或 $Q_e = Q_T - Q_A - Q_B$

式中 $N = m \cdot l$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m x_{ij}$$

$$\bar{x}_{A_i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij}$$

$$\bar{x}_{B_j} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l x_{ij}$$

各变差平方和相应的自由度为

$$\left. \begin{aligned} f_T &= N - 1 \\ f_A &= l - 1, f_B = m - 1 \\ f_e &= (l - 1) \cdot (m - 1) \end{aligned} \right\} \quad (17-11)$$

分别计算出相应的方差:

$$s_A^2 = \frac{Q_A}{f_A}; s_B^2 = \frac{Q_B}{f_B}; s_e^2 = \frac{Q_e}{f_e}$$

进行 F 检验,其统计量为

$$F_{(A)} = \frac{s_A^2}{s_e^2}$$

$$F_{(B)} = \frac{s_B^2}{s_e^2}$$

在给定的显著性水平 α 和 f_A, f_e 及 f_B, f_e 下,如果计算值 F_A 或 F_B 大于临界值 F_{α, f_A, f_e} 或 F_{α, f_B, f_e} ,则为有显著性差异,在实验时要严格控制。反之,则无显著性差异,并将结果列成方差分析表17-4。

表17-4 双因素多水平无交互效应的方差分析表

平方和来源	平方和	自由度	均 差	F 值	F 临界值
因素 A	Q_A	$l-1$	$\hat{\sigma}_A^2=Q_A/l_A$	$F_A=k_A^2/s$	F_{α, l_A, l_B}
因素 B	Q_B	$m-1$	$\hat{\sigma}_B^2=Q_B/j_B$	$F_B=k_B^2/s$	F_{α, l_B, l_A}
试验误差	Q_s	$(l-1)(m-1)$	$\hat{\sigma}_s^2=Q_s/f_s$		
总计	Q_T	$N-1$			

二、有交互效应时的双因素方差分析

两因素交叉分组全面试验安排如表17-5所示。

表17-5 双因素交叉分组全面试验安排表(等重复试验)

因素 B 因素 A	B_1	B_2	.....	B_m
A_1	$X_{111}, X_{112}, \dots, X_{11n}$	$X_{121}, X_{122}, \dots, X_{12n}$	.....	$X_{1m1}, X_{1m2}, \dots, X_{1mn}$
A_2	$X_{211}, X_{212}, \dots, X_{21n}$	$X_{221}, X_{222}, \dots, X_{22n}$	.....	$X_{2m1}, X_{2m2}, \dots, X_{2mn}$
...				
A_l	$X_{l11}, X_{l12}, \dots, X_{l1n}$	$X_{l21}, X_{l22}, \dots, X_{l2n}$	.....	$X_{lm1}, X_{lm2}, \dots, X_{lmn}$

两因素交叉分组方差分析与无交互效应时双因素方差分析不同点是前者考虑了因素 A、B 之间的交互作用。在试验安排上,在 $A_i B_j$ 下有重复实验,设所有试验重复 n 次。因素 A 和 B 的交互作用记为 $A \times B$ 。其试验结果的方差分析为

$$N=l \times m \times n$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk} \quad (i=1, 2, \dots, l; j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n)$$

各变差平方和计算公式为

总平方和 Q_T

$$Q_T = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-12)$$

式中

$$T = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}$$

因素 A、B 的变差平方和

$$Q_A = m \cdot n \sum_{i=1}^l (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-13)$$

式中 $\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}$ $T_i = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}$

$$Q_B = l \cdot n \sum_{j=1}^m (\bar{x}_j - \bar{x})^2 = \frac{1}{l \cdot n} \sum_{j=1}^m T_j^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-14)$$

式中 $\bar{x}_j = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^n x_{ijk}$ $T_j = \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^n x_{ijk}$

因素 A、B 交互效应变差平方和 $Q_{A \times B}$

$$\begin{aligned} Q_{A \times B} &= n \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x})^2 = m \cdot n \sum_{i=1}^l (x_i - \bar{x})^2 + l \cdot n \sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x})^2 \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m T_{ij}^2 - \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2 - \frac{1}{l \cdot n} \sum_{j=1}^m T_j^2 + \frac{T^2}{N} \end{aligned} \quad (17-15)$$

式中 $\bar{x}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ijk}$; $T_{ij} = \sum_{k=1}^n x_{ijk}$

试验误差平方和 Q_e

$$Q_e = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m T_{ij}^2 \quad (17-16)$$

当不进行重复测定, 即 $n=1$ 则(17-16)式计算 $Q_e=0$, 这时因素交互效应和试验误差效应合并在一起, 不能分离出来。当 $n \geq 2$ 时, 因素间的交互效应能从试验误差效应中分离出来。根据变异平方和的加和性原理有

$$Q_T = Q_A + Q_B + Q_{A \times B} + Q_e \quad (17-17)$$

其相应的自由度为

$$\left. \begin{aligned} f_T &= N-1 \\ f_A &= l-1, f_B = m-1, f_{A \times B} = (l-1) \cdot (m-1) \\ f_e &= l \cdot m \cdot (n-1) \end{aligned} \right\} \quad (17-18)$$

各因素的方差, F 值及其计算见表 17-6。

表 17-6 双因素交叉分组全面试验方差分析表(等重复试验)

变异平方和来源	变异平方和	自由度	F 值估计值	固定模型		随机模型		混合模型	
				预期方差	F 值	预期方差	F 值	预期方差	F 值
A	Q_A	$f_A = l-1$	$s_A^2 = \frac{Q_A}{f_A}$	$m \cdot n s_A^2 + \sigma_e^2$	$\frac{s_A^2}{s_e^2}$	$m \cdot n s_A^2 + n \sigma_e^2 + \sigma_e^2$	$\frac{s_A^2}{s_e^2}$	$m \cdot n s_A^2 + \sigma_e^2$	$\frac{s_A^2}{s_e^2}$
B	Q_B	$f_B = m-1$	$s_B^2 = \frac{Q_B}{f_B}$	$l \cdot n s_B^2 + \sigma_e^2$	$\frac{s_B^2}{s_e^2}$	$l \cdot n s_B^2 + n \sigma_e^2 + \sigma_e^2$	$\frac{s_B^2}{s_e^2}$	$l \cdot n s_B^2 + m \sigma_e^2 + \sigma_e^2$	$\frac{s_B^2}{s_e^2}$
$A \times B$	$Q_{A \times B}$	$f_{A \times B} = (l-1) \cdot (m-1)$	$s_{AB}^2 = \frac{Q_{AB}}{f_{AB}}$	$n s_{AB}^2 + \sigma_e^2$	$\frac{s_{AB}^2}{s_e^2}$	$n s_{AB}^2 + \sigma_e^2$	$\frac{s_{AB}^2}{s_e^2}$	$n s_{AB}^2 + \sigma_e^2$	$\frac{s_{AB}^2}{s_e^2}$
试验误差	Q_e	$f_e = l \cdot m \cdot (n-1)$	$s_e^2 = \frac{Q_e}{f_e}$	σ_e^2		σ_e^2		σ_e^2	
总和	Q_T	$f_T = N-1$							

由于因素性质不同以及因素之间可能存在交互作用, 根据不同的因素 F 检验有 3 种模型, 统计量 F 值的计算方法为

(1) 固定模型 因素 A 和 B 都是固定因素, 统计量 F 值:

$$F_A = s_A^2 / s_e^2; F_B = s_B^2 / s_e^2; F_{AB} = s_{AB}^2 / s_e^2$$

(2) 随机模型 因素 A 和 B 都是随机因素, 统计量 F 值:

$$F_A = s_A^2 / s_{AB}^2; F_B = s_B^2 / s_{AB}^2; F_{AB} = s_{AB}^2 / s_e^2$$

(3) 混合模型 因素 A 为随机因素, 因素 B 为固定因素, 统计量 F 值:

$$F_A = s_A^2 / s_e^2; F_B = s_B^2 / s_{AB}^2; F_{AB} = s_{AB}^2 / s_e^2$$

三、双因素系统分组方差分析

系统分组是先按一级因素 A 的 l 个水平分成 l 组, 然后再按二级因素 B 的 m 个水平分成 m 个组。如果还有因素 C , 在按因素 A, B 的水平分组之后, 再按因素 C 分组。如果还有因素, 再分组等等。与交叉分组不同的, 在系统分组中, 一级因素 A 与二级因素 B 之间不再是平等关系, 而侧重一级因素 A , 二级因素 B 的作用是随着一级因素 A 的水平而变化。两因素等重复测

定次数的系统分组试验安排见表17-7。

两因素系统分组全面试验中,各项变差平方和的计算方法与交叉分组试验不同。总的变差平方和

$$Q_t = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-19)$$

式中 $N = l \cdot m \cdot n$; $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}$ $\begin{cases} i=1, 2, \dots, l \\ j=1, 2, \dots, m \\ k=1, 2, \dots, n \end{cases}$

表17-7 两因素系统分组全面试验安排表

一级因素 A	二级因素 B	重复测定次数	$\sum_{k=1}^n x_{ijk}$	$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}$	$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}$
A ₁	1, 1	$x_{111}, x_{112}, \dots, x_{11(n-1)}, x_{11n}$	T_{11}	T_1	T
	1, 2	$x_{121}, x_{122}, \dots, x_{12(n-1)}, x_{12n}$	T_{12}		
	...		...		
	1, j	$x_{1j1}, x_{1j2}, \dots, x_{1j(n-1)}, x_{1jn}$	T_{1j}		
	...		...		
	1, m	$x_{1m1}, \dots, x_{1m(n-1)}, x_{1mn}$	T_{1m}		
...	...		...	...	T
	l, 1	$x_{l11}, \dots, x_{l1(n-1)}, x_{l1n}$	T_{l1}		
	l, 2	$x_{l21}, \dots, x_{l2(n-1)}, x_{l2n}$	T_{l2}		
	...		...		
	l, j	$x_{lj1}, \dots, x_{lj(n-1)}, x_{ljn}$	T_{lj}		
	...		...		
A _l	l, m	$x_{lm1}, \dots, x_{lm(n-1)}, x_{lmn}$	T_{lm}		

一级因素 A 的变差平方和 Q_A

$$Q_A = m \cdot n \sum_{i=1}^l (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-20)$$

式中 $\bar{x}_i = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}$

二级因素 B 的变差平方和 $Q_{B(A)}$

$$Q_{B(A)} = n \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m T_{ij}^2 - \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2 \quad (17-21)$$

式中 $\bar{x}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ijk}$

随机误差效应产生的变差平方和 Q_e

$$Q_e = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \left(\sum_{k=1}^n x_{ijk} \right)^2 \quad (17-22)$$

各变差平方和之间的关系,仍然服从变差平方和的加和性,

$$Q_T = Q_A + Q_{B(A)} + Q_e \quad (17-23)$$

它们相应的自由度为

$$\left. \begin{aligned} f_T &= N - 1 \\ f_A &= l - 1; f_{B(A)} = l(m - 1); f_e = l \cdot m(n - 1) \end{aligned} \right\} \quad (17-24)$$

其自由度也有加和性, 即

$$f_T = f_A + f_{AB} + f_e$$

接着计算各自的方差估计值, 进行 F 检验。双因素系统分组方差分析表见表 17-8。

表 17-8 双因素系统分组等重复试验方差分析表

方差来源	变差平方和	自由度	方差估计值	预期方差	F 值
一级因素 A	Q_A	$f_A = l - 1$	$s_A^2 = \frac{Q_A}{f_A}$	$m \cdot n s_A^2 + m n \sigma_e^2 = \sigma_A^2$	$s_A^2 / s_{e(A)}^2$
二级因素 B	$Q_{B(A)}$	$f_{B(A)} = l(m - 1)$	$s_{B(A)}^2 = \frac{Q_{B(A)}}{f_{B(A)}}$	$m s_{B(A)}^2 + \sigma_e^2$	$s_{B(A)}^2 / s_e^2$
试验误差	Q_e	$f_e = l \cdot m \cdot (n - 1)$	$s_e^2 = \frac{Q_e}{f_e}$	σ_e^2	
总和	Q_T	$f_T = N - 1$			

第三节 多因素方差分析

在方差分析中, 随着因素增加, 全面试验的方法需要的试验次数急速增加, 不仅化费大, 有时不可能做到。因此, 只在试验比较容易做, 而必须要清楚地分析各种交互作用时, 才采用全面试验的方法。本节简述三因素试验的情况。

一、三因素交叉分组全面试验的方差分析

三因素多水平等重复全面试验的安排见表 17-9。

表 17-9 三因素多水平等重复全面试验安排表

		C_1	C_2	.....	C_p
A_1	B_1	$x_{1111}, x_{1112}, \dots, x_{111n}$	$x_{1121}, x_{1122}, \dots, x_{112n}$	.....	$x_{11p1}, x_{11p2}, \dots, x_{11pn}$
	B_2	$x_{1211}, x_{1212}, \dots, x_{121n}$	$x_{1221}, x_{1222}, \dots, x_{122n}$	.....	$x_{12p1}, x_{12p2}, \dots, x_{12pn}$
	...				
	B_m	$x_{m11}, x_{m12}, \dots, x_{m1n}$	$x_{m21}, x_{m22}, \dots, x_{m2n}$	.....	$x_{mp1}, x_{mp2}, \dots, x_{mpn}$
A_2	B_1	$x_{2111}, x_{2112}, \dots, x_{211n}$	$x_{2121}, x_{2122}, \dots, x_{212n}$	.....	$x_{21p1}, x_{21p2}, \dots, x_{21pn}$
	B_2	$x_{2211}, x_{2212}, \dots, x_{221n}$	$x_{2221}, x_{2222}, \dots, x_{222n}$	.....	$x_{22p1}, x_{22p2}, \dots, x_{22pn}$
	...				
	B_m	$x_{m21}, x_{m22}, \dots, x_{m2n}$	$x_{m221}, x_{m222}, \dots, x_{m22n}$	.....	$x_{m2p1}, x_{m2p2}, \dots, x_{m2pn}$
...	...				
A_i	B_1	$x_{i111}, x_{i112}, \dots, x_{i11n}$	$x_{i121}, x_{i122}, \dots, x_{i12n}$	.....	$x_{i1p1}, x_{i1p2}, \dots, x_{i1pn}$
	B_2	$x_{i211}, x_{i212}, \dots, x_{i21n}$	$x_{i221}, x_{i222}, \dots, x_{i22n}$	.....	$x_{i2p1}, x_{i2p2}, \dots, x_{i2pn}$
	...				
	B_m	$x_{im11}, x_{im12}, \dots, x_{im1n}$	$x_{im21}, x_{im22}, \dots, x_{im2n}$	.....	$x_{imp1}, x_{imp2}, \dots, x_{impn}$

表中因素 A、B、C 的水平数分别为 l 、 m 、 p , n 为重复试验次数, 各项变差平方和的计算方法为

$$Q_T = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{r=1}^n (x_{ijk} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{r=1}^n x_{ijk}^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-25)$$

式中 $N = l \cdot m \cdot p \cdot n$ ($i=1, 2, \dots, l; j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, p; r=1, 2, \dots, n$)

$$T = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{r=1}^n x_{ijk}; \quad \bar{x} = \frac{T}{N}$$

$$Q_A = m \cdot p \cdot n \sum_{i=1}^l (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{m \cdot p \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-26)$$

$$\text{式中 } T_i = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{s=1}^n x_{ijks}, \quad \bar{x}_i = \frac{T_i}{m \cdot p \cdot n}$$

$$Q_B = l \cdot p \cdot n \sum_{j=1}^m (\bar{x}_j - \bar{x})^2 = \frac{1}{l \cdot p \cdot n} \sum_{j=1}^m T_j^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-27)$$

$$\text{式中 } T_j = \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^p \sum_{s=1}^n x_{ijs}, \quad \bar{x}_j = \frac{T_j}{l \cdot p \cdot n}$$

$$Q_C = l \cdot m \cdot n \sum_{k=1}^p (\bar{x}_k - \bar{x})^2 = \frac{1}{l \cdot m \cdot n} \sum_{k=1}^p T_k^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-28)$$

$$\text{式中 } T_k = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^n x_{ijsk}, \quad \bar{x}_k = \frac{T_k}{l \cdot m \cdot n}$$

$$Q_{AB} = p \cdot n \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (\bar{x}_{ij} - \bar{x} - \bar{x}_i + \bar{x}_j)^2$$

$$= \frac{1}{p \cdot n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m T_{ij}^2 - \frac{1}{m \cdot p \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2$$

$$- \frac{1}{l \cdot p \cdot n} \sum_{j=1}^m T_j^2 + \frac{T^2}{N} \quad (17-29)$$

$$\text{式中 } T_{ij} = \sum_{k=1}^p \sum_{s=1}^n x_{ijsk}, \quad \bar{x}_{ij} = \frac{T_{ij}}{p \cdot n}$$

$$Q_{AC} = m \cdot n \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^p (\bar{x}_{ik} - \bar{x}_i - \bar{x}_k + \bar{x})^2$$

$$= \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^p T_{ik}^2 - \frac{1}{m \cdot p \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2 - \frac{1}{l \cdot m \cdot n} \sum_{k=1}^p T_k^2 + \frac{T^2}{N} \quad (17-30)$$

$$\text{式中 } T_{ik} = \sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^n x_{ijsk}, \quad \bar{x}_{ik} = \frac{T_{ik}}{m \cdot n}$$

$$Q_{BC} = l \cdot n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p (\bar{x}_{jk} - \bar{x}_j - \bar{x}_k + \bar{x})^2$$

$$= \frac{1}{l \cdot n} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p T_{jk}^2 - \frac{1}{l \cdot p \cdot n} \sum_{j=1}^m T_j^2$$

$$- \frac{1}{l \cdot m \cdot n} \sum_{k=1}^p T_k^2 + \frac{T^2}{N} \quad (17-31)$$

$$\text{式中 } T_{jk} = \sum_{i=1}^l \sum_{s=1}^n x_{ijsk}, \quad \bar{x}_{jk} = \frac{T_{jk}}{l \cdot n}$$

$$Q_{ABC} = n \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p (\bar{x}_{ijk} - \bar{x}_{ij} - \bar{x}_{jk} - \bar{x}_{ik} + \bar{x}_i + \bar{x}_j + \bar{x}_k - \bar{x})^2$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p T_{ijk}^2 - \frac{1}{p \cdot n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m T_{ij}^2 - \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^p T_{ik}^2 - \frac{1}{l \cdot n} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p T_{jk}^2$$

$$- \frac{1}{m \cdot p \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2 + \frac{1}{l \cdot p \cdot n} \sum_{j=1}^m T_j^2 + \frac{1}{l \cdot m \cdot n} \sum_{k=1}^p T_k^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-32)$$

$$\text{式中 } T_{ijk} = \sum_{s=1}^n x_{ijsk}, \quad \bar{x}_{ijk} = \frac{T_{ijk}}{n}$$

$$Q = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^p \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{ijk})^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^p \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^p T_{ijk}^2 \quad (17-33)$$

根据变差平方和的加和性

$$Q_T = Q_A + Q_B + Q_C + Q_{AB} + Q_{AC} + Q_{BC} + Q_{ABC} + Q_E \quad (17-34)$$

按方差分析步骤计算各自的自由度及方差, 并进行 F 检验。在 F 检验中统计量 F 值的计算有 3 种模型: 固定模型, 随机模型和混合模型。在混合模型中, 只考虑一个因素为随机因素, 并将其设置为因素 C。在分析测试中, 三因素均为随机因素是不多见的, 故不予考虑。在检验时, 首先检验三因素之间的高级交互作用, 如果不显著, 将其与误差效应合并。其次, 检验两因素之间的交互效应, 如果不显著, 再与误差效应合并。最后, 检验各因素的主效应, 其检验结果见表 17-10。

方差检验后, 凡是效应是显著者, 根据方差估计值和预期方差组成, 计算各项方差 σ^2 , 并能估计各项因素效应方差的相对值

表 17-10 三因素交叉分组全面等重复试验方差分析表

方差来源	平方和	自由度	σ^2 估计值	固定模型		混合模型	
				预期方差	F 值	预期方差	F 值
A	$Q_A = f_A - 1$	$f_A - 1$	$s_A^2 = \frac{Q_A}{f_A}$	$m \cdot p \cdot n \sigma_A^2 + \sigma^2$	s_A^2 / s_E^2	$m \cdot p \cdot n \sigma_A^2 + m \cdot n \sigma_{AC}^2 + \sigma^2$	s_A^2 / s_E^2
B	$Q_B = f_B - m - 1$	$f_B - m - 1$	$s_B^2 = \frac{Q_B}{f_B}$	$l \cdot p \cdot n \sigma_B^2 + \sigma^2$	s_B^2 / s_E^2	$l \cdot p \cdot n \sigma_B^2 + l \cdot n \sigma_{BC}^2 + \sigma^2$	s_B^2 / s_E^2
C	$Q_C = f_C - p - 1$	$f_C - p - 1$	$s_C^2 = \frac{Q_C}{f_C}$	$l \cdot m \cdot n \sigma_C^2 + \sigma^2$	s_C^2 / s_E^2	$l \cdot m \cdot n \sigma_C^2 + \sigma^2$	s_C^2 / s_E^2
A × B	$Q_{AB} = f_{AB} - (l - 1)(m - 1)$	$f_{AB} - (l - 1)(m - 1)$	$s_{AB}^2 = \frac{Q_{AB}}{f_{AB}}$	$p \cdot n \sigma_{AB}^2 + \sigma^2$	s_{AB}^2 / s_E^2	$p \cdot n \sigma_{AB}^2 + n \sigma_{AB}^2 + \sigma^2$	s_{AB}^2 / s_E^2
A × C	$Q_{AC} = f_{AC} - (l - 1)(p - 1)$	$f_{AC} - (l - 1)(p - 1)$	$s_{AC}^2 = \frac{Q_{AC}}{f_{AC}}$	$m \cdot n \sigma_{AC}^2 + \sigma^2$	s_{AC}^2 / s_E^2	$m \cdot n \sigma_{AC}^2 + \sigma^2$	s_{AC}^2 / s_E^2
B × C	$Q_{BC} = f_{BC} - (m - 1)(p - 1)$	$f_{BC} - (m - 1)(p - 1)$	$s_{BC}^2 = \frac{Q_{BC}}{f_{BC}}$	$l \cdot n \sigma_{BC}^2 + \sigma^2$	s_{BC}^2 / s_E^2	$l \cdot n \sigma_{BC}^2 + \sigma^2$	s_{BC}^2 / s_E^2
A × B × C	$Q_{ABC} = f_{ABC} - (l - 1)(m - 1)(p - 1)$	$f_{ABC} - (l - 1)(m - 1)(p - 1)$	$s_{ABC}^2 = \frac{Q_{ABC}}{f_{ABC}}$	$n \sigma_{ABC}^2 + \sigma^2$	s_{ABC}^2 / s_E^2	$n \sigma_{ABC}^2 + \sigma^2$	s_{ABC}^2 / s_E^2
误差	$Q_E = f_E - i \cdot m \cdot p(n - 1)$	$f_E - i \cdot m \cdot p(n - 1)$	$s_E^2 = \frac{Q_E}{f_E}$	σ^2		σ^2	
总和	Q_T	$f_T = N - 1$					

二、三因素系统分组方差分析

三因素系统分组方差分析与二因素系统分组方差分析相似方法处理, 二者之间不同处是前者比后者多一因素。三因素系统分析等重复试验安排表见表 17-11。

各级因素效应的计算方法如下:

$$Q_T = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^p \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^p \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-35)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, p; k = 1, 2, \dots, n$

$$Q_A = m \cdot p \cdot n \sum_{i=1}^l (\bar{x}_{i..} - \bar{x})^2 = \frac{1}{m \cdot p \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2 - \frac{T^2}{N} \quad (17-36)$$

$$Q_{B(A)} = p \cdot n \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (\bar{x}_{ij.} - \bar{x}_{i..})^2 = \frac{1}{p \cdot n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m T_{ij}^2 - \frac{1}{m \cdot p \cdot n} \sum_{i=1}^l T_i^2 \quad (17-37)$$

$$Q_{C(AB)} = n \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p (\bar{x}_{ijk} - \bar{x}_{ij.})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p T_{ijk}^2 - \frac{1}{p \cdot n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m T_{ij}^2 \quad (17-38)$$

表 17-11 三因素系统分组等重复试验安排表

一级因素 A	二级因素 B	三级因素 C	重复测定次数	$\sum_{k=1}^p x_{ikm}$	$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk}$	$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p x_{ijkl}$	$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p x_{ijkl}$
1	1.1	1.1.1	$x_{1111}, x_{1112}, \dots, x_{111p}$	T_{111}	T_{11}	T	T
		...	...	...			
		1.1.p	$x_{11p1}, x_{11p2}, \dots, x_{11pp}$	T_{11p}			
	1.2	1.2.1	$x_{1211}, x_{1212}, \dots, x_{121p}$	T_{121}	T_{12}		
		...	...	...			
		1.2.p	$x_{12p1}, x_{12p2}, \dots, x_{12pp}$	T_{12p}			
	...	...	...	...	...		
	1.m	1.m.1	$x_{1m11}, x_{1m12}, \dots, x_{1m1p}$	T_{1m1}	T_{1m}		
		...	...	...			
	1.m.p	$x_{1mp1}, x_{1mp2}, \dots, x_{1mpp}$	T_{1mp}				
	...	...	...	...	...		
l	l.1	l.1.1	$x_{l111}, x_{l112}, \dots, x_{l11p}$	T_{l11}	T_{l1}	T_l	T
		...	...	...			
		l.1.p	$x_{l1p1}, x_{l1p2}, \dots, x_{l1pp}$	T_{l1p}			
	l.2	l.2.1	$x_{l211}, x_{l212}, \dots, x_{l21p}$	T_{l21}	T_{l2}		
		...	...	...			
		l.2.p	$x_{l2p1}, x_{l2p2}, \dots, x_{l2pp}$	T_{l2p}			
	...	...	...	...	...		
	l.m	l.m.1	$x_{lm11}, x_{lm12}, \dots, x_{lm1p}$	T_{lm1}	T_{lm}		
		...	...	...			
	l.m.p	$x_{lmp1}, x_{lmp2}, \dots, x_{lmpp}$	T_{lmp}				

$$Q_C = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p (x_{ijkl} - \bar{x}_{ijk})^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p x_{ijkl}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p T_{ijk}^2 \quad (17-39)$$

式中 $N = l \cdot m \cdot p \cdot n$

$$\bar{x} = \frac{T}{N}; \quad \bar{x}_{i..} = \frac{T_i}{m \cdot p \cdot n}; \quad \bar{x}_{ij.} = \frac{T_{ij}}{p \cdot n}; \quad \bar{x}_{ijp} = \frac{T_{ijp}}{n}$$

其中 T 、 T_i 、 T_{ij} 、 T_{ijp} 的意义见表 17-11。 Q_A 、 $Q_{B(A)}$ 、 $Q_{C(AB)}$ 分别表示一、二、三级因素的变差平方和， Q_C 为误差效应变差平方和， N 为测定数据总数， l 、 m 、 p 为其相应因素的水平数（或分组数）。

在系统分组中，如有 M 个因素，第 i 级因素效应的方差对第 $i+1$ 级因素效应方差进行 F 检验。最后一级因素（第 M 级因素）的方差对试验误差效应方差进行 F 检验。如果两者之间无显著性差异，则将方差合并，再用合并方差对前一级方差进行检验。三因素系统分组方差分析见表 17-12。

表17-12 三因素系统分组方差分析表

方差来源	平方和	自由度	方差	期望方差	F值
一级因素A	Q_A	$f_A = l - 1$	$\hat{\sigma}_A^2 = \frac{Q_A}{f_A}$	$m \cdot p \cdot n \sigma_{\epsilon}^2 + p \cdot n \sigma_{b(A)}^2 + n \sigma_{c(A, B)}^2 + \sigma_{\epsilon}^2$	$\frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_{c(A, B)}^2}$
二级因素B	$Q_{b(A)}$	$f_{b(A)} = l(n-1)$	$\hat{\sigma}_{b(A)}^2 = \frac{Q_{b(A)}}{f_{b(A)}}$	$p \cdot n \sigma_{b(A)}^2 + n \sigma_{c(A, B)}^2 + \sigma_{\epsilon}^2$	$\frac{\hat{\sigma}_{b(A)}^2}{\hat{\sigma}_{c(A, B)}^2}$
三级因素C	$Q_{c(A, B)}$	$f_{c(A, B)} = l \cdot m(p-1)$	$\hat{\sigma}_{c(A, B)}^2 = \frac{Q_{c(A, B)}}{f_{c(A, B)}}$	$n \sigma_{c(A, B)}^2 + \sigma_{\epsilon}^2$	$\frac{\hat{\sigma}_{c(A, B)}^2}{\hat{\sigma}_{\epsilon}^2}$
试验误差	Q_{ϵ}	$f_{\epsilon} = l \cdot m \cdot p(n-1)$	$\hat{\sigma}_{\epsilon}^2 = \frac{Q_{\epsilon}}{f_{\epsilon}}$	σ_{ϵ}^2	
总和	Q_T	$f_T = N - 1$			

第十八章 回归分析法

第一节 一元线性回归分析

一、回归方程的建立

一元线性回归是研究两个变量之间的线性关系。其中一个自变量 x 能精确测定的，因变量 y 是随机变量，随 x 而变化，其一般的形式为

$$Y = a + bx \quad (18-1)$$

式中 a 为截距， b 为回归系数。通过实验求得 a 和 b 的数值，就能建立一元线性回归方程。

若对 x 的取值为 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 时，相应的测定值为 $y_1, y_2, \dots, y_n$ 。通过实验得 n 对测定值 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots$ 。由于实验过程中存在误差，实验点并不精确落在 (18-1) 式确立的回归线上。 y_i 与 x_i 之间以相关关系表现出来。

设任一实验点 (x_i, y_i) 偏离回归线的距离为 ϵ_i ，则

$$\epsilon_i = y_i - Y_i = y_i - (a + bx_i) \quad (18-2)$$

(18-2) 式表示，从点 (x_i, y_i) 到回归线上点 (x_i, Y_i) 的距离。要使回归线最好地反映实验点的分布情况，应选择合适的 a 和 b 值，使 ϵ_i 的平方和最小。即

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (18-3)$$

为最小。(18-3) 式中 Q_i 为各点到回归线之间距离的平方和。

用 (18-3) 式对 a, b 求偏微，并使它等于“零”。

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)](-1) = 0 \quad (18-4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)](-x_i) = 0 \quad (18-5)$$

解 (18-4) 式和 (18-5) 式得

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (18-6)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (18-7)$$

式中 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$

$$\text{设 } L_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \quad (18-8)$$

$$L_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (18-9)$$

则 $b = \frac{L_{xy}}{L_{xx}}$

将求得的 a, b 值代入 (18-1) 式, 得一元线性回归方程。从 (18-6) 式可知回归线一定通过点 $(\bar{x}, \bar{y})$ 。

二、回归方程的检验

(一) F 检验

根据方差分析原理, 对于任意 n 对数据 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 可得

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 + \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2 \quad (18-10)$$

式中 $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ 称为总的变差平方和, 表示 n 对数据的偏差平方和; $\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2$ 称为剩余变差平方和, 表示试验误差或 x 对 y 非线性影响以及其他未考虑到的因素的影响; $\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2$ 称为回归变差平方和, 表示 y 随 x 的变化。

$$\text{设 } Q_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, Q_y = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2, Q_x = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2 \text{ 则 (18-10) 式可改写成} \\ Q_{yy} = Q_y + Q_x \quad (18-10a)$$

其相应的自由度为

$$f_{yy} = n - 1; f_y = 1; f_x = n - 2$$

检验 x, y 之间是否存在线性相关关系时, F 检验的统计量为

$$F = \frac{Q_x/f_x}{Q_y/f_y} = Q_x \cdot f_y \quad (18-11)$$

如果计算 F 值很大或大于 F_{α, f_y, f_x} 临界值, 可认为 x 与 y 之间有线性相关关系, 反之, 则线性不相关或称无线性关系。

当有重复测定时, 试验误差平方和 Q_y 能从剩余变差平方和中分离出来。分离试验误差平方和之后的剩余变差平方和称试验误差平方和 Q_e , 表示回归方程拟合好坏的程度。所以, 在有重复测定时, F 检验与无重复测定时有区别。其步骤是: 计算回归系数 b 和截距 a 。

$$b = \frac{\sum_{j=1}^r x_j y_j - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^r x_j \right) \left(\sum_{j=1}^r y_j \right)}{\sum_{j=1}^r x_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^r x_j \right)^2} \quad (18-12)$$

(18-12) 与 (18-7) 式不同之处是 y_i 改为 $\bar{y}_j$, 而

$$\bar{y} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r y_j \quad (18-13)$$

式中 r 为试验重复次数。再由 (18-6) 式计算 $a = \bar{y} - b\bar{x}$, 建立起有重复测定时的回归方程。为进行 F 检验, 计算回归方程的变差平方和、回归方程总变差平方和 Q_x 为

$$Q_x = Q_y + Q_e + Q_f \quad (18-14)$$

其中

$$Q_y = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^r (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad (18-15)$$

$$Q_x = r \sum_{j=1}^r (Y_j - \bar{y})^2 \quad (18-16)$$

$$Q_d = r \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 \quad (18-17)$$

$$Q_e = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 \quad (18-18)$$

$$N = r \cdot n$$

其相应的自由度为 $f_T = N - 1$; $f_e = 1$; $f_d = n - 2$; $f_r = n(r - 1)$ 。

检验回归方程是否拟合的好? 其统计量

$$F_d = \frac{Q_d/f_d}{Q_e/f_e} \quad (18-19)$$

在给定的显著水平 α 和自由度 f_d, f_e 时, 如果 $F_d > F(\alpha, f_d, f_e)$, 则 F 检验有显著性差异, 表示回归方程拟合的不好, 说明 x 对 y 存在非线性影响和除 x 之外的其他因素的影响。如果 $F_d \leq F(\alpha, f_d, f_e)$, F 检验无显著性差异, 说明失拟情况不显著, 可以不必考虑。即失拟平方和基本上由实验误差等随机因素引起, 可以把失拟变差平方和与试验误差平方和合并, 其自由度也可合并。然后, 再对回归方程的线性相关关系进行检验, 这时的统计量为

$$F = \frac{Q_a/f_a}{Q_e/f_e} \quad (18-20)$$

式中 $Q_e = Q_d + Q_e'$; $f_e = f_d + f_e'$ 。

(二) 相关系数检验

在分析测试中, 一元回归通常多采用相关系数检验, 所用统计量为

$$r = \frac{I_{xy}}{\sqrt{I_{xx} \cdot I_{yy}}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (18-21)$$

r 为相关系数, 取值范围是 $0 < |r| < 1$, 即 r 值可以是正值, 为正相关, 也可以是负值, 为负相关。在相关性检验时, 当 r 值大于给定的显著性水平 α 和 $f = n - 2$ 下的 $r_{\alpha, f}$ 临界时, 因变量 y 与自变量 x 之间线性显著相关。反之, 线性无关。 $r_{\alpha, f}$ 临界值见表 18-1。

表 18-1 相关系数临界值表

$n-2$	显著性水平 α		$n-2$	显著性水平 α		$n-2$	显著性水平 α	
	0.05	0.01		0.05	0.01		0.05	0.01
1	0.997	1.000	11	0.553	0.684	21	0.413	0.528
2	0.950	0.950	12	0.532	0.661	22	0.404	0.515
3	0.878	0.959	13	0.514	0.641	23	0.396	0.505
4	0.811	0.917	14	0.497	0.623	24	0.388	0.496
5	0.754	0.874	15	0.482	0.606	25	0.381	0.487
6	0.707	0.834	16	0.468	0.590	26	0.374	0.478
7	0.666	0.798	17	0.456	0.575	27	0.367	0.470
8	0.632	0.765	18	0.444	0.561	28	0.361	0.465
9	0.602	0.735	19	0.433	0.548	29	0.355	0.458
10	0.576	0.708	20	0.423	0.537	30	0.349	0.450

从(18-11)式和(18-21)式知一元线性相关的 F 检验和 r 检验二者是一致的,

$$F = \frac{r^2}{(1-r^2) \cdot (n-2)} \quad (18-22a)$$

或

$$r = \sqrt{\frac{F}{F+n-2}} \quad (18-22b)$$

三、回归线的精密度与置信区间

(一) 回归线的精密度

回归线的精密度以剩余标准偏差表示, 它反映试验点 (x_i, y_i) 围绕回归线的高散程度。剩余标准偏差 (s_e)

$$s_e = \sqrt{\frac{Q_e}{f_e}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n-2}} \quad (18-23)$$

式中剩余平方和 Q_e , 可通过不同的途径计算:

$$Q_e = Q_{\text{总}} - Q_{\text{回}}; \quad Q_e = Q_{\text{总}} - bL_{xy} - (1-r^2)Q_{yy} \quad (18-24)$$

(二) 回归线的置信区间

回归线的置信区间是指对于给定的 x 值, y 值落在按回归方程计算的以 Y 值为中心的 $\pm 2s_e$ 区间。称该区间为回归线置信度为 95.4% 的置信区间。即

$$Y = a + bx \pm 2s_e \quad (18-25)$$

式中 s_e 为剩余标准偏差, 由 (18-23) 式决定。以上公式适用于 n 较大, 将 a, b 当做常数且 x_0 较接近 $\bar{x}$ 的情况。当考虑到 a, b 亦是随机变量时, 则用

$$s_{y-x} = s_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (18-26)$$

代替 s_e , 这时线性回归方程的置信区间为

$$[y_0 - t_{n-2} \cdot s_{y-x}, y_0 + t_{n-2} \cdot s_{y-x}]$$

s_{y-x} 称预报标准偏差, 根据 s_e 画制的置信区间见图 18-1。

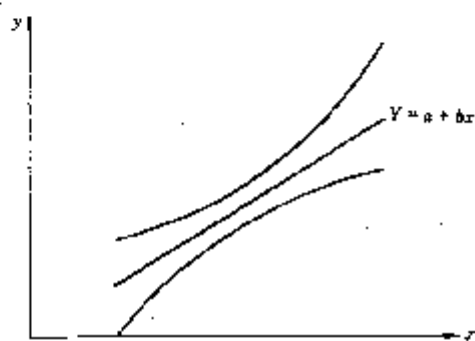


图 18-1 回归线的置信区间

在分析测试中常使用 (18-1) 式进行反估, 即由试验测得 Y 值, 进而从 (18-1) 式计算出 x 值

$$x = \frac{Y - a}{b}$$

x 值的精确性由 s_e 及 a, b 的稳定性决定。反估值 (x_0) 的标准偏差为

$$s_{w/x} = \frac{s_e}{b} \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(y_0 - \bar{y})^2}{b^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (18-27)$$

式中 m 是 Y 值测定的次数, 可见增加测定 Y 值的次数能提高反估的精度。

(三) 回归系数的稳定性

回归系数的稳定性在一元线性回归方程中以截距 a 和斜率 b 表示。 a 和 b 的变动性由 a 和 b 的方差来表示。即

$$s_b^2 = s_e^2 \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (18-28)$$

$$s_a^2 = s_e^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right] = s_e^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (18-29)$$

式中 s_b^2 和 s_a^2 分别表示回归系数 b 和 a 的方差, s_e^2 为剩余方差, n 为 x 取值的个数。

四、两条回归线的比较

回归直线的比较, 就是检验两条回归直线 (或两个回归方程) 的参数斜率 b 和常数项 a 是否有显著性差异。从统计检验的角度看, 就是检验原假设 $H_0: b_1 = b_2$ 和 $a_1 = a_2$ 。

设有两条回归线

$$\begin{cases} Y_1 = a_1 + b_1 x_1 \\ Y_2 = a_2 + b_2 x_2 \end{cases} \quad (18-30)$$

现在要检验这两条回归线之间在统计上是否有显著性差异? 如果两者之间无显著性差异, 即可用一条共同的回归线来表示。其检验步骤为:

(1) 用 F 检验法检验两条回归线的剩余方差 (s_1^2, s_2^2) 之间有无显著性差异。如无显著性差异, 求出合并的剩余方差。检验的统计量为

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{Q_{\text{剩}1}}{n_1 - 2} / \frac{Q_{\text{剩}2}}{n_2 - 2} \quad (18-31)$$

通常把大的剩余方差作为 s_1^2 , 小的作为 s_2^2 (分母), n_1 和 n_2 分别为两条回归线的实验点数目。当 s_1^2 和 s_2^2 之间无显著性差异时, 合并的剩余方差

$$\bar{s}^2 = \frac{(n_1 - 2)s_1^2 + (n_2 - 2)s_2^2}{n_1 + n_2 - 4} \quad (18-32)$$

(2) 检验回归系数 b_1 与 b_2 之间有无显著性差异, 使用统计量为

$$t = \frac{|b_1 - b_2|}{s_{(b_1 - b_2)}} \quad (18-33)$$

自由度为 $f = n_1 + n_2 - 4$ 。在 (1) 的方差检验中, 当 s_1^2 与 s_2^2 之间无显著差异时, (18-33) 式中 $s_{(b_1 - b_2)}$ 为

$$s_{(b_1 - b_2)}^2 = \bar{s}^2 \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2} + \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2} \right] \quad (18-34)$$

当 s_1^2 和 s_2^2 之间有显著差异时, (18-33) 式中 $s_{(b_1 - b_2)}$ 为

$$s_{(b_1 - b_2)}^2 = \frac{s_1^2}{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2} + \frac{s_2^2}{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2} \quad (18-35)$$

式中自由度 f 按下式计算

$$\frac{1}{f} = \frac{c'}{f_1} + \frac{(1-c')}{f_2} \quad (18-36)$$

$$t = \frac{\frac{\frac{1}{n_1} \frac{s_1^2}{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}}{\frac{1}{n_1 - 1} \frac{s_1^2}{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}} + \frac{\frac{1}{n_2} \frac{s_2^2}{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}}{\frac{1}{n_2 - 1} \frac{s_2^2}{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}}}{\frac{1}{n_1 - 1} \frac{s_1^2}{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2} + \frac{1}{n_2 - 1} \frac{s_2^2}{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}}$$

当计算的 t 值 (18-33) 式) 大于给定的显著性水平 α 和相应的自由度 f 下的临界值 t_{α} 时, 认为 b_1 和 b_2 之间有显著性差异, 否定原假设 $H_0: b_1 = b_2$, 即两条回归线的斜率不一致。反之, b_1 和 b_2 之间无显著性差异, 接受原假设 $H_1: b_1 = b_2$, 即两条回归线的斜率是一致的, 但不一定是重合。

在 b_1 与 b_2 一致的情况下, 可用加权法求出共同的 $\bar{b}$ 值。

$$\bar{b} = \frac{b_1 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}{s_1^2} + b_2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}{s_2^2}}{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}{s_1^2} + \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}{s_2^2}} \quad (18-37)$$

(3) 检验截距 a_1 与 a_2 之间有无显著性差异。检验 a_1 与 a_2 之间是否有显著性差异使用的统计量为

$$t = \frac{|a_1 - a_2|}{s_{(a_1 - a_2)}} \quad (18-38)$$

当 s_1^2 与 s_2^2 之间无显著性差异时, (18-33) 式中 $s_{(a_1 - a_2)}$ 按下式计算。

$$s_{(a_1 - a_2)}^2 = s^2 \left[\frac{1}{n_1} + \frac{\bar{x}_1^2}{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2} + \frac{1}{n_2} + \frac{\bar{x}_2^2}{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2} \right]$$

$f = n_1 + n_2 - 4$, 当 (18-38) 式中 t 值小于给定显著性水平 α 和相应自由度 f 下临界值 t_{α} , 表明 a_1 与 a_2 之间无显著性差异, 那么 a_1 和 a_2 用加权法计算出一个共同的 $\bar{a}$ 值:

$$\bar{a} = \frac{n_1 y_1 + n_2 y_2}{n_1 + n_2} - \bar{b} \frac{n_1 \bar{x}_1 + n_2 \bar{x}_2}{n_1 + n_2} \quad (18-39)$$

当 s_1^2 与 s_2^2 之间有显著性差异时, 而用 (18-33) 式检验 b_1 与 b_2 是一致的, 即无显著性差异, 若两条回归线是重合的, 其共同斜率为 $\bar{b}$, 则 $a = a_0$, 即有

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 - \bar{b} \bar{x}_1 &= y_0 - \bar{b} \bar{x}_2 \\ \bar{b} &= \frac{y_1 - y_2}{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} \end{aligned} \quad (18-40)$$

按误差传递规则, $\bar{b}$ 的方差为

$$s_{\bar{b}}^2 = \frac{1}{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2} \left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right) \quad (18-41)$$

若两条回归线是平行的, 斜率 b_1 与 b_2 用加权法由 (18-37) 式求得 $\bar{b}$, $\bar{b}$ 的方差为

$$s_{\bar{b}}^2 = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}{s_1^2} + \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}{s_2^2}} \quad (18-42)$$

因为 (18-40) 式中 b 是两条回归线重合时的共同斜率, $\bar{b}$ 是两条回归线平行时的共同斜率。要检验截距 a_1 与 a_2 之间是否有显著性差异, 只要检验 b 与 $\bar{b}$ 之间是否有显著性差异即可, 因 b 与 $\bar{b}$ 无显著性差异, 则 a_1 与 a_2 也无显著性差异, 检验 b 与 $\bar{b}$ 之间是否有显著性差异的统计量为

$$u = \frac{b - \bar{b}}{\sigma_{b - \bar{b}}} \quad (18-43)$$

式中 $\sigma_{b - \bar{b}}$ 值可用 $s_{b - \bar{b}}$ 值代替, 而 b 与 $\bar{b}$ 之差的方差可从 (18-41) 式和 (18-42) 式求得。

$$s_{b - \bar{b}}^2 = \frac{1}{(x_1 - x_2)^2} \left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right) + \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}{s_1^2} + \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}{s_2^2}} \quad (18-44)$$

用 (18-43) 式时, f_1 与 f_2 要大于 10, u 值由标准正态分布表中查出, 当 u 计算值小于给定显著性水平 $\alpha/2$ 下的临界值时, 即 $|u| \leq u_{\alpha/2}$, 则 b 与 $\bar{b}$ 之间无显著性差异。那么 a_1 与 a_2 之间也无显著性差异。反之, 则 b 与 $\bar{b}$ 有显著性差异。

第二节 一元非线性回归分析

分析测试中, 也会遇到两个变量不是线性关系, 如半对数关系, 指数关系等。这些非线性关系通过变换变为线性关系后, 则可按一元线性回归分析处理。

1. 半对数关系

$$Y = a + b \lg x \quad (18-45)$$

若令 $X = \lg x$

则 (18-45) 式就变成了线性方程

$$Y = a + bX \quad (18-45a)$$

2. 指数关系

$$y = ae^{bx} \quad (18-46)$$

若令 $\ln y = Y$, $\ln a = a'$,

则 (18-46) 式就变成了线性方程, 即

$$Y = a' + bx \quad (18-46a)$$

3. 幂函数关系

$$y = ax^b \quad (18-47)$$

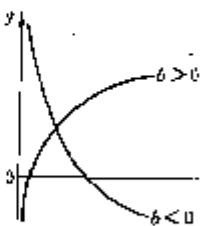
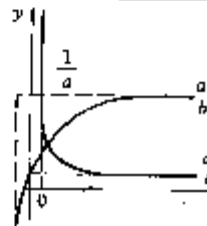
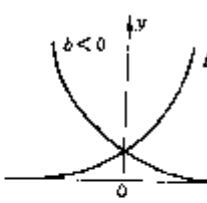
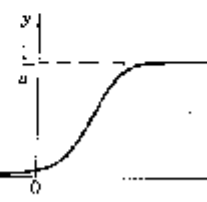
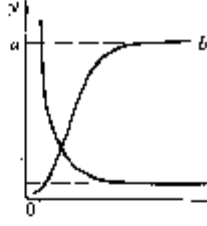
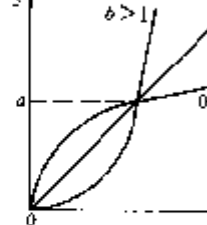
若令 $Y = \lg y$, $X = \lg x$, $a' = \lg a$

则 (18-47) 式就变成线性方程, 即

$$Y = a' + bX \quad (18-47a)$$

还有其他类型的一元非线性函数, 它们的变换见表 18-2。

表 18-2 一些常见曲线形状的函数关系及直线化关系式

曲线类型	曲线形状	函数关系式	变换方法	线性化关系式
对数曲线		$y = a + b \lg x$	令 $X = \lg x$	$y = a + bX$
双曲线		$\frac{1}{y} = a + \frac{b}{x}$	令 $Y = \frac{1}{y}$ $X = \frac{1}{x}$	$Y = a + bX$
指数函数		$y = ae^{bx}$ (b 或 $-b$) $\ln y = \ln a + bx$	令 $Y = \ln y$ $a' = \ln a$	$Y = a' + bx$
逻辑函数		$y = \frac{1}{a + be^{-x}}$ 或 $\frac{1}{y} = a + be^{-x}$	令 $Y = \frac{1}{y}$ $X = e^{-x}$	$Y = a + bX$
指数函数		$y = a^{b/x}$ (b 或 $-b$) 取对数 $\ln y = \ln a + \frac{b}{x}$	令 $Y = \ln y$ $a' = \ln a$ $X = \frac{1}{x}$	$Y = a' + bX$
幂函数		$y = ax^b$ ($b > 0$) 取对数 $\lg y = \lg a + b \lg x$	令 $Y = \lg y$ $X = \lg x$ $a' = \lg a$	$Y = a' + bX$

一元非线性关系通过变换得到线性模型后,按一元线性方程进行处理。但在相关性检验时,剩余变差平方和的计算要用(18-10)式

$$Q_e = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2$$

式中 Y_i 是用回归方程计算得到的与 x_i 对应的响应值。

第三讲 多元线性回归分析

一、回归方程的建立

在实际工作中,影响因变量(Y)的自变量(x)往往不止一个,而是多种因素。这就需要多元线性回归分析。多元线性回归分析的基本原理与一元线性回归分析相同。由于自变量增多,计算较复杂。

如果一个因变量 Y 与 m 个自变量 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 之间有线性关系存在,即为多元线性回归,那么, m 元线性回归方程的一般形式为

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_m x_m \quad (18-48)$$

式中 b_0 为常数项, $b_1, b_2, \dots, b_m$ 为偏回归系数。假设在各个因素不同水平下进行 n 次试验,获得的数据如表 18-3。

所得结果为

$$y_1 = b_0 + b_1 x_{11} + b_2 x_{12} + \dots + b_m x_{1m}$$

$$y_2 = b_0 + b_1 x_{21} + b_2 x_{22} + \dots + b_m x_{2m}$$

.....

$$y_n = b_0 + b_1 x_{n1} + b_2 x_{n2} + \dots + b_m x_{nm}$$

应用最小二乘法,选择合适的 $b_0, b_1, b_2, \dots,$

b_m , 使测定值 y_k 与回归值 Y_k 的变差平方和 Q

表 18-3 多元回归试验数据结果

试验号	因 素	y
	x_1 x_2 x_m	
1	x_{11} x_{12} x_{1m}	y_1
2	x_{21} x_{22} x_{2m}	y_2
$\vdots$		$\vdots$
n	x_{n1} x_{n2} x_{nm}	y_n

$$Q = \sum_{k=1}^n (y_k - Y_k)^2$$

$$= \sum_{k=1}^n [y_k - (b_0 + b_1 x_{k1} + b_2 x_{k2} + \dots + b_m x_{km})]^2 \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (18-49)$$

达到最小,满足最小的条件为

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial b_0} = -2 \sum_{k=1}^n (y_k - Y_k) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b_j} = -2 \sum_{k=1}^n (y_k - Y_k) x_{kj} = 0 \quad (j=1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (18-50)$$

或把(18-48)式代入

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^n [y_k - (b_0 + b_1 x_{k1} + b_2 x_{k2} + \dots + b_m x_{km})] = 0 \\ \sum_{k=1}^n [y_k - (b_0 + b_1 x_{k1} + b_2 x_{k2} + \dots + b_m x_{km})] x_{kj} = 0 \end{cases}$$

方程组(18-50)式称为正规方程组,可进一步化为

只需求出逆矩阵 A^{-1} , 就算出回归系数, 假如设:

$$C = A^{-1} = (C_{ij}) = \begin{bmatrix} C_{00} & C_{01} & C_{02} & \cdots & C_{0m} \\ C_{10} & C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1m} \\ C_{20} & C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ C_{m0} & C_{m1} & C_{m2} & \cdots & C_{mm} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_m \end{bmatrix}$$

那么由正规方程求出的解可表示为

$$b_i = C_{i0}B_0 + C_{i1}B_1 + C_{i2}B_2 + \cdots + C_{im}B_m \quad (i=0, 1, 2, \cdots, m) \quad (18-55)$$

关于求系数矩阵 A 的逆矩阵 A^{-1} 的方法, 可参考有关线性代数的书籍。

二、回归方程显著性检验

(一) 多元回归方程的线性检验

变量 Y 与 m 个自变量之间的线性相关性检验, 采用 F 检验法。检验原假设 $H_0: b_1 = b_2 = \cdots = b_m = 0$ 。其统计量为

$$F = \frac{Q_{\text{回}}/m}{Q_{\text{残}}/(n-m-1)} = \frac{Q_{\text{回}}}{Q_{\text{残}}} \cdot \frac{(n-m-1)}{m} \quad (18-56)$$

式中 $Q_{\text{回}}$ 为回归平方和, $Q_{\text{残}}$ 为剩余平方和。根据方差分析原理, 多元线性回归因变量的离均差平方和可分解为回归平方和与剩余平方和:

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{回}} + Q_{\text{残}} \quad (18-57)$$

$$Q_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{N}; f_{\text{总}} = N-1 \quad (18-58)$$

$$Q_{\text{回}} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2 = b' B - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{N}; f_{\text{回}} = m \quad (18-59)$$

$$Q_{\text{残}} = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{j=0}^m b_j B_j; f_{\text{残}} = N-m-1 \quad (18-60)$$

也可按(18-57)计算 $Q_{\text{回}}$

$$Q_{\text{回}} = Q_{\text{总}} - Q_{\text{残}}$$

列出方差分析表, 见表 18-4。

表 18-4 多元线性回归方差分析表

平方来源	平方和	自由度	均方和	F 值	$P_{\text{总}} \leq \alpha_{\text{总}}$
回归	$Q_{\text{回}} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2 = \sum_{j=0}^m b_j B_j$	$f_{\text{回}} = m$	$\bar{s}_{\text{回}} = \frac{Q_{\text{回}}}{f_{\text{回}}}$	$F = \frac{\bar{s}_{\text{回}}}{\bar{s}_{\text{残}}}$	
剩余	$Q_{\text{残}} = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 = Q_{\text{总}} - Q_{\text{回}}$	$f_{\text{残}} = N - m - 1$	$\bar{s}_{\text{残}} = \frac{Q_{\text{残}}}{f_{\text{残}}}$		
总和	$Q_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^n y_i)^2$	$f_{\text{总}} = N - 1$			

(二) 偏回归系数的显著性检验

多元线性回归方程经上述检验后, 若拒绝 H_0 , 也就是 y 与 x_i 有线性关系时, 应进一步检验因变量 Y 与每一个自变量 x_j 之间是否均有线性关系, 还是部分有线性关系。因此, 必须分

别对每个偏回归系数进行检验, 提出的原假设检验 $H_0: B_j=0$ 。假设检验方法用 t 检验法, 统计量 t 为

$$t_j = \frac{b_j}{\sqrt{C_{jj} \cdot Q_{\hat{\beta}} / (N - m - 1)}} = \frac{b_j}{s_{y \cdot 12 \dots m} \sqrt{C_{jj}}}; \quad j=1, 2, \dots, m \quad (18-61)$$

式中 $s_{y \cdot 12 \dots m} = \sqrt{Q_{\hat{\beta}} / (N - m - 1)}$, 是多元线性回归方程的剩余标准偏差, C_{jj} 是 A 的逆矩阵 C 中主对角线上第 j 行 j 列的元素。

在所求得 m 个 t_j 中, 凡小于临界值 $t_{\alpha/2, (N-m-1)}$ (查 t 分布表), 相应的偏回归系数可认为无显著性, 表示相应的 x_i 与因变量 Y 无线性关系, 应把 x_i 从方程中剔除。然后重新建立新的回归方程, 再对新的回归系数逐个进行检验, 直到余下的回归系数都呈显著性时为止。

偏回归系数的显著性检验也可用 F 检验, 其统计量

$$F_j = \frac{b_j^2 / C_{jj}}{Q_{\hat{\beta}} / (N - m - 1)} \quad (18-62)$$

式中符号与 (18-61) 式具有相同的意义, 当计算 F_j 值小于给定显著性水平 α 和自由度 ($f_1=1, f_2=N-m-1$) F 临界值时, 相应的偏回归系数可认为不显著, 以下按 t 检验法处理。

续表

I ₁₆ (2 ¹⁶) 表头设计															
列号 因 素	1	2	3	4	5	6	7	列号 因 素	1	2	3	4	5	6	7
3	A	B	A×B	C	A×C	B×C		4	A	B	A×B	C	A×C	B×C	A×D
										C×D		B×D		B×C	
4	A	B	A×B	C	A×C	B×C	D	5	A	B	A×B	C	A×C	B×C	E
			C×D		B×D	A×D			D×E	C×D	C×E	B×D	B×E	A×E	A×D
														B×C	

④L₁₂ (2¹¹)

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

⑤L₁₆ (2¹⁵)

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	11	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	12	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	14	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2

L₁₆ (2¹⁵) 两列间的交互列

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	列号
(1)	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14	1									(9)	3	2	5	4	7	6	9
(2)	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13	2										(10)	1	6	7	4	5	10	11
(3)	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12	3											(11)	7	6	5	4	11	10	9
(4)	1	2	3	12	15	14	15	8	9	10	11	4												(12)	1	2	3	12	15	14	15
(5)	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10	5													(13)	3	2	13	12	15	14	9
(6)	1	14	15	12	13	10	11	8	9	6														(14)	1	14	15	12	13	10	11
(7)	15	14	13	12	11	10	9	8	7															(15)	15	14	13	12	11	10	9
(8)	1	2	3	4	5	6	7	8																							

(2) 三水平表

①L₉ (3⁴)

列号 试验号	1	2	3	4	列号 试验号	1	2	3	4
1	1	1	1	1	5	2	3	1	2
2	1	2	2	2	6	3	1	3	2
3	1	3	3	3	7	3	2	1	3
4	2	1	2	3	8	3	2	2	1
5	2	2	3	1	9	3	2	2	1

注:任意两列间的交互列是另外二列。

续表

$L_{27}(3^{13})$													
列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	2	3	2	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	1	3	1	3
6	1	2	2	2	3	3	3	1	3	1	2	1	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	3	2	3	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	1	3	1	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	2	1	2	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	2	3	3	2
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	3	1	3	2
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	3	1
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	3	2	1	1
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	1	2	2	2
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	2	1	3	3

 $L_{27}(3^{13})$ 4 列间的交互列

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	列号
(1)	3	2	2	6	5	5	10	11	8	9	8	9															
4	4	3	7	7	6	12	13	12	13	10	11																
(2)	1	1	8	10	11	3	3	6	7	7	6		2														
1	3	9	13	12	9	8	13	12	11	13																	
(3)	1	10	9	8	7	6	5	5	6	7			3														
2	11	12	13	13	12	11	10	9	8																		
(4)	13	8	9	6	7	7	6	5	5				4														
13	11	10	17	10	9	8	13	12																			
(5)	1	1	2	2	3	3	4	4					5														
7	6	5	8	11	10	13	12																				
(6)	1	4	5	2	4	3	2						6														
5	11	12	13	8	9	10																					
(7)	3	4	4	2	2	3							7														

(3) 四水平表

 $L_{16}(4^5)$

列号	1	2	3	4	5	列号	1	2	3	4	5
试验号	1	2	3	4	5	试验号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	8	3	1	3	4	2
2	1	2	2	2	2	10	3	2	4	3	1
3	1	3	3	3	3	11	3	3	1	2	4
4	1	4	4	4	4	12	3	4	2	1	3
5	2	1	2	3	4	13	4	1	4	2	3
6	2	2	1	4	3	14	4	2	3	1	4
7	2	3	4	1	2	15	4	3	2	4	1
8	2	4	3	2	1	16	4	4	1	3	2

注:任何列的交互列是另外三列

(4) 五水平表

 $L_{25}(5^5)$

列号	1	2	3	4	5	列号	1	2	3	4	5
试验号	1	2	3	4	5	试验号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	4	1	4	4	4	4
2	1	2	2	2	2	5	1	5	5	5	5
3	1	3	3	3	3	6	2	1	2	3	4

续表

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	列号 试验号	1	2	3	4	5	6
7	2	2	3	4	5	1	17	3	2	5	3	1	4
8	2	3	4	5	1	2	18	4	3	1	4	2	5
9	2	4	5	1	2	3	19	4	4	2	5	3	1
10	2	5	1	2	3	4	20	4	5	3	1	4	2
11	3	1	3	5	2	4	21	5	1	5	4	3	2
12	3	2	4	1	3	5	22	5	2	1	5	4	3
13	3	3	5	2	4	1	23	5	3	2	1	5	4
14	3	4	1	3	5	2	24	5	4	3	2	1	5
15	3	5	2	4	1	3	25	5	5	4	3	2	1
16	4	1	4	2	5	3							

注:任两列的交互列是另外四列

(5) 混合水平表

① $L_8(4 \times 2^5)$

列号 试验号	1	2	3	4	5	列号 试验号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	5	3	1	2	1	2
2	1	2	2	2	2	6	3	2	1	2	1
3	2	1	1	2	2	7	4	1	2	2	1
4	2	2	2	1	1	8	4	2	1	1	2

 $L_8(4 \times 2^5)$ 表头设计

列号 因子数	1	2	3	4	5	列号 因子数	1	2	3	4	5
2	A	B	$(A \times B)_1$	$(A \times B)_2$	$(A \times B)_3$	4	A	B	C	D	
3	A	B	C			5	A	B	C	D	E

② $L_{12}(3 \times 2^4)$

列号 试验号	1	2	3	4	5	列号 试验号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	7	2	2		1	1
2	1	1	1	2	2	8	2	2	1	2	2
3	1	2	2	1	2	9	3	1	2	1	2
4	1	2	2	2	1	10	3	1	1	2	1
5	2	1	2	1	3	11	3	2	1	1	2
6	2	1	2	2	2	12	3	2	2	2	1

③ $L_{12}(6 \times 2^5)$

列号 试验号	1	2	3	列号 试验号	1	2	3
1	2	1	1	7	1	3	1
2	5	1	2	8	4	2	2
3	5	2	1	9	3	1	1
4	2	2	2	10	6	1	2
5	4	1	1	11	6	2	1
6	1	1	2	12	3	2	2

续表

① $L_{11}(4^4 \times 2^9)$												② $L_{11}(4^4 \times 2^9)$											
列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	3	1	2	1	2	3	1	2	2	1	2
2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	10	3	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1
3	1	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	11	3	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1
4	1	4	2	2	2	2	2	2	1	1	1	12	3	4	1	2	1	1	2	1	2	1	2
5	2	1	1	2	2	1	-2	2	-1	2	2	13	4	1	2	2	1	2	2	1	3	2	1
6	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	14	4	2	2	2	1	1	1	3	1	1	2
7	2	3	2	1	1	1	2	2	2	1	1	15	4	3	1	1	2	2	2	1	1	1	2
8	2	4	2	1	1	2	1	1	1	2	2	16	4	4	1	1	2	1	1	2	2	2	1

③ $L_{12}(4^4 \times 2^{12})$													④ $L_{12}(4^4 \times 2^{12})$											
列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	10	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	11	3	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2
4	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	12	3	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
5	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	13	4	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2
6	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	14	4	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2
7	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	15	4	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2
8	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2	16	4	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2

⑤ $L_{13}(4^4 \times 2^8)$										⑥ $L_{13}(4^4 \times 2^8)$									
列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	3	1	2	1	2	2	2	2	2
2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	10	3	2	1	2	1	2	1	1	2
3	1	3	3	3	2	1	1	2	2	11	3	3	1	2	1	2	2	1	2
4	1	4	4	4	2	2	2	2	1	12	3	4	2	2	1	1	2	1	2
5	2	1	2	2	3	1	2	1	2	13	4	1	2	2	1	2	1	2	2
6	2	2	1	2	2	2	1	2	1	14	4	2	2	2	1	1	2	1	1
7	2	3	4	1	1	1	2	2	1	15	4	3	2	1	2	2	1	1	1
8	2	4	3	1	1	2	1	1	2	16	4	4	1	1	2	1	2	2	2

⑦ $L_{14}(4^4 \times 2^7)$								⑧ $L_{14}(4^4 \times 2^7)$									
列号		1	2	3	4	5	6	7	列号		1	2	3	4	5	6	7
试验号									试验号								
1		1	1	1	1	1	1	1	9		3	1	2	1	2	2	2
2		1	2	2	2	1	2	2	10		3	2	1	2	1	1	2
3		1	3	3	3	2	1	2	11		3	3	1	2	1	2	1
4		1	4	4	4	2	2	1	12		3	4	2	2	1	1	2
5		2	1	2	3	2	2	1	13		4	1	2	2	2	1	2
6		2	2	1	2	2	1	2	14		4	2	2	1	2	2	1
7		2	3	4	1	1	2	2	15		4	3	2	4	1	1	1
8		2	4	3	2	1	1	1	16		4	4	1	3	1	2	2

⑨ $L_{15}(6 \times 2^8)$									⑩ $L_{15}(6 \times 2^8)$								
列号	1	2	3	4	5	6	7	8	列号	1	2	3	4	5	6	7	8
试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	试验号	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	5	3	2	1	2	1	2	1
2	1	2	2	2	2	2	2	2	10	5	2	1	2	1	2	1	2
3	2	1	1	1	1	2	2	2	11	6	1	2	1	2	2	1	2
4	2	2	2	2	2	1	1	1	12	6	2	1	2	1	1	2	1
5	3	1	1	2	2	1	1	2	13	7	1	2	2	1	1	2	1
6	3	2	2	1	1	2	2	1	14	7	2	1	2	1	2	1	2
7	4	1	1	2	2	2	2	1	15	8	1	2	2	1	2	1	2
8	4	2	2	1	1	1	1	2	16	8	2	1	1	2	1	2	1

90L ₁₀ (2×3 ⁷)																					
列号		1	2	3	4	5	6	7	8	列号		1	2	3	4	5	6	7	8		
试验号										试验号											
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	2	1	1	3	3	2	2	1	1		
2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	11	2	1	2	1	1	2	3	2	1		
3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	12	2	1	3	2	2	1	1	3	3		
4	1	2	1	1	2	2	3	3	3	13	2	2	1	2	3	1	3	2	2		
5	1	2	2	2	3	3	1	1	1	14	2	2	2	3	1	2	1	3	3		
6	1	2	3	3	1	1	2	2	2	15	2	2	3	1	2	3	2	1	1		
7	1	3	1	2	1	3	2	3	3	16	2	3	1	3	2	3	1	2	3		
8	1	3	2	3	2	1	3	1	1	17	2	3	2	1	3	1	2	3	1		
9	1	3	3	1	3	2	1	2	2	18	2	3	3	2	1	2	3	1	1		
90L ₁₀ (3×3 ⁶)																					
列号		1	2	3	4	5	6	7	8	列号		1	2	3	4	5	6	7	8		
试验号										试验号											
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	4	1	3	3	3	2	2	1	1		
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	11	4	2	1	1	3	3	3	2	1		
3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	12	4	3	2	2	1	1	1	3	3		
4	2	1	1	2	2	3	3	3	3	13	5	1	2	3	1	3	3	2	2		
5	2	2	2	3	3	3	1	1	1	14	5	2	3	1	2	1	1	3	3		
6	2	3	3	1	1	2	2	2	2	15	5	3	1	2	3	2	2	1	1		
7	3	1	2	1	3	2	3	3	3	16	6	1	3	2	3	1	1	3	3		
8	3	2	3	2	1	3	1	3	1	17	6	2	1	3	1	2	2	3	1		
9	3	3	1	3	2	1	2	2	2	18	6	3	2	1	2	3	1	3	1		
90L ₁₀ (5×2 ⁶)																					
列号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	列号		1	2	3	4	5	6	7	8	9
试验号											试验号										
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	3	2	1	1	2	1	2	2	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	12	3	2	2	1	1	2	1	1	1	2
3	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	13	4	1	1	2	2	1	2	2	2	2
4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	14	4	2	2	1	2	2	1	2	2	2
5	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	15	4	2	1	2	1	2	1	1	1	1
6	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1	16	4	2	2	1	1	1	2	2	1	1
7	2	2	1	1	2	3	1	2	1	2	17	5	1	1	1	2	2	2	1	1	1
8	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	18	5	1	2	2	1	2	1	2	1	1
9	3	1	1	2	1	1	1	2	2	2	19	5	2	1	2	2	1	1	2	2	2
10	3	1	2	2	2	2	2	1	1	1	20	5	2	2	1	1	1	2	1	2	2
90L ₁₀ (3×4×2 ⁴)																					
列号		1	2	3	4	5	6	列号		1	2	3	4	5	6						
试验号										试验号											
1	1	1	1	1	1	1	1	13	2	1	2	2	2	2	1						
2	1	2	1	1	1	2	2	14	2	2	2	2	2	1	1						
3	1	3	1	2	2	2	1	15	2	3	2	1	1	1	1						
4	1	4	1	2	1	1	2	16	2	4	2	1	1	2	2						
5	1	1	2	2	2	2	2	17	3	1	1	1	1	1	1						
6	1	2	2	2	2	1	1	18	3	2	1	1	1	2	1						
7	1	3	2	1	1	1	2	19	3	3	1	2	2	2	2						
8	1	4	2	1	1	2	1	20	3	4	1	2	1	1	1						
9	2	1	1	1	1	1	2	21	3	1	2	2	2	2	1						
10	2	2	1	1	1	2	1	22	3	2	2	2	2	1	2						
11	2	3	1	2	2	2	2	23	3	3	2	1	1	1	1						
12	2	4	1	2	1	1	1	24	3	4	2	1	1	2	2						
90L ₁₀ (10×2 ³)																					
列号		1	2	3	列号		1	2	3	列号		1	2	3	列号		1	2	3		
试验号										试验号											
1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	1	2	2	2	1	5	2	1	1			
2	1	1	2	2	5	2	1	1		5	3	1	1	1	6	3	2	2			
3	1	2	1	1	6	1	2	2		6	3	2	2	2							

续表

列号	1	2	3	列号	1	2	3
试验号				试验号			
7	4	1	2	14	7	2	2
8	4	2	1	15	8	1	2
9	5	1	1	16	8	2	1
10	5	2	2	17	9	1	1
11	6	1	2	18	9	2	2
12	6	2	1	19	10	1	2
3	7	-	1	20	10	2	1

正交表 $(6 \times 4 \times 2^2)$

列号	1	2	3	4	5	列号	1	2	3	4	5
试验号						试验号					
1	1	1	1	1	2	13	4	1	2	2	2
2	1	2	1	2	1	14	4	2	2	1	1
3	1	3	2	2	2	15	4	3	1	1	2
4	1	4	2	1	1	16	4	4	1	2	1
5	2	1	2	2	1	17	5	1	1	-	1
6	2	2	2	1	2	18	5	2	1	2	2
7	2	3	1	1	1	19	5	3	2	2	1
8	2	4	1	2	2	20	5	4	2	1	2
9	3	1	1	1	1	21	6	1	2	2	2
10	3	2	1	2	2	22	6	2	2	1	1
11	3	3	2	2	1	23	6	3	1	1	2
12	3	4	2	1	2	24	6	4	1	2	1

正交表 (12×2^{12})

列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
试验号														试验号													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	14	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
3	3	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	15	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1
4	4	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	16	4	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1
5	5	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	17	5	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2
6	6	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	18	6	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2
7	7	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	19	7	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2
8	8	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	20	8	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1
9	9	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	21	9	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2
10	10	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	22	10	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1
11	11	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	23	11	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1
12	12	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	24	12	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2

二、正交试验设计步骤

(1) 确定考核指标。在试验开始前要详细查阅已有资料文献,在总结前人的试验基础上,确定试验目的,订出考核指标。

(2) 制定试验因素和水平。在全面分析的基础上,选择因素、水平。尽可能把影响试验结果的所有因素安排在试验中,尤其是重要因素决不能漏掉。

(3) 选择正交表,确定试验方案。根据因素水平数选择最合适的正交表,如有的因素需要重

点考察,可选择混合正交表。如果试验条件需要进一步优化,一般都选用相同水平的正交表。通常所选用正交表最好留下一空列,以便在方差分析中,计算试验误差 Q_e 用。当因素之间有交互效应时,最好进行重复试验,以便准确地估计试验误差。正交表选定之后,因素按序上列,水平对号入座,横向作试验,详细列出每一个试验的条件。

(4) 严格按照试验条件做好试验。精密的试验,可靠的数据是统计分析的基础,没有列入表中的因素必须保持恒定不变。仪器要校正,测量准确。并把测定结果填入正交表。

三、正交试验结果分析

1. 数据的直观分析 根据考核指标,把测试结果最好的试验条件列出。

2. 计算每个因素的极差(R)值

$$R_j = T_{js} \text{ 中最大值} - \text{最小值} \quad j=1, 2, \dots, p; s=1, 2, \dots, n_j$$

其中 T_{js} 表示每个因素(列)中相同水平测定值之和, s 表示因素的水平数。由于正交表的整齐可比性,可以比较各个因素的 R 值。其中 R 值大的可认为是重要因素; R 值小的为次要因素。当水平数不同时,应对平均值进行比较,以确定因素效应的相对大小。

3. 作趋势图 对于三水平以上的各个因素,以试验指标值(测定值)的平均值(或和值)与对应的因素水平作图。

4. 数据的方差分析 方差分析的基础是总变差平方和可以分解为各因素的变差平方和。正交表已将总偏差平方和分解到正交表的每一列的因素上。没有安排因素的列,其平方和反映了试验误差。每个因素的自由度等于水平数减1。用 F 检验各因素的作用。由于正交试验中,误差效应的自由度常常比较小,当 $f_e < 5$ 时,显著性水平从 5% 提高到 10%。

总变差平方和等于各列变差平方和之和

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_p = \sum_{j=1}^p Q_j = Q_e \quad (j=1, 2, \dots, p) \quad (19-1)$$

$$f_0 = f_1 + f_2 + \dots + f_p = \sum_{j=1}^p f_j + f_e$$

式中 Q_0 表示总变差平方和; $Q_1, Q_2, \dots$ 为正交表中第一,二, ..., 列,即相应于因素 1, 2, ..., 的平方和; Q_e 为空列,即试验误差平方和 Q_e 。当试验数据没有重复测定时,最好留一空列,计算试验误差平方和, f 为相应的自由度。而

$$Q_0 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 - \frac{1}{n \cdot k} \left(\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k x_{ij} \right)^2 \quad (19-2)$$

$$Q_j = \frac{n_{ij}}{n \cdot k} \sum_{i=1}^r T_{ij}^2 - \frac{1}{n \cdot k} \left(\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k x_{ij} \right)^2 \quad (19-3)$$

$$Q_e = Q_0 - \sum_{j=1}^p Q_j \quad (19-4)$$

式中 $i=1, 2, \dots, r$ 为试验次数; $r=1, 2, \dots, k$ 为试验重复测定次数, x_{ij} 为测定数据, n_{ij} 为第 j 因素的水平数, T_{ij} 为第 j 个因素同一水平的测试数据之和。各因素的自由度计算为

$$f_T = n \cdot k - 1$$

$$f_j = n_{ij} - 1$$

$$f_e = f_T - \sum_{j=1}^p f_j$$

如果 $k=1$, 则为无重复测定。

F 检验的统计量为

$$F_j = \frac{Q_j/f_j}{Q_0/f_0} \quad (19-5)$$

求出 F_j 值, 根据给定的显著性水平 α 和自由度, 查 F 分布表, 得 F_{α, f_j, f_0} 临界值。当 $F_j > F_{\alpha, f_j, f_0}$ 时, 说明 j 因素对试验结果有显著影响, 必须严格控制。反之, 该因素无显著影响, 对于无显著影响的因素不必严加控制。然后列出方差分析表。

最后, 根据数据处理结果, 指出哪些是重要因素, 哪些是次要因素及各因素的最佳水平, 获得最优试验条件。

四、有交互效应的正交试验设计

如果试验中存在两个或两个以上因素时, 因素之间通常总是或多或少地存在着交互作用。有时没有考虑因素之间的交互作用, 是因为与其他作用比较, 它们的交互作用很小, 或可以忽略不计。当因素之间有交互效应时, 正交试验的表头如何设计?

把交互效应作为一个因素, 例如有 A, B, C 三个因素, 如果考虑交互效应则有 $A \times B, A \times C, B \times C$ 及 $A \times B \times C$ 。如 $A \times B$ 等为因素 A 与 B 之间的交互效应, 是一级交互效应; $A \times B \times C$ 表示因素 A, B, C 之间的二级交互效应。这样, 原为三个因素的试验, 应作为七个因素来考虑选择正交表。

对于有交互效应存在的正交试验表头设计, 可选用有交互效应的正交表; 也可选用有交互效应的表头设计表安排试验, 确定因素上列的顺序。其他步骤按前面所述进行。

第二节 单纯形优化法

单纯形优化法是一种多因素优化法, 不受因素限制, 因素增多试验次数并不增多。单纯形法与正交试验和均匀设计法不同, 试验点是根据试验情况逐步调整到最优条件, 是一种动态调优方法。

一、基本单纯形调优法原理

单纯形是指多维空间中的一种凸图形, 它的顶点数仅比空间的维数多 1。在二因素空间中单纯形是一个三角形, 三因素空间的单纯形为一个四面体, n 个因素空间的单纯形则由 $n+1$ 个点构成超多面体。空间多面体各顶点就是试验点。比较各试验点的结果, 去掉最坏的试验点, 取其对称点作为新的试验点, 该点称为“反射点”。新试验点与剩下的几个试验点又构成新的单纯形, 新单纯形向最佳目标点靠近。如此不断地向最优方向调整, 最后找出最优目标点。

单纯形调优过程如下:

(1) 确定考核指标 确定的考核指标, 应是数量化的, 可精确测定的。

(2) 选择因素与步长 因素应是体系中的独立变量。主要因素首先排入。选择因素的步长时应先根据因素所处的条件, 确定因素的上下限。在上下限之内选择步长的大小。步长取值大, 优化速度快, 但精密度差。步长取值小, 精密度好, 但调优速度慢, 试验量大, 成本高。因此, 步长要适中, 既考虑到一定精度, 也保证一定速度。

(3) 建立初始单纯形 根据各因素试验范围, 由每个因素的初始点和步长建立初始单纯形。通常十个以下因素, 可利用 Long 系数表建立初始单纯形, 见表 19-2。若建立 $(n+1)$ 个点的初始单纯形, 将表中对应的系数值乘以该因素的步长后, 再加入到初始点的坐标上, 即可建立初

始单纯形。也可用其他方法,如通过计算或查阅均匀设计表等来建立初始单纯形。

表 19-2 L₁₆(4) 系数表

顶 点	因 素									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.500	0.866	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.500	0.269	0.817	0	0	0	0	0	0	0
5	0.500	0.788	0.264	0.761	0	0	0	0	0	0
6	0.500	0.289	0.201	0.158	0.775	0	0	0	0	0
7	0.500	0.280	0.204	0.158	0.129	0.784	0	0	0	0
8	0.500	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109	0.756	0	0	0
9	0.500	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109	0.094	0.750	0	0
10	0.500	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109	0.094	0.083	0.745	0
11	0.500	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109	0.094	0.085	0.730	0.742

(4) 确定新试验点 初始单纯形建立之后,按照 $(n+1)$ 顶点的试验条件,进行试验,比较 $(n+1)$ 顶点测定结果,找出最差点 j 即为去掉的点,使单纯形向前推进。新试验点(即 $n+2$)的计算方法为

$$\text{新试验点} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n+1} (\text{单纯形各试验点}) - (\text{最差点 } j) \quad (19-6)$$

在单纯形推进过程中,有时出现新试验点的响应值为最差的情况,如果取其反射点,就又回到前面的单纯形,这样就出现单纯形来回“摆动”,无法继续向前推进。在此情况下,应以去掉单纯形中次差点代替去掉的最差点(即保留最差点,去掉次差点),使单纯形继续推进。

(5) 单纯形的收敛性 在单纯形优化过程中,应经常考查试验结果(或称响应值)是否达到要求,这在数理统计中称为收敛性检验。例如在 n 个因素的单纯形中,若有一个点经 $n+1$ 个单纯形推进中仍未被淘汰,一般可以在此点收敛。但这种检验方法没有考虑试验误差的存在。根据数理统计,单纯形的收敛准则为

$$\frac{|R(B) - R(W)|}{R(B)} < \epsilon \quad (19-7)$$

式中 $R(B)$ 和 $R(W)$ 分别表示单纯形中最好点和最差点响应值; ϵ 为收敛系数。当(19-7)式成立时,单纯形就停止推进,即单纯形达到收敛点,此时单纯形中最好点就是所要寻找的最佳条件。

单纯形收敛判别式也可采用

$$\frac{\sum_{i=1}^{n+1} |R(\mu_i) - R|}{R} < \epsilon \quad (19-8)$$

式中 $R = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{n+1} R(\mu_i)$

$R(\mu)$ 为该单纯形目标函数值。或

$$\sum_{i=1}^{n+1} [R(P_i) - R(B)]^2 < \epsilon \quad (19-9)$$

式中 $R(P_i)$ 为最差顶点 P_i 的响应值; $R(B)$ 为最好点的响应值。

二、改进单纯形调优法

基本单纯形利用对称原理,把去掉的最差点作等距离反射求出新的试验点,经过多次反射后,找出最优化条件。改进单纯形法是在基本单纯形的基础上,根据试验结果,调整反射的距离,用“反射”、“扩大”、“收缩”或整体收缩的方法,加速优化过程,同时又达到一定的精度要求。改进单纯形新试验点的计算方法为

$$(\text{新试验点}) = \frac{1-B}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (\text{单纯形各顶点}) + B \cdot (\text{最差点}) \quad (19-10)$$

式中 B 为单纯形推进系数, n 为优化的因素数。

B 的取值有以下几种可能性:

(1) 若 $B=1$, 此时(19-10)式与(19-6)式相同, 新试验点即为反射点, 按基本单纯形推进。

(2) 如果反射点在新的单纯形中是最好的点, 说明反射方向正确, 可以沿 ad 方向进一步搜索(见图 19-1), 此时 B 的取值大于 1。如 $B=2$, 称为“扩大”, 用(19-10)式计算新试验点, 如果扩大到 e , e 点的结果好于 d 点, 则“扩大”成功, 用 e 点代替 d 点, 构成 bce 单纯形。反之, e 点的结果不如 d 点, 则“扩大”失败, 仍采用 d 点, 构成 bcd 单纯形进行比较。

(3) 如果 d 点在新的单纯形中是最坏点, 但比 a 点好, 这时取 $B < 1$ (在 $0 < B < 1$, 取 $B=0.5$) 称为“收缩”, 新的试验点仍按(19-10)式计算, 为 f 点, 它与留下的点构成新的单纯形 bcf 。如果 d 点的结果比 a 点还差, 这时采用“内收缩”的方法, 此时 $B < 0$ (如取 $B=-0.5$), 用(19-10)式计算新试验点, 得 g 点, 构成新的单纯形 bcg 。

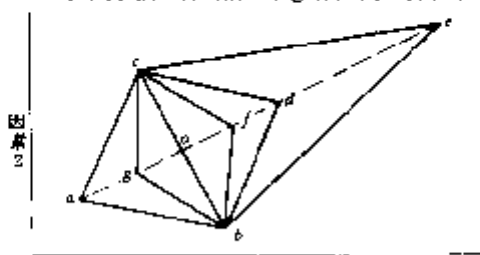


图 19-1 改进单纯形(两因素)图

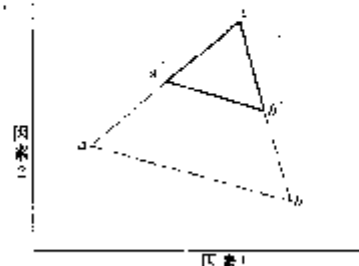


图 19-2 整体收缩(内因素)图

(4) “整体收缩”。如果在 ad 方向上所有点的结果均比 a 点差(图 19-1), 则不能沿此方向搜索, 这时采用“整体收缩”。“整体收缩”是以原单纯形中最好点为基点, 如图 19-2 以 c 点为最好点。基点(c 点)到其他各点的距离的一半为新点, 由此构成新的单纯形 $a'bc$, 再比较各点的结果, 使单纯形向前推, 达到调优目标。

关于单纯形调优法, 近来有很多改正及提出新的设计方法, 请参阅有关文献。

第三节 均匀设计试验法

均匀设计试验法是基于试验点在整个试验范围内均衡分散的一种优化方法。当所研究的因素和水平数目较多时, 均匀设计试验与其他试验设计方法相比, 所需的试验次数更少。它是从全面试验点中挑出具有代表性的少数试验点, 然而仍能得到反映分析体系主要特征的试验结果。

一、均匀设计表

均匀设计表是均匀设计试验法的依据,其符号为

$$U_n(t^p)$$

其中 U 表示均匀设计表, n 为试验次数, t 为因素水平数, p 表示因素数。均匀设计表见表 19-3。如 $U_9(9^6)$ 均匀设计表,表示 6 因素 9 水平做 9 次试验。本节的最后列出水平数为奇数的均匀设计表(试验次数也为奇数)。当水平数偶数时,选用比它大 1 的奇数表,划去最后一行即为偶数表。如要安排 6 因素 8 水平的试验,可选用 $U_9(9^6)$ 均匀设计表,划去最后一行,即得 $U_8(8^6)$ 均匀设计表。

均匀设计表(U 表)的使用,与正交表不同,均匀设计表中的各列是不平等的。每一次试验取哪些列,与因素数有关,因此,每一张均匀设计表,均附有一张使用表,用于说明有几个因素,该使用均匀设计表中的哪几列。例如二因素 7 水平的试验,应选用 $U_7(7^2)$ 表,表中共 6 列,根据使用表,二因素应取 1、3 二列安排试验,如有四因素,应取 1、2、3、6 列进行试验。另外,由于用均匀设计表安排试验,试验次数太少,因此试验误差较大,为了减少误差,可选用试验次数较多的 U 表安排试验。

表 19-3 均匀设计表

(1) $U_5(5^4)$					$U_5(5^4)$ 表的使用				
列号 试验号	1	2	3	4	因素数	列号			
1	1	2	3	4	2	1	2		
2	2	4	1	5	3	1	2	4	
3	3		4	2	4	1	2	3	4
4	4	3	2	1					
5	5	5	5	5					

(2) $U_7(7^6)$							$U_7(7^6)$ 表的使用						
列号 试验号	1	2	3	4	5	6	因素数	列号					
1	1	2	3	4	5	6	2	1	3				
2	2	4	6	1	3	5	3	1	2	3			
3	3	6	2	5	1	4	4	1	2	3	6		
4	4	1	5	2	6	3	5	1	2	3	4	5	
5	5	3	1	6	4	2	6	1	2	3	4	5	6
6	6	5	4	3	2	1							
7	7	7	7	7	7	7							

(3) $U_9(9^8)$							$U_9(9^8)$ 表的使用						
列号 试验号	1	2	3	4	5	6	因素数	列号					
1	1	2	4	5	7	8	2	1	3				
2	2	4	8	1	5	7	3	1	3	6			
3	3	6	3	6	3	6	4	1	2	5	8		
4	4	8	7	2	1	5	5	1	2	3	4	7	
5	5	1	2	7	8	4	6	1	2	3	4	7	8
6	6	3	6	3	6	3							
7	7	5	1	8	4	2							
8	8	7	5	1	2	1							
9	9	9	9	9	9	9							

续表

$$(11) f^{\pm} : (11^{11})$$

行号	列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2	2	4	6	8	10	1	3	5	7	9
3	3	3	6	9	1	4	7	10	2	5	8
4	4	4	8	1	5	9	2	6	10	3	7
5	5	5	10	4	9	1	8	3	7	1	6
6	6	6	1	7	2	8	3	9	4	10	5

7.1(11)表的使用

四位数	列号					
2	7	8				
3	1	5	7			
4	1	2	5	7		
5	1	2	5	6	7	
6	1	2	3	5	7	10

$$(3) U_{12}(14^{12})$$
[illegible]

5.1.8 $U_{18}(13^6)$ 表的使用

因素数	列 号						因素数	列 号											
2	1	5																	
3	1	5	4					8	1	9	6	7	3	9	10	2			
4	1	6	8	10				9	1	2	3	4	7	8	5	6	12		
5	1	6	8	9	10			10	1	2	3	5	6	7	8	9	10	12	
6	1	2	5	8	9	10		11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
7	1	2	5	8	9	10	12	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

$$: \tilde{\mathfrak{g}} \mathfrak{M} :_1 : (15^3)$$

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2	4	7	8	11	13	14
2	2	4	8	14	1	7	11	13
3	3	6	12	6	9	3	9	12
4	4	8	1	14	2	14	7	11
5	5	10	5	3	10	10	5	10
6	6	12	9	12	3	6	3	9
7	7	14	3	4	11	2	1	8
8	8	1	2	11	4	13	14	7

U ₁₅ (15 ⁴)表的使用															
因素数		列 号						因素数		列 号					
2	1	6						6	1	2	3	4	5	8	
3	1	3	4					7	1	2	3	4	5	7	
4	1	3	4	7				8	1	2	3	4	5	6	
5	1	2	3	4	7										

二、均匀设计法试验安排

均匀设计进行试验的步骤,与正交试验设计的步骤类似:

(1)确定考核指标。

(2)确定研究因素水平。

(3)选择均匀设计表。应根据研究的因素和试验次数来选用。由于均匀设计试验次数少水平多,试验结果没有整齐可比性,试验结果不能采用方差分析法。通常用多元回归分析或逐步回归分析法。由于在分析测试中情况复杂,在考虑因素与响应值之间的线性关系之外,还必须考虑非线性关系及因素之间的交互作用:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^p b_i x_i + \sum_{j=1}^r b_{ij} x_i x_j + \sum_{k=1}^q b_k x_k^2 \quad (19-11)$$

$$T \sim C_p^2 - \frac{p(p-1)}{2}$$

式中 p 为因素数, $x_i x_j$ 为因素的交互效应, x_k^2 为因素的二次项的影响。这样,回归方程的系数项总计为

$$m = p + p + \frac{p(p-1)}{2}$$

根据 m 的大小,确定选用 U 表。在最后确定选用 U 表时,尽可能结合专业知识删去那些无关或影响小的因素,特别是那些交互效应项和高次方(x_i^2)项尽可能从方程中删去,以简化繁杂的计算。

(4)制定因素水平表。根据均匀设计表的使用表,因素按序上列,水平对号入座,横向作试验。

(5)严格按照均匀设计表列出的条件,进行试验。准确、精密测量每一结果。

三、数据处理、优化试验条件

(1)试验结果的直观分析。对测定结果进行初步比较,可以观察到好的试验条件的趋势。

(2)根据目标函数,解回归方程。

(3)优化试验条件。回归方程反映了各因素对响应值的统计关系,通常是把回归系数标准化(即 $b_i \cdot \sqrt{I_{xx}/I_{yy}}$)。直接从回归系数的值看出某因素对响应值的影响,一般来说标准回归系数大的值,对响应值影响也大。而回归方程的极值点对应的试验条件就是所要求的最优条件。

第二十章 测试数据统计处理计算机程序

第一节 数据整理

一、数据排序

(一) 交换法排序

将排序的数据用置数语句 (READ, DATA) 放在程序的最后, N 为数据个数, 如将 20 句改为 INPUT 语句, 数据个数 N , 可从键盘输入 (在 DATA 中要删去 N)。本程序将获得从小到大的数据排列。如将 70 句中 “ $>$ ” 改为 “ $<$ ” 即可获得从大到小的排列。见程序 20.1

```

程序 20.1  20  REM ADJUSTMENT OF DATA
           30  READ N
           40  DIM A(N)
           50  FOR I=1 TO N: READ A(I): NEXT I
           60  FOR I=1 TO N-1
           70  FOR J=I+1 TO N
           80  IF A(J)>=A(I) THEN 100
           90  M=A(I): A(I)=A(J): A(J)=M
          100  NEXT J: NEXT I
          110  FOR I=1 TO N: PRINT A(I); " "; NEXT I
          120  END
          130  DATA
  
```

(二) 下沉法排序

此法可视为交换法进一步改进, 其要点是依次比较相邻的元素, 比较后如需要就立即进行互换。如此重复比较, 至使数组中各元素的次序完全排好。见程序 20.2。

```

程序 20.2  20  REM ADJUSTMENT OF DATA
           25  READ N: NO=N
           30  DIM A(N)
           40  FOR I=1 TO N: READ A(I): NEXT I
           50  T=0
           60  FOR I=1 TO N-1
           70  IF A(I+1)>=A(I) THEN 90
           80  B=A(I): A(I)=A(I+1): A(I+1)=B: T=T+1
           90  NEXT I
          100  FOR I=1 TO NO: PRINT A(I); NEXT I: PRINT
          110  IF T=1 THEN N=N-1: GOTO 50
          120  FOR I=1 TO NO: PRINT A(I); NEXT I: PRINT
  
```

130 END

140 DATA

N 为数据个数, 放在 DATA 中。DATA 语句排列: DATA $n, x_1, \dots, x_n$ 。

二、样本均值、标准偏差和相对标准偏差

样本均值 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$; 样本标准偏差 $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

相对标准偏差: $s_r = \frac{s}{\bar{x}}$

程序中用递推算法, 所用递推公式为

$$\bar{x}_i = \bar{x}_{i-1} + \frac{1}{i} (x_i - \bar{x}_{i-1}), \quad s_i^2 = \frac{i-1}{i} \left[s_{i-1}^2 + \frac{1}{i} (x_i - \bar{x}_{i-1})^2 \right]$$

见程序 20.3

```

程序 20.3  20  REM MEAN VALUE STANDARD DEVIATION AND RELATIVE S
              D.
              30  INPUT "NUMBERS OF DATA N="; N
              40  X=0 : S=0
              50  FOR I=1 TO N
              60  READ A
              70  S=(I-1)/I * (S + (A-X) * (A-X)/I) : X=X+(A-X)/I
              80  NEXT I
              85  S1=SQR(S * N/(N-1))
              90  PRINT "M="; X : PRINT "S. D. =" ; S1 : PRINT "R. SD. =" ; S1/X
              100 END
              130 DATA

```

第二节 常用分布函数和分位数的计算机程序

一、正态分布

(一) 正态分布函数

正态随机变量 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 可以由

$$U = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

化成标准正态随机变量 U , 即 $U \sim N(0, 1)$ 。

标准正态分布的分布函数 (即下侧概率)

$$\Phi(u) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

u 为标准正态随机变量的值, $\Phi(u)$ 可以用误差函数 $\text{Erf}(x)$ 进行计算。

即

$$\Phi(u) = \begin{cases} 0.5 \left[1 + \operatorname{Erf}\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right) \right] & (u \geq 0) \\ 0.5 \left[1 - \operatorname{Erf}\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right) \right] & (u < 0) \end{cases}$$

误差函数

$$\operatorname{Erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du \approx 1 - (1 + \sum_{i=1}^5 a_i x^i)^{-16}$$

其中: $a_1=0.0705230784$, $a_2=0.0422820123$, $a_3=0.0082705272$,

$a_4=0.0001520143$, $a_5=0.0002765672$, $a_6=0.0000430638$

程序见 20.4。

```

程序 20.4  4  REM*****X*****
              5  REM STANDARDIZED NORMAL DISTRIBUTION
              6  REM*****X*****
              10 INPUT "MEAN M=";M
              20 INPUT "S. D. S=";S
              30 INPUT "VARIABLE X=";X
              400 U=(X-M)/S; Y=ABS(U)/SQR(2)
              410 E1=((0.430638E-4 * Y - 0.3765672E-3) * Y - 0.1520143E-5)
                  * Y + 0.92705272E-2)
              420 E1=((E1 * Y - 0.0422820123) * Y - 0.0705230784) * Y + 1
              430 E2=E1 * E1 * E1 * E1
              440 E=1-1/E2/E2/E2/E2
              450 IF U>=0 THEN 470
              460 E=-E
              470 P=(1+E)/2
              480 PRINT "P(,";X;" )=";P
              490 END
  
```

M 为样本的平均值, s 为标准偏差, x 为正态随机变量值, U 为 x 的标准化值, P 为下侧概率, 其余为中间变量。

(二) 标准正态分布的分位数

标准正态分布的上侧概率

$$\alpha=1-\Phi(U_\alpha) = \int_{U_\alpha}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) dU$$

与上侧概率 α 相对应的标准正态的随机变量, 称为 $N(0, 1)$ 的上侧概率分位数或分布函数的分位数, U_α 有近似公式

$$U_\alpha = \begin{cases} U_\alpha & (0 < \alpha < 0.5) \\ 0 & (\alpha = 0.5) \\ -U_{1-\alpha} & (0.5 < \alpha < 1) \end{cases}$$

把 U_α 和 $-U_{1-\alpha}$ 记为 U_α , 则

$$U_2 = \sqrt{y \sum_{i=1}^{10} b_i y^i}$$

式中 $y = \ln[4a/(1-a)]$

$$b_0 = 0.3706987906 \times 10^{-1}$$

$$b_1 = 0.2250947176 \times 10^{-2}$$

$$b_2 = 0.5824238515 \times 10^{-3}$$

$$b_3 = 0.836937017 \times 10^{-7}$$

$$b_4 = 0.3657763036 \times 10^{-10}$$

$$b_5 = 0.1570796288 \times 10$$

$$b_6 = -0.8364353589 \times 10^{-3}$$

$$b_7 = 0.6841218299 \times 10^{-5}$$

$$b_8 = -0.1045274970 \times 10^{-8}$$

$$b_9 = -0.3231081277 \times 10^{-6}$$

$$b_{10} = 0.6936233982 \times 10^{-12}$$

根据上述数学模型, 可以计算各种概率下的标准正态分布的分位数。见程序 20.5。

程序 20.5 5 REM CALCULATE U-VALUE

20 INPUT "ONE-TAILED OR TWO-TAILED K=";K

30 INPUT "PROBABILITY Q=";Q

40 IF K=1 THEN 60

50 Q=Q/2

60 IF Q(>.5 THEN 80

70 U=0:GOTO 160

80 Y=-LOG(4*Q*(1-Q))

100 Z1=((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-
0.3231081277E-8)*Y+0.836937017E-7)

105 Z2=((Z1*Y-0.104527497E-5)*Y+0.5824238515E-5)*Y+
0.6841218299E-5)*Y

110 Z=((Z2-0.2250947176E-3)*Y-0.8364353589E-3)*Y-
0.3706987906E-1)

120 Z=(Z*Y+1.570796288)*Y

130 U=SQR(Z)

140 IF Q<0.5 THEN 150

150 U=-U

160 IF K=1 THEN 180

170 Q=2*Q

180 PRINT"U(";"Q;"")=";U

200 END

K 用来说明是单侧检验 (K=1) 或双侧检验 (K=2), Q 为上侧概率, U 为上侧概率分位数, 其余为中间变量。

二. χ^2 分 布

(一) χ^2 分布的分布函数和密度函数

设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为来自正态总体 $N(\mu, \sigma^2)$ 的样本, 统计量 χ^2 由 (15-30) 式定义, χ^2 分布的概率密度函数见 (15-31) 式, χ^2 分布函数为

$$F(\chi^2; f) = \int_0^{\chi^2} \varphi(\chi^2; f) d\chi^2$$

设概率密度函数中的 $F(f/2)$ 为 Γ 函数, 其中 f 为自由度,

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} u^{x-1} \cdot e^{-u} \cdot du$$

本程序用递推算法计算。设 $x = \frac{\chi^2}{2}$, 有递推公式

$$\begin{cases} I_s\left(\frac{i}{2}+1\right) = I_s\left(\frac{i}{2}\right) - \frac{2}{i} u_s\left(\frac{i}{2}\right) \\ u_s\left(\frac{i}{2}+1\right) = \frac{2x}{i} u_s\left(\frac{i}{2}\right) \end{cases}$$

初值 f 为奇数时,

$$\begin{cases} I_s\left(\frac{1}{2}\right) = 2\phi(\sqrt{\chi^2}) - 1 \\ U_s\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{-x} \end{cases}$$

f 为偶数时,

$$\begin{cases} I_s(1) = 1 - e^{-x} \\ U_s(1) = xe^{-x} \end{cases}$$

最后结果为

$$\begin{cases} F(\chi^2, f) = I_s\left(\frac{f}{2}\right) \\ f(\chi^2, f) = U_s\left(\frac{f}{2}\right) / \chi^2 \end{cases}$$

利用上述数学模型计算 χ^2 分布函数的程序见程序 20.6。

```

程序 20.6  20  REM CHI(X2)- DISTRIBUTION
           30  INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1
           40  INPUT "VALUE OF CHI K=";K
           50  P1=3.14159265359
           60  X=K/2+M=F1/2
           70  IF INT(M)=M THEN 140
           80  U=SQR(K)
           90  GOSUB 400
          100  P=2*P-1
          110  D=SQR(X/P1)*EXP(-X)
          115  IF M=0.5 THEN 300
          120  FOR I=0.5 TO M-1
          130  GOTO 180
          140  P=1-EXP(-X)
          150  D=X*EXP(-X)
          160  IF M=1 THEN 300
          170  FOR I=1 TO M-1
          180  P=P-D/I+D-X/I*D
          190  NEXT I
    
```

```

300 D=D/K
310 PRINT "P(';K;':"F1;")=";P
320 PRINT "D(';K;':"F1;")=";D
330 END
400 Y=ABS(U)/SQR(2)
410 E1=((0.430638E-4 * Y - 0.2765672E-3) * Y + 0.1520143E-3)
    * Y + 0.92705272E-2)
420 E1=((E1 * Y + 0.0422820123) * Y + 0.0705230784) * Y + 1
430 E2=E1 * E1 * E1 * E1
440 E=1-1/E2/E2/E2/E2
450 P=(1+E)/2
460 RETURN

```

F1 为自由度, K 为 χ^2 值。在程序运行时用键盘输入。P 为 χ^2 分布的分布函数值, D 为密度函数值, 其余为中间变量。于程序 240 即程序 20.4, 用于计算 χ^2 的标准正态分布函数值。

(二) χ^2 分布的单侧分位数

χ^2 分布的分位数 $\chi^2_{\alpha, f}$, 就是 χ^2 分布的上侧概率

$$\alpha = 1 - F(\chi^2, f) = \int_{\chi^2}^{\infty} g(u, f) du$$

中的 χ^2 值。计算 $\chi^2_{\alpha, f}$ 的方法为

$$\chi^2_{\alpha, f} = H_{\alpha, f}^2$$

$$\chi^2_{\alpha, f} = -2 \ln(\alpha)$$

当 $f > 2$ 时, 由近似公式算出初值,

$$\chi^2_{\alpha, f} \approx \begin{cases} \left[\left(1 - \frac{2}{9f} \right) + U_{\alpha} \sqrt{\frac{2}{9f}} \right]^2 & (3 \leq f \leq 30) \\ \frac{1}{2} (U_{\alpha} + \sqrt{2f-1})^2 & (f > 30) \end{cases}$$

采用迭代法求得较精确的值, 迭代公式为

$$\chi_{i+1} = \chi_i - \frac{F(\chi_i) - p}{\varphi(\chi_i)}, \quad (i=0, 1, 2, \dots)$$

式中 $\varphi(\chi_i)$ 为密度函数, p 为约定的下侧概率, $p = 1 - \alpha$, χ_0 为与 p 相应的分位数的初值, χ_i 为分位数的迭代值, $F(\chi_i)$ 为分布函数, $F(\chi_i) = \int_{-\infty}^{\chi_i} f(\chi) d\chi$ 。利用上述数学式计算不同 α 的 χ^2 分布的分位数。也可由表 15.7 查出, 见程序 20.7。

程序 20.7 5 REM CALCULATE CHIX2-VALUE

10 INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1

20 INPUT "UPPER PROBABILITY Q=";Q

30 IF F1 < 2 THEN 60

40 K = 2 * LOG(Q)

50 GOTO 300

60 IF F1 > 1 THEN 80

```

70  Q=Q/2
80  GOSUB 400
90  IF F1>1 THEN 130
100 K=U*U+Q*2*Q
110 GOTO 300
130 IF F1>30 THEN 200
140 K0=(1-2/9/F1)+U*SQR(2/9/F1)
150 K=F1*K0*K0*K0
160 GOTO 220
200 K0=U+SQR(2*F1-1)
210 K=K0*K0/2
220 P0=1-Q
230 GOSUB 500
240 IF D<1E-20 THEN 300
250 K1=K(P-P0)/D
260 IF ABS(K1-K)<1E-6 THEN 290
270 K=K1
280 GOTO 230
290 K=K1
300 PRINT "X2=";Q;"(F1)=";K
310 END
400 IF Q<>0.5 THEN 430
410 U=0
415 RETURN
430 Y=LOG(4*Q*(1-Q))
440 Z2=((Z1*Y-0.104527497E-5)*Y+0.5824238515E-5)*Y+
0.6841218299E-5)*Y
450 Z=((Z2+0.2250547176E-3)*Y+0.3364353589E-3)*Y+
0.3706987906E-1)
455 Z=(Z*Y-1.570796288)*Y
460 U=SQR(Z)
470 IF Q<0.5 THEN 490
480 U=-U
490 RETURN
500 P1=3.14159265359
510 X=K/2:M=F1/2
530 IF INT(M)=M THEN 610
540 U=SQR(K)
550 GOSUB 700
560 P=2*P-1

```



```

570 U=SQR(X/P1)*EXP(-X)
580 IF M=0.5 THEN 680
590 FOR I=0.5 TO M-1
600 GOTO 650
610 T=1*EXP(-X)
620 D=-X*EXP(-X)
630 IF M=1 THEN 680
640 FOR I=1 TO M-1
650 P=(P-I)/I: D=X/I*D
670 NEXT I
680 D=D/K
690 RETURN
700 Y=ABS(U)/SQR(2)
710 E1=((0.430688E-3*Y-0.2765672E-3)*Y+0.1620143E-3)*
    Y+0.92705272E-2)*Y
720 E1=((E1+0.0422820123)*Y+0.0705230784)*Y-1
730 E2=E1*E1*E1*E1
740 E=-1-1/E2/E2/E2/E2
750 P=(1+E)/2
760 RETURN

```

F1 为自由度, Q 为上侧概率, 在程序运行时用键盘输入, K 为 χ^2 分布的上分位数, 即 χ^2 值, U 表示上侧概率为 Q 时的标准正态分布函数的分位数, 其余为中间变量。

三、t 分 布

(一) t 分布的分布函数和密度函数

设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为来自正态总体 $N(\mu, \sigma^2)$ 的样本, 则 t 统计量服从 $f=n-1$ 的 t 分布, t 统计量及其分布概率密度函数分别见 (15-26) 式和 (15-27) 式, 而其累积分布函数为

$$F(t, f) = \int_{-\infty}^t g(u, f) du$$

采用递推法计算 t 分布的累积分布函数和密度函数, 设 $x = \frac{t^2}{1+t^2}$, 有递推公式

$$\begin{cases} I_r\left(\frac{f}{2}+1\right) = I_r\left(\frac{f}{2}\right) + \frac{2}{f} U_r\left(\frac{f}{2}\right) \\ U_r\left(\frac{f}{2}+1\right) = U_r\left(\frac{f}{2}\right) + \frac{1-f}{f} (1-x) \end{cases}$$

初值 f 是奇数时为

$$\begin{cases} I_r\left(\frac{f}{2}\right) = 1 - \frac{2}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{1-x}{x}} \\ U_r\left(\frac{f}{2}\right) = \frac{1}{\pi} \sqrt{x(1-x)} \end{cases}$$

f 是偶数时为

$$\begin{cases} I_x(1) = \sqrt{x} \\ U_x(1) = \frac{1}{2}\sqrt{x}(1-x) \end{cases}$$

最后结果为

$$\begin{cases} F(t, f) = 0.5 + \frac{\text{sign}(t)}{2} I_x\left(\frac{f}{2}\right) \\ \varphi(t, f) = U_x\left(\frac{f}{2}\right) / |t| \end{cases}$$

sign 为符号函数, 当 $t \geq 0$, $\text{sign}(t) = 1$; $t < 0$ 时, $\text{sign}(t) = -1$ 。计算概率函数和密度函数的程序见程序 20.8。

$F1$ 为自由度, T 为给定的 t 值, 程序运行后从键盘输入, $P1$ 为侧面积, P 为 t 分布的分布函数, D 为 t 分布的密度函数值。其他为中间变量。

```

程序 20.8  4 REM * * * * *
5 REM T DISTRIBUTION
6 REM * * * * *
30 INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1="; F1
40 INPUT "VALUE OF T="; T
50 V=F1/2: P1=3.14159265359
60 X=T*T/(F1+T*T)
70 IF INT(V)=V THEN 130
80 I=1-2/P1*ATN(SQR((1-X)/X))
90 U=I/P1*SQR(X*(1-X))
100 IF V=0.5 THEN 180
110 FOR J=0.5 TO V-1
120 GOTO 160
130 I=SQR(X): U=I*(1-X)/2
140 IF V=1 THEN 180
150 FOR J=1 TO V-1
160 I=I+U/J
165 U=U*(1-X)*(0.5+J)/J
170 NEXT J
180 P=0.5+SGN(T)*I/2
185 D=U/ABS(T)
190 PRINT "P(";T;";";F1;")=";P
200 PRINT "D(";T;";";F1;")=";D
210 END

```

(二) t 分布的单侧分位数

t 分布的分位数 $t_{\alpha, f}$ 就是 f 分布的右侧概率

$$\alpha = 1 - F(t, f) = \int_t^{\infty} \varphi(U, f) dU$$

中的 t 值。计算 $t_{(\alpha, f)}$ 的方法为

$$t_{(\alpha, f)} = \sqrt{2} \frac{\lg [\pi / (0.5 - \alpha)]}{\{2(1 - 2\alpha)^2 / [1 - (1 - \alpha)^{2f}]\}^{1/2}}$$

当 $f > 2$ 时, 由下面的近似公式计算

$$t_{(\alpha, f)} \approx \left[\left(1 - \frac{1}{4f} \right)^2 - \frac{U_\alpha^2}{2f} \right]^{1/2} \quad (H > 0.5 \text{ 时})$$

$$t_{(\alpha, f)} \approx \sqrt{f} \left[\frac{\Gamma(\frac{1-f}{2})}{\sqrt{\pi} 2f \Gamma(\frac{f}{2})} \right]^{1/f} \quad (H \leq 0.5 \text{ 时})$$

其中

$$H = \left(1 - \frac{1}{4f} \right)^2 - \frac{U_\alpha^2}{2f}$$

U_α 为标准正态分布的分位数, 算出初值后, 再用第二步“二”中的迭代法得到较精确的值。 Γ 函数用递推公式计算, 即

$$\Gamma(f+1) = f\Gamma(f)$$

初值用 $\Gamma(\frac{1}{2}) = \sqrt{\pi}$ 或 $\Gamma(1) = 1$

t 分布单侧分位数和双侧分位数也可从表 15—6 (1) 和表 15—6 (2) 中查出。计算 t 分布单侧分位数的程序见程序 20.9。

```

程序 20.9  4  REM *****
           5  REM CALCULATE T-VALUE
           6  REM *****
          10  INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1
          20  INPUT "UPPER PROBABILITY Q=";Q
          30  P1 = 3.14159265359
          40  IF F1>1 THEN 70
          50  T=TAN(P1*(0.5-Q))
          60  GOTO 300
          70  IF F1>2 THEN 110
          80  Q1 = 1 - 2*Q
          90  T=SQR(2*Q1*Q1/(1-Q1*Q1))
         100  GOTO 300
         110  GOSUB 400
         120  B=(1-1/4/F1)*(1-1/4/F1)-U/2*U/F1
         130  IF B>0.5 THEN 220
         140  X=(1-F1)/2
         150  GOSUB 500
         160  G1 = X - F1/2
         170  GOSUB 500
         180  G2 = G1/SQR(P1)/Q/F1/G

```

```

190 T=SQR(F1)*G2/(1/F1)
200 GOTO 230
220 T=U/SQR(B)
230 GOSUB 500
240 IF D<1E-20 THEN 300
250 T1=T-(F-1/Q)/D
260 IF ABS(T1-T)<1E-8 THEN 290
270 T=T1
280 GOTO 230
290 T=T1
300 PRINT "T=";Q;"(F)=",T
310 END
400 IF Q<>0.5 THEN 430
410 U=0
420 RETURN
430 Y=-LOG(.5*Q*(1-Q))
440 Z1=((0.6936233982E-12*Y+0.3657753036E-10)*Y-
0.3231081277E-8)*Y
445 Z2=((Z1+0.8360937017E-7)*Y-0.104527497E-5)*Y-
0.5824238515E-5)*Y
450 Z3=((Z2+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y-
0.8364353589E-3)*Y
455 Z=((Z3+0.3706937906E-1)*Y+1.570796288)*Y
460 U=SQR(Z)
470 IF Q<0.5 THEN 490
480 U=-U
490 RETURN
500 IF INT(X)=X THEN 550
510 G=SQR(P1)
520 IF X=0.5 THEN 590
530 FOR I=0.5 TO X-.1
540 GOTO 570
550 G=.1
560 FOR I=1 TO X-1
570 G=.1*G
580 NEXT I
590 RETURN
600 V=P1/2;X=T*T/(P1+T*T)
620 IF INT(V)=V THEN 680
630 I=.1-2/P1*ATN(SQR((1-X)/X))

```

```

640 U=SQR(X*(1-X))/PI
650 IF V=0.5 THEN 750
660 FOR J=0.5 TO V-1
670 GOTO 720
680 I=SQR(X): U=I*(1-X)/2
690 IF V=1 THEN 750
710 FOR J=1 TO V-1
720 I=I+U/J: U=U*(1-X)/J*(J+0.5)
740 NEXT J
750 F=0.5+SGN(T)*I/2
760 D=U/ARSG(T)
770 RETURN

```

FI 为自由度, Q 为上侧概率。程序运行后从键盘输入 T 为上侧概率分位数, U 为上侧概率等于 Q 时的标准正态分布函数的分位数, G 为 F 函数值, 其他均为中间变量。子程序 400 即程序 20.5, 子程序 500 用于计算 F 函数, 子程序 600 即程序 20.8。

四、F 分 布

(一) F 分布的分布函数和密度函数

设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 和 $y_1, y_2, \dots, y_m$ 为来自正态总体 $N(\mu, \sigma)$ 的两个相互独立的样本, 则统计量 F 由 (15-37) 式定义。统计量 F 的概率密度函数由 (15-38) 式决定, 统计量 F 的累积分布函数为

$$P(F, f_1, f_2) = \int_0^F g(u, f_1, f_2) du$$

累积分布函数和密度函数可用递推法计算, 设 $x = \frac{f_1 F}{f_2 + f_1 F}$, 递推公式有

$$\begin{aligned}
 I_x\left(\frac{f_1}{2}+1, \frac{f_2}{2}\right) &= I_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}\right) - \frac{2}{f_1} U_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}\right) \\
 I_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}+1\right) &= I_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}\right) + \frac{2}{f_2} U_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}\right) \\
 U_x\left(\frac{f_1}{2}+1, \frac{f_2}{2}\right) &= U_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}\right) \frac{f_1+f_2}{f_1} x \\
 U_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}+1\right) &= U_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}\right) \frac{f_1+f_2}{f_2} (1-x)
 \end{aligned}$$

初值取法如下:

f_1 = 奇数, f_2 = 奇数时,

$$\begin{cases} I_x\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right) = 1 - \frac{2}{\pi} \arctan \sqrt{\frac{1-x}{x}} \\ U_x\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{\pi} \sqrt{x(1-x)} \end{cases}$$

f_1 = 奇数, f_2 = 偶数时,

$$\begin{cases} I_x\left(\frac{1}{2}, 1\right) = \sqrt{x} \\ U_x\left(\frac{1}{2}, 1\right) = \frac{1}{2} \sqrt{x(1-x)} \end{cases}$$

$f_1 = \text{偶数}, f_2 = \text{奇数时},$

$$\begin{cases} I_x\left(1, \frac{1}{2}\right) - 1 - \sqrt{1-x} \\ U_x\left(1, \frac{1}{2}\right) - \frac{1}{2}x\sqrt{(1-x)} \end{cases}$$

$f_1 = \text{偶数}, f_2 = \text{偶数时},$

$$\begin{cases} I_x(1, 1) - x \\ U_x(1, 1) = x(1-x) \end{cases}$$

最后结果为

$$P(F, f_1, f_2) = I_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}\right)$$

$$f(F, f_1, f_2) = \frac{U_x\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}\right)}{F}$$

按以上数学模型, 设计计算 F 分布的累积分布函数和密度函数值的程序见程序 20.10。

程序 20.10 中 $F1, F2$ 为两个自由度, $P1$ 为圆周率, F 为给定的 F 值, P 和 D 分别为 F 分布的累积分布函数值和密度函数值。其余为中间变量。

```

程序 20.10  4 REM * * * * *
              5 REM F DISTRIBUTION *
              6 REM * * * * *
              10 INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1
              20 INPUT "DEGREE OF FREEDOM F2=";F2
              30 INPUT "VALUE OF F=";F
              40 P1=3.14159265359
              50 M=F1/2:V=F2/2
              60 X=F1*F/(F2+F1*F)
              70 IF INT(M)=M THEN 160
              80 IF INT(V)=V THEN 130
              90 P=1-2/P1*ATN(SQR(1-X)/X)
              100 U=SQR(X*(1-X))/P1
              110 M1=0.5:V1=0.5
              120 GOTO 220
              130 P=SQR(X):U=P/2*(1-X)
              140 M1=0.5:V1=1
              150 GOTO 220
              160 IF INT(V)=V THEN 200
              170 P=1-SQR(1-X):U=X*SQR(1-X)/2
              180 M1=1:V1=0.5
              190 GOTO 220
              200 P=X:U=X*(1-X)
              210 M1=1:V1=1

```

```

220 IF M<=-1 THEN 260
230 FOR I=MI TO M-1
240 P=P-U/I: U=U*X/I*(1+V1)
250 NEXT I
260 IF U<=1 THEN 300
270 FOR I=VI TO V-1
280 P=P+U/I: U=U*(1-X)/I*(1+M)
290 NEXT I
300 D=U/F
310 PRINT "P(";F;"",F1;"",F2;"")=";P
320 PRINT "D(";F;"",F1;"",F2;"")=";D
330 END

```

(二) F 分布的单侧分位数

F 分布的单侧分位数 $F_{(\alpha, f_1, f_2)}$ 就是 F 分布的上侧概率

$$\alpha = 1 - p(F, f_1, f_2) = \int_F^{\infty} (u, f_1, f_2) du$$

中的 F 值。先由近似公式计算初值, 设

$$E = (1-b)^2 - 4U^2, \text{ 当 } E > 0.8 \text{ 时,}$$

$$F_{(\alpha, f_1, f_2)} \approx \left\{ \frac{(1-a)(1-b) + U \sqrt{(1-a)^2 b + (1-b)^2 a - a b U^2}}{E} \right\}$$

当 $E < 0.8$ 时,

$$F_{(\alpha, f_1, f_2)} \approx \left\{ \frac{1}{B\left(\frac{f_1}{2}, \frac{f_2}{2}\right)} \cdot \frac{2f_2^{\frac{f_2}{2}}}{f_1^{\frac{f_1}{2}}} \cdot \frac{1}{\alpha} \right\}^{\frac{2}{f_2}}$$

式中 $a = \frac{2}{9f_1}$, $b = \frac{2}{9f_2}$, U 为上侧概率为 α 时的标准正态分位数, B 为 B 函数, 可用 Γ 函数计算。

计算出初值后, 用迭代法算出较精确的值。

F 分布单侧分位数也可从表 15-7 中查出其计算机程序见程序 20.11。

```

程序 20.11 4 REM *****
5 REM CALCULATE F-VALUE *
6 REM *****
10 INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1
20 INPUT "DEGREE OF FREEDOM F2=";F2
30 INPUT "UPPER PROBABILITY Q=";Q
40 A=2/9/F1: B=2/9/F2
50 GOSUB 300
60 E=(1-B)*(1-B)-B*U*U
70 IF E>0.8 THEN 160
80 P1=3.14159265359: X=F1/2

```

```

90 GOSUB 400
100 G1 = G + X * F2/2
110 GOSUB 400
120 G2 = G + X * (F1 + F2)/2
130 GOSUB 400
140 F = (LOG(G) - LOG(G1) - LOG(G2) + LOG(2) + (F2/2 - 1) * LOG
      (F2) - F2/2 * LOG(F1) - LOG(Q))
145 F = EXP(2 * F/F2)
150 GOTO 170
160 H = ((1 - A) * (1 - B) + U * SQR((1 - A) * (1 - A) * B + A * E))/E
165 F = H * H * H
170 GOSUB 500
180 IF D < 1E-20 THEN 220
190 F = F - (F - 1 + Q)/D
200 IF ABS(F - 1 + Q) < 1E-9 THEN 220
210 GOTO 170
220 PRINT "F="; Q; "(", F1, ", ", F2, ") = ", F
230 END
300 IF Q < > 0.5 THEN 330
310 U = 0
320 RETURN
330 Y = -LOG(1 + Q * (1 - Q))
340 Z1 = ((0.6936233982E-12 * Y + 0.3657763036E-10) * Y -
      0.3231081277E-8) * Y
345 Z2 = ((Z1 + 0.83609370.7E-7) * Y - 0.104527497E-5) * Y +
      0.5824238515E-5) * Y
350 Z3 = ((Z2 + 0.6841218299E-5) * Y - 0.2250947176E-3) * Y -
      0.8364353589E-3) * Y
355 Z = ((23 - 0.3706987906E-1) * Y + 1.570796288) * Y
360 U = SQR(Z)
370 IF Q < 0.5 THEN 390
380 U = -U
390 RETURN
400 IF INT(X) = X THEN 450
410 G = SQR(P1)
420 IF X = 0.5 THEN 490
430 FOR I = 0.5 TO X - 1
440 GO TO 470
450 G = 1
460 FOR I = 1 TO X - 1

```



```

470 G=I * G
480 NEXT I
490 RETURN
500 M=F1/2 * V-F2/2
520 X=F1 * F/(F2+F1 * F)
530 IF INT(M)=M THEN 650
540 IF INT(V)=V THEN 600
550 P=1-2/P1 * ATN(SQR((1-X)/X))
560 U=SQR(X * (1-X))/P1
570 M1=0.5 * V1-0.5
590 GOTO 750
600 P=SQR(X) * U=P/2 * (1-X)
620 M1=0.5 * V1=1
640 GOTO 750
650 IF INT(V)=V THEN 710
660 P=1 * SQR(1-X) * U=X * SQR(1-X)/2
680 M1=1 * V1=0.5
700 GOTO 750
710 P=X * U=X * (1-X)
730 M1=1 * V1=1
750 IF M<=-1 THEN 800
750 FOR I=M1 TO M-1
770 P=P-U/I * U=U * X/I * (1+V1)
790 NEXT I
800 IF V<=1 THEN 850
810 FOR I=V1 TO V-1
820 P=P+U/I * U=U * (1-X)/I * (1-M)
840 NEXT I
850 D=U/F
860 RETURN

```

F_1 和 F_2 分别为两个自由度, Q 为上侧概率。程序运行后从键盘输入, U 表示上侧概率等于 Q 时标准正态分布的分位数, G 为 F 函数值, F 为上侧概率是 Q 时 F 分布值, 其他为中间变量。子程序 300 即程序 20.5, 子程序 400 用于计算 F 函数值, 子程序 600 即程序 20.10。

第三节 分析测试数据的统计检验程序^①

一、平均值的检验

(一) 用标样法检验样本的平均值

① 第二(原程序 20.12 外)、四、五和六节的程序摘自姜连禄、邓勃、王小青编著《分析测试数据统计处理中计算机的应用》, 北京: 化学工业出版社, 1989。

原理见第十六章第三节，计算机程序见程序 20.12。

程序 20.12

```

10 PRINT "TEST OF MEAN WITH STANDARD SAMPLE"
20 INPUT "SIZE OF SAMPLE N=";N
30 INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
40 INPUT "STANDARD VALUE U=";U
50 DIM X(N)
60 A = 0 : B = 0
70 FOR I=1 TO N
80 READ X(I)
90 A = A + X(I) : B = B + X(I) * X(I)
100 NEXT
110 S=SQR((B-A * A/N)/(N-1)) : M=A/N
120 PRINT
130 TT=ABS((M - U)/(S/SQR(N)))
140 PRINT " * TT=";TT
150 GOSUB 220
160 IF TT<T THEN 190
170 PRINT " * SIGNIFICANT DIFFERENCE!"
180 GOTO 210
190 PRINT " * NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE!"
200 PRINT " * MEAN=";M,"S.D=";S
210 END
220 REM RANDOM VARIABLE OF T-DISTRIBUTION
230 F1 = N - 1
240 P1=3.14159265359
250 IF F1>1 THEN 280
260 T=TAN (P1 * (0.5-Q))
270 GOTO 500
280 IF F1>2 THEN 320
290 Q1=1-2 * Q
300 T=SQR(2 * Q1 * Q1/(1-Q1 * Q1))
310 GOTO 500
320 GOSUB 520
330 B = (1 - 1/4/F1) * (1 - 1/4/F1) - U/2 * U/F1
340 IF B>0.5 THEN 420
350 X1=(1+F1)/2
360 GOSUB 620
370 G1=G : X1=F1/2
380 GOSUB 620

```

```

330 G2 = G1/SQR(P1)/Q/F1/G
430 T=SQR(F1)*G2*(1/F1)
410 GOTO 430
420 T = U/SQR (B)
430 GOSUB 720
440 IF D<1E-20 THEN 500
450 T1=T-(F-1+Q)/D
460 IF ABS(T1-T)<1E-8 THEN 490
470 T=T1
480 GOTO 430
490 T = T1
500 PRINT " * T(";Q;" ,";F1;")=";T
510 RETURN
520 IF Q< >0.5 THEN 550
530 U=0
540 RETURN
550 Y=-LOG(4 * Q * (1-Q))
560 Z1=(((0.6936233982E-12 * Y+0.3657763035E-10) * Y
0.3231081277E-8) * Y+0.8360937017E-7) * Y-0.104527497E
-5) * Y+0.5824238515E-5) * Y
570 Z=(((Z1+0.6841218299E-5) * Y-0.2250947176E-3) * Y-
0.8364353589E-3) * Y+0.3706987906E-1) * Y+1.579796288) * Y
580 U=SQR(Z)
590 IF Q<0.5 THEN 610
600 U = U
610 RETURN
620 IF INT (X1)=X1 THEN 670
630 G=SQR(P1)
640 IF X1=0.5 THEN 710
650 FOR I = 0.5 TO X1-1
660 GOTO 690
670 G=1
680 FOR I=1 TO X1-1
690 G=1 * G
700 NEXT I
710 RETURN
720 V=F1/2
730 X1=T * T/(F1+T * T)
740 IF INT (V)=V THEN 860
750 I=1-2/P1 * ATN(SQR((1-X1)/X1))

```

```

760 U=SQR(X1*(1-X1)/P1)
770 IF V=0.5 THEN 870
780 FOR J=0.5 TO V-1
790 GOTO 840
800 I=SQR(X1)
810 U=1*(1-X1)/2
820 IF V=1 THEN 870
830 FOR J=1 TO V-1
840 I=1+U/J
850 U=U*(1-X1)/J*(J+0.5)
860 NEXT J
870 F=0.5+SGN(T)*I/2
880 D=U/ABS(T)
890 RETURN
900 DATA

```

N 为样本容量, Q 为显著性水平, U 为标样的名义值, 在程序开始运行后用键盘输入。 $X_i(t)$ 为标样的测定值, M 和 S 为测定值的平均值和标准差。TT 为统计量, T 为检验临界值, 其余为中间变量。测定值用置数语句放在程序的最后。子程序 220 即程序 20.9, 用于计算 $t_{(n-1), \alpha}$, $t_{(n-1), \beta}$ 临界值也可从表 15-6 中查出, 再从键盘输入。

(二) 两种方法互相检验

方法原理和计算公式见第十六章第三节, 其计算机程序见程序 20.13。

程序 20.13

```

10 PRINT "TEST OF SYSTEM ERROR FOR 2 GROUPS"
20 INPUT "SIZE OF SAMPLES(1) N1=";N1
30 INPUT "SIZE OF SAMPLES(2) N2=";N2
40 INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
50 Q=Q/2
60 F1=N1-1;F2=N2-1;F=F1+F2
70 DIM X1(N1),X2(N2)
80 A=0;B=0
90 PRINT "THE SAMPLE VALUES:"
100 FOR I=1 TO N1
110 READ X1(I)
120 PRINT X1(I);"; ";
130 A=A+X1(I);B=B+X1(I)*X1(I)
140 NEXT
150 PRINT
160 S1=SQR((B-A*A/N1)/(N1-1));M1=A/N1
170 A=0;B=0
180 FOR I=1 TO N2

```

```

190 READ X2(I)
200 PRINT X2(I);", ";
210 A=A+X2(I); B=B+X2(I)*X2(I)
220 NEXT
230 PRINT
240 S2=SQR((B-A*A/N2)/(N2-1)); M2=A/N2
250 PRINT
260 S=(F1*S1*S1+F2*S2*S2)/(N1+N2-2)
270 TT=ABS((M1-M2)/SQR(S*(1/N1+1/N2)))
280 PRINT " * TT=";TT
290 GOSUB 370
300 IF TT<T THEN 330
310 PRINT " * SIGNIFICANT DIFFERENCE ! "
320 GOTO 360
330 PRINT " * NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE ! "
340 PRINT " * MEAN(1) = ";M1; ", S.D(1) = ";S1
350 PRINT " * MEAN(2) = ";M2; ", S.D(2) = ";S2
360 END
370 REM RANDOM VARIABLE OF T-DISTRIBUTION
380 F1=N1+N2-2
390 P1=3.14159265359
400 IF F1>1 THEN 450
410 T=TAN (P1*(0.5-Q))
420 GOTO 650
430 IF F1>2 THEN 470
440 Q1=1-2*Q
450 T=SQR(2*Q1*Q1/(1-Q1*Q1))
460 GOTO 650
470 GOSUB 670
480 B=(1-1/4/F1)*(1-1/4/F1)-U/2*U/F1
490 IF B>0.5 THEN 570
500 X1=(1+F1)/2
510 GOSUB 770
520 G1=G:X1=F1/2
530 GOSUB 770
540 G2=G1/SQR(P1)/Q/F1/G
550 T=SQR(F1)*G2*(1/F1)
560 GOTO 580
570 T=U/SQR(B)
580 GOSUB 870

```

```

590 IF D<1E-20 THEN 650
600 T1=T-(F+1-Q)/D
610 IF ABS(T1-T)<1E-8 THEN 640
620 T=T1
630 GOTO 580
640 T=T1
650 PRINT" * T( ";Q;" ";F1;" )=";T
660 RETURN
670 IF Q< >0.5 THEN 700
680 U=C
690 RETURN
700 Y=-LOG(4 * Q * (1-Q))
710 Z1 = (((((0.6936233982E+12 * Y - 0.3657763036E+10) * Y -
0.3231081277E+8) * Y - 0.8360937017E+7) * Y - 0.104527497E+5) * Y + 0.5824238515E+5) * Y
720 Z = (((((Z1 - 0.6841218299E+5) * Y - 0.2250947173E+3) * Y -
0.8364353539E+3) * Y + 0.3706987906E+1) * Y + 1.570796288) *
Y
730 U=5QR(Z)
740 IF Q<0.5 THEN 760
750 U=-U
760 RETURN
770 IF INT (X1)=X1 THEN 820
780 G= SQR(P1)
790 IF X1=0.5 THEN 860
800 FOR I=0.5 TO X1-1
810 GOTO 840
820 G=-1
830 FOR I=1 TO X1-1
840 G=1+G
850 NEXT I
860 RETURN
870 V=F1/2
880 X1= T * T/(F1+T * T)
890 IF INT (V)=V THEN 950
900 I = 1 - 2/P1 * ATN(SQR((1-X1)/X1))
910 U=SQR(X1 * (1-X1))/P1
920 IF V=0.5 THEN 1020
930 FOR J=0.5 TO V-1
940 GOTO 990

```

```

950 I=SQR(X1)
960 U=I*(1-X1)/2
970 IF V=1 THEN 1020
980 FOR J=1 TO V-1
990 I=I+U/J
1000 U=U*(1-X1)/J*(J+0.5)
1010 NEXT J
1020 F=0.5+SGN(T)*I/2
1030 D=U/ABS(T)
1040 RETURN
1050 DATA

```

$N1$ 和 $N2$ 为两个样本的样本容量, Q 为显著性水平, 在程序开始运行时均用键盘输入。 $X1(I)$ 和 $X2(I)$ 为两组样本的样本值, $F1$ 和 $F2$ 为相应的两个样本的自由度, F 为总自由度。 $M1$ 和 $S1$ 、 $M2$ 和 $S2$ 为两个样本的平均值和标准差, S 为合并方差, TT 为统计量, T 为临界值, 其余为中间变量。两个样本的样本值分别用置数语句放在程序的最后。子程序 370 即程序 20.9, 用于计算临界值 $t_{\alpha, f}$ 。

(三) 成对数据检验法

其原理见第十六章第三节, 计算机程序见程序 20.14。

程序 20.14

```

10 PRINT "PAIRS T-TEST FOR MEAN"
20 INPUT "NUMBER OF PAIRS SAMPLE : N="; N
30 INPUT "SIGNIFICANT LEVER Q="; Q
40 Q=Q/2
50 PRINT
60 DIM X1(N), X2(N), D(N)
70 A=0 : B=0 : F=N-1
80 PRINT "THE DIFFERANCE OF PAIRS SAMPLE : "
90 FOR J=1 TO N
100 READ X1(I), X2(I)
110 D(I)=X1(I)-X2(I)
120 PRINT D(I); ", ";
130 A=A+D(I) : B=B+D(I)*D(I)
140 NEXT
150 S=SQR((B-A*A/N)/(N-1)) : D=A/N
160 PRINT
170 TT=ABS(D/(S/SQR(N)))
180 IF R=1 THEN P=P/2
190 PRINT "* TT="; TT
200 GOSUB 260
210 IF TT<T THEN 240

```

```

220 PRINT " * SIGNIFICANT DIFFERENCE ! "
230 GOTO 250
240 PRINT " * NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE ! "
250 END
260 REM RANDOM VARIABLE OF T-DISTRIBUTION
270 F1=F
280 P1=3.14159265359
290 IF F1>1 THEN 320
300 T=TAN(P1 * (0.5 -Q))
310 GOTO 540
320 IF F1>2 THEN 360
330 Q1=1-2 * Q
340 T=SQR(2 * Q1 * Q1/(1-Q1 * Q1))
350 GOTO 540
360 GOSUB 560
370 B=(1-1/4/F1) * (1-1/4/F1)-U/2 * U/F1
380 IF B>0.5 THEN 460
390 X1=(1 + F1)/2
400 GOSUB 660
410 G1=G + X1=F1/2
420 GOSUB 660
430 G2=G1/SQR(P1)/Q/F1/G
440 T=SQR(F1) * G2/(1/F1)
450 GOTO 470
460 T=U/SQR(B)
470 GOSUB 760
480 IF D<1E-20 THEN 540
490 T1=T * (F1 + Q)/D
500 IF ABS(T1-T)<1E-8 THEN 530
510 T=T1
520 GOTO 470
530 T=T1
540 PRINT " * T(";2 * Q;",";F1;")=";T
550 RETURN
560 IF Q< >0.5 THEN 590
570 U=0
580 RETURN
590 Y=-LOG(4 * Q * (1-Q))
600 Z1=(((((0.6936233982E+12 * Y + 0.3657763936E+10) * Y -
0.3231081277E+8) * Y + 0.8360937017E+7) * Y - 0.104527497E

```



```

-5) * Y + 0.5824238515E-5) * Y
610 Z = (((((Z1 + 0.6841218299E-5) * Y - 0.2250947176E-3) * Y -
0.8364353589E-3) * Y + 0.3706987906E-1) * Y - 1.570796288)
* Y
620 U = SQR(Z)
630 IF Q < 0.5 THEN 650
640 U = -U
650 RETURN
660 IF INT(X1) = X1 THEN 710
670 G = SQR(P1)
680 IF X1 = 0.5 THEN 750
690 FOR I = 0.5 TO X1 - 1
700 GOTO 730
710 G = 1
720 FOR I = 1 TO X1 - 1
730 G = 1 * G
740 NEXT I
750 RETURN
760 V = F1 / 2
770 X1 = T * T / (P1 + T * T)
780 IF INT(V) = V THEN 840
790 I = 1 - 2 / P1 * ATN(SQR((1 - X1) / X1))
800 U = SQR(X1 * (1 - X1)) / P1
810 IF V = 0.5 THEN 910
820 FOR J = 0.5 TO V - 1
830 GOTO 880
840 I = SQR(X1)
850 U = I * (1 - X1) / 2
860 IF V = 1 THEN 910
870 FOR J = 1 TO V - 1
880 I = I + U / J
890 U = U * (1 - X1) / J * (I + 0.5)
900 NEXT J
910 F = 0.5 + SGN(T) * I / 2
920 D = U / ABS(T)
930 RETURN
940 DATA

```

N 为成对数据的数目, Q 为显著性水平, 在程序开始运行后用键盘输入。X1 (1) 和 X2 (1) 为同一样品的两种方法的测定值, D (1) 为其差值。D 和 S 为差值的平均值和标准差。TT 为统计量, T 为检验的临界值, 其余均为中间变量。测试数据以成对方式用数据语句放在程序

的最后。成对检验属于双侧检验，如约定的显著性水平为 Q ，应以 $Q/2$ 计算其临界值。子程序 260 即程序 20.9，用于计算临界值。

二、方差检验程序

有关本节的原理及计算公式请参阅第十六章第四节，其程序如下：

(一) 一个总体方差的检验

程序 20.15

```

10 PRINT "VARIANCE TEST FOR ONE POPULATION"
20 INPUT "SIZE OF SAMPLE N=";N
30 INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
40 INPUT "POPULATION VARIANCE (OR DEVIATION)S0=";S0
50 INPUT "CONT. VALUE R=";R
60 Q=Q/2
70 IF R=. THEN S0=S0*S0
80 DIM X(N)
90 A=0:B=0:F=N-1
100 FOR I=1 TO N
110 READ X(I)
120 A=A+X(I):B=B+X(I)*X(I)
130 NEXT
140 S=SQR((B-A*A/N)/(N-1))
150 PRINT
160 X2=(N-1)*S*S/S0
170 PRINT "X2=";X2
180 F1=F:GOSUB 270
190 K2=K
200 Q=1-Q:GOSUB 270
210 K1=K
220 IF X2>K2 AND X2<K1 THEN 250
230 PRINT "NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE!"
240 GOTO 290
250 PRINT "SIGNIFICANT DIFFERENCE!"
260 END
270 REM RANDOM VARIABLE OF X2-DISTRIBUTION
280 IF F1<>2 THEN 310
290 K=-2*LOG(Q)
300 GOTO 510
310 IF F1>1 THEN 330
320 Q=Q/2
330 GOSUB 530

```

```

340 IF F1>1 THEN 370
350 K←U * U : Q=2 * Q
360 GOTO 510
370 IF F1>30 THEN 410
380 K0=(1-2/9/F1)+U * SQR(2/9/F1)
390 K=F1 * K0 * K0 * K0
400 GOTO 430
410 K0=U * SQR(2 * F1 - 1)
420 K = K0 * K0/2 : P0 = 1 - Q
430 P0=1-Q
440 GOSUB 630
450 IF D<1E - 20 THEN 510
460 K1=K--(P-P0)/D
470 IF ABS(K1 - K) < 1E - 6 THEN 500
480 K←K1
490 GOTO 440
500 K←K1
510 PRINT "CHI^2(Q: ", "; F): " ; K
520 RETURN
530 IF Q< .>0.5 THEN 560
540 U = 0
550 RETURN
560 Y = -LOG(4 * Q * (1 - Q))
570 Z1 = (((((0.6936233982E - 12 * Y + 0.3657753036E - 10) * Y -
0.3231081277E - 8) * Y + 0.8360937017E - 7) * Y - 0.164327497E
-5) * Y + 0.5824288613E - 3) * Y
580 Z = (((((Z1 + 0.6841218299E - 5) * Y - 0.2250947176E - 3) * Y -
0.8364353589E - 3) * Y + 0.3706987906E - 1) * Y + 1.570796288)
* Y
590 Y=SQR(Z)
600 IF Q<0.5 THEN 620
610 U = U
620 RETURN
630 F1 = 3.14159265359
640 X1=K/2 : M=F1/2
650 IF INT (M) = M THEN 730
660 U=SQR(K)
670 GOSUB 800
680 P = 2 * F - 1
690 D = SQR(X^2/P1) * EXP(-X1)

```

```

700 IF M=0.5 THEN 780
710 FOR I = 0.5 TO M - 1
720 GOTO 760
730 P=1-EXP(-X1)
740 D=X1*EXP(-X1)
750 FOR I=1 TO M-1
760 P=P-D/I; D=X1/I*1
770 NEXT I
780 D=D/K
790 RETURN
800 Y=ABS(U)/SQR(2)
810 E1=(((((0.430683E-4)*Y+0.2765672E-3)*Y+0.1520143E-3)*Y+0.92735272E-2)*Y+0.0422820123)*Y+0.0705230784)*Y+1)
820 E2=E1*E1*E1*E1
830 E=1-1/E2/E2/E2/E2
840 F=(1+E)/2
850 RETURN
860 DATA

```

N 为样本容量, Q 为显著性水平, S0 为总体方差或标准差, 在程序开始运行后, 均用键盘输入。R 为控制量, 已知总体标准差时, R 输入 1, 已知总体方差时, R 输入 2, X (1) 为样本值, X2 为统计量, S 为样本的标准差, F 为自由度, K1 和 K2 分别为两个临界值, 用子程序 270 计算, 子程序 270 即程序 20.7。样本值用置数语句放在程序的最后, K1 和 K2 两个临界值也可从表 15-6 中查得, 从键盘输入。

(二) 两个总体方差的检验

程序 20.16

```

10 PRINT "VARIANCE TEST FOR TWO TOTALITY"
20 INPUT "SIZE OF SAMPLE(1) N1=";N1
30 INPUT "SIZE OF SAMPLE(2) N2=";N2
40 INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
50 INPUT "1-SIDE(R=1) OR 2-SIDE(R=2)";R
60 IF R=2 THEN Q=Q/2
70 DIM X1(N1),X2(N2)
80 F1=N1-1;F2=N2-1
90 A=0;B=0
100 FOR I=1 TO N1
110 READ X1(I)
120 A=A+X1(I);B=B+X1(I)*X1(I)
130 NEXT I
140 S1=SQR((B-A*A/N1)/(N1-1));X1=A/N1

```

```

150 A=0:B=0
160 FOR I=1 TO N2
170 READ X2(I)
180 A= A + X2(I) : B =B + X2(I) * X2(I)
190 NEXT
200 S2=SQR((B-A * A/N2)/(N2-1)) : X2=A/N2
210 PRINT
220 IF S1>S2 THEN F=S1 * S1/(S2 * S2) : GOTO 260
230 F= S2 * S2/(S1 * S1)
240 PRINT " * F=";F
250 W=F1 : F1=F2 : F2=W
260 GOSUB 320
270 IF F<F0 THEN 300
280 PRINT " * SIGNIFICANT DIFFERENCE ! "
290 GOTO 310
300 PRINT " * NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE ! "
310 END
320 REM F DISTRIBUTION VALUE
330 A=2/9/F1 : B=2/9/F2
340 GOSUB 540
350 E=(1-B) * (1-B) -B * U * U : P1=-3.14159265359
360 IF E>0.8 THEN 450
370 P1=-3.14159265359 : X=F1/2
380 GOSUB 640
390 G1=G : X=F2/2
400 GOSUB 640
410 G2=G : X=(F1 + F2)/2
420 GOSUB 640
430 F0=EXP(2 * (LOG(G) - LOG(G1) - LOG(G2) + LOG(2) + (F2/2 - 1) * LOG
(F2) - F2/2 * LOG(F1) - LOG(Q))/F2)
440 GOTO 470
450 FF=((1-A) * (1-B) -U * SQR((1-A) * (1-A) * B + A * (E)))/E
460 F0=FF * FF * FF
470 GOSUB 710
480 IF D<1E-20 THEN 520
490 F0=F0 - (P1 + Q)/D
500 IF ABS(P1 + Q) < 1E-9 THEN 520
510 GOTO 470
520 PRINT "F ";Q;"(";F1;" ";F2;" ) ";F0
530 RETURN

```

```

540 IF Q< >0.5 THEN 570
550 U=0
560 RETURN
570 Y=LOG(.5 * Q * (1 - Q))
580 Z1=(((0.6936233982E - 12 * Y + 0.3657763036E - 10) * Y - 0.3231081277E
- 8) * Y + 0.8360957017E - 7) * Y - 0.104527497E - 5) * Y - 0.5824230515E
- 5) * Y
590 Z = (((((Z1 + 0.6841213299E - 5) * Y - 0.2250947176E - 3) * Y -
0.8364253589E - 3) * Y + 0.3706987906E - 1) * Y - 1.570796288) * Y
600 U=SQR(Z)
610 IF Q<0.5 THEN 630
620 U=-U
630 RETURN
640 IF INT (X)=X THEN 690
650 G=SQR(P1)
660 IF X=0.5 THEN 720
670 FOR I=0.5 TO X-1
680 GOTO 710
690 G=1
700 FOR I=1 TO X-1
710 G=I * G
720 NEXT I
730 RETURN
740 M=F1/2 : V=F2/2
750 X=F1 * F0/(F2 + F1 * F0)
760 IF INT (M)=M THEN 850
770 IF INT (V)=V THEN 820
780 LET P =1 - 2/P1 * ATN (SQR((1 - X)/X))
790 U=SQR(X * (1 - X))/P1
800 M1 =0.5 : V1 =0.5
810 GOTO 910
820 P=SQR(X) : U=P/2 * (1-X)
830 M1 =0.5 : V1 =1
840 GOTO 910
850 IF INT (V)=V THEN 890
860 P=1-SQR(1-X) : U=X * SQR(1-X)/2
870 M1 =1 : V1 =0.5
880 GOTO 910
890 P=X : U=X * (1-X)
900 M1 =1 : V1 =1

```

```

910 IF M<=-1 THEN 950
920 FOR J=M1 TO M-1
930 P=P+U/I:U=U+X/I*(I+V1)
940 NEXT I
950 IF V<=-1 THEN 990
960 FOR I=V1 TO V-1
970 P=P+U/I:U=U*(1-X)/I*(I+M)
980 NEXT I
990 D=U/P
1000 RETURN
1010 DATA
1020 DATA

```

$N1$ 和 $N2$ 为样本 1 和 2 的样本数, Q 为显著性水平, R 为控制量, 单侧检验 $R=1$, 双侧检验 $R=2$ 。上述参数均在程序运行时用键盘输入。 $F1$ 和 $F2$ 为相应的两个样本的自由度, $X1$ (1) 和 $X2$ (1) 为样本 1 和样本 2 的值, $S1$ 、 $X1$ 和 $S2$ 、 $X2$ 为两个样本的标准差和平均值, F 为计算的统计量, $F0$ 为检验临界值, 由子程序 320 即程序 20.11 计算。其余为中间变量两组样本值分别用置数语句放在程序的最后。 $F0$ 临界值也可从表 15.8 中查得。

三、分析测试数据分布类型的检验

有关本节的原理及计算公式请看第十六章第一节, 其计算机程序为程序 20.17 与程序 20.18。

(一) 频数分布和直方图

先由公式 $G=1.87(N-1)^{0.5}$ (N 为数据个数), 计算出应分组数, 再根据极差与组数确定组距, 算出组频数。

程序 20.17

```

10 PRINT "NUMBERS OF DATA":
20 INPUT N
30 READ V
40 V1=V
50 FOR I=2 TO N
60 READ A
70 IF A>=V THEN 100
80 V=A
100 IF A<=-V1 THEN 120
110 V1=A
120 NEXT I
130 RESTORE
140 G=INT(1.87*EXP(2*LOG(N-1)/5)+0.5)
150 R=INT((V1-V)/G*100+10)/100
160 V=(V+V1-R*G)/2

```

```

170 DIM B(G-1)
180 FOR I=0 TO G-1
190 B(I)=0
200 NEXT I
210 FOR J=1 TO N: READ A
220 FOR I=0 TO G-1
230 IF A<=V+J*R THEN 280
240 IF A>V+(J+1)*R THEN 280
250 B(I)=B(I)+1
260 GOTO 290
270 NEXT J
280 NEXT I
290 NEXT I
300 FOR I=0 TO G-1
310 PRINT "C ";V+R*(I+1);";TAB(10);";
320 N1=INT(B(I)/N*50+0.5)
330 FOR J=1 TO N1
340 PRINT " * ";
350 NEXT J
360 PRINT "(",B(I);")"
370 NEXT I
380 END
390 DATA
395 DATA

```

(二) χ^2 分布类型检验法

χ^2 分布类型检验法适用于样本容量 $n \geq 50$ 。当 $n < 50$ 时, χ^2 检验的灵敏度较差。对于组内样本数小于 5 的组, 可将其与相邻组合并, 提高 χ^2 检验的灵敏度。

程序 20.18

```

10 PRINT "CHI-2 DISTRIBUTION TEST"
20 INPUT "SIZE OF SAMPLE N = ";N
30 INPUT "SIGNIFICANCE LEVEL Q = ";Q
40 K=INT (1.52 * ((N-1) ^ 0.4) + 0.5)
50 IF R=1 THEN 100
60 DIM X(N),D(K+1),U(K+1),NP(K+1),N(K+1),F(K+1)
70 FOR I=1 TO N
80 READ X(I)
90 NEXT
100 FOR I=1 TO N-1
110 FOR J=I+1 TO N
120 IF X(I)<=X(J) THEN 140
130 W=X(I)+X(J):X(I)=X(J):X(J)=W

```



```

140 NEXT J
150 NEXT I
160 A=0 : B=0
170 FOR I=1 TO N
180 A=A+X(I) : B=B+X(I)*X(I)
190 NEXT
200 S=SQR((B-A*A/N)/(N-1)) : M=A/N
210 Z=(X(N)-X(1))/K
220 K=K+1
230 D(0)=X(1)-Z/2 : U(0)=(D(0)-M)/S
240 PRINT "D(0)=";D(0);", U(0)=";U(0)
250 FOR I=1 TO K
260 D(I)=D(0)+Z*I : U(I)=(D(I)-M)/S
270 PRINT "D(";I;")=";D(I);", U(";I;")=";U(I)
280 NEXT I
290 PRINT
300 FOR I=0 TO K
310 U=U(I)
320 N(I)=0
330 GOSUB 930
340 F(I)=F0
350 PRINT "F(";I;")=";F(I)
360 NEXT
370 FOR I=1 TO K
380 NP(I)=F(I)-F(I-1)
390 NP(I)=N*NP(I)
400 PRINT "NP(";I;")=";NP(I);", "
410 FOR J=1 TO N
420 IF X(J)>D(I) THEN 460
430 IF X(J)<D(I-1) THEN 450
440 N(I)=N(I)+1
450 NEXT J
460 PRINT "N(";I;")=";N(I)
470 NEXT I
480 FOR I=1 TO K
490 IF N(I)<5 THEN 520
500 NEXT I
510 GOTO 590
520 N(I+1)=N(I+1)+N(I)
530 NP(I+1)=NP(I+1)+NP(I)

```

```

540 FOR J=1 TO K-1
550 N(J)=N(J+1)+NP(J)-NP(J+1)
560 NEXT J
570 K=K-1
580 GOTO 480
590 IF N(K)>=5 THEN 630
600 N(K-1)=N(K-1)+N(K)
610 NP(K-1)=NP(K-1)+NP(K)
620 K=K-1
630 X2=0
640 FOR I=1 TO K
650 X2=(N(I)-NP(I))^2/NP(I)+X2
660 NEXT I
670 X2=INT(X2*100+0.5)/100
680 PRINT "X2=";X2
690 F=K-3
700 GOSUB 1920
710 PRINT "X0(,";Q;",";S;")=";X0
720 IF R=1 THEN 850
730 IF X2>=X0 THEN 770
740 PRINT " * * IT IS NORMAL DISTRIBUTION ! ! "
750 PRINT " * M=";M;",";S=";S
760 GOTO 910
770 PRINT " * * IT IS NOT NORMAL DISTRIBUTION ! ! "
780 PRINT
790 PRINT " - - - - - "
800 R=1
810 FOR I=1 TO N
820 X(I)=LOG(X(I))
830 NEXT
840 GOTO 40
850 IF X2>=X0 THEN 900
860 PRINT " * * IT IS LOG NORMAL DISTRIBUTION ! ! "
870 GS=EXP(S);GM=EXP(M)
880 PRINT " * GM=";GM;",";GS=";GS
890 GOTO 910
900 PRINT " * * IT IS NOT LOG NORMAL DISTRIBUTION ! ! "
910 PRINT " * * * * * "
920 END
930 REM NORMAL DISTRIBUTION PROBABILITY

```

```

940 Y=ABS(U)/SQR(2)
950 E1=((0.430638E-4 * Y + 0.2765672E-3) * Y + 0.1520143E-3) * Y +
    0.52705272E-2) * Y + 0.0422820123) * Y + 0.0705230784) * Y + 1
960 E2=E1 * E1 * E1 * E1
970 E=1-1/E2/E2/E2/E2
980 IF U>0 THEN 1000
990 E=-E
1000 F0=(1+E)/2
1010 RETURN
1020 REM RANDOM VARIABLE OF X2 DISTRIBUTION
1030 F1=F
1040 IF F1<>2 THEN 1070
1050 K=-2 * LOG(Q)
1060 GOTO 1270
1070 IF F1>1 THEN 1090
1080 Q=Q/2
1090 GOSUB 1290
1100 IF F1>1 THEN 1130
1110 K=U * U + Q=2 * Q
1120 GOTO 1270
1130 IF F1>30 THEN 1170
1140 K0=(1-2/9/F1)-U * SQR(2/9/F1)
1150 K=F1 * K0 * K0 * K0 * K0
1160 GOTO 1190
1170 K0=U + SQR(2 * F1-1)
1180 K=K0 * K0/2 + P0-1-Q
1190 P0=1-Q
1200 GOSUB 1390
1210 IF D<4E-20 THEN 1270
1220 K1=K-(P-P0)/D
1230 IF ABS(K1-K)<1E-6 THEN 1260
1240 K=K1
1250 GOTO 1200
1260 K=K1
1270 X0=K
1280 RETURN
1290 IF Q<>0.5 THEN 1320
1300 U=0
1310 RETURN
1320 Y=-LOG(4 * Q * (1-Q))

```

```

1330 Z1 = (((((0.6936233982E -12 * Y + 0.3657763036E -10) * Y -
      0.3231081277E -8) * Y + 0.8360937017E -7) * Y - 0.104527497E -5) * Y
      + 0.5824238515E -5) * Y
1340 Z = (((((Z1 + 0.6841218299E -5) * Y - 0.2260947176E -3) * Y -
      0.8364353589E -3) * Y - 0.3706987906E -1) * Y + 1.570796288) * Y
1350 U=SQR(Z)
1360 IF Q<0.5 THEN 1380
1370 U= -U
1380 RETURN
1390 P1=3.14159265359
1400 X1 =K/2 + M1 - P1/2
1410 IF INT (M1) = M1 THEN 1490
1420 U=SQR(K)
1430 GOSUB 930
1440 P=2 * P0 -1
1450 D=SQR(X1/P1) * EXP(-X1)
1460 IF M1 = 0.5 THEN 1550
1470 FOR I=0.5 TO M1 -1
1480 GOTO 1530
1490 P=1 -EXP(- X1)
1500 D= X1 * EXP(- X1)
1510 IF M1 = 1 THEN 1550
1520 FOR I=1 TO M1-1
1530 P=P - D/I : D=X1/I * D
1540 NEXT I
1550 D=D/K
1560 RETURN
1570 DATA

```

N 为样本容量, Q 为显著性水平, 在程序运行时根据显示要求用键盘输入。K 为样本数据分组组数, X (I) 为样本数据, D (I) 为分组组限, U (I) 为 D (I) 的标准化值, F (I) 为组限的概率, N (I) 和 NP (I) 为第 I 组的实际样本数和理论样本数, X2 为检验的统计量, F 为自由度, X0 为检验临界值, M 和 S 为样本的算术平均值和算术标准差, GM 和 GS 为几何平均值和几何标准差, 其余为中间变量, 样本数据用冒数语句放在程序的最后。子程序 930 即程序 20.4, 用于计算概率。子程序 1020 即程序 20.7, 用于计算 χ^2 临界值。分布类型检验结果如为非正态分布, 程序将数据转换成对数后, 进入对数正态分布检验。

第四节 方差分析

有关方差分析原理、计算公式见第十七章。本节列出方差分析中程序。

一、单因素方差分析

单因素试验方差分析程序见程序 20.19。

程序 20.19

```

10 PRINT "VARIANCE ANALYSIS FOR SINGLE FACTOR"
20 INPUT "SIZE OF GROUP N=";N
30 INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
40 PRINT
50 DIM N(N),M(N),S(N),X(N),XX(N)
60 FOR I=1 TO N
70 READ N(I)
80 N1=N1+N(I) : N2=N2+N(I)*N(I)
90 NEXT I
100 PRINT "MEAN AND VARIANCE : "
110 FOR I=1 TO N
120 FOR J=1 TO N(I)
130 READ X
140 X(I)=X(I)+X : XX(I)=XX(I)+X*X
150 NEXT J
160 S(I)=(XX(I)-X(I)*X(I)/N(I))/(N(I)-1) : M(I)=X(I)/N(I)
170 PRINT "NO. (";I;") : M=";M(I);TAB(24);"S(";I;")=";S(I)
180 NEXT I
190 A=0 : B=0 : C=0 : D=0 : E=0
200 FOR I=1 TO N
210 A=A+M(I) : B=B+N(I)
220 C=C+X(I) : D=D+XX(I)
230 E=E+X(I)*X(I)/N(I)
240 NEXT I
250 PRINT "TOTAL MEAN M=";A/N
260 PRINT
270 F1=N-1 : F2=B-N
280 S1=(E-C*C/B)/F1
290 S2=(D-E)/F2
300 PRINT " * S2=";S2
310 PRINT " * S1=";S1
320 F0=S1/S2 : F0=INT(F0*990+0.5)/1000
330 GOSUB 500
340 PRINT " * F0=";F0
350 IF F0<F THEN 410
360 FOR I=1 TO N+K

```

```

370 IF M0(I)=M(N) THEN H=1
380 NEXT I
390 PRINT " * SIGNIFICANT DIFFERENCE ! "
400 GOTO 420
410 PRINT " * NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE ! " : GOTO 480
420 PRINT
430 V2=S2
440 V1=(S1-S2) * ((N-1) * N1/(N1 * N1-N2))
450 V=V1+V2
460 PRINT "V1=";V1;TAB(20); "V1/V=";INT(V1/V * 10000+0.5)/100;"%"
470 PRINT "V2=";V2;TAB(20); "V2/V=";INT(V2/V * 10000+0.5)/100;"%"
480 PRINT " * * * * * "
490 END
500 REM RANDOM VARIABLE OF F-DISTRIBUTION
510 A=2/9/F1 : B=2/9/F2
520 GOSUB 720
530 E=(1-B) * (1-B)-B * U * U : P1=3.14159265359
540 IF E>0.8 THEN 630
550 P1=3.14159265359 : X1=F1/2
560 GOSUB 320
570 G1=G : X1=F2/2
580 GOSUB 820
590 G2=G : X1=(F1 + F2)/2
600 GOSUB 820
610 F=EXP(2 * (LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)-LOG(2)-(F2/2-1) * LOG
(F2)-F2/2 * LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
620 GOTO 650
630 FF=((1-A) * (1-B)-U * SQR((1-A) * (1-A) * B-A * E))/E
640 F=FF * FF * FF
650 GOSUB 920
660 IF D<1E-20 THEN 700
670 F=F * (P1 + Q)/D
680 IF ABS(P1 + Q)<1E-9 THEN 700
690 GOTO 650
700 PRINT " * F=";Q;"(";F1;" ";F2;" )=";F
710 RETURN
720 IF Q<>0.5 THEN 750
730 U=0
740 RETURN

```

```

750 Y= LOG(4*Q*(1-Q))
760 Z1=(((((0.6936233982E-12*Y+(0.3657763036E-10)*Y-0.3231081377E
-8)*Y+0.8360937017E-7)*Y-0.104527497E-5)*Y+0.5824238515E
-5)*Y
770 Z=(((((Z1+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y--
0.8364353538E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*Y
780 U=SQR(Z)
790 IF Q<0.5 THEN 810
800 U=-U
810 RETURN
820 IF INT(X1)=X1 THEN 870
830 G=SQR(P1)
840 IF X1=0.5 THEN 910
850 FOR I=0.5 TO X1-1
860 GOTO 860
870 G=1
880 FOR I=1 TO X1-1
890 G=I*G
900 NEXT I
910 RETURN
920 M=F1/2 : V=F2/2
930 X1=F1*F/(F2+F1*F)
940 IF INT(M)=M THEN 1030
950 IF INT(V)=V THEN 1000
960 P=1-2/P1*ATN(SQR((1-X1)/X1))
970 U=SQR(X1*(1-X1))/P1
980 M1=0.5 : V1=0.5
990 GOTO 1090
1000 R=SQR(X1) : U=P/2*(1-X1)
1010 M1=0.5 : V1=1
1020 GOTO 1090
1030 IF INT(V)=V THEN 1070
1040 P=1/SQR(1-X1) : U=X1*SQR(1-X1)/2
1050 M1=1 : V1=0.5
1060 GOTO 1090
1070 P=X1 : U=X1*(1-X1)
1080 M1=1 : V1=1
1090 IF M<-1 THEN 1130
1100 FOR I=M1 TO M-1
1110 P=P-U/I : U=U*X1/I*(1+V1)

```

```

1120 NEXT I
1130 IF V<=-1 THEN 1170
1140 FOR I=V1 TO V-1
1150 P=P+U/I+U-U*(1-X1)/I*(I+M)
1160 NEXT I
1170 D=U/F
1180 RETURN
1190 DATA
1200 DATA

```

N 为组数或因素的水平数, Q 为显著性水平, 在程序开始运行后用键盘输入。X 为试验结果, N(I) 为第 I 组的试验次数, X(I) 和 XX(I) 为该组试验结果之和及其平方和, M(I) 为第 I 组的平均值, S(I) 为其方差, M 为总平均值, S1 和 S2 分别为组间及组内方差估计值, V1 和 V2 为其方差, F0 为 F 检验的统计量, F 为临界值, 其余均为中间变量。各组的试验次数和试验结果用置数语句放在程序的最后。子程序 500 即程序 20.11, 用于计算 F 检验的临界值。

二、双因素交叉分组方差分析

程序 20.20

```

10 PRINT "VARIANCE ANALYSIS OF TWO FACTORS"
20 INPUT "SIZE OF FACTOR A : "; A
30 INPUT "SIZE OF FACTOR B : "; B
40 INPUT "NUMBER OF REPEATED TRIALS N = "; N
50 INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q = "; Q
60 INPUT "MODEL (FIXED=1, RANDOM=2, MIXED=3) : MO = "; MO
70 DIM T1(A); T2(B); T(A, B)
80 FOR I=1 TO A
90 FOR J=1 TO B
100 FOR K=1 TO N
110 READ X
120 T=T+X; T2=T2+X*X
130 T1(I)=T1(I)+X
140 T2(J)=T2(J)+X
150 T(I, J)=T(I, J)+X
160 NEXT K
170 T4=T4+T(I, J)*T(I, J)
180 NEXT J
190 AQ=AQ+T1(I)^2
200 NEXT I
210 FOR J=1 TO B
220 BQ=BQ+T2(J)^2

```



```

230 NEXT J
240 NO = A * B * N : T1 = T * T / NO
250 DT = NO - 1 : DA = A - 1 : DB = B - 1
260 DD = (A - 1) * (B - 1) : DE = A * B * (N - 1)
270 QA = AQ / (B * N) - T1
280 QB = BQ / (A * N) - T1
290 AB = T4 / N - AQ / (B * N) - BQ / (A * N) - T1
300 IF N > 1 THEN 320
310 QE = AB : DE = DD : GOTO 330
320 QE = T2 - T4 / N
330 QT = T2 - T1
340 PRINT " QT = "; QT; ", DT = "; DT
350 PRINT " QA = "; QA; ", DA = "; DA
360 PRINT " QB = "; QB; ", DB = "; DB
370 PRINT " QE = "; QE; ", DE = "; DE
380 IF N = 1 THEN 640
390 PRINT " Q(A * B) = "; AB; ", D(A * B) = "; DD
400 PRINT
410 SE = QE / DE : FM = AB / DD / SE
420 PRINT " F(A * B) = "; FM
430 F0 = FM : F1 = DD : F2 = DE
440 GOSUB 990
450 R1 = R0
460 IF R0 = 1 THEN SS = (AB / DD - SE) / N
470 IF R0 = 0 THEN QE = QE + AB : DE = DE + DD
480 IF MO < > 2 THEN 630
490 IF R0 = 0 THEN 640
500 PRINT
510 FA = QA / DA / AB * DD
520 PRINT " FA = "; FA
530 F0 = FA : F1 = DA : F2 = DE
540 GOSUB 990
550 IF R0 = 1 THEN SA = (QA / DA - SE - N * SS) / (B * N)
560 PRINT
570 FB = QB / DB / AB * DD
580 PRINT " FB = "; FB
590 F0 = FB : F1 = DB : F2 = DE
600 GOSUB 990
610 IF R0 = 1 THEN SB = (QB / DB - SE - N * SS) / (B * N)
620 GOTO 910

```

```

630 IF MO=3 THEN 780
640 PRINT
650 SE=QE/DE
660 FA=QA/DA/SE
670 PRINT "FA=";FA
680 F0=FA : F1=DA : F2=DE
690 GOSUB 990
700 IF R0=1 THEN SA=(QA/DA-SE)/(N*B)
710 PRINT
720 FB=QB/DB/SE
730 PRINT "FB=";FB
740 F0=FB : F1=DB : F2=DE
750 GOSUB 990
760 IF R0=1 THEN SB=(QB/DB-SE)/(N*A)
770 GOTO 910
780 PRINT
790 IF R0=0 THEN 650
800 FA=QA/DA/SE
810 PRINT "FA=";FA
820 F0=FA : F1=DA : F2=DE
830 GOSUB 990
840 IF R0=1 THEN SA=(QA/DA-SE)/(N*B)
850 PRINT
860 FB=QB/DB/AB*DD
870 PRINT "FB=";FB
880 F0=FB : F1=DB : F2=DD
890 GOSUB 990
900 IF R0=1 THEN SB=(QB/DB-SE-N*SS)/(A*N)
910 PRINT
920 S=SA+SB+SS+SE
930 PRINT "SA=";SA;" ,SA/S=";INT(SA/S*10000+0.5)/100;"%"
940 PRINT "SE=";SB;" ,SB/S=";INT(SB/S*10000+0.5)/100;"%"
950 IF R1=0 THEN 970
960 PRINT "SS(A*B)=";SS;" ,SS/S=";INT(SS/S*10000+0.5)/100;"%"
970 PRINT "SE(ERROR)=";SE;" ,SE/S=";INT(SE/S*10000+0.5)/100;"%"
980 END
990 REM F TEST
1000 GOSUB 1070
1010 IF F0>F THEN 1040
1020 PRINT "NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE!"

```

```

1030 RC=0:GOTO 1060
1040 PRINT " * * SIGNIFICANT DIFFERENCE!"
1050 K0=1
1060 RETURN
1070 REM RANDOM VARIABLE OF F-DISTRIBUTION
1080 A1=2/9/F1: B1=2/9/F2
1090 GOSUB 1290
1100 E=(1-B1)*(1-B1)-B1*U*U: P1=3.14159265359
1110 IF E>0.8 THEN 1200
1120 P1=3.14159265359: X1=-F1/2
1130 GOSUB 1390
1140 G1=G: X1=-F2/2
1150 GOSUB 1390
1160 G2=G: X1=(F1+F2)/2
1170 GOSUB 1390
1180 F=EXP(2*(LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)-LOG(2)-(F2/2-1)*LOG
(F2)-F2/2*LOG(F1)-LOG(Q)/F2))
1190 GOTO 1220
1200 FF=((1-A1)*(1-B1)+U*SQR((1-A1)*(1-A1)*B1+A1*E))/E
1210 F=FF*FF*FF
1220 GOSUB 1490
1230 IF D<=E-20 THEN 1270
1240 F=F*(P-1+Q)/D
1250 IF ABS(P-1+Q)<E-9 THEN 1270
1260 GOTO 1220
1270 PRINT "F=";Q;"(";F1;" ";F2;" )=";F
1280 RETURN
1290 IF Q<=0.5 THEN 1320
1300 U=0
1310 RETURN
1320 Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
1330 Z1=(((((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y+0.3231081277
E-8)*Y+0.8366937217E-7)*Y+0.134527497E-5)*Y+
0.5824238515E-5)*Y
1340 Z=((((Z1+0.6841219299E-5)*Y+0.2250947176E-3)*Y
0.8364353589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*Y
1350 U=-SQR(Z)
1360 IF Q<0.5 THEN 1330
1370 U=-U
1380 RETURN

```

```

1390 IF INT(X1)=X1 THEN 1440
1400 G=SQR(P1)
1410 IF X1=0.5 THEN 1480
1420 FOR I=0.5 TO X1-1
1430 GOTO 1460
1440 G=-
1450 FOR I=1 TO X1-1
1460 G=I*G
1470 NEXT I
1480 RETURN
1490 M=F1/2 : V=F2/2
1500 X1=F1*F/(F2+F1*F)
1510 IF INT(M)=M THEN 1600
1520 IF INT(V)=V THEN 1570
1530 P=1-2/P1*ATN(SQR((1-X1)/X1))
1540 U=SQR(X1*(1-X1))/P1
1550 M1=0.5 : V1=0.5
1560 GOTO 1660
1570 P=SQR(X1) : U=P/2*(1-X1)
1580 M1=0.5 : V1=1
1590 GOTO 1660
1600 IF INT(V)=V THEN 1640
1610 P=1-SQR(1-X1) : U=X1*SQR(1-X1)/2
1620 M1=1 : V1=0.5
1630 GOTO 1660
1640 P=X1 : U=X1*(1-X1)
1650 M1=1 : V1=1
1660 IF M<-1 THEN 1700
1670 FOR I=M1 TO M+1
1680 P=P-U/I : U=U*X1/I*(I+V1)
1690 NEXT I
1700 IF V<-1 THEN 1740
1710 FOR I=V1 TO V+1
1720 P=P-U/I : U=U*(1-X1)/I*(1-M)
1730 NEXT I
1740 D=U/F
1750 RETURN
1760 DATA
1770 DATA

```

A 为因素 A 的水平数, B 为因素 B 的水平数, N 为重复测定次数, Q 为显著性水平, MO

为 F 检验模型参数。固定模型时 $MO=1$ ，随机模型 $MO=2$ ，混合模型 $MO=3$ 。上述这些参数均在程序运行之初用键盘输入。 T 和 $T2$ 为全部试验结果数据之和及平方和。 $T1(I)$ 表示因素 A 为 I 水平时的试验数据之和， $T2(J)$ 为因素 B 在水平 J 时的试验数据之和。 $T(I, J)$ 为因素 A 取 I 水平、因素 B 取 J 水平时的数据之和， $T4$ 为其平方和。 AQ 和 BQ 分别为因素 A 和 B 各水平的平方和， QA 和 QB 为上述两因素相应的变差平方和。 AB 为交互效应的变差平方和。 QE 为误差效应变差平方和， QT 为总变差平方和。 DA 和 DB 为因素 A 和 B 的自由度， DD 为交互效应自由度， DE 为误差效应自由度， DT 为总自由度。 S 为总方差， SA 、 SB 、 AS 和 SE 分别为因素 A 、 B 交互效应和误差效应的方差。 FA 、 FB 、 EM 和 FE 为其相应的 F 检验统计量， RR 为控制量，其余均为中间变量。子程序 1070 即程序 20.11，子程序 990 用于 F 检验。

三、多因素系统分组方差分析

程序 20.21

```

10 PRINT "MULTI-STAGE GROUPING ANALYSIS OF VARIANCE"
20 INPUT "NUMBER OF FACTORS : L="; L
30 DIM N(L+1), M(L+2)
40 M(0) = 1 : N(0) = 1
50 FOR I=1 TO L
60 PRINT " SIZE OF FACTOR ("; I; ")=";
70 INPUT N(I)
80 N0=N0*N(I)
90 M(I) = N0
100 D(I)=M(I)-M(I-1)
110 NEXT I
120 INPUT "NUMBER OF REPEATED TRIAL : N="; N
130 INPUT "SIGNIFICANT LEVEL : Q="; Q
140 S=N(1) : R=N(2) : W=N(3)
150 DIM T1(S), T3(S,R), T5(S,R,W)
160 PRINT
170 FOR I=1 TO N(1)
180 FOR J=1 TO N(2)
190 IF L=2 THEN 210
200 FOR K=1 TO N(3)
210 FOR R=1 TO N
220 READ X
230 T1=T1+X : T2=T2+X*X
240 T1(I)=T1(I)+X
250 T3(I,J)=T3(I,J)+X
260 IF L=3 THEN T5(I,J,K)=T5(I,J,K)+X
270 NEXT R

```

```

280 IF L=2 THEN 310
290 T(3)=T(3)+T5(I,J,K)*2
300 NEXT K
310 T(2)=T(2)+T3(I,J)*2
320 NEXT J
330 T(1)=T(1)+T1(I)*2
340 NEXT I
350 N0=N0*N
360 T(0)=T1*T1
370 FOR I=1 TO L
380 Q(I)=T(I)*M(I)/N0-T(I-1)/N0*M(I-1)
390 S(I)=Q(I)/D(I)
400 PRINT "Q("I;" )=";Q(I);TAB(18);"D("I;" )=";D(I);TAB(26);"S("I;" )
    =";S(I)
410 NEXT I
420 Q(L+1)=T2-T(L)*M(L)/N0
430 D(L+1)=N0-M(L)
440 S(L+1)=Q(L+1)/D(L+1)
450 PRINT "Q(E)=";Q(L+1);TAB(18);"D(E)=";D(L+1);TAB(26);"S(E)
    =";S(L+1)
460 Q(0)=T2-T(0)/N0;D(0)=N0-1
470 PRINT "Q(T)=";Q(0);TAB(18);"D(T)=";D(0)
480 VE=S(L+1);S=VE
490 PRINT
500 R(1)=1;R(2)=1
510 FOR K=L TO 1 STEP-1
520 F(K)=Q(K)/D(K)/Q(K+1)*D(K+1)
530 F1=D(K);F2=D(K+1)
540 PRINT "F("K;" )=";F(K)
550 GOSUB 650
560 V(K)=(S(K)+S(L+1)+R(K)+S(K+1)+M(K+1)/N0-R(K+1)*S(K
    +2)+M(K+2)/N0)*M(K)/N0
570 S=S+V(K)
580 PRINT
590 NEXT K
600 FOR K=1 TO L
610 PRINT "V("K;" )=";V(K);TAB(20);INT (V(K)/S*10000+0.5)/100;"%"
620 NEXT K
630 PRINT "V(E)=";VE;TAB(25);INT (VE/S*10000+0.5)/100;"%"
640 END

```

```

650 REM I TEST
660 GOSUB 710
670 IF F(K)>F THEN 710
680 PRINT "FACTOR("K;") NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE!"
690 Q(K)=Q(L-1)-Q(K) : D(K)=D(L+1)-D(K)
700 R0=0 : GOTO 730
710 PRINT " * FACTOR("K") IS SIGNIFICANT DIFFERENCE!"
720 R0=1
730 RETURN
740 REM F-DISTRIBUTION VALUE
750 A0=2/9/F1 : B0=2/9/F2
760 GOSUB 960
770 E9=(1-B0)*(1-B0)-B0+U9*U9 : P1=3.14159265359
780 IF E9>0.8 THEN 870
790 P1=3.14159265359+X9-F1/2
800 GOSUB 1060
810 G1=G0 : X9=F2/2
820 GOSUB 1060
830 G2=G0 : X9=(F1+F2)/2
840 GOSUB 1060
850 F=EXP(2*(LOG(G0)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1)*LOG
(F2)-F2/2*LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
860 GOTO 890
870 FF=((1-A9)*(1-B9)+U9*SQR((1-A9)*(1-A9)+B9+A9*E9))/
E9
880 F=FF*FF*FF
890 GOSUB 1160
900 IF D9<1E-20 THEN 940
910 F=F*(P9-1+Q)/D9
920 IF ABS(P9-1+Q)<1E-9 THEN 940
930 GOTO 890
940 PRINT "F ";Q;"("F1;","F2;") ";F
950 RETURN
960 IF P<=0.5 THEN 990
970 U9=0
980 RETURN
990 Y9=-LOG(F*Q*(1-Q))
1000 Z1=((((0.5936233982E-12+Y9-0.3657763036E-10)*Y9-
0.3251081277E-8)*Y9-0.8360937017E-7)*Y9-0.104527497E-5)*
Y9+0.5824238515E-5)

```

```

1010  Z9 = (((((Z1 + 0.6841218299E-3) * Y9 - 0.2250947176E-3) * Y9 -
      0.8364353589E-3) * Y9 + 0.3706987906E-1) * Y9 + 1.570796288) * Y9
1020  U9 = SQR(Z9)
1030  IF Q < 0.5 THEN 1050
1040  U9 = -U9
1050  RETURN
1060  IF INT(X9) = X9 THEN 1110
1070  G9 = SQR(P1)
1080  IF X9 = 0.5 THEN 1150
1090  FOR I = 0.5 TO X9 - 1
1100  GOTO 1130
1110  B9 = 1
1120  FOR I = 1 TO X9 - 1
1130  G9 = I * G9
1140  NEXT I
1150  RETURN
1160  M9 = F1/2 + V9 = F2/2
1170  X9 = F1 * F / (F2 + F1 * F)
1180  IF INT(M9) = M9 THEN 1270
1190  IF INT(V9) = V9 THEN 1240
1200  LET P9 = 1 - 2/P1 * ATN(SQR((1 - X9)/X9))
1210  U9 = SQR(X9 * (1 - X9))/P1
1220  M1 = 0.5 + V1 = 0.5
1230  GOTO 1330
1240  P9 = SQR(X9) + 09 = P9/2 + (1 - X9)
1250  M1 = 0.5 + V1 = 1
1260  GOTO 1330
1270  IF INT(V9) = V9 THEN 1310
1280  P9 = 1 - SQR(1 - X9) + U9 = X9 * SQR(1 - X9)/2
1290  M1 = 1 + V1 = 0.5
1300  GOTO 1330
1310  P9 = X9 + U9 = X9 * (1 - X9)
1320  M1 = 1 + V1 = 1
1330  IF M9 <= 1 THEN 1370
1340  FOR I = M1 TO M9 - 1
1350  P9 = P9 - U9/I + U9 = U9 * X9/I * (1 + V1)
1360  NEXT I
1370  IF V9 <= 1 THEN 1410
1380  FOR I = V1 TO V9 - 1
1390  P9 = P9 + U9/I + U9 = U9 * (1 - X9)/I * (1 + M9)

```



```

1430 NEXT I
1440 DQ=UQ/F
1450 RETURN
1460 DATA
1470 DATA

```

程序中 I 为因素数, N(I) 为第 I 个因素的水平数, N 为重复测定次数, Q 为显著性水平, 上述这些参数在运行时由键盘输入, X 为测试数据, 从数据语句中读取, Q(I)、D(I)、S(I) 和 V(I) 为第 I 个因素的变差平方和、自由度、方差估计值和方差, Q(E)、D(E)、S(E) 和 V(E) 为试验误差效应的变差平方和、自由度、方差估计值和方差, Q(T) 和 D(T) 为总变差平方和及自由度, F(K) 为 K 级分组因素的 F 检验统计量, S 为总方差, 其余均为中间变量。子程序 650 为 F 检验程序, 子程序 740 即程序 20.11, 用于计算 F 临界值。

程序 20.21 可用于二因素和三因素系统分组的方差分析, 大于三因素的方差分析需要作一些修改。如果分级因素的方差出现负值, 说明因素分级不合理。本程序最后给出了各因素的方差及方差组成。

第五节 回归分析法

本节的有关原理及计算公式请参阅第十八章。其计算机程序为程序 20.22 与程序 20.23。

一、一元线性回归分析

程序 20.22

```

10 PRINT "SIMPLE LINEAR REGRESSION"
20 INPUT "SIZE OF SAMPLE N=";N
30 INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
40 INPUT "NUMBER OF REPEATED TRIAL: R2=";R2
50 DIM X(N);Y(N);Y1(N,R2),Y2(N),K(2,30)
60 GOSUB 770
70 PRINT
80 N0=N*R2;FE=N0-2
90 C1=0;C2=0;C3=0;C4=0;C5=0;C6=0;C7=0
100 FOR I=1 TO N
110 Y(I)=0;Y2(I)=0
120 NEXT I
130 FOR I=1 TO N
140 IF R0=1 OR RR=1 THEN 160
150 READ X(I)
160 C1=C1+X(I);C2=C2+X(I)*X(I)
170 FOR J=1 TO R2
180 IF R0=1 OR RR=1 THEN 200
190 READ Y1(I,J)
200 Y(I)=Y(I)+Y1(I,J);Y2(I)=Y2(I)+Y1(I,J)*Y1(I,J)

```

```

210 NEXT J
220 C6=C6+Y(I)*Y(I):C7=C7+Y2(I)
230 Y(I)=Y(I)/R2
240 C3=C3+Y(I):C4=C4+Y(I)*Y(I)
250 C5=C5+X(I)*Y(I)
260 NEXT I
270 FOR I=1 TO N-1
280 FOR J=I+1 TO N
290 IF X(I)(X(J)) THEN 350
300 W=X(I):X(I)=X(J):X(J)=W
310 W=Y(I):Y(I)=Y(J):Y(J)=W
320 FOR K=1 TO R2
330 W=Y(I,K):Y(I,K)=Y(J,K):Y(J,K)=W
340 NEXT K
350 NEXT J
360 NEXT I
370 L1=C2-C1*C1/N:L2=C4-C3*C3/N:L3=C5-C1*C3/N
380 B=L3/L1+A*(C3-B*C1)/N
390 F1=N-2:F2=N*(R2-1)
400 QE=C7-C6/R2:Q1=R2*(L2-B*L3)
410 IF R0=1 THEN 590
420 PRINT " * REGRESSION EQUATION : "
430 PRINT TAB(8):"Y=";A;"-(";B;"X)"
440 PRINT
450 S=SQR((Q1+QE)/(F1+F2))
460 R=L3/SQR(L1*L2)
470 IF R2=1 THEN S=SQR((L2-B*L3)/FE)
480 PRINT "R=";R;"S=";S
490 PRINT "CRITICAL R(";Q;"",FE;)"=";R(H,FE)
500 IF ABS(R)>R(H,FE) THEN 530
510 PRINT " * REGRESSION EQUATION IS NOT SIGNIFICANT!"
520 N=N-1:RR=1:GOTO 70
530 PRINT " * REGRESSION EQUATION IS SIGNIFICANT! N=";N
540 PRINT
550 PRINT " * CONFIDENCE INTERVAL : "
560 PRINT TAB(8);"Y=";A-2*S;"-(";B;"X)"
570 PRINT TAB(8);"Y=";A+2*S;"-(";B;"X)"
580 IF R2=1 THEN 690
590 PRINT
600 F0=(Q1/F1)(QE/F2)

```

```

610 GOSUB 860
620 PRINT " * F0 = "; F0
630 PRINT " * F( "; Q; ", "; F1; ", "; F2; ") = "; F
640 IF F0 < F THEN 670
650 PRINT " * FITNESS OF SAMPLE( "; N; ") IS NOT FINE!"
660 N=N-1 : R0 = 1 : GOTO 80
670 PRINT " * FITNESS OF SAMPLES IS FINE!"
680 PRINT "N "; N
690 PRINT
700 PRINT " INPUT Y TO CALCULATE X OR 9999 TO STOP"
710 INPUT Y
720 IF Y=9999 THEN 750
730 X = (Y-A)/B
740 PRINT " * Y = "; Y, "X "; X
750 PRINT " * * * * * "
    " * * * * * "
760 END
770 REM CRITICAL VALUES OF CORRELATION COEFFICIENT"
780 FOR I=1 TO 2
790 FOR J=1 TO 30
800 READ R(I,J)
810 NEXT J
820 NEXT I
830 IF Q=0.05 THEN H = 1
840 IF Q=0.01 THEN H=2
850 RETURN
860 REM F-DISTRIBUTION VALUE
870 A0=2/9/F1 : B0=2/9/F2
880 GOSUB 1070
890 E=(1-B0)*(1-B0)-B0*U*U : P1=3.14159265359
900 IF E>0.8 THEN 990
910 P1=3.14159265359 : X=F1/2
920 GOSUB 1170
930 G1=G : X=F2/2
940 GOSUB 1170
950 G2=G : X=(F1-F2)/2
960 GOSUB 1170
970 F=EXP(2*(LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1)*LOG
    (F2)-F2/2*LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
980 GOTO 1010

```

```

990 FF=(1-A0)*(1-B0)-U*SQR((1-A0)*(1-A0)*E0+(A0+E))/E
1000 F=FF*FF*FF
1010 GOSUB 1270
1020 IF D<1E-20 THEN 1050
1030 F=F*(P-1+Q)/D
1040 IF ABS(F-1+Q)<1E-9 THEN 1060
1050 GOTO 1010
1060 RETURN
1070 IF Q<=>0.5 THEN 1100
1080 U=0
1090 RETURN
1100 Y=LOG(1+Q*(1-Q))
1110 Z1=((((0.6936235982E-12*Y+0.3857763036E-10)*Y-0.3231081277
      E-8)*Y+0.8360937617E-7)+1)*Y-0.104527497E-5)*Y+
      0.5824238515E-5)*Y
1120 Z=((((Z1+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y-
      0.8364353589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*Y
1130 U=SQR(Z)
1140 IF Q<0.5 THEN 1160
1150 U=-U
1160 RETURN
1170 IF INT(X)=X THEN 1220
1180 G=SQR(P1)
1190 IF X<0.5 THEN 1250
1200 FOR I=-0.5 TO X-1
1210 GOTO 1240
1220 G=1
1230 FOR I=1 TO X-1
1240 G=1*G
1250 NEXT I
1260 RETURN
1270 M=F1/2+V-F2/2
1280 X=F1+F/(F2+F1+F)
1290 IF INT(M)=M THEN 1380
1300 IF INT(V)=V THEN 1350
1310 LET P=1-2/P1*ATN(SQR((1-X/X))
1320 U=SQR(X*(1-X))/P1
1330 M1=0.5+V1=0.5
1340 GOTO 1440
1350 F=SQR(X)+U-P/2*(1-X)

```

```

1380 M1=0.5 : V1=1
1375 GOTO 1440
1380 IF INT(V)-V THEN 1420
1390 P=1-SQR(1-X) : U=X+SQR(1-X)/2
1400 M1=1 : V1=0.5
1410 GOTO 1440
1420 P=X : U=X*(1-X)
1430 M1=1 : V1=1
1440 IF M<=1 THEN 1430
1450 FOR I=M1 TO M-1
1460 P=P+U/I : U=U+X/I*(1+V1)
1470 NEXT I
1480 IF V<=1 THEN 1520
1490 FOR I=V1 TO V-1
1500 P=P+U/I : U=U+(1-X)/I*(1+M)
1510 NEXT I
1520 D=U/F
1530 RETURN
1540 DATA
1550 DATA

```

N 为样本容量, Q 为显著性水平, $R2$ 为重复测定次数 (无重复测定时 $R2=1$), 上述参数在程序开始运行后用键盘输入。 $X(I)$ 为第 I 个自变量, 因变量采用二维数组 $Y(I, J)$, $L1$, $L2$ 和 $L3$ 分别代表 I_{max} , $I_{\text{中}}$ 和 I_{min} , A 为截距, B 为回归系数, S 为剩余标准差, R 为相关系数。求出回归方程后, 首先进行相关性检验, 本程序采用相关系数检验法, $R(H, FE)$ 为相关系数临界值, 其中 H 相应于显著性水平, FE 为相关系数检验法的自由度。子程序 770 安排了两种显著性水平 (0.01 和 0.05) 和自由度 $FE=1-30$ 共 60 个临界值可供选用, 这些临界值放在语句 1540 与 1550。相关性检验如为显著性, 说明所拟回归方程是有意义的输入 9999 可终止程序运行。当有重复测定时, 进行失拟检验, S 为剩余标准差, F_0 为失拟检验的统计量, $F1$ 和 $F2$ 代表失拟检验中的两个自由度。子程序 360 即程序 20.14, 用于计算 F 临界值。失拟检验如为显著性的, 剔除高浓度的自变量 x 值后, 再次进行失拟检验, 直至失拟检验无显著性为止。程序中语句 270—360 用于自变量数据按大小顺序排序。如果 $X(I)$ 在读入时已满足排序的要求, 可将此段程序删去。

程序中其余变量均为中间变量, 自变量数据 $X(I)$ 和因变量数据 $Y(I, J)$ 用置数语句放在程序的最后, 自变量与因变量数据必须成对地安放。

二、多元线性回归分析

程序 20.23

```

10 PRINT "MULTI FACTORS LINEAR REGRESSION"
20 INPUT "SIZE OF SAMPLE N=";N
30 INPUT "NUMBER OF VARIABLE M=";M

```

```

40 INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q = "; Q
50 DIM A(M-1,N),L(M,2*M),C(M,M),W(M-1),Q(M),B(M),D(M),
    E(M)
60 PRINT
70 FOR I = 0 TO M
80 FOR J = 1 TO N
90 READ A(I,J)
100 NEXT J
110 NEXT I
120 FOR I = 1 TO M
130 C4=0 : C5=0 : C6=0
140 FOR J=1 TO M
150 C1=0 : C2=0 : C3=0
160 FOR K=1 TO N
170 C1=C1+A(I,K) : C2=C2+A(J,K)
180 C3=C3-A(I,K)*A(J,K)
190 NEXT K
200 IF J<1 THEN 230
210 L(I,J)=C3-(C1*C2)/N : L(J,I)=L(I,J)
220 IF D1=0 THEN PRINT "L(";I;",";J;")=";L(I,J)
230 NEXT J
240 FOR K=1 TO N
250 C4=C4+A(I,K)*A(0,K)
260 C5=C5+A(0,K) : C6=C6+A(0,K)*A(0,K)
270 NEXT K
280 L(0,I)=C4-(C1*C5)/N
290 IF D1=0 THEN PRINT "L(";0;",";I;")=";L(0,I)
300 NEXT I
310 PRINT
320 FOR I=1 TO M
330 FOR J=M-1 TO 2*M
340 IF I+M-J THEN 360
350 L(I,J)=0 : GOTO 370
360 L(I,J)=1
370 NEXT J : NEXT I
380 FOR I = 1 TO M
390 T=L(I,I)
400 FOR J=I TO 2*M
410 IF T=0 THEN 420
420 L(I,J)=L(I,J)/T

```

```

420 NEXT J
430 FOR K = 1 TO M
440 IF K = 1 THEN 450
450 T = L(K, I)
460 FOR J = 1 TO 2 * M
470 L(K, J) = L(K, J) + T * L(I, J)
480 NEXT J
490 NEXT K
500 NEXT I
510 FOR I = 1 TO M
520 FOR J = M + 1 TO 2 * M
530 C(I, J - M) = L(I, J)
540 IF D1 = 0 THEN PRINT "C("; I; ", "; J; ") = "; C(I, J - M)
550 NEXT J
560 PRINT
570 NEXT I
580 FOR I = 1 TO M
590 A = 0
600 FOR J = 1 TO M
610 A = A + C(I, J) * L(0, J)
620 NEXT J
630 B(I) = INT(A * 1000 + 0.5) / 1000
640 PRINT "B("; I; ") = "; B(I); ", ";
650 NEXT I
660 PRINT
670 FOR I = 0 TO M
680 W(I) = 0
690 FOR J = 1 TO N
700 W(I) = W(I) + A(I, J)
710 NEXT J
720 W(I) = W(I) / N
730 NEXT I
740 C = 0
750 FOR I = 1 TO M
760 C = C + W(I) * B(I)
770 NEXT I
780 B0 = W(0) + C + B0 = INT(B0 * 1000 + 0.5) / 1000
790 PRINT "B0 = "; B0
800 PRINT
810 PRINT "THE REGRESSION EQUATION : "

```

```

820 PRINT " * Y = "; B0;
830 FOR I=1 TO M
840 IF B(I)=0 THEN 870
850 PRINT "+ (" ; B(I) ;
860 PRINT ")X" ; I;
870 NEXT I
880 PRINT
890 IF R0=1 THEN 1270
900 PRINT "CHECKING THE REGRESSION EQUATION : "
910 L0= C5-C5 * C5/N : F2=N-M-1+D1 : U=0 : F1=M-D1
920 FOR I=1 TO M
930 U =U+B(I) * L(I,1)
940 NEXT I
950 Q1=L0 / U;F0=U/F1/Q1 * F2 : F0=INT(F0 * 1000+0.5)/1000
960 PRINT TAB(3);"F0=" ; F0;TAB(15);
970 GOSUB 1290
980 IF F0>F THEN 1000
990 PRINT TAB(3);"EQUATION IS NOT SIGNIFICANT!" : GOTO 1270
1000 PRINT TAB(3);"REGRESSION EQUATION IS SIGNIFICANT!"
1010 IF F1=1 THEN 1270
1020 PRINT"-----"
1030 PRINT "OPTIMIZATION OF REGRESSION EQUATION : "
1040 FOR I=1 TO M
1050 Q(I)=B(I) * B(I)/C(I,I)
1060 NEXT I
1070 H1=1 : H=0
1080 FOR I=1 TO M
1090 IF Q(I)<=0 THEN H=H+1 : D(H)=Q(I) : E(I)=1
1100 NEXT I
1110 A = U(I) : G=E(I)
1120 FOR I=2 TO H
1125 IF A(D(I)) THEN 1140
1130 A= D(I) : G=E(I)
1140 NEXT I
1150 F0 = Q(G)/Q1 * F2 : F0=INT(F0 * 1000+0.5)/1000
1160 PRINT TAB(3);"F0=" ; F0; " " ;
1170 GOSUB 1290
1180 IF F0<F THEN 1210
1190 PRINT "OPTIMIZATION EQUATION IS : "
1200 R0 =1 : GOTO 820

```



```

1210 PRINT TAB(3); "X"; G; " IS NOT SIGNIFICANT"
1220 B:=B(G) : B(G)=0
1230 FOR I=1 TO N
1240 A(G,I)=0
1250 NEXT I
1260 D1=D1+1 : GOTO 120
1270 PRINT " * * * * * "
      " * * * * * "
1280 END
1290 REM F-DISTRIBUTION VALUE
1300 A=2/9/F1 : B=2/9/F2
1310 GOSUB 1510
1320 E=(1-B)*(1-B)-B*U*U : P1=3.1415926535
1330 IF E>0.8 THEN 1420
1340 P1=3.1415926535 : X=F1/2
1350 GOSUB 1610
1360 G1=G : X=F2/2
1370 GOSUB 1610
1380 G2=G : X=(F1+F2)/2
1390 GOSUB 1610
1400 K=EXP(2*(LOG(G)-LOG(G2)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1)*LOG
      (F2)-F2/2*LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
1410 GOTO 1440
1420 FF=((1-A)*(1-B)+U*SQR((1-A)*(1-A)*B-A*E))E
1430 F=FF*FF*FF
1440 GOSUB 1710
1450 IF D<1E-20 THEN 1490
1460 F=F*(P-1+Q)/D
1470 IF ABS(P-1+Q)<1E-9 THEN 1490
1480 GOTO 1440
1490 PRINT "P=";Q;"(";F1;" " ;F2;" )=";F
1500 RETURN
1510 IF Q<=>0.5 THEN 1540
1520 U=0
1530 RETURN
1540 Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
1550 Z1=(((0.69382538982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y+0.3231981277E
      -8)*Y+0.2360937917E-7)*Y+0.104627497E-5)*Y+0.5824238515E
      -5)*Y
1560 Z=(((((Z1+0.6841318239E-5)*Y+0.2256947176E-3)*Y+

```

```

      0.8364353589E-3) * Y - 0.3706987906E-1) * Y + 1.570796283) * Y
1570 U=SQR(Z)
1580 IF Q<0.5 THEN 1600
1590 U=-U
1600 RETURN
1610 IF INT(X)=X THEN 1660
1620 G=SQR(P1)
1630 IF X=0.5 THEN 1700
1640 FOR I=0.5 TO X-1
1650 GOTO 1680
1660 G=I
1670 FOR I=1 TO X-1
1680 G=I * G
1690 NEXT I
1700 RETURN
1710 M0=-F1/2 : V=-F2/2
1720 X=F1 * F/(F2+F1 * F)
1730 IF INT (M0)=M0 THEN 1820
1740 IF INT (V)=V THEN 1790
1750 P=1-2/P1 * ATN(SQR((1-X)/X))
1760 U=SQR(X * (1-X))/P1
1770 M1=0.5 : V1=0.5
1780 GOTO 1880
1790 P=SQR(X) : U=P/2 * (1-X)
1800 M1=0.5 : V1=1
1810 GOTO 1880
1820 IF INT(V)=V THEN 1860
1830 P=1-SQR(1-X) : U=X * SQR(1-X)/2
1840 N1=1 : V1=0.5
1850 GOTO 1880
1860 P=X : U=X * (1-X)
1870 M1=1 : V1=
1880 IF M0<=1 THEN 1920
1890 FOR I=M1 TO M0+1
1900 P=F-U/I : U=U * X/I * (1+V1)
1910 NEXT I
1920 IF V<=1 THEN 1950
1930 FOR I=V1 TO V-1
1940 P=P+U/IU-U * (1-X)/I * (I-M0)
1950 NEXT I

```

```

1960 D=U/F
1970 RETURN
1980 DATA

```

样本容量 N 、因素数 M 和显著性水平 Q 在程序开始运行后用键盘输入。数组 A ($M+1, M$) 存放回归分析计算的数据, 数组 L ($M, 2M$) 存放正则方程组的系数和单位矩阵 C (L, L) 为 L (I, J) 的逆矩阵元, W (I) 为第 I 次试验结果和 I 个因素的平均值, Q (I) 为第 I 个因素的偏回归平方和, B_0 为回归方程常数项, B (I) 为第 I 个因素的回归系数, 其余为中间变量。子程序 1250 即程序 20.11, 用于计算 F 临界值。计算用的全部数据用数据语句放在程序的最后。

第六节 正交试验设计及数据处理

有关正交试验设计原理及数据处理中的计算公式请参阅第十九章第一节。其程序见程序 20.24。

程序 20.24

```

10 PRINT " * * ORTHOGONAL DESIGN * *"
20 PRINT "-----"
30 PRINT "IF READ DATA OF MEASURE RESULT THEN"
40 PRINT "LIST 4550 5650,CORRECT!"
50 INPUT "SIGNIFICENT LEVEL Q0=";Q0
60 INPUT "SIZE OF FACTORS Q=";Q
70 INPUT "REPEATED NUMBER N0=";N0
80 IF N0>1 THEN 110
90 N0=1:PRINT "ERROR FACTOR B1=", :INPUT B1
100 IF B1=0 THEN 110
110 INPUT "NUMBER OF TEST M=";M
120 DIM N(M),V(Q),E(M,M),K(M,M),C(M,M),T(M),Z(M)
130 DIM S(M),E(Q),B$(75),A(M,N0),M(Q),F(Q),D(M,M)
140 PRINT "IF THE TABLE IS MIXING,LET T=-1."
150 INPUT "LEVEL SIZE OF FACTOR T=";T
160 IF T>-1 THEN 380
170 GOSUB 2750
180 GOTO 390
190 PRINT
200 PRINT "INPUT YOUR ORTHOGONAL TABLE"
210 FOR I=1 TO Q
220 PRINT "LEVEL SIZE OF FACTOR N(1;1;)" ;
230 INPUT N(I)
240 NEXT I
250 INPUT "INPUT OR READ ORTHOGONAL TABLE (I/R)";HS
260 IF HS="T" THEN 320

```

```

270 FOR I=1 TO Q
280 FOR J=1 TO M
290 READ B(J,I)
300 NEXT J,I
310 PRINT : GOTO 390
320 FOR I=1 TO Q
330 FOR J=1 TO M
340 PRINT "LEVEL OF FACTOR B(";I;";";"I;")="; : INPUT B(J,I)
350 NEXT J
360 NEXT I
370 GOTO 390
380 GOSUB 1220
390 GOSUB 3400 : W=0 : P=0 : K=0 : PRINT
400 INPUT "INPUT OR READ DATA OF MEASURE RESULT (I/R)?":H$
410 IF H$ < " " > "I" THEN 430
420 GOSUB 3240 : GOSUB 3540 : GOTO 510
430 INPUT "WRITE YOUR DATA IN 4350 - 4650 (Y/N)?":H$ : IF H$ = "N"
    THEN 1210
440 FOR I=1 TO M : Z(I)=0
450 FOR J=1 TO N0
460 READ A : A(I,J)=A
470 W=W+A * A : P=P+A
480 Z(I)=Z(I)+A
490 NEXT J
500 NEXT I : GOSUB 3540
510 P=P*P/(M*N0)
520 FOR I=1 TO Q : V(I)=0
530 FOR S=1 TO N(I) : K(I,S)=0
540 FOR J=1 TO M
550 IF B(J,I) < " " > S THEN 570
560 K(I,S)=K(I,S)+Z(J)
570 NEXT J
580 PRINT "K(";I;";";"S;")=";K(I,S)
590 V(I)=V(I)+K(I,S)*K(I,S)
600 NEXT S
610 PRINT
620 V(I)=V(I)*N(I)/(M*N0)
630 NEXT I
640 S=W-P : EE=M*N0-1 : S0=S : EE=S(R1)=0
650 FOR I=1 TO Q

```

```

660 IF I=B1 THEN 680
670 S(I)=V(I)-P : E(I)=N(I)-1 : S0=S0+S(I) : E0=E0+E(I)
680 NEXT I
690 FOR I=1 TO Q
700 IF I=B1 THEN 730
710 IF S(I)/E(I)>S0/E0 THEN 730
720 S0=S0+S(I) : E0=E0+E(I) : E(I)=0
730 NEXT I
740 M0=S0/E0 : M0=INT(M0*100+0.5)/100
750 FOR I=1 TO Q
760 IF E(I)<1 THEN 980
770 M(I)=S(I)/E(I) : F(I)=M(I)/M0
780 F(I)=INT(F(I)*100+0.5)/100 : M(I)=INT(M(I)*100+0.5)/100
790 LET W=Q
800 Q=Q0 : F1=E(I) : F2=E0 : GOSUB 3740 : Q=W
810 V(I)=F0
820 IF F(I)>F0 THEN 850
830 A$(I)="—"
840 GOTO 860
850 A$(I)="*"
860 FOR J=1 TO N(I)
870 Z(J)=K(I,J)
880 NEXT J
890 FOR J=2 TO N(I)
900 IF Z(1)>Z(J) THEN 920
910 T=Z(1) : Z(1)=Z(J) : Z(J)=T
920 NEXT J
930 FOR J=1 TO N(I)
940 IF K(I,J)<Z(1) THEN 970
950 Y(I)=C(J,I)
960 GOTO 980
970 NEXT J
980 NEXT I
990 PRINT
1000 PRINT " * TABLE OF VARIANCE ANALYSIS * "
1010 B$=" "
1020 PRINT B$
1030 PRINT "FACTOR S(I)    E(I)    M(I)    F(I)"
1040 PRINT B$
1050 FOR I=1 TO Q

```

```

1060 IF I= B1 THEN 1150
1070 PRINT"Q(";I;")";TAB(6);S(I);
1080 IF E(I)<1 THEN 1110
1090 PRINT TAB(21);E(I);TAB(24);M(I);TAB(35);F(I);
1100 PRINT TAB(43);A$(I);" ";Y(I);GOTO 1120
1110 PRINT TAB(43);"- "
1120 PRINT B$
1130 NEXT I
1140 PRINT "Q0";TAB(6);S0;TAB(20);E0;
1150 PRINT TAB(24);M0
1160 PRINT B$
1170 PRINT "SUM";TAB(6);S;TAB(20);EE
1180 PRINT B$;GOTO 1210
1190 PRINT "INCREASE REPEATED NUMBER OR DECREASE SIZE OF FAC
      TOR!" : GOTO 1210
1200 PRINT "FACTORS ARE TOO MORE! DESIGN AGAIN!"
1210 END
1220 REM MAKE NORMAL ORTHOGONAL TABLE
1230 FOR I= 1 TO M
1240 N(I)=T
1250 NEXT I
1260 IF T< -2 >2 THEN 1940
1270 S=-2
1280 FOR N= 1 TO M : S=S*2 : IF M>S THEN 1310
1290 IF M<S THEN 190
1300 GOTO 1320
1310 NEXT N
1320 K=2 : C(1,1)=1 : C(1,2)=1 : C(2,1)=1 : C(2,2)=-1
1330 S=K*0.3
1340 FOR I=K+1 TO S
1350 FOR J=1 TO K
1360 C(I,J)=C(I-K,J)
1370 NEXT J,I
1380 FOR I=1 TO K
1390 FOR J=K+1 TO S
1400 C(I,J)=-C(I,J-K)
1410 NEXT J,I
1420 FOR I=K+1 TO S
1430 FOR J=K+1 TO S
1440 C(I,J)=C(I-K,J-K)*(-1)

```

```

1450 NEXT I,I
1460 K=K*2
1470 IF M>S THEN 1330
1480 FOR J=2 TO M:K=0:FOR I=1 TO M/2
1490 IF C(I,J)<1 THEN 1520
1500 K=K+1
1510 NEXT I
1520 S(J)=K:NEXT J
1530 FOR I=2 TO M:C=S(2)+B-2
1540 FOR J=3 TO M:IF C>S(J) THEN 1560
1550 C=S(J)+B-J
1560 NEXT J
1570 S(B)=0:T(I)=B
1580 NEXT I
1590 FOR J=2 TO M
1600 FOR I=1 TO M
1610 B=T(J)
1620 IF C(I,B)<1 THEN 1650
1630 B(I,J-1)=1
1640 GOTO 1660
1650 B(I,J-1)=2
1660 NEXT I,J
1670 FOR J=1 TO M-1:K=0
1680 FOR I=1 TO M/2
1690 IF B(I,J)>1 THEN 1720
1700 K=K+1
1710 NEXT I
1720 S(J)=K
1730 NEXT J
1740 K=0
1750 FOR J=1 TO M+2:P=J-1
1760 IF S(J)>S(P) THEN 1850
1770 FOR I=S(J)+1 TO M
1780 IF B(I,J)>B(I,P) THEN 1820
1790 IF B(I,J)<B(I,P) THEN 1850
1800 NEXT I
1810 GOTO 1850
1820 FOR R=1 TO M
1830 C=B(B,J)+B(B,I)-B(B,P)+B(I,P)-C
1840 NEXT B:K=K+

```

```

1850 NEXT J
1860 IF K > C THEN 1740
1870 IF T2 = 1 THEN 1930
1880 FOR I = 1 TO M
1890 FOR J = 1 TO M - 1
1900 PRINT B(I,J); " ";
1910 NEXT J : PRINT
1920 NEXT I
1930 GOTO 2740
1940 IF ABS(T - SQR(M)) > 0.0001 THEN 1950
1950 FOR N = 1 TO T
1960 IF T < > 2 * (N + 1) THEN 1980
1970 GOTO 2330
1980 IF T < > 2 * N + 1 THEN 2000
1990 GOTO 2010
2000 NEXT N
2010 FOR J = 1 TO T
2020 C(I,J) = J
2030 NEXT J
2040 FOR K = 0 TO T - 1
2050 FOR I = 2 TO T
2060 C(I,1) = C(I - 1,1) + K
2070 IF C(I,1) < T THEN 2090
2080 C(I,1) = C(I,1) - T
2090 NEXT I
2100 FOR I = 2 TO T
2110 FOR J = 2 TO T
2120 C(I,J) = C(I,J - 1) + 1
2130 IF C(I,J) < T THEN 2150
2140 C(I,J) = C(I,J) - T
2150 NEXT J
2160 NEXT I
2170 P = 1
2180 FOR I = 1 TO T
2190 FOR J = 1 TO T
2200 B(P,K + 2) = C(I,J)
2210 P = P + 1
2220 NEXT J
2230 NEXT I
2240 NEXT K

```



```

2250 J=1 : K=0
2260 FOR I=1 TO M
2270 B(I,1)=J
2280 K=K+1
2290 IF K<T THEN 2310
2300 J=J+1 : K=0
2310 NEXT I
2320 GOTO 2740
2330 FOR J=1 TO T
2340 C(1,J)=J : C(J,J)=T
2350 NEXT J
2360 IF T=4 THEN 2450
2370 IF T=8 THEN 2390
2380 GOTO 190
2390 C(2,3)=5 : C(2,4)=8 : C(2,5)=3 : C(2,6)=7 : C(2,7)=6 : C(2,8)=4
2400 C(3,4)=6 : C(3,5)=3 : C(3,6)=4 : C(3,7)=8 : C(3,8)=7
2410 C(4,5)=7 : C(4,6)=3 : C(4,7)=5 : C(4,8)=2
2420 C(5,6)=8 : C(5,7)=4 : C(5,8)=6
2430 C(6,7)=2 : C(6,8)=5 : C(7,8)=3
2440 GOTO 2450
2450 C(2,3)=4 : C(2,4)=3 : C(3,4)=2
2460 FOR I=2 TO T
2470 FOR J=1 TO I-1
2480 C(I,J)=C(J,I)
2490 NEXT J
2500 NEXT I
2510 P=1
2520 FOR I=1 TO T : FOR J=1 TO T
2530 B(P,I)=1 : B(P,2)=J : B(P,3)=C(I,J)
2540 P=P+1
2550 NEXT J : NEXT I
2560 FOR K=4 TO T+1
2570 FOR J=1 TO T
2580 S(J)=C(2,J)
2590 NEXT J
2600 FOR I=2 TO T-1
2610 FOR J=1 TO T
2620 C(I,J)=C(I-1,J)
2630 NEXT J,I
2640 FOR J=1 TO T

```

```

2650 C(T,J)=S(J)
2660 NEXT
2670 P=1
2680 FOR I=1 TO T : FOR J=1 TO T
2690 B(P,K)=C(I,J)
2700 P=P+1
2710 NEXT J,I
2720 NEXT K
2730 PRINT
2740 RETURN
2750 REM MIX ORTHOGONAL TABLE.
2760 IF M=8 THEN 2790
2770 IF M=16 THEN 2880
2780 GOTO 190
2790 LET T1=4 : Q1=1 : T2=2 : T=T2 : T2=-1 : GOSUB 1230
2800 FOR J=2 TO 8 STEP 2
2810 B(J,1)=J/2 : B(J+1,1)=J/2
2820 NEXT J : N(1)=T1
2830 FOR J=2 TO Q : N(J)=2
2840 FOR I=1 TO 8
2850 B(I,J)=B(I,J+2)
2860 NEXT I : NEXT J
2870 GOTO 2740
2880 INPUT "SIZE OF MAIN FACTORS Q1=";Q1
2890 T1=4 : T2=2
2900 LET T=2 : T2=-1 : GOSUB 1230
2910 IF Q1>1 THEN 2970
2920 FOR J=1 TO M
2930 FOR I=2 TO Q
2940 K(J,I)=B(J,2+I)
2950 NEXT I : NEXT J
2960 GOTO 3180
2970 IF Q1>2 THEN 3100
2980 FOR J=1 TO M
2990 FOR I=3 TO 5
3000 K(J,I)=B(J,2+I)
3010 NEXT
3020 FOR I=6 TO 8
3030 K(J,I)=B(J,3+I)
3040 NEXT

```

```

3050 FOR I = 0 TO 4
3060 K(J,I) = B(J,4 - I)
3070 NEXT I
3080 NEXT J
3090 GOTO 3180
3100 IF Q1 > 3 THEN 3140
3110 FOR J = 1 TO M
3120 K(J,4) = B(J,6) : K(J,5) = B(J,7) : K(J,6) = B(J,9) : K(J,7) = B(J,11) :
      K(J,8) = B(J,13) : K(J,9) = B(J,14)
3130 NEXT J
3140 GOTO 3180
3150 FOR J = 1 TO 16
3160 K(J,5) = B(J,6) : K(J,6) = B(J,11) : K(J,7) = B(J,13)
3170 NEXT J
3180 T = T1 : GOSUB 1230
3190 FOR I = Q1 - 1 TO Q : N(I) = 2
3200 FOR J = 1 TO M
3210 B(J,I) = K(J,I)
3220 NEXT J : NEXT I : FOR I = 1 TO Q1 : N(I) = T1 : NEXT I
3230 GOTO 2740
3240 FOR I = 1 TO M : Z(I) = Φ
3250 FOR J = 1 TO N0
3260 PRINT "DATA OF MEASURE RESULT A (" ; I ; ", " ; J ; ") = " ;
3270 INPUT A : A(I,J) = A
3280 W = W + A * A : P = P + A
3290 Z(I) = Z(I) + A
3300 NEXT J
3310 NEXT I
3320 FOR I = 1 TO M
3330 FOR J = 1 TO N0
3340 PRINT A(I,J) ; ", " ;
3350 NEXT J
3360 PRINT ; NEXT I
3370 INPUT "IS THERE ANY MISTAKE IN YOUR DATA (Y/N)? " ; B$
3380 IF B$ < "Y" > "N" THEN 3240
3390 RETURN
3400 REM INPUT DATA
3410 PRINT "INPUT LEVEL OF FACTORS!"
3420 FOR I = 1 TO Q
3430 FOR J = 1 TO N(I)

```

```

3440 IF I=B1 THEN 3460
3450 PRINT "LEVEL";J;"OF FACTOR";I;"=";" : INPUT C(J,I)
3460 NEXT J : NEXT I
3470 FOR J= 1 TO M : D(J,0)=J : NEXT
3480 FOR I=1 TO Q
3490 IF I< >B1 THEN 3510
3500 FOR J=1 TO M : D(J,I)=B(J,I) : NEXT J : GOTO 3530
3510 FOR J=1 TO M : T=B(J,I) : D(J,I)=C(J,I)
3520 NEXT J
3530 NEXT I : RETURN
3540 B$=" "
3550 PRINT
3560 PRINT "EXPERIMENT CONDITION TABLE"
3570 FOR I=1 TO Q : N0 : PRINT B$ ;
3580 NEXT I : PRINT
3590 FOR I=1 TO Q : PRINT "Q(";I : ")";
3600 NEXT I : PRINT "RESULT"
3610 FOR J=1 TO M
3620 FOR I=1 TO Q+N0 : PRINT B$ ;
3630 NEXT I : PRINT : A=-3
3640 FOR I=1 TO Q
3650 A=A+5 : PRINT TAB(A);D(J,I);
3660 NEXT I : FOR I=1 TO N0 : A=A+5 : PRINT TAB(A);A(J,I);" ";
3665 NEXT I : PRINT
3670 NEXT J
3680 FOR I=1 TO Q+N0 : PRINT B$ ;
3690 NEXT I : PRINT
3700 INPUT "IS THERE ANY MISTAKE IN YOUR TABLE (Y/N) ?";B$
3710 IF B$ < >"Y" THEN 3730
3720 GOTO 3400
3730 RETURN
3740 REM RANDOM VARIABLE OF F-DISTRIBUTION
3750 A=2/9/F1 : B=2/9/F2
3760 GOSUB 3970
3770 E=(1-B)*(1-B) : B=B+U*U : P1=3.14159265359
3780 IF E>0.8 THEN 3870
3790 P1=3.14159265359 : X1=F1/2
3800 GOSUB 4070
3810 G1=G : X1=F2/2
3820 GOSUB 4070

```

```

3830 G2=G:X1=(F1-F2)/2
3840 GOSUB 4070
3850 F=EXP(2*(LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)-LOG(2)+(F2/2-1)*LOG
      (F2)-F2/2*LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
3860 GOTO 3890
3870 FF=((1-A)*(1-B)+U*SQR((1-A)*(1-A)*B+A*B))/E
3880 F=FF*PF*PF
3890 GOSUB 4170
3900 IF D<1E-20 THEN 3950
3910 F=F*(P-1+Q)/D
3920 IF ABS(P-1+Q)<1E-9 THEN 3940
3930 GOTO 3890
3940 F=INT(F*100+0.5)/100
3950 PRINT "F=";Q;"(";F1;".";F2;")=";F
3960 FO=F:RETURN
3970 IF Q<=>0.5 THEN 4000
3980 U=0
3990 RETURN
4000 Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
4010 O1=(((((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-0.3231081277
      E-8)*Y-0.83609337017E-7)*Y-0.104527497E-5)*Y-
      0.5824238515E-5)*Y
4020 Z=(((((O1+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y-
      0.8364352589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*Y
4030 U=SQR(Z)
4040 IF Q<0.5 THEN 4060
4050 U=-U
4060 RETURN
4070 IF INT(X1)=X1 THEN 4120
4080 G=SQR(P1)
4090 IF X1=0.5 THEN 4160
4100 FOR K=0.5 TO X1-1
4110 GOTO 4140
4120 G=1
4130 FOR K=1 TO X1-1
4140 G=K*G
4150 NEXT K
4160 RETURN
4170 M=F1/2:V=F2/2
4180 X1=F1*F/(F2+F1*F)

```

```

4190 IF INT(M)=M THEN 4280
4200 IF INT(V)=V THEN 4250
4210 P=1-2/P1*ATN(SQR((1-X1)/X1))
4220 U=SQR(X1*(1-X1))/P1
4230 M1=0.5:V1=0.5
4240 GOTO 4340
4250 P=SQR(X1):U=P/2*(1-X1)
4260 M1=0.5:V1=1
4270 GOTO 4340
4280 IF INT(V)=V THEN 4320
4290 P=1-SQR(1-X1):U=X1*SQR(1-X1)/2
4300 M1=1:V1=0.5
4310 GOTO 4340
4320 P=X1:U=X1*(1-X1)
4330 M1=1:V1=1
4340 IF M<=1 THEN 4380
4350 FOR K=M1 TO M-1
4360 P=P-U/K:U=U*X1/K*(K+V1)
4370 NEXT K
4380 IF V<=1 THEN 4420
4390 FOR K=V1 TO V-1
4400 P=P*U/K:U=U*(1-X1)/K*(K+M)
4410 NEXT K
4420 D=U/P
4430 RETURN
4440 DATA
4450 DATA

```

本程序分为四个部分:

1. 各种参数的输入

语句 30 和 40 要用户将试验数据输入 4440~4540 的 DATA 语句中。50 句输入 F 检验的显著性水平, 60 句输入因素个数 Q , 70 句输入试验条件相同情况下重复测定次数 N_0 , 重复测定次数为 2 时, 须输入误差因素列序数 B_1 , 110 句输入试验次数 M , 150 句输入因素水平个数 T 。如使用普通正交表, T 输入实际值, 如用混合水平表, T 输入 -1。

2. 构造正交表

语句 120~380 是构造正交表的主程序。如是普通正交表, $T \geq -1$, 由 380 句转入造表子程序 1220, 其中 1260~1920 构造二水平表, 如 $L_4(2^1)$ 、 $L_8(2^1)$ 、 $L_{16}(2^1)$ 等。语句 1940~2720 构造 $T = \sqrt{M}$ 的正交表, 当 T 为素数时, 将由语句 1980~2310 造表; 当 T 为 4、8 等偶数时, 由语句 2330~2720 造表。如果 $T = -1$, 则构造混合正交表, 由语句 170 转入造混合表子程序 2750。本程序只能构造 $L_{16}(4 \times 2^4)$ 、 $L_{16}(4 \times 2^{10})$ 、 $L_{16}(4^2 \times 2^2)$ 、 $L_{16}(4^3 \times 2^1)$ 、 $L_{16}(8 \times 2^3)$ 等混合表。其余混合表如 $L_{18}(2 \times 3^5)$ 、 $L_{18}(6 \times 3^3)$ 和普通表 $L_{27}(3^{10})$ 等, 需用户

使用语句 260~300 自行输入。先输入各因素的水平个数 $N(I)$ ，再输入各因素的具体水平代码 $B(J, I)$ 其中 J 表示行号，即试验序号， I 表示列号，即因素号。同一因素的水平代码顺序输入后，再输入另一列。

3. 输入正交表表头，安排试验方案

为安排试验方案，键入具体水平值输入，语句 390 转入正交表表头子程序 3400。先将同一因素的各水平值顺序输入，然后输入另一因素的水平值。全部数据输完后，打印出试验安排表。按此表作试验取得数据后，转入试验结果输入程序 400~500。试验结果的输入可采用随机输入或预先输入后由计算机读取两种方式。语句 400 用于选择输入方式，键入 I，则用 INPUT 语句输入。键入 R，计算机将询问用户是否已将数据输入 4440~4540 的 DATA 语句中。若键入 N，则停止执行程序，用户将数据写入后再重新运行。

4. 方差分析

语句 510~1210 是方差分析程序。 W 是各数据的平方和， U 为各数据和的平方， $Z(J)$ 为各序号下重复试验数据和。程序将水平代码相同的数据加和，求出某一因素 (I) 相同水平 (S) 的数据和 $K(I, S)$ 及其平方和 $V(I)$ ，用式 (19-2) 和 (19-3) 计算总差方和 S 、总自由度 F 、各因素差方和 $S(I)$ 及自由度 $F(I)$ 。

为了提高方差分析检验的灵敏度，语句 720 将比试验误差小的因素平方和与误差平方和合并，它们的自由度也合并，再计算合并后的均方差 $M0$ ，然后用 $M0$ 去检验。

语句 770 计算各因素的均方差 $M(I)$ 和 $F(I)$ 值，语句 820 将 $F(I)$ 值与临界值 $F0$ 比较，临界值用子程序 3740 (即程序 20.10) 计算。如果 $F(I) > F0$ ，打印“*”，若 $F(I) < F0$ ，则打印“ ”。然后用语句 860~990 寻找因素的最佳水平，各因素均检验完后，由语句 1000~1180 打印方差分析表。

主要参考文献 (第五篇)

1. 浙江大学数学系数学教研组编，微分论与数理统计，北京：人民教育出版社，1980。
2. 邓勃编写，分析测试数据的统计处理方法，北京：清华大学出版社，1995。
3. 葛应彪编著，分析化学中的数理统计方法，北京：科学出版社，1980。
4. 牛长山、陈清根编，试验设计与数据处理，西安：西安交通大学出版社，1988。
5. 中国科学院数学研究所统计组，方差分析，北京：科学出版社，1977。
6. 翁建侯、邓勃、王小萍编著，分析测试数据统计处理中的计算机中的计算机的应用，北京：化学工业出版社，1990。
7. 王松寿编著，BASIC语言常用数理统计方法程序汇编，杭州：浙江科学技术出版社，1983。

索 引

三画

三氯化氮		常用～	212
酸中～	194	土壤样品	281、282
碱中～	195	马达洪	293
真能排布中～	151	～率均值	285、287、290
干冰制		～校上恒	292
～的通用性	213		

四画

水的离子积常数	105	介电常数	
水的相对密度	98.260	不同温度下水的～	59
水样		水与无机溶剂混合液的～	79
～保存方法	371	有机溶剂～	78
～测定等项目	376	分析样品	283、284
水解钙		分析数据记录	562
～中有效离子半径	70	分解试剂	
酸碱在～上的溶解常数	106、108	～的主要溶(感)剂	284
气体		溶解法～	291
～中有害物质	472	溶解法～	292
有毒～和有害物质	173、454	蒸馏提纯法～	293
有毒～	472	无机样品～方法	298
制备～	251	有机样品～方法	295
易燃可燃～与助燃～的性质与处理	108	方剂分析	
～在水中溶解度	95	常量～	606
气瓶		微量～	985
～的结构与试压器	702	多卤～	606
～的搬运、存放和充装	508	计量器具	
高压～	504、505、508	～的强制检定	513
化学危险品	419	～法制管理要求	517
化学元素		～依法管理的～	515
～中英文名称表(拉丁、英、俄、德、		～强制检定的～	516
日、法)	16	计算机程序	
～相对原子质量	14	方差分析～	612
化学致癌物质		正交试验设计～	694
可能致癌的化学物质	465	回归分析～	681
致癌的化学物质	465	统计检验～	682
尚无足够证据的～	466	常用分布函数的数值计算～	638
具有充分证据的～	465	数据整理～	635
～的靶器官部位	466	中毒	
化学物质的环境标准	462	～的预防	515

~的总数 532,540
天平

电阻率 180
正交试验
~设计用正交表 523
~设计步骤 523
~结果分析 530
~计算机程序 531
仪器设备
~的使用、维修和保养 755

无机溶剂
~的回收与净化 255
~的色散率 56
~的折射率 54
~的密度 53
式量电阻 77
动火分析 469
过氧化物
~的阻化与抑制 492
~的除去 492
~的检验与测定 492
固相分析
~后处理~ 617

辛烷值
100以上~换算为品度值表 502
燃料混合物对应的~和什截试
验修正公差 253,244

坍塌 213
事故
~分析报告 564
~等级分类 564
国际单位制
~中具有专门名称的 SI 导出单位 2
~常用的单位 3
~的基本单位 7
~的辅助单位 2
~基本单位表示的 SI 导出单位示例 3
~辅助单位表示的 SI 导出单位示例 3

~的类型与准确度级别 550
~性能指标 552

五画

~的检定 215
~的管理 535
加热浴
低温用热导体 216
常用热导体 217
液体浴介质 217
不同温度下的恒温浴液体 272

六画

~的导电性~ 617
多元线性~ 619,621,653
回收与净化
贵金属试剂(汞、银、铂、铑等) 248
安全守则
使用电器设备的~ 417
使用燃气设备的~ 416
危险品 419,489
优化法
正交试验设计~ 623,694
均匀试验设计~ 624
单纯形~ 631

七画

煤炭强度与~对照表 237,257,399
词头
SI 制~ 13
数字~ 16

八画

管理制度
计量器具~ 544
仪器设备购置、验收及~ 555
危险物品的~ 556
技术安全~ 568
技术资料~ 565
实验室~ 562
标准物质及样品~ 564
检验工作~ 563
事故分析报告制度 564
保密制度 566

检验质量申诉的处理制度	556	长度—	6
质量管理		功、功率、热量—	0
检测工作的质量控制		功率—	1
检验质量目标		电场强度—	1
常规分析—与控制图		电量—	7
采样注意事项	371,377,380,381,383	压力、应力—	8
采样效率评价	386	导热系数—	8
采样方法		粘度—	5,6
工业废水的—	373	摩擦—	0
土壤样品的—	380	质量—	8
大气样品的—	383	面积—	4
水样的—	371	传热系数—	8
食品样品的—	377	热压—	7
植物样品的—	381	流量—	7
富集采样方法	383	湿度—	5
现场—	418	放射性特有的—	517
放射性同位素		沸点	
—毒性分组	527	不同压力下水的—	88
常用—	518	—与压力的关系	230,231,239
放射性射线		溶剂及其共沸混合物的—	67
—的影响	529	实验室	
—的防护	521	—日常工作制度	553
—衰减系数	519	—分析人员素质	556
放射性污染	523	—计量检测仪器设备	555
放射性实验室	528	—各岗位责任制度	553
放射性物质		—组织系统	551
名词及单位换算	517	—检测工作质量监控	552,557
单位换算		试剂	
力—	6	—分类	304
比热—	7	—规格	302
比容—	5	—提纯与制备	218,327

九画

毒物		化学元素的—	11
—与中毒	515	放射性元素的—	15
—侵入人体的途径	515	修正数(ΔG)	
预防—措施	512	量器的—	361,362,353
毒性作用	512	闪点或燃点的—	270,281
标准正态		食品样品	
—分布	374	—的采集	377
—累积分布	374	—的制备	378
标准曲线	313,549	—的保存	377
标准溶液		急救	50
元素与离子的—	308	化学试剂的—	550
滴定分析用—	312	试剂的—	551
相对原子质量		毒物中毒的—	432

常备—用品	340
服时均力的—	341
测定	
比旋光度的—	273
闪点与燃点的—	277
色度的—	266
折光率的—	274
pH值的—	284
吸光度的—	275
玻璃化温度的—	281
结晶点的—	263
浊水(或自来水)含硬量的—	403
粘度的—	266
密度的—	262, 253
熔点的—	274
凝固点的—	267
温度系数	
不同离子强度溶液中的—	50

大分子电解质溶液中的—	32
酸、碱、盐的平均—	32
酸、碱、盐高浓度溶液的平均—	37
浓度	
乙酸溶液中的—	95
氢氧化钠溶液的—	96
氢氧化钾溶液的—	95
盐酸溶液中的—	92
氨水的—	97
草酸溶液中的—	94
高纯试剂的—	97
磷酸溶液中的—	91
甲酸溶液中的—	91
硝酸溶液中的—	97
硫酸溶液中的—	93
恒温浴	
—液体	272
粘度计在—中的恒温时间	275

十画

换算	
不同站标间的换算—	8
国际单位制单位的—	4
放射性活度单位的—	517
校正	
天平及砝码的—	330
容量器皿的—	357
温度计的—	351
校正值	
气压计读数的—	253, 255
沸程温度随气压变化的—	250
致冷剂	
液态气体—	215
盐和水或冰混合—	215
盐或酸和雪或冰混合—	215
感温粘度计	268
苋菜碱	
—的处理原则	498
—的性质	498
—溶液的粘度与比重关系	94, 456

蒸发—用通风橱和管道的要求	437
苋氯酸	
—对热和氧气的敏感性及测定	488
离子半径	
水溶液中有—	50
—结晶—	35
溶解常数	
无机酸、碱在水溶液中的—	108
有机酸、碱在水溶液中的—	108
取代氨基酸溶液中的—	148
氨基酸水溶液中的—	118
难溶化合物的溶解度	99
配位体	
—的配位系数	173
金属离子与—的络合效应系数	175
砷剂	
—的分类与性能	303
—的检定	303
—的使用、维护	306

十一画

基本物理常数	17
检测报告的规范要求	262

松胺	
—检定	593

t_0 ~	593
方差的~	596
均值的~	595
狄克松~	591
实验室间离散度~	594
测试数据的分布类型的~	586
格丹布斯~	592
累积形成常数	
金属离子与无机配位络合物的~	153
金属离子与有机配位络合物的~	160
符号	
物理化学量的~及说明	10
常用~及缩写字	12

密度	
乙酸溶液的~	95
氢氧化钠溶液的~	96
氢氧化钾溶液的~	96
蔗糖溶液的~	92
氨水的~	97
高氯酸溶液的~	94
商品高纯试剂的~	97
硫酸溶液的~	91
硝酸溶液的~	91
碳酸溶液的~	97
磷酸溶液的~	93
波美度与相对~	98

十二画以上

植物样品	
~中含水量的测定	382
~的制备	382
熔点	
不同~的绝对零点、水冰点、	
水三相点及水沸点	9
不同~的换算	8
缓冲溶液	335
蒸气压	
不同温度下水的~	85
溶剂的~	62
数理统计基础知识	568
滤纸	
定性分析~规格	207
国外某些定量~的规格性能	208
定量定性分析~规格	208
溶解度	

常见化合物的~	35,50,52
金属在酸碱中的溶解性质	397
气体在水中的~	52
器皿和用具(图例及用法)	191
燃烧	
能引起燃烧的物质	489
爆炸	
~原因和~情况	499
乙醚的~	490
防爆措施	500
能形成~的混合物或物质	489
爆炸极限	
气体和蒸气在空气中的~	487
气体和蒸气在氧气中的~	488
混合气体的~	489
爆震强度	295,297,300,302

其他

F 分布	580,648
$\log_{10}$ 值	
配位体的~	173,175
$\log_{10}$ 值	
金属离子与配位体的~	175

SI制(参见“国际单位制”)	1
t 分布	575,644
t 检验	593,595
χ^2 分布	578,586,640

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

分析化学手册 第一分册: 基础知识与安全知识 杭州
大学化学系分析化学教研室编. —2版. —北京: 化学工业出版社, 1997 年

ISBN 7-5025-1741-3

Ⅰ. 分… Ⅱ. 杭… Ⅲ. 分析化学-手册 Ⅳ. O65-92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 19,338 号

分析化学手册

(第二版)

第一分册

杭州大学化学系分析化学教研室编

责任编辑: 任惠敏

责任校对: 李 楠

封面设计: 李 楠

化学工业出版社出版

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮编 100029)

新华书店北京发行所经售

北京正鼎印刷厂印刷

三河市程泰印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 46 字数 1,168 千字

1997 年 1 月第 2 版 1997 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—3000

ISBN 7-5025-1741-3/O·915

定 价: 78.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买化工版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换