

ICS 27.140

P 59

备案号: J382—2004

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5199 — 2004

**水电水利工程混凝土防渗墙
施 工 规 范**

**Specification of concrete cut-off wall
used for hydropower and water conservancy project**

2004-10-20 发布

2005-04-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	3
4 一般规定	6
5 施工平台与导墙	7
6 泥浆	9
7 槽孔建造	12
8 墙体材料及成墙施工	15
9 墙段连接	21
10 钢筋笼及预埋件	23
11 特殊情况处理	26
12 质量检查和竣工资料	28
附录 A (规范性附录) 黏土混凝土和塑性混凝土配制 强度和匀质性评定标准	30
附录 B (资料性附录) 施工记录图表格式	32
条文说明	45

前 言

本标准是根据原电力工业部综科教 [1998] 28 号文件《关于下达 1997 年制定、修订电力行业标准计划项目的通知》进行编写的。

混凝土防渗墙技术在我国水电水利行业的应用始于 20 世纪 50 年代末期,至今已有四十余年的历史。在这项技术广泛应用的过程中,水电水利行业曾先后于 1963 年、1979 年、1996 年编制发布三个行业规范,这些规范及时总结了混凝土防渗墙技术发展的成果,对指导我国水电水利行业防渗墙的施工,推广应用新技术、新材料和新工艺,保证工程质量起到了重要作用。

近年来,我国的防渗墙技术又有了长足的进展,特别是在三峡、小浪底等国家重点工程中创造了许多新经验。本标准是在总结国内混凝土防渗墙的施工新技术的基础上并结合国外工程经验编制的。

本标准的附录 A 是规范性附录。本标准的附录 B 是资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准主要起草单位:中国水利水电基础工程局。

本标准参加起草单位:水利部建设与管理总站。

本标准主要起草人:蒋振中、宗敦峰、李允中、肖树斌、王学彦、张树宸、夏可风、胡迪煜、郭宏波。

1 范 围

本标准规定了水电水利工程混凝土防渗墙施工的技术要求和工程质量检验、评定方法。

本标准适用于水电水利工程松散透水地基或土石坝（堰）体内深度小于 70m，墙厚 300mm~1000mm 的混凝土防渗墙工程。深度和厚度超出上述范围的混凝土防渗墙和其他建筑物其他用途的地下连续墙工程可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GBJ107 混凝土强度检验评定标准

GB/T 5123 水电站基本建设工程验收规程

DL/T 5144 水工混凝土施工规范

SY/T 5060 钻井液用膨润土

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.0.1

混凝土防渗墙 concrete cut-off wall

利用钻孔、挖槽机械，在松散透水地基或坝（堰）体中以泥浆固壁，挖掘槽形孔或连锁桩柱孔，在槽（孔）内浇筑混凝土或回填其他防渗材料筑成的具有防渗等功能的地下连续墙。

3.0.2

导墙 guide-wall

为防渗墙施工建造的临时构筑物，其功用是为钻具导向、保护槽口和承重。

3.0.3

槽孔 trench

为浇筑防渗墙墙段而钻凿或挖掘的狭长深槽。

3.0.4

主孔、副孔 primary hole & secondary hole

形成防渗墙槽孔的单孔中，第一次序施工的孔为主孔；位于主孔之间，第二次序施工的孔为副孔。

3.0.5

钻劈法 trenching by concussion and split

用冲击钻机钻凿主孔和劈打副孔形成槽孔的一种防渗墙成槽施工方法。

3.0.6

钻抓法 trenching by drilling and grabbing

用冲击或回转钻机先钻主孔，然后用抓斗挖掘其间副孔形成槽孔的一种防渗墙成槽施工方法。

3.0.7

抓取法 trenching by grabbing

只用抓斗挖掘地层，形成槽孔的一种防渗墙成槽施工方法。

3.0.8

铣削法 trenching by cutting

用专用的铣槽机铣削地层形成槽孔的一种防渗墙成槽施工方法。

3.0.9

小墙 soil-left between holes

墙孔内相邻单孔之间及孔底未钻（挖）尽的地基土（岩）残留凸出部分。

3.0.10

梅花孔 unrounded hole

冲击钻进时，由于各种原因致使孔形不圆整的孔。

3.0.11

泥浆 slurry

膨润土或黏土颗粒分散在水中所形成的悬浮液，在建造防渗墙时起固壁、冷却钻具、悬浮及携带钻渣等作用。

3.0.12

泥皮 filter cake

成槽时泥浆向地层渗透，部分黏土颗粒附着在槽壁上形成的泥膜。

3.0.13

胶凝材料 cementing material

防渗墙墙体材料组成中，水泥、膨润土、黏土、粉煤灰等细颗粒原材料的统称。本标准中的“水胶比”均指水与胶凝材料之和的质量比。

3.0.14

普通混凝土 ordinary concrete

以水泥、粉煤灰为胶凝材料拌制的适合在水下浇筑的大流动性混凝土。

3.0.15

黏土混凝土 clay concrete

除水泥、粉煤灰外，掺加了占胶凝材料总量 20%左右的黏土的大流动性混凝土。

3.0.16

塑性混凝土 plastic concrete

水泥用量较低，并掺加较多的膨润土、黏土等材料的大流动性混凝土，它具有低强度、低弹模和大应变等特性。

3.0.17

固化灰浆 solidification slurry

在已建成的槽孔内，以固壁泥浆为基本浆材，在其中加入水泥、水玻璃、粉煤灰等固化材料以及砂和外加剂，经搅拌均匀后固化而成的一种低强度、低弹模和大极限应变的柔性墙体材料。

3.0.18

自凝灰浆 self-hardening slurry

以水泥、膨润土等材料拌制的浆液，在建造槽孔时起固壁作用，槽孔建造完成后，该种浆液可自行凝结成一种低强度、低弹模和大极限应变的柔性墙体材料。

4 一般规定

4.0.1 混凝土防渗墙施工前，应具有下列设计文件和资料：

- 1 和防渗墙施工有关的设计图纸和技术要求；
- 2 工程地质和水文地质资料，防渗墙中心线处的勘探孔柱状图和地质剖面图；
- 3 水文、气象资料；
- 4 环境保护要求；
- 5 泥浆及墙体材料原材料的产地、质量、储量、开采运输条件等；
- 6 施工中应使用的标准以及有关的其他文件。

4.0.2 防渗墙中心线处的地质资料应包含下列内容：

- 1 覆盖层的分层情况、厚度、颗粒组成、密实程度及透水性；
- 2 地下水的水位，承压水资料；
- 3 基岩的岩性、地质构造、透水性、风化程度与深度；
- 4 可能存在的孤石、反坡、深槽、断层破碎带等情况；
- 5 对成槽有直接影响的其他地质条件。

在地质资料不够详尽或地层条件复杂的情况下，应在防渗墙轴线上增加补充勘探孔，其孔距宜为 20m 左右。

4.0.3 重要的或地质条件复杂的工程，宜在地质条件类似的地点进行施工试验，以取得槽孔建造、固壁泥浆、混凝土浇筑等有关资料。

4.0.4 在构筑物附近建造防渗墙，必须了解原有构筑物的结构和基础情况，如影响构筑物的安全时，应研究制定处理措施。

4.0.5 土石坝坝体内建造防渗墙时，应定期观测坝体沉降、位移、裂缝和测压管水位等。

5 施工平台与导墙

5.0.1 防渗墙施工平台应该坚固、平整，适合于重型设备和运输车辆行走，宽度应满足施工需要，其高程需综合考虑以下条件：

- 1 应高出地下水位 1.5m 以上；
- 2 施工期水位；
- 3 能顺畅排出废水、废浆、废渣；
- 4 减少施工平台的挖填方量。

5.0.2 建造槽孔前应先修筑导墙。导墙的结构型式、尺寸应根据防渗墙墙体厚度和深度、导墙下土质情况及施工机械等施工荷载综合确定。一般要求是：

1 导墙应建造在坚实的地基上，如地基土较松散或较弱时，修筑导墙前应采取加固措施；

2 导墙宜用现浇混凝土构筑；

3 导墙高度一般在 0.5m~2.0m 之间，顶部高出地面不应小于 50mm；

4 导墙的中心线与防渗墙轴线重合，导墙内侧间距宜比防渗墙厚度大 40mm~100mm；

5 导墙外侧填土应夯实，夯实填土时，导墙间应采取措施防止导墙倾覆或位移。

5.0.3 防渗墙导墙的质量要求：

导墙平面轴线应与防渗墙轴线平行，其允许偏差为 $\pm 15\text{mm}$ 。导墙内墙面应竖直。墙顶高程允许偏差 $\pm 20\text{mm}$ 。

对于需要吊放钢筋笼的防渗墙，其导墙的质量标准可另行作出规定。

5.0.4 钻机轨道应平行于防渗墙中心线，地基不得产生过大或

不均匀沉陷，轨枕间应充填石渣。倒渣平台宜采用现浇混凝土铺筑，其下可设置石渣垫层。

5.0.5 履带式成槽机械的作业平台宜采用现浇混凝土铺筑，也可直接利用较密实的地基土平台。

5.0.6 在施工过程中，应对导墙的沉降、位移进行观测。

6 泥 浆

6.0.1 泥浆应具有良好的物理性能、流变性能、稳定性以及抗水泥污染的能力。

6.0.2 拌制泥浆的土料可选择膨润土、黏土或两者的混合料。应根据施工条件、成槽工艺、经济技术指标等因素进行选择，宜优先选用膨润土。

6.0.3 拌制泥浆的膨润土，应对其矿物成分和化学成分进行化验，以判断其类型。商品膨润土的质量分级可按照 SY/T 5060 的规定执行，具体参数见表 6.0.3。一般防渗墙工程，可用三级膨润土制浆，地质条件复杂和重要的工程，宜用二级膨润土制浆。

表 6.0.3 钻井液用膨润土分级表

项 目	指 标		
	一级膨润土	二级膨润土	三级膨润土
Φ 600 读值	≥30.0	≥30.0	≥23.0
滤失量 ml/30min	≤15.0	≤17.0	≤22.0
动切力 Pa	≤1.5×PV 值	≤3.0×PV 值	
湿度 %	≤10.0		≤12.0
湿筛分析, 0.074mm 筛余 %	≤4.0		≤4.0
注 1: Φ 600 代表 600r/min 的直读式黏度计。			
注 2: PV 为塑性黏度, 单位为 mPa·s, 表中动切力只取其值。			

6.0.4 拌制泥浆的黏土，应进行物理试验、化学分析和矿物鉴

定。以选择黏粒含量大于 45%，塑性指数大于 20，含砂量小于 5%，二氧化硅与三氧化二铝含量的比值为 3~4 的黏土为宜。

6.0.5 泥浆的性能指标和配合比，应根据地层特性、成槽方法、泥浆用途，通过试验加以选定。

6.0.6 泥浆性能指标的测定项目，可根据不同情况按表 6.0.6 确定。

表 6.0.6 不同阶段泥浆性能测定项目

阶 段	土 料 种 类	
	膨 润 土	黏 土
鉴定土料造浆性能	密度、漏斗黏度、失水量、静切力、塑性黏度	密度、漏斗黏度、含砂量、胶体率、稳定性
确定泥浆配合比	密度、漏斗黏度、失水量、泥饼厚、pH 值	密度、漏斗黏度、含砂量、胶体率、稳定性、失水量、泥饼厚、静切力、pH 值
施工过程	密度、漏斗黏度、含砂量	密度、漏斗黏度、含砂量

6.0.7 在通常情况下，膨润土浆液性能应符合表 6.0.7 的要求。

表 6.0.7 膨润土浆液性能指标

项 目	单 位	各阶段性能指标		试 验 仪 器
		新 制	供重复使用	
密度	g/cm ³	<1.1	<1.25	泥浆比重秤
漏斗黏度	s	32~50	32~60	马氏漏斗
失水量	ml/30min	<30	<50	失水量仪
泥饼厚	mm	<3	<6	失水量仪
pH 值	—	7~11	7~12	pH 试纸或电子 pH 计

6.0.8 新制黏土浆液性能以满足表 6.0.8 所列指标为宜。

表 6.0.8 新制黏土浆液性能指标

项 目	单 位	性能指标	试验仪器
密度	g/cm ³	1.1~1.2	泥浆比重秤
漏斗黏度	s	18~25	500/700ml 漏斗
含砂量	—	≤5%	含砂量测定仪
胶体率	—	≥96%	量筒
稳定性	g/cm ³	≤0.03	量筒、泥浆比重秤
失水量	ml/30min	<30	失水量仪
泥饼厚	mm	2~4	失水量仪
1min 静切力	N/m ²	2.0~5.0	静切力计
pH 值	—	7~9	pH 试纸或电子 pH 计

6.0.9 应选用洁净的淡水配制泥浆。水质的要求按照 DL/T 5144 的规定执行。

6.0.10 拌制泥浆的方法及时间应通过试验确定。膨润土泥浆宜选用高速搅拌机拌制。

6.0.11 常用的泥浆处理剂有分散剂、增黏剂、加重剂、防漏剂等，其品种和掺加率应通过试验确定。

6.0.12 应按规定的配合比配制泥浆，各种成分的加量误差不得大于 5%。储浆池内的泥浆应经常搅动，保持泥浆性能指标均一。

6.0.13 在施工区域的地下水或海水可能对泥浆产生污染的情况下，应进行水质分析并采取保证泥浆质量的措施。

7 槽 孔 建 造

7.0.1 防渗墙的轴线及墙顶高程，应依照设计文件要求，根据测量基准点进行控制。

7.0.2 确定槽孔长度时，应综合考虑工程地质及水文地质条件、施工部位、成槽方法、机具性能、成槽历时、墙体材料供应强度、墙体顶留孔的位置、浇筑导管布置原则及墙体平面形状等因素。

合龙槽孔以短槽孔为宜，并宜安排在深度较浅、条件较好的地方。

7.0.3 槽孔宜分期建造，同时施工的相邻槽孔之间应留有足够的安全距离。

7.0.4 槽孔建造设备和方法，可根据地层情况、墙体结构型式及设备性能进行选择，必要时可选用多种设备组合施工。可采用的成槽方法有钻劈法、钻抓法、抓取法、铣削法等。

7.0.5 采用钻劈法建造槽孔时应注意：

1 开孔钻头直径应大于终孔钻头直径，钻头直径应满足设计墙厚要求；

2 选择合理的副孔长度；

3 一般情况下，主孔终孔后方可劈打副孔。

7.0.6 采用钻抓法建造槽孔时，应先用钻机钻进主孔，后用抓斗抓取副孔。采用两钻一抓法时，主孔的中心距不宜大于抓斗的开度。

7.0.7 采用抓取法和铣削法建造槽孔时，主孔长度等于抓斗开度或一次铣削长度，副孔长度宜为主孔长度的 $1/2 \sim 2/3$ 。

7.0.8 槽孔建造时，固壁泥浆面应保持在导墙顶面以下 300mm~500mm。

7.0.9 建造槽孔时遇孤石或硬岩，可采用重凿冲砸或爆破的方法处理。爆破必须保证槽壁安全，并在相邻墙段墙体材料具有足够强度以后进行。对于孤石密集地层，亦可在槽孔建造前采用钻孔预爆的方法。

7.0.10 对漏失地层应采取预防措施。发现泥浆漏失应立即堵漏和补浆。

7.0.11 施工过程中应及时清除槽孔周围的废水、废浆、废渣。

7.0.12 槽孔如需嵌入基岩，基岩面需按下列方法确定：

1 依照防渗墙中心线地质剖面图，当孔深接近预计基岩面时，开始留取岩样，根据岩样的性质确定基岩面；

2 对照邻孔基岩面高程，分析本孔钻进情况，确定基岩面。

当上述方法难以确定基岩面，或对基岩面发生怀疑时，应钻取岩芯，加以验证和确定。

7.0.13 基岩岩样是槽孔嵌入基岩的主要依据，必须真实可靠，并按顺序、深度、位置编号，填好标签，装箱，妥善保管。

7.0.14 槽孔建造结束后，应进行终孔质量检验，合格后方可进行清孔。

7.0.15 槽孔建造质量应按下列要求控制：

1 槽壁应平整垂直，不应有梅花孔、小墙等；

2 孔位允许偏差不大于 30mm；

3 孔斜率：钻劈法、钻抓法和铣削法施工时不得大于 4%；遇含孤石地层及基岩陡坡等特殊情况，应控制在 6%以内。抓取法施工时不得大于 6%；遇含孤石地层及基岩陡坡等特殊情况，应控制在 8%以内。接头套接孔的两次孔位中心在任一深度的偏差值，不得大于设计墙厚的 1/3。吊放接头管（板）的端孔孔斜率，应按槽孔建造工艺分别控制，同时应保证接头管板顺利吊放和起拔。

4 槽孔深度（包括入岩深度）满足设计要求。

7.0.16 清孔换浆宜选用泵吸法或气举法。

7.0.17 二期槽孔清孔换浆结束前，应清除接头槽壁上的泥皮，清除泥皮宜用钢丝刷子钻头分段刷洗，合格条件是：刷子钻头上基本不带泥屑，孔底淤积不再增加。

7.0.18 清孔换浆完成 1h 后进行检验，应达到如下质量要求：

1 孔底淤积厚度不大于 100mm；

2 当使用膨润土泥浆时，槽内泥浆密度不大于 1.15g/cm^3 ，马氏漏斗黏度 32s~50s，含砂量不大于 6%；当使用黏土泥浆时，槽内泥浆密度不大于 1.30g/cm^3 ，500/700ml 漏斗黏度不大于 30s，含砂量不大于 10%。泥浆取样位置距孔底 0.5m~1.0m。

清孔换浆合格后，方可进行下道工序。

7.0.19 清孔检验合格后，应于 4h 内开浇混凝土，因吊放钢筋笼或其他埋设件不能在 4h 内开浇混凝土的槽孔，可对清孔要求另行作出规定。

8 墙体材料及成墙施工

8.1 墙体材料

- 8.1.1 防渗墙可采用普通混凝土、黏土混凝土、塑性混凝土、固化灰浆、自凝灰浆等墙体材料。
- 8.1.2 墙体材料的性能应满足设计要求，其拌和物应具有良好的施工性能。
- 8.1.3 配制墙体材料的水泥、骨料、水、掺合料及外加剂等应符合 DL/T 5144 的相关规定。
- 8.1.4 墙体材料的配合比及配制方法应通过试验确定。

8.2 混凝土配合比及拌和物性能

8.2.1 混凝土施工配制强度应遵循下列规定：

- 1 普通混凝土的配制强度按 DL/T 5144 相关规定计算确定。
- 2 黏土混凝土和塑性混凝土的配制强度宜采用离差系数法计算确定，其计算方法见附录 A。
- 3 无论何种类型的防渗墙用混凝土，均应考虑泥浆下浇筑条件对实际强度的不利影响。

8.2.2 混凝土墙体材料的入孔坍落度应为 180mm~220mm，扩散度应为 340mm~400mm，坍落度保持 150mm 以上的时间应不小于 1h。初凝时间应不小于 6h，终凝时间不宜大于 24h。混凝土的密度不宜小于 2100kg/m³。当采用钻凿法施工接头孔时，一期墙段混凝土的早期强度不宜过高。

8.2.3 配制混凝土的骨料宜选用天然卵石、砾石和中粗砂。最大骨料粒径应不大于 40mm，且不得大于钢筋净距的 1/4。

8.2.4 普通混凝土的胶凝材料用量不宜低于 $350\text{kg}/\text{m}^3$ ，水胶比不宜大于 0.6，砂率不宜小于 40%。

8.2.5 黏土混凝土的胶凝材料用量不宜低于 $350\text{kg}/\text{m}^3$ ，水胶比不宜大于 0.65，黏土掺量不宜大于水泥和黏土总量的 25%，砂率不宜小于 36%。

8.2.6 塑性混凝土的水泥用量不宜少于 $80\text{kg}/\text{m}^3$ ，膨润土用量不宜少于 $40\text{kg}/\text{m}^3$ ，水泥与膨润土的合计用量不宜少于 $160\text{kg}/\text{m}^3$ ，胶凝材料的总量不宜少于 $240\text{kg}/\text{m}^3$ ，砂率不宜小于 45%。在满足流动性要求的前提下，应尽量减少用水量。塑性混凝土宜采用一级配骨料，当采用二级配骨料时，中石与小石的用量比不宜大于 1.0。

8.3 泥浆下混凝土浇筑

8.3.1 混凝土浇筑前，必须拟定浇筑方案，其主要内容有：

- 1 绘制槽孔纵剖面图；
- 2 计划浇筑方量、供应强度、浇筑高程；
- 3 导管等浇筑机具及埋设件的布置与组合；
- 4 浇筑方法、开浇顺序、主要技术措施；
- 5 混凝土配合比、原材料品种及用量。

8.3.2 混凝土的实际拌和及运输能力，应不小于平均计划浇筑强度的 1.5 倍，并大于最大计划浇筑强度。

8.3.3 运至槽口的混凝土应具有良好的施工性能。混凝土的浇筑应连续进行，若因故中断，中断时间不宜超过 40min。

8.3.4 泥浆下浇筑混凝土应采用直升导管法，导管内径以 200mm~250mm 为宜。

8.3.5 一个槽孔使用两套以上导管浇筑时，中心距不宜大于 4.0m。当采用一级配混凝土时，导管中心距可适当加大，但不得大于 5.0m。导管中心至槽孔端部或接头管壁面的距离宜为 1.0m~1.5m。当槽孔底部的高差大于 250mm 时，导管应布置在

其控制范围的最低处。

8.3.6 导管的连接和密封必须可靠，管节接头宜采用快速连接方式。应在每套导管的顶部和底节导管以上部位设置数节长度为 0.3m~1.0m 的短管。开浇前，导管底口距槽底应控制在 150mm~250mm 范围内。

8.3.7 开浇前，导管内应放入可浮起的隔离塞球或其他适宜的隔离物。开浇时宜先注入少量的水泥砂浆，随即注入足够的混凝土，挤出塞球并埋住导管底端。

8.3.8 混凝土浇筑过程中须遵守下列规定：

- 1 导管埋入混凝土的深度不得小于 1m，不宜大于 6m；
- 2 混凝土面上升速度不得小于 2m/h；
- 3 混凝土面应均匀上升，各处高差应控制在 500mm 以内；
- 4 至少每隔 30min 测量一次槽孔内混凝土面深度，每隔 2h

测量一次导管内的混凝土面深度，并及时填绘混凝土浇筑指示图：

- 5 槽孔口应设置盖板，避免混凝土由导管外散落槽孔内；
- 6 不符合质量要求的混凝土严禁浇入槽孔内；
- 7 应防止混凝土将空气压入导管内。

8.3.9 混凝土终浇高程应高于设计规定的墙顶高程 0.5m，但不宜高于冻土层底部高程。

8.3.10 防渗墙墙体应均匀完整，不得有混浆、夹泥、断墙、孔洞等。

8.3.11 雨季、高温、低温季节的浇筑施工按照 DL/T 5144 有关规定执行。

8.4 固化灰浆施工

8.4.1 当采用固化灰浆作墙体材料时，应遵守下列规定：

- 1 配制固化灰浆的泥浆，黏度宜为 25s~45s（500/700ml 漏斗黏度），密度应根据固化灰浆的配合比控制；

2 固化灰浆单位体积的水泥用量不宜少于 $200\text{kg}/\text{m}^3$ ，水玻璃用量宜为 $35\text{kg}/\text{m}^3$ 左右，砂的用量不宜少于 $200\text{kg}/\text{m}^3$ ；

3 采用原位搅拌法施工时，固化灰浆的密度宜为 $1.3\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。

8.4.2 采用原位搅拌法施工时，固化材料加入槽孔前，应将槽孔内的泥浆搅拌均匀，水泥宜与砂搅拌成水泥砂浆加入，水泥砂浆的密度不宜小于 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 。

8.4.3 原位搅拌，可根据密度要求采用气拌、机械搅拌等方法。

8.4.4 当采用气拌方法时，空压机的风压应不小于最大浆柱压力的 1.5 倍。每根风管均应下到槽孔底部，风管底部应安装水平出风花管。加料应在 2h 内结束，中途不得停风，加料结束后应继续气拌至少 30min。

8.4.5 槽孔内混合浆液固化后，应用厚度不小于 0.3m 的湿土覆盖墙顶。

8.5 自凝灰浆施工

8.5.1 当采用自凝灰浆作墙体材料时，其配合比应遵守下列规定：

1 自凝灰浆单位体积水泥用量不应小于 $100\text{kg}/\text{m}^3$ ，不宜大于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。膨润土的用量一般为 $40\text{kg}/\text{m}^3 \sim 60\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2 在拌制自凝灰浆时，可加入缓凝剂，其品种和加量通过试验确定。

3 可用粉煤灰、磨细的高炉矿渣替代部分水泥，以调节自凝灰浆的性能。

8.5.2 自凝灰浆的拌制应采用“两步法”：第一步先将膨润土和水制成泥浆，膨化 4h 后待用；第二步在泥浆中加入水泥、缓凝剂、掺合料等制成自凝灰浆原浆，供挖槽使用，随制随用，不得存放。膨润土浆及自凝灰浆原浆均宜用高速搅拌机拌制。

8.5.3 应采用泥浆非循环法建造自凝灰浆防渗墙，槽孔施工设

备宜选用抓斗、反铲等挖槽机械。

8.5.4 自凝灰浆防渗墙成槽施工可采用连续成槽法和间断成槽法，无论采用何种方法，成槽施工应在该部位槽内灰浆初凝前完成。

8.5.5 各槽段施工结束，静置 24h 后，应抽去泌水，补入新制灰浆至设计墙顶高程 0.5m 以上。

8.5.6 槽内浆体凝固后，应用厚度不小于 0.3m 的湿土覆盖墙顶。

8.6 质量控制与检查

8.6.1 混凝土的施工性能，每班应取样检查 2 次，开浇前必须检查。

8.6.2 墙体材料的质量控制与检查应遵守下列规定：

1 墙体材料的性能主要检查 28d 龄期的抗压强度和抗渗性能，在有要求时，也可以对 28d 龄期的弹性模量进行检查。

2 抗渗性能的检查：普通混凝土和黏土混凝土检查其抗渗等级；塑性混凝土、固化灰浆和自凝灰浆检查其渗透系数和允许渗透坡降。

3 质量检查试件数量：抗压强度试件每 100m^3 成型一组，每个墙段至少成型一组；抗渗性能试件每 3 个墙段成型一组；弹性模量试件每 10 个墙段成型一组。

4 混凝土成型试件宜在槽口取样，也可在机口取样。

5 固化灰浆（原位搅拌法）和自凝灰浆应在其初凝前在槽内取样，用砂浆试模或土工试模成型试件。

8.6.3 混凝土质量评定应遵守下列规定：

1 混凝土进行质量评定时，可按该工程所取全部试件试验数据进行统计计算。

2 混凝土的抗渗指标合格试件的百分率，应不小于 80%。

3 普通混凝土强度的检验评定可按照 DL/T 5144 的规定执

行。

4 黏土混凝土和塑性混凝土强度的保证率不应小于 80%，强度最小值不应低于设计标准值的 75%。

5 黏土混凝土和塑性混凝土生产质量水平以现场试件 28d 龄期抗压强度的离差系数 C_v 值表示，其评定标准见本标准附录 A。

8.6.4 固化灰浆和自凝灰浆的质量评定方法应根据工程情况另行作出规定。

9 墙 段 连 接

9.0.1 条件许可时，宜减少墙段连接缝。

9.0.2 墙段连接可采用接头管（板）法、钻凿法、双反弧桩柱法、切（铣）削法等。

9.0.3 接头管（板）法施工，应遵守下列规定：

1 接头管（板）能承受最大的混凝土压力和起拔力，管（板）表面应平滑，其间连接方式应可靠、易操作；

2 选用有足够起拔能力的吊车或拔管机；

3 使用液压拔管机起拔接头管（板）时，应验算地基及导墙的承载能力，防止槽口坍塌；

4 接头管（板）吊放时要准确定位，偏斜率宜控制在 1% 以内；

5 浇筑过程中应经常微动接头管（板）；

6 拔管（板）应在管（板）底端混凝土初凝前进行，开始拔管的时间通过试验确定；

7 接头管（板）拔出的过程中应及时向接头孔内充填泥浆；

8 起拔接头管（板）过程中，应做好混凝土浇筑和起拔记录。

9.0.4 采用钻凿法施工接头孔时，应遵守下列规定：

1 在已浇混凝土终凝后方可开始钻凿接头孔；

2 尽量减小接头套接孔两次孔位中心的偏差值；

3 二期槽孔混凝土浇筑前，接头孔端面的刷洗质量应达到 7.0.17 的要求。

9.0.5 采用双反弧桩柱法施工接头孔时，应遵守下列规定：

1 用于槽段（或圆桩）连接的双反弧桩柱，其弧顶间距宜为墙厚的 0.8 倍~1.0 倍；

2 钻凿双反弧桩孔，钻头不得扭转，桩孔孔斜应符合 7.0.15 的规定；

3 桩孔钻完后，应用专用的机具将其两侧一期槽段（或圆桩）混凝土上所附地基土残留物及泥皮清除干净，达到 7.0.17 的要求。

9.0.6 切（铣）削法施工，应遵守下列规定：

1 根据槽孔深度和成槽孔斜率要求，确定切（铣）削一期槽孔混凝土（或灰浆）的长度；

2 接缝的位置应准确，并将其作标记在导墙上；

3 建造槽孔时，经常测量接缝处端孔的孔斜率，并控制孔斜。

10 钢筋笼及预埋件

10.1 钢筋笼

10.1.1 钢筋笼的结构尺寸应满足以下规定：

1 钢筋笼的外形尺寸根据槽段长度、深度、接头型式及具备的起重能力等因素确定。

2 钢筋笼与墙段接缝之间的最小距离为 100mm，同一槽孔中的两个钢筋笼之间的最小净距为 200mm。

3 钢筋笼的保护层厚度不小于 75mm，在临时工程墙体中可减少到 60mm。

4 垂直钢筋净间距宜大于混凝土粗骨料直径的 4 倍，应注意分节钢筋笼搭接的钢筋间距。尽量减少水平配置的钢筋，其中心距大于 150mm。加强筋与箍筋不得设计在同一水平面上。

5 混凝土导管接头外缘至最近处的钢筋间距大于 100mm。

10.1.2 钢筋笼分节长度应根据孔深、起吊高度、重量、在槽口总连接时间、出厂钢筋长度等条件综合考虑选定。

10.1.3 应采取措施防止钢筋笼在存放和吊运过程中产生扭曲变形。

10.1.4 钢筋笼底端垂直钢筋应加工成微闭合形状。钢筋笼底端距槽底不宜小于 300mm。应在钢筋笼上安装定位垫块，以保证保护层的厚度。

10.1.5 分节制作的钢筋笼，有条件时可在制作平台上预拼装制作，制作完成后再分节起吊。槽口对接时应保证上、下节连接的垂直度。上、下节钢筋笼连接宜采用机械连接方法。

10.1.6 吊放钢筋笼时，应选择合适的起吊点。钢筋笼较长时，

应采用两点法起吊。

吊放时，应对准槽孔中轴线，吊直扶稳缓缓下沉，避免碰撞槽壁。如遇阻碍，不得强行下沉。应采取措防止混凝土浇筑时钢筋笼上浮。

10.1.7 钢筋笼制作允许偏差为：

- 1 主筋间距 $\pm 10\text{mm}$ ；
- 2 箍筋和加强筋间距 $\pm 20\text{mm}$ ；
- 3 钢筋笼长度 $\pm 50\text{mm}$ ；
- 4 钢筋笼的弯曲度不大于 1% 。

10.1.8 钢筋笼入槽定位允许偏差：

- 1 标高 $\pm 50\text{mm}$ ；
- 2 垂直墙轴线方向 $\pm 20\text{mm}$ ；
- 3 沿轴线方向 $\pm 75\text{mm}$ 。

10.2 预埋管或预留孔

10.2.1 防渗墙墙体内可用预埋管法或拔管法预留孔洞。

10.2.2 预埋管和拔管管模应有足够的强度和刚度。管模的结构应有利于减少起拔阻力，并保证在已成孔段不出现负压。管接头应牢固。预埋管或管模吊放前，应先在地面试组装，检查其是否顺直，其弯曲度应小于 1% 。

10.2.3 预埋管或预留孔孔位宜布置在相邻混凝土导管间的中心位置或槽孔端头。

10.2.4 预埋管底部和上端应予以固定，中部应用钢筋定位架定位，定位架间距 $10\text{m}\sim 20\text{m}$ 。

10.2.5 拔管成孔，应在混凝土开浇后，适时地将管模插入混凝土内以固定其下端，在最佳时间拔管。

10.2.6 应保护好预埋管和预留孔，防止异物坠入。

10.3 仪 器 埋 设

10.3.1 仪器埋设断面应布置在相邻混凝土导管间的中心位置上。

10.3.2 仪器埋设时，应按设计要求严格控制其位置和方向，注意对电缆的保护，防止从槽孔口掉入异物。

10.3.3 仪器埋设完毕，应妥善保护仪器电缆。

11 特殊情况处理

11.0.1 导墙严重变形或导墙底部坍塌，影响成槽施工时，可采取以下方法处理：

- 1 改善导墙地基条件或槽内固壁泥浆性能；
- 2 在变形破坏部位补贴一段导墙或重新修筑导墙；
- 3 回填槽孔，处理塌坑或采取其他安全技术措施。

11.0.2 地层严重漏浆，应迅速向槽孔内补浆并填入堵漏材料，必要时可回填槽孔。

11.0.3 混凝土浇筑过程中导管堵塞、拔脱或导管破裂漏浆，需要重新吊放导管时，应按下列程序处理：

- 1 将事故导管全部拔出，重新吊放导管；
- 2 核对混凝土面高程及导管长度，确认导管的安全插入深度；
- 3 抽尽导管内泥浆，继续浇筑。

11.0.4 混凝土浇筑过程中钢筋笼上浮，可采取以下措施：

- 1 及时调整导管在混凝土内的埋入深度；
- 2 对笼体锚固或压重。

11.0.5 采用接头管（板）法施工时，接头管（板）在混凝土浇筑过程中发生偏斜，可采取以下方法处理：

- 1 浇筑开始时接头管（板）发生偏斜，及时提出全部接头管板，检查后重新吊放；
- 2 吊放无法实施或仍产生偏斜，影响接头质量时，可改为钻凿法套接。

11.0.6 墙段连接采用接头管（板）法施工时，接头管（板）被混凝土凝铸而不能正常起拔，可采取以下方法处理：

- 1 混凝土尚未终凝时，可采用强力起拔与震动相结合的方

法，边震边提；

2 在开挖相邻槽孔时，清除管（板）侧壁土体或混凝土后，再强力起拔；

3 对已被“铸死”的接头管（板），可在其上下游两侧采用高压喷射灌浆或水泥灌浆包裹处理，同时清理净管（板）下部和内部泥浆，灌注水泥浆或混凝土。

11.0.7 墙段连接未达到设计要求时，可选择下列方法处理：

1 在接缝迎水面采用高压喷射灌浆或水泥灌浆处理；

2 在接头处骑缝钻凿一个桩孔，钻孔直径根据接头孔的孔斜和设计墙厚选择，成孔后再浇筑混凝土。

11.0.8 防渗墙墙体发生断墙或混凝土严重混浆时，可选择下列方法进行处理：

1 凿除已浇筑的混凝土，重新进行浇筑；

2 在需要处理的墙段迎水侧补贴一段新墙；

3 在需要处理的墙段迎水面进行水泥灌浆或高压喷射灌浆处理；

4 用地质钻机在墙体内钻孔，对夹泥层用高压水冲洗，洗净后采用水泥灌浆或高压喷射灌浆处理。

12 质量检查和竣工资料

12.0.1 防渗墙质量检查程序分工序质量检查和墙体质量检查。

12.0.2 工序质量检查包括终孔、清孔、接头管（板）吊放、钢筋笼制造及吊放、混凝土拌制与浇筑等检查。各工序检查合格后，应签发工序质量检查合格证。上道工序未经检查合格，不得进行下道工序。

12.0.3 槽孔建造的终孔质量检查应包括下列内容：

- 1 孔位、孔深、孔斜、槽宽；
- 2 基岩岩样与槽孔嵌入基岩深度；
- 3 一、二期槽孔间接头的套接厚度。

12.0.4 槽孔的清孔质量检查应包括下列内容：

- 1 孔内泥浆性能；
- 2 孔底淤积厚度；
- 3 接头孔刷洗质量。

12.0.5 钢筋笼制造及吊放质量检查应包括下列内容：

- 1 钢筋的检验；
- 2 钢筋笼的外形尺寸，导向装置及加工质量；
- 3 钢筋笼的吊放位置及节间连接质量；
- 4 预埋件位置及数量检验。

12.0.6 接头管（板）质量检查应包括下列内容：

- 1 接头管（板）吊放深度；
- 2 接头管（板）的吊放垂直度；
- 3 接头管（板）的成孔质量。

12.0.7 混凝土及其浇筑质量检查应包括下列内容：

- 1 原材料的检验；
- 2 导管间距；

- 3 浇筑混凝土面的上升速度及导管理深;
- 4 终浇高程;
- 5 混凝土槽口样品的物理力学检验及其数理统计分析结果。

12.0.8 固化灰浆防渗墙灰浆固化的质量检查应包括下列内容:

- 1 原材料的检验;
- 2 槽孔内固化灰浆样品的物理力学性能检验及数理统计分析。

12.0.9 自凝灰浆防渗墙凝结灰浆的质量检查应包括下列内容:

- 1 原材料的检验;
- 2 自凝灰浆原浆的物理力学性能指标;
- 3 槽孔内自凝灰浆样品的物理力学性能检验及数理统计分析。

12.0.10 墙体质量检查应在成墙后 28d 进行, 检查内容为墙体的物理力学性能指标、墙段接缝和可能存在的缺陷。检查可采用钻孔取芯、注水试验或其他检测方法。检查孔的数量宜为每 10~20 个槽孔一个, 位置应具有代表性。

12.0.11 应做好防渗墙施工记录和资料统计分析整理工作。主要图表参见附录 B。

12.0.12 防渗墙单项工程的竣工资料应包括下列内容:

- 1 设计图纸、说明书、技术要求、设计变更及补充文件;
- 2 竣工报告、竣工总平面图及剖面图;
- 3 施工原始记录、工序质量检查资料、原材料检验资料、墙体材料及泥浆试验资料、墙内观测仪器的埋设和初期观测资料、施工期地下水位和坝体观测资料、墙体检查孔成果资料、重大事故报告;
- 4 有关的专题试验研究报告等;
- 5 工程建设大事记。

12.0.13 防渗墙单项工程的竣工验收, 按照 DL/T5123 中的规定进行。

附录 A

(规范性附录)

黏土混凝土和塑性混凝土配制强度和匀质性评定标准

A.1 黏土混凝土和塑性混凝土的配制强度按下式计算：

$$f_{cu,0} = \frac{f_{cu,k}}{1 - tC_V} \quad (\text{A.1})$$

式中：

$f_{cu,0}$ ——混凝土的施工配制强度，MPa；

$f_{cu,k}$ ——设计的混凝土强度标准值，MPa；

t ——概率度系数，概率度系数 t 与保证率 P 的关系见表 A.1；

C_V ——强度的离差系数，不同强度的混凝土 C_V 值见表 A.2。

表 A.1 保证率与概率度系数的关系

保证率 P %	75.8	80.0	82.9	85.0	90.0	93.3	95.0	97.7
概率度系数 t	0.70	0.84	0.95	1.04	1.28	1.50	1.65	2.0

表 A.2 混凝土抗压强度离差系数 C_V 的参照值

设计强度标准值 MPa	20~16	15~10	9~6	5~3	2~1
计算配制强度的 C_V 参照值	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33

A.2 混凝土抗压强度匀质性的评定采用离差系数 (C_V) 法，其标准见表 A.3。

表 A.3 混凝土抗压强度离差系数 C_v 的评定标准

设计强度 MPa	等 级			
	优秀	良好	一般	较差
20~16	<0.16	0.16~0.19	0.20~0.23	>0.23
15~10	<0.19	0.19~0.22	0.23~0.26	>0.26
9~6	<0.22	0.22~0.25	0.26~0.29	>0.29
5~3	<0.25	0.25~0.28	0.29~0.33	>0.33
2~1	<0.29	0.29~0.32	0.33~0.38	>0.38

附 录 B
(资料性附录)
施工记录图表格式

防渗墙工程的施工记录图表很多，各工程具体情况不一，建设或监理单位对图表格式、内容的要求也不尽相同，现列出主要施工记录图表格式，供参照使用。

- 表 B.1 防渗墙工程冲击钻机造孔班报
- 表 B.2 防渗墙工程抓斗挖槽班报
- 表 B.3 导管下设及开浇情况记录表
- 表 B.4 混凝土浇筑导管拆卸记录表
- 表 B.5 混凝土浇筑孔内混凝土面深度测量记录表
- 表 B.6 第__号槽孔混凝土浇筑指示图及浇筑过程记录表
- 表 B.7 防渗墙造孔质量检查记录表
- 表 B.8 防渗墙清孔质量检查记录表
- 表 B.9 防渗墙单孔基岩面鉴定表
- 表 B.10 防渗墙造孔清孔检查合格证
- 图 B.1 混凝土防渗墙竣工图

表 B.3 导管下设及开浇情况记录表

工程项目 _____ 槽孔编号 _____ 导管编号 _____
 施工单位 _____ 清孔结束时间 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 时 _____ 分
 下设时间 (时:分) _____ 至 _____ 清孔验收时间 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 时 _____ 分

一、导钢管节编号及长度 导管内径: _____ mm

管节编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
管节长度(m)										
累计管长(m)										
管节编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
管节长度(m)										
累计管长(m)										
管节编号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
管节长度(m)										
累计管长(m)										
管节编号	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
管节长度(m)										
累计管长(m)										

注:每套导管的底节编号为1,自下而上编号。

二、导管实际下设情况 导管塞直径: _____ mm

终孔验收孔深 (m)	导管长度 (m)	孔外管长(m)		导管下端距孔底 (m)	孔内管长 (m)
		导管放置 孔底	导管 安置后		
1	2	3	4	5=4-3	6=2-4

三、开浇情况

砂浆开始注入孔内时间: _____ 日 _____ 时 _____ 分; 混凝土开始注入时间: _____ 日 _____ 时 _____ 分
开浇过程及情况说明:

技术值班: _____ 浇筑班长: _____ 记录: _____

表 B.6 第__号槽孔混凝土浇筑示意图及浇筑过程记录表

工程项目	槽孔长度		m	平均孔深	m	平均孔宽	m	计划方量	m ³	实浇方量	m ³
起止桩号	清孔验收时间			开浇时间		终浇时间		终浇高程		终浇高程	m
单孔编号				累计浇筑 方量(m ³)	计划	实际		气象 情况		浇筑情况说明	
导管编号				累计浇筑 筑车 (盘)数				累计方量—浇 筑高程曲线			
预留孔编号				混凝土面 测量时间 (时:分)							
测点编号											
孔 深 (m)											
终孔验收 孔深(m)				0	50	100	150	200	混凝土运 输方式:		技术负责:
孔底淤积 厚度(m)				累计浇筑方量(m ³)					混凝土面平 均上升速度	m/h	
导管底至孔 底距离(mm)				混凝土坍落度: mm; 混凝土扩散度 mm					导管埋深	最小(m): 最大(m):	监理:
				施工单位:							

注: 本记录应采用方格纸(米格纸)绘制, 图幅的长度和宽度根据孔深和槽孔长度确定。

表 B.8 防渗墙清孔质量检验记录表

槽孔编号_____ 槽孔长度_____ m 清孔方法_____ 孔口高程_____

施工单位_____ 施工机组_____ 清孔日期_____年_____月_____日

槽孔开口日期: 年 月 日		清孔开始时间: 时 分								
槽孔终孔日期: 年 月 日		清孔结束时间: 时 分								
项 目		孔位								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
孔内 泥浆 性能	取样深度(m)									
	取样时间(时:分)									
	密度(g/cm ³)									
	黏度(s)									
	含砂量(%)									
孔底 淤积	终孔孔深(m)									
	测饼深度(m)									
	淤积厚度(mm)									
	测量时间(时:分)									
接头 刷洗	刷洗方法	起端: 末端:								
	刷洗遍数	起端: 末端:								
	刷洗效果	起端: 末端:								
说 明										检验人员签字
										年 月 日

表 B.10 防渗墙造孔清孔检查合格证

工程项目 _____ 槽孔编号 _____ 槽孔长度 _____ m 起止桩号 _____
 施工单位 _____ 开孔时间 _____ 终孔时间 _____ 清孔时间 _____

检 验 项 目	质量 标准	各部位质量检查结果								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
孔径孔宽(mm)										
孔位偏差(mm)										
终孔深度(m)										
嵌岩深度(m)										
最大孔斜率(‰)										
相应孔深(m)										
泥浆密度(g/cm ³)										
泥浆黏度(s)										
泥浆含砂量(%)										
淤积厚度(mm)										
槽孔 套接	长度(mm)	起端					末端			
	厚度(mm)	起端					末端			
接头 刷洗	遍数	起端					末端			
	效果	起端					末端			
施工单位说明:				验收意见:				验收成员签字:		
								年 月 日		
附件	名 称						编 号			

水电水利工程混凝土防渗墙 施 工 规 范

条 文 说 明

目 录

1	范围	47
4	一般规定	48
5	施工平台与导墙	50
6	泥浆	52
7	槽孔建造	55
8	墙体材料及成墙施工	58
9	墙段连接	67
10	钢筋笼及预埋件	70
11	特殊情况处理	73
12	质量检查和竣工资料	75

1 范 围

本章说明了本标准的适用范围，也充分反应了我国混凝土防渗墙施工技术的发展和水平。国内已建成的防渗墙最大深度超过 60m 的已达十余道，其中比较有代表性的有：四川铜街子左深槽挡土防渗墙（74.4m）、河南小浪底主坝防渗墙（81.9m）、三峡二期上游围堰防渗墙（73.5m）、三峡二期下游围堰防渗墙（66.7m）。墙体厚度一般为 600mm 和 800mm，由于工程的需要和技术的进步，一方面能建造的防渗墙厚度越来越大，如 1992 年修建的四川宝珠寺电站防冲墙墙厚达 1.4m，为国内最厚的地下连续墙；另一方面，由于施工设备的多样化，混凝土防渗墙也可做得很薄，广泛用于堤防的病险库处理。本标准能涵盖的混凝土防渗墙墙厚最小为 300mm，其他如射水法、锯槽法等建造的混凝土防渗墙虽然可以做得更薄，但由于其成槽工艺和成墙技术与本标准的规定不尽相同，难以涵盖，所以将墙厚下限定为 300mm。

防渗墙是地下连续墙的一个分支，本标准虽然主要用于防渗墙施工，但其所涵盖的施工技术完全能适用于地下连续墙的施工，故可参考使用。

4 一般规定

4.0.1 混凝土防渗墙施工前，具有本条文所涉及的资料，有助于确定施工方案及工艺，及时进行充分且必要的施工组织。

随着社会的发展，人们的环保意识有所增强，越来越多的工程对环保提出了很高的要求，有关单位先应了解相关要求，然后进行针对性的施工组织。

如果用当地黏土制浆，制浆黏土的有关资料是十分必要的。

4.0.2 在进行防渗墙施工准备和早期的施工组织时，必须根据防渗墙中心线处的地质资料确定施工工艺，选择主要施工设备，确定工期。地质资料不详细和不准确，可能造成工艺不当，资源不足，继而延误工期，甚至影响工程质量，国内防渗墙施工中这样的教训不少。

现行勘察规范或勘探规程，对于勘探孔间距的要求一般不大于 30m 或 50m。而国内多道防渗墙工程实例表明，过大的勘探孔间距，不利于确定防渗墙的终孔深度，特别是存在孤石、陡（反）坡、深槽等复杂地层，易造成基岩误判而形成悬挂墙，所以本规范要求地质资料不够详尽或地层条件复杂的情况下增加补充勘探孔。

在国外，对第四系覆盖层勘察时，一般都进行了动力触探试验，通过测定锤击数的 N 值，对土层的物理力学性质特别是密实程度进行判别，并依此确定其可钻性，进而确定施工工艺及设备配置。这一经验应予以学习和借鉴。

4.0.3 施工试验所取得的资料，不仅可以验证及优化设计参数，而且可以验证和优化施工方案，为正式施工提供准确的技术资料。

如三峡二期上游围堰防渗墙工程，之所以能在一个枯水期

克服强漏失覆盖层、深槽、陡坡、硬岩等技术难题，在不到 800m 轴线上完成 30000m² 防渗墙，是因为前期的施工生产性试验为大规模施工奠定了坚实的技术基础。

4.0.5 在已建成的土石坝坝体内修建防渗墙，往往会对坝体产生一定的影响：一是在槽孔建造过程中，极易引起坝体浸润线变化，并由此影响到坝坡的稳定；二是在槽孔浇筑混凝土时，较高的浇筑强度可能会造成坝体劈裂，产生横向裂缝。故要求定期对坝体沉陷、裂缝、位移、测压管等进行监测。

5 施工平台与导墙

5.0.1 “平台的宽度应满足施工需要”，指满足施工设备和运输车辆作业与行走的需要。其中施工设备的选择受地层、工期等客观条件的影响，不同的施工设备和工艺对平台宽度的要求差别很大，故在此对平台宽度不便作出统一的规定。

在确定防渗墙施工平台高程条件中，最重要的是第1条“应高出地下水位 1.5m 以上”，因为只有满足此条件，固壁泥浆的静压力才可能支撑土和地下水的侧压力，以保持槽孔的稳定。以往相关规范规定高出地下水位 2.0m 以上，偏于保守，参考国内施工经验和有关规范，规定为 1.5m。

“施工期水位”，对于某些防渗墙工程而言，只是指施工期设计频率洪水所形成的水位。

5.0.2 导墙的功用不仅是在开挖槽孔时给开挖机具导向，以及保护泥浆液面处于波动状态槽口的稳定，还要承受土压及施工机械等荷载，并要支撑混凝土导管、钢筋笼、接头管（板）等临时荷载，因此要求其具有一定强度和刚度，并应建在稳定的地基上。

导墙在早期一般为木结构，其稳定性不好，易造成槽口坍塌，故从 20 世纪 70 年代末期开始，已多为现浇（或预制）混凝土或钢筋混凝土代替。其结构型式常用的有矩形、直角梯形、L 型、倒 L 型、槽钢型等。在地质条件合适、槽孔施工周期短的情形下，导墙也可用钢结构型式，其优点是可周转使用，降低成本。

导墙高度由槽口土质条件、所承受的荷载和槽孔施工周期等因素决定。

导墙内间距，在用抓斗、液压铣槽机建造槽孔时，宜大于

设计墙厚 40mm~60mm；在用冲击钻机建造槽孔时，宜大于设计墙厚 60mm~100mm。

导墙下地基加固方法，对松散土可采用振冲碎石桩，对软弱土可采用深层搅拌桩或粉喷桩，其他的方法还有水泥灌浆和高压喷射灌浆。加固深度视地质条件而定，最小不少于 5m。

5.0.3 本条规定的质量标准适合于一般的防渗墙工程，对于需吊放钢筋笼的防渗墙和地下连续墙工程，其标准应有所提高，建议采用以下标准：导墙内墙面应与防渗墙轴线平行，其允许偏差 $\pm 10\text{mm}$ ；导墙内墙面应竖直，顶面高程允许偏差 $\pm 10\text{mm}$ ，导墙内墙面间的距离允许偏差 $\pm 10\text{mm}$ 。

5.0.4 本条文对冲击式钻机轨道铺设提出的要求，是确保造孔施工质量的重要措施。

5.0.5 近年来，履带式成槽机械已广泛用于防渗墙施工，由于该类设备重量大，为了槽孔及设备的安全，故对其作业平台提出了较高的要求。

6 泥 浆

6.0.1 本条简明扼要地阐述了泥浆应具备的功能。

泥浆首先必须具有良好的物理性能，如较小的失水量，能形成稳定致密的泥皮；适当的比重，才能起到支承孔壁、稳定地层的作用。

泥浆良好的流变性能主要有以下三个方面的作用：一是有利于稳定地层；二是适当的动切力和塑性黏度之比（动塑比），有利于悬浮和携带钻渣，提高钻进效率；三是可减少钻进时槽内泥浆的压力波动，以防止泥浆的漏失和塌孔。

泥浆的稳定性是指在正常钻进时，泥浆中的分散粗颗粒不易下沉和它们不易聚结变大而沉降的性质。

条文中的“水泥污染”是由于用钻凿法钻接头孔，处理漏失地层向槽内投放水泥，浇筑时泥浆和混凝土表面接触以及向槽内散落混凝土所致。水泥污染即是钙污染。当钙离子含量达到 0.1‰时就足以使泥浆失去胶体性质，水泥污染后泥浆失水量增大，泥皮增厚且松散，黏度、动切力增加，pH 值升高，形成所谓“絮凝”。所以，应尽量避免向槽内加水泥和向槽内散落混凝土。为提高泥浆的抗水泥污染能力和处理轻度污染的泥浆，可在泥浆中加纯碱、复合磷酸盐等分散剂。

6.0.2 本条阐明了选择制浆土料的重要因素。施工条件主要包括防渗墙轴线上的工程及水文地质条件和土料的开采、采购、运输及质量等条件。本条中的成槽工艺主要是指出渣方式，如采用间断出渣（冲击钻、抓斗），宜用黏土浆；如采用连续出渣（液压铣槽机、反循环钻机），宜用膨润土浆。

膨润土泥浆性能优于黏土泥浆，如采用循环出渣、回收净化再重复使用的工艺，其耗量和成本将大幅度下降，对环境的

污染也小，因此宜优先选用膨润土制浆。

在当地无较好的黏土，而膨润土因运距等原因成本太高时，可考虑使用两种土料的混合料制浆，其配比通过试验确定。

6.0.3 膨润土是以蒙脱石为主要矿物成分的一种黏土。在进行矿物成分分析时，可以确定黏土的类型，而根据蒙脱石含量的高低，还可初步确定其造浆性能。对土样进行化学分析后，依据 $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 克分子的比值（约为 4）和 MgO 的含量，也可确定黏土的类型。另外根据蒙脱石所含的高碱性阳离子的种类和含量的分析，可把膨润土划分为钠质膨润土和钙质膨润土。

对于商品膨润土可不作矿物成分和化学成分分析，而可直接依据 SY/T5060 进行鉴定与选用。

对当地开采的膨润土，应对其矿物成分和化学成分进行分析，并采取土样制浆化验，参照上述标准判定其质量。

6.0.4 应根据本条中的标准尽量选择优质黏土拌制泥浆。因黏粒含量大于 50% 的优质黏土来源有限，故本标准修订为 45%。

6.0.6 对于商品膨润土，在鉴定其土料造浆性能时，可按 SY/T5060 标准执行即可。

对施工过程中的泥浆测试项目，只列出了最基本的三项指标。在实际工程中，可针对不同的施工阶段（成槽、清孔换浆、混凝土浇筑），成槽的不同工艺和是否吊放钢筋笼等条件，视需要增加若干指标，以满足施工的特殊需要。

6.0.7 现依据国外的资料和近年来国内应用膨润土泥浆的实践，制定了一个常用的膨润土泥浆的重要性能指标。这个指标，应根据地层情况予以修正，如漏失地层、松软地层、高承压水位地层等。上述指标中未包括反映泥浆流变性能的一些指标，如塑性黏度、动切力等，根据工程地质条件和钻探工艺的要求，也可提出标准进行检测。

本条及 6.0.8 条中涉及到两类泥浆试验仪器，这反映目前在

国内是两类仪器并存的现状：一类是符合国际上通用的 API（美国石油协会）标准的，一类是仿前苏（联）式的。例如 946/1500ml 马氏漏斗是符合 API 标准的，而 500/700ml 漏斗是仿苏式的。

6.0.8 本条文中仅列入了 1min 静切力标准，原因是国内数十道防渗墙使用的黏土泥浆试验证明，10min 静切力相对于 1min 静切力并无明显增长，这说明黏土泥浆并不具备良好的触变性能。

6.0.9 本条提出的“洁净的淡水”，指的是矿物质含量不高，清洁无泥沙，不含有机质、油质等有害物质，适于饮用的水。

6.0.10 高速搅拌机是指搅拌转速达 1200r/min 以上的搅拌机。旋流式搅拌机的送浆泵的泵叶也起搅拌作用，其转速达 1200r/min 以上，也属高速搅拌机。如用高速搅拌机拌制膨润土泥浆，新浆的溶胀时间可由普通搅拌机的 24h 减至 4h。

7 槽孔建造

7.0.2 本条为确定槽孔长度时的一般原则。“墙体平面形状”是指墙段的拐弯、分叉等具体形状，此时应根据结构要求和施工方便考虑墙段划分。“条件较好”指成槽难度相对较小和地层渗漏量较小的部位，以减少槽孔建造时间和避免渗透水流对墙壁稳定的影响和对龄期较短混凝土的溶蚀。

7.0.3 如两期槽孔同时施工并相距过近，在成槽或槽孔浇筑过程中，两槽间土体可能因坍塌或被混凝土挤穿，而造成槽孔连通的事故。

7.0.4 近年来，越来越多的先进设备应用于防渗墙工程中进行槽孔建造，但是任何先进设备均有其局限性，同一设备不可能在所有地层中都可以达到高效施工，如先进的液压铣槽机在均质砂层中挖槽效率明显高于抓斗，却不能处理地层中的孤石。所以，在地质条件复杂的地层建造防渗墙，有必要选用多种设备组合施工，以发挥各自优势。

钻劈法、钻抓法和抓取法是当前槽孔建造的常用方法。

钻劈法属于传统的槽孔建造方法，对地层适应性强，多用于砂卵石或含漂石地层中，但工效较低，其设备是冲击钻机或冲击反循环钻机。

钻抓法由钻机和抓斗配合施工，适用于多数复杂地层，总体工效高于钻劈法。钻机可以是冲击钻机、冲击反循环钻机或回转钻机等，抓斗可以是液压抓斗或机械抓斗。

抓取法为纯抓斗施工，目前国内属于较新的槽孔建造工艺，多适用于细颗粒地层，工效高于上述两种方法，但成槽精度相对稍低。施工设备可以是液压抓斗或机械抓斗。机械抓斗配以重齿也可用于复杂地基处理甚至嵌岩作业。

铣削法是用液压铣槽机铣削地层形成槽孔的一种方法，是最新的槽孔建造方法，多用于砾石以下细颗粒松散地层和软弱岩层。该法施工效率高、成槽质量好，但成本较高。

7.0.5 选定钻头直径时应考虑地层特点，既能满足墙厚要求，又不加大扩孔系数，以免造成混凝土严重超方。钻劈法的副孔长度一般为主孔直径的 1.5 倍，视地层的密实程度和墙体的厚度，可作适当调整。

7.0.6 钻抓法施工时，在槽孔的两端必须钻凿主孔，其目的主要是保证墙段连接质量。槽孔中间可根据地层情况决定是否再钻凿主孔，其目的是为抓斗导向，便于切割土体。

7.0.7 抓取法和铣削法施工时，副孔长度小于抓斗开度，并为其开度的 $1/2 \sim 2/3$ ，是为了使抓斗施工副孔时，便于切割土体，并可保证槽孔的连通。

7.0.8 本条的规定是为了保持槽内足够的泥浆静压力，以维持孔壁的稳定。

7.0.9 由于近年来引进了先进防渗墙施工设备，开发了先进施工工艺，重凿冲砸硬岩和钻孔预爆均在实际施工中处理孤石和硬岩地层时取得了良好效果。重凿重量可达 $8t \sim 10t$ ，可以用履带式吊车驱动，效果明显优于传统的冲击钻头；钻孔预爆是在槽孔开挖前进行，其钻孔设备可采用岩芯钻或各类快速跟管钻机。

7.0.10 对已知的漏失地层，在开挖槽孔以前，应备足堵漏材料如黏土球、水泥、锯末等，也可采用预灌浓浆的方法先行处理。

7.0.11 清除槽孔周围的各种废弃物，是为了避免其进入槽孔污染泥浆，影响孔壁稳定或浇筑质量。

7.0.14 槽孔建造是防渗墙施工的关键工序，如质量不合格即进行清孔换浆，修孔处理又会影响固壁泥浆质量，以后需再次清孔换浆，造成浪费。

终孔质量检查中的孔斜检测方法有多种：对于一般工程，

可用测量悬吊钻头或抓斗的钢绳的偏斜值并进行计算的重锤法；对于重要或对孔形有严格要求的工程，应采用超声波测井仪进行检测；成槽设备携带的测斜仪器，其测量精度经校检合格后，检测成果也可作为验收依据。

7.0.15 槽孔的孔斜率是槽孔建造质量的主要控制因素，端孔的孔斜率更是决定墙段是否可靠连接的重要因素。总体原则是要保证墙体厚度、槽段内部的连通性以及墙段连接部位的墙体厚度。

根据抓取法施工特点，并结合国内外地连墙施工经验，此处规定了其孔斜率控制在 6%~8% 范围内，比国内以前的相关规范要求稍低，具体操作时仍要遵循上述原则。

应该注意的是：不能把孔斜率确定为检验和控制槽孔建造质量的惟一标准。浅槽孔孔斜率即使较大，可能超过规范的要求，但其绝对偏差值可能较小，不会影响墙段连接质量，没有必要耗费资源进行处理；对于深度较大的槽孔（比如达到 60m 以上），接头孔的孔斜率可能并没有超出规范要求，但绝对偏差值可能超过了设计墙体厚度的 1/3，此时已不能满足墙体连接质量要求。因此，施工中对孔斜率既要严格控制，又要根据实际情况具体掌握。

7.0.16 清孔换浆方法应根据地层特点、槽孔建造工艺综合确定。泵吸法和气举法相对于传统的抽筒法更能保证清孔质量，所以加以推荐。

7.0.18 近年来，越来越多的防渗墙施工中采用膨润土泥浆固壁，不但有利于孔壁稳定，也有利于保证清孔质量。此处的膨润土清孔控制指标是根据近年来众多的工程实践提出的。

7.0.19 清孔合格后于 4h 内开浇混凝土，是完全可以做到的，对于因吊放钢筋笼等不能在 4h 内开浇混凝土的工程，为确保浇筑质量，可采用优质膨润土泥浆，以提高清孔换浆质量。并应在浇筑前重新进行检测，淤积厚度若不合格，需补充清孔或采取其他补救措施。

8 墙体材料及成墙施工

8.1 墙体材料

8.1.1 本条列出了防渗墙常用墙体材料的种类，这些墙体材料已在第3章“术语和定义”中予以定义。钢筋混凝土与普通混凝土在混凝土本身的物理性能方面无本质区别，故本规范不再单独列出。

近年来，国内墙体材料有两个发展趋势：一是在吸取国外经验的基础上，塑性混凝土等柔性墙体材料的应用越来越广泛，如三峡、小浪底等工程的围堰防渗墙以及堤防垂直防渗均大量采用塑性混凝土，取得了良好的技术经济效果。二是随着商品膨润土在墙体材料中的广泛使用，普通黏土的使用较少，有逐渐为膨润土所取代的趋势。

不同种类的墙体材料有不同的性能适用范围，其材料组成、施工方法及造价也各不相同，应根据具体用途和工程条件选择墙体材料。墙体材料各项性能指标之间的匹配应合理，否则在施工中难以兼顾各项性能要求，既造成资源浪费，也不利于工程质量评定。各种墙体材料性能的一般适用范围参见表1。

表1 防渗墙墙体材料性能的一般适用范围

	抗压强度 MPa	弹性模量 MPa	抗渗等级	渗透系数 cm/s	允许 渗透坡降
普通混凝土	15.0~35.0	22000~31500	≥W6	$\leq 4.19 \times 10^{-9}$	150~250
黏土混凝土	7.0~12.0	12000~20000	≥W4	$\leq 7.8 \times 10^{-9}$	80~150
塑性混凝土	1.0~5.0	300~2000	—	$n \times 10^{-6} \sim n \times 10^{-8}$	40~80
固化灰浆	0.3~1.0	30~200	—	$n \times 10^{-6} \sim n \times 10^{-7}$	30~60
自凝灰浆	0.1~0.5	30~150	—	$n \times 10^{-6} \sim n \times 10^{-7}$	20~50

8.1.2 良好的施工性能是指墙体材料不仅要求具有较高的流动性，而且不能发生离析和泌水。

8.1.4 每项防渗墙工程均应单独进行墙体材料配合比试验，不得盲目套用其他工程数据。

8.2 混凝土配合比及拌和物性能

在总结国内外的研究成果和施工经验的基础上，并依据国家及行业规范，本节对黏土混凝土和塑性混凝土配合比的重要参数提出了相应的建议，增加了相关内容。

8.2.1 本条是关于确定混凝土施工配制强度的建议性条文。众所周知，混凝土施工配制强度的计算，有均方差（ σ ）法和离差系数（ C_V ）法两种方法，而近年来，国内多数规范采用了均方差法，其原因是：在强度等级大于 20MPa 时，在同等质量控制水平下， σ 的变化很小，用均方差法反而更方便，所以对防渗墙用普通混凝土采用水工混凝土的规定是合适的。

本规范之所以对黏土混凝土和塑性混凝土推荐采用离差系数法，是基于以下几个原因：一是这两类防渗墙用的混凝土抗压强度均很低，黏土混凝土一般在 10MPa 左右，塑性混凝土一般为 2MPa~5MPa，现有的相关规范不适用；其次，这两类混凝土内所掺加的黏土和膨润土为天然矿物的制成品，造成混凝土强度的离散性较大；再者，用 C_V 值可以较直观地判断离散性的大小。

在规范的编写过程中，依据有关单位和专家的研究成果和建议，并对国内 26 道不同墙体材料防渗墙的统计资料进行分析后，参照有关规范，提出适用于黏土混凝土和塑性混凝土配制强度计算的离差系数法和施工匀质性的评定标准。

防渗墙混凝土是用直升导管法在泥浆下浇筑的，据国内外资料，其强度比同等级地面浇筑的混凝土强度有不同程度的降低，仅为后者的 70%~90%。所以考虑到泥浆下浇筑条件对实际强度

的不利影响，设计施工配合比时应相应提高混凝土的强度等级。参照国内外经验，建议对普通混凝土可提高一个强度等级；对黏土混凝土和塑性混凝土，因其强度较低，建议提高 10%~20%。

8.2.2 本条是关于混凝土墙体材料施工性能的具体要求。实践证明，入槽坍落度低于 180mm 浇筑将很困难，因此实际坍落度应以槽孔口测量数据为准。入槽坍落度保持 150mm 以上的时间不小于 1h，对于孔内混凝土的均匀扩散很重要，所以必须同时提出。初凝时间过短会给混凝土浇筑施工和接头孔拔管施工造成困难，终凝时间过长会影响施工进度。混凝土的密度过小不利于混凝土充分置换孔内泥浆，所以应予适当限制。当采用钻凿法施工接头孔时，一期墙段混凝土的 7d 强度不宜大于 10MPa。

8.2.3 采用天然骨料和中、粗砂有利于提高混凝土的和易性。粗骨料粒径过大不利于提高墙体材料的施工性能和抗渗性能，有条件时应尽量采用一级配混凝土。国外地下连续墙混凝土的最大骨料粒径一般限制在 32mm 以下。

8.2.4 普通混凝土是刚性墙体材料，主要用于对强度和抗渗性能要求较高的地下连续墙工程。胶凝材料的用量、水灰比是决定混凝土强度、抗渗性和耐久性的主要因素，故参照国内外的有关规范和施工经验，并考虑水下浇筑的不利因素，本条提出了其配合比参数的控制下限。

8.2.5 黏土混凝土在 20 世纪 90 年代以前，是我国建造防渗墙使用最多的墙体材料。黏土混凝土的变形模量仍然大大高于地基，仍属刚性墙体材料，不可与塑性混凝土相混淆。黏土混凝土中的黏土也可用膨润土替代，但其掺量较低，一般为水泥和膨润土总量的 10% 左右。

黏土混凝土中黏土的掺加率一般为水泥和黏土总重量的 20% 左右。对黏土混凝土的强度要求不高，一般为 7.5MPa~12.0MPa，但抗渗等级较高 (>W6)，故对水胶比、黏土掺量和最低胶凝材料用量须有一定的限制。由于黏土的吸水量较大，黏土混凝

土的水胶比上限可略高于普通混凝土，但不宜大于 0.65。由于黏土具有一定的保水作用，且含有部分砂粒，故黏土混凝土的砂率下限小于普通混凝土，为 36%。

8.2.6 塑性混凝土是一种水泥用量较少，并掺加膨润土、黏土的塑性墙体材料。它的变形模量接近地基的变形模量，在外荷作用下能适应地基的变形，从而大大改善了墙体的应力状态，在强度较低的情况下，墙体也不会开裂。

20 世纪 70 年代以来，国外对塑性混凝土做了大量的试验研究工作。我国从 20 世纪 80 年代中期开始研究和应用塑性混凝土防渗墙。自 1982 年第 14 届国际大坝会议以来的历届国际大坝会议均对塑性混凝土防渗墙进行了讨论，对防渗墙塑性混凝土应具有的特性取得如下共识：

1 弹性模量为地基弹性模量的 1~5 倍，一般不大于 2000MPa，极限变形可达 1%~5%；

2 28d 的抗压强度一般为 1.0MPa~5.0MPa，弹强比一般为 150~500；

3 渗透系数的变化范围一般在 $n \times 10^{-6} \text{cm/s} \sim n \times 10^{-8} \text{cm/s}$ ；

4 渗透破坏坡降至少可达 200~300。

总体来看，国外塑性混凝土的水泥用量和水胶比与国内有所不同，故其物理力学性能指标也略有差异（参见表 2）。在总结国内外经验的基础上，本规范对其配合比参数提出了控制范围。如进一步研究国外的设计和施工经验，其配合比仍有优化的可能。

表 2 国内外塑性混凝土配合比和性能指标对照表

项目	水泥用量 kg/m ³			水胶比			渗透系数 cm/s	抗压强度 MPa
	最高	最低	平均	最高	最低	平均		
国外	195	47	97.9	1.97	1.23	1.74	$n \times 10^{-6} \sim n \times 10^{-7}$	1~2
国内	210	80	143.1	1.30	0.78	0.99	$n \times 10^{-7} \sim n \times 10^{-9}$	2~5

8.3 混凝土浇筑

8.3.2 “最大计划浇筑强度”是指最长槽孔在浇筑过程中能满足混凝土面计划上升速度的混凝土浇筑强度。

8.3.3 防渗墙混凝土需在泥浆下用导管浇筑，单个槽孔必须一次连续浇完，不得中断时间过长。否则孔内混凝土的流动性将大幅度下降，不但造成浇筑困难，容易发生堵管事故，而且对成墙质量会产生不利影响，故有必要对浇筑中断时间作出明确规定。

8.3.4 混凝土浇筑导管的直径过小容易发生堵管事故，甚至引发严重的质量事故，故在选择导管直径时应注意它与最大骨料粒径的匹配关系，国内外某些同类规范规定导管直径不小于最大骨料粒径的 6 倍，故建议浇筑二级配混凝土采用直径 240mm 以上的导管，直径 150mm 的导管一般只适用于浇筑薄型混凝土防渗墙。

8.3.5 参照国外同类标准并结合实际工程经验，对导管平面布置的规定做了修改，放宽了限制，原因是只要混凝土的施工性能和导管埋深满足要求，导管布置在本条建议的范围内，浇筑质量是能够保证的，限制过严不利于导管的布置。在采取导管间距上限值 5.0m 时，应注意此时的导管埋深不宜小于 2m。

8.3.6 本条规定了导管的结构和开浇时导管底部至孔底距离。此距离小于 150mm，不利于导管内泥浆排出，易发生塞管事故；超过 250mm，在混凝土供应不上时，会造成返浆、混浆事故。实际操作方法是：先将导管放至槽底，然后向上提升 150mm～250mm，将导管安放在槽口的井架上。

8.3.7 使用能被泥浆浮起的隔离塞球，可有效地隔离管内的泥浆与混凝土，防止混浆和堵管事故。开浇时先注入少量砂浆，主要目的也是防止堵管事故。如果用和易性好的一级配混凝土，也可不采取这一措施，故将此条改为建议性条文。

8.3.8 导管最小埋深 1m 是下限，正常情况下以大于 2m 为宜。建议导管最大埋深为 6m，在混凝土面上升较快时，可适当加大，但不宜超过 8m。

一般说来，提高混凝土面上升速度有利于保证混凝土浇筑质量，国外有的规范规定为不小于 3m/h，虽然国内不少工程已达到或超过这个标准，考虑当前施工水平参差不齐的情况，仍规定为不小于 2m/h。在病险坝体内建造防渗墙，为防止混凝土的侧压力对坝体产生劈裂破坏，混凝土面上升速度可低于 2m/h。

按规定准确测量混凝土面深度，可预防或及时发现浇筑事故。

当导管直径过小或进料过猛时，混凝土会将空气压入导管，部分空气甚至会被压入混凝土内，并向泥浆中喷出，对混凝土的质量有较大的危害。

8.3.9 本条规定的目的是为了保证墙顶混凝土的质量，因为顶面附近的混凝土在浇筑过程中长时间与泥浆接触，质量较差，且存在混浆层，故应当舍去。

8.4 固化灰浆施工

8.4.1 本条是关于固化灰浆墙体材料配合比及性能的规定。固化灰浆以固壁泥浆为基本浆材，对它的要求是密度尽可能高一些，而黏度不宜太高或太低，这样形成的灰浆固结体较均匀，具有较高的强度和抗渗性能。参照国内外的工程实例，确定了水泥用量不少于 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 这个指标。

8.4.2 提高水泥砂浆的密度是为了减少固化灰浆的含水量，以提高其密实性和抗渗性能。

8.4.3 当设计要求的密度在 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以下时，宜采用气拌法；当设计要求的密度大于 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 时，宜采用机械搅拌法。

8.4.4 当采用气拌法施工时，空气压力须克服槽内浆柱压力和管路阻力才能将压缩空气送入槽底，并使泥浆搅动。根据施工

经验，供气额定压力不小于孔内最大浆柱压力的 1.5 倍才能正常施工。风管底部结构及下管深度的规定是避免槽底局部漏拌的重要措施。

气拌法的加料时间不宜过长，一般应在 2h 内结束，否则浆液的流动性下降并使初期胶凝结构破坏，不利于成墙质量。加料过程中突然停风会使浆液的流动性大幅度降低，难以重新启动。

8.4.5 本条规定是为了避免墙顶脱水干裂。

8.5 自凝灰浆施工

8.5.1 本条是对自凝灰浆浆液配合比的原则规定。

1 水泥用量如低于 $100\text{kg}/\text{m}^3$ ，自凝灰浆将难以凝固。如水泥用量大于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，其流动性的减弱和凝结时间的缩短，均不利于成槽施工。

2 为了保证成槽过程中浆液有较长时间的流动性，拌制自凝灰浆可加入缓凝剂。但如果成槽速度很快，或在气温较低的情况下施工，也可不掺加缓凝剂。

3 用粉煤灰、磨细的高炉矿渣替代部分水泥，可延长浆液的初凝时间，并改善其凝结体的性能。

8.5.2 制取自凝灰浆原浆如采用将所有原材料一次搅拌的“一步法”，由于膨润土未充分水化，制得的浆液易离析，泌水率高。采用高速搅拌机制浆，不仅灰浆泌水率低，也可提高凝结体的强度和抗渗性能。

8.5.3 建造防渗墙槽孔的方法，按泥浆的功用和排渣的方式可分为循环法和非循环法。前者泥浆有携带钻渣的功能，用泥浆泵连续排渣；后者泥浆无此功能，钻渣用斗体间断由槽内挖出。因自凝灰浆密度高，会凝结，所以只能采用非循环法，且最适用的施工设备是间断出渣的抓斗和反铲。抓斗开挖深度可达 50m，而反铲最大开挖深度不大于 12m。

8.5.4 本条中所谓的“连续成槽法”是指防渗墙分期施工，而两期之间不待凝，连续成槽和成墙的一种方法。这种方法适用于墙体深度小、土质松软的地层。而“间断成槽法”是指在相邻一期槽孔建造完成后，自凝灰浆终凝后再开挖二期槽孔的一种方法，这种方法适用于挖槽时间较长的地层，其缺点是需挖除两期槽孔搭接段灰浆，浆液损耗较大。

在工程开工前，应对灰浆的凝固特性进行试验，并以初凝时间确定槽孔的最长开挖时间。

8.5.6 本条规定是为了避免墙顶脱水干裂。

8.6 质量控制与检查

8.6.1 本条规定了检查混凝土施工性能的频次。开浇是混凝土浇筑事故多发时段，首盘或首车混凝土必须检查。由于混凝土的和易性在运输过程中容易发生变化，所以应以在浇筑现场取样检查为主。

8.6.2 本条规定了对混凝土性能指标检查的内容、方法和频次。

1 防渗墙混凝土的质量检查与一般水工混凝土的质量检查除强度指标外，必须检查抗渗指标，而对弹性模量不作硬性规定。因防渗工程的特殊性，对龄期的规定以 28d 为宜，在采用其他龄期性能指标时可另行规定。

2 塑性混凝土和灰浆分别属于塑性材料和柔性材料，其允许渗透坡降较小，用常规混凝土的检测方法检测其抗渗标号既得不到具体结果，从其防渗机理来讲也是不必要的，故只规定检查其渗透系数和允许渗透坡降。检查时，应注意用较低的试验压力。

3 防渗墙以墙段为单元工程，故每个墙段不论体积多少，至少成型一组抗压强度试件。由于抗渗性能与抗压强度密切相关，其成型和测试工作又较为复杂，故其检查频次较少。因防渗墙设计计算理论方面的原因，弹性模量指标与强度指标往往

是矛盾的，难以同时满足要求，故只要求取得少量的检测数据作参考。

5 因为固化灰浆（原位搅拌法）和自凝灰浆的最终墙体材料构成是在槽孔内形成的，所以只能在槽内取样。在槽孔较深时，为了判断其均匀性，可在各个槽孔内不同部位取样。灰浆成型尚无相关规范，现在一般采用砂浆试模和土工试模。

8.6.3 本条规定了防渗墙混凝土质量评定的方法和标准。

1 在工程规模较大和跨年度施工的工程，也可不按整个工程，而是分批（每批试件不少于 30 组）进行统计评定。如试件取样较少，可参考 GBJ107 规定采用非统计方法评定。

2 抗渗指标是防渗墙的主要性能指标，应单独评定。由于抗渗指标检测数据较少且变化范围较大，同一工程试件的渗透系数最大值与最小值可相差几十倍，故规定只计算抗渗性能指标合格试件的百分率 P_s ，其计算公式为 $P_s = n_0 / n \times 100\%$ ，式中 n 为试件总数， n_0 为合格试件数。

4 对黏土混凝土和塑性混凝土的强度检验与评定，现有的规范均不适用，所以另行作出规定。

8.6.4 固化灰浆和自凝灰浆类墙体材料的质量受地层条件和施工过程影响较大，性能指标的离散性很大，加之此类材料工程实例较少，现在尚难以对质量评定作出统一的规定，只能依据已建成工程的经验，提出以下建议：

1 质量评定主要应对抗渗性能指标作出规定，强度指标可不作规定；

2 对性能指标仅计算其不低于设计指标值的百分率并加以评定，而不对其匀质性进行评定。

9 墙 段 连 接

9.0.2 按墙段接缝处承受外荷载的方式，墙段连接可分为柔性和刚性两大类，用于支护结构的地下连续墙多采用刚性接头，以承受剪力。而防渗墙工程一般采用柔性接头，本规范涉及的几种方法均为柔性接头。

近年来由于施工机械的多样化，墙段连接方式有了新的的发展。切（铣）削法是利用抓斗或液压铣切削或铣削一定宽度的一期混凝土而形成平面或锯齿状的接头。切削法适用于抗压强度较低的塑性混凝土或固化灰浆。

切（铣）削法曾在小浪底左岸段防渗墙施工中采用，具体方法是：在防渗墙施工前先开挖横向接头孔，浇筑塑性混凝土后再开挖一、二期槽孔，两期槽孔的混凝土平接，位于槽孔中的塑性混凝土被切削后，上、下游各有一定厚度的塑性混凝土塞保护接缝，减少渗漏。这种方法可解决套打高强混凝土接头孔困难的问题。

用接头管（板）下设止水带，是国外常用的一种墙段连接方式。这种接头，在墙段连接处为榫形结构，两期墙段之间又嵌有 PVC 或橡胶止水带，防渗和止水效果较佳。我国承建的越南拜尚堰防渗墙中采用了这种墙段连接方式，取得了成功。该类接头方式适用深度有一定限制，一般不超过 30m。

9.0.3 本条说明如下：

1 接头管（板）法是在国内外使用最多的一种墙段连接方法。该方法是在建造完成的一期槽孔混凝土浇筑前，在其端孔处下入钢制的接头管（板），待混凝土初凝后，用专用机械将管（板）拔出后，在两期槽孔之间形成一定形状的曲面接头。

2 根据多个工程的经验，正常情况下接头管的起拔阻力为

$0.3\text{t/m}^2 \sim 0.5\text{t/m}^2$ ，可根据此参数确定起拔阻力，安全系数可选取2~3。

4 接头管吊放时可能偏斜，过大偏斜会大大增加起拔阻力，且不能保证接头孔的质量。

5 在浇筑过程中微动接头管（板），是为了有效地破坏黏着力，减小摩阻力，使拔管阻力大幅度下降，从而大幅度增加接头管成孔深度。

6 正确确定开始拔接头管（板）的时间，是该工法成败的关键，过早不能成孔，过晚可能造成铸管（板）事故。按国内外的施工经验，接头管（板）开始起拔应在混凝土初凝之前进行，普通混凝土一般控制在贯入阻力在 $0.3\text{MPa} \sim 3.5\text{MPa}$ 之间进行。对某一具体工程，除了依据混凝土初凝时间之外，还要考虑气温、混凝土配比、混凝土面上升速度、接头管埋深等因素，通过试验来确定开始拔管（板）的时间。

7 如不能及时用泥浆充填接头孔，往往会导致强度很低的混凝土坍塌，接头孔周围的覆盖层也可能在地下水的作用下坍入孔内。

8 在拔管（板）施工中，做好混凝土浇筑和拔管（板）的记录，才能严密地控制拔管（板）时间和整个拔管（板）过程，避免发生事故。

9.0.4 钻凿法是一种我国最早并广泛采用的墙段连接方法，即采用冲击式钻机在已浇筑的一期槽两端主孔中套打一钻，重新钻凿成孔，在墙段间形成半圆形接缝连接的一种方法，它适用于低强度（ $<20\text{MPa}$ ）的墙体材料。

1 过早钻凿接头孔，会对已浇的混凝土造成损害；

2 本条规定是防止墙体开叉或达不到设计最小墙厚，其标准参见 7.0.15 条。

9.0.5 本条是墙段连接采用双反弧桩柱法施工的基本规定。其施工方法是：先行建造并浇筑一期槽或圆桩，相邻一期槽孔（桩）

之间的双反弧桩孔用特制的双反弧钻头钻凿，最后清除桩孔两端反弧上的泥皮及地层残留物，清孔换浆，浇筑混凝土，从而形成连续的墙体。该方法在国外多用于墙体深度 60m 的地下连续墙，如加拿大的马尼克—3 号主坝防渗墙最大墙深 131m，墙深超过 52m 的墙段采用的就是双反弧桩柱法。在国内，已有多个工程成功运用这一墙段连接方法，如三峡一、二期围堰等。四川冶勒水电站防渗墙试验工程，双反弧桩孔深度达 100m。

1 有关规范规定弧顶间距为墙厚的 1.1 倍~1.5 倍，经近年来的实践证明，原规定偏大，会引起钻头在冲击过程中摆动失稳，施工效率降低，故本次定为 0.8 倍~1.0 倍。

2 防止双反弧钻头扭转的有效措施是选择冲击反循环钻机，其钻头由两根左、右旋的钢丝绳悬吊。

3 可采用液压可张式双反弧钻具清除泥皮及地层残留物。

9.0.6 严格遵守本条的几项规定，可防止墙体开叉，保证墙段连接质量。

10 钢筋笼及预埋件

10.1 钢筋笼

10.1.1 钢筋笼的结构尺寸不仅要根据墙体应力应变计算的结果，还应充分考虑到防渗墙施工工艺，方便施工，确保墙体的整体质量，从而使钢筋笼真正发挥作用。从以下五个方面作了规定：

1 钢筋笼的外形尺寸指的是其长、宽、高的尺寸，也包括其横断面的形状（矩形或两端为正反弧形）、笼的分节数量。因起重能力限制，每个槽段也可并列下设2~3个钢筋笼。

2 考虑到槽孔和钢筋笼的施工精度，便于钢筋笼吊放，同时又考虑到浇筑时混凝土易于流动和扩散，对钢筋笼这一外形尺寸作了明确的规定。

3 钢筋笼外应有足够厚度的保护层，除了为防止钢筋被侵蚀，也是为了留有足够的流散净宽，以有利于混凝土扩散，保证浇筑质量。

4 合理的钢筋间距可保证混凝土顺利扩散。对在泥浆下浇筑的钢筋混凝土结构（桩、墙等），国内规范多数没有明确地规定钢筋间距，所以参考日本、英国、德国的规范或资料，并结合若干工程实例，提出了相关规定。对于泥浆质量、混凝土质量相对较好，浇筑速度较高的工程，垂直钢筋的净间距可以适当缩小，但不宜小于骨料直径的3倍。

5 这个规定的目的是为了顺利地地下设和起拔混凝土导管，也有利于混凝土的扩散。

10.1.2 提出了决定钢筋笼分节长度的几个主要因素，总的要求是分节数量越少越好。

10.1.3 钢筋笼在堆放、装卸运输、起吊过程中，如发生变形，将给吊放安装钢筋笼带来困难。一般可采取的措施有：

- 1 加工时，视需要增设架立钢筋、斜拉补强钢筋；
- 2 堆放时，安装钢筋组装框架；
- 3 装卸和起吊时，使用型钢起吊架。

10.1.4 微闭合形状的底部钢筋可在钢筋笼吊放过程中起导向作用。钢筋笼下端距槽底一般不小于 300mm，是为保证钢筋笼吊放就位后呈悬挂状态，也是保证保护层厚度的措施之一。定位垫块可用钢板或砂浆制作，其厚度比设计保护层厚度小 20mm~30mm，垫块在垂直方向间距以 5m 左右为宜，水平方向每层不少于两块。

10.1.5 预拼装有利于提高钢筋笼的加工精度，减少槽口对接难度，但这种方法对场地及制作平台要求较高。

钢筋笼上下节主筋的连接过去多采用电弧焊接法，包括搭接焊、帮条焊等。自 20 世纪 80 年代末，钢筋机械连接技术在我国迅速发展，开发研究出多种型式的机械连接接头方法，可用于钢筋笼上下节的连接方法主要有径向挤压套筒接头、锥螺纹套筒接头和镦粗直螺纹套筒接头等。机械连接方法在连接可靠性和施工效率等方面，均优于电弧焊接法，故建议优先选用前者。

10.1.6 “两点法”是指用主辅两吊机或双钩（主、副钩）在钢筋笼上部和中部同时起吊，然后在空中将钢筋笼翻转成垂直状的方法，它适用于尺寸大、重量大的钢筋笼，可减小其变形。

10.2 预埋管或预留孔

10.2.1 墙下基岩灌浆或墙体变位测斜管等仪器埋设，均在防渗墙浇筑混凝土后进行，如在墙上钻孔，费时费力，且不易保证质量，所以一般采用预埋管或管模成孔。

10.2.3 经验证明，在预埋管和拔管管模不用定位架或钢筋笼定

位时，只有按本条的规定布置预埋管和预留孔的孔位，才有可能保证成孔质量。

10.2.4 为防止预埋管在混凝土扩散推力下移位而影响成孔质量，管底和上端的固定尤为重要。管底的固定可采取加防滑定位盘等措施，上端应与导墙牢固连接。三峡二期围堰防渗墙创造的定位架预埋钢管法，灌浆预埋管成功率达 96.5%，为深防渗墙下灌浆埋管提供了成功的经验。

10.2.5 管模下放到孔内后，应距离孔底 2m~3m 成悬吊状态，待混凝土开浇后插入其中，以固定下端。拔管时间应根据混凝土初凝时间来控制，早期以少拔、勤拔为原则。

10.3 仪 器 埋 设

10.3.1 从理论上讲，两导管间的中心距离在混凝土浇筑过程中受到的两侧推力是均等的，可防止仪器移位和损坏。

10.3.2 在仪器埋设过程中，从槽口掉入异物是易发事故，必须注意防止。

11 特殊情况处理

11.0.1 本条为混凝土防渗墙槽孔建造过程中发生的特殊情况应采取的解决办法，是经过多个工程实践摸索出的较有效、较实际可行的处理措施。

11.0.2 本条针对严重漏失地层提出了处理方法。首先应迅速补浆，且相继将堵漏材料、防漏剂直接投入槽孔内，也可用导管或灌浆管把堵漏浆体送至漏浆部位。如效果不明显，为防意外事故发生，确有必要时，可将槽孔用适当的材料进行回填，然后重新进行造孔。

11.0.3 本条明确规定了在进行混凝土浇筑过程中，由于导管堵塞、拔脱或导管破裂进浆，无法继续施工时，必须采取的行之有效的处理办法。

文中所述的安全插入深度，指重新下设的导管底口插入实测混凝土面以下的深度，一般不应低于 1.0m，以确保继续浇筑时不混浆。

11.0.4 在防渗墙和地下连续墙施工中，在混凝土浇筑过程中，笼体上浮事故时有发生。引起钢筋笼上浮的原因，一是清孔换浆质量不好，泥浆中的沉渣或砂粒裹住钢筋，增大了混凝土与钢筋间的摩擦力，混凝土上升的浮托力将钢筋笼托升。二是先浇入的混凝土出现假凝或初凝现象，在其上升面的顶部形成一个与钢筋笼连成一体的“硬盖”，后浇入的混凝土将钢筋笼顶升。对于前者，只要注意清孔换浆质量即可避免，后者事前要从混凝土配比、浇筑强度等几个方面来解决。上浮事故发生后，降低导管理深是有效的方法。

11.0.6 本条提出了墙段连接使用接头管（板）法，较易发生的事故类型及处理方法。近年来，随着混凝土防渗墙施工技术的

发展，防渗墙墙段连接采用接头管（板），已在许多工程中使用，并积累了较为丰富的经验。本条所列的处理方法效果较好，且能保证防渗墙质量。

11.0.8 本条提出了混凝土浇筑质量事故可选用的处理方法。在采取本条 2、3 款建议的方法时，应注意新墙、灌浆和高压喷射灌浆与原墙的连接紧密而良好。当采用补贴一段新墙时，其与原墙质量好的部位搭接的长度，最少应满足“钻凿法”套接接头的平圆弧的长度。3 款的方法适用于地层可灌性较好的情况。4 款的方法适用于墙体混凝土有内部夹泥的情况。

12 质量检查和竣工资料

12.0.2 对防渗墙工程的质量检查，可分为工序质量检查和墙体质量检查。工序质量检查在施工过程中进行，墙体质量检查在成墙后抽查。

12.0.3 接头管（板）下设的垂直度、深度和位置对墙段连接的质量影响较大，所以列入了工序质量检查的内容中。

12.0.10 对墙体质量检查时间的规定，是为了更正确地反映墙体质量，如工程由于特殊原因需提前进行检查时，对取芯率等指标不宜提出过高要求。对于塑性混凝土，由于其强度很低，取芯率高低不应作为评判质量的标准。无损检测如超声波法和弹性波透射层析成像法（简称 CT 法）等，可用于墙体质量检测，但由于物探的局限性，其检测结果只能作为对墙体综合评价的依据之一。

对防渗墙墙体取芯后进行物理力学性能试验所得到的成果，以及钻孔注水试验的成果，是评价墙体质量的重要依据，但应注意，其指标一般低于槽口取样的试验成果，这是正常现象。

确定检查孔数量的原则：既要全面反映墙体的质量情况，又要考虑在墙体上钻孔过多而对其产生不利影响。根据经验，在防渗墙轴线上每 100m 左右布置一个检查孔的比例较为适中，考虑到防渗墙的槽长一般为 6m~8m，为便于操作，故以槽孔数量来确定检查孔的数量。遇有特殊要求时，可酌情增减。

12.0.13 竣工资料中包括“墙内观测仪器埋设和初期观测资料”方面的内容，其原因是在埋有仪器的防渗墙，这些资料不仅能更全面地评价工程质量，也是为了在长期运行过程中能取得可靠的观测数据。

“工程大事记”主要记录施工过程中有关批示和批文、重要会议、设计重大变化、施工期度汛抢险及其他重要事件等，作为附件可单独成册。
