

1 主题内容与适用范围

本标准对设计和应用围包体中粉尘爆炸泄压技术和装置,作了指导性规定。

本标准适用于围包体粉尘爆燃的泄压。

本标准不适用于粉尘爆轰,也不适用于由于外部火焰或暴露于其他火源中而产生过大内压的围包体泄压。

本标准不适用于有毒物质和有腐蚀性粉尘及火、炸药粉尘。

本标准不适用于为防护失控放热过程的安全阀。

本标准不适用于如绝缘油变压器这种设备的泄压或民用压力罐。

2 引用标准

GB 15577—1995 粉尘防爆安全规程

GB/T 15604—1995 粉尘防爆术语

ISO 6184-1—1985 爆炸防护系统——第1部分:空气中可燃粉尘爆炸指数的确定

3 术语、单位制

3.1 单位制

本标准采用 SI 单位制,压力单位除特殊标明绝对压力外,一律为表压。

3.2 术语

3.2.1 可燃粉尘云(粉尘云) combustible dust cloud;可爆混合物 explosible dust and air mixture
可燃粉尘与空气混合形成可爆的气固混合物。

3.2.2 化学计量混合物 stoichiometric mixture

可燃粉尘与氧化剂的混合物,其氧化剂浓度按化学反应式计算刚够完全氧化可燃物质。

3.2.3 燃烧速度 burning velocity

可燃混合物燃烧时,其火焰前沿阵面在垂直于该前沿阵面方向上在未燃混合物中移动的速度。

3.2.4 围包体 enclosure

围包可燃粉尘的物体,它可以是房间、建筑物、容器、设备、管道等。

3.2.5 泄爆压力 reduced pressure, (p_{red})

在任意某一粉尘浓度的粉尘爆炸泄压时,在围包体中压力达到的最大表压值。

3.2.6 最大泄爆压力 maximum reduced pressure, ($p_{red,max}$)

在所有粉尘浓度范围泄爆时,泄爆压力的最大值。

3.2.7 泄爆压力上升速率 rate of reduced pressure rise (dp/dt) _{p_{red}}

在任意一粉尘浓度泄爆时,围包体内的最大压力上升速率。

3.2.8 最大泄爆压力上升速率 maximum rate of reduced pressure rise $(dp/dt)_{p_{red,max}}$
在所有粉尘浓度范围内泄爆时,泄爆压力上升速率的最大值。

3.2.9 开启静压 static opening pressure(p_{stat})
粉尘爆燃时,刚能使围包体上的泄爆装置开启的静压。

3.2.10 泄爆装置 explosion venting equipment
安装在围包体上实现泄爆的装置。

3.2.11 爆破片 bursting disks, bursting panels
是一种泄爆装置,它在一定的开启压力下破裂或打开,并且使泄爆口永远开启。

3.2.12 泄爆门 venting doors; explosion doors
是一种泄爆装置,它在一定的开启压力下打开,在泄爆后可再关闭泄爆口。

3.2.13 泄爆效率 venting efficiency
在相同容积围包体内,在同样开启压力下泄爆,且达到同样大泄爆压力,所需爆破片的面积与该泄爆装置泄压面积之比值,称为该泄爆装置的泄爆效率。

3.2.14 泄爆管 vent duct
将爆炸的压力波与火焰等从围包体内泄出建筑物外的导管。

3.2.15 水力直径 hydraulic diameter
如果管道、通道或长容器的横截面不是圆形时,则可用水力直径来计算长径比。

$$D_{水}=4A/P \dots\dots\dots (1)$$

式中: $D_{水}$ ——水力直径 m;
 A ——截面面积, m^2 ;
 P ——该截面的周长, m。

3.2.16 泄爆口外最大火焰长度 maximum reach of flame(L_F)
泄爆时从泄爆口喷出火焰长度最大值。

3.2.17 泄爆口外爆炸压力 external peak pressure of explosion outside the venting opening(p_r)
距泄爆口为 r 的爆炸火焰尖端压力。

3.2.18 泄爆口外最大爆炸压力 maximum external peak pressure($p_{max,a}$)
从泄爆口喷出火焰尖端压力的最大值。

3.2.19 粉尘爆炸等级 dust explosion classes
按爆炸指数 K_{max} 值将粉尘爆炸猛烈程度分为三级,见表 1。

表 1 MPa · (m/s)

粉尘爆炸等级	爆炸指数 K_{max}
St1 级	$>0\sim20.0$
St2 级	$>20.0\sim30.0$
St3 级	>30.0

3.2.20 反坐力 recoil force(F_r)
泄爆时,与泄爆流动方向相反的围包体内的墙或构件所受到的泄出流体的反作用力。

3.2.21 最大反坐力 maximum reccoil force($F_{r,max}$)
发生最大泄爆压力时泄出流体给予的最大反坐力。

3.2.22 围包体强度 enclosure strength
围包体最弱部分能承受的最大内压。

4 泄爆设计指南

4.1 在进行泄爆设计之前,应按本标准的适用范围复审,以免盲目采用泄爆技术。

4.2 围包体的强度与设计

4.2.1 抗压设计要求设备能承受最大爆炸压力而不产生非弹性变形和破裂损坏。此类设备完全按照压力容器设计规范和标准设计、检验和数据标志。如果空气加压使压力增大为大气压的几倍,则最大爆炸压力亦增,此设备强度亦应相应增大。

4.2.2 抗冲击设计,是指设备内发生爆炸时,允许设备有一些永久非弹性变形,但不至于破裂。

4.2.3 抗压设计和抗冲击设计的主要区别在于:同一种材料的允许应力的取值抗压设计比抗冲击设计低,所取允许应力不应大于三分之二屈服强度极限的数值。低强度围包体泄爆,围包体耐压强度至少应超过 $2p_{stat}$ 。

4.2.4 初始压力高出大气压不超过 0.02MPa 时,可按大气压处理,大于上述值时,其最大爆炸压力与初始压力(绝对压力)大致成正比,但如果是充惰性气体增压,则最大爆炸压力随容器内压力的增加而减小,设计时取大气压下的最大爆炸压力。

4.2.5 如果泄爆面积不可能开得太大以满足要求,则应提高围包体的强度以减小所需泄爆面积。

4.3 泄爆面积计算方法的选择

4.3.1 根据围包体的强度选择高强度围包体泄压面积算法(见第 5、6、7 章)或低强度围包体泄压面积算法(见第 8 章)。

4.3.2 如已知粉尘的爆炸指数 K_{max} ,则可采用爆炸指数诺谟图法(见 5.2.1),如不知 K_{max} 或欲采用更大的安全系数时可用粉尘爆炸等级诺谟图法(见 5.2.2)。

4.4 围包体的支撑结构必须牢固,以承受反坐力。

4.4.1 反坐力可按式(2)计算:

$$F_{r,max} = \alpha \cdot A \cdot p_{red,max} \dots\dots\dots (2)$$

式中: $F_{r,max}$ ——最大后坐力,kN;

α ——动力系数,通常取 1190;

A ——泄爆面积,m²;

$p_{red,max}$ ——最大泄爆压力,MPa。

4.4.2 经过专业防爆设计研究单位研究后,实际反坐力 F_R (kN)计算可采用式(3):

$$F_R = b \cdot 1190 \cdot A \cdot p_{red,max} \dots\dots\dots (3)$$

式中: b ——负载因子,考虑到反坐力随时间变化的影响,而加以修正的系数,通常取 $b=0.52$ 加上安全系数 50%,即 $b=0.78$ 。

4.4.3 泄爆口应尽可能同样大小均匀和对称布置,以尽量消除反坐力。

4.5 泄爆装置选择和安装设计

4.5.1 对于建筑物没有保温、保湿特殊要求时,以无覆盖物的敞口泄压效率最高、最经济,百叶窗次之。如果密闭与开启压力要求严格、操作压力高、泄爆频率不大,一般以采用爆破片为宜,否则采用泄爆门。

4.5.2 一个泄爆门的活动的部分的总质量(包括隔热材料和固定安装的硬件)应尽可能轻,一般不应超过 10kg/m²,但应避免外面风力吸开。

4.5.3 侧面泄压时尽可能不采用易碎材料如矿物水泥板或玻璃,否则应设置挡板以减小伤害力。

4.5.4 泄爆门的门必须设计和安装成可以自由转动,不受其他障碍物的影响。

4.5.5 泄爆口必须设置栏杆,以免人落入。

4.5.6 要避免积雪结冰改变泄爆门的开启压力。

4.5.7 泄爆口的位置应靠近可能产生引爆源的地方;应尽量在围包体顶部或上部开设,不得泄向易燃易爆危险场所,以免点燃其他可燃物;不得泄向公共场所以免泄爆伤人。

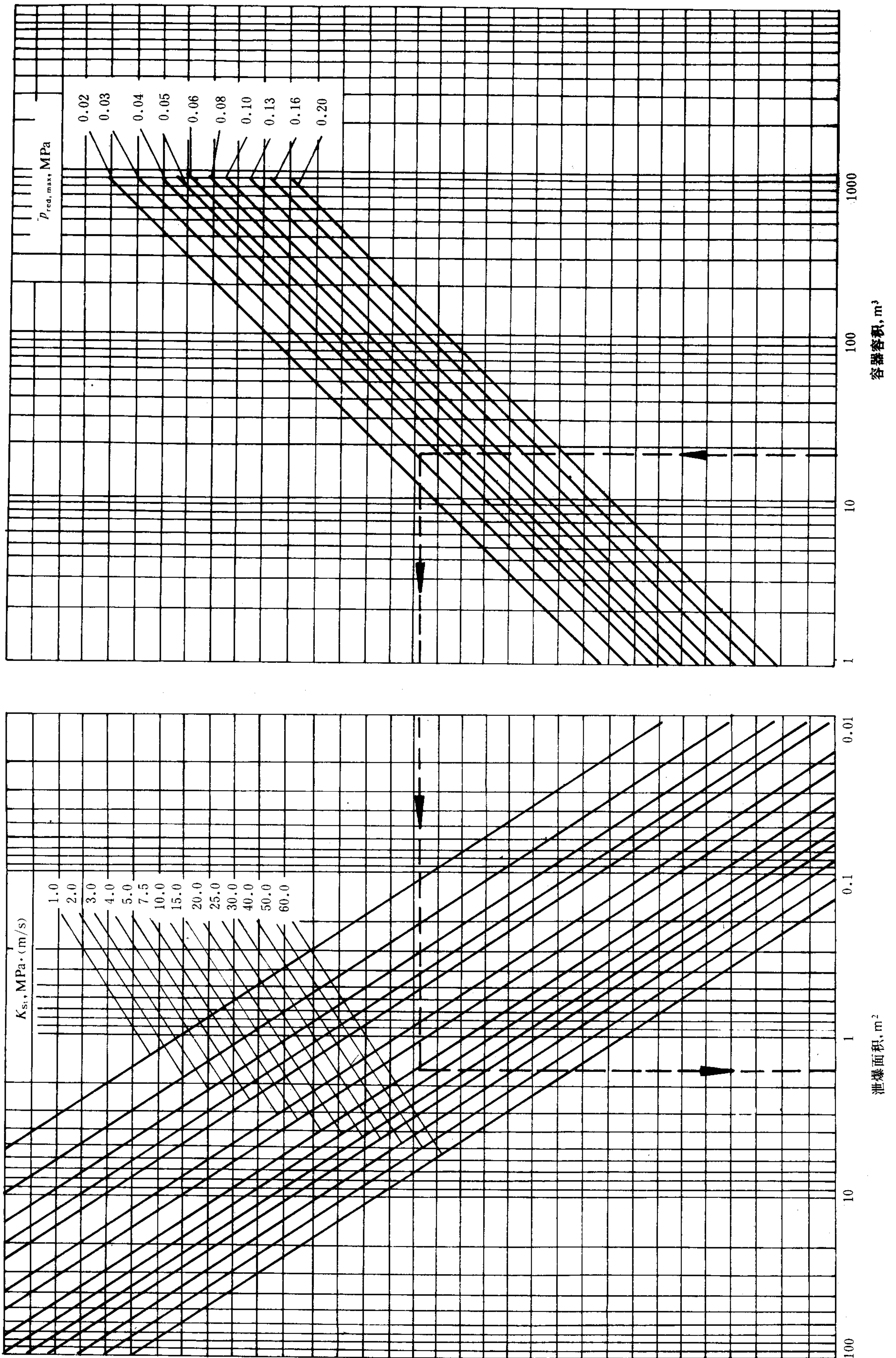


图 1 开启压力为 0.01MPa 时的爆炸指数诺谟图

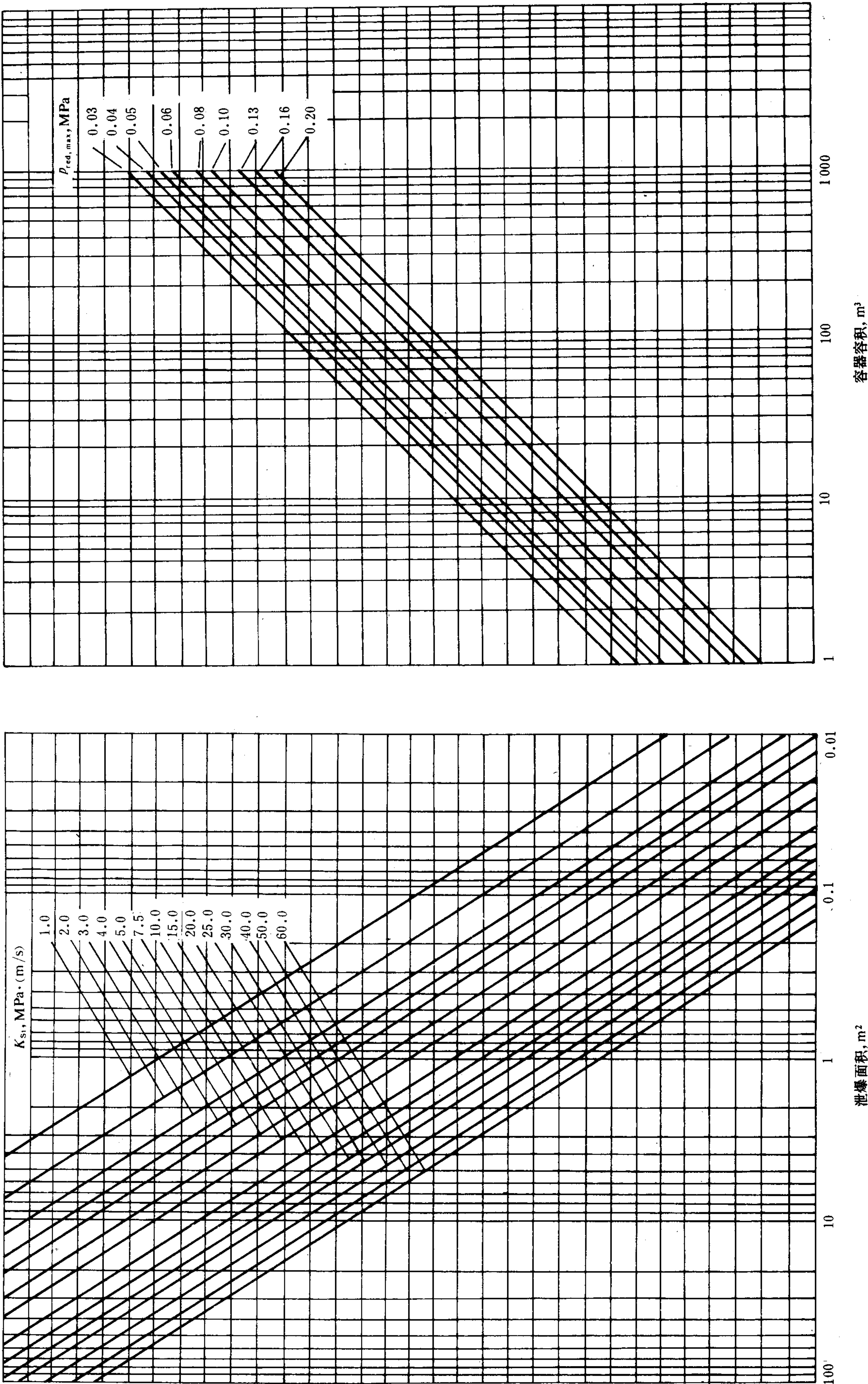


图 2 开启压力为 0.02MPa 时的爆炸指数诺谟图

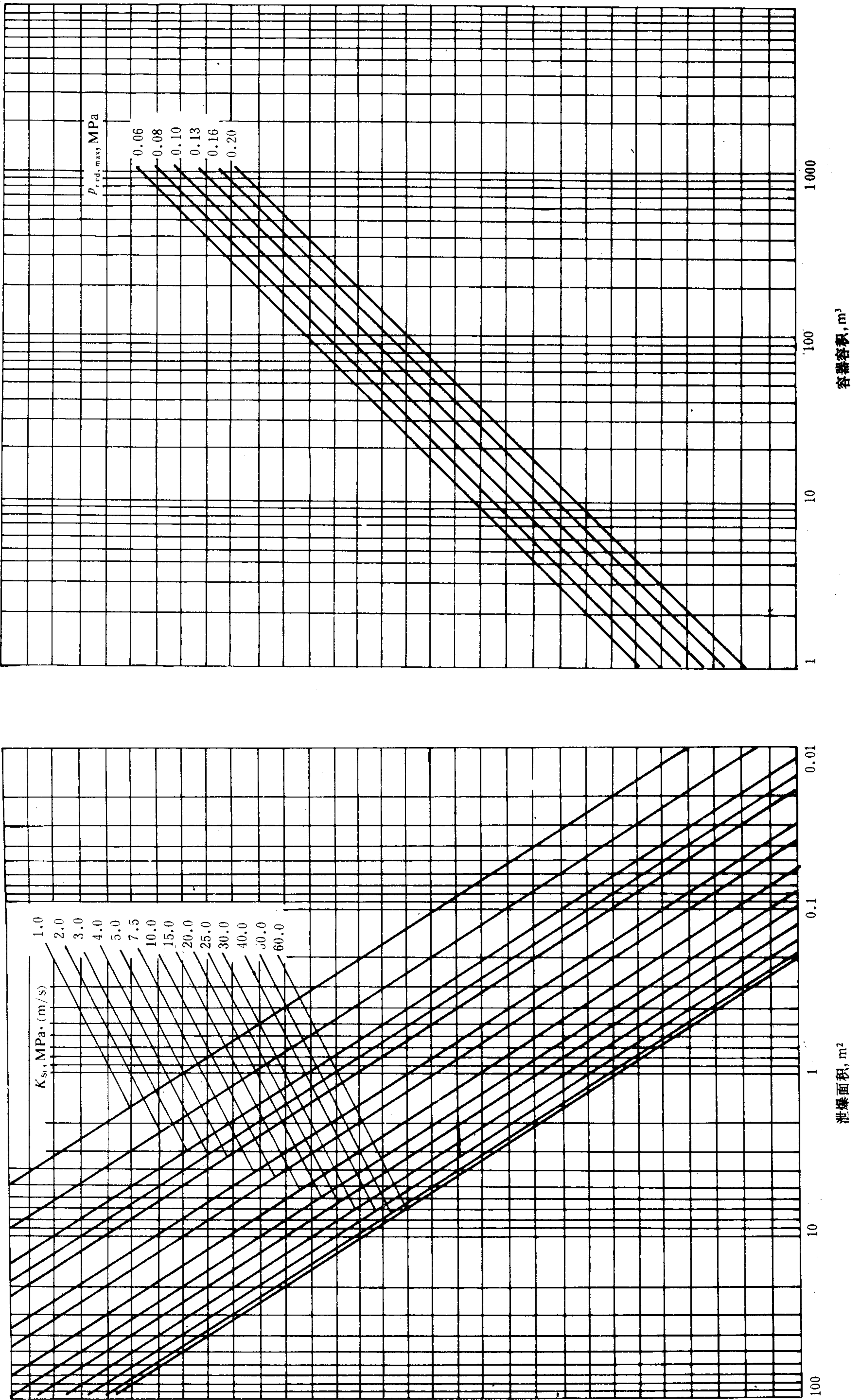


图3 开启压力为0.05MPa时的爆炸指数诺谟图

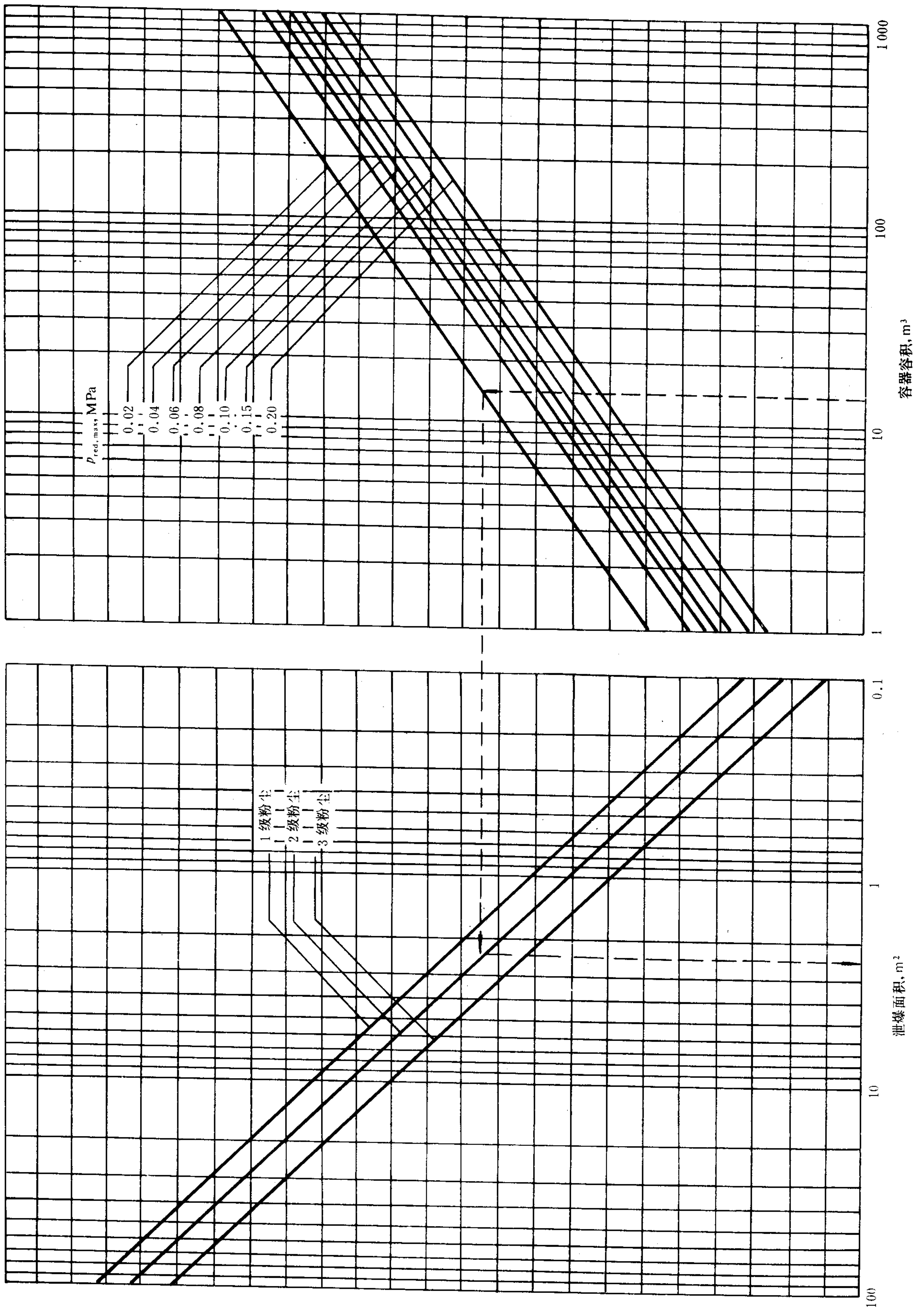


图 4 开启压力为 0.01MPa 的粉尘爆炸等级诺谟图

5 高强度围包体泄爆

5.1 本章用于对围包体耐压能力 $p_{red,max}$ 等于与高于 0.02MPa 的泄爆。

5.2 无泄爆管围包体的泄爆面积计算

5.2.1 爆炸指数 K_{max} 诺谟图法

5.2.1.1 使用范围

- a. 最大泄爆压力 $p_{red,max}$ 在 0.02~≤0.2MPa 之间；
- b. 开启压力 p_{stat} 为 0.01 或 0.02 或 0.05MPa；
- c. 爆炸指数 K_{max} 在 1~≤60MPa·(m/s)之间；
- d. St1、St2 级粉尘其最大爆炸压力小于 1.1MPa 或 St3 级粉尘其最大爆炸压力小于 1.3MPa。
- e. 围包体容积不大于 1 000m³；
- f. 围包体长径比小于 5；
- g. 无泄爆管相连；
- h. 初始压力为大气压。

5.2.1.2 计算依据的参数

- a. 最大泄爆压力, $p_{red,max}$ ；
- b. 围包体容积, V ；
- c. 爆炸指数, K_{max} ；
- d. 泄爆装置的开启压力, p_{stat} 。

5.2.1.3 计算方法

先按开启压力找到相应的 K_{max} 诺谟图(见图 1、图 2、图 3),在图右边横坐标上按需泄爆的围包体有效容积向上引垂直线与相应的最大泄爆压力斜线相交,再从此交点引水平线与左边爆炸指数 K_{max} 斜线相交,再从此交点引垂线向下与横坐标相交,此交点就是所需泄压面积。

5.2.1.4 辛蒲松回归公式

辛蒲松回归公式是对爆炸指数 K_{max} 诺谟图的回归,使用范围相同,计算式如下:

$$A_v = a \cdot K_{max}^b \cdot p_{red,max}^c \cdot V^{2/3} \dots\dots\dots (4)$$

式中: A_v ——泄压面积, m²;
 V ——围包体容积, m³;
 K_{max} ——爆炸指数, MPa·(m/s);
 $p_{red,max}$ ——设计最大泄爆压力, MPa;
 $a=0.000\ 571\exp[20p_{stat}]$
 $b=0.978\exp[-1.05p_{stat}]$
 $c=-0.687\exp[2.26p_{stat}]$
 p_{stat} ——开启静压, MPa。

5.2.2 粉尘爆炸等级诺谟图法

5.2.2.1 使用范围

- a. 最大泄爆压力在 0.02~≤0.2MPa 之间；
- b. 围包体容积小于 1 000m³；
- c. 开启压力为 0.01 或 0.02 或 0.05MPa。

5.2.2.2 依据参数

- a. 围包体的容积；
- b. 最大泄爆压力；
- c. 泄爆装置的开启压力；

d. 粉尘爆炸等级。

5.2.2.3 计算方法

根据开启压力找到相应的粉尘爆炸等级诺谟图(见图4、图5、图6),从相应的围包体容积的点向上

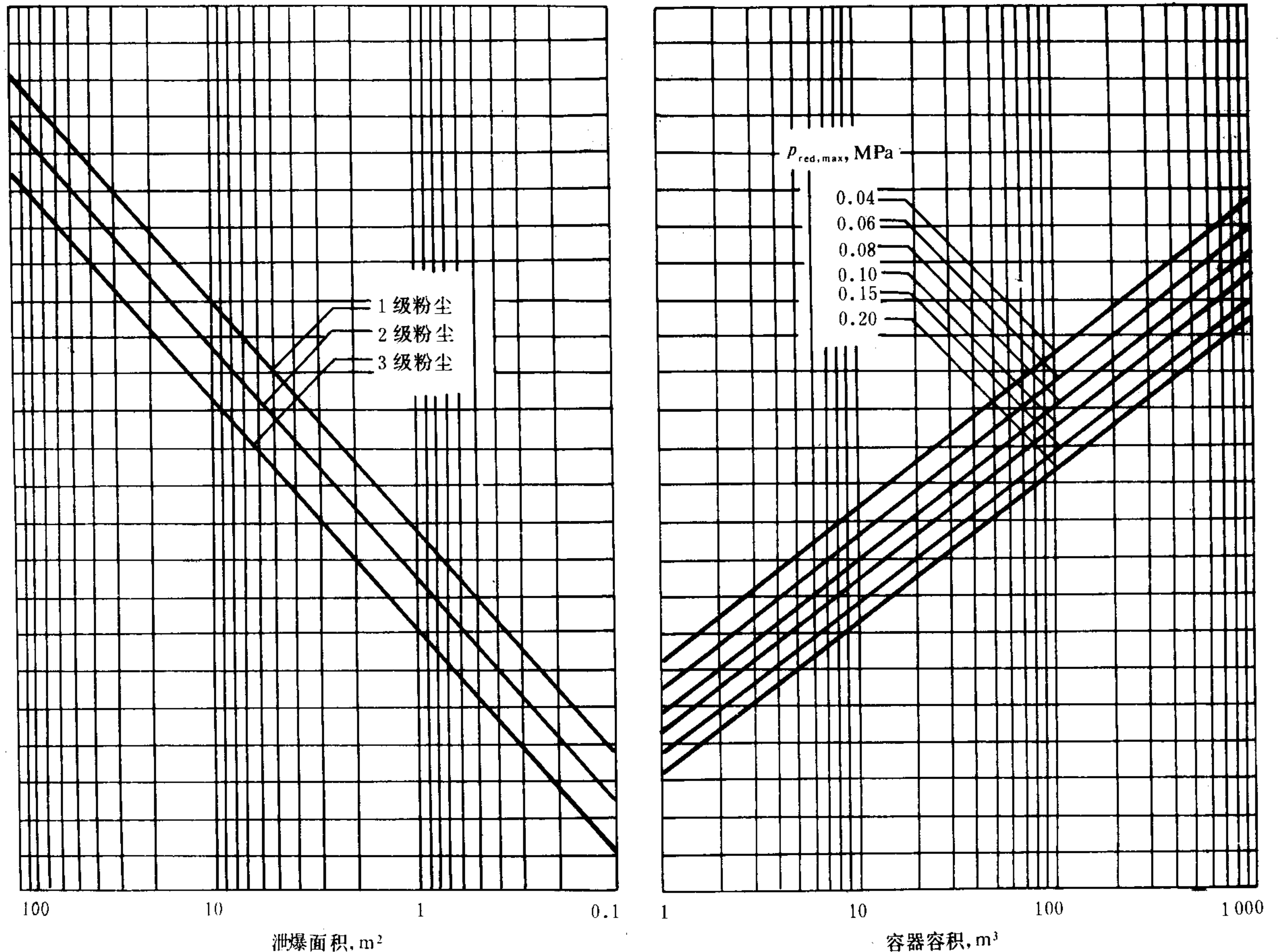


图5 开启压力为0.02MPa时的粉尘爆炸等级诺谟图

引垂线交对应的最大泄爆压力斜线,从此交点引水平线交相应的粉尘爆炸等级斜线,再从此交点向下引垂线与横坐标相交,即得相应的泄压面积。

5.3 有泄爆管围包体泄爆

5.3.1 泄爆管对泄爆的影响

如果容器泄爆口上的爆破片外安装泄爆管,则会引起最大泄爆压力增大。如不允许其增大则必须加大泄爆面积。用图7可查出装和不装泄爆管的最大泄爆压力的变化。如容器无泄爆管时最大泄爆压力 $p_{red,max}$ 为0.02MPa,安装小于3m的泄爆管后最大泄爆压力 $p'_{red,max}$ 则增大到0.06MPa。这可从图7中横坐标0.02MPa处引垂线交 $0 < l \leq 3m$ 直线,由此交点引水平线交纵坐标则得0.06MPa。

5.3.2 容器安装泄爆管后最大爆炸压力变化可用式(5)、(6)计算:

当 $0 < l \leq 3m$ 时:

$$p'_{red,max} = 0.83(p_{red,max})^{0.654} \dots\dots\dots (5)$$

当 $3 < l \leq 6m$ 时:

$$p'_{red,max} = 0.90(p_{red,max})^{0.4776} \dots\dots\dots (6)$$

式中: l ——泄爆管长,m;

$p_{red,max}$ ——无泄爆管时,容器内最大泄爆压力,MPa;

$p'_{red,max}$ ——有泄爆管时,容器内最大泄爆压力,MPa。

5.3.3 安装泄爆管的容器泄爆面积计算

安装泄爆管时,如果容器强度不增大,则必须加大泄爆面积,使最大泄爆压力不致升高。

例如容器强度为 0.06MPa,需安装长 2.5m 的泄爆管,则从图 7 的纵坐标 $p'_{\text{red,max}}=0.06\text{MPa}$ 处引水平线交 $0<l\leq 3\text{m}$ 斜线,从此交点引垂线向下交横坐标于 $p_{\text{red,max}}=0.02\text{MPa}$,再按此求出的无泄爆管容器的泄爆面积即所需开的有泄爆管时的泄爆面积。

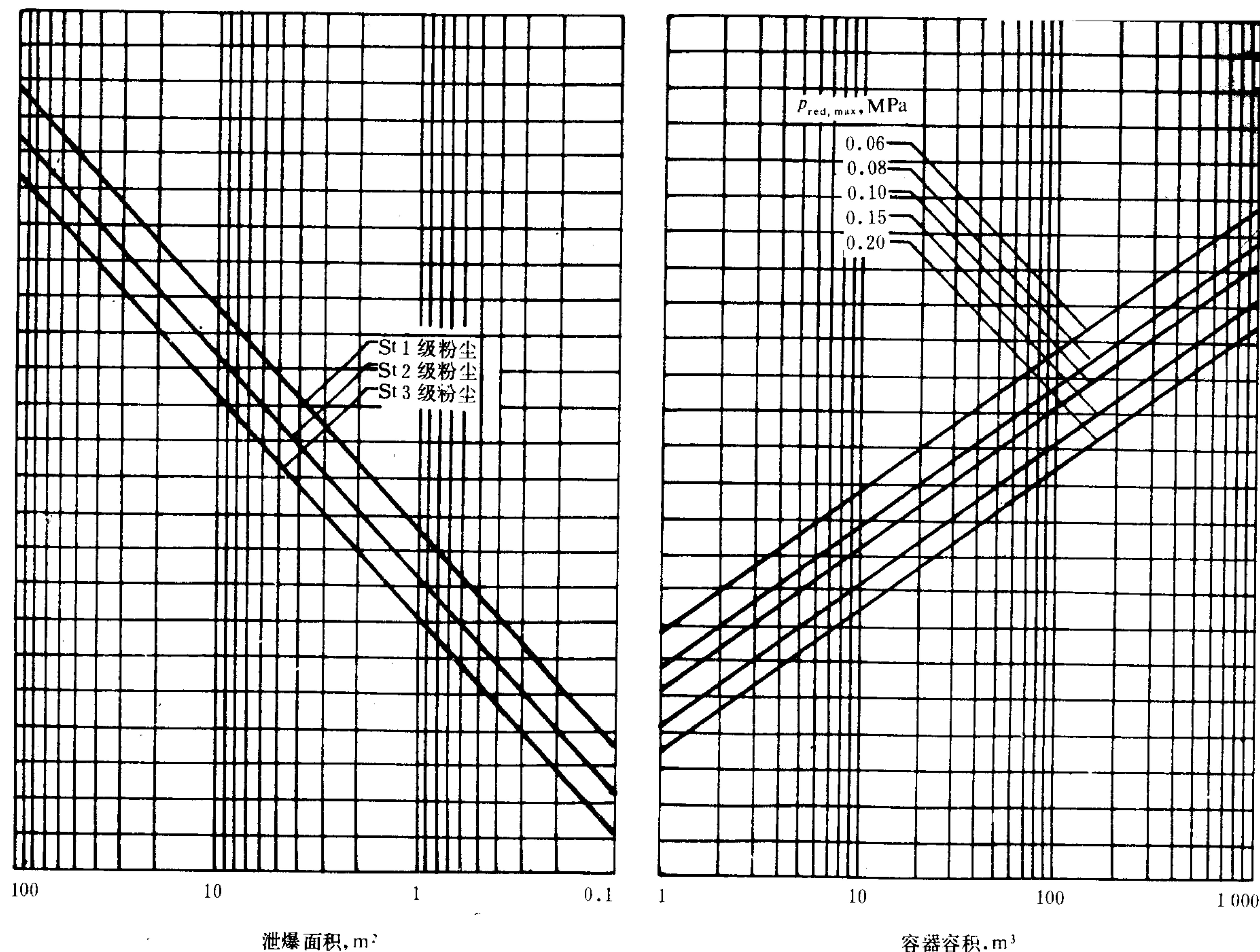


图 6 开启压力为 0.05MPa 的粉尘爆炸等级诺谟图

亦可用下列公式计算:

$0<l\leq 3\text{m}$ 时:

$$p_{\text{red,max}} = 1.3306 (p'_{\text{red,max}})^{1.529} \dots\dots\dots (7)$$

$0<l\leq 6\text{m}$ 时:

$$p_{\text{red,max}} = 1.2436 \cdot p'_{\text{red,max}}^{2.0938} \dots\dots\dots (8)$$

根据最大泄爆压力 $p_{\text{red,max}}$ 、爆炸指数 K_{max} 或粉尘爆炸等级 St、容器容积 V 、开启压力 p_{stat} 求出所需泄爆面积。

5.3.4 如泄爆装置附近设有检查孔,以利维修和清除杂物,则此孔盖和外壳强度必须与泄爆管相同,且要密闭好。

5.3.5 可用轻质保护膜使雨雪不侵入泄爆管,但其所增加的开启压力必须在允许范围内。

5.3.6 泄爆管应有较大的截面积和强度,至少要分别等于泄爆口的面积和围包体的强度。

5.3.7 泄爆管要尽可能短而直,一般不宜大于 3m。

5.3.8 泄爆管尽可能不用弯头,以减小泄爆阻力和泄爆时间。

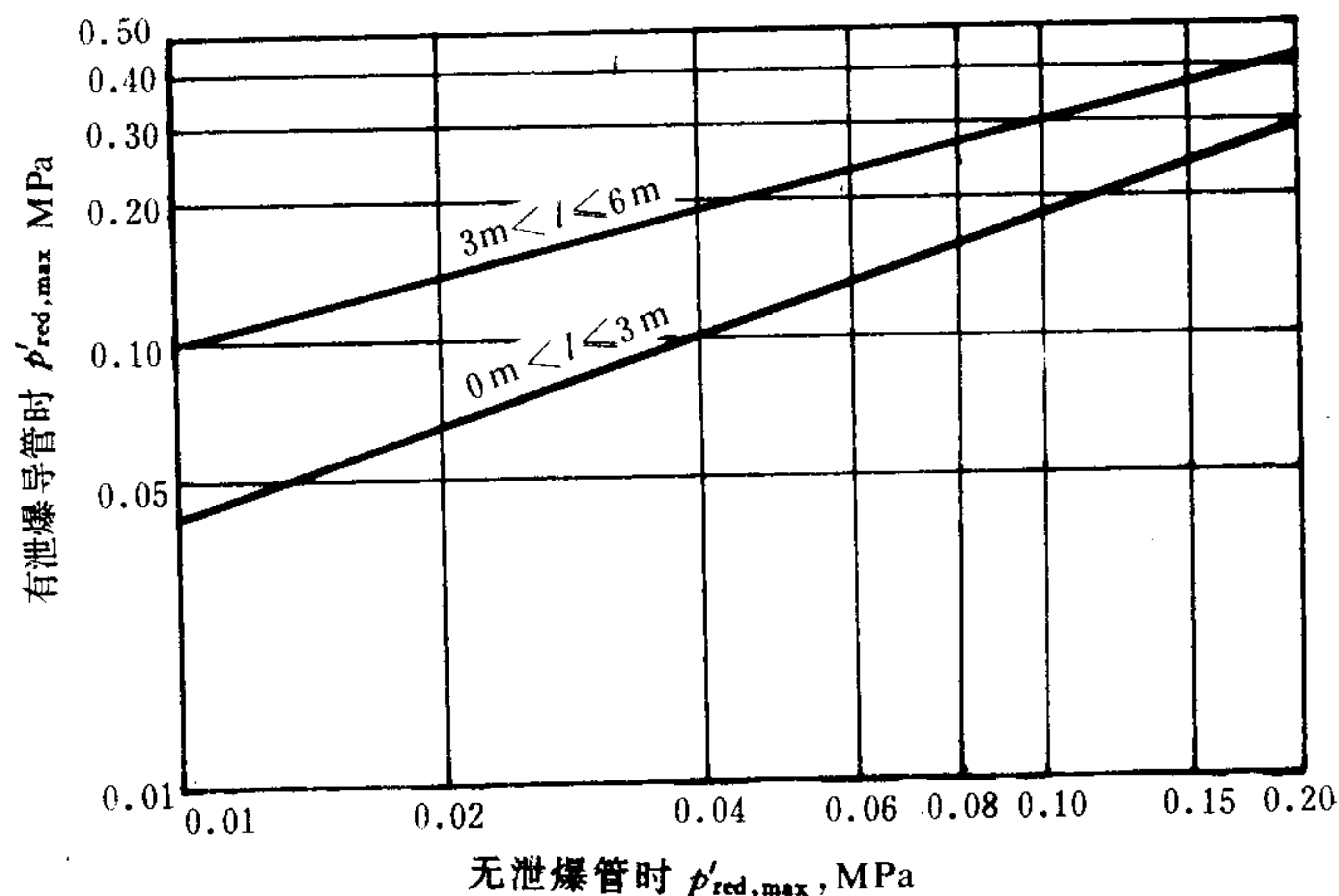


图7 粉尘均匀分布时装有泄爆导管后最大泄爆压力变化曲线

6 有管道连接的贮罐泄爆

6.1 本章适用于连接管道小于或等于 6m、公称管径在 300mm 以下的有管道连接的贮罐泄压。否则，宜采用其他方法防爆。

6.1.1 泄压装置的开启静压应小于 0.02MPa；

6.1.2 当贮罐容积相差 10% 左右，即贮罐容积基本相同时，两个贮罐都要按常规泄压；当贮罐大小不同时，不仅两个贮罐都要按诺谟图泄爆，且耐压强度要增加 0.2MPa；

6.1.3 如小贮罐不能泄压，则其强度按最大爆炸压力设置，较大贮罐的泄压面积要加倍。如大贮罐不能泄压，则不应采用泄爆技术。

7 贮罐、料斗和筒仓的泄爆

7.1 设计时应使贮罐、料斗和筒仓的长径(或水力直径)比尽可能小些，以减小最大泄爆压力。

7.2 围包体长径比小于和等于 5 时泄爆面积按第 5 章计算，围包体的容积应按围包体全部充满粉尘云计算。任何措施都要考虑以加强安全度为好。

7.3 贮罐、料斗和筒仓要尽可能设在顶部泄爆。在侧面泄爆时，装料的最高水平线要比泄爆孔位置低。

7.4 如顶部截面积比所需泄压面积小，设计时可增大容器的强度以减小泄压面积，适应实际情况。

7.5 需要整个顶部作为泄爆用时，应分为若干个泄爆口，并设置支架，将泄爆装置安装在支架上。泄爆装置应尽可能轻，而且要防止漏雨，要隔热和防潮。

7.6 在侧面泄爆时，泄爆口必须相对设置，以消除反坐力。

7.7 除尘器如清洁段不能满足泄爆面积时，可在灰斗上部装料面以上开设泄爆口。

8 低强度围包体泄爆

8.1 本章对耐内压能力小于 0.02MPa 的低强度围包体如房屋、建筑设施或设备等的泄爆作了指导性规定。

8.2 泄爆口的位置和布局应符合 4.4 与 4.5 的规定。

8.3 应沿着墙的上下边和每个角落加固。建筑物应采用框架式结构。

8.4 泄压面积的计算

8.4.1 扩展诺谟图法

8.4.1.1 使用范围

a. 最大泄爆压力在 $0.02 > p_{red,max} > 0.005$ MPa；

b. 开启压力不大于式(9)的值:

$$p_{stat} = p_{red,max} / 2 \dots\dots\dots (9)$$

式中: p_{stat} ——开启压力,MPa;

$p_{red,max}$ ——最大泄爆压力,MPa。

- c. 泄爆(盖)板的惯性尽可能小,最大为 10kg/m²;
- d. 围包体容积不超过 1 000m³;
- e. 围包体长径比不超过 5;
- f. 未考虑泄爆导管的影响。

8.4.1.2 计算泄爆面积时,可根据爆炸指数 K_{max} 与最大泄爆压力从扩展诺谟图(如图 8)查出与最大泄爆压力 $p_{red,max}$ 相应的 $A_v/V^{2/3}$ 值 x ,再从式(10)计算出相应的泄压面积:

$$A_v = x \cdot V^{2/3} \dots\dots\dots (10)$$

式中: A_v ——泄压面积,m²;

V ——围包体容积,m³;

x ——查表所得 $A_v/V^{2/3}$ 值。

8.4.1.3 扩展诺谟图法与辛蒲松回归法比较表明,当最大泄爆压力大于等于 0.01MPa 时,两种方法的结果吻合很好,但最大泄爆压力小于 0.01MPa 时,辛蒲松回归法计算出的结果比扩展诺谟图高。

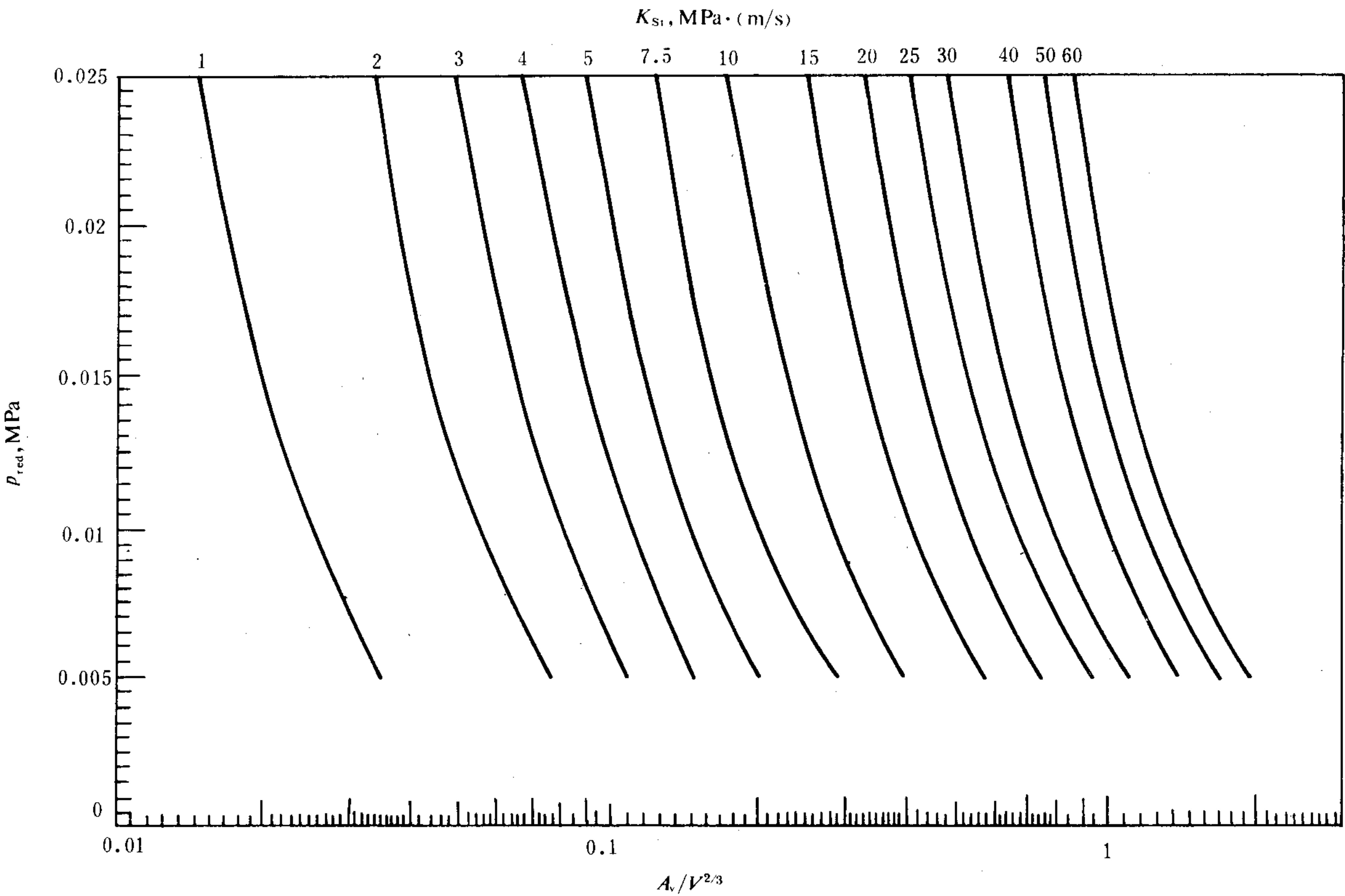


图 8 扩展诺谟图(适用于 0.02> p_{red} >0.005MPa)

8.4.2 低强度泄爆方程

8.4.2.1 适用条件

- a. 最大泄爆压力不大于 0.01MPa 的房间、建筑物和设备外壳等,且最大泄爆压力至少超过开启压力 0.002 4MPa;
- b. 泄爆盖的开启压应尽可能低,当开启压力低至 0.001 或 0.001 5MPa 时,应考虑室外风的吸开

问题。

- c. 泄爆口应尽可能均匀分布。
- d. 初始压力为大气压。

8.4.2.2 低强度泄爆方程

$$A_v = C \cdot A_s / (p_{red,max,a} - p_0)^{1/2} \dots\dots\dots (11)$$

式中：A_v——泄爆面积，m²；
A_s——围包体总内表面积(包括墙、地板和天花板，但不包括不承受压力的隔墙)，m²；
p_{red,max,a}——最大泄爆压力(绝对压力)，kPa；
p₀——初始环境压力(绝对压力)，kPa；
C——泄爆方程常数，决定于粉尘种类，(kPa)^{1/2}。其值根据粉尘的爆炸等级采用表 2 的推荐值，亦可根据粉尘爆炸指数 K_{max} 的大小而采用表 3 的推荐值：

因初压为大气压，p_{red,max} 为最大泄爆压力 kPa(表压)，故式(11)为：

$$A_v = CA_s / (p_{red,max})^{1/2} \dots\dots\dots (12)$$

如果泄爆口均匀分布于长形的围包体上，则式(12)没有长径比的限制。因此应用该式于长形围包体泄爆时，应使泄爆口沿长度方向尽可能均匀和对称分布，以消除后坐力和降低最大爆炸压力。

表 2

可燃物种类	C, (kPa) ^{1/2}
无水氨	0.13
甲 烷	0.37
基本燃烧速度小于丙烷 1.3 倍的气体	0.45
St1 级粉尘	0.26
St2 级粉尘	0.30
St3 级粉尘	0.51

表 3

K _{max} MPa · (m/s)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.5	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0	50.0	60.0
C (kPa) ^{1/2}	0.013	0.026	0.039	0.055	0.071	0.108	0.144	0.221	0.276	0.334	0.428	0.551	0.651	0.788

对非圆或方形截面积则可用当量直径进行计算。式(12)用于长形围包体且在一端泄爆的限制条件为：

$$L_m \leq 12 \cdot A/P \dots\dots\dots (13)$$

式中：L_m——围包体最大的尺寸，m；
A——横截面积，m²；
P——横截面周长，m。

应用式(12)处理高紊流度气体混合物一端泄爆的长形围包体，则其长径比不应超过 2，或其最长边应限制在：

$$L_m \leq 8 \cdot A/P \dots\dots\dots (14)$$

式中符号意义同上。

内表面是指能承受发生超压的结构元件,围包体中任何设备表面不包括在内表面里。不能承受所发生的超压非结构部分的间壁墙如悬挂的天花板也不能视为内表面。内表面指房顶或天花板、墙、地板等。连接的瓦垄井缝可不计在内。相邻房间的内表面应计算在内,泄爆口也应尽可能均匀对称分布在这些房间的墙上。

8.5 极低强度围包体泄爆

8.5.1 低于 0.005MPa 的极低强度围包体建筑物,必须采用钢筋混凝土框架式结构,结构中钢筋连接应为焊接。

8.5.2 强度低的砖结构筒仓长径比不应太大,最大不应超过 2,否则应提高强度或采用其他防爆措施。

8.5.3 所需泄爆面积过大而难于实现时,应综合治理粉尘防爆,保证安全。

8.5.4 泄爆装置开启压力要尽可能低,最大不应超过最大泄爆压力的一半。

8.5.5 由于极低强度泄爆资料甚少,本指南未明确的问题应向专业粉尘防爆研究机构咨询或委托试验。

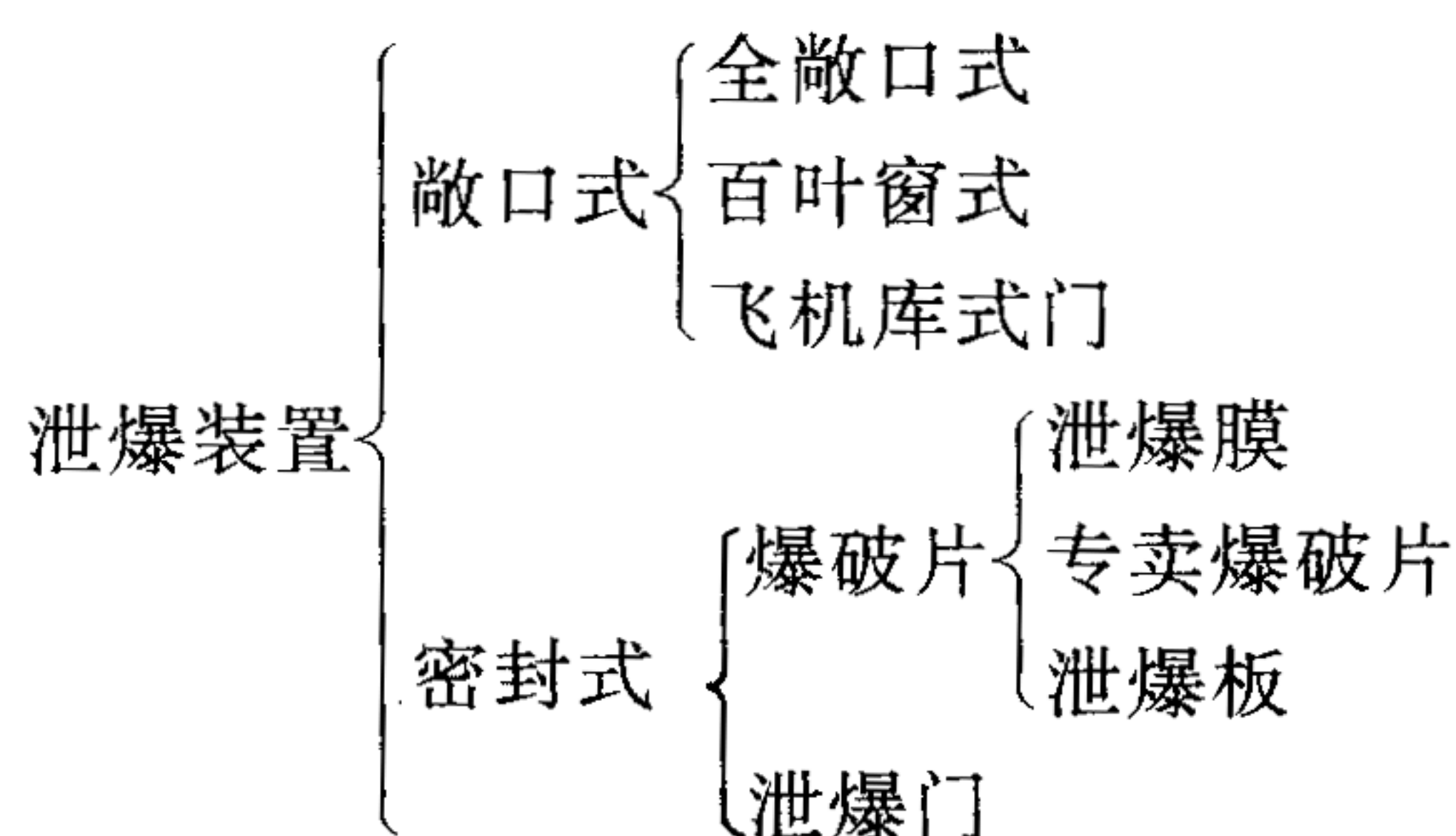
9 可燃杂混物泄爆

首先应该测定杂混混合物的爆炸指数 K_{max} ,然后根据它和围包体的容积和强度及泄压装置的开启静压,利用第 4、5、6、7 或 8 章选择泄爆面积计算方法。

如果在标准中找不到合适的计算方法和图表,应向专门机构征询研究解决办法。

10 泄爆装置

10.1 泄爆装置分类可表示如下:



10.2 泄爆装置又分从动式与监控式。从动式泄爆装置的开启靠爆炸压力波推动,监控式泄爆装置的开启靠爆炸信号探测、信号放大与控制系统触发开启。

10.3 产品铭牌

产品铭牌上应标明:产品型号、检验单位、泄爆面积、开启静压、使用压力范围、使用温度范围、使用介质、生产厂名、出厂日期等。其中应永久标明开启静压和使用压力范围。

10.4 产品说明书

产品说明书应包括以下内容:产品性能与技术指标、使用条件、产品结构示意图、系列规格、部件安装图、修理维护要求、注意事项、依据的标准名称编号与版本及检验机构。

10.5 泄爆装置的要求

泄爆装置的设计应按照过程处理物料的理化性质、粉尘爆炸指数 K_{max} 、操作温度和压力、生产中压力波动情况,有否反向压力变化情况、要求的开启压力、泄爆口尺寸、围包体容积及其长径比、特殊和通常的操作条件、允许的最大泄爆压力、围包体材料、有关的泄爆膜强度、有关泄爆框的材料、所需泄压的总面积、安装条件及尺寸等并满足以下要求:

a. 有准确的开启压力;

- b. 起动惯性小,一般要求泄爆关闭物不超过 10kg/m^2 ;
- c. 开启时间尽可能短,而且不应阻塞泄爆口;
- d. 要避免冰雪、杂物覆盖和腐蚀等因素使实际开启压力值增大;
- e. 在泄爆门密封处以微弱的热消除冰冻,避免增加开启压力;
- f. 避免爆炸装置碎片对人员和设备造成危害;
- g. 要防止泄爆后泄爆门关闭围包体内产生负压,使围包体受到破坏;因此在泄爆门旁应设合适的负压消除装置以消除负压。
- h. 要防止大风流过泄压口时将泄爆盖吸开;
- i. 泄压口应安装安全网,以免人失误落入,网孔应大一些,以免减小泄爆面积。

10.6 敞口式泄爆装置

10.6.1 敞口式泄爆孔是无阻碍无关闭物的孔口,也是最有效的泄爆孔。它适用于不要求全部封闭的设备或房间。

10.6.2 百叶窗式泄爆孔是把百叶窗安装在泄爆孔上,它可看作是近似敞口泄压孔,但比敞口增加了泄爆阻力,减小了净自由泄压面积。

10.6.3 飞机库式门可安装在有爆炸危险的房间或大楼的侧墙上,进行有爆炸危险操作时,应打开此门。平时开关要有严格管理和控制系统。

10.7 泄爆膜

10.7.1 泄爆膜一般由框将其固定在围包体壳上,它适用于操作较简单,对开启压力要求不太严格的场合,但要设计合理,应经专门机构检验合格后使用。

10.7.2 泄爆膜开启压力允许误差为设计开启压力值的 $\pm 25\%$ 。

10.7.3 过程操作压力一般取泄爆膜开启压力的 $50\%\sim 70\%$,要避免泄爆膜错误打开。

10.7.4 泄爆膜的孔径不应太大,以避免容器内压力波动时,使膜颤动而降低寿命。

10.7.5 材料

开启压力随膜的厚度、机械加工的缺陷、湿度、老化和温度有很大变化,开启压力与膜厚成正比,与面积成反比。很多膜片是电的绝缘材料,由于电荷的建立,引起粉尘的聚积从而影响开启压力,故应使泄爆膜与密封垫都具有导电性,并接地。接地电阻值不大于 10Ω 。在高温条件下,如需要泄爆口隔热可以在泄爆膜两边与绝热材料组合在一起。泄爆膜和爆破片的材料应选:

- a. 抗拉强度低;
- b. 耐腐蚀性能好;
- c. 抗老化抗疲劳性能好;
- d. 尽可能轻,使开启时惯性小,动作时间短;
- e. 如在高温下使用时,则要选择耐高温的材料。

10.8 专卖爆破片

10.8.1 爆破片是设计在较准确的指定开启压力爆破的泄爆装置,因此是专业厂家生产的。一般采用刻有沟纹的金属片(最常用的是不锈钢)和聚四氟乙烯薄膜;对高温生产环境,也可有采用如铝膜或镍膜等金属材料组成。

10.8.2 技术要求

- a. 设计开启压力值;
- b. 开启压力允许偏差值指实际开启压力相对于设计开启压力值的偏差。开启压力越大,允许偏差越小。当开启压力为 0.005MPa 时,允许偏差值为设计值的 $\pm 10\%$;
- c. 适用温度、压力、湿度、介质;
- d. 抗真空能力;
- e. 依据的标准文件的名称代号。

10.9 泄爆板

10.9.1 泄爆板是固定于框夹上,其固定松紧程度小于泄爆片,爆炸时泄爆硬板被弹出迅速打开泄爆口。泄爆板质量应轻些,易弹出。其技术指标与安全性能应经专门机构检验后方可使用。

10.9.2 泄爆板应有链条联接以免射出时伤人。

10.9.3 泄爆板要有一定的抗负压能力。

10.9.4 为了密封好,必要时可设夹紧装置(如摩擦力、弹簧或永久磁铁等)将泄爆板压紧,但要注意这时开启压力会有增大。

10.9.5 泄爆板不应被钉死或被其他物体压着。

10.9.6 轻屋顶和轻型墙

将房间的一部分或全部屋顶或墙设计为泄爆口,用轻质板作为泄爆板,当爆炸时则被弹出而泄爆,但平时不致被风吹开。这必须有链绳栓住以免飞出伤人。应设计减震机构,以减小或避免泄爆板或房屋受损。

10.10 泄爆门

10.10.1 较轻的泄爆门一般用于设备、容器或管道上;重型泄爆门,一般包括泄爆瓣阀和管道泄爆瓣阀。

10.10.2 较轻的泄爆门泄爆效率不应低于 70%;较重的泄爆门效率不应低于 60%。

10.10.3 应按装置开启压力调整控制泄爆开启压力的关键部件,如夹紧机构、泄爆门的惯性。

10.10.4 泄爆门在安装之前均要通过专门机构泄压能力检验和机械强度检验。

10.10.5 泄爆门应有一定的强度,以免泄爆时损坏,但必须与贮罐的强度相匹配。

10.10.6 泄爆后,泄爆门应及时关闭,以防止空气进入围包体使粉尘继续燃烧。应安装吸气门以平衡因泄爆后围包体内空气冷却而产生的负压使围包体变瘪损坏。

10.10.7 泄爆门一般由泄爆盖、固定轴、夹紧元件、密封件安装部件组成。它包括手动关闭和自动关闭两种。

10.10.8 管道泄爆门

10.10.8.1 管道泄爆门一般要求在同样的泄爆面积下,其强度比容器泄爆门大,因为爆炸火焰在管道内传播时的加速作用,引起压力升高,特别是在管端或转弯处。

10.10.8.2 管道泄爆门可平行管轴安装或在管端垂直于管轴安装,在夹角很小的两管道连接处安装换向泄爆阀,泄爆后可再关闭泄爆门。

10.10.9 泄爆瓣阀

10.10.9.1 泄爆瓣阀适用于生产操作比较严格,需要将泄爆口在泄压后及时关闭,以免空气进入系统引起二次爆炸或干扰生产,或避免爆炸混合物伤害环境或避免空气进入,破坏系统的真空等情况。爆炸频率较高的高压可燃气体或混杂物泄爆宜采用这种设备。

10.10.9.2 泄爆瓣阀紧锁装置装有阻尼系统或限制架,它可限制孔口开度,也可防止翻转和连杆弯曲。

10.10.9.3 技术要求

a. 由于泄爆瓣阀开启速度较上述泄爆装置慢,所以同样的泄爆面积其最大泄爆压力要比其他类型泄爆装置大,故其泄压面积应根据实验结果加大。

b. 泄爆瓣阀原则上开启 45°就能自由泄爆;

c. 泄爆瓣阀的强度必须与被保护设备自身的强度相匹配;

d. 应避免因泄爆产生的负压使围包体破坏;

e. 泄爆效率不得低于 60%。

10.10.10 真空消除装置

当采用泄爆门时,因爆炸后泄爆门及时关闭,围包体内燃烧的热气体冷却后会产生真空,往往使围包体抽瘪而损坏。在泄爆门内侧安装真空消除装置,当发生真空时打开,真空则消失。根据围包体能抵

御的真空度和围包体容积可从图 9 查出相应的真空消除器的开口面积。

10.11 监控式泄爆装置

10.11.1 监控式泄爆装置包括一个或多个能及时探测出着火或初始爆炸的传感器,通过信号放大器发出信号,引爆泄爆片上的雷管或启动泄爆门、泄爆阀的开启机构,使之自动打开泄爆。

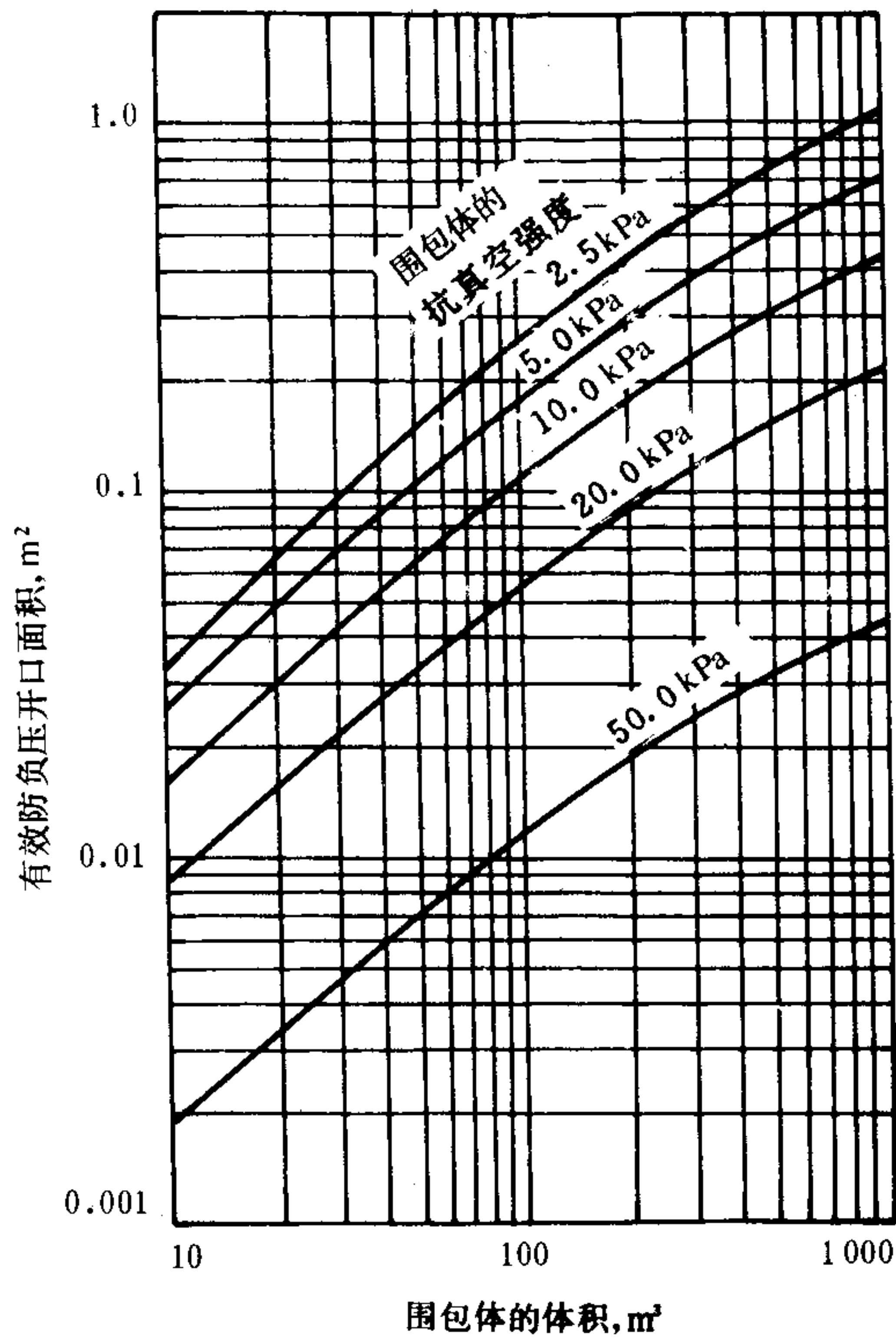


图 9 确定真空消除开口面积的诺谟图

10.11.2 要求监控系统可靠,无误动作。

10.11.3 从接收爆炸信号到开始泄爆的响应时间应尽可能短并小于 40ms;

10.12 火焰捕集泄爆装置

10.12.1 火焰捕集泄爆装置包括泄爆装置和火焰冷却吸收两部分。

10.12.2 火焰捕集泄爆装置可以代替泄爆管安装在设备上,火焰与粉尘截留在此火焰捕集装置内,使火焰不喷出泄爆孔。

10.12.3 火焰捕集泄爆装置泄压效率应达到单纯采用爆破片的 60%以上。

10.12.4 火焰捕集泄爆装置必须经过专门机构测试,确定可使用的范围(如泄压效率、泄爆响应时间、 p_{stat} 等)方可使用。

11 开启压力测定

11.1 所有泄爆装置都应测定其开启静压 p_{stat} 。同批材料的爆破膜至少做两次试样的破坏性试验。

11.2 如果工作温度不是室温(20℃),则应测定在工作温度下泄爆装置的开启静压 p_{stat} 。

12 安装、检查与维修

12.1 设备安装应在专家或产品生产厂家指导下进行,确认泄爆器件已按厂家说明书和本标准安装到位,所有操作机构都正常运行,方可验收。

12.2 使用单位对泄爆器件应定期检查。

- 12.3 检查程序和频率应纳入《泄爆装置管理岗位责任制》条例中,并包括定期试验的条款。
- 12.4 过程运行时泄爆口不应作为检查口或通道用。
- 12.5 工厂生产过程运行时,人员应避免接近泄爆装置,亦不应在此检查和修理泄爆装置,但积雪应及时清扫。
- 12.6 如必须在生产过程进行时修理泄爆装置,必须符合批准程序和防爆规定和规程,必须安全地清除施工处粉尘,严禁动火和其他点火源如冲击、震打。
- 12.7 检查工作必须由专人负责。
- 12.8 维修是对定期检查和试验时发现的任何缺陷以及器件正常操作后可能导致的失效加以修复和更换,或使器件复位,如爆破片的失效,泄爆板或门的链、钩、夹紧装置、密封垫是否正常,泄爆门有否生锈或积尘会改变开启压力,并保证其正常操作和具有的功能。维修应按生产安全规程或专家的建议进行。
- 12.9 要避免因维修不当,如刷涂除锈涂料等而使泄爆装置开启压力改变,影响泄爆。
- 12.10 应设专用记录本,记录每个泄爆器件的生产厂家、生产日期、购进日期、安装调试日期与结果、试验日期与结果,注明安装地点,每次检查的日期与检查结果以及每次维修活动的过程与结果,并在每次检查维修后对结果作出评价。记录应长期保存。

附录 A
管道、通道和长形容器的泄爆
(补充件)

目前对管道泄压的系统试验还不完整,指导管道泄压的资料不多,因此下面介绍的方法仅供参考。在使用本标准时要非常谨慎,必要时要向专家咨询。对泄压面积以取大一些为好。

A1 适用范围

本章应用于操作压力小于或等于 0.02MPa 的管道、通道和长径比大于 5 的长形容器泄爆。

A2 单个泄爆口面积

每个泄爆口的面积等于管道的截面积,因为横截面积是每个泄爆口的最大有效泄爆面积。管道或通道可设一个或多个泄爆口。

A3 容器与管道连接

与可能发生粉尘爆炸的容器相连接的管道或通道,都要设置泄爆口。对 St3 级粉尘,其泄爆口至容器的距离不应大于两倍管径。对 St1、St2 级粉尘亦应逐个评估以确定是否有必要设置附加的泄压口。

A4 泄爆口设置

A4.1 泄爆口应尽可能设在靠近点火源的地方。

A4.2 管道中有障碍的地方会产生或增加紊流度,加速火焰传播,迅速增大压力,一般应在障碍物两边设置泄爆口,对最大泄爆压力小于 0.02MPa 和两个泄爆面积都等于管道截面积的泄爆口,应设在障碍物的两边距障碍物分别为 3 倍管径和 6 倍管径的地方。当最大泄爆压力大于 0.02MPa 时,则两泄爆口应在障碍物两边 3 倍管径处。障碍物是指弯头、T 形管、分流器、孔板、阀和任何对管道或通道有 5% 横截面积阻碍的附件。

A5 泄爆孔关闭物的要求

泄爆盖的质量不应超过 10kg/m^2 的要求。开启压力要尽可能低于最大泄爆压力的设计值。低强度泄爆时,开启压力最大不能超过最大泄爆压力设计值的一半。

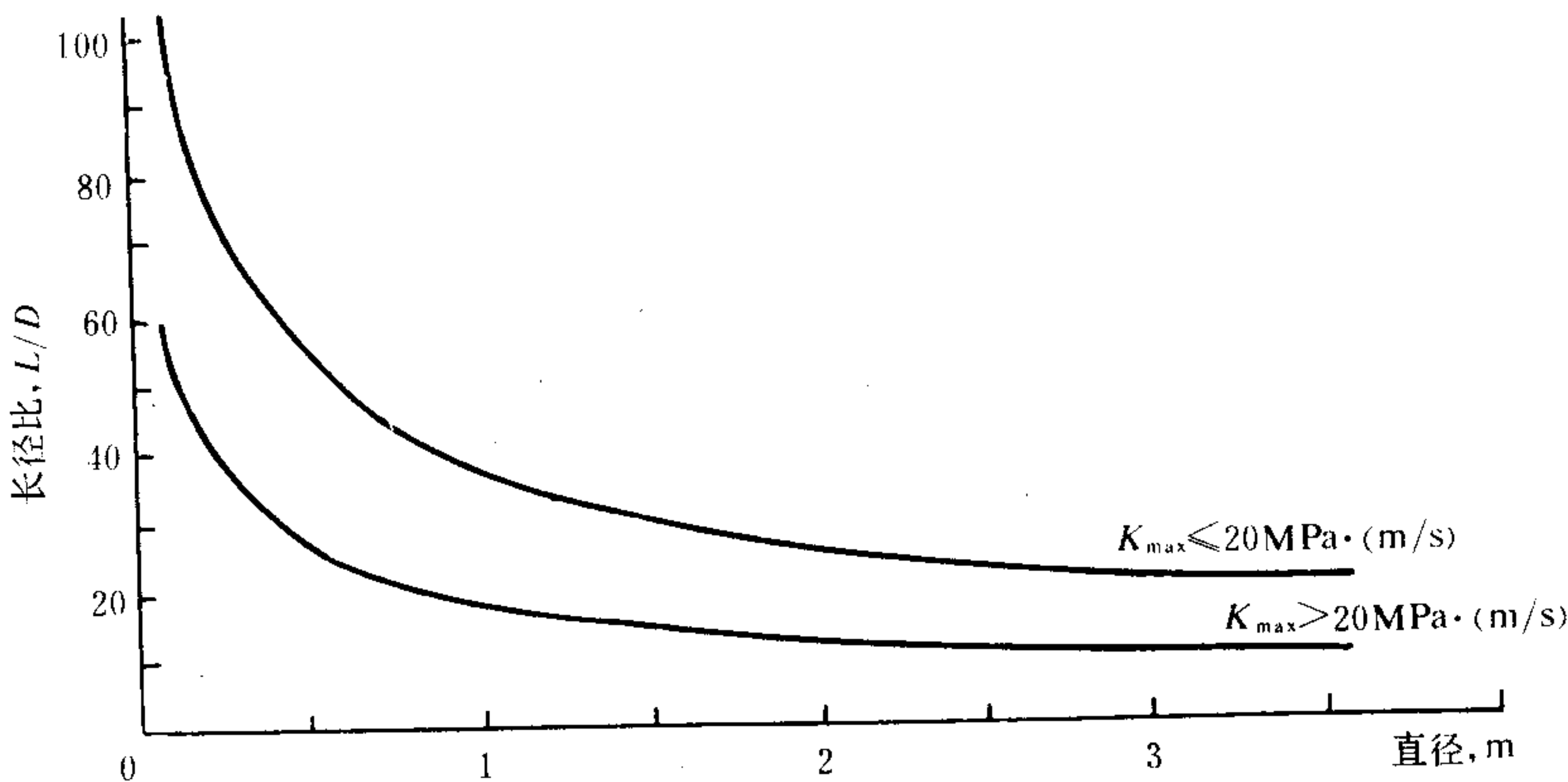


图 A1 平直管道或通道中,最大允许长径比

A6 管道、通道或长形容器只在一头泄爆(泄-闭型)的设计

A6.1 长径比的最大限度

图 A1 用来对泄-闭形平直管道提出一个避免爆轰的长径比值最大限度。如果超过此限度,就必需增开附加泄压口或采用其他防爆措施。如已知爆炸指数 $K_{\max}$ 与管径就可从图 A1 中查出最大允许长径比,从而求得泄爆口间最大允许的距离。

A6.2 所选长径比是否安全的复查。如初始流速 $\leq 2\text{m/s}$, $K_{\max} \leq 30\text{MPa} \cdot (\text{m/s})$ 可从图 A2 中查出所选的长径比所对应的最大泄爆压力值,如大于设备的强度则必须按 A6.4 增设附加泄爆口减小泄爆口间距。

注: K_{St} 即 $K_{\max}$ 。

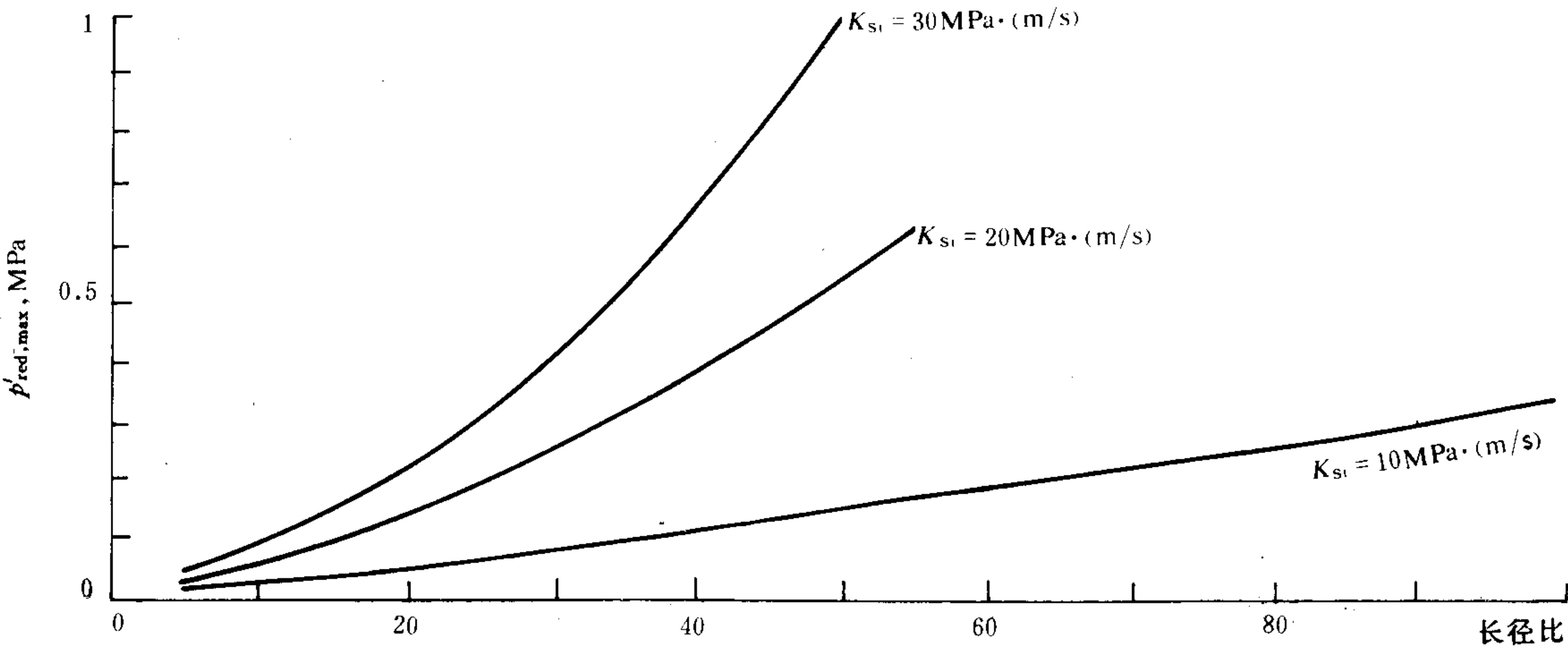


图 A2 泄-闭型平直泄压管道或通道中,

粉尘云初始流速小于或等于 2m/s 时最大泄爆压力与长径比的关系

A6.3 如果管道中粉尘云初始流速大于 2m/s ,其火焰加速和峰压值都会大大升高。这样,如管道、通道或长形容器仅在一端泄爆则必须具有能抵御爆轰的强度,或开设附加泄爆口,或采用其他防爆技术。

A6.4 开设附加泄爆口

A6.4.1 如管道内燃烧的粉气混合物初始流速在 $2\sim 20\text{m/s}$ 之间时,使管道中最大泄爆压力不超过 0.02MPa ,可根据图 A3 查出管道所允许的最大长径比,由此可求得管道最大泄压间距。此图适用于爆炸指数 $K_{\max}$ 小于等于 $30\text{MPa} \cdot (\text{m/s})$ 的粉尘。

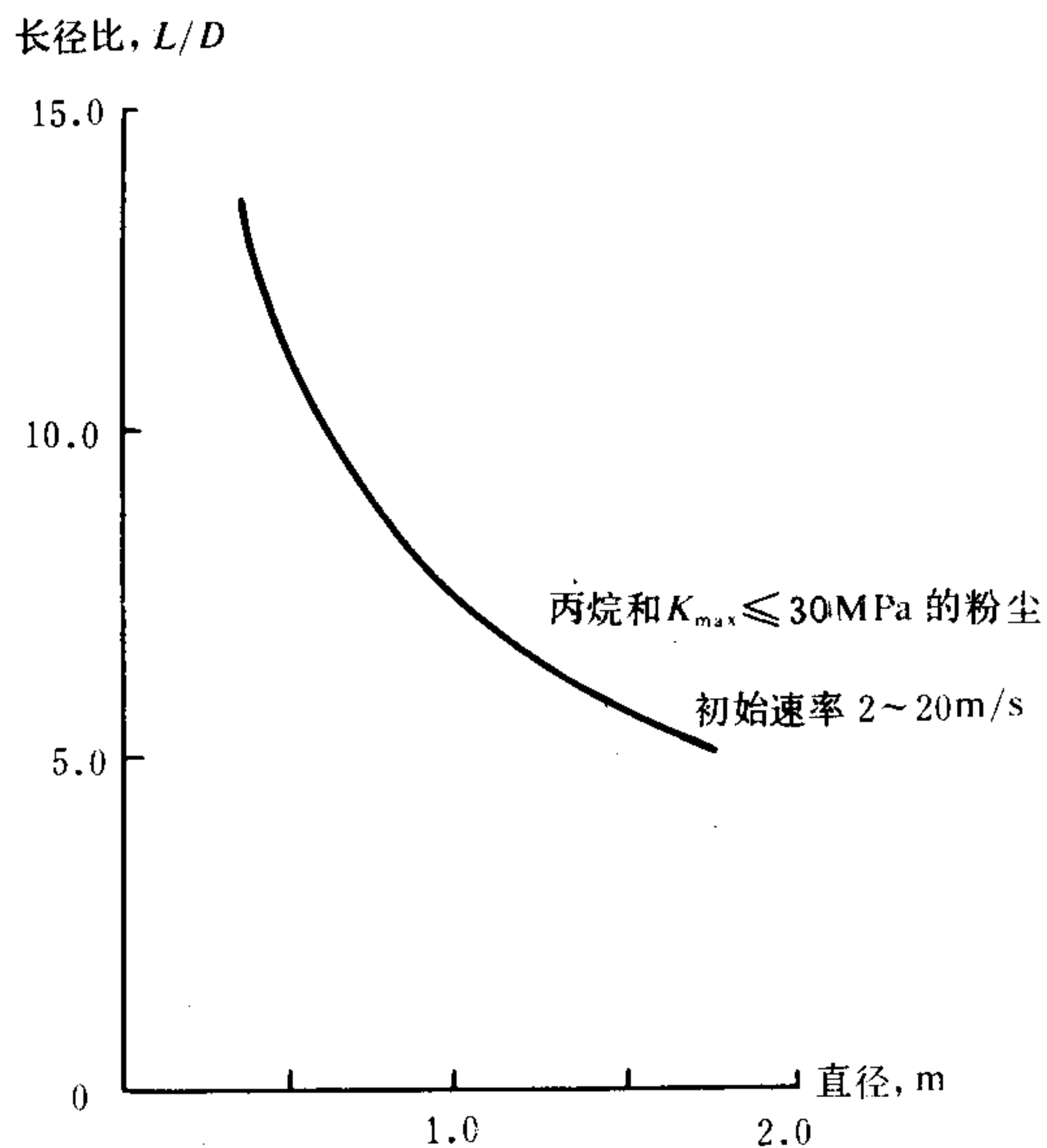


图 A3 避免 $P_{\text{red},\max}$ 不超过 0.02MPa 的管道所允许的长径比

A6.4.2 初速大于 20m/s 或爆炸指数 $K_{\max}$ 大于 30MPa·(m/s) 时,泄压间距不能超过 1~2m,或者管道或通道的设计压力必须能抵御爆轰,或者采取其他防爆措施。

A6.4.3 多泄爆口的位置亦应设置在障碍物的两边。

附录 B

粉尘泄爆基本原理

(参考件)

B1 粉尘爆炸

可燃粉尘云快速燃烧的火焰在未燃粉尘云中传播,快速释放能量,引起压力急剧升高的过程,称为粉尘爆炸。如压力增加至大于围包体的强度,则围包体被爆破。粉尘爆炸必须同时同地具备下列条件:

- 可燃物粒度足够小,呈粉尘云状态分布,且浓度足够大;
- 有足够氧化剂助燃;
- 有足够能量的点火源。

要构成围包体被爆破的危险,必须有足够空间封闭程度。

B2 粉尘爆炸烈度的参数

a. 最大压力上升速率 $(dp/dt)_{\max}$, 爆炸指数 $K_{\max}$, 最大爆炸压力 $p_{\max}$ 表示爆炸猛烈程度。

b. 爆炸指数 $K_{\max}$ 值越大爆炸越猛烈即烈度越高。爆炸指数 $K_{\max}$ 值必须在国际标准规定的 1m³ 爆炸容器或与之等效的爆炸装置中测定,一般是在特定的 20L 球型装置中测定。

B3 粉尘爆炸的感度参数

粉尘爆炸的感度是指粉尘点燃的难易程度,常用衡量的参数有:粉尘云最低着火温度、粉尘层最低点火温度、最小点燃能量、爆炸下限等。上述参数数值越低,感度越高,点燃爆炸越容易。

B4 粉尘爆炸的主要影响因素

B4.1 粉体化学性质

a. 化学热力学性质,如粉体的比热、燃烧值或单位摩尔氧气氧化所放出的热量。比热值越小,燃烧值越大,最大爆炸压力值越大,爆炸下限越低。

b. 反应动力学性质,燃烧速率愈快,最大压力上升速率值愈大。

B4.2 粉体粒径

在粉尘爆炸研究和防护工作中粉尘一般是指含有约 $500\mu\text{m}$ 以下的可燃粉尘,因为含有这样大小的可燃粉尘可能发生爆炸。在粉料处理过程中,由于磨损与冲击作用,大颗粒粉料也会产生细微粉尘,而有爆炸危险。粒径大小对爆炸敏感和猛烈程度有很大影响,如粒度减小则最大爆炸压力和最大压力上升速率都会增大,特别是对后者影响更大。粒径减小,最小点燃能、最低着火温度都要减小。粒径小于 $50\mu\text{m}$ 对爆炸猛烈程度影响更为明显。图 B1 表示了粉体粒径与最大爆炸压力、最大压力上升速率的关系。

B4.3 粉尘浓度

粉尘爆炸最大压力与最大压力上升速率随粉尘浓度的增加而增大到某一最大值后,又随粉尘浓度的增大而降低,如图 B2 所示。最危险粉尘浓度一般要高于化学计量浓度。

B4.4 氧浓度

粉尘云气相中氧浓度的增加,会使爆炸的烈度与感度都会增加(如图 B3 所示)。最大爆炸压力与最大压力上升速率都随氧浓度的降低而减小,粉尘浓度可爆范围变狭(如图 B4 所示)。

B4.5 湿度

吸附在粉体颗粒表面的水分,会使粉尘爆炸感度与烈度降低,即使最小点燃温度、最小点燃能量、爆炸下限升高,使最大爆炸压力、最大压力上升速率和爆炸指数 K_{max} 降低。

B4.6 紊流度

B4.6.1 初始紊流度是在粉尘云开始点燃时周围气相或粉尘在三维方向上作无规则脉动运动强烈的程度。粉尘点燃或爆燃后,周围的气体膨胀,未燃粉尘云的扰动加剧,紊流度加大,这是第二种紊流度。

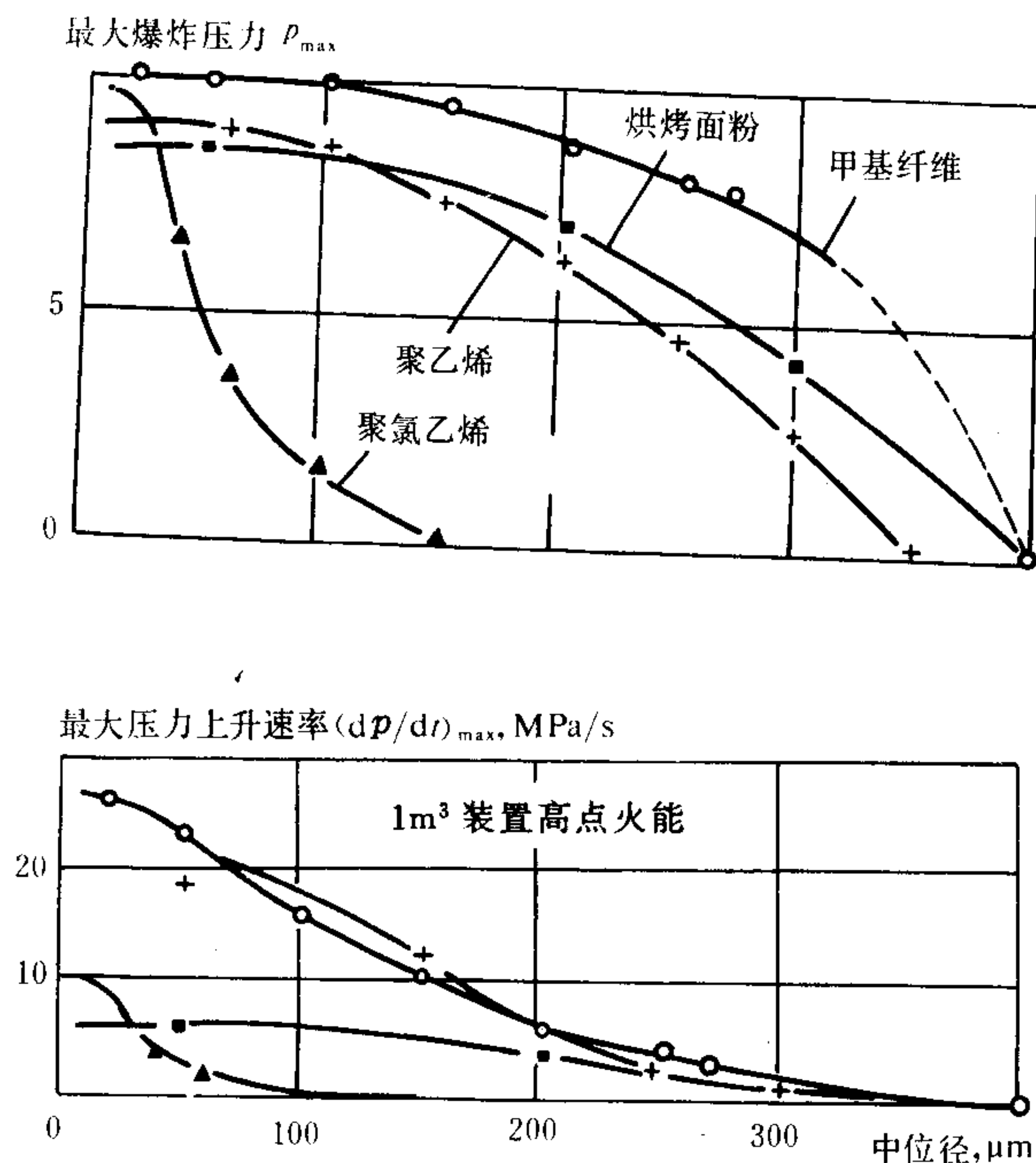


图 B1 粉尘粒径对最大爆炸压力与最大压力上升速率的影响

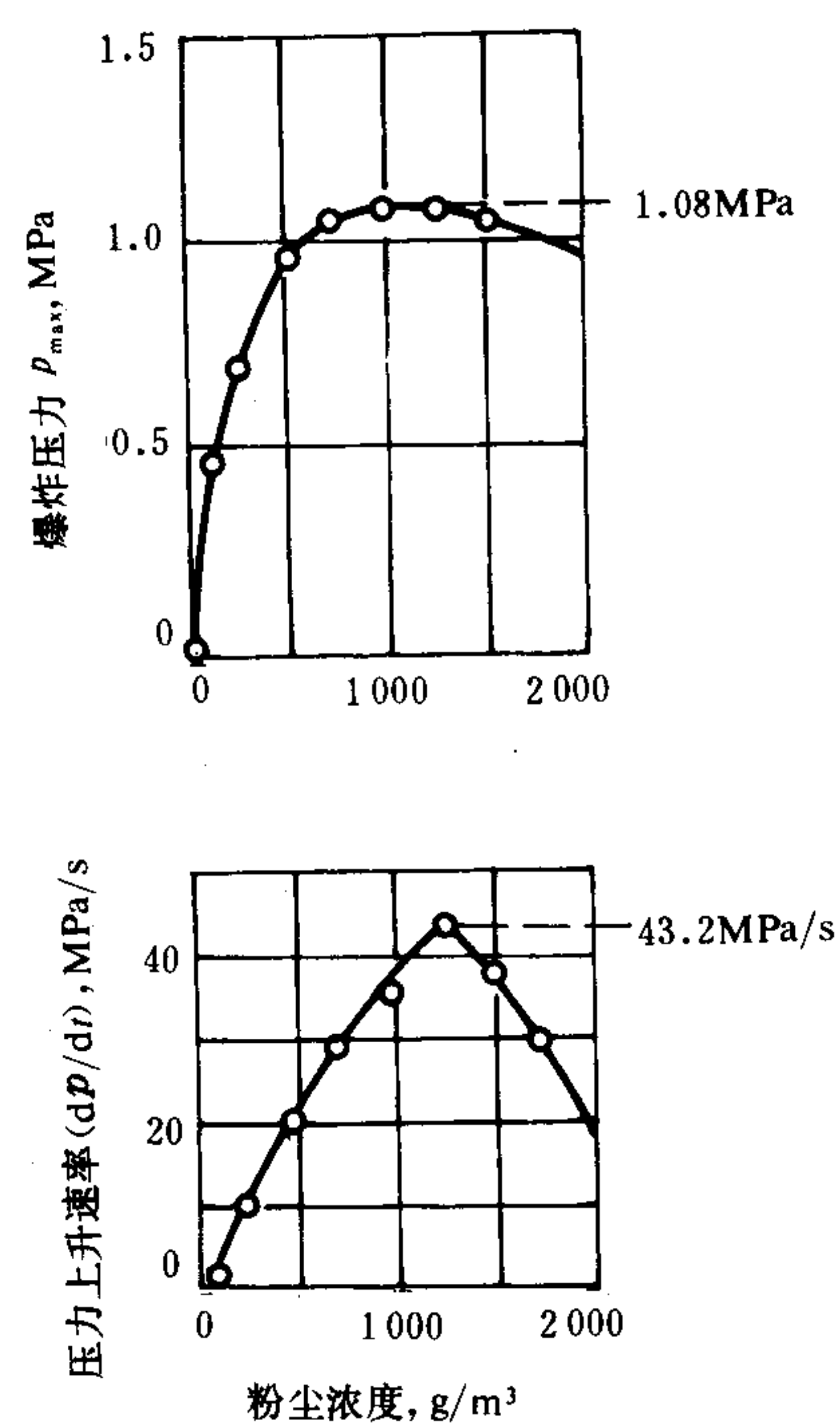


图 B2 最大爆炸压力、最大压力上升速率与粉尘浓度的关系

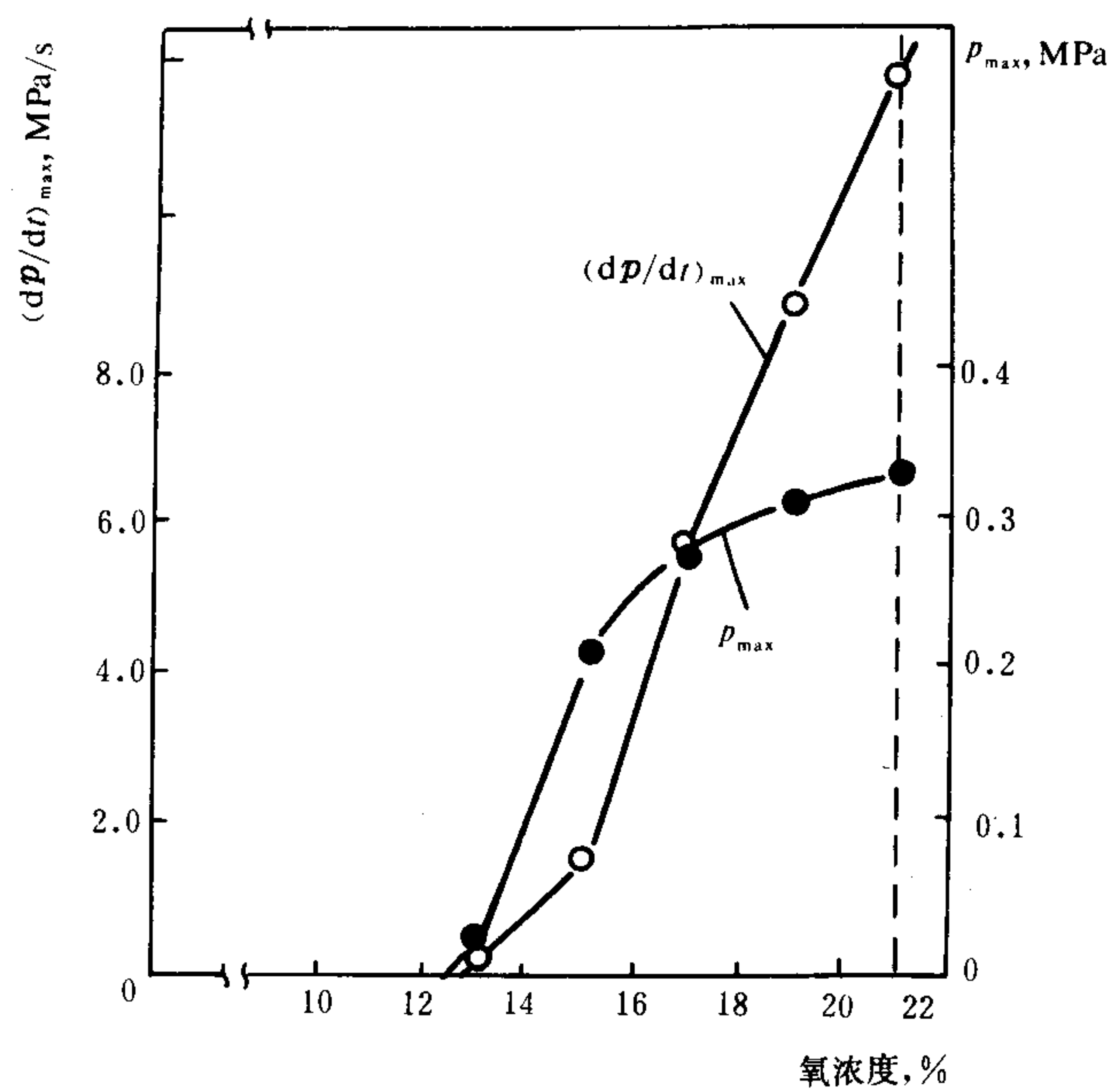


图 B3 氧气浓度对最大爆炸压力与最大压力上升速率的影响

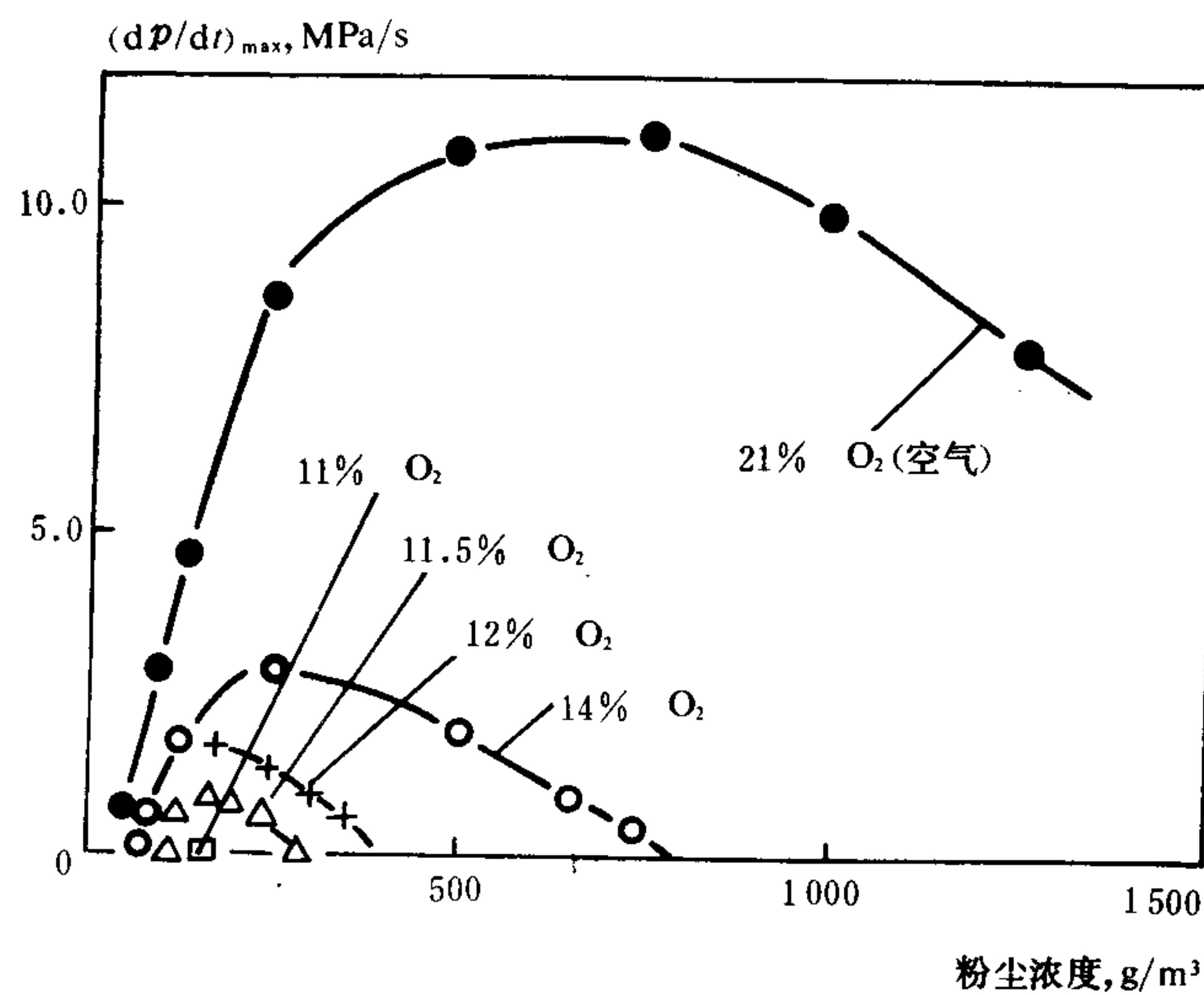


图 B4 氧气浓度对最大压力上升速率的影响

B4.6.2 紊流会增大粉尘云中已燃和未燃部分的接触面积,从而加大反应速度、最大压力上升速率和 $K_{\max}$ 值(如图 B5 所示)。

B4.6.3 初始紊流加速了热量流失,提高了最小点燃能量和着火温度。

B4.7 初始压力

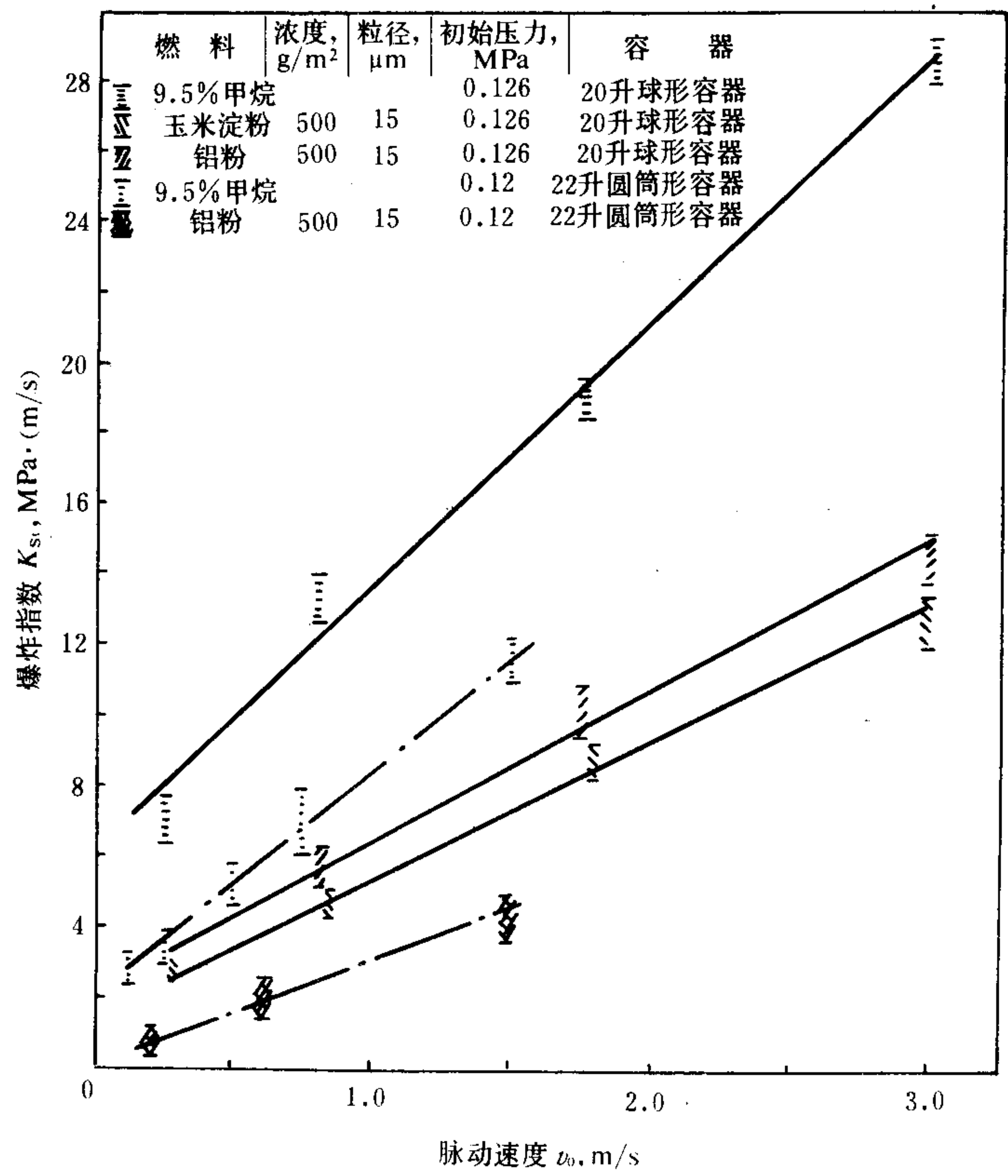


图 B5 紊流度对爆炸指数的影响

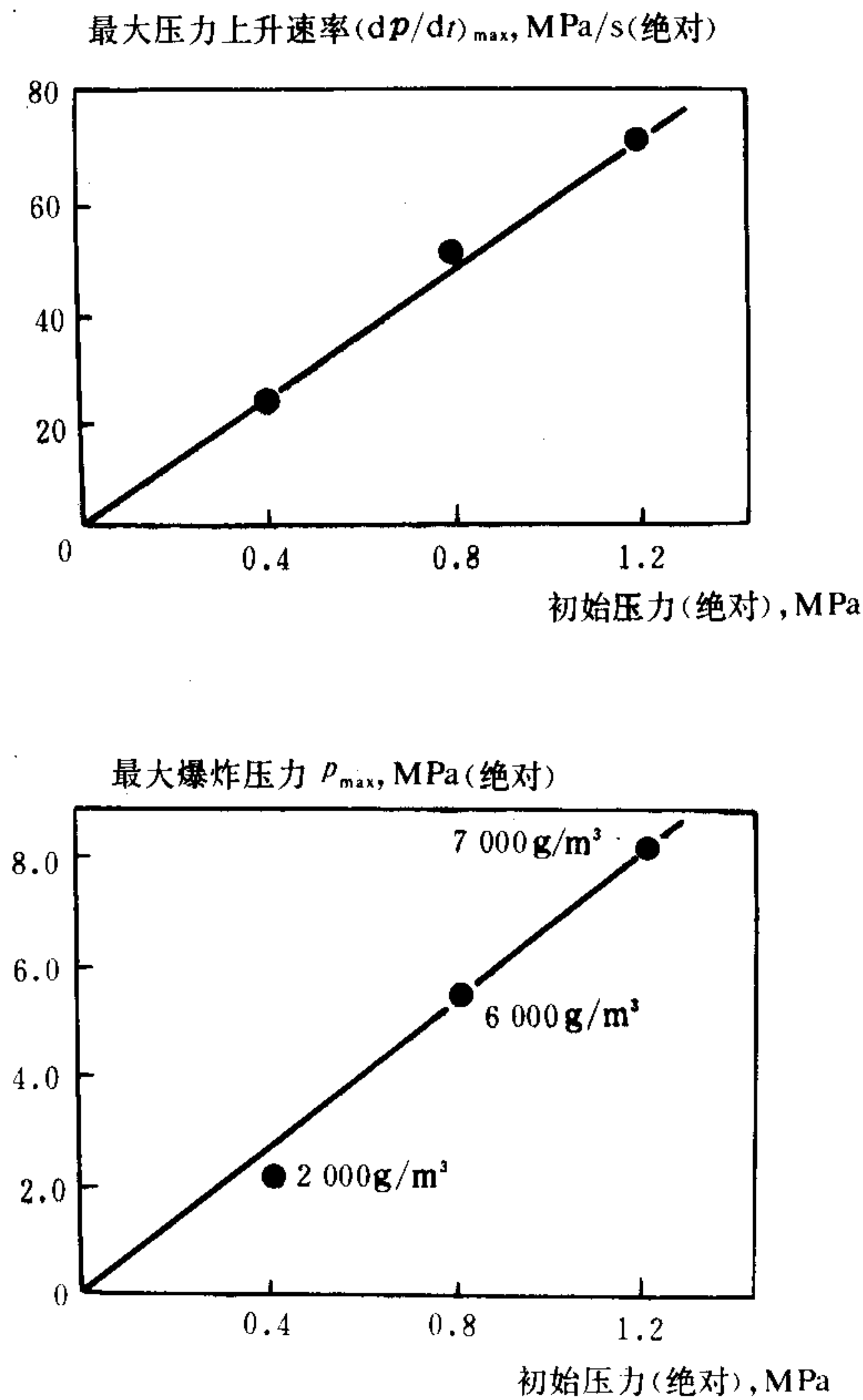


图 B6 烟煤粉尘云的初始压力对最大爆炸压力与最大压力上升速率的影响

以绝对压力计算,粉尘云的初始压力增大,将使最大爆炸压力与最大压力上升速率大致与之成正比增长(如图 B6 所示)。

最大爆炸压力所对应的最危险粉尘浓度也与初始压力的增大而大致成正比地升高,如图 B7 所示。

B4.8 初始温度

粉尘爆炸时的初始温度愈高,最大爆炸压力愈低(如图 B8 所示),但图 B8 表示的其对上升速率影响比较复杂。初始温度愈高,粉尘燃烧速率越快,最小点燃能量降低,爆炸下限降低。

B4.9 点火源

B4.9.1 最大爆炸压力与最大压力上升速率,在小于 1m³ 的密闭容器中随着点火能增加而增大,但在大容器中增大并不明显,只有喷射火焰作为点火源时,由于火焰前沿紊流的影响,使爆燃加剧。

B4.9.2 点火位置在围包体几何中心或位于管道封闭端其爆炸最猛烈。

B4.9.3 点火源的种类有:电火花、明火、机械火花(碰撞或摩擦)、热面、自燃、静电、炽热的杂物等,有时几种火源同时起作用增加紊流度而使爆燃加剧。火源有可能从一围包体被传送到另一围包体,例如从粉碎机通过管道输送到除尘器。燃烧着的粉尘云,如果通过通道从一个围包体传播到另一围包体时,它便成为后者的强烈火源。

B4.10 围包体的形状

围包体长径比小于等于 2 时,火焰基本没有加速;围包体长径比大于 2 小于 5 时,火焰传播有加速;围包体长径比大于 5 时,由于火焰在传播过程中火焰前沿的紊流大大加强了未燃区粉尘云的扰动,从而加剧了爆燃,在一定管径和足够长度的管道中,就会发展到爆轰。爆轰时火焰传播速度可达 2 000m/s 以上,压力可增至 2MPa 数量级甚至到 8MPa,因此破坏力很大。

B4.11 惰性物质的加入

惰性气体如氮气或二氧化碳经常用于预防粉尘和气体着火。它可使最大压力上升速率减小和爆炸下限升高。惰性粉料的加入会吸收热量和减少与氧的接触,降低粉尘燃烧性,但用量相当大。有些惰性

粉料如硅石(二氧化硅),可增加可燃粉尘的分散度,因此反而有害。

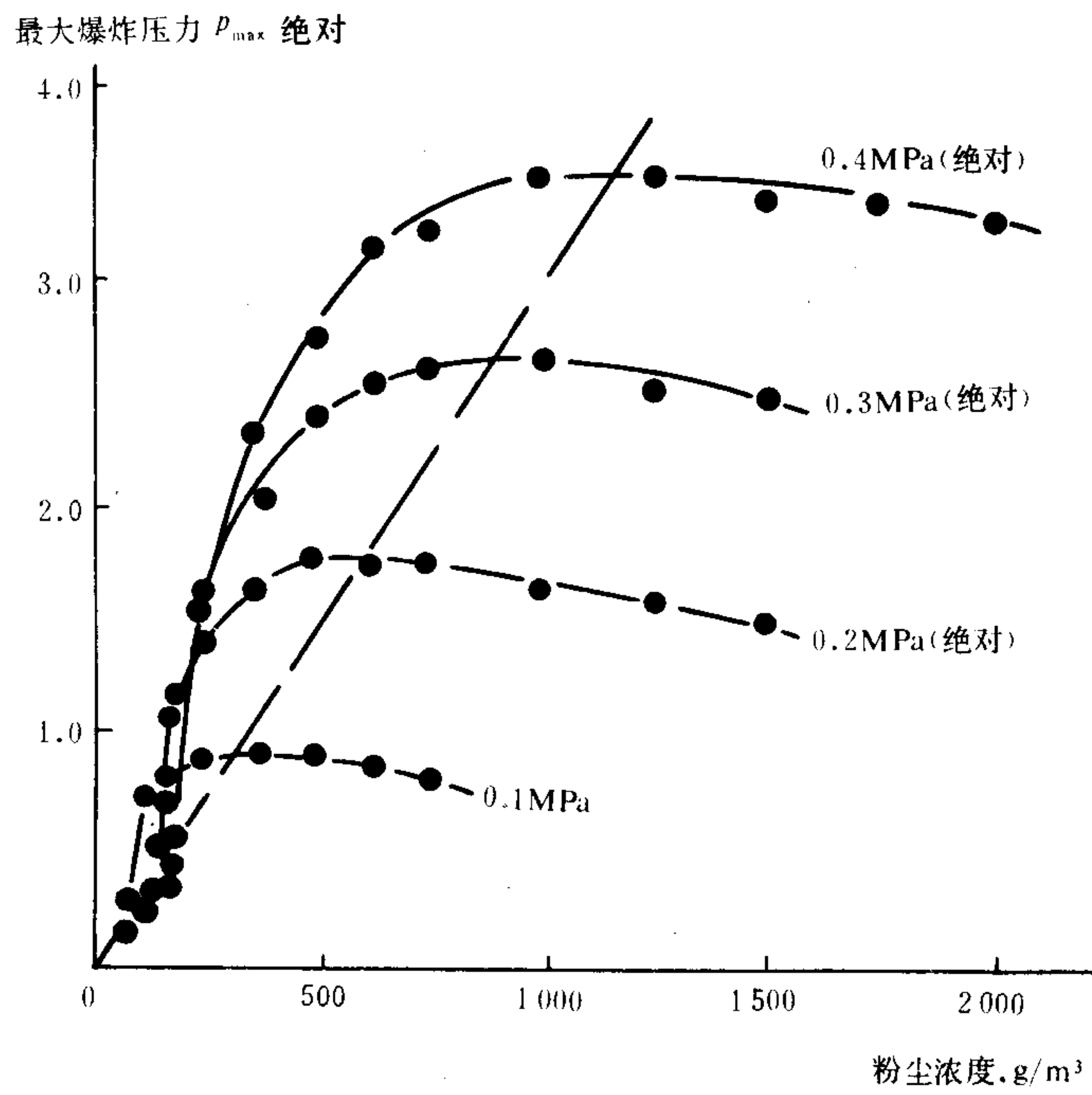


图 B7 在 1m³ 密闭容器中,褐煤在不同初始压力下爆炸的最危险粉尘浓度

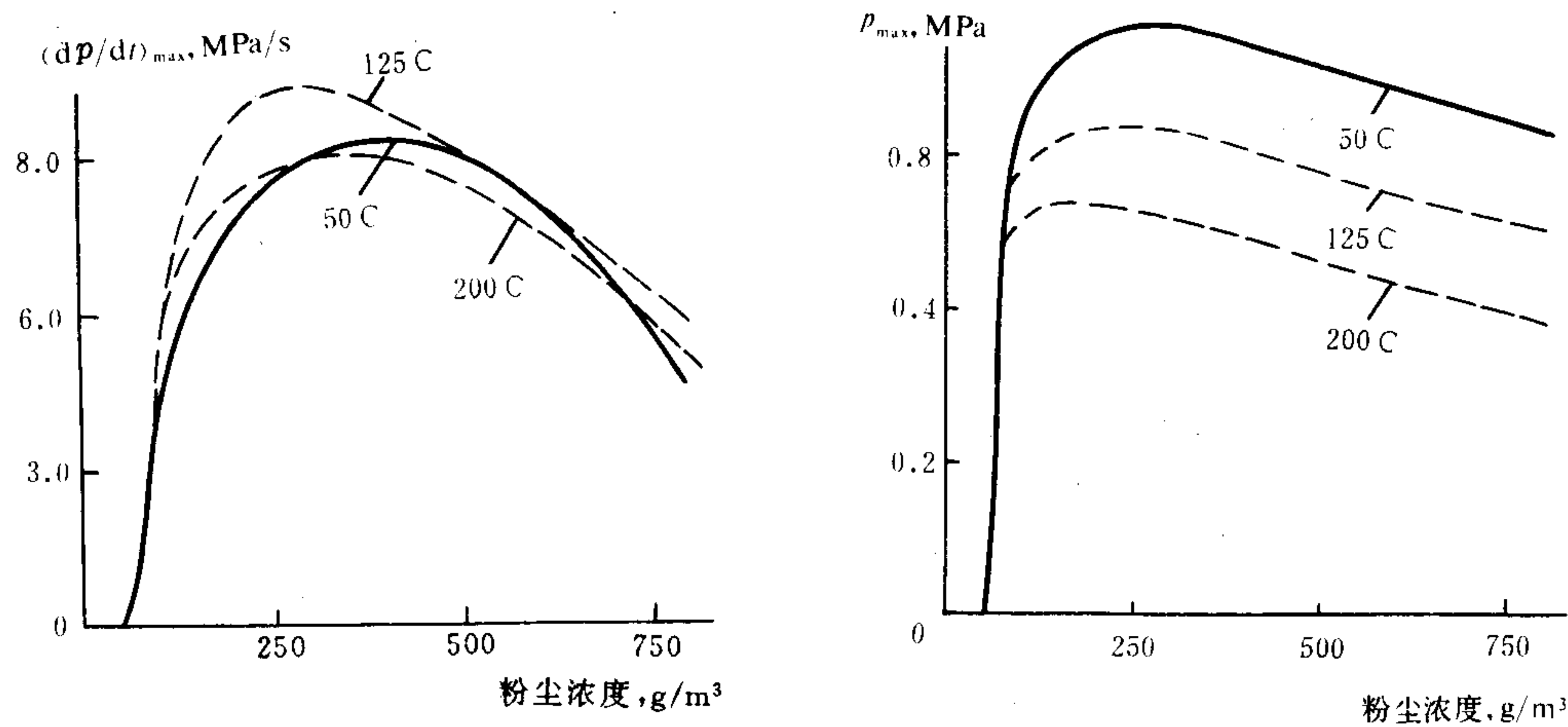


图 B8 初始温度对爆炸压力、最大压力上升速率的影响

B5 可燃性杂混物的爆炸特性

B5.1 可燃气体与可燃粉尘在空气中组成可燃性杂混物后,其爆炸感度增高,爆炸下限、最小点火能量低于其单独组分的爆炸下限和最小点燃能量。有的粉尘与空气不能形成可爆杂混物,但如果加入可燃气体,虽加入的可燃气未达到爆炸下限,但也可形成可爆杂混物。

B5.2 可燃杂混物的爆炸指数 K_{max} 值要比单独粉尘的高,甚至加入的可燃气未达到其爆炸下限也是如此。

B6 泄爆基本原理

泄爆是指在爆炸初始或扩展阶段,将围包体内高温高压燃烧物,通过围包体强度最低的部分(即泄压口),向安全方向泄出,使围包体免遭破坏的技术。如图 B9 所示,曲线 A 是在无泄压装置,足够大的强度容器中,粉尘爆炸压力随时间变化情况。容器强度为 p_s 的容器上开一小泄压口,其他条件不变,则压力与时间的关系如曲线 B 所示,最大泄爆压力超过了容器的强度,容器仍被破坏。如泄压口开得足够大,最大泄爆压力如 C 线所示,低于容器的强度,容器不会因爆炸而破坏。

B7 泄爆有关参数

B7.1 泄爆压力与泄爆压力上升速率

粉尘泄爆时,围包体内的压力因泄爆而降低,但又因粉尘在继续爆炸而升高,二者综合的结果是减小了泄爆时的压力与压力上升速率,使爆炸压力上升到一最大值,即泄爆压力,然后随时间延长不断降低,如果泄爆面积足够大,泄爆压力上升速率会下降到零,甚至负值。在所有粉尘浓度范围内泄爆压力、泄爆压力上升速率值中最大的值即为最大泄爆压力、最大泄爆压力上升速率,泄爆设计是用此值。

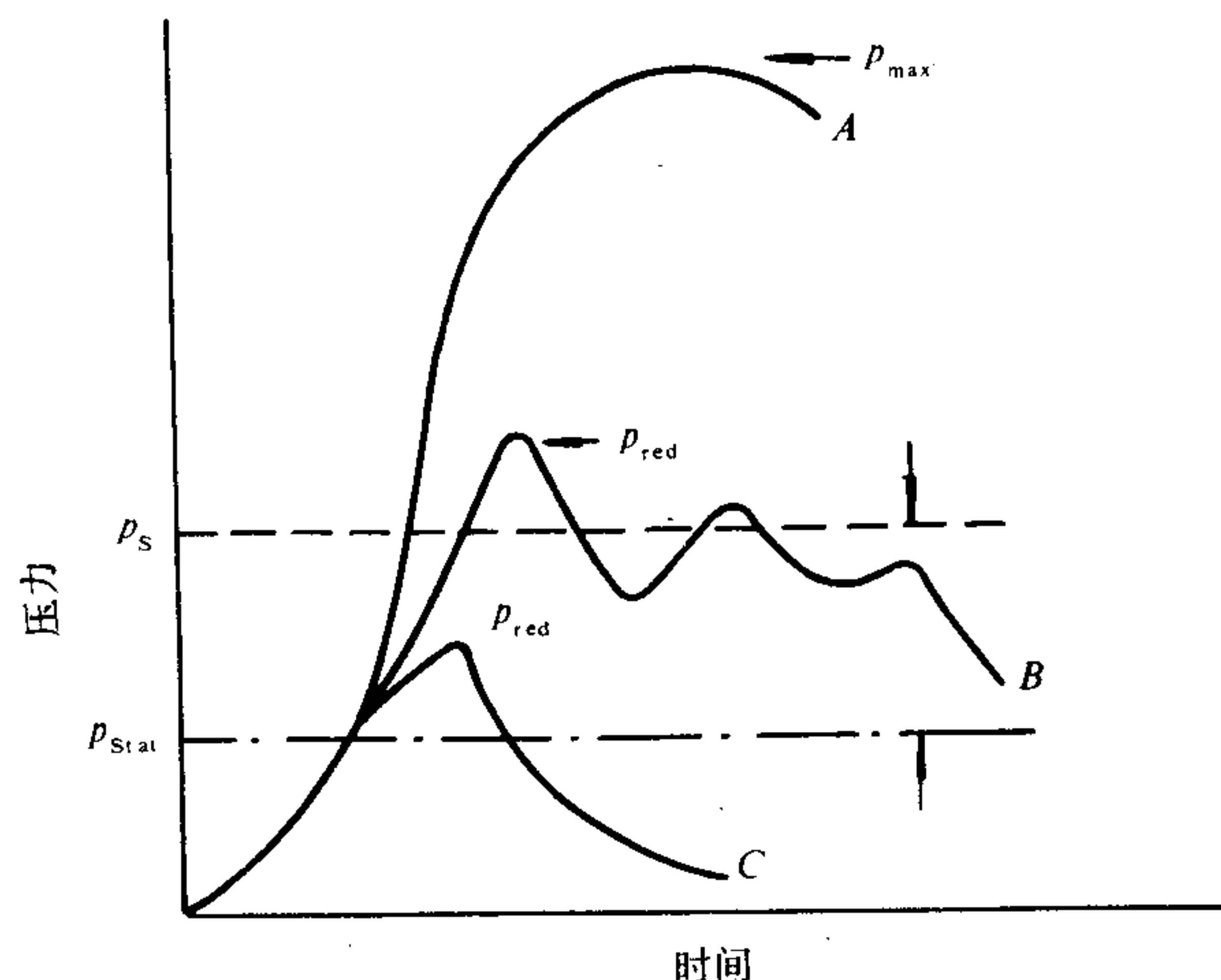


图 B9 典型的未泄爆与泄爆的压力随时间变化曲线

B7.2 开启静压

B7.2.1 开启静压越小,围包体泄爆越早。泄压面积一定时,低开启压力比高开启压力产生的泄爆压力小,如果要达到同样大小的泄爆压力,则开启压力小的,所需泄压面积小。

B7.2.2 开启压力要受工艺要求的制约。开启压力太小,稍受干扰(如大气流动对泄压盖会产生吸力等)就会打开泄爆口,影响生产操作。

B7.2.3 泄爆盖质量愈大,惯性越大,需要的开启静压就越大,打开的时间也越长。

B7.3 爆炸指数 K_{max}

B7.3.1 爆炸指数 K_{max} 愈大,最大压力上升速率愈大,则需要更大的泄压面积。

B7.3.2 附录 C 的一些粉尘的爆炸性可作为参考。但由于粉尘特性往往差别较大,而且测试条件不同,往往同名称的粉尘爆炸性差别甚大,因此设计前应将粉尘送往专门机构测定。

B7.4 粉体分布均匀程度

计算泄压面积的诺谟图,是指爆炸容器内粉体均匀分布情况而言的。如果粉体分布不均匀,所需泄压面积比诺谟图计算出的要小。

B7.5 泄爆口外最大火焰长度, $L_{F,H}$

St1、St2 级粉尘与空气均匀分布的混合物泄爆,最大泄爆压力不大于 0.1MPa,开启压力

$\leq 0.01\text{MPa}$, 围包体为立方体, $0.3\text{m}^3 \leq V \leq 10\,000\text{m}^3$, $p_{\max} \leq 0.9\text{MPa}$, $20 \leq K_{\text{st}} \leq 30\text{MPa/s}$, 则

$$L_{\text{F,H}} = 8 \cdot V^{0.3} \dots\dots\dots (\text{B1})$$

式中: $L_{\text{F,H}}$ ——粉尘均匀分布的泄爆口外最大火焰长度, m;
 V ——立方体形围包体的容积, m^3 。

不均匀分布的 St1、St2 级粉尘, 其最大火焰长度随泄压的立方形围包体容积 ($10\text{m}^3 \leq V \leq 10\,000\text{m}^3$) 的增大而减小(其余条件同 B1 式):

$$L_{\text{F,I}} = 15 \cdot V^{-0.25} \dots\dots\dots (\text{B2})$$

式中: $L_{\text{F,I}}$ ——粉尘不均匀分布的泄爆口外最大火焰长度, m;
 V ——立方体形围包体的容积, m^3 。

但在长径比大于或等于 2 时, 火焰长度比式(B2)大。

B7.6 泄压口外爆炸压力

对 St1 级均匀粉尘云, 最大泄爆压力小于等于 0.1MPa、开启压力小于等于 0.01MPa 时, 在立方形贮罐的泄压口外距离为 $R_s = 0.25 \cdot L_{\text{F,H}}$ 处, 出现最大峰压, 其值可由式(B3)估算:

$$p_{\max,a} = 0.02 p_{\text{red,max}} \cdot (A)^{0.1} \cdot (V)^{0.18} \dots\dots\dots (\text{B3})$$

式中: $p_{\max,a}$ ——泄压口外最大峰压, MPa;
 A ——泄爆面积, m^2 ;
 V ——围包体的容积, m^3 。

距离泄压口为 r 处产生的峰压为:

$$p_r = p_{\max,a} \cdot (R_s/r)^{1.5} \dots\dots\dots (\text{B4})$$

式中: p_r ——泄压口外峰压, MPa;
 $p_{\max,a}$ ——泄压口外最大峰压, MPa;
 R_s ——泄压口至 $p_{\max,a}$ 的距离, m;
 r ——距泄压口的距离, m。

B8 围包体强度

在设计围包体强度时, 首先应知道该围包体最弱部分的强度和要求的水平。如果发生爆炸, 围包体除了不允许破裂外, 是否允许存在永久非弹性变形。如果不允许, 则为抗压设计水平, 如果允许则是抗冲击设计水平。二者不同之处是, 前者围包体要求能承受最大爆炸压力(或初始压力增大后的最大爆炸压力), 与压力容器设计要求相同, 其最大允许应力最高不应超过三分之二屈服强度极限, 而后者最大允许应力不得超过屈服强度极限。如图 B10 所示。

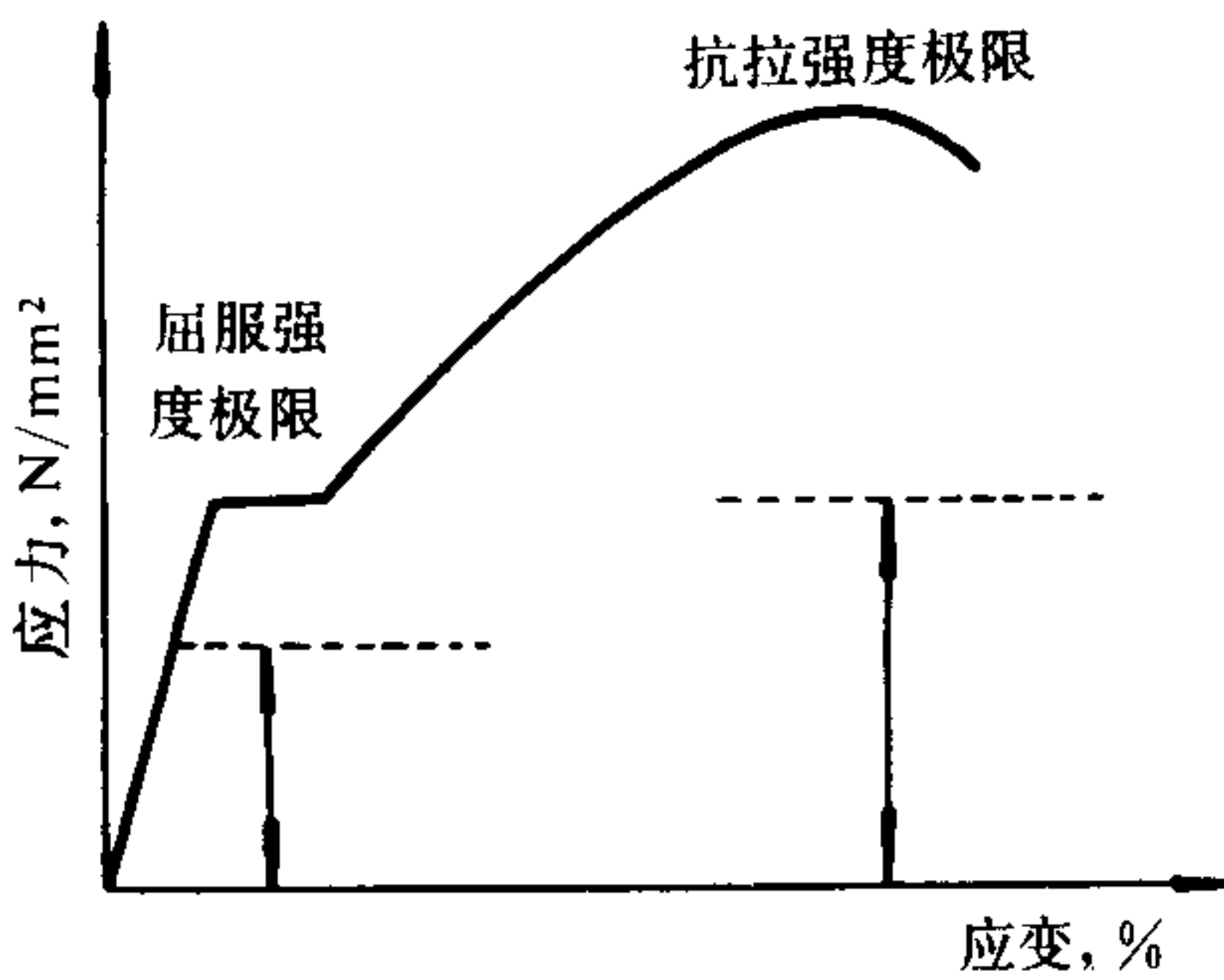


图 B10 钢板应力-应变示意图

附 录 C
可燃粉尘的爆炸性
(参考件)

表 C1 农业产品

粉尘类型	中位径 μm	爆炸下限浓度 g/m^3	最大爆炸压力 MPa	最大压力 上升速率 MPa/s	爆炸指数 K_{max} $\text{MPa} \cdot (\text{m}/\text{s})$	危险等级
纤 维 素	33	60	0.97	22.9	22.9	St2
纤 维 素	42	30	0.99	6.2	6.2	St1
软 木 料	42	30	0.96	20.2	20.2	St2
谷 物	28	60	0.94	7.5	7.5	St1
蛋 白	17	125	0.83	3.8	3.8	St1
奶 粉	83	60	0.58	2.8	2.8	St1
大 豆 粉	20	200	0.92	11.0	11.0	St1
玉 米 淀 粉	7	—	1.03	20.2	20.2	St2
大 米 淀 粉	18	60	0.92	10.1	10.1	St1
大 米 淀 粉	18	50	0.78	19.0	19.0	St1/St2
面 粉	52.7	70	0.68	8.0	8.0	St1
精 粉	52.2	80	0.63	5.0	5.0	St1
玉米淀粉(抚顺)	15.2	50	0.82	11.5	11.5	St1
玉 米 淀 粉	16	60	0.97	15.8	15.8	St1
玉 米 淀 粉	<10	—	1.02	12.8	12.8	St1
中国石松子粉	35.5	20	0.70	12.2	12.2	St1
石 松 子 粉	—	—	0.76	15.5	15.5	St1
石 松 子 粉	—	—	0.65	13.5	13.5	St1
亚麻(除尘器)	65.3	60	0.57	8.7	8.7	St1
中 国 棉 花	—	40	0.56	1.5	1.5	St1
小 麦 淀 粉	22	30	0.99	11.5	11.5	St1
糖	30	200	0.85	13.8	13.8	St1
糖	27	60	0.83	8.2	8.2	St1
牛 奶 糖	29	60	0.82	5.9	5.9	St1
甜 菜 薯 粉	22	125	0.94	6.2	6.2	St1
乳 浆	41	125	0.98	14.0	14.0	St1
木 粉	29	—	1.05	20.5	20.5	St2

表 C2 碳质粉尘

粉尘类型	中位径 μm	爆炸下限浓度 g/m ³	最大爆炸压力 MPa	最大压力 上升速率 MPa/s	爆炸指数 $K_{\max}$ MPa · (m/s)	爆炸等级
活 性 炭	28	60	0.77	4.4	4.4	St1
木 炭	14	60	0.90	1.0	1.0	St1
烟 煤	24	60	0.92	12.9	12.9	St1
石 油 焦 炭	15	125	0.76	4.7	4.7	St1
灯 黑	<10	60	0.84	12.1	12.1	St1
烟煤(29%挥发分)	16.4	30	0.86	14.9	14.9	St1
褐煤(43%挥发分)	17.5	40	0.75	14.5	14.5	St1
褐 煤	32	60	1.0	15.1	15.1	St1
泥煤(15%H ₂ O)	—	58	0.6	15.7	15.7	St1
泥煤(22%H ₂ O)	—	46	1.25	6.9	6.9	St1
永 川 煤 粉	—	—	0.75	15.3	15.3	St1
煤 粉	—	—	0.799	16.7	16.7	St1
前 江 煤	—	—	0.79	6.8	6.8	St1
兗 州 煤	—	—	0.79	13.2	13.2	St1
淮 南 煤	—	—	0.77	12.4	12.4	St1
大 屯 局 煤	—	—	0.71	14.0	14.0	St1
石嘴山局煤	—	—	0.68	6.8	6.8	St1
窑 街 局 煤	—	—	0.77	9.2	9.2	St1
潞 安 局 煤	—	—	0.70	4.1	4.1	St1
峰 峰 局 煤	—	—	0.70	2.5	2.5	St1
石炭井局煤	—	—	0.71	8.0	8.0	St1
西 山 局 煤	—	—	0.73	7.3	7.3	St1
松 树 积 炭	<10	—	0.79	2.6	2.6	St1

表 C3 化学粉尘

粉尘类型	中位径 μm	爆炸下限浓度 g/m ³	最大爆炸压力 MPa	最大压力 上升速率 MPa/s	爆炸指数 $K_{\max}$ MPa · (m/s)	爆炸等级
己 二 酸	<10	60	0.80	9.7	9.7	St1
蒽 醌	<10	—	1.06	36.4	36.4	St3
抗 坏 血 酸	39	60	0.90	11.1	11.1	St1
乙 酸 钙	92	500	0.52	0.9	0.9	St1
乙 酸 钙	85	250	0.65	2.1	2.1	St1
硬 脂 酸 钙	12	30	0.91	13.2	13.2	St1
羧基甲基纤维素	24	125	0.92	13.6	13.6	St1
糊 精	41	60	0.88	10.6	10.6	St1
乳 糖	23	60	0.77	8.1	8.1	St1
硬 脂 酸 铅	12	30	0.92	15.2	15.2	St1
甲基纤维素	75	60	0.95	13.4	13.4	St1
仲 甲 醛	23	60	0.99	17.8	17.8	St1
抗坏血酸钠	23	60	0.84	11.9	11.9	St1
硬 脂 酸 钠	22	30	0.88	12.3	12.3	St1
硫	20	30	0.68	15.1	15.1	St1

表 C4 金属粉尘

粉尘类型	中位径 μm	爆炸下限浓度 g/m^3	最大爆炸压力 MPa	最大压力 上升速率 MPa/s	爆炸指数 $K_{\max}$ $\text{MPa} \cdot (\text{m}/\text{s})$	爆炸等级
铝 粉	29	30	1.24	41.5	41.5	St3
铝 粉	22	30	1.15	110.0	110.0	St3
铝 粒	41	60	1.02	10.0	10.0	St1
铁 粉	12	500	0.52	5.0	5.0	St1
黄 铜	18	750	0.41	3.1	3.1	St1
铁	<10	125	0.61	11.1	11.1	St1
碳 基 镁	28	30	1.75	50.8	50.8	St3
锌	10	250	0.67	12.5	12.5	St1
锌	<10	125	0.73	17.6	17.6	St1
硅 钙	12.4	60	0.84	19.8	19.8	St1/St2
硅 钙 粉	26	—	0.76	17.0	17.0	St1
硅 铁 粉	29	—	0.65	3.4	3.4	St1

表 C5 塑 料

粉尘类型	中位径 μm	爆炸下限浓度 g/m^3	最大爆炸压力 MPa	最大压力 上升速率 MPa/s	爆炸指数 $K_{\max}$ $\text{MPa} \cdot (\text{m}/\text{s})$	爆炸等级
聚丙烯酰胺	10	250	0.59	1.2	1.2	St1
聚丙烯腈	25	—	0.85	12.1	12.1	St1
聚乙烯 (低压过程)	<10	30	0.80	15.6	15.6	St1
环氧树脂	26	30	0.79	12.9	12.9	St1
蜜胺树脂	18	125	1.02	11.0	11.0	St1
模制蜜胺(木粉和矿物 填充的酚甲醛)	15	60	0.75	4.1	4.1	St1
模制蜜胺(酚纤维素)	12	60	1.00	12.7	12.7	St1
聚丙烯酸甲酯	21	30	0.94	26.9	26.9	St2
聚丙烯酸甲酯 乳剂聚合物	18	30	1.01	20.2	20.2	St2

续表 C5

粉尘类型	中位径 μm	爆炸下限浓度 g/m^3	最大爆炸压力 MPa	最大压力 上升速率 MPa/s	爆炸指数 K_{max} $\text{MPa} \cdot (\text{m}/\text{s})$	爆炸等级
酚醛树脂	<10	15	0.93	12.9	12.9	St1
聚丙烯	25	30	0.84	10.1	10.1	St1
萘酚树脂	10	15	0.8	14.3	14.3	St1
模制尿素甲 醛/纤维素	13	60	10.2	13.6	13.6	St1
聚乙酸乙烯酯/乙烯 共聚物	32	30	0.86	11.9	11.9	St1
聚乙烯醇	26	60	0.89	12.8	12.8	St1
聚乙烯丁缩醛	65	30	0.89	14.7	14.7	St1
聚氯乙烯	107	200	0.76	4.6	4.6	St1
聚氯乙烯 /乙烯乙炔乳 剂共聚物	35	60	0.82	9.5	9.5	St1
聚氯乙烯 /乙炔/乙烯 乙炔悬浮 共聚物	60	60	0.83	9.8	9.8	St1

附 录 D

参考文献

(参考件)

1. NFPA 68-1988, "Guide for Venting of Deflagrations".
2. VDI 3673 1992 年版, "Druckentlastung Von Staubexplosionen".
3. VDI 2263 1991 年版。
4. R. K. Eckhoff, "Dust Explosion in the Process Industries", Butterwerth HEINEMANN, 1991.
5. ISO 6184-1, Explosion Protection Systems, Part1: Determination of Explosion Indices of Combustible Dasts in Air. ISO, Geneva, 1985.
6. Geoff Lunn, "Dust Explosion Prevention and Protection, Part1-Venting" Icheme, 1992.
7. 东北大学工业爆炸及防护研究所: "北京市东郊粮食仓库烘干塔与筒仓粉尘防爆研究" 报告之一: "粮食粉尘爆炸性研究", 1993。
8. 东北大学工业爆炸及防护研究所: "北京市东郊粮食仓库烘干塔与筒仓粉尘防爆研究" 报告之二: "极

低强度粉尘泄爆研究报告”,1993。

9. 东北大学工业爆炸及防护研究所:“北京市东郊粮食仓库烘干塔与筒仓粉尘防爆研究工程设计”1991。

附加说明:

本标准由全国粉尘防爆标准化委员会提出并归口。

本标准由东北大学工业爆炸及防护研究所负责起草。

本标准主要起草人邓煦帆、李刚、冯志彬、党君祥、钟圣俊。