

# 中华人民共和国国家标准

## 粉尘云最小点火能测试方法 双层振动筛落法(积分计算能量)

GB/T 15929—1995

Determination of the minimum ignition energy of dust cloud

A method of dust-falling for double-deck shaking sieve

(integrated calculation of energy)

悬浮在空气中的可燃粉尘(以下简称为粉尘云)容易引起爆炸。粉尘云的最小点火能是重要的爆炸特性参数之一,它对研究和防止粉尘的燃烧、爆炸有重要意义。

影响粉尘云最小点火能的因素很多,如表1所示。这些因素都是粉尘最小点火能的测试条件。测试条件的选择或确定对最小点火能的测量值影响极大,可引起几倍、几十倍甚至上百倍的差异。

表1 粉尘云最小点火能的影响因素

按属性分类	影响因素	按影响特性分类
粉尘的性质和状态	粉尘颗粒形状 粉尘粒径或粒度 } → 粉尘的比表面积 可燃挥发分 不挥发的可燃成分(固定碳等) 不燃成分(灰分) 水分	单调因素
粉尘云的性质和状态	粉尘浓度	极值因素
	粉尘云的均匀程度 粉尘云的扰动程度	
气候环境条件	粉尘云的初始压力 粉尘云的初始温度 <sup>1)</sup> 粉尘云的初始相对湿度	单调因素
放电火花性质	电极粗细或端部曲率半径	
	电极距离 → 火花能量的空间密度 放电火花时间 → { 储能电容 放电电阻 } → 火花能量的时间密度 电路电感	极值因素

注: 1) 初始温度对有挥发分的粉尘云是个极值因素,不过在不太高的温度范围内可以看作单调因素。

## 1 主题内容与适用范围

### 1.1 主题内容

本标准规定了粉尘云最小点火能的测试原理、测试装置和测试方法。

### 1.2 适用范围

本标准适用于除火炸药以外所有颗粒状粉尘和能筛落的短纤维粉尘。

## 2 术语和符号

### 2.1 关于点火源的术语和符号

#### 2.1.1 自然衰减型电容放电火花 capacitor discharge sparks with decaying natural type

充电的电容器通过串联电阻在电极间隙形成的放电火花。

#### 2.1.2 火花时间 $\tau$ spark time $\tau$

火花放电从形成火花到火花熄灭的时间。以毫秒(ms)为单位。

#### 2.1.3 火花能量 $W_s$ energy of sparks $W_s$

火花放电释放的能量。以毫焦耳(mJ)为单位。

#### 2.1.4 电极距离 $l$ distance between electrodes $l$

放电电极之间的距离。以毫米(mm)为单位。

### 2.2 关于粉尘与粉尘云的术语和符号

#### 2.2.1 粉尘 dust

能在一定时间内形成粉尘云,且因自身重量而沉降的微小固态粒子。

#### 2.2.2 可燃粉尘 combustible dust

在粉尘云状态下可燃或易燃的粉尘。

#### 2.2.3 粉尘浓度 $y$ dust concentration $y$

单位体积粉尘云中所含的粉尘质量。以每立方米的克数( $g/m^3$ )为单位。

### 2.3 关于粉尘云的点火能和影响因素及其状态的术语和符号。

#### 2.3.1 点火能 $E$ ignition energy $E$

影响粉尘云引燃能量的所有因素都处于某一确定状态下引燃粉尘云所需的最小能量。以毫焦耳(mJ)为单位。

#### 2.3.2 影响因素 influential factor

影响粉尘云点火能大小的因素。

#### 2.3.3 单调因素 monotone factor

使点火能单调变化(单调递增或单调递减)的影响因素。

#### 2.3.4 极值因素 extreme value factor

使点火能出现极小值的影响因素。粉尘云点火能的主要极值因素有粉尘浓度  $y$ 、电极距离  $l$  和火花时间  $\tau$

#### 2.3.5 敏感状态 sensitive state

某一极值因素在其它因素都不变的情况下单独使点火能取极小值的状态称为该极值因素的敏感状态。

#### 2.3.6 敏感值 sensitive value

每个极值因素的敏感状态参数称为该极值因素的敏感值。也就是浓度、火花时间和电极距离各自的敏感状态参数分别称为敏感浓度、敏感火花时间和敏感电极距离,分别表示为  $y_m$ 、 $\tau_m$  和  $l_m$ 。

#### 2.3.7 总敏感状态 total sensitive state

同时使点火能取极小值的全部极值因素状态称为极值因素的总敏感状态。

### 2.3.8 总敏感值 total sensitive value

总敏感状态参数称为极值因素的总敏感值,也就是浓度、火花时间和电极距离的总敏感值分别称为总敏感浓度、总敏感火花时间和总敏感电极距离,分别表示为  $y_M$ 、 $\tau_M$  和  $l_M$ 。

### 2.4 关于最小点火能的术语和符号

2.4.1 部分敏感状态 50%最小点火能  $E_{A,50\%}$ ,  $E_{A,B,50\%}$  the minimum ignition energy with ignition probability of 50% under partial sensitive state  $E_{A,50\%}$ ,  $E_{A,B,50\%}$

在全部单调因素处于规定状态,部分(一个或二个,而不是全部)极值因素处于敏感状态,剩余极值因素处于一定状态下点火率为 50% 的最小点火能。以毫焦耳(mJ)为单位。角码 A 和 B 表示处于敏感状态的极值因素。

2.4.2 总敏感状态 50%最小点火能  $E_{M,50\%}$  the minimum ignition energy with ignition probability of 50% under the total sensitive state  $E_{M,50\%}$

在全部单调因素处于规定状态,所有极值因素处于总敏感状态下点火率为 50% 的最小点火能。以毫焦耳(mJ)为单位。

2.4.3 总敏感状态  $P\%$ 最小点火能  $E_{M,P\%}$  the minimum ignition energy with ignition probability of  $P\%$  under the total sensitive state  $E_{M,P\%}$

在全部单调因素处于规定状态,所有极值因素处于总敏感状态下点火率为  $P\%$  的最小点火能。以毫焦耳(mJ)为单位。

2.4.4 静电火花极限感度  $E_{lim}$  limit sensitivity of electrostatic sparks  $E_{lim}$

在全部单调因素处于规定状态,所有极值因素处于总敏感状态下点火率为百万分之一的最小点火能。以毫焦耳(mJ)为单位。

### 2.5 关于试验装置的术语和符号

2.5.1 双层振动筛落爆炸试验装置 explosion testing apparatus with a double-deck shaking sieve for a fall of dust

用双层筛分别振动筛落粉尘的方法形成均匀粉尘云,并用来测试粉尘云最小点火能的爆炸试验装置。

## 3 测试原理

可燃粉尘云的点火率服从以点火能量(火花能量)为随机变量的对数正态分布,也就是服从以点火能量的对数为随机变量的正态分布。

在全部单调因素处于规定状态下,用附录 A(补充件)中规定的概率法或升降法,先确定极值因素的总敏感状态,再求得总敏感状态下的点火率对数正态分布参数  $\mu$  和  $\sigma$ ,用下列公式求得对应于各种点火率的最小点火能:

$$E_{M,50\%} = 10^\mu \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$E_{M,P\%} = E_{M,50\%} \cdot 10^{t_{P\%} \cdot \sigma} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$E_{lim} = E_{M,50\%} \cdot 10^{-4.7534\sigma} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中  $t_{P\%}$  为对应于  $P\%$  概率的标准正态变量,其典型值如附录 B(参考件)所示。

## 4 测试系统

### 4.1 形成均匀粉尘云的爆炸试验装置和粉尘浓度测量方法

#### 4.1.1 双层振动筛落爆炸试验装置

双层振动筛落爆炸试验装置主要由主、副筛和它们的振动机构,主轴及其内外两层套管,分别固定

在内层套管两侧的粉尘浓度测试筒(由三段组成,以下简称为测试筒)和爆炸试验筒(以下简称为爆炸筒),以及固定在外层套管上的挡尘板和接尘板等组成,如图 1 所示。主轴固定不动,内、外两层套管可绕主轴转动。电机通过皮带带动轴 A 和 B 旋转,并通过偏心轮分别带动主筛和副筛,使主筛上下振动和副筛水平振动。它们的振幅可通过偏心轮的偏心距来调解。副筛的振动频率为主筛的三倍。副筛的作用是提高粉尘云的均匀性。副筛的目数适当小于主筛,以免副筛上堆积粉尘。当电机启动时主副筛也同时振动,于是在副筛下方的测试筒或爆炸筒内形成均匀粉尘云。

测试筒和爆炸筒均由内外径分别为 9.3 和 10.3 cm 的有机玻璃管或其它高强度透明管制成。测试筒中段体积约为 3 L,爆炸筒体积约为 5 L。

主筛的尺寸为直径 110 mm,高度 30 mm,主筛目数的优选值为 80、60、50、45、40、35、30、25、20、16、14、12、10、8、6、5、4 目。主筛的振幅(全程)以 1.5~2.0 mm 为宜。副筛为直径 120 mm 的板状筛,副筛的振幅(全程)以稍大于副筛网眼尺寸为宜。主筛的振动频率应在每分钟 600~1 000 次范围内可调。

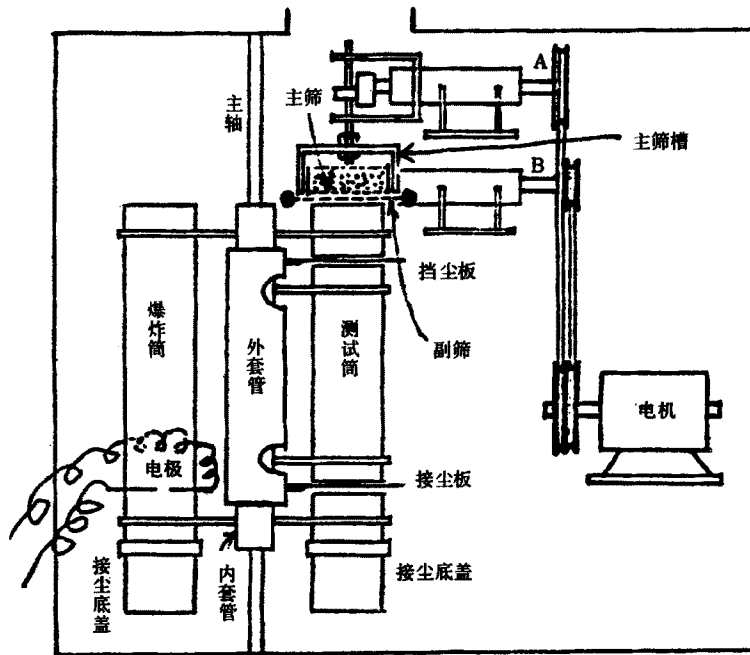


图 1 双层振动筛落爆炸试验装置原理图

#### 4.1.2 粉尘浓度测量方法

把测试筒转到主、副筛正下方位置,将接尘板和挡尘板抽出来。将盛好(用松装方式盛足粉尘后用直尺刮平)粉尘试样的主筛放入主筛槽内固定好。启动电机运行约 2 s(电机运行时间决定于测试筒或爆炸筒中粉尘下落的时间,一般 2 s 为宜。此时间靠电机调速器内延时器控制),电机断电的同时,靠弹簧力把挡尘板和接尘板同时插入三段测试筒的上、下两个缝隙中,待中段筒内粉尘全部沉降到接尘板(半分钟就足够)之后取出来称粉尘质量。此粉尘质量与中段筒体积之比值为粉尘浓度。粉尘浓度靠主筛目数和主筛振动频率来调解,主筛振动频率靠电机转速调节。主筛振动频率或电机转速用光电转速表直接测量。

#### 4.2 放电电路和火花能量测量系统

##### 4.2.1 放电电路

点火源采用既能调节火花时间,而且火花形态也接近实际静电放电的自然衰减型电容放电火花。形成这一类放电的电路装置主要由可调直流高压电源(最高电压为 30 kV,一般用 10 kV 左右)、储能电容  $C_d$  (0.001~1  $\mu$ F)、放电电阻  $R_d$  (400~10<sup>6</sup>  $\Omega$ )、限流电阻  $R_c$  (50 M $\Omega$ )、测量分压器(分压比为 1 000 : 1)、

测流电阻  $R_c$  (1  $\Omega$ , 无感或电感很小的电阻)、高压开关(闸流管)和装在爆炸室内的放电电极(端部为 30° 锥形的一对  $\phi 2$  mm 钨棒, 锥形端部曲率半径为 10~40  $\mu\text{m}$ )等组成, 如图 2 左半部所示。从电机起动到高压开关(闸流管)导通的时间(此时间应等于从电机起动到接尘板插入的时间)靠电机调速器内延时器控制。在储能电容已充电状态下, 闸流管导通, 在放电电极间形成火花放电, 有可能点燃爆炸室内形成的可燃粉尘云。火花能量与火花时间靠  $R_a$ - $C_a$  的不同组合与改变充电电压  $U_a$  来调节, 前者为粗调, 后者为细调。

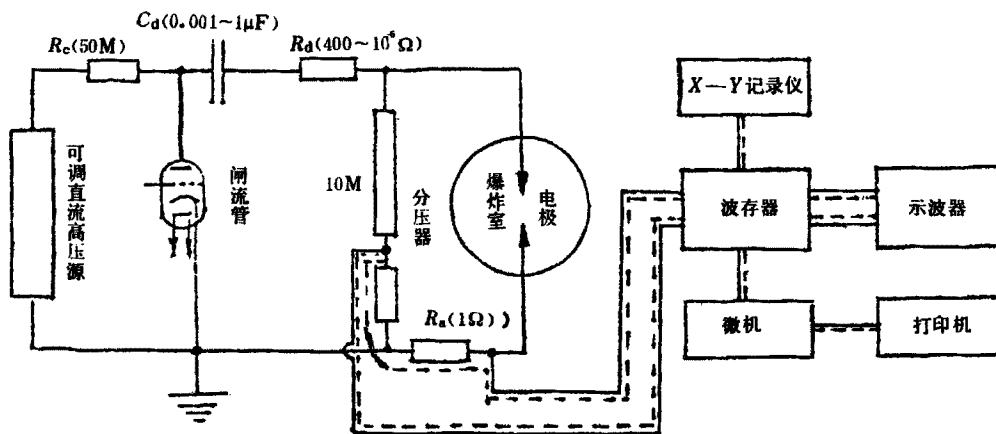


图 2 自然衰减型电容放电电路和火花能量测量系统

#### 4.2.2 火花能量测量系统

火花能量测量系统主要由双通道瞬态波形记录器(以下简称为波存器)、示波器和微机等组成, 如图 2 右半部所示(在波存器的抗干扰性能不足的情况下, 需要在波存器与信号采集源之间增设光纤系统)。在放电过程中的极隙电压波形  $U_e(t)$  和火花电流波形  $i(t)$ , 分别从分压器的低压臂和分流器电阻取出, 直接或经过适当的衰减器和光纤系统输入到波存器中, 用微型计算机按下式计算火花能量  $W_e$ 。

$$W_e = \int_0^{\tau} i(t)U_e(t)dt \quad \dots\dots\dots(4)$$

### 5 测试方法和步骤

#### 5.1 粉尘云燃烧爆炸的判断

在爆炸筒内放电火花引燃了粉尘云, 至少在放电电极上方全部空间充满燃烧火焰时判断为燃烧爆炸。

#### 5.2 影响点火能因素状态参数的确定

先确定单调因素状态参数, 后确定极值因素的总敏感状态参数。单调因素状态参数都是人为确定的, 极值因素的总敏感状态参数是通过实验确定的。

##### 5.2.1 单调因素状态参数的确定

###### 5.2.1.1 电极材料、形状和大小

电极采用直径为 2 mm, 端部为 30° 锥形的一对钨棒, 其锥形尖端的曲率半径为 10~40  $\mu\text{m}$ 。

###### 5.2.1.2 粉尘试样的粒度(或粒径)

在一般情况下以 200 目标标准筛全通过的粉尘(粒径小于 75  $\mu\text{m}$  的粉尘)为标准试样。在特殊情况下可以选择特定粒度或粒径范围粉尘为标准试样, 例如当选取市售的标准或非标准粉尘为试样时, 其粒度

或粒径分布也就已定。

### 5.2.1.3 粉尘试样的组分

粉尘试样的含水率一般不得超过1%。

粉尘试样的化学成分可根据需要来确定,或确认现成试样的组分。

### 5.2.1.4 粉尘云的均匀性和扰动程度

粉尘云的均匀性和扰动程度已由形成粉尘云的双层振动筛落爆炸试验装置所决定,无选择余地。双层振动筛落爆炸试验装置所形成粉尘云的均匀性一般比其它任何吹散法都好,扰动程度也比吹散法小。

### 5.2.1.5 粉尘云的初始温度、压力和湿度

在一般情况下,粉尘最小点火能的测量应在下列大气条件下进行:

气温:10~35℃

气压:86~106 kPa

相对湿度:不大于75%

在特殊情况下可规定所需的气温、气压或湿度范围。

## 5.2.2 极值因素总敏感状态参数的确定

求极值因素总敏感状态参数实际上是求多变量的极值问题。如果极值因素 $\tau$ 、 $l$ 和 $y$ 彼此无关,则问题变的简单。然而它们并非彼此完全无关。 $y_M$ 主要决定于粉尘云本身的燃烧及其传播特性,与点火源的形态基本无关,因而 $y_M$ 与 $\tau_M$ 、 $l_M$ 基本无关。还考虑到粉尘云的总敏感浓度一般在500~1600 g/m<sup>3</sup>之间,总敏感火花时间 $\tau_M$ 一般为1 ms左右,可按下列实验程序求极值因素的总敏感值。在下列实验程序中全部单调因素均处于5.2.1条规定的状态。

### 5.2.2.1 求 $\tau_m$ 和 $l_m$

在 $y=500$  g/m<sup>3</sup>, $\tau$ 取1 ms的条件下,用附录A所规定的概率法或升降法求对应于不同 $l$ 的 $E_{50\%}$ ,画出 $E_{50\%}-l$ 曲线,找出该曲线极小值所对应的电极距离 $l_m$ 。接着在 $y=500$  g/m<sup>3</sup>, $l=l_m$ 的条件下,同样用附录A规定的概率法或升降法求对应于不同 $\tau$ 的 $E_{l,50\%}$ ,画出 $E_{l,50\%}-\tau$ 曲线,找出曲线极小值所对应的火花时间 $\tau_m$ 。

用概率法求对应于50%点火率的最小点火能时,为减少实验工作量,重复实验次数 $N$ 可取10。

### 5.2.2.2 求 $\tau_M$ 和 $l_M$

如果上面求得的 $\tau_m$ 与1 ms相差不超过±10%,则 $\tau_m$ 和 $l_m$ 分别作为 $\tau_M$ 和 $l_M$ 。

如果 $\tau_m$ 与1 ms相差超过±10%,则进行第二轮实验。即在 $y=500$  g/m<sup>3</sup>, $\tau=\tau_m$ 的条件下,用5.2.2.1条规定的方法再次求敏感电极距离 $l'_m$ 。接着在 $y=500$  g/m<sup>3</sup>, $l=l'_m$ 的条件下,用5.2.2.1条规定的方法再次求 $\tau'_m$ 。考虑到粉尘云的 $\tau_M$ 一般在1 ms左右, $\tau'_m$ 与 $\tau_m$ 相差不会超过±10%,这时可把 $\tau'_m$ 和 $l'_m$ 分别作为 $\tau'_M$ 和 $l'_M$ 。

如果 $\tau'_m$ 与 $\tau_m$ 相差仍超过±10%,则用同样方法求得第三轮的 $\tau''_m$ 和 $l''_m$ ,并将 $\tau''_m$ 和 $l''_m$ 分别作为 $\tau_M$ 和 $l_M$ 。

在一般情况下第一轮实验就能得到满足,至多求第二轮。

### 5.2.2.3 求 $y_M$

在 $\tau=\tau_M$ , $l=l_M$ 的条件下,用附录A规定的概率法或升降法求对应于不同 $y$ 的 $E_{\tau,l,50\%}$ ,画出 $E_{\tau,l,50\%}-y$ 曲线,找出曲线极小值所对应的粉尘浓度 $y_m$ 。此 $y_m$ 也就是 $y_M$ 。

用概率法求 $y_m$ 时,为减少实验工作量,重复实验次数 $N$ 可取10。

## 5.3 求 $\mu$ 和 $\sigma$

在所有单调因素取5.2.1条规定的状态,全部极值因素处于总敏感状态下,用附录A规定的概率法或升降法求 $\mu$ 和 $\sigma$ 。

## 5.4 求最小点火能

求得粉尘试样的 $\mu$ 和 $\sigma$ 之后,用(1)、(2)和(3)式求对应于任一点火率的最小点火能。

## 5.5 测试步骤

在 5.2~5.4 条中各条各项的顺序反映了粉尘云最小点火能测试过程中各大环节的前后顺序。下面规定为便于测试粉尘云最小点火能所需要的两项预备试验和一次爆炸试验的具体步骤。

### 5.5.1 放电电路的火花特性实验

此实验的目的是获得关于  $R_d-C_d-l-\tau-W_e$  关系的系统数据,以便测试最小点火能时能迅速选择在一定的  $l$  下获得一定的  $\tau$  和  $W_e$ 。所需要的  $R_d$  和  $C_d$ 。只要通过实验测试获得下列实验曲线,就能达到上述的目的。

- 在一万伏充电电压,不同  $l$  条件下的  $\tau-R_d$  曲线(以  $C_d$  为参数);
- 在一万伏充电电压,不同  $l$  条件下的  $C_d-R_d$  曲线(以  $\tau$  为参数);
- 在一万伏充电电压,不同  $l$  条件下的  $W_e-R_d$  曲线(以  $C_d$  为参数);
- 在一万伏充电电压,不同  $l$  条件下的  $W_e-C_d$  曲线(以  $R_d$  为参数);
- 在若干个  $R_d、C_d$  组合下的  $\tau-U$ (充电电压)曲线;
- 在若干个  $R_d、C_d$  组合下的  $W_e-U$  曲线。

实际上  $b$  和  $d$  系列曲线只不过分别为  $a$  和  $c$  系列曲线的另一种表示形式而已。

上述系列实验曲线是放电电路所固有的特性,与粉尘试样基本无关,即使有粉尘的情况下,这些放电特性也变化不大,因此适用于所有粉尘试样。

### 5.5.2 粉尘浓度实验

此实验的目的是对确定的粉尘试样获得主筛目数  $M$ —主筛振动频率  $f$ —粉尘浓度  $y$  之间的关系数据,以便根据所需的浓度迅速选择适当目数的主筛及其振动频率。为此应通过实验绘制出  $y-f$  曲线(以  $M$  为参数)图。此图是确定的粉尘试样通过双层振动筛落爆炸试验装置反映出来的固有特性。因而对每种粉尘试样都应作这种实验。

此实验必须用经过干燥的粉尘(含水率不超过 1%)试样进行。

### 5.5.3 一次粉尘爆炸实验的具体步骤

在大致选定火花时间  $\tau$ (也就是确定  $R_d$  和  $C_d$ )和粉尘浓度  $y$ (也就是确定  $M$  和  $f$ )的条件下,按下列步骤完成一次爆炸实验。

#### a. 测量粉尘云浓度

按 4.1.2 条规定的方法测量粉尘云浓度。重复测量十次取其平均值作为该主筛及其振动条件下的粉尘云浓度。在确定粉尘试样的同一种浓度的爆炸试验全部完成之前,不得改变主筛目数及其振动条件。

#### b. 测量火花能量

把爆炸筒转到主筛槽正下方位置(目的在于避免电极引线的不同走向影响分布电容,进而可能给火花时间和火花能量带来的误差)。通过开关操作给  $C_d$  充电一万伏,待电压稳定后放电。根据波存器记录的电压、电流波形计算火花能量  $W_e$ 。重复测量  $W_e$  十次,取平均值作为火花能量。

实际上  $a$  和  $b$  两个步骤是可以对换的。

#### c. 进行粉尘爆炸实验

在完成上述两个步骤的基础上,进行粉尘爆炸实验。把爆炸筒转到主筛槽正下方位置,调节好电极距离。操作开关,给储能电容充电一万伏。在主筛内盛满粉尘试样,固定在主筛槽内,关上粉尘爆炸试验装置的门,启动电机约 2 s 后,触发闸流管引爆,观察爆炸室内是否燃烧爆炸。粉尘云爆炸之后,启动排风扇排除爆炸试验装置及其爆炸筒内的燃烧废气,打开爆炸室的接尘底盖,用软毛刷清除电极上的粉尘及其燃烧残留物,用硬毛刷清除副筛上的粉尘燃烧残留物,以便作下一次爆炸实验。

如果采用概率法,条件完全相同的爆炸实验重复多次,其重复次数决定于测试目的(寻找敏感条件时重复次数  $N$  取 10,求  $\mu$  和  $\sigma$  时重复次数  $N$  不小于 50)。如果是升降法,则改变电压再作爆炸实验。

## 6 测试报告内容

粉尘云最小点火能的测试报告应包括下列内容：

- a. 粉尘的名称、种类和来源；
- b. 粉尘的化学成分；
- c. 粉尘的含水率；
- d. 粉尘的粒度(目数)范围或粒径分布；
- e. 环境空气的压力、温度和相对湿度；
- f. 电极的材质、形状和尺寸；
- g. 总敏感火花时间；
- h. 总敏感电极距离；
- i. 总敏感粉尘浓度；
- j. 对数正态分布参数  $\mu$  和  $\sigma$ ；
- k.  $E_{M,50\%}$ ,  $E_{M,1\%}$  以及  $E_{lim}$ ；
- l. 测试日期；
- m. 测试者签名。



附录 A  
 概率法和升降法  
 (补充件)

A1 概率法

利用以  $E$  为随机变量的对数正态分布的概率在对数正态概率纸上是一条直线,或以  $E$  的对数为随机变量的正态分布的概率在正态概率纸上是一条直线的性质,求得  $\mu$  和  $\sigma$ 。

适当选取  $m$  个  $Z_i (= \lg E_i, i=1, 2, \dots, m)$ , 在一定实验条件下用每个  $Z_i$  (或  $E_i$ ) 重复进行  $N$  次点火实验。设每个  $Z_i$  的点燃次数为  $N_i$ , 则  $Z_i$  的点火率(即概率)为  $P_i = N_i/N (i=1, 2, \dots, m)$ 。实验测得  $P_i$  之后,利用正态概率纸,以点火率为纵轴,  $Z$  为横轴,把所有  $P_i$  标在正态概率纸上,画出一条尽可能靠近所有实验点,特别是靠近点火率为 50% 附近若干点的直线,使落在直线两侧的实验点个数尽量相等。

画出实测点火率直线之后,从图上直接查得对应于 50% 点火率的横坐标值  $Z_{50\%}$ , 这就是点火率对数正态分布参数  $\mu$ , 即

$$\mu = Z_{50\%} = \lg E_{50\%} \dots\dots\dots (A1)$$

在图中直线上另选远离 50% 点火率的任一点,查得此点的纵坐标为  $P\%$ , 横坐标为  $Z_{P\%}$ , 对应于  $P\%$  点火率的标准正态变量为  $t_{P\%}$ , 则另一个对数正态分布参数  $\sigma$  可按下列公式计算:

$$\sigma = \frac{Z_{P\%} - \mu}{t_{P\%}} \dots\dots\dots (A2)$$

一般  $m$  不小于 7,  $N$  不小于 50,  $P_1$  不大于 0.1,  $P_m$  不小于 0.9。

求得点火率对数正态分布参数  $\mu$  和  $\sigma$  之后,就能计算对应于任一点火率的最小点火能。

A2 升降法

A2.1 升降法的实验程序

适当选取  $Z$  的初始值  $Z_1 (= \lg E_1)$  和不变量  $d (= \Delta Z > 0)$ , 用初始点火能量  $E_1$  作第一次点火实验,以后各次实验的点火能量决定于前一次的实验结果。若第  $K$  次实验(点火能量为  $E_K = 10^{Z_K}$ )点燃了,则第  $K+1$  次实验的点火能量降为  $E_{K+1} = 10^{-d} \cdot E_K$ ; 若第  $K$  次实验未点燃,则第  $K+1$  次实验的点火能量提高为  $E_{K+1} = 10^d \cdot E_K$ , 以此类推。如果初始点火能量  $E_1$  选得过高(或过低),则有可能开始若干次实验连续点燃(或不点燃)。这时从开始连续点燃(或不点燃)的若干次中的最后一次算起,共进行 10  $m$  次实验,作为升降法的有效实验。这里  $m$  为升降法的有效实验范围内出现的  $Z_i (= \lg E_i)$  等级数。 $m$  决定于  $d$ ,  $d$  一般取  $0.8\sigma$  与  $1.5\sigma$  之间为宜,这时  $m$  在 4 与 8 之间。

A2.2 用升降法数据求  $\mu$  和  $\sigma$  的方法

设在升降法有效实验中  $Z$  的  $m$  个等级从小到大的排列为  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ , 每个等级上点燃和未点燃的实验次数分别为  $n_{i,0}$  和  $n_{i,x}$ ,  $n_i = n_{i,0} + n_{i,x}$ 。显然  $n_{1,0} = n_{m,x} = 0$ , 点燃实验总数  $N_0$ 、未点燃实验总数  $N_x$  和总实验次数  $N$  分别为

$$N_0 = \sum_{i=2}^m n_{i,0} \dots\dots\dots (A3)$$

$$N_x = \sum_{i=1}^{m-1} n_{i,x} \quad \dots\dots\dots (A4)$$

$$N = N_0 + N_x = 10m \quad \dots\dots\dots (A5)$$

根据  $N_0$  与  $N_x$  的大小,以其中小者的实验数据为基础,按下列公式计算  $\mu$  和  $\sigma$ :

$$\mu = \begin{cases} \bar{Z}_0 - d/2 & (N_0 < N_x) \\ \bar{Z}_x + d/2 & (N_0 > N_x) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (A6)$$

$$\sigma = 1.620(M + 0.029)d \quad \dots\dots\dots (A7)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{Z}_0 &= (1/N_0) \sum_{i=2}^m n_{i,0} Z_i \\ \bar{Z}_x &= (1/N_x) \sum_{i=1}^{m-1} n_{i,x} Z_i \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (A8)$$

$$M = \begin{cases} \sigma_0^2/d^2 & (N_0 < N_x) \\ \sigma_x^2/d^2 & (N_0 > N_x) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (A9)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_0^2 &= \bar{Z}_0^2 - \bar{Z}_0^2 = (1/N_0) \sum_{i=2}^m n_{i,0} Z_i^2 - \bar{Z}_0^2 \\ \sigma_x^2 &= \bar{Z}_x^2 - \bar{Z}_x^2 = (1/N_x) \sum_{i=1}^{m-1} n_{i,x} Z_i^2 - \bar{Z}_x^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (A10)$$

不难看出  $\bar{Z}_0$  和  $\bar{Z}_x$  分别为所有点燃的  $Z_i$  和所有未点燃的  $Z_i$  的均值,  $\sigma_0^2$  和  $\sigma_x^2$  分别为所有点燃的  $Z_i$  和所有未点燃的  $Z_i$  的方差。

**附录 B**  
**标准正态分布典型概率表**  
(参考件)

$P(t)$	$t$
0.5 (50%)	0
0.5 ± 0.1	±0.253 3
0.5 ± 0.2	±0.524 4
0.5 ± 0.25	±0.674 4
0.5 ± 0.3	±0.841 6
0.5 ± 0.35	±1.036 5
0.5 ± 0.4	±1.281 6
0.5 ± 0.45	±1.644 9

续表

$P(t)$	$t$
$0.5 \pm 0.46$	$\pm 1.7507$
$0.5 \pm 0.48$	$\pm 2.0537$
$0.5 \pm 0.49$	$\pm 2.3257$
$0.5 \pm 0.499$	$\pm 3.0893$
$0.5 \pm 0.4999$	$\pm 3.7194$
$0.5 \pm 0.49999$	$\pm 4.2851$
$0.5 \pm 0.499999$	$\pm 4.7534$
$0.5 \pm 0.4999999$	$\pm 5.1994$
$0.5 \pm 0.49999999$	$\pm 5.6120$

**附加说明：**

本标准由中华人民共和国公安部提出。

本标准由全国消防标准化技术委员会归口。

本标准由公安部沈阳消防科学研究所负责起草。