

Determination of the minimum ignition
energy of dust cloud

1 主题内容与适用范围

本标准规定了悬浮在空气中的可燃粉尘(以下简称粉尘云)最小着火能量的测定系统、测定步骤和试验报告。

本标准适用于依赖空气中的氧维持其氧化反应的可燃粉尘。

本标准不适用于炸药或具有爆炸性质的物质。

2 术语

2.1 最小着火能量 minimum ignition energy

能够点燃粉尘并维持燃烧的最小火花能量。

2.2 火花放电 spark discharge

在两个不同电位导体之间的瞬间放电。

2.3 着火 ignition

在测定过程中,如出现下述现象之一,则认为着火:

a. 在密闭的试验罐内,用电火花做点火源时,测得的压力上升值至少为 0.2×10^5 Pa。

b. 在开口的试验管内,火焰离开火花位置传播至少为 60 mm。

2.4 着火延迟时间 ignition delay time

开始喷尘与出现火花放电之间的间隔时间。

3 试样

制备用的试样状态应与实际相一致。试样的粒度应与现场可能存在的最细的粉尘相同或更细。

对比试验时,试样的制备应采用同一方法,以确保试样的颗粒分布和水分含量一致。

在不了解粉尘粒度时,应采用粒度小于 $75 \mu\text{m}$ 的试样进行试验。

4 测定系统

4.1 电火花发生系统

电火花发生系统可采用附录 A 所列的几种形式,所有的这些系统都应具有下述特性:

a. 放电回路的电感: $1 \sim 2$ mH。当使用这个值来评价静电的危险性时,放电回路的电感应不超过 $25 \mu\text{H}$;

b. 放电回路的电阻:应不超过 5Ω ;

c. 电极材料:不锈钢、黄铜、紫铜或钨;

d. 电极直径和形状: 2.0 ± 0.5 mm,电极尖端呈半球状;

- e. 电极间距： ≥ 6 mm；
- f. 储能电容器：低电感类，并能承受反复的脉冲电流；
- g. 电极排列形成的电容量：应尽可能小；
- h. 电极之间的绝缘阻值：应足够高，以防止漏电。

4.2 试验装置

采用 20 L 球形爆炸试验装置和哈特曼管(Hartmann tube)。其他的装置如能满足本标准 5.3 条的要求，也可使用。

4.2.1 哈特曼管(Hartmann tube)

该装置结构见图 1。其容积为 1.2 L，装置上部为石英玻璃管，便于观察粉尘的着火情况。扩散器为伞状形，用以扩散粉尘。

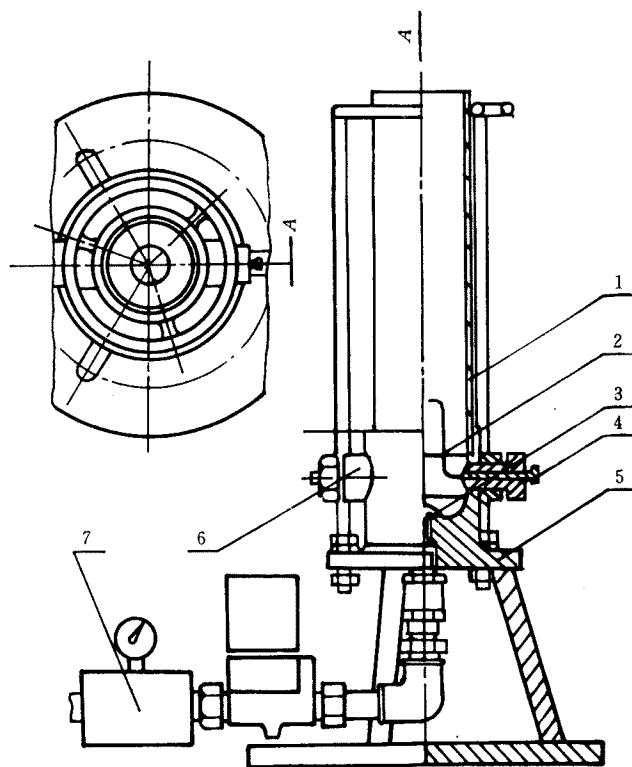


图 1 哈特曼管

- 1—石英玻璃管；2—点火电极；3—扩散器；4—铜套；
5—底座；6—点火电极接头座；7—储气罐

4.2.2 20 L 球形爆炸试验装置

该装置结构见图 2。爆炸罐承压能力为 3.0 MPa。爆炸罐壁外装有控温用水套，下部安有粉尘扩散器，通过管路和电磁阀与储尘罐相连通，储尘罐容积为 0.6 L，承压能力为 2.5 MPa。爆炸罐上安有压力传感器，传感器与记录仪相连。

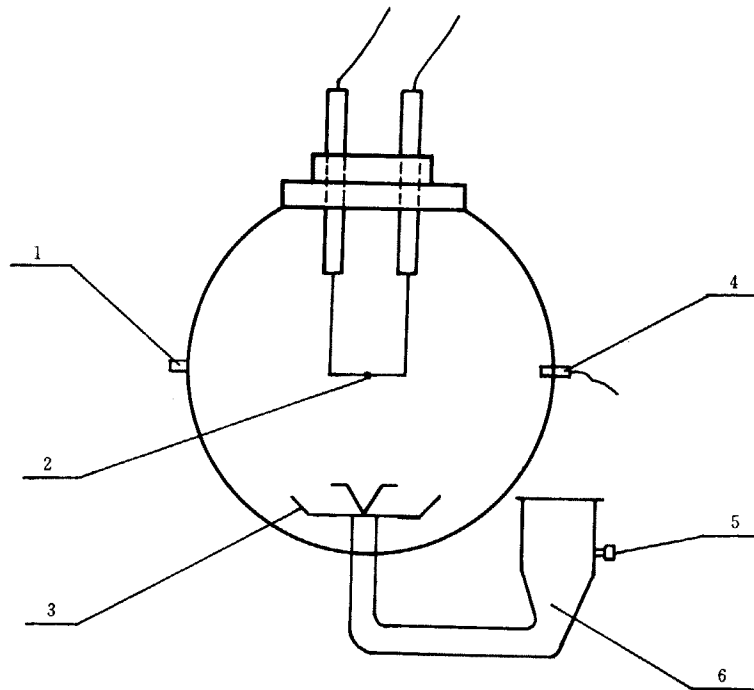


图 2 20 L 球形爆炸试验装置

1—排气口；2—点火源；3—扩散器；4—压力传感器；
5—压力表；6—储尘罐

5 测定步骤

5.1 电火花能量的计算

试验用粉尘应在常温、常压下，均匀地喷入悬浮于试验装置内，并用电容电火花点火。

电容电火花的能量值用式(1)计算：

$$E = 0.5C \cdot U^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中： E ——电火花能量，J；

C ——电容量，F；

U ——充电电容器的电压，V。

当火花能量大于 100 mJ 时，可采用式(2)计算：

$$E = \int I(t)U(t)dt \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中： $I(t)$ ——放电时，实际测得的电火花电流，A；

$U(t)$ ——放电时，实际测得的电火花电压，V。

注：电火花能量计算的详细说明见附录 A。

5.2 粉尘云最小着火能量的测定

首先在给定的粉尘浓度条件下，用一个能可靠点燃粉尘云的能量值的电火花开始，然后改变粉尘浓度、着火延迟时间和喷尘压力，并通过调节电容器电容和(或)电容器上充电电压，逐次减半降低火花能量值，直到连续 20 次试验均未出现着火为止。

注：当使用 20 L 球形试验装置时，着火延迟时间应为 120 ms。

粉尘云最小着火能量 E_{\min} 介于 E_1 (连续 20 次试验均未出现着火的最大能量值) 和 E_2 (连续 20 次试验均出现着火的最小能量值) 之间，即：

$$E_1 < E_{\min} < E_2$$

5.3 标定

使用本方法时,应用下述3种标准粉尘进行标定。在标定前标准粉尘应在常压、50℃的温度下干燥24 h:

石松子: $E_{\min}=5\sim 15$ mJ,中位径 $d_{50}=31$ μm 。

蒽醌: $E_{\min}=2\sim 6$ mJ,中位径 $d_{50}=18$ μm 。

聚丙烯腈: $E_{\min}=2\sim 6$ mJ,中位径 $d_{50}=27$ μm 。

6 试验报告

试验报告应说明试验是按本标准的规定完成的,并包括下述内容:

6.1 试样特征

- a. 试样的名称;
- b. 试样的来源;
- c. 试样的制备;
- d. 试样的粒度分布和水分含量(如果需要)。

6.2 测定系统特征

- a. 触发方式;
- b. 试验装置名称;
- c. 粉尘喷散系统;
- d. 放电回路的总电感值;
- e. 充电电压、电极材料和最佳的电极间距。

6.3 测定结果

- a. 20次连续试验均不出现着火的最大值能量 E_1 ;
- b. 20次连续试验均出现着火的最小值能量 E_2 。

6.4 试验报告

应写明测定日期、测定人员。

附录 A

电火花发生系统

(参考件)

A1 概述

第 A2、A3、A4、A5 和 A6 章叙述的是在本标准中可采用的几种电火花发生系统。在使用较大的试验容器时,应采用适当的措施,以防止边壁效应。

在进行能量计算时,应采用放电回路的总电容值和放电时的电压值。

A2 3-电极辅助火花触发系统

图 A1 是试验装置布置方式。

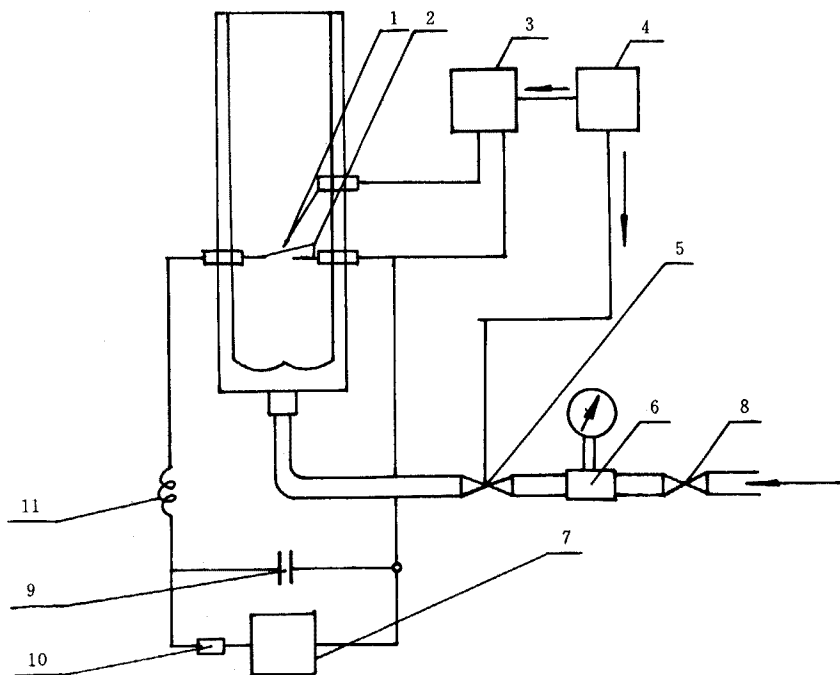


图 A1

1—辅助电极;2—主火花隙电极;3—辅助电路;4—控制装置;5—电磁阀;
6—储器罐;7—充电装置;8—截流阀;9—电容器;10—充电电阻;11—电感

该系统的主要组成部分是一个 3-电极火花隙。其中主火花隙的两电极直径为 3.2 mm,长度超过 20 mm 以上的部分直径减至 2.0 mm。辅助电极的自由端向主火花隙倾斜,其倾斜段长度是 20 mm。该系统不仅用于上端开口的哈特曼管(Hartmann tube),也可用于其他试验装置。

电容器 9(容量为 20~10 000 PF)通过一个充电装置 7 进行充电。充电装置回路串有一个充电电阻 10,将充电电流限制到 1 mA。粉尘云的着火试验由控制装置 4 完成。其步骤是:由控制装置 4 打开电磁阀 5,使粉尘喷入试验装置,形成粉尘云,间隔预先确定的时间后,触发辅助火花,从而使电容器放电,形成主火花,提供试验用点火源。

辅助电路的能量不得超过主放电电路能量的 10%。

A3 电极移动触发系统

图 A2 是试验装置的布置方式。

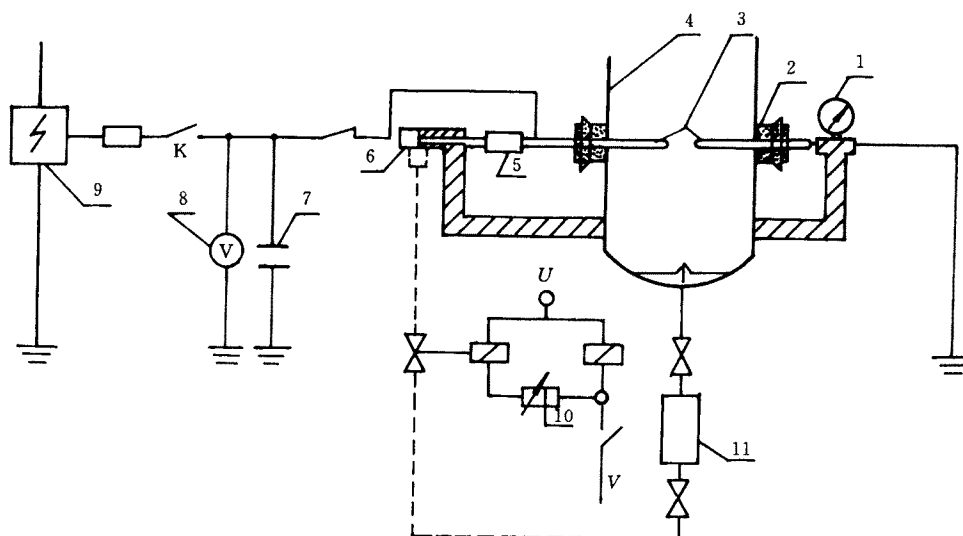


图 A2

1—螺旋千分尺；2—固定座；3—电极；4—哈特曼管；5—聚四氟乙烯绝缘件；6—双作用气动活塞；7—电容器；8—电压表；9—高压发生器；
10—时间继电器；11—储气罐

两电极通过聚四氟乙烯固定座安置于顶端开口的哈特曼管中。两个固定座都钻有小孔，电极可以移动。其中一电极（接地）与测量用的螺旋千分尺的测杆相连。该千分尺固定在哈特曼管上。另一电极（接高压）与一个推杆相连。该推杆受双作用气动活塞（活塞直径为 35 mm，操作压力 600 kPa）控制，工作行程为 10 mm，通过一聚四氟乙烯绝缘件与电极相连。高压电极与容量为 26 PF~311 μ F 的电容器相连。当高压发生器从电容器电路中断开后，由电-气动装置控制有一定气压的储气罐，释放压缩空气，使粉尘扩散形成粉尘云，延迟一定时间（由时间控制器设定）后，将高压电极推到规定位置，使电容器放电产生电火花。

A4 电压增加（涓流充电电路）触发系统

图 A3 是该试验装置的布置方式。

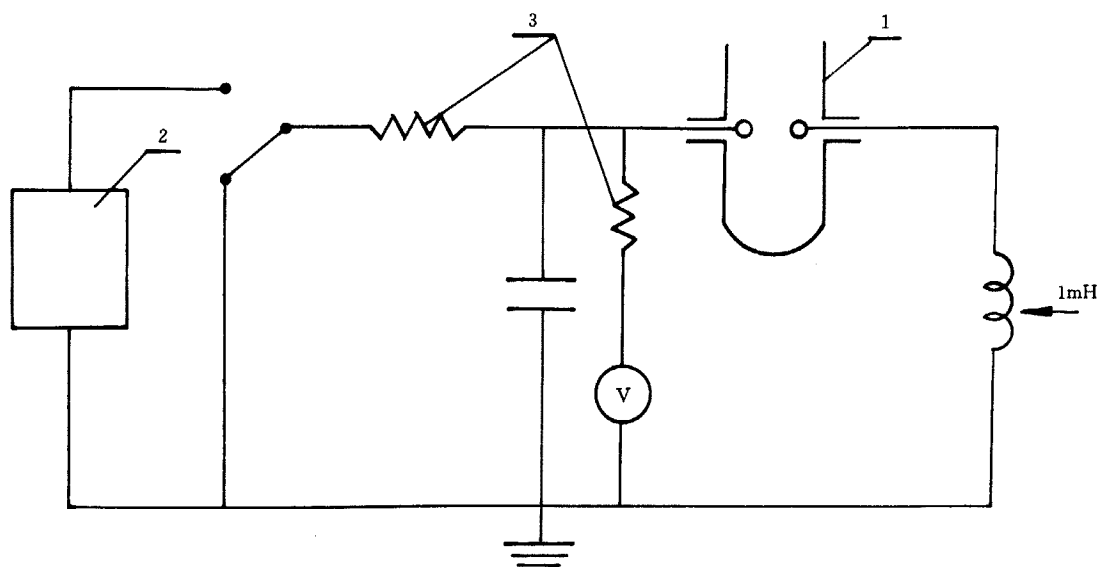


图 A3

1—试验装置;2—直流电源;3—去耦电阻

高的直流电压使电容器的电位缓慢升高,直至产生火花。重复相同的操作可得到一系列相等的能量值。电路中有一个阻值为 $10^8 \sim 10^9 \Omega$ 的限流电阻。电容器的电压是用电压表来测量的,与该电压表串联一个阻值为 $10^8 \sim 10^9 \Omega$ 的去耦电阻。通过调节电容器电容和放电电压,可得到能量值超过 1.0 mJ 的电火花。

试验时,首先应确定所需的火花能量值。选择一合适值的电容器,调节电压(在 10~30 kV 之间调节)和电极间距,直到在电极处产生按 $0.5 CU^2$ (C 为电极处于高电压时放电回路的总电容,该电容可用交流电桥测得; U 为产生火花时的电压值)计算所需能量值的电火花,接着将高电压电极接地,并把一定量的粉尘试样装入喷尘杯中。然后将直流电源接入电路中。当电极间刚产生火花时,将粉尘试样用压缩空气喷入试验装置,形成粉尘云。这时,观察是否出现着火,并观察火焰的传播情况。

通常,第一次试验都是用较高的火花能量(如 500 mJ)来进行的。如果出现着火,然后逐步地降低火花能量再进行试验,直至没有出现着火为止。

A5 辅助火花触发的双电极系统

图 A4 是试验装置的布置方式。

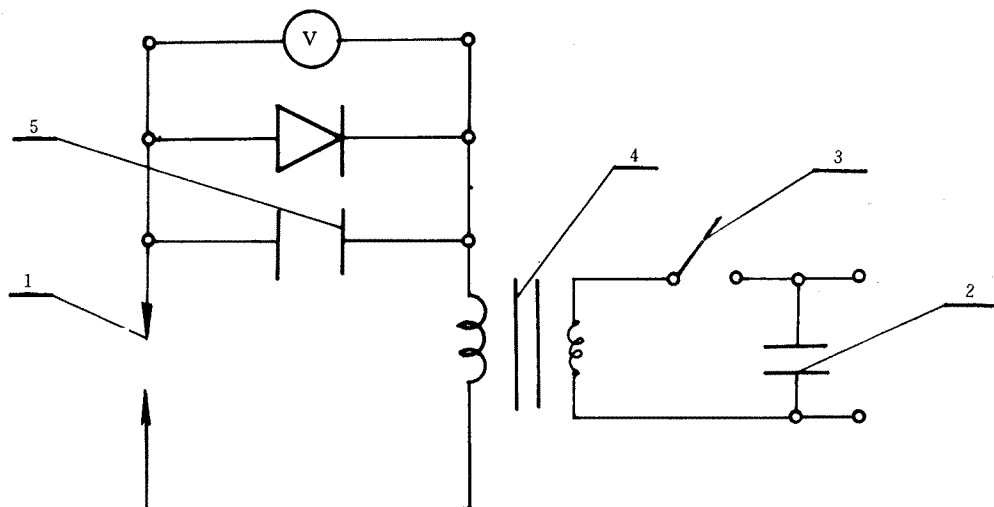


图 A4

1—火花隙；2—电容器；3—开关；4—变压器；5—主电容器

本电路不能用于无电感的试验。由于电容器的容量在 40 PF 以下可调(以 10 的倍数调节),电压在 1 000 V 以下也可调(一般到 400~500 V 为最低值),所以火花能量可调范围较宽。火花放电在预定的时刻由触发电路激发完成。在触发电路中,包括有电容器 2、开关 3 和变压器 4 的初级线圈。当开关闭合时,在变压器的次级线圈中,感应产生峰值约为 15 kV 的高电压脉冲击穿火花隙 1,从而使主电容器 5 放电,产生电火花。试验表明,这种触发方式难于产生低于 2~5 mJ 的电火花。

通过测量放电时火花隙处随时间变化的电流和电压,便可获得所需火花能量值。二极管的作用是使放电仅能单向进行。变压器的次级线圈的自感量应为 1~2 mH。

A6 方形波火花发生系统

该系统的电容器容量较大,一般由几个大电容器或数十个小电容通过串、并联方式组成。电容器充电电压最高为 1 500 V。在放电回路中串有可调电阻。该系统的特点是:放电电流和放电电压在整个放电过程中呈方形波,使其在整个放电时间内,电火花的强度保持不变,从而避免放电过程的无功火花产生,使所测数据更准确。通过调节充电电压、可调电阻以及放电持续时间,可方便调节电火花的能量值。该系统的技术特征为:放电火花持续时间调节范围为 0.99~990 ms,火花能量调节范围为 0.25~2.0×10⁶ mJ,可调电阻范围为 0~990 Ω。

附加说明:

本标准由中华人民共和国煤炭工业部提出。

本标准由中华人民共和国煤炭工业部煤矿安全标准化技术委员会归口。

本标准由中华人民共和国煤炭工业部煤炭科学研究总院重庆分院起草和负责解释。

本标准主要起草人何朝远、田仁曲、张引合、苑洪湘。