

## 粉尘火焰加速现象的实验研究

浦以康 胡山 李可意

(中国科学院力学研究所 北京 100080)

**摘要** 粉尘火焰的发生、加速及由爆燃向爆轰转换的机理是个至今尚未弄清的问题。需要解决的技术关键之一是在实验室实现弱点火条件下的粉尘火焰加速直至达到爆轰状态。着手发展了一种球形喷粉扬尘装置,令产生的扬尘湍流在水平实验管中形成空间均匀分布和维持秒级悬浮的粉尘云状态。采用以上扬尘装置的水平实验管,在6g黑火药的六点平面点火条件下获得了微细铝粉火焰经5m长的传播过程加速至1000 m/s的实验结果。给出了扬尘湍流强度、粉尘粒度与浓度、点火能量及方式等因素对粉尘火焰加速过程中所起作用,及变截面效应(由小变大)对粉尘火焰减速的影响。

**关键词** 粉尘火焰传播 湍流燃烧 两相爆轰 粉尘爆炸

**中图分类号** O 361

## 1 引言

现代工业的诸多生产过程都不可避免地产生大量粉尘。突发性的粉尘爆炸及其引起的火灾对工业生产的安全造成严重的威胁,使人们不得不对其给予越来越多的关注。加之,近十年来,国内外冶金工业部门普遍采用高炉喷煤技术来提高生铁的产量与质量。为此,高炉喷吹烟煤的安全性及烟煤在高炉炉口最佳燃烧条件的研究已成为对国民经济发展有重大意义的课题。在军事工业中铝粉被广泛用作固体推进剂、火炸药与火工药剂中的燃料。因此,对铝粉燃烧、爆炸及爆轰特性的研究具有重要的军事价值。粉尘燃烧与爆炸机理的研究已有近百年历史。特别是在过去五十多年中,英、美、德、加等工业发达国家都曾投入过大量的人力、财力致力于解决粉体工业中的安全生产和防护问题。人们从大量的实验数据中获得过一些有效的经验公式,众多粉尘的爆炸危险性被分为强、中、弱三级<sup>[1,2,3]</sup>;实验中也观察到一些粉尘爆轰现象<sup>[4,5]</sup>。但人们对粉尘火焰的发生、加速及由爆燃向爆轰转换的机理这个十分复杂而重要的科学问题至今未能弄清,基本上还处于定性的探索阶段。

为了对粉尘火焰的传播机理,特别是对复杂的粉尘爆轰现象进行研究,首要的条件是建立实验装置,即在管道内实现粉尘火焰从发生到加速至爆轰的全过程。在实验室条件下,要实现粉尘火焰在水平长管中的传播与加速,在技术上难度较大。困难主要在于,因地心引力的作用很难保持粉尘云在燃烧过程中仍能均匀地悬浮在 $L/D \gg 10$ 的水平管内。对于一般实验管道,与管长相比,管径是个很小的尺度(比如0.1米的量级)。在弱点火条件下,粉尘火焰的传播速度约为1 m/s的量级。对于较长的水平管道( $L/D \gg 10$ ),处于后半段

1994年1月3日收到原稿,4月1日收到修改稿。

的管道横截面上其初始处于悬浮状态的粉尘云在火焰传播到来之前早已沉积在管底。粉尘火焰无法在这种情况下获得正常的传播。因此,大部分已有实验如文献[6,7]都采用了将粉尘层预先铺置在管底,用强点火形成的激波将粉尘层卷扬起来支持火焰的传播。这类实验都因不能确切的给出两相混合物的初始状态参数,又没有测试手段确定粉尘的浓度、燃烧速度等重要参数,以致虽然不少研究者在以上工作中投入甚多,但并未获得预期的成果。

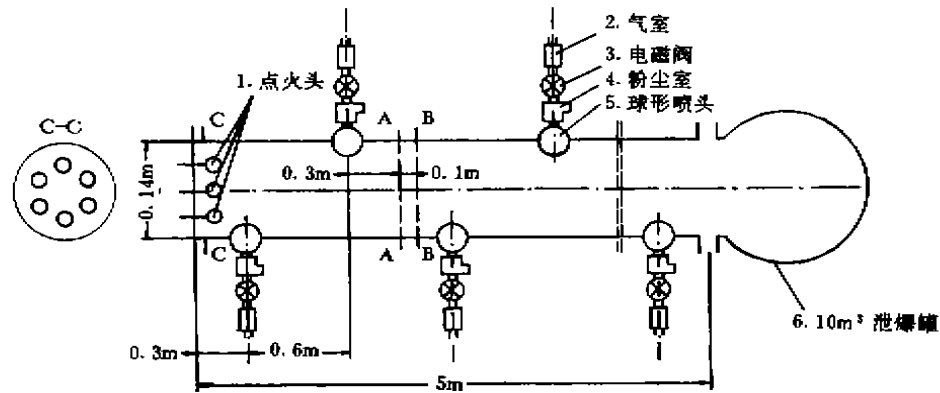
由于在垂直管道内形成粉尘云的悬浮比在水平管道内要容易得多,不少粉尘火焰的研究工作<sup>[9,10,11]</sup>是在垂直管道内进行的。为了获得均匀的粉尘云初始悬浮状态,曾在垂直管内采用的扬尘技术进行过不少改进,取得了较好的效果,流化床就是一例<sup>[8]</sup>。由于地心引力的作用,粉尘云沿垂直管道轴线下落过程中产生较严重的粉尘颗粒结团和粉尘粒度沿轴向呈梯度分布的现象,再加之,垂直试验管的长度毕竟受建筑物和可运行性的限制,一般不超过5 m。波兰华沙热工学院十年前建立了一根10 m长的垂直管,始终没有得到充分的运行。美国伊利诺埃大学于1982年曾发表文章<sup>[12]</sup>给出在5 m垂直实验管内研究片状铝粉爆轰特性的结果,该实验也是用烈性炸药来点火的。国外目前运行成功的水平粉尘爆轰管有德国亚琛大学<sup>[5]</sup>和美国密执安大学<sup>[6]</sup>。前者采用了将粉尘预先铺在管底并在粉尘层上放置一根与管轴同方向的小管,管壁上开有小孔,气流通过小孔将粉尘在点火前吹离管底来获得粉尘云在管内悬浮状态;后者则只将粉尘铺在管底。由于这两种扬尘技术在管内形成的粉尘云悬浮状态不论从空间均匀性或悬浮时间长短来讲都不够完善,所以在实验中前者采用了超声速射流点火,后者则采用激波点火。这时因重力作用而沉积或预铺在管底的粉尘会被点火产生的马赫波或激波卷扬而参加到火焰的传播过程中。以上两根管子系分别对玉米粉-氧气与玉米粉-空气火焰加速至爆轰的物理过程进行研究。在国际上取得了引人注目的成果。

工业中的粉尘爆炸事故一般都由弱点火引起。同时,在本文中拟对粉尘火焰传播机理进行的研究也只有采用弱点火方式才能将粉尘云在实验管道内初始参数的确定从强点火方式引起的附属关系中解脱出来。否则我们就不能将点火能量与初始粉尘浓度当作两个独立变量来研究它们对粉尘火焰发生与传播特性的影响。文中研究的重点是在弱点火条件下粉尘云的初始参数(浓度、粒度、湍流强度)对粉尘火焰发生与加速的影响。在实验中采用了自行设计与研制的球形扬尘技术来保证在实验管内形成空间均匀及悬浮时间为0.5秒级的初始粉尘云。燃烧实验结果表明:使用0.6 g至6 g的黑火药,就能将粒度为6  $\mu\text{m}$ 的铝粉在空气中顺利点着。当点火能量对应于6 g克黑火药的平面点火条件下,在5 m管长时能达到约1000 m/s的传播速度及约3 MPa的压力峰值。但实验结果又表明:当5 m加速管(内径为0.14 m)外接12 m长,内径为0.158 m的管道后,粉尘火焰未能由1000 m/s继续加速至爆轰,究其原因可能与变截面的影响有关。

## 2 实验装置与测试系统

本实验是在长5 m,内径为0.14 m,壁厚0.01 m的水平长管上进行的。管子的一端封闭,另一端与体积10 m<sup>3</sup>的泄爆罐相连。实验装置如图1所示。

为了在此水平管上获得空间均匀分布、悬浮时间达到0.5秒级的粉尘云,在水平管两



1. Igniter; 2. Air reservoir; 3. Solenoid valve; 4. Dust vessel; 5. Dispersion sphere; 6.  $10\text{m}^3$  damping jar

图 1 粉尘火焰加速管装置图

Fig. 1 Schematic diagram of the dust flame acceleration tube

侧,按 0.6 m 等间距地安装了八套独立的球形喷粉扬尘装置(图 1)。每套扬尘装置中,在空心喷球的半球面上开有 82 个直径为 1 mm 至 1.8 mm 的扬尘孔。已确定的扬尘孔径及其分布令水平管内获得的粉尘浓度沿轴向及径向均匀分布。喷球与容积为 0.01 升的粉尘室相连,粉尘室则经单向阀、电磁阀与容积为 0.23 升的气室相连。扬尘前,将定量的粉尘装入粉尘室中,并将气室充压至 0.6 MPa。当电磁阀开启后,气室中的高压气体迫使粉尘室中的粉尘通过喷球上的扬尘孔均匀地喷射到水平管内。前 3 m 管上装置的 5 个电磁阀与后 2 m 的 3 个电磁阀分别启动,先后的时间间隔为 50 ms。

水平管封闭端盖上设有面点火装置,每次可安装 1 到 6 个点火头。每个点火头由敏感的化学引燃头或电阻丝加上一定量的黑火药组成。每次实验所用的黑火药总量在 0.6 g 到 6 g 范围内,它们对应的点火能量经估计为 1.8 kJ 到 18 kJ。实验中采用自制的电子延时器来控制扬尘系统开启与点火之间的延时间隔,以达到精确控制点火时刻的湍流强度的目的。

实验管内在轴线上对应的由扬尘系统产生的瞬态流速是采用热线探头及风速仪在空气中进行测量,扬尘湍流强度(以 RMS 速度表示)是由系综平均法<sup>[13]</sup>进行数据处理后获得的。

扬尘后实验管内不同横截面上粉尘云悬浮的持续时间采用光透射法来确定。

实验管内在不同横截面上由于火焰传播在管壁上形成的压力随时间的变化曲线及曲线上的峰值随距点火端的距离而变化,本实验采用压电传感器对其进行测量,并通过电荷放大器将信号放大后输入计算机进行采集。压电传感器的灵敏度分别为 0.0005~0.005 MPa/mV。

实验管内火焰阵面的到达是采用型号为 2CU2A 的光电二极管进行捕捉,信号直接输入计算机进行采集。

实验中对玉米粉与球形铝粉两种粉尘火焰的加速现象进行了研究。玉米粉的  $d_{50}$  粒径为  $15\mu\text{m}$ , 浓度为  $500\text{g}/\text{m}^3$ 。球形铝粉的  $d_{50}$  粒径分别为  $6\mu\text{m}$  及  $16\mu\text{m}$ , 浓度范围为  $103\text{g}/\text{m}^3$  至  $820\text{g}/\text{m}^3$ 。

### 3 实验结果与讨论

#### 3.1 扬尘技术与实验管内初始粉尘云的形成

初始粉尘云定义为对应于点火时刻实验管内仍悬浮着的粉尘颗粒及其空间分布。本研究的重要任务之一是设计与研制球形喷粉的扬尘技术。图2给出了采用球形喷粉扬尘装置在水平实验管中段的横截面中心所产生的表征扬尘湍流强度的 RMS 速度随时间的衰减规律。若将图2中的时间横坐标改为扬尘与点火间的延迟时间, 则从图2就能直接给出对应于不同延迟时间点火时刻在实验管内尚残存的湍流强度。此湍流强度本研究中被视为一个对初始粉尘云的悬浮质量有着决定性作用的参数。

图3给出了采用球形喷粉扬尘技术在实验管 A、B 两个截面上粉尘浓度随时间的衰减过程。实验结果表明: 粉尘云在电磁阀开启后的  $20\sim 30\text{ms}$  内即形成, 其浓度在  $300\text{ms}$  以前基本保持不变, 然后开始衰减到  $500\text{ms}$ 。详细实验结果在文献[14]中已给出。可以认为球形喷粉扬尘技术能为水平管内提供空间分布均匀和悬浮时间较长的初始粉尘云。

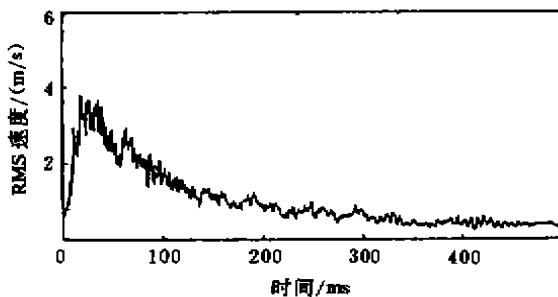
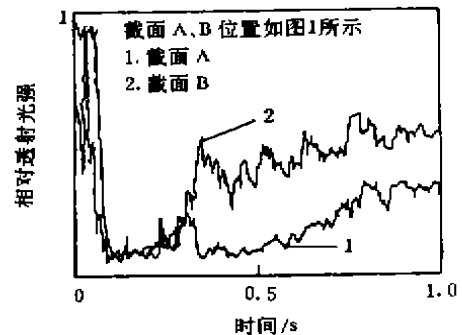


图2 扬尘湍流强度随时间衰减曲线

Fig. 2 The dispersion-induced turbulence intensity as a function of time



1. Cross-section A; 2. Cross-section B;

The location of cross-section A and B shown at Fig. 1

图3 粉尘云在实验管内悬浮时间

Fig. 3 The light transmission versus time after the dust dispersed into the tube

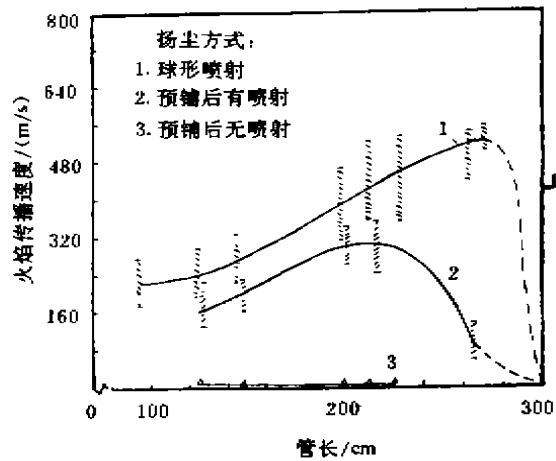
#### 3.2 扬尘技术对粉尘火焰传播特性的影响

为了能较精确地进行比较, 本实验是在两端封闭的  $3\text{m}$  长的水平管中进行的。实验中采用了三种不同的扬尘技术。一是将本研究中自行设计与研制的五套球形喷粉扬尘装置等间距地安装在实验管的两侧, 详见图1。二是将粉尘预先铺设在管底, 点火前再用通过多孔细管的气流将粉尘吹离管底。三是仅将粉尘预先铺设在管底。图4给出了采用以上三种不同扬尘技术在弱点火条件下, 由玉米粉与  $96\%$  氧气形成的粉尘火焰传播速度沿管长

的分布。实验结果表明：扬尘技术对粉尘火焰在水平管中的传播与加速影响很大。这种影响主要通过扬尘装置所产生的湍流来实现。球形喷射扬尘装置在管内产生的小尺度、各向同性的湍流使粉尘云的悬浮达到较好的空间均匀性和较长的持续时间。管内较满意的初始粉尘云状态则令粉尘火焰沿管道传播的加速效果十分明显。这就是为什么图 4 中明显表明了球形喷粉尘技术大大优于另两种的原因。

### 3.3 粉尘浓度和粒度对粉尘火焰传播特性的影响

图 5(a, b) 分别给出了在铝粉粒径  $d_{50}$  为  $6 \mu\text{m}$ ，初始湍流强度为  $2 \text{ m/s}$ ，点火能量为  $6 \text{ g}$  克黑火药的平面点火条件下，铝粉浓度对粉尘火焰传播速度沿管长的分布，及在距

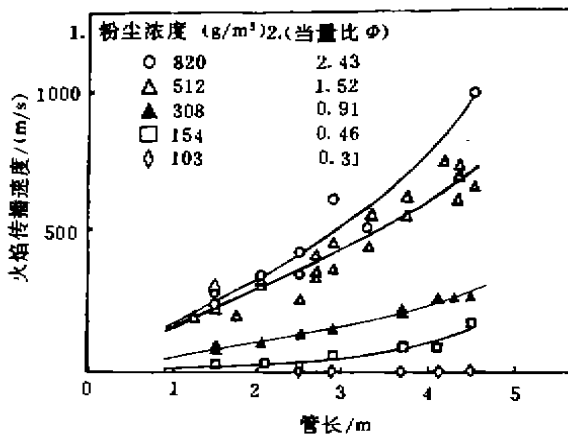


The patterns of dust dispersion for 1, 2, 3 are as follows:

1. Dust dispersed by the spherical dispersion system;
2. Dust placed on the tube bottom then blew by air;
3. Dust placed on the tube bottom only

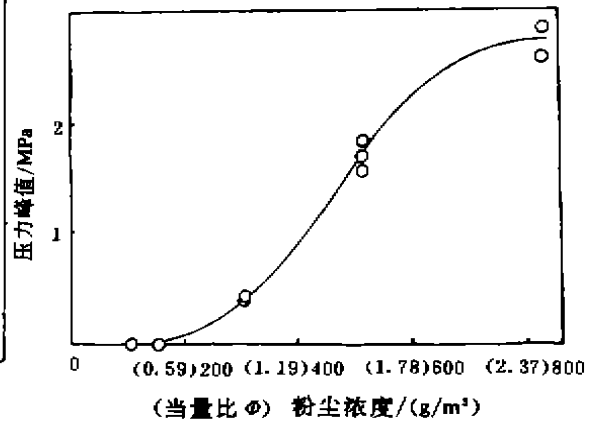
图 4 扬尘技术对火焰传播特性的影响

Fig. 4 The influence of three different dispersion techniques on the flame acceleration



1. Dust concentration ( $\text{g}/\text{m}^3$ );

(a) 火焰传播速度沿管长的分布  
(a) The flame propagation velocity as a function of tube length



2. Equivalent ration ( $\phi$ )

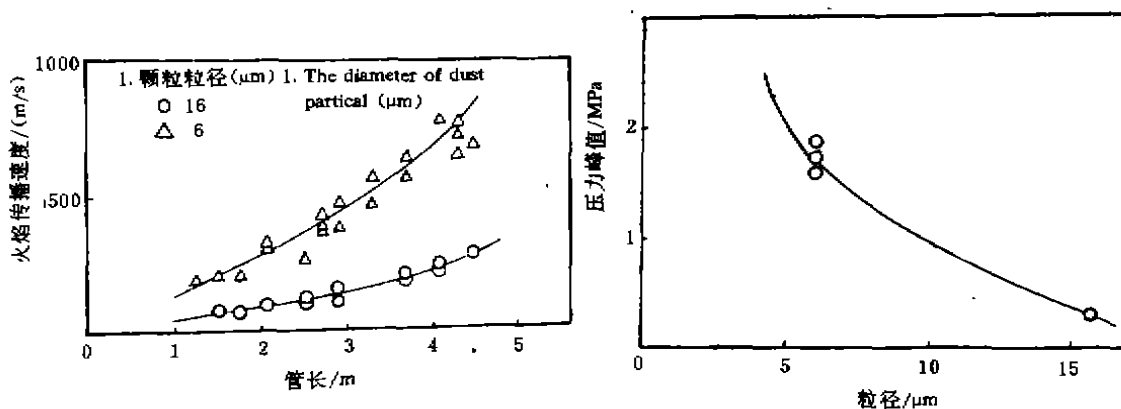
(b) 火焰传播至距火端 4.8 m 处压力峰值  
(b) The maximum pressure value on the tube wall at a distance of 4.8 m from the ignition plate

图 5 粉尘浓度对火焰传播特性的影响

Fig. 5 The influence of dust concentration on the flame acceleration

点火端 4.8 m 处管壁上的压力峰值的影响。实验结果表明:当铝粉浓度为  $154 \text{ g/m}^3$  时,火焰在管内传播过程中虽也呈加速趋势,但速度上升很缓慢,传至 5 m 处的速度还不到  $200 \text{ m/s}$ ,亦无压缩波产生。当铝粉浓度降低到  $103 \text{ g/m}^3$  时,已经没有火焰传播。实验结果还表明,当铝粉浓度由  $154 \text{ g/m}^3$  增至  $512 \text{ g/m}^3$  时,粉尘火焰沿管长传播速度分布及距点火端 4.8 m 处管壁上的压力峰值均呈急骤上升的趋势。但当铝粉浓度由  $512 \text{ g/m}^3$  继续增至  $820 \text{ g/m}^3$  时两者的上升趋势均有所缓慢,前者更甚。这说明当粉尘浓度超出当量浓度时,其对火焰传播特性的影响趋于饱和。

为了考查粉尘粒度对火焰传播特性的影响,实验中使用了两种不同粒径的铝粉,它们的  $d_{50}$  分别为  $6 \mu\text{m}$  及  $16 \mu\text{m}$ 。图 6(a,b) 分别给出了以上两种粒径的铝粉在粉尘浓度为  $512 \text{ g/m}^3$ 、初始湍流强度为  $2 \text{ m/s}$ 、对应于  $6 \text{ g}$  黑火药的平面点火条件下,粉尘火焰沿管长的传播速度及在距点火端 4.8 m 管壁上压力所达到的峰值。实验结果表明,粉尘粒径对火焰的传播和加速现象有非常明显的影响。粒径越大,火焰传播速度越低,产生的最大压力峰值越小。



(a) 火焰传播速度沿管长的分布  
(a) The flame propagation velocity as a function of tube length

(b) 火焰传播至距点火端 4.8 m 处的压力峰值  
(b) The maximum pressure value on the tube wall at a distance of 4.8 m from ignition plate

图 6 粉尘粒度对火焰加速特性的影响

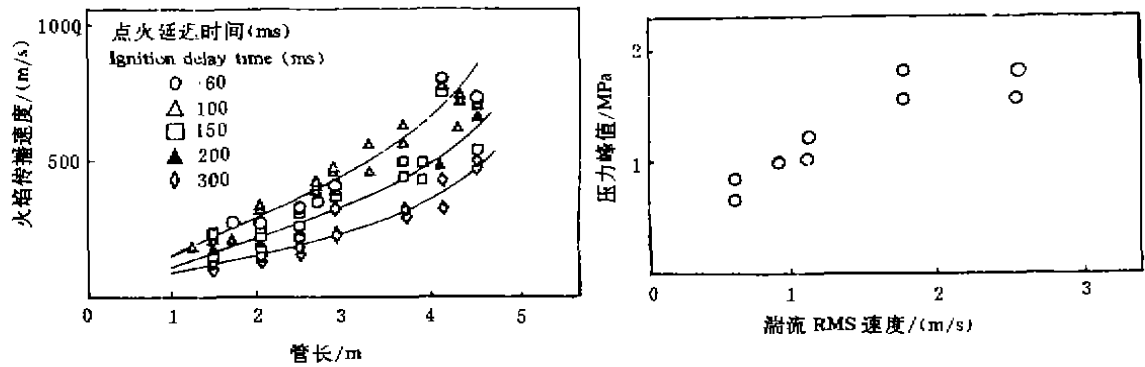
Fig. 6 The influence of dust particles diameter on the flame acceleration

### 3.4 初始湍流强度对粉尘火焰传播特性的影响

图 7(a,b) 分别给出了铝粉粒径  $d_{50}$  为  $6 \mu\text{m}$ 、粉尘浓度为  $512 \text{ g/m}^3$ 、对应于  $6 \text{ g}$  黑火药总量的平面点火条件下,初始湍流强度对粉尘火焰沿管长的传播速度及距点火端 4.8 m 处管壁的压力峰值的影响。实验中不同的初始湍流强度是用控制不同的扬尘系统开启与点火之间的延迟时间来实现的。实验结果表明:湍流强度由  $0 \text{ m/s}$  增至  $2 \text{ m/s}$  的范围内,距点火端 4.8 m 处管壁上的压力峰值几乎直线增加。但当湍流强度由  $2 \text{ m/s}$  增至  $3 \text{ m/s}$  时,影响立即转入平缓。初始湍流强度对粉尘火焰传播速度的影响其趋势与上述对压力的

影响相同。

图 2 给出的测量结果表明: 对于球形喷粉扬尘系统, 初始湍流强度大于 2 m/s 所对应的点火延迟时间需小于 100 ms。为此, 本文在实验中取 100 ms 的点火延迟时间为最佳点火时刻。



(a) 火焰传播速度沿管长的分布

(a) The flame propagation velocity as a function of tube length

(b) 火焰传播至距点火端 4.8 m 处的压力峰值

(b) The maximum pressure value on the tube wall at a distance of 4.8 m from ignition plate

图 7 点火时扬尘湍流强度对火焰加速特性的影响

Fig. 7 The influence of dispersion-induced turbulence intensity on the flame acceleration

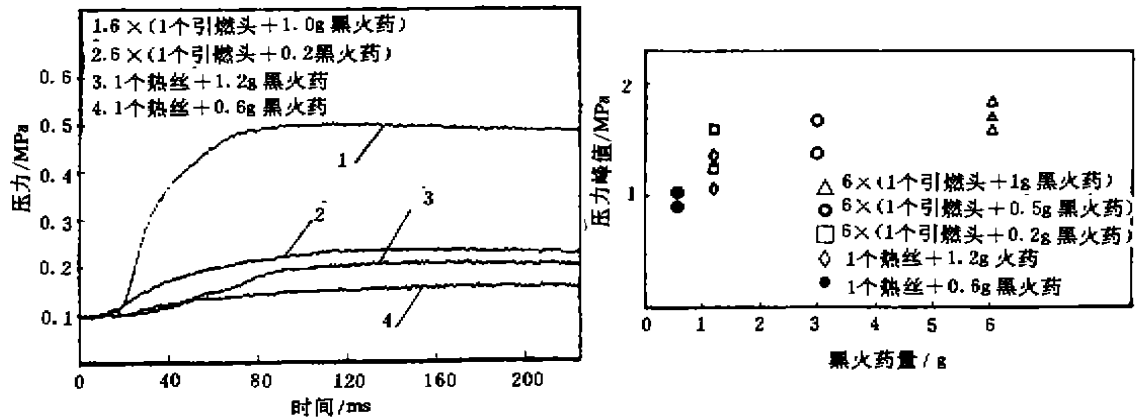
### 3.5 点火方式及强度对粉尘火焰传播特点的影响

首先将点火方式与强度分解为以下三种情况: 六点构成的平面点火与单点中心点火、黑火药用量由 0.6 g 到 6 g、黑火药由敏感的化学引燃头或热丝引燃; 然后将它们对粉尘火焰的产生与传播特性的影响分别进行了认真的比较。

图 8(a) 给出了点火头本身所含的黑火药在 7.5 升的封闭容器经燃烧后获得的压力-时间曲线。此爆炸特性在本文中被用来表征点火能量。在实验中最弱的点火能量系由单个热丝加 0.6 g 黑火药组成的点火头提供, 最强的点火能量则由 6 个引燃头每个加 1 g 黑火药组成的平面点火提供。图 8(a) 的实验结果表明: 在 7.5 升的容器中最弱与最强的点火头对应的最大爆炸压力分别为 0.06 MPa 与 0.39 MPa, 相差约 6.6 倍; 最大压力上升率分别为 1.7 MPa/s 与 17 MPa/s, 相差约 10 倍。图 8(b) 的实验结果则表明对应于 1.2 g 黑火药的点火头, 不管采用引燃头或热丝引燃黑火药, 它们在 7.5 升封闭容器中所获得的最大爆炸压力相差无几, 前者为 0.14 MPa, 后者为 0.11 MPa; 最大压力上升率分别为 3.2 MPa/s 与 2.3 MPa/s, 前者稍强。

图 8(b) 给出了在铝粉粒径  $d_{50}$  为 6  $\mu\text{m}$ 、初始湍流为 2 m/s、粉尘浓度为 512 g/m<sup>3</sup> 的条件下, 平面点火与中心单点点火对粉尘火焰传播到距点火端 4.8 m 处管壁上形成的压力峰值的影响。平面点火是用六个点火头组成, 每个点火头由化学引燃头加三种不同量的黑火药组成。黑火药总量为 6 g、3 g、及 1.2 g。单点点火是用同样热丝加两种不同量的黑火药组成, 黑火药量分别为 1.2 g 与 0.6 g。实验结果表明: 对于平面点火与单点点火, 其黑

火药用量多少对距点火端 4.8 m 处管壁的压力峰值稍有影响。实验结果还表明:最强点火条件对粉尘火焰传播在管壁上形成的压力峰值比最弱点火条件要高 1.7 倍。前者是由 6 个点火头组成,每个点火头由化学引燃头引燃,黑火药总量为 6 g;后者则是由热电阻引燃单个点火头,黑火药量为 0.6 g。这两种点火条件对压力峰值产生明显影响的原因可归结为点火的延迟。电阻丝引燃加上单点点火与化学引燃头引燃加上平面六点点火,前者在点着实验管内粉尘云的时间肯定比后者要延迟,由此将会造成实际残存于粉尘云中湍流强度衰减,从而影响粉尘云实际参加燃烧过程的真实浓度。



1. 6×(A chemical ignitor + 1.0 g Black powder)  
 2. 6×(A chemical Ignitor + 0.2 g Black powder)  
 3. An explosion wire + 12g Black powder  
 4. An explosion wire + 0.6g Black powder

(a) 不同点火能量在 7.5 立升容器内获得的爆炸压力时间曲线  
 (a) Explosion pressure in 7.5 litre vessel under differnt ignition energy as a function of time

△ 6×(A chemical ignitor + 1.0g Black powder)  
 ○ 6×(A chemical ignitor + 0.5g Black powder)  
 □ 6×(A chemical ignitor + 0.2g Black powder)  
 ◇ An explosion wire + 1.2g Black powder  
 ● An explosion wire + 0.6g Black powder

(b) 点火强度对火焰传播至距点火端 4.8 m 处管壁压力峰值的影响  
 (b) The influence of ignition energy on the maximum pressure value at a 4.8m distance from ignition plate

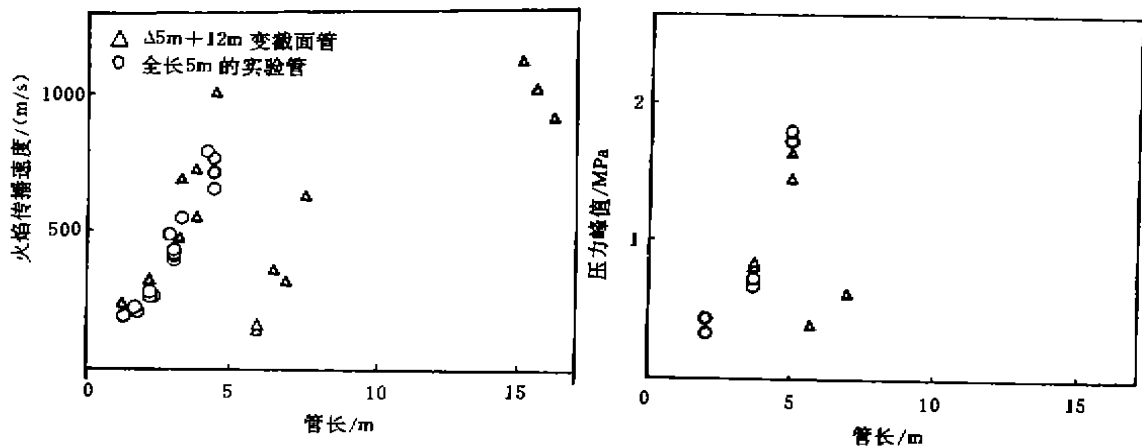
图 8 点火强度对火焰传播特性的影响

Fig. 8 The influence of ignition energy on the flame acceleration

### 3.6 粉尘火焰在变截面管中的传播情况

实验中将上述的 5 m 加速管与现成的 12 m 长管直接相连,它们的内径分别为 0.14 m 及 0.158 m。在前 5 m 加速管内采用球形喷粉技术令实验管内在点火前充满均匀的呈悬浮状态的粉尘云;在后 12 m 长管中则将粉尘预先铺设在管底。图 9(a,b)分别给出粉尘火焰在变截面处传播速度及管壁面上压力峰值的急剧下降现象。这可能与由小至大的变截面效应有关。图 9(a)还表明了 12m 长管中粉尘火焰再次加速得很慢。与前 5m 的加速情况相比,有可能是为采用的扬尘技术不同之故。





△ 5m+12m 变截面管; ○ 全长 5m 的实验管;

△ 5m+12m tube with varisized cross-section;

○ 5m tube with one cross-section only

(a) 粉尘火焰传播速度沿管长的分布

(a) Dust flame propagation velocity as a

function of tube length

(b) 在粉尘火焰传播过程中管壁所测得的压力峰值随距点火端距离变化的曲线

(b) The maximum pressure value varies with the distance from ignition plate

图 9 粉尘火焰在变截面管内的传播特性

Fig. 9 Dust flame propagation in the tube with variable section

#### 4 结 论

1. 在水平实验管中所采用的扬尘技术对粉尘火焰在传播过程中能否实现有效加速有着十分重要的作用。球形喷粉扬尘装置产生的扬尘湍流能使水平试验管内的粉尘云获得较均匀的空间分布和维持较长时间的悬浮状态。水平试验管内初始粉尘云的悬浮质量直接取决于由扬尘诱导出的湍流在点火时刻尚残存于管中的强度(用 RMS 速度表示)。

2. 粉尘粒度对火焰加速的影响十分明显。粉尘浓度则在一定范围内影响明显,过高的浓度令火焰加速趋势缓和。

3. 在弱点火的前提下,点火方式及能量对粉尘火焰加速的影响不大。从实验观点出发,采用平面点火及适当高的点火能量可提高实验数据实验的重复性。粒径为  $6\ \mu\text{m}$ 、浓度为  $820\ \text{g/m}^3$  的铝粉火焰,在封闭端为总药量为 6 g 黑火药的 6 个点火头点着后经空气为介质的 5 m 长水平实验管内的传播,其速度可加速至 1000 m/s。

4. 由小至大的变截面效应令粉尘火焰加速受到阻碍。将 5m 加速管增加到应有的长度以确保粉尘火焰成功转换到爆轰是下段的工作重点。

#### 参 考 文 献

- 1 Nagy J, Verakis C. Development and Control of Dust Explosion. New York; Marcel Dekker Inc, 1985.
- 2 Bartkmecht W. Explosions-Course Prevention and Protection, Translated by Burg H, Almond T, Springer V. New York, [s. n] 1980.
- 3 Nettleton M A, Stirling R. Combustion and Flame, 1973, 21;307~314

- 4 Peraldi O, Vyssiere B. AIAA, Progress in Astronautics and Aeronautics, 1986, 106: 490~504
- 5 Zhang F, Grang H. Combustion and Flame, 1991, 86: 21~32
- 6 Kauffman C W, Srinath S R, Tezok F I, Nichtlos J A, Sichel M. In: The Combustion Institute, 20th Symposium (International) on Combustion. [s. l. ]Pittsburgh PA, 1984. 1704~1708
- 7 Richmond T K, Liebman F. In: 17th Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, [s. l. ]Pittsburg P A. 1977. 1257~1268
- 8 Proust C, Verriere B. In: 11th International Colloquium on Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), 1987.
- 9 Palmer K N, Tonkin P S. International Chemistry Industry Symposium Series, No. 25 (1968; INSTN Chem. Engins. London).
- 10 Palmer K N, Tonkin P S. Combustion and Flame, 1971, 17: 159~170
- 11 Pu Y K. PhD Thesis, Dept of Mech Engi. McGill University, 1988.
- 12 Tutic A J, Selmen J R. In: The combustion Institute, 19th Symposium (International) on Combustion, 1982. 655.
- 13 Pu Y K, Li Y C, Kaufman C W, Bernal L P. AIAA Progress in Astronautics and Aeronautics, 1989, 132: 107
- 14 Ding D Y, Pu Y K, Yuan S X, Wang B L, Tang M J. Investigation of dust Dispersion System in Combustion Tube. In: the 11th International Colloquium on dust Explosion, Poland, 1990

## EXPERIMENTAL STUDIES ON THE PHENOMENA OF DUST FLAME ACCELERATION

Pu Yikang, Hu Shan, Li Keyi

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

**ABSTRACT** The mechanism of dust flame acceleration and transition to detonation has not yet been understood. A Pnuematic spherical dispersion system for obtaining a good quality uniform dust suspension in a horizontal dust combustion tube was developed. A combustion tube for studies of fine aluminum dust flame acceleration and transtiton to detonation under conditions of weak planar ignition was constructed in the course of the present study. The fine aluminum flame propagation velocity approaches 1000m/s at a distance of 5m from the ignition plate. The effect of dispersion turbulence intensity, dust particle diameter, dust concentration, ignition energy and pattern on flame acceleration has been investigated. The influence of the test tube with varisized crosssection on the flame propagation has been examined.

**KEY WORDS** dust flame propagation, turbulent combustion, two phase detonation