

文章编号: 1006-9941(2018)06-0530-07

# PVAc 弹性微球包覆的高能化学点火具的点火性能

刘文近<sup>1</sup>,程扬帆<sup>2,3</sup>,陆松来<sup>2</sup>,韩体飞<sup>2</sup>,汪泉<sup>2,3</sup>,沈兆武<sup>3</sup>

(1. 安徽理工大学土木建筑学院,安徽淮南 232001; 2. 安徽理工大学化学工程学院,安徽淮南 232001; 3. 中国科学技术大学中科院材料力学行为与设计重点实验,安徽合肥 230026)

**摘要:** 为了减小化学点火具的成型性、燃烧持续时间、燃烧速度等参数对粉尘燃烧与爆炸实验的影响,提高实验数据的准确性和可重复性,研制出一种聚醋酸乙烯酯(PVAc)弹性微球包覆的化学点火具。首先对点火药用石蜡降感,后加入几滴石油醚将点火药制成球形,然后将 PVAc 的乙醇溶液旋涂在球形点火药上并真空干燥,在干燥过程中石油醚的挥发使包覆膜发生膨胀并使点火药变得膨松,制得的 PVAc 弹性微球具有成型性好、韧性强、防水和抗氧化等优点。利用高速摄影技术,研究了该点火具的燃爆特性,并与其他三种类型的点火具进行了比较。实验结果表明,PVAc 弹性微球包覆的化学点火具的火焰呈球形传播,其火焰速度适中、点火可靠度高,能够减小粉尘爆炸实验数据因点火具造成的误差。

**关键词:** 点火药; 粉尘爆炸; 聚醋酸乙烯酯(PVAc); 微球包覆; 粉尘云; 燃速

**中图分类号:** TJ53

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2018.06.011

## 1 引言

悬浮在空气中的可燃性粉尘具有爆炸性,而爆炸产生的冲击波会卷扬起地面上的粉尘,并可能引发威力更大的二次爆炸<sup>[1]</sup>。公开数据显示,我国近五年来被报道的粉尘爆炸事故共有 30 多起,平均每年发生 6~7 起,且呈逐年上升的趋势。国内外学者对粉尘爆炸进行了大量的实验研究<sup>[2-7]</sup>,利用粉尘爆炸测试实验,能够探索和认识粉尘爆炸的发生、发展及燃烧转爆机理,从而为粉尘爆炸的控制、预防及事故调查提供理论依据、基础数据和相应的建议。标准<sup>[8-9]</sup>规定测量粉尘爆炸实验参数点火方式为大能量化学点火,化学点火具中点火药的基本配方为 40% 铝粉、30% 硝酸钡、30% 过氧化钡,且点火具的特性对获取准确的粉尘爆炸参数至关重要。张瑞萍<sup>[10]</sup>对化学点火具中点火药能量进行了计算,分析了 ISO-6184/1 国际标准对点火药配比和能量规定的合理性。曹卫国等<sup>[11]</sup>对点

火具爆炸压力进行了理论计算与试验研究,验证了点火具爆炸压力和质量呈线性关系。蒯念生等<sup>[12]</sup>、Pilao R 等<sup>[13]</sup>、崔瑞等<sup>[14]</sup>研究了化学点火具点火能量对粉尘爆炸行为的影响。然而,国内外有关点火具对粉尘爆炸实验参数的影响研究,主要集中在点火药的类型、爆炸压力、能量大小上,但对于点火药头物理性能研究很少。通过文献调研发现,在粉尘爆炸实验中使用化学点火药头存在点火药不易成型、火焰传播不均匀、装药困难等缺点<sup>[15]</sup>。同时,通过前期的实验发现,利用传统方法制作的化学点火具存在实验结果重复性差的问题。

本研究拟采用包覆的手段将化学点火药包覆起来,以期解决化学点火具在粉尘爆炸实验中存在的问题。通过包覆效果和包覆后点火药的燃爆特性对比,选择合适的包覆工艺。研究了不同包覆材料对点火药成型性、燃烧特性和火焰传播形状的影响,得到点火具最优的包覆材料和工艺。最后利用粉尘爆炸实验对该点火具的点火能力进行了验证。

## 2 点火具的制备与表征

### 2.1 实验材料与仪器

**实验材料:** 铝粉(200 目以下,纯度>99.5%)、硝酸钡(纯度>99%)、过氧化钡(纯度>99%)、聚乙烯醇(1788 型)、无水乙醇(分析纯)、石油醚(分析纯)、

收稿日期: 2017-10-19; 修回日期: 2017-11-09

**基金项目:** 国家自然科学基金资助(11602001; 51604009); 安徽省自然科学基金青年项目资助(1608085QA15); 中科院材料力学行为与设计重点实验室开放课题(lmbd201701)

**作者简介:** 刘文近(1993-),男,硕士研究生,主要从事含能材料的包覆和性能测试。e-mail: lwj931@163.com

**通信联系人:** 程扬帆(1987-),男,博士,副教授,主要从事工业炸药和粉尘爆炸的研究。e-mail: cyf518@mail.ustc.edu.cn

石蜡,以上试剂均购于阿拉丁试剂有限公司);聚醋酸乙烯酯,分析纯,购于麦克林试剂有限公司;蒸馏水为实验室自制。

仪器:真空干燥箱(DZF-6050,购于扬州市三发电子有限公司),磁力搅拌器(CJJ79-1,购于力辰科技有限公司)。

## 2.2 点火具的制备

### 2.2.1 点火药配方的降感

将点火药的基本成分铝粉、硝酸钡、过氧化钡按质量比4:3:3混合后,加入5%左右的石蜡,然后将其加入到无水乙醇中搅拌至石蜡溶解完全,然后放到真空干燥箱中40℃烘干<sup>[16]</sup>。最后,制得石蜡包覆的点火药,石蜡作为钝感材料,能够提高点火药的安全性。

### 2.2.2 点火具的制备工艺

在制作点火药头的过程中,应尽可能使点火药头呈球形,从而使其产生的火焰能够均匀的向四周扩散,

保证悬浮粉尘火焰各向同性传播,提高实验的准确性和重复性。

传统方法:通过文献<sup>[10,15]</sup>调研发现,传统点火药采用白纸或保鲜膜进行包裹制成点火具,该方法的特点是简单方便。

聚乙烯醇粘结法:用蒸馏水配制一定浓度的聚乙烯醇粘结剂溶液,加入石蜡降感后的点火药,聚乙烯醇粘结剂的质量比为15%,然后制成球形,放在真空干燥箱中常温干燥12h制得聚乙烯醇粘结的点火具。

PVAc弹性微球包覆法:首先向降感后的点火药中加入几滴石油醚并制成球形,然后配制PVAc的乙醇溶液并涂抹在球形点火药的周围,PVAc的质量占点火药总质量的2%~5%,后在20~40℃下真空干燥1h。在干燥过程中石油醚挥发,使包覆膜发生膨胀并使点火药变得膨松,从而形成中空弹性微球包覆的点火具。图1为PVAc弹性微球包覆法的示意图。

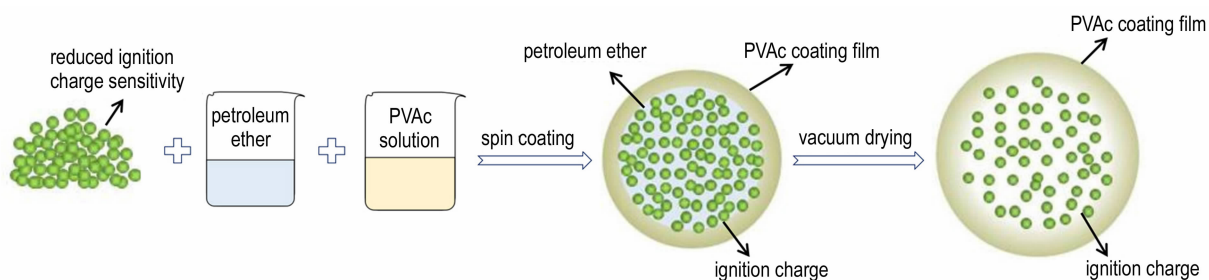


图1 PVAc弹性微球包覆过程示意图

Fig.1 Schematic diagram of the coating process with PVAc elastic microsphere

## 2.3 结果与讨论

四种点火具成型效果如图2所示。由图2可见,纸和保鲜膜包裹的点火药表面有褶皱,这些褶皱将点火药分离开,影响点火具的点火能量,且点火具的球形成型性效果不佳;聚乙烯醇粘结法制得的点火具呈球状,且点火药密实紧凑、强度高;PVAc弹性微球包覆法制得的点火具表面光滑,球形成型性好,且点火药呈膨松状,PVAc弹性微球强度符合要求。

因此,就点火具的成型性而言,聚乙烯醇粘结法和PVAc弹性微球包覆法制得的点火具要明显优于传统的采用白纸或保鲜膜包裹制得的点火具。并且,PVAc弹性中空微球具有防水和抗氧化的功能,能显著提高点火具的储存稳定性。

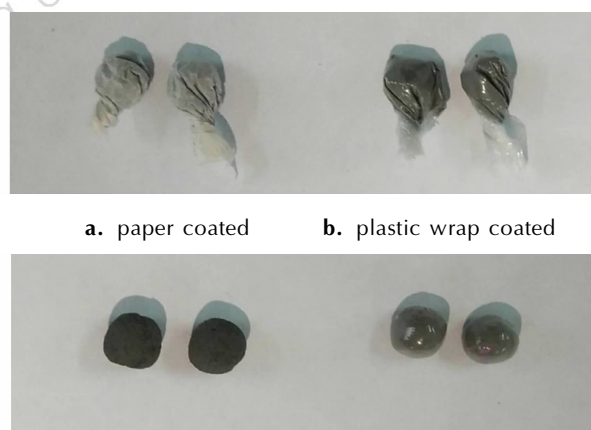


图2 四种点火具成型效果对比

Fig.2 Comparison of the molding effects of four types of igniters

### 3 化学点火具爆燃实验

#### 3.1 实验器材与设计

点火具爆燃实验测试系统见图 3 所示。首先将点火具安装在点火针的顶部, 利用 PLC 控制系统控制点火时间, 然后采用 NAC Memrecam HX-3 型高速摄影仪记录点火具火焰形状, 同时可以利用不同时刻的火焰传播面, 计算出点火具的火焰传播速度。

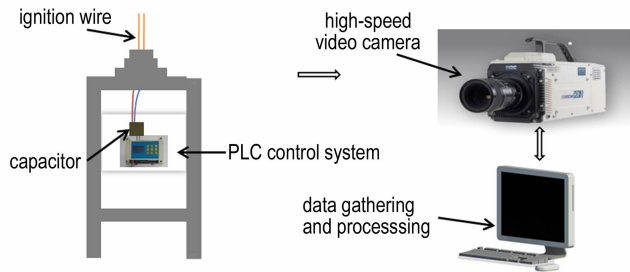


图 3 点火具爆燃实验测试系统

Fig. 3 Igniter deflagration test system

#### 3.2 点火具的性能要求

化学点火具的主要功能是将悬浮粉尘点燃, 为了保证粉尘爆炸实验数据的准确性和可重复性, 点火具形成的火焰应尽量呈球形; 由于在点火初期, 点火具的燃烧速度大于粉尘的燃烧速度, 若点火具的燃烧时间越长, 则其对粉尘燃速的测量精度影响越大, 同时, 点火具燃烧产生的高温会对压力传感器和热电偶的实验精度的产生不利影响, 因此点火具的爆燃应瞬间完成; 在保证悬浮粉尘被可靠点燃的前提下, 点火具火焰的传播速度越小, 则对粉尘爆炸火焰面的传播影响越小。

#### 3.3 结果与讨论

利用高速摄影仪 (拍摄帧率 5000 fps) 对四种化学点火具的爆燃过程进行了研究, 每种样品测试 3 次以上。图 4 是利用高速摄影得到在 1 ms 四种点火具的初始火焰形状图, 纸包裹的点火具火焰为斜椭圆形, 且火焰面显著大于其他三种点火具, 说明该点火具的初始燃烧速度最快; 保鲜膜包裹的点火具火焰形状成斜长方形; PVAc 弹性微球包裹的点火具火焰形状近似呈圆形; 聚乙烯醇粘结的点火具火焰形状为圆形, 但比其他三种点火具的火焰形状小很多, 说明粘结成球的点火具初始燃烧速度最慢。

图 5 是利用高速摄影拍到的四种点火具的最大火焰图片, 纸包裹的点火具最大火焰形状为“心形”, 保鲜膜包裹的点火具火焰形状呈“领结形”, 聚乙烯醇粘

结的点火具火焰形状为“喇叭形”, 而只有 PVAc 弹性微球包裹的点火具的火焰形状近似呈球形。最大火焰形状与火焰初期形状有关, 火焰沿初期形状扩展, 不同包裹方法的点火具在 1 ms 火焰形状 (如图 4 所示) 和最大火焰形状 (如图 5 所示) 对应, 综合比较可知, PVAc 弹性微球包裹的点火具火焰形状最好, 且近似球形。

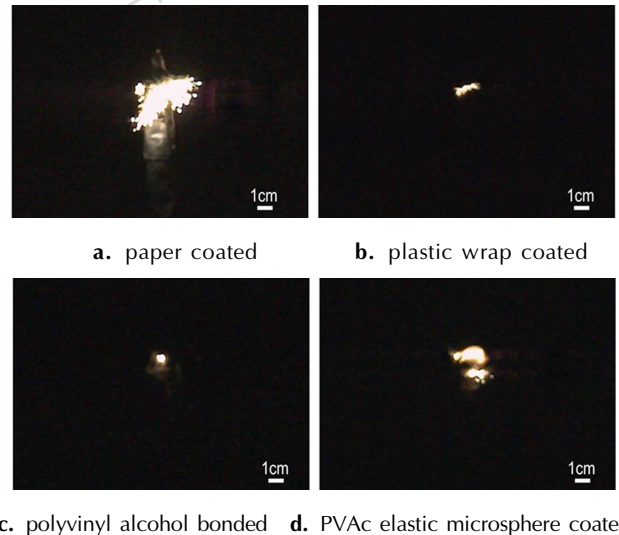


图 4 点火 1 ms 后四种点火具火焰形状对比

Fig. 4 Comparison of the flame shapes of four types of igniters after 1 ms ignition

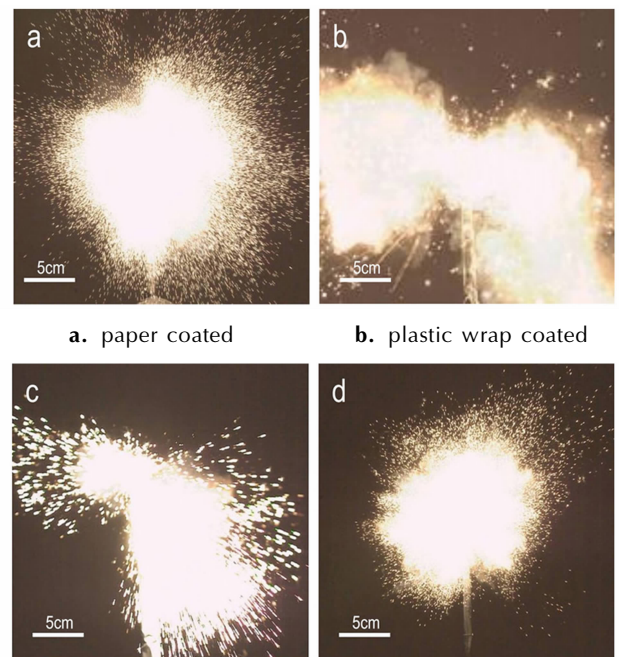


图 5 四种点火具最大火焰形状对比

Fig. 5 Comparison of the maximum flame shapes of four types of igniters



图 6 是利用高速摄影记录实验结束后四种点火具的余火。由图 6 可见,纸和保鲜膜包裹的点火具最后仍有残余的纸和保鲜膜燃烧,聚乙烯醇粘结的点火具燃烧速度缓慢,PVAc 弹性微球包覆的点火具燃烧时间短。通过高速摄影得到四种点火具从点火到燃烧结束的时间分别为:聚乙烯醇粘结型 2530 ms、保鲜膜包裹型 1520 ms、纸包裹型 1050 ms、PVAc 弹性微球包裹型 510 ms。

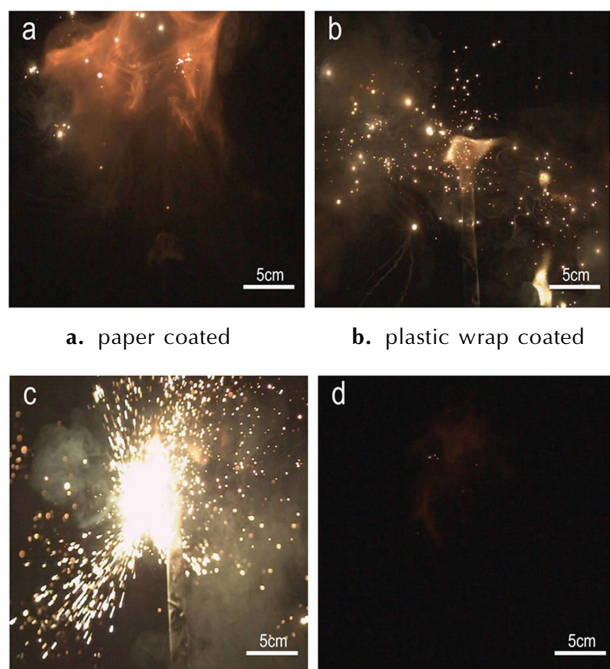


图 6 实验后四种点火具的余火对比  
Fig. 6 Comparison of the embers of four types of igniters after experiments

将高速摄影拍得的图片利用 Photoshop 软件处理,对比参照物在图中的距离与实际长度得到比例尺,得出四种点火具不同时刻火焰前锋面距火焰中心距离  $R$  (如表 1)。

利用表 1 中数据可以确定相邻时刻火焰前锋面的距离  $\Delta l$ ,除以间隔时间  $\Delta t$ ,可计算出不同时刻火焰前锋面传播速度  $v$ 。图 7 是利用表 1 中数据计算得到的四种点火具火焰前锋面传播速度时程曲线,由图 7 可知,除聚乙烯醇粘结的点火具外,其他三种点火具火焰前锋面传播速度基本上呈现先上升后下降的趋势;纸包裹的点火具燃烧速度最快,保鲜膜和 PVAc 弹性微球包覆的点火具火焰前锋面燃烧速度接近,聚乙烯醇粘结的点火具火焰前锋面速度最慢,这是由于粘结剂

的加入使得点火药头结构紧密,点火药的比表面积变小导致的。由于粉尘燃烧的初始速度一般在  $10 \sim 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,过高的点火具火焰前锋面传播速度会严重影响粉尘爆炸火焰面的传播,而过低的点火具火焰前锋面传播速度又可能会导致粉尘点火的失败。

表 1 四种点火具不同时刻火焰前锋面到点火具火焰中心的距离

Table 1 The distance of flame front to igniter flame center for four types of igniters at different times

$t/\text{ms}$	$R_1/\text{cm}$	$R_2/\text{cm}$	$R_3/\text{cm}$	$R_4/\text{cm}$
1	2.17	0.40	0.20	0.80
2	5.53	1.58	0.25	2.08
3	7.50	2.96	0.33	3.20
4	8.88	3.55	0.38	4.41
5	9.47	4.26	0.75	5.40
6	9.57	4.42	1.50	5.62
7	9.62	4.50	1.70	5.76

Note:  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  and  $R_4$  are the distance of flame front to igniter flame center of paper coated igniter, plastic wrap coated igniter, polyvinyl alcohol bonded igniter and PVAc elastic microsphere coated igniter, respectively.

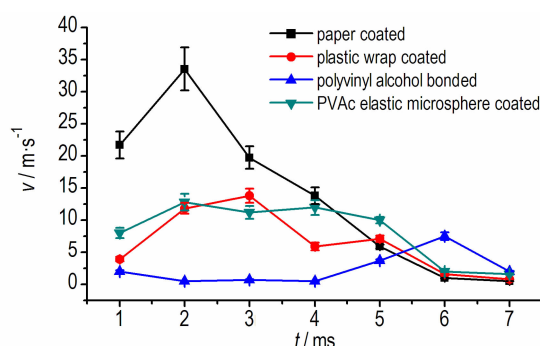


图 7 四种点火具火焰前锋面传播速度时程曲线

Fig. 7 Flame front surface propagation velocity vs. time curves of the four types of igniters

综上所述,不同包覆方法得到的点火具燃爆实验表明:PVAc 弹性微球包覆的点火具比其他三种点火具火焰成球性好,火焰燃烧过程呈球形传播,保证悬浮粉尘火焰各向同性传播,提高实验数据的准确性和可重复性;PVAc 弹性微球包覆的点火具从点火到燃烧结束的时间是四种点火具中最短的,因而其燃烧过程对粉尘爆炸实验测试数据的影响也最小。由于点火具的主要功能是点火,在不影响点火的前提下,对粉尘爆炸实验数据的影响越小,则该点火具的性能越佳。因

此,综合火焰面形状、燃烧持续时间、火焰传播速度等参数可知,PVAc 弹性微球包覆的点火具的性能要优于另外三种点火具。

## 4 点火具的点火能力验证

### 4.1 金属粉尘爆炸实验

实验装置结构如图 8 所示。设置气球充气时间 2.1 s、喷粉时间 1 s(为了保证粉尘均匀悬浮并使气球的最终体积为 16 L),点火延迟时间根据粉尘浓度和类别不同设为 0.1~0.3 s,充气和喷粉压力 0.7 MPa;称取一定量可燃粉尘放入储粉罐底部后打开控制系统,控制系统通过控制电磁阀将透明乳胶气球充气 2.1 s,然后对储粉罐吹气 1 s,可燃粉尘沿导管通过半球形网状喷头喷出,延迟一段时间后点火。利用高速摄影相机可以记录喷粉和粉尘燃爆的整个过程,喷粉过程拍摄帧率为 500 fps,粉尘点火燃爆过程拍摄帧率 5000 fps。实验用粉尘为 300 目的  $\text{TiH}_2$  粉末,实验前在 40 °C 真空干燥箱中干燥 12 h。如图 9 所示,该装置能够实现粉尘的均匀悬浮。

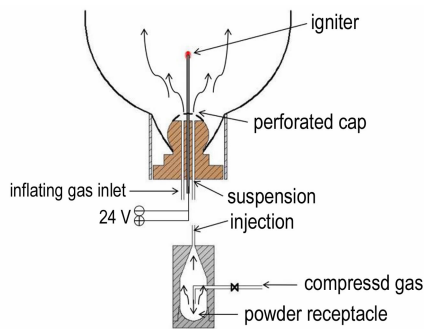


图 8 喷粉装置结构示意图

Fig. 8 Structural diagram of powder injection device

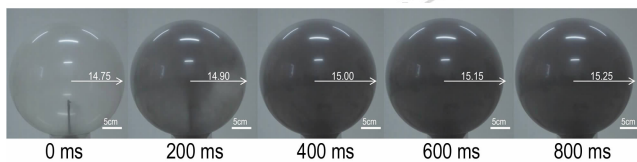


图 9  $\text{TiH}_2$  粉尘浓度为  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  的喷粉过程

Fig. 9 Powder injection process of  $\text{TiH}_2$  dusts with  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  concentration

为了验证点火具的点火能力,利用四种点火具对

粉尘浓度为  $100 \sim 800 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  的  $\text{TiH}_2$  粉末进行了点火实验,实验结果表明,利用纸和保鲜膜包覆的点火具能够将不同浓度的  $\text{TiH}_2$  全部点燃,但火球火焰传播不均匀;聚乙烯醇粘结的点火具 8 次实验中只有 2 次将粉尘点燃,说明该点火具的点火可靠性低;而 PVAc 弹性微球包覆的点火具能够将不同浓度的  $\text{TiH}_2$  粉末全部点燃,因而具有很高的点火可靠性,且火焰成球形传播,图 10 是 PVAc 弹性微球包覆点火具点燃  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$   $\text{TiH}_2$  粉尘的燃烧过程。

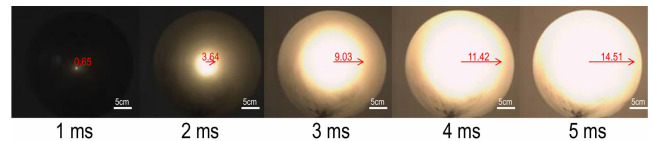


图 10 PVAc 弹性微球点火具点燃  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$   $\text{TiH}_2$  粉尘燃爆过程

Fig. 10 Deflagration process of  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$   $\text{TiH}_2$  dust ignited by a PVAc elastic microsphere coated igniter

### 4.2 实验结果与讨论

由 3.2 节讨论可知,在不影响点火成功率的前提下,点火具火焰面较粉尘爆炸火焰面的传播速度越小,则对实验数据的干扰越少。表 2 是不同时刻 PVAc 包覆的点火具和粉尘火焰前锋面到火焰中心的距离,通过表 2 可分别计算得到  $\text{TiH}_2$  在  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  浓度时粉尘爆炸和 PVAc 弹性微球包覆的点火具的火焰前锋面传播速度时程曲线。 $\text{TiH}_2$  粉尘浓度在  $100 \sim 800 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  变化时,其浓度在  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  时的燃速最小,因此将该浓度时的粉尘火焰传播速度与 PVAc 弹性微球包覆的点火具进行比较,如图 11 所示。由图 11 可知,PVAc 弹性微球包覆的点火具的火焰传播速度远小于  $\text{TiH}_2$  粉尘爆炸火焰面的传播速度,因而对粉尘爆炸实验数据的影响较小。

表 2 不同时刻 PVAc 包覆的点火具和粉尘火焰前锋面到火焰中心的距离

Table 2 PVAc coated igniter and distance of dust flame front to flame center at different times

t/ms	PVAc coated igniter/cm	distance/cm
1	0.80	0.65
2	2.08	3.64
3	3.20	9.03
4	4.41	11.42
5	5.40	14.51

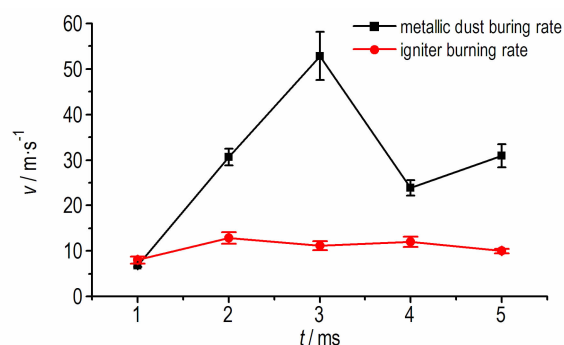


图 11 PVAc 弹性微球包覆化学点火具与  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$   $\text{TiH}_2$  粉尘爆炸火焰传播速度对比

Fig. 11 Comparison of the flame front surface propagation velocities for the explosion of chemical igniter coated by PVAc elastic microsphere and  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$   $\text{TiH}_2$  dust

## 5 结 论

(1) PVAc 弹性微球使点火药的形状呈球形, 从而使其在点火过程中形成球形火焰面, 能够保证悬浮粉尘火焰各向同性传播, 提高了实验数据的准确性和可重复性。

(2) PVAc 弹性微球包覆的点火具呈膨松状, 其点火药颗粒的比表面积大, 点火过程能够在瞬间完成, 优于其他三种点火具, 避免了利用聚乙烯醇粘结剂成型的点火药因燃速过慢而导致的点火失败和实验误差等问题。

(3) PVAc 弹性微球包覆的点火具点火可靠度高且火焰传播速度适中, 对粉尘爆炸实验数据的准确度影响较小。

### 参考文献:

- [1] 胡双启, 尉存娟, 谭迎新. 管道内瓦斯爆炸引起沉积煤粉尘二次爆炸的实验研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010, 18(6): 895-899.  
HU Shuang-qi, WEI Cun-juan, TAN Ying-xin. Experimental research on secondary explosion of coal dust caused by gas explosion in pipeline [J]. *Journal of Basic Science and Engnering*, 2010, 18(6): 895-899.
- [2] Bagaria P, Zhang Jia-qi, Yang ET, et al. Effect of dust dispersion on particle integrity and explosion hazards[J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2016, 44(11): 424-432.
- [3] Abbasi T, Abbasi SA. Dust explosions-cases, causes, consequences, and control[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 140(1/2): 7-44.
- [4] Ajrash M J, Zanganeh J, Moghtaderi B. Methane-coal dust hybrid fuel explosion properties in a large scale cylindrical explosion chamber[J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Indu-*

*stries*, 2016, 40(3): 317-328.

- [5] Bai Chun-hua, Zhang Bo, Xiu Guang-li, et al. Deflagration to detonation transition and detonation structure in diethyl ether mist/aluminum dust/air mixtures[J]. *Fuel*. 2013, 107(5): 400-408.
- [6] 郁红陶, 张庆明, 何远航. AP/HTPB/ferrocene 混合体系粉尘爆炸特性研究[J]. 含能材料, 2009, 17(3): 283-286.  
YU Hong-tao, ZHANG Qing-ming, HE Yuan-hang. Characteristics of dust explosion of AP/HTPB/Ferrocene mixed system study on the explosion [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2009, 17(3): 283-286.
- [7] LIU Qing-ming, BAI Chun-hua, JIANG Li. Deflagration-to-detonation transition process for spherical aluminum dust/epoxypropane mist/air mixtures in a large-scale experimental tube[J]. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 2011, 54(3): 533-541.
- [8] ASTM- E1226-2012: Standard Test Method for Pressure and Rate of Pressure Rise for Combustible Dusts [S]. 2012.
- [9] 国家技术监督局. GB/T 16426-1996: 粉尘云最大爆炸压力和爆炸指数测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.  
State Bureau of Technical Supervision. GB/T 16426-1996: Determination for maximum explosion pressure and maximum rate of pressure rise of dust cloud[S]. Beijing: China Standard Press, 1996.
- [10] 张瑞萍. 化学点火具中点火药配比和能量计算[J]. 兵工安全技术, 2000(2): 30-32.  
ZHANG Rui-ping. On calculation of the formulation and the energy for pyrotechnics[J]. *Journal of Ordnance Safety Technology*, 2000(2): 30-32.
- [11] 曹卫国, 黄丽媛, 梁济元, 等. 点火具爆炸压力的理论计算与试验研究[J]. 爆破器材, 2013, 42(4): 24-27.  
CAO Wei-guo, HUANG Li-yuan, LIANG Ji-yuan, et al. Computational and experimental studies of explosion pressure of igniter [J]. *Explosive Materials*, 2013, 42(4): 24-27.
- [12] 蒯念生, 黄卫星, 袁旌杰, 等. 点火能量对粉尘爆炸行为的影响[J]. 爆炸与冲击, 2012, 32(4): 432-438.  
KUI Nian-sheng, HUANG Wei-xing, YUAN Jing-jie, et al. Influence of ignition energy on dust explosion behavior[J]. *Explosion and Shock Waves*, 2012, 32(4): 432-438.
- [13] Pilao R, Ramalho E, Pinho C. Overall characterization of cork dust explosion[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 133(1-3): 183-195.
- [14] 崔瑞, 程五一. 点火能量对煤粉爆炸行为的影响[J]. 煤矿安全, 2017, 48(4): 16-19.  
CUI Rui, CHENG Wu-yi. Influence of ignition energy on explosion behavior of pulverized coal [J]. *Safety in Coal Mines*, 2017, 48(4): 16-19.
- [15] Khalil Y F. Experimental determination of dust cloud deflagration parameters of selected hydrogen storage materials: complex metal hydrides, chemical hydrides, and adsorbents[J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013, 26(1): 93-103.
- [16] 程扬帆, 颜事龙, 马宏昊, 等. 溶胶-凝胶法包覆储氢材料  $\text{MgH}_2$  的性能研究[J]. 火炸药学报, 2015, 38(4): 67-70.  
CHENG Yang-fan, YAN Shi-long, MA Hong-hao, et al. Study on the properties of hydrogen storage material  $\text{MgH}_2$  coated by sol-gel method[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2015, 38(4): 67-70.

## Ignition Performance of the High Energy Chemical Igniter Coated with a PVAc Elastic Microsphere

LIU Wen-jin<sup>1</sup>, CHENG Yang-fan<sup>2,3</sup>, LU Song-lai<sup>2</sup>, HAN Ti-fei<sup>2</sup>, WANG Quan<sup>2,3</sup>, SHEN Zhao-wu<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. School of Chemical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 3. CAS Key Laboratory of Mechanical Behavior and Design University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

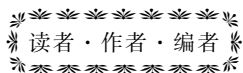
**Abstract:** To reduce the effect of formability, combustion duration, burning rate and other parameters of the chemical igniter on the dust combustion and explosion experiments and improve the accuracy and repeatability of experimental data, the chemical igniter coated with a polyvinyl acetate (PVAc) elastic microsphere was developed. Firstly, the ignition powders were desensitized by paraffin wax, then a few drops of petroleum ether was added to the ignition powder to form a spherical ignition powder, then the spherical ignition powder was coated by ethanol solution of PVAc and dried in vacuum. In the process of drying, the petroleum ether was volatilized to make the coated film expand and the ignition powder bulk. The PVAc elastic hollow microsphere prepared has the advantages of good formability, strong toughness, water proof and oxidation resistance, etc. The deflagration characteristics of the igniter were studied by a high-speed camera and compared with other three types of igniters. The experimental results show that the igniter coated by PVAc elastic microsphere has a spherical flame propagation, a moderate flame velocity, and a stable ignition reliability, which can reduce the experimental data error of the dust explosion because of the influences of the igniter.

**Key words:** ignition powder; dust explosion; polyvinyl acetate(PVAc); microsphere coating; dust cloud; burning rate

**CLC number:** TJ53

**Document code:** A

**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2018.06.011



## 《含能材料》实现单篇网络首发

为了以规范的网络期刊出版方式更快更好地确立作者的科研成果首发权,全面提高学术论文的传播效率和利用价值,《含能材料》与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司(简称电子杂志社)签署了《CAJ—N 网络首发学术期刊合作出版协议》,通过《中国学术期刊(网络版)》(CAJ—N)进行《含能材料》单篇网络首发。

自 2018 年 5 月起,凡经《含能材料》审定录用的稿件将在《中国学术期刊(网络版)》(CAJ—N)上网络首发,后视编排情况发布整期汇编定稿,并印刷出版。

为规范网络首发版式,请投稿作者登录本刊网站,仔细阅读本刊投稿须知,并依据投稿模板中相关要求认真撰写论文。录用定稿网络首发之后,在后续整期汇编定稿网络版和印刷版中,不得修改论文题目、作者署名及排序、作者单位以及其主要学术内容,只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

欢迎作者投稿本刊。欢迎读者通过中国知网、本刊网站阅读并使用 DOI 引用本刊最新录用论文。

《含能材料》编辑部