

文章编号: 1006-9941(2003)02-0091-03

## 铝粉及黑索金粉尘爆炸的特性研究

陈网桦, 宋述忠, 胡毅亭, 刘荣海, 王 成, 张正才

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 采用 20 立升爆炸球对片状铝粉、黑索今(RDX)粉尘及它们的混合粉尘的爆炸行为进行了实验研究。根据它们爆炸时的最大爆炸压力、最大压力上升速率等参数,发现在混合粉尘中当铝粉及 RDX 粉尘在一定配比时,两者存在协同效应。同时,当混合粉尘中铝粉的含量不同,则混合粉尘爆炸时的最大压力上升速率也遵循不同的规律。

**关键词:** 粉尘爆炸; 协同效应; 铝粉; 黑索今

**中图分类号:** TQ328.1

**文献标识码:** A

### 1 引 言

粉尘爆炸是可燃粉尘分散在含氧气氛中达到一定浓度时,在适当的点火能量作用下瞬时完成整个燃烧过程的现象。由于其能量释放速度远大于一般的燃烧过程,因而在密闭或半密闭空间内,粉尘爆炸的危害是十分巨大的。根据粉尘爆炸特性可把粉尘分为两大类,即活性粉尘和非活性粉尘。其根本区别是:非活性粉尘是典型的燃料,本身不含氧或含氧量极低,只有当分散在含氧气体中时才可能发生爆炸,存在浓度上限;反之,活性粉尘自身含氧,含氧气体的存在与否并非发生粉尘爆炸的必要条件,不存在浓度上限。在非活性粉尘中,铝粉占有特殊的地位,这是由于铝粉的燃烧较一般有机和无机粉尘迅速,爆炸危险性大;相对于非活性粉尘而言,由于在活性粉尘-气体混合物中,由爆燃转变为爆轰的可能性要比非活性粉尘大得多,所造成的危害更大<sup>[1]</sup>。

本实验以铝粉及黑索今(RDX)为研究对象,用 20 立升标准爆炸球来研究这两者的爆炸特性,得到了粉尘浓度与压力峰值、最大压力上升速率、爆炸指数的关系。同时,对这两种粉尘共存时的爆炸行为进行实验研究,得到了一些有意义的结果。这些结果反映了铝粉和 RDX 的爆炸猛烈程度,为我们更好地使用这些原材料提供了帮助,为有关设备及工房的抗爆、泄压设计提供了依据。

### 2 实 验

实验是在直径为 0.34 m, 体积为 20 立升的标准球形容器内进行的。压力测量采用了 PCB 石英压电传感器。整个过程由计算机控制。采用 6.8 g 的硅系点火头进行实验,其配方为  $\text{Si}/\text{Pb}_3\text{O}_4 = 12/88$ 。实验时,球内抽真空至 0.03 MPa,喷粉气压为 2 MPa,喷粉时间为 60 ms,点火时间为喷粉结束后 50 ms。片状铝粉的  $d_{50}$  为 13 ~ 14  $\mu\text{m}$ ,而 RDX 的  $d_{50}$  为 60 ~ 70  $\mu\text{m}$ 。

### 3 实验参数

#### 3.1 峰值压力和最大压力上升速率

峰值压力( $p_{\max}$ )和最大压力上升速率( $dp/dt$ )<sub>max</sub>从实验过程中记录的压力-时间( $p-t$ )曲线上测定。粉尘爆炸的最大压力  $p_{\max}$  对容器尺寸、形状以及其它试验条件的变化均不敏感。而( $dp/dt$ )<sub>max</sub> 不仅对不同物料的粉尘有很大的差别,它对试验容器的尺寸和形状,以及其它试验条件都很敏感。因而如何测定此参量一直是近年来各国有关专家关注的焦点<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 爆炸指数的计算

粉尘爆炸最大压力上升速率是确定粉尘爆炸指数  $K_{st}$  的主要依据,而  $K_{st}$  又是进行粉尘爆炸危险性分级以及泄爆装置设计的主要依据。目前学术界对  $K_{st}$  的计算方法存在质疑,常采用如下立方根定律计算:  $K_{st} = (dp/dt)_{\max} \times V^{1/3}$ 。式中  $V$  为爆炸球容积( $\text{m}^3$ )。

### 4 试验结果

#### 4.1 铝粉爆炸参数的试验结果

粒径( $d_{0.5}$ )为 13 ~ 14  $\mu\text{m}$  的片状铝粉在 20 立升

收稿日期: 2002-09-14; 修回日期: 2003-01-18

作者简介: 陈网桦(1968-),男,副教授,博士,从事安全工程方面的教学科研及燃料空气炸药的研究,已发表论文近 40 篇。

爆炸球内爆炸的实验结果见图1、2。

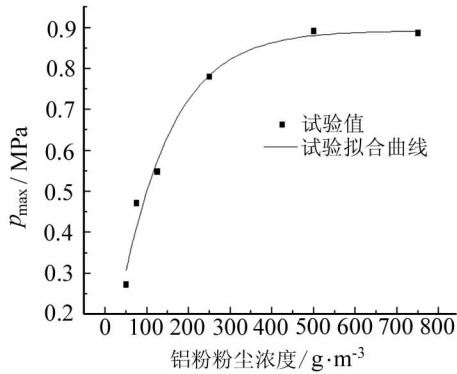


图1 不同浓度时  $p_{\max}$  的试验值与拟合曲线

Fig.1 Experimental data of  $p_{\max}$  under different

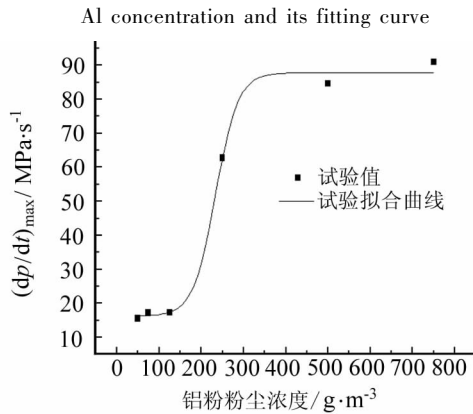


图2 不同浓度时  $(dp/dt)_{\max}$  的试验值与拟合曲线

Fig.2 Experimental data of  $(dp/dt)_{\max}$  under different

Al concentration and its fitting curve

由此可见,在爆炸球内的峰值压力  $p_{\max}$  起初随着粉尘浓度的增加有较明显的上升。当粉尘浓度高于  $400 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  以后,  $p_{\max}$  值逐渐趋于最大值,并且在一定范围内相对稳定。最大压力上升速率随粉尘浓度的变化与  $p_{\max}$  变化规律相似,当粉尘浓度大于  $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $(dp/dt)_{\max}$  在该范围内保持相对稳定,约为  $89 \text{ MPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

#### 4.2 RDX 爆炸参数的试验结果

RDX 粉尘在 20 立升爆炸球内的实验结果绘于图 3、4 中。

从图 3、4 可以看出,由于 RDX 为活性粉尘,自身在无氧条件下具有爆炸性,所以其  $p_{\max}$  值随着粉尘浓度的增加呈现线性关系。当 RDX 浓度小于  $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  时,其压力上升速率基本恒定(为  $24.5 \text{ MPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ),而一旦浓度大于  $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,则急剧增加。同样,爆炸指数也与  $(dp/dt)_{\max}$  的变化规律一致。

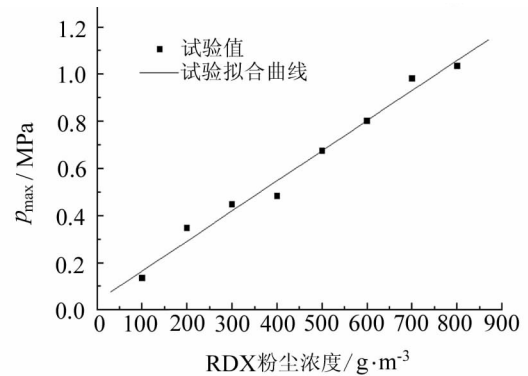


图3 不同浓度时  $p_{\max}$  的试验值与拟合曲线

Fig.3 Experimental data of  $p_{\max}$  of RDX powder under different concentration and its fitting curve

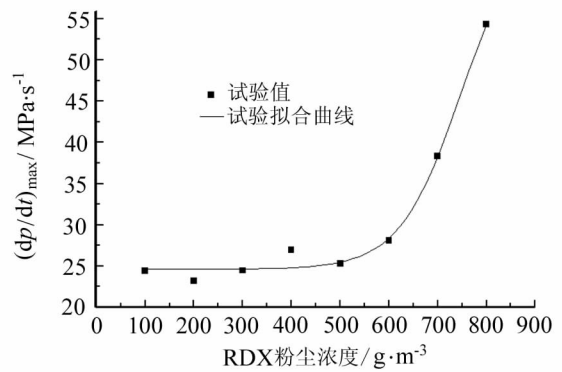


图4 不同浓度时  $(dp/dt)_{\max}$  的试验值与拟合曲线

Fig.4 Experimental data of  $(dp/dt)_{\max}$  of RDX powder under different concentration and its fitting curve

#### 4.3 铝粉与 RDX 混合粉尘的实验结果

在混合炸药制造过程中,有时会产生 RDX 与 Al 的混合粉尘。为了了解混合粉尘的爆炸特性,我们对不同配比的 RDX/Al 混合粉尘(浓度为  $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) 的爆炸特性进行了研究,结果见图 5、6。

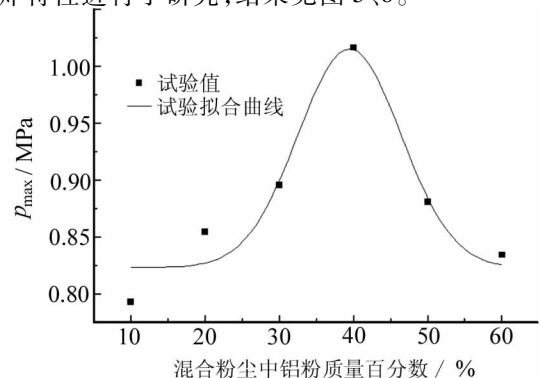


图5 不同配比混合粉尘的  $p_{\max}$  试验值与拟合曲线

Fig.5 Experimental data of  $p_{\max}$  of mixture powder with different ratio and its fitting curve

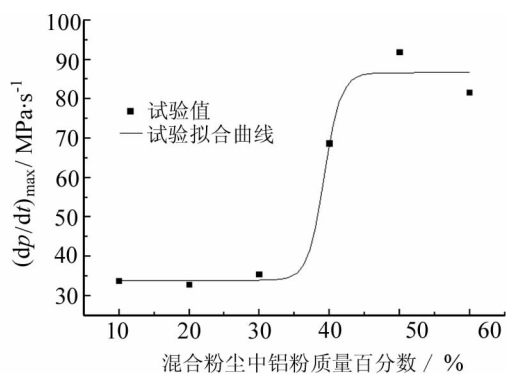


图6 不同配比混合粉尘的 $(dp/dt)_{\max}$ 试验值与拟合曲线  
Fig.6 Experimental data of  $(dp/dt)_{\max}$  of mixture powder with different ratio and its fitting curve

从图5可以看出,当混合粉尘中铝粉含量在35%~45%时, $p_{\max}$ 出现最大值(1.0168 MPa),其压力要明显大于同等浓度下纯铝粉及纯RDX粉尘的爆炸压力数据(0.8913 MPa及0.6746 MPa)。而当铝粉的含量继续增大,则混合粉尘的最大爆炸压力反而降低了。这表明在该粉尘配比适当的情况下,RDX粉尘与Al粉在粉尘爆炸过程中具有协同作用。

虽然图6显示的混合粉尘爆炸时 $(dp/dt)_{\max}$ 规律类似于铝粉的变化规律,但从物理意义上说两者是不一样的。从该图我们可以知道,当混合粉尘中铝粉的配比小于35%时,其 $(dp/dt)_{\max}$ 的数值相对恒定(34 MPa·s<sup>-1</sup>),基本接近低浓度RDX粉尘爆炸时的行为;而当混合粉尘中铝粉的配比大于45%时,其 $(dp/dt)_{\max}$ 的数值也相对恒定(86 MPa·s<sup>-1</sup>),基本接近高浓度铝粉爆炸时的行为。所以,从安全角度出发,

一旦出现铝粉及RDX两种粉尘共存时,必须对混合粉尘中的铝粉浓度予以控制,在本体系中应控制铝粉的配比低于35%。

## 5 结论

(1) Al粉作为非活性粉尘,其最大爆炸压力和压力上升速率都是随着粉尘浓度的增加而增大,浓度到达一定值以后,趋于稳定。

(2) RDX作为活性粉尘,其最大爆炸压力随着粉尘浓度的增大呈线性增大,在RDX粉尘浓度小于500 g·m<sup>-3</sup>时其压力上升速率基本恒定,而一旦浓度大于该数值,其最大压力上升速率将以近似指数的规律增大。

(3) 对于Al粉及RDX的混合粉尘(其浓度为500 g·m<sup>-3</sup>),从其最大爆炸压力与混合粉尘的配比关系可以看出两种粉尘在一定配比时,两者的行为存在协同作用。从最大压力上升速率与配比关系可以看出,铝粉含量低于某数值时,混合粉尘爆炸的 $(dp/dt)_{\max}$ 数值相对恒定,基本接近低浓度RDX粉尘爆炸时的行为;而当混合粉尘中铝粉的浓度大于一定数值时,其 $(dp/dt)_{\max}$ 的数值也相对恒定,基本接近高浓度铝粉爆炸时的行为。

## 参考文献:

- [1] Gemmg J W. Explosibility of Energetic Material Dust [R]. ADA095353,1981.
- [2] 中国科学技术协会学会工作部编. 工业粉尘防爆与治理[M]. 北京: 中国科学技术出版社,1990. 345 - 354.

## Studies on the Behaviors of Dust Explosion of Aluminum and RDX Powders

CHEN Wang-hua, SONG Shu-zong, HU Yi-ting, LIU Rong-hai, WANG Cheng, ZHANG Zheng-cai  
(School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** The behaviors of dust explosion of flake aluminum powder, RDX powder and their mixtures were studied experimentally by using a 20 L explosion vessel. On the basis of the maximum explosion pressure and the maximum pressure rise rate, it has been demonstrated that there exists a synergistic effect on the maximum explosion pressure in the mixtures of the two powders with proper ratios. In addition, the history of the maximum explosion pressure rise rate is changed with the variation of aluminum powder contents of the mixtures.

**Key words:** dust explosion; synergistic effect; aluminum powder; RDX