

# 铝粉燃爆泄放特性研究

杨少丽, 喻健良

大连理工大学化工学院, 辽宁大连 (116021)

E-mail: <mailto:yangshaoli198182@163.com>

**摘要:** 在改进的 1.3L 哈特曼管中进行铝粉泄爆特性的实验研究。实验结果表明, 铝粉的粒度对泄爆超压和升压速率都有很大影响; 泄爆口径和泄爆膜动作压力对泄爆超压影响不大, 但对泄爆中的最大升压速率影响显著。

**关键词:** 铝粉泄爆; 泄爆超压; 最大升压速率

## 1. 引言

在工业生产中, 各种可燃性粉末或以粉末产品的形式出现, 或以伴生粉尘的形式出现。可燃性粉末既有益于人类, 同时也给人类社会造成危害。当它们以适当的比例同空气混合, 遇有较强点火源时, 就会发生局部爆炸, 甚至发展为整个生产线的系统爆炸, 造成重大伤亡和损失。为了预防爆炸的发生以及减小爆炸所造成的损失, 就必须采取爆炸预防和爆炸抑制措施。目前, 爆炸泄放技术被认为是最有效最经济的方法之一。

所谓爆炸泄放是指, 当容器内发生粉尘爆炸, 由此引起的容器内压力上升至某一规定值时, 容器的规定部位就会自动敞开, 为容器内的爆炸介质提供一条泄放通道, 通过介质泄放使容器内的压力限制在一定水平<sup>[1]</sup>。容器内急速超压而致泄压装置动作时, 存在着两个互逆效应: 其一是由于升压因素而产生的容器内压力的急剧升高; 其二是通过泄压装置泄放出大量物质而使容器内压力急骤下降。二者综合的结果是减小了泄爆时的压力与压力上升速率, 使爆炸压力上升到一最大值, 即最大泄爆压力 $P_{red}$ (在所有粉尘浓度范围内泄爆压力最大的值即为最大爆炸泄爆压力 $P_{red}$ , 可通过实验或经验数据来确定), 然后随时间延长不断降低<sup>[2]</sup>。

本文以铝粉为实验对象, 通过大量的实验研究, 得出了铝粉的粒径、泄爆装置的动作压力及泄爆口径与泄爆超压及最大压力上升速率的关系。

## 2. 实验装置

实验装置是在标准 1.3L Hartmann 管基础上改制而成的。从实验的目标考虑, 我们可将实验系统大致分为五个部分: ①实验装置(即泄爆容器); ②扬尘系统; ③控制系统; ④点火装置; ⑤测试和数据采集系统。实验装置见下图 1。

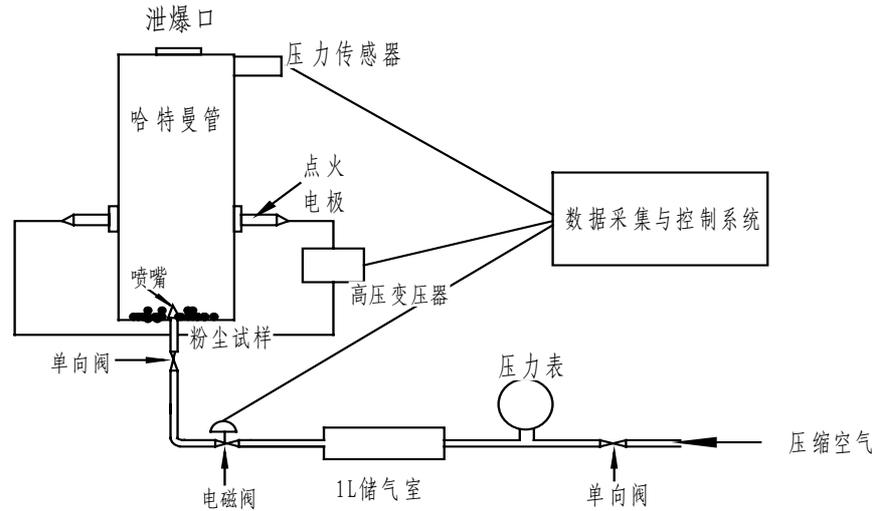


图 1 实验装置示意图

### 3. 实验及结果分析

#### 3.1 静态破膜压力的测定

表 1 不同材料膜片的静态破膜压力

泄爆口径	泄爆膜材质			
	单层塑料膜	双层塑料膜	三层塑料膜	打印纸
9mm	0.75bar	1.05bar	1.32bar	3.55bar
15mm	0.68bar	0.94bar	1.16bar	3.14bar
25mm	0.56bar	0.85bar	0.95bar	2.65bar

泄放口径变化对不同材料膜片破膜压力的影响见上表 1。

实验结果表明：（1）静态破膜压力随泄爆口径增大而减小；（2）破膜压力与泄薄膜材料及厚度有很大关系。由于打印纸在不同泄爆口径下的破膜压力均较大，不适于作泄爆膜材料。因此本实验将以不同层数的塑料薄膜为泄爆材料进行泄爆研究。

#### 3.2 粉尘粒径对泄爆超压和最大压力上升速率的影响

不同粉尘粒度 $D_p$ 的压力-时间曲线如图 3.2.1~图 3.2.3 所示，实验条件为铝粉浓度 $500\text{g/m}^3$ 、泄爆口径 9mm、双层泄爆膜封口的情形。

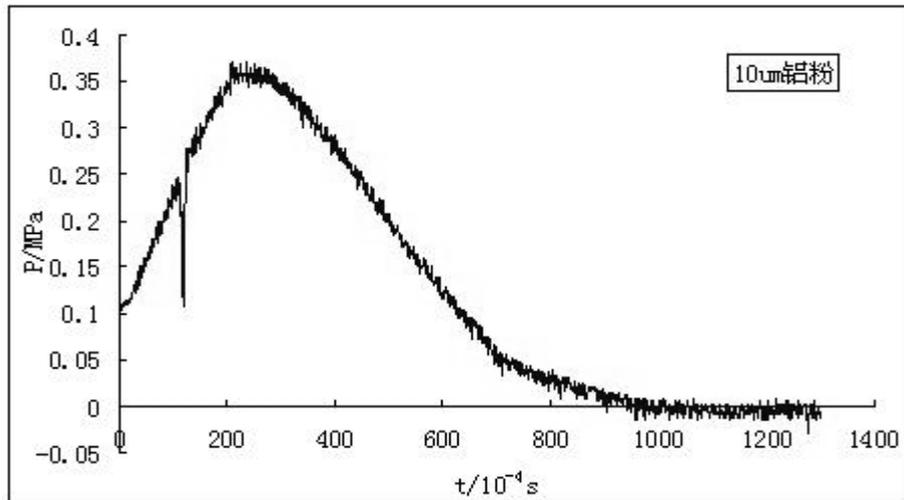


图 3.2.1  $D_p=10\mu\text{m}$ 时的铝粉泄爆曲线

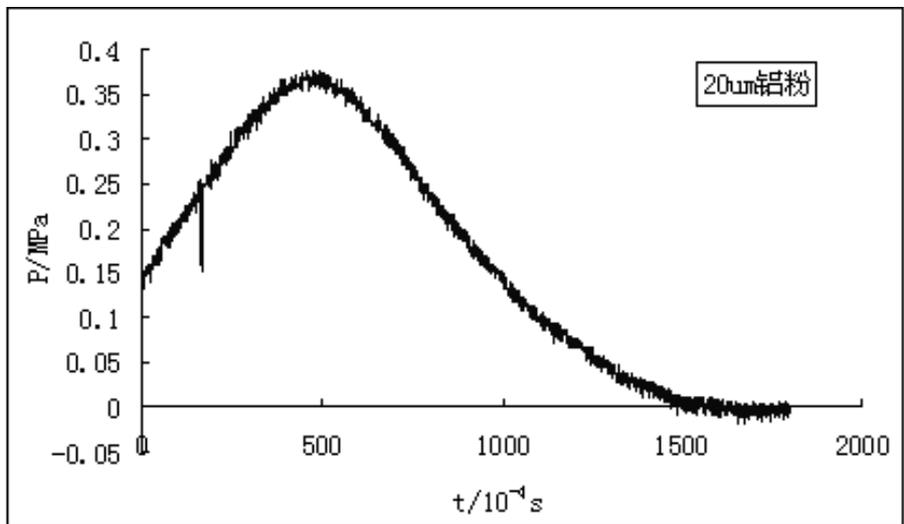


图 3.2.2  $D_p=20\mu\text{m}$ 时的铝粉泄爆曲线

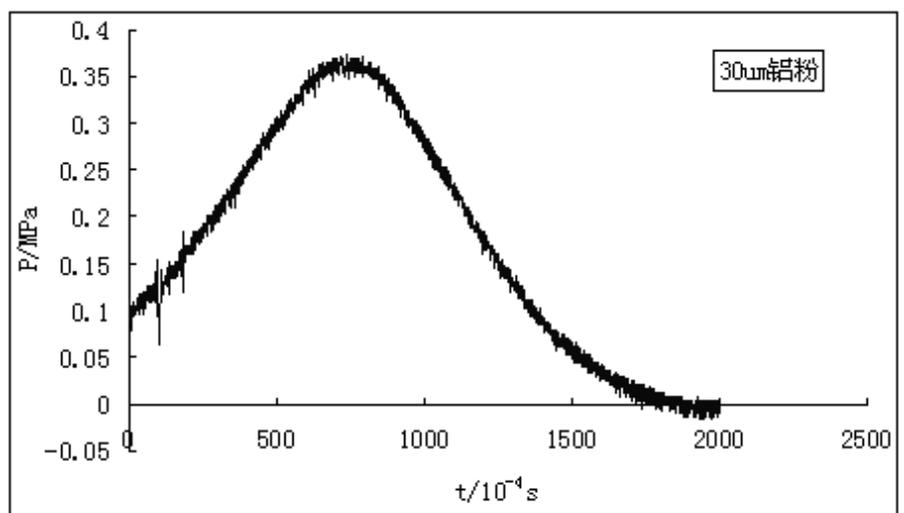


图 3.2.3  $D_p=30\mu\text{m}$ 时的铝粉泄爆曲线

由实验结果可以看出，粉尘粒度变化对最大泄爆超压 $P_{red,max}$ 基本没有影响，而对泄爆时

间和泄爆过程中的最大升压速率 $(dP/dt)_{red,max}$ 影响显著,即粉尘粒度越大,泄爆持续时间越长,达到最大泄爆压力的时间也越长。这是因为当泄爆口打开后容器内的粉尘仍在继续燃烧,泄爆过程中的升压速率由粉尘继续燃烧所导致的升压速率和泄流产生的降压速率共同决定,而本实验中采用的泄爆口径相同,即泄爆时的降压速率是相同的。当颗粒直径较大时,颗粒比表面积较小,氧气向颗粒表面扩散的时间较长,因而减慢了燃烧热的释放和传递,容器内的压力上升速率较低;随着粒度的减小,颗粒比表面积随之增大,氧气向颗粒表面扩散的时间将缩短,颗粒燃烧速率加快,燃烧热释放也加快,达到最大泄爆超压的时间将缩短,在最大泄爆超压不变的情况下,最大升压速率亦随之升高,结果如图 3.2.4。

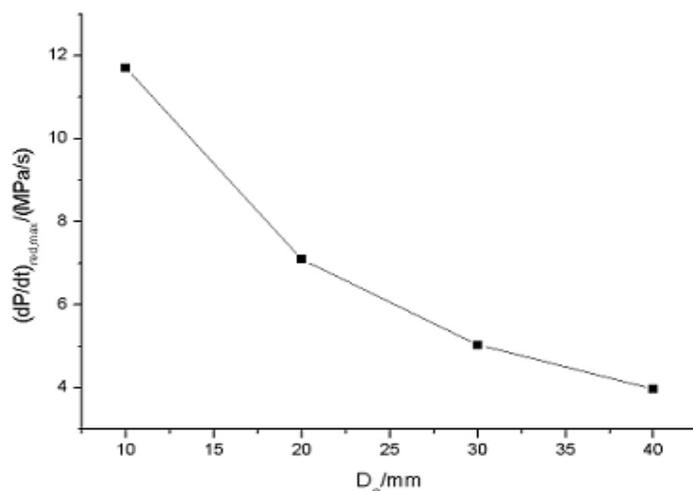


图 3.2.4 粉尘粒度对 $(dP/dt)_{red,max}$ 的影响

### 3.3 泄爆面积对泄爆超压和最大压力上升速率的影响

泄爆面积变化对最大泄爆压力和最大泄爆升压速率的影响如下图 3.3.1 和图 3.3.2, 实验中采用的泄爆口径有 9mm、15mm、25mm和 35mm四种, 实验条件为  $10\mu m$ 、 $500g/m^3$ 的铝粉、双层泄爆膜的情形。

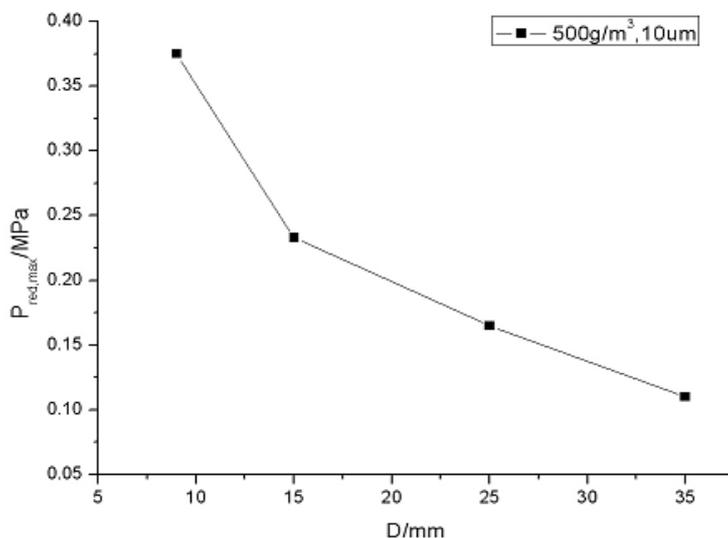


图 3.3.1 泄爆口径对最大泄爆压力的影响

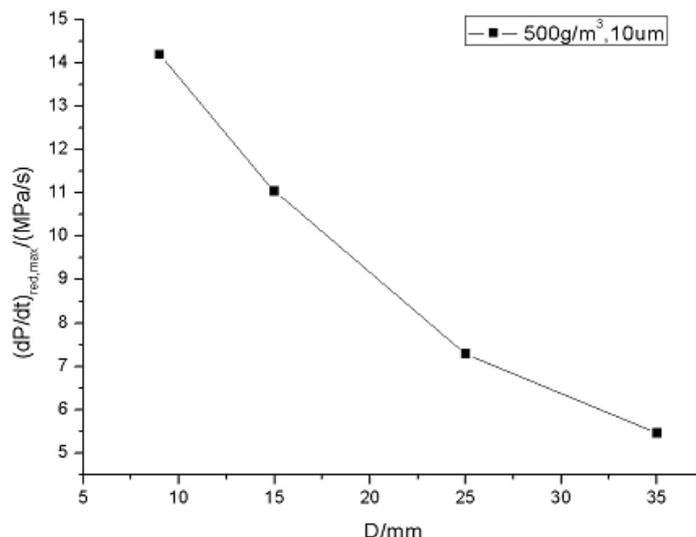


图 3.3.2 泄爆口径对泄爆时最大升压速率的影响

由实验结果可以看出，随着泄爆面积增大，最大泄爆超压和泄爆中的最大升压速率均随之减小，这是因为当泄爆面积比较小时，泄爆口打开后的出流比较少，而此时容器内仍有大量的可燃粉尘在继续燃烧，而没有及时的排出容器，因此容器内燃烧导致的升压速率大于因出流产生的降压速率，故导致泄爆口打开后容器内的压力继续上升一段时间。随着泄爆面积的增大，由于泄爆口打开后，可燃粉尘/空气混合物的排出速度较快，即泄放出流速率较高，燃烧导致的升压速率逐渐不能抵消出流产生的降压速率，因而使得总的升压速率降低，压力得到迅速的卸载，即泄爆后所能达到的最大泄爆压力 $P_{red,max}$ 随泄爆面积的增大而降低。

### 3.4 泄爆动作压力对泄爆超压的影响

泄爆装置动作压力 $P_v$ 的变化对泄爆过程中容器内的压力也会产生很大影响。泄爆动作压力 $P_v$ 的大小取决于泄爆面积和泄爆膜本身的性质，本实验中通过改变不同泄爆面积下的泄爆膜层数来改变泄爆动作压力，结果如图 3.2.2.1 和图 3.2.2.2 所示。

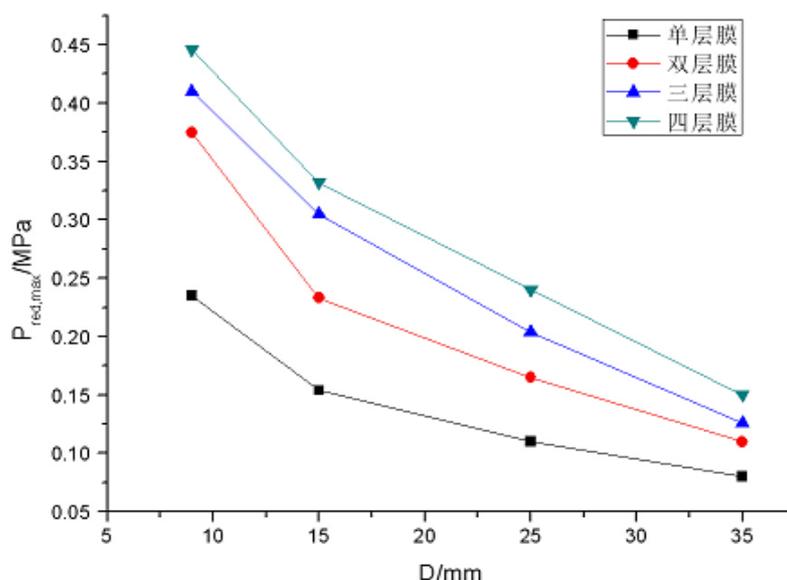


图 3.2.2.1 泄爆动作压力对最大泄爆压力的影响

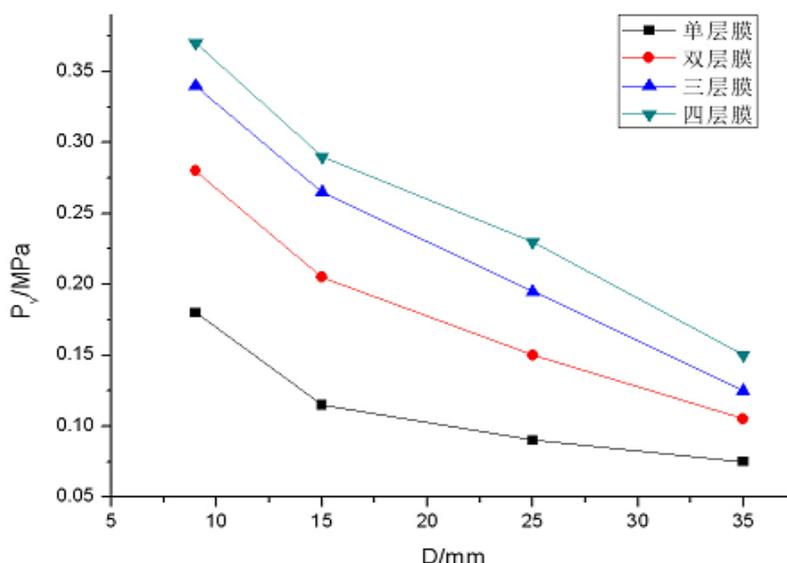


图 3.2.2.4 不同层数泄爆膜的动态破膜压力随泄爆面积的变化关系

由实验结果可知,当泄爆面积相同时,随着膜数的增加,泄爆超压随之升高,这是因为膜的增加使得破膜压力增大,泄爆在较高压力下进行,所达到的最大压力也将升高。此外,随着泄爆膜动作压力的升高,最大泄爆压力 $P_{red,max}$ 与动作压力 $P_v$ 差值亦随之减小,即泄爆越接近平衡泄放。

#### 4. 结论

(1) 粉尘粒度变化对最大泄爆超压 $P_{red,max}$ 影响不大。随着粉尘粒度的减小,泄爆过程中的最大升压速率 $(dP/dt)_{red,max}$ 随之升高。

(2) 随着泄爆面积增大,最大泄爆超压和泄爆中的最大升压速率均随之减小。

(3) 最大泄爆压力随着泄爆动作压力升高而增大,但当泄爆动作压力较高时,泄爆膜开启后压力一般不再上升或上升较小,即随着泄爆膜动作压力的增大,越易达到平衡泄放的情形。

#### 参考文献

- [1] 李志义, 丁信伟. 粉尘爆炸的泄放设计[J]. 化工设计通讯, 1997, 23 (3): 58-62  
 [2] 吴全龙, 陈磊, 卓大立. 粉尘爆炸泄压面积计算. 化工装备技术, 2005, 26 (6): 33-35

## The Study On The Explosion Venting Characters Of Aluminum Dust

Yang Shaoli, Yu Jianliang

The School of Chemical Engineering Dalian university of technology, 116021

#### Abstract

In this paper, the explosion venting process of Aluminum dust is studied in 1.3L Hartmann tube. The influence of dust diameter, vent closure release pressure and venting area on explosion venting are discussed.

**Keywords:** Explosion venting of Aluminum dust; the maximum reduced pressure; the maximum rate of pressure rise