

文章编号: 1006-9941(2006)04-0241-03

## 装药间隙及填充物对炸药爆轰性能的影响

魏晓安, 王泽山, 杨慧群

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 以外径  $\Phi 45.5$  mm、内径  $\Phi 8.2$  mm、长度 40 mm、密度  $1.61 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  的双基推进剂空心药柱为研究对象, 在推进剂装药结构中设置一定间隙, 并在间隙中分别填充空气、水、沙、木屑、橡胶片、含氧化剂弹性体等材料, 研究了间隙及填充物对推进剂爆速及其爆炸作用效应的影响。结果表明: 当间隙为 2 mm, 在间隙中填充空气时, 主发药柱被激发后, 被发药柱发生爆炸。当间隙大于 3 mm, 在间隙中仍填充空气时, 被发药柱不发生爆炸; 当间隙中填充其它材料后, 则被发药柱可以被激发, 爆速超过  $6000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 10 mm 厚的 A3 钢板能够被击穿。

**关键词:** 爆炸力学; 炸药装药; 爆轰; 间隙

**中图分类号:** TJ55; O389

**文献标识码:** A

### 1 引言

近年来, 有关学者就装药结构对炸药爆炸作用效应进行了研究, 杨慧群等人<sup>[1,2]</sup>于 2005 年研究了双基推进剂装药轴向间隙及一些填充物对装药爆轰性能的影响。过去工作的重点是改变该类推进剂轴向间隙探讨爆轰性能的影响, 对空隙中不同的填充物及相关工艺研究较少。

张丽华、魏晓安等<sup>[3,4]</sup>在利用废弃发射药制备灌注凝胶炸药中, 研究了在颗粒的空隙中填充物质及相关的工艺; 国外也有在废弃发射药颗粒空隙充填材料研究的报道<sup>[5]</sup>。发射药颗粒堆放形成的空隙与本系列研究中轴向间隙有相似特征, 可以作为本研究的基础。

本文在上述推进剂装药结构改变和废弃发射药制备灌注炸药中填充物及工艺研究的基础上, 进一步研究了装药结构及填充物对爆轰性能的影响。将原试验装置上的轴向间隙改为横向间隙, 设计了一个新的实验装置, 就横向间隙及填充物对装药爆炸作用效应开展了更加深入的试验研究。

### 2 试验

#### 2.1 试验材料及试验准备

雷管选用 8<sup>#</sup> 铜壳电雷管; 传爆药采用 15 g 钝化黑索今圆形药柱 (直径  $\Phi 23.5$  mm, 密度  $1.60 \sim 1.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ); 试验样品仍选用双基推进剂药柱 (药柱外径  $\Phi 45.5$  mm、内径  $\Phi 8.2$  mm、推进剂总长度

300 mm, 加工后单元药柱长 40 mm, 密度为  $1.61 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ); 填充物分别选择空气、水、沙、木屑、橡胶片、含氧化剂弹性体。

药柱间横向空隙分别选为 2, 3, 4, 5 mm。填料中, 水的密度为  $1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ; 沙为黄沙, 粒度为 20 ~ 40 目, 堆积密度为  $1.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ; 木屑为碎木屑, 40 目以上, 装填密度  $0.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ; 橡胶片厚度为 2, 3, 4, 5 mm 四种规格, 密度为  $1.98 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 直径为  $\Phi 45.5$  mm, 与药柱间隙相匹配; 含氧化剂的弹性体, 密度为  $1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 弹性体的制备是在氧化剂溶液中加入水溶性单体、引发剂、亚铁盐还原剂等材料, 经过 24 h 固化得到<sup>[4]</sup>。

见证板采用 10 mm 厚的 A3 钢板。

#### 2.2 试验装置装配

按图 1 所示装置结构及试验要求 (即预定试验方案, 包括药柱间隙和填充物) 将 8<sup>#</sup> 雷管、传爆药、推进剂药柱、测速电探针、填充料、见证板等组装试验装置, 然后开始试验。

其中, 电探针前端离推进剂与传爆药接触端面 100 mm, 后端离推进剂与钢板接触面 50 mm, 靶线间距 150 mm, 靶线环绕在炸药表面, 用电工胶布固定, 图中是示意图。

#### 2.3 试验方法

##### 2.3.1 爆速测定

采用电探针法<sup>[6]</sup>测定爆轰波通过药柱上两探针所需的时间, 通过计算即得推进剂药柱的爆速, 同一样品测量五次, 然后求平均爆速。

##### 2.3.2 见证板试验

试验方法见文献<sup>[6]</sup>, 试验后根据 A3 钢板上的压

收稿日期: 2006-03-16; 修回日期: 2006-05-17

作者简介: 魏晓安 (1968 -), 男, 讲师, 博士, 主要从事新型含能材料研究和废弃发射药的利用。e-mail: weixiaoan@126.com

痕判断炸药是否完全爆轰。

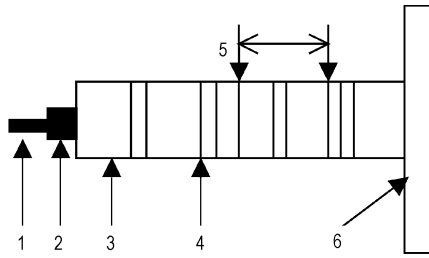


图1 试验装置

1—8#雷管, 2—传爆药, 3—推进剂药柱,  
4—填充料, 5—电探针, 6—见证板

Fig. 1 Test equipment

1—detonator, 2—initiating booster, 3—double base propellant,  
4—filler, 5—electronic probe, 6—A3 steel testimony board

### 3 结果与讨论

#### 3.1 间隙及填充物对爆速的影响

用8#雷管引爆传爆药,从而激发有不同横向间隙(间隙内分别充填空气、水、沙、木屑、橡胶片、含氧化剂弹性体)的非整体装药,试验结果如图2所示。

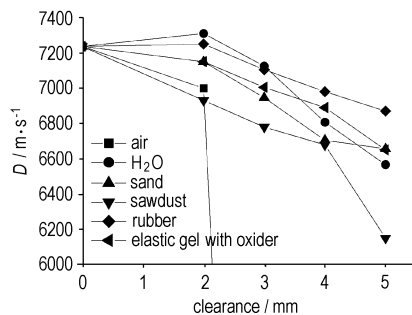


图2 爆速与空隙及填充物的关系

Fig. 2 Relationship among detonation velocity, clearance and fillers

由图2可以看出,被发药柱的爆速随药柱间间隙及填充物的变化而变化。

① 当间隙为2 mm,间隙内填充空气等材料,被发药柱爆炸完全;当间隙增加到3 mm,若间隙内仍填充空气,则被发药柱不发生爆炸。

② 当间隙为3 mm,间隙内填充水、沙、木屑、橡胶片和含氧化剂凝胶弹性体时,被发药柱完全爆轰,爆速在6800~7100 m·s<sup>-1</sup>之间。

③ 当间隙为4~5 mm,间隙内填充水、沙、木屑、橡胶片和含氧化剂凝胶弹性体时,被发药柱爆速均呈下降的趋势。

④ 当空隙填充木屑,间隙从0 mm增加到5 mm

时,被发药柱爆速从7200 m·s<sup>-1</sup>下降到6150 m·s<sup>-1</sup>,这可能与木屑的密度低(装填密度0.2 g·cm<sup>-3</sup>)有关,冲击波在经过这些低密度介质时,衰减较多,被发药柱爆速下降较快。

⑤ 当空隙填充水、沙时,由于水和沙密度相对较高,因此当间隙从0 mm增加到5 mm时,冲击波经过时衰减少,被发药柱爆速下降较慢。

⑥ 当间隙分别填充橡胶片、含氧化剂凝胶弹性体时,间隙被完全密实充填,因此当间隙从0 mm增加到5 mm时,冲击波衰减相对少,被发药柱爆速下降更少,后者爆速下降比橡胶片大。这可能与弹性体系中含水有关,水在发生相变时要吸收部分能量,结果使其爆速有所降低;另一方面,由于氧化剂在爆轰过程中参与化学反应,结果使药柱能量得到提高,因此,爆速下降比水、沙和木屑少<sup>[5]</sup>。

这与传统炸药装药殉爆介质影响刚好相反,介质为水、粘土、沙等材料加入后,殉爆距离降低<sup>[7]</sup>。这可能与双基推进剂材料本身和药柱长度有关,双基推进剂主要成分为硝化棉和硝化甘油,感度较低,形成稳定爆轰需要一定距离,药柱长40 mm还没有达到稳定爆轰,药柱间隙小于2 mm时,药柱间能量衰减小,炸药能完全爆轰;而空隙从3 mm增至5 mm时,填充物为空气时,主发炸药非稳态爆炸后能量的衰减不足以引起下一被发炸药爆轰,若在这样的空隙中填充其它介质,这些介质即可作为反射界面,使前一主发炸药充分反应,从而增强下传能量,使被发炸药爆轰;当间隙超过一定距离后,情况与传统炸药殉爆介质影响是一致的。

通过试验发现,药柱间隙中填充物的固定对装药爆轰性能影响极大。当间隙大于3 mm时,水、沙在间隙中易于流失,致使被发药柱不易被激发,而对于木屑、橡胶片、含氧化剂弹性体这三种填充物,在空隙中不易流失,因此被发药柱容易被激发。含氧化剂弹性体是通过化学反应方式固定在间隙中,相对来说,应比木屑、橡胶片更易于固定,而且含氧化剂弹性体中氧化剂能参与爆炸反应,因此更有利于提高装药的威力。

#### 3.2 见证板试验

见证板试验评价指标是被发药柱爆速超过6000 m·s<sup>-1</sup>,10 mm厚的A3钢板被击穿,试验结果见表1。

表1中所有带\*的数据均表示被发炸药爆炸后在钢板上留下的圆锥型漏斗的高度。

由表1可以看出,间隙为2 mm时,填充空气、水、沙、木屑、橡胶和氧化剂的弹性体,被发炸药完全爆轰,钢板被击穿。间隙为3,4,5 mm时,空隙填充空气,被

发炸药不完全爆轰,在钢板上的压痕深度应主要为传爆药留下痕迹;空隙填充水、沙、木屑、橡胶和氧化剂的弹性体时能够完全爆轰,击穿钢板;若空隙中的填充物有易于流失的水和黄沙,可能导致不完全爆轰,钢板不能被击穿;而填充不易于流失的木屑、橡胶和氧化剂的弹性体就能避免该问题的发生。

表1 见证板法压痕试验结果  
Table 1 Experimental results of indent  
by testimony board method

No.	clearance /mm	press depth from charge, after being shocked, with variable cross clearances and fillers on A3 steel						elastic gel with oxidizer
		air	H <sub>2</sub> O	sand	sawdust	rubber		
1	2	broken down	broken down	broken down	broken down	broken down	broken down	broken down
2	3	3 mm*	4 mm*	6 mm*	broken down	broken down	broken down	broken down
3	4	2 mm*	broken down	5 mm*	broken down	broken down	broken down	broken down
4	5	1.5 mm*	2 mm*	broken down	broken down	broken down	broken down	broken down

## 4 结论

(1) 当间隙为 2 mm, 间隙内填充空气时, 被发药柱爆炸完全, 爆速超过  $6000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 10 mm 厚的 A3 钢板能够被击穿。当药柱间隙达到 3 mm, 如果间隙中仍填充空气, 则被发药柱不能被激发起爆。

(2) 当药柱间隙超过 3 mm 时, 若间隙中无填充物时, 则被发药柱不能被激发; 当间隙中充填其它填充物以后, 被发药柱能够被激发起爆, 爆速均超过  $6000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 10 mm 厚的 A3 钢板均被击穿。

(3) 当药柱间隙达到 3 ~ 5 mm, 间隙中填充水、沙、木屑、橡胶片和含氧化剂弹性体, 只要其中介质没

有流失, 被发药柱均能被激发起爆, 10 mm 厚的 A3 钢板被击穿或发生变形。但是对于易流失的水和黄沙而言, 一旦出现流失, 就可能导致被发药柱不能被激发; 而对于填充木屑、橡胶片特别是含氧化剂的弹性体试验装置而言, 这种情况则不会发生。

## 参考文献:

- [1] 杨慧群, 王泽山, 魏晓安. 装药中的不同间隙对炸药爆轰性能的影响[J]. 含能材料, 2005, 13(4): 214-216.  
YANG Hui-qun, WANG Ze-shan, WEI Xiao-an. Effect of explosive charge with variable clearance on detonation performance[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(4): 214-216.
- [2] 杨慧群, 王泽山, 魏晓安. 废旧单基药爆轰性能的试验研究[J]. 火炸药学报, 2005, 28(2): 32-34.  
YANG Hui-qun, WANG Ze-shan, WEI Xiao-an. The experimental study on detonation of waste single base propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2005, 28(2): 32-34.
- [3] 张丽华. 用废弃发射药制造民用炸药的研究[D]. 南京: 南京理工大学, 1998.  
ZHANG Li-hua. Study of civil explosive from obsolete propellant[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 1998.
- [4] 魏晓安, 王泽山. 灌注式废发射药凝胶炸药的研制[J]. 爆破器材, 2001, 30(3): 6-10.  
WEI Xiao-an, WANG Ze-shan. Manufacture of explosive from perfusion gel containing waste propellant[J]. *Explosive Materials*, 2001, 30(3): 6-10.
- [5] Range et al. Gelled slurry explosive[P]. USP4, 324, 599. (April, 13, 1982).
- [6] GB/T13228-91. 工业炸药爆速测定[S].
- [7] 惠君明, 陈天云. 炸药爆炸理论[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995.  
HUI Jun-ming, CHEN Tian-yun. Explosive Detonation Theory[M]. Nanjing: Jiangsu Science & Technology Press, 1995.

## Effect of Explosive Charge with Variable Clearance and Fillers on Detonation Performance

WEI Xiao-an, WANG Ze-shan, YANG Hui-qun

(School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** By using the double base propellant with hollow center, the outer diameter  $\Phi 45.5 \text{ mm}$ , inner diameter  $\Phi 8.2 \text{ mm}$ , the length 40 mm and the density  $1.61 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , the distances between the initiating booster and sympathetic charge were set into a series of different clearances, and these gaps were filled with materials including air, water, sand, sawdust, flake of rubber and elastic gel with oxide. The effect of clearances and different fillers on new explosive detonation velocities and actions were studied. The results show that with 2 mm clearance filled with air, when the main charge is aroused, the sympathetic charge is equipped with detonation performance; with larger than 3 mm clearance filled with air, when the main charge is aroused, the sympathetic charge is not equipped with detonation performance; but after the same clearance are filled with other materials, the sympathetic charges are formed into steady detonation, and the latter detonation velocities are more than  $6000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , and the A3 steel of 10 mm thick can be broken down.

**Key words:** explosion mechanics; explosive charge; detonation; clearance