

文章编号: 1006-9941(2005)04-0214-03

## 装药中的不同间隙对炸药爆轰性能的影响

杨慧群, 王泽山, 魏晓安

(南京理工大学化工学院装药研究所, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 采用电离法研究了圆环形装药不同间隙以及填充氧化剂胶液后对炸药爆轰性能的影响。实验结果表明: 装药轴向间隙对其稳定爆轰影响不明显, 填充氧化剂胶液后爆速有所降低; 而装药药段长及径向间隙大小明显影响爆轰稳定与否, 填充氧化剂胶液后可改变爆轰性能。

**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

炸药具有很高的爆速、爆压和爆热, 同时对外界刺激又有一定的感度, 武器装备及弹药的安全性和生存能力受到炸药及其装药易损性的直接影响。炸药及其装药的易损性是要求炸药装药对外部作用不敏感, 在生产、贮存、运输和使用中, 特别是作战条件下具有较高的安全性, 一旦发生意外点火, 只燃烧而不爆轰。通常的炸药大多是从配方上降低装药的易损性。经过实验研究发现, 装药条件对炸药是否能稳定爆轰有很大的影响<sup>[1-3]</sup>。无论是压装法还是注装法装填的炸药都是整体式装药, 它们的结构有利于爆轰稳定传播, 但是整体式装药感度较高, 在受到外界意外刺激如冲击波、飞片或火烤时, 尤其是在战场上存在发生意外事故的可能, 会造成人员、武器装备及弹药的重大损失。

设想采用某种装药结构, 使炸药在不需要爆炸时被意外刺激引爆的可能性小, 需要时通过某种技术手段使炸药引爆, 达到所需要的爆炸、毁伤效能。实验通过改变装药结构, 将原有的整体式装药改为具有空气间隙的装药, 使其在生产、运输和贮存过程中对外界刺激敏感性降低, 不产生爆炸; 在使用过程中通过填充技术使炸药引爆后具有稳定的爆轰性能, 发挥炸药在武器系统中的效能, 使炸药装药获得低易损性的效果。换言之就是改善军用武器弹药与民用工业炸药的安全性, 提高武器弹药在战场上的生存能力。本文就是从原理上证实改变装药结构可以使炸药具有低易损性。

收稿日期: 2005-03-28; 修回日期: 2005-05-26

作者简介: 杨慧群(1961-), 女, 副教授, 博士生, 主要从事火炸药教学与火炸药科研工作。e-mail: yanghqchj@163.com

### 2 实验

#### 2.1 传爆药

实验用双基推进剂作为炸药非整体式装药的主装药, 其主要组成为硝化棉(N%为12%)59.5%(质量)、硝化甘油25.7%。双基推进剂是圆环形固体圆柱(密度为 $1.61 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ), 外径为45.5 mm, 内径为8.2 mm, 总长度为30 cm。因其在室温条件下无雷管感度, 必须使用传爆药才能保证将其引爆。本实验选用钝化黑索今作为传爆药。实验中使用直径为19.8, 23.5, 32.0 mm的模具压成质量分别为10, 12, 15, 20, 28 g钝化黑索今传爆药柱, 实验表明: 采用15 g钝化黑索今圆形药柱(直径为23.5 mm, 密度为 $1.53 \sim 1.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )较适宜。

#### 2.2 实验方法

采用电离导电法测定爆轰速度。电离导电法是利用炸药爆轰时爆轰波阵面的电离导电特性, 测定爆轰波依次通过药柱外双探针所需的时间从而求得平均爆速。此法操作简单方便、精确度高、受试药卷不需要很长, 而且测定的数据可以直接用数字显示。试验装置包括起爆器(EX-MFB100型)、导线、爆速仪(ZBS9601A型智能爆速测量仪, 精确到 $0.1 \times 10^{-6} \text{ s}$ )、漆包线( $\Phi 0.27 \text{ mm}$ )、8#电雷管。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 装药轴向间隙对爆轰的影响

圆环形药柱轴向剖开6条、4条和2条间隙(宽2 mm)装药横截面示意图见图1, 装药有轴向间隙的实验结果见表1。表1中编号为3、2和1的装药分别有6、4和2条间隙, 0号装药为圆环形药柱。由此可知: 圆环形药柱引爆后爆速达到 $7237 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (爆速及其标准差按参考文献[4]的方法测定或计算), 圆环形

药柱有轴向间隙的装药引爆后爆速都低于前者,装药轴向间隙的数目对其爆速影响不大。轴向间隙影响装药的爆速,原因有两个:一方面装药爆轰过程中剖开的间隙不可避免会产生圆柱面以外的侧向膨胀波,消耗部分能量,使装药爆速减小;另一方面沟槽的存在而装药总体积未变,相同长度装药单位体积的质量减少,使装药的装填密度降低,装药爆速减小。传统和经典的爆轰理论认为<sup>[5]</sup>爆轰波是沿爆炸物一层一层地进行传播的。装药轴向间隙并未阻断爆轰波的正常传播,轴向间隙宽2 mm,相对装药直径45 mm较小,由此而产生的能量消耗比爆轰总体能量较小,装药轴向间隙数目的增加导致损耗部分能量,但并未明显影响装药的稳定爆轰,因此炸药爆速变化比较小。

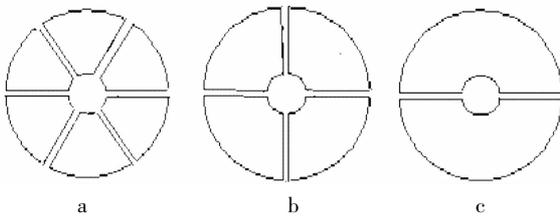


图1 圆环形药柱轴向剖开6条、4条和2条间隙装药横截面示意图  
Fig. 1 Sketches of cross section of the explosive charge with variable axial clearances

表1 不同轴向间隙的装药实验结果

Table 1 Experimental results of the explosive charge with variable axial clearance

No.	$D^{1)}/m \cdot s^{-1}$		standard deviation <sup>2)</sup> / $m \cdot s^{-1}$		gel solution quality/%
	without gel solution	with gel solution	without gel solution	with gel solution	
0	7237	7109	15	53	3.2
1	7170	7101	29	33	7.5
2	7143	7116	38	65	11.4
3	7163	7132	19	20	15.9

Note: 1) The average of three to five samples; 2) Mass percentage of gel solution in the explosive charge.

由表1同时还可知:相同结构的装药加入某种氧化剂胶液后,其引爆后爆速低于未加胶液装药的爆速。这是因为氧化剂胶液中含有一定量的水。水在爆轰波中不反应<sup>[6]</sup>,而且水发生相变还要吸收热,损耗部分能量,使加入胶液装药的爆速降低。

由此可知,装药轴向间隙的结构对爆轰波的传播有一定的影响,但在一定范围内仅仅是削弱了爆轰波的强度,并未明显影响装药的稳定爆轰;有轴向间隙的装药加入氧化剂胶液,其爆速降低。

### 3.2 装药段长及其径向间隙对爆轰的影响

不同长度的装药段长环形药柱叠加成炸药装药,

每段药柱间还有一定间隙。为了便于考察装药中药段长和径向间隙对其爆轰的影响,设每个间隙均为 $s$ ,每一药段长(除一端头为 $L_0$ 外)均为 $L_1$ ,总装药长为 $L$ ,则有: $L = (L_1 + s) \times (n - 1) + L_0$ ,其中药段数为 $n$ ,间隙数为 $n - 1$ 。药段长4 cm(7段)的环形药柱装药爆速与间隙(每发装药有6个间隙)的关系见图2。由此可知:对于不同药段长的装药其爆速随着装药间每个间隙的增大而降低,当间隙增大到一定值后,在一定条件下对不同药段长装药存在一个间隙值,间隙低于此值的装药能稳定爆轰,间隙高于此值的装药不能稳定爆轰,甚至熄爆,还有残留的碎药。

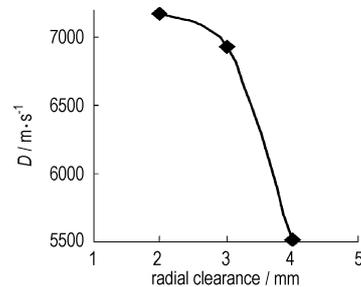


图2 爆速与径向间隙的关系

Fig. 2 Relationship between detonation velocity and radial clearance

在爆轰波的传播过程中间隙不仅阻断正常传播、不能提供进一步传播的能量,而且爆轰产物还会产生侧向膨胀消耗一部分能量,这样雷管与传爆药产生的爆轰波在装药中传播每经过一个间隙就会减弱,损失部分能量,而一定药段长的炸药受爆轰波作用所放出的能量足以抵消间隙消耗的能量时就能产生稳定爆轰;炸药化学反应放出能量低于间隙消耗的能量,爆轰波就会越来越弱,甚至不能传播,导致熄爆。因此装药爆速随其径向间隙增大而减小;间隙达一定值,再增大间隙装药不能稳定爆轰,结果见表2。例如药段长2 cm对应于间隙1 mm的装药引爆后爆速达到 $7005 m \cdot s^{-1}$ ,表明此装药达到稳定爆轰,而同样药段长对应间隙为2 mm时装药引爆后,爆轰不完全,有残留碎药;药段长1 cm对应于间隙1 mm的装药引爆后有残留碎药,没有测到爆速值,表明此装药熄爆。加工装药时,调整其药段长与间隙的尺寸就可以控制装药是否稳定爆轰。

不同药段长装药未加胶与加胶时对应于不同的间隙时能否稳定爆轰的区域见图3。图3中虚线以下区域是装药未加胶时稳定爆轰区,虚线以上区域是装药未加胶时熄爆或拒爆区;实线以下区域是装药加胶时稳定爆轰区,实线以上区域是装药加胶时熄爆或拒爆

表2 不同径向间隙的装药实验结果

Table 2 Experimental results of the explosive charge with variable radial clearance

Charge segment/cm	clearance /mm	gel solution	$D^{(1)}$ /m · s <sup>-1</sup>	standard deviation/m · s <sup>-1</sup>
1	1	no	detonation incomplete	no
1	2	yes	6631	188
1	3	yes	detonation incomplete	no
2	1	no	7005	153
2	2	no	detonation incomplete	no
2	4	yes	6791	185

Note: 1) The average value of three to five samples.

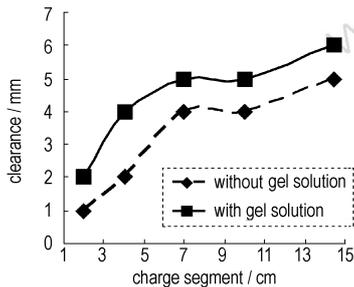


图3 爆轰情况分布

Fig.3 Distribution curves of detonation of explosives with and without gel

区。由此可知：虚线与实线之间存在一区域，其中一定药段长对应一定间隙的炸药装药未加胶时熄爆，而加胶时稳定爆轰。因此未加胶的装药在生产、运输和贮存过程中不易被引爆，在使用时填充氧化剂胶液，使得装药爆轰稳定。这是因为填充的氧化剂胶液本身具有一定能量，参与爆轰过程的化学反应，释放出能量使整个装药的总体能量增加，氧化剂溶解形成溶液，使得多种组分可连续地互相接触成为连续介质，这对于组分之间反应是有好处的，有利于爆轰更好地传播。一旦激起了爆轰，就可以较高的爆速进行传播。例如表2中药段长1 cm 间隙1 mm、药段长2 cm 间隙2 mm的装药引爆后爆轰不完全，有残碎药；而药段长1 cm

间隙2 mm、药段长2 cm 间隙4 mm的装药填充氧化剂胶液能产生稳定爆轰。

由此可知，圆环形药柱药段长与径向间隙的大小影响装药的稳定爆轰，调整药段长及其间隙，通过填充氧化剂胶液可以控制装药的爆轰性能。

#### 4 结论

(1) 圆环形药柱装药轴向间隙(2 mm)对其稳定爆轰无明显的影响，轴向间隙填充氧化剂胶液装药爆速有所降低。

(2) 圆环形药柱装药药段长与对应径向间隙大小决定其能否稳定爆轰。通过调整药段长及其间隙、是否填充氧化剂胶液可以控制装药的爆轰性能。

#### 参考文献：

- [1] 陈先锋,王玉杰. 不同装药结构对孔壁压力影响的分析[J]. 工程爆破,2003,9(2):16-18.  
CHEN Xian-feng, WANG Yu-jie. Study on of different charge structures on detonation pressure on hole wall[J]. *Engineering Blasting*, 2003,9(2):16-18.
- [2] 宗琦,孟德君. 炮孔不同装药结构对爆破能量影响的理论探讨[J]. 岩石力学与工程学报,2003年22(4):641-645.  
ZONG Qi, MENG De-jun. Influence of different kinds of hole charging structure on explosion energy transmission[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003,22(4):641-645.
- [3] 宗琦,刘积铭. 硝酸混合炸药内管道效应的初步探讨[J]. 工程爆破,2001,7(1):79-82.  
ZONG Qi, LIU Ji-ming. Preliminary study on internal channel effect of ammonium nitrate mixture explosive cartridge with a bullet in tube [J]. *Engineering Blasting*, 2001,7(1):79-82.
- [4] GB/T13228-91. 工业炸药爆速测定[S].
- [5] 张宝铎,张庆明,黄风雷. 爆轰物理学[M]. 北京:兵器工业出版社,2001.
- [6] 汪旭光,聂森林,云主惠,等. 浆状炸药的理论与实践[M]. 北京:冶金工业出版社,1985.

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

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

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

**Abstract:** The effect of the explosive charge with variable clearance and the charge filled with oxidant gel solution into its clearance on detonation performance is studied by using ionization method. Experimental results show that steady detonation of the explosive charges with axial clearance of 2 mm is not affected evidently, and detonation velocity of the charges reduce after being filled with the gel solution; however, steady detonation is affected greatly by charge segments and radial clearance size, and detonation performance is improved after being filled with the gel solution.

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