

文章编号: 1006-9941(2017)09-0767-06

# 填充介质对火药装药爆轰性能的影响

王 鹏<sup>1</sup>, 何卫东<sup>2</sup>, 魏晓安<sup>2</sup>

(1. 湖北航天化学技术研究所, 湖北 襄阳 441003; 2. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 290014)

**摘要:** 为了研究火药颗粒在不同介质中的爆轰性能, 在火药颗粒空隙中分别均匀填充水、氧化剂溶液、氧化剂凝胶, 通过板痕试验及测时仪法研究了不同填充物对火药装药爆轰性能的影响, 并与无填充物的装药进行了对比; 测试了灌注液的氧平衡对火药装药水下爆炸能量的影响。结果表明, 水、氧化剂溶液、氧化剂凝胶等密实介质的加入, 有利于爆轰冲击波的成长及传播, 装药的爆速逐渐增加。火药颗粒装药中填充含氧化剂的密实介质后, 能稳定爆轰并具有良好的爆轰性能, 爆速  $6.4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。随着氧平衡的提高, 火药装药的水下爆炸能量逐渐增加, 总比能量与其氧平衡存在显著的线性关系。与岩石乳化炸药、铵油炸药相比, 含火药装药的比冲击波能较高, 其值大于  $1.0 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 总比能基本相当。

**关键词:** 火药装药; 填充介质; 传爆性能; 爆速; 水下爆炸能量

**中图分类号:** TJ55

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2017.09.012

## 1 引言

火药是枪、炮等武器的能源, 具有一定的使用寿命, 在和平时期每年有大量火药因到期退役成为废弃火药。废弃火药传统的处理方法是采用露天燃烧、燃烧炉焚毁、熔融盐分解、生物降解、超临界流体氧化法等方法<sup>[1]</sup>进行销毁, 不仅造成资源的浪费, 而且易引起环境污染及爆炸等安全事故。为使废弃火药得到安全、环保的大批量处理与再利用, 各国对废弃火药的资源化再利用技术进行了长期的研究<sup>[1-3]</sup>。

火药具有自供氧、易燃烧的特点, 在一定外界条件下, 可由燃烧转为爆轰<sup>[4]</sup>。陈晓明等<sup>[5]</sup>通过隔板试验研究了不同类型发射药的冲击波感度, 发现在强约束的条件下, 高能组分含量及药型尺寸会影响发射药的冲击波感度。姜夕博等<sup>[6]</sup>通过隔板实验和临界起爆压力实验, 研究了退役单基发射药在强约束下的临界起爆特性, 其临界起爆压力为  $1.35 \sim 1.49 \text{ GPa}$ 。由于形状尺寸、组分等原因, 在弱约束的条件下, 自然堆积的火药颗粒自身难以稳定爆轰。要直接利用火药颗粒的爆轰性能, 需要采用某种可爆轰或可传爆的物质填充颗粒之间的空隙。蔡昇等<sup>[7]</sup>研究发现火药经过安全粉碎后, 具有良好的爆轰性能, 并发现火药粒度

对其爆速有显著影响。废弃火药再利用的主要方法是将火药粉碎后, 加入到乳化炸药、水胶或浆状炸药中或制成新型震源药柱<sup>[8-11]</sup>, 目前该方法已应用于工程中, 取得了良好的经济及社会效益。魏晓安等<sup>[12]</sup>首次提出了含火药的灌注型炸药制备工艺, 并研究了灌注型炸药的性能。该制备工艺避免了火药的粉碎, 直接利用大粒径的废弃火药, 工艺简单, 安全性高, 且制备的炸药爆速高、抗水性良好, 具有良好的应用前景。国内学者研究了不同单基药类型、尺寸对灌注型炸药爆轰性能的影响<sup>[13-14]</sup>, 但较少研究填充介质的类型及氧平衡对灌注型炸药爆轰性能的影响。

基于此, 本研究分析了在火药颗粒的间隙中分别填充水、氧化剂溶液、氧化剂凝胶等介质后, 不同填充物对含火药颗粒装药爆轰性能的影响, 测试了不同氧平衡的炸药装药水下爆炸能量输出特性, 为废弃火药的再利用制备灌注型炸药提供理论和实验依据。

## 2 实验部分

### 2.1 试样的制备

将一定质量的退役 7/14 单基药颗粒 (颗粒直径约  $5 \text{ mm}$ , 长约  $10 \text{ mm}$ ) 自由堆积装填在直径  $60 \text{ mm}$ 、高度约  $150 \text{ mm}$  的塑料药卷中, 然后将水、含硝酸铵、硝酸钠的氧化剂溶液分别灌注于装药的间隙中, 直至刚好浸没火药颗粒, 样品编号分别为 GZ-01、GZ-02, 无填充介质的样品编号为 GZ-00。在上述配置的氧化

收稿日期: 2016-11-13; 修回日期: 2017-02-12

作者简介: 王鹏(1987-), 男, 博士, 工程师, 主要从事含能材料配方及性能研究。e-mail: wangpeng0541@163.com

剂溶液中加入适量具有延迟凝聚作用的胶凝剂,搅拌均匀,灌注于火药装药的空隙中,放置一定时间后,氧化剂溶液的粘度逐渐增加,灌注液发生交联聚合,形成不具流动性的三维网络状凝胶,使火药颗粒固定成型,并均匀填充于装药的空隙。改变氧化剂溶液中硝酸铵、硝酸钠的质量分数,调节灌注液的氧平衡及其密度,制备不同氧平衡的试样编号为 GZ-03、GZ-04,不同试样的氧平衡及填充介质密度见表 1。

表 1 不同试样的基本性能

Table 1 Fundamental characteristics of different samples

| sample | medium           | density of medium/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | oxygen balance of charge |
|--------|------------------|--|--------------------------|
| GZ-00  | air              | 0.0012   | -0.357                   |
| GZ-01  | water            | 1.0  | -0.236                   |
| GZ-02  | oxidant solution | 1.38   | -0.142                   |
| GZ-03  | oxidant gel      | 1.40   | -0.137                   |
| GZ-04  | oxidant gel      | 1.42   | -0.084                   |

## 2.2 板痕试验

采用板痕实验测试 GZ-00、GZ-01、GZ-02、GZ-03 4 种样品的爆轰性能,板痕实验装置示意图如图 1 所示。测试方法为:将装药垂直放在厚度为 10 mm 的 Q235 见证钢板上,在装药的上端垂直放直径 40 mm、质量为 22 g 钝化黑索今传爆药柱( $\rho=1.6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )及 8# 电雷管,然后起爆电雷管。根据炸药起爆后见证钢板上的压痕深度及破坏情况,可对火药装药是否发生爆轰进行比较。采用测时仪法,以电离探针测定火药装药的爆速。

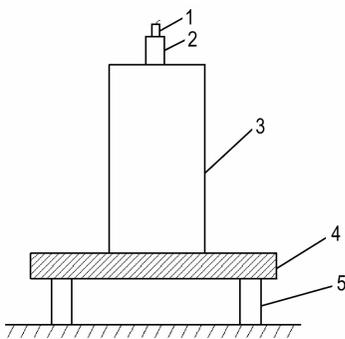


图 1 板痕试验示意图

1—雷管, 2—传爆药柱, 3—炸药装药, 4—钢板, 5—支架

Fig. 1 Schematic diagram of the plate dent test

1—detonating cap, 2—booster pellet, 3—explosive sample, 4—steel plate, 5—stent

## 2.3 水下爆炸试验

测试采用的水池几何尺寸为  $\Phi 8.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$ 。

试样的入水深度为 4.25 m,测试点距爆源 2.5 m。试样质量约为 400 g,直径为 60 mm。每种试样平行测试两次,用 8# 电雷管及 40 g 钝化黑索今传爆药柱起爆试样。测试的仪器主要有:美国 PCB 公司 138A05 型电气石水下传感器,灵敏度为 1450 mV/MPa,美国 PCB 公司 482A16 型信号调理器,国产纵横公司 JOVI-AN 5200 数据采集仪等。测试结果计算方法详见文献[15]。水下爆炸试验示意图见图 2。

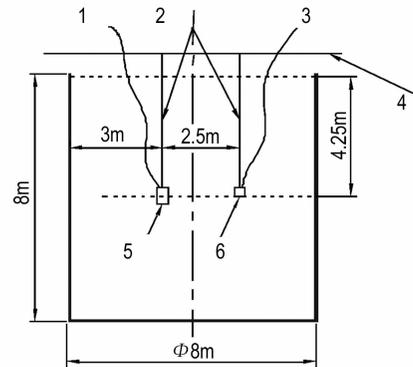


图 2 水下爆炸试验示意图

1—起爆线, 2—承重绳, 3—传输线缆, 4—试验支架, 5—炸药试样, 6—压力传感器

Fig. 2 Scheme for underwater blast experimental arrangement  
1—ignition cable, 2—load rope, 3—transmission cable, 4—experimental holder, 5—explosive sample, 6—pressure sensor

## 3 结果与讨论

### 3.1 填充介质对装药传爆性能的影响

4 种样品起爆后见证钢板凹坑照片如图 3 所示。由图 3 可知,随着填充介质密度的增加,装药被起爆后产生的冲击波作用在见证钢板上,使得钢板的破坏程度逐渐增加,表明装药的爆轰传播能力不断增强,爆轰压力也逐渐提高。当填充氧化剂凝胶时(GZ-03),钢板被击穿,证明装药传播爆轰波,并发生稳定爆轰。

这可能是因为自由堆积的火药颗粒之间存在一定的空隙(空隙率约为 48%),每个颗粒的尺寸没有达到爆轰的临界直径,传爆药柱产生的冲击波在空气中迅速衰减,不足以激发火药的自加速化学反应,因而迅速衰减为音波,部分火药颗粒发生燃烧并被抛散;当水、氧化剂溶液等密实介质占据火药颗粒间的空隙时,因其可压缩性仅是空气的 1/10000,有利于能量的传递及冲击波压力的提高,使得装药的爆轰传播能力增加,见证钢板有明显凹坑,表明火药装药发生了爆轰。

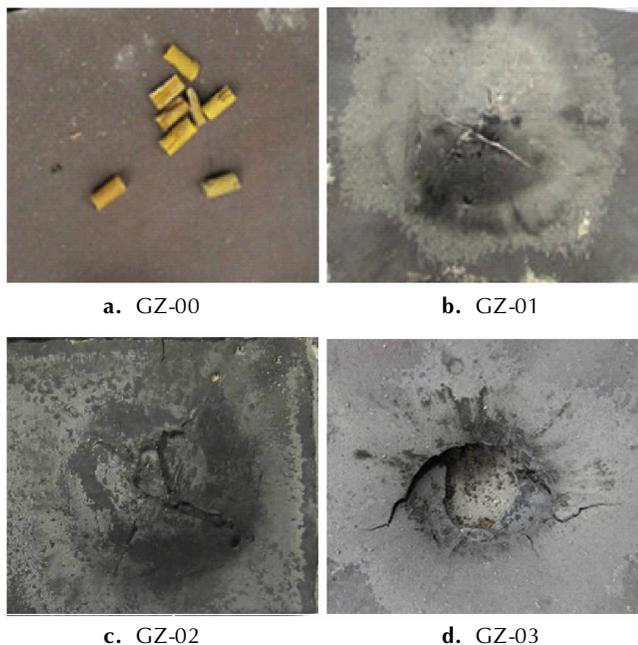


图3 填充介质对装药传爆性能的影响  
Fig. 3 Effect of filling medium on detonation propagation behavior of propellant charge

### 3.2 填充介质对装药爆速的影响

采用测时仪法用电离探针测定了4种样品的火药装药爆速,结果如表2所示。

表2 不同试样的爆速

Table 2 Detonation velocity of different sample

| sample | density of charge /g · cm <sup>-3</sup> | detonation velocity /km · s <sup>-1</sup> |
|--------|---|---|
| GZ-00  | 0.83                                    | no detonation                             |
| GZ-01  | 1.26                                    | 4.93                                      |
| GZ-02  | 1.41                                    | 5.54                                      |
| GZ-03  | 1.43                                    | 6.30                                      |

由表2可知,随着水、氧化剂溶液、氧化剂凝胶等密实介质的加入,不仅填充了药粒的空隙,增加了装药密度,火药装药的爆速也逐渐增加。与未填充介质相比(GZ-00),水(GZ-01)、氧化剂溶液(GZ-02)、氧化剂凝胶(GZ-03)等填充火药颗粒的空隙后,有助于促进爆轰波持续传播,有效减缓冲击波能量的快速衰减。填充的氧化剂溶液及其凝胶加入后提高了装药的氧平衡,氧化剂参与爆轰过程的快速化学反应,释放出的能量使整个装药的总能量增加;且氧化剂溶解后,使得多种组分可互相接触成为连续介质,有利于各组分及其分解产物之间加速发生化学反应,爆轰波能迅速成长及稳定传播,从而有助于提高装药的爆速。加入含

氧化剂的密实介质后,火药装药具有良好的爆轰性能,其装药密度及爆速均高于乳化炸药<sup>[16]</sup>。

该装药结构属于非均质性,各组份的氧化或热分解能力存在较明显的差异,同时火药颗粒之间存在较小的孔隙。火药本身具有较高的能量,与组份中的硝酸铵等其他组分相比,容易发生氧化分解。当外界能量作用于装药时,微小气泡被绝热压缩,形成热点,引发火药发生快速的热分解,能量快速释放,进而引发整个装药的爆轰。

采用一种简易的计算方法<sup>[17]</sup>,按照火药的假定化学式为C<sub>22.3046</sub>H<sub>27.4632</sub>O<sub>36.0241</sub>N<sub>9.1415</sub>,理论计算了不同填充介质的火药装药的爆轰参数,结果如表3所示。

表3 不同试样爆轰性能的计算结果

Table 3 Calculation results of detonation performance of different samples

| sample | D/km · s <sup>-1</sup> | p/GPa | Q <sub>v</sub> /kJ · kg <sup>-1</sup> | V/L · kg <sup>-1</sup> |
|--------|------------------------|-------|---------------------------------------|------------------------|
| GZ-01  | 5.12                   | 7.1   | 1516                                  | 1023                   |
| GZ-02  | 6.43                   | 14.5  | 3196                                  | 894                    |
| GZ-03  | 6.48                   | 14.8  | 3189                                  | 894                    |

Note: D is the detonation velocity, p is the detonation pressure, Q<sub>v</sub> is the heat of explosion, V is the specific volume.

由表3可知,填充介质对火药装药的爆轰性能影响显著。当火药颗粒分别填充水(GZ-01)、氧化剂溶液(GZ-02)、氧化剂凝胶(GZ-03)时,装药的理论爆速、爆压逐渐增加。由于火药本身具有较高的能量及爆热,填充介质(低能量)加入后,装药的爆热降低。实际上由于含火药颗粒的装药为负氧平衡(表2),火药颗粒的粒度效应及组分的非均质性等因素的影响,火药装药为非理想爆轰,因此理论爆速高于实测值,但其变化趋势与实验值相吻合。

### 3.3 爆轰反应过程

GZ-03试样的爆轰反应过程高速摄影结果如图4所示,并GZ-00进行对比,见图5。试验采用美国Cook公司的PCO. dimax超高分辨率高速摄像机,拍摄速度为30000帧/s,测试点距离爆源35 m。

由图4可知,填充介质为氧化剂凝胶的火药装药(GZ-03)起爆后,随着时间的增加,反应迅速加剧,爆轰波持续成长,球形火光的直径及火光强度逐渐增加。整个爆轰反应持续时间较短,只有约0.2 ms。之后化学反应逐渐减弱,并由爆轰开始转为燃烧阶段,至0.6 ms燃烧结束。该过程表明,炸药发生了明显的爆轰过程。由图5可知,GZ-00装药被起爆后,0.1 ms

时,产生的冲击发光强度较弱,火球直径较小,2 ms 后能观察到火药颗粒发生明显的燃烧过程,至 20 ms 时发生剧烈燃烧现象。观察整个摄影的动态画面,火药燃烧的过程长达约 15 s,而且试验现场发现有较多的残留火药颗粒。结果表明填充介质为空气时,装药的颗粒仅发生抛撒并燃烧的现象。

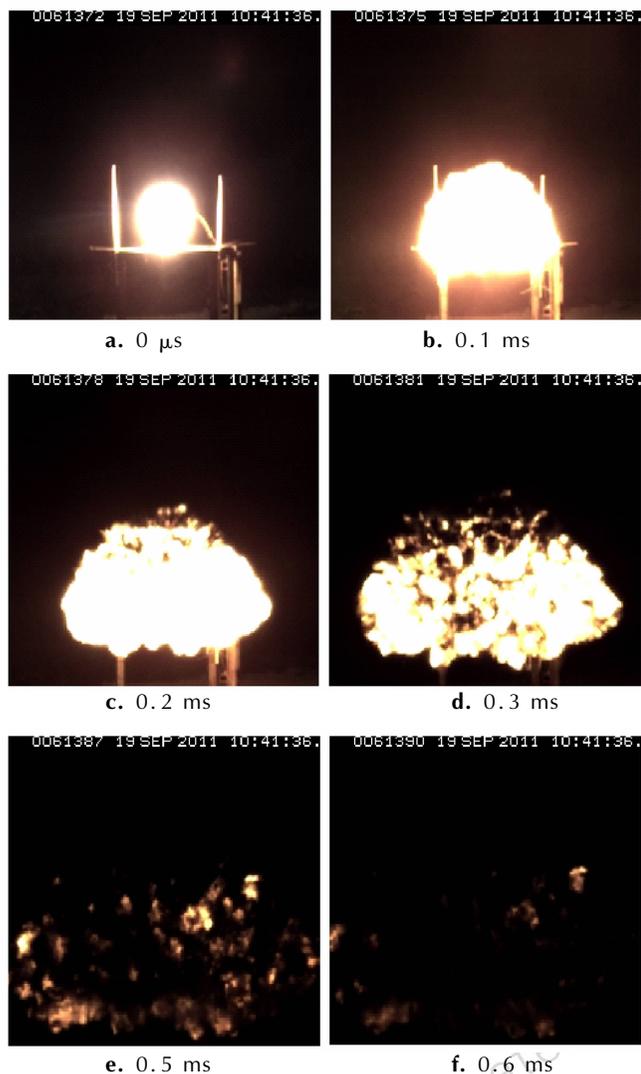


图 4 GZ-03 爆轰过程的高速摄影  
Fig.4 Detonation process of GZ-03 by high speed photos

### 3.4 灌注液氧平衡对水下爆炸能量的影响

不同氧平衡的火药装药水下爆炸冲击波衰减曲线如图 6 所示,其能量输出特性与自制的铵油炸药、常用乳化炸药的性比较如表 4 所示。

由于在一定直径的药卷中,7/14 单基药颗粒堆积的体积空隙率为定值(约 48%),因此,将不同氧化剂含量的灌注液填充于颗粒间的空隙中后,随着灌注液的氧平衡及密度的增加,火药装药的氧平衡及密度也

逐渐增加,且装药中单基药的质量分数也逐渐降低。

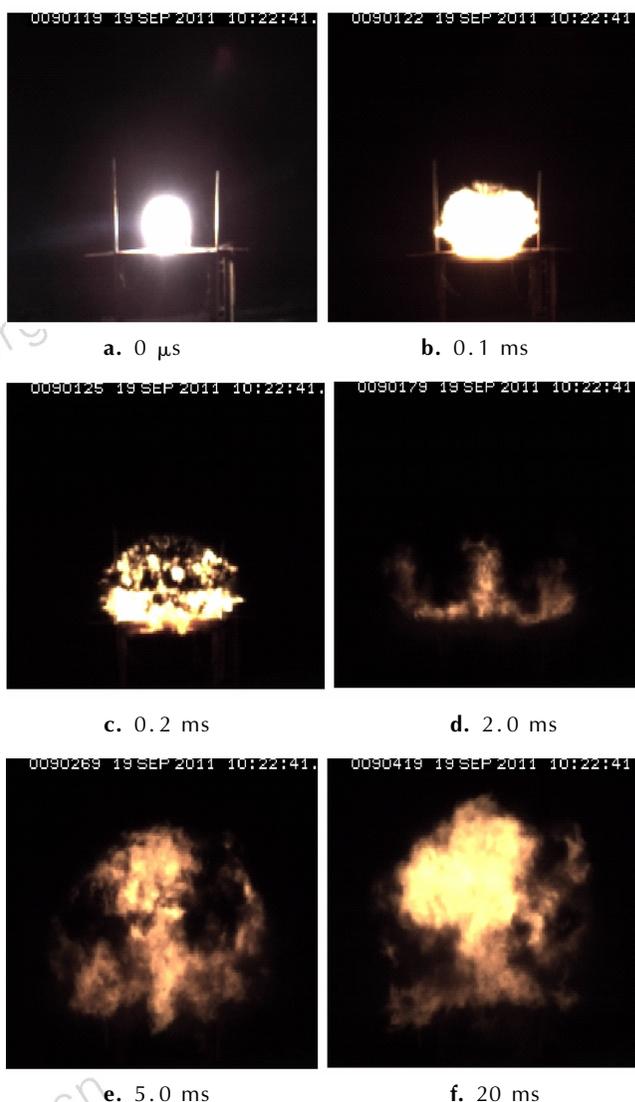


图 5 GZ-00 起爆后的高速摄影  
Fig.5 Detonation process of GZ-00 by high speed photos

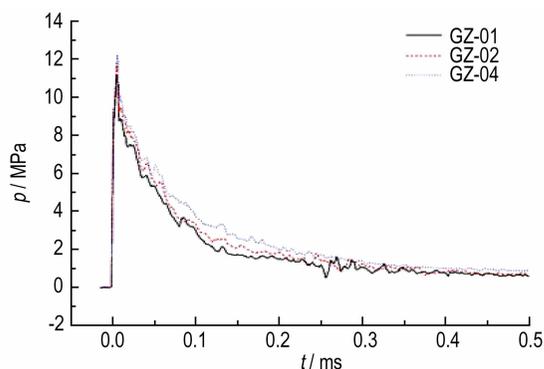


图 6 不同氧平衡的火药装药冲击波  $p-t$  曲线  
Fig.6 Shock wave curves of  $p-t$  about propellant charges with different oxygen balance

表 4 不同炸药的水下爆炸能量

Table 4 Underwater output energies of different explosive

| No.  | $p_m$<br>/MPa | $T_b$<br>/ms | $\mu e_s$<br>/kJ·g <sup>-1</sup> | $e_b$<br>/kJ·g <sup>-1</sup> | $e_t$<br>/kJ·g <sup>-1</sup> | $Q_V$<br>/kJ·g <sup>-1</sup> |
|--|---------------|--------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| GZ-01  | 11.60         | 165.42       | 1.009                            | 1.497                        | 2.543                        | 2.266                        |
| GZ-02  | 12.24         | 172.45       | 1.313                            | 1.796                        | 3.157                        | 3.196                        |
| GZ-04  | 12.60         | 190.88       | 1.402                            | 2.148                        | 3.640                        | 3.882                        |
| 2 <sup>#</sup> rock<br>emulsion<br>explosive <sup>[18]</sup> | -             | -            | 0.575                            | 2.607                        | 3.182                        | -                            |
| 1 <sup>#</sup> rock<br>emulsion<br>explosive <sup>[18]</sup> | -             | -            | 0.613                            | 2.798                        | 3.411                        | -                            |
| ammonium<br>nitrate fuel<br>oil explosive                    |               |              | 0.782                            | 2.433                        | 3.225                        | -                            |

Note:  $p_m$  is the peak pressure of shock wave,  $T_b$  is the period of the bubble pulsation,  $e_s$  is the specific shock energy,  $\mu$  is the shock loss factor,  $\mu e_s$  is the initial shock wave energy,  $e_b$  is the specific bubble energy,  $e_t$  is the specific explosion energy,  $Q_V$  is the heat of explosion of explosive.

炸药的水下爆炸能量分为两部分：冲击波能和气泡能，前者表征炸药爆炸的冲击作用，后者表征炸药产生的爆轰气体产物膨胀作用。水下爆炸试验通过测定冲击波能和气泡能来表征炸药的作功能力。由图 6、表 5 可知，当火药装药的氧平衡增加时，装药体系发生反应时会产生更多的高温、高压的气体及释放更多的热量，减缓了水中冲击波的衰减；同时，反应放出的热量也增大了气泡的脉动周期  $T_b$  和比气泡能  $e_b$ 。因此，当炸药的氧平衡由严重的负氧平衡增加至接近零氧平衡时，炸药的水下爆炸能量随之增加，且炸药的总比能  $e_t$  与其氧平衡存在显著的线性关系，相关拟合系数为 0.9945，两者之间的关系为：

$$e_t = 7.415 OB + 4.243 \quad (1)$$

式中， $e_t$  为炸药的总比能，kJ·g<sup>-1</sup>； $OB$  为炸药的氧平衡，g·g<sup>-1</sup>。

结果表明，尽可能地将含氧量高的密实填充介质加入到火药装药中，改善其氧平衡，可提高装药的作功能力。与岩石乳化炸药<sup>[18]</sup>、自制多孔粒状铵油炸药的水下爆炸能量相比，填充高氧平衡的氧化剂凝胶的单基药装药的比冲击波能较高，总比能接近。

因此，在火药颗粒的装药中填充含氧化剂的密实介质后，可使其稳定爆轰且具有良好的爆轰性能及作功能力。利用该特点，可将废弃火药颗粒再利用，将其制成灌注型工业炸药，且该方法工艺简单、安全，具有良好的应用前景。

## 4 结 论

(1) 理论计算及实验结果表明，随着水、氧化剂溶液、氧化剂凝胶的填充，火药装药的爆轰传播能力逐渐增强，爆速随之增加。

(2) 随着填充液氧平衡的增加，含单基药的装药负氧平衡显著改善，水下爆炸的比冲击波能及比气泡能逐渐增加，总比能  $e_t$  与其氧平衡呈线性关系， $e_t = 7.415 OB + 4.243$ 。

(3) 填充氧化剂凝胶后，火药装药具有良好的爆轰性能，其理论爆速最高可达 6.48 km·s<sup>-1</sup>，比冲击波能高于 1.0 kJ·g<sup>-1</sup>，显著高于岩石乳化炸药、铵油炸药，总比能基本相当。

### 参考文献：

- [1] 王泽山，张丽华，曹欣茂. 废弃火炸药的处理与再利用技术 [M]. 北京：国防工业出版社，1999.  
WANG Ze-shan, ZHANG Li-hua, CAO Xin-mao. Treatment and reuse of waste propellants and explosives [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999.
- [2] Wilkinson J, Watt D. Review of demilitarization and disposal techniques for munitions and related materials [R]. Brussels: Munitions Safety Information Analysis Centre, 2006: 74-77.
- [3] Dmed C. Environmental impact of munition and propellant disposal [R]. The research and technology organisation (RTO) of NATO, TR-AVT-115, 2010.
- [4] 陈晓明，赵瑛，宋长文，等. 发射药燃烧转爆轰的试验研究 [J]. 火炸药学报，2012, 35(4): 69-72.  
CHEN Xiao-ming, ZHAO Yin, SONG Chang-wen, et al. Experimental study on deflagration to detonation transition of gun Propellants [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2012, 35(4): 69-72.
- [5] 陈晓明，金鹏刚，张衡，等. 发射药冲击波感度的试验研究 [J]. 含能材料，2011, 19(6): 689-692.  
CHEN Xiao-ming, JIN Peng-gang, ZHANG Heng, et al. Experimental study on the shock wave sensitivity response of gun propellant [J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2011, 19(6): 689-692.
- [6] 姜夕博，饶国宁，郭耸，等. 退役单基发射药临界起爆特性的研究 [J]. 弹道学报，2013, 25(2): 89-94.  
JIANG Xi-bo, RAO Guo-ning, GUO Song, et al. Study on critical initiation characteristics of expired single-base propellants [J]. Journal of Ballistics, 2013, 25(2): 89-94.
- [7] 蔡昇，魏晓安，王泽山. 含发射药的粉状低爆速炸药研制 [J]. 含能材料，2004, 12(4): 231-234.  
CAI Shen, WEI Xiao-an, WANG Ze-shan. Development of powdery low detonation velocity explosives from propellants [J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2004, 12(4): 231-234.
- [8] 贾占山，卜宪强. 含退役火药新型高爆速震源药柱配方和工艺的研究 [J]. 爆破器材，2013, 42(2): 26-30.  
JIA Zhan-shan, BU Xian-qiang. Formulation and process of new high detonation velocity featured seismic charge containing waste

- Propellants[J]. *Explosive Materials*, 2013, 42(2): 26–30.
- [9] 王高宏, 袁治雷, 任流润, 等. 退役火药在民用爆炸物品中的应用[C]//第十六届中国科协年会第九分会场含能材料及绿色民爆产业发展论坛, 2014, 昆明.  
WANG Gao-hong, YUAN Zhi-lei, REN Liu-run, et al. Application of retired gunpowder in civil explosives [C]//16th Annual Meeting of China Association for Science and Technology-The 9th Venue about Industry Development of Energetic Materials and Green Industrial Explosives, 2014, Kunming.
- [10] Munson W O. Demilitarization of large rocket motors and propellant utilization [C]// Application of demilitarized gun and rocket propellants in commercial explosives, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [11] Jolanta B. Using nitrocellulose powder in emulsion explosives [J]. *Combustion, Explosion and Shock Waves*, 2011, 47(3): 366–368.
- [12] 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.
- [13] 张力, 鲁彦玲, 施冬梅, 等. 两种单基发射药灌注成型为凝胶炸药研究[J]. 军械工程学院学报, 2009, 21(5): 38–40.  
ZHANG Li, LU Yan-ling, SHI Dong-mei. Making perfusion gel explosive from two kinds of single-based propellant [J]. *Journal of Ordnance Engineering College*, 2009, 21(5): 38–40.
- [14] Wang P, Wei X A, He W D. Preparation and performance of a novel water gel explosive containing expired propellant grains [J]. *Central European Journal of Energetic Materials*, 2013, 10(4): 495–508.
- [15] Wang L Q, Wang N F, Zhang L. Study on key factors affecting energy output of emulsion explosives in underwater explosion [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2012, 37(1): 87–92.
- [16] 宋锦泉, 汪旭光. 敏化方式对乳化炸药爆速的影响[J]. 有色金属工程, 2000, 52(4): 4–8.  
SONG Jin-quan, WANG Xu-guang. Influence of sensitive methods on detonation velocity of emulsion explosives [J]. *Nonferrous Metals*, 2000, 52(4): 4–8.
- [17] 郑恒威, 郭子如, 张显丕. 工业炸药爆轰参数理论计算[J]. 煤矿爆破, 2007, 79(4): 1–4.  
ZHENG Heng-wei, GUO Zi-ru, ZHANG Xian-pei. Theory calculation of detonation parameters for industrial explosive [J]. *Coal Mine Blasting*, 2007, 79(4): 1–4.
- [18] 徐森, 张兴民, 潘峰, 等. 工业炸药能量测试方法的分析[J]. 爆破器材, 2013, 42(1): 18–20.  
XU Sen, ZHANG Xing-min, Pan Feng, et al. Analysis on the energy testing methods of industrial explosives [J]. *Explosive Materials*, 2013, 42(1): 18–20.

## Effect of Different Filling Medium on Detonation Performance of Propellant Charge

WANG Peng<sup>1</sup>, HE Wei-dong<sup>2</sup>, WEI Xiao-an<sup>2</sup>

(1. Hubei Institute of Aerospace Chemical Technology, Xiangyang 441003, China; 2. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** In order to study the detonation performance of propellant grains in different medium, the interspaces among the propellant grains were fully filled with water, oxidant solution and oxidant gel, respectively. The detonation performances of propellant charges with different filling medium were studied through the plate dent test and chronometer measurement test, which compared with no filler. The underwater output energies of propellant charges containing different oxygen balance of filling fluids were also measured by underwater blast test. The results show that with the addition of different filling medium such as water, oxidant solution in the charge of propellant grains, it is conducive to the growth and spread of detonation shock wave. The work capability of the charge is improved, and the detonation velocity is also increased. When the charge of propellant grains is filled with the dense medium which contains oxidant, it has excellent detonation velocity (about  $6.4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ). The underwater energies of propellant charges are increased with the increase of the oxygen balance, and there is a significant linear relationship between the total energy and the oxygen balance of the charge. Its shock wave energy is more than  $1.0 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  and the total energy is basic quite compared with the rock emulsion explosive and ammonium nitrate-fuel oil explosive.

**Key words:** propellant charge; filling medium; detonation performance; detonation velocity; underwater output energy

**CLC number:** TJ55

**Document code:** A

**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2017.09.012