

文章编号: 1006-9941(2010)06-0677-04

## 钝感三基发射药的燃烧性能

郑双, 刘波, 于慧芳, 刘少武, 张远波, 王锋, 魏伦, 李达, 韩冰

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 针对含水溶性组份硝基胍(NGu)的三基发射药, 采用水相搅拌工艺制备出钝感发射药样品, 进行了高分子钝感技术研究。通过扫描电镜研究了加入饱和剂和未加入饱和剂的两种钝感发射药样品的表面状态。结果表明, 与未加入饱和剂的钝感工艺相比较, 采用添加饱和剂的钝感工艺制得的发射药表面结构致密。采用可控点火参量模拟装置进行点火试验; 在药室容积 100 cm<sup>3</sup>, 装填密度 0.2 g·cm<sup>-3</sup>, 点火压力 10 MPa 的条件下进行了密闭爆发器试验; 选用 14.5 mm 弹道枪进行了内弹道试验。结果表明, 钝感处理后的发射药样品点火延迟时间(6.86, 5.72 ms)延长, 燃烧渐增性能增强, 内弹道性能提高, 且添加饱和剂的发射药性能比未添加饱和剂的优良。

**关键词:** 物理化学; 三基发射药; 钝感; 燃烧性能; 内弹道试验

**中图分类号:** TJ55; TQ562; O64

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.06.015

## 1 引言

高分子钝感发射药的高性能主要通过采用较高装填密度, 较高火药能量, 很高的燃烧渐增性和大幅度降低装药温度系数等途径来实现<sup>[1-3]</sup>。含 RDX 和硝基胍(NGu)的三基发射药(以下简称三黑胍发射药)是一种能量高的发射药<sup>[4]</sup>, 但由于其组份 NGu 溶于水, 对其钝感及钝感后的燃烧性能还没开展系统的研究工作<sup>[5]</sup>。针对这一问题, 本实验采用加入饱和剂, 解决了 NGu 溶于水的问题, 对三黑胍发射药进行了高分子钝感处理, 并研究了钝感后发射药的燃烧性能, 为其在武器上的应用建立基础。

## 2 实验部分

### 2.1 样品制备

以 5/7 三黑胍发射药为基药, 采用高分子聚酯钝感剂, 利用水相搅拌工艺制备出发射药样品。通过加入饱和剂及其用量的控制等技术措施克服 NGu 溶于水对钝感发射药的不利影响。1 号样品是采用加入饱和剂的水相搅拌工艺制备出的样品, 2 号样品是采用未加入饱和剂的水相搅拌工艺制备出的样品, 二者的

钝感剂加入量相同。两个样品均经同样条件烘干处理, 其挥发分含量符合要求。

### 2.2 电镜试验

对 1 号和 2 号样品进行表面切片处理后, 采用 JSM5800 扫描电子显微镜(SEM)观察并对比表面情况。

### 2.3 点火性能试验

为试验处理后样品的点火性能, 采用可控点火参量模拟装置进行点火试验, 每个样品进行三发试验(取平均值), 每发试验样品量为 10 g。点火条件是在自制底火(0.3 g 2 号硝化棉)基础上增加 0.3 g 2 号小粒黑和 0.3 g 2 号硝化棉(NC)。

### 2.4 密闭爆发器试验

以药室容积 100 cm<sup>3</sup>, 装填密度 0.2 g·cm<sup>-3</sup>, 实验温度 20 °C, 应变压力传感器精度为 0.005 MPa, 采样间隔是 0.05 ms, 点火药为 2 号 NC、药量 1.1 g, 点火压力 10 MPa 的条件下, 在密闭爆发器中测试基药和 1、2 号样品的静态燃烧性能, 得到 *p-t* 曲线。

### 2.5 内弹道试验

对基药和 1、2 号样品选用 14.5 mm 弹道枪进行试验。初速测试方法按 GJB349.4-87 进行; 膛压测试方法按 GJB349.5-87 进行。

## 3 结果与讨论

### 3.1 钝感发射药表观结构性能

1 号样品和 2 号样品剖面的 SEM 照片如图 1 所

收稿日期: 2010-07-13; 修回日期: 2010-10-12

作者简介: 郑双(1975-), 男, 博士生, 主要从事发射药配方及工艺研究。

e-mail: zhengshuang2046@sina.com

示。从图1可以看出,2号样品表面粗糙,表面出现较多、较大的孔洞并且由表及里孔洞逐渐减少、变小;1号样品纵切面没有出现类似2号样品大小不规则的孔洞,并且表面也没有类似的凹凸形态,表现出较高的致密性。分析原因主要是采用的工艺不同。2号样品制备工艺中没有加入饱和剂,其组份中含有的水溶性组份硝基胍在高温及搅拌的条件下溶于水,从而在发射药表面及内部出现大小不等的孔洞,而1号样品在钝感过程中加入饱和剂,阻止了硝基胍组份的溶解从而保证了发射药的致密性。

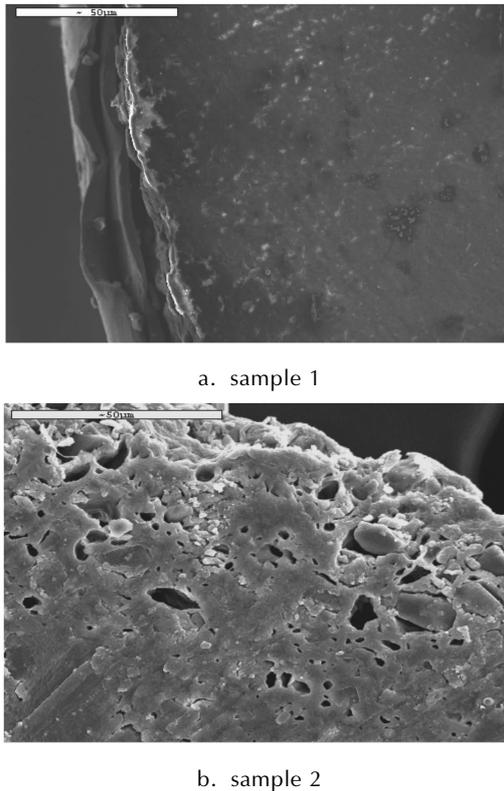


图1 样品1和样品2剖面SEM照片( $\times 1000$ )

Fig.1 SEM section images of desensitized propellant obtained with (sample 1) and without saturator (sample 2) ( $\times 1000$ )

### 3.2 钝感发射药点火性能研究

由于点火药燃烧建压为5 MPa,所以选择5 MPa作为各样品相对比较时的起始燃烧点。常温点火试验样品的最高压力值 $p_m$ 及延迟时间 $t$ 见表1。

从表1可知,与基药相比,钝感处理后的发射药样品点火延迟时间都有所不同程度的延长,在下文的 $p-t$ 曲线中可以看到燃烧结束点都滞后,这主要是由于钝感剂的作用结果。而1号和2号样品点火延迟时间的不同,是由钝感发射药表面致密性决定的,2号样品表面致密性差因而点火延迟时间短,而1号样品表

面致密性好,因而其点火延迟时间长。

表1 钝感发射药点火模拟试验特征参数

Table 1 Characteristics of ignition test for original and desensitized propellants

| sample              | ignition condition   | $p_m$ /MPa | $t$ /ms |
|---------------------|--|------------|---------|
| original propellant | primer + 0.3 g 2 <sup>#</sup> BP + 0.3 g 2 <sup>#</sup> NC | 64.3       | 3.21    |
| sample 1            | primer + 0.3 g 2 <sup>#</sup> BP + 0.3 g 2 <sup>#</sup> NC | 47.7       | 6.86    |
| sample 2            | primer + 0.3 g 2 <sup>#</sup> BP + 0.3 g 2 <sup>#</sup> NC | 52.7       | 5.72    |

Note:  $p_m$  is maximum pressure;  $t$  is delay time.

### 3.3 钝感发射药静态燃烧特性

对传统未钝感的发射药,常用 $\Gamma$ 函数来评价其燃烧渐增性<sup>[6]</sup>;而对钝感发射药,常用一种更便于计算的 $L$ 函数来评价其燃烧渐增性<sup>[7]</sup>,因此钝感发射药的燃烧渐增性可用 $L$ (发射药燃烧活度)- $B$ (相对压力,即某点压力与最高压力之比)曲线来表征。为了使燃烧渐增性数量化,这里采用发射药燃烧分裂点处的 $L$ ( $B_a$ )值与某中间点处 $L$ ( $B_b$ )值之差 $\Delta L$ 来表征发射药的燃烧渐增性: $\Delta L_{a-b} = L(B_a) - L(B_b)$ , $B_a$ 为燃烧分裂点处相对压力, $B_b$ 为某中间点处相对压力。对于发射药药粒燃烧散布的大小可用分裂点位置反映,即可用分裂点 $B_a$ 值来反映多孔药粒燃尽的一致性,钝感发射药与未钝感发射药的 $B_a$ 差值的绝对值反映了钝感发射药钝感层均匀性和点火性能变化的大小,差值的绝对值越大,燃尽的一致性越差, $\Delta B_a = B_a$ (钝感发射药) -  $B_a$ (未钝感发射药)。

对基药和1号、2号样品进行密闭爆发器试验,得到 $p-t$ 曲线, $p_m$ 为燃烧最大压力, $t_m$ 为样品点燃到 $p_m$ 的时间。对 $p-t$ 曲线进行数据处理,得到 $L-B$ 曲线及 $\Delta L_{a-b}$ 、 $B_a$ 及 $\Delta B_b$ ( $B_b$ 取值0.10)值。试验结果见表2, $L-B$ 、 $p-t$ 曲线如图2和图3所示。

从图2及表2中数据可知,发射药经过钝感处理后 $p_m$ 有所下降,燃烧时间有不同程度的延长。对于1号样品和2号样品,二者最大压力差异不大,但2号样品点火时间短, $\Delta B_a$ 值的绝对值大,其燃烧一致性差。这一现象主要是由于2号样品表面有不规则的凹凸,增加了其表面积,导致更易点火,同时正是由于其表面有不规则的凹凸,造成其燃烧一致性相对较差。

从图3中可以看出,基药样品活度在燃烧初始期高,而在中后期一直呈下降趋势,而钝感后的1号和2号样品的活度在燃烧初始期低,随着燃烧的进行,活度不断增加,直到后期,活度才下降,说明钝感处理后样

品的燃烧均具有渐增性的燃烧特性。表 3 中基药的  $\Delta L$  结果为负值,而 1 号、2 号样品的  $\Delta L_{a-b}$  结果均为正值,也说明钝感处理后的样品具有一定的燃烧渐增性。在表 3 中,1 号样品的  $\Delta L_{a-b}$  值大于 2 号样品的  $\Delta L_{a-b}$  值。所以,1 号和 2 号样品的燃烧渐增性为:1 号样品 > 2 号样品,二者的燃烧渐增性均大于基药。

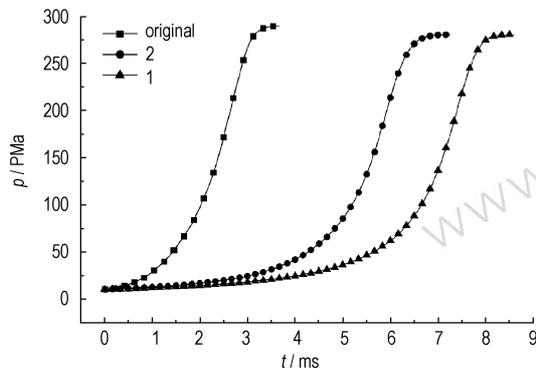


图 2 基药及钝感发射药的  $p-t$  曲线

Fig. 2  $p-t$  curves of desensitized and original propellants

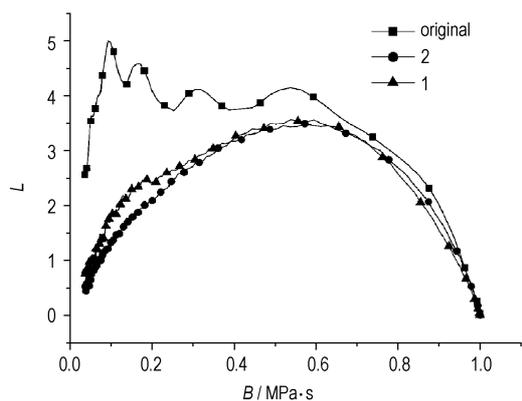


图 3 基药及钝感发射药的  $L-B$  曲线

Fig. 3  $L-B$  curves of desensitized and original propellants

表 2 密闭爆发器试验处理结果

Table 2 Disposed test results of the closed bomb

| sample              | $t_m$ /ms | $p_m$ /MPa | $\Delta L_{a-b}$ /MPa $^{-1} \cdot s^{-1}$ | $B_a$ | $\Delta B_a$ |
|---------------------|-----------|------------|--|-------|--------------|
| original propellant | 3.60      | 280.89     | -2.0                                       | 0.72  | -            |
| sample 1            | 8.69      | 273.72     | 1.8  | 0.65  | -0.07        |
| sample 2            | 7.40      | 271.46     | 1.1  | 0.60  | -0.12        |

Note:  $t_m$  is the time corresponding to maximum pressure in closed-bomb test.  $p_m$  is maximum pressure in closed-bomb test.  $L$  is the vivacity in closed-bomb test, MPa $^{-1} \cdot s^{-1}$ .  $B$  is the relative pressure in closed-bomb test.  $\Delta L_{a-b} = L(B_a) - L(B_b)$ .  $B_a$  is the  $B$  value corresponding to grain splitting.  $B_b$  is the  $B$  value corresponding to a point.  $\Delta B_a$  is the difference of  $B_a$  between the sample and original propellant.

### 3.4 钝感发射药内弹道性能

采用 14.5 mm 弹道枪试验了基药和 1、2 号样品的内弹道性能,结果如表 3 所示。最大膛压、初速为五发平均结果。

从表 3 内弹道试验结果可以看出,首先采用水相搅拌工艺钝感的三黑瓜发射药样品内弹道性能较基药有大幅度的提高,显示出钝感三黑瓜发射药的优势。其次 1 号样品和 2 号样品相比较,1 号样品由于在钝感工艺中加入了饱和剂使得样品致密,所以其装药量大,初速高且跳差小,最大压力低且跳差小;而 2 号样品由于在钝感工艺中未加入饱和剂,样品致密性差,所以其装药量少,初速低且跳差大,最大压力偏高且跳差大。这一点上,内弹道试验结果与点火性能和静态燃烧性能是一致的。

表 3 14.5 mm 内弹道试验结果

Table 3 Interior ballistic test of the propellants

| sample              | charge /g | $v$ /m $\cdot$ s $^{-1}$ | $\Delta v$ /m $\cdot$ s $^{-1}$ | $p_m$ /MPa | $\Delta p_m$ /MPa |
|---------------------|-----------|--------------------------|---------------------------------|------------|-------------------|
| original propellant | 26.0      | 992.4                    | 4.8                             | 284.9      | 12.8              |
| sample 1            | 31.5      | 1049.6                   | 5.7                             | 279.8      | 10.4              |
| sample 2            | 31.0      | 1035.4                   | 12.5                            | 287.4      | 28.0              |

Note:  $v$  is muzzle velocity;  $\Delta v$  is the difference of muzzle velocity;  $p_m$  is maximum pressure in interior ballistic test;  $\Delta p_m$  is the difference of maximum pressure in interior ballistic test.

## 4 结 论

(1) 针对含水溶性组份 NGu 的三基发射药采用的添加饱和剂的水相搅拌钝感工艺没有破坏发射药表面状态,表面致密性好,不影响其点火性能的一致性。

(2) 与基药相比,采用水相搅拌钝感工艺制备的钝感发射药具有一定渐增性燃烧特性,添加饱和剂的发射药较不加饱和剂的发射药具有更强的燃烧渐增性。

(3) 采用添加饱和剂的水相搅拌钝感工艺制备的钝感发射药内弹道性能优良,初速高,最大压力低,初速、最大压力跳差小。

### 参考文献:

[1] 王琼林,李上文,王泽山. 高分子钝感剂在发射药中的扩散性能研究[J]. 火炸药学报,2000,1: 14-16.  
WANG Qiong-lin, LI Shang-wen, WANG Ze-shang. Research development for diffusion of deterrent in gun propellant [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants (HUOZHAYAO XUEBAO), 2000, 1: 14-16.

- [2] 王琼林,杨文宝,郝宁. 国外发射药钝感包覆技术研究进展[J]. 火炸药,1994,3: 40-43.  
WANG Qiong-lin, YANG Wen-bao, HAO Ning. The progress of research work in the techniques of foreign deterrent-coated propellant[J]. *Explosives & Propellants (HUOZHAYAO)*, 1994, 3: 40-43.
- [3] 梁勇,王琼林,于慧芳,等. 增能钝感单基药的燃烧特性. 含能材料,2007,15(6):597-599.  
LIANG Yong, WANG Qiong-lin, YU Hui-fang, et al. combustion properties of the energy-increased desensitized single-base propellant. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2007, 15(6): 597-599.
- [4] 魏学涛,赵颖,李乃勤,等. 新型硝基胍发射药研究[J]. 火炸药学报,2001,24(4):34-36.  
WEI Xue-tao, ZHAO Ying, LI Nai-qin, et al. The study on a new kind of nitroguanidine propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (HUOZHAYAO XUEBAO)*, 2001, 24(4): 34-36.
- [5] 张邹邹,蒋树君,张玉成,等. NGu对含RDX硝胺发射药燃烧性能的研究[J]. 火炸药学报,2007,30(3):72-74.  
ZHANG Zou-zou, JIANG Shu-jun, ZHANG Yu-cheng, et al. Effects of NGu on the combustion performance of nitramine propellants containing RDX[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (HUOZHAYAO XUEBAO)*, 2007, 30(3): 72-74.
- [6] 801教研室. 内弹道学[M]. 南京:华东工学院,1986.
- [7] Ernst Brönnimann, Andres Sopranetti, Kurt Ryf. Improvement of ballistic performance with surface-coated double-base propellants (SCDP) [C]//19th International Annual Conference of ICT, 1988: 391-396.

## Combustion Characteristics of Desensitized Triple Base Propellant

ZHENG Shuang, LIU Bo, YU Hui-fang, LIU Shao-wu, ZHANG Yuan-bo, WANG Feng, WEI Lun, LI Da, HAN Bing

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** The desensitized triple base propellants containing NGu were prepared by polymer deterrent technology with and without saturator, their surface structure were characterized by electron microscopy and combustion characteristics were investigated by means of the ignition test, closed-bomb tests and interior ballistic tests. Results show that there does not exist the surface structure destroy and the ignition characteristics is good for propellant desensitized with the saturation agent. The ignition time is prolonged. The propellant with the saturation agent has great combustion progressivity and good interior ballistic at the same time.

**Key words:** physical chemistry; triple base propellant; deterrent; combustion performance; interior ballistic tests

**CLC number:** TJ55; TQ562; O64

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.06.015



## 第八届全国爆轰学术会议会讯

第八届全国爆轰学术会议于2010年11月16日~20日在云南省腾冲县顺利召开,会议由中国力学学会爆炸力学专业委员会爆轰专业组和冲击波物理与爆轰物理国防科技重点实验室共同主办。参会人员来自中国工程物理研究院流体物理研究所、中国工程物理研究院化工材料研究所、中国工程物理研究院总体工程研究所、北京应用物理与计算数学研究所、北京理工大学、南京理工大学、中国科技大学和四川大学等单位。会议共收录论文45篇,内容涉及:材料动态力学性能、爆轰试验与诊断技术、爆轰过程的数值模拟、爆轰波传播规律、燃烧转爆轰的试验与数值模拟、炸药爆轰产物的状态方程与反应速率方程、结构动态响应与安全防护、炸药分子动力学和含能材料的制备与性能等方面。本次会议的顺利召开为我国爆轰学及其相关领域的专家、学者提供了一个良好的平台,学者们就爆轰学的现状与发展进行了深入地交流与讨论,对我国爆轰学科发展起了重要的推动作用。

(中国工程物理研究院化工材料研究所 陈清畴供稿)