

文章编号: 1006-9941(2011)05-0565-04

# 一种低烧蚀高渐增性发射药的研究

刘波, 王琼林, 刘少武, 郑双, 于慧芳, 魏伦, 张远波

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 采用“浸渍-钝感”工艺制得改性单基发射药。用烧蚀管试验表征了该发射药的烧蚀。采用密闭爆发器研究了该发射药的静态燃烧性能, 以 857-30 mm 制式弹道炮研究了发射药在膛内的动态内弹道性能。结果发现, 与制式单基发射药相比较, 制得的改性单基发射药的烧蚀量降低了 16.4%, 燃烧渐增因子  $P_r$  由 0.035 提高到 0.445, 初速从  $856.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  提高到  $941.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 提高了 9.8%, 显示该发射药具有高燃烧渐增性、低烧蚀的特点。

**关键词:** 物理化学; 改性单基发射药; 烧蚀管试验; 燃烧渐增性; 低烧蚀

**中图分类号:** TJ55; TQ562; O64

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.05.019

## 1 引言

近十几年来,随着新型身管武器的不断进展,尤其是高初速、高射速、远射程武器的发展,使初速、射速和射程达到了新的水平,在这种情况下可能会出现严重的烧蚀性问题。高温、高压、具有一定腐蚀性的发射药燃烧气体是造成武器身管烧蚀的重要原因。身管武器严重烧蚀的后果,使得内膛扩大、膛面损坏、初速降低、射程减小、精度丧失,严重时甚至不能继续使用。因此烧蚀是发展高初速、高射速、远射程先进武器的主要障碍<sup>[1-2]</sup>。

目前国内外<sup>[3-4]</sup>在控制烧蚀方面主要采取了下列几种途径: ① 降低膛面温度。包括管外冷却法、采用 FISA 防护装置、使用涂料和在发射药装药外包覆隔热衬层或在发射药中加入添加剂。FISA 防护装置是一个略带锥度的薄软钢套。可在整发弹上滑动,一端包围药筒,其余部分包覆弹丸至定心部。当火炮射击时,药筒口部膨胀,闭锁套筒,防护膛线起始部位免于烧蚀。② 减少弹带挤进压力和弹带材料与膛面的相互作用。③ 制造高熔点、抗烧蚀的身管。④ 研制火焰温度低、烧蚀性小的发射药。

研制具有较低火焰温度和较高能量的新型发射药,同时不影响弹道性能,是解决身管烧蚀问题的基本途径。针对单基发射药,传统上进行化学和物理的综合处理来提高能量<sup>[5]</sup>。本实验采用“浸渍-钝感”工艺,制得

了改性单基发射药。通过烧蚀管试验、密闭爆发器以及 857-30 mm 制式弹道炮研究了该发射药的烧蚀性能和燃烧性能,发现其具有高燃烧渐增性、低烧蚀的特点。

## 2 实验部分

### 2.1 样品制备

本实验所用的基础药为 5/7 单基药,采用水相搅拌法工艺先进行增能,接着进行钝感处理,制备出改性单基发射药<sup>[6-7]</sup>,标记为 MSBP-5/7。增塑剂为硝化甘油(NG)的乙醇溶液,钝感剂为 204 所自主合成的 NA(一种高分子钝感剂)聚酯。选用制式的单基发射药 5/7 石作为性能试验的对比药,在表中标记为 blank。

### 2.2 烧蚀管试验

烧蚀管失重法试验条件为:烧蚀管材料 45 号钢,烧蚀管重量 10 g,发射药装药量 9.5 g,燃烧环境恒压爆发器,点火药为 2<sup>#</sup>NC。

### 2.3 静态性能测试和数据处理

#### (1) 密闭爆发器试验

在装填密度  $0.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、实验温度  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 、点火药 1.1 g 的 2<sup>#</sup>NC,点火压力 10 MPa 的条件下,在常规密闭爆发器中测试对比 5/7 石和 MSBP-5/7 样品的静态燃烧性能,得到压力-时间曲线。

#### (2) 燃烧渐增因子 $P_r$ 计算<sup>[8]</sup>

先对测得的压力-时间数据进行处理,得到  $L-B$  曲线:

$$L = \frac{dp_i}{dt} / p_i p_m$$

收稿日期: 2011-01-26; 修回日期: 2011-03-13

作者简介: 刘波(1972-),男,在读博士,主要从事发射药配方及工艺研究。e-mail: liubliw@163.com

$$B = p_i / p_m \quad (1)$$

式中,  $p_i$  为密闭爆发器试验中某时刻实测压力大小, MPa;  $p_m$  为最大压力, MPa;  $t$  为时间, s。

再依式(2)计算燃烧渐增因子  $P_r$ :

$$P_r = B_s \times L_s / (L_{0.1} + L_{0.3}) \quad (2)$$

式中,  $P_r$  为发射药燃烧渐增性因子;  $L$  为燃烧活度,  $\text{MPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $B$  为相对压力;  $B_s$  为燃烧分裂点对应的  $B$  值;  $L_s$  为燃烧分裂点对应的相对压力值,  $\text{MPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $L_{0.1}$  为相对压力 0.1 对应的燃烧活度值,  $\text{MPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $L_{0.3}$  为相对压力 0.3 对应的燃烧活度值,  $\text{MPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

## 2.4 内弹道性能测试

对制备出的改性单基发射药 MSP-5/7 以及对比

药 5/7 石, 在 857-30 mm 制式弹道炮上进行内弹道试验, 采用制式药筒, 电测测压, 用靶线法测试弹丸距炮口 10 m 处的速度。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 发射药烧蚀试验研究

烧蚀量是指烧蚀管试件的质量减少量。由于烧蚀管的烧蚀程度与其所受的火药气体压力有很大的关系, 故本试验尽量在相同压力下, 采用烧蚀管法对比两种发射药装药的烧蚀性能, 每个烧蚀管冲刷 3 次。试验结果见表 1。

表 1 发射药烧蚀试验结果

Table 1 Results of erosion of two propellants

sample	propellant mass/g	amount of erosion/g	average pressure/MPa	explosion heat/ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$	force/ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$
blank	11.0580	0.7436	291.83	3761	1045.58
MSBP-5/7	10.9614	0.6219	291.64	3993	1055.70

从表 1 可以看出, MSBP-5/7 的爆热和火药力都比 5/7 石高, 其原因是由于 MSBP-5/7 中浸渍了含能增塑剂硝化甘油。但在平均压力相当的试验条件下, MSBP-5/7 的烧蚀量比 5/7 石下降了 16.4%, 降低幅度较大。这主要是由于 MSBP-5/7 采用“浸渍-钝感”工艺, 该工艺首先浸渍含能增塑剂硝化甘油, 接着用聚酯钝感剂进行钝感, 硝化甘油浓度沿药粒径向呈凸向下抛物线状分布, 钝感剂聚酯浓度由表及里呈指数规律下降的形式分布<sup>[9]</sup>。当发射药开始燃烧时, 由于钝感剂浓度高, 而硝化甘油浓度低, 所造成的烧蚀小; 随着燃烧的进行, 硝化甘油浓度逐步增大, 钝感剂浓度逐步降低, 燃气温度也逐步升高, 当硝化甘油浓度达到最大时, 燃气温度达到最高, 但由于是逐步进行的, 所以造成的烧蚀相对就比较低; 随后硝化甘油浓度下降, 燃气温度也慢慢下降, 最终燃烧结束。因此, 总的结果是, 对比 5/7 石, MSBP-5/7 的烧蚀相对低一些。高温加速老化试验证明, 硝化甘油的浓度分布至少在 5 年内没有变化, 这一点将在以后进行详细的阐述; 而钝感剂是一种高分子聚酯, 经证实是不发生迁移的<sup>[10]</sup>。

### 3.2 静态性能测试

通过密闭爆发器实验, 得到 5/7 石和 MSBP-5/7 两种发射药的  $p-t$ 、 $L-B$  曲线, 并算出相应的燃烧渐增因子  $P_r$  值, 如图 1 和表 2 所示。

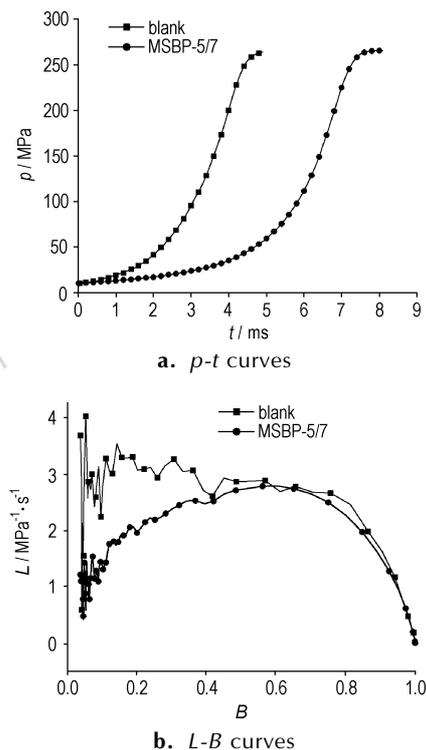


图 1 两种发射药的  $p-t$  曲线和  $L-B$  曲线

Fig. 1  $p-t$  curves and  $L-B$  curves of two propellants

从图 1 的  $p-t$  曲线可以看出, 与 5/7 石相比较, MSBP-5/7 起始燃烧缓慢, 达到最大压力的时间延长

近 3.8 ms 左右。对比  $L-B$  曲线发现,MSBP-5/7 在前期尤其是  $B$  值小于 0.4 范围内,燃烧活度显著低于 5/7 石。这是由于起始时钝感剂浓度高,而硝化甘油浓度低所造成的。随着燃烧的进行,硝化甘油浓度逐步增大,而钝感剂浓度逐步降低,MSBP-5/7 的燃烧活度与 5/7 石相当。从整个燃烧过程来看,正是由于 MSBP-5/7 采

用“浸渍-钝感”工艺,硝化甘油和钝感剂浓度分布的特点,使得  $L_s \times B_s$  的值增大, $L_{0.1} + L_{0.3}$  的值减小,总体上使得燃烧渐增性因子  $P_r$  值显著变大,从 5/7 石的 0.035 提高到 MSBP-5/7 的 0.445,燃烧渐增性获得很大提高,这从表 2 的结果可以看出。

表 2 两种发射药中的  $P_r$  值Table 2 Values of  $P_r$  of two propellants

sample	$L_s$ /MPa <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup>	$B_s$	$(L_s \times B_s)$ /MPa <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup>	$L_{0.1}$ /MPa <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup>	$L_{0.3}$ /MPa <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup>	$(L_{0.1} + L_{0.3})$ /MPa <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup>	$P_r$
blank	4.048	0.053	0.215	2.793	3.286	6.079	0.035
MSBP-5/7	2.805	0.605	1.697	1.412	2.400	3.812	0.445

### 3.3 内弹道性能

将制得的改性单基发射药 MSBP-5/7 和对比药 5/7 石在 857-30 mm 制式弹道炮上进行内弹道试验,结果见表 3,表中结果为七发数据的平均值。

表 3 857-30 mm 火炮的内弹道实验结果

Table 3 Results of interior ballistic experiment of 857-30 mm gun

sample	propellant mass /g	maximum pressure /MPa	muzzle velocity /m · s <sup>-1</sup>	$\Delta p_m$ /MPa	$\Delta v_0$ /m · s <sup>-1</sup>
blank	95	280.5	856.6	12.5	15.3
MSBP-5/7	106	280.2	941.3	10.4	13.4

从试验结果可以看出,在保持最大膛压不变的情况下,对比 5/7 石,MSBP-5/7 的初速从  $856.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  提高到  $941.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,提高了 9.8%。这是由于 MSBP-5/7 硝化甘油和钝感剂浓度分布的特点,使得燃烧高压期推迟,膛内空间的增大弥补了气体生成速率的增大,造成膛压不降或降幅很小,进而为弹丸在膛内的运动提供了充足的动力,最终有效提高了弹丸的初速。同时从表 3 中也可以看出 MSBP-5/7 初速跳差、压力跳差都比 5/7 石小,说明 MSBP-5/7 发射药具有好的燃烧稳定性。

## 4 结论

“浸渍-钝感”工艺所制得的改性单基药烧蚀量比制式单基发射药降低了 16.4%; 燃烧渐增因子  $P_r$  由 0.035 提高到 0.445,燃烧渐增性明显增强; 初速提高了 9.8%,内弹道性能得到显著改善; 初速跳差、压力跳差小,具有良好的燃烧稳定性。该改性单基发射

药具有高燃烧渐增性、低烧蚀的优点。

### 参考文献:

- [1] 王泽山,徐复铭,张豪侠. 火药装药设计原理[M]. 北京: 兵器工业出版社,1995.
- [2] 王泽山,韩盘铭,张续柱,等. 火药试验[M]. 北京: 兵器工业出版社,1986.
- [3] 张豪侠. 身管武器的防烧蚀与低烧蚀发射药的研制[J]. 现代兵器,1982,9: 11-12.  
ZHANG Hao-xia. Anti-erosion of barrel weapon and development of the low erosion propellant[J]. *Modern Weaponry*, 1982,9: 11-12.
- [4] 陈永才,宋道志,王建中. 含纳米添加剂发射药的烧蚀性能研究[J]. 兵工学报,2007,28(3): 329-331.  
CHEN Yong-cai, SONG Qiu-zhi, WANG Jian-zhong. Thermochemical erosion of propellant with nanometer additives[J]. *Acta Armamentarii*,2007,28(3): 329-331.
- [5] 堵平,廖昕,王泽山. 表面处理对单基药燃烧性能的影响[J]. 含能材料,2010,18(3): 348-350.  
DU Ping, LIAO Xin, Wang Ze-shan. Effect of surface treatment on burning performance of single-base gun propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010,18(3): 348-350.
- [6] 王琼林,刘少武,于慧芳,等. 高性能改性单基发射药的制备与性能[J]. 火炸药学报,2007,30(6): 68-71.  
WANG Qiong-lin, LIU Shao-wu, YU Hui-fang, et al. Preparation and properties test of high performance modified single base gun propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2007,30(6): 68-71.
- [7] 刘波,王琼林,刘少武,等. 提高改性单基药燃烧性能的研究[J]. 火炸药学报,2010,33(4): 82-85.  
LIU Bo, WANG Qiong-lin, LIU Shao-wu, et al. Study on improvement of combustion performance of the modified single base propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2010,33(4): 82-85.
- [8] 王琼林,赵小锋,刘少武,等. 一种基于密闭爆发器试验的发射药燃烧渐增性定量评价方法[J]. 火炸药学报,2009,32(3): 71-74.  
WANG Qiong-lin, ZHAO Xiao-feng, LIU Shao-wu, et al. A quantitative assessment method of gun propellant combustion progressivity based on closed bomb test[J]. *Chinese Journal of Ex-*

*sives & Propellants*, 2009, 32(3): 71–74.

[9] 潘清, 王琼林, 王明, 等. 显微红外光谱法测定改性单基发射药中功能组分的浓度分布[J]. 火炸药学报, 2009, 32(3): 79–82.

PAN Qing, WANG Qiong-lin, WANG Ming, et al. Determination the concentration profile of functional components in modified single base propellant by FTIR microspectroscopy [J]. *Chinese*

*Journal of Explosives & Propellants*, 2009, 32(3): 79–82.

[10] 刘少武, 刘波, 郑双, 等. 高分子钝感剂在两种发射药中的迁移性能[J]. 含能材料, 2010, 18(6): 635–638.

LIU Shao-wu, LIU Bo, ZHENG Shuang, et al. Migration of polymer deterrent in two kinds of propellants [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailliao)*, 2010, 18(3): 635–638.

## A Study of Propellant with Low Erosion and High Combustion Progressivity

LIU Bo, WANG Qiong-lin, LIU Shao-wu, ZHENG Shuang, YU Hui-fang, WEI Lun, ZHANG Yuan-bo

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

**Abstract:** The modified single base propellant was prepared by using an impregnated-deterred technology. The erosion of the propellant to barrel was characterized by erosion tube test. The static combustion performances of the propellant were investigated by closed-bomb test. The dynamic interior ballistic performance of the propellant was studied by 857-30 mm gun. The results show that compared with the conventional single propellant, the barrel erosion of the modified single base propellant decreases by 16.4%, the value of progression factor ( $P_r$ ) increases from 0.035 to 0.445, and the muzzle velocity increases by 9.8% from  $856.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  to  $941.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , revealing that the modified single propellant prepared in this work has the advantages of high combustion progressivity and low erosion.

**Key words:** physical chemistry; the modified single base propellant; erosion tube test; progressive combustion; low erosion

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

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.05.019