

文章编号: 1006-9941(2012)03-0345-04

## 改性单基发射药温度系数研究

刘少武, 刘波, 王琼林, 王锋, 于慧芳, 李达

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 采用“浸渍-钝感-包覆”工艺, 制得了改性单基发射药。采用密闭爆发器和 857-30 mm 制式弹道炮研究了该发射药的燃烧性能和内弹道性能。分析了改性单基发射药的结构。结果发现, 与制式单基发射药相比较, 改性单基发射药无论是常温还是高温, 初速至少提高 5%。所制得的改性单基发射药在 857-30 mm 制式弹道炮上具有低温度系数的特点, 这是由端面封堵拉链状结构的形成及药体表面变软引起的。

**关键词:** 物理化学; 改性单基发射药; 内弹道性能; 温度系数

**中图分类号:** TJ55; O64

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.03.018

### 1 引言

装药的温度系数直接反映环境温度对弹药弹道性能的影响。环境温度的变化, 不仅降低武器的弹道性能, 限制发射药能量的利用, 增加武器的设计难度, 而且还影响武器系统的安全性。因此, 降低装药温度系数的研究, 受到国内外装药工作者的普遍重视<sup>[1-5]</sup>。

改性单基发射药采用“浸渍-钝感-包覆”工艺, 在单孔、七孔或十九孔以硝化棉为基本能量组分的粒状单基药的基础上, 先浸渍增塑剂, 再用钝感剂进行钝感处理, 最后用包覆剂在外表面进行包覆<sup>[6-8]</sup>。国外文献<sup>[9]</sup>报道, 改性单基发射药极大地降低了传统发射药的温度敏感系数, 具有低温度系数的特点。国内关于低温度系数的理论研究有堵孔理论、药体变软理论<sup>[2]</sup>, 但对于改性单基药低温度系数的理论研究及解释, 还没有文献报道。本工作以 5/7 单基药为研究对象, 通过“浸渍-钝感-包覆”工艺, 制备出改性单基发射药, 在 857-30 mm 制式弹道炮上进行试验, 发现其具有低温度系数特征, 同时从发射药的结构上探讨了造成低温度系数的原因, 并通过密闭爆发器实验得到了验证。

### 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, 增塑剂为 NG 溶液, 钝感剂为 204 所自主合成的 NA 聚酯, 包覆剂为 NC + NG + NA 的混合液。参考文献<sup>[7-8]</sup>, 制备出改性单基发射药, 标记为 MSBP-5/7。对比药选择制式的 5/7 石, 以下简称 blank。

#### 2.2 内弹道性能测试

对制备出的改性单基发射药 MSBP-5/7 和对比药 blank, 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 GJB349.4-1987 进行; 膛压测试方法按 GJB349.5-1987 进行。表 1 为 857-30 mm 火炮的构造诸元。

表 1 857-30 mm 制式火炮的构造诸元

Table 1 The formation parameters of 857-30 mm gun

$d/\text{mm}$	$W_0/\text{mL}$	$S/\text{cm}^2$	$m_0/\text{g}$	$L_g/\text{mm}$
30	130	7.07	380	2240

Note:  $d$  is gun caliber;  $W_0$  is chamber volume;  $S$  is transection area of barrel;  $m_0$  is mass of projectile;  $L_g$  is traveling length of projectile.

#### 2.3 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 2<sup>#</sup> NC、药量 1.1 g、点火压力 10 MPa 的条件下, 在常规密闭爆发器中测试 MSBP-5/7 和对比药 blank 在

收稿日期: 2011-05-13; 修回日期: 2011-12-03

作者简介: 刘少武(1970-), 男, 副研究员, 主要从事发射药装药技术研究。e-mail: 446969559@qq.com

通讯联系人: 刘波(1972-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事发射药装药技术研究。e-mail: liubliw@163.com

-40 °C、20 °C、50 °C 温度下的静态燃烧性能, 得到  $p$ (压力)- $t$ (时间) 曲线。对测得的  $p-t$  数据进行处理, 得到不同温度下的  $dp/dt-t$  曲线。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 内弹道试验

将制得的改性单基发射药 MSBP-5/7 和对比药 blank 在 857-30 mm 制式弹道炮上进行内弹道试验, 得到的膛压(初速)-温度曲线如图 1 所示。

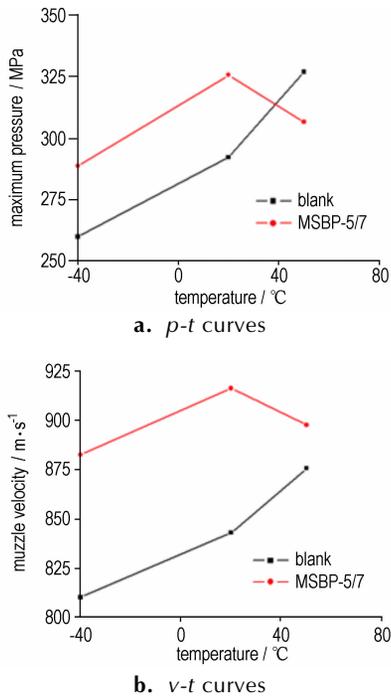


图 1 blank 和 MSBP-5/7 的膛压(初速)-温度曲线

Fig. 1 Curves of maximum pressure-temperature (a) and muzzle velocity-temperature (b) of blank and MSBP-5/7

从图 1 可以看出, 对比 blank, 改性单基药的常温膛压获得很大的余量, 在保证高温膛压正常的前提下, 提高常温膛压, 达到大幅度提高初速的目的, 提高的幅度至少在 5% 以上。说明将改性单基药应用于 857-30 mm 炮上, 炮口动能大幅提高。对比药 blank 的膛压和初速随温度变化较大, 而改性单基药 MSBP-5/7 的膛压和初速随温度变化较小。也就是说, 改性单基药 MSBP-5/7 在 857-30 mm 制式弹道炮上具有低温度系数的特点。

#### 3.2 低温度系数机理探讨

改性单基发射药采用的是“浸渍-钝感-包覆”工艺, 先浸渍增塑剂, 再用钝感剂进行钝感处理, 最后用包覆剂在外表面进行包覆。制备出的改性单基药沿轴向剖开, 在显微镜下观察, 发现改性单基发射药的结构

特征如图 2 所示。从外到内依次是: (1) 外覆盖层缓燃层; (2) NG 和 NA 的浸渍钝感层; (3) 发射药本体层。其中在端面还有: 闭(堵)层, 包括表面覆盖层, 以及浸渍钝感层在内孔的端面部分; 可膨胀层, 包括浸渍钝感层在内孔的延伸部分。

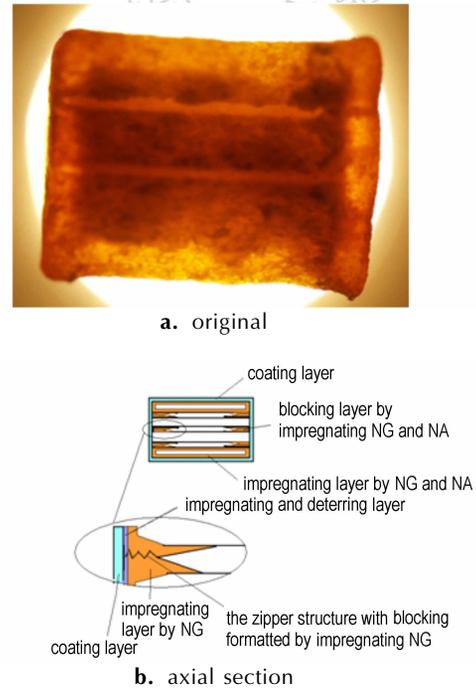


图 2 MSBP-5/7 的实际图 (a) 和切面结构示意图 (b)

Fig. 2 Original photo (a) and schematic diagram (b) along the axial section of MSBP-5/7

改性单基药的燃烧过程可以分为以下六个主要部分: (1) 开始点火, 药床被压缩, 药粒先局部点火, 然后全面点着; (2) 外覆盖层燃烧完全; (3) 浸渍层燃烧至内孔开始暴露; (4) 浸渍层破孔至内孔全部暴露; (5) 火药燃烧至分裂点; (6) 分裂物燃烧至燃烧结束。在各层结构中, 与温度系数有关的结构有: (1) 缓燃层, 包括表面覆盖层、浸渍钝感层; (2) 闭(堵)层, 包括表面覆盖层, 以及浸渍钝感层在内孔的端面部分; (3) 可膨胀层, 包括浸渍钝感层在内孔的延伸部分; (4) 表面高温发软层, 包括发射药各种表层。

对改性单基药, 由于浸渍了硝化甘油和聚酯钝感剂, 形成了拉链状内孔端面浸渍层结构, 越靠近表面拉链闭合得越严密, 常温时拉链基本处于半拉半开状态。低温时拉链大部分拉开, 不具备堵孔效应, 燃烧总面积增大; 高温时, 由于火药材料膨胀, 使拉链闭合部分变长, 导致对内孔的堵塞作用加剧, 使得高温燃烧总面积显著降低。包覆之后, 拉链状内孔端面即被较严密封堵, 形成了带端面封堵的拉链状内孔端面浸渍层结构。

另外,发射药表层在高温下变软,加剧了高温燃烧总面积的变小效应;低温下变硬,使得低温燃烧总面积增大。如果没有以上因素的作用,发射药在低温下膛压和初速由于温度降低而下降,在高温下膛压和初速由于温度升高而增大。但由于以上因素的作用,使得改性单基药低温下燃烧面积大幅度提高,弥补了由于温度降低而造成膛压和初速的下降;高温下燃烧面积小幅降低,抵消了由于温度升高而造成膛压和初速的增

大。表现在内弹道上就是膛压和初速随温度变化很小,具有低温度系数的性能。

### 3.3 密闭爆发器试验

通过密闭爆发器实验,得到对比药 blank 和 MSBP-5/7 在不同温度下的  $p-t$  曲线。对测得的  $p-t$  数据进行处理,得到不同温度下各自的  $dp/dt-t$  曲线。结果如图 3 和图 4 所示。

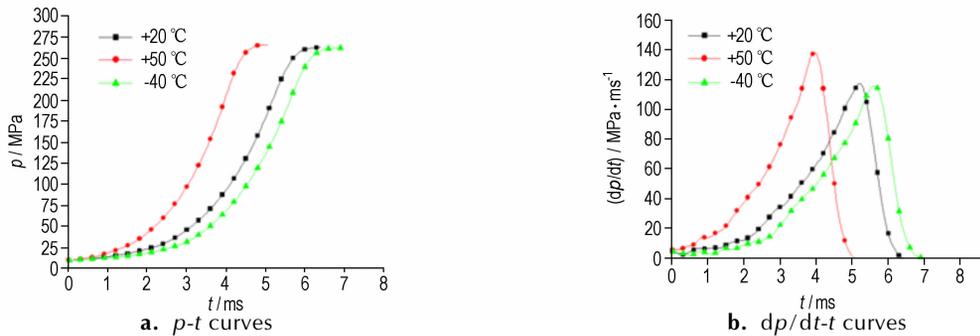


图 3 对比药 blank 不同温度下的  $p-t$  曲线(a)和  $dp/dt-t$  曲线(b)

Fig.3 The  $p-t$  and  $dp/dt-t$  curves of blank at different temperatures

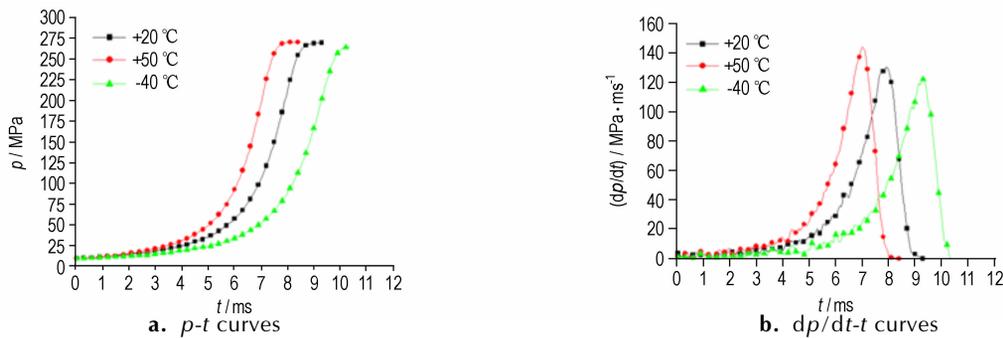


图 4 MSBP-5/7 药在不同温度下的  $p-t$  曲线(a)和  $dp/dt-t$  曲线(b)

Fig.4 The  $p-t$  and  $dp/dt-t$  curves of MSBP-5/7 at different temperatures

将图 3 和图 4 中 MSBP-5/7 和 blank 在低温、常温和高温下达到最大  $dp/dt$  时的时间  $t_m$  和对应的值  $(dp/dt)_m$  列在表 2 中。

表 2 MSBP-5/7 和 blank 在不同温度下达到最大  $dp/dt$  时的时间  $t_m$  和对应的值  $(dp/dt)_m$

Table 2 The values of  $t_m$  and  $(dp/dt)_m$  of MSBP and blank at different temperatures

sample	temperature/°C	$t_m$ /ms	$(dp/dt)_m$ /MPa·ms <sup>-1</sup>
blank	-40	5.6	115.818
	20	5.2	117.515
	50	4.0	138.180
MSBP-5/7	-40	9.3	122.312
	20	7.9	130.359
	50	7.0	144.039

对于 blank,和常温相比较,低温下达到最大  $dp/dt$  时的时间增加了,其增加量  $(\Delta t_{in})_b = (t_m)_l - (t_m)_n = 5.6 \text{ ms} - 5.2 \text{ ms} = 0.4 \text{ ms}$ ; 而高温下达到最大  $dp/dt$  时的时间减少了,其减少量  $(\Delta t_{hn})_b = (t_m)_n - (t_m)_h = 5.2 \text{ ms} - 4.0 \text{ ms} = 1.2 \text{ ms}$ 。对于 MSBP-5/7,和常温相比较,低温下达到最大  $dp/dt$  时的时间也增加了,其增加量  $(\Delta t_{in})_M = (t_m)_l - (t_m)_n = 9.3 \text{ ms} - 7.9 \text{ ms} = 1.4 \text{ ms}$ ; 而高温下达到最大  $dp/dt$  时的时间同样减少了,其减少量  $(\Delta t_{hn})_M = (t_m)_n - (t_m)_h = 7.9 \text{ ms} - 7.0 \text{ ms} = 0.9 \text{ ms}$ 。低温下,  $(\Delta t_{in})_b < (\Delta t_{in})_M$ ,说明低温下 MSBP-5/7 的燃烧总面积增大了,而燃烧面积的增大正是由于端面封堵的拉链结构形成的堵孔层破裂所造成的; 高温下,  $(\Delta t_{hn})_b > (\Delta t_{hn})_M$ ,说明高温下

MSBP-5/7 的燃烧总面积减少了, 而燃烧面积的减少正是由于高温下药体表面变软, 加剧了堵孔, 使得堵孔层不易破裂所造成的。这一点与前面所探讨的温度系数机理图相吻合, 是由于端面封堵的拉链结构所造成的。 $(dp/dt)_m$  的点是  $p-t$  曲线的拐点, 该点是火药燃烧分裂点<sup>[2]</sup>。高温下 MSBP-5/7 和 blank 的  $(dp/dt)_m$  的比值为 1.042, 低温下的比值为 1.056, 常温下的比值为 1.109, MSBP-5/7 高温下的燃烧分裂点推迟, 而低温下的燃烧分裂点提前, 从而使得 MSBP-5/7 高温下的膛压(初速)升高得到抑制, 而低温下的膛压(初速)降低也得到抑制, 这正是造成低温度系数的原因。

#### 4 结 论

(1) 在 857-30 mm 制式弹道炮上, 通过“浸渍-钝感-包覆”工艺所制得的改性单基药, 无论是常温还是高低温, 速度和炮口动能都有所提高。可以在保证高温膛压正常的前提下, 提高常温膛压, 大幅提高初速。

(2) 造成改性单基药在 857-30 mm 制式弹道炮上具有低温度系数的原因是由于形成了带端面封堵的拉链状结构, 低温时药体堵孔层破裂, 燃烧面积增大; 高温时药体表面变软, 加剧了堵孔, 使得燃烧面积降低。这一机理通过密闭爆发器的结果得以验证。

#### 参考文献:

- [1] 赵其林, 黄顺友, 李纯志. 球扁药低温度系数装药研究[J]. 火炸药, 2004, 27(4): 42-45.  
ZHAO Qi-lin, HUANG Shun-you, LI Chun-zhi. The low temperature-sensitive coefficient charge of flat ball gun propellant[J]. *Explosives & Propellants (HUOZHAYAO)*, 2004, 27(4): 42-45.
- [2] 王泽山, 史先杨. 低温度感度发射装药[M]. 北京: 国防工业出

- 版社, 2006: 219.
- [3] 芮久后, 黄辉, 王泽山. 硝酸包覆火药工艺及弹道性能研究[J]. 含能材料, 2004(增刊): 147-149.  
RUI Jiu-hou, HUANG Hui, WANG Ze-shan. Study on the coating technology and ballistic performance of the coated nitramine propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004(supplement): 147-149.
- [4] 王琼林. 发射药装药温度系数的塑性调节原理[J]. 火炸药学报, 2002, 25(1): 4-7.  
WANG Qiong-lin. New method of adopting the temperature sensitivity of gun propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (HUOZHAYAO XUEBAO)*, 2002, 25(1): 4-7.
- [5] 史先杨, 王泽山. 低温感高能硝铵发射药的实验研究[J]. 火炸药学报, 2001, 24(1): 4-6.  
SHI Xian-yang, WANG Ze-shan. Experiments on the low temperature sensitivity coefficient high-energy nitroamine propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (HUOZHAYAO XUEBAO)*, 2001, 24(1): 4-6.
- [6] 梁勇, 王琼林, 于慧芳, 等. 增能钝感单基药的燃烧特性[J]. 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[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2007, 15(6): 597-599.
- [7] 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 (HUOZHAYAO XUEBAO)*, 2007, 30(6): 68-71.
- [8] 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 (HUOZHAYAO XUEBAO)*, 2010, 33(4): 82-85.
- [9] Vogelsanger B, Ryf K. El-technology - the key for high performance propulsion design[C]//34th Annual Gun and Ammunition Symposium and Exhibition, Montereyca, 1999.

### Temperature Coefficient of the Modified Single-based Propellant

LIU Shao-wu, LIU Bo, WANG Qiong-lin, WANG Feng, YU Hui-fang, LI Da

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

**Abstract:** The modified single-based propellant was prepared by the “impregnated-deterred-coated” technology. The combustion and interior ballistic performances of the propellant were investigated by closed-bomb and 857-30 mm gun. The structure of the modified single-based propellant was analyzed. The results show that in comparison with conventional single-based propellant, the muzzle velocity of modified single-based propellant increases by 5% at least at normal, high and low temperatures. The modified single-based propellant has the characteristics of low temperature coefficient when used in the 857-30 mm gun. It is resulted from the formation of the zipper structure with end sealing and the softness of the body surface.

**Key words:** physical chemistry; the modified single-based propellant; interior ballistic performance; the temperature coefficient

**CLC number:** TJ55; O64

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.03.018