

文章编号: 1006-9941(2012)01-0076-04

颗粒模压发射药的燃烧性能

姚月娟, 刘少武, 王琼林, 张远波, 魏伦, 王锋, 刘波, 韩冰

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 以粒状高能硝胺发射药 RGD7A-6/7 药为基药, 采用密闭爆发器和 30 mm 模拟弹道炮试验, 研究了颗粒模压发射药模块的密度和基药的表面处理方法对其燃烧性能的影响。分析了不同模块的密度、不同表面处理基药的颗粒模压发射药的燃烧 $p-t$ 曲线、 $L-B$ 曲线特征, 得到了模块的密度和基药的表面处理方法对颗粒模压发射药的燃烧性能的影响规律。研究表明: 在一定密度范围内 ($1.0 \sim 1.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), 模压药越密实, 燃烧渐增性越好; 经过表面钝感、包覆后的基药压制成型的模压发射药 MD7 燃烧渐增性最好。内弹道试验结果表明, MD7 在膛压低于空白药 29.7 MPa 的情况下, 弹丸初速提高了 6.6%, 炮口动能提高了 13.8%。

关键词: 应用化学; 颗粒模压发射药; 燃烧性能; 密度; 基药

中图分类号: TJ55; O69

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.01.018

1 引言

提高装药总能量及其能量利用率是提高火炮威力的有效途径之一^[1-4]。颗粒模压发射药是将钝感技术、包覆技术和模压技术结合在一起, 有效利用药室空间, 实现高装填密度, 满足武器高初速性能的要求。对比传统的粒状发射药, 颗粒模压发射药单位容积能量密度能够提高 20% ~ 40%^[5-6]。颗粒模压药的优点在于能提高装药的装填密度, 改善发射药的燃烧渐增性, 提高武器系统的效率, 即提高射速、改善机动性、提高可靠性能。

颗粒模压发射药的燃烧是先从粘结剂开始燃烧, 粘结剂的燃烧促使模压药块开始解体, 然后基药再燃烧。基药解体后燃面迅速增加, 使最大压力出现在膛容较大的瞬间, 有效遏制了膛内初始压力的快速上升, 发射药燃烧后生成的热能部分转化为火炮动能, 达到提高火炮初速的目的。在颗粒模压药解体燃烧的前半程, 通过调节颗粒模压药的密实性, 减缓药体的起始燃烧, 调节模块解体燃烧特性, 在颗粒模压药解体燃烧的后半程, 通过调节颗粒模压发射药的基药性能来改变发射药在膛内的燃烧状态, 实现武器高初速性能。在此基础上, 本研究设计了四种模块密度和三种不同基药处理方法的颗粒模压发射药样品, 利用密闭爆发

器试验和 30 mm 模拟弹道炮试验, 获得了模块密度和基药的表面处理方法对其燃烧性能的影响规律。

2 实验

2.1 样品制备

以高能硝胺发射药 RGD7A-6/7 粒状药为基药。称取一定量基药, 用黏结剂进行涂覆。黏结剂采用一种高温 ($>40 \text{ }^\circ\text{C}$) 变软、低温 ($<-20 \text{ }^\circ\text{C}$) 变脆的含能粘结剂 B, 质量分数 1% ~ 5%。用非挥发性溶剂将含能黏结剂完全溶解, 均匀涂覆在基药表面上, 在特制模具中将涂覆好的药粒压成一定形状的模块, 经处理后得到颗粒密实模块药试验样品。其中样品 MD1、MD2、MD3、MD4 是以空白 RGD7A-6/7 为基药, 药柱的密度分别是 1.05, 1.15, 1.25, 1.35 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。样品 MD5、MD6 和 MD7 的药柱密度均为 1.25 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, MD5 是将空白 RGD7A-6/7 粒状药经过包覆处理后制成的颗粒模压发射药, MD6 是空白 RGD7A-6/7 粒状药钝感处理后制成的颗粒模压发射药, MD7 是空白 RGD7A-6/7 粒状药经过钝感, 然后再进行包覆处理模压制成的颗粒模压发射药。

2.2 发射药静态燃烧性能的测定

在装填密度为 0.2 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 实验温度 20 $^\circ\text{C}$, 点火药为 2[#] NC, 药量 1.1 g, 点火压力 10 MPa 的实验条件下, 在常规密闭爆发器中测试了样品的静态燃烧性能, 并对密闭爆发器试验得到样品的 $p-t$ 曲线进行处理, 得到 $L-B$ 曲线。

收稿日期: 2011-01-12; 修回日期: 2011-07-03

作者简介: 姚月娟(1978-), 女, 助研, 从事发射药装药研究。

e-mail: yuejuan-yao@126.com

2.3 发射药静态燃烧渐增性能定量评价^[7]

本研究采用发射药燃烧渐增性因子 P_r 表征发射药静态燃烧性能,其定义如下:

$$P_r = B_s \times L_s / (L_{0.1} + L_{0.3}) \quad (1)$$

式中, P_r 为发射药燃烧渐增性因子, P_r 值越大, 燃烧渐增性越强; L 为动态活度, 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动态活度值, $L_{0.1}$ 为相对压力 0.1 对应的动态活度值, $L_{0.3}$ 为相对压力 0.3 对应的动态活度值。

2.4 弹道试验

弹道试验采用 30 mm 高压模拟试验火炮, 弹丸质量约 200 g, 火炮身管为滑膛结构, 弹丸行程长 1.66 m, 药室容积 0.335 dm³。用靶线法测试弹丸距炮口 10 m 处的速度, 用铜柱测试膛底最大压力, 点火药为 2[#] 小粒黑。

3 结果与讨论

3.1 密度对模压药燃烧性能的影响

RGD7A-6/7 基药及 MD1、MD2、MD3 和 MD4 共 5 种样品的密闭爆发器试验 $p-t$ 曲线如图 1 所示。试验表明, 随着密度的增加, 模压药的压力上升变缓, 达到最大压力所需时间越长。这说明: 在一定密度范围内, 模压药能有效遏制膛内初始压力的上升; 模压药的密度越大, 膛内初始压力上升越慢, 能有效地抑制弹丸运动初期膛内的压力增长。

计算上述 5 种样品燃烧渐增因子 P_r 值, 见表 1。由表 1 可见基药 RGD7A-6/7 的 P_r 值是 0.2695, 样品 MD1、MD2、MD3、MD4 的 P_r 值均高于散状基药, 这表明颗粒模压药具有良好的燃烧渐增性。

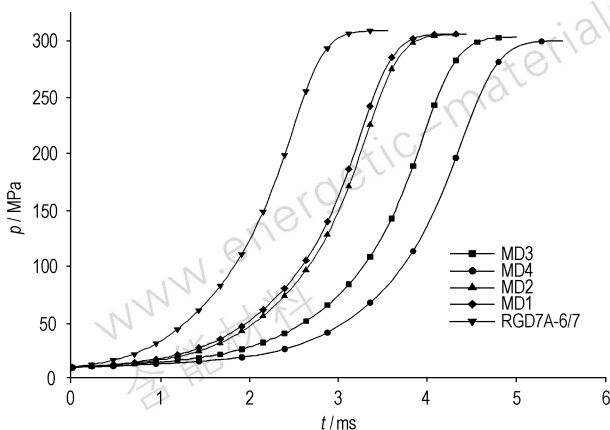


图 1 不同密度样品的 $p-t$ 曲线

Fig. 1 $p-t$ curves of samples with different densities

表 1 不同密度样品的 P_r 计算值

Table 1 P_r calculation results of samples with different densities

sample	ρ /g · cm ⁻³	$L_{0.1}$	$L_{0.3}$	L_s	B_s	P_r	P_{max}
RGD7A-6/7		3.8688	2.6120	2.8449	0.6139	0.2695	305.33
MD1	1.05	2.9855	3.6430	3.8738	0.4967	0.2902	305.96
MD2	1.15	3.4504	3.7041	4.0302	0.5329	0.3002	305.47
MD3	1.25	2.7894	3.476	3.9682	0.5171	0.3275	303.21
MD4	1.35	3.3803	3.6983	3.9834	0.5795	0.3261	299.88

上述 5 种样品的 $L-B$ 曲线如图 2 所示。分析 $L-B$ 曲线得出: 模压药的燃烧过程可分为粘结剂的燃烧、粘结剂与基药的共同燃烧、基药燃烧三个阶段。在前期燃烧过程中, 由于整体装药的紧密特性, 燃烧开始阶段的燃面小, 有效地抑制发射药燃烧开始阶段的压力增长。随着粘结剂的燃烧促使药柱解体破裂成原始药粒, 药粒在很宽的燃烧区域内以增速方式燃烧, 其表面燃烧发生在个别热点上或包覆膜的缺陷处, 这些热点和缺陷处在燃烧过程中则汇合在一起, 使燃烧表面增多, 燃速逐渐增加, 使最大压力出现在膛容较大的瞬间, 避免了膛内初始压力上升过快, 并维持一定的压力平台或延缓压力的下降。而模块越密实 (MD4), 起始阶段模压药的解体越慢, 随着燃烧的进行, 模压药开始解体为药粒状, 燃烧总面增大, 燃烧渐增性增强。

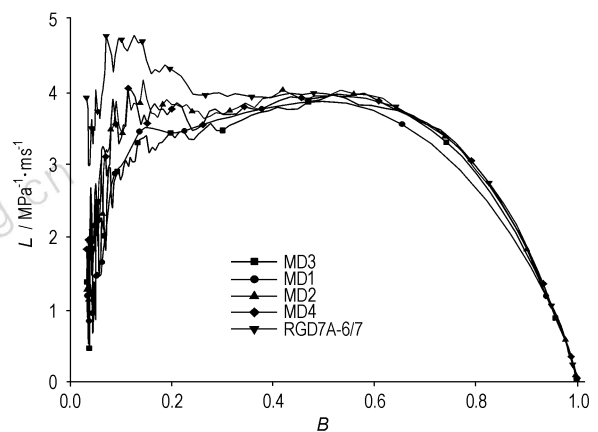


图 2 不同密度样品的 $L-B$ 曲线

Fig. 2 $L-B$ curves of samples with different densities

3.2 基药对模压药燃烧性能的影响

样品 MD5、MD6 和 MD7 的 $p-t$ 曲线和 $L-B$ 曲线分别如图 3、图 4 所示。其 P_r 结果见表 2。从 $p-t$ 曲线 (图 3) 可以看出, MD7 达到最大压力所需时间最长; MD5 达到最大压力所需时间最短。从表 2 可以得出, 样品 MD5, MD6 和 MD7 的 P_r 值分别是 0.4262, 0.5194,

0.6192。MD5、MD6 和 MD7 相比,随着 $(L_{0.1} + L_{0.3})$ 值减小, P_r 值依次增大。这说明经钝感、包覆处理的基药压制成颗粒模压发射药的燃烧性能发生很大变化。从 P_r 值可以看出,颗粒模压发射药的基药的表面处理方式不同,颗粒模压药的燃烧性能的改变程度也不同。分析 $L-B$ 曲线(图4)可以得出,样品 MD5、MD6 和 MD7 在药柱解体破裂成原始药粒,燃烧总面积增大,燃烧渐增性增强。相对 MD5 和 MD6, MD7 起始阶燃烧较慢,燃气生成速率较低,表明钝感包覆的合理匹配有效减缓了基药的起始燃烧,抑制了起始膛压的增长,同时 MD7 燃烧结束点向后延迟,延缓了压力下降,有利于形成压力平台,提高发射药的燃烧渐增性。

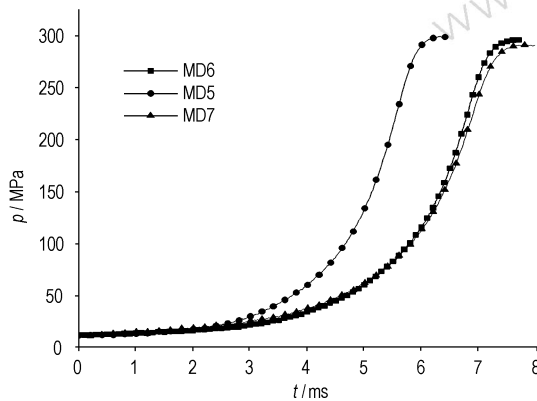


图3 不同基药处理方法样品的 $p-t$ 曲线

Fig. 3 $p-t$ curves of samples with different based-propellants

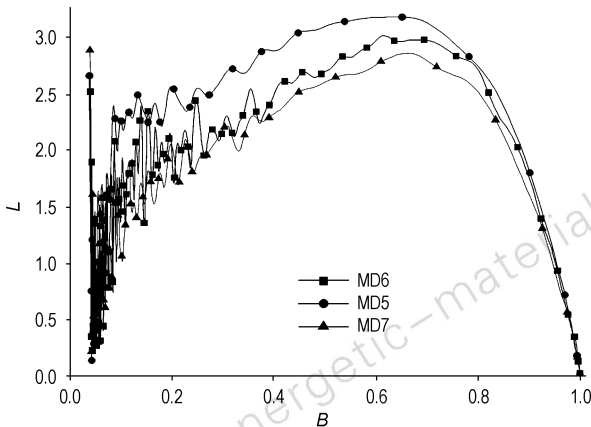


图4 不同基药处理方法样品的 $L-B$ 曲线

Fig. 4 $L-B$ curves of samples with different based-propellants

对 MD5、MD6 和 MD7 和 RGD7A-6/7 4 种样品进行 30 mm 模拟弹道炮试验,常温内弹道试验结果见表3。在保持膛压相当的情况下,与散装药 RGD7A-6/7 相比,样品 MD5、MD6 初速分别提高了 15.8, 41.0 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,提高幅度为 1.2%, 3.1%,炮口动能分别提高了 2.3%,

6.2%; MD7 在膛压低于散装药 29.7 MPa 下,初速提高了 88.8 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,提高幅度为 6.6%,炮口动能提高 13.8%。弹道实验结果表明,相比 MD5、MD6,基药经过钝感包覆处理后的 MD7 的弹道性能最好,表明其燃烧渐增性最好。这主要因为基药经过表面钝感包覆处理后,燃烧过程中的高压期出现推迟,随着燃烧的进行,气体生成速率越来越大,为弹丸在身管中的运动提供充足的动力,有效提高了弹丸初速。

表2 不同基药处理方法样品的 P_r 计算值

Table 2 P_r calculation results of samples with different based-propellants

sample	$L_{0.1}$	$L_{0.3}$	$(L_{0.1} + L_{0.3})$	L_s	B_s	P_r	P_{\max}
MD5	2.3829	2.7428	5.1257	3.2846	0.6651	0.4262	299.0
MD6	1.3621	2.2846	3.6467	3.0386	0.6233	0.5194	294.84
MD7	1.0796	2.1951	3.2747	2.9624	0.6824	0.6192	290.38

表3 不同基药处理方法样品内弹道试验结果

Table 3 Test results of samples with different based-propellants obtained by interior ballistic test

sample	m/g	p/MPa	$v_0/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\Delta v/\%$	$\Delta E/\%$
RGD7A-6/7	180	443.0	1354.7		
MD5	212.4	432.4	1370.5	1.2	2.3
MD6	233.5	425.7	1395.7	3.1	6.2
MD7	260.2	413.3	1443.5	6.6	13.8

Note: m is mass; p is chamber pressure; v_0 is velocity; Δv is the increase of muzzle velocity; ΔE is the increase of muzzle kinetic energy.

4 结论

(1) 颗粒模压发射药通过改变其密实性来改善燃烧渐增性,采用不同密实性的模压药,可控制发射药燃烧渐增性,有效地提高了武器弹道性能。在一定范围内($1.0 \sim 1.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$),颗粒模压发射药越密实,则其解体越慢,燃烧渐增性越好。

(2) 散状基药的表面处理对模块药的性能有较大的影响,对基药进行表面处理可明显改变模压发射药的燃烧规律,提高燃烧中后期燃气生成活度,有利于提高颗粒模压发射药的燃烧渐增性,经过钝感包覆处理过的模压药 MD7 的燃烧渐增性因子从空白药的 0.2695 提高到 0.6192,在膛压相对较低的情况下,弹丸初速提高了 88.8 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,提高幅度为 6.6%,炮口动能提高了 13.8%。

参考文献:

- [1] Rivera J. Combustion behavior of programm splitting stick propellant[R]. ADA242661.
- [2] 王泽山. 发射药技术的展望[J]. 华北工学院学报, 2001(增刊): 36-40.
WANG Ze-shan. Development and prospect of propellant techniques[J]. *Chinese Journal of North University of China*, 2001: 36-40.
- [3] 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.
- [4] 郑双, 刘波, 于慧芳, 等. 钝感三基发射药的燃烧性能[J]. 含能材料, 2010, 18(6): 677-680.
ZHENG Shuang, LIU Bo, YU Hui-fang, et al. Combustion characteristics of desensitized triple base propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(6): 677-680.
- [5] 梁勇, 姚月娟, 杨建, 等. 颗粒密实模块药的弹道性能[J]. 火炸药学报, 2010, 33(3): 51-54.
LIANG Yong, YAO Yue-juan, YANG Jian, et al. Ballistic performance of gun propellant grain compressed modular[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2010, 33(3): 51-54.
- [6] 马忠亮, 夏萍, 贺增弟, 等. 胶黏固结发射药的燃烧性能[J]. 火炸药学报, 2006, 29(5): 60-62.
MA Zhong-liang, XIA Ping, HE Zeng-di, et al. Combustion properties of a glued consolidation gun propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2006, 29(5): 60-62.
- [7] 王琼林. 发射药程序控制燃烧技术基础研究中期总结报告[R]. 2006年度发射药程序控制燃烧技术专题讨论会. 西安: 西安近代化学研究所, 2006.

Burning Performance of Grain-molded Propellant

YAO Yue-juan, LIU Shao-wu, WANG Qiong-lin, ZHANG Yuan-bo, WEI Lun, WANG Feng, LIU Bo, HAN Bing

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

Abstract: The effects of density of grain-molded gun propellant and surface treatment of based-propellant on combustion performance of the grain-molded gun propellant were studied by closed-bomb test and 30 mm simulation ballistic gun test using high energy grain nitramine propellant RGD7A-6/7 as based-propellant. The characteristics of $p-t$ and $L-B$ curves for grain-molded gun propellant with different modular densities and different surface treatment of based-propellant were analyzed. The influences of density and surface treatment on the combustion property of the grain-molded gun propellant were obtained. The results show that in the density range from $1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ to $1.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, the higher the density of the grain-molded propellant is, the better its progressivity is. The progressivity of grain-molded gun propellant MD7 obtained with surface-deterred and then surface-coated for based-propellant is the best. The muzzle velocity of MD7 at chamber pressure of 29.7 MPa increases by 6.6%. The muzzle kinetic energy increases by 13.8%.

Key words: applied chemistry; grain-molded propellant; progressive burning; density; based-propellant

CLC number: TJ55; O69

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.01.018