

文章编号: 1006-9941(2013)03-0343-04

NG 含量对改性单基药燃烧渐增性的影响

姚月娟, 刘少武, 王 锋, 于慧芳, 李 达, 陈 腾

(西安近代化学研究所, 陕西, 西安 710065)

摘要: 以 D-5/7 单基发射药为基药, 恒定聚酯含量, 调节硝化甘油(NG)加入量, 制备了 4 种改性单基药样品。通过傅里叶红外光谱(FTIR)、密闭爆发器和 14.5 mm 口径弹道枪试验, 研究了 NG 的加入量对改性单基药的燃烧渐增性的影响。结果表明, NG 的加入量越大, 其渗透度越深, 改性单基药的燃烧渐增性越好, 弹丸初速越快。与 D-5/7 单基发射药相比, 样品 E4(NG 的加入量为 12%) 的弹丸初速提高 $82.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 提高幅度为 8.35%。

关键词: 应用化学; 硝化甘油; 改性单基药; 燃烧渐增性

中图分类号: TJ55; O69

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.03.014

1 引言

改性单基发射药是以单基药为基础, 通过浸渍高能量炸药(如硝化甘油)提高能量, 用高分子聚酯材料进行外表面阻燃处理后得到的一种兼具高能量和高渐增性燃烧规律的发射药。近年来, 国外双基型改性单基发射药应用取得了重大突破, 产生了显著的军事效益, 瑞士联邦火药厂的 E1 发射药从 20 世纪 90 年代开始进入大规模实际应用^[1-5]。改性单基发射药在基础药的配方、药粒尺寸和制造工艺确定以后, 通过改变硝化甘油和钝感剂加入量、硝化甘油和钝感剂在药粒中的渗透深度及分布状态, 使发射药具有高燃烧渐增性、低烧蚀、低温度系数等优良性能。研究硝化甘油在药粒中渗透深度和浓度分布, 对于了解改性单基发射药的燃烧机理, 改进药粒表面处理工艺, 改善发射药的弹道性能, 控制产品质量等都有积极的意义^[6-8]。在此基础上, 本文研究了以 D-5/7 单基粒状发射药为基体药, 保持聚酯钝感剂含量恒定, 设计了四种不同 NG 加入量的改性发射药样品 E1、E2、E3、E4, 硝化甘油加入量依次增大, 并利用显微红外光谱、密闭爆发器试验和 14.5 mm 弹道枪试验, 获得了 NG 加入量对改性单基药燃烧性能的影响规律。

收稿日期: 2012-01-04; 修回日期: 2012-10-22

作者简介: 姚月娟(1978-), 女, 硕士, 从事发射药装药研究。e-mail: yuejuan_yao@126.com

通讯作者: 王锋(1978-), 男, 从事发射药配方及装药技术工作。

2 实验

2.1 样品制备

硝化甘油(NG)、聚酯钝感剂为西安近代化学研究所自制; 空白单基发射药主要组分与制式单基发射药相似, 为专业工厂试制品, 药型为 D-5/7; NG 溶液为 NG、溶剂和辅助材料的混合溶液; 钝感剂乳液由聚酯钝感剂、有机溶剂和水高速乳化而成。

样品的制备过程为: 先将一定量的水、空白单基发射药放入特殊设计的混合容器内, 加热 NG 混合液到温度 $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 缓慢加入 NG 溶液并保持 2 h; 继续升温到 $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 缓慢加入聚酯钝感剂乳液, 并保持 1 h; 最后将物料降至常温, 排料、洗涤、晾药、烘干、光泽, 最后得发射药成品。

样品 E1、E2、E3、E4 的相同钝感剂加入量, NG 的加入量分别为 5%、7%、9%、12%。

2.2 硝化甘油含量分布的测试

采用德国 Micron HM350 型显微切片机进行样品制备, 切片厚度 $6 \text{ }\mu\text{m}$ 。采用美国 Thermo-Fisher 公司 Nexus870 型傅里叶变换红外光谱仪及 Continuum 红外显微镜对样品进行检测, 扫描次数 120 次, 分辨率 8 cm^{-1} , 光谱采集范围 $4000 \sim 650 \text{ cm}^{-1}$ 。

2.3 发射药静态燃烧性能的测定

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 $2^{\#}\text{NC}$ 、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对比药 D-5/7 和样品 E1、E2、E3、E4 的静态燃烧性能, 得到 $p-t$ 曲线, 并对 $p-t$ 曲线

进行处理,得到 $L-B$ 曲线。

2.4 发射药静态燃烧渐增性能定量评价^[9]

采用的综合参量为 P_r , 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能因子, 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。

P_r 的几何意义为: 其大小反映了实际 $L-B$ 曲线趋近理想 $L-B$ 曲线的程度, P_r 值越大, 曲线趋近程度越大。 P_r 的物理意义为: 其值大小反映了发射药燃烧渐增性能的大小, P_r 值越大, 燃烧渐增性能越强。

2.5 内弹道性能测试

选用 14.5 mm 口径试验用机枪进行对比药 D-5/7、样品 E1、E2、E3、E4 的内弹道试验。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 结果及讨论

3.1 NG 浓度分布

样品 E1、E2、E3、E4 是钝感剂加入量相同, NG 的加入量依次增加的四种样品。显微红外光谱测试的 NG 浓度分布的曲线如图 1 所示, 从图 1 中可以看出起始阶段, 随着 NG 加入量的增加, 基体药对 NG 有效吸收率上升; 当 NG 加入量达到一定限度时, 基体药对 NG 有效吸收率下降。表明基体药对 NG 的吸收量有一定的限值。分析测试结果可以看出, 相同工艺条件下, 在一定 NG 的吸收量限值范围内, NG 的渗透深度 (s) 随着加入量增加而增加。与样品 E1 相比, 样品 E2 中 NG 的渗透深度明显变大, 由 270 μm 增加到 320 μm , 样品 E3、E4 分别增大到 380、390 μm ; 四种样品的 NG 浓度最大值对应的渗透深度由 110 μm 分别增加到 130、160、200 μm 。

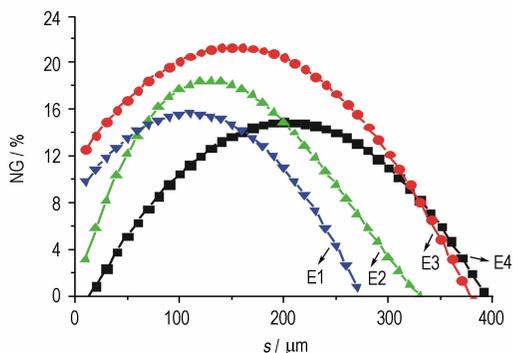


图 1 样品的 NG 浓度分布

Fig.1 NG concentration distribution of samples

3.2 燃烧性能

图 2 和图 3 给出了 D-5/7 与 E1、E2、E3、E4 四个样品的 $p-t$ 曲线和 $L-B$ 曲线。由图 2 可见, 四种样品燃烧时间分别是 8.6、8.5、8.4、7.2 ms。随着 NG 含量的增加, 样品的燃烧时间缩短了 1.4 ms, 这是因为在饱和浓度范围内 NG 加入量是影响发射药燃烧时间的主要因素。由图 3 可见, 对比 D-5/7, 四个样品 $L-B$ 曲线起始燃烧猛度显著降低, 具有明显的燃烧渐增性, 并随着能量的增加, 后期的 L 值提高, 样品 E4 的 NG 加入量最大, 燃烧分裂点处的 L 值明显增高, 燃烧渐增性优于其他三个样品。

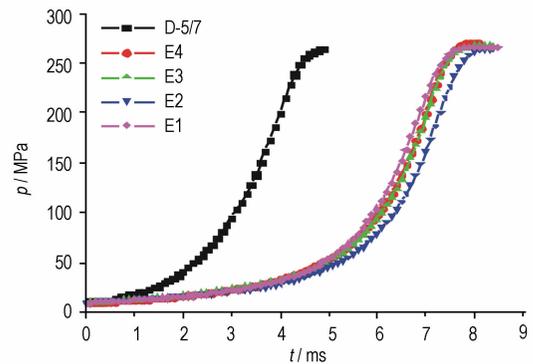


图 2 样品的 $p-t$ 曲线

Fig.2 $p-t$ curves of samples

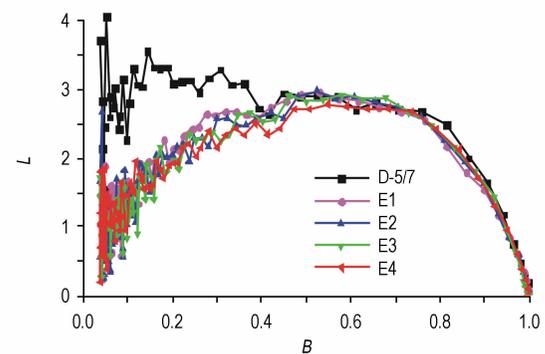


图 3 样品的 $L-B$ 曲线

Fig.3 $L-B$ curves of samples

空白药 D-5/7 及四种样品的 P_r 值见表 1。由表 1 可见, 空白药 D-5/7 的 P_r 值为 0.1693, 样品 E1、E2、E3、E4 的 P_r 值分别提高到了 0.3604、0.4304、0.4925、0.5790, 与 D-5/7 相比, 随着样品的 ($L_{0.1} + L_{0.3}$) 值减小, P_r 值依次增大。即随着 NG 加入量的增大, 改性单基药的燃气生成率随着发射药燃烧比例的增加逐渐变大。

表 1 样品的 P_r 计算值Table 1 Calculated results of P_r of samples

sample	$L_{0.1}$	$L_{0.3}$	L_s	B_s	P_r	P_{MAX}
D-5/7	2.7932	3.1613	3.2857	0.3068	0.1693	264.19
E1	1.6710	2.6273	2.9515	0.5287	0.3604	266.10
E2	1.0474	2.5592	2.9717	0.5223	0.4304	264.95
E3	1.0474	2.3832	2.9155	0.5806	0.4925	268.01
E4	3.1443	2.1572	3.0844	0.5479	0.5790	271.45

分析原因,对比 D-5/7,四个样品在起始过程中燃烧缓慢,其燃烧时间有所延长。从 $L-B$ 曲线上看, D-5/7 起始燃烧活度高,而改性单基发射药的起始燃烧活度显著降低。四个样品中的表面钝感剂 NA 聚酯含量保持恒定,样品基体的 NA 聚酯浓度由表及里呈指数规律下降的形式分布; NG 浓度由表及里呈凸形曲线式分布,所以改性单基药的外层缓燃、中层燃速增加使其燃烧过程平缓,燃气释放规律得到优化,燃烧渐增性获得很大提高。所以改性单基发射药的燃烧渐增性比 D-5/7 强,这从表 1 中可以得到验证。分析爆发器结果可以得到:改性单基发射药的表层能量和燃速形成了一定的梯度,发射药表面钝感剂含量较多,起始阶段的燃速较慢,有效地抑制发射药燃烧开始阶段的压力增长。表面钝感层燃烧结束后,含有 NG 的燃烧层开始燃烧,随着 NG 的渗入量的增加,发射药燃速逐渐增加,使最大压力出现在膛容较大的瞬间,并维持一定的压力平台或延缓压力的下降,有效提高了改性单基发射药的燃烧渐增性。

3.3 14.5 mm 枪内弹道性能测试

样品 E1、E2、E3、E4 的弹道结果见表 2。对比空白药 D-5/7,在膛压相当条件下,改性单基发射药的弹丸初速大幅度提升,E1 初速提高 $33.92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,提高幅度 3.43%; E2 初速提高 $53.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,提高幅度 5.39%; E3 初速提高 $66.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,提高幅度 6.68%; E4 提高初速 $82.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,提高幅度 8.35%。改性单基药在增能后的发射药能量从 E1 到 E4 应该是依次增加的,同时其渐增性也是递增的,但是为了控制膛压,提高弹道性能,对增能后的发射药进行了表面钝感处理,有能量损失,所以样品 E4 的装药量是 35.0 g。

分析弹道试验结果得出,改性单基药的钝感剂和硝化甘油的合理匹配有效减缓了起始燃烧,燃气起始阶段生成速率较低,有效抑制了起始膛压的增长。样品 E4 燃烧结束点向后延迟,延缓了压力下降,形成了压力平台,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 内弹道试验结果

Table 2 Results of propellants obtained by interior ballistic test

sample	m/g	p/MPa	$v_0/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\Delta v/\%$
D-5/7	32.0	270.6	987.7	
E1	33.0	275.1	1021.6	3.43
E2	32.0	280.9	1040.9	5.39
E3	34.0	276.4	1053.7	6.68
E4	35.0	278.4	1070.2	8.35

Note: m is charge mass; p is gun pressure; v_0 is muzzle velocity; Δv is the increase ment of muzzle velocity.

4 结 论

(1) 改性单基发射药的表层能量和燃速形成了一定的梯度,随着 NG 的渗入量的增加,发射药燃速逐渐增加,有利于提高燃烧中后期燃气生成活度,使最大压力出现在膛容较大的瞬间,并维持一定的压力平台或延缓压力的下降,有效提高了改性单基发射药的燃烧渐增性。

(2) 改性单基药的钝感剂和硝化甘油的合理匹配有效减缓了起始燃烧,有效抑制了起始膛压的增长。样品 E4 的 NG 加入量最大,燃烧结束点向后延迟,形成了压力平台,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,弹丸初速提高 $82.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,提高幅度为 8.35%。

参考文献:

- [1] Rivera J. Combustion Behavior of Programmed Splitting Stick Propellant [R]. ADA 242661.
- [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 (Supple): 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] 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.

- [5] 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.
- [6] Beat Vogelsanger, Bruno Ossola, Ernst Brönnimann. The diffusion of deterrents into propellants observed by FTIR microspectroscopy-quantification of the diffusion process[J]. *Propellants Explosive Pyrotechnic*, 1996, 21(6): 330-336.
- [7] 潘清, 王琼林, 于慧芳, 等. 显微红外光谱法测定 EI 发射药中钝感剂扩散系数[J]. 含能材料, 2008, 16(5): 521-524.
PAN Qing, WANG Qiong-lin, YU Hui-fang, et al. Determination of diffusion coefficient of deterrent in EI propellant by FTIR microspectroscopy[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials* (Hanneng Cailiao), 2008, 16(5): 521-524.
- [8] 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.
- [9] 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 Explosives & Propellants*, 2009, 32(3): 71-74.

Effect of Nitroglycerine Content on Combustion Progressivity of Modified Single Base Propellant

YAO Yue-juan, LIU Shao-wu, WANG Feng, YU Hui-fang, LI Da, CHEN Teng

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

Abstract: Four modified single-base propellant (SB propellant) samples with different contents of nitroglycerine (NG) were prepared using D-5/7 SB propellant as base raw material, fixating polyester content and controlling added amount of NG. The effect of NG content on the combustion progressivity of modified single base propellant was studied by FTIR, closed-bomb test and 14.5 mm gun test. Results show that the greater the NG content in modified single base propellant, the greater the permeation depth of NG, the better the combustion progressivity of modified single base propellant and faster the muzzle velocity of modified SB propellant. In comparison with D-5/7 SB propellant, the muzzle velocity of sample E4 (12% NG) increases by $82.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (8.35%).

Key words: applied chemistry; nitroglycerine; modified single base propellant; progressive burning

CLC number: TJ55; O69

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.03.014