

文章编号: 1006-9941(2007)02-0128-03

药型尺寸对变燃速发射药燃烧渐增性的影响

马忠亮, 李志良, 徐方亮, 张丽萍, 萧忠良

(中北大学化工与环境学院, 山西 太原 030051)

摘要: 采用经典密闭爆发器的方法, 研究变燃速发射药的药型尺寸与燃烧渐增性的关系。分析了不同配方、药型尺寸变燃速发射药的燃烧实验 $p-t$ 曲线、 $L-B$ 曲线特征, 得出了配方、药型尺寸对变燃速发射药的燃烧性能影响规律。研究表明: 在变燃速发射药内外层配方和层厚度确定时, 长径比对燃烧渐增性的影响较为明显, 发射药药粒长径比越大, 燃烧渐增性越好; 对双层结构的变燃速发射药, 在一定长径比范围内 (1.5/1 ~ 2.0/1) 适当增加阻燃层中高分子含量有利于改善燃烧渐增性。

关键词: 应用化学; 变燃速发射药; 渐增性燃烧; 药型尺寸

中图分类号: TJ55; TQ562

文献标识码: A

1 引 言

发射药在身管武器(枪、炮)膛内燃烧, 产生大量高温高压气体, 是一个复杂的物理化学变化过程, 发射药燃烧是身管武器发射弹丸获取能量的基础。控制发射药的燃烧规律, 将发射药的能量按照需要程序化传递给弹丸, 从而提高火炮发射威力和弹道效率。采用渐增性燃烧发射药是有效的方法之一。目前, 实现发射药渐增性燃烧的装药技术主要有多孔发射药、发射药表面覆盖钝感、深钝感技术、塞孔技术、低温碎裂、多层变燃速发射药、阻燃发射药、程序控制开裂棒状发射药(PSS)等技术^[1-7]。

变燃速发射药是中北大学利用现有发射药原材料, 采用物理复合的方式, 制备而成的一种双层单孔结构的粒状发射药^[8-10]。变燃速发射药在能量释放方面具有可调节性, 适应更广泛的武器需求。本文采用密闭爆发器实验, 研究变燃速发射药的药型尺寸对燃速的影响, 为变燃速发射药的能量控制研究提供实验数据。

2 实验部分

2.1 试样制备

研究中的变燃速发射药是一种双层结构的发射药(如图 1 所示), 内层为快燃速发射药, 外层为阻燃层(为慢燃速发射药)。采用以单基发射药为基础配方, 在内层中添加细化 RDX, 外层添加高分子阻燃剂(EC), 为了保证高分子阻燃剂 EC 的分散均匀, 在塑化捏合过程中高分子阻燃剂以溶液形式加入。实验中采用的试样 tr-

13 和 tr-14 两者基本配方相同, tr-13 阻燃层中高分子阻燃剂含量比 tr-14 多 1%, tr-13 的外径为 2.6 mm, tr-14 的外径为 2.4 mm。变燃速发射药制备工艺流程如图 2。

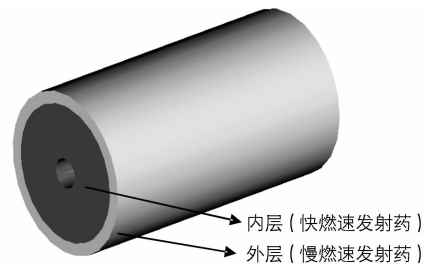


图 1 变燃速发射药结构示意图

Fig. 1 Structure of the variable burning rate propellant

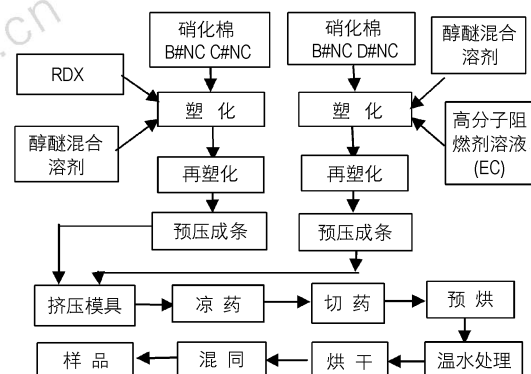


图 2 变燃速发射药制备工艺流程图

Fig. 2 Flow chart of the variable burning rate propellant

2.2 密闭爆发器试验

试验条件为: 密闭爆发器容积 50 mL; 压力传感器量程为 0 ~ 800 MPa, 精度 0.005 MPa; 点火药为 2 号 NC; 装填密度 $0.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; 点火压力 9.81 MPa, 测压区段为 0 ~ 350 MPa, 采样时间间隔为 0.05 ms;

收稿日期: 2006-08-07; 修回日期: 2006-12-08

基金项目: 国防科工委“十五”预研项目

作者简介: 马忠亮(1967-), 男, 副教授, 从事新型发射药工艺和装药技术研究。e-mail: ma19960512@sohu.com

实验温度: 25 °C, 测试 $p-t$ 曲线, 并求得 $L-B$ 曲线。

3 结果与讨论

3.1 变燃速发射药阻燃层厚度对燃烧渐增性的影响

阻燃层厚度对变燃速发射药燃烧渐增情况的影响如图 3 所示。

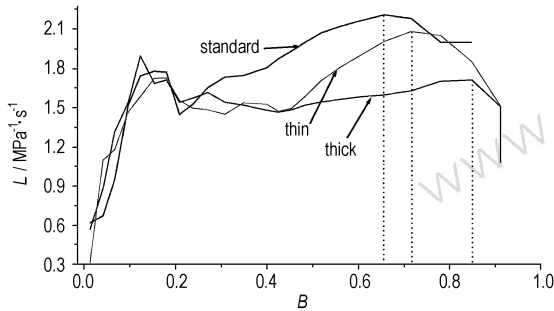


图 3 不同阻燃层厚的变燃速发射药的 $L-B$ 曲线

Fig. 3 $L-B$ curves of the variable-burning rate propellant with different retardant layer thickness

从图 3 可以看出, 与变燃速发射药标准药厚度相比较, 阻燃层厚 (tr-13) 的发射药燃气释放明显平缓, 燃烧渐增性较差, 阻燃层薄 (tr-14) 的变燃速发射药, 渐增性较好。

变燃速发射药设计最初的目的就是提高发射药燃烧渐增性, 改善发射药的内弹道性能。在发射药的外层添加 EC 高分子阻燃剂, 内层增加高能量组分 RDX, 使发射药在燃烧时产生速度梯度, 达到渐增燃烧的目的。

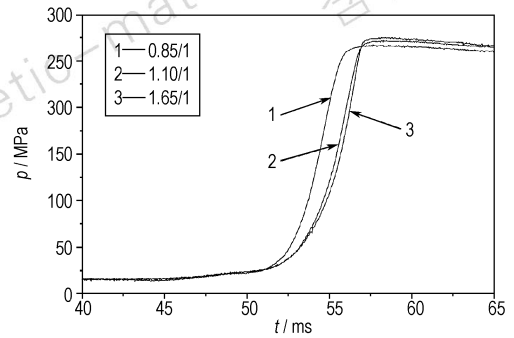
变燃速发射药的阻燃层厚度增加, 则阻燃剂的含量增加, 快燃速层减薄, 表现为压力上升缓慢, 在燃烧快结束时压力上升速度达到最大, 动态活度曲线表现为前期非常平缓, 后期燃气释放量增加, 如果阻燃层厚度达到一定程度, 在燃烧的全过程中压力持续缓慢上升, 就难以表现出燃烧渐增性; 相反, 变燃速发射药阻燃层减薄, 快燃速层增厚, 同样燃烧速度梯度减小, 在燃烧过程中, 阻燃层不能达到减缓燃烧的目的, 压力瞬间急速上升。

3.2 变燃速发射药长径比对燃烧渐增性的影响

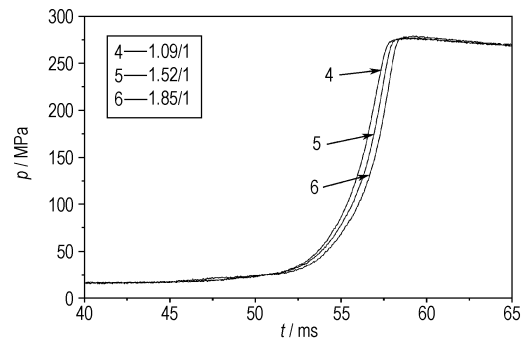
变燃速发射药 tr-13 和 tr-14 不同长径比的压力 (p)-时间 (t) 曲线如图 4 所示, $L-B$ 曲线如图 5 所示。

从图 4 可知, 试样 tr-13 和试样 tr-14 的 $p-t$ 曲线具有基本相同的规律, 随着长径比的增加发射药的 $p-t$ 曲线趋势缓和, 达到最大压力所需时间越长; 反之则达到最大压力所需时间越短。从图 5 可知, 长径比越小, 曲线的前期 L 值越大, 在 B 值为 0.4 左右燃烧分裂, 燃烧的渐增性变差。图 5 中试样 tr-14 的 $L-B$ 曲线 1

和 2, 长径比分别为 0.85/1 和 1.10/1, 燃烧过程基本没有渐增性, 甚至表现为渐减性燃烧, 主要原因在于长径比小, 端面燃烧占据主要作用而引起的减面性, 因此, 变燃速发射药应根据燃烧弧厚确定适当的长径比。



(a) tr-14



(b) tr-13

图 4 tr-14 和 tr-13 不同长径比的 $p-t$ 曲线

Fig. 4 $p-t$ curves of different ratio of length to diameter of tr-14 and tr-13

另外, 变燃速发射药弧厚和结构层厚度比例确定下, 在一定长径比范围内 (1.5/1 ~ 2.0/1), 一般随着阻燃剂含量的增加, $p-t$ 曲线的延迟期增加, 在后期压力逐渐增加, $L-B$ 曲线的燃气释放量由低到高, 表现出良好的燃烧渐增性。配方 tr-13 与配方 tr-14 的不同在于阻燃层所含高分子阻燃剂 (EC) 的含量不同, 配方 tr-13 比配方 tr-14 含量多 1%, 从图 5 可以看出, 在长径比相近的情况下, 配方 tr-13 的燃烧渐增性强于配方 tr-14。

发射药的长径比不仅影响发射药的装填密度, 也影响发射药的燃烧性能。在满足燃烧性能条件下, 应缩短长径比以提高发射药的装填密度。对于粒状变燃速发射药, 在配方确定条件下, 长径比对发射药的燃烧渐增性影响比较明显。对于变燃速发射药燃烧弧厚和层间结构确定的情况下, 长径比越大, 药粒的长度越长, 双层结构的变燃速发射药外层表面积就越大, 即阻燃层表面积大, 在燃烧时就可以忽略端面快燃速层的影响; 长径比越小, 药粒的长度越短, 在燃烧时端面快

燃速层的影响随着长径比的减小逐渐占到主导地位,阻燃层的作用随之减小,变燃速发射药将失去渐增性效果,对燃烧弧厚大的药粒这种效果更加明显。

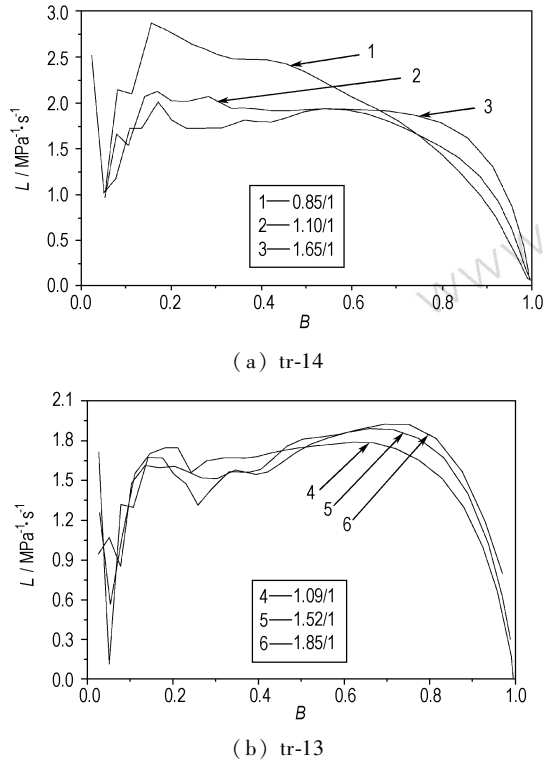


图5 tr-13 和 tr-14 不同长径的 $L-B$ 曲线

Fig.5 $L-B$ curves of different length/diameter ratio of tr-14 and tr-13

4 结论

(1) 对于双层结构的变燃速发射药,在一定长径比范围内(1.5/1 ~ 2.0/1),适当增加阻燃层中高分子(EC)含量利于改善变燃速发射药的燃烧渐增性。

(2) 在变燃速发射药内外层配方和层厚度确定时,长径比对燃烧渐增性的影响较为明显,发射药药粒的长径比越大,燃烧渐增性则好。

参考文献:

- [1] Robbins W. Continued Studies of Programmed Splitting Stick Propellant[R]. AD-A188987.
- [2] Rivera J. Combustion Behavior of Programmed Splitting Stick Propellant[R]. AD-A242661.
- [3] 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.
- [4] 李上文,赵凤起. 高技术武器与先进火炸药技术[J]. 火炸药学报, 1998(4): 51-54. LI Shang-wen, ZHAO Feng-qi. High tech weapon systems and advanced technology of propellants and explosives[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellant*, 1998(4): 51-54.
- [5] 罗运军. 发射药燃烧控制技术的研究[J]. 燃烧科学与技术, 1998,4(1): 24-30. LUO Yun-jun. The propellant combustion control technology [J]. *Journal of combustion science and technology*, 1998,4(1): 24-30.
- [6] 罗运军,余永刚. 增能钝感包覆火药的燃烧与弹道性能[J]. 内弹道学报,1998,10(1): 7-10. LUO Yun-jun, YU Yong-gang. The combustion and ballistic properties of energy increased deterred coated propellant[J]. *Journal of ballistics*, 1998,10(1): 7-10.
- [7] William Oberle. Methodology for Determining Propelling Charge Dimensions for Layered Propellant Charges [R]. USA: ARMY RESEARCH LABORATORY. 2001, May.
- [8] 贺增弟,刘幼平,马忠亮,等. 变燃速发射药低温感性能[J]. 火炸药学报,2006,29(1): 65-68. HE Zeng-di, LIU You-ping, MA Zhong-liang, et al. Low temperature sensitivity of variable-burning rate gun propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellant*, 2006,29(1): 65-68.
- [9] 肖忠良,吴晓青,马忠亮,等. 一种变燃速固体发射药[P]. CN. 01101011629,2001(5). XIAO Zhong-liang, WU Xiao-qing, MA Zhong-liang, et al. A Kind of Variable-burning Rate Gun Propellant[P]. CN.01101011629,2001(5).
- [10] 贺增弟,刘幼平,马忠亮,等. 变燃速发射药燃烧性能[J]. 火炸药学报,2004,27(3): 10-12. HE Zeng-di, LIU You-ping, MA Zhong-liang, et al. Combustion property of variable-burning rate gun propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellant*, 2004, 27(3): 10-12.

Effect of Grain Size on Progressive Combustion of the Variable Burning Rate Propellant

MA Zhong-liang, LI Zhi-liang, XU Fang-liang, ZHANG Li-ping, XIAO Zhong-liang

(Dept. of Safety Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The relation of grain size with progressive combustion of the propellant was studied by closed bomb test. The characteristics of $p-t$ and $L-B$ curves for different prescription and grain size of the variable burning rate propellant were analyzed, and the influence law of grain size on burning properties were obtained. Results show that, for certain prescription and thickness for the inside and outside layers of the variable burning rate propellant, the ratio of length to diameter (1.5/1 ~ 2.0/1) affects the progressive combustion more obviously. The ratio of length is higher, the progressive combustion is better.

Key words: applied chemistry; variable-burning rate propellant; progressive combustion; grain size