

片状多层发射药的内弹道性能

张江波, 张玉成, 王琼林, 蒋树君, 赵晓梅, 严文荣, 李 强

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要:制备了片状多层发射药,内层选用燃速较高的高能发射药,外层为含有高分子阻燃材料的低燃速配方发射药。对不同阻燃剂含量和不同厚度比的片状多层发射药进行了密闭爆发器实验和30 mm模拟弹道炮试验。结果表明,外层阻燃剂含量不同的MD1和MD2多层发射药均有较好的燃烧渐增性,外层阻燃剂含量较高的MD2多层发射药的燃烧渐增性要优于MD1多层发射药;在保证最大膛压基本不变的情况下,外内层厚度比为1:10的MD1发射药的初速较5/7单基药的初速提高77.4 m/s,外内层厚度比为1:5的MD2初速较5/7单基药的初速提高108.7 m/s。因此得出,通过调节多层发射药外层阻燃剂含量和外内层的厚度比,可以实现增加装药量、提高炮口初速而保持最大膛压不变。

关键词:多层发射药;内弹道性能;燃烧性能;密闭爆发器实验;阻燃剂

中图分类号: TJ55;O643.2⁺¹

文献标志码: A

文章编号: 1007-7812(2009)02-0064-04

Interior Ballistic Performance of the Sheet Multilayer Propelling Charge

ZHANG Jiang-bo, ZHANG Yu-cheng, WANG Qiong-lin, JIANG Shu-jun,

ZHAO Xiao-mei, YAN Wen-rong, LI Qiang

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

Abstract: The sheet multilayer propelling charge was made. The inner of the charge was made of high energy propellant with higher burning rate and the outer one was made of low burning rate propellant containing macromolecular deterrent material. The sheet multilayer charge with different content of deterrent material and different layer constructions was investigated by closed bomb test and 30mm simulation gun shootong. The experimental results show that MD1 and MD2 multilayer charge containing different contents of deterrent both have good progressive combustion performance and MD2 is better than MD1, the muzzle velocity of MD1 with outer-to-inner layer thickness ratio of 1:10 increases $77.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ than that of 5/7 single base propellant, the muzzle velocity of MD2 with thickness ratio of 1:5 increases $108.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ than that of 5/7 single base propellant while keeping max pressure almost constant. The results also show that by changing deterrent content in the outer layer and the ratio of the outer-to-inner layer thickness of the sheet multilayer propellant, the effect of increasing the total charge mass and so as to raise the muzzle velocity without maximum pressure increment could be expected.

Key words: multilayer charge; interior ballistic performance; combustion performance; closed bomb test; deterrent

引 言

发射药在身管武器膛内燃烧,产生大量高温高压气体推动弹丸做功是一个复杂的物理化学变化过程。发射药能够遵循一定的规律燃烧是内弹道理论的基础之一,通过控制发射药的燃烧规律,将发射药的能量按照程序化传递给弹丸,能够提高火炮发射

威力和弹道效率,而采用渐增性燃烧发射药是有效的方法之一^[1-4]。

美国在高渐增性燃烧片状多层发射药方面进行了大量研究,结果表明炮口动能至少能提高15%以上^[5]。片状多层发射药是一种利用现有发射药的原材料,采用物理复合的方式,内层为燃速较高的高能硝铵类发射药,外层为燃速较低的材料制备而成。王琼林提出了程序控制燃烧发射药装药(Controlled

收稿日期:2008-12-04; 修回日期:2009-01-13

基金项目:国家基础研究项目

作者简介:张江波(1982-),男,硕士,从事发射药及装药技术研究。

burning gun propellant, CBGP) 概念^[6], 片状多层发射药作为程序控制燃烧发射药装药技术之一, 具有高密度和高燃烧渐增性的特点, 在能量释放方面有较好的可调节性, 适应更广泛的武器需求^[6-7]。

本实验设计制备了不同阻燃剂含量及不同厚度比的片状多层发射药, 通过密闭爆发器实验和 30 mm 模拟弹道炮实验对该片状多层发射药进行了实验研究, 对影响片状多层发射药燃烧规律及内弹道性能的部分因素进行了分析。

1 实验部分

1.1 样品制备

图 1 为片状多层发射药的结构示意图。

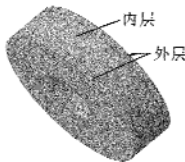


图 1 片状多层发射药结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sheet multilayer propelling charge

如图 1 所示, 片状多层发射药由内层和外层组成, 内层选用燃速较高的高能发射药配方组分, 外层为含有高分子阻燃材料的低燃速配方组分, 采用胶化-压延-粘结-压伸成型制备工艺, 黏结剂选用含氮质量分数为 12.8% 的硝化棉, 以保证中间带传火孔的圆片状多层发射药具有较好的均匀性和足够的力学强度。

1.2 密闭爆发器试验

密闭爆发器容积为 100 mL, 装填密度为 0.2 g/mL, 点火药包采用 1.1 g 硝化棉, 正常点火压力为 10 MPa, 在此条件下对不同类型的多层发射药进行了测试。

1.3 弹道试验

弹道试验采用 30 mm 模拟弹道炮, 点火方式为可燃中心传火管点火, 点火药为 2 号小粒黑, 对不同类型的多层发射药进行了大量的弹道试验。

2 结果及讨论

2.1 密闭爆发器试验结果

对药型相同但外层阻燃剂含量不同的 MD1 和 MD2 多层发射药进行了密闭爆发器试验, 其基本参

数如表 1 所示。

分别制备了外内层厚度比为 1 : 5 和 1 : 10 的 MD1 和 MD2 发射药样品。对密闭爆发器试验的 $p-t$ 曲线进行后处理, 得到 $L-B$ 曲线^[8], 图 2 为 MD1 和 MD2 外内层厚度比均为 1 : 5 的 $L-B$ 曲线, 图 3 为外内层厚度比为 1 : 5 和 1 : 10 的 MD2 样品的 $L-B$ 曲线。

表 1 两种多层发射药的基本参数

Table 1 The basic parameters of the two types of multilayer charge

代号	h/mm	r_e	R_1/mm	R_2/mm	$w(\text{外层阻燃剂})/\%$
MD1	0.8	1 : 5	3	18	10
MD1	0.8	1 : 10	3	18	10
MD2	0.8	1 : 5	3	18	14
MD2	0.8	1 : 10	3	18	14

注: h 为厚度, r_e 为外内层厚度比, R_1 为内径, R_2 为外径。

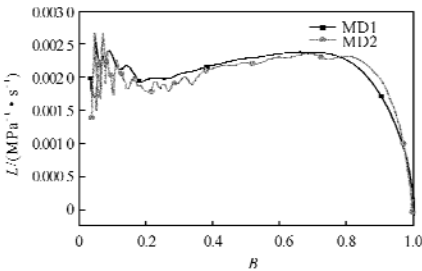


图 2 MD1 和 MD2 的外内层厚度比为 1 : 5 的 $L-B$ 曲线
Fig. 2 $L-B$ Curves of MD1 and MD2 with ratio of the outer-to-inner layer thickness 1 : 5

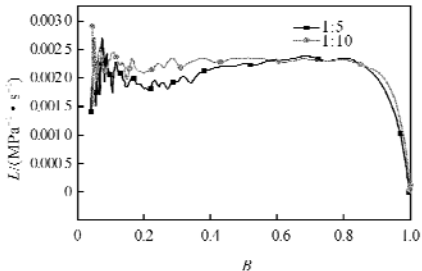


图 3 MD2 外内层厚度比为 1 : 5 和 1 : 10 的 $L-B$ 曲线
Fig. 3 $L-B$ Curves of MD2 propellant with different ratio of the outer-to-inner layer thickness 1 : 5 and 1 : 10

由图 2 可知, 当样品外内层厚度比均为 1 : 5 时, MD1 和 MD2 多层发射药均有较好的燃烧渐增性; MD2 多层发射药的燃烧渐增性比 MD1 多层发射药的好; 当 B 值在 0.2~0.7 时, MD2 的 $L-B$ 曲线略低于 MD1 的, 当 B 值在 0.7~0.95 时, MD2 的 $L-B$ 曲线要高于 MD1 的, 这说明 MD2 多层发射药的燃

烧渐增性要优于 MD1 多层发射药的,外层阻燃剂的含量能够调节多层发射药的燃烧性能。从图 3 可以看出,外内层厚度比为 1:5 的样品具有更好的燃烧渐增性,这可能是由于外内层厚度比为 1:10 样品低燃速外层的总含量较低,在燃烧初期外层很快燃尽,使得内层高燃速发射药过早开始燃烧而导致样品的燃烧渐增性较差。

因此,通过调节多层发射药中外层阻燃剂含量,能够进一步提高多层发射药的燃烧渐增性;在配方确定后,通过对多层发射药外内层厚度比的调节可以进一步改善多层发射药的燃烧渐增性。

2.2 内弹道试验结果

对多层发射药在 30 mm 模拟弹道炮上进行了试验,采用可燃中心传火管、DDR-2 电底火,表 2 和表 3 分别为 30 mm 火炮的构造诸元和内弹道试验结果。

表 2 30 mm 火炮的构造诸元

Table 2 The formation parameters of 30 mm gun

d/mm	W_0/mL	S/cm^2	$m(\text{弹丸质量})/\text{g}$	l_g/mm
30	335	7.07	203	1660

注: d 为火炮口径; w_0 为药室容积; S 为炮膛横断面积; l_g 为弹丸行程长。

表 3 30 mm 火炮的内弹道试验结果

Table 3 The result of interior ballistic experiment of 30 mm gun

序号	发射药	m/g	p_m/MPa	$v_0/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
1	5/7 单基药	225.0	405.2	1374.1
2	5/7 单基药	225.0	408.2	1372.2
3	5/7 单基药	225.0	407.2	1371.4
4	MD1-1/10	202.9	409.1	1444.2
5	MD1-1/10	202.7	411.0	1451.5
6	MD1-1/10	203.3	413.3	1454.4
7	MD2-1/5	216.2	409.2	1476.5
8	MD2-1/5	215.3	413.8	1484.7
9	MD2-1/5	216.0	416.2	1482.8

注:MD1-1/10 为外内层厚度比为 1:10 的 MD1 多层发射药;MD2-1/5 为外内层厚度比为 1:5 的 MD2 多层发射药; p_m 为最大膛压, v_0 为炮口初速。

从表 3 知,在保证最大膛压基本相当的情况下,MD1-1/10 初速较 5/7 单基药的初速提高 77.4 m/s,MD2 1/5 初速较 5/7 单基药的初速提高 108.7 m/s,MD2 1/5 初速较 MD1 1/10 初速提高 31.3 m/s。由于多层发射药由高燃速高能量的内层和较低燃速的外层组成,具有较好的燃烧渐增性,所以,MD1-1/10 在装药量减少 22 g 的情况下,初速还能较单基药有所提高,MD2-1/5 由于外层阻燃剂含量较高,在装药量较 MD1 1/10 增加 13 g 的情况下,最大膛压保

持不变而初速又增加了 31.3 m/s,这说明通过对多层发射药外层阻燃剂含量和外内层厚度比的调节,可以实现增加装药量、提高炮口初速而保持最大膛压不变。图 4 为 5/7 单基药和 MD2-1/5 的 $p-t$ 曲线,图 5 为 MD1-1/10 和 MD2-1/5 的 $p-t$ 曲线。

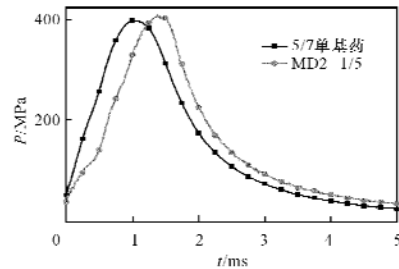


图 4 5/7 单基药和 MD2-1/5 的 $p-t$ 曲线

Fig. 4 $p-t$ Curves of single propellant and MD2-1/5

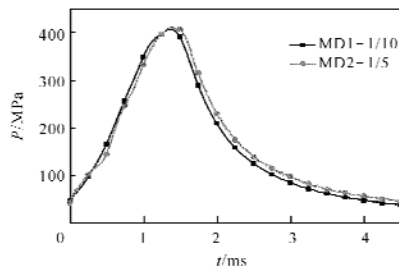


图 5 MD1-1/10 和 MD2-1/5 的 $p-t$ 曲线

Fig. 5 $p-t$ Curves of MD1-1/10 and MD2-1/5

从图 4 可以看出,MD2-1/5 多层发射药的 $p-t$ 曲线向右偏移,最大压力前的曲线上升缓慢,最大压力后的曲线位于 5/7 单基药 $p-t$ 曲线的上方,由弹道试验结果知初速提高了 108.7 m/s,这是由于多层发射药的外层燃烧较慢,使得 $p-t$ 曲线向右偏移且上升缓慢,在大约 0.6 ms 处出现了拐点,然后上升速率变大,拐点处说明外层发射药已燃完内层高燃速发射药开始燃烧。多层发射药的高渐增燃烧性能使得膛内的压力下降趋缓。因此,最大压力后多层发射药的曲线位于 5/7 单基药 $p-t$ 曲线的上方且做功能力较大,故初速较单基药的初速有了较大幅度的提高。

由图 5 可知,MD2-1/5 多层发射药的内弹道性能优于 MD1-1/10 的,由密闭爆发器实验知,MD2 发射药的燃烧渐增性优于发射药 MD1 的,外内层厚度比为 1:5 的多层发射药燃烧渐增性优于 1:10 的,该内弹道曲线很好地证明了这一结论。说明片状多层发射药在提高初速方面有很大的潜力,能够很好地改善武器的内弹道性能,可适用于高性能武器

装药设计。

3 结 论

(1) 片状多层发射药有良好的燃烧渐增性。通过调节多层发射药中外层成分阻燃剂含量能够提高多层发射药的燃烧渐增性,调节多层发射药外层厚度比可进一步改善多层发射药的燃烧渐增性。

(2) 片状多层发射药能够大幅度提高初速,在保持最大膛压不变的情况下,初速较单基发射药提高了108.7 m/s,增幅达7.9%。

参考文献:

- [1] 王泽山,徐复铭.火药装药设计原理[M].北京:兵器工业出版社,1995.
- [2] Messner A M. Transient coning in end-burning solid propellant grains, 80-1138 [R]. New York: AIAA, 1985.
- [3] 王琼林.高能钝感发射药在炮射导弹装药中的应用[J].火炸药学报,2003,26(4):20-22.
WANG Qiong-lin. High energy dethered propellant using for propulsion of guided missile [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2003,26(4): 20-22.
- [4] 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.
- [5] 王琼林,刘少武,朱阳春,等.多层硝胺发射药研究[J].火炸药学报,2008,31(2):64-67.
WANG Qiong-lin, LIU Shao-wu, ZHU Yang-chun, et al. Research on multilayer disc nitramine gun propellant [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2008,31(2):64-67.
- [6] 王琼林.具有洁净燃烧特征的高分子表面钝感枪药[J].火炸药学报,2003,26(4):5-7.
WANG Qiong-lin. Study on the clear-burning gun propellant [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2003,26(4):5-7.
- [7] 张江波,张玉成,蒋树君,等.双药室实现能量补偿的技术研究[J].火炸药学报,2008,31(2):68-70.
ZHANG Jiang-bo, ZHANG Yu-cheng, JIANG Shu-jun, et al. Study on energy compensation technique of double chambers charge [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2008,31(2):68-70.
- [8] 王泽山.火药试验方法[M].北京:兵器工业出版社,1996:202-207.
WANG Ze-shan. Gun Propellant Charge Testing Technique [M]. Beijing: Ordnance Industry Press, 1996:202-207.
- (上接第63页)
- [4] 朱开金,萧忠良.某推进剂用聚氨酯包覆层配方研究及性能测试[J].固体火箭技术,2006,29(2):126-129.
ZHU Kai-jin, XIAO Zhong-liang. Formulation investigation and property test of polyurethane (PU) coating applied to the propellant [J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2006,29(2):126-129.
- [5] 郭亚林,梁国正,邱哲明,等.纳米SiO₂改性室温硫化硅橡胶研究[J].弹性体,2003,13(1):19-22.
GUO Ya-lin, LIANG Guo-zheng, QIU Zhe-ming, et al. Modification of RTV silicone rubber by nano-SiO₂ [J]. Chinese Elastomerics, 2003,13(1):19-22.
- [6] 邹德荣.纳米碳酸钙对RTV硅橡胶的性能影响[J].有机硅材料,2002,16(2):7-9.
ZOU De-rong. Effect of nanometer CaCO₃ on the properties of RTV silicone rubber [J]. Silicone Material, 2002,16(2):7-9.
- [7] 高伟,汪倩,杨始燕,等.碳酸钙碳化硅对室温硫化硅橡胶的补强作用[J].高分子学报,2000(1):1-4.
GAO Wei, WANG Qian, YANG Shi-yan, et al. Reinforcing action of RTV silicone rubber by calcium carbonate and silicone carbide filler [J]. Acta Polymeric Sinica, 2000(1):1-4.
- [8] Kermit S K, Daniel A. Synthesis and use of colloidal silica for reinforcement in elastomers [J]. Rubber Chemistry and Technology, 2001,74(4):630.
- [9] 过梅丽.高聚物与复合材料的动态力学热分析[M].北京:化学工业出版社,2002:71.
- [10] Williams M L, Landel R F, Ferry J. The temperature dependence of relaxation mechanisms in amorphous polymers and other glass-forming liquids [J]. Amer Chem Soc, 1955,77:3701.
- [11] Stacer R G, Husbard D M. Molecular structure of the ideal solid propellant binder [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1991,16:167-176.
- [12] Ward I M. 固体高聚物的力学性能[M].北京:科学出版社,1988:164.