

文章编号: 1006-9941(2011)03-0335-04

新型有机硅降蚀剂在小口径武器装药中的应用

郑双, 刘波, 刘少武, 王锋, 张远波, 于慧芳, 韩冰, 李达

(西安近代化学研究所, 陕西西安 710065)

摘要: 为了在不影响小口径武器装药性能的前提下大幅度降低烧蚀, 开展了新型有机硅降蚀剂的应用研究。通过密闭爆发器试验和 5.8 mm 内弹道试验, 对比测试了新型有机硅降蚀剂装药与 801[#]降蚀剂装药的静态燃烧性能和内弹道性能; 采用烧蚀管试验以及氧弹法对比测试了烧蚀性和燃烧完全性。试验结果表明: 加入 5% 新型有机硅降蚀剂的装药与采用相同量 801[#]降蚀剂的装药相比, 前者烧蚀量降低了 13.8%, 具有明显的降烧蚀效果。采用新型有机硅降蚀剂装药性能稳定、燃烧完全性好, 是一种适用于轻武器、具有低烧蚀特性的发射药装药。

关键词: 物理化学; 低烧蚀; 装药; 密闭爆发器试验; 烧蚀管试验

中图分类号: TJ55; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.03.020

1 引言

烧蚀是影响武器寿命重要因素之一, 严重的烧蚀限制了高能发射药的广泛应用, 制约了武器性能的提高, 已成为影响高初速、高射频武器使用寿命的主要问题之一, 降低烧蚀对大幅度减少装备开支、减轻后勤负担、提高武器系统的性能、提高经济效益有着重要的意义。影响身管武器烧蚀性的因素很多, 其机理也比较复杂, 烧蚀机理目前还没有完全研究清楚, 一般认为烧蚀是由热、机械和化学反应等综合作用的结果, 与发射装药、身管材料、膛内最大压力、弹丸运动速度等因素密切相关, 发射药气体的热对流传递和弹带引起的摩擦加热是引起炮管烧蚀的重要原因^[1-3]。目前采用的降烧蚀技术主要有以下几种: a. 采用低爆温低烧蚀发射药装药; b. 采用抗烧蚀衬里以及身管镀铬等技术以减小弹头对膛壁的挤压力、弹带与膛壁间的相互作用; c. 使用地蜡、石蜡等混合物制成的护膛剂或者采用滑石/蜡、SiO₂/蜡、SiO₂型和多元型缓蚀剂等^[4]。目前我国大量装备的轻武器 5.8 mm 枪族用发射药具有能量高, 装药温度系数小, 适用于 5.8 mm 步枪、机枪以及班用机枪装药(即通用性好)的优点。为了降低烧蚀, 向发射药中加入一定量由二氧化钛与滑石粉等组成的 801[#]降烧蚀剂。加入后, 降蚀效果有限, 如

采用 9% 的 801[#]降蚀剂在 218.3 MPa 下降蚀率只有 14.2%^[5], 同时该降蚀剂是难以燃烧的固体成分, 在射击中易出现烟雾大、残渣多等不良射击现象^[6]。

本文研究了一种新型有机含硅降烧蚀剂, 以 5.8 mm 枪弹装药为试验对象, 通过密闭爆发器试验、内弹道试验、烧蚀管试验及燃烧完全性试验开展了该降蚀剂在小口径武器中的应用研究。发现该材料高温易分解且燃烧残渣少, 与发射药组份相容性好, 具有较好的降蚀效果, 可以应用于我国小口径武器装药。

2 实验部分

2.1 样品制备

针对验证武器采用球形药装药, 在球形药制备过程中加入降烧蚀剂, 经过成球、筛分、烘药、钝感、烘药、压扁等工序分别制备出发射药装药。其中没有加入降烧蚀剂得到的发射药装药称为钝感装药; 加入 5% 有机硅降烧蚀材料的发射药装药称为 Js 装药 A, 加入 1.0% 有机硅降烧蚀材料的发射药装药称为 Js 装药 B, 加入 1.5% 有机硅降烧蚀材料的发射药装药称为 Js 装药 C; 加入 5% 801[#]降烧蚀剂的发射药装药称为 801 装药。

2.2 密闭爆发器试验

以药室容积 100 cm³, 装填密度 0.2 g·cm⁻³, 实验温度 20 °C, 应变压力传感器精度为 0.005 MPa, 采样间隔是 0.05 ms, 点火药为 2[#]NC、药量 1.1 g, 点火压力 10 MPa 的条件下, 在密闭爆发器中测试钝感装药、Js 装药 A 和 801 装药样品的静态燃烧性能, 得到 *p-t* 曲线。

收稿日期: 2010-08-17; 修回日期: 2010-10-18

作者简介: 郑双(1975-), 男, 工程师, 主要从事发射药配方及工艺研究。e-mail: zhengshuang2046@sina.com

2.3 烧蚀管试验

烧蚀管失重法试验条件: 烧蚀管材料 45# 钢; 烧蚀管重量 10 g; 发射药装药量 9.5 g; 燃烧环境: 恒压爆发器, 点火药为 2#NC。测试了钝感装药、Js 装药 A、Js 装药 B、Js 装药 C 和 801 装药样品的烧蚀量。

2.4 内弹道试验

采用 5.8 mm 通用普通弹及枪管长度 520 mm 弹道枪测试了 Js 装药 A 和 801 装药的内弹道性能, 初速测试方法按 GJB349.4-87 进行; 膛压测试方法按 GJB349.5-87 进行。

2.5 爆热测试

爆热按 GJB770B-2005 方法 701.2 条进行。

2.6 燃烧残渣试验

采用氧弹法试验对比测试了 Js 装药 A 和 801 装药的燃烧完全性。

3 结果与讨论

3.1 静态燃烧性能试验研究

对传统未钝感发射药, 常用 Γ 函数来评价其燃烧渐增性^[7]; 而对钝感发射药, 常用一种更便于计算的 L 函数来评价其燃烧渐增性^[8], 因此钝感发射药的燃烧渐增性可用 L (发射药燃烧活度)- B (相对压力, 即某点压力与最高压力之比) 曲线来表征。为了使燃烧渐增性数量化, 这里采用发射药燃烧分裂点处的 $L(B_a)$ 值与某中间点处 $L(B_b)$ 值之差 ΔL 来表征发射药的燃烧渐增性: $\Delta L_{a-b} = L(B_a) - L(B_b)$, B_a 为燃烧分裂点处相对压力, B_b 为某中间点处相对压力。

通过密闭爆发器试验得到了钝感装药、Js 装药 A 和 801 装药样品的 $p-t$ 曲线, 如图 1 所示。对 $p-t$ 曲线进行数据处理, 得到 $L-B$ 曲线及 L_{a-b} 、 B_a 及 ΔB_b (B_b 值取 0.10) 值, 如图 2 和表 1 所示。

从图 1 和表 1 可以看出: Js 装药 A 比钝感装药和 801 装药最大压力出现稍微延后, 燃烧时间长, 是因为 Js 装药 A 中添加的有机硅降蚀剂在高温下蒸发或吸热分解并生成二氧化硅、二氧化碳、水与氢气, 而 801# 降烧蚀剂由不可燃烧固体组分组成, 高温不分解、不吸热。但是变化不大, 这主要是由于降蚀剂的加入量有限, 所加入的量没有影响装药的燃烧规律。

从图 2 的 $L-B$ 曲线总体来看, Js 装药 A 其燃烧活度与钝感装药、801 装药相比稍低, 但是其影响程度有限。从表 1 列出 ΔL 值可以得出, 三种装药具有相似的燃烧渐增性, 说明具有相似的燃气生成规律。从静

态燃烧性能分析可得出采用有机硅降蚀剂取代了 801# 降蚀剂后不会影响其燃烧性能。

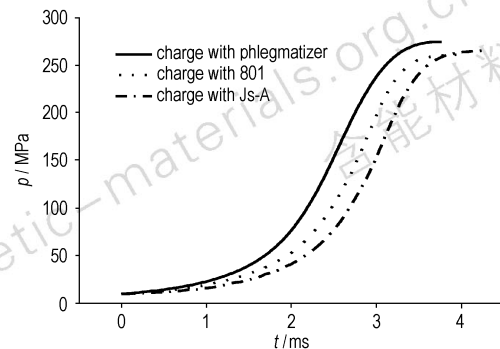


图 1 $p-t$ 曲线

Fig. 1 $p-t$ Curves of three propellants

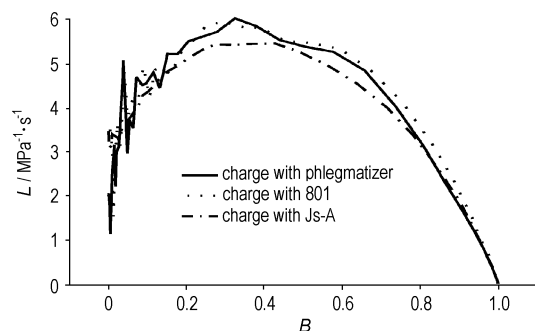


图 2 $L-B$ 曲线

Fig. 2 $L-B$ Curves of three propellants

表 1 密闭爆发器试验处理结果

Table 1 Test results of the closed bomb

sample	web /mm	t_m /ms	p_m /MPa	ΔL_{a-b} /MPa ⁻¹ ·s ⁻¹
charge with phlegmatizer	0.32	3.85	266.32	0.49
charge with 801#	0.32	4.02	264.87	0.50
charge with Js-A	0.32	4.20	263.81	0.48

3.2 烧蚀试验研究

烧蚀量是指在装药能量相当或压力相当条件下对比烧蚀管试件的质量减少量。由于烧蚀管的烧蚀程度与发射药的爆温以及所受的火药气体压力相关, 故对钝感装药、Js 装药 A、Js 装药 B、Js 装药 C 和 801 装药样品在相当的爆温与压力条件下对比了其烧蚀性能, 试验结果见表 2。对于爆热在 3473 ~ 5586 J·g⁻¹ 之间的双基发射药其爆温可以根据公式 $T_v = 0.6317Q_v + 560$ ^[9] 计算, 表 2 爆温即按此公式计算得出。试验烧蚀量、平均压力是 5 发的平均值。烧蚀管失重法试验与武器中实际情况有一定的差别, 此试验结果只能用于相对比较样品的烧蚀性能的大小。

从表 2 可以看出:(1) 在爆温与压力相当条件下,Js 装药 A 较钝感发射药烧蚀量降低了 33.1%,烧蚀有较大幅度的降低。这是因为一方面将有机硅降蚀剂加入发射药中,在高温下有机硅降蚀剂的分解(或蒸发)吸热可以降低发射药的爆温,从而降低装药对武器内膛的烧蚀;其次有机硅降蚀剂材料在高温下容易分解,分解后产生硅的氧化物具有耐机械烧蚀的同时还具有较低的导热率,可以在膛壁表面沉留从而形成隔热层,从而降低由于热和机械因素引起的烧蚀;最后有机化合物在高温分解后形成的无机粒子可以减弱膛壁附近涡流扰动降低由于燃气冲刷而形成的烧蚀。由于以上原因的综合作用可以大幅度降低装药对

武器的烧蚀,有效地提高武器的寿命。(2) 在爆温与压力相当条件下,与添加相同含量的 801[#]降蚀剂的装药相比,Js 装药 A 的烧蚀量降低了 13.8%。与 801[#]降蚀剂相比,由于有机硅降蚀剂在 400 °C 左右分解吸热,能一定程度降低装药的爆温,同时分解后产生的主要产物二氧化硅具有较好的耐机械烧蚀的同时还具有更低的导热率,从而具有更好的降蚀效果。(3) 增加有机硅降蚀剂的含量,虽然其烧蚀量有大幅度的降低,平均压力有所下降,但是装药的爆温也下降了,这样对装药能量有一定的损失,因此不能无限地提高有机硅降蚀剂含量来降低烧蚀,有机硅降蚀剂的含量应该结合不同的武器装药来确定。

表 2 发射药装药烧蚀实验结果

Table 2 Results of ablation property

charge	Q_v /J · g ⁻¹	T_v /K	charge mass /g	amount of erosion /mg · g ⁻¹	\bar{p} /MPa	erosion agent
charge with phlegmatizer	3852	2993	9.5	532	215.9	without
charge with 801 [#]	3845	2989	9.5	413	207.65	adding with 0.5% 801 [#] reducing erosion agent
charge with Js-A	3816	2970	9.5	356	208.06	adding with 0.5% organic silicon reducing erosion agent
charge with Js-B	3795	2957	9.5	302	202.35	adding with 1.0% organic silicon reducing erosion agent
charge with Js-C	3767	2940	9.5	223	197.15	adding with 1.5% organic silicon reducing erosion agent

3.3 内弹道试验

Js 装药 A 和 801 装药的内弹道试验结果见表 3,初速、压力为五发平均结果。从试验结果可以看出:在不改变发射药装药量的情况下,两种发射药装药内弹道性能相当,同时通过内弹道试验可以看出 Js 装药 A 压力较 801 装药低 10 MPa,主要是加入的降烧蚀发射药爆热较低,初始气体生成量有一定程度的降低,与 L-B 曲线测试结果相一致,但是其对弹丸的做功能力并没有明显变化。从试验结果还可以看出采用的 Js 装药 A 初速跳差、压力跳差都比 801 装药小,说明 Js 装药 A 不影响装药的内弹道性能的同时也具有较好的燃烧稳定性。

表 3 内弹道试验结果

Table 3 Results of the interior ballistics

charge	charge mass /g	muzzle velocity /m · s ⁻¹	Δv /m · s ⁻¹	maximum pressure /MPa	Δp /MPa
charge with 801 [#]	1.68	920.4	5.3	272.9	12.1
charge with Js-A	1.68	918.0	2.5	262.15	6.8

3.4 燃烧完全性试验

采用氧弹法试验对比了 Js 装药 A 和 801 装药的

燃烧完全性,结果见表 4。试验可以看出,采用新型有机硅降蚀剂制备的 Js 装药 A,具有较好的燃烧完全性。新型有机硅在高温下分解,其产物有一定量的不可燃组分二氧化硅,但其含量有限,没有影响装药的燃烧完全性。

表 4 燃烧完全性试验结果

Table 4 Results of combustion remains

charge	charge mass /g	amount of total residue /mg	amount of hot-wire ignition residue /mg	burning completeness /%
charge with 801 [#]	6.0	29.32	8.32	99.65
charge with Js-A	6.0	25.7	8.90	99.72

4 结论

(1) 采用新型有机含硅化合物作为降蚀剂通过烧蚀管试验验证能大幅度降低发射药装药对轻武器的烧蚀。

(2) 研究中采用的有机含硅降蚀剂取代 801[#]降烧蚀剂在发射药装药中不影响装药静态燃烧性能和内弹道性能,并且也不影响装药燃烧完全性。

参考文献:

- [1] 王泽山, 徐复铭, 张豪侠. 火药装药设计原理[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.
- [2] 王泽山, 韩盘铭, 张续柱, 等. 火药试验[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1986.
- [3] Juhani Lumia, Juha Pursiainen, Rose A. High energy nitrocellulose propellant; Nitroglycerine enhanced single base [J]. The Sixth International Propellant Symposium, Picatinny Chapter of the American Defense Preparedness Association, 14 - 17 November 1994.
- [4] 陈永才, 宋迺志, 王建中. 含纳米添加剂发射药的烧蚀性能研究[J]. 兵工学报, 2007, 28(3): 329 - 331.
CHEN Yong-cai, SONG Qiu-zhi, WANG Jian-zhong. Thermochemical erosion of propellant with nanometer additives[J]. *Acta Armamentarii*, 2007, 28(3): 329 - 331.
- [5] 姬月萍, 张玉祥, 卢先明, 等. 新型缓蚀添加剂配方设计研究[J]. 火炸药学报, 2000, 23(4): 39 - 41.
- Ji Yue-ping, ZHANG Yu-xiang, LU Xian-ming, et al. Study on prescription designed of the new type inhibitor[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (Huozhayao Xuebao)*, 2000, 23(4): 39 - 41.
- [6] 王琼林, 刘少武, 张远波, 等. 枪用发射药燃烧残渣的测试方法[J]. 火炸药学报, 2006, 29(5): 57 - 59.
WANG Qiong-lin, LIU Shao-wu, ZHANG Yuan-bo, et al. Test method of combustion remains of gun propellant [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (Huozhayao Xuebao)*, 2006, 29(5): 57 - 59.
- [7] 801 教研室. 内弹道学[M]. 南京: 华东工学院, 1986.
- [8] Ernst Brönnimann, Andres Sopranetti, Kurt Ryf. Improvement of ballistic performance with surface-coated double-base propellants (SCDP) [C] // 19th International Annual Conference of ICT, 1988: 391 - 396.
- [9] 刘继华. 火药物理化学性能[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.

Application of a New Agent of Low Erosion in the Small Caliber Weapon

ZHENG Shuang, LIU Bo, LIU shao-wu, WANG Feng, ZHANG Yuan-bo, YU Hui-fang, HAN Bing, LI Da

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

Abstract: In order to reduce the erosion and not affect the characteristic of small caliber weapon, a new organic silicon reducing erosion agent was designed and tested. The static combustion and interior ballistic performances of two charges with new organic silicon reducing erosion and 801[#] reducing erosion were characterized by the closed-bomb and 5.8 mm rifle firing tests. The ablation and burning completeness were tested by erosion tube and oxygen bomb method. The results show that the decreasing of the ablation in the charge with new organic silicon reducing erosion is 13.8%. The charge with new organic silicon reducing erosion has obvious properties of low ablation, steady and complete combustion and is suitable for the small caliber weapons.

Key words: physical chemistry; low erosion; propellant charge; closed-bomb test; erosion tube test

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.03.020



读者·作者·编者

《含能材料安全评价专辑》征稿

安全性作为含能材料研究的主要性能, 一直以来是科研工作的重点。为此, 《含能材料》将于 2011 年第 6 期(12 月) 组织出版《含能材料安全评价专辑》, 内容涉及:

- (1) 含能材料安全性评价的试验与理论研究;
- (2) 含能材料缺陷与损伤的表征;
- (3) 含能材料的起爆机理;
- (4) 国内外安全评价方法、评价标准的最新进展。

欢迎广大科研工作者来稿, 来稿时请注明《含能材料安全评价专辑》。

《含能材料》编辑部