

文章编号: 1006-9941(2010)03-0348-03

表面处理对单基药燃烧性能的影响

堵平, 廖昕, 王泽山

(南京理工大学, 江苏 南京 210094)

摘要: 以 5% 多苯基烷基多异氰酸酯丙酮溶液为表面处理剂, 对单基药的表面进行了化学和物理的综合处理方法。采用定容燃烧试验, 考察了此方法对单基药燃烧性能的影响。结果表明, 该方法处理后的单基药, 燃烧中后期燃气生成速度及活度增加, 有利于提高发射药的能量利用率, 燃气释放规律更符合内弹道理论的要求; 该方法表面处理层的合适厚度约为 45 μm , 过多的表面处理将降低调控发射药燃烧性能的效果。

关键词: 材料学; 单基药; 异氰酸酯; 表面处理; 燃烧性能; 能量利用率

中图分类号: TJ55; TQ562

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.03.024

1 引言

发射药是身管武器发射最常用的能源之一, 其中又以单基药的应用最为悠久和广泛。但是, 单基药也有缺点, 其能量相对较低, 提高武器的弹道性能较为困难。实际上, 发射药所含的能量在射击过程中的利用率很低, 真正用于弹丸直线运动的能量只有 33% 左右, 45% 左右的能量以火药气体的热能形式从炮口流失掉^[1], 其余的能量消耗在克服阻力、弹丸旋转、后座、炮管热散失等方面。因此, 只要能够提高发射药的能量利用率, 即使是能量相对较低的单基药, 也可得到较好的弹道性能。

在发射药的的实际应用中, 控制其燃烧过程, 改变燃烧规律和燃气释放规律, 是提高发射药能量利用率的一个可行发展方向。单基药作为一种广泛使用的发射药, 具有良好的综合性能, 对其进行提高能量利用率的研究, 具有较强的实际意义。但是, 目前的研究均集中于对发射药进行涂层包覆, 或在发射药基体中渗透小分子物质的方法, 采用如包裹、渗透、阻燃、钝感等物理手段, 从而达到控制燃烧过程的目的^[2-4], 其存在兼容性、贮存迁移、能量损失较大等弱点。本文选择单基药为研究对象, 采用多苯基烷基多异氰酸酯进行物理及化学的综合表面处理方法, 调控其燃烧规律; 用定容

燃烧试验考察表面处理对单基药燃烧性能的调节作用, 探索提高单基药能量利用率的方法。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

试剂: 多苯基烷基多异氰酸酯 BN-3, 大连染料化工厂; 丙酮, 分析纯; 21/19H 单基药, 泸州北方化学工业公司。

仪器: 100 mL 密闭爆发器, 咸阳宝丰机械电器有限公司。

2.2 单基药的表面处理

配制 50 mL 浓度为 5% 的多苯基烷基多异氰酸酯 BN-3 丙酮溶液。将 21/19H 单基药药粒逐粒浸入配制的溶液中后, 立即取出, 置于聚四氟乙烯板上, 放置在干燥的通风橱中固化 24 h, 此为第一次处理, 称为样品 A。

将经过第一次处理的单基药取出部分, 于 24 h 后重复上述步骤, 此为第二次处理, 称为样品 B。依此类推, 再进行第三次处理, 称为样品 C。

将经过处理的单基药样品 A、B、C, 在确保固化 24 h 后, 放入 50 $^{\circ}\text{C}$ 的水浴安全烘箱中, 烘药 48 h 后备用。

2.3 发射药定容燃烧性能的测定

将样 A、样 B、样 C 及未处理的空白单基原药(称为样品 O) 分别在密闭爆发器中进行定容燃烧试验, 试验时点火药为 2[#] 硝化棉, 点火压力 10.98 MPa, 装填密度 $\rho = 0.20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

收稿日期: 2009-09-07; 修回日期: 2009-11-01

作者简介: 堵平(1969-), 博士, 研究方向为含能材料装药设计。
e-mail: dp1314@163.com

3 结果及讨论

由于单基药的主要成分为硝化纤维素(硝化棉),其硝化纤维素大分子链上残留有未能完全被硝化的—OH基。将单基药的表面用多苯基烷基多异氰酸酯进行处理后,—OH基将与多异氰酸酯基反应,在单基药的表面形成网络型交联结构。有研究表明^[5],此方法用于发射药的包覆工艺中,能提高包覆层的粘结强度,且由于其形成了化学交联结构,故基本无迁移现象。

多苯基烷基多异氰酸酯(BN-3)是一种具有多个异氰酸酯基官能团的有机化合物,容易与含活泼氢基团的物质发生化学反应。本研究采用BN-3对单基药进行表面处理,BN-3所含的多个异氰酸酯基与硝化纤维素大分子链上残留羟基的活泼氢发生加成反应,形成由氨基甲酸酯键构成的交联结构,覆盖于单基药的表面。从实验情况来看,处理前后单基药的表面由淡黄色变成了淡红棕色。实验中处理的次数不同,因此形成了覆盖程度不同的表面层。由于多苯基烷基多异氰酸酯是非含能物质,具有一定的钝感阻燃效果,因此,由其与硝化纤维素反应后构成的表面层可调控单基药的燃烧过程,改变燃气释放规律。

通过表面处理前后单基药重量的变化,计算经过每一次处理后表面处理层的厚度,结合三维视频扫描显微镜进行测量,得知平均表面处理层厚度约为45 μm。

定容燃烧实验是研究发射药燃烧性能的重要手段,通过该实验可了解发射药的燃烧规律,研究发射药的燃烧过程。数据采集系统所记录的是一系列等时间间隔的离散压力点。用密闭爆发器实验数据处理程序进行处理,得到 dp/dt 、 u 、 l 、 n 、 L 、 B 、 Γ 、 Ψ 等一系列的发射药燃烧性能数据。

将单基药原药(样品O)与经过不同处理次数的样品A、样品B、样品C的燃烧性能进行比较研究,如表1和图1~图4所示。

从表1中可知,单基药经表面处理,其燃烧性能发生了较明显的变化,在相同装填密度下,最大压力随着处理次数的增多而下降; dp/dt 的最大值有所降低,但与处理次数的关系不大,燃气释放相对平缓;燃速压力指数随着处理次数的增多而增大。说明单基药经表面处理,其能量稍有降低,且处理次数越多能量损失越大。

从图1~图4中可以看出,经过表面处理的单基药,其燃烧性能发生了明显的改变。从图1中 u - p 曲线可以看出,处理后的单基药在中、高压段其燃速增

加,燃速压力指数也增大;图2中的 l - Ψ 曲线表明,处理后的单基药在燃烧过程的中后期 l 值略有降低,但影响很小;从图3及图4中得知,处理后的单基药表现为起始阶段燃气生成猛度及活度的下降,但是在燃烧中后期燃气生成猛度及活度均比空白药有明显的增加,且下降更为平缓,表明其持续作功能力增强,在内弹道过程的中后期能产生更多的燃气和推力,有利于提高发射药的能量利用率。

从图3和图4中还可以看出,表面处理次数不同,单基药燃烧性能的改变程度也不同,但变化的规律基本相似。经表面处理的单基药,在燃烧初期,降低了活度和气体生成猛度,在燃烧的中后期则提高了活度和气体生成猛度。三种样品中,只进行一次表面处理的单基药(样品A),其燃烧效果的改变更为理想,说明过多地对发射药进行表面处理,反而会降低调控燃烧性能的效果。究其原因,可能是多次处理后,发射药的表面交联层过厚过密,阻燃钝感效果过好,反而影响了其燃烧的正常进行。

对单基药进行表面处理,其燃烧规律的改变,有利于提高发射药的能量利用率。在燃烧初期,活度和气体生成猛度适当降低,可减少膛内点火冲击波,使得药粒不易破碎,控制膛压的异常波动,提高射击安全性;在燃烧中后期,发射药的活度和气体生成猛度明显提高,可补充由于弹丸前进、弹后空间扩大而造成的膛压降低,保持更平稳的持续推力,这样可使发射药的能量得到更充分的利用。

表1 四种样品的燃烧性能

Table 1 Burning performance of single-base gun propellant samples

name	p_m /MPa	$(dp/dt)_{max}/MPa \cdot s^{-1}$	n
sample O	218.79	25849.9	0.5651
sample A	215.31	24161.7	0.5871
sample B	212.73	24475.6	0.6046
sample C	210.02	24348.7	0.6311

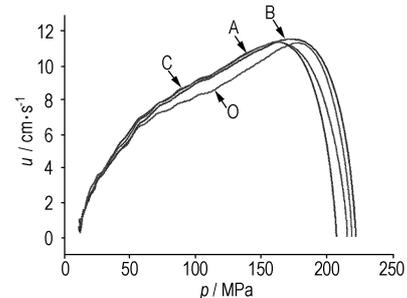
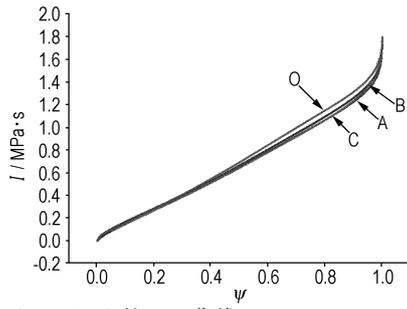
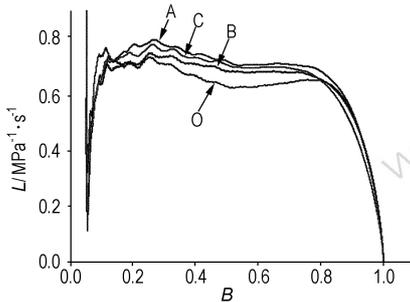
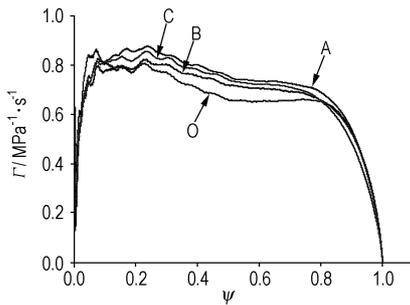


图1 样品O、A、B、C的 u - p 曲线

Fig. 1 u - p curves of sample O, A, B and C

图2 样品O、A、B、C的 $I-\Psi$ 曲线Fig. 2 $I-\Psi$ curves of sample O, A, B and C图3 样品O、A、B、C的 $L-B$ 曲线Fig. 3 $L-B$ curves of sample O, A, B and C图4 样品O、A、B、C的 $\Gamma-\Psi$ 曲线Fig. 4 $\Gamma-\Psi$ curves of sample O, A, B and C

4 结论

(1) 采用多苯基烷基多异氰酸酯表面处理的方

法,使单基药表面形成化学交联的覆盖层。定容燃烧试验表明,该方法可明显改变其燃烧规律,提高燃烧中后期燃气生成猛度及活度,有利于提高发射药的能量利用率。

(2) 单基药的表面处理程度控制较为关键。定容燃烧试验表明,该表面层的厚度控制在 $45\ \mu\text{m}$ 左右较为合适,过多的表面处理次数会降低调控发射药燃烧性能的效果。

参考文献:

- [1] 金志明,袁亚雄,宋明. 现代内弹道学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1992.
JING Zhi-ming, YUAN Ya-xiong, SONG Ming. Modern Interior Ballistics[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1992.
- [2] 应三九,徐复铭,王泽山. 改进弹道性能的发射药表面处理[J]. 南京理工大学学报,1996,20(1): 1-4.
YING San-jiu, XU Fu-ming, WANG Ze-shan. Propellant surface treatment for improving ballistic performance [J]. *Journal of Nanjing University of Science and Technology*, 1996, 20(1): 1-4.
- [3] 杨丽侠,蒋树君,李丽,等. 表面处理对叠氮硝胺发射药起始燃烧性能的影响[J]. 火炸药学报,2004,27(1): 66-67.
YANG Li-xia, JIANG Shu-jun, LI Li, et al. Influence of the surface treating of azidonitramine propellants on their initial combustion [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2004, 27(1): 66-67.
- [4] 芮久后,王泽山. 单基包覆火药界面粘结强度研究[J]. 南京理工大学学报,1996,20(6): 481-484.
RUI Jiu-hou, WANG Ze-shan. Study on the interfacial bonding strength of coated single-base propellant [J]. *Journal of Nanjing University of Science and Technology*, 1996, 20(6): 481-484.
- [5] 堵平,何卫东,王泽山. 降低含NC系列包覆药的包覆层低温脱粘率研究[J]. 南京理工大学学报,2006,30(2): 236-239.
DU Ping, HE Wei-dong, WANG Ze-shan. Depressing out-adhesive ratio of coating-layer in propellants containing NC at low temperature [J]. *Journal of Nanjing University of Science and Technology*, 2006, 30(2): 236-239.

Effect of Surface Treatment on Burning Performance of Single-base Gun Propellant

DU Ping, LIAO Xin, WANG Ze-shan

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Using 5% multibenzylalkyl multiisocyanate acetone solution as surface-treating reagent, the surface of single-base gun propellant was treated synthetically by chemical and physical methods. The effect of this method on burning performance of single-base gun propellant was studied by constant-volume burning experiment. Results show that the burning performance of single-base gun propellant changes obviously after surface treatment by multibenzylalkyl multiisocyanate. The burning-gas releasing brisance and activity have increased at burning metaphase and anaphase, and which contributes to enhancing energy availability of gun propellant. The burning-gas releasing laws of surface-treated gun propellant accords with the needs of interior ballistics much better. The appropriate thickness of surface-treated layer of this method is about $45\ \mu\text{m}$, and the effects of controlling burning performances of gun propellant will be depressed by over many surface-treating.

Key words: materials science; single-base gun propellant; isocyanate; surface-treating; burning performance; energy availability

CLC number: TJ55; TQ562

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.03.024