

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.03.012

# 适用于 RGD7A 基三层发射药的点火药\*

赵宝明 李 先 刘来东 张 衡 靳建伟 赵宏立 王琼林 杨丽侠

西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

[摘要] 以常用点火材料 NC(硝化棉)、BP(2<sup>#</sup>小粒黑)和奔荼药作为点火药,考察点火药对 RGD7A 基三层片状硝胺发射药的点火能力。以特征点火药量、点火延迟时间及点火压力为点火性能判据,通过点火性能对比试验,发现奔荼药更适合作为 RGD7A 基三层药的点火药。进一步通过密闭爆发器试验证明,采用奔荼药作为 RGD7A 基三层药的点火药,可有效提高 RGD7A 基三层药的点火同时性,效果明显优于 NC 和 BP。

[关键词] 点火药;三层药;点火性能;奔荼药

[分类号] TD235.2<sup>+</sup>2;TQ563

## 引言

多层发射药不仅可以大幅提高发射药装填密度,而且其外层相对燃速较低,当弹丸启动并达到一定速度时,由于弹后空间的急剧增加而膛压下降,普通发射药这时因作用到弹丸底部的压力也出现下降而导致最终弹丸的炮口初速偏低,而多层发射药因为内层高燃速部分的快速燃烧弥补了弹后空间的压力快速下降,提高了压力曲线的丰盈程度,通过提高弹底的作用压力最终提高了弹丸的炮口初速<sup>[1-4]</sup>。

目前国内有学者研究了多层药燃烧渐增性的表征及弹道指标的提高<sup>[5-6]</sup>,但对于多层药点传火的控制及性能研究还不够深入。众所周知,点火是火药装药燃烧的起始条件,点火的好坏直接影响到火药燃烧的状况,从而影响火药装药的弹道性能。因此,针对多层药的配方及使用特点,筛选适合多层发射药的点火药,促进其在身管武器中的安全应用就显得尤为重要。本文以 RGD7A 基三层片状硝胺发射药为例,以特征点火药量、点火延迟时间及点火压力为点火性能的判据,从 NC(硝化棉)、BP(2<sup>#</sup>小粒黑)和奔荼药等常用点火药中优选适合 RGD7A 基三层片状硝胺发射药的点火药。

## 1 试验部分

### 1.1 试剂及仪器

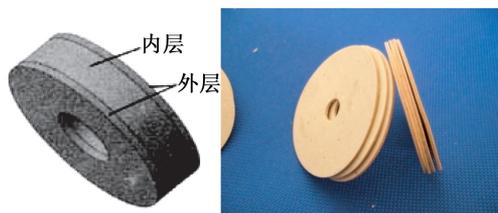
奔荼药:工业级,西安北方惠安精细化工有限公司;NC:氮的质量分数 12%,GJB3204—1998;BP:HY-2(2<sup>#</sup>小粒黑),GJB1056—2004;RGD7A 基药配方(质量分数):NC + NG(55.2%)、RDX(26.63%)、NQ(15.73%)、其他(2.8%),西安近代

化学研究所。

压力传感器:6213B 型压电传感器,西安近代化学研究所;数据采集器:3020 型数据采集器,采样频率 20 kHz,DEWETRON 公司;电子天平:CPA223S 型电子天平,精确度 0.000 1 g,赛多利斯公司。

### 1.2 RGD7A 基三层硝胺发射药制备

RGD7A 基三层硝胺发射药由内层和外层组成,呈三明治状结构,其结构如图 1(a)所示。其内层选用燃速较高的 RGD7A 基配方组成,外层由质量分数 10% 高分子阻燃材料聚酯 P10 及 90% RGD7A 基药混合组成,内外层药片厚度比按 10 : 1 挤压黏结成型。制备出的圆环状发射药,如图 1(b)所示。



(a) 结构示意图 (b) 实物图

图 1 RGD7A 基三层片状发射药

Fig. 1 Three layers gun propellant based on RGD7A

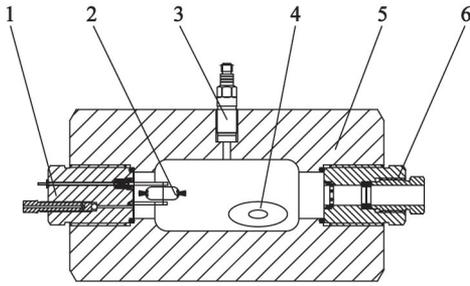
### 1.3 点火性能试验装置

发射药点火性能试验装置如图 2 所示(自制)。该装置容积 100 mL,内径 40 mm,外径 80 mm,燃烧室长度 80 mm。点火药包置于装置左侧底端中心正对测试样品,保证点火药燃烧产物均匀覆盖发射药样品初始燃面。根据 Bruceton 升降法<sup>[7-8]</sup>调整点火药量进行试验,直到点火与不点火药量相差 0.002 g

\* 收稿日期:2014-09-28

作者简介:赵宝明(1978~),男,硕士,工程师,主要从事发射药燃烧性能研究。E-mail:baomingzhao@126.com

为止。将恰好点燃装药的点火药量作为试验条件下试样的特征点火药量(也称临界点火药量),该特征点火药量应连续 3 次点燃发射药。最终以特征点火药量作为发射药样品的点火性能衡量指标之一。



1 - 点火堵头; 2 - 点火药; 3 - 压力传感器;  
4 - 发射药样品; 5 - 试验装置本体; 6 - 泄压堵头

图 2 发射药点火性能试验装置

Fig. 2 Test system of ignition property of propellant

### 1.4 点火试验方法

将多层药试样按某一固定方式放入点火性能试验装置中,用电点火丝引燃点火药包,通过压力传感器记录多层药点火燃烧过程  $p-t$  曲线。由  $p-t$  曲线确定多层药点火过程压力上升到 5 MPa 时的点火延时及点火延迟期所维持的压力,该时间及压力称作点火时间及点火压力。利用 Bruceton 升降法进行多次试验,即可得到刚好点燃多层药所需点火药的最小药量,将该点火药量作为该条件下点燃多层药的特征点火药量。利用铜片封堵装置的一个端口,点火后压力达到一定程度时自行破片泄压。

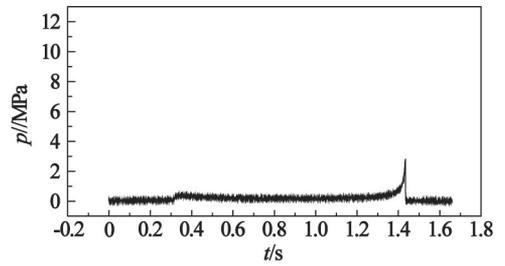
### 2 结果与分析

对该三层片状硝铵发射药进行点火性能试验,结果见图 3。图 3 为三层片状硝铵发射药点火药量为特征点火药量条件下的点火性能试验曲线,具体试验条件及性能见表 1。

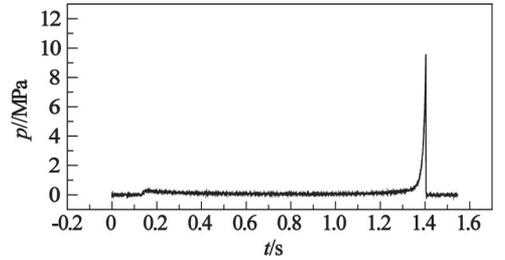
图 3、表 1 数据可显示以下信息:

- 1) 膛内装填密度不同,特征点火药量、点火压力及点火时间不同;随着装填密度的增加,特征点火药量增加,点火压力下降,点火时间延长;
- 2) 点火药种类不同,特征点火药量、点火压力及点火时间不同;
- 3) 在装填密度相同的情况下,奔茶点火药特征点火药量最小,点火时间最小及平均点火压力最小;
- 4) 综合点火药量、点火压力和点火时间,奔茶点火药作为该多层药的点火药点火性能最佳。

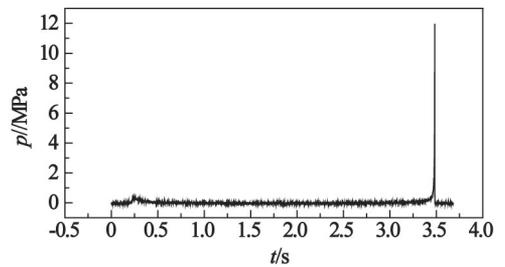
装填密度增加,若点火药量不变,则单位面积发射药样品吸收的热量减少,发射药表面达不到反应温度,导致点火失败。因此,需提高点火药量,发射



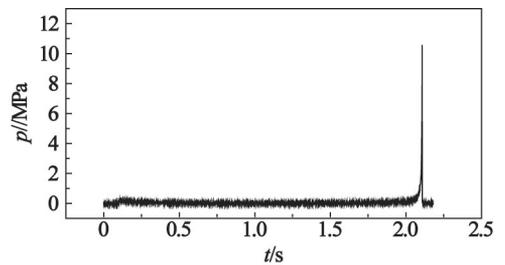
(a) 1#



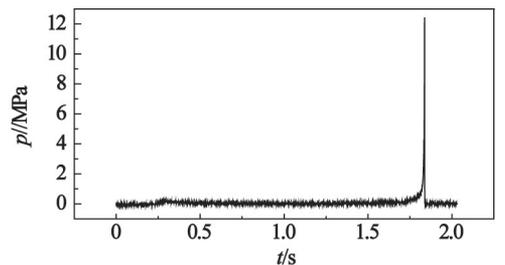
(b) 2#



(c) 3#



(d) 4#



(e) 5#

图 3 点火性能试验曲线

Fig. 3 Experimental curves of ignition property

药才能达到反应条件而燃烧。

3#结果没有颠覆点火实际规律,点火药点火性能的好坏应综合点火药量、点火压力及点火时间。虽然2#与1#比较,点火时间略长,但点火药量及点火压力优于1#。同样的点火药量或点火压力下,黑

表1 3种点火药点火性能试验

Tab.1 Ignition property of the three ignition materials

序号	多层药装填密度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	点火药类型	特征点火药量/g	点火压力/MPa	点火时间/ms
1 <sup>#</sup>	0.05	NC	0.072	0.46	1 045
2 <sup>#</sup>	0.05	BP(2 <sup>#</sup> 小粒黑)	0.064	0.33	1177
3 <sup>#</sup>	0.20	NC	0.106	0.37	3 216
4 <sup>#</sup>	0.20	BP(2 <sup>#</sup> 小粒黑)	0.106	0.23	1 954
5 <sup>#</sup>	0.20	奔萘药	0.100	0.18	1 449

火药的点火能力应该是优于NC的。在装填密度较大的情况下,这一规律尤为明显,如3<sup>#</sup>与4<sup>#</sup>的比较。这2种点火剂的点火能力差异在一些论文及著作中已有定论<sup>[1]</sup>。原因在于黑火药燃烧后产生其产物质量分数56%的固体粒子,这些微粒上聚集了一部分热量成为灼热粒子。灼热粒子接触到火药表面时,将热量集中传给某一点,使装药局部加热并引燃。虽然NC燃烧时热量较高,但不产生固体粒子,点火能力不如黑火药。

表2为3种点火剂能量示性数。 $Q_v$ 为爆热; $W$ 为比容; $f$ 为火药力。

表2 3种点火药能量示性数

Tab.2 Energy characteristics of the three ignition materials

点火药类型	$Q_v/(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$W/(\text{L} \cdot \text{kg}^{-1})$	$f/(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	固体粒子质量分数/%
NC	3 824	919	1 035	—
BP	3 079	260	220	56
奔萘	3 448	—	—	—

奔萘药的主要组成(质量分数)为:40%NC,44% $\text{KNO}_3$ ,6.5%S,9.5%C。因此,相比黑火药,奔萘药中NC的加入,提高了爆热和比容。奔萘药集二者传质(热粒子多)、传热(燃烧热大)、传压(比容大)的优势于一体,能量传导效率高、速度快,燃烧室中火药接受能量多,热量积聚快,容易达到发火点着火,因此,表现出较优的点火药量及点火时间。

结合点火性能,对比试验结果,选用NC、奔萘药2种点火药进行爆发器试验,发射药选用三层药P10/RGD7A-1/10,正常点火压力10MPa。对2种点火药爆发器试验结果进行比较,见表3、图4。

图4(a)、图4(b)分别为NC、奔萘药两种点火药条件下的三层药爆发器 $p-t$ 曲线和 $u-p$ 曲线。由

表3 爆发器试验装药条件

Tab.3 Charge conditions of closed bomb test

装填密度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	点火药种类	点火药量/g
0.32	NC	1.1
0.32	奔萘药	1.8

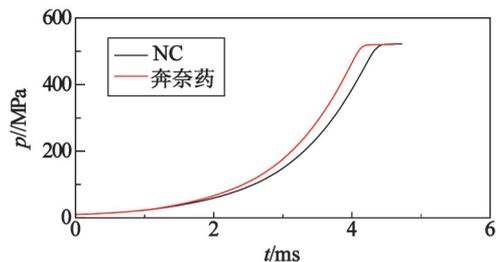
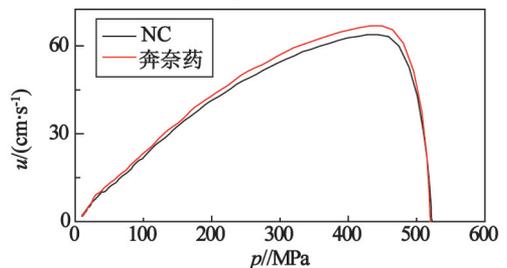
(a)  $p-t$  曲线(b)  $u-p$  曲线

图4 密闭爆发器试验

Fig.4 Closed bomb test

图4(a)可看出,由于三层药装药量条件相同,因此,表现出2条曲线能量水平接近,奔萘药曲线最大压力时间略短,燃速较NC曲线略快。由图4(b)可看出,奔萘药曲线燃速较快,这是由于奔萘药特征点火药量和点火压力小,因此,在相同点火压力条件下,奔萘药点火更迅速,使得装药的点火同时性变得较好,缩短了装药燃烧时间。因此,奔萘药点燃三层药P10/RGD7A-1/10的能力比NC强。

对密闭爆发器试验的 $p-t$ 曲线进行后处理,得到 $L-B$ 曲线,图5为使用不同点火药的多层药的 $L-B$ 曲线。低压段燃速跳动较大,当膛内压力达一定值后,燃烧过程稳定,曲线光滑。从 $L-B$ 曲线上反映出前期较低,中期曲线上扬,显示出三层药较好的燃烧渐增性。由图5可知,奔萘药样品气体生成速率大于NC样品,其主要原因是奔萘药的点火同时性更好,点燃三层药的速度较快。

### 3 结论

1)点火性能试验表明:相比BP(2<sup>#</sup>小粒黑)和NC(氮质量分数12%),奔萘药点燃三层发射药P10/RGD7A-1/10的点火压力、点火时间均最小,点火性能最佳。

2)密闭爆发器试验结果表明:奔萘药点燃三层药P10/RGD7A-1/10的能力强于NC和BP。

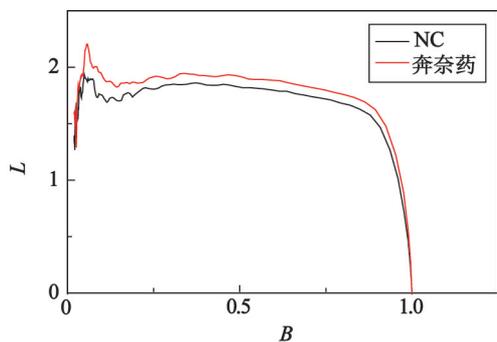


图 5 不同点火药三层药的  $L$ - $B$  曲线

Fig. 5  $L$ - $B$  Curves of different three layers gun propellants

### 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 [C]//AIAA/SAE/ASME 16th Joint Propulsion Conference. New York: AIAA,1980.
- [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 Qionglin. High energy dertered propellant using for propulsion of guided missile[J]. Chinese Journal of Ex-

- plosives 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:社科版,2001(增刊):36-40,103.  
Wang Zeshan. Development and prospect of propellant techniques[J]. Journal of North China Institute of Technology;Social Sciences,2001(suppl.):36-40,103.
- [5] 王琼林,刘少武,朱阳春,等. 多层高能硝胺发射药性能研究[J]. 火炸药学报,2008,31(2):64-67.  
Wang Qionglin, Liu Shaowu, Zhu Yangchun, 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. 发射药程序控制燃烧技术基础研究中期报告[C]//2006年度发射药程序控制燃烧技术专题讨论会. 西安:西安近代化学研究所,2006.
- [7] Silvapulle M J. On the existence of maximum likelihood estimators for the binomial response models[J]. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 1981, 43(3):310-313.
- [8] Neyer B T. A  $D$ -optimality-based sensitivity tests[J]. Technometrics,1994,36(1):61-70.

## Ignition Powders of the Three Layers Gun Propellant Based on RGD7A

ZHAO Baoming, LI Xian, LIU Laidong, ZHANG Heng, JIN Jianwei, ZHAO Hongli, WANG Qionglin, YANG Lixia  
Xi'an Modern Chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

[ABSTRACT] Selecting commonly used ignition materials such as nitro-cotton (NC), BP (2<sup>#</sup> small black powder) and benzene naphthalene drug, the ignition performance of the powders on RGD7A based three layers gun propellant were studied. It was found that benzene naphthalene drug is suitable for the RGD7A based three layers gun propellant by means of experiments on ignition performance characteristic of ignition charge, the ignition delay time and the ignition pressure. And it also shows that, in closed bomb test, benzene naphthalene drug can effectively improve the simultaneous ignition of the RGD7A based three layers gun propellant, which is superior to the other two ignition powders (NC and BP).

[KEY WORDS] ignition powder;three layers gun propellant; ignition performance;benzene naphthalene drug

(上接第 50 页)

## Test Study on Properties of Nonel Tube

CHEN Xiongsheng<sup>①②</sup>

①Hongda Mining Co., Ltd. (Guangdong Guangzhou, 510623)

②Shaoguan Branch, Guangdong Minghua Machinery Co., Ltd. (Guangdong Shaoguan, 512146)

[ABSTRACT] The detonation velocity growth of nonel and the effects of detonation parameters such as explosive internal faults, limit dose, temperature were studied. The detonation wave and the effects of explosive faults were tested by electrical measuring method and empty-tube connecting method respectively. Limit explosive dose and temperature were also considered. Results show that steady detonation process happens after propagating 800 mm, and explosive faults length less than 200 mm will have no significant effect on detonation propagation. To prevent nonel tube from being penetrated and keep detonation propagating reliably, the maximum explosive loading should be set in the range of 18 mg/m and 12 mg/m. The higher the temperature, the softer the tube wall and the more energy it absorbs, and hence the lower the detonation velocity and the more likely the nonel is penetrated.

[KEY WORDS] nonel tube; detonation propagation; explosive faults; limit explosive dose; temperature