

NGu 对含 RDX 硝胺发射药燃烧性能的影响

张邹邹, 蒋树君, 张玉成, 杨 雁

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要:为从微观的角度研究 NGu 对含 RDX 的硝胺发射药燃速压力指数改变的影响, 采用改进的小型点火燃烧模拟装置, 在 35 MPa 左右对几种发射药进行低压中止燃烧实验。通过 SEM 电镜观察发射药在低压下燃烧的表面状况。结果表明, 在硝胺发射药的燃烧过程中, NGu 在燃烧表面形成较厚的熔融层, 抑制了 RDX 的爆燃; RDX 的爆燃与燃烧表面熔融层之间的“均衡状态”影响发射药燃速压力指数的变化, 当 RDX 与 NGu 质量比小于 1 时, 燃速压力指数明显降低; 当 RDX 和 NGu 同时存在时, 发射药的燃烧表面有针状晶体生成。

关键词:硝胺发射药; 中止燃烧; 压力指数

中图分类号: TJ55; TQ564

文献标志码: A

文章编号: 1007-7812(2007)03-0072-03

Effects of NGu on the Combustion Performance of Nitramine Propellants Containing RDX

ZHANG Zou-zou, JIANG Shu-jun, ZHANG Yu-cheng, YANG Yan

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

Abstract: To investigate from micro angles the effects of NGu on the pressure exponent change of burning rate of nitramine propellant containing RDX, the quenched experiments of gun propellants with RDX and NGu were carried out by rapid chamber depressurization in an ignition-and-combustion simulator under the pressure about 35 MPa. The burned surfaces of the quenched propellant samples were observed by SEM. The results show that the balance state between deflagration of RDX and melted layer of the propellants has an influence on the change of burning rate pressure exponent. The melted layer formed on the surface of the nitramine propellants containing NGu can restrain the deflagration of RDX. When the mass ratio of RDX and NGu is less than 1.0, the burning rate pressure exponent of the propellants will reduce obviously. There is an acerous crystal on the combustion-ending surface when the propellants have ingredients of RDX and NGu.

Key words: nitramine propellant; extinction; pressure exponent

引 言

随着炮射导弹、未制导炮弹、榴弹发射器弹药、航空抛放弹弹药、迫击炮弹药等低压武器弹药的迅猛发展, 对低压下发射药的燃烧规律需要相应的表征方法^[1-2]。国外对低压条件下发射药的燃烧进行了系统研究, 其研究成果在多个型号项目上得到应用, 如俄罗斯的炮射导弹技术居世界先进水平, 澳大利亚金属风暴武器射频已经达到每分钟数万发, 美国的串联战斗部发射器单兵可以使用并能摧毁大型钢

筋混凝土建筑, 还有大量的具有各种功能的非致命身管武器等。目前, 国内在炮射导弹对发射药性能要求研究中发现, 硝胺发射药在炮射导弹中表现出了优良的弹道性能。国内外关于硝胺发射药在低压条件下燃烧规律的研究较少。因此, 需要开展硝胺发射药在低压条件下的燃烧规律研究, 研究的途径之一就是从小观的角度观察这类发射药的内部组织结构以及在低压下的燃烧表面状况^[3]。

本研究采用改进的小型点火燃烧模拟装置对发射药试样进行低压中止燃烧, 对中止后残留样品进行扫描电镜(SEM)观察。

收稿日期: 2006-11-06; 修回日期: 2007-05-15

基金项目: 火炸药燃烧国防科技重点实验室基金项目资助(514550020204ZS3502)

作者简介: 张邹邹(1979-), 女, 硕士研究生, 从事发射药应用技术研究。

1 实验

1.1 样品制备

采用半溶剂法制备工艺, 制备了3种硝胺发射药样品, 配方见表1。参比试样选用硝胺发射药GR5(RDX的质量分数为25%)和硝基胍发射药。

表1 硝胺发射药配方

Table 1 Formulations of the nitramine propellants

样品	w(NC)/ %	w(NG)/ %	w(RDX)/ %	w(NGu)/ %	w(其他)/ %
RGD7-Z1	31.0	20.2	36.0	10.0	2.8
RGD7	30.0	25.2	26.6	15.4	2.8
RGD7-Z2	35.0	30.2	12.0	20.0	2.8

1.2 实验条件

中止燃烧实验装置见图1, 药品以散装形式装于药室中, 药室容积为120 mL; 点火调节板具有4个喷孔, 尺寸为 $\Phi 3$ mm, 压力调节板有一个喷孔, 尺寸为 $\Phi 3$ mm; 样品装填量为10 g。点火方式为自制电底火; 点火药为0.2 g的2[#]BP、0.6 g的2[#]NC(包含自制电底火中的0.3 g NC); 中止压力约为35 MPa。

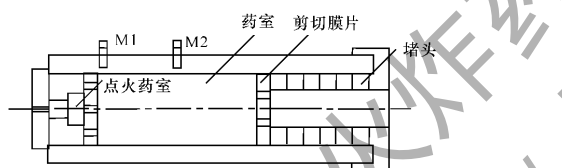


图1 中止燃烧装置示意图

Fig. 1 The schematic combustor for depressurization tests

2 结果与讨论

2.1 3种发射药的中止燃烧表面

GR5 燃烧后残留样品表面没有破孔裂痕现象。从图2(a)看出, 硝胺发射药GR5的中止燃烧表面有裸露于燃烧表面且直径变小的RDX颗粒和分布不均匀、表面光滑的局部熔融层, 熔融层中有明显的凹坑, 直径为5~25 μ m, 这正是发射药中RDX颗粒直径分布的范围, 这些凹坑主要由RDX爆燃或脱离发射药基体形成。随着压力的升高, 凝聚相反应加速, 从而加快了RDX爆燃, 破坏双基基体形成的熔融层, 使发射药燃速突然增大, 并趋近于硝胺粒子自身的燃速, 燃速压强指数上升。

NGu 发射药燃烧后的残留样品表面有蜂窝状

孔穴出现, 从图2(c)看出, 中止燃烧的表面分布着一层厚实的表面不均匀的熔融层, 在熔融层集中的地方明显高出发射药试样表面, 显现出蜂窝状的特征, 这可以从物理燃烧模型得到解释^[4]。由于硝基胍发射药组分的分布不均匀, 造成黏合剂和硝基胍的燃速不一致, 从而导致扩散火焰区的成分分布不均匀。在扩散火焰区和燃烧表面层之间间隔了能量较低的硝基胍分解产物形成的“冷层”, 使高温火焰区、扩散火焰区对凝聚相的传热影响减小。压力越高, 扩散越困难, 这种作用也就越明显。所以, 硝基胍发射药的燃速压强指数较小。

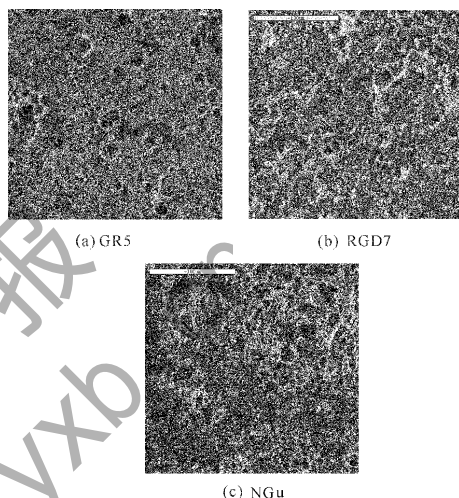


图2 定型发射药中止燃烧表面的SEM图

Fig. 2 The SEM photograph of the quenched burning surface of propellants

硝胺发射药RGD7(图2(b))的中止燃烧表面形成片层状不规则的熔融层, 熔融层中有少量凹坑, 燃烧层表面布满了许多针状晶体, 这种针状晶体主要分布在熔融表面, 特别是凹坑的周围。同时, 粒径变小的RDX颗粒裸露在没有熔融层覆盖的燃烧表面。RGD7发射药燃烧表面与GR5发射药和硝基胍发射药的燃烧表面都不相同, 但又有这两种发射药的特点。RDX的爆燃与硝基胍形成的熔融层在RGD7发射药燃烧过程中形成“均衡状态”, 使RGD7发射药的燃速压强指数值介于不含NGu的硝胺发射药和硝基胍发射药燃速压强指数值之间。

RGD7发射药中止燃烧表面的针状晶体可能是在中止燃烧的瞬间温度、压力突然下降时, 某种物质重新结晶形成的。这种针状晶型与NGu的晶型非常相似, 关于这种物质是否是NGu, 以及对发射药燃烧性能的影响仍需进一步研究。

2.2 NGu 含量对 RGD7 发射药燃烧表面状况影响

试验结束后在药室中获得残留样品,与相应的未燃烧的 RGD7 样品相比,基本保持原有的形状,只是弧厚变薄,内孔加大,长度缩短。另外,残留样品还有不同程度的破裂裂痕现象。分析认为,加入固体填料后,发射药的力学性能变差。其原因可能是由于 RDX 和 NGu 的加入使高分子硝化棉膨胀,链间引力减小,强度降低。另外,由于 NGu 为长针状晶体,在加入发射药后由于弯曲、膨胀等原因容易在发射药内部形成应力集中。内应力的存在是发射药产生空隙和裂纹的主要根源。

图 3 比较了 RGD7-Z1 和 RGD7-Z2 发射药中止燃烧的表面情况。从图 3(a)看出,粒度变小的 RDX 颗粒裸露于燃烧表面,而熔融层则突出于燃烧表面,熔融层中有大量直径为 $5\sim 30\ \mu\text{m}$ 的凹坑,同时熔融层表面分布了许多针状晶体。样品 RGD7-Z2(见图 3(b))的燃烧表面为凹凸不平的熔融层,大量裸露的 RDX 颗粒镶嵌其中,针状晶体主要集中在凸现出来的熔融表面。

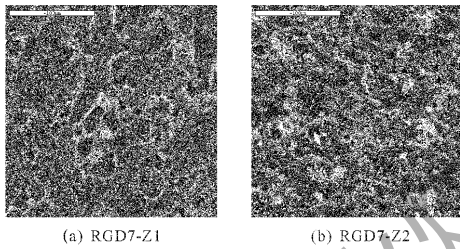


图 3 硝胺发射药中止燃烧表面的 SEM 图片

Fig. 3 The SEM photograph of the quenched burning surface of nitramine propellants

通过对上述硝胺发射药 SEM 图进行对比分析发现,当发射药中加入 NGu 时,发射药的燃烧表面熔融层在扩散火焰区和燃烧表面之间形成“冷层”,可以达到降低燃速压强指数的效果。表 2 为硝胺发射药在 $20\sim 60\ \text{MPa}$ 的燃速压强指数变化情况。从密闭爆发器实验结果和表 2 可看出,当 NGu 含量较多时才能在燃烧表面形成较厚的熔融层,对燃速压强指数的改善效果才明显。

表 2 硝胺发射药的 $u-p$ 曲线处理结果

Table 2 The values of u and n for nitramine propellants

样品代号	$u_1/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{MPa}^{-n})$	n
RGD7-Z1	0.078	1.05
RGD7	0.097	1.02
RGD7-Z2	0.126	0.96
GR5	0.081	1.12

3 结 论

(1) 在含 RDX 的硝胺发射药的燃烧过程中, RDX 的爆燃与燃烧表面熔融层之间的“均衡状态”在很大程度上影响着发射药燃速压力指数的变化。NGu 的加入可以降低燃速压力指数,但只有在 RDX 和 NGu 质量比小于 1 时,对硝胺发射药燃速压力指数的改善效果才明显。

(2) 加入 NGu 后硝胺发射药的燃烧表面上有针状晶体生成,其形成原因及其对硝胺发射药燃烧性能的影响仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 萧忠良,王泽山. 发射药科学技术总体认识与理解[J]. 火炸药学报, 2004, 27(3): 1-6.
XIAO Zhong-liang, WANG Ze-shan. The understanding and comprehension of science and technology for propellant[J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2004, 27(3): 1-6.
- [2] 吴晓青,萧忠良. 炮射导弹发射药燃烧表象规律[J]. 火炸药学报, 2004, 27(4): 50-52.
WU Xiao-qing, XIAO Zhong-liang. Presentational regulations of combustion propellant of gun-boostered missile [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2004, 27(4): 50-52.
- [3] Hsieh W H, Li W Y. Combustion behavior and thermochemical properties of RDX-based solid propellants [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1998, 23: 128-136.
- [4] 赵志建,赵宝昌,何秀英,等. 硝胺发射药高压中止燃烧实验研究[J]. 弹道学报, 1994(1): 28-32.
ZHAO Zhi-jian, ZHAO Bao-chang, HE Xiu-ying, et al. Study of the extinction of nitramine propellants [J]. Journal of Ballistics, 1994(1): 28-32.
- [5] 赵宝昌,邢浴仁,邓庆材,等. 硝基胍发射药[M]. 北京:兵器工业出版社, 1998.
ZHAO Bao-chang, XING Yu-ren, DENG Qing-cai, et al. The study on nitroguanidine propellant [M]. Beijing: The Publishing House of Ordnance Industry, 1998.
- [6] 杜成中,张玉成,李强. 炮射导弹对发射药性能要求分析[C]// 弹道学术交流会议. 太原:中国兵工学会弹道专业委员会, 2004.
DU Cheng-zhong, ZHANG Yu-cheng, LI Qiang. The analysis on the property requirements of the propellants for the gun-fired missiles[C]// Proceeding of the Symposium on Ballistics. Taiyuan: The Ballistic Council of Chinese Ordnance Industry Institute, 2004.