

文章编号:1006-9941(2009)02-0206-04

## 不同晶型奥克托今用于硝胺发射药的性能

吴艳光<sup>1</sup>, 吴晓青<sup>1</sup>, 陈洪伟<sup>1</sup>, 张 蕾<sup>1</sup>, 张 闯<sup>2</sup>

(1. 中北大学, 山西 太原 030051; 2. 泸州军事代表工作组, 四川 泸州 646003)

**摘要:**为了研究奥克托今(HMX)的晶型对硝胺发射药性能的影响,采用密闭爆发器以及力学性能测试仪,对含 $\alpha$ -HMX和 $\beta$ -HMX两种不同晶型硝胺发射药的燃烧性能和力学性能进行测试。结果表明:含 $\alpha$ -HMX发射药点火容易,其气体生成猛度和燃烧速度比含 $\beta$ -HMX发射药的小,含 $\alpha$ -HMX比含 $\beta$ -HMX发射药的燃速压力指数高0.1、力学性能差。另外,当装填密度为 $0.12\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时,两者的燃速压力指数都大于1,而在装填密度为 $0.20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时,两者的燃速压力指数都达到小于1的水平。

**关键词:**材料学;硝胺发射药;燃烧性能;燃速压力指数;力学性能

**中图分类号:**TJ55;TQ562

**文献标识码:**A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2009.02.019

### 1 引 言

硝胺发射药的热化学性能优良,燃烧性能比较特殊,是发射药领域中的研究热点。20世纪末期,虽然硝胺发射药已在低易损化、高能化和安全化方面有了较大发展,但随着武器弹药的迅速发展,对发射药的燃烧性能和装药的内弹道性能的要求越来越高,如何改进配方和加工工艺以获得燃烧规律稳定和内弹道性能较好的发射药仍是研究的重点。众所周知,硝胺发射药存在燃速压力指数大于1和燃速-压力曲线转折的问题较大地影响此类发射药在武器系统中的应用,当前解决这一问题的主要途径是在配方中加入燃烧调节剂,但往往难以满足发射药的综合性能要求<sup>[1-2]</sup>。如高能硝胺发射药由于加入了大量的硝基胍作为燃烧调节剂,在改善其燃烧性能方面起到一定效果,但其力学性能受到了影响<sup>[3]</sup>。21世纪,发射药主要在配方技术、装药技术和环保方面进行发展。在高性能硝胺发射药中,固体填料基本上以机械夹杂物的形式存在于发射药基体中,硝胺颗粒的晶型、表面状态以及颗粒度等对发射药的燃烧性能和力学性能有较大的影响,其中硝胺颗粒晶型对发射药燃烧性能和内弹道性能影响的报道较少。本研究主要对含有 $\alpha$ 和 $\beta$ 两种不同晶型奥克托今的发射药进行对比试验,探索它们在提高发射药燃烧性能和力学性能方面的差异。

收稿日期:2008-07-15;修回日期:2008-11-05

作者简介:吴艳光(1983-),男,硕士研究生,研究方向为含能材料的研究与应用。e-mail:wygddxyz@163.com

### 2 实验研究

#### 2.1 样品的制备

基础配方:奥克托今( $20\sim 30\ \mu\text{m}$ ,805厂,质量分数83%)、复合粘结剂组分(工业级,805厂,质量分数17%):硝化棉(NC)、乙基纤维素和邻苯二甲酸二丁酯等;混合溶剂(分析纯,天津市元立化工有限公司)为:乙醇和乙醚。通过混合、捏合、压伸、切药、烘干之后进行性能测试。

#### 2.2 仪器测试

##### 2.2.1 密闭爆发器试验

对所制备的发射药试样进行了密闭爆发器试验测试,通过数据处理,获得各试样的实验 $L-B$ 、 $u-p$ 等曲线。密闭爆发器试验条件:密闭爆发器容积50 mL;传感器:SYC-10000-20149;灵敏度:20.51 PC/MPa;点火药为: $2^{\#}\text{NC}$ ;发射药的装填密度分别为 $0.12\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 和 $0.20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ;点火压力为9.8 MPa;采样时间间隔为0.05 ms。

##### 2.2.2 力学性能试验

采用长春市智能仪器设备有限公司生产的型号为WSM-10kN的材料试验机在常温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下对样品压缩及拉伸试验。

#### 2.3 结果与讨论

##### 2.3.1 晶型对发射药点火性能的影响

图1为含不同晶型HMX发射药在装填密度为 $0.12\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 和 $0.20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 条件下密闭爆发器试验的 $p-t$ 曲线。

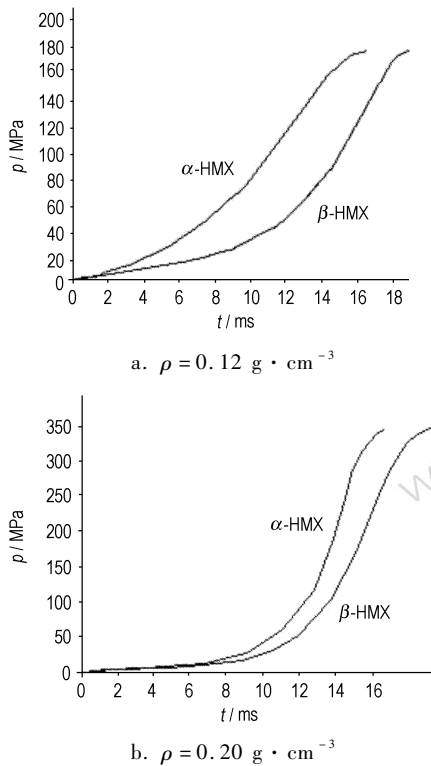


图 1 含不同晶型 HMX 发射药  $p-t$  曲线  
Fig. 1  $p-t$  curves of different crystals HMX propellants with different densities

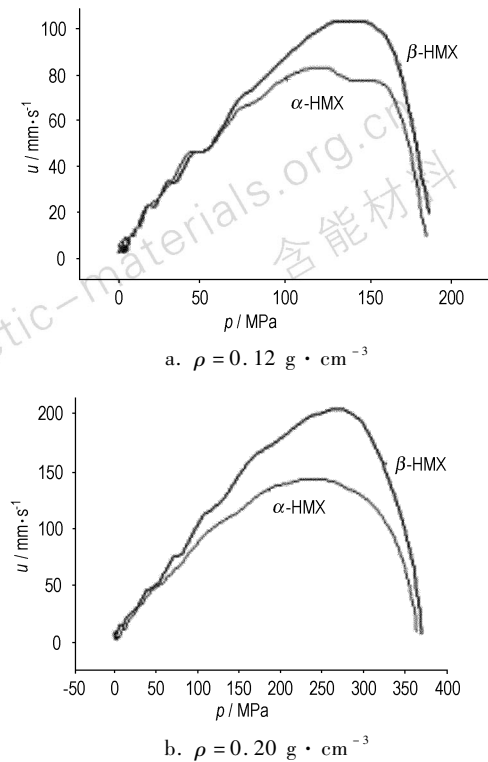


图 2 含不同晶型 HMX 发射药  $u-p$  曲线  
Fig. 2  $u-p$  curves of different crystals HMX propellants with different densities

从图 1 可知,含  $\alpha$ -HMX 发射药的  $p-t$  曲线到达最大压力所需时间比含  $\beta$ -HMX 发射药的少,即含  $\alpha$ -HMX 较含  $\beta$ -HMX 发射药的点火延滞期短。

火药点火延滞期的长短受各种因素的影响,经分析,首先是火药的密度。本研究测得含  $\alpha$ -HMX 和  $\beta$ -HMX 两试样的密度分别为  $1.5720 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  和  $1.6015 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。在点火时,密度大的火药加热层所吸收的能量比密度小的加热层所吸收的能量多,热量不能较快的从火药表面传入内部,即密度越大,越不易使其表面温度升高到点火温度  $T_{\text{ign}}$  以上,点火越难,延滞期越长;其次, $\alpha$ -HMX 晶型呈针状, $\beta$ -HMX 晶型呈大棱柱状,根据最紧密装填理论<sup>[4]</sup>,呈针状的硝胺颗粒的堆积密度小于呈大棱柱状硝胺颗粒的堆积密度,从而使得  $\alpha$ -HMX 颗粒之间的孔穴尺寸和孔隙率比  $\beta$ -HMX 的大。热点点火的难易取决于炸药颗粒之间的空穴尺寸和空隙率的大小,空穴尺寸和空隙率越大,就越有利于点火<sup>[5]</sup>,即含  $\alpha$ -HMX 发射药的点火延滞期比含  $\beta$ -HMX 发射药的点火延滞期短、点火容易。

### 2.3.2 力学性能试验晶型对发射药燃速的影响

装填密度为  $0.12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  和  $0.20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  的两

试样  $u-p$  曲线和  $L-B$  曲线分别如图 2 和图 3 所示。从图 2 可以看出:含  $\beta$ -HMX 试样的燃烧速度大于含  $\alpha$ -HMX 试样的燃烧速度。

发射药的动态活度  $L$  反映了燃烧线速度和燃烧面积对发射药气体生成量的影响。由图 3 可见,在压力不断升高的过程中,含  $\beta$ -HMX 试样的气体动态活度比含  $\alpha$ -HMX 试样的大。另外,两组图存在的一个共同点是  $L$  值随  $B$  (相对压力) 值的不断增加而慢慢下降,这表明该发射药在燃烧过程中气体生成活度  $L$  在慢慢减少,其原因是由于本试样的长径比(圆柱试样的长度与外径之比)为 1.5 及药粒粒度都比较小,在表面发生着火燃烧后,燃烧表面积变化速率较大,从而发生减面燃烧所造成。

造成两种不同晶型硝胺发射药燃烧性能差别的原因除了火药密度之外,主要是因为两种 HMX 的晶型各异。针状晶型的  $\alpha$ -HMX 存在较多棱角以及其表面曲率较大,当某局部点受到热激发后,其能量不能迅速地沿颗粒表面扩散开而容易使其达到燃点,即点火速度较快;而呈大棱柱状的  $\beta$ -HMX 的表面曲率较小、流散性好,当局部受到热激发后,能量能较快地沿其晶体

表面扩散开,较少存在能量的积累。当 $\beta$ -HMX达到着火点以后,由于其晶体颗粒表面规整,能量扩散迅速,燃烧比表面积增大较快,从而其燃烧速度和气体生成活度都比呈针状的HMX大。

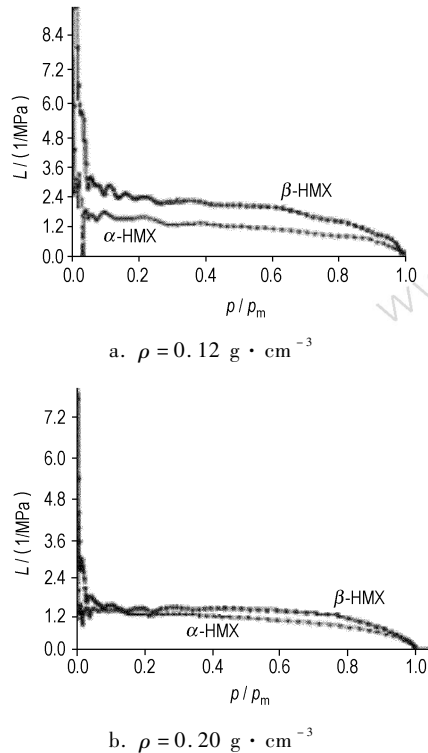


图3 含不同晶型HMX发射药L-B曲线  
Fig. 3 L-B curves of different crystals HMX propellants with different densities

### 2.3.3 晶型对燃速压力指数的影响

不同装填密度含不同晶型HMX发射药燃速压力指数实验结果见表1。

表1 不同装填密度含不同晶型HMX发射药燃速压力指数  
Table 1 Burning rate pressure exponent of different crystals HMX propellants under different loading densities

sample	$\rho_1 = 0.12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$\rho_2 = 0.20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
$\alpha$ -HMX	1.1665	0.9028
$\beta$ -HMX	1.0436	0.8161

燃速随压力的变化规律是表征发射药燃烧性能的主要特征量<sup>[6-7]</sup>。在硝胺发射药中,由于含硝胺量较大,从而导致其燃速压力指数较大,即燃速随压力的变化比较敏感。由表1可见:含 $\alpha$ -HMX发射药试样的压力指数大于含 $\beta$ -HMX发射药的压力指数。其原因是由于固态 $\alpha$ -HMX晶体形状不规则,引起应力集中而导致其力学性能差,使发射药在高压条件下不能完全

按平行层规律燃烧;而棱柱状 $\beta$ -HMX与粘结剂的结合表面张力分布均匀,存在的应力集中较少,即其在燃烧时相对稳定,燃速压力指数就小。另外,装填密度大的压力指数比装填密度小的压力指数小。装填密度小时,能达到的压力较小,低压下燃速压力指数大于1,起始燃烧阶段具有渐增效果,随着装填密度的增加,所能达到的压力也增大,燃速压力指数小于1,即燃速压力指数随着压力的升高而降低,并达到小于1的水平,是一种有较好发展前景的高能发射药。

### 2.4 力学性能

将含两种不同晶型HMX的发射药制成药形相同的样品,在20℃下进行了压缩及拉伸试验,结果见表2。

表2 20℃下含不同晶型HMX的硝胺发射药力学性能数据

Table 2 Mechanical properties of different crystals HMX nitroamine propellants at 20℃

sample	compression test		tensile test	
	compressive strength/MPa	compressive ratio/%	tensile strength/MPa	elongation ratio/%
$\alpha$ -HMX	49.324	26.734	25.371	5.498
$\beta$ -HMX	60.491	29.934	28.762	7.558

抗压强度能比较全面地反映火药的力学性能,因装药燃烧时要承受膛内很高的压力,故要求火药的抗压能力强<sup>[8]</sup>。由于当固体硝胺含量增加时,脆性较大,希望它的韧性大些,即压缩率大一些。由表2看出,含 $\beta$ -HMX硝胺发射药的抗压强度和压缩率均比含 $\alpha$ -HMX的大些;前者的拉伸强度以及延伸率也比后者大,即含 $\beta$ -HMX较含 $\alpha$ -HMX的硝胺发射药的力学性能好,原因是晶型为针状的 $\alpha$ -HMX比棱柱状的 $\beta$ -HMX存在较多棱角,并且表面曲率较大,与粘结剂的润湿粘合性较差,在受到外力作用时,它们之间容易发生脱落,另外,呈针状的晶体比棱柱状晶体的堆积密度小,空隙率大,从而导致发射药的密实性变差,抗压强度减弱,以致力学性能变差。

## 3 结论

(1) 含 $\alpha$ -HMX的硝胺发射药比含 $\beta$ -HMX的硝胺发射药较易点火、力学性能差。

(2) 呈棱柱状 $\beta$ -HMX硝胺发射药的燃烧速度比呈针状 $\alpha$ -HMX硝胺发射药的大,且前者的压力指数小,燃烧性能优良。

(3) 含HMX高能硝胺发射药在低压下比在高压下的燃速压力指数大。

## 参考文献:

- [1] 魏学涛,赵疑,李乃勤,等. 新型硝基胍发射药研究[J]. 火炸药学报,2001(4): 34-38.  
WEI Xue-tao,ZHAO Ying,LI Nai-qin,et al. The study on a new kind of nitroguanidine propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*,2001(4): 34-38.
- [2] 黄振亚,王泽山,张远波. 发射药燃速压力指数变化规律的研究[J]. 含能材料,2006,14(2): 123-126.  
HUANG Zhen-ya,WANG Ze-shan,ZHANG Yuan-bo. Regularity of burning rate pressure exponent for propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*,2006,14(2): 123-126.
- [3] 雷英杰,杨文宝,胡荣祖. 新型键合剂在硝胺发射药中的应用[J]. 火炸药学报,2002(2): 59-60.  
LEI Ying-jie,YANG Wen-bao,HU Rong-zu. Research on new type bonding agents in nitroamine propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*,2002(2): 59-60.
- [4] 李坐社. 高强度高密度固体推进剂配方研究[D]. 西安:西北工业大学,2005.  
LI Zuo-she. Formulation research of high strength and high density solid propellant[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2005.
- [5] 柴涛,张景林. HMX 粒度、粒度级配对混合传爆药性能影响的研究[J]. 中国安全科学学报,2000,10(3): 71-74.  
CHAI Tao,ZHANG Jing-lin. Effects of particle size and gradation of HMX on the shock sensitivity and the output of explosive composition based on HMX[J]. *China Safe Science Journal*,2000,10(3): 71-74.
- [6] Homan B E,Ju hasz A A. XLCB: A new closed-bomb data acquisition and reduction program[R]. ADA 391803,May 2001.
- [7] Richardson S L,Oberle W E. Influence of propellant loading density on computed burn rate in a mini-closed bomb[R]. ADA 353540, Aug,1998.
- [8] 李新蕊,赵宝昌. 改善硝胺发射药力学性能的研究[J]. 火炸药学报,1998,21(3): 14-16.  
LI Xin-rui,ZHAO Bao-chang. The study on improvement of the mechanical property of nitramine propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*,1998,21(3): 14-16.

## Performance of Nitramine Propellants with Different Phases of HMX

WU Yan-guang<sup>1</sup>, WU Xiao-qing<sup>1</sup>, CHEN Hong-wei<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, ZHANG Chuang<sup>2</sup>

(1. North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Luzhou Military Representatives of the Working Group, Luzhou 646003, China)

**Abstract:** In order to study the effects of phases of HMX on the nitramine propellants, the combustion performance and mechanical properties of nitramine propellants containing  $\alpha$ -HMX and  $\beta$ -HMX were tested by closed combustion bomb and mechanical properties tester. Results show that the propellant with  $\alpha$ -HMX is easy to be ignited and its gas generation brisance and combustion rate is lower than that with  $\beta$ -HMX, and the burning rate pressure exponent of the propellant with  $\alpha$ -HMX is 0.1 higher than that with  $\beta$ -HMX and mechanical properties of the propellant with  $\alpha$ -HMX is worse. In addition, when loading density is  $0.12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , the two burning rate pressure exponents are larger than 1, and when loading density is  $0.20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , the two burning rate pressure exponents reach the level of less than 1.

**Key words:** materials science; nitramine propellant; combustion performance; burning rate pressure exponent; mechanical performance