

文章编号: 1006-9941(2007)02-0125-03

低压下硝胺发射药燃烧性能研究

张邹邹, 蒋树君

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为了研究 RDX 和硝基胍(NGu)对硝胺发射药在低压下燃烧性能的影响,对六种 RDX/NGu 配比不同的硝胺发射药进行低压密闭爆发器静态燃烧实验,获得了在 20~60 MPa 压力范围内硝胺发射药的燃烧试验数据。结果发现:硝胺发射药在测试压力范围内有燃速压力曲线转折现象,并且 NGu 对低压下硝胺发射药燃烧规律有很好的调节作用。

关键词: 物理化学; 硝胺发射药; 燃烧性能; 燃速; 压力指数

中图分类号: TJ55; TQ562

文献标识码: A

1 引言

含 RDX 的硝胺类发射药具有良好的热化学性能和特殊的燃烧性能,自 20 世纪 70 年代以来一直是发射药领域研究的热点。目前,已基本解决了硝胺发射药存在的燃速压力曲线转折以及压力指数大于 1 的问题^[1]。随着炮射导弹、末制导炮弹、榴弹发射器弹药、航空抛放弹弹药、迫击炮弹药等中、低压武器弹药的迅猛发展,对发射药燃烧性能和装药的内弹道性能提出了更严格的要求。例如在最大膛压(p_m)有一定限制(一般 $p_m \leq 60$ MPa)的条件下,要求弹丸有较高的速度。发射药在不同压力范围内燃烧规律如燃速指数、温度系数的变化等有不同表现,因此,对不同压力范围内发射药的燃烧性能进行深入研究很有必要。国外已经对这种小于 100 MPa 低压条件下发射药燃烧进行了系统深入的研究,其研究成果也已经在多个型号上得到应用^[2,3]。但国内关于硝胺发射药及其新型发射装药在低压条件下燃烧规律的研究较少。本文采用低压密闭爆发器对硝胺发射药在 20~60 MPa 压力范围内的燃烧规律开展了试验研究。

2 实验研究

2.1 样品制备

试验用六种硝胺发射药样品均采用半溶剂法工艺制备样。配方设计原则是以火药力,爆热等能量水平相当为基础,样品主要由硝化棉(NC)、硝化甘油(NG)、黑索今(RDX)、硝基胍(NGu)及其它辅助组分构成,其组分变化突出了 RDX/NGu 变化对燃烧规律

的影响,其含量见表 1。

表 1 样品配方组成

sample	NC	NG	RDX	NGu	others	RDX/NGu
1	31.0	20.2	36.0	10.0	2.8	3.60
2	31.0	20.2	31.0	15.0	2.8	2.07
3	30.0	25.2	26.6	15.4	2.8	1.73
4	36.0	26.2	22.0	13.0	2.8	1.69
5	36.0	27.2	17.0	17.0	2.8	1.00
6	35.0	30.2	12.0	20.0	2.8	0.60

2.2 实验条件

密闭爆发器容积 107.47 mL,实验环境温度 15 °C 左右,传感器为 SyC-6213B,量程为 2~5 V。点火药为 1.1 g 2#硝化棉,点火压力为 9.8 MPa,样品均为管状 10/1 发射药,其装药量为 5.7 g,样品及点火药精确称量到 0.0001 g。

2.3 实验结果

对密闭爆发器试验得到样品的压力变化曲线进行数据处理,得到 $dp/dt \sim t$ 曲线和 $u \sim p$ 曲线,见图 1,2。

利用最小二乘法对图 2 的 $u \sim p$ 曲线进行非线性指数式($y = a \cdot x^b$)拟合,得到不同压力段下的燃速系数 u_1 和燃速压力指数 n ,结果见表 2。

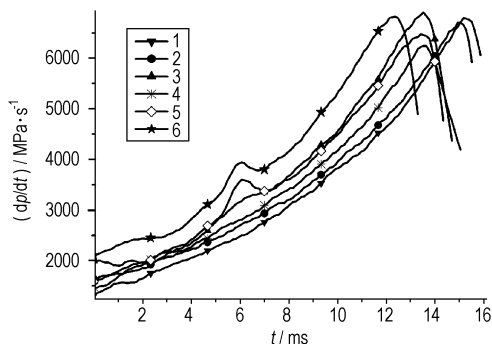


图 1 样品的 $dp/dt \sim t$ 曲线

Fig. 1 $dp/dt \sim t$ curves of the samples

收稿日期: 2006-05-25; 修回日期: 2006-09-11

基金项目: 火炸药燃烧国防科技重点实验室基金项目资助(51455002020204Z3502)

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。

e-mail: zzz7910@163.com

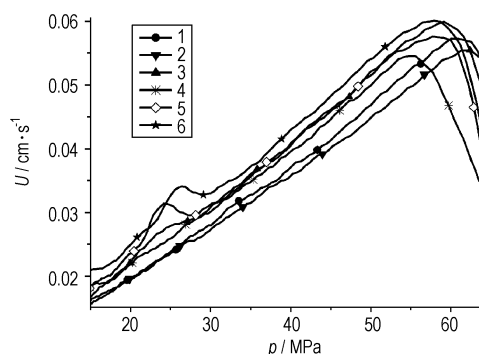
图 2 样品的 $u \sim p$ 曲线Fig. 2 $u \sim p$ curves of the samples

表 2 不同压力范围硝胺发射药燃速-压力曲线结果

Table 2 Combustion results of nitramine propellants with different range of pressure

sample	30 - 45 MPa		45 - 60 MPa	
	$u_1 /$ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-n}$)	n	$u_1 /$ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-n}$)	n
1	0.117	0.94	0.053	1.15
2	0.121	0.92	0.056	1.13
3	0.104	0.99	0.100	1.01
4	0.115	0.96	0.088	1.04
5	0.119	0.97	0.125	0.95
6	0.121	0.98	0.160	0.90

2.4 结果分析

2.4.1 RDX/NGu 比值对压力变化过程($dp/dt \sim t$)的影响

由图 1 可以看出: 样品中 RDX/NGu 比值越小, 压力变化率越大, 达到最大压力变化率的时间也越快; 当样品(样品 5 和样品 6)中 RDX/NGu ≤ 1 时, 压力陡度出现了明显的斜率突变现象。这是由于 NGu 相对 RDX 含量越大发射药燃烧前期放热越多, 使 RDX 吸热熔融效应影响相对减少, 样品能够很快达到反应温度, 反应进行很快, 表现为燃烧速度快, 燃去相对体积大, 因而压力变化率变大。

压力变化率是燃烧相对表面积、燃去相对体积以及燃速等变化的综合体现, 并且与它们的变化均成正比关系, 压力变化率曲线为这三者的相互动态平衡过程^[4]。由于本文采用的是管状发射药, 其燃烧呈恒面燃烧规律, 则燃烧速度快, 燃去相对体积大, 其压力变化速率较大, 达到最大压力变化率的时间也快。

2.4.2 RDX/NGu 比值对燃速的影响

图 2 显示在 20 ~ 60 MPa 压力范围内, 相同压力下样品的 RDX/NGu 比值越小, 从样品 6 至样品 1, RDX/NGu 逐渐减小, 发射药燃速越高, 样品 6 (RDX/NGu < 1.00) 在任何压力下的燃速均高于其他样品, 证明

NGu 的加入对改善硝胺发射药在低压下的燃速有良好的调节作用。样品 5 和样品 6 (即 RDX/NGu ≤ 1.00) 在 20 ~ 30 MPa 压力范围内出现了明显的斜率陡变现象, 这可能是由于 NGu 的前期放热, 使爆发器内压力变化率突然变大 (见图 1), 表现为在 20 ~ 30 MPa 压力范围内的表观燃速和燃速压力指数突然变大。

从图 2 中还可以看出: 样品 1 的燃速大于样品 2, 但仍小于其他样品, 这是由于当 RDX 含量增加到一定程度 ($\geq 31\%$) 时, RDX 颗粒的爆燃产生了大量的热量, 使 NGu 对硝胺发射药的影响相对减弱, 故 RDX 含量增加使其发射药燃速也有所增加。

2.4.3 RDX/NGu 比值对燃速压力指数 n 的影响

由于样品 5 和样品 6 在 20 ~ 30 MPa 范围内出现了燃速斜率陡变现象, 因此, 本文仅对 30 ~ 60 MPa 范围内 $u \sim p$ 曲线进行非线性指数拟合, 从表 2 可以看出: 在 30 ~ 45 MPa 压力范围内, 硝胺发射药燃速压力指数均小于 1, 燃速系数和燃速压力指数变化规律不明显; 在 45 ~ 60 MPa 压力范围内, 燃速压力指数发生规律性改变, 1 ~ 4 样品的燃速压力指数大于 1.00, 样品 5 和样品 6 的燃速压力指数小于 1.00。

上述结果表明: 在硝胺发射药中, 当 RDX/NGu ≥ 1.73 时, 发射药燃速压力指数大于 1, 并且随着 RDX/NGu 比值的增加燃速压力指数变大; 当 RDX/NGu ≤ 1.00 时, 发射药燃速压力指数小于 1, 并且 NGu 相对含量越高, 其燃速压力指数下降幅度愈大。这样看来, RDX/NGu 配比较高时, 燃速压力曲线就会出现明显转折, 反之, 则拐点不明显。资料显示^[5]: 硝胺发射药由于是非均质的胶固混合物, 因此发射药由于 RDX 与双基基体燃速的差异, 形成不同的燃烧过程。双基粘合剂由于分解温度低先行分解, 燃气压力低, 随着温度不断上升 RDX 开始熔融分解释放大量的热, 表现为燃速突然增大, 出现拐点。并且随着 RDX 含量增加, 硝胺发射药燃速压力指数变大, 而 NGu 相对含量增加时燃速压力指数有所下降, 曲线转折不明显。

3 结 论

(1) 在 30 ~ 45 MPa 压力范围内, RDX/NGu 比值的的变化对该压力段的燃烧规律影响不明显, 硝胺发射药燃速压力指数小于 1。

(2) 在 45 ~ 60 MPa 压力范围内, 硝胺发射药的 RDX/NGu ≥ 1.7 时, 硝胺发射药燃速压力指数 $n > 1$, 且 RDX 含量越大燃速压力指数 n 越大; 而硝胺发射药 RDX/NGu ≤ 1.00 时, 燃速压力指数 $n < 1$ 。

参考文献:

- [1] 魏学涛,赵颖,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. The study on a new kind of nitroguanidine propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*,2001,(4): 34-38.
- [2] Murray Hammick. 外军动态[J]. 弹箭技术,1992,(4): 52-54.
Murry Hammick. New in brief[J]. *Projectile & Rocket Technology*,1992,(4): 52-54.
- [3] 吴学贵. 串联战斗部参数设计[J]. 弹箭与制导学报,1997,9(1): 69-72.
- [4] 祝明水,龙新平,蒋小华. 不同粒径 RDX 的燃烧特性研究[J]. 含能材料,2004,12(1): 40-42.
ZHU Ming-shui, LONG Xin-ping, JIANG Xiao-hua. Study on the combustion characteristics of RDX with different particle size[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*,2004,12(1): 40-42.
- [5] 张江居. 硝胺发射药燃速曲线研究[J]. 含能材料,1996,4(3): 97-100.
ZHANG Jiang-ju. Study on burn rate curves of some nitramine propellants[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*,1996,4(3): 97-100.

Burning Behavior of Nitramine Propellant under Low Pressure

ZHANG Zou-zou, JIANG Shu-jun

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

Abstract: The effects of the content of Hexogen (RDX) and Nitroguanidine (NGu) on the combustion behavior of nitramine propellants under low pressure were studied in the closed bomb. The combustion data of six kind of nitramine propellants with different ratio of RDX/NGu were obtained from 20 MPa to 60 MPa by the closed bomb test. The results indicate that there is a change of burning rate pressure exponential of nitramine propellants, and the content of NGu can adjust the combustion rules of nitramine propellants under low pressure.

Key words: physical chemistry; nitramine propellant; burning behavior; burning rate; pressure exponent

(上接 121 页)

- [3] Llewellyn Lancaster N, Veronica Llopis-Mestre. Aromatic nitrations in ionic liquids[J]. *Chemical Communications*,2003. 2812-2813.
- [4] Kun Qiao, Chiaki Yokoyama. Nitration of aromatic compounds with nitric acid catalyzed by Ionic liquids[J]. *Chemistry Letters*,2004,33(7): 808-809.
- [5] Kennath K Laali, Volke J Gettwert. Electrophilic nitration of aromatics in ionic liquid solvents[J]. *Journal of Organic Chemistry*,2001,66: 35-40.
- [6] ZHAO Guo-ying, JIANG Tao, GAO Hai-xiang, et al. Mannich reaction using acidic ionic liquid as catalysts and solvent[J]. *Green Chemistry*,2004,6(2): 75-77.
- [7] 孙荣康,魏运洋. 硝基化合物炸药化学与工艺学[M]. 北京: 兵工业出版社,1992.
- [8] 张秀成,唐志华. 间歇精馏分离 2,4-和 2,6-二甲基硝基苯[J]. 农药,1995,34(1): 12-14.
ZHANG Xiu-cheng, TANG Zhi-hua. The batch distillation separation of 2,4-dimethyl nitrobenzene and 2,6-dimethyl nitrobenzene [J]. *Pesticides*,1995,34(1): 12-14.
- [9] 吕春绪. 硝化理论[M]. 南京: 江苏科学技术出版社,1993.

Nitration of Aromatic Compounds in Brønsted Acidic Ionic Liquid

YUE Cai-bo, WEI Yun-yang, LÜ Min-jie

(School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Various aromatic compounds, including alkyl and halo benzenes, were nitrated to mononitro compounds in reasonable yields (40% - 80%) with NH_4NO_3 from 0 °C to room temperature in Brønsted acidic ionic liquids with [Hmim][CF₃COO] and [Hmim][HSO₄] as solvent and catalyst respectively. The isomer ratios for nitration of toluene in Brønsted acidic ionic liquids were comparable to that obtained in mixed acid nitration. Isomer ratios for the nitration of halo benzenes in Brønsted acidic ionic liquids are different from that obtained in mixed acid nitration, usually, with higher para selectivity. The para-/ortho- product isomer ratio is 6.2 for the nitration of chlorobenzene at 18 °C for 8 h with $n(\text{TFAA})/n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 5$. The para-/ortho- product isomer ratio is 14.0 for the nitration of bromobenzene at 0 °C for 8 h with $n(\text{TFAA})/n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 5$. The para-product, *p*-nitrobromobenzene, from the nitration of bromobenzene in [Hmim][HSO₄] under 0 °C precipitates with 98% purity, which facilitates the separation of the pure isomert.

Key words: organic chemistry; Brønsted acidic ionic liquid; catalyst; selective nitration