

文章编号: 1006-9941(2011)01-0065-04

热塑性弹性体对硝胺发射药力学性能和燃烧性能的影响

贺孝军^{1,2}, 徐霞², 杜兰平², 赵良友², 吕麟²

(1. 四川大学化学工程学院, 四川 成都 610065; 2. 泸州北方化学工业有限公司, 四川 泸州 646005)

摘要: 为提高含大量高能固体填料硝胺发射药的力学性能, 在其中加入一定量(质量分数为 2%)的聚氨酯热塑性弹性体(TPE)。采用低温落锤冲击韧性试验、简支梁抗冲击强度和密闭爆发器试验, 研究了聚氨酯热塑性弹性体对硝胺发射药力学性能和静态燃烧性能的影响。研究表明, 聚氨酯热塑性弹性体能够有效提高硝胺发射药的低温落锤冲击韧性和抗冲击强度, 并能使硝胺发射药的燃速降低约 10%, 燃速压力指数降低约 2%。

关键词: 物理化学; 热塑性弹性体; 硝胺发射药; 力学性能; 燃烧性能

中图分类号: TJ55; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.01.015

1 引言

高能量和高强度是高膛压身管武器对发射药的基本要求, 也是相关领域的主要研究方向^[1]。在发射药配方中添加固体高能炸药是提高发射药能量的主要技术途径, 但随着配方中固体组分含量的增加, 也增加了对发射药力学性能的不利影响, 难以满足高膛压武器的应用要求^[2]。高能硝胺发射药在高膛压武器上的应用研究过程中, 仍需要采取多种技术途径来改善其力学性能^[3]。

发射药的力学性能, 特别是在高压燃烧条件下的动态力学性能, 是引起发射药破碎并导致弹道反常的重要因素^[3]。热塑性弹性体是一类在常温下具有橡胶弹性、在高温下可以塑化成型的合成材料, 具有橡胶

和热塑性塑料的特点^[4], 它可以改善传统热塑性推进剂及发射药的力学和工艺等性能^[5], 增加固含量。本文通过低温落锤冲击韧性试验、简支梁抗冲击强度试验和密闭爆发器试验研究了聚氨酯热塑性弹性体对某硝胺发射药力学性能和燃烧性能的影响。

2 实验部分

2.1 样品制备及试验仪器

硝胺发射药空白样的制备工艺为传统的半溶剂法工艺, 主要包括吸收、压片、胶化、成型、切药、后处理等工序; 聚氨酯热塑性弹性体硝胺药样品的制备工艺与空白样相同, 主要区别在于胶化时加入了约 2% 的聚氨酯热塑性弹性体, 硝胺发射药空白样与含聚氨酯热塑性弹性体硝胺发射药样的配方及主要能量特征量见表 1。

表 1 加入热塑性弹性体前后发射药的配方及能量变化

Table 1 Energy property and formulation of propellant before and after adding TPE

samples	$\omega(\text{NC})/\%$	$\omega(\text{RDX})/\%$	$\omega(\text{TPE})/\%$	$\omega(\text{nitric acid ester})/\%$	$f/\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$	$Q/\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$
blank sample	48.5	17.0	-	32.0	1172.2	4627.3
TPE sample	47.5	16.7	1.96	31.4	1165.1	4579.4

试验的主要仪器有: 落锤冲击试验机, 简支梁冲击试验机(型号 XJ-40A), 容积 100 mL 密闭爆发器。

收稿日期: 2010-01-14; 修回日期: 2010-05-08

作者简介: 贺孝军(1975-), 男, 高级工程师, 主要从事发射药配方、工艺及装药技术研究。e-mail: hexj999@sina.com

2.2 实验过程

2.2.1 低温落锤冲击韧性试验

将药型为 18/19(发射药的平均弧厚为 1.8 mm, 共 19 个孔, 平均孔径为 0.43 mm)的空白样和 TPE 样分别处理成长度 10 mm 的待试样, 然后将已处理过的试样放入保温箱内保低温(-40 °C)至规定时间后,

用重量为 5 kg 落锤以一定的高度分别对空白样和热塑性弹性体样进行试验, 每种样各试验两组, 每组 10 粒, 统计计算其平均破碎率并进行比较。

2.2.2 简支梁抗冲击强度试验

按 GJB770B 方法 417.1 抗冲击强度简支梁法的要求, 将外径约 4.2 mm 的空白样和聚氨酯热塑性弹性体样的实心圆柱药条分别进行处理, 处理成长 60 mm、厚 4 mm 的待试样, 再将处理过的试样保常温 (20 ± 2) °C、高温 (50 ± 2) °C 和低温 (-40 ± 2) °C 0.5 h 后, 用摆锤式简支梁冲击试验机进行试验, 每组有效 5 个试样, 测试两种试样在各温度条件下断裂时的冲击载荷及断裂率, 计算各试样的抗冲击强度并进行比较。

2.2.3 密闭爆发器试验

用容积为 100 mL 的密闭爆发器, 在装填密度 $0.2 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、试验温度 20 °C 和 -40 °C、点火药为 2[#]NC、药量 1.1 g、点火压力 9.8 MPa 的条件下, 对药型为 9/7 (发射药的平均弧厚为 0.92 mm, 共 7 个孔, 平均孔径为 0.22 mm, 药粒平均长度为 6.04 mm) 的空白样和聚氨酯热塑性弹性体样进行静态燃烧性能测试, 并对密闭爆发器试验测得的 $p-t$ 曲线进行处理, 得到 $u-p$ 曲线和 $dp/dt-t$ 曲线。

3 结果与讨论

3.1 低温落锤冲击韧性

落锤冲击韧性试验通常用于检测发射药的动态力学性能, 该试验方法曾在我国某型坦克炮穿甲弹低温膛炸事故原因分析与问题解决过程中发挥过非常重要的作用。

表 2 为某硝胺发射药样品 (空白样品) 与该硝胺发射药加入约 2% 聚氨酯热塑性弹性体样品 (TPE 样品) 的尺寸和低温落锤冲击韧性试验结果。

表 2 试样的低温落锤冲击韧性试验结果

Table 2 Low temperature drop weight testing results of different samples

samples	$2e_1$ /mm	d_0 /mm	D /mm	T /°C	drop height /cm	fragmentation rate/%
blank sample	1.78	0.39	12.63	-40	65	90
TPE sample	1.79	0.36	12.57	-40	65	60

Note: $2e_1$ is web thickness of grain; d_0 is diameter of grain perforation; D is diameter of grain.

从表 2 可以看出, 在同等试验条件下, 加入了聚氨酯热塑性弹性体的某硝胺发射药样品的低温落锤冲击韧性较空白硝胺发射药样品的低温落锤冲击韧性提高了 1/3。

3.2 简支梁抗冲击强度

表 3 为某硝胺发射药样品 (空白样品) 与该硝胺发射药加入约 2% 聚氨酯热塑性弹性体样品 (TPE 样品) 的简支梁抗冲击强度试验结果。

表 3 试样的简支梁抗冲击强度试验结果

Table 3 Charpy impact testing results of different samples

samples	area /mm ²	T /°C	impact resistance /kJ · m ⁻²	rupture rate /%
blank sample	14.7	+20	28.0	100
		+50	19.2	0
		-40	6.86	100
TPE sample	14.7	+20	40.7	33.3
		+50	18.9	0
		-40	7.95	100

从表 3 可以看出, 与某硝胺发射药的空白样相比, 加入了聚氨酯热塑性弹性体后, 试样的常温抗冲击强度提高了约 45%, 低温抗冲击强度提高了约 16%, 高温抗冲击强度下降了约 1.5%。说明聚氨酯热塑性弹性体能显著提高硝胺发射药的常温和低温抗冲击强度。

3.3 静态燃烧性能

密闭爆发器试验得到的样品常温和低温 $p-t$ 曲线分别如图 1 和图 2 所示。

从表 1、图 1 和图 2 可以看出, 加入聚氨酯热塑性弹性体后, 硝胺发射药的能量 (火药力和爆热) 下降了约 1%, 燃烧时间变长, 并且在高压段曲线的斜率减小, 压力上升较慢。与常温相比, 低温时两样品的差异相对较小, 有利于提高低温条件下弹性性能。

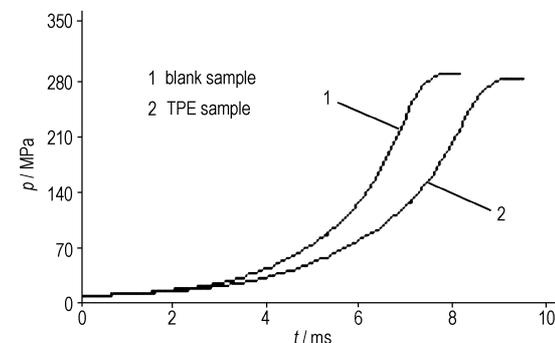


图 1 样品的常温 (+20 °C) $p-t$ 曲线

Fig. 1 $p-t$ curves of the samples at +20 °C

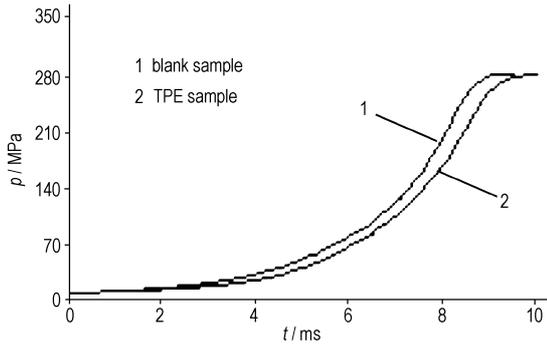


图2 样品的低温(-40 °C) $p-t$ 曲线
Fig.2 $p-t$ curves of the samples at $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

图3和图4分别为密闭爆发器试验得到的样品常温和低温的 $u-p$ 曲线,利用最小二乘法对 $u-p$ 曲线进行非线性指数式($y = a \cdot x^b$)拟合,得到60~220 MPa下的燃速系数和燃速压力指数,结果见表4。

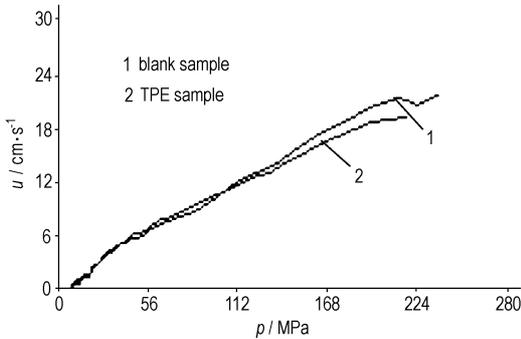


图3 样品的常温(+20 °C) $u-p$ 曲线
Fig.3 $u-p$ curves of the samples at $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$

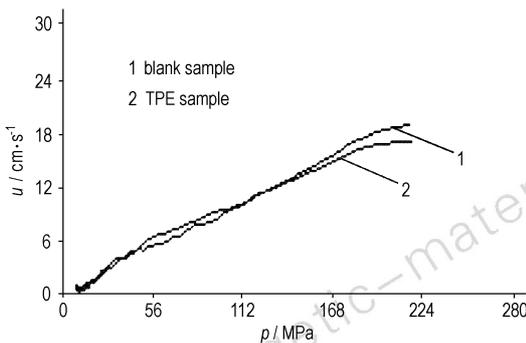


图4 样品的低温(-40 °C) $u-p$ 曲线
Fig.4 $u-p$ curves of the samples at $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

从图3和图4可以看出,与硝胺发射药空白样的燃速-压力曲线相比,在相同压力下,加入了聚氨酯热塑性弹性体的试样燃速要慢些,说明热塑性弹性体对燃速有一定调节作用。

表4 不同试样的常温和低温燃速-压力曲线拟合结果

Table 4 Fitting results of $u-p$ curves for different samples at room temperature and low-temperature

samples	$T/^{\circ}\text{C}$	u_1 $/\text{cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-n}$	n	burning rate formula
blank sample	+20	0.118	0.977	$u = 0.118p^{0.977}$
	-40	0.271	0.800	$u = 0.271p^{0.800}$
TPE sample	+20	0.097	0.960	$u = 0.097p^{0.960}$
	-40	0.250	0.793	$u = 0.250p^{0.793}$

从表4可以看出,与硝胺发射药空白样相比,加入聚氨酯热塑性弹性体后,试样的常温和低温燃速系数 u_1 降低了,压力指数 n 也减小了。

压力变化率是燃烧相对表面积、相对燃烧压力以及燃速等变化的综合表现,并且与它们的变化均成一定关系,压力变化率曲线为这三者的相互动态平衡过程。图5和图6分别为试样常温和低温的 $dp/dt-t$ 曲线。

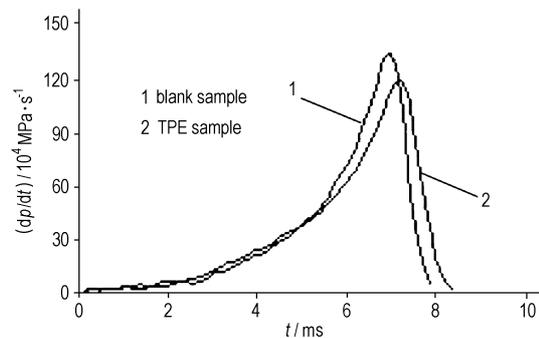


图5 样品的常温(+20 °C) $dp/dt-t$ 曲线
Fig.5 $dp/dt-t$ curves of the samples at $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$

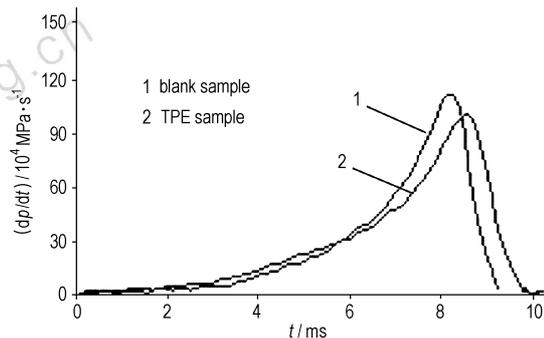


图6 样品的低温(-40 °C) $dp/dt-t$ 曲线
Fig.6 $dp/dt-t$ curves of the samples at $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

从图5和图6可以看出,与空白样的 $dp/dt-t$ 曲线相比,加入聚氨酯热塑性弹性体后,试样的压力变化率减小了,达到最大压力变化率的时间也变长了。这与文献[6-7]报道的结果相符。

4 结 论

(1) 在硝胺发射药中加入 2% 的聚氨酯热塑性弹性体, 低温落锤冲击韧性试验和简支梁抗冲击强度试验表明, 其低温落锤冲击韧性和抗冲击强度都有了较大幅度的提高。

(2) 密闭爆发器试验表明, 硝胺发射药加入 2% 的聚氨酯热塑性弹性体 (TPE) 后, 在中高压 (60 ~ 220 MPa) 条件下的燃速降低, 燃速压力指数减小, 低温下压力指数可减小为 0.793。

参考文献:

- [1] Michael G L, Frederick B P. High-rate mechanical response of next-generation gun propellants[R]. Aberdeen: Army Research Laboratory, 2001.
- [2] 黄振亚, 王泽山, 何卫东, 等. 新型高能高强度 JMZ 发射药的燃烧特性[J]. 火炸药学报, 2005, 28(4): 61-63.
HUANG Zhen-ya, WANG Ze-shan, HE Wei-dong, et al. Combustion property of high energy and high strength propellant [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2005, 28(4): 61-63.
- [3] 赵毅, 黄振亚, 刘少武, 等. 改善高能硝胺发射药力学性能研究

[J]. 火炸药学报, 2005, 28(3): 1-3.

ZHAO Yi, HUANG Zhen-ya, LIU Shao-wu, et al. Study of improving mechanical performance of high-energy nitroamine propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2005, 28(3): 1-3.

[4] 郑林. 国外热塑性弹性体发射药的发展概况[J]. 火炸药学报, 2007, 30(6): 64-67.

ZHENG Lin. Progress in the thermoplastic elastomer propellant at abroad[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2007, 30(6): 64-67.

[5] Klohn W. Base bleed solid propellant with thermoplastic elastomer as binder[C]//ICT. 1981.

[6] 魏伦, 王琼林, 刘少武, 等. 高能量密度化合物 CL-20、DNTF 和 AND 在发射药中的应用[J]. 火炸药学报, 2009, 32(1): 19-20.

WEI Lun, WANG Qiong-lin, LIU Shao-wu, et al. Application of high energy density compounds CL-20, DNTF and AND in high energy propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2009, 32(1): 19-20.

[7] 何卫东, 魏晓安, 王泽山. 热塑性弹性体在太根发射药中的应用研究[J]. 含能材料, 2010, 18(1): 81-82.

HE Wei-dong, WEI Xiao-an, WANG Ze-shan. Application of thermoplastic elastomer to triethylene glycol dinatrate propellants [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(1): 81-82.

Effect of Thermoplastic Elastomer on Mechanical Properties and Combustion Performance of Nitroamine Propellant

HE Xiao-jun^{1,2}, XU Xia², DU Lan-ping², ZHAO Liang-you², Lü Lin²

(1. College of Chemical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Luzhou North Chemical Industries Co., LTD, Luzhou 646005, China)

Abstract: In order to improve mechanical property of nitroamine propellant containing a large amount of high-energy solid filler, a certain amount of thermoplastic elastomer (TPE) was added. Through low-temperature drop weight test, charpy impact test for impact-resistance measuring and the closed-bomb test, the mechanical property and static combustion performance of nitroamine propellant containing the thermoplastic elastomer were studied. Results show that thermoplastic elastomer is able to effectively improve low-temperature tenacity and impact-resistance strength of the nitroamine propellant, and burning rate of the nitroamine propellant can be decreased by about 10%, burning rate pressure exponent of the nitroamine propellant can be reduced by about 2%.

Key words: physical chemistry; thermoplastic elastomer; nitroamine propellant; mechanical property; combustion performance

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.01.015