

文章编号: 1006-9941(2010)01-0080-03

热塑性弹性体在太根发射药中的应用研究

何卫东, 魏晓安, 王泽山

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 为了提高高能硝酸太根发射药的力学性能, 在配方中添加了热塑性弹性体(TPUE)。测试了发射药的静态力学和定容燃烧性能, 研究了 TPUE 添加量对发射药力学、能量和燃烧性能的影响。研究表明: 加入 1% ~ 3% TPUE 的硝酸太根发射药, 在火药力(f)大于 $1150 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 低温冲击强度提高 60% 以上, 显示出高能量高强度的特征。随着 TPUE 含量的增加, 火药力逐渐降低, 余容 α 略有上升, 压力指数 n 逐渐增大, TPUE 加入量为 3% 时, f 、 α 、 n 分别变化 2%、1.4% 和 5.3%。

关键词: 材料学; 高强度; 发射药; 力学性能; 热塑性弹性体(TPUE)

中图分类号: TJ55

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.020

1 引言

为满足超远射程发射或高膛压反装甲弹药的需求, 进一步提高目前装备使用的高膛压火炮的穿甲威力、确保高膛压火炮的使用安全性, 需要开发研制出能量高、同时具有更好力学性能的新型发射药。然而, 随着能量的提高, 需要添加更多的高能量密度化合物, 降低聚合物粘合剂含量, 通常这样的结果是降低了发射药的力学性能。如何得到高能量、高强度、综合性能优良的高性能发射药, 成为发射药研究领域的重要课题之一^[1-2]。国内外研究了多种提高高能硝酸发射药力学性能的方法和措施, 例如: 添加键合剂, 采用混合硝酸酯, 改变 NC 含氮量等^[3-5]。但总体效果不佳, 难以大幅度提高力学性能。TPUE 热塑性弹性体具有良好的低温力学性能, 可被硝酸酯良好地增塑, 提高推进剂的力学性能^[6-7]。为此, 本实验研究了 TPUE 热塑性弹性体在含 RDX 太根发射药中的增强效果及其对发射药能量和燃烧性能的影响。

2 研究的配方体系及样品制备

2.1 配方组成

发射药的基础配方见表 1。在基础配方的基础

上, 分别外加 1.0% ~ 4.0% 的 TPUE 热塑性弹性体, 研究其对发射药力学、能量和燃烧性能的影响。

表 1 高能太根发射药的基础配方

Table 1 Basic formulation of high energy TEGN propellants

composition	NC	NG	TEGN	RDX	C ₂
content/%	42.00	20.00	7.00	30.00	1.00

2.2 样品制备

发射药的制备过程: 将热塑性弹性体(TPUE)由混合溶剂(丙酮与无水乙醇等体积混合)在 50 °C 下溶解, 在捏合机内加入所需要吸收药片和溶解后的 TPUE 溶胶、醇酮混合溶剂, 在 45 °C 下捏合 30 min, 然后加入 RDX, 继续在此温度下捏合 3.5 h, 出料后由柱塞式油压机内挤压成管状或柱状。挤压成型后的发射药在 50 °C 水浴烘箱内干燥、固化、驱溶剂 6 d, 得到试验发射药样品。

2.3 试验方法

采用上海仪器修配厂 SE2 型冲击试验机和美国 Instron 公司 3367 型精密万能材料试验机分别测试发射药样品不同温度下的冲击和压缩性能, 采用密闭爆发器(容积 100 mL)测定其定容燃烧和能量性能。

3 试验结果及分析

3.1 发射药的冲击性能

不同温度下发射药的冲击强度见表 2。由表 2 可以看出, 高能太根发射药中加入一定量 TPUE 后, 在高

收稿日期: 2009-03-04; 修回日期: 2009-05-19

基金项目: 国家 973 项目

作者简介: 何卫东(1962-), 男, 副研, 主要从事新型含能材料研究。

e-mail: hewedong@mail.njust.edu.cn

温下均未断裂,说明高能太根发射药高温下具有良好的韧性。低温下发射药冲击强度有较大幅度的增加。添加 1% 的 TPUE 可使高能太根发射药的低温冲击强度由 $5.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 提高至 $9.2 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 加入 1% ~ 3% TPUE 的硝胺太根发射药, 在火药力 (f) 大于 $1150 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 低温冲击强度提高 60% 以上。但当 TPUE 的加入量进一步增加(质量分数大于 3%), 体系的冲击强度下降。由于试验和制备过程中的误差, 低温冲击强度具有一定的波动, 但仍显现明显的规律, 即一定量的热塑性聚氨酯弹性体 (TPUE) 的加入可以提高高能太根发射药的低温冲击强度, 但过多的 TPUE 反而降低体系的低温冲击性能。

常温冲击强度随 TPUE 加入而上升至一定数值后, TPUE 加入量对发射药常温冲击强度影响不大。

表 2 高能太根发射药的冲击实验结果

Table 2 Impact experimental results of high energy TEGN propellants

content of TPUE ¹⁾ /%	$\alpha_k^{2)}$ / $\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$		
	-40 °C	20 °C	50 °C
0	5.0	30.1	no broken
1.0	9.2	38.7	no broken
1.5	11.6	44.3	no broken
2.0	8.2	44.9	no broken
2.5	9.2	44.4	no broken
3.0	12.5	44.6	no broken
3.5	4.4	42.2	no broken
4.0	6.5	46.9	no broken

Note: 1) The thermoplastic polyurethane elastomer (TPUE) content were based on the above basic research formulation; 2) α_k is impact strength.

3.2 发射药的压缩性能

不同温度下高能发射药的压缩性能见表 3。由表 3 可以看出, 各温度下, TPUE 的加入量对高能太根发射药抗压性能的影响不尽相同。

低温(-40 °C)下, 随着 TPUE 含量在 0 ~ 2% 左右的范围内增加, 体系的抗压强度和最大压缩应变均有逐渐增大趋势, 当 TPUE 含量进一步增加时(大于 2%), 抗压强度与最大压缩应变基本维持在一个较高的数值; 常温(20 °C)下, 抗压强度与最大压缩应变随着 TPUE 加入量的增加在一定的范围内波动, 变化幅度较小; 高温(50 °C)下, TPUE 的加入量增加, 虽然由于试验和样品制备过程中的误差, 数据有一定的波动, 但仍具有抗压强度逐渐下降, 最大压缩应变逐渐上升的趋势。

综合冲击试验结果, 可以看出: 在硝胺太根发射药体系中加入 1% ~ 3% 的热塑性弹性体可提高发射药的综合力学性能, 特别是低温冲击强度。

表 3 高能太根发射药的压缩试验结果

Table 3 Compress experimental results of high energy TEGN propellants

TPUE content /%	σ_{\max} / MPa			ε_{\max} / %		
	-40 °C	20 °C	50 °C	-40 °C	20 °C	50 °C
0	112.0	45.2	33.6	37.3	44.0	51.2
1.0	112.5	43.7	32.2	44.7	45.9	58.1
1.5	139.6	45.6	28.3	53.4	46.2	54.1
2.0	134.9	41.8	25.9	42.8	45.8	56.5
2.5	130.9	48.3	25.9	46.9	46.4	52.8
3.0	129.9	47.0	28.0	50.5	47.8	55.9
3.5	128.7	49.2	26.6	43.5	48.1	60.3
4.0	139.7	47.9	27.2	51.9	47.8	57.3

Note: σ_{\max} is compression strength; ε_{\max} is compressive ratio.

3.3 发射药的燃烧和能量性能

密闭爆发器测得发射药的火药力 f 和余容 α 与 TPUE 含量的关系如图 1 所示。

由图 1 可以看出, 随着聚氨酯热塑性弹性体 TPUE 含量的增加, 发射药的火药力下降, 而余容略呈上升趋势, 但由于 TPUE 加入量较小, 对体系总体的能量性能影响不大。

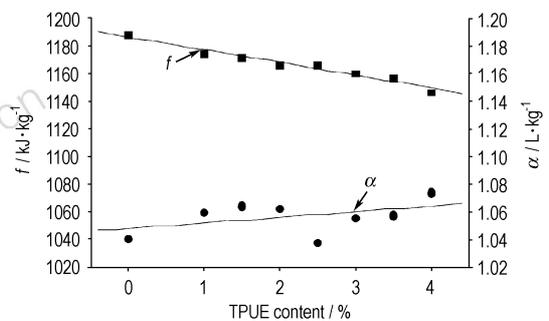


图 1 发射药 f 和 α 与 TPUE 含量的关系

Fig. 1 Effects of TPUE content on the force (f) and co-volume (α) of high energy TEGN propellants

聚氨酯热塑性弹性体 TPUE 的不同含量对发射药的燃速系数 u_1 和压力指数 n 的影响见图 2(装填密度 $\Delta = 0.18 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。

从图 2 可以看出, 燃速系数 u_1 随着加入 TPUE 含量的增加而减小; 压力指数 n 随着加入 TPUE 含量的增加而变大, 但总体变化幅度较小。当 TPUE 含量为

3%时,对应的发射药 f 、 α 、 n 分别为 $1160.3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1.06 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 1.06 , f 、 α 、 n 分别变化 2%、1.4% 和 5.3%。

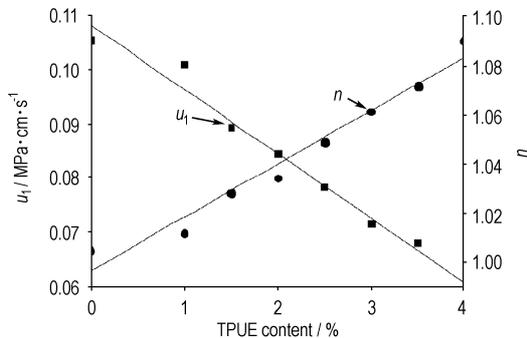


图2 燃速系数 u_1 和压力指数 n 与 TPUE 含量的关系

Fig. 2 Effects of TPUE content on the burning coefficient (u_1) and pressure exponent (n) of TEGN propellants

4 结论

(1) 在硝胺太根发射药中加入一定量的热塑性聚氨酯弹性体,在保持发射药较高能量的同时,可以较明显地提高其力学性能,特别是低温冲击性能。在硝胺太根发射药中加入 1% ~ 3% TPUE,在保持发射药火药力大于 $1150 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的同时,低温冲击强度提高 60% 以上。

(2) 随着硝胺太根发射药中加入 TPUE 含量的增加,火药力下降,余容略呈上升,燃速系数 u_1 逐渐减小;压力指数 n 逐渐增大。TPUE 加入量为 3% 时, f 、 α 、 n 分别变化 2%、1.4% 和 5.3%。

参考文献:

- [1] 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.
WANG Ze-shan. Development and prospect of propellant techniques[J]. *Journal of North China Institute of Technology (Social Sciences)*, 2007(Supplement): 36-40.
- [2] Michael G Leadore. Mechanical properties of aerojet, thiokol, and JA2 high-energy gun propellants at 1.5 m/s deformation rate [R]. ADA 399116, 2002, 6.
- [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, 25(2): 59-60.
LEI Ying-jie, YANG Wen-bao, HU Rong-zu. Research on three novel bonding agents in nitramine-filled propellants[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2002, 25(2): 59-60.
- [4] 郑林, 李生慧, 魏学涛, 等. 硝化棉含氮量对叠氮硝胺发射药力学性能的影响[J]. 火炸药学报, 2003, 26(3): 47-50.
ZHENG Lin, LI Sheng-hui, WEI Xue-tao, et al. The influence of nitrogen content of nitrocellulose on the mechanical properties of the diazidonitrazapentane propellant[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2003, 26(3): 47-50.
- [5] 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.
- [6] 范夕萍, 谭惠民, 张磊, 等. 热塑性弹性体在复合改性双基推进剂中的应用[J]. 推进技术, 2008, 29(1): 124-128.
FAN Xi-ping, TAN Hui-min, ZHANG Lei, et al. Influence of thermoplastic polyurethane on mechanical properties of modified double base propellants[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2008, 29(1): 124-128.
- [7] 姚楠, 王江宁, 刘于如, 等. 热塑性聚氨酯弹性体对高固体含量改性双基推进剂力学性能的影响[J]. 含能材料, 2008, 16(2): 196-200.
YAO Nan, WANG Jiang-ning, LIU Zi-ru, et al. Effect of thermoplastic polyurethane elastomer on mechanical properties of modified double-base propellants[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(2): 196-200.

Application of Thermoplastic Elastomer to Triethylene Glycol Dinatrate Propellants

HE Wei-dong, WEI Xiao-an, WANG Ze-shan

(Department of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The effects of thermoplastic polyurethane elastomer (TPUE) on mechanical, energy and combustion performance of triethylene glycol dinatrate (TEGN) propellants were studied. Results show that TPUE improves the mechanical properties, especially the impact resistance at low temperature ($-40 \text{ }^\circ\text{C}$). When TPUE content is about 1% - 3%, the impact strength at $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ increases by more than 60%. With the increase of TPUE, the propellant force (f) decreases gradually, and the co-volume (α) and pressure exponent (n) increase a little. When TPUE is 3%, f , α and n is changed to 2%, 1.4% and 5.3% respectively.

Key words: materials science; high strength; propellant; mechanical property; thermoplastic polyurethane elastomer (TPUE)

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.020