

文章编号: 1006-9941(2013)06-0818-03

螺压硝胺改性双基推进剂对机械刺激的安全性分析

刘所恩^{1,2}, 赵效民², 赵美玲², 张景林³, 邹伟伟¹, 吕春玲³

(1. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094; 2. 山西北方兴安化学工业有限公司, 山西 太原 030008; 3. 中北大学化工与环境学院, 山西 太原 030051)

摘要: 为考察螺压硝胺改性双基推进剂对机械性激励的安全性, 采用无溶剂螺压成型工艺制备了 7 种 RDX 含量不同的硝胺改性双基推进剂样品, 依据国军标方法研究了含不同 RDX 的螺压硝胺改性双基推进剂的摩擦感度、撞击感度和枪击感度。结果表明, RDX 的加入提高了硝胺改性双基推进剂的摩擦感度和撞击感度, 同时增加了其枪击条件下的燃烧概率。

关键词: 物理化学; 螺压硝胺改性双基推进剂; RDX; 机械感度; 枪击感度; 安全性

中图分类号: TJ55; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.06.025

1 引言

螺压硝胺改性双基推进剂是以硝化棉(NC)和硝化甘油(NG)双基组分为粘合剂体系, 高能硝胺炸药(RDX 或 HMX)及少量高热值金属粉(铝粉)等为填料, 通过传统无溶剂螺旋挤压成型工艺制备的一类综合性能优良的固体推进剂。该类推进剂具有能量高、特征信号低、制造工艺成熟、易实现批量化、满足自由装填等特点, 是武器系统实现“远程精确打击、高效毁伤”的首选动力能源, 在世界各国得到了大力开发与应用。

随着配方中大量高能硝胺炸药的加入, 推进剂的危险性也越来越大, 因此, 受到关注也越来越多。在过去的 30 多年中, 美、英各种作战平台(包括航母、军舰、飞机、坦克)火灾事故频繁, 造成弹药烤燃、爆炸的严重伤亡。惨痛的教训促使西方各国军方于 20 世纪 80 年代开始重视降低弹药感度的问题^[1-3]。美国 2000 年报道了 1940~1999 年与固体推进剂有关的 81 起重大事故^[4-6], 从中可以看出, 大量潜能的固体推进剂和装有固体推进剂的导弹火箭发动机在贮存、生产和使用过程中一旦发生事故, 其后果触目惊心。改善硝胺改性双基推进剂的综合性能同时, 危险性也越来越大, 对制造过程、废品销毁、储存、运输及使用带来一定的危险, 因此, 研究该类推进剂的安全特性具有重要意义。

本研究采用螺旋挤压工艺制备了不同 RDX 含量的螺压硝胺改性双基推进剂, 研究了该类推进剂在机械刺激下的安全性能, 以期提高人们对该类推进剂有关危险性的认识, 并对该推进剂其制造、贮存、运输及使用过程的安全性提供一定的参考。

2 实验

2.1 试样

采用传统的无溶剂法螺旋压伸工艺制备了 7 种成熟的推进剂样品, 配方见表 1, 其中 R-0 为基础配方。RDX 的粒度对推进剂机械感度有一定的影响, 为了消除粒径的干扰, 采用同一批次、平均粒径为 50 μm 的 RDX。

表 1 螺压硝胺改性双基推进剂的配方

Table 1 Formula of modified nitramine double base propellant by screw extrusion %

sample	double-base components	RDX	Al	ballistic conditioner	stabilizing agent	others
R-0	85.0	—	—	2.5	3.0	9.5
R-1	72.5	18.0	—	5.5	1.7	2.3
R-2	64.5	27.1	—	5.9	1.7	0.8
R-3	51.3	34.2	3.0	8.5	1.5	1.5
R-4	54.1	38.0	—	5.9	1.3	0.7
R-5	40.5	49.2	5.0	3.8	1.0	0.5
R-6	40.5	55.1	—	3.1	1.0	0.3

2.2 试验方法

(1) 摩擦感度试验

收稿日期: 2013-01-25; 修回日期: 2013-05-08

作者简介: 刘所恩(1968-), 男, 硕士, 研究员级高级工程师, 主要从事双基及改性双基推进剂技术研究。e-mail: suoliuen@163.com

采用 GJB772A-1997 方法 602.1 规定的试验方法进行摩擦感度试验, 温度 15 ~ 35 °C, 样品用量 (0.020 ± 0.001) g, 表压 (2.45 ± 0.05) MPa, 摆角 66° ± 0.5°。摩擦感度用爆炸百分数 P 表示。

(2) 撞击感度试验

采用 GJB772A-1997 方法 601.1 规定的试验方法进行撞击感度试验, 温度 15 ~ 35 °C, 样品用量 (0.030 ± 0.001) g, 锤重 (2000 ± 2) g。撞击感度用特性落高 H_{50} 来表示。

(3) 枪击感度试验

采用 GJB772A-1997 方法 603.1 规定的 7.62 mm 步枪法进行枪击感度试验, 射击距离 25 m, 环境温度为 -12 °C, 样品尺寸 $\phi 50$ mm × 60 mm。

3 结果与分析

3.1 机械感度特性分析

固体推进剂的机械感度反映了其在外部机械作用下发生爆炸的难易程度, 是评价固体推进剂安全性能的一个非常重要的指标。参照国军标 GJB772A-1997 方法 602.1、601.1 规定的实验原理和方法, 测试螺旋压伸工艺制备的 7 种推进剂样品机械感度, 结果见表 2。

表 2 不同 RDX 含量的螺压硝酸胺改性双基推进剂的机械感度
Table 2 Mechanical sensitivity of modified nitramine double base propellant by screw extrusion

formula	RDX content/%	P /%	H_{50} /cm
R-0	—	20	29.40
R-1	18.0	24	21.40
R-2	27.1	64	21.40
R-3	34.2	60	25.40
R-4	38.0	62	25.40
R-5	49.2	64	21.40
R-6	55.1	58	21.32

Note: P is friction sensitivity; H_{50} is impact sensitivity.

从表 2 可以看出, RDX 的含量对双基推进剂的机械感度有较大的影响。在硝酸双基推进剂中添加高能硝酸炸药 RDX 以后, 摩擦爆炸概率呈上升趋势, 撞击爆炸特性落高呈下降趋势, 表明 RDX 的加入使得推进剂对机械撞击的敏感度增加, 安全性下降。

与基础配方 R-0 相比, 添加 18% RDX 的 R-1 样品摩擦爆炸概率升高的幅度不大, 但撞击爆炸特性落高下降趋势明显。当 RDX 含量达到 27% 以后, 样品摩

擦爆炸概率大幅度升高, 达到 64%, 而 RDX 含量超过 27% 以后, 推进剂摩擦爆炸概率则基本稳定在 60% 左右, 与推进剂中 RDX 含量没有规律性对应关系, 特性落高下降趋势变缓。在推进剂中引入 RDX 等含能材料后, 在外界能量(摩擦、撞击)刺激下, 它与推进剂中其它组分之间相互作用易形成热点, 从而发生燃烧或爆炸。

3.2 枪击感度测试结果

按照国军标 GJB772A-1997 方法 603.1 规定的 7.62 mm 步枪法对 7 种样品进行枪击感度测试, 每种试样测试 10 发, 结果见表 3。

表 3 硝酸胺改性双基推进剂的枪击感度

Table 3 Shooting sensitivity of modified nitramine double base propellant by screw extrusion

formula	B /%	E /%
R-0	0	0
R-1	0	0
R-2	30	0
R-3	0	0
R-4	70	0
R-5	80	0
R-6	40	0

Note: B is burning probability; E is explosion probability.

从表 3 可以看出, 在推进剂中添加高能硝酸炸药 RDX 以后, 增加了其枪击条件下的燃烧概率, 使推进剂的枪击安全性有所降低。但是所有试验样品均没有发生爆炸现象, 虽有燃烧, 也只是局部燃烧现象, 未完全燃烧, 说明这类推进剂的安全性较好。试验过程中除基础配方 R-0 以外, 样品 R-1 和样品 R-3 也未发生燃烧现象。这说明推进剂样品的燃烧概率与 RDX 含量较低有关外, 也可能与样品中其他添加剂组分有关。

4 结论

(1) RDX 的加入使螺压硝酸胺改性双基推进剂的摩擦感度呈升高趋势, 但 RDX 含量达到 27% 以后, 其摩擦感度不再升高。RDX 的加入同时使螺压硝酸胺改性双基推进剂的机械撞击感度呈升高趋势, 但 RDX 含量增加到 27% 以后, 撞击感度基本稳定在一定区间, 撞击感度与推进剂中 RDX 含量没有规律性对应关系。

(2) 枪击感度试验证明, RDX 的加入提高了螺压硝酸胺改性双基推进剂枪击条件下的燃烧概率, 降低了推进剂的枪击安全性。但推进剂样品的燃烧概率不仅

与 RDX 含量有关,可能与样品中其他添加剂组分也有关。

综上所述,硝酸改性双基推进剂与双基推进剂相比,机械刺激安全性能呈下降趋势,在其生产、储存、运输、使用和回收过程中应尽量减少机械摩擦、机械撞击、子弹冲击、破片冲击等机械性激励作用,防止发生燃爆事故。

参考文献:

- [1] Andrew C. Victor. Insensitive munitions technology for tactical rocket motors[J]. *Progress Astronautic and Aeronautic*, 1996, 170: 273-361.
- [2] 戴耀松. 国外战术导弹固体火箭发动机低易损性技术分析[J]. 推进技术, 1998, 19(1): 98-101.
DAI Yao-song. The low vulnerability of solid rocket engine for tactical missile[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 1998, 19(1): 98-101.
- [3] 李辰芳. 钝感弹药技术在推进系统中的应用研究[J]. 飞航导弹, 1996, 9: 43-44.
LI Zhen-fang. The applied research of insensitive ammunition technology in propulsion system [J]. *Winged Missiles Journal*, 1996, 9: 43-44.
- [4] Boggs T L, Atwood A I, Lindfors A J. Hazards associated with solid propellant[J]. *Energy and Combustion Science*, 2000, 185: 221-264.
- [5] 徐司雨, 赵凤起, 李上文, 等. 含 CL-20 的改性双基推进剂的机感度[J]. 推进技术, 2006, 27(2): 182-186.
XU Si-yu, ZHUO Feng-qi, LI Shang-wen, et al. Impact and friction sensitivity of composite modified double base propellant containing hexanitrohexaazaisowurtzitan (CL-20) [J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2006, 27(2): 182-186.
- [6] Patil D G, Brill T B. Thermal decomposition of energetic materials 53-kinetics and mechanism of thermolysis of hexanitrohecazaisowurtzitan[J]. *Combustion and Flame*, 1991, 87: 145-151.
- [7] 安亭, 赵凤起, 高红旭, 等. 含超级铝热剂双基推进剂的感度特性[J]. 推进剂技术, 2013, 34(1): 150-155.
AN Ting, ZHAO Feng-qi, GAO Hong-xu, et al. Sensitivity characteristics of double base propellants containing super thermite [J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2013, 34(1): 150-155.
- [8] Auzaeau M, Roux M. Electric Spark and ESD Sensitivity of Reactive Solids (primary or secondary explosive, propellant, pyrotechnics). Part II: Energy transfer mechanisms and comprehensive study on E₅₀ [J]. *Propellants Explosives Pyrotechnics*, 1995, 20(2): 90-101.

Safety Performance of Modified Nitramine Double Base Propellant by Screw Extrusion Subject to Mechanical Stimulus

LIU Suo-en, ZHAO Xiao-min, ZHAO Mei-ling, ZHANG Jing-lin, ZOU Wei-wei, Lü Chun-ling

(1. School of Chemistry and Engineering, NUST, Nanjing 210094, China; 2. Shanxi Xing'an Chemical Industry CO. LTD., Taiyuan 03008, China; 3. North University of China Taiyuan 030051, China)

Abstract: Seven modified nitramine double base propellants with different content of RDX were prepared by screw extrusion process, and their mechanical safety performance, including the friction sensitivity, the impact sensitivity and the shooting sensitivity were studied according to the national military standard methods. Results show that with increasing of RDX, the impact sensitivity, the friction sensitivity and combustion probabilities of shooting of the propellants increase. The friction sensitivity keeps stable at around 60% explosion probability and impact sensitivities increase slowly when RDX content is up to 27%. The combustion probabilities of shooting of the propellant increase with RDX content increasing.

Key words: physical chemistry; double base propellant; RDX; mechanical sensitivity; shooting sensitivity; security

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.06.025