

文章编号: 1006-9941(2015)07-0644-04

螺压硝胺改性双基推进剂对冲击波激励的安全性评价

刘所恩^{1,2}, 周伟良¹, 赵效民², 赵美玲², 张景林³, 吕春玲³, 张国辉²

(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: 为深入研究硝胺改性双基推进剂的安全性能, 根据 GB14372-1993 以及 GJB772A-1997 对黑索今(RDX)含量不同(18.0%~55.1%)的硝胺改性双基推进剂进行了雷管感度试验、冲击波感度试验、爆轰临界直径测定以及爆速测试, 并与普通双基推进剂进行了对比。结果表明: 随着推进剂中 RDX 的增加, 推进剂的雷管感度、冲击波感度呈上升趋势, 爆轰安全性呈下降趋势, 爆速呈升高趋势。当 RDX 含量达到 34% 以上时, 在 -5 °C 下就可以被雷管直接引爆; 当 RDX 含量达到 55.1% 时, 推进剂的临界隔板厚度增加至 33.5 mm, 爆轰传播临界直径为 8 mm, 爆速超过 8000 m·s⁻¹。

关键词: 改性双基推进剂; 黑索今(RDX); 雷管感度; 冲击波感度; 爆轰安全性; 爆速

中图分类号: TJ55; V512+.2

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.07.007

1 引言

随着配方中大量高能硝胺炸药的加入, 推进剂的安全性受到越来越多的关注。过去 30 多年中, 美、英各种作战平台(包括航母、军舰、飞机、坦克)频繁发生火灾, 造成弹药烤燃、爆炸等严重伤亡事故, 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^[1-5]。从 2000 年美国报道的 1940~1999 年 81 起固体推进剂重大事故^[6]可以看出, 贮存大量固体推进剂及装有固体推进剂导弹火箭发动机, 在生产和使用过程中一旦发生事故, 其后果触目惊心。国外对降低推进剂危险性的研究十分重视, 20 世纪 90 年代已研究开发了大量的钝感推进剂配方, 并逐步在战术武器上获得应用^[7-8]。

螺压硝胺改性双基推进剂是以双基组分硝化棉(NC)与硝化甘油(NG)为粘合剂体系, 以高能硝胺炸药黑索今(RDX)或奥克托今(HMX)及少量高热值金属粉(铝粉)等为填料, 以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、均匀性及一致性好、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”首选的动力能

源, 因此在世界各国得到了大力开发与应用。硝胺改性双基推进剂在其能量越来越高的同时, 其危险性也越来越大, 给制造、废品销毁、储存、运输及使用带来危险, 国外虽然开展了降低推进剂感度的工作^[1,4], 但都未较系统地研究硝胺改性双基推进剂的安全性^[3,9], 因此, 本研究探讨了该类推进剂在冲击波激励条件下的安全性能, 以期提高人们对该类推进剂有关危险性的认识, 并对提高其制造、销毁、储存、运输及使用过程的安全性有所帮助。

2 试验部分

2.1 试验样品

按照推进剂配方中 RDX 加入量的不同, 通过无溶剂螺旋挤压成型工艺制备了 7 个推进剂样品进行了试验研究, 其主要配方组成见表 1。

表 1 7 个推进剂样品的配方组成

sample	NC+NG	RDX	others
1#	85.0	-	15.0
2#	72.5	18.0	9.5
3#	64.5	27.1	8.4
4#	51.3	34.2	14.5
5#	54.1	38.0	7.9
6#	40.5	49.2	5.5
7#	40.5	55.1	4.4

收稿日期: 2014-05-06; 修回日期: 2014-07-10

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

2.2 试验方法

对7个推进剂样品分别进行4项冲击波激励试验:雷管感度试验、冲击波感度(卡片式隔板)试验、爆轰安全性试验以及爆速试验。

雷管感度试验。采用 GB14372-1993《危险货物运输爆炸品分级试验方法和判据》中雷管感度试验方法进行了试验,温度为 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度30%,雷管为工业8号电雷管。

冲击波感度试验。采用 GJB772A-1997 方法规定的冲击波感度(卡片式隔板法)进行试验,主发炸药(特屈儿)密度 $(1.57\pm 0.02)\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,隔板材料为三醋酸酐纤维素酯片,温度为 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度40%。

爆轰安全性试验。将不同直径的实芯药柱按直径递减的顺序配装在相应尺寸的钢见证板上,从药柱的最大直径端起爆,以见证板上的爆轰痕迹表征爆轰在配装药柱中的传播,判定推进剂的爆轰临界直径,试验环境温度为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为40%。

爆速试验。采用 GJB772A-1997 方法规定的爆速电测法进行试验,药柱直径为18 mm,长度为125 mm。

3 结果与讨论

3.1 雷管感度试验

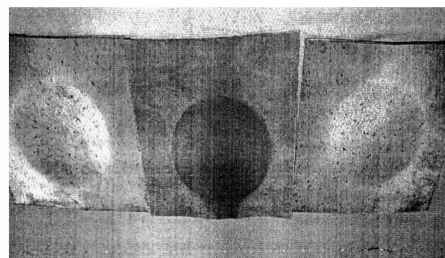
7个推进剂样品在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的雷管感度测试结果见表2和图1。

图1a分别是1#、2#、3#样品进行雷管感度试验以后在相应的钢见证板上留下的痕迹,图1b是4#、5#、6#、7#样品进行雷管感度试验以后在相应的钢见证板上留下的痕迹。由图1可知,RDX含量较高的4#、5#、6#、7#推进剂样品均在雷管起爆后爆炸,见证板被击穿,而RDX含量较低的2#、3#推进剂样品和不含RDX的1#推进剂样品都没有发生爆炸,见证板虽有不同程度变形,但未被击穿。说明随着改性双基推进剂中高能硝酸炸药RDX的加入,推进剂的雷管感度呈上升趋势,在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下,当RDX含量达到34%时就可以被雷管直接引爆。

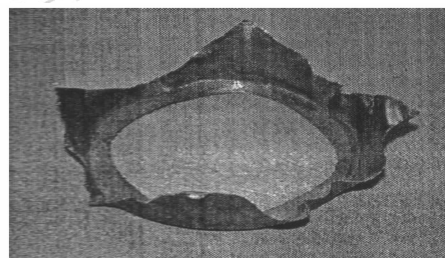
表2 7个推进剂样品对雷管起爆的响应

Table 2 Response to detonator initiating for 7 propellant samples

sample	1#	2#	3#	
result	non-detonating	non-detonating	non-detonating	
sample	4#	5#	6#	7#
result	detonating	detonating	detonating	detonating



a. Not breakdown of test plates(1#, 2#, 3#)



b. Breakdown of test plate(4#, 5#, 6#, 7#)

图1 7个推进剂样品雷管感度测试结果

Fig.1 Results of detonator sensitivity test for 7 propellant samples

3.2 冲击波感度试验

7个推进剂样品在 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的冲击波感度测试结果见表3。图2是试验后见证板的典型图片。

表3 7个推进剂样品冲击波感度试验结果

Table 3 Results of shock sensitivity test for 7 propellant samples

sample	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
gap thickness/mm	7.6	18.9	27.2	30.5	31.2	33.2	33.5

由表3可以看出,在隔板厚度小于一定值时,所有参试样品均可被主发炸药引爆,并将见证板击穿,如图2a所示,图2b为隔板厚度大于临界值时,样品未被主发炸药引爆,未被击穿的见证板。不含RDX的1#样品试验测得临界隔板厚度值最小,只有隔板厚度值小于7.6 mm时才能引爆试验样品,说明1#样品的冲击波感度相对较低。而含有RDX的2#~7#样品试验测得的临界隔板厚度值都较大。含有18.0%RDX的2#样品测试临界隔板厚度值快速增加到18.9 mm,配方中含有27.1%RDX的3#样品测试临界隔板厚度进一步增加到27.2 mm,而配方中RDX含量分别为34.2%、38.0%、49.2%、54.0%的4#、5#、6#、7#样品的测试临界隔板厚度由30.5 mm增加至33.5 mm,趋势减缓,但随着配方中RDX含量的增加,总的趋势是试验隔板厚度临界值继续呈增大趋势,说明配方中RDX的加入不仅促使推进剂的冲击波感度升高,而且RDX含量越高,其冲击波感度也越高,即在冲击波激励下的安全性越低。

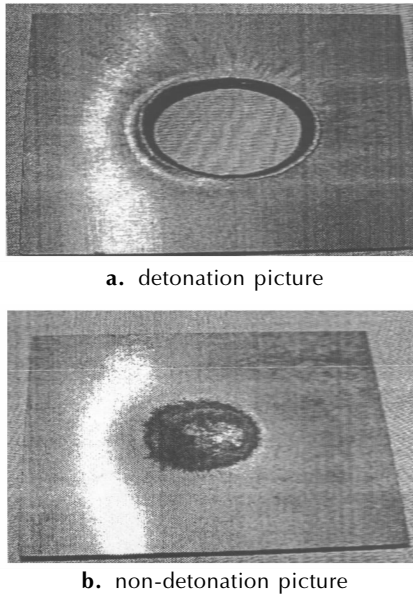


图 2 7 个推进剂样品冲击波敏感度测试结果

Fig. 2 Typical photos of the shock sensitivity test for 7 propellant samples

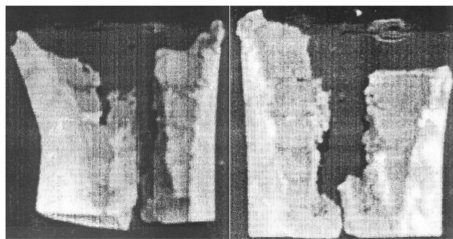
3.3 爆轰临界直径测定试验

7 个推进剂样品的爆轰临界直径测定结果见表 4。图 3 是推进剂起爆和未起爆钢见证板对比。

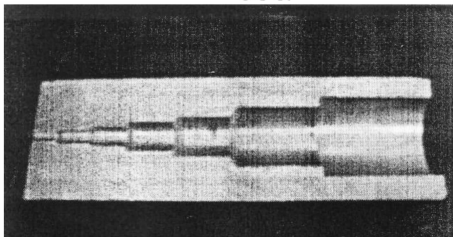
表 4 7 个推进剂样品爆轰临界直径测定结果

Table 4 Results of detonation critical diameter for 7 propellant samples

sample	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]
critical diameter/mm	-	20	18	15	13	10	8



a. trace after detonation (2[#], 3[#], 4[#], 5[#], 6[#], 7[#])



b. trace after non-detonation (1[#])

图 3 7 个推进剂样品爆轰临界直径测试结果

Fig. 3 Typical photos of the detonation critical diameter for 7 propellant samples

由表 4 与图 3 可知,在相同的试验条件下,不含 RDX 的 1[#]样品没有被雷管引爆,钢见证板没有破毁,而含有 RDX 的 2[#]~7[#]样品都被雷管起爆,钢见证板被炸毁,且爆轰传播临界直径随着样品中 RDX 含量增加呈现减小的趋势,由 2[#]样品的 20 mm 递减到 7[#]样品的 8 mm,尽管由于试验条件及方法存在局限性,所测得每个样品的爆轰传播临界直径不是十分精确,但试验结果趋势明显,说明螺压硝胺改性双基推进剂中 RDX 的引入降低了其爆轰安全性,而且随着 RDX 含量的增加,爆轰安全性呈递减趋势。

3.4 爆速测定

7 个推进剂样品的爆速测定试验结果见表 5,爆速变化趋势见图 4。

表 5 推进剂样品爆速测定结果

Table 5 Detonation velocity of 7 propellant samples

sample	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]
detonation velocity /m · s ⁻¹	6961	7380	7644	7471	7579	7900	8075

由表 5 及图 4 可以看出,不含 RDX 的 1[#]样品爆速为 6961 m · s⁻¹,而含有 RDX 的 2[#]~7[#]样品,其爆速都明显高于 1[#]样品,且随着高能炸药 RDX 含量的增加,推进剂的爆速基本呈升高趋势。当 RDX 含量达到 55%时(7[#]),推进剂的爆速已经超过 8000 m · s⁻¹,说明加入 RDX 的改性双基推进剂在爆炸时能量释放速度很快。

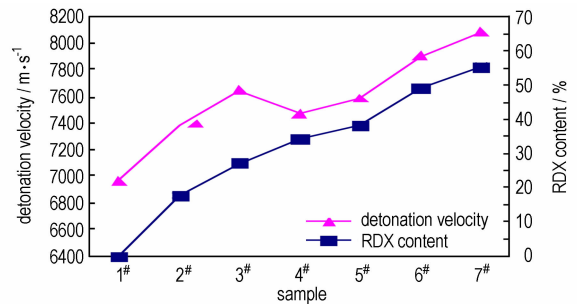


图 4 试验样品爆速变化趋势

Fig. 4 Change of detonation velocity for 7 propellant samples

4 结 论

(1) 随着推进剂中高能硝胺炸药 RDX 含量的加入,推进剂的雷管感度呈升高趋势,在 -5 °C 环境下,当 RDX 含量达到 34% 时,推进剂样品就可被雷管直接引爆。

(2) 在隔板厚度小于一定值时,不含或含 RDX 的推进剂样品均可被主发炸药引爆,并将见证板击穿。不含 RDX 的推进剂样品试验测得临界隔板厚度值最小,只有 7.6 mm,冲击波感度相对较低。而含有 RDX 的推进剂样品试验测得的临界隔板厚度值都较大。总的趋势是随着配方中 RDX 含量的增加,试验隔板厚度临界值呈增大趋势,说明配方中 RDX 的加入不仅促使推进剂的冲击波感度升高,而且 RDX 含量越高,其冲击波感度也越高,即在冲击波激励下的安全性越低。

(3) 在相同的试验条件下,不含 RDX 的推进剂样品没有被雷管引爆,钢见证板没有破毁,而含 RDX 的推进剂样品则都被雷管起爆,钢见证板被炸毁,且爆轰传播临界直径随着样品中 RDX 含量增加呈现减小的趋势,当 RDX 含量达到 55.1% 时,爆轰传播临界直径只有 8 mm,说明改性双基推进剂中 RDX 的引入降低了其爆轰安全性,而且随着 RDX 含量的增加,爆轰安全性呈递减趋势。

(4) 含 RDX 的推进剂样品爆速都明显高于不含 RDX 的推进剂样品,且随着高能炸药 RDX 含量的增加,推进剂的爆速基本呈升高趋势。当 RDX 含量达到 55.1% 时,推进剂的爆速已经超过 $8000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,说明加入 RDX 的改性双基推进剂在爆炸时能量释放速度很快。

参考文献:

[1] Andrew C. Victor. Insensitive munitions technology for tactical rocket motors[M] // Paul Zarchan Editor-in-chief. Progress in Astronautic and Aeronautic, 1996, 170: 273-361.

- [2] 刘栓虎,程根旺,骆广梁. 高能推进剂钝感含能材料研究现状[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2010, 8(2): 5-10.
LIU Shuan-hu, CHENG Gen-wang, LUO Guang-liang. Research status of insensitive energetic materials used in high-energy propellant[J]. *Chemical Propellants & Polymeric Materials*, 2010, 8(2): 5-10.
- [3] 李辰芳,钝感弹药技术及其在推进系统中的应用研究[J]. 飞航导弹, 1996, 9: 43-44.
LI Chen-fang. The applied research of insensitive ammunition technology in propulsion system[J]. *Winged Missiles Journal*, 1996, 9: 43-44.
- [4] 石小兵,庞维强,蔚红建,钝感推进剂研究进展及发展趋势[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2007, 5(2): 24-28.
SHI Xiao-bing, PANG Wei-qiang, WEI Hong-jian. Research progress and development trends of insensitive propellant[J]. *Chemical Propellants & Polymeric Materials*, 2007, 5(2): 24-28.
- [5] 秦能,廖林泉,范红杰,等. 几种典型固体推进剂的危险性能实验研究[J]. 含能材料, 2010, 18(3): 324-329.
QIN Neng, Liao LIN-quan, FAN Hong-jie, et al. Experimental study on several typical solid propellants hazard classification[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(3): 324-329.
- [6] Boggs T L, Atwood A I, Lindfors A J, et al. Hazards Associated with Solid Propellants[M] // Paul Zarchan Editor-in-chief. Progress in Astronautic and Aeronautic, 2000: 185.
- [7] Gilles Fonblanc, Bruno Herran. A new insensitive and non-toxic double base propellant for rocket motors[C] // 30th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference. Indianapolis, 2004.
- [8] Charles E Hanrod. An insensitive nitrocellulose based high performance minimum smoke propellant[C] // Proc. of Insensitive Munitions Technology Symposium, Williamsburg: ADPA, 1994: 221-228.
- [9] 秦能,裴江峰,王明星. 一种 RDX-CMDB 推进剂危险性能研究[J]. 含能材料, 2011, 19(6): 725-729.
QIN Neng, PEI Jiang-feng, WANG Ming-xing. Hazard property of RDX-CMDB propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2011, 19(6): 725-729

Safety Analysis of Screw Extrusion Nitramine Modified Double Base Propellant on Shock Wave

LIU Suo-en^{1,2}, ZHOU Wei-liang¹, ZHAO Xiao-min², ZHAO Mei-ling², ZHANG Jing-ling³, Lü Chun-ling³, ZHANG Guo-hui²

(1. Chemical Engineering College, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China; 2. Shanxi North Xin'an Chemical Industry Co. Ltd, Taiyuan 030008, China; 3. School of Chemical Engineering Environment, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In order to study the effects of RDX on the safety performance of nitramine modified double base propellants (MDBP), detonator sensitivity test, shock sensitivity test, detonation safety test and detonation velocity test were carried out respectively according to GB14372-1993 and GJB772A-1997 for nitramine modified MDBP samples with different content of RDX (18.0% ~ 55.1%) and a common MDBP sample. Results show that with increasing of RDX content, the propellant has higher sensitivity to shock wave and detonator, lower detonation safety, and its detonation velocity of propellant increases. Detonator could explode the propellant at $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ directly when the content of RDX in propellant is 34%. The critical gap thickness is up to 33.5 mm, the propagation critical diameter of detonation 8 mm and the detonation velocity more than $8000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ when the content of RDX is 55.1%.

Key words: modified double base propellant; RDX; detonator sensitivity; shock wave sensitivity; detonation safety; detonation velocity

CLC number: TJ55; V512+.2

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.07.007