

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2019.01.007

FOX-7 与 RDX 混合比例对压装炸药慢速烤燃及冲击波感度的影响^{*}

田 轩 黄亚峰 王晓峰 徐洪涛 李文祥 赵 凯 杨 惠 李 媛
西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

[摘 要] 利用慢速烤燃试验和冲击波感度试验研究了 FOX-7 与 RDX 不同混合比例对炸药响应特性的影响。试验表明:当 FOX-7 的混入量(质量分数)低于 72% 时,炸药在慢速烤燃试验中的响应剧烈程度表现为爆轰反应,其临界起爆压力接近 6.62 GPa;当 FOX-7 的混入量(质量分数)等于 72% 时,炸药在慢速烤燃试验中的响应剧烈程度由爆轰降至爆燃,其临界起爆压力升至 7.27 GPa;当配方中完全采用 FOX-7 时,炸药在慢速烤燃试验中的响应剧烈程度由爆燃降至燃烧,临界起爆压力升至 8.24 GPa。造成上述试验结果的原因可能是压装炸药在成型过程中因颗粒的破碎、重排作用使 FOX-7 对 RDX 形成包覆,进而改善了 RDX 材料点火增长速度快的本质特点。

[关键词] 不敏感炸药;FOX-7;烤燃试验;冲击波感度

[分类号] TJ55

Influence of Mixture Ratio of FOX-7 and RDX on Slow Cook-off and Shock Sensitivity of Pressed Explosives

TIAN Xuan, HUANG Yafeng, WANG Xiaofeng, XU Hongtao, LI Wenxiang, ZHAO Kai, YANG Hui, LI Yuan
Xi'an Modern Chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

[ABSTRACT] Response properties of pressed explosive with different mixture ratio of FOX-7 and RDX were studied by small-scale cook-off bomb test and shock wave sensitivity test. Slow cook-off test shows detonation when the addition content of FOX-7 in the formula is less than 72%, and the critical initiation pressure is close to 6.62 GPa. When the addition content of FOX-7 reaches 72%, the slow cook-off response of the explosive transits from detonation to deflagration, and the critical initiation pressure increases to 7.27 GPa. When the addition content of FOX-7 was reached 100%, the slow baking response of the explosive degrades from deflagration to combustion, and the critical initiation pressure increases to 8.24 GPa. The reason for the test results above might be that FOX-7 was coated RDX because of particle breakage and rearrangement during the molding process, which improve the essential characteristics of rapid ignition growth of RDX materials.

[KEYWORDS] insensitive explosive; FOX-7; cook-off test; shock sensitivity

引言

自 1984 年美国海军率先公布其不敏感弹药(IM)政策以来,IM 已成为各国弹药发展的重点方向。不敏感弹药是系统问题,它不仅要求主装药是不敏感炸药,也要求所用的含能材料都是不敏感的^[1]。国外经过多年发展,开发了多种类型的不敏感火炸药,在此基础上形成的不敏感弹药已装备部

队,其发展经验表明,开展不敏感含能材料应用基础研究,对发展高能不敏感炸药具有重要的指导意义。

二氨基-2,2-二硝基乙烯(FOX-7)自合成以来,凭借其优异的综合性能,受到科研人员的广泛关注。它具有耐热性能良好、能量密度高、感度低等特征,有望成为 RDX 的不敏感替代物。澳大利亚于 2010 年综合评估了 FOX-7 的工艺性、能量、慢烤特性、冲击波感度等性能,认为 FOX-7 可以用作不敏感传爆药^[2]。国内针对 FOX-7 开展了大量基础研究,如周诚

^{*} 收稿日期:2018-08-16
第一作者:田轩(1987-),男,副研究员,从事高能不敏感炸药配方设计及工艺技术研究。E-mail:aaaxuanyuan@163.com
通信作者:黄亚峰(1978-),男,研究员,从事高能不敏感压装炸药配方及工艺技术研究。E-mail:huangyafeng@163.com

等^[3]研究了 FOX-7 的晶体结构和热分解特征;付秋菠等^[4-5]研究了 FOX-7 的热分解动力学;南海等^[6]利用接触角和 YGGF 方程研究了 FOX-7 的表面能以及氟聚物对 FOX-7 的润湿性;周群等^[7]研究了 FOX-7 晶体形貌对感度的影响;徐抗震等^[8]研究了 FOX-7 的热力学参数。在应用方面,陈中娥等^[9]研究了 FOX-7 及含 FOX-7 的 HTPB 推进剂安全性能;刘国涛等^[10]研究了含 FOX-7 发射药的燃烧性能;王锋等^[11]研究了含 FOX-7 发射药的低压燃烧性能及力学性能;而 FOX-7 的混入对 RDX 基压装炸药的影响规律,相关研究鲜有报道。本文中,分别利用小型烤燃试验和冲击波感度试验研究了 FOX-7 与 RDX 不同配比对比压装混合炸药慢速烤燃和冲击波感度的影响规律,获得了不同试样的响应剧烈程度和临界起爆压力,并对试验结果进行了分析。

1 实验

1.1 材料

RDX,甘肃银光化学工业集团有限公司,平均粒径为 40 ~ 45 μm;FOX-7,西安近代化学研究所自制,平均粒径为 90 ~ 124 μm。

1.2 制样及成型

炸药配方制备采用石蜡作黏结剂,试样制备采用直接法,试样成型采用模压压制法,待测炸药药柱尺寸为 20 mm × 30 mm,成型密度为其理论密度的 (90 ± 1) %,具体配方及成型密度要求见表 1。

表 1 配方及成型密度要求

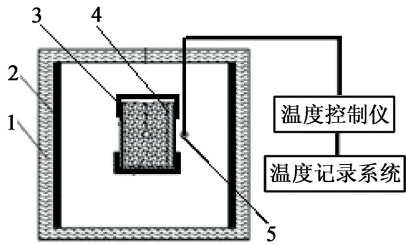
Tab. 1 Formulation and density requirements

试样名称	质量比	理论密度/(g · cm ⁻³)	成型密度/(g · cm ⁻³)
I	RDX : 黏结剂 = 96 : 4	1.82	1.63
II	FOX-7 : RDX : 黏结剂 = 24 : 72 : 4	1.83	1.65
III	FOX-7 : RDX : 黏结剂 = 48 : 48 : 4	1.85	1.66
IV	FOX-7 : RDX : 黏结剂 = 72 : 24 : 4	1.87	1.68
V	FOX-7 : 黏结剂 = 96 : 4	1.88	1.69

1.3 试验方法

1)慢速烤燃。利用慢速烤燃试验装置对上述试样开展试验研究,该装置主要由防爆加热箱体、控温仪、数据记录仪和控温热电偶组成,结构如图 1 所示。系统内加热箱体温度场均匀,各处温度差

不大于 0.5 ℃。采用 K 型热电偶测温,高性能可编程 PID(比例微分积分控制)调节器控温,控温精度可达 ±0.2 ℃。试验时,将炸药药柱约束在金属制成的小型烤燃弹中,按 1 ℃/min 升温至试样反应,每个试样完成 2 发试验,根据烤燃弹壳体破碎情况评价试样的响应剧烈程度。

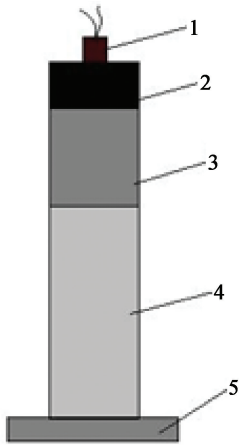


1 - 抗爆系统;2 - 加热系统;3 - 壳体约束;4 - 试样;5 - 控温热电偶。

图 1 慢速烤燃试验装置示意图

Fig. 1 Diagram of slow cook-off test device

2)冲击波感度。采用隔板试验确定试样 50% 概率发生爆轰的临界隔板厚度 G_{50} ,试样结构见图 2。试验采用 $\varnothing 40\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的 JH-14 药柱作为主发装药,其爆轰后产生一定的冲击波压力,冲击波经过铝隔板衰减后作用于被测试样,通过调节铝隔板厚度来调节入射压力,通过见证板的破损程度判断被测试样是否被引爆,根据事先标定过、经不同隔板厚度衰减过的压力值表计算试样的临界起爆压力。



1 - 雷管;2 - 主发装药;3 - 铝隔板;4 - 试样;5 - 见证板。

图 2 冲击波感度试验示意图

Fig. 2 Schematic diagram of shock wave sensitivity test

2 结果与讨论

2.1 慢速烤燃

慢速烤燃后壳体回收照片见图 3 和图 4。由图

3 和图 4 可知:在慢速加热条件下,试样 I、Ⅱ、Ⅲ的壳体约束形成大量不同尺寸的碎片;试样Ⅳ的壳体约束撕裂成为少量较大碎片;试样Ⅴ壳体四周完整,仅前后端盖冲开。

根据试验后壳体破碎情况判断试样在慢烤试验中的响应剧烈程度:试样 I、Ⅱ、Ⅲ发生剧烈爆轰反应;试样Ⅳ发生爆燃反应;试样Ⅴ发生燃烧反应。慢速烤燃实验结果表明:当配方中 FOX-7 的(质量分数)不足 72% 时,炸药在慢烤试验中表现为爆轰反应;当配方中 FOX-7 的(质量分数)达到 72% 时,炸药的慢烤响应剧烈程度由爆轰降为爆燃反应;当配方中完全采用 FOX-7(无 RDX)时,炸药的慢烤响应剧烈程度由爆燃降至燃烧反应。

2.2 冲击波敏感度

上述试样的冲击波敏感度试验结果见表 2,由表 2

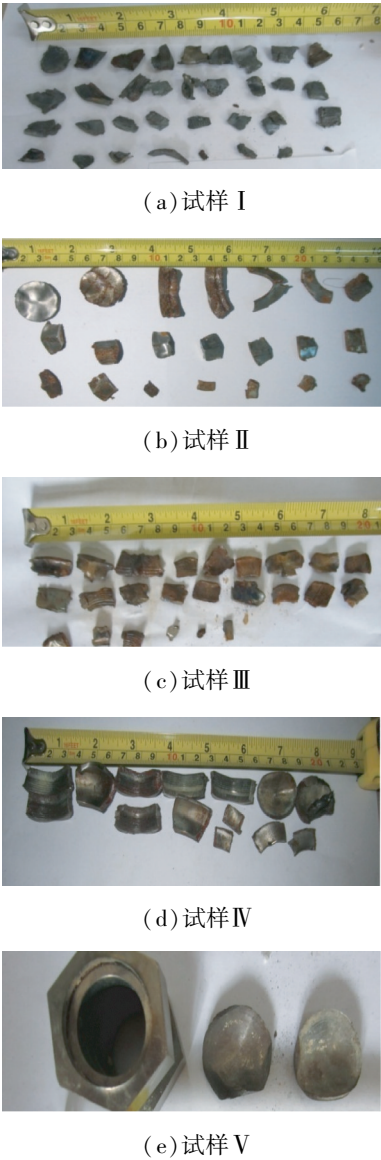


图 3 第一组试样试验后壳体回收情况
Fig.3 Shell recovery after the sample test No. 1



图 4 第二组试样试验后壳体回收情况
Fig.4 Shell recovery after the sample test No. 2

表 2 冲击波敏感度试验结果		
Tab.2 Test results of shock wave sensitivity		
试样	隔板值/mm	临界起爆压力/GPa
I	53.52	6.62
Ⅱ	54.49	6.42
Ⅲ	54.48	6.42
Ⅳ	50.50	7.27
Ⅴ	46.50	8.24

可知:配方试样 I ~ V 的冲击波敏感度隔板值依次为: 53.52、54.49、54.48、50.50 mm 和 46.50 mm,根据标定过的隔板厚度与衰减压力的对应关系可知,不同配比条件下混合炸药的临界起爆压力依次为: 6.62、6.42、6.42、7.27 GPa 和 8.24 GPa。这表明:当配方中 FOX-7 的质量分数低于 72% 时,炸药的临界起爆压力接近 6.62 GPa;当配方中 FOX-7 的质量分数达到 72% 时,炸药的临界起爆压力升至 7.27 GPa;当 FOX-7 质量分数达到 96% 时,炸药的临界起爆压力升至 8.24 GPa。

2.3 分析与讨论

综合上述试验结果可知:当配方中完全采用RDX时,炸药在慢烤试验中剧烈反应(爆轰),在冲击波刺激下具有较低的临界起爆压力;当配方中FOX-7质量分数达到72%时,才开始对炸药的慢烤响应剧烈程度和临界起爆压力有显著影响;当配方中完全采用FOX-7时,炸药的慢速烤燃响应剧烈程度表现为燃烧反应,同时具有更高的临界起爆压力。

笔者认为上述试验现象与炸药材料的本质特性和工艺过程有关。从材料本质特性看,尽管FOX-7与RDX具有相近的分子简式,相似的热分解温度,但FOX-7在热加载试验中反应温和,这可能是氨基基团的引入使FOX-7炸药具有更低的点火增长速度。从炸药的工艺过程看,文中所列炸药采用直接法制备,两种炸药在黏结剂溶液中分散和包覆;从炸药的微观结构看,RDX与FOX-7中的H、O原子因氢键作用形成吸附,再通过黏结剂使二者包覆,炸药采用压装成型,该过程颗粒发生破碎、重排、压实和高密度化等过程,使FOX-7对RDX形成包覆,进而改善了RDX材料点火增长速度快的本质特征。

3 结论

1)当配方中FOX-7的质量分数低于72%时,炸药的慢烤响应剧烈程度表现为爆轰反应,临界起爆压力接近6.62 GPa;当配方中FOX-7的质量分数达到72%时,炸药的慢烤响应剧烈程度由爆轰降至爆燃,临界起爆压力升至7.27 GPa;当FOX-7质量分数达到96%时,炸药的慢烤响应剧烈程度由爆燃降至燃烧,临界起爆压力升至8.24 GPa。

2)当配方中FOX-7的质量分数达到72%后,才开始对炸药的慢烤响应剧烈程度和临界起爆压力有显著影响。造成这一现象的原因可能是,压装炸药在成型过程中因颗粒的破碎、重排作用使FOX-7对RDX形成包覆,进而改善了RDX材料点火增长速度快的本质特点。

参 考 文 献

[1] 王晓峰. 国外不敏感弹药发展政策[R]. 二〇四所档案馆,2008.

[2] DANIEL M A, DAVIES P J, LOCHER I J. Fox-7 for Insensitive Boosters[R]. DSTO-TR-2449.

[3] 周诚,黄新萍,周彦水,等. FOX-7的晶体结构和热分解

特性[J]. 火炸药学报,2007,30(1):60-63.

ZHOU C, HUANG X P, ZHOU Y S, et al. Crystal structure and thermal decomposition characteristics of FOX-7 [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2007, 30 (1): 60-63.

[4] 付秋菠,舒远杰,黄奕刚,等. FOX-7的热分解动力学[J]. 四川兵工学报,2009,30(6):15-17.

[5] 付秋菠,舒远杰,黄奕刚,等. FOX-7晶体的制备和热性质[J]. 火炸药学报,2009,32(4):6-8.

FU Q B, SHU Y J, HUANG Y G, et al. Preparation and thermal properties of FOX-7 [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2009, 32 (4): 6-8.

[6] 南海,王晓峰. FOX-7的表面能研究[J]. 含能材料, 2006,14(5):6-8.

NAN H, WANG X F. Surface energy of FOX-7 [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2006, 14 (5): 6-8.

[7] 周群,陈智群,郑朝民,等. FOX-7晶体形貌对感度的影响[J]. 火炸药学报,2014,37(5):67-69,76.

ZHOU Q, CHEN Z Q, ZHENG C M, et al. Effect of morphology of FOX-7 crystals on its sensitivity [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2014, 37 (5): 67-69,76.

[8] 徐抗震,宋纪蓉,赵凤起,等. 1,1-二氨基-2,2-二硝基乙烯的比热容、热力学性质及绝热至爆时间研究[J]. 化学学报,2007,65(24):2827-2831.

XU K Z, SONG J R, ZHAO F Q, et al. Special heat capacity, thermodynamic properties and adiabatic time-to-explosion of 1,1-diamino-2,2-dinitroethylene [J]. ACTA Chimica Sinica, 2007,65(24):2827-2831.

[9] 陈中娥,李忠友,姚南,等. FOX-7及含FOX-7的HTPB推进剂安全性能[J]. 含能材料,2010,18(3):316-319.

CHEN Z E, LI Z Y, YAO N, et al. Safety property of FOX-7 and HTPB propellant with FOX-7 [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2010, 18 (3): 316-319.

[10] 刘国涛,刘少武,于慧芳,等. 含FOX-7发射药的燃烧性能[J]. 火炸药学报,2012,35(2):82-85.

LIU G T, LIU S W, YU H F, et al. Combustion performance of propellant containing FOX-7 [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2012, 35 (2): 82-85.

[11] 王锋,刘国涛,张远波,等. 含FOX-7发射药的低压燃烧性能及力学性能[J]. 含能材料,2013,21(4):522-526.

WANG F, LIU G T, ZHANG Y B, et al. Combustion and mechanical performance of gun of propellant containing FOX-7 at low pressure [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2013, 21 (4): 522-526.