

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2019.05.10

高温老化对 HMX 基炸药爆速的影响

李亮亮, 沈飞, 王辉, 张皋

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为掌握高温老化对 HMX 基炸药爆速影响的规律, 选择粘合剂不同的两种 HMX 基炸药进行高温老化试验。通过测量药柱尺寸, 计算炸药的密度, 采用电雷管起爆测试方法获得了试样的爆速。结果表明: 高温老化时间对炸药的密度影响不同, 老化 8 天是两种炸药密度变化的分界点, 超过 8 天, 试样的密度发生较大变化; 两种炸药的爆速随老化时间下降显著, 但 H-2 炸药的爆速始终高于 H-1 炸药。

关键词: 高温老化; HMX 基炸药; 爆速

中图分类号: TB93; V512.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2019)05-0055-04

Effect of High Temperature Aging on Detonation Velocity of HMX-based Explosives

LI Liangliang, SHEN Fei, WANG Hui, ZHANG Gao

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to understand the influence of high temperature aging on the detonation velocity of HMX-based explosives, two kinds of HMX-based explosives with different binders were selected for aging test. The density of explosives was calculated by measuring the size of the explosive column, and the detonation velocity of the samples was obtained by electric detonator detonation test method. The results show that the aging time has different effects on the density of explosives. The aging of 8 days is the boundary point of the density changes of the two kinds of explosives. The density of the samples changes greatly over 8 days. The detonation velocity of the two explosives decreases significantly with the aging time, but the detonation velocity of H-2 explosive is always higher than that of H-1 explosive.

Key words: high temperature aging; HMX-based explosives; detonation velocity

0 引言

炸药中含有高能物质, 通过释放化学能, 为大部分武器提供动力来源。在和平时期, 新研制的战略武器鲜有使用的机会, 解决方案是进行储存, 储存时间从几年到数十年不等。储存期内, 炸药装药会发生不同程度的物理、化学反应, 引起炸药装药发生性能变化, 这对炸药的性能造成影响, 甚至导致武器失效。

针对炸药的老化性能, 国内外已有较多研究。贾林^[1-2]、张冬梅^[3]、姜凯^[4]等分别研究了炸药在不同温度循环条件下的膨胀特性; 早期如 Hnmphrey^[5], Anthony^[6], Kolb^[7-8]等研究了 PBX-TATB 药柱在反复热循环条件下的尺寸稳定性; 杨秀兰^[9]研究了老化过程中的组分迁移; 刘子如^[10]研究了火炸药在储存过程中的老化失效模式及机理。对老化后炸药的性能变化, 研究者主要集中于结构完整性、力学性能、安全性等方面, 如: 丁黎^[11]研究了 RDX 基炸药老化对其力学性能和安全性影响; 王琼^[12]等研究了不同直径药柱

的热爆炸临界温度; 王芳芳^[13-14]等研究了不同老化时间的样品损耗因子、黏弹系数、交联密度等参数的变化; 贾林^[15]等研究了老化后炸药的力学性能。奥克托金(HMX)是第二代高能量密度材料, HMX 基炸药目前已经应用到多个武器中, 但有关 HMX 基炸药老化后性能的研究相对较少。黄亚峰^[16]等研究了老化对 HMX/RDX 基含铝炸药爆热及爆速性能的影响。

本研究选取两种不同粘合剂体系的 HMX 基炸药, 在 71℃ 高温下老化不同年限后进行爆速测量, 获得了其变化规律。本文为 HMX 基炸药的寿命评估提供了技术支持, 为其他炸药的延长寿命研究提供了数据支持。

1 材料和设备

实验所用的炸药配方 1 为 HMX/粘合剂/其他, 记为 H-1 炸药, 配方 2 为 HMX/F23-11/其他, 记为 H-2 炸药。炸药采用 300T 压机压制成型, 试样尺寸为 $\phi 25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 。爆速测量中, 每次实验使用 4 节药柱, 采用 JH-14 作为起爆药, 雷管为 8#电雷管, 爆速

测量中的测点分布如图 1 所示。

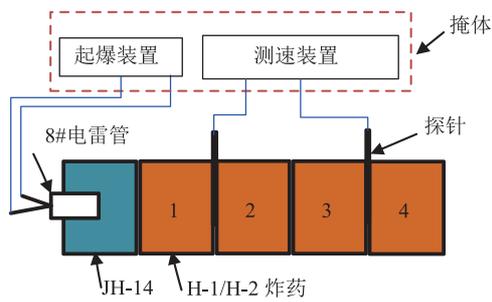


图 1 爆速测量中的测点布置图

老化条件：参照 GJB736.8-90《火工品试验方法》中的 71℃ 试验法，将老化试验用药柱放在控温误差为 ±1℃、设定温度为 71℃ 的试验箱中进行加速老化试验，恒温条件下分别老化 3 天、8 天和 13 天。

AHX-863 型安全烘箱：南京理工大学机电总厂；AL204 电子天平，误差为 0.1 mg，瑞士 METTLER TOLEDO 公司；

爆速测量：实验中采用 4 节 φ25 mm × 25 mm 的 H-1/H-2 炸药和 1 节 JH-14 炸药，其中第 1 节炸药起到稳定爆轰波波速的作用，第 1 节与第 2 节、第 3 节与第 4 节的药柱接触面分别设置电探针。实验前测量药柱长度 L ，采用 8# 电雷管引爆起爆药 JH-14，再起爆炸药，实验中分别记录爆轰波在相关药柱经历的时间 t ，通过 $D_0 = L/t$ 即可分别获得每节炸药的爆速 D_0 。

2 结果与讨论

2.1 老化前后炸药体系密度稳定性

众所周知，爆速与试样密度有关，试样密度越大，爆速值越大，这就要求试样的密度具有一定的均一性，

以保证爆速值的稳定性。对老化前后的单个炸药试样进行质量和体积测量，通过密度计算公式可获得单个炸药的密度值。老化前 H-1 和 H-2 两种炸药的密度变化趋势如图 2 所示。

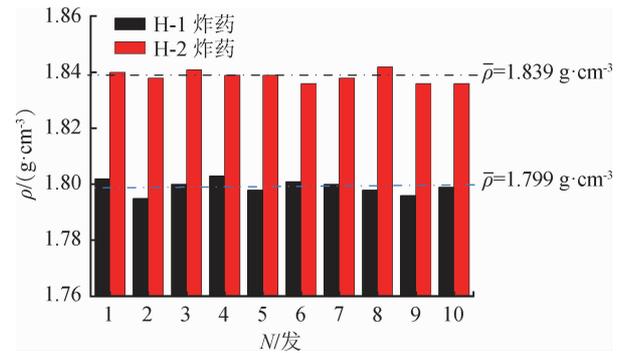


图 2 老化前两种炸药试样的密度变化趋势

从图 2 可以看出，相同体积条件下，两种炸药的初始密度不同，H-1 炸药的平均密度为 $1.799 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，H-2 炸药的平均密度为 $1.839 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。炸药密度的均一性可用密度变化率 (δ_ρ) 来表示，即通过公式(1)进行密度变化率的计算。

$$\delta_\rho = \frac{\rho - \bar{\rho}}{\bar{\rho}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： ρ 表示试样密度， $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ； $\bar{\rho}$ 表示该炸药的平均密度， $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

H-1 和 H-2 两种炸药老化 3 天前后的密度计算结果如表 1 所示，将两种炸药的密度变化率计算值一并列入表 1，其它老化条件(8 天和 13 天)下的结果可类似得出，本文不再赘述。表 1 中， ρ_b 、 ρ_a 分别表示老化前后试样的密度。

表 1 老化前后试样的密度及密度变化率

编号	H-1 炸药			H-2 炸药		
	$\rho_b / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$\rho_a / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$\delta_\rho / \%$	$\rho_b / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$\rho_a / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$\delta_\rho / \%$
1	1.802	1.799	-0.166	1.840	1.840	0.000
2	1.795	1.793	-0.111	1.838	1.839	0.054
3	1.800	1.799	-0.056	1.841	1.838	-0.163
4	1.803	1.801	-0.111	1.839	1.836	-0.163
5	1.798	1.799	0.056	1.839	1.837	-0.109
6	1.801	1.798	-0.167	1.836	1.836	0.000
7	1.800	1.799	-0.056	1.838	1.839	0.054
8	1.798	1.795	-0.167	1.842	1.840	-0.109
9	1.796	1.793	-0.167	1.836	1.843	0.381
10	1.799	1.795	-0.222	1.836	1.834	-0.109

由图 1 和表 1 可以看出, 各试样密度围绕其平均密度上下波动, 对于 H-1 炸药和 H-2 炸药来说, 密度变化最大值均为 -0.004% (负号表示该试样密度小于平均值), 说明两种炸药的初始密度均有较好的密度均一性。

随着老化时间的延长, 药柱内的小分子添加剂等物质出现迁移和升华, 导致试样内部“自由体积”数量增加, 软化后的黏结剂及小分子进行流动、填充, 同时伴随着试样内部应力的释放等因素, 导致试样的密度发生变化。将老化前后每发试样(共 N 发)的密度变化趋势作图, 如图 3 所示。因两种炸药老化前后密度的变化趋势雷同, 此处仅以 H-2 炸药进行说明, H-1 炸药不再赘述。

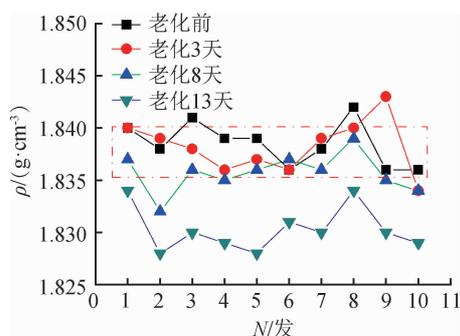


图 3 H-2 炸药密度随老化时间延长的变化趋势

从图 3 可以看出, 随着老化时间的延长, 老化 3 天(平均值 $1.838 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)和老化 8 天(平均值 $1.836 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)后的试样平均密度值, 与老化前的平均密度值(平均值 $1.839 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)相差较小, 而老化 13 天(平均值 $1.830 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)后, 相同试样的密度值发生较大的变化, 其平均值由老化前的 1.839 降低为 1.830 , 下降了 0.009 , 可见老化 8 天前的药柱, 密度基本不变, 而老化 8 天后, 药柱的密度发生了较大变化。

2.2 老化前后爆轰性能(爆速)的变化

实验获得的两种炸药药柱的爆速 D 随老化时间变化的曲线如图 4 所示。

由图 4 可以看出, H-2 炸药的爆速不论老化前还是老化后, 均高于 H-1 炸药, 且两种炸药的爆速均随着老化时间的延长而呈现降低的趋势, 但 H-1 随着老化时间的延长, 降低的幅度大于 H-2 炸药, H-1 炸药未老化时爆速为 8582 m/s , 随着老化时间的增加, 爆速分别降低 0.128% , 0.198% 和 0.256% , 同时, 随着老化时间的延长, 相邻老化时间段爆速的降低值逐渐减小。而 H-2 炸药老化前的爆速为 8729 m/s , 随

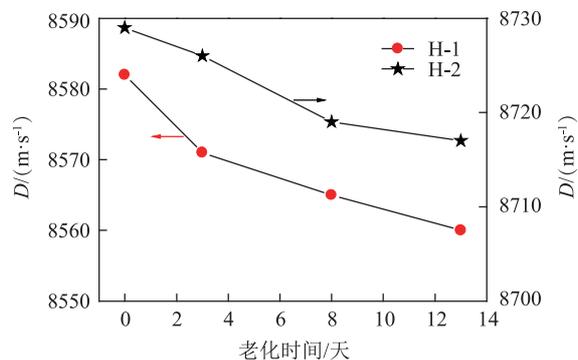


图 4 爆速随老化时间的变化曲线

着老化时间的增加, 爆速分别降低 0.034% , 0.115% 和 0.137% 。可见, H-1 炸药相比于 H-2 炸药, 其爆速更易受到老化时间的影响, 但总体来讲, 此数值在允许的误差范围内, 因此可以认为, 老化时间对两种炸药的爆速影响不大。老化前后 H-2 炸药的爆速高于 H-1 炸药, 这是因为 H-2 炸药药柱的密度高于 H-1, 密度与爆速是正比关系, 因此 H-2 药柱的爆速高于 H-1。

3 结论

通过以上对不同老化条件下药柱的密度及爆速等参数进行研究, 可获得如下结论:

- 1) 老化 8 天前, H-1 炸药和 H-2 炸药的密度基本不变, 老化时间超过 8 天, 试样密度发生较大幅度的降低;
- 2) 从试验的老化时间范围看, 71°C 高温老化对两种炸药的爆速影响未超出允许的误差范围, 两种炸药爆速均比较稳定, 但 H-2 炸药的爆速高于 H-1 炸药。

参考文献

- [1] 贾林, 张林军, 常海, 等. A-IX-II 炸药柱的湿热老化行为[J]. 火炸药学报, 2017, 40(4): 70-75.
- [2] 贾林, 张林军, 张冬梅, 等. 低热应力下石蜡对压装 RDX 基 PBX 炸药性能的影响[J]. 火炸药学报, 2015, 38(5): 74-78.
- [3] 张冬梅, 常海, 郑朝民, 等. A-IX-II 压装炸药失效模式分析[J]. 火工品, 2014 (1): 29-32.
- [4] 姜凯, 逢万亭, 周真龙, 等. 两种 TATB 的热膨胀研究[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(6): 149-152.
- [5] Hnmphey J R, Rizzo H F. New TATB plastic-bonded explosive [R]. Lawrence Livermore Laboratory, University of California, UCRL-82675, 1979.
- [6] Anthony J R. TATB booster charge, MHSMP-79-6[Z]. 1979.

[7] Kolb J R, Rizzo H F. Growth of 1, 3, 5 - triamino - 2, 4, 6 - trinitrobenzene(TATB). I. Anisotropic thermal expansion of TATB[J]. Propellants and Explosives, 1979(4): 11 - 16.

[8] Kolb J R, Rizzo H F. Growth of 1, 3, 5 - triamino - 2, 4, 6 - trinitrobenzene(TATB). II. Control of growth by use of high T_g polymeric binder [J]. Propellants and Explosives, 1987(6): 27 - 36.

[9] 杨秀兰, 睢贺良, 郝晓飞. 显微红外光谱成像技术研究 BTF 炸药老化中的组分迁移[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(10): 55 - 56.

[10] 刘子如. 火炸药老化失效模式及机理[J]. 火炸药学报, 2018, 41(5): 425 - 433.

[11] 丁黎, 郑朝民, 梁忆, 等. RDX 基浇注 PBX 的老化性能[J]. 含能材料, 2015, 23(2): 156 - 162.

[12] 王琼, 丁黎, 张冬梅, 等. 含 AP 的浇注 PBX 炸药的热安全性[J]. 含能材料, 2015, 23(7): 693 - 696.

[13] 王芳芳, 常海, 张林军, 等. 浇注 PBX 炸药老化过程中交联密度与力学性能的关系[J]. 火炸药学报, 2017, 40(2): 69 - 74.

[14] 王芳芳, 张林军, 常海, 等. 动态热机械分析法研究 HT-PB/AP 基浇注 PBX 炸药的老化性能[J]. 火炸药学报, 2018, 41(4): 388 - 393.

[15] 贾林, 张林军, 张冬梅, 等. 湿热环境下 A - IX II 炸药装药的老化性能[J]. 火工品, 2015(5): 29 - 32.

[16] 黄亚峰, 赵省向, 李文祥, 等. 老化对 HMX/RDX 基含铝炸药爆热及爆速性能的影响研究[J]. 火工品, 2013(2): 47 - 49.

收稿日期: 2019 - 08 - 25; 修回日期: 2019 - 09 - 06

基金项目: 国家“十三五”技术基础研究计划 (JSJL2016208A011)

作者简介



李亮亮(1983 -), 男, 高级工程师, 硕士, 研究领域为炸药动态力学性能、炸药安全性、炸药装药与金属的匹配性等。

2010年毕业于西安近代化学研究所, 并取得硕士学位。工作以来, 承担多项涉及炸药的基础研究及型号应用项目, 所申请的有关炸药装药侵入安全性的企标已成功应用于多项战斗部装药的遴选。授权/受理专利 10 多项, 2017 年至今以第一作者身份在 EI 期刊发表 3 篇论文, 在核心期刊发表论文 5 篇。

(广告)

《宇航计测技术》2019 年第 4 期目录

- 空间电源系统寿命预测技术发展综述
- 准直光学系统热变形对太阳模拟器性能影响研究
- 基于反射法的推力室激光扫描测量技术研究
- 基于单目视觉原理的空间位置测量技术研究
- 无源无线声表面波压力传感器校准技术研究
- 无缆飞行器的电能和信息一体化无线传输技术研究
- 气动活塞式冲击加速度校准装置研制
- 分体对开式高低温发生装置研究
- 基于风致振动机理的压电发电机实验及仿真研究
- 静电场仪校准系统的设计及仿真研究
- 一种液体火箭发动机试验台螺纹拧紧力矩量化控制

- 方法
- 微纳卫星释放分离参数的测试方法
- 一种集成化的卫星 PCM 测控与时间同步性能测试系统设计
- 燃油喷嘴螺旋槽的精密测量方法与系统设计
- 一种基于系留无人机的图像遥测系统设计
- 基于 TDLAS 的气体检测技术研究
- 基于远场涡流技术的油气集输管道缺陷检测研究
- 无人机红外辐射特性测量方法
- 正弦压力信号幅值测量无差算法研究