文章编号：1000-5773(2013)05-0773-05

JOB-9003 炸药爆轰性能的热老化效应研究*

王　建[1]，傅　华[1]，文尚刚[2]，谭多望[1]，高大元[2]

(1.中国工程物理研究院流体物理研究所，四川绵阳　621900；
2.中国工程物理研究院化工材料研究所，四川绵阳　621900)

摘要：针对贮存老化对炸药爆轰性能的影响，开展了 JOB-9003 炸药的热加速老化实验和爆轰性能实验，对比了老化前、后炸药样品物理参数和爆轰性能的差异。实验结果表明，热加速老化 180 d 后，炸药样品的密度和质量略有减小，样品的内径和外径略有增加；实验获得的老化炸药样品的平均爆速略有下降，而样品的球面发散爆轰波的波形和波形差与未老化样品的实验结果无明显差异，说明热加速老化 180 d 对样品的爆轰性能没有影响。

关键词：炸药；加速老化；爆轰性能

中图分类号：O381　　**文献标识码**：A

1　引　言

弹药的贮存老化对武器性能的影响，一直是武器系统发展中备受关注的问题。武器在全寿命过程中，会长期经受温度、湿度、预紧力、振动等多种环境条件的变化。弹药系统内部的相关部件，尤其是炸药件会发生老化，其爆轰性能相应发生变化，从而影响武器的安全性和可靠性。具体而言，炸药部件在贮存过程中，某些组分会发生迁移和热分解，粘结剂等添加物也可能发生降解反应，导致炸药密度的均匀性发生变化，炸药内部结构可能会出现细微的损伤或缺陷[1-2]，将引起炸药的晶体特性、力学性能、安全性能、爆轰性能等发生改变。

Spyckerelle 等人[3-4]采用红外光谱、液相色谱、差热分析和原子力显微分析等方法，研究了多种以 RDX 为基的炸药老化前、后晶体特性的变化。研究发现，老化后炸药晶体的平均粒径有所增大，而晶体的形状、颗粒表面缺陷则无明显变化。Lundberg 等[5]、马秀芳等[6]和黄奕刚等[7]对 PBX 类炸药老化力学性能的研究表明，PBX 炸药组分中 TATB 性能较稳定，而拉伸模量、体积模量、剪切模量、弹性以及分子量分布等性能的变化主要与粘结剂的性能变化有关。Chidester 等人[8]通过 STEVEN 试验，研究了库存老化对以 HMX 为基的 5 种炸药安全性能的影响，结果表明，老化后炸药的安全性能并无明显变化。在爆轰性能变化方面，实验发现，随着老化时间的增加和老化温度的升高，炸药的爆速略有降低。

本研究针对以 HMX 为基的 JOB-9003 炸药，采用半球形装药结构，开展 JOB-9003 炸药样品热老化前、后的爆轰性能的对比实验，研究热加速老化对炸药爆轰性能的影响。

2　实　验

2.1　热加速老化实验

热加速老化实验在 DGF151B 油浴老化实验箱中进行，其温度工作范围为 35～150 ℃，温度均匀度小于±2.5%，温度波动度小于±1 ℃。由于多数库存实际状态所处的温度范围为 35～45 ℃，因此，选取模拟炸药样品加速老化的温度比贮存温度稍高，设定为 60 ℃，老化时间为 180 d。

* **收稿日期**：2011-07-14；**修回日期**：2011-10-04

作者简介：王　建(1981—)，男，硕士，助理研究员，主要从事爆轰物理基础研究. E-mail：wj345jay@sina.com

2.2 炸药样品爆轰性能实验

炸药爆轰性能实验采用半球形装药结构，如图 1 所示。半球形 JOB-9003 炸药样品的尺寸为：内径 10 mm，外径 50 mm，厚度 40 mm。在样品外球面布置两条相互垂直的测线，每条测线上布置 13 根探针，同一圆周上相邻两根探针的夹角为 13°，共均匀分布 25 根探针，其分布示意图见图 2，其中 0# 探针测量冲击波或爆轰波达到炸药样品内球面的时间，以此获得炸药样品中爆轰波的平均传播速度。

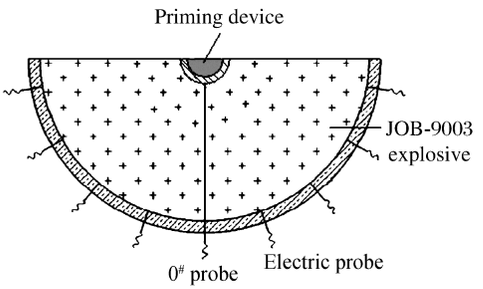


图 1 半球形实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of hemispherical experimental set-up

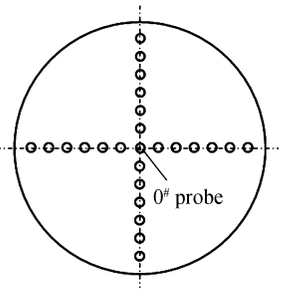


图 2 电探针分布图

Fig. 2 Schematic diagram of electric probes distribution

通过电探针测试爆轰波的到达时间，获得爆轰波到达炸药样品外球面的发散波形以及爆轰波的波形差。其中，波形差为爆轰波到达炸药球外球面不同角度处的传播时间之差。在图 1 中，炸药样品的起爆可近似为一点起爆，因此，在理想爆轰波传播情况下，波形差应近似为零。然而，实际情况下爆轰波传播时都会存在波形差，波形差越小，表明形成的球面爆轰波发散性越理想，爆轰同步性越好；相反，如果波形差较大，则说明炸药样品爆轰性能不理想，可能存在未爆轰区（或称死区），将会对炸药的做功能力有较大的影响。对于不同结构、不同用途的装药序列，可采用适当的特征波形差作为判断炸药爆轰性能是否满足设计要求的依据。

3 实验结果与讨论

3.1 老化对炸药样品物理特性的影响

分别对炸药样品老化前后的外形尺寸、密度、质量以及表面细观结构进行检测，典型的测量结果见表 1 和图 3。表 1 的测试数据表明，老化对炸药样品的尺寸、密度、质量均有一定的影响：60 ℃条件下热加速老化 180 d 后，炸药样品的密度和质量均略有减小（约 0.1%和约 0.4 g），样品的内径和外径尺寸都略有增大。其主要原因是在高温贮存过程中，炸药组分的热分解和降解速率成倍增加，造成了样品的质量和密度减小。

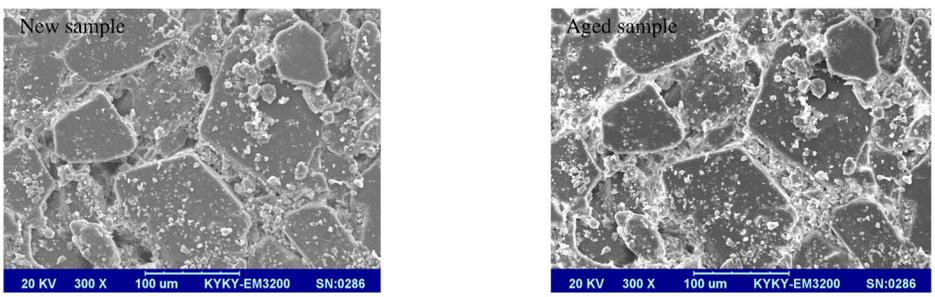
表 1 炸药样品老化前、后物理参数的变化

Table 1 Aged effects on explosive physical performance

No.	Density/(g/cm^3)		Inner diameter/(mm)		Outer diameter/(mm)		Quality/(g)	
	New sample	Aged sample	New sample	Aged sample	New sample	Aged sample	New sample	Aged sample
1	1.845	1.840	10.361	10.364	49.902	49.935	474.1	473.6
2	1.845	1.840	10.360	10.363	49.901	49.933	474.0	473.5
3	1.845	1.840	10.360	10.364	49.900	49.934	473.9	473.5
4	1.845	1.840	10.359	10.363	49.900	49.932	473.9	473.6

图 3 为样品老化前、后的扫描电镜形貌，从图中可观察到样品突出的炸药颗粒、颗粒拔出后留下的凹坑、晶体内部的微孔洞、残留粘结剂及炸药颗粒碎片。对比老化前、后的细观形貌发现，炸药晶体表面形貌的变化较细微，晶体内微孔洞的大小（直径 3～5 μm）无变化，粘结剂与晶体碎片也未发生明显的熔

融现象。



(a) New sample (b) Aged sample

图 3 JOB-9003 炸药样品老化前后表面细观结构变化

Fig. 3 The aged effect on exterior structure for JOB-9003 explosive sample

3.2 未老化炸药样品爆轰性能实验结果

针对未老化的 JOB-9003 炸药样品，通过爆轰实验获得的爆轰波到达炸药外球面不同角度处波形的典型测试结果如图 4 所示。图 4 表明，在未老化炸药样品中形成了波形较好的发散爆轰波，并且波形差也较小。4 发实验获得的最大波形差分别为 0.064、0.081、0.072 和 0.071 μs，均方差为0.025 μs。说明波形实验结果重复很好，爆轰波在炸药样品中的传递时间及其波形差数据的分散性很小。

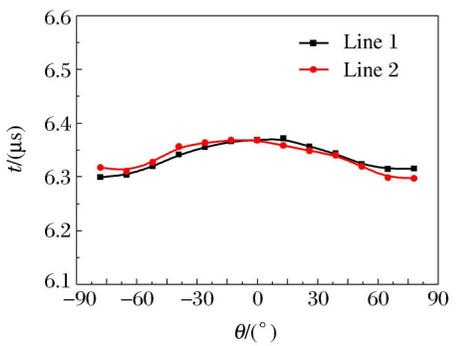


图 4 未老化炸药样品外表面的爆轰波波形

Fig. 4 The waveform of detonation-wave for new sample on the outer surface

根据以往实验和国外有关文献的研究结果，通常情况下，设定 0.2 μs 作为判断炸药样品是否正常爆轰的最大波形差。波形差小于 0.2 μs，计算得到爆轰波的传播同步性小于约 1.74 mm。对于本研究实验条件下厚度为 40 mm 的半球形炸药样品，1.74 mm的传播差异不会对炸药件的做功能力产生影响，认为属于正常爆轰。因此，本研究中把波形差小于0.2 μs作为判断炸药样品是否正常爆轰的充分条件。

此外，依据 0# 探针测试结果，计算得到未老化的炸药样品的平均速度为 8.46 km/s，较 JOB-9003 炸药的理论爆速(8.70 km/s)稍小，其原因为测试时间包含了到爆轰时间。实验结果说明，炸药样品在不同角度处均正常爆轰，与波形差较小的结果吻合。

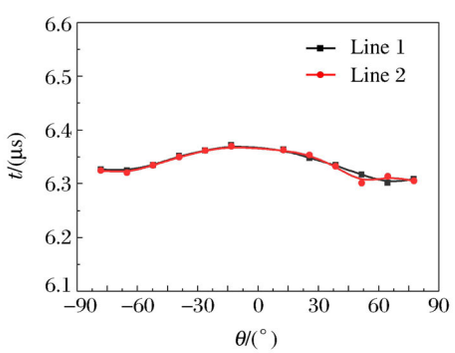


图 5 老化炸药样品外表面的爆轰波波形

Fig. 5 The waveform of detonation-wave for aged sample on the outer surface

3.3 热加速老化炸药爆轰性能实验结果

针对老化样品，通过爆轰实验获得的爆轰波到达样品外球面不同角度处波形的典型测试结果如图 5所示。图 5 表明，通过半球形起爆组件在老化样品中形成了发散性很好的球面爆轰波，波形曲线光滑，且波形差很小。4 发实验获得的最大波形差分别为 0.070、0.068、0.109 和 0.111 μs，均方差为 0.043 μs；实验获得的波形差均小于0.2 μs，表明未老化的炸药样品被正常起爆。

依据 0# 探针测试结果，计算得到加速老化 180 d 的炸药样品的平均速度为 8.42 km/s，略小于未老化的 JOB-9003 炸药样品的爆速(8.46 km/s)。

3.4 热老化对炸药样品爆轰性能的影响

炸药样品在热老化过程中，炸药组分的热分解和降解速率将成倍增加，组分发生细微的迁移和变化，在一定程度上会破坏炸药样品较稳定的密实结构，对样品的爆轰性能产生影响。对比未老化和加速老化 180 d 的炸药样品爆轰性能实验结果，表明两者之间的差异较细小，说明在本研究的实验条件下，老化对样品的爆轰性能没有产生明显的影响，具体表现为：

(1) 两者的爆轰波形都很光滑且规整(如图 4 和图 5)，说明在炸药样品中均形成了发散性很好的球面爆轰波；

(2) 两者的爆轰波形差都很小，老化前、后样品的平均波形差分别为 0.072 和 0.089 μs，对应爆轰波的同步性均小于 0.8 mm，说明两者在不同角度处均正常爆轰；

(3) 加速老化 180 d 的炸药样品的平均爆速略有减小，由 8.46 km/s 略减小到 8.42 km/s。

分析加速老化对 JOB-9003 炸药样品爆轰性能的影响程度较轻微的原因，主要与 JOB-9003 炸药样品组分及其结构密切相关。首先，本工作中的 JOB-9003 炸药样品是一种较钝感的炸药，主要成分为 HMX 和 TATB，它们的分子结构较稳定，在老化过程中，热分解和降解速率即使增加，相对也比较缓慢，难以改变炸药密度的均匀性，难以形成损伤或缺陷。其次，炸药样品为压装密实装药结构，老化作用难以形成毁损性裂纹、损伤或缺陷，老化后样品仍能保持其密实、完整的结构。因此，老化对其爆轰性能的影响微乎其微。

4 结 论

针对贮存老化对炸药爆轰性能的影响，开展了 JOB-9003 炸药的热加速老化实验和爆轰性能实验，对比了老化前、后炸药样品物理参数和爆轰性能的差异。实验结果表明，JOB-9003 炸药经历热加速老化 180 d 后，发生了轻微的分解反应，导致了炸药的密度和质量略微减小，内、外径尺寸略微增加。同时，实验结果还表明，老化后炸药样品的平均爆速略有下降，而老化炸药样品的球面发散爆轰波的波形和波形差，与未老化样品的实验结果相比无明显差异，说明热加速老化 180 d 对样品的爆轰性能没有影响。

References:

[1] Dong H S, Zhou F F. The Performance of High Explosive and Relative Materials [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1989. (in Chinese)
董海山，周芬芬. 高能炸药及相关物性能 [M]. 北京：科学出版社，1989.

[2] Sun C W, Wei Y Z, Zhou Z K. Applied Detonation Physics [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2000.
孙承纬，卫玉章，周之奎. 应用爆轰物理 [M]. 北京：国防工业出版社，2000.

[3] Spyckerelle C, Freche A, Eck G. Aging of reduced sensitivity RDX and compositions based on reduced sensitivity RDX [C]//Proc Insensitive Munitions and Energetic Materials Technology Symposium. Bristol, United Kindom, 2006.

[4] Spyckerelle C, Eck G, Sjöberg P, et al. Reduced sensitivity RDX obtained from Bachmann RDX [J]. Propellants, Explosive, Pyrotechnics, 2008, 33(1): 14-19.

[5] Lundberg A W, Foltz F, LeMay J. High explosive in stockpile surveillance indicate constancy [J]. Sci Tech Rev, 1996(12): 12-17.

[6] Ma X F, Xiao J J, Yin K L, et al. Molecular dynamics simulation on mechanical properties of TATB/PCTEE composite material [J]. Chinese Journal of Chemical Physics, 2005, 18(1): 55-58. (in Chinese)
马秀芳，肖继军，殷开梁，等. TATB/聚三氟乙烯复合材料力学性能的 MD 数值模拟 [J]. 化学物理学报，2005，18(1)：55-58.

[7] Huang Y G, Wang X C, Zheng X M, et al. Structure and thermal performance study of PBX based on TATB aged by low temperature [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2002, 10(2): 81-83. (in Chinese)
黄奕刚,王晓川,郑敏侠,等. TATB 基高聚物粘结炸药低温老化后的结构与热性能研究 [J]. 含能材料, 2002, 10(2): 81-83.

[8] Chidester S K, Tarver C M. Low amplitude impact testing and analysis of pristine and aged solid high explosives [C]//The 11th International Detonation Symposium. Snowmass Colorado, 1998: 93-100.

Thermal Aged Effects on Detonation Performance of JOB-9003 Explosive

WANG Jian[1], FU Huan[1], WEN Shang-Gang[2], TAN Duo-Wang[1], GAO Da-Yuan[2]

(1. *Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang* 621900, *China*;
2. *Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang* 621900, *China*)

Abstract: Based on the aged solid high explosive, a series of experiments were performed to study the influence of thermal aged on the detonation performance for JOB-9003 explosive. The physical and detonation performances were contrasted for the new and aged explosive samples. The results indicated that the quality and density of the sample have a slight decrease, and the inner and outer diameter of the sample have a slight increase after 180 d aging. It was also found that the time gap defining as the gap between detonation-wave propagating at the outer surface is very small. The only change is that the detonation wave velocity has a slight decrease for the aged samples. Therefore, it could be affirmed that the detonation performance is not changed obviously by accelerated aging 180 d.

Key words: explosive; accelerated aging; detonation performance