

JOB-9003 炸药的载荷环境试验

颜熹琳, 周 阳, 周筱雨

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要:在 5 MPa 轴向压应力条件下,对 JOB-9003 炸药进行了温度循环试验,结果表明,试验后炸药性能发生了明显的变化。JOB-9003 炸药在载荷环境和温度循环的共同作用下其径向尺寸增加,轴向尺寸减小,而且径向尺寸的增加量与轴向尺寸的减小量相当。与轴向尺寸相比,径向尺寸对样品体积的影响更大,试验后样品体积变大,密度降低,同时炸药的压缩强度、最大蠕变应变和压缩蠕变断裂时间出现了明显降低,而模量变化不明显。分析认为, JOB-9003 炸药内部的微孔隙和微损伤在载荷环境试验下发生变化,从而使 JOB-9003 炸药的尺寸、密度和力学性能出现了上述变化规律。

关键词:材料力学; JOB-9003 炸药; 载荷环境试验; 力学性能

中图分类号: TJ55; O341

文献标志码: A

文章编号: 1007-7812(2009)01-0036-04

Load Environmental Test of Explosive JOB-9003

YAN Xi-lin, ZHOU Yang, ZHOU Xiao-yu

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: The load environmental tests of 5 MPa axial compression stress have been applied to explosive JOB-9003 under the temperature circulation. The test data show that the properties of the explosive have changed obviously after the tests. Under the condition of load environmental and temperature circulation, the radial dimension of explosive JOB-9003 increases while the axial dimension decreases. The changes of the two dimension are proximate. Comparing to the axial dimension, the contribution of the radial dimension to the volume is greater. So the volume of the sample increase and the density reduce. In addition, the compressive strength, the maximum creep strain and the creep rupture time all reduce obviously. But the modulus keeps no changes. It is analyzed that, the changes of the dimension, density and mechanical properties are owing to the changes of the tiny cavities in explosive JOB-9003 in the load environmental tests.

Key words: material science; JOB-9003 explosive; load environmental test; mechanical property

引 言

炸药在贮存和使用过程中,由于受温度、湿度和载荷等因素的综合作用,其性能会逐渐变坏。关于温度环境对炸药环境适应性的影响,国内外开展了不少研究。杨国满^[1]等人应用时间温度叠加原理探索研究了时间和温度对不同塑料黏结炸药性能的影响规律。田勇^[2]等人研究了热冲击温度差与试样损伤破坏率、密度变化以及超声波参量之间的相关性。李敬明^[3]等研究以 TATB 基高聚物黏结炸药热循环试验后的尺寸、力学性能及爆轰性能变化。许光^[4]等研

究了温度渐变环境下混合炸药的环境适应性。温茂萍^[5]等研究了 PBX 平面应变断裂韧度随温度的变化规律。国外 Johnson^[6], Wiegand^[7] 和 Gray^[8] 等研究了温度对炸药力学性能的影响,得到了一系列重要结论。但是,载荷环境和温度循环对炸药性能的影响研究较少。JOB-9003 炸药是以 HMX 为基的塑料黏结炸药,在材料设计中其力学性能与安全性能密切相关^[9-11]。

本研究设计了 JOB 9003 炸药柱在存在轴向载荷条件下的温度循环试验,对其在单轴压缩和温度循环条件下的尺寸、密度和力学性能变化规律进行了研究。

收稿日期:2008-08-27; 修回日期:2008-12-22

基金项目:中国工程物理研究院预先研究项目(426040401)

作者简介:颜熹琳(1982—),女,从事炸药及高分子材料环境试验和性能表征。

1 试 验

1.1 样 品

试验样品是 $\Phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ JOB 9003 小药柱, 小药柱由模压成型的 $\Phi 280\text{mm} \times 60\text{mm}$ 的 JOB 9003 大药饼机械加工而成。

1.2 载荷环境试验

经在 2 MPa 和 3 MPa 的压应力条件下进行的相关试验发现, 试验前后炸药性能变化不明显, 因此本研究中将压应力选为 5 MPa。将 5 发 JOB 9003 小药柱在 5 MPa 压应力加载装置上进行加载, 并进一步进行温度循环试验。温度循环试验的条件为 $-30 \sim 55^\circ\text{C}$, 在 -30°C 和 55°C 各保温 2 h, 升降温速率为 8.5°C/h , 一个循环周期为 24 h。

1.3 性能测试

试验前后对 JOB 9003 炸药的尺寸、密度及力学性能进行测试。

2 结果与讨论

2.1 载荷环境试验后炸药尺寸和密度的变化

图 1 给出载荷环境试验前后 JOB 9003 炸药样品的尺寸变化情况, 其中每个数据点均为 5 发样品测试结果的平均值。从图 1 看出, 当压缩加载应力为 5 MPa 时, JOB-9003 经过长时间温度循环试验后, 药柱的轴向尺寸不断降低, 径向尺寸不断增加。

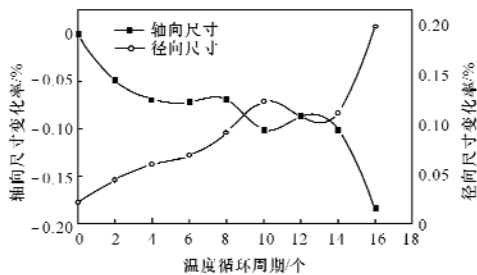


图 1 尺寸变化量与温度循环周期的关系

Fig. 1 Relation between the size changes and temperature cycle number

图 2 给出了载荷环境试验前后 JOB-9003 炸药的密度随温度循环周期的变化情况, 其中每个数据点为 5 发样品测试结果的平均值。从图 2 中可知, JOB 9003 炸药的密度随着温度循环周期的增加而不断减小。

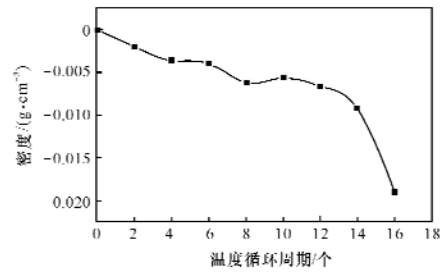


图 2 载荷环境试验中 JOB-9003 炸药的密度变化量曲线
Fig. 2 Density changes of explosive JOB-9003 vs. cycle number in the load environmental tests

2.2 载荷环境试验后炸药力学性能的变化规律

表 1 给出了 JOB-9003 炸药在载荷环境试验前后的常温压缩性能变化情况。从表 1 可见, JOB-9003 炸药在载荷环境试验后, 其模量无明显变化, 但其破坏强度随着循环周期的增加呈现出明显下降的趋势。

表 1 JOB-9003 炸药载荷环境试验前后的压缩性能
Table 1 The compressive properties of explosive JOB-9003 before and after the environmental test

| 温度循环周期/个 | 破坏强度/MPa | 模量/GPa |
|----------|----------|--------|
| 初始 | 40.346 | 14.700 |
| 2 | 38.773 | 14.500 |
| 4 | 38.445 | 15.693 |
| 6 | 38.133 | 16.250 |
| 8 | 36.908 | 14.698 |
| 10 | 35.825 | 12.810 |
| 12 | 35.450 | 14.360 |
| 14 | 33.842 | 14.590 |
| 16 | 33.473 | 12.730 |

另外, 对载荷环境试验前后的 JOB-9003 炸药进行常温压缩蠕变试验, 蠕变曲线见图 3, 蠕变参数的计算结果见表 2。

表 2 JOB-9003 炸药在载荷环境试验前后的蠕变性能
Table 2 The creep properties of explosive JOB-9003 before and after the environmental test

| 温度循环周期/个 | $\epsilon_{\max}/\%$ | t/min |
|----------|----------------------|----------------|
| 初始 | 1.124 | 702.8 |
| 3 | 0.791 | 378.8 |
| 6 | 0.608 | 290.7 |
| 9 | 0.524 | 588.5 |
| 12 | 0.476 | 239.5 |
| 15 | 0.468 | 210.0 |
| 18 | 0.778 | 50.4 |

从图 3 和表 2 可见, JOB-9003 炸药在载荷环境

试验后其最大蠕变应变(ϵ_{\max})和蠕变断裂时间(t)都随温度循环周期的增加而不断减小,说明JOB 9003炸药在经过载荷环境试验考核后,其抗蠕变能力已明显下降。

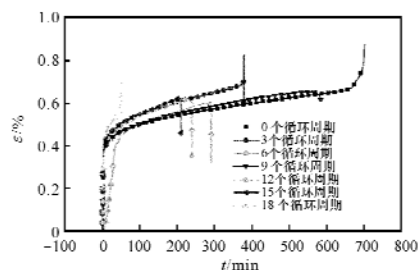


图3 载荷环境试验前后JOB-9003炸药的蠕变曲线

Fig. 3 The creep curve of explosive JOB-9003 before and after the environmental test

2.3 载荷试验后内部微孔隙的变化情况

JOB-9003炸药是一种颗粒高度填充的复合材料,其内部存在一定的微孔隙和微损伤,李敬明^[3]等人的研究表明,在无载荷温度循环试验条件下,由于PBX内部的初始微孔隙和微损伤增大,从而使其径向尺寸和轴向尺寸均出现一定程度的增大。而在本研究中,由于JOB-9003炸药的轴向施加了5 MPa的载荷,而径向无载荷约束,因而在温度循环和轴向载荷的共同作用下,其内部微孔将沿径向逐渐增大,而微孔的轴向尺度将逐渐缩小,图4给出了其内部微孔隙在载荷环境试验后的变化示意图。

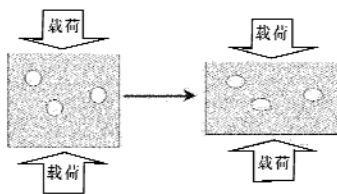


图4 载荷环境试验后内部微孔隙的变化情况示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the inner cavity changes after the load environmental test

由于JOB-9003炸药内部微孔隙的这种变化,使得其径向尺寸在载荷环境试验过程中不断长大,而轴向尺寸不断减小。另外,由图1可见,JOB-9003炸药在载荷环境试验中轴向尺寸的减小和径向尺寸的增大基本相当,但由于轴向尺寸对体积长大的贡献较小,因而使其密度出现一定程度的下降(见图2)。另外,由于JOB-9003炸药在载荷环境试验过程中其轴向和径向微损伤都可能出现一定程度的扩张,更容易出现破坏,因而其力学压缩强度和抗蠕变能力

在载荷环境试验后出现了明显降低。而压缩弹性模量主要反映材料的轴向加载初始阶段的力学响应,由于载荷环境试验后JOB 9003炸药的轴向在损伤增加的同时微孔隙也逐渐减少,因而其压缩模量并未出现明显变化(如表1所示)。

2.4 温度和载荷对炸药性能的影响

Johnson^[12]等研究了Bartherm处理对PBX力学性能的影响,所谓Bartherm处理就是把已压制好的药柱,装在一个用环氧化合物制成的袋内或直接浸入到一种合适的液体中,进行数天的热循环和再加压。研究表明,利用这种方法可以提高药柱的密度,并显著改善药柱的力学性能。这是由于反复加热加压使热塑性PBX材料发生蠕变,颗粒塑性变形后紧密咬合,并降低PBX材料的内应力的缘故。Johnson的试验中,药柱沿任何一个方向都有载荷约束,这是与本试验最大的不同之处,本试验只在轴向施加载荷约束,而径向无载荷约束,药柱具有一维的约束和两维的自由度,在温度循环过程中,炸药内部的微孔隙和微损伤可以沿径向逐渐发展,这种发展在温度循环作用下是不可逆过程,最终得到与Johnson的试验完全不同的结果,即药柱密度下降,力学性能变坏。同时,与无载荷的温度循环试验相比,可以预计,由于本试验具有一维的压缩约束,因此其密度的减小量会更小。

3 结论

(1) JOB-9003炸药的载荷环境试验后,其径向尺寸增加、轴向尺寸减小,密度明显降低。

(2) JOB-9003炸药经载荷环境试验后,其压缩强度和抗蠕变能力(最大蠕变应变和蠕变断裂时间)明显降低,而压缩弹性模量无明显变化。

参考文献:

- [1] 杨国满,胡晓棉. 时间温度效应与塑料粘结炸药的力学性能[J]. 火炸药学报, 2004, 27(1): 5-8.
YANG Guo-man, HU Xiao-mian. The time-temperature shift factors and the mechanical properties of explosives [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2004, 27(1): 5-8.
- [2] 田勇, 张伟斌, 温茂萍, 等. JOB-9003高聚物粘结炸药热冲击损伤破坏相关性研究[J]. 含能材料, 2004, 12(3): 174-177.
TIAN Yong, ZHANG Wei-bin, WEN Mao-ping, et al. Research on correlation of thermal shock damage

- of PBX JOB-9003[J]. *Energetic Material*, 2004, 12(3):174-177.
- [3] 李敬明,温茂萍,黄毅民. 热循环对TATB基高聚物粘结炸药性能的影响研究[J]. *含能材料*, 2005, 13(4):208-210.
LI Jing-ming, WEN Mao-ping, HUANG Yi-min. Effect of thermal cycling test on the properties of TATB based PBX[J]. *Energetic Material*, 2005, 13(4):208-210.
- [4] 许光,吴承云,于荫林,等. 混合炸药对温度渐变环境的适应性研究[J]. *火炸药学报*, 1997, 21(1):15-19.
XU Guang, WU Cheng-yun, YU Yin-lin, et al. Research the adaptability of composite explosives for gradually changing temperature environment [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 1997, 21(1):15-19.
- [5] 温茂萍,庞海燕,田勇,等. PBX平面应变断裂韧度随温度的变化规律[J]. *火炸药学报*, 2005, 28(3):63-65.
WEN Mao-ping, PANG Hai-yan, TIAN Yong, et al. Regulations of plane strain fracture toughness of PBX changed with temperatures [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2005, 28(3):63-65.
- [6] Johnson H D. The effects of thermal age to the mechanical properties of RX-03-BB, MHSMP-76-15B[R]. Amarillo; Mason and Hanger-Silas Mason Co., Inc., 1976.
- [7] Wiegand D A. Mechanical properties and mechanical failure of composite plastic bonded explosives and other energetic materials [C] // The Eleventh International Detonation Symposium. Snowmass; Office of Naval Research, 1998:85-88.
- [8] Gray III G T, Idar D J, Blumenthal W R, et al. High- and low-strain rate compression properties of several energetic material composites as a function of strain rate and temperature [C] // The Eleventh International Detonation Symposium. Snowmass; Office of Naval Research, 1998:229-231.
- [9] 朱建士,陈裕洋. 核装置研制中的力学问题[C]// 中国工程物理研究院科技创新论坛文集(第一辑). 绵阳:中国工程物理研究院, 2001:65-72.
- [10] Goldrein H T, Rae P J, Palmer J P, et al. Ageing effect on the mechanical properties of a polymer bonded explosive [M]. Ageing studies and lifetime extension of materials. Livermore; Lawrence Livermore National Laboratory, 2001.
- [11] Kass J. Enhanced Surveillance Program FY1998 Accomplishments, UCRL-LR-13204 [R]. Livermore; Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), 1998.
- [12] Johnson H D. Mechanical properties of TABA/kel-F 800 formulation, MHSMP-76-7A [R]. Amarillo; Mason and Hanger-Silas Mason Co., Inc., 1976.

(上接第28页)

- [3] Chavez D. 5,5'-szobis(6-amino-1,2,4,5-tetra-zinc): A novel high-nitrogen energetic materials[J]. *Angew Chem*, 2000, 59(10):1791-1795.
- [4] Paine R T, Kocstle W, Borek T T, et al. For an explanation of methods for characterizing explosive sensitivity [J]. *Hiskey Inorg chem*, 1999, 58: 5758-5742.
- [5] 徐松林,阳世清,岳守体. 偶氮四唑类高氮含能化合物的合成及表征[J]. *火炸药学报*, 2005, 28(3):52-54.
XU Song-lin, YANG Shi-qing, YUE Shou-ti. Synthesis and characterization of high nitrogen energetic compounds derived from azotetrazolate[J]. *China Journal of Explosives and Propellants*, 2005, 28(3):52-54.
- [6] 王伯周,廉鹏,刘愆,等. 富氮化合物3,3'偶氮双(6-氨基-1,2,4,5-四唑)合成研究[J]. *火炸药学报*, 2006, 29(2):15-18.
WANG Bo-zhou, LIAN Peng, LIU Qian, et al. Synthesis of rich nitrogen compound of 3,3'-azobis(6-amino-1,2,4,5-tetrazinc) [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2006, 29(2):15-18.
- [7] Ylee K, Storm C B. An improved synthesis of 5-amino-5-nitro-1H-1,2,4-triazole (Δ NTA), Δ useful intermediate for the preparation of insensitive high explosives[J]. *Energetic Materials*, 1991, 9:411-428.
- [8] Chavez. D E, Hill L, Hiskey M A, et al. Preparation and explosives properties of azo- and azoxyfurazans [J]. *Energetic Materials*, 2000, 18:217-219.
- [9] Darren L N, Michael A H, Herbert H H. Synthesis and explosive properties of 3,3'-dinitro-5,5'-azo-1H-1,2,4-triazole[J]. *Energetic Materials*, 2003, 21:57-62.
- [10] 王锡杰,贾思媛,王伯周,等. 3-氨基-5-硝基-1,2,4-三唑(Δ NTA)的合成工艺改进[J]. *含能材料*, 2006, 14(6):459-440.
WANG Xi-jie, JIA Si-yuan, WANG Bo-zhou. Improvement of the synthetic of 5-amino-5-nitro-1,2,4-triazole[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials*, 2006, 14(6):459-440.