

文章编号: 1006-9941(2004)03-0174-04

# JOB-9003 高聚物粘结炸药热冲击 损伤破坏相关性研究

田勇, 张伟斌, 温茂萍, 杨占锋, 郝莹, 李敬明  
(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 为研究高聚物粘结炸药损伤及相关问题, 采用水浴式“激热”方法和超声波特性参量检测技术对 JOB-9003 高聚物粘结炸药试样的热冲击损伤破坏进行了试验研究, 获得了热冲击温度差与试样损伤破坏率、超声波增益之间正相关的对应关系。

**关键词:** 声学; 高聚物粘结炸药; 热冲击; 损伤; 超声波检测

**中图分类号:** TQ560

**文献标识码:** A

## 1 引言

由于高聚物粘结炸药 (high polymer bonded explosive, PBX) 力学性能与其安全性能的密切关联<sup>[1~3]</sup>, 对 PBX 损伤的研究正在受到日益广泛的关注。在武器系统中, PBX 主要受到机械和热两种应力的作用, 因此研究 PBX 的机械损伤和热损伤具有重要意义。

国内外对 PBX 机械损伤的研究较多。研究人员使用材料试验机、高速离心设备、落锤、弹丸或高速飞片等手段来模拟各种机械应力条件下产生的损伤<sup>[4~9]</sup>。热损伤研究方面, 除了常用的慢速升温 and 热冲击手段<sup>[10]</sup> 之外, 也有人对与炸药接触的石墨棒通电, 以产生局部快速升温的方法研究炸药的热损伤<sup>[11]</sup>。在这些研究的同时, 很多表征、检测、观察损伤的方法和技术得到了研究与发展, 其中直接测量的方法包括扫描电子显微镜、原子力显微镜、超声、声发射、X 射线、核磁共振等, 间接测量的方法包括测量体积、弹性模量、泊松比等的变化<sup>[12,13]</sup>。

本文在研究 PBX JOB-9003 水浴式“激热”冲击损伤破坏及其超声波参量检测的基础上<sup>[14]</sup>, 进一步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。

## 2 试验

### 2.1 试样及分组

Φ20 mm × 20 mm JOB-9003 试样 80 发, 由小压机直接压制, 经 50 °C 持续 120 h 的热处理, (20 ± 2) °C 条件下的密度值范围为 1.843 ~ 1.852 g · cm<sup>-3</sup>。

将试样分为五组, 其中第一、第三组各 10 发, 其余三组各 20 发, 并尽量保持各组间密度、超声波增益和声速的平均值一致, 见表 1。

### 2.2 试验程序与条件

将试样在实验室环境浸没于 (20 ± 0.5) °C 水池中放置约 5 min, 然后在 2 ~ 3 s 内将试样从水池中迅速取出并立即浸没于高温水池中并放置约 5 min 后取出, 观察和记录试验过程中的有关现象。热冲击后对试样进行密度测定、超声波增益、声速及波形检测、外观的扫描电镜观察等。

根据有限元计算和摸索实验, 确定对应第一组到第五组试样热冲击试验的高温水池温度分别为 48 °C、50 °C、53 °C、55 °C、60 °C, 偏差: ±0.5 °C。

### 2.3 检测方法与条件

试样密度采用排水法测定: 测试前经 4h 恒温, 测试温度为 (20 ± 2) °C。

试样超声波特性参量检测<sup>[14]</sup>: 使用 CTS-36 型全数字式超声波检测仪, 单换能器纵波脉冲反射法, 探头频率 5.0 MHz, 晶片尺寸 Φ10 mm, 仪器增益值的上限为 84 dB, 耦合剂为水, 耦合面为试样端面。检测的超声波参量包括增益值、声速和波形。检测在热冲击试验 1 h 后进行。

收稿日期: 2003-11-12; 修回日期: 2004-01-30

基金项目: 中国工程物理研究院基金资助 (20000323、20030105)

作者简介: 田勇 (1967 -), 男, 在读博士, 副研究员, 主要从事无损检测及可靠性研究。e-mail: tianyong@caep.ac.cn

### 3 试验结果与讨论

表1给出了JOB-9003试样分组热冲击试验前后相关检测数据的平均值。

据表1,第一组经20℃到48℃的热冲击后,试样的外观、密度和超声波参量均未发生明显变化;第二组试样经20℃到50℃的热冲击后,其中17发试样的密度和超声波参量未发生明显变化,3发试样的超声波增益值较明显增加,出现了伤波,但均能检测到底波(见图1a);第三组试样经20℃到52℃的热冲击后,其中3发试样的超声波增益值无显著变化,另7发试样的超声波增益值明显增加,且1发试样内部出现严重裂纹、超声波检测无底波(见图1b),超声波增益值超出了仪器有效检测范围,声速也无法测量。为方便起见,将其增益值表示为 $\geq 84$  dB,而在计算本组超声

波增益平均值时,取值为84 dB,由此计算第三组试样热冲击后的平均增益值约为53 dB。第四组试样经20℃到55℃的热冲击后,全部试样出现超声波增益值的显著增加,16发试样出现超声波检测无底波,4发试样可检测到底波,按第三组的办法处理,得到第四组超声波增益平均值约为79 dB。第五组试样经20℃到60℃的热冲击后,全部试样出现超声波增益值的显著增加和无底波,一部分试样出现外观可见裂纹(见图2),此时计算第五组试样热冲击后的超声波平均增益值已没有意义。显然,在以上的热冲击温度差范围内,JOB-9003试样的热冲击损伤破坏程度随着热冲击温度差的增加而加剧,试样的超声波增益值随着热冲击温度差的增加而增加,而试样的密度、超声波声速没有随热冲击温度差的变化而发生明显变化。

表1 JOB-9003 试样分组热冲击试验相关检测数据

Table 1 Data of thermal shock test on group specimens of JOB-9003

group (num.)	thermal shock temp. gap/℃	aver. value before thermal shock			aver. value after thermal shock		
		density /g · cm <sup>-3</sup>	ultrasonic gain /dB	ultrasonic velocity /m · s <sup>-1</sup>	density /g · cm <sup>-3</sup>	ultrasonic gain /dB	ultrasonic velocity /m · s <sup>-1</sup>
1(10)	28	1.849	28	2841	1.850	29	2844
2(20)	30	1.849	30	2840	1.849	34	2839
3(10)	32	1.848	30	2828	1.849	53	2835
4(20)	35	1.849	29	2844	1.848	79	2811
5(20)	40	1.848	30	2840	1.847	$\geq 84$	-

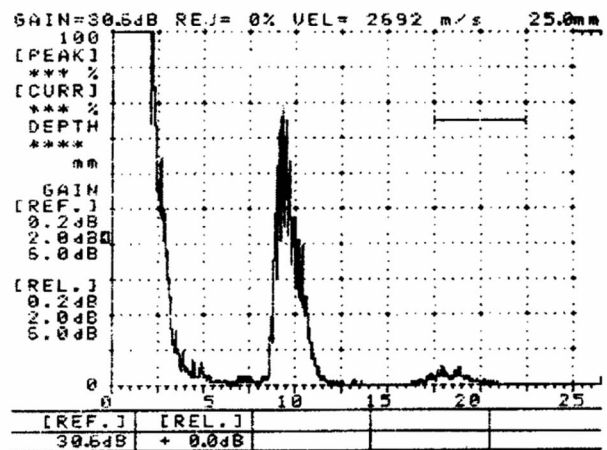
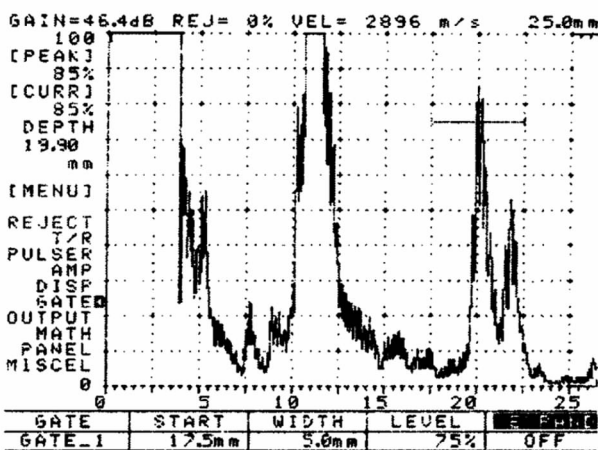
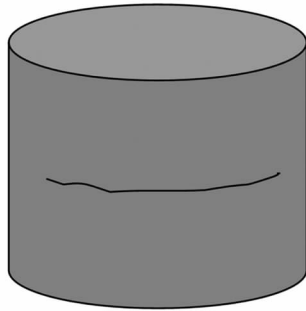


图1 热冲击后试样的典型超声波波形

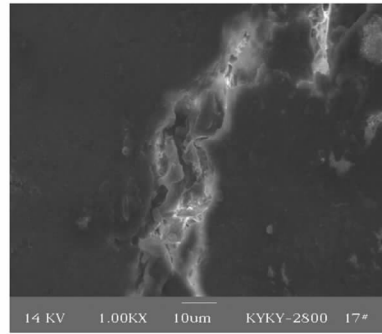
a— 出现伤波, b— 出现无底波

Fig. 1 Typical ultrasonic waves of specimens after thermal shock

a—flaw wave appears, b—bottom wave disappears



a



b

图2 热冲击后试样产生外观可见裂纹

a—裂纹的位置与走向示意, b—裂纹的 SEM 观察

Fig.2 Visible cracks occur on specimens after thermal shock

a—location and direction of crack, b—SEM on crack

如果以超声波增益值从无明显变化(变化幅度 $\leq 10$  dB)到有明显变化( $10$  dB $\leq$ 变化幅度 $\leq 50 \sim 60$  dB)再到严重变化(变化幅度约 $\geq 50 \sim 60$  dB,通常此时试样已检测不到超声波底波)作为试样从无明显损伤到有明显损伤再到严重损伤破坏的一种定性评价指标,

则不难看出,在试验的热冲击温度差范围内,同组试样中产生明显损伤或严重损伤破坏的比例(简称损伤破坏率,%)随着热冲击温度差的增加而增加。由此可以得到热冲击温度差、试样超声波增益值变化以及试样损伤破坏率之间的关系,显然三者之间具有良好的关联性(见表2)。

表2 热冲击温度差、试样超声波增益值变化及试样损伤破坏率关系

Table 2 Correlation among thermal shock temperature gap, ultrasonic gain variation and damage percentage of JOB-9003 specimens

Thermal shock temp. gap/ $^{\circ}\text{C}$	percentages of group specimens corresponding to different ultrasonic gain variations/%		
	no apparent variation	apparent variation	very apparent variation
28	100	0	0
30	85	15	0
32	30	60	10
35	0	20	80
40	0	0	100

#### 4 结 语

研究表明,在一定的热冲击温度差范围内, $\Phi 20$  mm $\times$ 20 mm JOB-9003 试样的热冲击损伤破坏程度随着热冲击温度差的增加而加剧,损伤破坏率随着热冲击温度差的增加而增加,试样的超声波增益值也随着热冲击温度差的增加而增加,热冲击温度差、试样超声波增益值变化和试样损伤破坏率之间显现出良好的对应关系。

致谢: 本工作得到中国工程物理研究院化工材料研究所二部、三部有关同志的帮助,在此表示感谢!

#### 参考文献:

- [1] 朱建士,陈裕泽. 核装置研制中的力学问题[A]. 中国工程物理研究院科技创新论坛文集(第一辑)[C],四川绵阳,2001. 65-72.  
ZHU Jian-shi, CHEN Yu-ze. Mechanical problems in developing nuclear device[A]. Proceedings of scientific innovation forum of Chinese Academy of Engineering Physics ( I ) [ C ], Mianyang, Sichuan, 2001. 65-72.
- [2] Goldrein H T, Rae P J, Palmer J P, et al. Ageing effects on the mechanical properties of a polymer bonded explosive. Ageing studies and lifetime extension of materials [ M ]. Edited by Mallinson, Kluwer Academic/Plenum

- Publishers, 2001.
- [3] UCRL-LR-13204. Enhanced Surveillance Program FY1998 Accomplishments[R]. 1998. 10.
- [4] Richter H P, Boyer LR, Graham K J, et al. Shock sensitivity of damaged energetic materials[A]. Proceedings of the 9th Symposium (International) on Detonation [C], 1989. 1295 - 1300.
- [5] Sandusky H W, Bernerker R R. Influence of fresh damage on the shock reactivity and sensitivity of several energetic materials[A]. Proceedings of 10th Symposium (International) on Detonation [C], 1993. 490 - 498.
- [6] Demol G, Lambert P, Trumel H. A study of the microstructure of pressed TATB and its evolution after several kinds of solicitations [A]. 11th International Detonation Symposium [C], 1998.
- [7] Bernecker R R, Clairmont A R Jr. Shock initiation studies of cast, damaged and granulated PBXs [A]. Proceedings of 10th Symposium (International) on Detonation [C], 1993. 499 - 506.
- [8] Green E L, James E Lee. Energetic response of propellants to high velocity impact [A]. Proceedings of 8th Symposium (International) on Detonation [C], 1985. 284 - 293.
- [9] 陈鹏万, 丁雁生, 何松伟, 等. 炸药冲击损伤的实验研究 [A]. 2002 年全国爆炸与安全学术交流会论文集 [C], 四川绵阳, 2002. 9. 111 - 115.  
CHEN Peng-wan, DING Yan-sheng, HE Song-wei, et al. Experimental study on impact damage of explosives [A]. Proceedings of 2002' National Symposium on Explosion and Safty Techniques [C], Mianyang, Sichuan, 2002. 9. 111 - 115.
- [10] 田勇, 张伟斌, 郝莹, 等. 炸药热冲击损伤破坏及超声波特性参量检测 [J]. 火炸药学报, 2000 (4): 13 - 15.  
TIAN Yong, ZHANG Wei-bin, HAO Yin, etc. Thermal shock damage of explosives and its ultrasonic characterization [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2000 (4): 13 - 15.
- [11] Yvonne M, Lanzerotti D, Pinto J. Fracture surface topography of TNT, composition B and Octol [A]. Proceedings of 10th Symposium (International) on Detonation [C], 1993. 190 - 198.
- [12] 陈鹏万, 丁雁生. 含能材料的细观损伤 [J]. 火炸药学报, 2001 (2): 58 - 61.  
CHEN Peng-wan, DING Yan-sheng. Damage in energetic materials [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2001 (2): 58 - 61.
- [13] 赵芳芳, 罗景润, 田常津, 等. 利用声发射技术监测颗粒填充聚合物材料的裂纹扩展过程 [J]. 高压物理学报, 2000, 14 (3): 235 - 240.  
ZHAO Fang-fang, LUO Jing-run, TIAN Chang-jin, et al. The crack growth process of particulate filled polymer monitored by acoustic emission [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2000, 14 (3): 235 - 240.
- [14] 田勇, 罗顺火, 张伟斌, 等. JOB-9003 炸药“激热”冲击损伤破坏及超声特征 [J]. 火炸药学报, 2002 (3): 19 - 21.  
TIAN Yong, LUO Shun-huo, ZHANG Wei-bin, et al. Water-bathed thermal shock damage of PBX JOB-9003 and its ultrasonic characteristics [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2002 (3): 19 - 21.

## Research on Correlation of Thermal Shock Damage of PBX JOB-9003

TIAN Yong, ZHANG Wei-bin, WEN Mao-ping, YANG Zhan-feng, HAO Ying, LI Jing-ming  
(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** More and more attention is being payed to the researches on damage and relative problems of high polymer bonded explosives (PBX). In the paper, an experimental research on thermal shock damage of PBX JOB-9003 specimens has been done by using water-bathed thermal shock and ultrasonic characterization testing techniques, and a comparatively typical correlation among the thermal shock temperature difference, the specimen's percentage of damage and the ultrasonic gain is revealed.

**Key words:** acoustics; high polymer bonded explosive (PBX); thermal shock; damage; ultrasonic testing