

文章编号: 1006-9941(2004)02-0085-04

JOB-9003 炸药热冲击损伤的超声波检测

张伟斌, 田勇, 温茂萍, 郝莹

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 观察了 JOB-9003 炸药在水浴法热冲击试验中发生的损伤及变化过程, 研究了超声特性参数(增益)与炸药热冲击损伤因子的关系, 曲线关系预示出炸药存在预损伤。研究表明超声波检测技术及装置适合于 JOB-9003 炸药热冲击损伤及其演变的实验测试, 可为研究炸药在外载条件下的动态响应提供一项新的实验技术。

关键词: 声学; JOB-9003 炸药; 热冲击; 损伤; 超声波检测

中图分类号: O426; TQ56

文献标识码: A

1 引言

JOB-9003 炸药是一种复合材料^[1,2], 在国防现代武器的发展中发挥着重要的作用^[3]。但其在成型、加工或贮存过程中由于受到温度、机械应力的作用产生损伤甚至可能开裂, 因此研究其损伤及测试实验技术就是一项非常重要的课题。

由于超声检测具有简便、快捷、可靠的优点, 用于药柱的无损检测已有几十年的历史。因此, 本文利用数字式超声检测仪对炸药水浴法热冲击的损伤及其变化过程进行无损测试和监测, 研究建立适合于炸药损伤测试的实验技术, 并为进一步研究炸药在外载条件下的动态响应提供新的实验技术。

2 基本原理

根据细观损伤理论: 对高于 200 kHz 的频率的线弹性各向同性体中, 损伤为一标量, 泊松比不随损伤而变^[4-6], 且损伤因子 D (也称损伤累积程度) 满足下列等式:

$$D = 1 - \sigma / \sigma_0 \quad (1)$$

式中: σ 为炸药有损伤时强度, σ_0 为炸药无损伤时强度。JOB-9003 炸药基本为线弹性各向同性体^[1], 而超声检测频率为 5 MHz, 因此炸药热冲击的损伤因子的评估在工程应用时可采用式(1)。

收稿日期: 2002-09-23; 修回日期: 2003-11-10

基金项目: 中国工程物理研究院基金资助(20030105)

作者简介: 张伟斌(1972-), 男, 助研, 硕士研究生, 主要从事炸药无损检测与应用研究。

3 超声检测方法

3.1 波形分析法

波形分析法是对超声检测信号的波形进行记录和分析, 得到信号的超声谱及相关函数等。通过分析炸药材料受不同热冲击程度引起损伤的超声谱特征, 可以获得或评估炸药材料的损伤特征。超声波形法是监测炸药细微缺陷或微裂纹向宏观缺陷转变的重要方法, 也是鉴别和确定宏观缺陷的位置、大小和损伤因子的依据。

3.2 超声参数法

超声在与炸药结构相互作用引起声速变化和衰减(或增益)损失, 是超声确定炸药性能的主要参数。超声衰减(增益)是建立炸药细微结构与其性能之间关系的关键, 也是炸药热冲击损伤超声检测的关键。当炸药在热冲击过程中由于受热应力作用引起其内部细微结构的变化时, 会导致超声声速和增益的改变。因此超声参数法是通过记录和分析超声信号的特征参数, 如增益(衰减)和声速, 来分析或评估炸药材料的损伤破坏特征(如损伤因子)。

4 试验

4.1 试验方法

考虑 $\Phi 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 试件形成的损伤较为均匀, 且损伤便于超声检测, 故 JOB-9003 炸药造型粉压制成 $\Phi 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 试件^[7]。试件从室温中置入 2 °C 冰水中停留 10 min, 再从 2 °C 冰水瞬间放到一定温度 T (T 分别为 24、26、28、30、32 °C) 水中, 其间隔时

间在2~3 s以内,并在一定温度的水中停留 10 min 后取出。

4.2 试验装置

在室温中使用 CTS-36 型全数字式超声检测仪,测试时采用单直探头、较高频率的纵波脉冲反射法,直探头频率为 5.0 MHz,晶片尺寸为 $\Phi 10$ mm,耦合剂为水^[8]。

4.3 试验结果

试样从 2 °C 冰水中置入 24 °C 水中均未听见断裂响声,经超声探伤未发现宏观裂纹,增益值与其初始值相比基本不变,见图 1(a),置入 26 °C 水中,听见微弱

的裂纹响声,发现有轻微的超声裂纹信号,见图 1(b),而置入 28 °C 及以上水中均听见断裂响声,经探伤都发现较为严重的宏观裂纹,增益值随温差的增加而大幅增大(见图 1(c)、(d))。因此,其损伤(或缺陷、裂纹)的形成、演变可按图 1 的波形变化进行超声监测,图中中间的波形为损伤或裂纹的波形。另外,试样从 2 °C 冰水中置入 27 °C 水中,发现既有产生轻微的缺陷,也有产生较严重的宏观裂纹,也有未发现宏观裂纹的现象,这种现象在一定程度上说明 25 °C 温差是水浴法冲击 $\Phi 20$ mm \times 20 mm 炸药产生损伤的临界温差。17 发试样在不同温差冲击前后的超声增益数据见表 1。

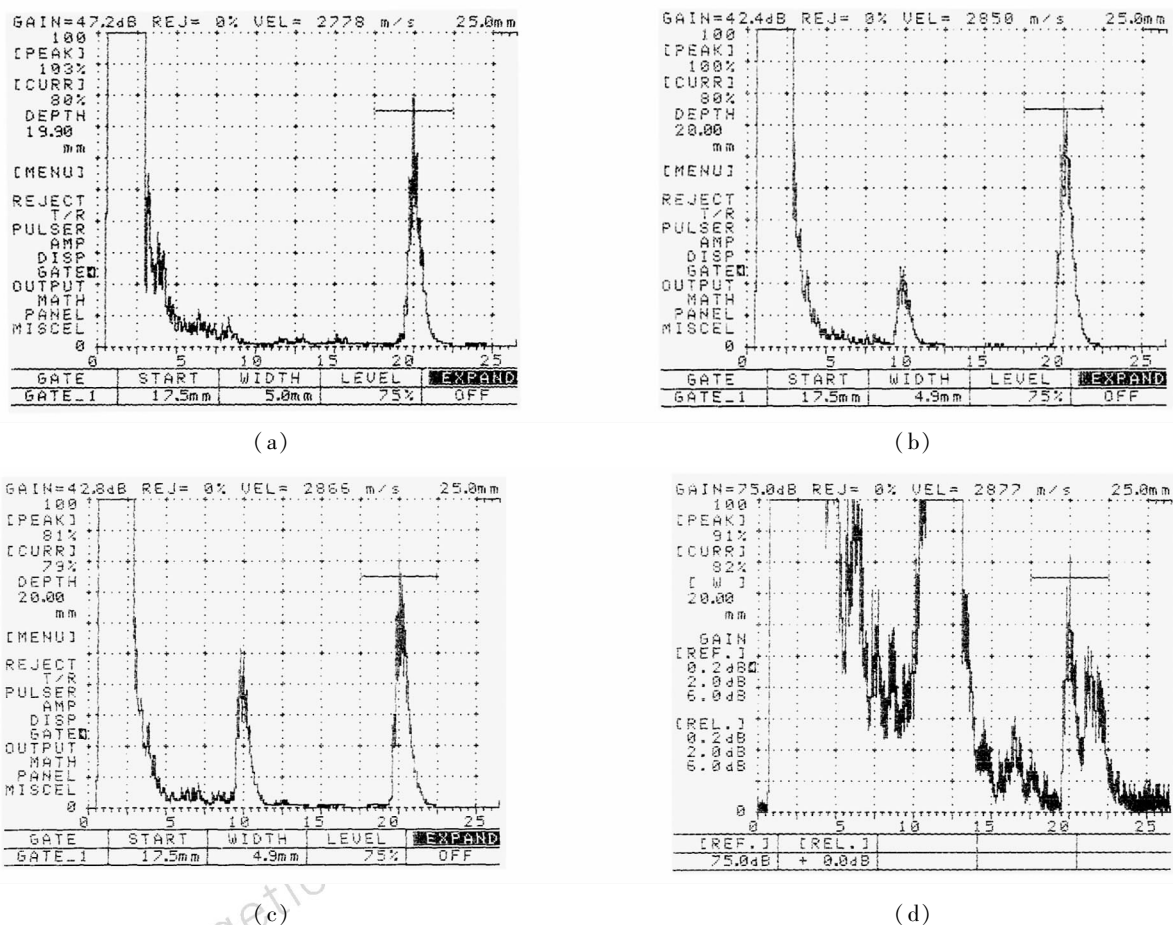


图 1 JOB-9003 炸药损伤及其发展过程的超声监测波形图

(a)—未有损伤的监测波形(未冲击或温差在 22 °C 及以下), (b)—有细小裂纹的监测波形(温差在 24 °C 左右), (c)—损伤发展的监测波形(温差在 26 °C 左右), (d)—有大的宏观裂纹的监测波形(温差在 28 °C 及以上)

Fig. 1 Ultrasonic waveform of the damage and its development of explosive JOB-9003

(a)—no damage, (b)—small flaw, (c)—damage development, (d)—serious damage

根据式(1),需通过力学性能测试来建立超声特性参数与炸药热冲击损伤因子的关系,但因常规的压缩强度测试可能使大量损伤闭合,难以通过常规的压

缩强度反映材料损伤的问题,因此对损伤因子不同的样品,在材料试验机上采用对径压缩(或直径圆盘)的方式测量强度^[9],测试数据见表 1 所示。

表 1 炸药试样在同一热冲击次数不同温差作用下的超声特性与力学性能测试数据

Table 1 Ultrasonic characteristic parameter and mechanical data of the explosives

No.	intensity of split /MPa	initial δ /dB	δ after thermal /dB	δ increment /dB	mean of δ increment/dB	mean of intensity /MPa	damage factor D
99009	2.953	58	57	-1	-1	3.224	0.000
99010	3.494	51	49	-2	-1		
99034	3.336	43	44	1	1	2.937	0.089
99036	3.256	47	49	2	1		
99037	2.430	43	43	0	1		
99038	2.724	44	45	1	1		
99039	2.850	46	56	10	12	2.935	0.090
99043	3.024	42	49	7	12		
99019	2.932	47	65	18	12		
99023	2.858	47	76	29	31	2.832	0.122
99041	3.117	45	75	30	31		
99018	2.295	48	80	32	31		
99020	3.060	46	80	34	31		
99021	3.006	41	80	39	39		
99030	2.116	43	80	37	39	2.505	0.223
99027	3.230	43	84	41	39		
99048	1.666	44	84	40	39		

Note: δ is ultrasonic gain value

5 讨论与分析

从炸药损伤的超声监测波形可以看出, JOB-9003 炸药水浴法热冲击产生的损伤或裂纹在试件的中间部位, 并随温差的增大而逐渐加重, 直至成为大的宏观裂纹。而从表 1 的数据可见, JOB-9003 炸药在热冲击产生损伤并发展至宏观缺陷(裂纹)的过程中: 在没有产生宏观缺陷时, 超声增益值基本不变; 只产生轻微的缺陷(细小裂纹)时, 超声增益值才开始有所增加; 而产生大的宏观裂纹时, 超声增益大幅增加。说明超声增益值随炸药的损伤因子增加而增大, 且热冲击产生的损伤因子与超声特性参数特别是增益值表现出很好的定量关系。力学性能数据虽然有所分散, 但总体变化趋势仍然是随着损伤的逐渐累积而逐渐降低。因此, 将表 1 的平均强度代入式(1)进行计算并利用最小二乘法, 得出 JOB-9003 炸药热冲击损伤的损伤因子 D (见表 1), 损伤因子 D 与超声特性参数的关系如图 2 所示。曲线关系表明炸药有预损伤的存在, 且测得 JOB-9003 炸药损伤阈值 $D_c = 0.223$, 这与罗景润^[10]等以间接拉伸法测得的损伤阈值 $D_c = 0.21$ 的结果相符很好。

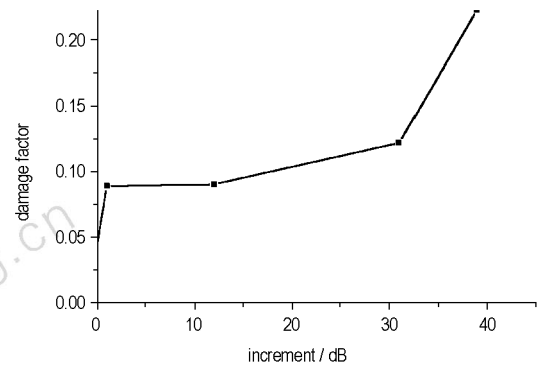


图 2 炸药损伤因子与超声增益变化的关系

Fig. 2 Relationship between the damage factor D and ultrasonic gain δ

6 结 语

应用超声参数(超声增益)和波形分析法能准确地测出损伤的有无、取向和发生的深度, 以及损伤的演变和发展, 得出了超声特性参数(增益)与炸药热冲击损伤因子 D 的曲线关系, 结果预示炸药存在预损伤, 且测得炸药的损伤阈值和直接采用简单拉伸法测得的结果相符较好。该技术适合于塑料粘结炸药 JOB-9003 热冲击损伤的实验测试, 为研究该炸药在外载条件下的动态响应提供了一种新的实验技术。

参考文献:

- [1] 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] 黄辉,王晓川. 偶联剂在 HMX 基浇注固化炸药中的作用[J]. 含能材料,2000,8(1): 13-17.
HUANG Hui, WANG Xiao-chuan. Behavior of coupling agent in HMX-based extrudable cast explosive[J]. *Hanneng Cailiao*, 2000, 8(1): 13-17.
- [3] 郑孟菊,俞统昌,张银亮,等著. 炸药性能及测试技术[M]. 北京: 兵器工业出版社,1990.
- [4] 勒迈特. 损伤力学教程[M]. 北京: 科学出版社.
- [5] 杨光松. 损伤力学与复合材料损伤[M]. 北京: 国防工业出版社.
- [6] 尹双增. 断裂、损伤理论及应用[M]. 北京: 清华大学出版社.
- [7] 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(待发表).
TIAN Yong, ZHANG Wei-bin, WEN Mao-ping, et al. Correlation research on thermal shock damage of PBX JOB-9003[J]. *Hanneng Cailiao*. (in Press)
- [8] 张伟斌,田勇,罗顺火. HMX 混合炸药的声学特性 [R]. 中国工程物理研究院科技年报 1999, 成都, 228-229.
ZHANG Wei-bin, TIAN Yong, LUO Shun-huo. Acoustic characteristics of two kinds polymer bonded explosive [R]. Annual Reports of China Academy of Engineering Physics, 1999, Chengdu, 228-229.
- [9] 宋华杰,郝莹,董海山,等. 用直径圆盘试验评价小样品塑料粘结炸药拉伸性能的初步研究[J]. 爆炸与冲击, 2001, 21(1): 35-40.
SONG Hua-jie, HAO Ying, DONG Hai-shan, et al. A preliminary evaluation of tensile properties of small plastic bonded explosive sample by diametric disc test [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2001, 21(1): 35-40.
- [10] 罗景润,李大红,张寿齐,等. 简单拉伸下高聚物粘结炸药的损伤测量及损伤演化研究[J]. 高压物理学报, 2000, 14(3): 203-208.
LUO Jing-run, LI Da-hong, ZHANG Shou-qi, et al. Damage evolution of PBX under simple tension [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2000, 14(3): 203-208.

Experimental Study on the Thermal Shock Damage of Explosive by Ultrasonic Testing

ZHANG Wei-bin, TIAN Yong, WEN Mao-ping, HAO Ying

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

Abstract: The paper presents an experiment on the thermal shock damage of JOB-9003 and its evolution course in water under different temperatures (from 2 °C to 24 °C, 26 °C, 28 °C, 30 °C, 32 °C) by using digital ultrasonic testing system. The intensity of the different damage accumulation degree (damage factor) has been tested. A fitted curve relationship between ultrasonic characteristic parameters (especially ultrasonic gain) and the damage accumulation degree of JOB-9003 explosives was found. It's measured that the threshold (D_c) of the damage of JOB-9003 explosives is 0.223. The results prove that ultrasonic testing method is reliable to study the thermal shock damage of JOB-9003 and its evolution course, and provide the technique supports on studying dynamic state response of explosive to different load conditions.

Key words: acoustics; JOB-9003 explosive; thermal shock; damage; ultrasonic testing