

高聚物粘结炸药热冲击过程中的声发射现象研究

高登攀, 田 勇, 王丽玲, 杨占锋

(中国工程物理研究院 化工材料研究所, 绵阳 621900)

摘 要:通过水浴冲击对高聚物粘结炸药(PBX)进行热冲击试验,由于材料在热冲击下产生的热应力来不及释放,从而导致材料内部产生裂纹。利用声发射仪器对热冲击过程进行监测,获得炸药材料在热冲击过程中的声发射信号。研究表明,声发射信号能够很好地反映热冲击过程中PBX损伤的产生和演变,并能够对损伤位置进行准确的定位,从而为研究材料的热冲击损伤机理和模式提供可靠的试验数据和理论依据。

关键词:声发射检测;热冲击;炸药;损伤

中图分类号:TG115.28

文献标识码:A

文章编号:1000-6656(2006)04-0173-04

Study on Acoustic Emission Phenomena of Plastic Bonded Explosive During Thermal Shock

GAO Deng-pan, TIAN Yong, WANG Li-ling, YANG Zhan-feng

(The Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: Due to thermal stress, cracks will appear in plastic bonded explosive (PBX) in the experiment of thermal shock implemented by water-bathed method. With the application of acoustic emission testing device, thermal shock process was monitored by acoustic emission signal. The preliminary experiment showed that the acoustic signal brought in thermal shock not only reflected the different phase of cracks growth and located the damage, but also provided reliable experimental data and theoretical base for the study on mechanism and mode of PBXs thermal shock damage.

Keywords: Acoustic emission testing; Thermal shock; Explosive; Damage

高聚物粘结炸药(PBX)在存储、装运或使用过程中,温度的变化常常会使炸药的物理化学性能发生改变,使得炸药的形状尺寸、质量以及密度发生变化,从而影响炸药的力学性能,严重的还会造成裂纹,甚至断裂。对于炸药件在不同温度冲击前后的形状、尺寸、质量、密度以及声学特性等发生的变化及其规律国内已有较多的研究^[1,2]。但就利用声发射技术监测温度冲击过程中PBX内部缺陷的产生和演变方面的研究,国内外的相关的报道却很少见。笔者利用声发射技术实现了对炸药件在温度冲击过程中的内部监测,统计分析了声发射事件参数,初步

了解了PBX在温度冲击过程中内部质量变化与其声发射现象的关系,表明声发射技术是监测PBX热冲击过程中内部质量变化的一种有效手段。

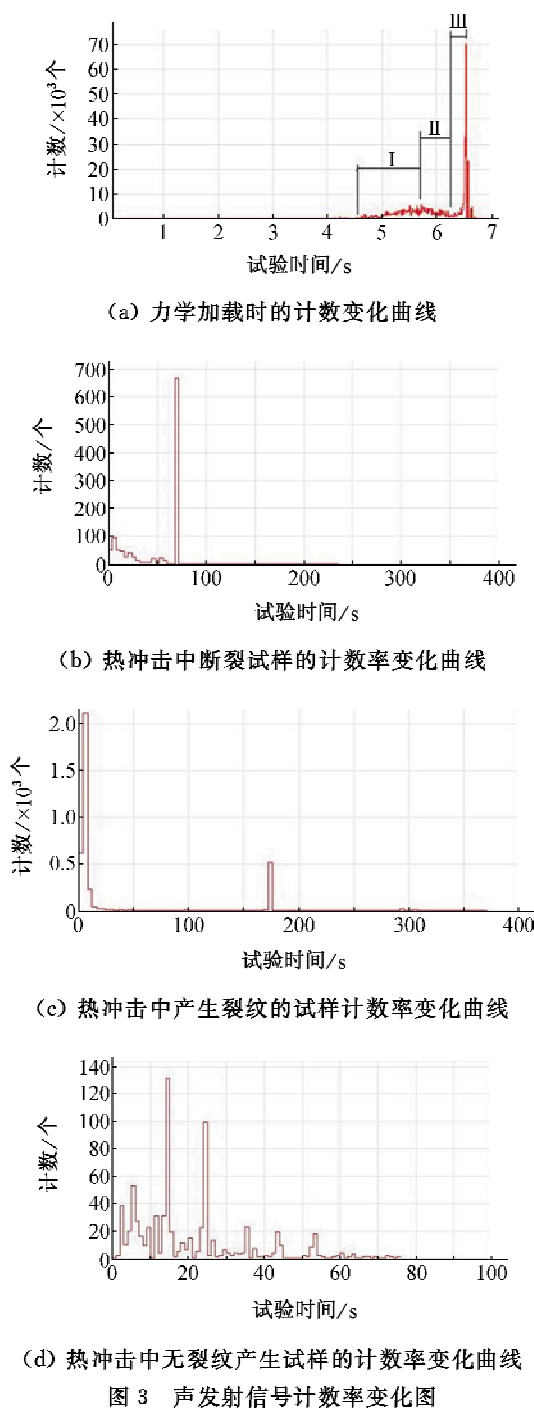
1 试验装置及方法

试样为JOB 9003压制型PBX药柱,将其加工制成14块30 mm×30 mm×80 mm的长方体。试验前首先根据其声学特性将样品分组,采用不同的温差进行冲击。声发射监测系统为美国PAC公司的DISP型声发射系统。

试验装置示意图如图1所示。每次试验前,均将样品在不同温度下恒温60min以上后,然后分别迅速放入不同温差的水中(玻璃器皿中),同时声发射系统处于采集状态,对冲击全过程进行实时记录和监控。定位方式采用线定位,如图1所示将两个

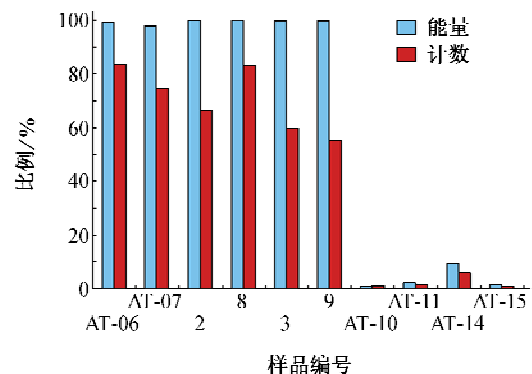
收稿日期:2004-12-01

基金项目:中国工程物理研究院化工材料研究所所长基金资助项目(42102010103)



部的损伤。由表1可知,对于产生裂纹或断裂的试样,其能量、总计数和最高幅度的变化最为显著,并且还产生了高幅度(>80 dB)事件。对高幅度声发射事件分析可知,断裂试样高幅度信号的能量占整个总量99%以上,总计数也在50%以上,而仅产生裂纹试样的高幅度信号的能量和总计数都只占整个总量10%以下,如图4所示。

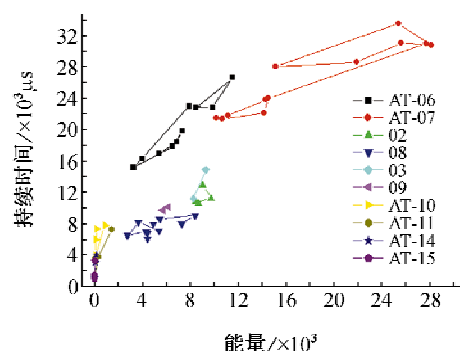
可见,裂纹产生初期,仅产生低能量的高幅信号,而在裂纹的扩展、演变和直至断裂的过程中,有



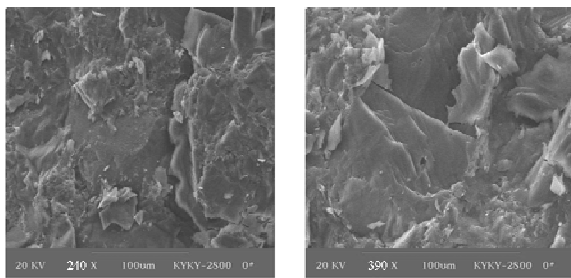
高能量高幅度的信号产生。因此,裂纹扩展演变阶段的声发射信号要比裂纹产生初期大得多,并且可以将是否有高幅度信号产生以及这些信号的能量和总计数水平作为表征和衡量损伤程度的重要指标。

3.2 典型裂纹声发射信号的研究

从试验结果可以看出, JOB 9003 在受到外界热冲击或冷冲击时均产生较为丰富的声发射信号,总体上表现为低幅度、低能量,伴随着裂纹或断裂的发生,一些高幅度、高能量的声发射信号便会产生。如图5所示,发生断裂试样的特征声发射信号(幅度均 >98 dB)分布在能量 >2000 ,持续时间 $>8000 \mu s$ 的范围内;而仅产生裂纹试样的特征声发射信号(幅度为 $80 \sim 99$ dB)则分布在能量 <2000 ,持续时间 $<8000 \mu s$ 的范围内。由此可见,那些高幅高能的声发射信号便是由裂纹扩展演变或断裂事件产生的。信号分析发现,热冲击断裂产生的声发射信号均为高幅度、高能量和持续时间长的信号,不同于拉伸断裂时产生的中高幅度和持续时间短的信号^[3]。



对热冲击断裂的试件采用扫描电镜(SEM)对其断口形貌进行了观察。如图6所示,热冲击下的断裂方式既有沿晶断裂(图6a),也有穿晶断裂(图6b),但穿晶断裂是其主要断裂方式。



(a) 沿晶断裂(脱粘) (b) 穿晶断裂

图6 断裂试样断口 SEM图

陈鹏万等研究发现,PBX材料受力变形后,最主要的破坏现象是炸药颗粒-粘结剂界面脱粘和粘结剂基体开裂^[4]。由此可见,热冲击产生的断裂方式不同于受力断裂,并且其断裂时产生的声发射信号的特征也各不相同。

3.3 裂纹演变的初步研究

综合以上分析结果可见,图3a力学加载破坏是以沿晶断裂和基体开裂为主^[4],图中反映的是沿晶断裂和基体开裂过程中计数率的变化,整个破坏过程分为三个阶段,即起始扩展阶段Ⅰ、减速阶段Ⅱ和加速阶段Ⅲ。Ⅰ阶段是微小缺陷的积累;Ⅱ阶段产生局部裂纹,但不会引起部件的宏观破坏;Ⅲ阶段声发射计数率急剧增大,说明有大裂纹产生或者部件发生断裂。而图3b反映的是在以穿晶断裂为主的热冲击过程中计数率的变化情况,它不似沿晶断裂和基体开裂那样有明显的裂纹演变和发展阶段,而是一种突发断裂。

因此,声发射计数率的不同变化规律反映了不同的断裂方式。初步分析认为,沿晶断裂和基体开裂都与粘结剂有关。由于粘结剂属粘弹性材料,所以其裂纹扩展和演变阶段的时间相对较长,表现为

(上接第172页)

径金属杆进行检测时,其振幅衰减具有差异性。

该试验是在金属杆尺寸较小的情形下进行的,可能与现实工程中所应用的金属杆在尺寸上有较大差异,但试验中一些有关导波的研究结论,对于岩土工程界所关心的金属杆锚固质量的无损检测研究有一定的意义。

参考文献:

- [1] 王成. 锚杆锚固质量动测新技术的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 1998.
- [2] 李义, 王成. 应力反射波法检测锚杆锚固质量的实验研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(2): 160—164.

明显的阶段性和过程性。而炸药品粒是微米级晶体材料,只有在较高的应力下才能使其断裂,一旦断裂,其断裂阶段和发展过程时间都非常短,因而表现为突发性。

4 结论

(1) 热冲击过程中,PBX材料的声发射信号较为丰富,利用声发射技术可以实现裂纹的定位和演变发展的监测。

(2) 热冲击下,PBX的断裂方式与力学压缩或拉伸时不同,以穿晶断裂为主,并且各种断裂方式所对应的声发射信号特征值不同。

(3) 声发射信号能够很好地反映热冲击过程中JOB 9003材料损伤的产生和演变,并且不同的断裂类型具有不同的发展和演变过程。

(4) 微小裂纹产生和累积阶段产生的典型声发射信号表现为低幅低能,随着裂纹的不断扩展,其产生的典型声发射信号则主要表现为高幅高能。

(5) PBX材料热冲击过程中,裂纹扩展阶段的声发射信号要比裂纹产生初期强得多。

参考文献:

- [1] 秦亚萍,于荫林,吴承云,等. 温度冲击试验技术在混合炸药中的应用研究[J]. 火炸药学报, 1997, 20(2): 40.
- [2] 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, 23(4): 13.
- [3] 赵方芳. 利用声发射技术研究高聚物粘结炸药的损伤与断裂特性[D]. 四川绵阳: 中国工程物理研究院, 2000.
- [4] 陈鹏万,丁雁生. 高聚物粘结炸药的力学行为及变形破坏机理[J]. 含能材料, 2000, 8(4): 161—164.
- [3] 林华长,王成,宁建国. 金属杆锚固系统在瞬态激励下的动态响应[J]. 力学与实践, 2005, 27(5): 39—42.
- [4] 李义,刘海峰,王富春. 锚杆锚固状态参数无损检测参数及其应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(10): 1741—1744.
- [5] Beard MD, Lowe MJS. Nondestructive testing of rock bolts using guided ultrasonic waves[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2003, 40(10): 527—536.
- [6] 罗斯JI. 著,何存富,吴斌译. 固体中的超声波[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [7] 王礼立. 应力波基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.