

文章编号: 1001-4888(2010)04-0457-06

混凝土材料三点弯曲破坏的声发射特性^{*}

张璇子¹, 陈红迁², 王志勇³

(1. 总参陆航研究所, 北京 101121; 2. 装甲兵工程学院, 北京 100072;

3. 国家知识产权局专利检索咨询中心, 北京 100088)

摘要: 为了研究碎石混凝土材料在不同应力状态下的声发射信号特征, 在 MTS 材料试验机上对混凝土梁进行了三点弯曲实验, 并利用先进的多通道声发射系统监测了混凝土梁在三点弯曲载荷下的破坏过程。通过对声发射信号的持续时间、振铃计数、撞击数进行滤波, 将混凝土材料破坏过程的声发射信号分成七种类型, 同时结合前人关于混凝土材料 Kaiser 效应的试验研究, 将七种类型的声发射信号对应于不同的相对应力水平。研究结果表明, 声发射信号的持续时间、振铃计数以及撞击数不仅可以表征混凝土破坏过程的类型, 还可以表征混凝土材料所处的应力状态, 从而为声发射技术在线监测混凝土材料提供了一种新的途径。

关键词: 混凝土; 三点弯曲; 声发射; 相对应力水平

中图分类号: O348.8

文献标识码: A

0 引言

固体物质在应力作用下发生塑性变形或材料中裂纹产生与扩展时, 其内部因为从不稳定的高能量应力集中状态快速过渡到稳定的低能量状态, 在此平衡过程中释放出来的多余能量会以弹性应力波形式表现, 从而产生声发射现象。声发射技术具有高灵敏度、动态实时监测材料内部结构微观结构变化的特点, 目前作为一种成熟的无损检测方法已被广泛应用于航空航天、石油化工、电力、交通运输、金属加工以及材料试验等领域^[1]。

混凝土材料的破坏是一系列损伤积累的结果, 尽管混凝土的损伤过程非常复杂, 但在损伤和断裂发生和发展时伴有声发射(AE)现象是其共同的特点。因此, 近年来世界各国开始采用声发射技术研究混凝土的破坏过程、损伤程度和损伤机理等问题。

本研究利用 DISP 多通道声发射系统对混凝土试件在三点弯曲载荷作用下的破坏过程进行了监测, 对混凝土材料破坏过程的声发射信号进行了分类, 并对应于不同的相对应力水平(所谓的相对应力水平, 吴胜兴^[2]等人给出的定义为 $\eta = \frac{F}{F_{\max}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}}$), 力图为工程实际应用提供有价值的参考。

1 实验原理

混凝土材料的破坏过程是十分复杂的, 但是其中有一个特点, 那就是混凝土在外力作用下内部发生损伤破坏时, 塑性变形、裂纹的形成和扩展造成应力松弛, 贮存的部分能量以应力波的形式突然释放出来, 形成声发射源。利用声发射源发出的弹性波, 经介质传播到达被检物体的表面, 引起表面的机械振动, 经声发射传感器将表面的瞬态位移转换成电信号, 声发射信号再经放大、处理后, 形成其特性参数,

^{*} 收稿日期: 2010-04-01; 修订日期: 2010-05-11

通讯作者: 陈红迁(1980—), 女, 硕士, 助教。研究领域为结构故障诊断及稳定性分析。E-mail: chenhongqian@126.com

并被记录与显示,最后经数据的解释,评定出声发射源的特性^[3,4](如图 1)。

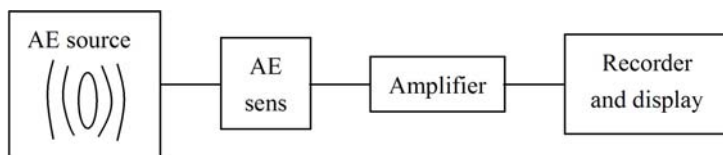


图 1 声发射技术原理

Fig. 1 Scheme of acoustic emission

2 试验方案

2.1 试件的准备和制作

试验采用的混凝土为碎石混凝土,混凝土配比为 $C:W:G:S=1:0.51:1.5:1$ (3.3kg:1.7kg:5kg:3.3kg),试件尺寸为 $10\text{cm}\times 10\text{cm}\times 51.5\text{cm}$ 的成形梁,龄期 28 天。

2.2 试验方法和系统

三点弯曲实验的载荷作用点确定,损伤形成和发展的区域相对集中,损伤模式和破坏机理相对简单,得到的声发射信号比较单纯,是利用声发射技术研究材料损伤与断裂的首选加载方式。因此,本试验中采集的是混凝土试件在材料实验机上进行三点弯曲加载条件下的声发射信号,如图 2 所示。

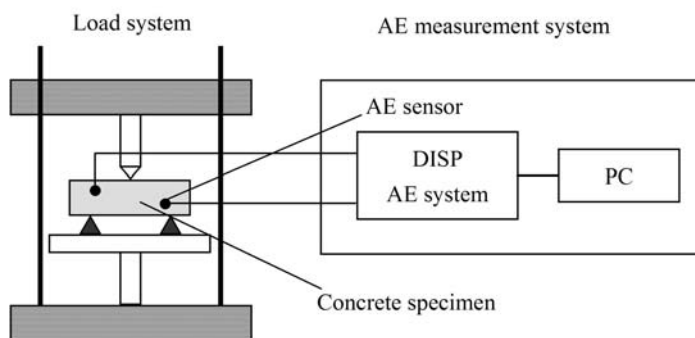


图 2 实验系统示意图

Fig. 2 Schematic of experimental setup

2.2.1 加载设备

本实验利用中国科学院长春科新公司试验仪器研究所生产的微机控制电子万能实验机进行三点弯曲试验加载,跨距 340mm,该实验机最大载荷为 50kN,实验力准确度为 0.5%,加载速率在 0.05~200mm/min 范围内可调,并保持良好的线性。

2.2.2 声发射采集系统

本实验利用美国 PAC 公司生产的 DiSP 4 通道声发射系统分别对混凝土材料在三点弯曲载荷作用下的声发射现象进行了检测,该系统采用插卡式并行处理结构,由 PCI 总线的 PC 机、前置放大器、传感器和多个并行处理的 PCI-DSP-4 卡构成。实验采用压电传感器,频率为 150kHz,滤波带宽为 100kHz~400kHz,灵敏度为 65dB。四个前置放大器分别连接在四个传感器上,滤波带宽 100kHz~400kHz,为传感器提供 40dB 的增益,有效排除实验中出现的摩擦信号等环境噪声。

3 试验结果

碎石混凝土梁在三点弯曲加载条件下直至破坏记录的信号如图 3 所示。

从图 3(a)中可以看出当载荷达到峰值时候对应的时间为 612s,而从图 3(b)中我们发现当实验时间大于 612s 时仍有大幅度的声发射信号存在,该信号的存在是由于试件破坏后触碰到实验台产生的,不是由于试件本身破坏产生的声发射信号,属于噪声,在后续信号处理中通过对实验时间进行设定对该部分进行滤除。

从图 3(c)和图 3(d)中可以看出撞击数和振铃计数各自对应的振幅值不一样,这表明采集到的信号

是不同类型的,根据同一类型的信号具有相同的参数特性,反应在撞击数—幅度图和振铃计数—幅度图中,应只有单一峰值,过峰值后其随振幅的变化应该是单调的,且两图中峰值出现的位置应该是一致的。因此,对采集到的声发射信号的振铃计数、撞击数和持续时间进行滤波处理(从时间点上来看,大于62dB的信号都是噪声,在信号处理过程中均被滤除),得到了七类撞击数—幅度图和振铃计数—幅度图,如图4~图10所示,该七类声发射信号图对应的持续时间划分为 $25\mu\text{s}$ 、 $60\mu\text{s}$ 、 $125\mu\text{s}$ 、 $225\mu\text{s}$ 、 $360\mu\text{s}$ 、 $560\mu\text{s}$ 以及大于 $560\mu\text{s}$ 几个阶段。

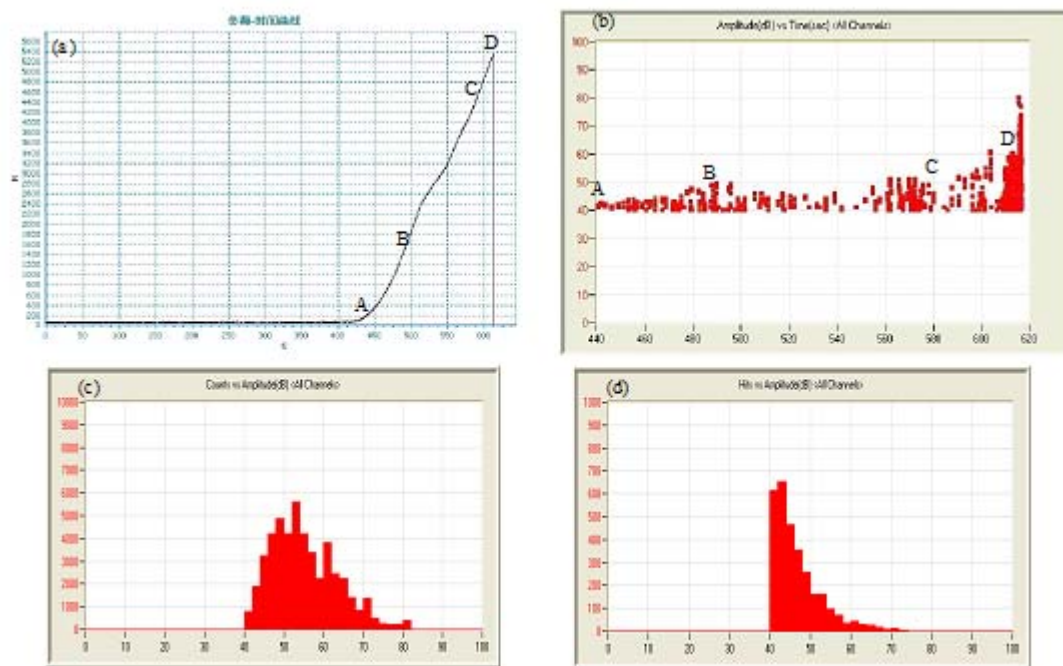


图3 (a) 载荷—时间曲线; (b) 幅度—时间曲线; (c) 振铃计数—幅度; (d) 撞击数—幅度
Fig. 3 (a) loading vs time; (b) amplitude vs time; (c) counts vs amplitude; (d) hits vs amplitude

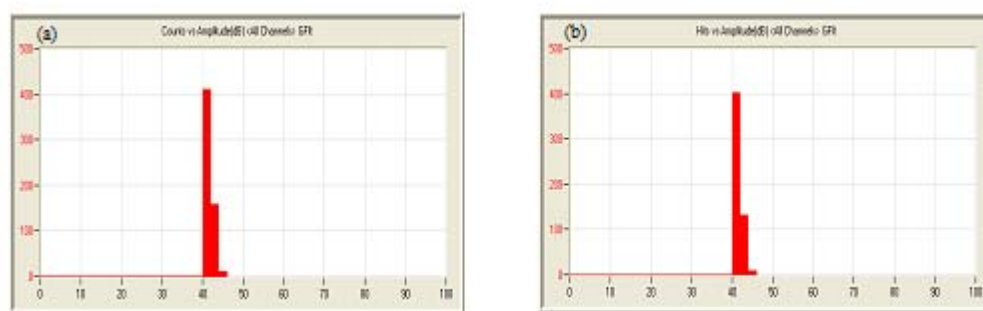


图4 第一类声发射信号特征 (a) 振铃计数—幅度; (b) 撞击数—幅度
Fig. 4 The first kind of AE characteristics (a) counts vs amplitude; (b) hits vs amplitude

吴胜兴^[2]等人对混凝土材料声发射研究表明,当相对应力水平小于20%时,即载荷时间曲线的AB段,声发射信号主要是由于混凝土中初始微裂隙、孔隙的存在引起的;当应力水平在20%~80%范围内时,即载荷时间曲线的BC段,声发射信号主要产生于裂纹的开裂,此时混凝土微裂纹结构是稳定的,裂纹的形成和扩展是稳定的;当相对应力水平大于80%时,即载荷时间曲线的CD段,混凝土内部的裂纹结构很不稳定,微裂纹的扩展不仅受载荷的作用而且受裂纹分叉和裂纹合并的影响,裂纹将自发地增长。

从图4~图10中可以看出,第一类声发射信号的持续时间很短,且幅度很低,该信号主要是因为试件在制作过程中并不是理想的,存在微缺陷,该类声发射信号是由于微缺陷的聚合产生的,该类信号主

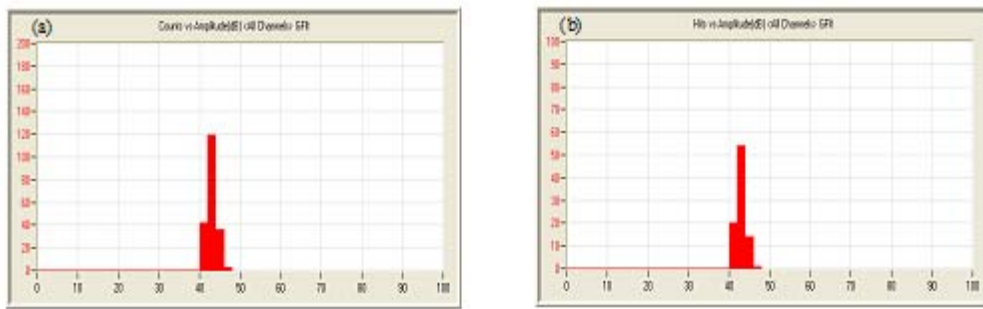


图 5 第二类声发射信号特征 (a) 振铃计数—幅度; (b) 撞击数—幅度

Fig. 5 The second kind of AE characteristics (a) counts vs amplitude; (b) hits vs amplitude

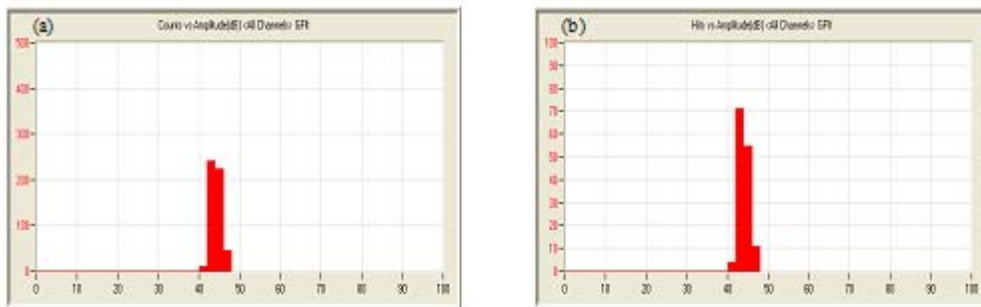


图 6 第三类声发射信号特征 (a) 振铃计数—幅度; (b) 撞击数—幅度

Fig. 6 The third kind of AE characteristics (a) counts vs amplitude; (b) hits vs amplitude

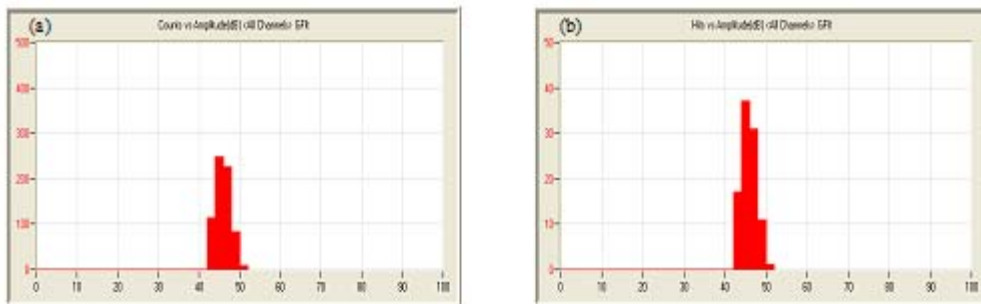


图 7 第四类声发射信号特征 (a) 振铃计数—幅度; (b) 撞击数—幅度

Fig. 7 The forth kind of AE characteristics (a) counts vs amplitude; (b) hits vs amplitude

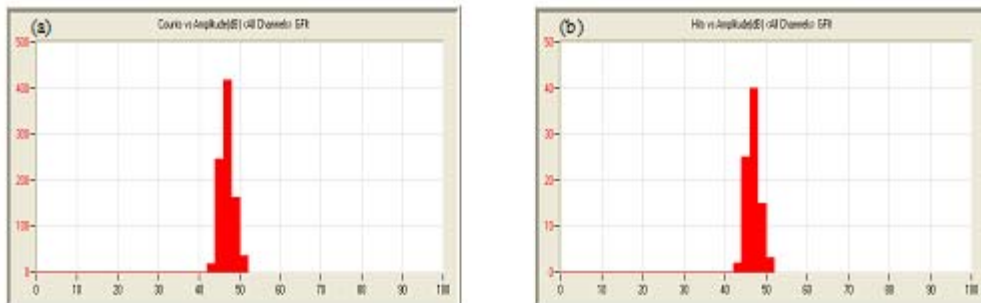


图 8 第五类声发射信号特征 (a) 振铃计数—幅度; (b) 撞击数—幅度

Fig. 8 The fifth kind of AE characteristics (a) counts vs amplitude; (b) hits vs amplitude

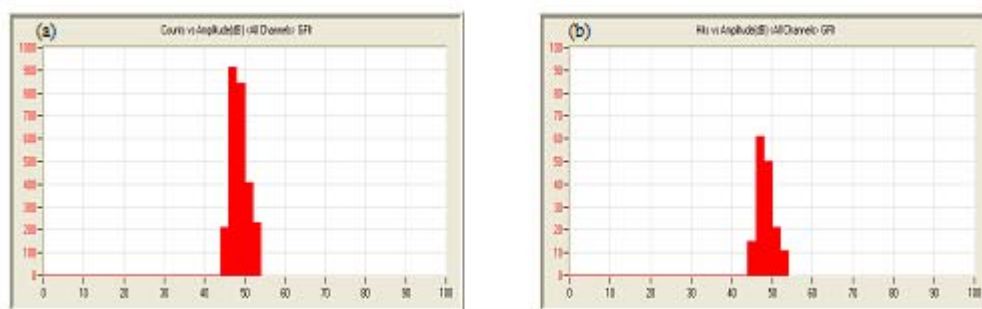


图9 第六类声发射信号特征 (a) 振铃计数—幅度; (b) 撞击数—幅度

Fig. 9 The sixth kind of AE characteristics (a) counts vs amplitude; (b) hits vs amplitude

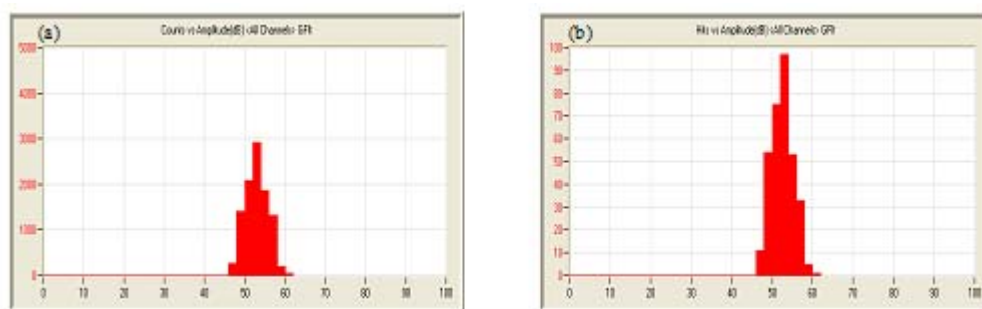


图10 第七类声发射信号特征 (a) 振铃计数—幅度; (b) 撞击数—幅度

Fig. 10 The seventh kind of AE characteristics (a) counts vs amplitude; (b) hits vs amplitude

要发生在相对应力水平小于20%的阶段,即图3(b)中的AB段。第二类 and 第三类声发射信号的持续时间和幅度都有所增加,第二类信号的产生主要是由于细砂与水泥基体界面的开裂产生的,第三类信号主要是由于碎石与水泥基体界面开裂产生的,该两类声发射信号主要发生在相对应力水平20%的阶段,即图3(b)中的B时间点附近。第四类和第五类声发射信号主要是由于微裂纹的形成和裂纹扩展所产生的,该类信号主要发生在相对应力水平在20%~80%的阶段,即图3(b)中的BC段,在该阶段混凝土材料具有Kaiser效应。第六类和第七类声发射信号主要是由于宏观裂纹的形成和碎石的断裂产生的,该类信号对应于相对应力水平大于80%的阶段,即图3(b)中的CD段,在该应力水平,混凝土材料处于失效阶段。

由以上分析可知,在不同的应力水平混凝土材料的声发射信号是存在差异的,利用这一特点,可以通过在线实时监测混凝土材料的声发射信号,确定混凝土材料在服役阶段所处的应力水平,同时可以有效地对混凝土材料的损伤演化过程进行监测,为声发射技术在线监测混凝土材料提供了一种新的途径。

4 结论

本研究利用声发射技术,对碎石混凝土梁在三点弯曲载荷下的破坏过程进行了监测,得到了丰富的声发射信号。通过对声发射信号的采集与处理,将混凝土材料的声发射信号分成七种类型,并结合前人的试验研究,得出声发射信号的持续时间、振铃计数以及撞击数不仅可以表征混凝土破坏过程的类型,还可以表征混凝土材料所处的应力状态,可以利用该结论有效地对混凝土材料的损伤演化过程进行监测,为声发射技术在线监测混凝土材料提供了一种新的途径。

参考文献:

- [1] 吴刚,赵震洋. 不同应力状态下岩石类材料破坏的声发射特性[J]. 岩土工程学报,1998,20(2):82-85(WU Gang, ZHAO Zhenyang. Acoustic emission character of rock materials failure during various stress states[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998, 20(2):82-85(in Chinese))

- [2] 吴胜兴,张顺祥,沈德健. 混凝土轴心受拉声发射 Kaiser 效应试验研究[J]. 土木工程学报, 2008, 41(4): 31—39 (WU Shengxing, ZHANG Shunxiang, SHEN Dejian. An experimental study on Kaiser effect of acoustic emission in concrete under uniaxial tension loading[J]. China Civil Engineering Journal, 2008, 41(4): 31—39(in Chinese))
- [3] LOCKNER D A. The role of acoustic emission in the study of rock failure[J]. Int J Rock Mech Min Sci and Geomech Abstr, 1993, 30(7): 883—899.
- [4] LOCKNER D A, BYERLEE J D, KUKSENKO V, et al. Quasi-static fault growth and shear fracture energy in granite[J]. Nature, 1991, 350(7): 39—42.

On the Acoustic Emission Characteristics of Concrete Fracture Subjected to Three-Point-Bending

ZHANG Xuan-zi¹, CHEN Hong-qian², WANG Zhi-yong³

(1. Army Aviation Research Institute, Beijing 101121, China; 2. Academy Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China;
3. Patent Searching and Consulting Center of State Intellectual Property Office, Beijing 100088, China)

Abstract: In order to study acoustic emission signal characteristics of gravel concrete materials under different stress states, three-point-bending test of concrete beam was carried out on a MTS testing machine, and advanced multi-channels acoustic emission system was used to detect the fracture process of concrete beams subjected to three-point-bending loading. Concrete material fracture process may be divided into seven kinds based on filtering the signal emission duration, the counts and the hit numbers. According to the results of former experimental study about concrete material Kaiser effect, it was indicated that different kinds of acoustic emission signal corresponded to different relative stress levels. Results show that emission duration, counts and hit number of acoustic emission signals can not only characterize the concrete failure process types, but also characterize the concrete stress state. It provides a new way for on-line monitoring concrete material.

Keywords: concrete; three-point-bending experiment; acoustic emission; relative stress level