

基于声发射技术的预应力 钢筋混凝土梁破坏特性实验研究^①

郑金海¹,王彬²,骆英²

(1. 镇江市建设局,江苏 镇江 212013; 2. 江苏大学理学院,江苏 镇江 212013)

摘要:采用谱分析对预应力混凝土梁在三点弯曲荷载下的整个破坏过程的声发射信号进行了分析和处理,初步得出了预应力钢筋混凝土梁破坏过程的声发射信号参数特性,发现全波形声发射信号能够实时反映预应力混凝土梁破坏过程中的特征信息。

关键词:声发射技术;预应力钢筋混凝土;破坏机制;频谱分析

声发射(acoustic emission,简称 AE)是指材料或结构受外力或内力作用产生变形或断裂,以弹性波形式释放出应变能的现象^[1]。声发射技术是借助电子技术、计算机技术以及信号处理手段将这一现象转化为人们可以利用和认识的信号,据此来解释结构内部的缺陷变化、判断声发射源的位置以及所处的状态的技术^[2]。与其它常规无损检测方法相比具有实时、动态、方便、覆盖面广等优点^[1],大量研究已经证明声发射技术非常适用于在线服役结构的安全性能的评价^[3]。

目前,声发射技术用于混凝土材料的研究已经取得了很大进展,但以往的混凝土声发射信号的试验研究都是在处于小尺寸的试件上进行的,而且声发射技术用于预应力混凝土结构损伤监测的研究在国内还比较鲜见,国外已经对预应力钢筋混凝土构件端部预应力锚固区裂缝^[4]、预应力筋腐蚀监测^[5]以及纤维增强混凝土的声发射行为^[6]都有了一定的研究。

在实际应用中,由于外界的干扰和声发射接收系统本身的原因(传感器的频率特性等)接收的声发射信号除含有特征信息外,还存在大量干扰和噪声信号^[7]。因此,从大量复杂的声发射信号中提取典型的能反映损伤程度的信号就必需对信号进行处理。采用谱分析方法对预应力钢筋混凝土梁破坏过程中的全波形声发射信号及其频谱进行了分析,初步获得了预应力混凝土梁破坏过程中的声发射信号特征。

1 实验器材及试件制备

1.1 实验装置

实验装置示意图如图 1 所示,试样在反力架上进行三点弯曲实验,并通过液压千斤顶按照《混凝土结构试验方法标准》(GB50152—92)对试样进行分级加载,试验结构构件采用与其实际工作状态相一致的正位试验法。利用 Kaiser 效应去除加载设备与构件间的摩擦噪声干扰。

声发射仪器采用北京声华兴业科技有限公司生产的 SWAES 全波形声发射采集系统。8 个谐振频率为 150kHz 的传

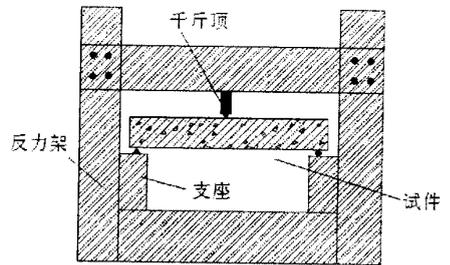


图 1 实验装置示意图

感器分别与预应力试件梁的相应位置耦合,耦合剂为真空脂,传感器布置如图 2 所示。

1.2 试件制备

本实验采用的混凝土强度等级为 C40,水泥采用镇江零山水泥厂生产的 42MPa 普通硅酸盐水泥,砂为中砂,预应力钢丝采用镇江预应力钢丝厂生产的 $\varnothing 5$ 螺旋肋预应力钢丝,采用先张法张拉预应力钢丝。混凝土配比为水泥:砂:石:水=1:1.186:2.304:0.41,试件尺寸为 150mm×200mm×1500mm,龄期为 28d。

2 实验结果分析

2.1 声发射能量—时间曲线

图 3 是预应力混凝土梁整个破坏过程中的能量随时间变化的曲线。当荷载不断增加时,梁的破坏也在不断的积累,能量比较均匀的释放出来,但是在其破坏的临界荷载处,声发射信号能量释放急剧增加。按其破坏过程的能量分布特性,可将其裂纹的发展过程大致分为微细裂纹的形成(AB 段)、微裂纹的稳定扩展(BC 段)、裂纹失稳的慢速扩展(CD 段)、裂纹失稳的快速扩展(DE 段)(即梁的失稳破坏阶段)四个阶段。这时的破坏机制包含了混凝土的断裂、预应力钢筋和混凝土之间的滑移、钢筋的屈

① 基金项目:国家自然科学基金资助项目(50375069);江苏省“六大人才高峰”项目《AE 技术在土木工程结构及重大灾害预警系统中的研究》资助。

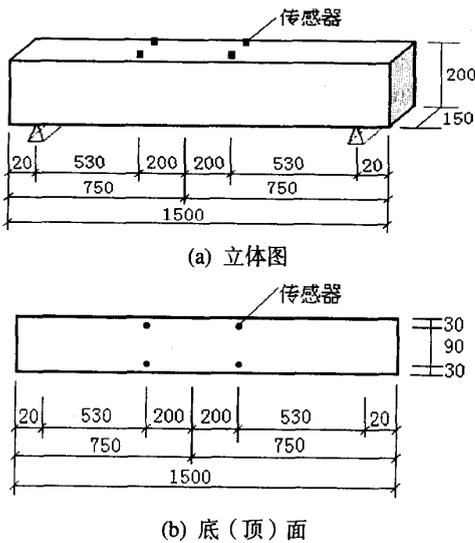


图2 试件尺寸及传感器布置
(a) 立体图; (b) 底(顶)面

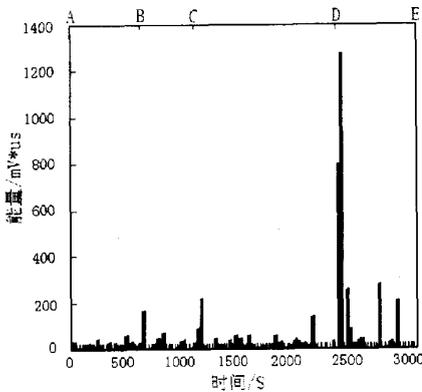


图3 声发射能量-时间曲线

服等因素综合作用的结果。

2.2 破坏过程的波形和频谱分析

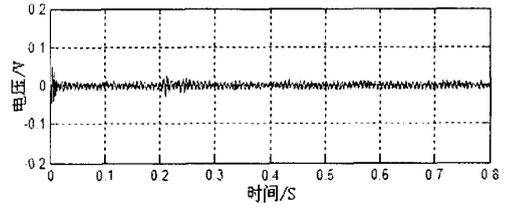
声发射技术作为一种测试混凝土内部状态变化的手段,其测量结果直接综合反映了混凝土内部缺陷发展变化的过程。如图3所示,试件在整个破坏的过程中都有声发射信号产生,并且在不同的破坏阶段有着不同的声发射信号特征。

2.2.1 微裂纹的形成阶段

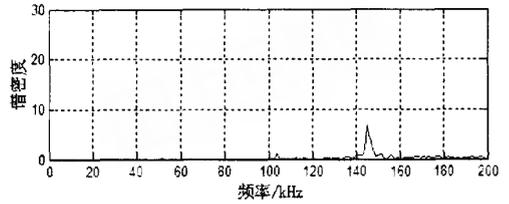
在加载初期,荷载主要由预应力钢筋混凝土梁中的预应力钢丝承受拉力,基本没有声发射信号产生,随着荷载的增加,试件内部微观缺陷逐步贯通,微细裂纹逐渐形成,声发射信号开始出现,从图4可以看出信号非常微弱,幅值较小,频率成分较窄,主要集中在143kHz附近,并且谱密度较低。

2.2.2 微裂纹的稳定扩展阶段

当荷载超过设计荷载以后,裂纹的活动性加强,伴随着已有裂纹的不断扩展,新的微裂纹陆续出现,由图5可以看出,应力波振幅增大、波包出现而且比较密集,波的频率范围扩大,并且由低



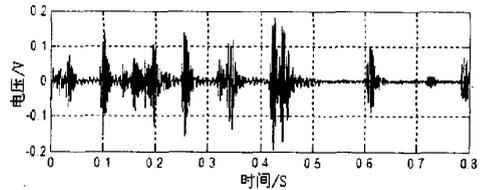
(a) 波形图



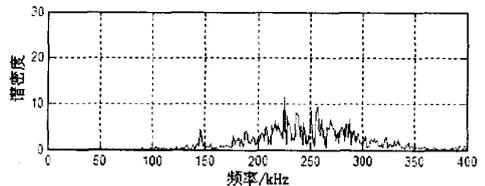
(b) 频谱分析

图4 微裂纹形成阶段 AE 信号及其频谱分析
(a) 波形图; (b) 频谱分析

频向高频扩展,除了存在147kHz的应力波外,主要在175—280kHz的频率段内,出现了以224kHz、256kHz为中心频率的较强声发射信号。



(a) 波形图



(b) 频谱分析

图5 微裂纹稳定扩展阶段 AE 信号及其频谱分析
(a) 波形图; (b) 频谱分析

2.2.3 裂纹失稳慢速扩展阶段

在此阶段,随着荷载的增加,裂纹宽度增大,钢筋和混凝土之间出现滑移,能听到轻微的噼啪声。如图6所示,时域内信号的幅值明显增大,但持续时间相对较短,频谱变宽,出现两个频率段,谱密度增大为前一阶段的2倍左右,结合试验时观察到的现象,试件微裂纹数量大幅增加,宏观裂纹出现,除了相对较低的90~290kHz频率段内出现了以中心频率为120kHz、163kHz、230kHz的声发射信号以外,在427~550kHz的高频率段出现了以中心频率475kHz的信号。

2.2.4 裂纹失稳快速扩展阶段

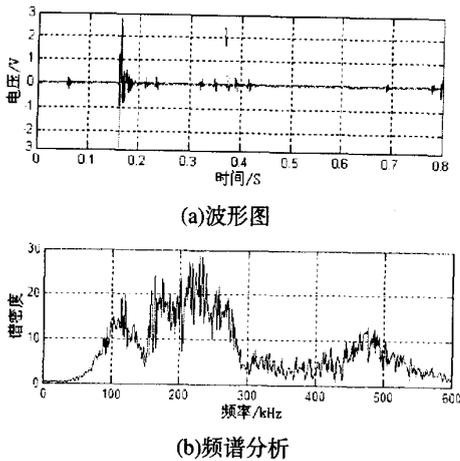


图6 裂纹失稳慢速扩展阶段 AE 信号及其频谱分析
(a) 波形图; (b) 频谱分析

图7为在构件失稳破坏阶段采集到典型声发射信号,这时梁的裂缝贯穿至截面上部,钢筋屈服,此时产生的声发射信号时域幅值减小,频域信号主要在高频段内产生了以250kHz、350kHz、414kHz为中心频率的高频信号。

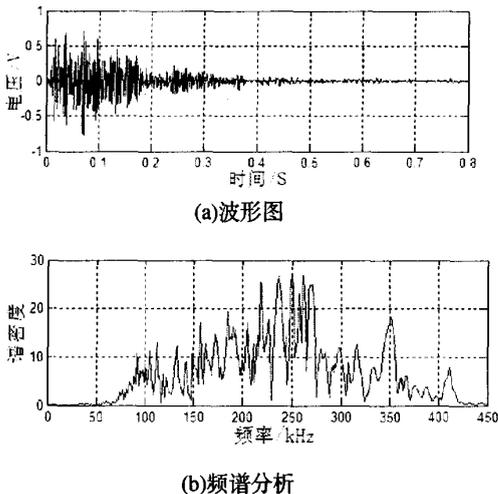


图7 失稳破坏阶段 AE 信号及其频谱分析
(a) 波形图; (b) 频谱分析

3 结论

(1) 试验中采集到的全波形声发射信号有效地记录了预应力混凝土梁在三点弯曲荷载下整个破坏过程的信号特征信息,能够实时反映构件的破坏情况,和文献[2]所研究的普通混凝土梁的破坏一样,其整个破坏过程都是从低频段向高频段发展,主要经历了低频、高频、低频高频共存的过程,前者的低频段中心频率在143kHz左右,高频段频率范围在250kHz左右。

(2) 在微裂纹扩展段,预应力混凝土梁破坏比普通混凝土(文献[2])的信号波包要密集得多,且连续出现,说明其发展的

过程是能量积聚—释放、再积聚—再释放的过程,因此声发射技术是混凝土损伤检测的一个有效手段,但在预应力混凝土的损伤监测方面要比普通混凝土效果要更加明显。

(3) 由于预应力混凝土结构的复杂性,声发射信号除了具有破坏过程中裂纹的形成是主要的声发射源之外,预应力钢丝和混凝土之间的相对滑移也是形成声发射信号的重要因素,如何有效地将二者区分开来,还有待于以后的进一步研究。

参考文献:

- [1] 袁振明,马羽宽,何泽云. 声发射技术及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,1985:1~4.
- [2] 王余刚,骆英,柳祖亭. 全波形声发射技术用于混凝土材料损伤监测研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(5):803~807.
- [3] S. Yuyama Z. — W. Li M. Yoshizawa T. Tomokiyo T. Uomoto. Evaluation of fatigue damage in reinforced concrete slab by acoustic emission [J]. NDT&E International 34(2001):381~387.
- [4] B. v. Tinkey T. J. Fowler R. E. Klingner. Non-destructive Testing of Prestressed Bridge Girders with Distributed Damage [D]. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin. 2002.
- [5] M G Ali A RMaddocks. Evaluation of Corrosion of Prestressing Steel in Concrete Using Non-destructive Techniques [J]. Corrosion & Materials. Vol. 28, Oct. — Dec. 2003:42~48.
- [6] Narayanan Neithalath Jason Weiss Jan Olek. Fiber Reinforced Enhanced Porosity Concrete: Acoustic Behavior [A]. International Conference on High Performance Concretes, Reinforced Concretes and Smart Materials [C], ICFRC Chennai, India. 2004.
- [7] 陈玉华,刘时风,耿荣生,沈功田. 声发射信号的谱分析和相关分析[J]. 无损检测,2002,24(9):395~399.

(上接第223页)

- [7] 程庆国,高路彬,等. 钢纤维混凝土理论及应用[M]. 北京:中国铁道出版社,1999.
- [8] 雷登峰. 钢纤维混凝土增强机理及施工技术[J]. 山西建筑,2004,30(6):81~82.
- [9] 曾志兴. 基于断裂力学的钢纤维混凝土裂缝的研究[J]. 工业建筑,2005,35(3):53~55.
- [10] 黄翔宇,石少卿,等. 钢纤维混凝土裂缝梁钢纤维阻裂作用数值模拟[J]. 山西建筑,2004,30(16):64~65.
- [11] 杨全兵,朱蓓蓉. 钢纤维对混凝土抗盐冻剥蚀性能的影响[J]. 建筑材料学报,2004,7(4):375~378.
- [12] 王海涛,王丰,韩菊红. 环境条件对钢纤维混凝土强度的影响[J]. 河南科学,2004,22(4):522~524.
- [13] 王月. 关于混凝土结构耐久性与安全性的问题[J]. 建筑结构,2003,1:16~17.
- [14] 纪铎斌,崔玉清,熊光晶. 关于加固混凝土用混杂纤维复合材料耐久性的讨论[J]. 工业建筑,2003,33(11):76~78.
- [15] 陈国文. 钢纤维混凝土修补技术[J]. 2004,1:31~32.
- [16] 高丹盈,赵军,等. 钢纤维混凝土设计与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [17] 卢良浩. 喷射钢纤维混凝土在大坝面板防渗除险加固工程中的应用[J]. 浙江水利科技,1998,(2):19~21,31.