

5 火灾下钢筋混凝土双向板声发射特性研究

5.1 引言

材料在应力作用下的变形与裂纹扩展必然伴随着能量快速释放产生瞬态弹性波,这种现象称为声发射(Acoustic Emission,简称 AE)。借助灵敏的电子仪器对声发射信号进行检测,经过分析后可以确定声发射源的部位,分析声发射源的性质,确定声发射发生的时间或载荷等。

声发射技术的应用始于20世纪50年代,目前对混凝土材料的声发射特性研究^[149]已经很多,研究成果也很丰富,声发射用于混凝土结构或构件的无损检测技术也已经非常成熟。近年来利用声发射技术对结构构件的损伤监测^[150-153]研究也越来越多,但这些研究基本上都是在常温条件下进行的研究,对火灾条件下钢筋混凝土双向板声发射特性的研究还没有。根据声发射技术的特点,本章对火灾下钢筋混凝土双向板的声发射特性进行了研究,分析了声发射特征参数与板的损伤的关系。

5.2 声发射基础知识

材料被压缩、发生变形和产生裂缝等过程中会伴随着能量的释放,能量激励材料形成弹性波进行传播,该现象称为声发射,有时也称为应力波发射。其中材料释放能量的区域或点称为声发射源。

声发射是一种常见的物理现象,各种材料声发射信号的频率范围很宽,从几赫兹的次声频、20 Hz~20 kHz的声频到几兆赫兹的超声频,声发射信号幅度分布在 10^{-13} m的微观位错运动到1 m量级的地震波中,其变化范围比较大,在某种情况下声发射释放的能量比较大,可以产生人耳听见的声音,而大多数情况下,声发射产生的变形和断裂都会产生声发射信号,其中很多材料产生的信号很弱,不足人耳可以接受的范围,需要借助比较灵敏的电子仪器进行检测。

对于钢筋混凝土结构而言,受载后混凝土声发射的产生同其他材料的声发射产生机理一样,主要是由于弹性和塑性应变、裂缝的产生和扩展等作用,同时混凝土结构中还可



括钢筋与混凝土之间的摩擦及滑移等作用引起的声发射。对混凝土的声发射研究主要有:① 混凝土基本属性与声发射的关系,如水灰比、骨料特性^[154]等;② 混凝土力学性能的声发射特性研究^[155-157],如微裂纹产生、扩展等;③ 利用声发射对混凝土断裂力学的研究^[158,159];④ 对混凝土裂缝类型和最终破坏机理的研究^[160-162];⑤ 利用声发射定位混凝土裂缝缺陷的研究^[163];⑥ 凯塞效应机理及其在混凝土材料中的应用研究^[164-166];⑦ 利用声发射对钢筋混凝土中钢筋锈蚀等的研究。

5.2.1 声发射监测技术

声发射监测技术^[167]是指借助专门仪器对材料、结构或构件的某种变化进行监测,传感器、放大器和分析系统是声发射监测的三个基本组成部分。声发射监测的发展经历了模拟式和全数字式两个阶段,模拟式声发射仪是指该仪器将传感器接收到声发射信号输入给前置放大器,声发射信号经放大、滤波后主要做4种处理:① 对数放大;② 经过主放大器进入模拟阈值比较器;③ 进入能量测量线路;④ 进入峰值时间检测器。模拟式声发射系统现在应用较少,但在1985年以前所发展和使用的声发射仪器均为模拟式的。

全数字式声发射系统则是由高速A/D变换器将传感器接收到的声发射信号经放大器放大后转换为数字信号,再对数字信号进行处理。数字信号有良好的抗干扰性能,全部信息能够准确、无畸变地进行传送,并且不会与模拟信号一样易受到温度等环境因素的影响,因此全数字声发射仪器的可靠性很高。全数字声发射仪的另一重要功能是能实现实时的波形记录、分析和处理,目前的全数字式声发射仪可以提供更强的瞬态信号捕捉功能和潜分析能力^[168]。

声发射监测技术作为一种新型的探伤监测技术,主要有如下几个特点:

- ① 声发射监测是一种动态、实时的无损监测方法;
- ② 声发射监测灵敏度高,操作简便;
- ③ 声发射监测应用广,几乎不受材料的限制;
- ④ 适于高温、核辐射等特殊环境下的监测。

目前,声发射监测技术作为一种新型的探伤监测技术正逐渐发展成为一种全新的建筑结构健康监测新技术。

5.2.2 声发射信号及参数

5.2.2.1 声发射信号

钢筋混凝土构件等固体介质在外力作用下产生局部变形时,由于既会产生体积变形,也会产生剪切变形。因此会激起纵波(压缩波)和横波(剪切波)两种波,产生这种波的部位就是发射源。这种纵波和横波分为两部分,一部分直接传到介质表面被传感器接收,另一部分波到达介质表面后并没有被传感器直接接收,而是在介质表面发生折射,折射后的波一部分返回材料内部,还有一部分被传感器接收,被传感器接收到的波即为声发射信号。所以,传入传感器的声发射信号是多种波相互干涉后形成的混合信号。

声发射信号由传感器的输出,进入到信号放大器。传感器输出的声发射信号有两种

基本类型,连续型和突发型。对试件进行加载,从低载荷的弹性区开始就有声发射发生,随着载荷增大,声发射信号的幅度逐渐增大,单位时间的发射次数也增多,在示波器上可以看到一种发射次数很多的连续波形,称为连续型声发射,如图 5-1 所示。连续型声发射信号的幅度低,仪器测试系统的放大倍数要很高(通常大于 10^4 倍才能观察到)。当有较高能量的声发射源时,可以看到幅度高的单个应力波脉冲,这就是突发型的声发射信号,如图 5-2 所示。例如,做混凝土材料的试验时,混凝土内部裂纹的不连续扩展就可能出现突发型的声发射信号。与连续型声发射相比,突发型的声发射发生的次数少、幅度大,发生的部位限制在某个区域,脉冲的形状也不相同。当然,将声发射信号分为连续型和突发型并不是绝对的,当突发型信号的频度较大时,看起来就类似于连续型。

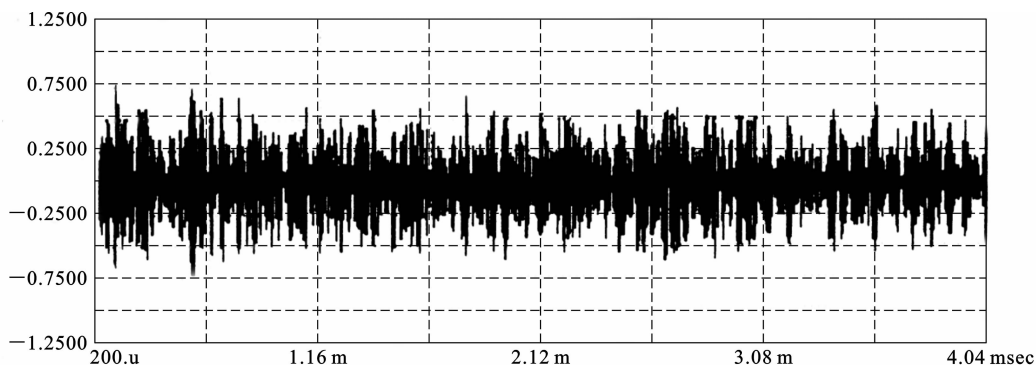


图 5-1 连续声发射信号

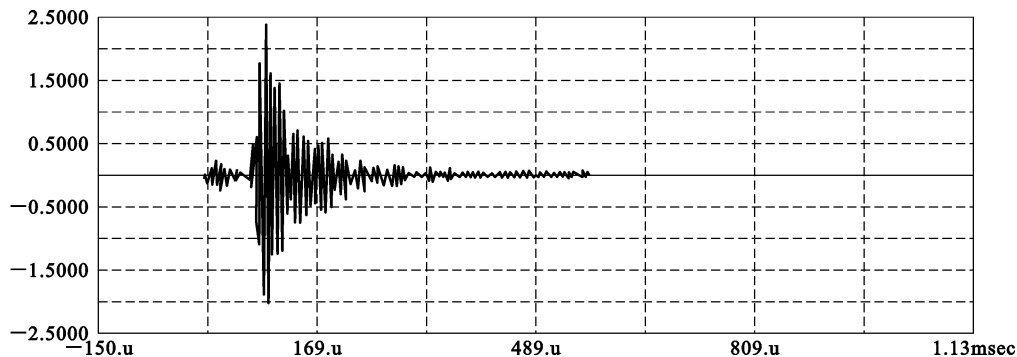


图 5-2 突发声发射信号

5.2.2.2 声发射参数

声发射现象一般通过对仪器输出波形的处理得到与声发射事件的发生率和大小有关的参数或者与某一事件的频谱有关的参数来进行描述,这些常用的频域和时域参数称为声发射参数,主要有累积计数参数、变化率参数和统计参数。

特征量不断地累积,总的累加值即为声发射过程中该特征量的累积计数参数,主要有如下几种:

(1) 声发射事件总数

产生声发射的一次材料局部变化称之为一个声发射事件。图 5-3 为声发射的事件计数法,对一个突发型的声发射信号波进行包络检测,当波形有一段连续时间可以超过电压预设阈值时,则会形成一个矩形脉冲,即为一个事件。整个过程中所有事件的总计数即为声发射事件总数,声发射事件总数反映声发射事件的总量,用于源的活动性评价。

(2) 总能量

声发射的能量只是数学意义上的。一般声发射信号幅度的平方、信号持续时间长短等都可作为能量参数,虽然只是数学意义上的参数,但是可以反映事件的相对强度,是评价和衡量材料性能和损伤的重要参数。

(3) 振铃总计数

振铃的定义见图 5-4,对于给定的振铃波形,当波形超过预设的阈值电压时超过部分便相应的形成矩形脉冲,这些振铃数量的累加值就是振铃总数。

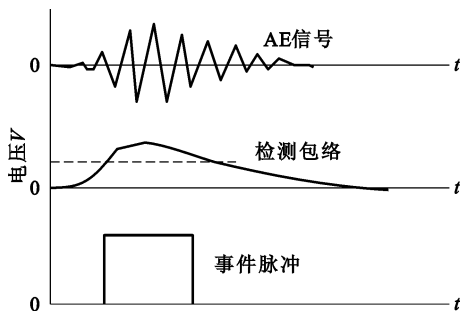


图 5-3 事件计数法

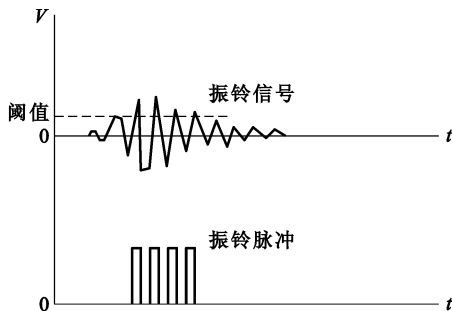


图 5-4 振铃计数法

(4) 幅度总计数

幅度与事件大小有直接的关系,不受门槛的影响,直接决定事件的可测性,常用于波源的类型鉴别、强度及衰减的测量。

变化率参数反映的是单位时间内某一声发射参数的变化情况,是状态量,与材料内部的变化有着直接联系,主要的变化率参数有事件计数率、振铃计数率和能量释放率。

(1) 事件计数率

一个声发射脉冲激发传感器,使之振荡并产生阻尼振荡波形,每一个这样的波形称为一个声发射事件,在测试中所得到的事件总数称为事件计数,单位时间内的事件数称为事件计数率。这种方法着重考虑事件的频度而较少涉及信号的幅度。

(2) 振铃计数率

在所检测到的声发射事件中,超过阈值电压的信号称为振铃。单位时间内的振铃计数称为振铃计数率,单个事件中振铃数称振铃事件比,振铃事件比对材料的变形和断裂较为敏感且是声发射事件幅度的函数。振铃计数方法反映了声发射信号的幅度,涉及声发射的能量。

(3) 能量释放率

信号幅度可代表能量,一般是把声发射事件所包含的面积作为能量的测量参数,能量率为单位时间内声发射的能量。