

⑧

第17卷 第2期
1995年6月

重庆建筑大学学报
Journal of Chongqing Jianzhu University

Vol. 17 No. 2
June 1995

钢纤维混凝土、灰砂、裂纹、位置、声发射

52-57

钢纤维灰砂混凝土中裂纹位置的确定

丛 钢 蒲 心 诚

(材料科学与工程系)

TU 528.572

摘 要 运用声发射检测技术,探讨了确定钢纤维灰砂混凝土中裂纹位置的机理、测试精度问题,提出了确定裂纹位置的主要声参数和影响因素等,所研究问题同样存在于混凝土类人造石材,因而具有普遍意义。

关键词 声发射,灰砂混凝土,钢纤维

中图法分类号 TU528.572

混凝土材料的声发射是由于在外力或内应力作用下,材料内部的裂纹形成、扩展时应变能以弹性波的形式释放出来的一种物理现象。一个声发射信号激发传感器,使之振荡并产生阻尼正弦波形。一个声发射事件所产生的脉冲数 η 就是处于超过阈值电平 V_t 而又低于换能器初始输出电平 V_0 范围内的波峰数:

$$\eta = \omega t^* / 2\pi \quad (1)$$

式中 ω 为换能器的谐振频率, t^* 为声发射事件的宽度。 t^* 可近似表示为:

$$t^* = \frac{1}{\beta} \ln \frac{V_0}{V_t} \quad (2)$$

式中 β 为衰减常数,材料内部裂纹形成与扩展时瞬间释放的能量 ΔE 与 V_0 有下式存在:

$$V_0 = \psi \sqrt{\Delta E} \quad (3)$$

故

$$t^* = \frac{1}{\beta} \ln \frac{\psi \sqrt{\Delta E}}{V_t} \quad (4)$$

则

$$\eta = \frac{\omega}{2\pi\beta} \ln \left[\frac{\psi \sqrt{\Delta E}}{V_t} \right] \quad (5)$$

式中 ψ 为比例常数。

在实测条件下,换能器是一定的, ω 、 β 和 V_t 是定值,因此材料内部裂纹产生和扩展所释放的能量 ΔE 可由声发射信号所产生的脉冲数 η 来反映,脉冲数多,表示裂纹所释放的能量大,对结构的损伤程度较严重。

70年代以来,不少学者将声发射检测技术与其它手段结合起来研究混凝土的断裂机理,结果显示表明,混凝土裂纹开展时声发射信号幅度高,经过降噪处理后,很容易与背底噪

* 收稿日期:1994-10-20

丛 钢,男,1960年生,副教授,重庆建筑大学材料科学与工程系(630045)

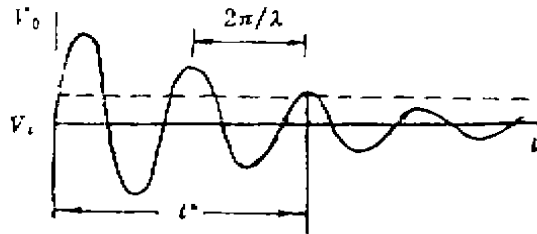


图 1 一个声发射事件正弦阻尼波示意图

声相区别,表现出在混凝土研究领域的广阔应用前景。目前在声发射研究过程中,比较重视的是声发射事件所产生的时间,而没有考虑发射事件所表示的裂纹产生的位置,裂纹产生的位置往往是影响材料性能的一个主要因素,因此采用声发射检测技术研究裂纹产生原位置是非常有意义的。

1 测试原理

试件受荷载 P 作用,于距跨中 x 处产生裂纹,发出声信号,安置在试件上的探头将声信号接收,经换能器传输给主机。探头间距离为 L ,声信号从探头 1 传到探头 2 的时间为 ΔT ,裂纹处产生的声信号分别由探头 1 和 2 接收到的时间差为 Δt 。声波在试件内传播速度 U 为:

$$U = L/\Delta T \tag{6}$$

裂纹产生的位置为:

$$x = U \cdot \frac{\Delta t}{2} = \frac{L}{2} \frac{\Delta t}{\Delta T} \tag{7}$$

所用声发射仪为美国产 AET5000 型七通道声发射仪,能自动记录 Δt 值,在预先输入 ΔT 情况下,可显示声信号产生的位置,由式(7)可知,确定声信号位置(也即是裂纹产生的位置)关键是输入主机的 ΔT 准确与否,也就是确定声波的传播速度 U 合理与否。

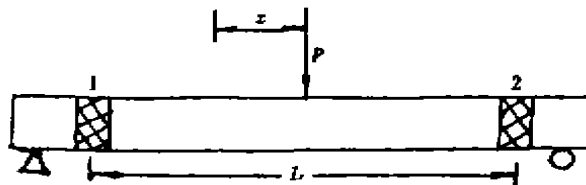


图 2 测试装置示意图

测试中,两探头间距离很短(约 200 mm),不同频率的声波在试件中传播的速度 U 可通过测定 ΔT 值来确定。表 1 是采用 AES-1 型模拟声源发生器发出不同的频率波经主机所测得 ΔT 值。测试结果表明,在声波短距离传播情况下,其速度近似为一均速波。在测试裂纹位置时,取 ΔT 为 145 μs ,可保证定位的精度在 90% 左右。

表 1 不同声频信号所测得的 ΔT

模拟声源频率(Hz)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
响应幅值(dB)	73	72	71	69	67	66	64	62	61	58	56	52	48	46	53	46
$\Delta T(\mu s)$	142	155	146	135	160	140	141	146	141	142	145	147	146	151	158	150

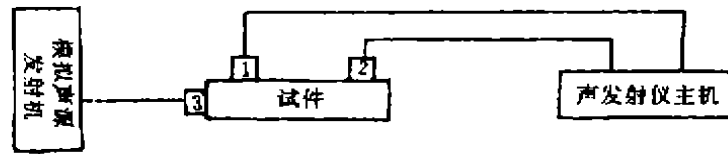


图 3 模拟声源试验示意图

模拟声源所发射的声信号与钢纤维灰砂混凝土在实际受力过程中产生裂纹所发出的声信号频率大致相同。从模拟声源试验结果可得,当 $\Delta T = 145 \mu\text{s}$ 和最大值 $\Delta T_{\max} = 160 \mu\text{s}$ 及 $\Delta T_{\min} = 135 \mu\text{s}$ 时,定位误差分别为:

$$K_1 = \left| \frac{U - U_{\max}}{U} \right| \times 100\% = \left| \frac{145 - 160}{145} \right| \times 100\% = 10.3\%$$

$$K_2 = \left| \frac{U - U_{\min}}{U} \right| \times 100\% = 6.9\%$$

将 $\Delta T = 145 \mu\text{s}$ 输入声发射主机,用声发射测试技术通用检验手段,以 0.7 mm 笔芯在标有刻度的试件上折断,笔芯折断产生的声发射信号由主机接收并显示折断处位置,实际折断笔芯处与测得声信号位置之间相差小于 8%。

2 实 验

钢纤维灰砂混凝土是由自然砂、磨细砂、磨细生石灰与钢纤维混合均匀,加水搅拌成型后经蒸压养护而成。试件尺寸:100 mm × 50 mm × 400 mm。

自然砂的表观密度 2.67 g/cm³ 堆积密度 1.33 g/cm³,细度模数 0.67,化学成分见表 2。自然砂经粉磨后,细度达到 3000 cm²/g。磨细生石灰比表面积 5000 cm²/g,有效氧化钙含量 71%,消解速度为 11 min,消化温度 78 ℃。钢纤维为异型钢纤维,规格为 0.35 mm × 0.60 mm × 25.0 mm。水为自来水。

表 2 砂的化学成分

化学成分	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	烧失量
含量 (%)	78.70	5.65	4.50	3.20	2.98	0.48	4.10

测试时主要声参数:

阈值电平: 0.3 A

前放增益: 60 dB

主放增益: high, 2.0; 2.5;

ΔT : 145 μs

试件三点弯曲,探头布置如图 2,探头与试件间进行降噪处理,以减少加荷过程中产生的噪声对测试结果的影响,探头与试件用夹具固定。

3 结果与讨论

不掺钢纤维的灰砂混凝土试件在弯曲过程中,加荷初期声发射信号少,分布较为分散,

表明在低荷载水平下微裂纹的形成,荷载达到一定水平后,微裂纹集中形成主裂纹于跨中应力最大部分,此时声发射信号主要集中在跨中部分,当试件断裂时,声发射信号急剧增多,图 4 是素灰砂混凝土弯曲过程中声发射信号事件在试件上的分布情况,实测 试件断裂位置与声发射事件分布图中声信号数量急剧增加处的位置是吻合的。钢纤维在低掺量($V_f \leq 0.5\%$) 情况下,声发射信号的特征与分布同素灰砂混凝土的情形基本一致,只是在断裂处,由于少量跨接的钢纤维被拔出,致使声发射信号数量略有增加,试件的断裂形式与素灰砂混凝土一样,为脆性断裂,裂纹的位置与声发射信号的位置能很好吻合,实测值与声发射测定值的误差不超过 8%。

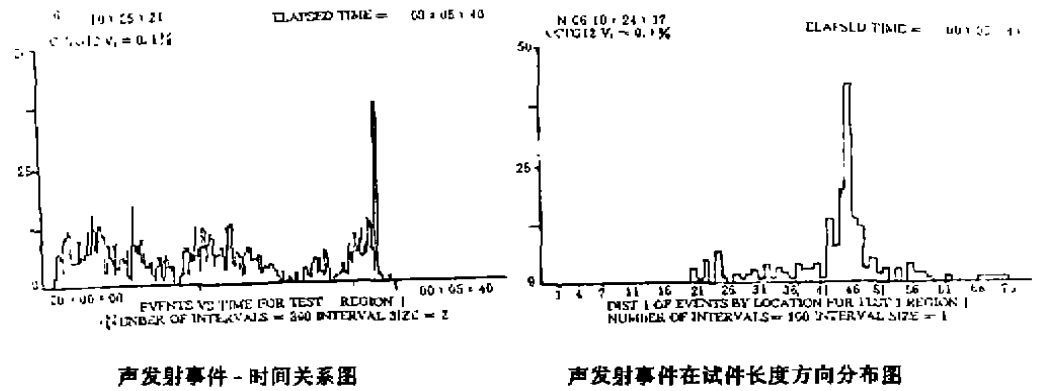


图 4 * $V_f = 0$

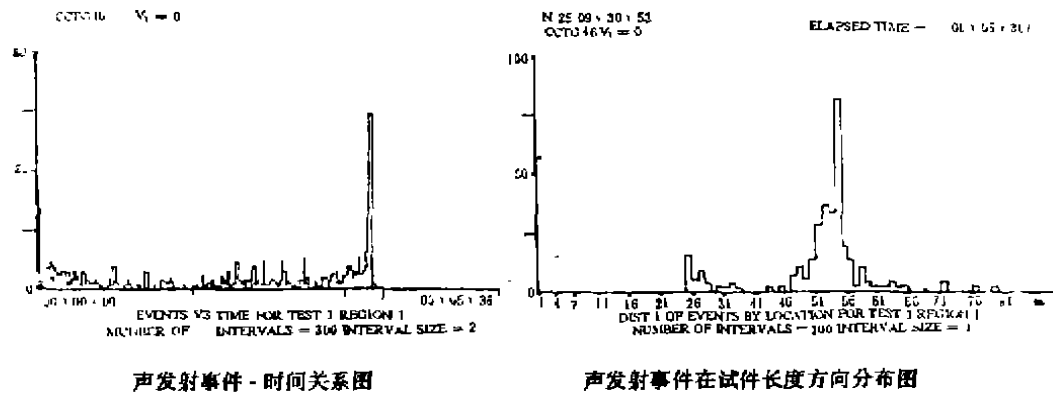
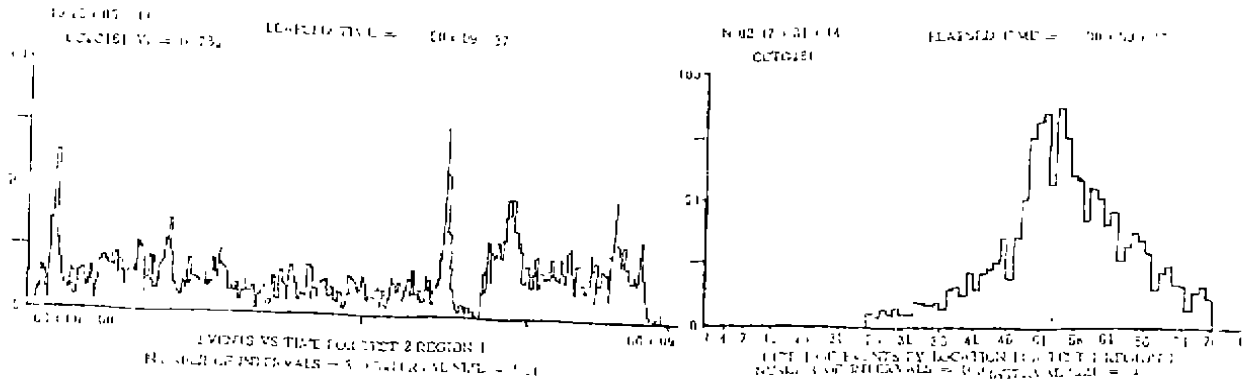


图 5 * $V_f = 0.1\%$

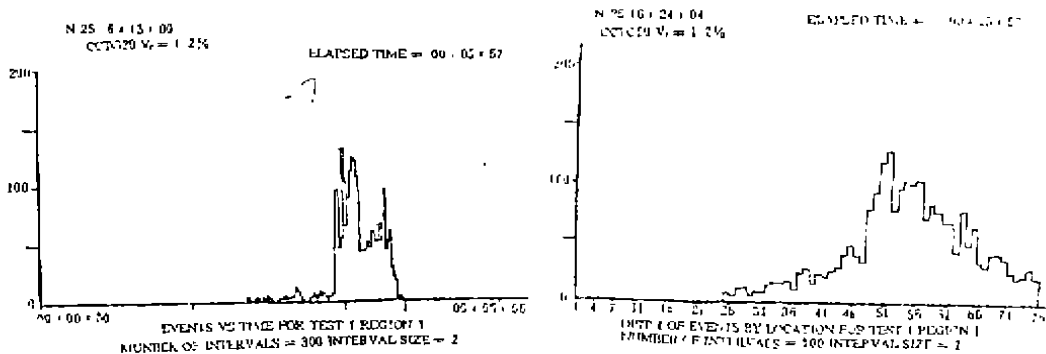
当钢纤维掺量增加到 $V_f = 0.7 \sim 3\%$ 范围时,声发射信号的特征与素灰砂混凝土和低掺量钢纤维灰砂混凝土有明显区别,主要是试件断裂的形式由原来的脆性断裂转变为假延性破坏,主裂纹两端跨接的钢纤维数量增多,这些钢纤维能承受较大荷载,在拔出钢纤维时,产生的声发射信号数量迅速增大,当钢纤维掺量大于 0.7% 时,可在声发射事件分布图上观察到由于钢纤维拔出时的声发射事件增多,在试件跨中处形成两个声发射事件的峰值(如图 6 至图 8)。此时实测的裂纹位置位于声发射信号峰值之间。



声发射事件 - 时间关系图

声发射事件在试件长度方向分布图

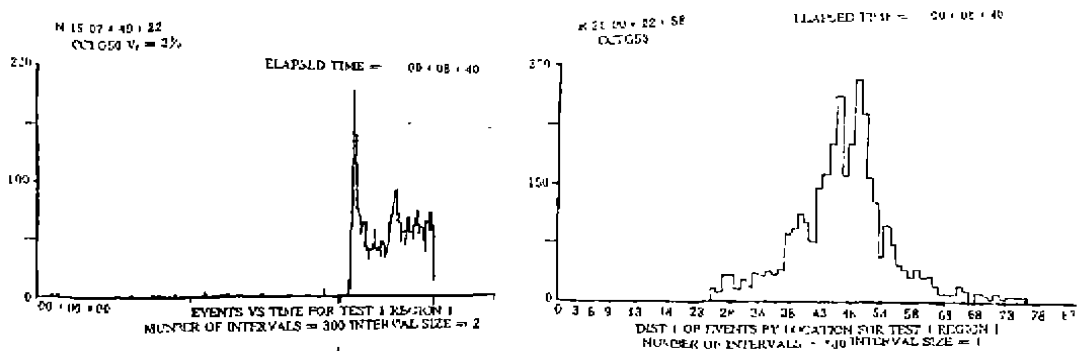
图 6 * $V_f = 0.7\%$



声发射事件 - 时间关系图

声发射事件在试件长度方向分布图

图 7 * $V_f = 1.2\%$



声发射事件 - 时间关系图

声发射事件在试件长度方向分布图

图 8 * $V_f = 3.0\%$

钢纤维灰砂混凝土弯曲过程中,基体开裂、纤维拔出或断裂等都对应一定的声发射特征,对于素灰砂混凝土和低掺量钢纤维灰砂混凝土,破坏时主要声发射源是基体的开裂,少

量纤维被拔出所产生的声发射信号微不足道,所以用声发射信号分布图上信号数量的峰值来确定试件主裂纹的位置是可行的。对于纤维掺量较大的钢纤维灰砂混凝土,在弯曲过程中,裂纹扩展受纤维阻碍,裂纹不能直线扩展,基体开裂后,跨接裂纹两端的纤维是承受荷载的主要部分,拔出纤维产生的声发射信号数量显著增多,声发射信号产生双峰值现象,此时若再用峰值来确定主裂纹位置是不合适的,这时的主裂纹处于峰值之间的部位。

4 结 论

1) 在声波短距离传播条件下,声发射检测技术可以用于确定钢纤维灰砂混凝土弯曲过程中产生裂纹的位置,定位的精度主要取决于声波传播速度,也即是声波在两探头间的传播时间 ΔT 。

2) 由模拟声发射事件试验,确定 $\Delta T = 145 \mu s$,经检验定位的精度可保证在 90% 左右。

3) 素灰砂混凝土和低掺量钢纤维灰砂混凝土的裂纹位置可用声发射事件分布图上事件数量的峰值位置确定,误差不大于 8%,纤维掺量多的钢纤维灰砂混凝土的裂纹位置位于二个声发射信号峰值之间的位置。

4) 灰砂混凝土与水泥混凝土同属脆性人造石材,在结构上,水化产物上也有相似之处,研究方法相近,因此上述结果对于声发射检测技术在水泥混凝土中应用有参考作用。

参 考 文 献

- 1 袁振明,马羽宽,何泽云. 声发射及其应用. 机械工业出版社, 1985. 8
- 2 杜伟坊等. 用声发射预测静疲劳下陶瓷材料的断裂. 硅酸盐学报, 1994, 22(1)
- 3 杜伟坊等. 热应力下陶瓷材料中裂纹扩展的声发射研究. 硅酸盐学报, 1994, 22(1)
- 4 卢兴宇. 单轴压缩试验中来自端部噪音的排除, 中国第三届声发射讨论会论文集, 1986, 8, D-3

(编辑: 姚国安)

THE DETERMINATION OF A CRACK IN STEEL FIBRE REINFORCED LIME-SAND CONCRETE

Cong Gang

Pu Xincheng

(Dept. of Material Science and Engineering)

ABSTRACT This paper studies the determination of a crack in steel fibre reinforced lime-sand concrete and its precision by acoustic emission(AE). The main AE parameters which influence the precision of the determination of a crack are introduced. The properties of the lime-sand concrete can be increased greatly with the steel fibre. The result in this paper can be used in the study of fibre reinforced cement concrete.

KEY WORDS acoustic emission, lime-sand concrete, steel fibre