

桥梁结构疲劳损伤声发射信号的规律研究

孔德连¹, 汪文有¹, 许凤旌²

(北京化工大学-美国物理声学公司 (PAC) 联合实验室 北京 100029)

摘要: 为了克服常规无损检测方法不能动态监测疲劳裂纹的损伤程度, 根据声发射及其定位技术, 采用实验手段研究了桥梁锚固结构在初始裂纹存在情况下, 随着疲劳加载过程, 其损伤活性的变化情况。实验结果表明, 疲劳裂纹具有一定的周期性规律; 随着加载的进行, 声发射仪器能精确定位出裂纹初始位置和扩展方向。这篇文章主要介绍疲劳裂纹信号的周期性规律和定位效果, 关于从复杂噪音环境中如何识别和分离裂纹活动信号, 请查看文献“桥梁结构疲劳损伤声发射信号的特征”。

关键字: 声发射; 疲劳裂纹; 在线监测;

0 引言

图 1 是荆岳长江公路大桥索一塔锚固结构钢锚梁模型, 这次实验的目的是在找到疲劳裂纹信号特征的基础上进一步分析疲劳裂纹信号的规律和定位效果, 并找出裂纹扩展信号。

该锚固结构预定疲劳测试次数为 200 万次, 采用压-压疲劳加载, 最大加载载荷-1714KN, 最小加载载荷-124.6KN, 加载频率为 1.1 次/秒。随着疲劳加载次数的增加, 锚梁横梁段与底部支撑板焊缝连接处出现宏观裂纹。当疲劳次数达到 77 万次的时候, 采用声发射技术对钢梁进行疲劳监测, 采集裂纹活动过程的声发射信号。经过 10



图 1. 实验结构图。

天的监测，一直跟踪至疲劳测试结束，获得了有价值的数。通过对数据的处理分析，得到裂纹损伤活动过程的信号特征。数据分析表明，裂纹在张开与闭合阶段均产生声发射信号，且具有不同的参数特征，只有经过一定的疲劳周次，才会发生真正的裂纹扩展，裂纹扩展具有随机性。图中左端红点处为已发现的焊缝裂纹处。

1 疲劳损伤声发射监测目的及监测系统

1.1 检测目的

这次检测的主要目的是在找到疲劳裂纹信号特征的基础上进一步分析疲劳裂纹信号的规律和定位效果，并找出裂纹扩展信号，对裂纹缺陷处进行监测，实时预报裂纹扩展的发生、发展，对裂纹缺陷信号源进行定位，判断损伤位置以及损伤活度。

1.2 检测仪器

采用美国物理声学公司（PAC）SAMOS PCI-8 声发射系统对疲劳试验过程进行长时间监测，谐振传感器中心频率为 150KHz，前置放大器选择 40db 增益。

2 探头布置

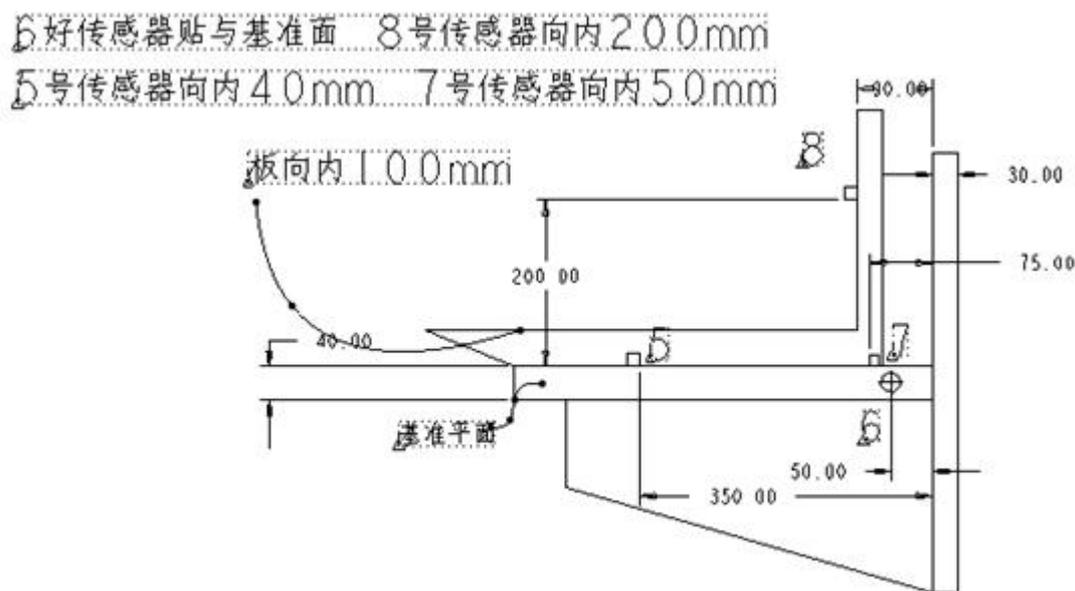


图 2

图 2 是该锚固结构（见图 1）左端背侧焊缝处传感器布置简图，裂纹在 7 探头附近。其疲劳裂纹的基本特征与文献“桥梁结构疲劳损伤声发射信号的特征”中分析的疲劳裂纹特征基本一致。

3 数据分析

3.1 裂纹信号的周期性分析

通过分析裂纹活动时的信号能量非常低，均低于 50，采用图形滤波滤除能量低于 50 的噪音信号。

图 3 为 12 月 21 日“武汉桥梁定位测试-1221 全波形变频平稳阶段采集.DTA”中的数据，加载频率为 0.5HZ（周期为 2s）时，7 通道滤波后的幅值图（每小格间隔 0.5 秒）。

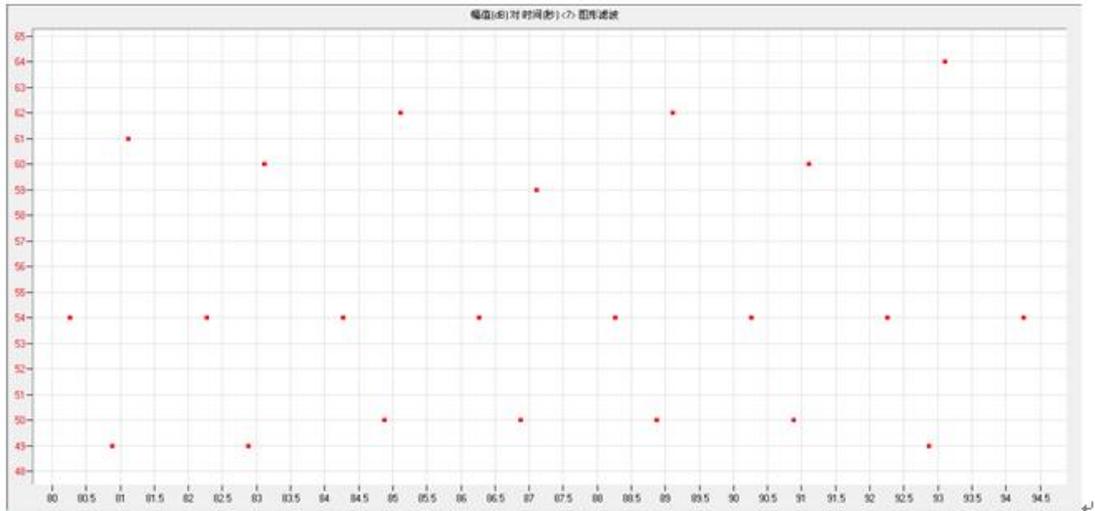


图 3

通过信号特征参数和波形的分析，图中所示信号均为裂纹活动时的信号，裂纹信号分三层。三层信号的周期与加载周期都相同，信号的具体参数如表 1。

表 1

	幅值	中心频率
第一层	59db-64db	210-230KHZ
第二层	54db	160-170KHZ
第三层	49db-50db	190-195KHZ

图 4 至图 6 是分别对这三层信号进行 5、7 通道定位的图，进一步证明这些信号都是裂纹活动时的信号。



图 4

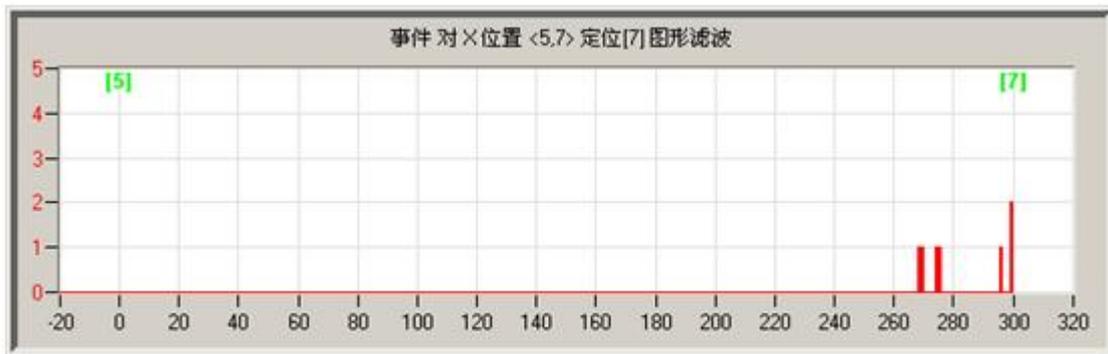


图 5

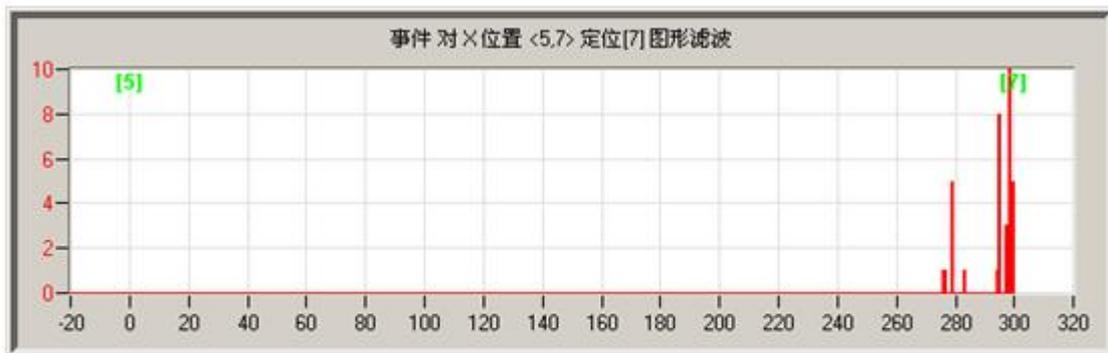


图 6

图 7 为 12 月 21 日“武汉桥梁定位测试-1221 全波形变频过程至平稳阶段采集.DTA”中的数据，加载频率为 1.1HZ（周期为 0.9s）时，7 通道滤波后的幅值图（每小格间隔 0.5 秒）。

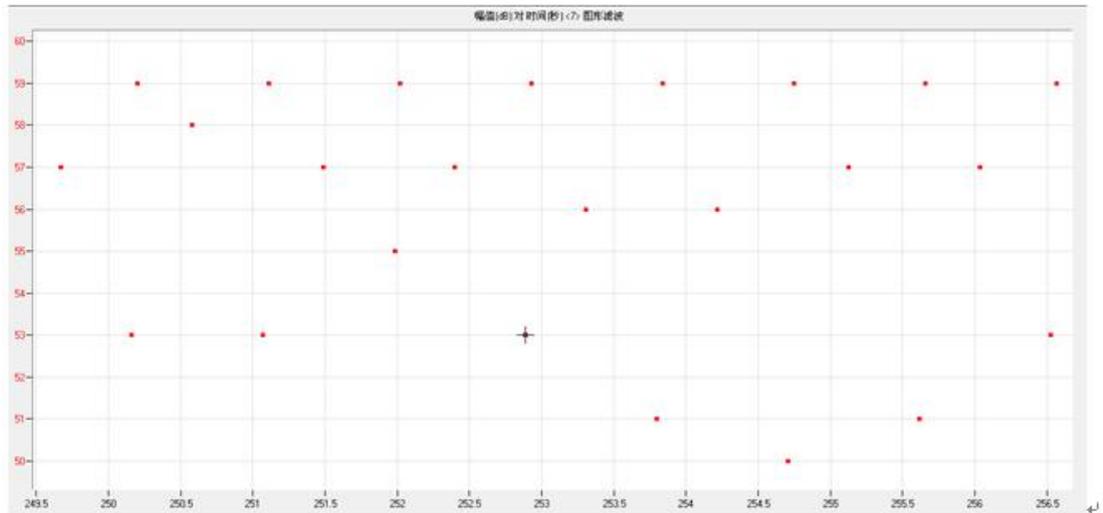


图 7

可看出裂纹信号分三层，三层信号的周期与加载周期都相同，信号的具体参数如表 2。对每层信号进行定位确定，其结果同上

表 2

	幅值	中心频率
第一层	59db	160-170KHZ
第二层	56-58db	210-230KHZ
第三层	50-55db	185-195KHZ

从上面两个例子可看出三层信号的周期和加载周期都相同，并且通过定位分析可以确定都是裂纹活动的信号。第一层和第二层相差半个周期。第三层和第一层一一对应，但比第一层早到达传感器。（第一组数据第三层比第一层数据早到 0.25s，第二组数据第三层比第一层早到 0.04s）。

分 析

- (1) 第三层信号是不是第一层信号的回波？不是，因为第三层的信号比第一层的信号早到达传感器。
- (2) 是不是因为 HLD 过长，而导致把一个 HIT 变成了两个 HIT？不是，因为波

形长度是 4K，即 4ms，HLT 为 1000 μ s，即 1ms，若第一层和第三层信号相差几个毫秒，那么才有可能出现这种情况。

- (3) 第一层和第三层是不是纵波和横波的关系？因为纵波传播快，衰减大，可能先到达传感器，并且幅值低，但是纵波和横波到达时间相差 0.25s，那么信号源距探头 100 多米才可能实现，所以这种情况不可能。
- (4) 如何区分裂纹张开和闭合的信号？因条件所限未接载荷曲线，根据裂纹扩展机理，加载时裂纹张开，可很轻易判断出张开和闭合的信号。

推测：裂纹在一个加载周期产生三次裂纹信号，张开一次，闭合一次。第三层信号和第一层信号一一对应，可能是裂纹扩展的信号但这种情况并不是绝对的，有时裂纹信号只有两层，上下层间隔半个周期，即一个周期产生两次信号；有时裂纹信号只有一层，且连续两个信号的间隔与周期相同，也就是说裂纹一个周期只产生一次信号，如图 8 和图 9 所示。

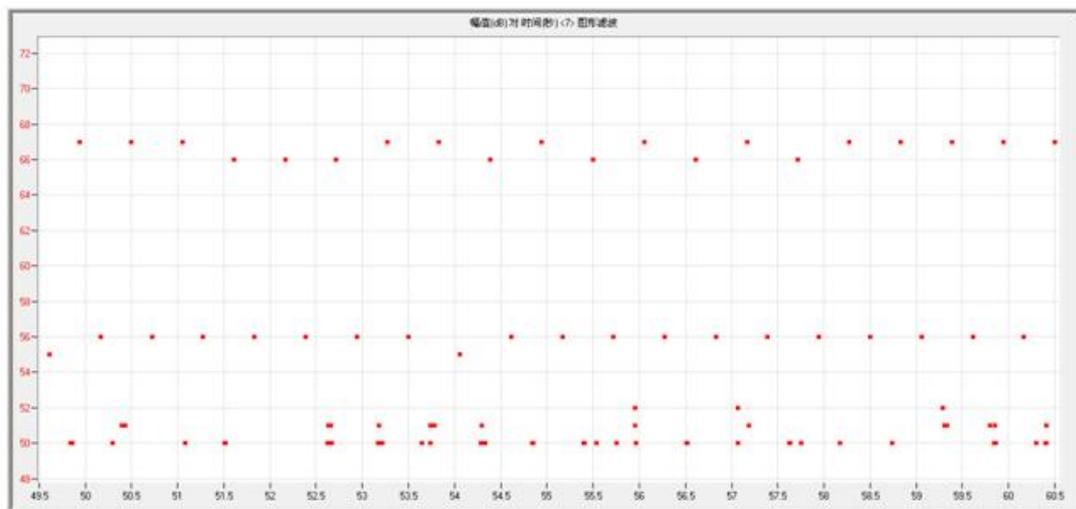


图 8

一个周期产生两次裂纹信号，上层为 66--67db，中心频率为 160KHZ-170KHZ,下层是 55-56db,中心频率为 210KHZ-230KHZ。

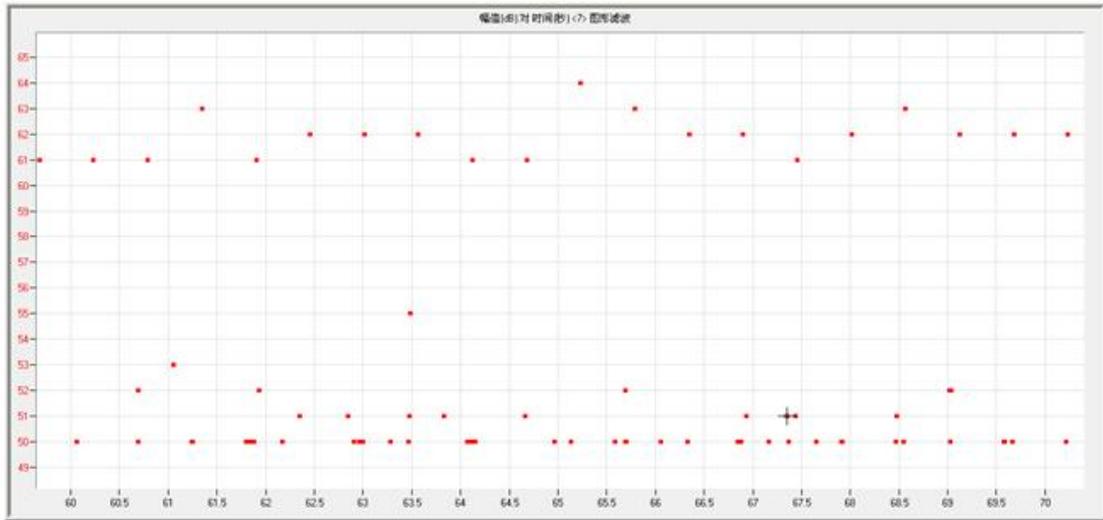


图 9

一个周期只产生一次裂纹信号，幅值为 61—64db

3.2 裂纹信号的定位

图 26 至图 28 是 12 月 20 日至 12 月 22 日 5、6 通道定位变化图。

从图中可看出裂纹的位置离 6 通道越来越远，即裂纹在这三天不断扩展，扩展了 10mm。

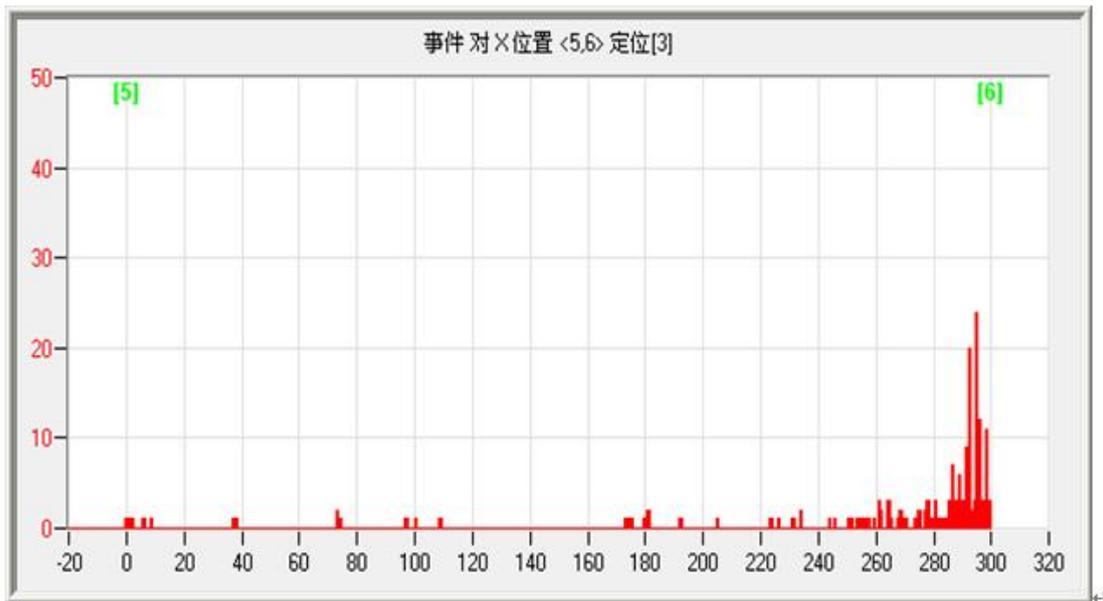


图 9

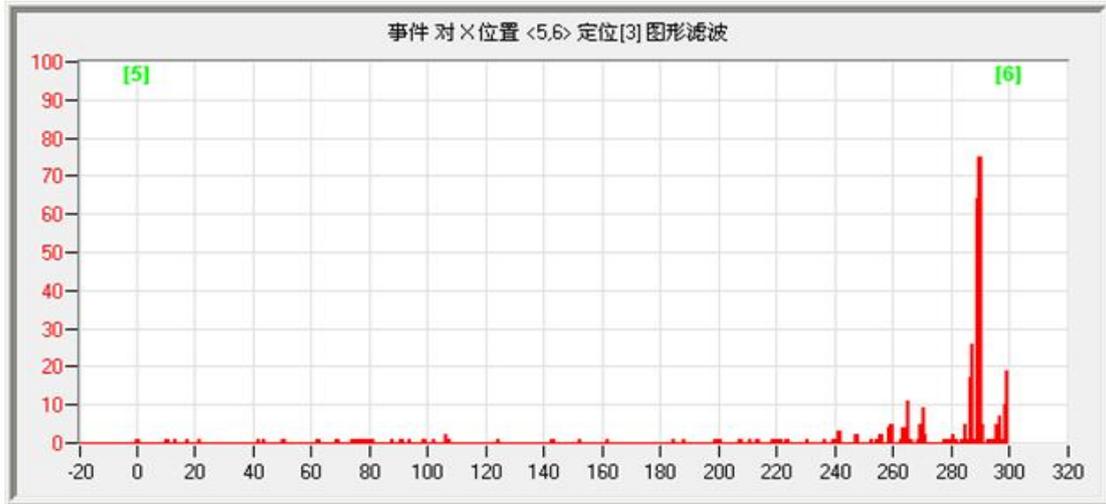


图 10

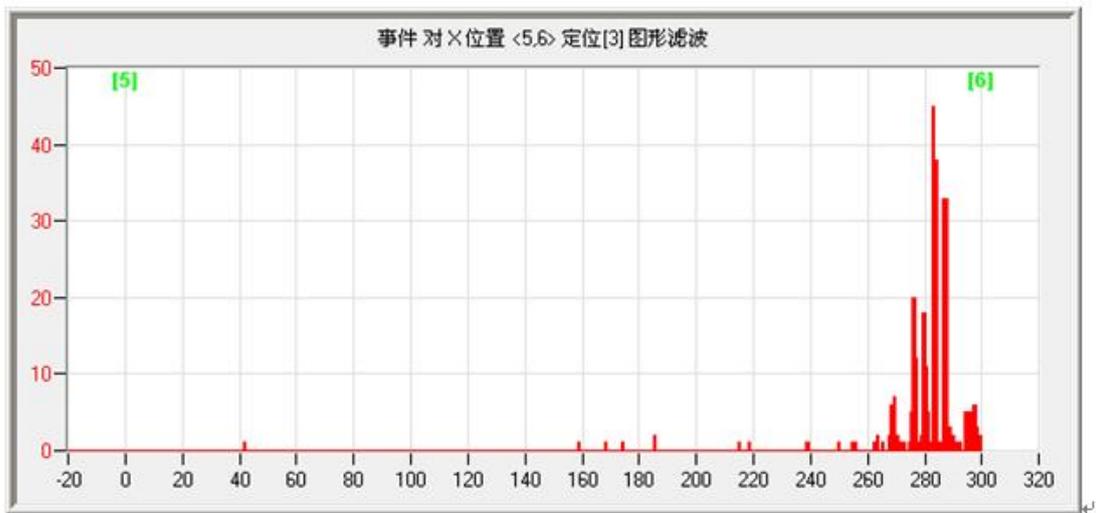


图 11

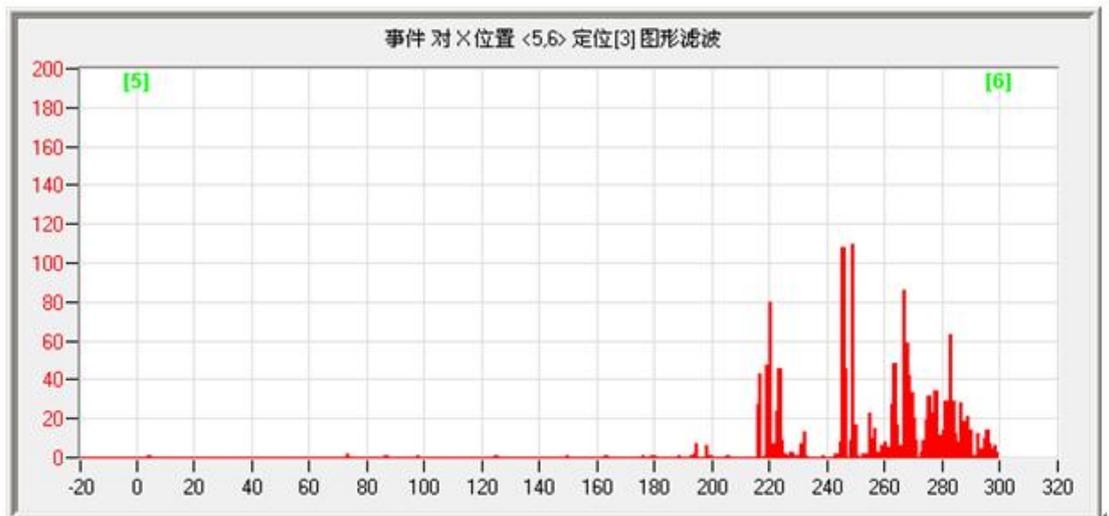


图 12

4 结论

- (1) 根据之前对裂纹信号的研究,我们找出了裂纹信号的周期性规律。若在实验之前接入疲劳载荷外参数,我们可以区别出裂纹张开、闭合和扩展时的信号
- (2) 定位分析也得到了较好的效果,若从实验初开始检测,我们可以在宏观裂纹出现前确定裂纹出现的时间和精确定位出裂纹的位置。
- (3) 我们可以通过裂纹的声发射活性变化判断裂纹的变化规律,并对其进行失效预报。
- (4) 结合断裂力学、损伤力学与声发射,我们可以进行损伤力学和结构的深层次分析。

参考文献:

- [1] 耿荣生,吴克勤,景鹏,傅刚强. 全尺寸飞机机体疲劳试验时中央翼与外翼连接区域疲劳损伤的声发射监测. 无损检测, 2008年第30卷第1期
- [2] 沈功田,戴光,刘时风. 中国声发射检测技术进展学会成立25周年纪念. 无损检测,2003,第25卷第6期
- [3] 李光海,刘正义. 基于声发射技术的金属高频疲劳监测. 中国机械工程,2004年第15卷第13期
- [4] 耿荣生,景鹏,雷洪. 飞机主承力构件疲劳裂纹萌生和扩展的声发射评价. 无损检测,1999,第21卷,第4期
- [5] 刘学文,林吉中,袁祖贻. 应用声发射技术评价材料疲劳损伤的研究. 中国铁道科学,1997,第18卷第4期