

# 轮式汽车起重机声发射检测

恒慧明<sup>1</sup>, 汪文有<sup>2</sup>, 许凤旌<sup>2</sup>

(1、中联重科; 2、美国物理声学公司 (PAC) 北京代表处, 北京 100029)

**摘要:** 采用声发射技术对出厂的轮式汽车起重机的异响进行检测, 在复杂的干扰噪音中找到损伤活动信号。分析损伤产生声发射的机理, 得到表征损伤活动过程的信号特征。利用声发射技术监测损伤的活度、强度, 实现对损伤源的实时监测。

**关键词:** 声发射; 实时监测

## Acoustic emission in the detection of ultra-supercritical power plant boiler

HENG hui ming<sup>1</sup> WANG Wen You<sup>2</sup> XU Feng Jing<sup>2</sup>

(1, Zoomlion; 2, Physical Acoustics Corp. Beijing Office, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Using acoustic emission technique on the detect abnormal sound of the factory wheel truck crane, in the injury activities found in the complex interference noise signal. The analysis of injury to produce the acoustic emission mechanism, the characterization of damage process of signal characteristics. Use of acoustic emission activity, strength of technology to monitor damage, real-time monitoring of the injury source

**Keywords:** Acoustic emission; Real-time monitoring

### 引言

起重机械的起重臂、底盘、支架等结构均为板结构焊接件, 在受载作用下, 这些板结构间的焊缝在疲劳载荷、过载载荷、弯扭复合载荷作用下, 原有焊接缺陷形成裂纹源, 长期的使用过程中会形成新生裂纹, 并不断扩展, 造成起重机械失效。常见失效形式如断臂, 过载屈服, 支架开裂等。

针对上述情况, 采用声发射方法对起重机械容易发生失效的部位进行重点监测, 找出起重机械在不同工况下的信号特征, 指导后续检测此次检测目的在于发现起重机械在吊重摆动过程出现异响的位置, 利用声发射判断起重机械旋转支撑处焊接箱体产生异响的部位, 观察起重机械该种故障的声发射信号特征, 作为今后检验的依据。

## **1 疲劳损伤与声发射监测原理**

### **1.1 疲劳损伤声发射监测原理**

疲劳损伤是指材料或结构在交变载荷作用下由于机械、物理、化学等因素导致其力学性能、微观结构产生劣化的结果。工程结构中焊缝连接处由于交变载荷作用容易产生疲劳损伤，其发生、发展历程由位错-滑移-微观裂纹-裂纹扩展-断裂等阶段组成。根据损伤力学与断裂力学原理可知，裂纹萌生、稳定、扩展直至最后断裂的过程是一个能量累积和快速释放的过程。能量的释放包括表面能、热能、弹性能等形式，其中的弹性能以应力波的形式释放出来，产生声发射。声发射信号包含了信号源处的有效信息，通过监测分析裂纹损伤在疲劳载荷作用下的声发射信号，有助于了解裂纹及结构的变化情况，进而对材料或结构构件进行损伤评价。

### **1.2 声发射**

材料中局部区域快速释放能量产生的瞬态弹性波的现象叫做声发射，固体材料中内应力的变化产生声发射信号，在材料加工、处理和使用过程中有很多因素能引起内应力的变化，如位错运动、孪生、裂纹萌生与扩展、断裂、相变、磁畴壁运动等变化，根据观察到的声发射信号进行分析与推断从而了解材料产生声发射的机制。声发射是一种动态检验方法，对线性缺陷较为敏感，在一次实验中，能够整体探测和评价整个结构中缺陷的状态。基于以上机理，对于材料的微观形变和开裂以及裂纹的发生和发展，就可以利用声发射来提供他们的动态信息，声发射源往往是材料灾难性破坏的发源地，由于声发射现象往往在材料破坏之前就会出现，因此只要及时捕捉这些信息，根据其声发射信号的特征及其发射强度，就可以推论得知声发射远的目前状态，以及它形成的历史并对其发展趋势进行预报。

## **2 检测设备与加载过程**

### **2.1 检测设备**

采用美国物理声学公司的 SAMOS-16 声发射系统，搭配 DT15I 声发射一体化探头（响应带宽为 100khz-400khz），传感器与起重机检测点之间采用真空脂与磁性吸座进行耦合与固定，采用多点布置与多平面定位进行综合分析判断。

### **2.2 加载过程**

轮式汽车起重机具有不同吨位，因此在其出厂测试过程严格遵守吊重测试标准，即选用不同规格的吊重进行不同角度和方向的吊重试验。此次声发射检测过程，采用吊重试验方法，通过广布区域-平面定位方法进行整体监测，根据吊重运转角度与方向的变化，判断损伤源所在的方位。根据识别的重点区域进行集中多点监测，进一步识别损伤源出现的机理，为该

类型轮式起重机的设计、生产提供真实的检测依据。



图 1 轮式汽车起重机

### 3 数据采集与分析

#### 3.1 吊重检测

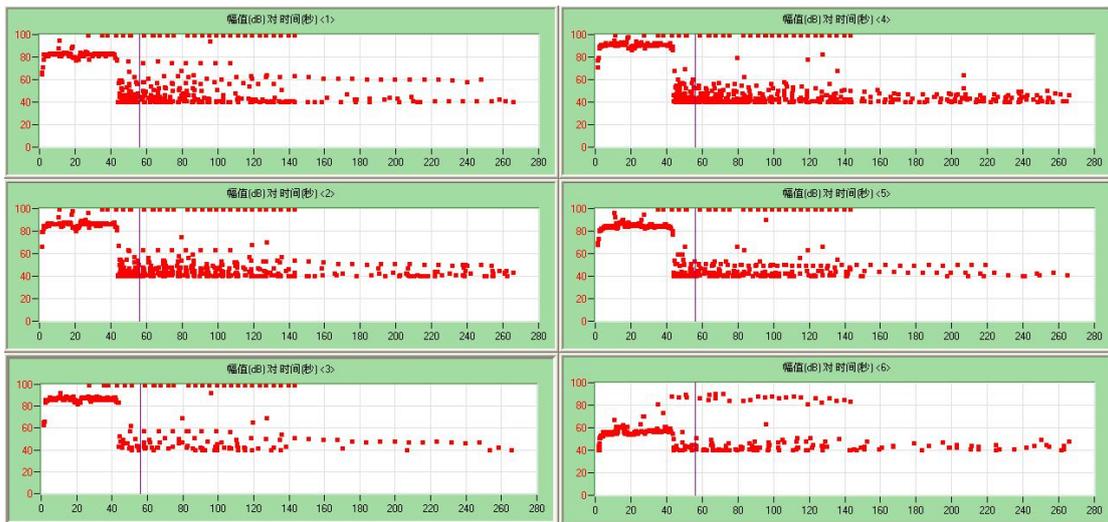


图 2 幅值时间图

图 2 是在起重机发动机工作过程中开始监测，0-40s 时间内起重机发动运转过程中，通过底部旋转支撑齿轮啮合旋转，实现吊重重心线的偏离。40s 之后关闭发动机，使吊重在自重作用下左右摆动，实现对底部旋转支撑的往复作用力。上图中满幅值的信号出现的时间具有规律性，通常在吊重摆幅最大处出现该信号，人耳可以听到尖锐类似于金属之间的重载摩擦或者复杂结构之间的重载形变。

#### 3.2 广布区域定位

由于信号源点位置的不确定性，首先要针对起重机械的结构特征进行传感器的针对性布置，根据信号接收的时间关系，利用区域定位法来判断重点监测区域的位置。

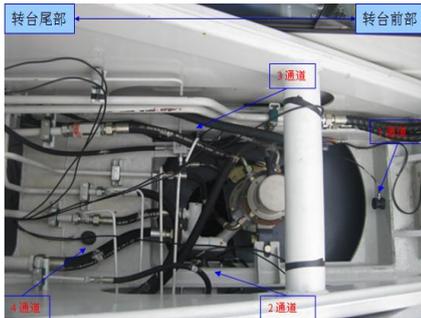


图3 箱体传感器位置

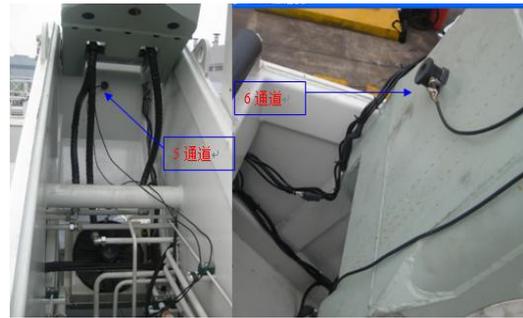


图4 旋转台传感器布置

旋转支撑上部复合箱体布置4个传感器，传感器位置如图3，1通道位于液压缸下部箱梁，2通道位于图示箱梁下部侧壁，3通道位于箱梁右侧壁（驾驶室），4通道位于左侧箱梁上部（平衡块）。5通道和6通道分别位于平台尾部壁面和主臂根部。

检测过程中重点关注高幅值、高能量信号的出现特征可以发现，信号接收顺序具有很好的稳定性，按先后顺序为4、3、2、1、5、6，其相对4通道时差为35、58、263、317。随着吊重摆幅的减小，接收到的声发射信号能量不断减小，此时可以发现140s之后的有规律信号，其出现的时间先后顺序为1、3、2、4、5，其相对1通道时差为305、342、614、1677微秒，信号接收顺序与1处断铅接收顺序相同，但时间差略大接近100微秒。由于1通道位于钢板两侧焊接的U型梁侧壁处，且其上部为液压缸连接轴，可能为重载挤压信号。其信号波形频谱如图5所示。

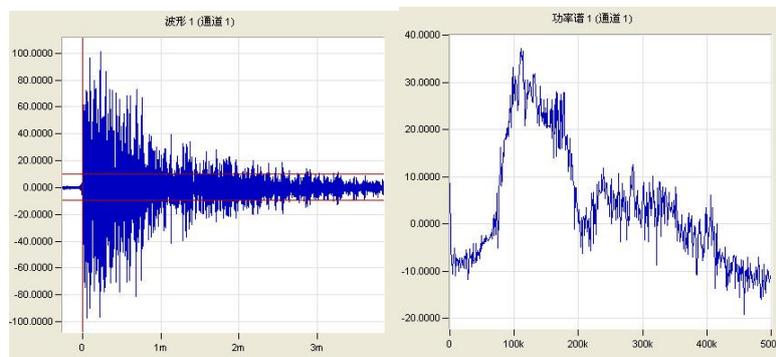


图5 1通道接收信号波形频谱图

由上述区域定位法中信号接收时间顺序判断4通道附近需要增加传感器，以便精确信号源区域，并判断是否为旋转支撑轴承处产生的信号源，选择三个通道分别为7通道、8通道、9通道布置位置如图6所示，确定信号源主要集中在图中的源1和源2的区域位置，需要针对该两处区域进行平面定位布置，缩小信号源区域。

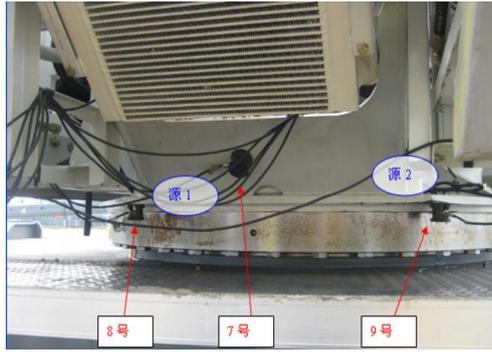


图6 旋转台底板传感器布置

### 3.3、旋转支撑监测

8通道附近15mm处断铅信号被其他传感器接收到的先后顺序为8、7、3、4、9、2、1、5；9通道附近15mm处断铅信号被其他通道接收到的顺序为9、4、2、8、3、7、1、5。利用九个传感器的覆盖范围进行监测。根据检测结果中信号接收顺序判断，接收顺序8、7、4、3、9、2、1、5或9、4、8、2、7、3、1、5，初步判断回转支撑轴承完好、声源不是来自于主臂处。声源位置可能位于回转轴承上部8-9之间的某个区域，故采用变换传感器位置，对关键部位进行集中监测。更改后的传感器位置图7所示：

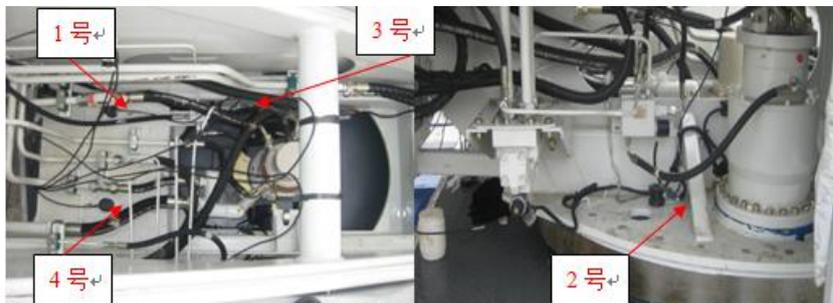


图7 旋转台传感器布置图

传感器位置做了相应调整之后，信号接收顺序主要为8、7、1、9、4、2、3、5和9、2、4、7、1、8、3、5，由传感器的相对位置可知，可能存在两个声源部位为图6中的源1和源2。采用平面定位法进行定位检测，由于结构限制，只能在底板和箱梁上各布置传感器定位组进行监测，观察定位结果。1-2-3-4号传感器布置在如图8所示的箱梁上，5-6-7-8相对应的布置在下部底板图9中所示位置。

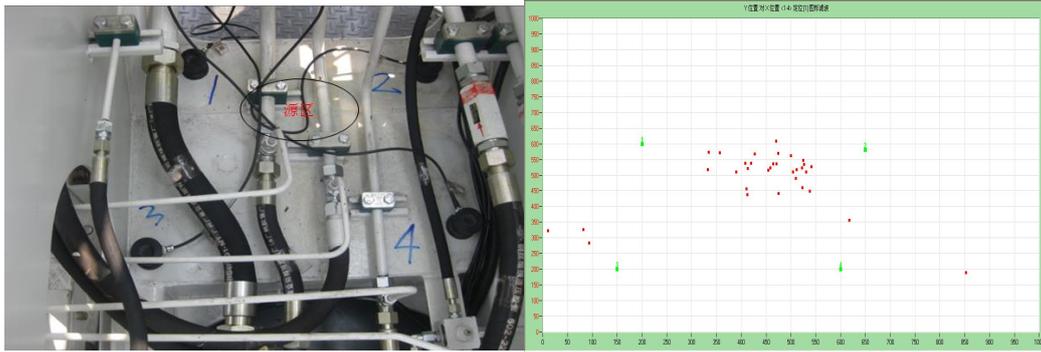


图8 箱梁定位图

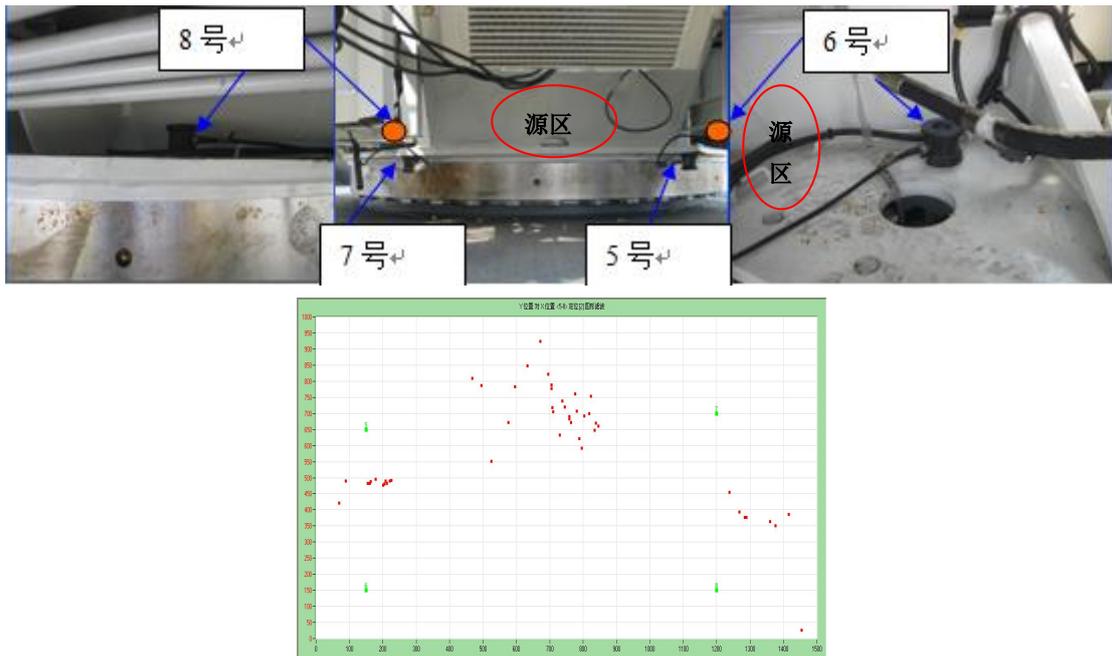


图9 旋转支撑底板定位图

采用定位设置后，吊重在摆动过程中，使得旋转支撑连接部位承受复合交变载荷，产生了人耳可听到强烈异响。由于检测过程中，异响的声发射信号能量强烈，因此采用幅值滤波，对感兴趣的高幅值信号进行定位检测。

### 3.4、剖开重点区域监测

根据前面的检测结果，对故障区域进行局部剖开，有利于对异响部位的准确定位。此次将回转台后部上盖板后端剖开，进行声发射检测，观察异响情况是否变化或消失。从而进一步找出损伤源位置。采用4个传感器放置于图10中所示位置的旋转支撑底板下部，7号-11号传感器布置与旋转支撑底板左右两侧。5、6、7号传感器布置在转台左侧；从前向后排序8、9、10、11布置在转台右侧，从后向前排序（前：是指主臂伸缩方向；后：是指配重块方向）

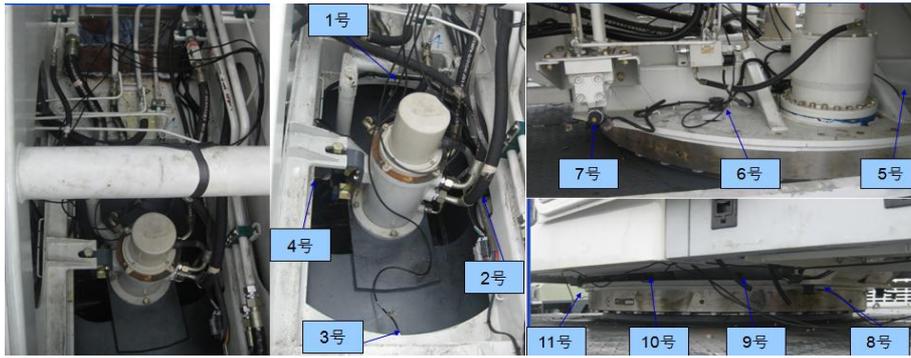


图 10 重点区域监测

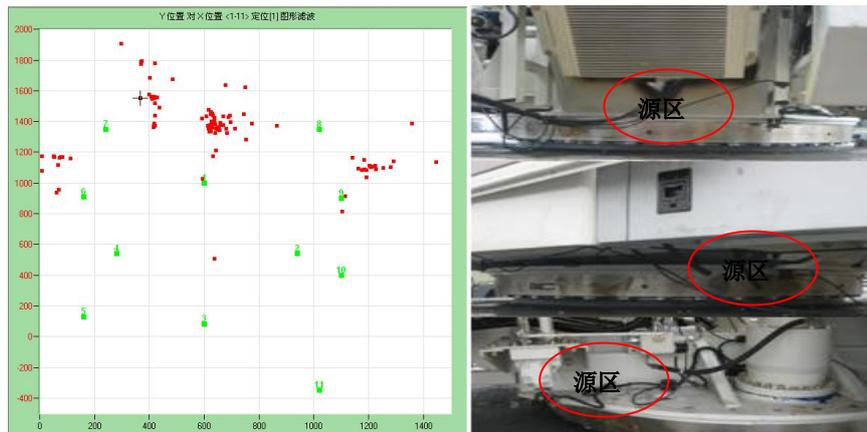


图 11 底板的监测异响位置

在平面定位的基础上，底板上声源的投影位置找到后，需要利用侧板进行定位，综合底板和侧板的声源位置，可以较好的校准信号源。根据信号源处的结构特征初步诊断信号源产生的可能性和原因。将 2、3、5 号传感器转移至左侧侧板进行定位检测如图 12 所示。左侧侧板信号源定位图为盖板全部剖开后产生的定位，定位源点为侧板焊接有槽钢，并与底板焊接形成的复合结构。右侧侧板信号源位置集中在 8 通道处，主要焊接有槽钢等复合结构。底部旋转支撑监测过程是将上顶板全部剖开，2、3、5、9、11 号传感器用于底部旋转支撑监测，7、8 号传感器贴于底板尾部两端，底部旋转支撑的两处源点如图 13 所示。转台底板和侧板的定位信号源位置基本符合该位置。

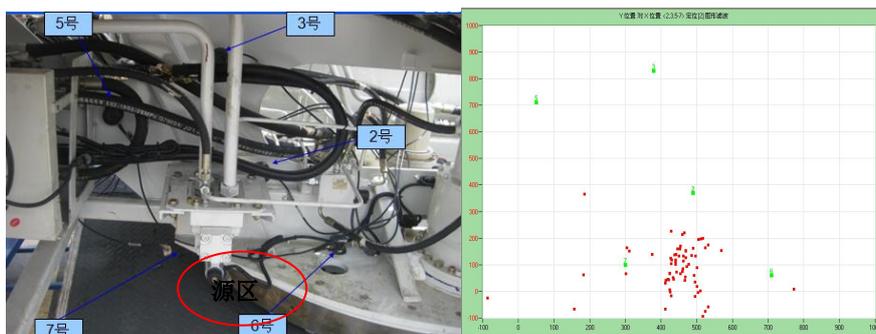


图 13 左侧板定位图

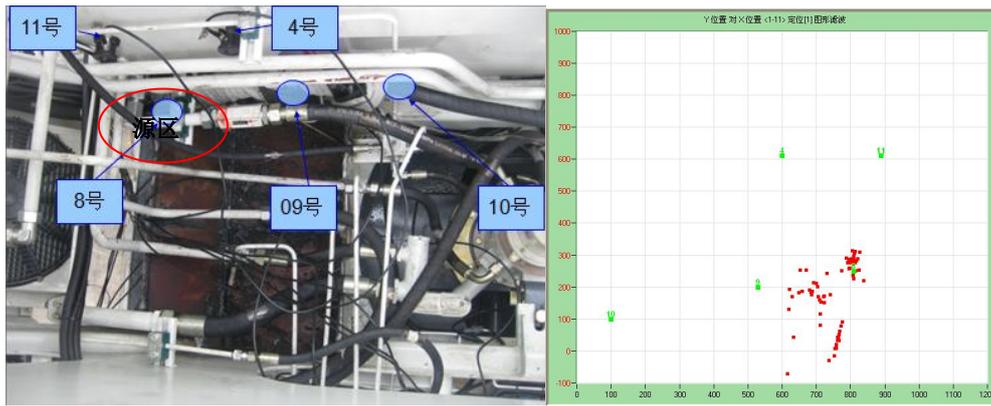


图 14 右侧板定位图

#### 4、结论及建议：

- 1、根据转台底板和侧板定位，异响源点主要位置位于转台后部两端，其部位为板材两侧焊接有多块槽钢，结构复杂，易形成应力集中和焊接缺陷。
- 2、轮式汽车起重机结构复杂，需要采用区域-平面定位法，各个区域相互排查进行检测。

### 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