

# 声发射在超临界电站锅炉检测中的应用

林彤<sup>1</sup>, 汪文有<sup>2</sup>, 许凤旌<sup>2</sup>

(1、福建省特种设备检测研究院; 2、美国物理声学公司 (PAC) 北京代表处, 北京 100029)

**摘要:** 采用声发射技术对超临界电站锅炉水压试验过程监测三通管座及管道焊缝的完整性状态, 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, 得到表征焊缝裂纹活动过程的信号特征。利用声发射技术监测裂纹损伤的活度、强度, 实现对裂纹损伤状态的实时监测。

**关键词:** 声发射; 裂纹损伤; 实时监测

中图分类号: TG115.28      文献标识码: B

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

LIN Tong<sup>1</sup> WANG Wen You<sup>2</sup> XU Feng Jing<sup>2</sup>

(1, Fujian Province Special Equipment Inspection Institute; 2, Physical Acoustics Corp. Beijing Office, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Using acoustic emission technique on the integrity of the state of the Supercritical power plant boiler hydrostatic test process monitoring tee Block and Pipe Weld, injury activities found in the complex interference noise signal. The analysis of injury mechanism of acoustic emission signal characteristics of activities in the process of characterization of weld cracks. The use of acoustic emission techniques to monitor crack damage, activity, strength, real-time monitoring of crack damage state.

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

### 引言

超临界锅炉指锅炉内工质的压力在临界点以上的锅炉, 锅炉内的工质都是水, 水的临界压力是 22.115MPa, 温度为 374.15°C, 在这个压力和温度下, 水和蒸汽转化汽化潜热等于 0, 不存在两相区, 即水变成蒸汽是连续的, 并以单相形式进行, 这就是水的临界点, 炉内工质压力低于这个压力叫做亚临界锅炉, 大于这个压力叫做超临界锅炉, 国内将工质压力大于 26MPa 被称为超超临界锅炉。

超临界锅炉内随着压力的提高, 水的饱和温度也随之提高, 汽化潜热减少, 水和汽的密度差也等于零。水在该压力下加热到临界温度, 当压力提高到临界压力时, 汽化潜热为 0, 汽和水的密度差也等于零, 水在该压力下加热到临界温度时全部汽化成蒸汽, 超临界压力下水变成蒸汽不存在汽水两相区, 由此可知, 超临界压力直流锅炉由水变成过热蒸汽经历了两个阶段即加热和过热, 而工质状态由水逐渐变成过热蒸汽。

与一般亚临界汽包炉相比，超临界锅炉启动到满负荷运行，变负荷速度可提高一倍，变压运行的超临界锅炉在亚临界压力范围内超临界压力范围内工作时，都存在工质的热膨胀现象，并且在亚临界压力范围内可能出现模态沸腾，在超临界压力范围内可能出现类模态沸腾，超临界直流锅炉要求的汽水品质高，要求凝结水进行100%除盐处理，由于超临界锅炉水冷壁的流动阻力全部依靠给水泵克服，所需的压头高，即提高了制造成本又增加了运行耗电量且直流锅炉普遍存在着流动不稳定性、热偏差、脉动水动力问题，为了达到较高的质量流速，必须采用小管径水冷壁。

超临界锅炉的高温高压环境下，对金属管道的材质、性能等参数的要求高于通用条件下金属材料，由于运行将状态下的温度应力的控制精度上难以把握，瞬时或短时超压现象时常存在，温度相应升高使得在用管道的材质在该极限工况下微观成分发生改变，强度降低，韧性变差，内部原有缺陷产生能量的累计以及新裂纹的萌生扩展，长期在该种高温高压工况下的运行导致损伤萌生-累积-扩展持续发展的过程，最终导致裂纹的产生、发展与贯通，导致泄漏和爆管事故。

## 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。工程结构中钢梁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。



图1 三通管座结构图

锅炉管道的运行过程中，承受着高温、高压的介质作用，在介质的运动过程中，使得管道处于连续的振动状态，因此其内部不连续部位或原有缺陷在一定的温度、压力和疲劳状态下，开始扩展，释放能量，产生应力波。三通管座由于其厚壁焊接结构，往往存在焊接残余应力，其在运行一段时间之后，便会在焊缝区内部萌生裂纹，并随着工况的变化而不断扩展-稳定-累积-扩展的循环过程。

### 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 传感器布置与检测概况

### 2.1 传感器布置

由于三通管道焊缝的特殊结构，将焊缝的结构简单化成锥体结构，采用8个传感器进行同时监测，观察锥体定位分布特征。1、2、3、4号4个传感器位于焊缝上端三通垂直管段，5、6、7、8位于焊缝所在直通管段，均布在焊缝周围。传感器的分布图如下所示：

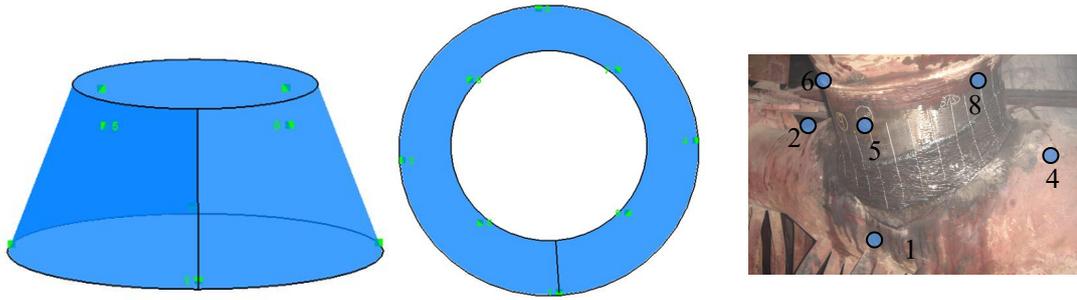


图2 传感器放置位置图及椎体定位图

## 2.2 检测准备和加载过程

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）。联想管座的外径为 835mm，厚度为 85mm，正常工作时内部流通过热蒸汽。此次水压压力二次加载，加载到 4.3mpa，保压 15 分钟，由 4.3mpa 加载到 5.4mpa，保压 20 分钟。加载曲线如图所示：

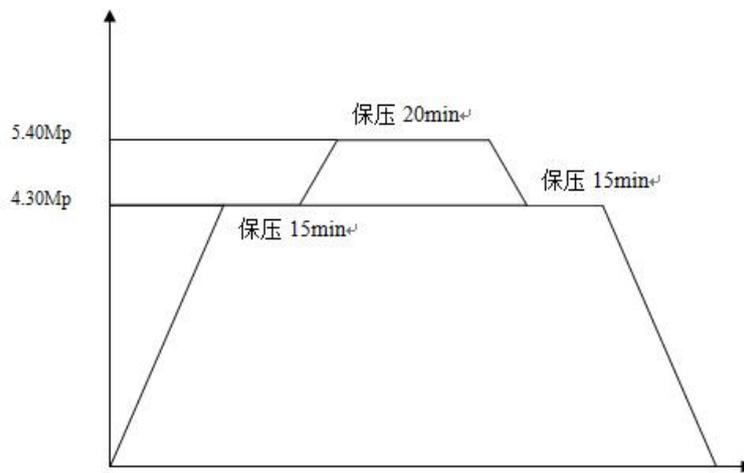


图3 水压试验加载曲线图

## 3 数据分析记录

### 3.1 试验记录

本次检测打压过程缺少准确的升压、保压、降压时间，现场的人为干扰因素较多，且存在管座下部连接的支管随着压力的增大，膨胀系数的差别等原因，产生较多的噪音信号，不完全符合 GB/T 18182 的试验要求。因此针对此次试验的结果，暂不按照 GB/T18182-2000 标准进行综合评级，仅对本次声发射检测试验过程进行分析，并给出后续建议。

由数据幅值-时间图可知，0-1.4Mpa 升压过程信号撞击数较多，信号幅值位于 50-75db 之间，此后随着压力的升高信号量逐渐减少，当压力升高到 3.4Mpa 时，高于门槛（50db）的信号已经很少，且趋于稳定状态。上述过程信号的特征可解释为开始加压过程，由于焊接在管座底管上的支管开始膨胀（支管和焊缝处的氧化皮开裂、摩擦），产生大量的信号，此脆性发展过程的信号随着压力的升高和管体塑性变形的增加，趋于不断稳定和减少。

当压力继续升高，开始出现间隔性高幅值信号，达到 80db 及以上，此过程可以表征稳定加压过程的信号特征，因此滤除掉前期加压至 3.4Mpa 时的噪音信号，得到了没有噪音干扰的声发射信号，如图 4 所示，声发射点来自于 90 度-225 度之间。主要位于焊缝上下处，共产生了 27 个定位点。定位点出现位置与超声探伤缺陷位置符合程度较高。

### 3.2 数据分析

由定位图中的聚类分析，根据相同大小区间内出现的定位点集中度进行聚类等级区分，在某一区域出现的定位点越多，表明该处的聚类级别越高，不同级别用不同的颜色表示，有利于实时区分各位置的信号情况，由附图聚类分析中可知，焊缝处信号源聚类程度较高，且出现的定位源点的波形图具有明显的突发型特征，如图 4 所示。

声发射是一种动态监测方法，实时在线监测内部损伤在外载荷作用萌生-扩展-破坏等过程，因此，声发射监测到该工况下活动信号的特征。对于已有损伤在该工况下不活动，则不产生声发射信号。某一工况下的损伤的活动状态能够真实的表现构件或结构的完整性和健康状态。超声检测方法具有精度高的特点，根据经验判断内部存在的损伤类型与尺寸，但其无法判断该损伤在现有工况下是否继续扩展，如果按照标准要求，该种管座的超声检测报告可能要求该管座判废，而实际上，该种结构的厚壁管座仍然具有一定的使用寿命，如果草率的进行更换，这将造成与生产相关的各种损失。而此次利用声发射与超声的综合检测对比，可以发现，超声检测出的超规缺陷，在打压过程中处于活动状态的区域，主要在 90 度-225 度之间，图 4 中的左图与图 5 的方向是一致的。综合对比分析，超声可以发现静态的损伤及相应的尺寸信息，声发射可以动态的检测损伤在检测工况下是否处于活动状态，对于处于活动状态区域的裂纹将进行重点检测，进一步判断和识别。

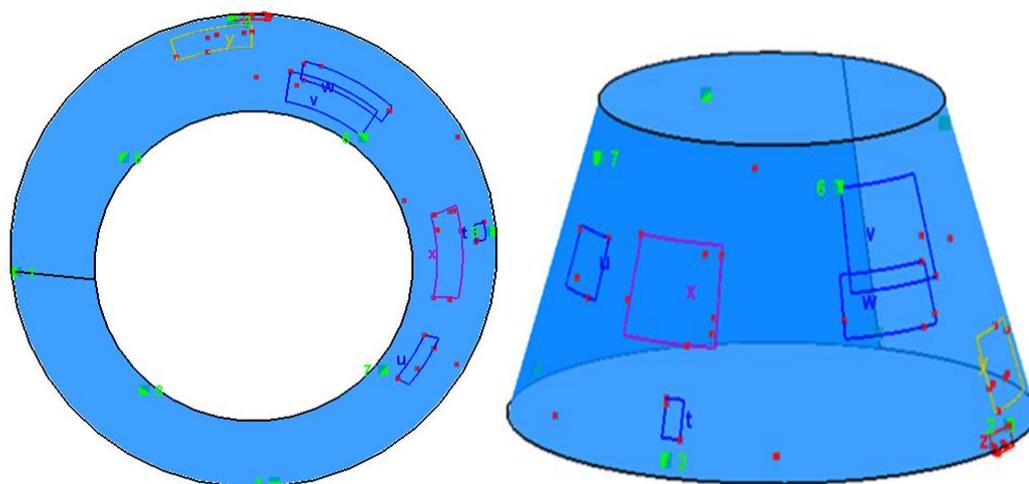


图 4 定位和聚类分析图

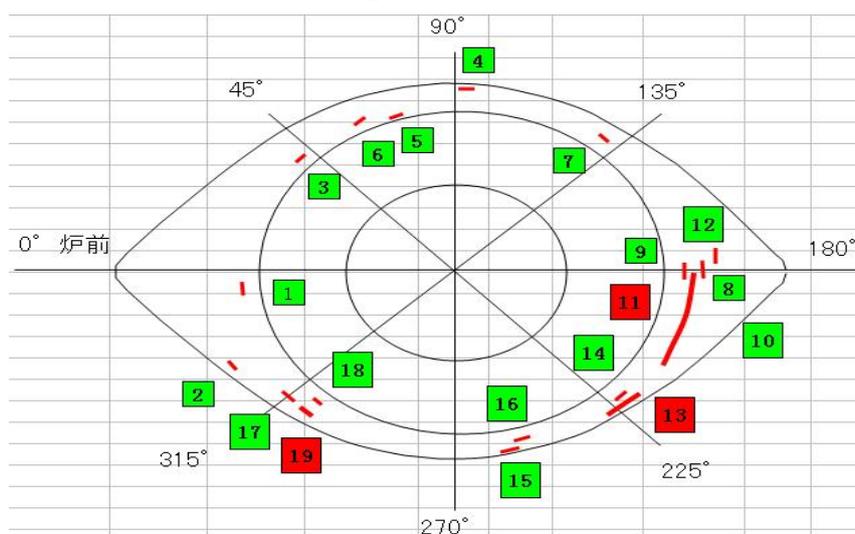


图 5 超声检测裂纹图

#### 4、结论及建议：

4.1、声发射可以实时、动态的反映构件内部损伤的变化过程，可以有效的甄别已有损伤的活性状态，有利于判别损伤对结构完整性的影响。

4.2、联箱管座处于高温、高压条件下运行，且由于其大范围、复杂的焊接工艺会产生较多的焊接缺陷和较大的残余应力，是运行过程裂纹产生的源头和促发条件，因此，联箱管座内部往往具有客观存在的较多的裂纹损伤。

4.3、损伤在一定的应力载荷条件下往往具有萌生-累积-扩展的循环过程，因此对于厚壁构件，不同应力状态下的损伤变化会交替进行，裂纹的扩展代表着该处能量的释放和应力集中度的重新分布，当满足下一次扩展条件，才会发生损伤的进一步变化。采用声发射与超声检测对比分析有利于综合判断结构内损伤的严重程度和分布状态，同时得到损伤的活性状态。

4.4、声发射和超声的检测结果的整理和存档有利于对该种类型联箱管座进行累计分析，根据其使用工况和检测历史结果，有利于判断其内部损伤的发展变化和预测其使用寿命。对于工厂安排生产过程具有重要指导意义。

4.5、通过本次水压试验过程的声发射监测，对于噪音的排除以及有效信号的处理积累了经验，通过多种事件提取方法的对比分析，实现对信号的快速滤波处理和有效事件的识别，

#### **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