

结构件损伤监测检测

1、简介

• 原理:

结构材料中的裂纹、变形、脱粘分层等损伤过程常伴有声波产生，系统接收分析这个声波并判断损伤的类型、程度和位置，对结构件完整性做出健康评价。

例如：桥梁大坝等金属非金属结构的裂纹开裂，石油化工设备压力容器等金属结构的裂纹开裂，阀门管道等结构的裂纹开裂，发电机、车床等转动设备结构的裂纹开裂，等。



• 应用结果:

365 天在线监测检测，全过程自动分析结果，物联网远程使用，手机报警推送。



在线物联网平台自动显示结果



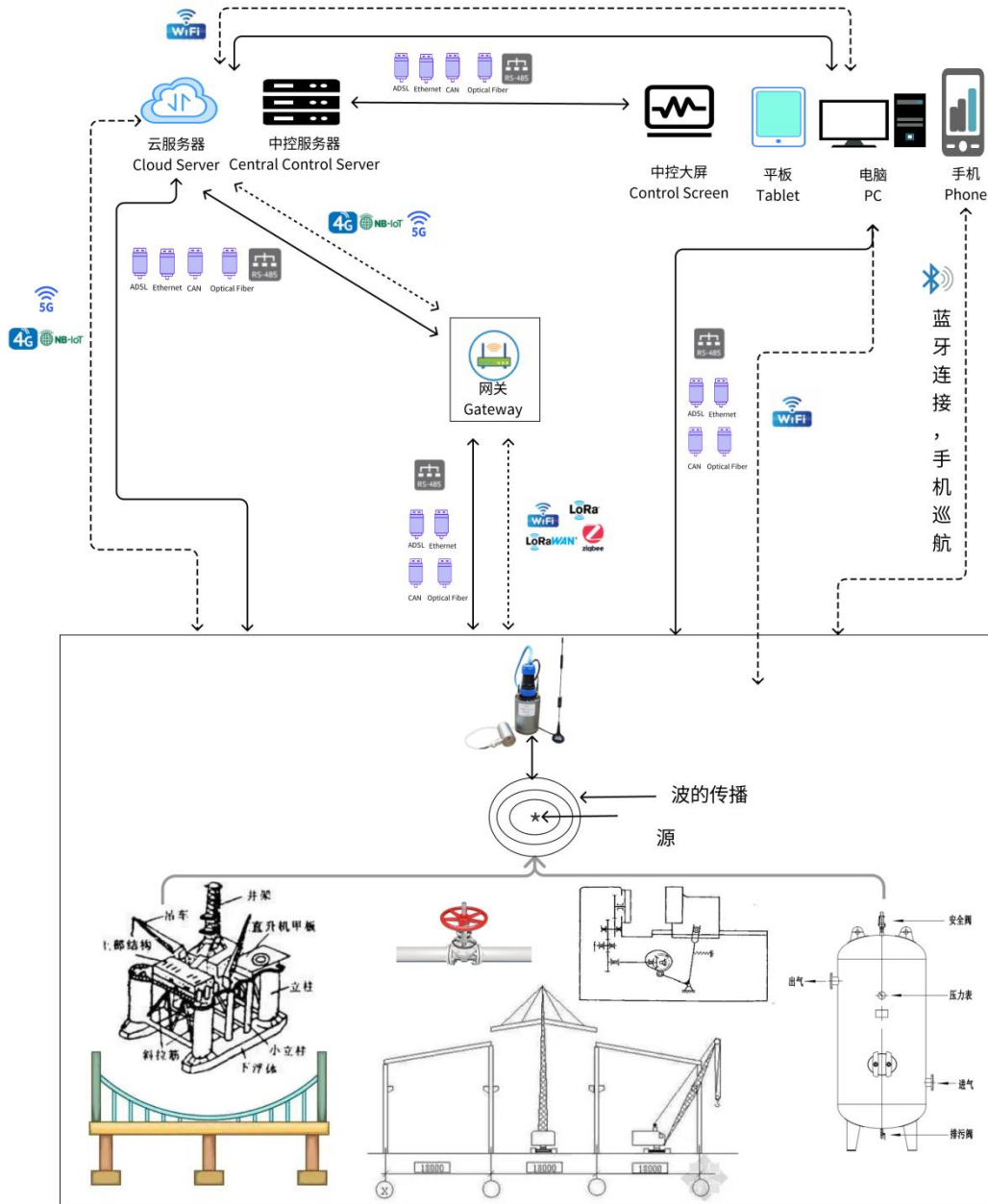
手机自动推送报警信息

- 自动给出监测诊断结果
- 在线和历史数据屏幕显示
- 在线手机报警推送

2、解决方案 - RAEM1 系列远程声波（声发射）监测系统

- 适用于各种材料的结构件损伤监测检测
(如各种材料的桥梁、风电、刀具、储罐、作业平台等设备结构件的损伤监测检测)

实线(Solid line): 有线连接(wired connection)
 虚线(Dotted line): 无线连接(wireless connection)



系统示意图

• 多种数据输出通讯方式 (WiFi、4G、以太网、RS485 等), 可根据用户需求配置, 实现定期检测/本地长期监测检测/远程长期监测检测等多种应用方式。

注: 上述系统都有手机 app 蓝牙通讯巡检和现场调试设置功能。

3、主要软硬件介绍

RAEM1 系列远程声波 (声发射) 监测系统:

系统组成	RAEM1 采集器, 平台, 客户终端
------	---------------------

(可多个采集器组成多通道监测系统, 对大型设备实时监测)



1) 配置表

传感器		GI40 窄频带内置前放一体化
		GI150 窄频带内置前放一体化
采集器	名称	RAEM1 系列、RAEM1-6 系列
	有线	RS-485
		CAN
		LAN
	无线	4G(流量计费参考运营商套餐)
		WIFI
		蓝牙(手机蓝牙巡检)
LORA(组网)		
终端输出	手机	APP
		小程序
		短信
		邮件
	云平台	清诚物联网云平台
		阿里云平台
		亚马逊云平台
	电脑软件	SWAE 软件
RAEM1 软件		

2) RAEM1 采集器

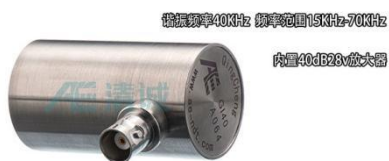
集传感器、采集卡、数据通讯(蓝牙等)、电池供电、无线时钟同步为一体的 RAEM1 智能声波(声发射)采集器。



3) 传感器

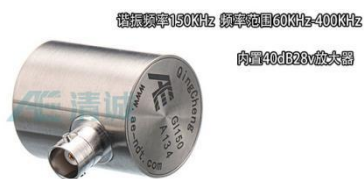
GI40 或 GI150 系列传感器，将结构件损伤产生的机械信号转化为电信号输入声波（声发射）采集分析系统

GI40窄频带内置前放一体化传感器



GI40窄带一体化传感器，内置40dB28v放大器，广泛应用于常压储罐罐底板的腐蚀、局放等的检测、监测领域。

GI150窄频带内置前放一体化传感器



GI150窄带一体化传感器，内置40dB28v放大器，广泛应用于工程、压力容器、局放检测、监测等领域。

GI40 或 GI150 系列

4) 平台

云端服务器、局域网、PC、手机等。



应用服务器 WEB服务器 数据库服务器



清诚物联网 阿里云平台 亚马逊AWS平台

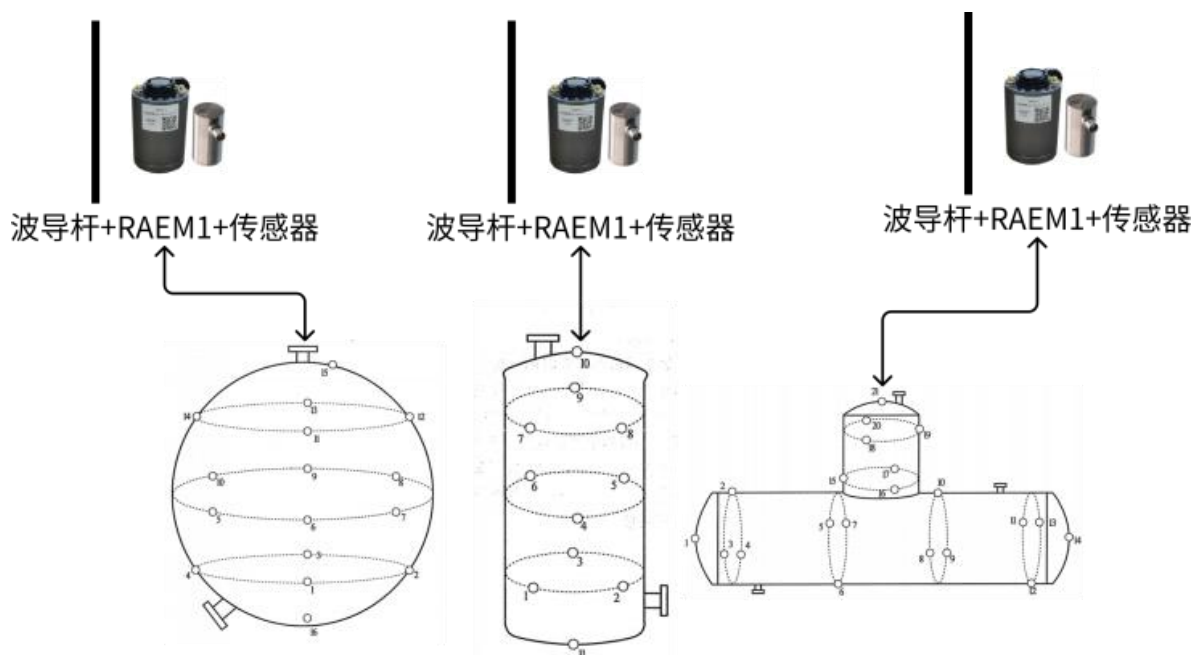
5) 参数指标

通道组合	单通道或多通道组合使用	采样精度	16 位
采集方式	门限触发/时间触发	系统噪声	优于 30dB

采样频率	单个通道最大采样率 2M 点/秒	动态范围	70dB
防护等级	IP65	输入带宽	10kHz-1000kHz
供电	12VDC	重量	220g
模拟滤波器	30kHz、125kHz 两个高通滤波器，80kHz、175kHz 两个低通滤波器组合，默认 30kHz~80kHz，125kHz~175kHz 两种带通滤波器组合，出厂固定		
数字滤波器	256 阶的 FIR 滤波器，0KHz~1000kHz 频率范围内任意数值设置直通、高通、低通、带通		
传感器	内置前放系列传感器，三种内置前放可选 28V40dB，12V34dB，5V26dB		
数据输出	波形、参数、参数评级		
AE 特征参数参数	到达时间，幅度，振铃计数，能量，上升时间，持续时间，RMS，ASL		
内置 SD 卡容量	64G（可拓展至 512G）		
通讯方式	4G、网口、WiFi、RS485（可根据用户要求定制其他通讯方式，如 NB-IOT、Lora 等）		
使用温度范围	-20℃~60℃。（WiFi 版本为 0℃~60℃）		
尺寸	圆筒直径 $\phi 62\text{mm}$ ，高度 100mm		
安装	底部自带磁性，可吸附于被测物体表面		

4、方案案例

1) 高温压力容器声波（声发射）监测



- ◆关键部位安装 RAEM1，监测结构件损伤状态
- ◆开启采集
- ◆分析验证，得到判据标准
- ◆验证效果良好，关闭波形和参数输出
- ◆设置判据，输出得到手机平台推送信息

对某台球形高温压力容器，每4个月进行2个小时加压循环，检测数据结果如下表：

1号高温压力容器	4个月	8个月	12个月	16个月	20个月
幅度(dB)	52	58	66	75	92
强度等级	低强度	低强度	中强度	中强度	高强度
活度等级	中活度	中活度	中活度	强活度	超强活度
综合等级	II	II	II	III	IV

按标准 NBT 47013.9--2015-承压设备无损检测条款 6 评价结果与分级中的表 2、表 3、表 5 的声发射定位源的等级划分，确定 $a=60$ ， $b=80$ 。得到各次检测的级别如上表。

(幅度值取定位源中前 5 个最大的幅度的平均值，且已根据衰减测量结果加以修正)

第 1、2、3 次检测综合等级为 II 级；第 4 次检测综合等级为 III 级；第 5 次检测综合等级为 IV 级。

①云平台：

用户可通过云平台进行远程配置、远程监控，把数据上传到云平台进行显示分析。

图 1：1 号高温压力容器 1 号通道(qc_raem1_4g_89)，在第 4、8、12、16、20 个月的综合级别分别为：II，II，II，III，IV



②手机推送

到达报警界限，手机推送报警信息。**报警方式：小程序、邮箱、短信、APP。**

据云平台 1 号高温压力容器数据可知，2022 年 3 月触碰 3 级报警线，2022 年 7 月触碰 4 级报警线。手机同步收到报警推送。



邮箱报警推送

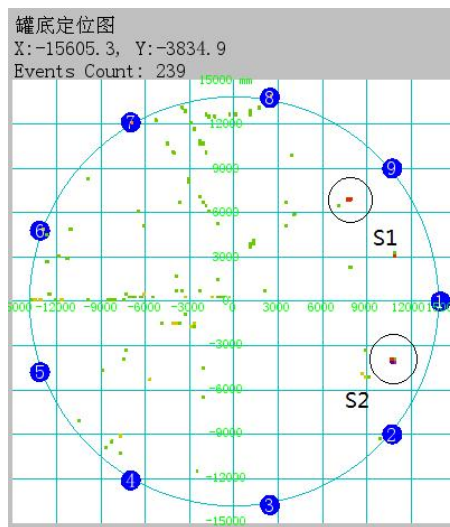
短信推送

小程序(APP)报警推送界面

③SWAE 软件:

可云端数据下载后使用清诚的 SWAE 软件进行深度分析,也可以直接发送到 SWAE 软件进行实时分析处理。

1 号高温压力容器在第 3 次监测时触碰 3 级报警线。通过清诚的 SWAE 软件,可查看数据并定位缺陷部位(仅限于选配了 RAEM1 无线定位功能或选用 RAEM1-6 系列的设备才可使用)。



罐底板定位图(时差定位)

5、总结

实现了各种材料的结构件损伤声波(声发射)监测检测,并把损伤等级推送给用户。用户可根据等级及时开展对应维修,以延长结构件寿命,杜绝设备因结构件失效导致的事故和损失。

★适用于各种材料设备(如桥梁、风电、刀具、储罐、作业平台等设备)的结构件损伤监测

详细应用例子：桥梁大坝等金属非金属结构的裂纹开裂，石油化工设备压力容器等金属结构的裂纹开裂，阀门管道等结构的裂纹开裂，发电机、车床等转动设备结构的裂纹开裂，等。



优点：

- 完全免布线
- 内置电池供电，连续工作 4 小时以上，适合定期检测
- 也可电缆供电，这样就可以长期自动监测检测
- 内置传感器，中心频率 40kHz，频率范围 15kHz~70kHz，满足结构检测，传感器也可更换。
- 内置高精度无线同步时钟，8 通道同步时钟优于 10us，可以做时差定位评级
- 小巧，底部带磁铁，现场安装方便。
- 数据既可传输到电脑做深入分析，又可上传到云平台自动评级。

6、实际案例

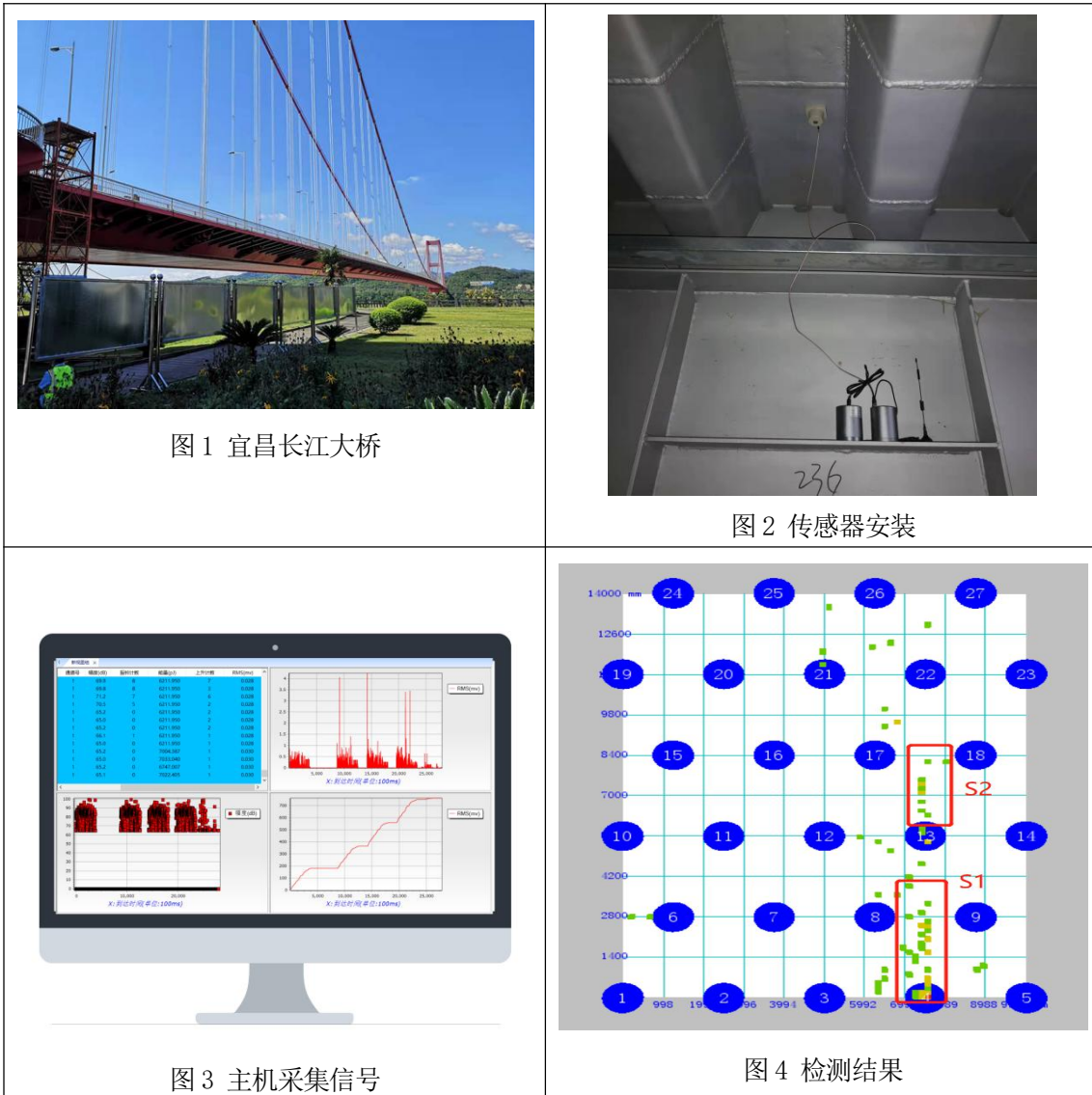
材料在应力作用下的变形与裂纹扩展，是结构失效的重要机制。



声波（声发射）无损检测技术，可以推断损伤情况和发展规律，对结构件的损伤发生和发展趋势做出预测。

1) G50 沪渝高速宜昌长江公路大桥钢板裂纹在线检测

G50 沪渝高速宜昌长江公路大桥桥面钢板裂纹声波（声发射）在线监测



2) 某化工厂球罐声发射检验

我司对某化工厂 650m³ 球罐进行声发射检测，本次检测是在装置加压过程中进行声发射整体监测和数据采集，压力从 0MPa 开始对被检容器进行数据采集，共进行 1 个加压循环。

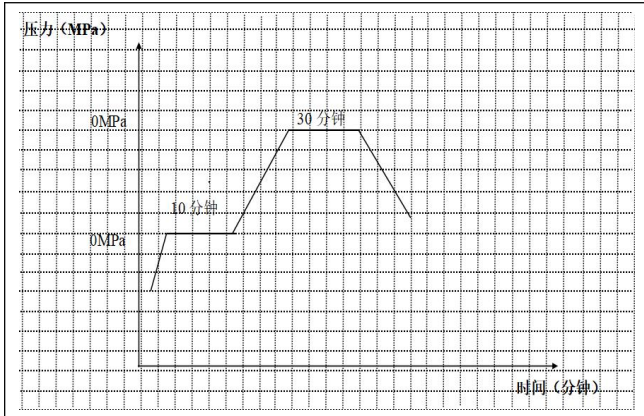


图1 加载程序图 (P-T)

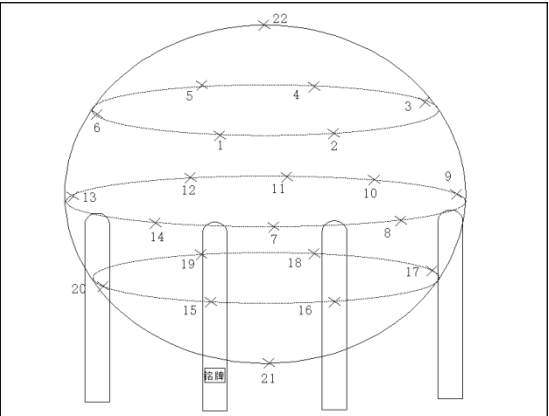


图2 传感器分布图

本次检测共布置22个探头（分3层，上下层布置6个，中间层布置8个，上下极各一个，排列成三角网络形式进行局部监测），每个探头均采用 RAEM1 内置电池带无线同步的采集器，具体布置位置如图2所示。

备注：探头均匀分布，垂直间距4221mm，赤道层水平间距4221mm，上下层水平间距3979mm，1号探头位于铭牌支柱上方。

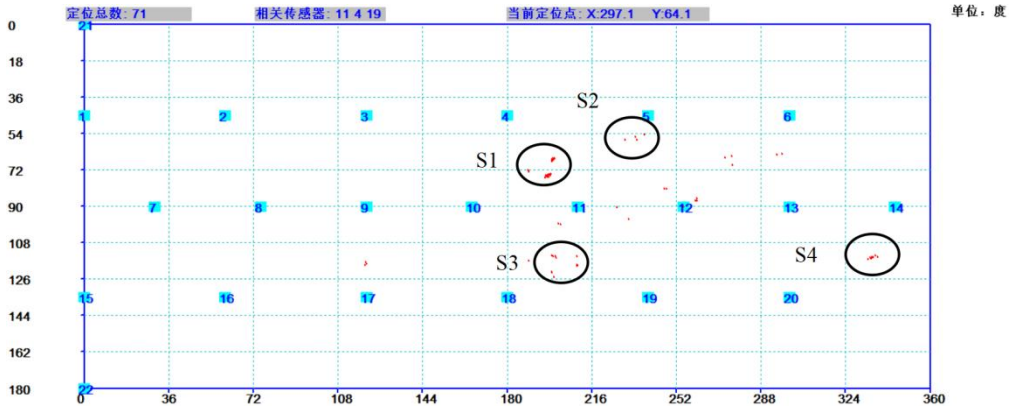


图3 升压阶段事件定位图

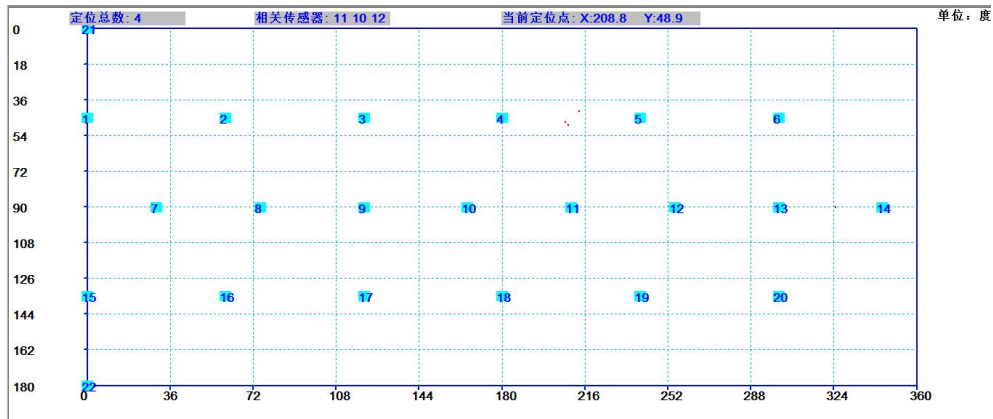


图4 保压阶段事件定位图

经过数据分析，本次声发射检测共发现有意义信号源4个S1~S4，如图3。声发射数据定位图见图3~图4。对该声发射源综合等级评定如下表：

编号	活性	强度	综合等级
S1	中活性	低	II
S2	中活性	低	II
S3	中活性	低	II

S4	中活性	低	II
----	-----	---	----

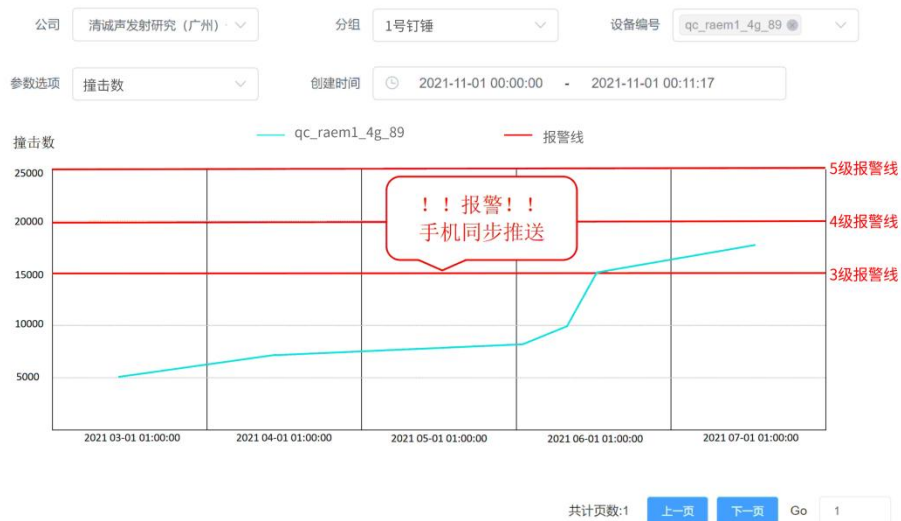
该声发射源综合等级评定均为II级,建议对该声发射源区进行其他常规检验方法的复验。
参考标准 NB/T47013.9-2015《承压设备无损检测第9部分:声发射检测》。

优点:免布线,免供电,使用方便

3) 金刚石合成过程钉锤开裂的声波(声发射)诊断



人工合成金刚石过程中,呈现正方体的芯料由六个钉锤施力加载,在某一个钉锤加载面收到破裂时,如不能及时停机,则六个钉锤会发生互相顶撞并全部报废的状况;之前由全人工进行人耳巡检,听到异响再跑过去停机,效率低且漏检率高,因此引入声发射在线监控技术,对压机合成过程实时监控对开裂信号发出报警,且引发合成压力机停机机制。



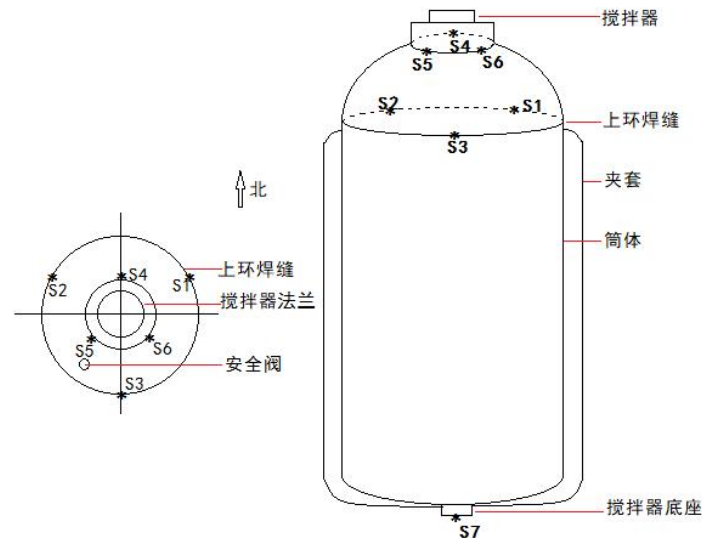
针对现场大幅值的噪声干扰,使用模拟和数字滤波器针对性的去噪,可有效提高检测动态范围;利用声发射独有的事件生成机制,利用空间滤波,可准确识别声源发生位置,并判断钉锤开裂信号。

4) 禹城市绿健生物技术有限公司反应釜声发射检测

位于某公司公司磁力驱动反应釜于 2011 年 4 月制造，2011 年 8 月投用，壳程介质为镍粉、葡萄糖。

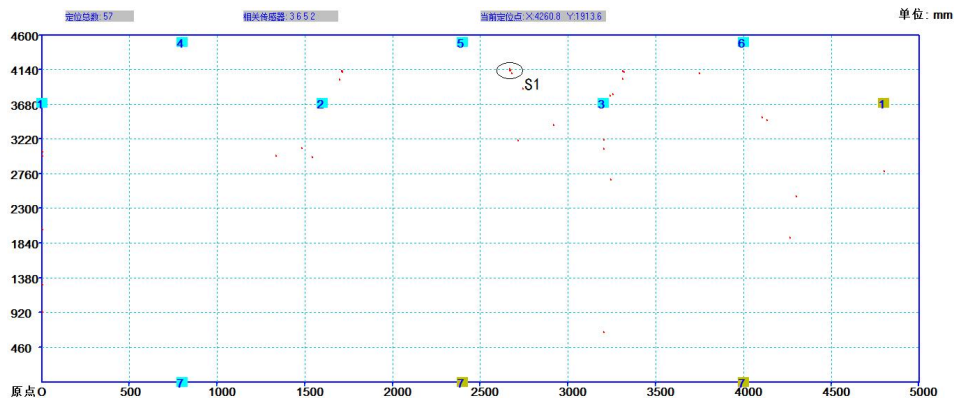
检测实施前，根据检测技术要求，结合该罐具体情况编制了现场检测方案，并于 2019 年 5 月对该反应釜进行声发射检测。

通过内部水压填充，结合声发射对容器筒体和封头部位做检测，该容器平时最大工作压力为 10.5Mpa，检测环节试验压力为 11.6Mpa，经过一次加压循环，在最大工作压力和试验压力时做出声发射评价。

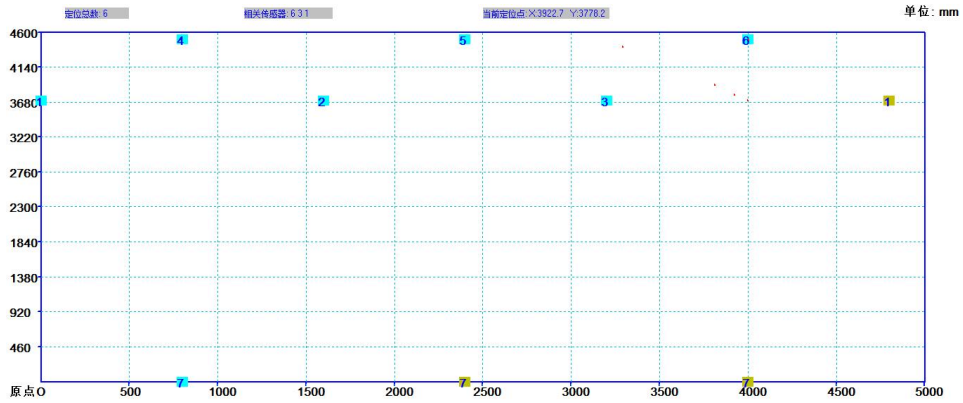


反应釜传感器布置示意图

经衰减测试，下底与上环缝之间可进行时差定位，共使用 7 个传感器，每个探头均采用 RAEM1 内置电池带无线同步的采集器，搅拌器法兰座一圈均布 3 个传感器 4~5~6，等间距 0.65 米；上环缝均布 3 个传感器 1~2~3，等间距 1.67 米；层间表面间距 0.83 米；上环缝到下底轴承座 3.72 米；4#传感器位于 1#和 2#传感器中线上。



反应釜升压阶段时差定位图

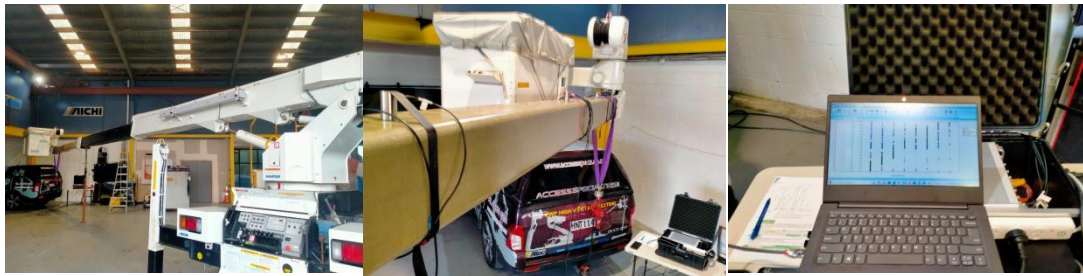


反应釜保压阶段时差定位图

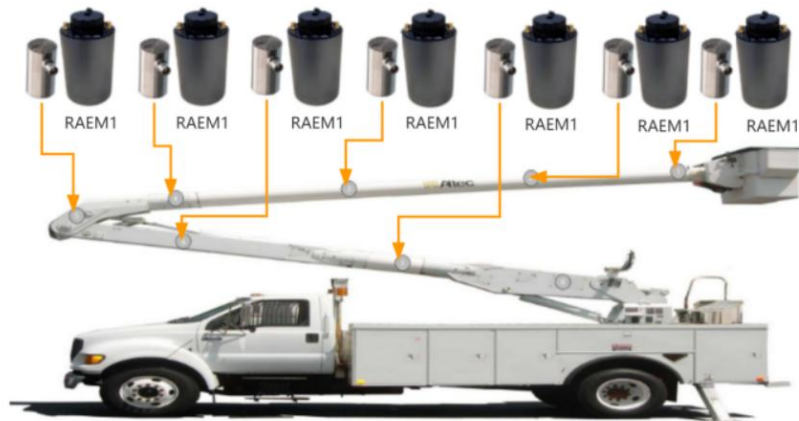
对升压、保压环节声发射数据进行小振铃计数、长持续时间参数过滤后进行时差定位分析。

检验结论：发现一处声发射定位集中源区 S1，其强度等级中强，活度等级中活，声发射综合等级为 II 级，建议结合实际情况进行其它无损方法复验。

5) 曲臂式高空作业车曲臂结构的声发射检测

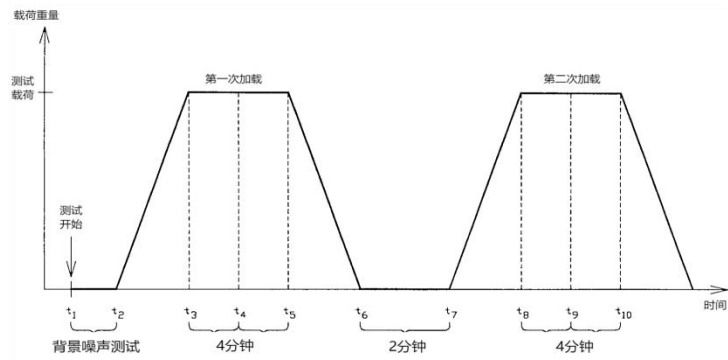
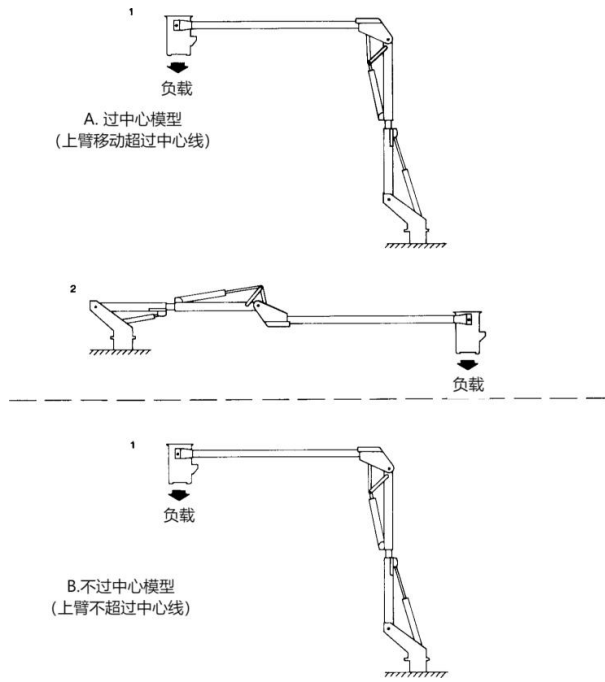


曲臂式高空作业平台故障一般发生在玻璃钢（FRP），或发生金属悬臂的裂纹断裂、平台的失衡倾侧倒下等。



本测试方案是参考 ASTM-F914-03 无附加荷载调节装置的绝缘和非绝缘空中人员设备的声发射标准测试方法。

将负载测量装置（称重传感器及其系统）连接到如图所示的负载位置，该系统依次应连接到足够的自重或锚。



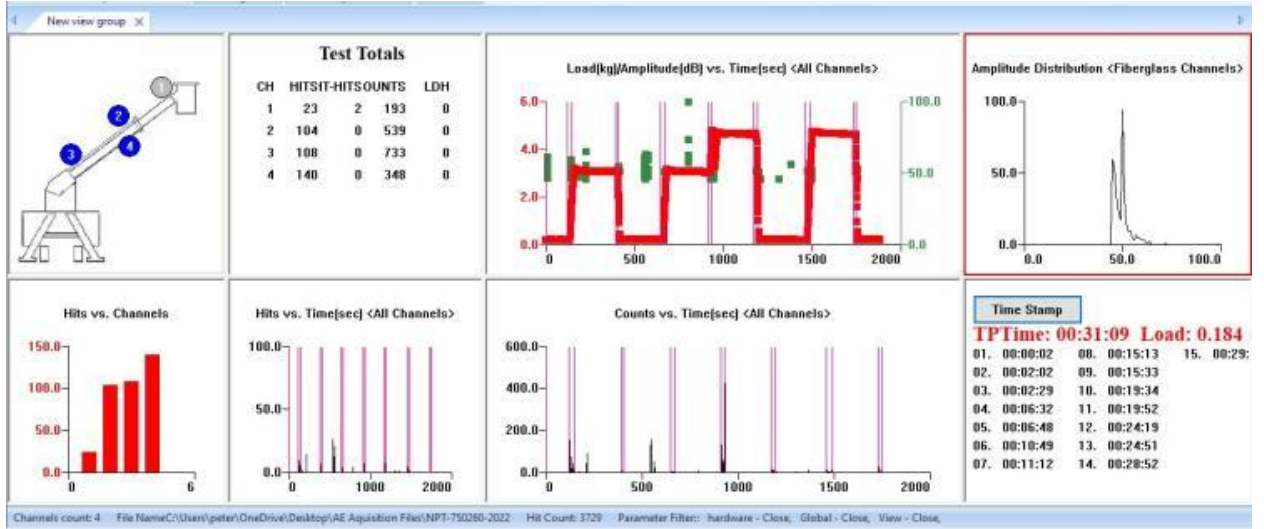
空中设备加载过程

根据具体的测试载人空中设备的型号和大小,推荐下图的传感器安装位置以及空中设备测试位置。在测试中,这个系统保持在图中的状态不变,然后开始连续采集监测声发射信号。其中载荷是直接加载到连接到平台上的负载称重链条上。



曲臂式空中设备测试位置

记录结果:



曲臂式空中设备软件视图示例