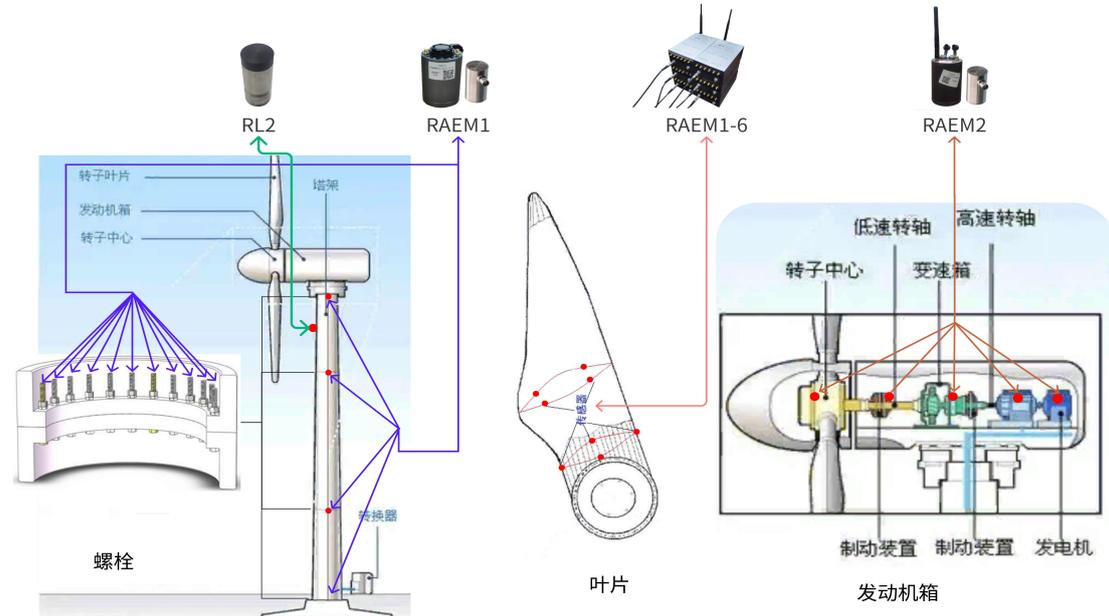


风电设备的声波（声发射）监测检测

1、简介

风电设备的声波（声发射）监测检测主要两大部分，**结构损伤监测检测（叶片、塔筒、螺栓）**和**转动设备的状态监测检测（轴承齿轮箱的润滑、磨损、损伤等）**。



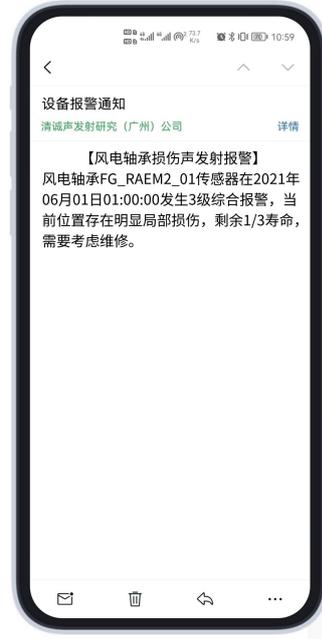
部件位置	型号, 主要指标	数量	原理
叶片长度中间部位对着的塔筒位置	RL2, NB-IOT 到云端, 电池运行 3 年以上	1 个	叶片外表面发生变形、裂纹等肉眼可见显著损伤, 会持续产生显著大于以前背景噪声的声波, 系统定时接收分析这些声波, 得出叶片损伤情况。
叶片内部	RAEM1-6, 接入风电网络系统。接风电塔内部电源。	多个 (叶片根部等位置)	系统连续监测叶片脱粘、纤维断裂、裂纹扩展等显著损伤过程产生的声波信号, 对叶片做出健康评价。
转动设备适当位置	多个 RAEM2, 每个转动部件约 2 米距离间隔。接入风电网络系统。	多个	转动设备磨损、凹坑、裂纹等故障导致特征声波信号, 系统定时采集分析声波信号获得故障信息, 得到转动设备的损伤状况。 润滑油中杂质、缺油导致干磨等都会产生不同于正常润滑的声波, 系统定时采集分析声波信号, 通过声波特征参数随润滑状态改变呈现的一定变化规律, 判断风电机组润滑状态。
螺栓上或紧邻法兰上, 包括塔筒螺栓和轴承等部件的螺栓	RAEM1, 塔筒内螺栓采集器接入该塔的内部风电网络系统, 塔筒外螺栓 NB-IoT 到云服务器。电池、DC 供电。	多个 (螺栓数量, 每个螺栓安装 1 个)	系统接收分析风电螺栓发生裂纹、断裂、松动等缺陷过程中释放的瞬态弹性波, 得到螺栓缺陷状态信息。

塔身内塔筒监测部位	RAEM1，接入风电网络系统。塔筒需要监测的部位。电池、DC供电。	多个	风电塔筒变形、开裂和裂纹扩展等损伤过程中常伴有微弱声波产生，系统接收分析这些声波，评估塔筒的健康状态。
-----------	-----------------------------------	----	---

效果：365 天实时在线监测检测，物联网远程操控使用，全程自动分析结果，手机报警推送。



云平台数据图



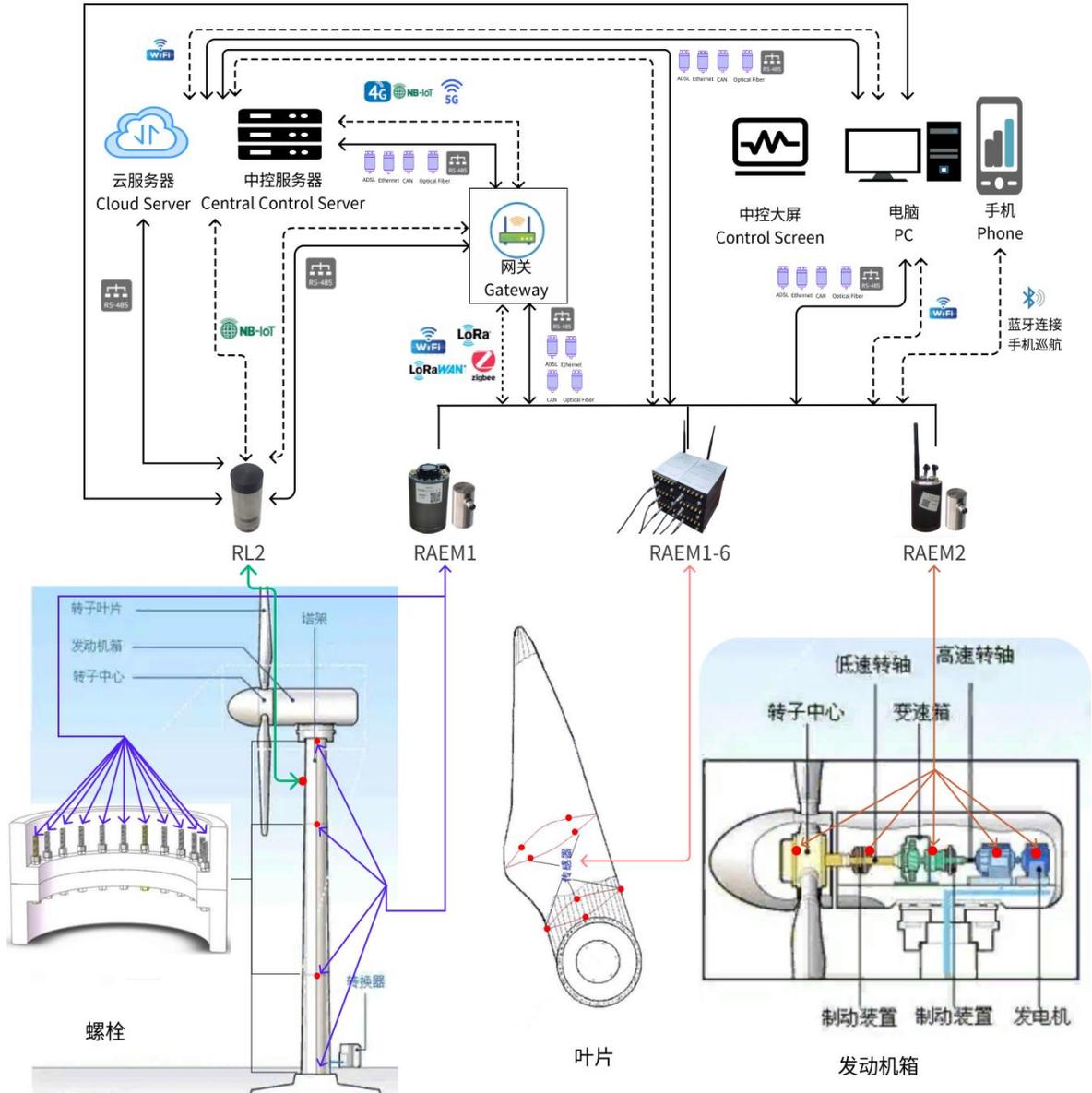
手机报警图

- 实时在线和历史数据屏幕显示
- 自动给出监测诊断结果
- 在线手机报警推送

2、系统连接及通讯方式

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。

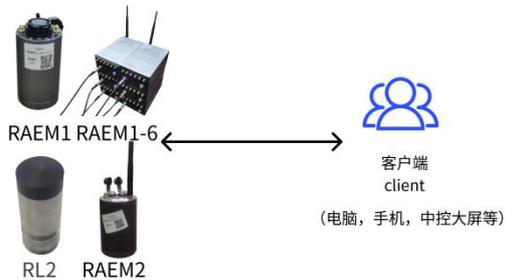
实线(Solid line): 有线连接(wired connection)
 虚线(Dotted line): 无线连接(wireless connection)



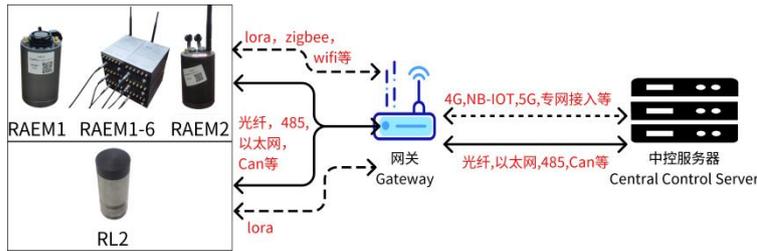
(因地制宜选择合适的通讯方式)

主要的 4 种方式:

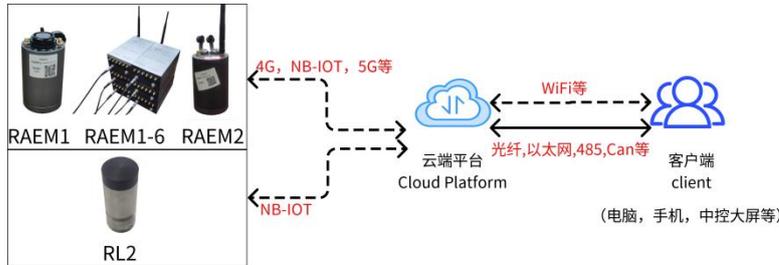
1) 现场操作与显示:



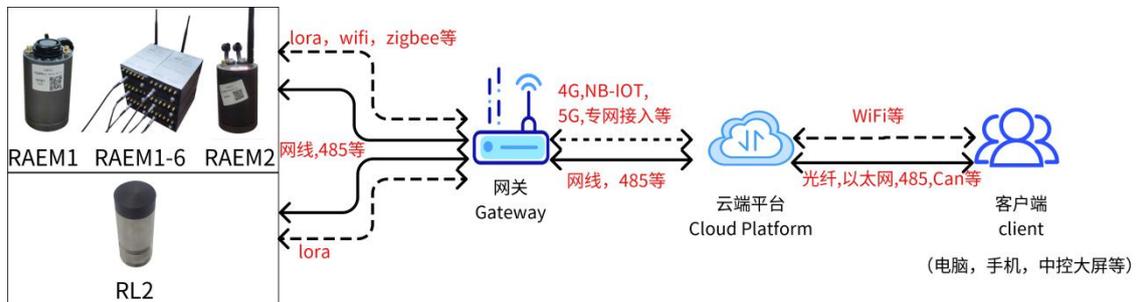
2) 中控室操作与显示:



3) 远程网络直连通讯系统:



4) 远程网络组网通讯系统:



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

1) 配置表

		RAEM1-6 声波（声发射）监测系统	RAEM1 声波（声发射）监测系统	RAEM2 声波（声发射）监测系统	RL2 声波（声发射）监测系统
应用		★叶片损伤	★塔筒损伤 ★螺栓损伤	★转动设备（损伤及润滑状态）	★叶片外表面显著损伤
传感器		40 系列传感器	150 系列传感器（螺栓） 150 系列传感器（塔筒）	40 系列传感器	10 系列传感器
采集器	名称	RAEM1-6 采集器	RAEM1 采集器	RAEM2 采集器	RL2 采集器
	通讯方式	有线	RS-485	RS-485	/
			CAN	CAN	
			LAN	LAN	
无线	4G(流量计费参考运营商套餐)	4G(流量计费参考运营商套餐)	4G(流量计费参考运营商套餐)	NB-IOT 或 4G	

		WIFI	WIFI	WIFI	LORA
		蓝牙(手机蓝牙巡检)	蓝牙(手机蓝牙巡检)	蓝牙(手机蓝牙巡检)	/
		LORA(组网)	LORA(组网)	LORA(组网)	/
终端输出	手机	APP	APP	APP	/
		微信小程序	微信小程序	微信小程序	微信公众号
		短信	短信	短信	短信
		邮件	邮件	邮件	邮件
	云平台	清诚物联网云平台	清诚物联网云平台	清诚物联网云平台	有人网
		阿里云平台	阿里云平台	阿里云平台	
		亚马逊云平台	亚马逊云平台	亚马逊云平台	
	电脑软件	SWAE 软件	SWAE 软件	SWAE 软件	/
		RAEM1 软件	RAEM1 软件	RAEM1 软件	

注：云平台可根据客户需求，选择客户的私有云平台，或清诚的私有云平台

2) 采集器

可多个采集器组成多通道监测系统，对大型设备实时监测

①RAEM1-6

	<ul style="list-style-type: none"> • 信号和时间触发 • 瞬态信号和连续信号采集 • 长期监测诊断和远程监测 • 多通道检测仪
---	---

通道组合	单通道、6 通道或级联使用	采样精度	16 位
采集方式	信号触发/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
输入带宽	10kHz-800kHz	供电	12VDC
内置 SD 卡容量	64G (可拓展至 512G)	重量	1.6kg
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	0kHz~1000kHz 频率范围内任意数值设置直通、高通、低通、带通（结合模拟滤波器使用）		
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		
时钟同步	可以串口（有线）级联大通道，36 通道同步时钟精度≤10us		

通讯方式	网口、4G、WiFi
使用温度范围	LAN: -20℃~60℃; WiFi: 0℃~60℃
尺寸	长 x 宽 x 高: 22mm x 13mm x 8mm
时钟同步	可以串口（有线）级联大通道, 36 通道同步时钟精度≤10us

②RAEM1

 <p>重量: 220g</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 信号和时间触发 • 瞬态信号和连续信号采集 • 长期监测诊断 • 远程监测和无线单通道检测仪
---	---

技术指标:

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 ϕ 62mm, 高度 100mm		
安装	底部自带磁性, 可吸附于被测物体表面		

③RAEM2

	<ul style="list-style-type: none"> • 时间触发 • 连续信号采集 • 远程监测，长期监测诊断 • 低功耗低成本
---	---

技术指标:

通道	单通道 AE 输入	采样精度	16 位
采集方式	时间触发采集	系统噪声	优于 30dB
采样频率	2M 点/秒	动态范围	70dB
防护等级	IP65	输入带宽	10kHz-400kHz
时间参数输出	幅度、RMS、ASL、能量		
可选择数据输出端口	4G、wifi、网口、RS485、CAN、lor a、蓝牙等		
电池供电	电池供电、外部电源供电（直流 12V）		
使用温度范围	-20℃~60℃		
尺寸	圆筒直径 ϕ 62mm，高度 50mm-120mm，取决于内置模块内容		
安装	底部自带磁性，可吸附于被测物体表面		

④RL2

	<ul style="list-style-type: none"> • 时间触发 • 连续信号采集 • 远程监测，长期监测诊断 • 低功耗低成本
---	---

技术参数:

通道模式	单通道信号输入	采样精度	16 位
采样方式	按时间点采样/等间隔采样	系统噪声	优于 30dB
采样频率	最大采样率 200KHz	最大采样长度	200K
防护等级	IP65	信号输入带宽	100Hz-70kHz
输入阻抗	50 Ω	使用温度范围	-20℃--50℃
数字滤波器	档位无限组合，高通、低通任意设置		
前置放大器供电输出	5V		
数据输出	RMS, ASL, 功率, 电池电压		
通讯方式	RS485 端口, Modbus 协议		
供电	内置大容量电池, 功耗小于 1W		
尺寸	Φ 51mm \times 128mm		

3) 云平台

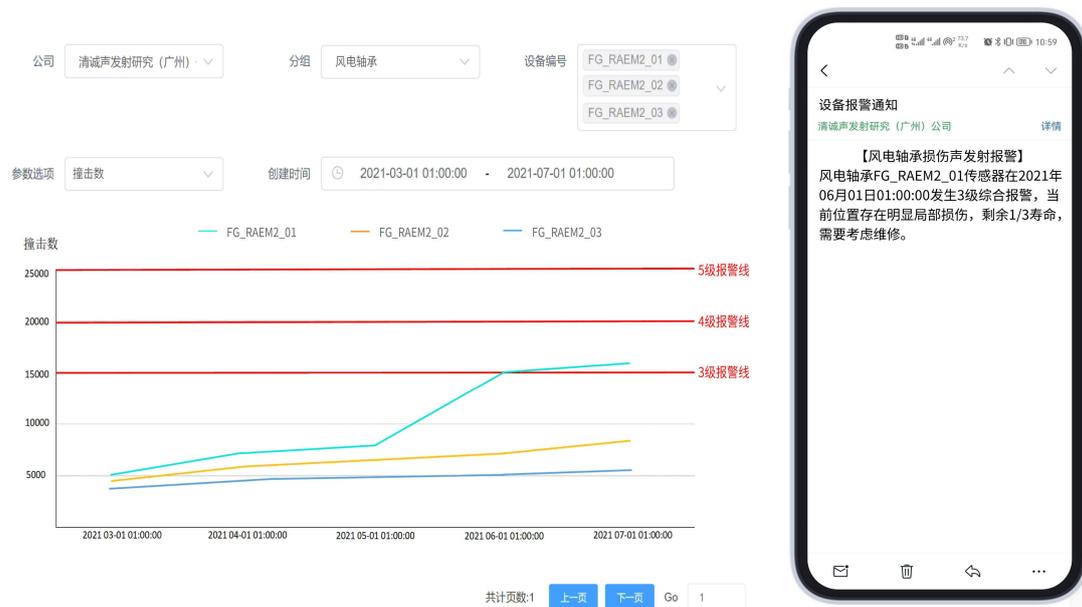
清诚物联网云平台、阿里云平台、亚马逊云平台等。

(可根据客户需求,选择客户的私有云平台,或清诚的私有云平台)



清诚物联网 阿里云平台 亚马逊AWS平台

①云平台数据显示:用户可以通过云平台进行远程监控,同时把报警信息推送给用户。



②远程系统升级:用户可以从云平台下载安装升级版软件、系统。

③采集参数设置:用户可以通过云平台进行远程配置,如参数配置、定时配置、评级配置等。

设备编号: sp_raem1_f_0001

评级开关: 开启 关闭

强度设置: + 添加强度

速度设置: + 添加速度

评级	值	删除
评级1	12	删除
评级2	86	删除
评级3	900	删除
评级4	1100	删除

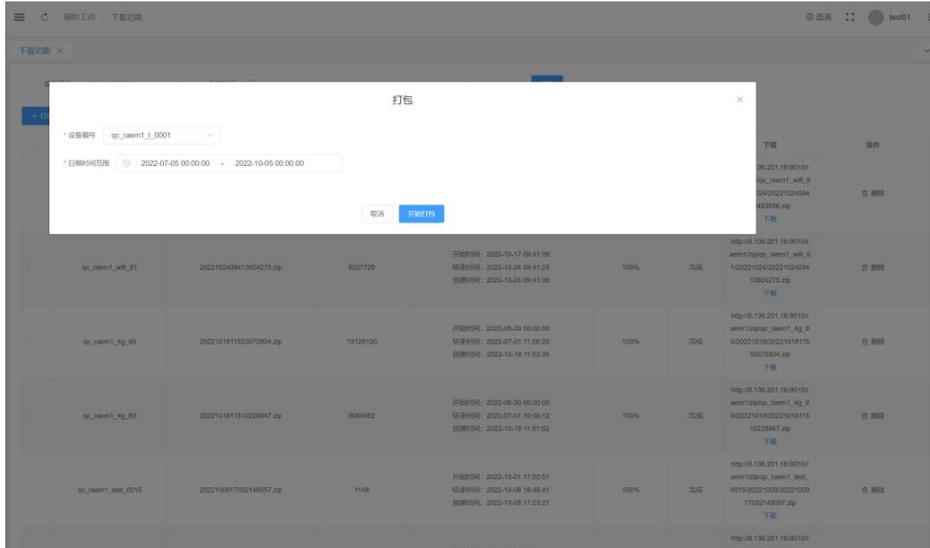
评级统计周期(s): 22

评级强度上报间隔: 不上报

实时强度上报最小间隔(s): 2

取消 确定

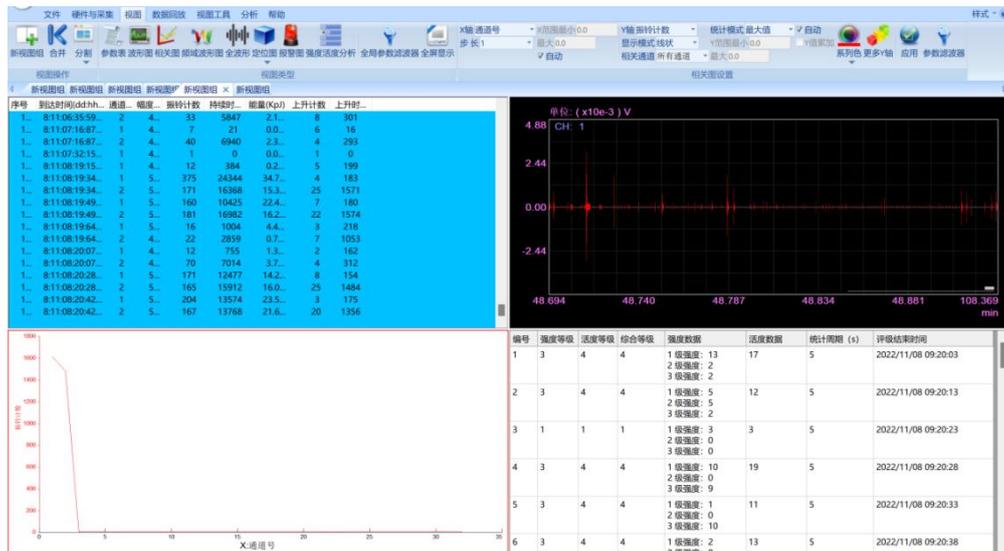
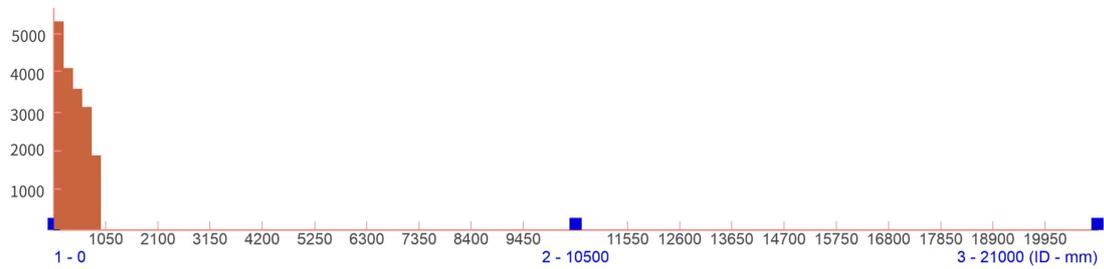
④数据下载:用户可以通过云平台,对历史数据进行远程数据下载。

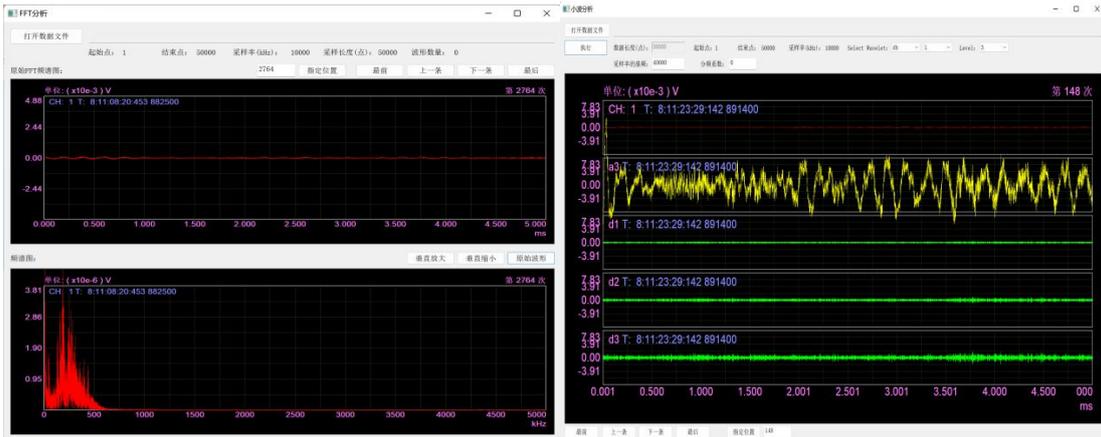


4) SWAE 软件- 电脑

数据可从云端下载后使用清诚的 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,以详细了解缺陷详细情况。

如定位分析、参数分析、相关图分析、波形分析、快速傅里叶变换、小波变换、评级分析等

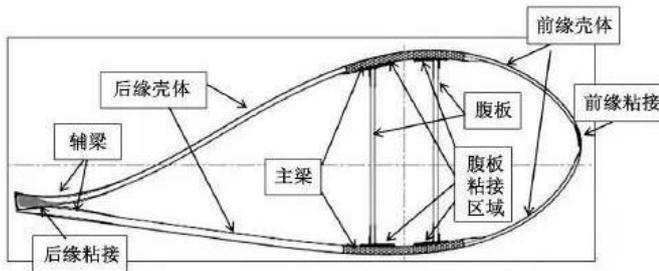




4、应用

1) 风电叶片监测检测

解决方案：RAEM1-6/RL2 系列远程声波（声发射）监测系统

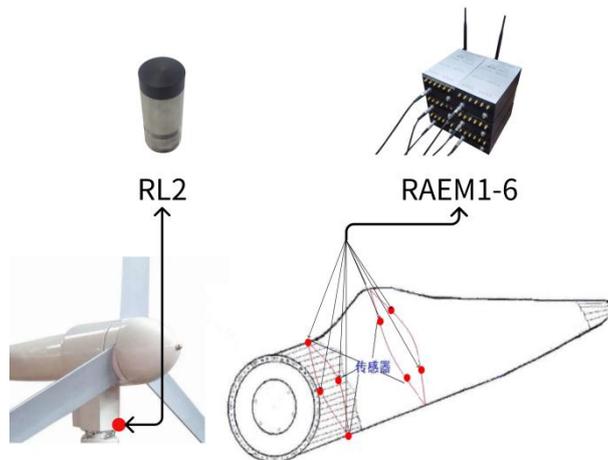


原理：风电叶片材料发生裂纹等损伤，严重到一定程度，会在工作载荷大时持续产生显著大于以前背景噪声的声波，声波（声发射）监测系统接收分析叶片声波，判断叶片损伤情况，对叶片完整性做出健康评价。

安装：

RL2: 叶片长度中间部位对着的塔筒位置

RAEM1-6: 叶片内部的靠近根部等位置



步骤:

- ◆叶片内部接近根部位置安装多个 RAEM1-6，连续监测叶片脱粘、纤维断裂、裂纹扩展等显著损伤。采集器通过无线 wifi 或网关等连接风电网络系统，并输出到云端。
- ◆塔身外对着叶片处安装 1 个 RL2（安装空气传感器），定时采集空气中叶片转动时的声谱，监测叶片外表面肉眼可见的显著损伤，如变形、裂纹等。采集器通过 NB-IOT 通讯到云端。
- ◆开启采集，数据分析验证，得到判据标准。
- ◆验证效果良好。
- ◆设置判据，手机平台推送信息。

2) 风电螺栓监测检测

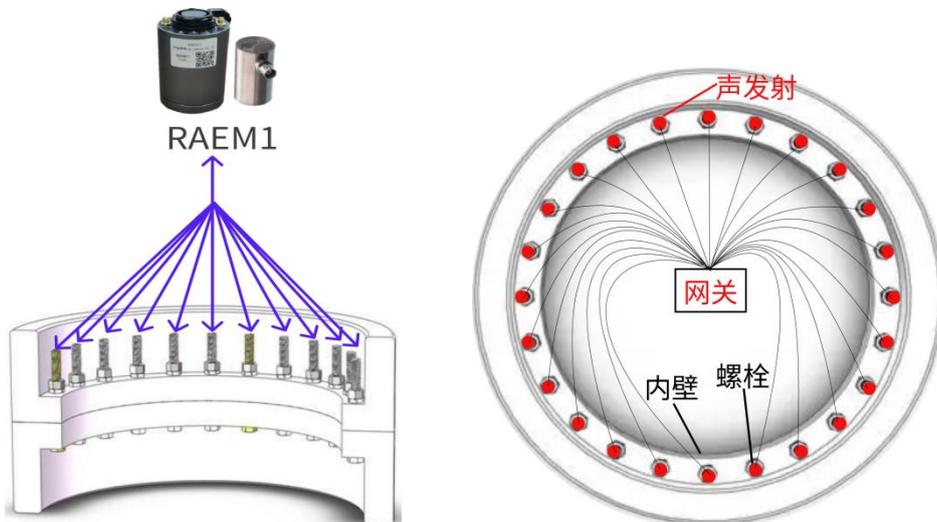
风机上用的紧固件较多，主要集中在两部分：

- ①叶片连接紧固件；
- ②塔筒联接紧固件：塔筒一般分为 3 节或 4 节。塔筒最下端一节，直径一般 4-5 米左右，塔筒与地面，塔筒之间，均用紧固件联接，所需紧固件在 300 套左右。



解决方案：RAEM1 系列远程声波（声发射）监测系统

原理：风电螺栓发生裂纹、断裂等损伤过程中释放瞬态弹性波，系统接收分析这个声波，得到螺栓缺陷状态信息。



安装:

螺栓上（每个螺栓安装 1 个），或紧邻法兰上，包括塔筒螺栓和轴承等部件的螺栓。

步骤:

- ◆关键部位安装 RAEM1，连续监测螺栓开裂、松动等信号。
- ◆塔筒内螺栓采集器接入该塔的内部风电网络，塔筒外的螺栓 NB-IoT 到云服务器。
- ◆开启采集，参数、波形输出
- ◆分析验证，得到判据标准
- ◆验证效果良好
- ◆设置判据，手机平台推送信息

3) 风电塔筒监测检测

在风电机组中，风电塔筒主要起支撑作用，同时吸收机组震动。但由于风电场所处环境较恶劣，易受到自身因素和外界环境的影响，发生材料的劣化和结构失效。

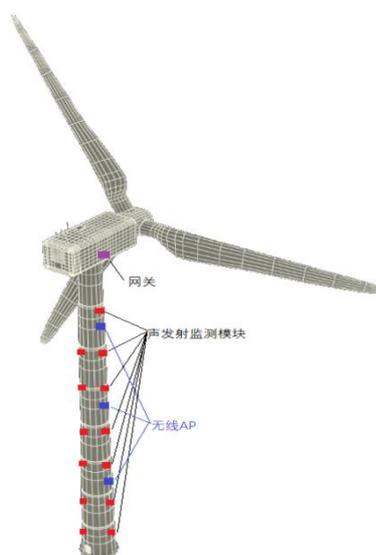


解决方案：RAEM1 系列远程声波（声发射）监测系统

原理：风电塔筒变形、开裂和裂纹扩展等损伤过程中常伴有微弱声波产生，系统接收分析这个声波，得到塔筒的缺陷程度、缺陷位置等信息，评估塔筒的健康状态。

安装:

塔身内塔筒监测部位（纵缝、环缝丁字口位置）



步骤:

- ◆需要监测的关键部位安装 RAEM1，连续监测塔筒重要部位，监测塔筒显著损伤，如裂纹等。
- ◆采集器无线 wifi 或网关通讯到风场服务器、监控屏等，同时通过 4G 等输出到物联网平台。
- ◆开启采集，波形、参数输出。
- ◆现场数据建立数据分析参考判据。
- ◆验证效果良好。
- ◆设置判据，手机报警推送。

4) 风电转动设备监测检测

风电转动系统是使叶片动能转换为电能的关键装置，通常包括轮毂、主轴、齿轮箱、减速器、发电机、轴承等零部件。

解决方案：RAEM2 系列远程声波（声发射）监测系统



①损伤监测检测

原理：风电转动设备磨损、凹坑、裂纹等故障导致特征声波信号，声波（声发射）系统采集和分析声波信号获得故障信息，得到风电转动设备的损伤状况。

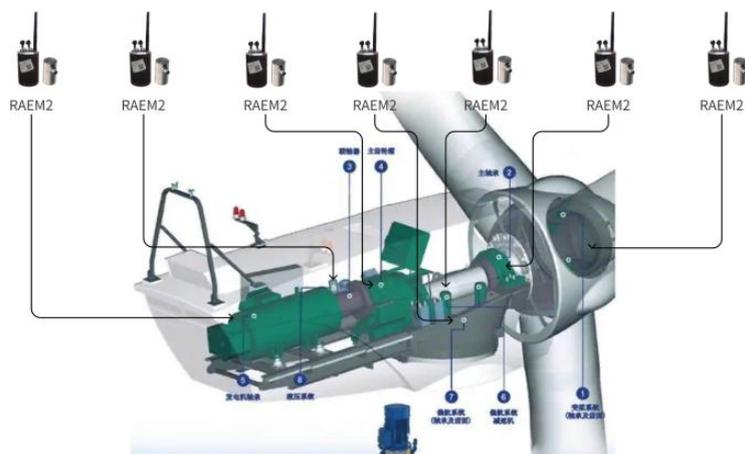
②润滑状态监测检测

风电机组主要的润滑部位包括齿轮箱、发电机轴承、偏航系统轴承与齿轮、液压刹车系统和主轴承等。润滑可以减少摩擦和磨损，保障风电机组转动机械长期稳定运转。

原理：润滑油中杂质、缺油导致干磨等都会产生不同于正常润滑的声波信号，采集和分析声波信号，通过声波（声发射）特征参数随润滑状态改变呈现的一定变化规律，判断风电机组润滑状态。

安装：

转动设备适当位置



步骤:

- ◆转动设备（轴承，齿轮箱等）安装 1-8 个 RAEM2（每个转动部件约 2 米距离间隔）。
- ◆采集器无线 wifi 或网关通讯到风场服务器、监控屏等，同时通过 4G 等输出到物联网平台。
- ◆定时启动和休眠系统，定时采集数据。
- ◆现场数据建立数据分析参考判据，同型号多台设备、同设备（无故障的，各种故障的）监测数据得到判据。
- ◆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

5、方案案例

案例：每隔 1 个月对某风电机组轴承进行一段时间的在线声发射监测，评估轴承损伤状况。

综合等级(5 个): 完好(1 级); 剩余 1/2 寿命(2 级), 剩余 1/3 寿命(3 级), 剩余 1/4 寿命(4 级) 剩余 1/5 寿命(5 级)

①云平台显示

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：该风电机组轴承监测中，1 号、2 号、3 号监测通道在云平台的时间-撞击数统计图



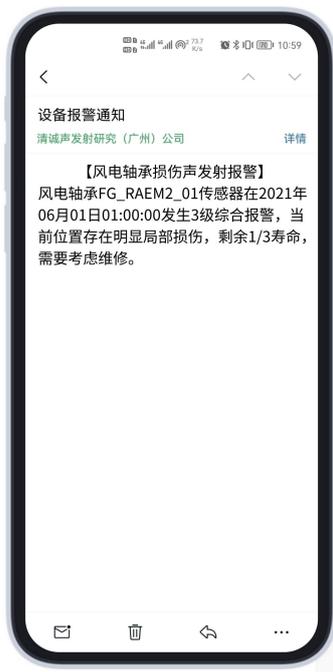
图 2：该风电机组轴承监测中，1 号通道每个月对应综合级别分别为：1，2，2，3，3



2021年6月触碰3级报警线(手机同步收到报警推送)。

②手机推送

报警方式：小程序、App、邮箱等。



邮箱报警推送



短信推送

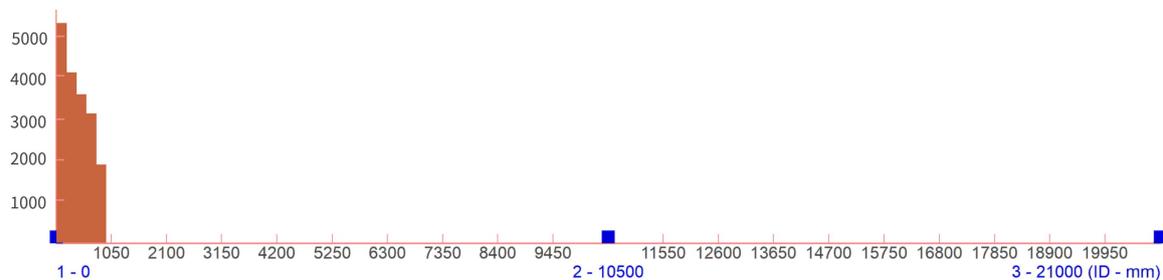


小程序(APP)报警推送界面

③SWAE 软件

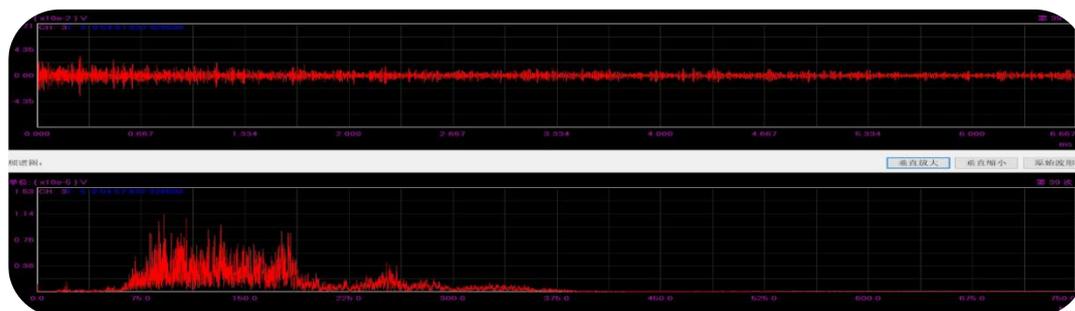
使用清诚的 SWAE 软件进行深度分析, 详细了解轴承缺陷详细情况。

图 1: 通过 SWAE 软件用线定位的方法对故障轴承进行定位。

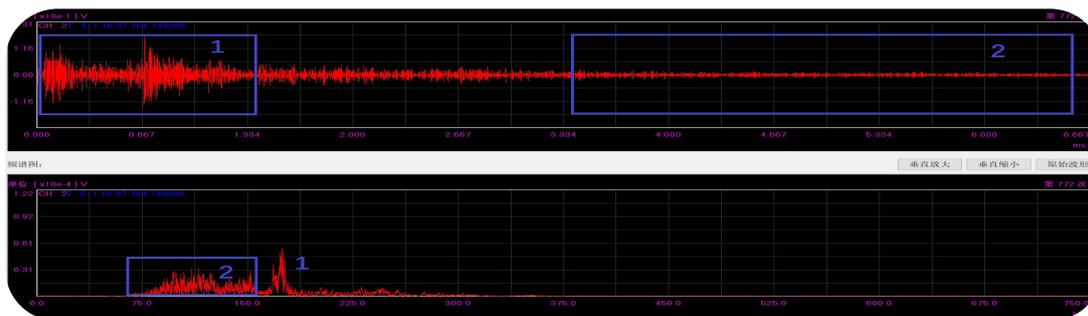


线性定位图

图 2、图 3: 分别对“好”的轴承和“坏”的轴承进行风电轴承声波(声发射)监测, 把采集到的数据通过 SWAE 软件进行时域分析和频域分析



“好”的轴承时域与频域图



“坏”的轴承时域与频域图

6、总结

实现了对叶片、塔筒、螺栓、转动设备损伤及其润滑状态等的声波（声发射）监测检测，并将报警信息自动推送给用户，方便用户及时开展维修，以延长风电设备寿命，杜绝因损伤累积发展而导致的损失和事故。

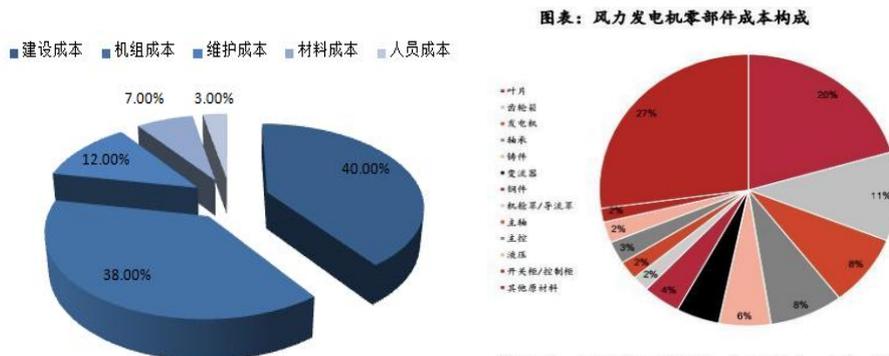


优点：

- 在线——声波（声发射）采集器安装在被监测诊断的对象上，实现全时段全天候状态监测故障诊断。
- 智能——自动给出监测诊断结果，不需要人工分析处理数据，不需要人工操作，数据采集分析报告展示整个监测诊断全过程自动进行。
- 远程——借助物联网系统，用户可以在任何位置得到任意不限距离位置的监测诊断点的监测诊断结果，在线即时结果和历史过程结果。

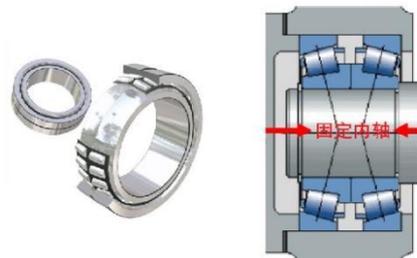
7、实际案例

据统计，风电设备在维护的投资损耗巨大。所以对风电机组进行预警性安全性监测，及早发现设备早期疲劳损伤裂纹，对灾难提前预警或避免故障发生、提高生产效率有重要的意义。

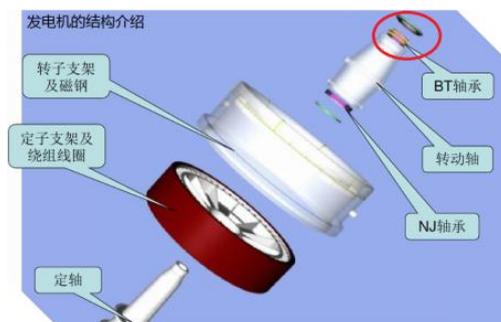


资料来源：电气风电招股说明书，各公司公告，中泰证券研究所

1) 风电轴承监测 (BT 轴承)



BT 轴承是双列圆锥滚子轴承，具有一个双滚道的外圈和两个内圈，两内圈之间有一隔圈。可以通过改变隔圈厚度来调整轴承游隙。该类型的轴承可以在承受径向载荷的同时承受双向方向的轴向载荷，可在轴承的轴向游隙方位内限制轴和外壳的轴向位移，主要用于承受以径向载荷为主的径向与轴向联合载荷，具有承载能力大，极限转速低的特点。



结构示意图

BT 轴承介于转动轴与定轴中间，位于主轴前端位置，声发射传感器后端有信号线与主机相连，只能布置在定轴内侧，靠近 BT 轴承位置。



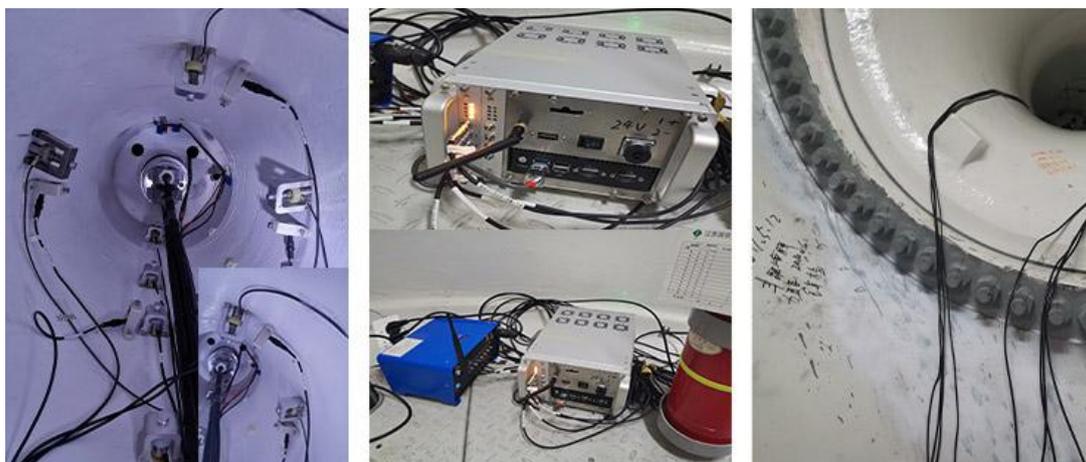
传感器及采集器安装布置

2) 江苏射阳风电轴承在线监测



风电轴承监测基本测试流程：

- ①传感器、放大器、检测仪主机等硬件安装；
- ②通过人工模拟源对各通道灵敏度标定，通道响应尽可能一致；
- ③通过施加人工模拟源在各结构件上，大致评估信号情况，如信号传导路径、衰减等；
- ④需要做定位分析时，需要用已知模拟源和定位源情况做误差分析；
- ⑤仪器传感器自标定测试（用于监测过程中判定仪器状态，尤其是传感器）；
- ⑥通过测试噪声确定阈值；
- ⑦长时间大数据采集，记录运行情况，载荷情况、环境情况（天气、检修等）；
- ⑧仪器设备拆卸前，再次模拟源对各通道进行灵敏度标定，记录差异，分析数据时加以考虑。



场景实操图

数据处理的基本方法（单台数据）：

- ①单台监测对象声发射数据结合载荷情况纵向对比（第一台选取的3月27日和4月5日凌晨数据）；
- ②参数历程图看趋势和分布规律，结合分析的轴承故障特征，判断故障点结构；
- ③参数的相关性，大致判定是信号类型和种类，如：幅度-ASL、持续时间-上升时间、振铃计数-上升计数、幅度-能量等可大致判断是裂纹还是摩擦信号；
- ④典型时域信号与其频谱对照分析归类；
- ⑤异常特征参数与波形信号关联分析，符合性鉴定，如高能量高幅度的信号不一定是裂纹信号，主要是对第3条做验证（参数分析叫波形分析效率高）；
- ⑥时差定位分析（均匀结构件效果好，准确度高，但对通道一致性要求高）。