

WILER ENERGY

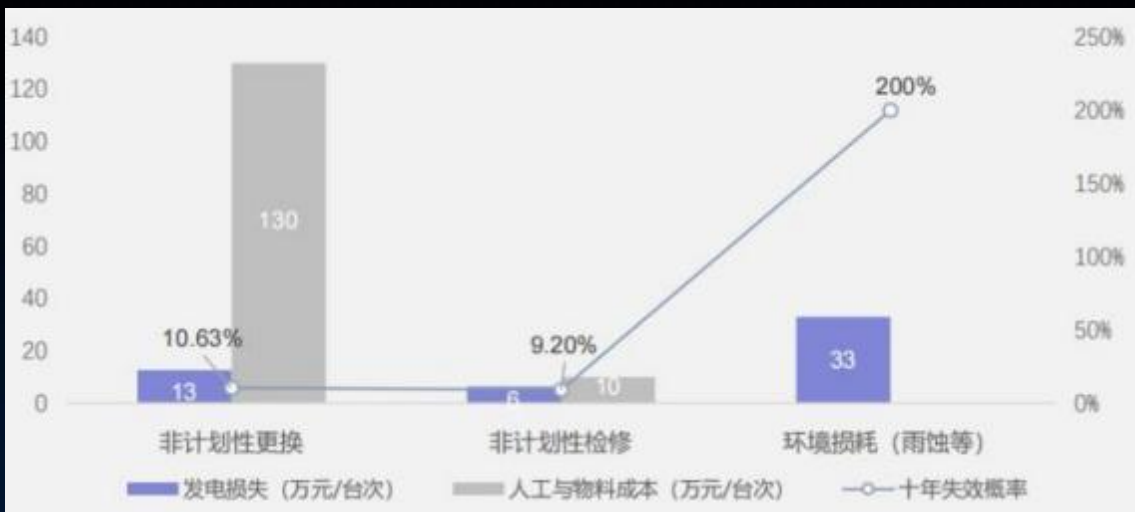
风场守护 智慧先行

叶片声音监测及预警方案

山东威尔勒技术服务有限公司

叶片损伤预警价值创造

叶片问题已经成为风电场设备运营的主要问题，单次叶片失效就会造成可观的发电损失与部件成本。

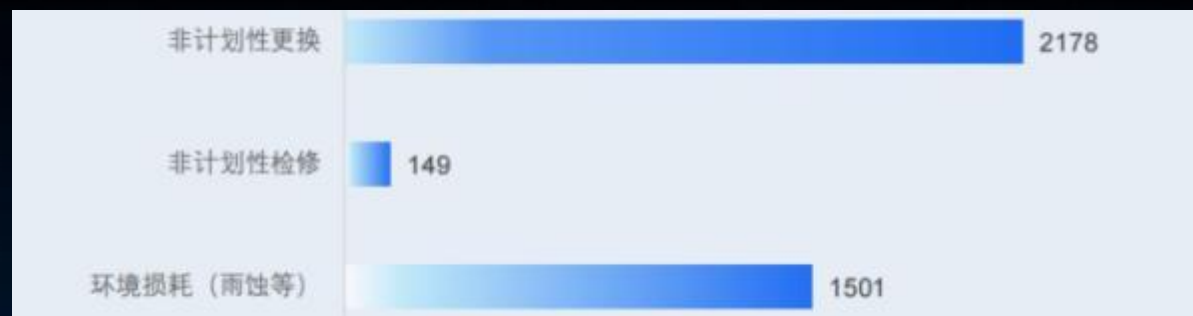


如果能提前预警，可以在故障初期采用更合理的检修计划排布，单次即可实现几万至百万的损失挽回。



以50MW, 33台风机核算

十年的叶片失效损失如下



十年所有风机如提前预警，可产生总价值创造为1212万元



行业内主要预警方案概览

检测手段	可检测故障类型	检测故障有效性	设备/人力成本	停机成本	应用成熟度
吊篮巡检	叶片表面损伤	低	中	1天/台次	高
		依赖于人工经验			
无人机巡检	叶片表面损伤	低	高	30分钟/台次	高
		需额外人为判定			
光纤载荷传感器	叶片结构损伤	中	高	初始安装 2天/台	中
		损伤检测位置有限，通常 需要长期运行数据			
振动传感器	叶片结构损伤	中	中	初始安装 2天/台	高
		特定位置的结构损伤			
声音传感器	叶片表面损伤	高	低	初始安装 1天/台	高
	叶片结构损伤	在线定量损伤衡量			

远景叶片声音监测系统：方案

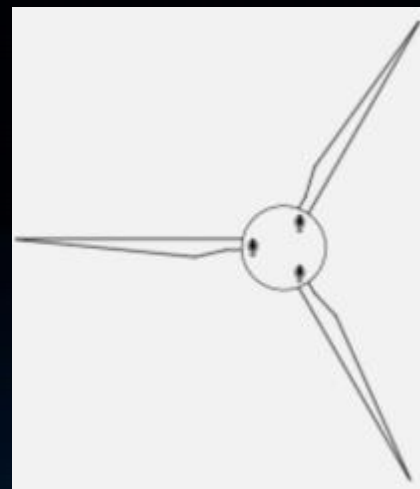
- 健康叶片在运行过程中会有**正常的扫风声音**，与叶型、桨角等因素有关；
- 当**某支叶片存在损伤**（表面损伤或结构损伤），会在运行过程中产生**异响**。

>> 有异响的典型损伤：

前缘腐蚀、排水孔堵塞、后缘开裂、铝叶尖异常；
壳体鼓包、壳体开裂 ...

系统构成：

- 在塔筒上和轮毂内分别安装声音传感器
- 通过声音传感器采集叶片运行过程中的扫风声音和内部异响
- 智能算法能够实现对异常声音的识别
- 进一步对叶片的健康状态进行预警



轮毂内测点示意图



塔下测点示意图



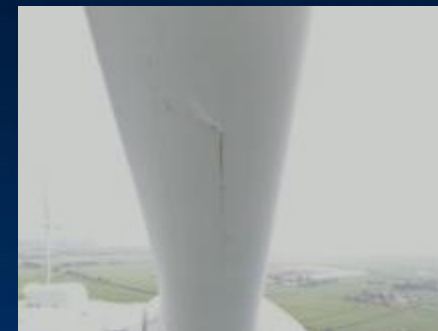
前缘腐蚀
排水孔堵塞



后缘开裂
铝叶尖异常

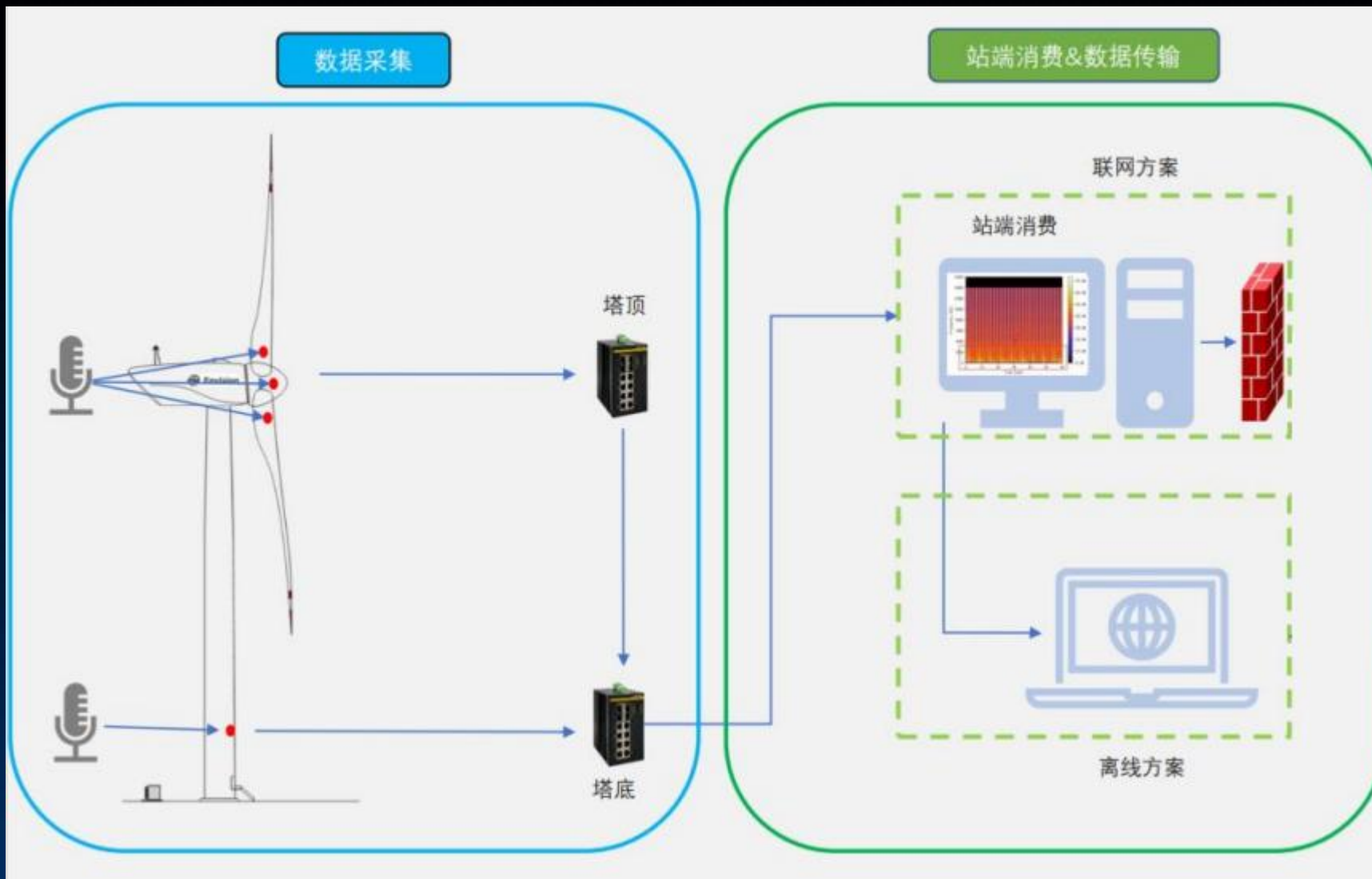


壳体鼓包



壳体开裂

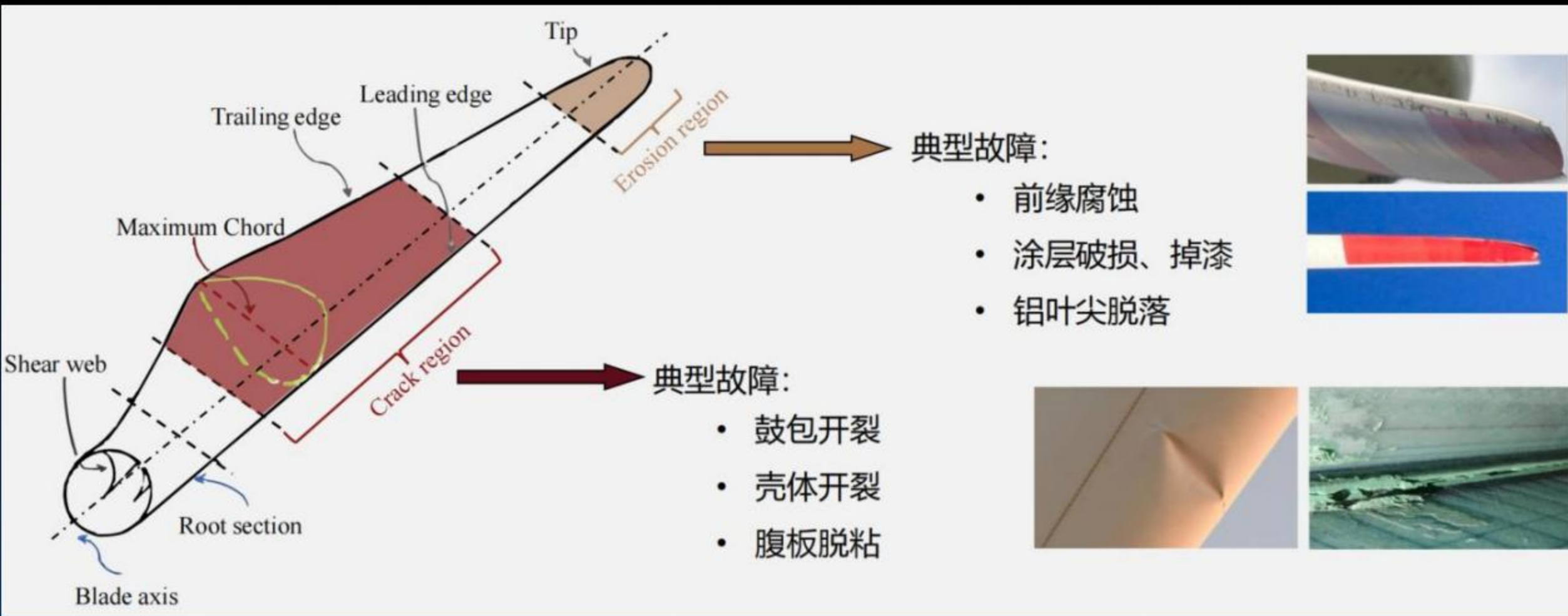
叶片声音监测系统：系统方案



参数项	性能描述
指向性	指向型
拾音范围	1-30米 (可调节)
灵敏度	-35dB
动态范围	100dB(@1KHz)
咪头尺寸	8咪麦克风阵列
语音监听	1-30米 (可调节)
关键字识别	支持, 自定义修改
网络	1路RJ45 (10M/100M 自适应) POE IEEE 802.3at/af
输入电源	POE IEEE 802.3at/af
频率响应	20Hz~20kHz
保护电路	雷击保护/电源极性反转保护
连接方式	网线
输出阻抗	1000 欧姆非平衡
产品重量	835g
最大承受音压	120dB(@1KHz)
信号输出幅度	1Vrms(@1KHz)/ 2.8Vpp(@1KHz)
环境降噪	1-16级可调



叶片声音监测系统：预警能力



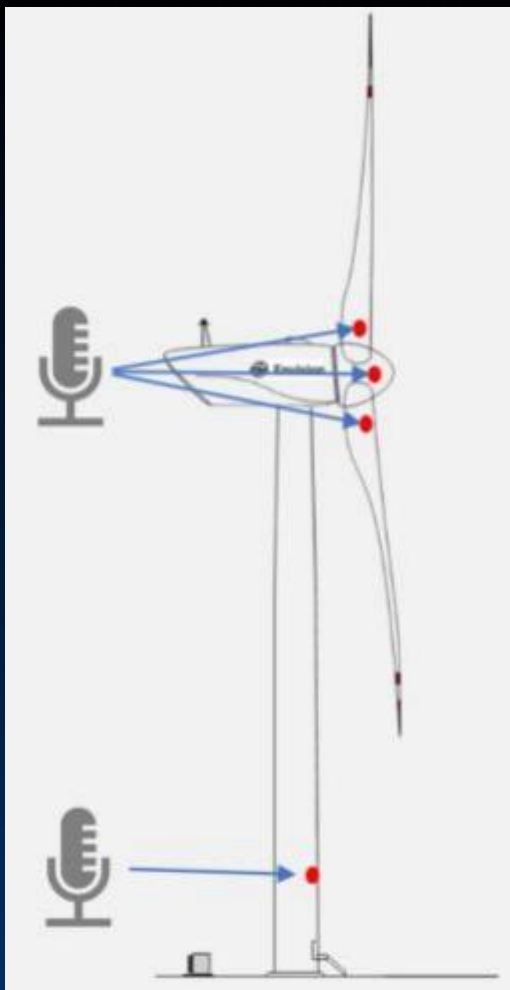
叶片声音监测系统：原理

声音信号采集

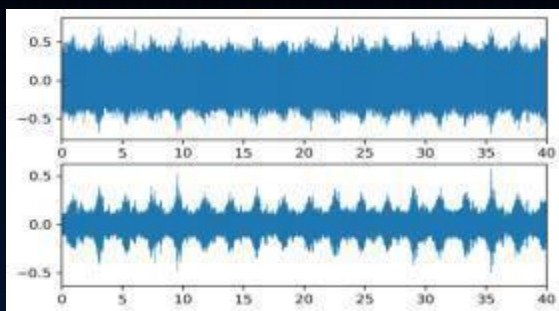
声音信号处理

故障特征提取

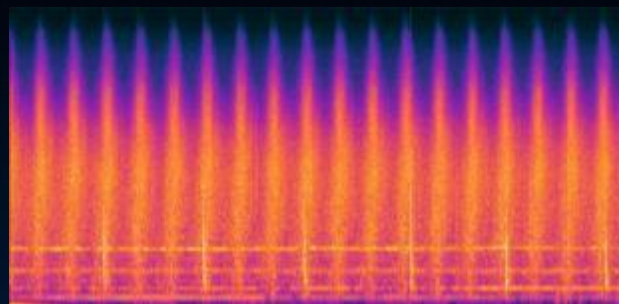
叶片损伤预警



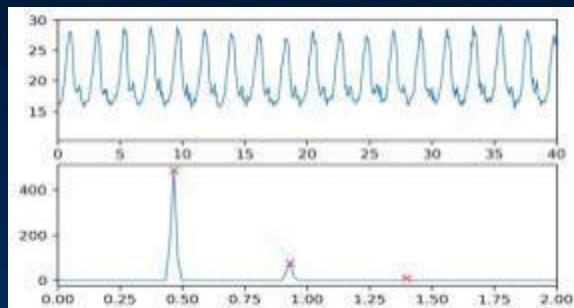
➤ 环境噪声去除



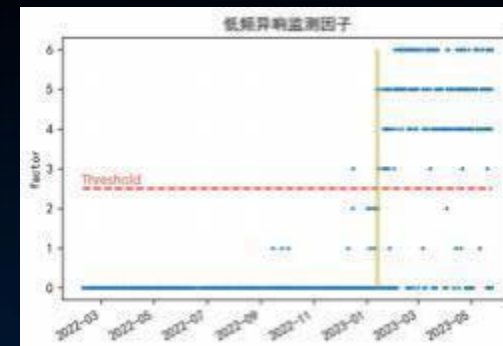
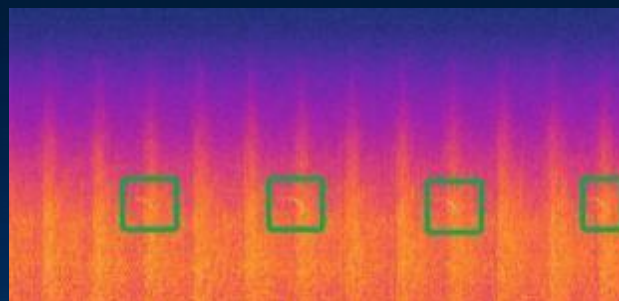
■ 结构异响



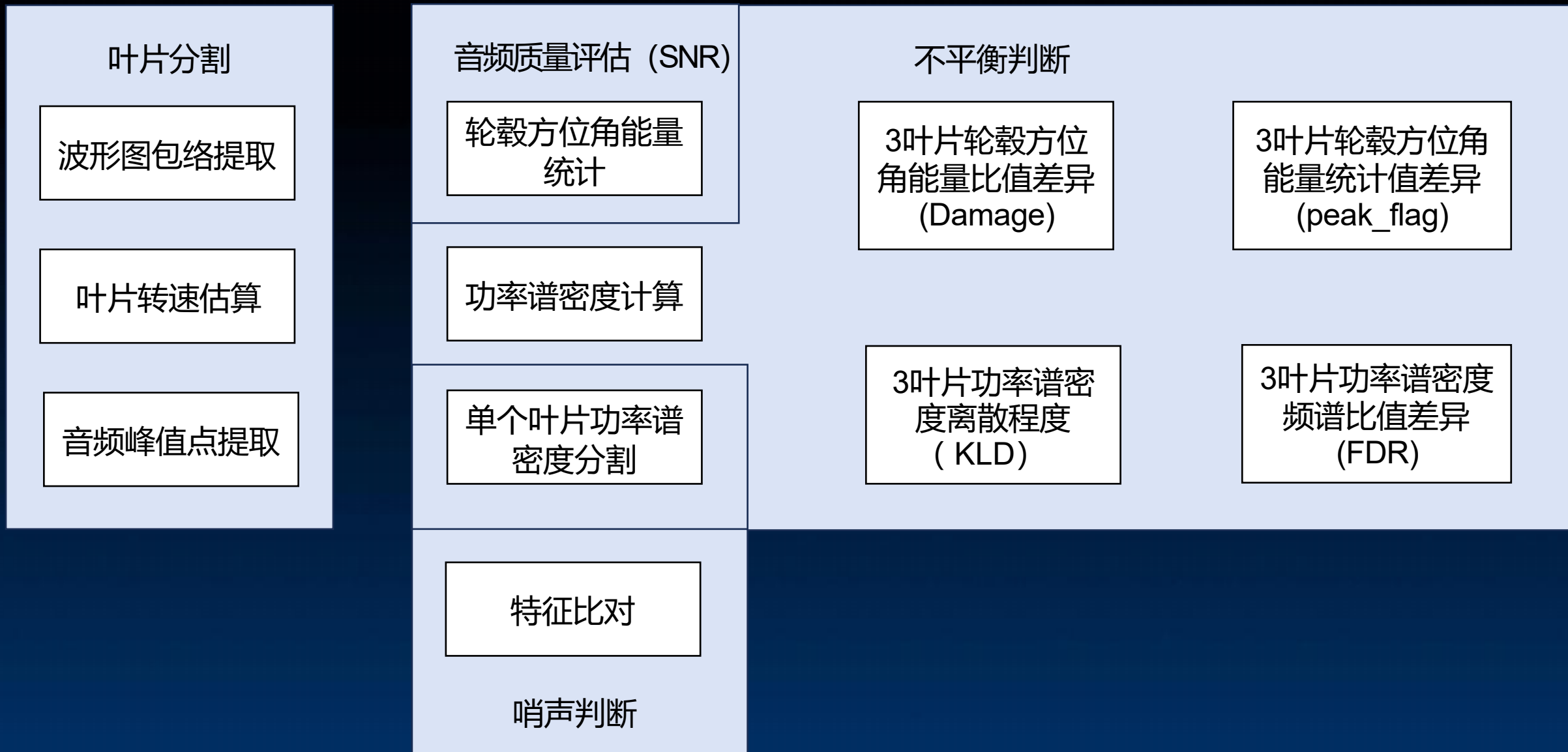
➤ 风轮转频估计



■ 哨音



叶片声音监测系统：算法原理



叶片声音监测系统：算法框架

叶片音频监测系统的算法框架如图所示：

1) 音频数据采集服务：

服务器数据服务与机组级音频传感器通信，存储音频数据到服务器文件数据中，采集服务可配置采集时长、采样频率、采集间隔等参数；

2) 音频算法1：

服务器调度服务定时执行音频算法1，生成音频数据中间结果保存到服务器数据队列中，默认固定时长间隔触发，1小时一次，中间结果格式确定；

3) 音频算法2：

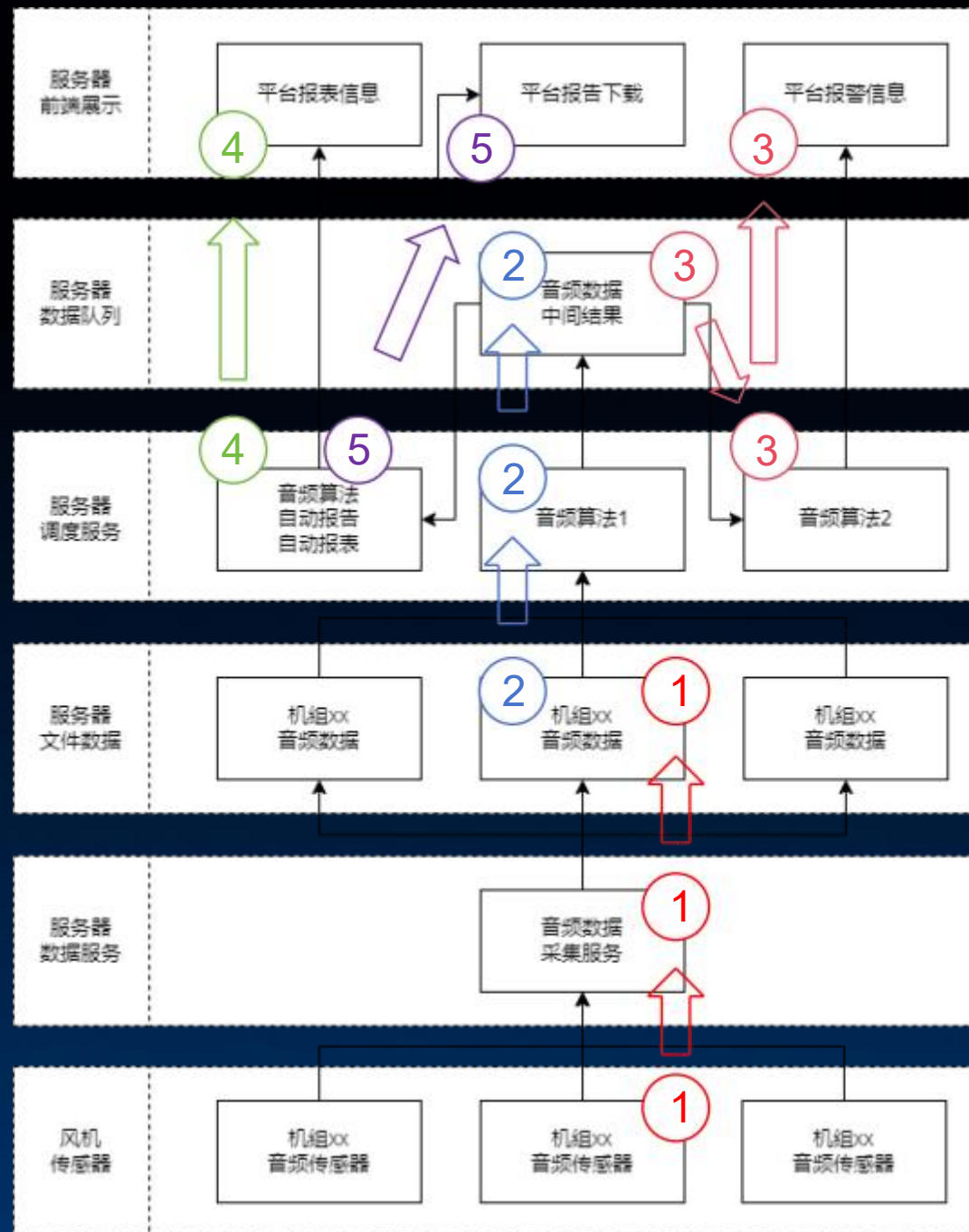
服务器调度服务定时执行音频算法2，生成平台报警信息，在服务器前端展示，默认固定时长间隔触发，24小时一次，一天执行一次预警，平台报警信息为传感器级别；

4) 平台音频报表生成：

人工前端操作生成报表，调用音频算法自动报告自动报表服务，生成平台报表信息在前端显示，可导出报表；

5) 平台音频报告生成：

人工前端操作报告下载，调用音频算法自动报告自动报表服务，异步进程报告生成，在前端显示，可人工执行报告下载，下载文件为压缩包形式；



叶片声音监测系统：自动化报表原理

平台音频报表生成如图所示：

根据场端服务器音频算子1的中间结果数据，通过服务器中风场报表统计函数，可以显示筛选时间段内，机组级别的音频诊断数据情况实时查看，也可以进行报表导出Excel文件的功能。

备注：当前显示报表为离线提供给业主报表，带有功能介绍和图片，场端平台导出报表功能不带有第二行数据。

WILER ENERGY		xxxx风电场叶片音频监测系统数据分析整场统计报表											
功能介绍		<p>音频缺陷检测主要由安装在风机端的工业级拾音器和部署在场端的服务器组成，服务器通过UDP方式获取音频数据，经过服务器端部署的基于人工智能的叶片音频预警模型，实现对叶片音频特征提取及音频失效模式判断及叶片损伤预警、叶片哨音预警，主要基于叶片间能量差异识别叶片是否损伤，针对风机叶片旋转的音频数据文件，进行音频特征提取、频域分析、频谱切分、图形匹配、损伤因子计算、叶片损伤分类，进而综合分析叶片损伤的概率性。技术人员可以通过中控室服务器进行音视频采集任务、音频检测模型的维护。</p> 											
序号	机组名称	开始时间	结束时间	音频总数量	有效音频数量	叶片异常音频数量	叶片异常音频百分比	哨声音频数量	哨声音频百分比	叶片异常诊断结果(判断阈值:50%)	哨声诊断结果(判断阈值:50%)	综合诊断结果	综合诊断置信度
1	1号机组	2024-06-26	2024-06-28	41	15	0	0.00%	11	73.33%	正常	告警	告警	0.7333
2	2号机组	2024-06-26	2024-06-28	41	10	3	30.00%	3	30.00%	正常	正常	正常	0.7000
3	3号机组	2024-06-26	2024-06-28	41	8	2	25.00%	8	100.00%	有效数据不足	有效数据不足	有效数据不足	0.0000
4	4号机组	2024-06-26	2024-06-28	41	13	10	76.92%	10	76.92%	告警	告警	告警	0.7692
5	5号机组	2024-06-26	2024-06-28	41	5	0	0.00%	0	0.00%	有效数据不足	有效数据不足	有效数据不足	0.0000
6	6号机组	2024-06-26	2024-06-28	41	5	0	0.00%	0	0.00%	有效数据不足	有效数据不足	有效数据不足	0.0000

机组选择

开始时间

结束时间

查询显示

导出分析报告

4#机组 5#机组

2024-06-18 15:44:07 2024-07-18 15:44:07

查询 重置

导出数据 打印导出

机组名称	开始时间	结束时间	音频总数量	有效音频数量	叶片异常音频数量	叶片异常音频百分比	哨声音频数量	哨声音频百分比	叶片异常诊断结果(判断阈值:50%)	哨声诊断结果(判断阈值:50%)	综合诊断结果	综合诊断置信度
4#机组	2024-06-18	2024-07-18	100	100	0	0	0	0	正常	正常	正常	1
5#机组	2024-06-18	2024-07-18	99	99	99	1	99	1	告警	告警	告警	1

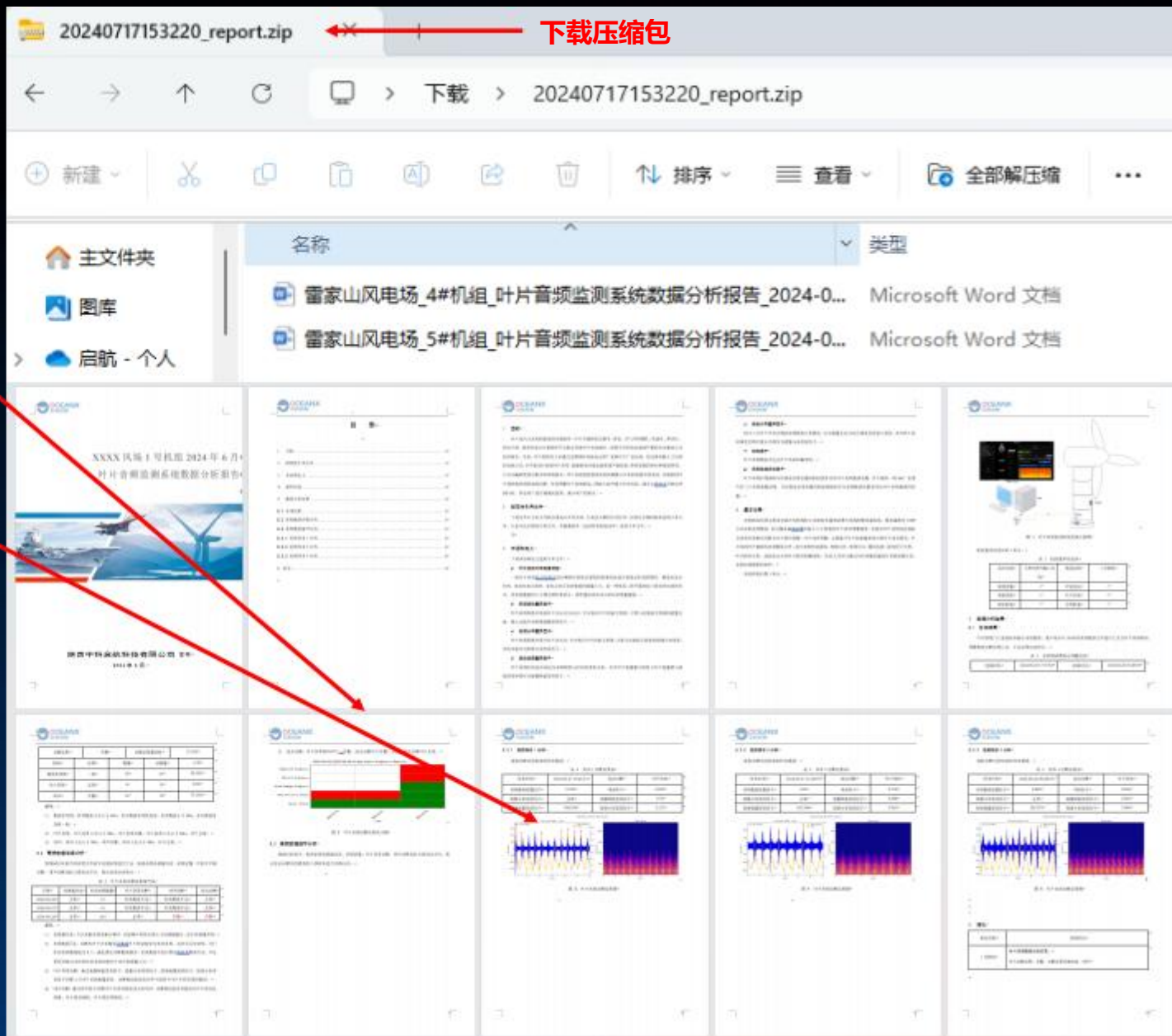
场端平台导出报表不带有该内容

报表导出

叶片声音监测系统：自动化报告

平台音频报告生成如图所示：

导出音频文件为压缩包形式，包含选择查询显示当前列表的机组、开始时间、结束时间的机组级报告。报告内容主要包括该时间段内天为单位的叶片音频监测系统报警情况及3个典型音频文件的样本示例。



报警情况

典型音频文件样本

报表导出

机组选择

开始时间

结束时间

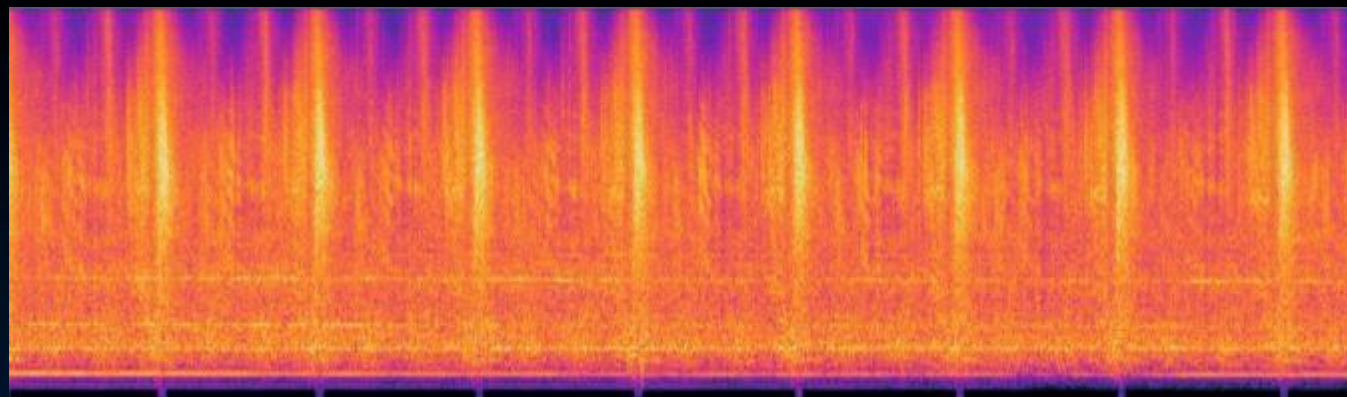
查询显示



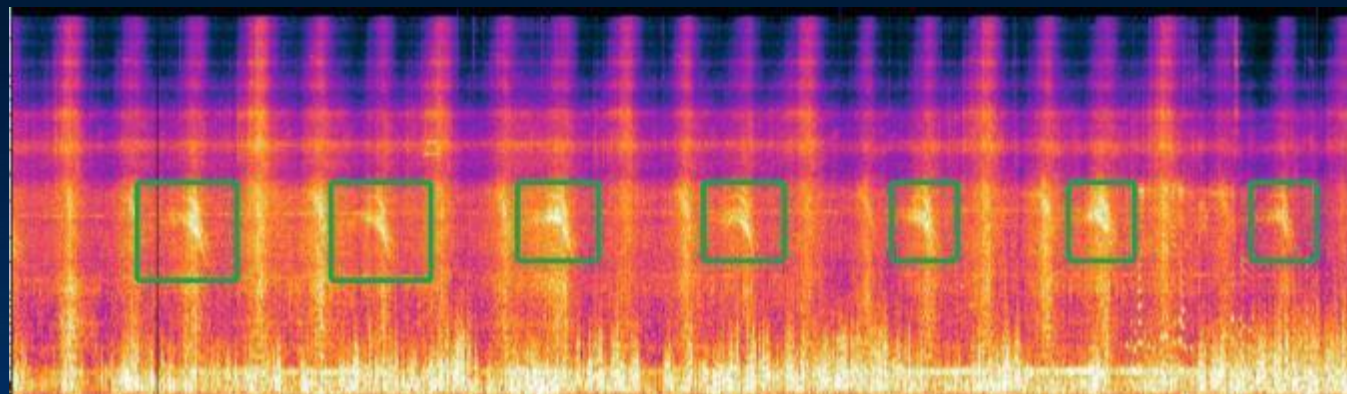
案例1：前缘涂层破损

发现运行过程中扫风声音异常

塔筒底部安装

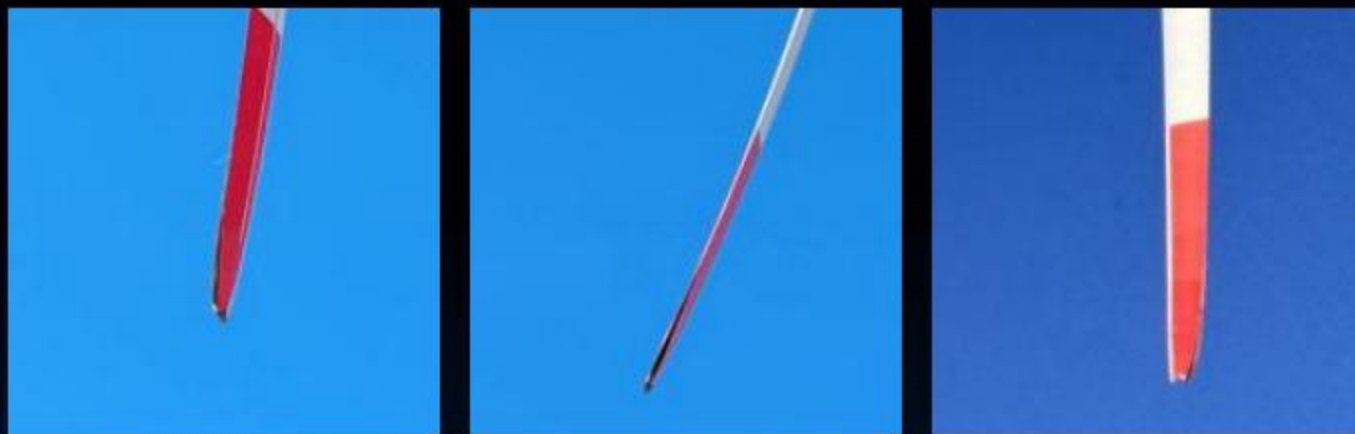


塔筒底部安装

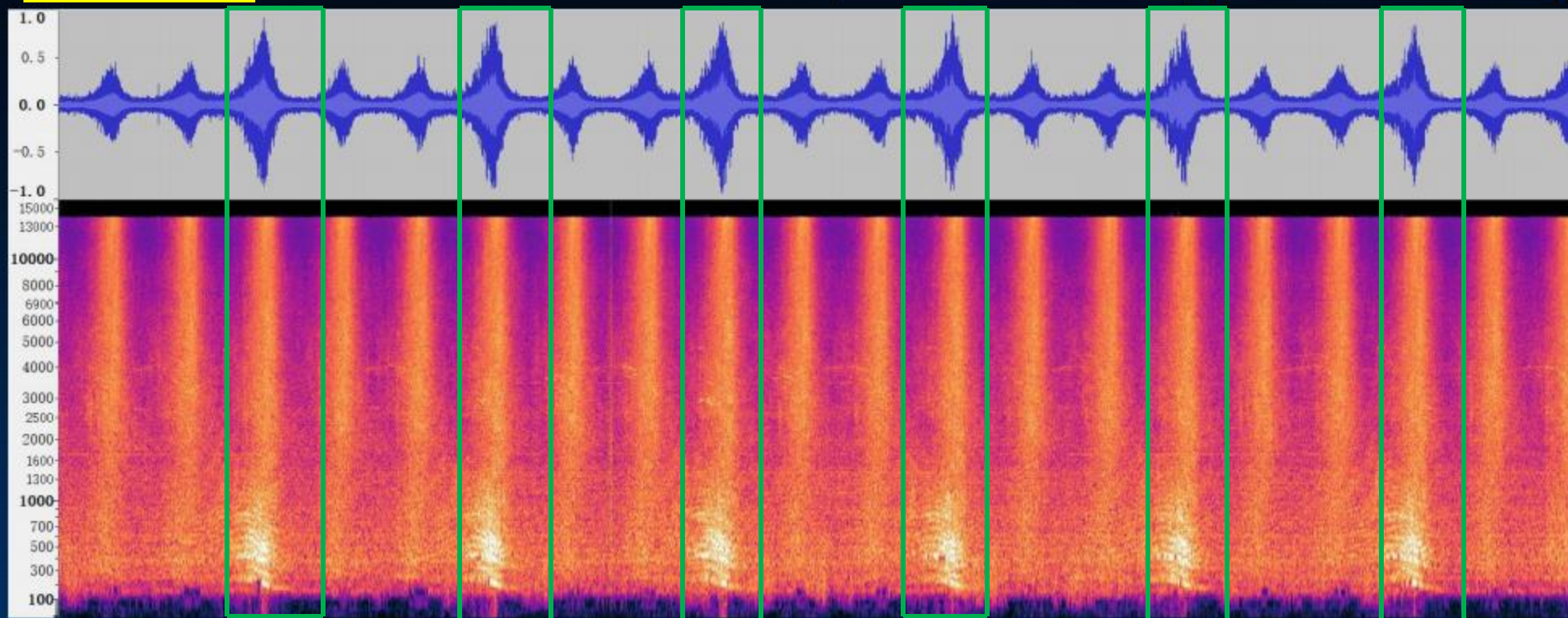


案例2：叶尖丢失后缘开裂

发现运行过程中扫风声音异常



塔筒底部安装

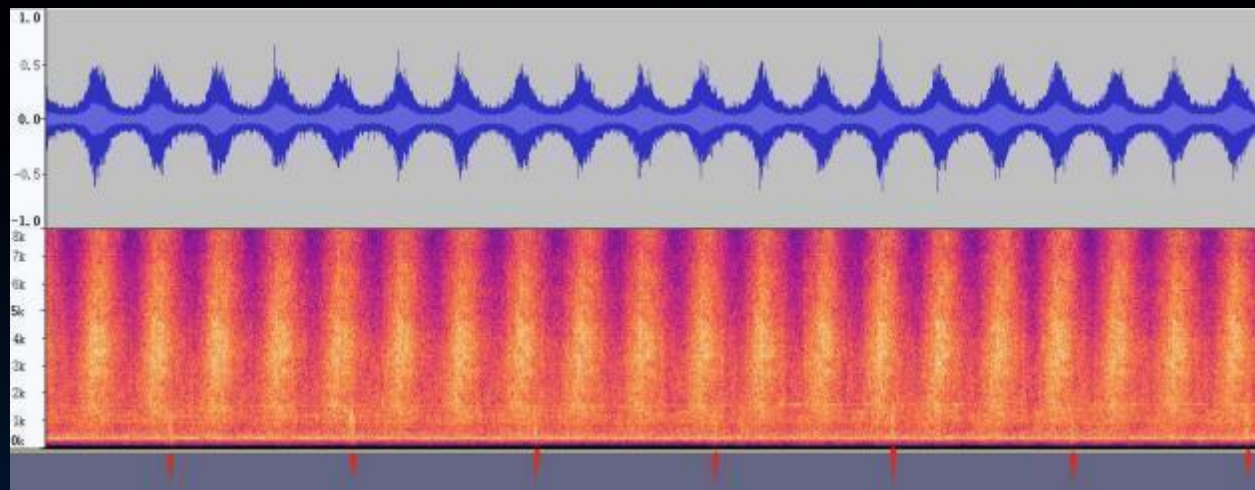


案例3：叶片壳体开裂

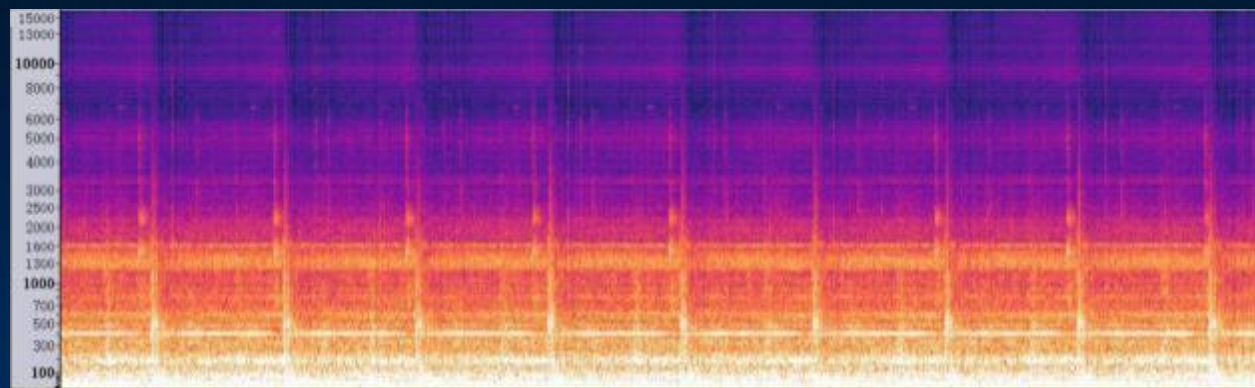
发现运行过程中扫风声音异常



塔筒底部安装



轮毂内安装（损伤叶片）

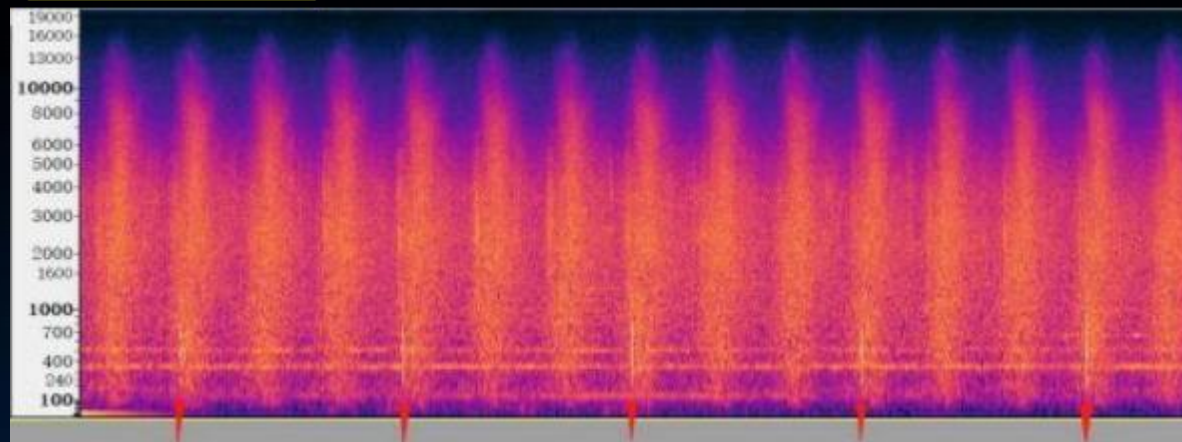


案例4：叶片后缘壳体展向开裂

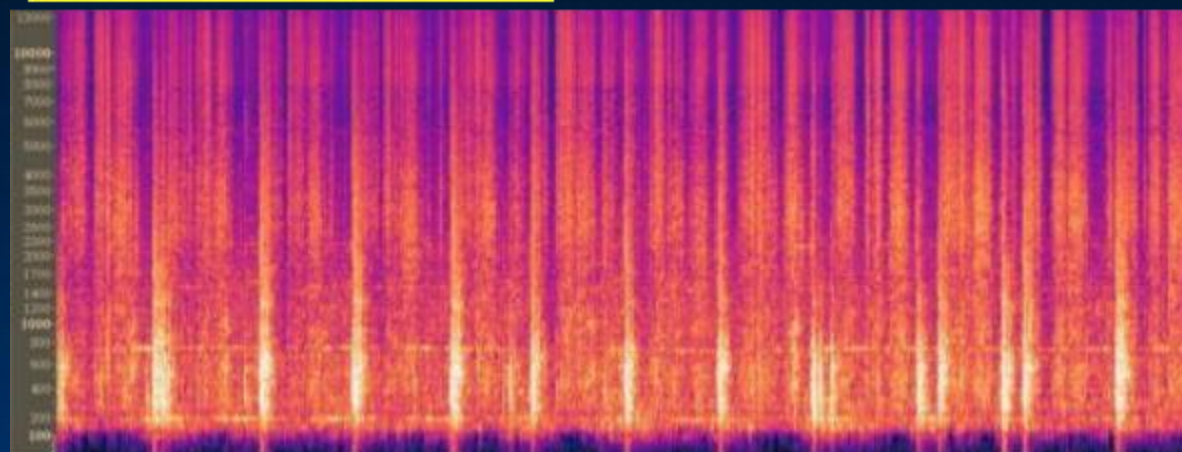
迎风面轴向裂纹，长约10米的鼓包开裂。



塔筒底部安装



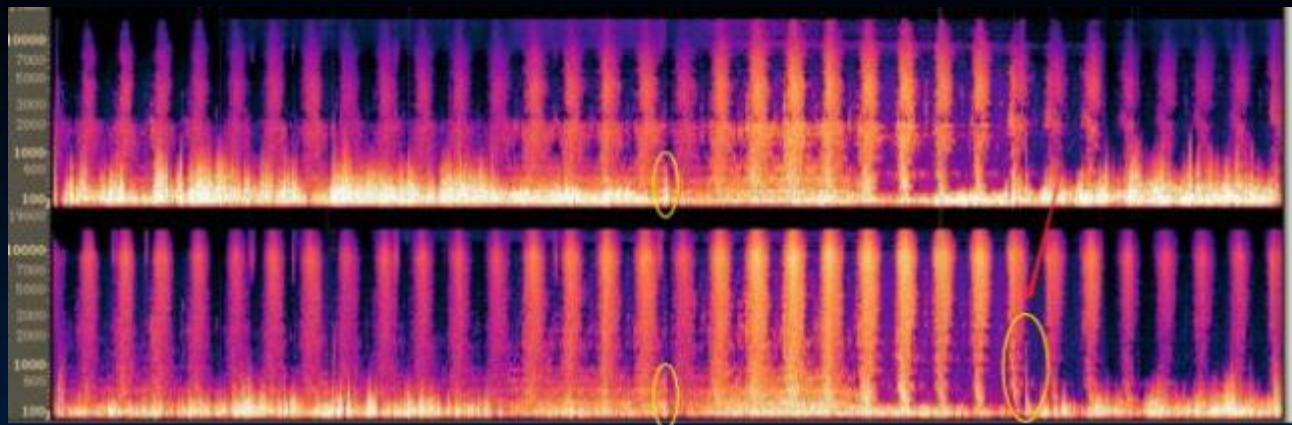
轮毂内安装 (损伤叶片)



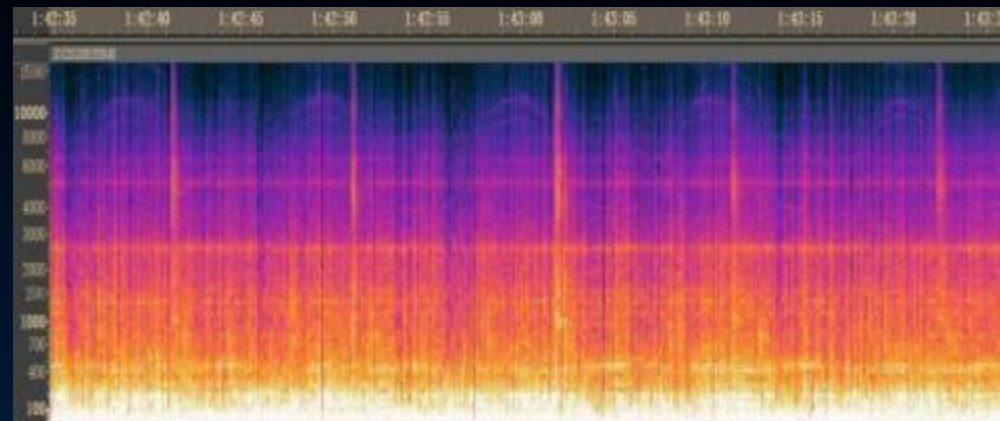
案例5：腹板脱粘

- 失效模式：背风面腹板脱粘
- 运行过程中声音异常，停机检查发现存在脱粘接。

塔筒底部安装



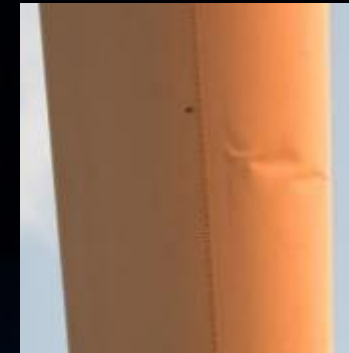
轮毂内部安装



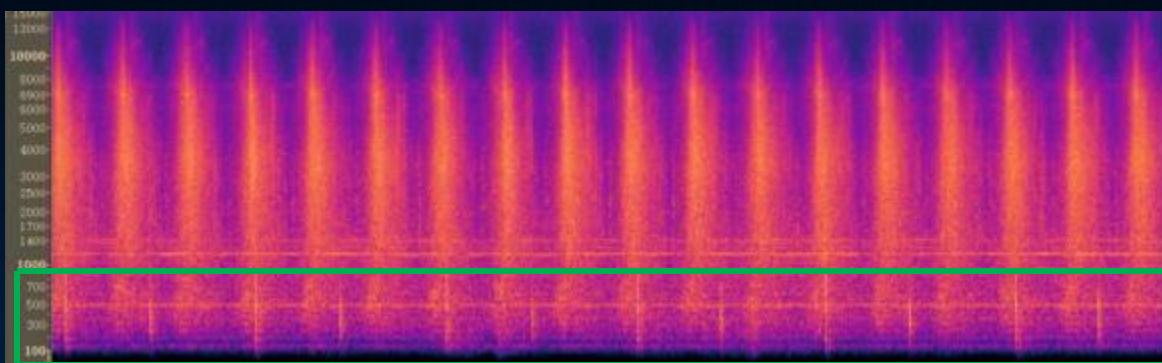
案例6：鼓包开裂（叶片长度 1/4 - 1/2）

失效模式：SS面前缘壳体存在鼓包开裂，重心附近。

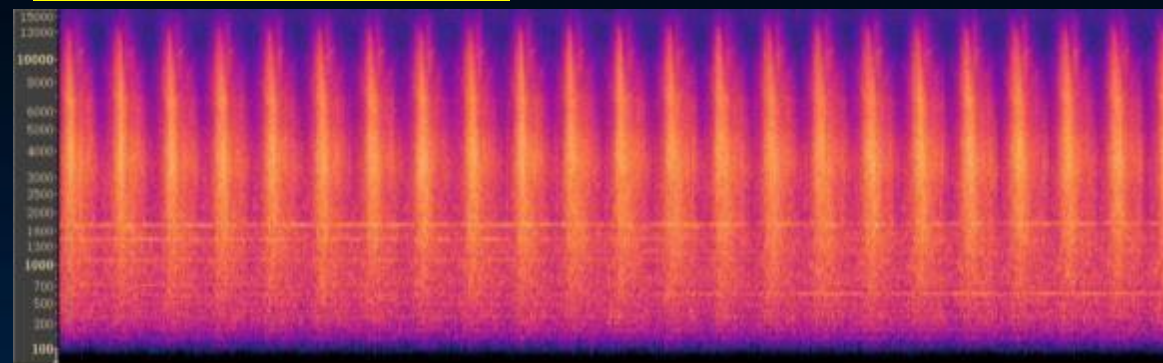
- 发现运行过程中存在很大的声音异常。
- 在塔底和轮毂内安装，都有**异常声音被识别出来**。
- 正常叶片和损伤叶片**，在声音图谱上会有**区别**。



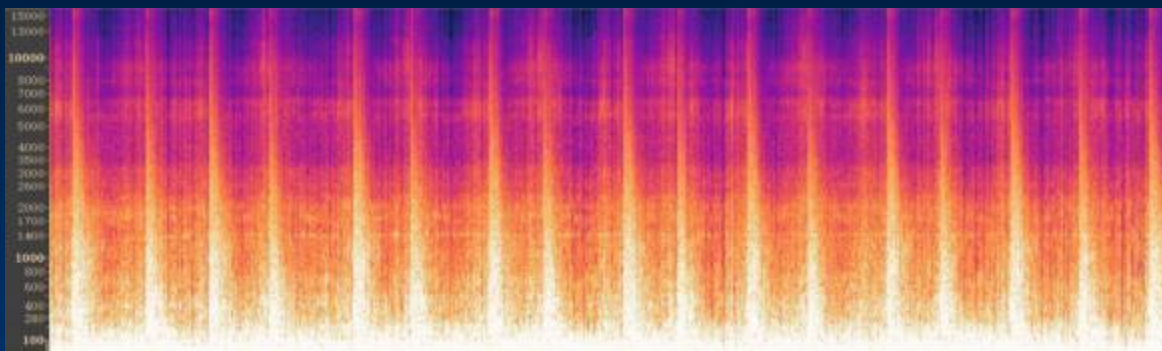
塔筒底部安装（损伤）



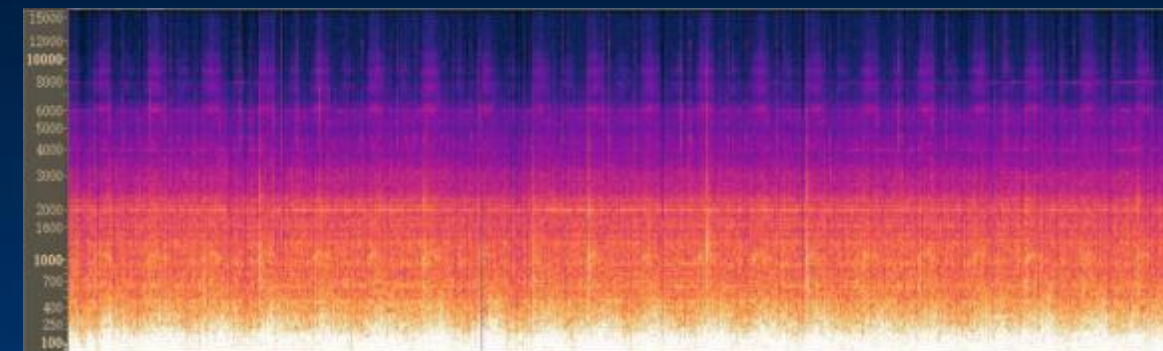
塔筒底部安装（正常）



轮毂内安装（损伤叶片）



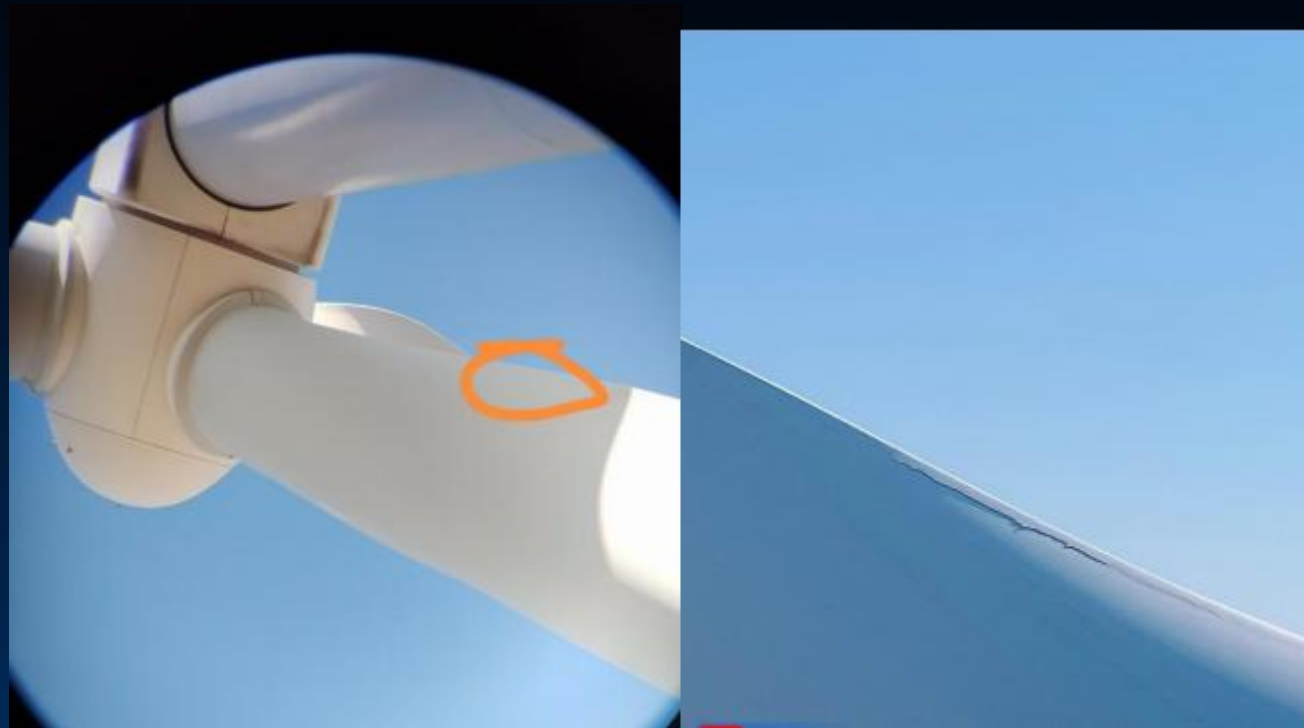
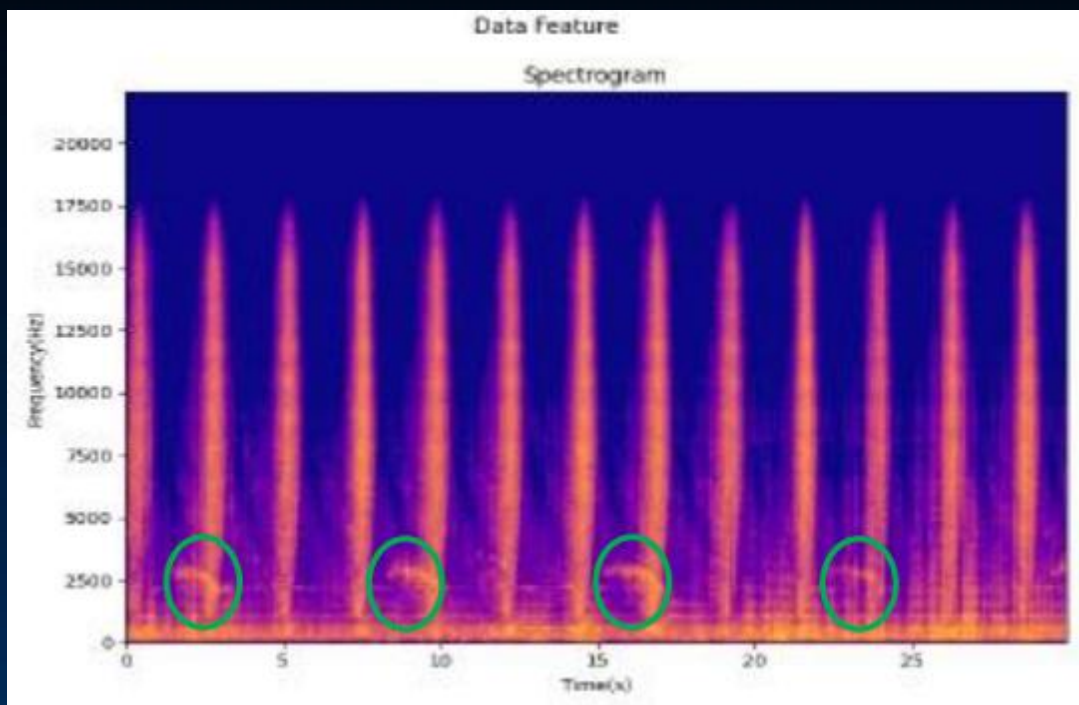
轮毂内安装（正常叶片）



案例7：后缘最大弦长处分层

- 失效模式：后缘最大弦长处分层
- 运行过程中声音异常，停机检查发现后缘最大弦长处存在分层问题。

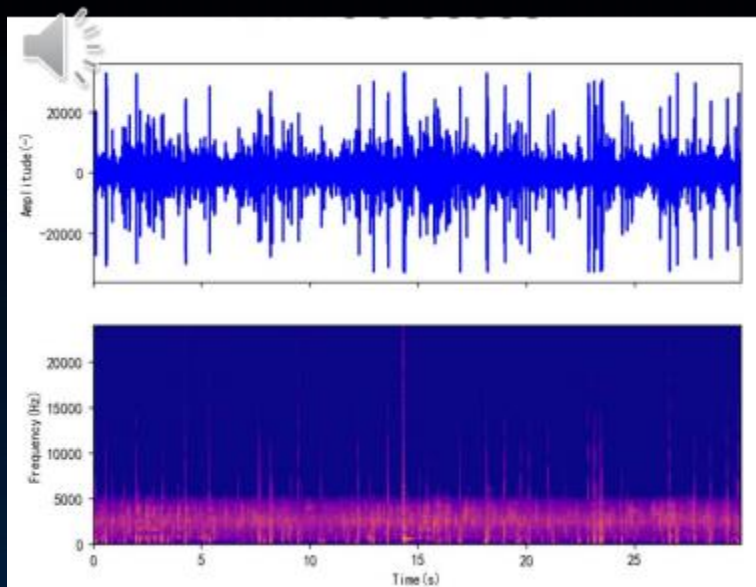
塔筒叶片音频



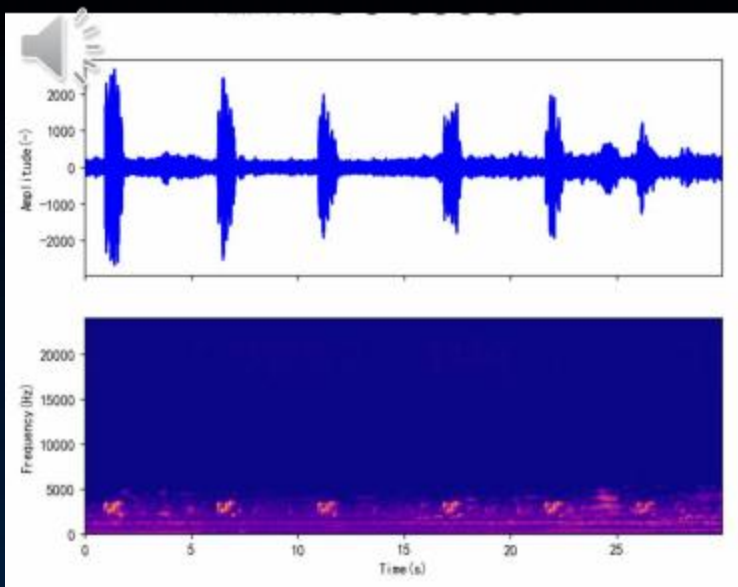
案例8：异常声音识别及剔除

➤ 异常声音识别剔除

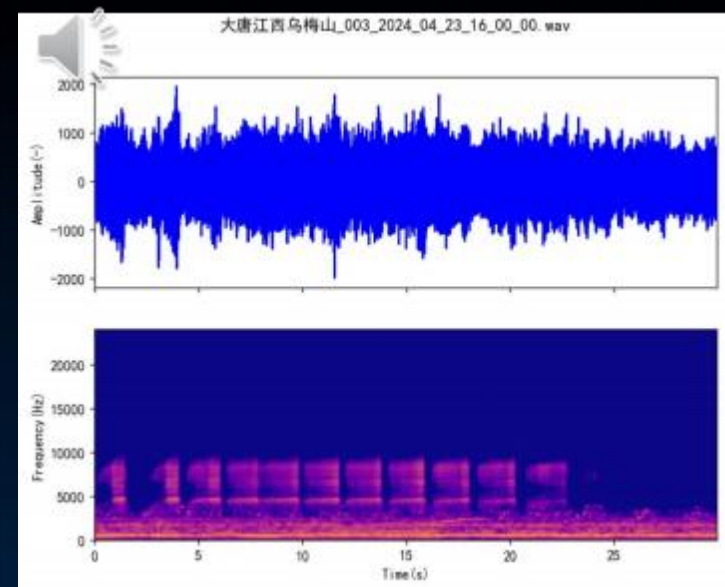
□ 对有明显特征的环境声音进行识别，可进行当前**环境判断**及**异常音频剔除**。



□ 雨水打到传感器的产生的声音



□ 有规律的鸟叫



□ 虫鸣

风场守护 智慧先行

期待交流!

山东威尔勒技术服务有限公司

电话：18153452285

邮箱：sdweierle@163.com

地址：山东省济南市历下区舜华路
大学科技园F座三单元4楼

