声纹技术在电厂运维检修中的应用展望

汇报人：康　兵

0 自 我 介 绍

- **康兵，**男，1987年5月，中共党员，工学博士，副教授，**硕士生导师**，**江西省高校青年领军人才**。
- **任职情况：**南昌工程学院电气工程学院党委委员、**副院长**，电网新型量测与智能感知**研究所所长**，电力系统及其自动化博士科研**团队带头人**。
- **学科背景：**2010年-2016年：**武汉大学**电气工程学院硕、博连读；2017年-2018年：国网湖北省电力科学研究院，技术专责；2018至今，南昌工程学院电气工程学院教师，其中，2020年-2022年：**华中科技大学**与国网江西省电力有限公司联合培养**博士后。**
- **科研情况：****主持江西省揭榜挂帅、省重点研发计划、抚州市揭榜挂帅**等课题10余项，经费2000余万元；发表核心及以上论文30余篇，授权国家专利近40项；指导硕士研究生毕业近10人，指导学生获得“挑战杯”国赛铜奖1项、省赛金奖1项，“互联网+”省级银奖2项，获得**江西省科技进步二等奖**、天津市电力公司科技进步三等奖各1项。
- **学术兼职：**担任IEEE中国区电力系统测量与仪器技术委员会综合智慧能源量测与评估分技术委员会委员、江西省电机工程学会新能源专业委员会委员，获得江西省2021年优秀电力工作者，担任《智慧电力》等多个核心学术期刊审稿专家。

目录

CONTENTS

01 技术背景
Technical Background

02 技术原理
Technical Principles

03 应用案例
Application Cases

04 应用展望
Application Prospects

南昌工程学院
NANCHANG INSTITUTE OF TECHNOLOGY

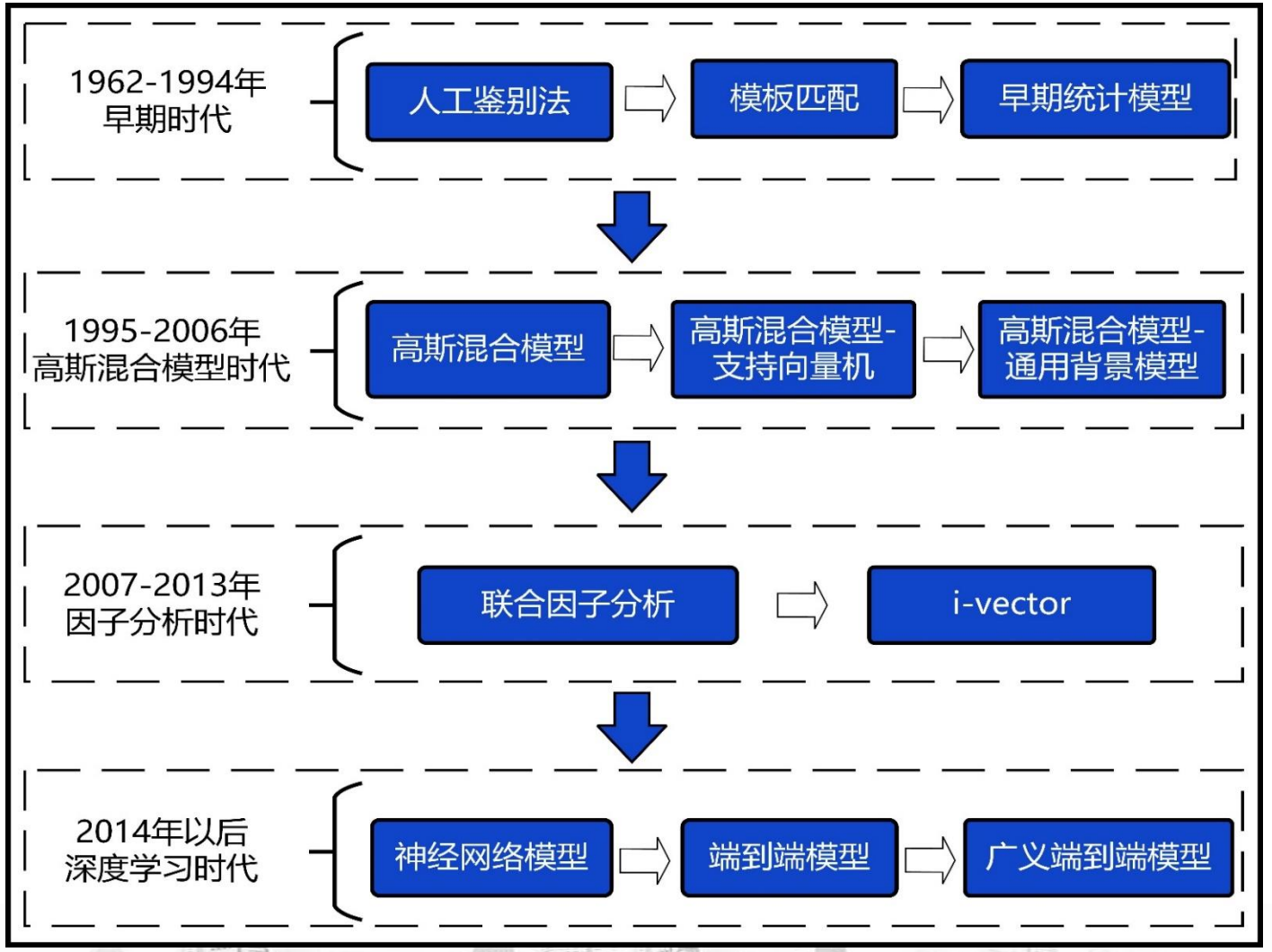
PART 01

声 纹 技 术 背 景

01

声纹发展历程

- 声纹：**由“指纹”一词衍生而来。**
- **最早起源：1918年**，发表在《田纳西民报》上一则笑话中：罪犯在话筒上留下声纹。
- 最早正式学术研究：**1962年**，《美国声学学会期刊》，作者提出时频谱图像方法，声纹鉴定准确率**97%**
- 第一家公司：作者在1972年，注册公司“**声纹实验室**”。



02 声纹技术工业应用

桨叶系统

- 叶片结冰
- 叶片细纹
- 叶片开裂
- 桨叶遭受雷击
- 不平衡测试与补偿

机舱内部

- 主轴、轴承磨损
- 齿轮箱损坏
- 发电机故障
- 机组设备异响
- 元件松动、脱落

塔筒内部

- 烟雾、明火、放电
- 塔筒晃动
- 设备异响
- 人员呼救
- 非法人员入侵

升压站

- 集电线路故障
- 设备故障
- 继电保护异常
- 开关故障

主要水电机组设备

- 水轮机
- 发电机
- 水泵
- 阀门
- 其它

转轮室内部

- 空化、空蚀
- 异物卡塞
- 部件撕裂
- 卡门涡、叶道涡故障
- 空间密闭，运维人员无法进入直接观察转轮状态

定子内膛

- 螺杆、工具、焊条头等金属物体遗留
- 机组振动导致螺帽等金属异物掉落
- 新投产机组或大修机组较常见

采矿设备

- 采煤机
- 刨煤机
- 截煤机

掘进设备

- 空压机
- 装岩机
- 掘进机

洗选设备

- 水洗机
- 斗提机
- 煤球机
- 破碎机

声纹检测技术已广泛应用于化工、煤矿、石化、交通、环保、建材、装备制造等工业领域各型设备的运维监测，逐步替代人工巡视，实现机器故障的自动诊断。

03 声纹监测技术优势

01 声纹检测是安全可靠的感知方式

声纹检测可实现在设备外部对其运行状态进行不停电检测，与被测设备**无电气连接**，不影响系统正常运行；在安全的监测设备状态的同时，又能解决红外、紫外等远距离成像手段检测特征有限与检测纵深不足的问题。

02 声纹信号是设备状态评估的特征参量

电力设备内部运行过程中由于受到电磁力、机械应力的作用，产生的**振动声学信号**包含了大量的状态信息，尤其是针对变压器直流偏磁、绕组变形、有载分接开关故障等问题，可以作为诊断的重要特征参量。

03 人工智能为声纹技术发展注入了新动能

基于深度学习的**人工智能算法**解决了声纹与设备状态之间的复杂映射关系，可以实现在设备外部对其运行状态进行全寿命周期不停电检测与智能预警。

利用声学诊断电力设备故障具有现实可行性和必要性！！！

南昌工程学院
NANCHANG INSTITUTE OF TECHNOLOGY

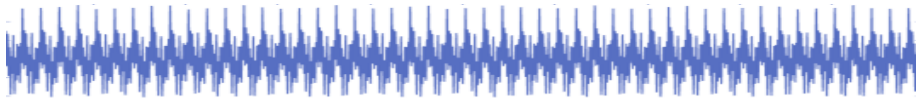
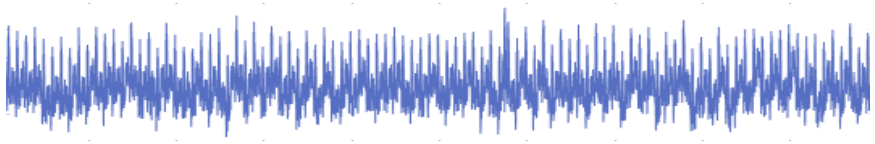
PART 02

声纹监测技术基本原理

01

声纹的概念

声纹像人的指纹一样具有辨识特征，不同缺陷在声纹信号上有差异性。

正常运行	50Hz规律的嗡嗡声		
电晕放电	滋滋声		
短路冲击	哇哇声		
部件或铁芯松动	樱樱声		

设备声纹信号的**幅值、时域、频谱等信息**与其运行电压、电流、机械状态、励磁状态、绝缘状态等密切相关，可作为诊断缺陷及故障的**重要特征参量**。

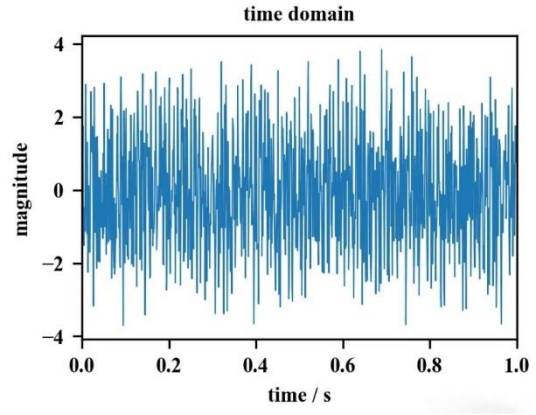
02

声纹信号特征分析方法

时域特征

时域分析：关注声信号随时间的变化

$$s(t) = A(t)\cdot\cos(2\pi ft) + \varphi(t)$$

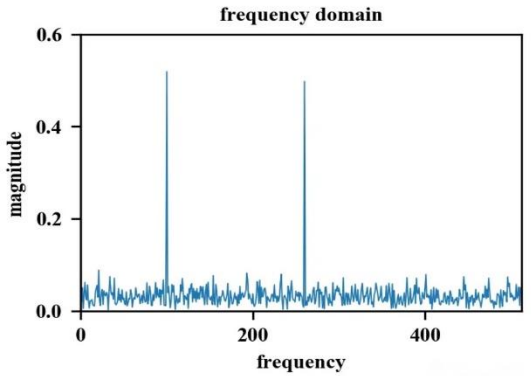


在时域中，声信号的波形可以是**正弦波、方波、锯齿波**等，具体取决于振幅、频率和相位的变化，波形的横轴是**时间**、纵轴是**振幅**。

频域特征

频域分析：关注声信号的频率成分

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t)e^{-j2\pi ft}dt$$



在频域中，声信号的波形通常表现为频谱图，显示了不同频率成分的**幅度**和**相位**。优点是使那些振幅较低的成分相对高振幅成分得以拉高，以便观察掩盖在低幅噪声中的周期信号。

时频域特征

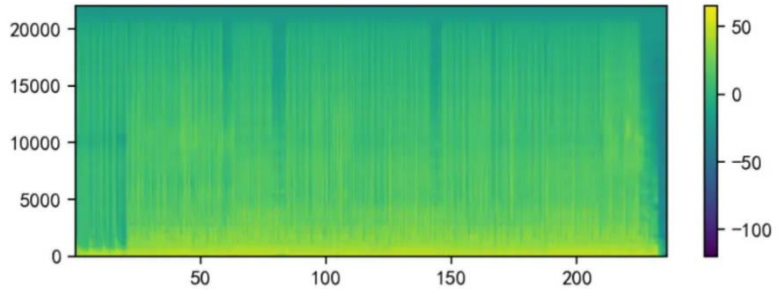
时频域分析：结合时域和频域的特点

短时傅里叶变换

$$S_{STFT}(t,f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau)\omega(t-\tau)e^{-j2\pi ft}d\tau$$

小波变换

$$S_{WT}(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)\psi(\frac{t-b}{a})dt$$



在时频域中，声信号的波形表现为时频图，显示了信号在不同**时间**和**频率**上的**能量分布**。相较于时域图和频域图，时频图能够同时展示信号随时间变化的频率成分，通过**颜色**、**亮度**等视觉元素来表示信号的**频率和幅度随时间的变化**，使得信号的动态特性更加直观。

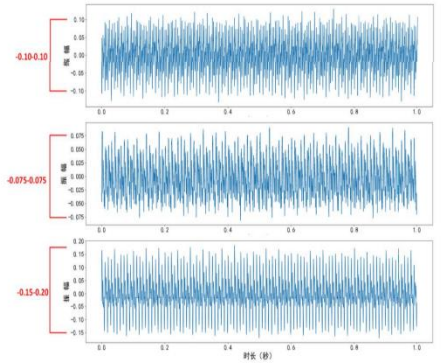
03

声纹识别流程

信号采集

1

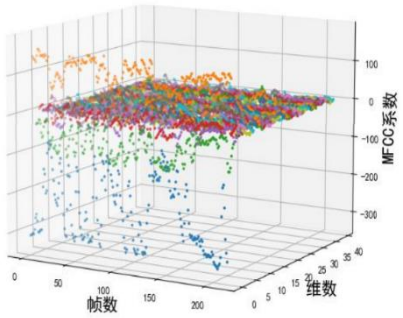
传感器接收原始声学信号，作为整个监测流程的**起点**，确保信息的准确性和完整性。



预处理

2

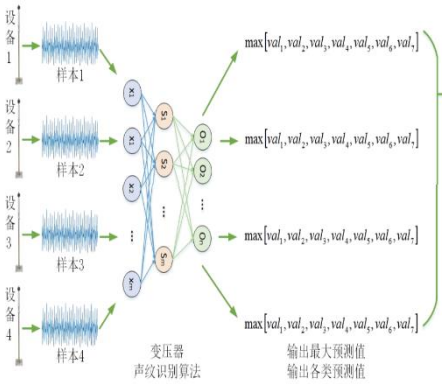
对采集到的数据进行预处理，去除噪声干扰，**提高后续分析的准确性**。



特征提取

3

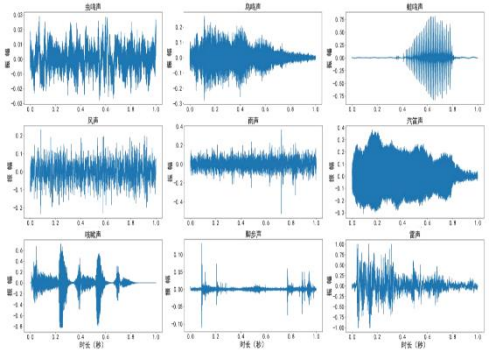
从预处理后的数据中**提取关键特征**，为模式识别提供基础**增强识别精度**。



模式识别

4

利用**智能算法对特征数据进行分析**，实现故障预警，支持决策制定。

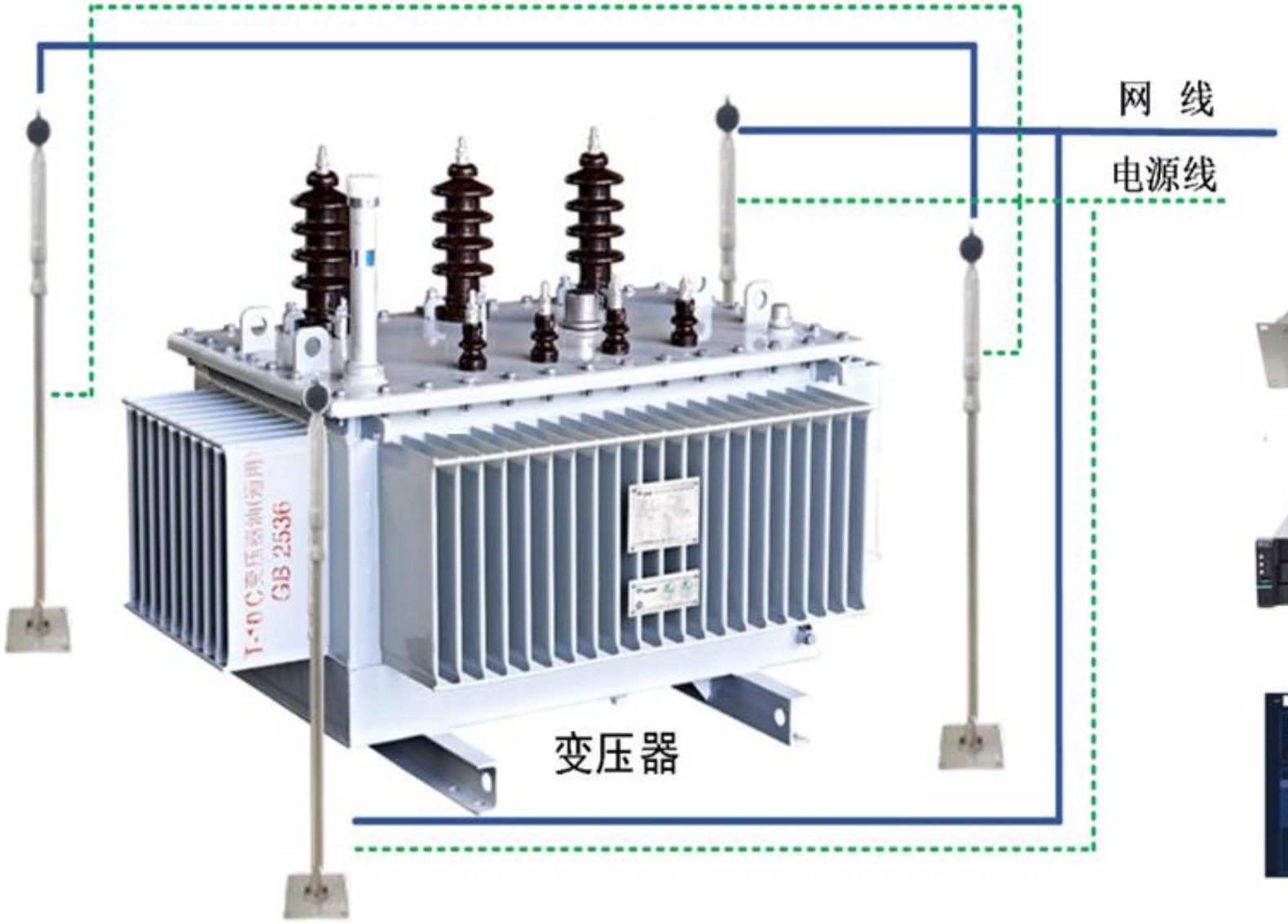


故障诊断

5

基于模式识别的结果，**准确判断故障类型及其严重程度。**

04 声纹监测技术架构



声纹采集模块

数据传输模块

声纹识别模块

结果显示模块

05

硬件系统组成

1 声音传感器

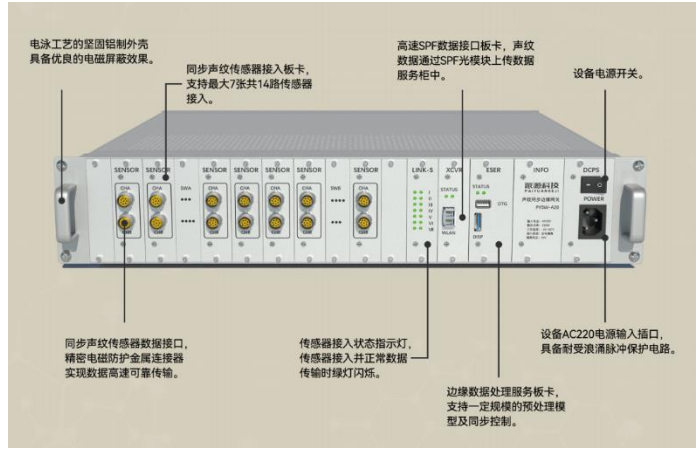
声音传感器作为感知层，是整个系统的**起点**，它捕获原始音频数据。

固定式声音传感器

贴壁式声音传感器

2 数据采集单元

数据采集单元作为桥梁，负责初步处理并将**模拟信号转化为数字信号**，为后续分析做准备。



3 数据传输模块

网络传输模块确保了信息的安全高效传递，**实现远程监控**。

4 服务器

边缘计算节点/本地服务器承担了现场**快速响应**的任务，能够在第一时间发现并处理紧急状况。

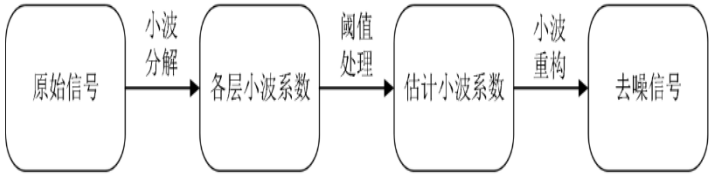
06

软件系统组成

1.声音信号预处理

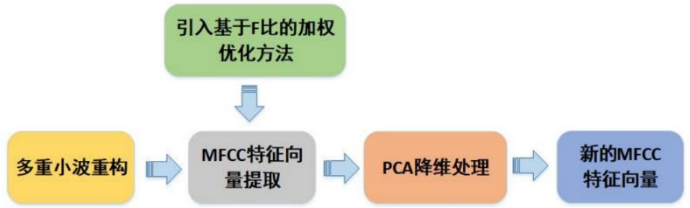
信号预处理：

- **降噪**：去除背景噪音和其他干扰。
- **归一化**：调整音频信号的幅度、频率等属性，确保一致性。



特征提取：

从预处理过的音频数据中提取出能够反映变压器运行状态的**关键特征参数**。

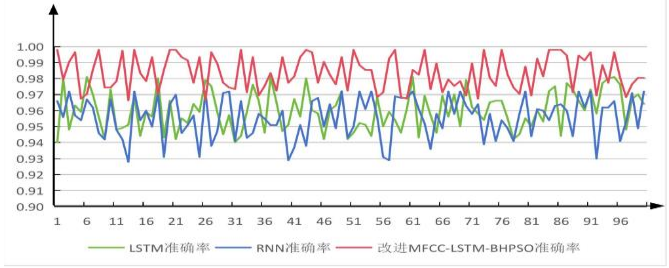


2.识别算法与模型

实现一种或多种算法来比较新输入的语音特征与预先存储的声纹模板之间的相似度。

模型选择与训练：

常用的算法包括支持向量机、随机森林、神经网络（如CNN、RNN）等。



模型评估与优化

- **性能评估**：通过交叉验证、混淆矩阵、准确率、召回率等指标评估模型性能。
- **超参数调优**：使用网格搜索、随机搜索或贝叶斯优化等技术寻找最优模型配置。

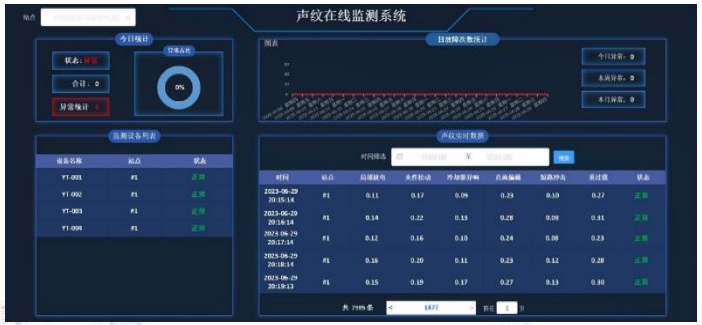
3.结果显示界面

提供直观易用的操作平台，查看监测状态、配置系统参数、获取报警通知等。

界面通常包括：

- **今日统计**
- **监测设备列表**
- **声纹实时数据**
- **日故障统计**

可**实时显示**每日故障占比情况、监测设备状态信息、日故障次数。

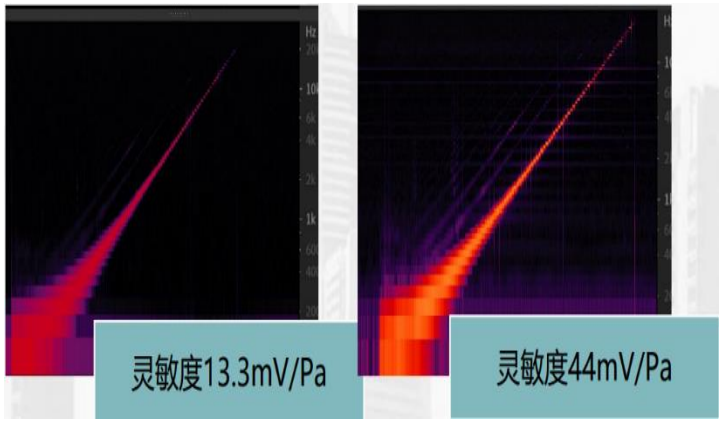


07 关键技术问题

1.传感器灵敏度

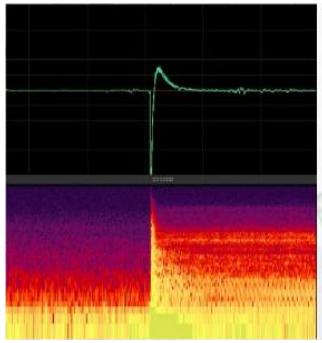
合适的灵敏度选取，**灵敏度指的是拾音器对声音信号的灵敏度**，它通常用于描述拾音器的接收能力和灵敏程度。

在电力设备声纹监测装置中，传感器灵敏度需大于10mV/Pa，但超过50mV/Pa则会有过曝风险。

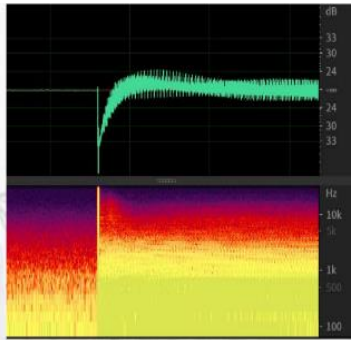


2.电磁干扰

现场运行环境复杂，电磁环境对声纹监测影响巨大，主要是**站内开关动作时空间耦合干扰**，电源侧的浪涌、脉冲群干扰。**电源干扰耦合进入声纹监测装置，导致采集的声音发生瞬变，是误报警的重要的影响因素。**电磁干扰大部分是单极性波形。



GIS动作瞬间浪涌干扰（外部空间）

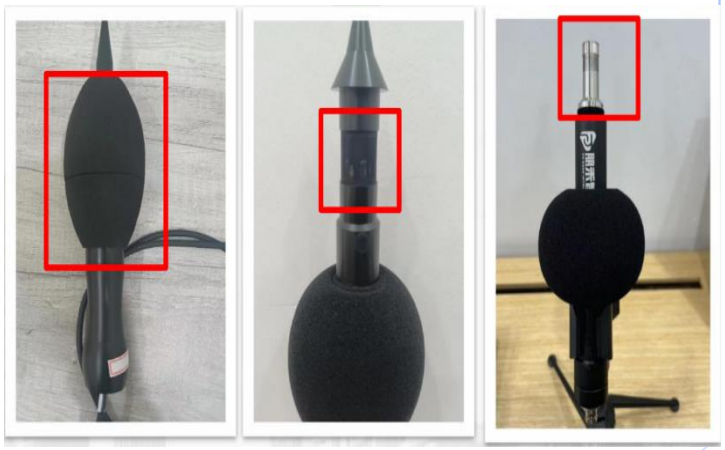


主变投运瞬间浪涌耦合干扰（外部空间）

3.装置的环境防护

声纹监测装置须具备IEC的IP防护等级，定期检查及更换，**保证拾音装置在户外环境下可靠采集。**

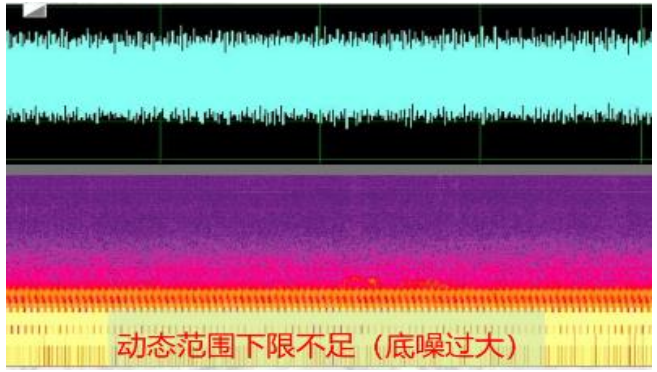
- **装置应定期校验**，防止因性能衰退造成监测结果不准确。
- 装置在潮湿、风沙、极寒、高温等复杂环境下的**老化试验有待开展，摸清装置理论寿命。**

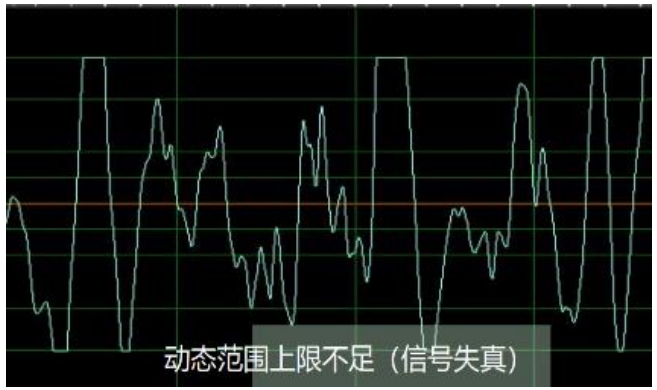


07 关键技术问题

4.装置的动态范围

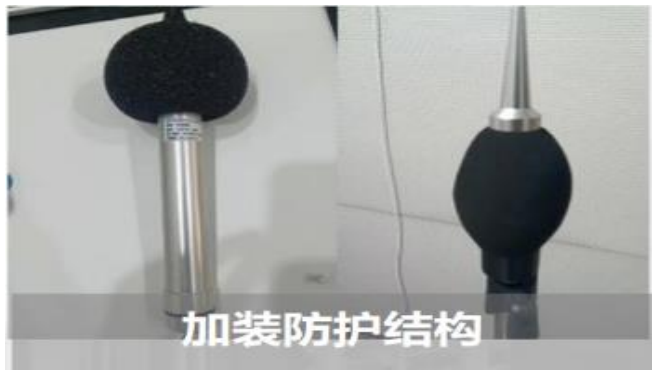
在选择传感器时，需要根据需求选择具有合适动态范围的传声器并进行设备的针对性调试。传感器动态范围上限**应高于110dB**，下限**应低于38dB**，总谐波失真率**不大于3%**。





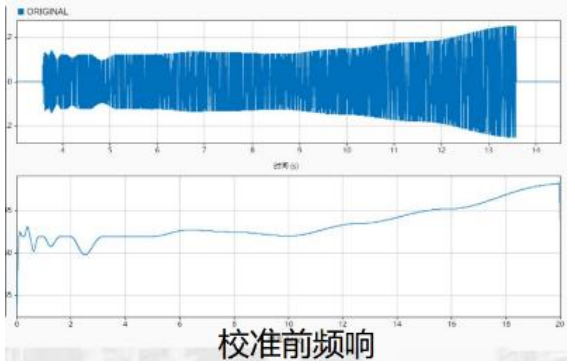
5.装置频率响应

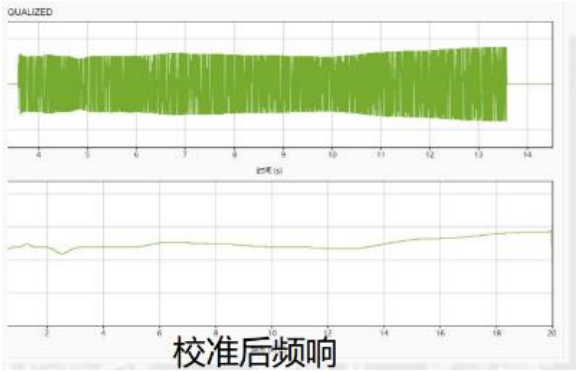
声纹监测装置频率响应，代表输出信号能真实呈现原始声音的特性。声纹监测装置**确保传感器在50Hz- 20kHz内的频率响应曲线相对平坦**，传感器模式、防护结构（**防水膜、透声孔**结构等）均会对频响产生影响。



6.性能的校准

为保证电力设备声纹采集的实际场景中声纹信号能真实还原，需进行声学性能的校准，尤其是**灵敏度**和**频率响应**。**极寒、高海拔条件下应用，必须进行针对性校准。**

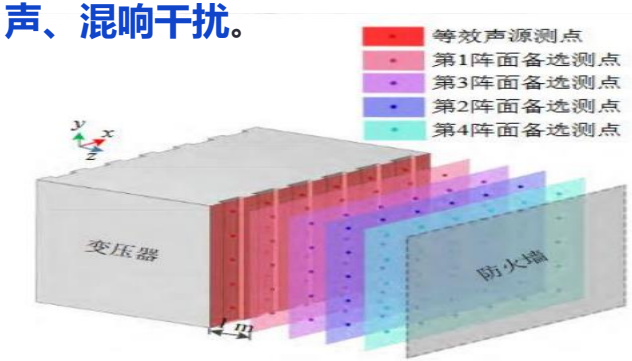




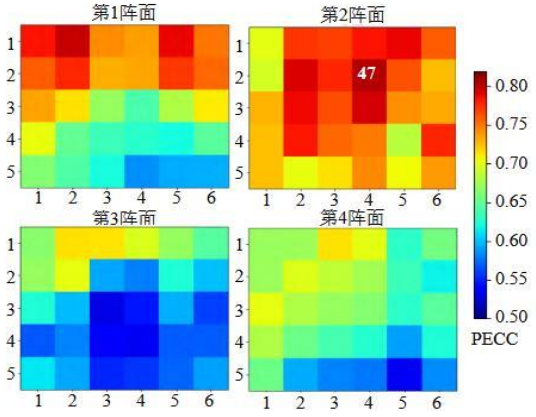
07 关键技术问题

7.监测位置的选取

传感器**避免放置在变压器风机、散热器、端子箱**等高干扰噪声区域。尽量**避免直接安装在防火墙或近地面处，易受到回声、混响干扰。**



空间内备选声纹传感器监测位置

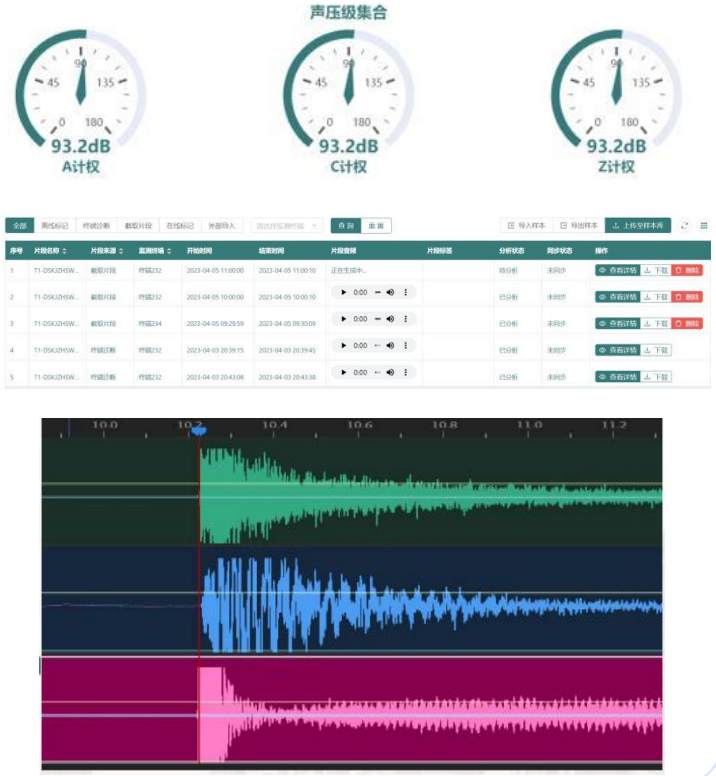


备选监测位置定量评价指标计算

8.采集同步性

应**具有信号声压级现场校准、声压级显示和声压级过载指示功能；**应具备声压级回溯功能。

应具有多通道同步测量和同步保存功能（**多通道一致性**），不同通道时间应差**不大于0.2s**；幅值差应不超过**±1.1dB**。



9.样本标注

样本标注功能，需要**将机器标注和人工标注相结合**，平衡机器标注-人工标注尺度。

- 机器标注严格：现场干扰易造成报警数量偏大，人工复核工作量大。
- 机器标注宽松：轻微声响缺陷易遗漏。

现场的各类干扰如人声、施工声、汽笛声、电晕声等应提前进行模型训练，**不能引发报警**。

可视化、便捷化的标注工具和标注方法待研究与开发。

标注流程

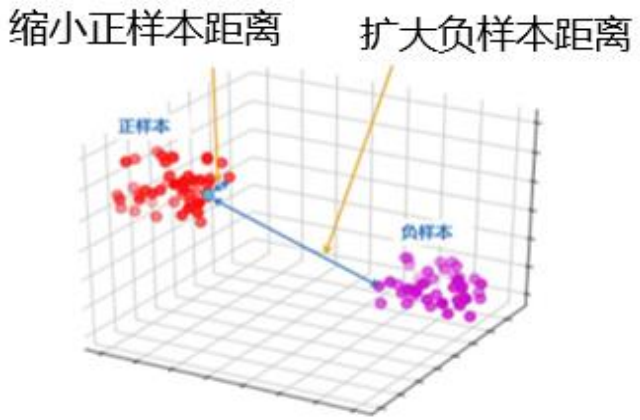
原始音频名称	异常片段序号	异常开始时间	异常结束时间	样本标签
12X7200003083078X-01-20220322174848.wav	1	20220322174844820	2022032217485270	byq_zlpc
12X7200003083078X-01-20220322174848.wav	2	20220322174845330	2022032217485460	byq_zlpc

标注格式

07

关键技术问题

技术层面



故障识别

- **样本获取难**：故障声音样本稀缺，难以收集高质量数据。
- **噪声干扰**：环境噪音影响声纹识别的准确性。
- **增强鲁棒性**：确保在复杂多变的环境下准确识别设备故障声纹，减少误报。
- **特征提取**：从复杂声纹中提取有效特征难度高。

应用层面

- **工况适应性**：系统需适应不同工作条件下的变化。
- **设备多样化**：支持多种类型设备的声纹识别。
- **恶劣环境**：抵抗极端条件对硬件和软件的影响。

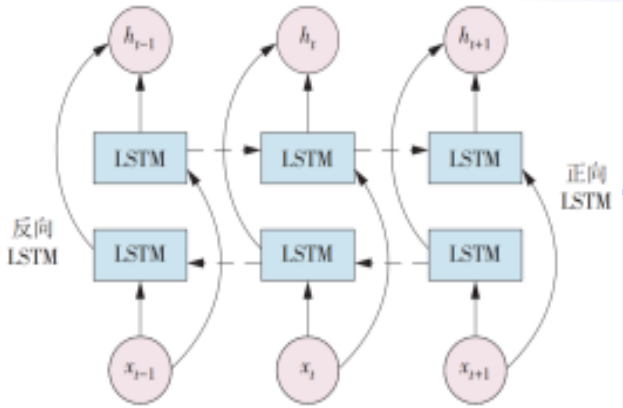
系统层面

- **实时性要求**：快速处理和响应是关键。
- **可靠性保障**：确保长时间稳定运行，减少错误率。
- **集成难度**：与现有系统和技术无缝集成具有挑战性。

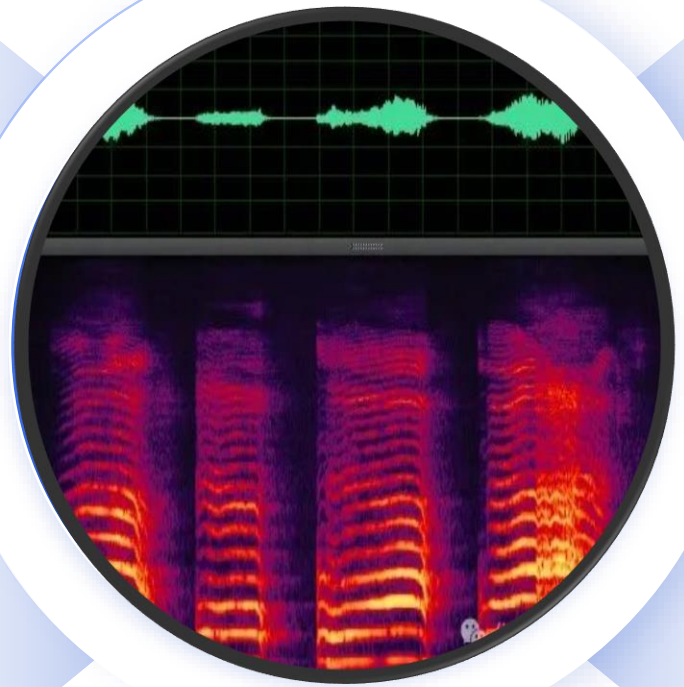
08

关键技术突破

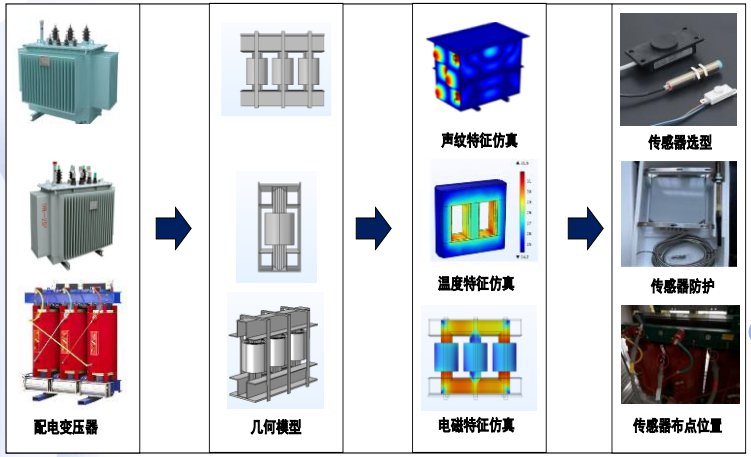
智能算法升级



- **深度学习**：通过大数据自我优化，提升识别精度。
- **自适应分析**：自动调整参数，适应不同环境。
- **特征自学习**：自主提取关键特征，增强灵活性。



硬件技术提升



- **高精度传感器**：提高声音数据的分辨率和质量。
- **抗干扰设计**：增强在嘈杂环境中的稳定性。
- **集成化方案**：简化部署，降低成本，提高效率。

南昌工程学院
NANCHANG INSTITUTE OF TECHNOLOGY

PART 03

声纹检测技术应用案例

01 团队开展相关工作

序号	项目名称	合作单位
1	变压器数字化声级器测定系统	国网湖北省电力有限公司电力科学研究院
2	变电站(换流站)站界噪声在线监测装置设计与软件系统开发	国网湖南省电力有限公司电力科学研究院
3	基于声谱图的配电变压器运行状态监测技术开发	抚州市科技局“揭榜挂帅”项目
4	三防噪声型式试验设备配件	国网湖南省电力有限公司电力科学研究院
5	基于深度学习的变电站主设备异常状态声纹监测方法及应用	国网江西省电力有限公司电力科学研究院
6	国网湖北超高压公司 24-25 年基于声谱特征的变压器状态监测外委研究	国网湖北省电力有限公司超高压公司
7	国网吉林电科院 2024年变压器异常状态声谱特征信号监测提取分析	国网吉林省电力有限公司电力科学研究院
8	新能源场站主变压器异常状态声纹监测技术及应用科技项目招标文件	国家电投集团江西电力工程有限公司
9	机理模型变压器故障诊断等技术外测	国网湖北省电力有限公司超高压公司
10	融合多源数据的变电设备异常状态声纹监测方法研究及应用	南方电网广东省电力公司
11	电力工程可移动式声电混合开关柜局放在线监测系统科技项目	国家电投集团江西电力工程有限公司
12	基于声纹成像定位及温度反演边缘计算技术的开关室综合状态智能管控系统	安徽中科昊音智能科技有限公司
13	基于多参量全频段精准感知与多模态分析的变配电设备主动健康技术研究与应用分析报告	江西省科技厅
14	40.5kV组合电器检测技术研发	国网江西省电力有限公司电力科学研究院
15	便携式全频段声学智能诊断仪	南昌科晨电力试验研究有限公司
16	基于声学振动信号的高压并联电抗器缺陷检测技术及诊断方法研究-高压并联电抗器噪声振动测试	国网湖南省电力有限公司电力科学研究院
17	基于声纹监测水轮机组智能管控系统	安徽中科昊音智能科技有限公司

团队先后主持**江西省重点研发计划**、**抚州市“揭榜挂帅”**等声纹相关课题**近20**项，录用声纹相关论文**20余**篇、授权发明专利**30余**项，获得各类**奖励10余次**。

电力设备在线声纹监测系统（手持式）

1

装置介绍

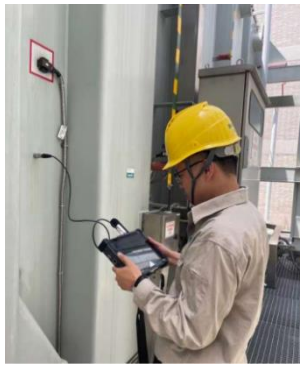
该产品针对电力变压器、开关柜等重要电力设备的巡检工作而开发的一款**手持式电力声纹监测仪**，它是一款便携式声音振动信号采集分析仪器，连接**传声器、加速度传感器、超声传感器**，实现对**声纹、振动、超声**等信号进行采集、存储和分析，用于变电站、配电房、高压电缆、开关室日常巡检等应用场景。

技术优势和功能特点

- **全数字隔离多模**声纹传感器
- **多通道高速同步**数据采集
- 实现自动诊断**高质量现场样本积累**
- 标准数字接口三防平板电脑
- 配置蓄电池**提升续航能力**
- 快速部署，方便携带

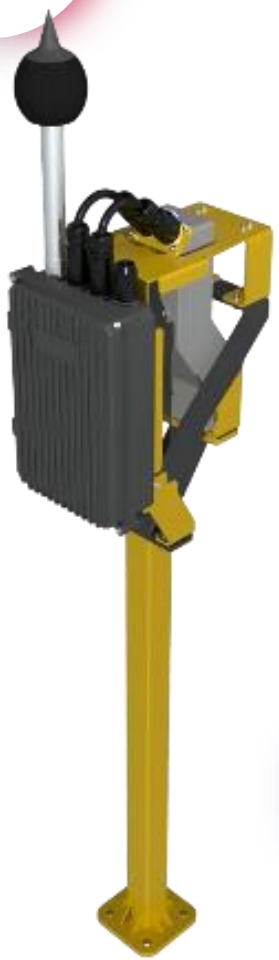
成果应用

产品在**江西、湖南、安徽**等多地应用。



电力设备在线声纹监测系统（单点式）

2



装置介绍

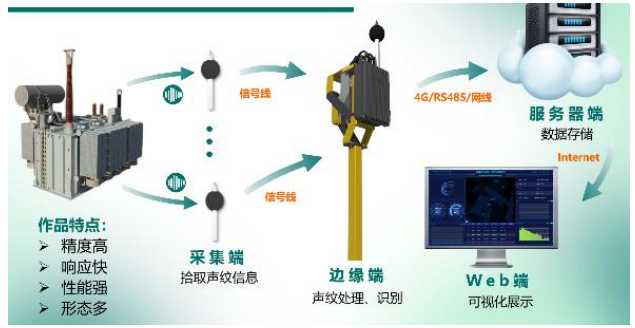
该产品能在线实时采集变电站中**变压器、GIS、开关柜**等设备的运行声纹信息，基于声纹信息实现设备声场**在线监测、状态诊断和故障预警**，采用**非接触式、高灵敏度**的声纹识别感知手段，实现关键电力设备故障早期筛查。

技术优势和功能特点

- **ResGenS**声纹识别算法
- **高性能滤波算法**
- 接口多样
- 抗干扰采集电路
- 精度高
- **易安装、易批量生产**

成果应用

产品能够提高供电可靠性，降低配电变压器运维成本和停电损失，已在**江苏、北京、贵州、江西、浙江**等地应用。

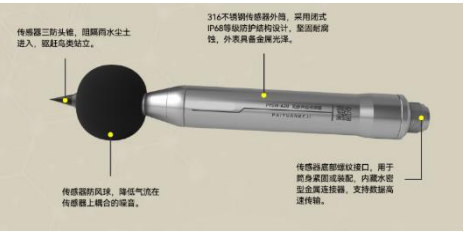


电力设备在线声纹监测系统（多点式）

3

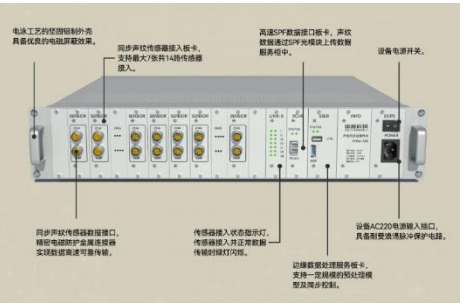
装置介绍

该产品应用于变电站主变压器的**多点声纹在线监测**，采用**高性能固定式**的安装模式，具备**抗强电磁干扰性能**，能够适应极端户外环境，实现连续不间断的电力设备状态声纹在线实时监测。



技术优势和功能特点

- 融合**多模参量**声纹识别模型
- **多点同步**采集
- 连续不间断监测
- **少样本下典型故障声纹识别**
- 抗干扰
- **高带宽**的数据链路设计



成果应用

产品已在**江西、湖北、吉林、广东**等多省市应用。支持后期维护，能够在不断学习中完善监督模型，提升系统平台的故障诊断的**置信度**。

电力设备全频段声学智能诊断仪（便携式）

4

装置介绍

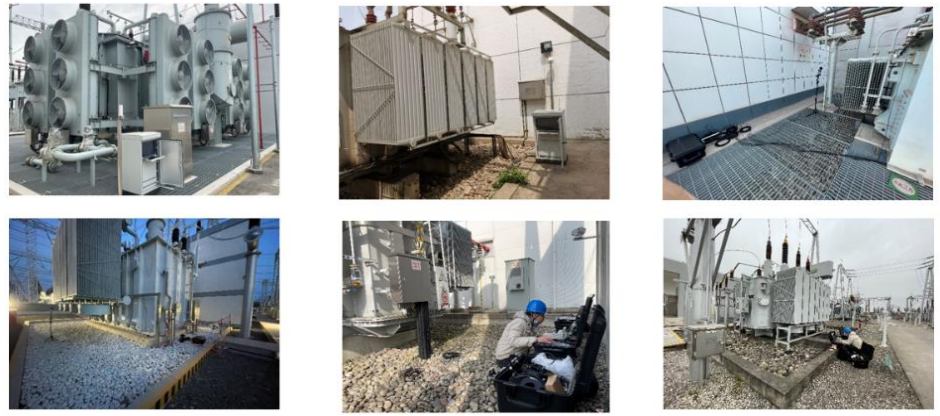
该产品覆盖**次声波-声波-超声波**全频段范围，测量频率从几Hz到几GHz，配置**振动、声纹、超声、高频、特高频、射频**等多种传感器，同步采集变压器、电抗器、GIS等电力设备全频段声学信息。

技术优势和功能特点

- **全频段**融合分析
- **故障精准定位**
- 具备**实时**PRPD、PRPS 2D/3D 波形**显示**
- 电力设备**主动健康**检测传感器多合一

成果应用

产品目前已在**山东、河北、内蒙、四川、湖北、新疆**等多地的特高压及其他等级智慧变电站应用，保障无人值守条件下变电站的安全稳定运行

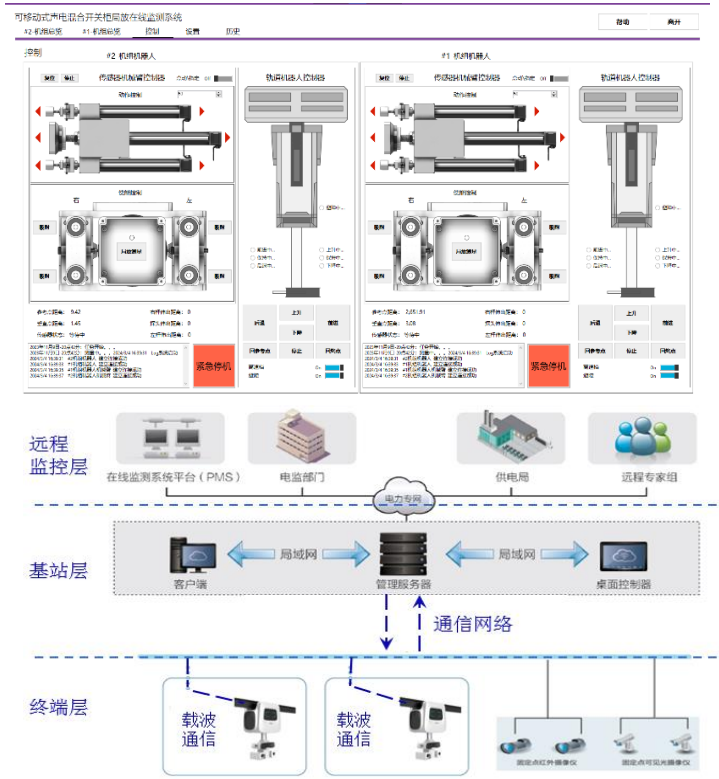


电力设备声学巡检机器人（轨道式）

5

装置介绍

该装置由**机器主体、水平动能机构、轨道系统、通信供电系统和后台管理系统**组成，搭载**地电波、超声波、特高频、温度**等传感器，通过轨道移动方式逐面采集配电房内楷开关柜信号，基于LORA无线通信传输至检测终端，实现每面开关柜运行状态**全天候循环监测**。



技术优势和功能特点

- LORA无源无线通信
- 无盲角**变速自动巡检**
- 多级监控
- 智能**仿生特征提取**算法
- 精准定位

成果应用

产品已在**江西、安徽**等多省市应用。

变压器声级智能测定机器人（车载式）

6

装置介绍

该产品由**行走模块、定高定距模块、声级测量模块、电源模块、数据接收模块**组成，将声纹传感器搭载至智能小车上，通过后台软件控制，实现变压器**定点定距声级自动测定**，替代现有人工测定。

技术优势和功能特点

自动**定高定距算法**实现**自主巡航**

持久工作能力

连续不间断监测

高精度声级测量

集成化设计

成果应用

产品已在**江西、湖北**等地应用。

电力设备声纹巡检装置（无人机式）

7

装置介绍

该产品将**声纹成像传感器**搭载至轻量化无人机，通过低空巡飞等方式，实现对**变架空线路、绝缘子、断路器、互感器**等设备**远距离、全方位、非接触式**的声纹信号捕获,基于声成像算法，**实时定位设备**异响点并进行可视化展示。

技术优势和功能特点

PCA降维抗噪算法

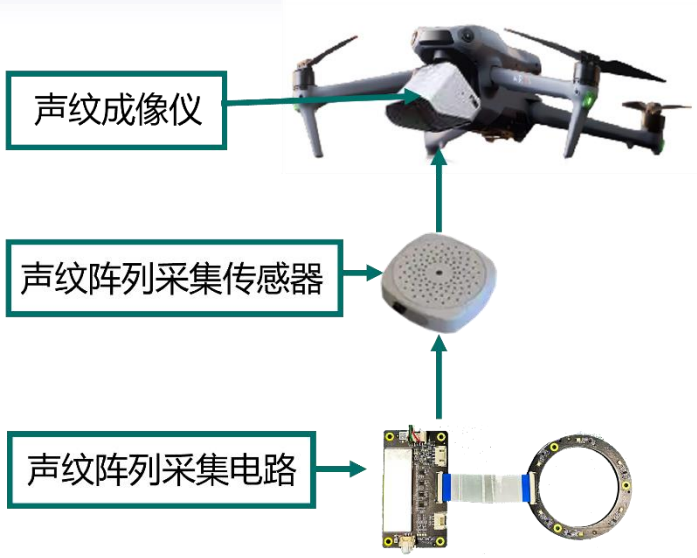
地-空联合多方位监测

立体巡检策略

参考地面点位自主巡飞

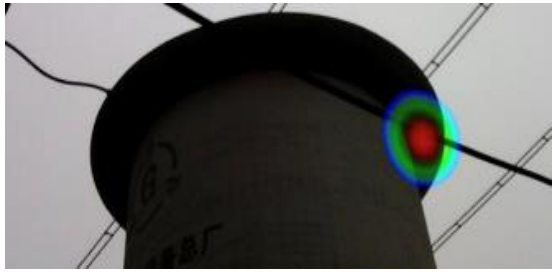
全方位监测能力

可视化直观展示



成果应用

产品已在**云南**等地应用。



电力设备声阵列成像仪

8

装置介绍

该产品集成**声学检测与可视化成像**技术，利用**高灵敏度麦克风阵列**捕捉声音信号，并基于算法将信号转化为**直观的图像**，使用户能够清晰看到声音的来源、传播路径及强度，应用于**电力设备局放诊断和泄露评估**。

技术优势和功能特点

数字麦克风·大阵列布局

- **162 个 MEMS 数字麦克风**
- 螺旋式阵列

高清大视角·检测更高效

- 声像图视场角 (FOV)：66° *52°
- **工业数码相机**：1300 万像素

坚实耐用·高级防护

- **2m 抗跌落**
- IP54 防护

成果应用

产品已在**江西**等地应用。

电力设备声热融合相机

9

产品介绍

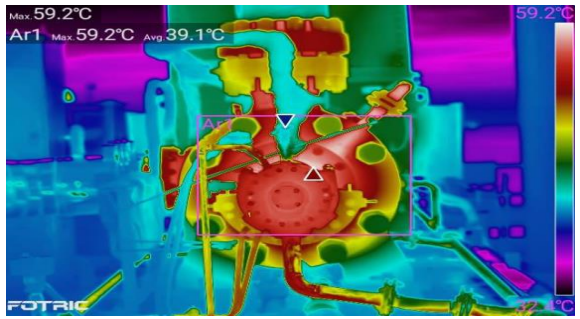
该装置融合了**热像仪**和**声像仪**的功能，集**精准测温和高清成像**于一体，从热分布和声纹信息等多个维度全面捕捉设备的故障特征，能够快速、准确地对电力设备进行泄漏评估、局部放电、振动异常等故障诊断。

专业的热像模式

- 640*480 红外分辨率
- 最高测温精度±1°

成果应用

产品已在江西等地应用。



技术优势和功能特点

AI 加持的声像模式

- 局放类型自动诊断
- 气体泄漏损失评估

变电设备局部放电

多维度分析的MiX 模式

- 同时显示热像和声像画多维度获取故障特征

设备振动异响

南昌工程学院
NANCHANG INSTITUTE OF TECHNOLOGY

PART 04

声纹在电厂中应用展望

01

发电厂升压站

变压器

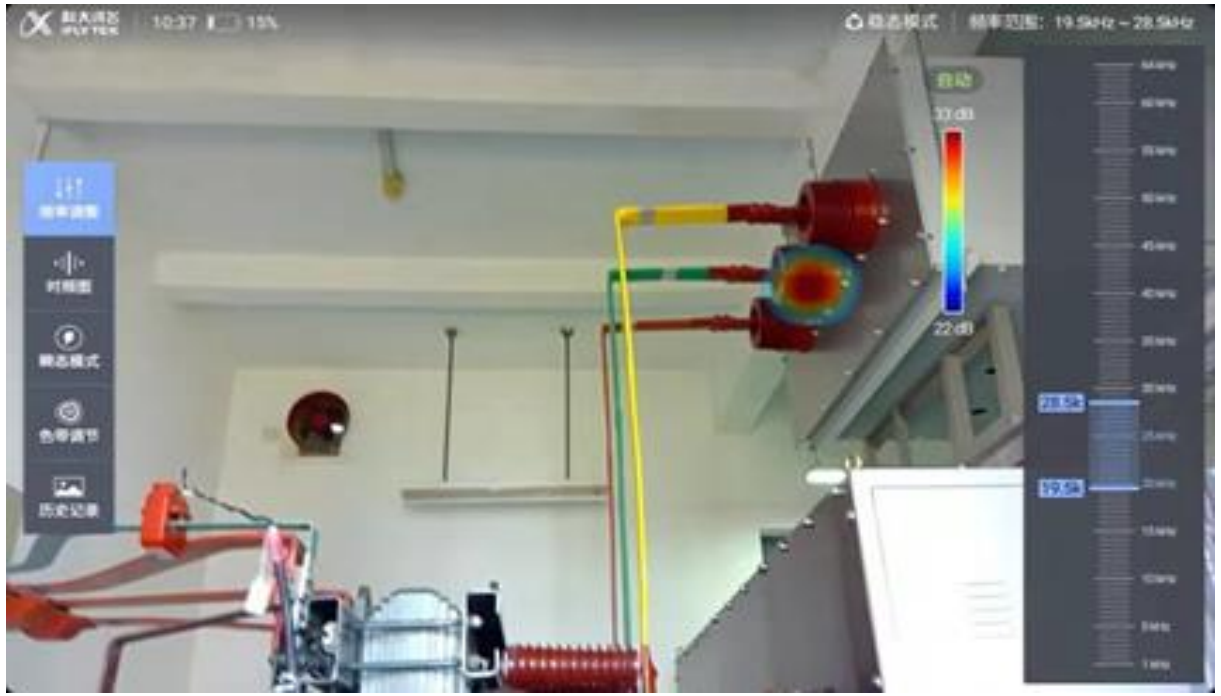
通过采集变压器运行时产生的声音信号，包括**可听声**和**超声频段**的声音。这些声音数据经过处理后，可以用来检测变压器内部的多种故障，如**铁心松动**、连接部位的**机械振动**、**电晕放电**以及**局部过热**等问题。通过分析这些特征声音，声纹技术能够帮助**定位故障源**，**提供**及时的**预警**，确保电力系统的安全稳定运行。

高压绝缘子

主要采集湿污秽瓷绝缘子和干污秽玻璃绝缘子**电晕放电、表面放电、击穿电弧放电**声音数据，能够有效识别绝缘子表面或内部的**微小裂纹**、**污染导致的泄漏电流增加**及其它**绝缘失效前兆**，确保电力传输系统的安全性和可靠性。

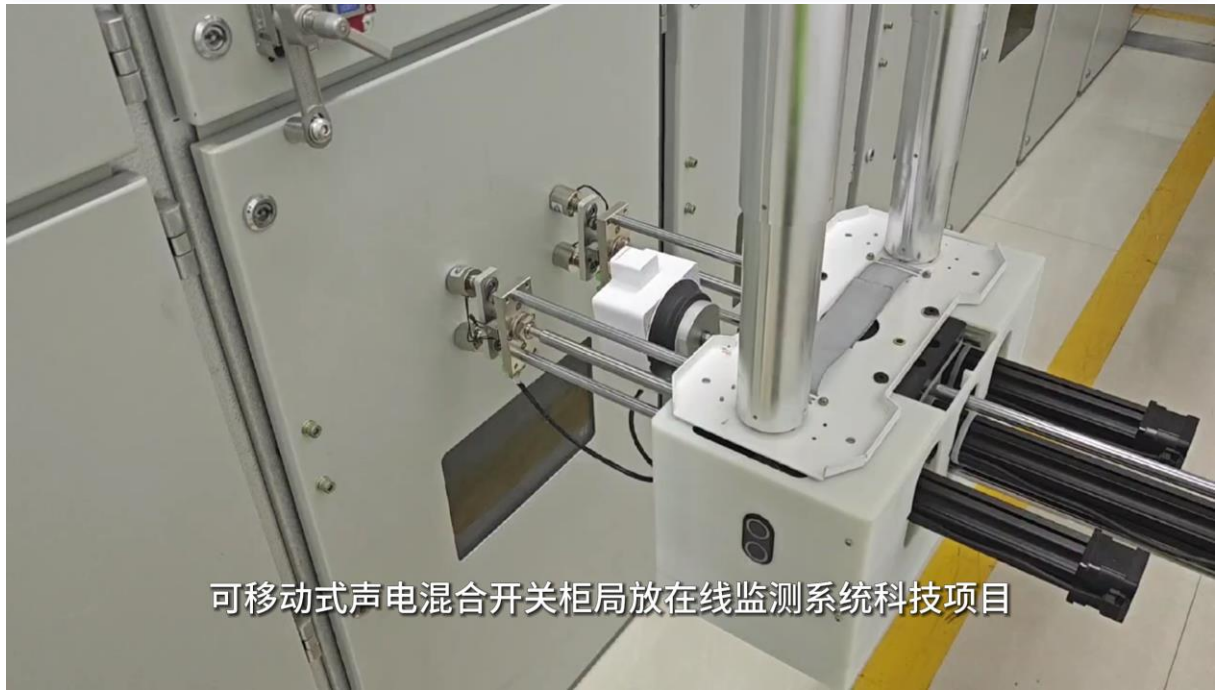
02 配电类设备

熔断器



主要采集高压设备状态下的声学信号数据，包括但不限于**启动、运行过程中的正常及异常声响**。通过分析这些声音特征，可以检测出诸如**接触不良、过热、内部元件损坏或松动**等故障，实现对熔断器健康状况的实时监测与预警。

开关柜



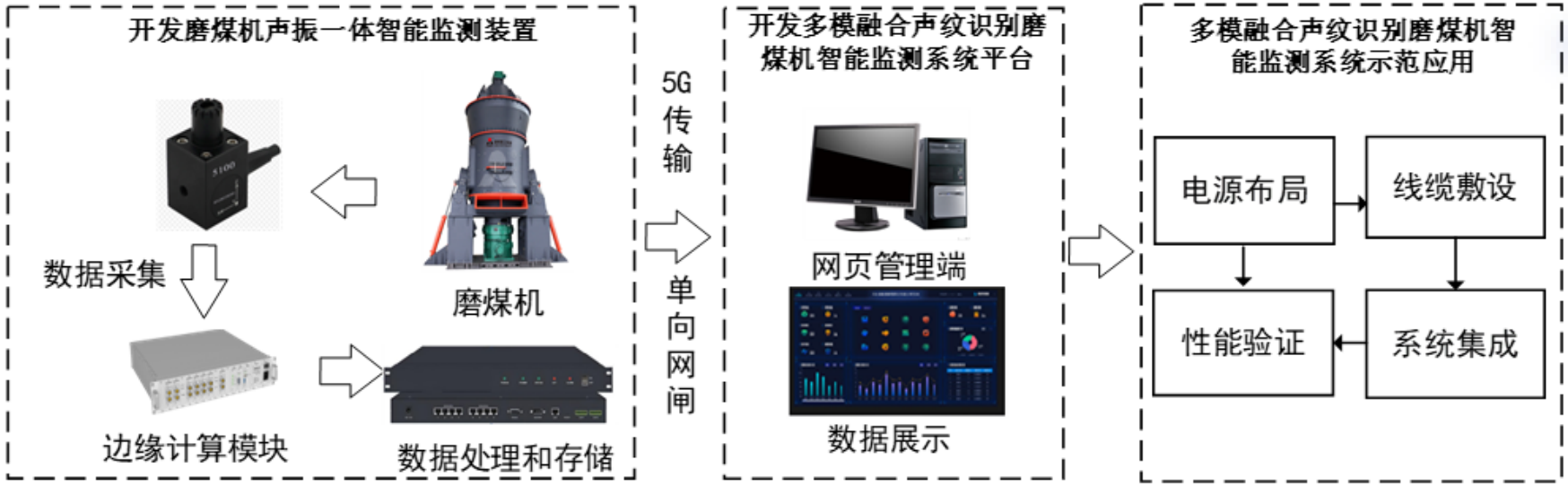
开关柜在发生局放故障之前，往往会先经历局部放电现象，局放分为**电晕放电**、**沿面放电**、**内部放电**、**悬浮电位放电**等故障类型，通过局放传感器将采集到的数据转化为图谱，结合深度学习方法，能够实现对开关柜的**局放预警及精准识别**，提高开关柜运行水平和降低故障发生概率，保障电厂的平稳运行。

03

水电水轮发电机

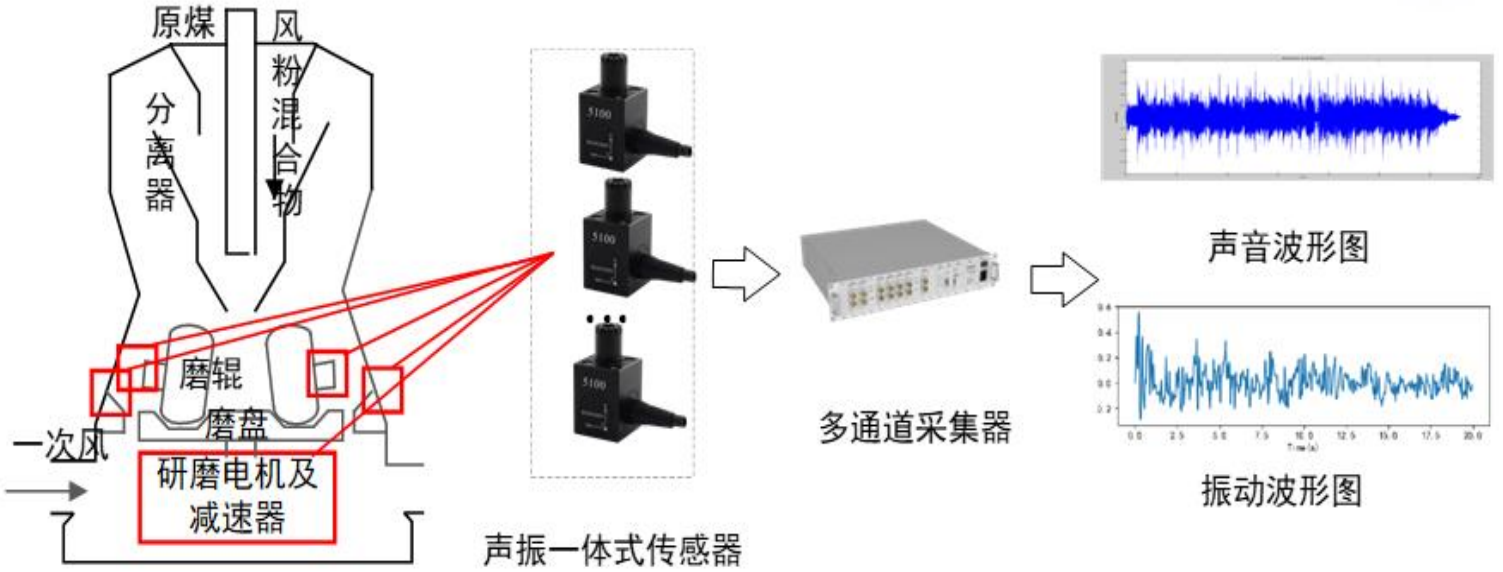
主要采集运行时产生的声音数据，结合机器学习算法分析这些声学特征，可以检测出**转子和定子的不对中轴承磨损、线圈短路以及机械不平衡**等故障，从而实现对发电机健康状态的实时监测和预防性维护。

04 火电厂磨煤机

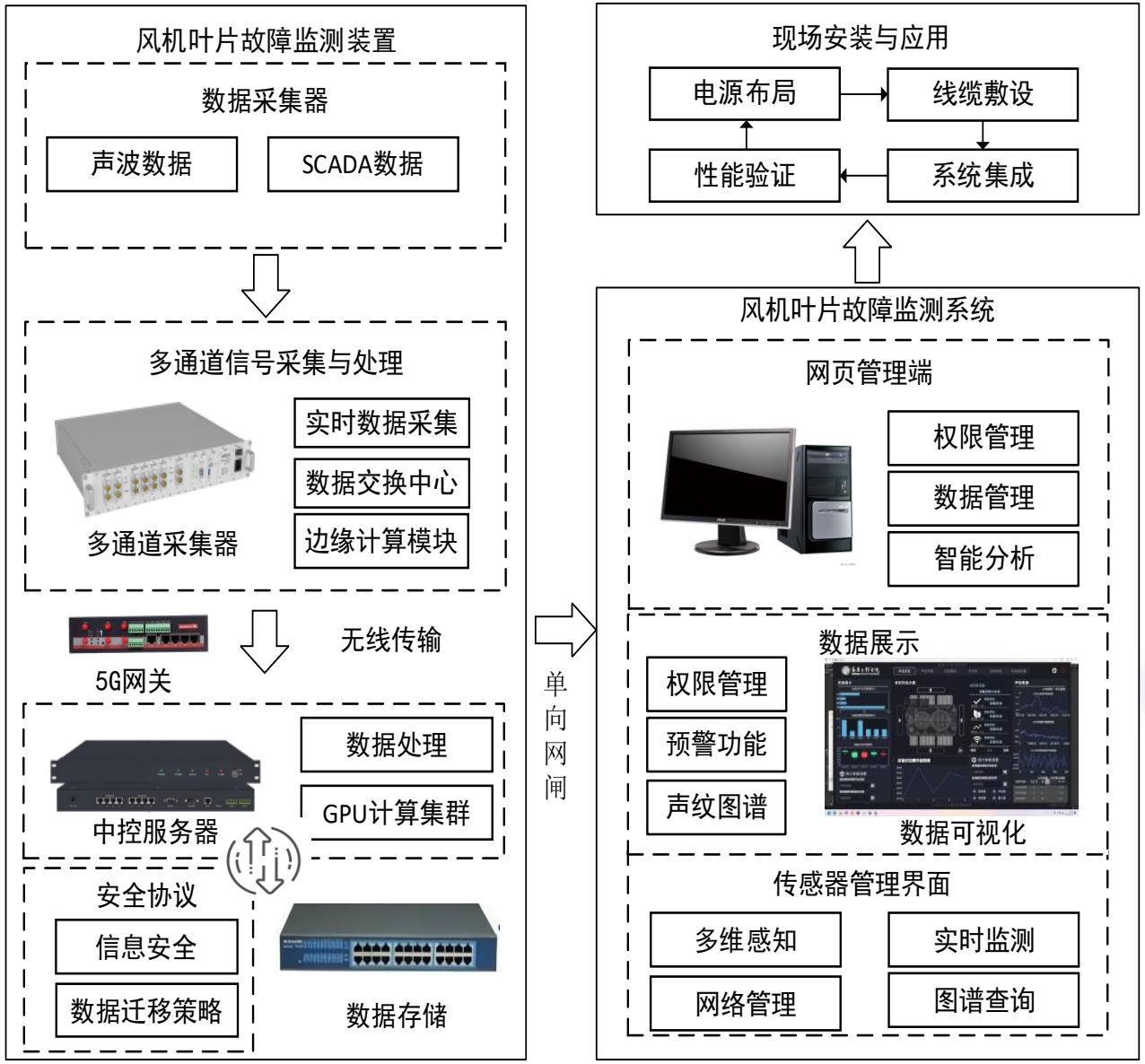


主要采集设备运行时的声音数据，通过分析这些声纹数据集可以检测出诸如**磨辊、电机、减速机和拉杆**等关键部件的异常振动或磨损故障，以及判断料位状态，实现对磨煤机健康状况的实时监测与故障预警

此外，研发适合磨煤机运行监测需要的声振一体式传感器装置，安装于磨煤机及其电机上，用于采集相关部位的声音与振动数据可以**弥补**传统监测手段的**不足**，**提高**监测效果和运维管理**水平**，更有利于设备的**安全稳定运行**。



05 风电场机组

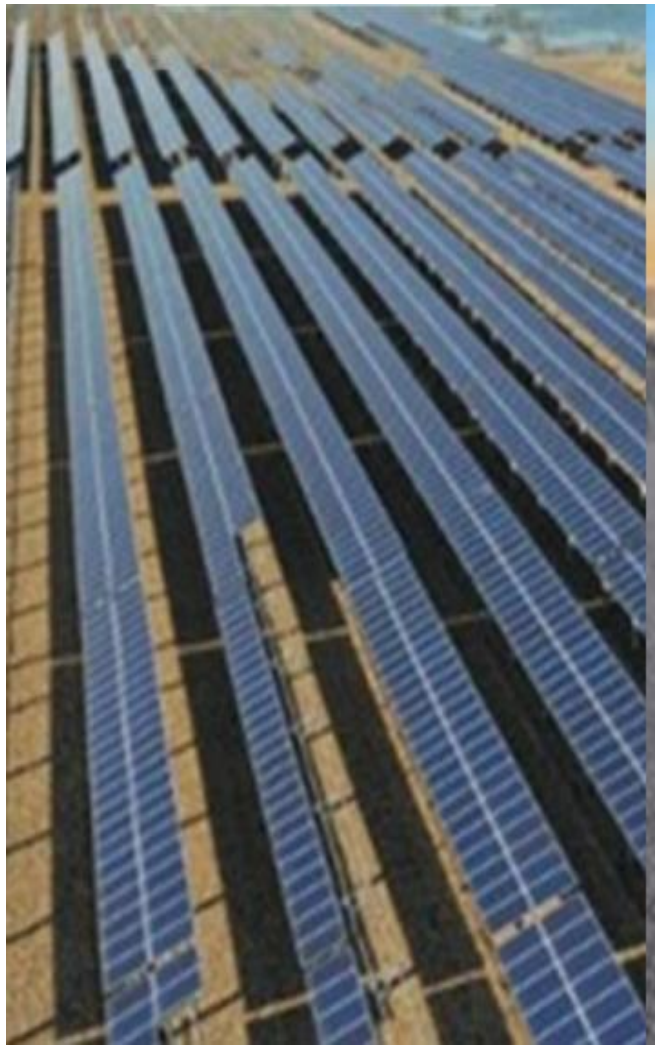


单向网闸

声纹技术在发电站风机中的应用主要集中在采集风机运行时产生的声音信号，包括但不限于**叶片、齿轮箱和发电机**等关键部件的工作噪音。通过分析这些声纹数据，可以检测出**如叶片损伤、齿轮磨损、轴承故障**以及**润滑不良**等多种潜在问题，实现对风电机组健康状态的实时监测与预警，确保设备稳定运行并减少非计划停机时间。

06

光伏逆变器、储能站



光伏发电

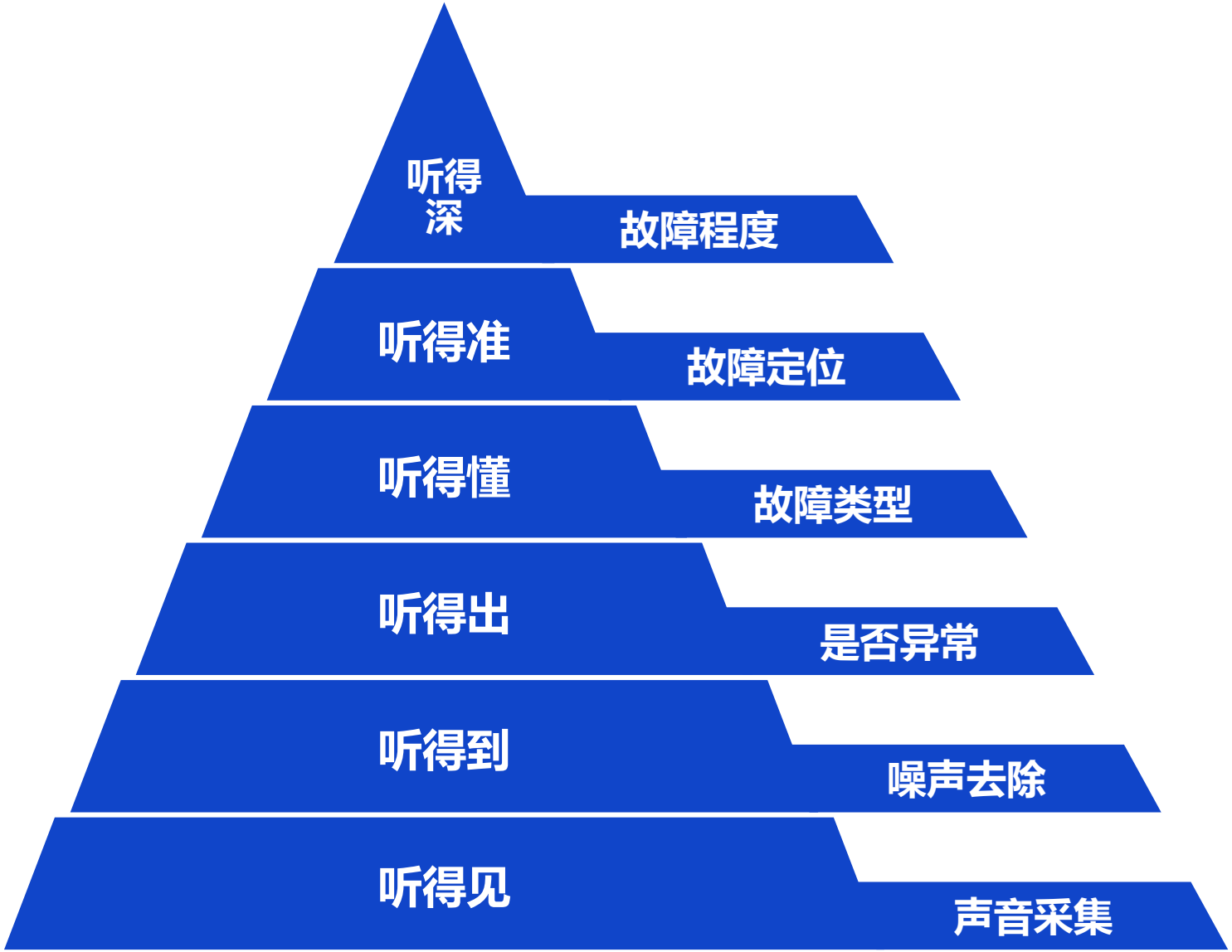
分布式储能

调相机

声纹技术在**光伏发电**、**分布式储能**和**调相机**中的应用，主要采集设备运行时产生的**声音及超声波数据**，通过分析这些声学特征可以检测出**光伏板的微裂纹与污染**、**储能系统的电池内阻异常与连接松动**、以及**调相机的机械故障如轴承磨损和不平衡**等问题，从而实现早期故障预警和优化维护策略，确保系统稳定高效运行。

07

思考与总结



- **声纹**：是指通过电声学实现的携带声音DNA的声波频谱；
- **天然优势**：非接触和易获得；
- **标准化**：声纹技术标准化和声纹数据库建立（声纹泛网）；
- **机器听觉：**能弥补现有电力设备监测状态量的欠缺，是数字经济时代背景下的数智化电网技术必然发展趋势。
- **发展规律**：声纹技术发展需要时间积累。

敬请各位专家批评指正

THANK YOU FOR WATCHING