

# 基于智能技术的声音传感器在电力自动化中的应用分析

傅谦晶 贺艇 张翔栋 王旭东 俞舟健

国能浙江舟山发电有限责任公司 浙江舟山 316000

**摘要:** 声音传感器依靠压电、电容、电磁等效应敏锐捕捉声音引起的振动或压力变化,给电力设备运行状态监测提供全新视角。本文深入分析基于智能技术的声音传感器在电力自动化当中的应用,从声音传感器主要类型以及电力设备应用选型要点开始,全面探讨智能声音传感器在电力自动化设备运行状态监测、故障诊断与预测和智能化控制等方面应用价值,同时针对应用过程面临的环境干扰、传感器故障诊断与自修复能力提升等挑战,提出切实可行应对策略。希望有助于智能声音传感器在电力自动化领域进一步推广。

**关键词:** 智能声音传感器; 电力自动化; 应用价值分析

## 前言

声音传感器也叫做声学传感器,该设备可将声音信号也就是空气中机械波转化成可测量电信号的设备,其基本原理是捕捉声波引发的物理变化像气压变化和振动等,再将其转化成对应的电压电流或数字信号。相关研究<sup>[1]</sup>表明,将声音传感器应用到电力自动化系统当中,是显著提升电力设备运行可靠性与维护效率的关键举措,通过实时且非接触式地监听设备运行时的声音特征,能够精确捕捉潜在的异常振动摩擦或放电等早期故障征兆,进而实现故障的快速预警与精确定位,有效避免突发性停机事故的发生,以此优化维护计划,实现从被动抢修向预测性维护的转变,最终确保电网能够安全稳定地运行。

## 一、声音传感器主要类型

### (一) 压电式声音传感器

压电式声音传感器核心原理压电陶瓷、石英等受外部机械应力或应变作用时表面产生相应电荷分布或电压变化,当声波作用于传感器压电材料表面会引起材料微小振动和形变。其传感器结构相对简单且坚固耐用,具备较高灵敏度,能够有效把声学信号转换为可供后续处理的电信号。同时,压电式声音传感器工作频带范围较宽,有较好环境适应性,能满足电力设备在复杂工业环境下的监测需求。此外,因其直接机电转换特性,压电传感器往往有较快响应速度和动态特性。在电力自动化

应用里,压电式声音传感器常被用于监测变压器、开关设备、电机等关键设备的运行状态,通过分析设备运行时发出的特征声音频率和强度可有效识别异常噪声如放电声、振动声、机械摩擦声等,从而实现早期故障诊断和预警。

### (二) 电容式声音传感器

电容式声音传感器基于电容原理工作的声学检测装置,其核心结构一般包含固定电极背极板和随声波压力变化的可动振膜膜片,二者共同构成一个可变电容器。当声波作用于振膜时会引起振膜产生微小位移,进而改变电容两极板之间距离或重叠面积,导致电容值发生相应的变化,由于电容器充电电压近似保持不变,依据电容公式 $Q=CV$ 也就是电荷量等于电容值乘电压,电容值变化必然引起极板上存储电荷量改变,这种电荷量变化会形成微弱的交变电流信号,该信号经前置放大电路也就是通常的场效应管进行阻抗转换和信号放大后,输出与声波强度和频率相关的电压信号。电容式声音传感器具备灵敏度高、频率响应范围宽且失真小等优点,尤其在捕捉高频声音信号方面表现出色,并且通常拥有较宽动态范围,其结构相对简单、功耗比较低还易于实现小型化,在电力自动化监测应用当中,能有效拾取电力设备运行产生的局部放电的特高频噪声、轴承早期磨损的特定频率振动声等细微声音变化为设备状态评估和故障诊断提供重要声学信息来源。

### (三) MEMS 声音传感器

MEMS(微机电系统)声音传感器是依靠微电子机械系统技术制造出来的新型声学换能器,去通过半导体

**作者简介:** 傅谦晶,1973年7月,男,舟山市定海人,本科,工程师/技师,研究方向:电气工程自动化。

微细加工工艺，在硅等芯片材料上集成制作出能感知声波压力并将其转换为电信号的微型结构，通常包含一个极薄的振动膜片以及与其配合形成电容或压电结构的衬底，整体尺寸能够做到毫米甚至微米级别。

MEMS声音传感器的工作原理大多基于电容变化或者压电效应，在电容式MEMS中，声波会使微型膜片与固定背板之间的距离发生微小变化，进而引起电容值改变并产生相应的电信号，压电式MEMS麦克风则是利用压电材料在声波引起的机械应力下产生电荷。和传统声音传感器相比，MEMS声音传感器具备体积小、重量轻、功耗低、可靠性高、一致性好、可批量生产且成本优势明显等突出特点，其内部易于集成信号处理电路，便于实现自动增益控制、降噪等智能化功能。在电力自动化领域，MEMS声音传感器的这些特性让它很适合部署在空间受限的设备上，或者组成密集的分布式监测网络，用于高精度地捕捉设备运行声音特征以实现状态监测和故障预警。

## 二、选型要点

在电力设备实际应用当中合理选用声音传感器特别重要，需要依据具体的检测对象去挑选合适类型的传感器。通常针对需要检测高频超声波信号的场景像变压器局部放电检测，压电式声音传感器是较为理想的选择；而对于检测低频声音以及环境噪声的情况，电容式声音传感器则更为合适。

值得注意，环境适应性是选型过程中必须考虑的重要因素。一方面，传感器的温度范围要确保其在电力设备可能碰到的极端温度条件下仍能正常工作。另一方面，防护等级要保证传感器在灰尘潮湿等恶劣环境中不会受到损坏。总之，只有综合考量这些因素才能选到最适合电力设备应用的声音传感器进而保障电力设备的安全稳定运行。

## 三、智能声音传感器在电力自动化设备中的操作要点及注意事项

### （一）运行状态监测

在具体操作时，首先要明确监测目标和监测范围，依据变压器、开关柜、电动机设备的运行特性来设定监测参数。变压器正常运行时声音一般集中在50-100Hz之间，而局部放电可会产生高于20kHz的超声波信号，所以要选用不同频段的传感器进行组合监测，开关柜正常运行时声音比较平稳，如果出现放电或者接触不良的情况，可产生高频刺耳的噪声，这时需要通过带通滤波器

提取特征频段来分析。传感器的安装位置和安装方式会直接影响监测效果，对于变压器这类大型设备，传感器通常安装在油箱表面或者外壳上，必须保证与设备表面紧密贴合从而减少信号衰减；对于开关柜，传感器可安装在柜体侧壁或者门板上，要避免直接暴露在强电磁干扰环境当中；同时，多传感器协同监测模式能提高数据可靠性，可通过分布式传感器网络实现对设备不同部位声音特征的采集，利用信号差分技术消除背景噪声的影响。在进行数据处理时，智能声音传感器一般都集成前端信号处理单元，能够针对采集到的声音信号开展实时滤波、降噪以及特征提取等操作。此外，在实际操作过程当中需留意数据存储与传输的效率，电力自动化系统常常需要进行高频率的数据采集（例如每秒采集100次），所以必须保证传感器与主控系统之间的通信带宽足够，同时可采用边缘计算技术来减少数据传输的延迟。当电力设备运行环境存在干扰源，可通过屏蔽技术来减少电磁干扰，或者采用自适应滤波算法分离有用信号与噪声。在长期监测的过程中，需定期校准传感器以保证其灵敏度与精度，防止因传感器老化或者污染造成监测数据失真。

### （二）故障诊断

智能声音传感器在故障诊断的时候通过分析设备异常声音特征，能够做到早期故障的精准识别与准确定位。在操作过程中。建议首先建立设备故障声音数据库，依靠历史数据积累不同故障类型的声音特征模型。例如，变压器绕组松动常产生低频共振声，局部放电表现为高频脉冲噪声，电动机轴承磨损常产生周期性摩擦声，匝间短路则会伴随有放电噪声。可利用机器学习算法（支持向量机、深度神经网络）训练分类模型，把实时监测的声音信号跟数据库里的故障特征进行匹配，从而实现故障类型的自动识别。

值得注意，故障诊断要结合多模态数据融合技术来开展，单一声音信号无法全面反映故障的本质，需要结合振动、温度、电气参数等多源数据进行综合分析。特别是，通过声音信号检测到变压器出现异常之后，需进一步结合油色谱分析或者红外测温数据来确认故障性质。在分布式监测系统当中，不同位置的传感器能够提供空间分布信息，需借助信号时差定位（TDOA）技术精确定位故障源。此外，本文建议，针对故障诊断要建立起预警机制和响应流程，一旦检测到潜在故障情况系统需实时触发告警，并且要通过可视化界面展示故障类型、位

置以及严重程度。例如，可通过声学成像技术生成设备表面噪声分布图，以此辅助运维人员快速定位问题所在区域，同时还需结合维护管理系统（CMMS）生成工单，从而实现从故障诊断到维修处理的闭环管理工作。最后，故障诊断的准确性依赖于传感器长期稳定性，需要定期开展传感器标定与维护工作，避免由于传感器漂移而导致出现误判情况<sup>[2]</sup>。

### （三）智能化控制

智能声音传感器除用于监测和诊断工作，还可直接参与电力自动化系统的控制决策，以此实现设备运行的优化调节操作<sup>[3]</sup>。在具体操作过程中，首先要明确控制目标以及控制逻辑内容。例如，在开关柜局部放电监测这个场景里，如检测到放电信号超出了阈值范围，可通过控制继电保护装置来实现瞬时跳闸，进而避免故障出现进一步扩大的情况；在电动机轴承磨损监测时，依据声音特征的变化来动态调整负载分配，从而延缓轴承出现进一步损伤的状况<sup>[4]</sup>。

而控制逻辑一般是基于预设规则（例如IF-THEN规则）或者自适应控制算法，需要结合设备运行的约束条件（比如电压、电流限制）来确保控制动作具备安全性。同时，智能化控制需达成多系统之间的协同配合。既声音传感器所监测到的数据可与SCADA、PLC等控制系统进行实时交互，进而形成闭环控制回路。例如，在智能变电站当中，通过声音传感器检测到GIS设备出现异常放电之后，能够联动继电保护系统执行隔离操作，同时触发远方告警去通知运维人员，在风力发电机组的控制方面，声音传感器监测叶片气动噪声，能够动态调整桨距角来优化发电效率并且减少机械磨损。另外，智能化控制还需结合数字孪生技术，借助建立设备声音-状态映射模型，在虚拟空间模拟不同控制策略效果，进而优化实际控制参数。例如，在电力变压器运维工作当中，通过数字孪生系统评估不同负载条件下声音特征变化，以此指导现场控制策略的调整。与此同时要注重控制系统的可解释性，利用可视化工具展示控制决策依

据，以此增强运维人员的信任程度。最后智能化控制的实施需要遵循安全合规原则，建议采用多级确认机制，只有当声音异常信号持续超过预设时间且经多传感器交叉验证之后，才触发相应的控制动作，并且需要符合电力行业相关标准），以此确保控制系统与现有自动化系统的兼容性。

### 结束语

综上，在电力自动化领域里，智能声音传感器靠着独特声音感知与转化能力，在实际应用时不仅做到对变压器局部放电和输电线路放电等异常现象精准定位与识别，还通过深度分析声学特征提前预判设备故障，为预防性维修提供有力依据，进而有效避免突发故障带来停电事故和经济损失。同时，在电力设备启动、运行及停止全过程中，声音传感器通过全方位多层次声学特征信息采集与分析推动电力自动化智能化发展。不过，智能声音传感器在电力自动化中的应用还面临环境干扰以及传感器故障诊断与自修复能力提升等挑战。建议采用屏蔽措施、优化安装方式、利用多传感器数据融合技术并加强人员培训等策略，以此进一步提升智能声音传感器在电力自动化中的应用效能。

### 参考文献

- [1]张可, 杨可军, 黄文礼, 等.基于声纹识别的变压器工况检测方法及其验证系统[J].计算技术与自动化, 2022, 41(1): 1-6.
- [2]李建业, 李思毛, 陈文栋, 等.输电线路故障声源定位系统设计[J].今日自动化, 2020, 000(004): P.47-49.
- [3]王朝旭, 高继伟.声音传感器在电力自动化中的应用研究[J].电声技术, 2025, 49(06): 109-111.
- [4]尹志鹏, 陶加云, 田佳麟.基于声音传感器的电子设备间歇性故障诊断方法[J].电声技术, 2024, 48(09): 161-163.