

# 电气设备故障诊断与状态监测技术

陈奎明

郑州市污水净化有限公司 河南 郑州 450000

**【摘要】**：电气设备是电力系统与工业生产的核心支撑，其运行稳定性直接决定生产安全与供电可靠性。随着电力系统规模扩大与设备运行负荷提升，传统定期检修模式已难以适配实际运维需求，故障诊断与状态监测技术逐渐成为保障设备安全高效运行的关键手段。本文围绕电气设备故障诊断与状态监测技术展开研究，分为4章核心内容，重点探讨主流监测技术应用、故障诊断方法实践、技术应用难点及优化路径，结合实际运维场景细化技术落地细节，减少纯理论阐述，突出技术实用性与针对性。研究表明，科学运用状态监测技术可提前捕捉设备异常征兆，精准的故障诊断方法能快速定位故障根源，二者结合可有效降低设备故障率、减少运维成本。本文研究内容贴合实际运维需求，可为电气设备运维工作提供实践参考，推动故障诊断与状态监测技术的规范化、智能化应用。

**【关键词】**：电气设备；故障诊断；状态监测；运维优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.039

## 引言

电力系统的规模化发展与工业生产的自动化升级，让电气设备长期处于高负荷运行状态，设备老化、绝缘损坏、部件磨损等问题频发，易引发故障停机甚至安全事故，造成严重的经济损失。传统运维模式依赖定期人工检修，不仅存在检修盲目性，易出现过度维修或故障漏判的情况，还难以实现对设备运行状态的实时掌控，无法提前预判潜在故障风险。故障诊断与状态监测技术通过实时采集设备运行参数、分析异常信号，能实现对设备状态的动态跟踪和故障的精准识别，推动运维模式从“事后维修”“定期检修”向“状态检修”“预测性维护”转型。当前，各类监测技术与诊断方法不断迭代，但其在实际应用中仍面临数据融合困难、复杂故障识别不准、老旧设备适配性差等问题。

## 1 电气设备状态监测核心技术

### 1.1 电气参数监测技术

电气参数监测是状态监测的基础环节，直接反映设备的电气运行状态，无需对设备进行大规模拆解，适配各类电气设备的日常运维场景。监测过程中主要采集电压、电流、功率、功率因数等核心参数，通过实时跟踪参数变化，捕捉设备运行中的异常信号。电压监测重点关注电压波动幅度与三相电压不平衡情况，电压波动过大易导致设备绝缘老化加速，三相不平衡则可能引发电机绕组过热等问题；电流监测聚焦电流畸变、电流不平衡度等指标，电流畸变往往预示着设备内部绕组短路、接触不良等故障，电流不平衡则可能与负载分配不均或设备内部部件损坏相关。功率与功率因数监测可反映设备的能耗状态与运行效率，功率波动异常通常与设备负载异常或机械故障相关，功率因数偏低会增加设备能耗，还可能影响整个电力系统的稳定运行。

### 1.2 非电气参数监测技术

非电气参数监测弥补了电气参数监测的局限性，聚焦设备物理状态与运行环境对设备的影响，是发现设备潜在故障的重要手段，在实际运维中应用广泛且效果显著。温度监测是核心内容之一，设备关键部位的温度异常的是故障的重要前兆，如变压器绕组、断路器触点、电机轴承等部位，过热现象多由绝缘老化、接触不良、负载过大等原因引发，监测时采用红外测温仪、光纤温度传感器等设备，可实现非接触式实时测温，避免对设备运行造成干扰，同时能精准捕捉局部过热信号。振动监测主要针对电机、变压器等旋转或电磁振动设备，通过加速度传感器采集振动信号，分析振动频率、幅值与相位的变化，可识别轴承磨损、铁芯松动、转子不平衡等机械故障，振动信号的异常波动往往早于电气参数异常，能为故障预判提供更早的信号支撑。

### 1.3 案例分析-污水处理厂电气设备故障诊断与状态监测专项技术

污水处理厂电气设备长期运行在高湿、高腐蚀、重污染、连续重载的特殊工况，硫化氢、氨气等腐蚀性气体易造成绝缘老化、金属锈蚀与接触不良，变频设备密集导致谐波问题突出，设备24小时不间断运行易引发疲劳损坏。结合厂区场景特点，对核心电气设备开展针对性状态监测与故障诊断，可显著提升供电可靠性与生产连续性。

#### (1) 核心监测与诊断要点

##### ① 10kV 高压配电柜

重点监测柜内温湿度、凝露、母线及触头温升、局部放电、开关机械特性与二次回路；主要防范潮湿腐蚀、绝缘下降、接触不良发热、开关拒误动故障。

轨道机器人技术应用：采用柜内轨道式巡检机器人，沿母线室、断路器室预设轨道自动巡航，搭载红外热像仪、局放传

感器、温湿度传感器与气体检测模块，7×24小时不间断采集触头/母线温度、局部放电信号、柜内凝露与腐蚀性气体浓度。机器人可自动识别仪表读数、开关位置与异常声响，实现全覆盖测温、局放定位、温湿度超限预警，替代人工进入高风险柜间巡检，大幅降低潮湿、腐蚀环境下的人身安全风险，提升隐患发现及时性。

### ②干式变压器

监测绕组温度、冷却风机工况、振动异响、表面污秽与绝缘状况；污水厂变频设备多，需关注谐波影响、过载过热、环氧树脂绝缘腐蚀老化问题。

智能分析技术应用：构建多参数融合智能分析模型，实时采集绕组温度、振动、电流谐波、负载率等数据，通过时序分析与趋势预测算法，识别风机卡滞、绕组局部过热、绝缘老化等早期隐患。结合数字孪生技术，建立变压器虚拟映射模型，模拟谐波叠加、过载、腐蚀等工况对绝缘寿命的影响，实现剩余寿命预测与预防性维护决策，避免因绝缘失效、谐波损伤导致突发停机。

### ③低压配电柜/MCC柜

重点检测母排端子温度、三相电流平衡度、功率因数、接触器与电容器运行状态；防控接线松动、触点烧蚀、柜体腐蚀、无功补偿失效缺陷。

轨道机器人技术应用：在MCC室与低压配电室部署顶置轨道巡检机器人，沿柜顶轨道移动，对母排、接线端子、接触器、电容器组进行红外精准测温与外观视觉识别，自动检测端子发热、电容鼓包、柜体锈蚀、指示灯异常等问题。机器人支持定时巡检、异常触发巡检与远程遥控，结合边缘计算实现发热趋势预判、corrosion程度评估，解决人工巡检盲区多、频次不足、数据不准的问题。

### ④水泵、风机、压缩机、离心机电动机

监测运行电流、轴承及定子温度、振动、绝缘电阻、设备异响；变频驱动设备重点查变频器散热、模块温度、谐波干扰，防范缺相、过载、轴承锈蚀、电机受潮损坏。

智慧管理与AI算法应用：搭建电机群智慧管理平台，融合电流、振动、温度、绝缘电阻、变频器状态等多源数据，采用深度学习与故障特征聚类算法，自动识别轴承磨损、转子不平衡、绕组受潮、谐波损伤、散热不良等故障模式。通过时序预测模型分析振动峰值、温度漂移、绝缘电阻下降趋势，实现早期劣化预警与剩余使用寿命估算；结合边缘计算实现本地实时告警与云端智能诊断，支撑预测性维护，降低24小时连续运行设备的非计划停机率。

## 2 电气设备主流故障诊断方法

### 2.1 信号分析诊断方法

信号分析诊断方法是故障诊断的核心方法，依托状态监测采集的各类信号，通过专业处理提取故障特征，实现故障的精准识别，贴合实际运维场景，无需复杂的理论支撑，应用范围最广。时域分析直接对监测信号的波形进行分析，通过观察电流、振动等信号的波形畸变、峰值变化等特征，判断设备是否存在异常，操作简单、直观高效，适合现场快速排查故障，如电流波形出现尖峰脉冲可能提示绕组短路，振动信号峰值异常则可能预示轴承磨损。频域分析通过傅里叶变换将时域信号转换为频域信号，识别特征频率成分，不同类型的故障会产生特定频率的谐波，通过频谱分析可精准定位故障位置与类型，如轴承故障会在振动信号中产生特定频率的谐波，绕组故障则会导致电流频谱出现异常谐波成分。时频域分析结合了时域与频域分析的优势，可处理非平稳信号，适用于设备故障发展过程中的动态监测，能捕捉故障从萌芽到恶化的全过程信号变化，为故障程度评估与处理方案制定提供精准依据，尤其适用于复杂设备的故障诊断。

### 2.2 智能算法诊断方法

随着人工智能技术的发展，智能算法诊断方法逐渐取代传统人工诊断的不足，大幅提升故障诊断的精度与效率，成为复杂电气设备故障诊断的主流方向，在实际运维中应用越来越广泛。机器学习算法通过训练历史故障数据，建立“特征-故障”映射关系，可实现故障的自动识别与分类，常用的支持向量机、随机森林等算法，能有效处理多维度监测数据，降低噪声干扰的影响，适用于多类型故障的综合诊断，如通过变压器油中溶解气体含量特征，可精准识别绝缘老化、局部放电、绕组短路等不同类型故障。深度学习算法可自动提取故障特征，无需人工干预，适用于复杂信号的处理与分析，卷积神经网络可处理振动、红外图像等多维信号，自动识别设备故障特征，如通过电机红外热像图识别绕组热点位置，判断绝缘老化程度；循环神经网络适用于时序监测数据，通过分析参数变化趋势，预测设备故障发展阶段，为故障提前处置提供支撑。智能算法诊断方法的核心优势的是能处理大规模、多类型监测数据，减少人工操作误差，提升诊断效率，尤其适合大型电力系统中大量电气设备的集中诊断。

## 3 电气设备故障诊断与状态监测技术应用难点

### 3.1 多源数据融合难度大

当前电气设备状态监测与故障诊断过程中，多源数据融合困难是突出难点，直接影响诊断精度与效率，也是实际运维中亟待解决的问题。监测数据涵盖电气参数、非电气参数、环境与工况参数等多种类型，不同类型数据的格式、采集频率差异较大，电气参数采集频率通常较高，而环境与工况参数采集频

率相对较低,数据格式缺乏统一标准,导致不同来源的数据难以有效整合。同时,监测数据中存在大量噪声干扰,如传感器本身的误差、外界电磁干扰等,会导致数据失真,进一步增加数据融合的难度,易形成“数据孤岛”,使得单一数据无法全面反映设备运行状态,多源数据无法发挥协同作用。部分监测设备来自不同厂商,数据接口不统一,无法实现数据的无缝对接,需要额外进行数据转换,不仅增加了运维工作量,还可能导致数据丢失或误差增大,影响后续故障诊断的准确性,尤其在大型电力系统中,大量设备的多源数据融合问题更为突出。

### 3.2 复杂故障识别精度不足

电气设备的故障类型复杂多样,部分故障存在“多因一果”或“一因多果”的特征,导致复杂故障识别精度不足,成为制约故障诊断技术应用的重要因素。部分故障的特征信号较为微弱,且易被其他信号干扰,难以精准提取故障特征,如轻微的局部放电故障,其信号强度低,易被外界电磁干扰掩盖,导致故障漏判。不同类型故障的特征信号存在重叠,如电机振动异常可能由轴承磨损、绕组故障或负载波动等多种原因引发,单一监测信号难以精准区分,易出现误诊,增加运维成本。智能算法诊断方法虽能提升诊断精度,但对数据质量要求较高,当历史故障数据不完整、不均衡时,算法模型的诊断效果会大幅下降,难以准确识别复杂故障。

## 4 电气设备故障诊断与状态监测技术优化路径

### 4.1 数据融合与算法优化

针对多源数据融合困难与复杂故障识别精度不足的问题,数据融合与算法优化是核心优化路径,能有效提升故障诊断与状态监测的整体水平,贴合实际运维需求。数据融合方面,引入数据标准化技术,统一不同类型监测数据的格式与采样频率,建立统一的数据标准,实现不同来源数据的无缝对接,减少数据转换带来的误差与工作量。采用滤波算法降低信号噪声,如卡尔曼滤波、小波去噪等方法,可有效去除监测数据中的干扰信号,提升数据质量,为故障特征提取提供可靠支撑。通过多传感器信息融合算法,整合电气与非电气参数,实现多

维度数据的协同分析,提升故障特征提取的全面性,避免单一数据的局限性,打破“数据孤岛”。算法优化方面,开发“传统信号分析+智能算法”混合模型,通过小波变换等信号分析方法提取故障特征后,输入深度学习模型进行分类,兼顾特征提取的专业性与分类的精准性,提升复杂故障识别精度。

### 4.2 设备适配与运维管理优化

设备适配与运维管理优化是推动技术落地的关键,能提升故障诊断与状态监测技术的实用性,降低运维成本,适配不同类型电气设备的运维需求。针对老旧设备改造,开发轻量化监测装置,如无线传感器、便携式检测设备,减少对设备原有结构的改动,实现“不停机安装”,避免改造过程影响设备正常运行,同时降低改造成本,让老旧设备也能实现精准的状态监测与故障诊断。推广“云边协同”监测模式,在设备端部署边缘计算节点进行实时数据预处理,仅将异常数据上传云端,降低数据传输与存储成本,适配中小企业与大型电力系统的不同需求,提升监测效率。运维管理方面,建立设备全生命周期监测档案,整合设备出厂信息、运行数据、故障记录与维护历史,为故障诊断提供完整的数据支撑,便于追溯故障成因,优化维护策略。制定监测与诊断技术标准,明确不同设备的监测参数、诊断阈值与维护流程,避免技术应用的随意性,规范运维操作。

## 5 结论

电气设备故障诊断与状态监测技术是保障电力系统与工业生产稳定运行的核心技术,能有效解决传统运维模式的弊端,实现设备运维的精准化、智能化转型。本文通过对电气设备故障诊断与状态监测技术的研究,明确了状态监测核心技术、主流故障诊断方法、应用难点及优化路径,突出了第二章(故障诊断方法)与第四章(技术优化路径)的核心地位,重点阐述了其实际应用细节,减少纯理论阐述,贴合实际运维需求。研究发现,电气参数与非电气参数监测技术的结合,能实现对设备状态的全面监测,信号分析与智能算法诊断方法的协同应用,可提升故障诊断的精度与效率,而数据融合、算法优化、设备适配与运维管理完善,能有效解决技术应用中的难点问题。

## 参考文献:

- [1] 刘晓慧.智能电网电力设备状态监测与故障诊断技术体系[J].光源与照明,2026,(01):123-125.
- [2] 方兴,马华桢.配电网电力设备的状态监测与故障诊断技术研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(01):260-262.
- [3] 刘慧智,吴飞,芦友成.基于智能电网的电气设备状态监测与故障诊断研究[J].电气技术与经济,2026,(01):358-361.
- [4] 杨静,王震宇.智能电网背景下电力设备全寿命周期状态监测与故障诊断技术[J].产品可靠性报告,2025,(12):107-109.
- [5] 梁树利.水电厂高压电气设备绝缘状态监测与故障诊断研究[J].装备维修技术,2025,(06):82-85.