

# 电气设备状态监测及故障预警系统研究

黄荣川<sup>1</sup> 滕舟波<sup>2</sup>

1. 中广核新能源广西有限公司 广西南宁 530200

2. 中国能源建设集团华东电力试验研究院有限公司 浙江杭州 310000

**摘要:** 随着电力系统的智能化发展, 电气设备在运行过程中出现故障的风险也随之上升。传统的定期检修模式已难以满足现代电网对设备可靠性与安全性的要求。本文围绕电气设备状态监测与故障预警系统展开研究, 分析其系统架构、关键技术与实施效果。通过引入多参数监测、数据融合分析与智能诊断算法, 实现对设备运行状态的实时掌握和潜在故障的提前预警。研究表明, 该系统可显著提升设备运行的安全性和运维效率, 为构建智能电网提供有力支撑。

**关键词:** 电气设备; 状态监测; 故障预警; 智能诊断; 大数据分析

电气设备是电力系统安全稳定运行的基石, 其性能状态直接关系到电网的供电可靠性与运行效率。无论是发电侧的发电机组、输电环节的变压器与断路器, 还是配电网的开关柜等设备, 任何故障都可能引发停电事故, 影响工业生产与民生用电。近年来, 随着电力系统向高电压、大容量方向发展, 设备结构日趋复杂, 加之极端天气、电网负荷波动等多变运行环境的影响, 设备故障发生率逐年上升, 且故障类型呈现多元化、隐蔽化特征, 给运维管理带来极大挑战。传统依赖人工巡检和周期性维护的模式, 存在明显局限性: 人工巡检受限于人力成本与检测精度, 难以覆盖设备全状态; 周期性维护则可能因过度维修造成资源浪费, 或因维护间隔过长错过故障预警窗口, 导致响应滞后、处置效率低下。在此背景下, 构建基于数据驱动的状态监测与故障预警系统成为必然趋势。

## 一、电气设备状态监测技术现状

### (一) 状态监测的基本原理与分类

电气设备状态监测以设备运行的物理和化学特性为依据, 通过捕捉反映设备健康状况的信号, 实现对其状态的评估与判断。其基本原理是利用各类传感设备采集设备运行过程中的特征参数, 经数据处理后与正常状态下的参数阈值对比, 识别异常情况。从监测时间维度可分为在线监测和离线监测, 在线监测能实时获取数据, 适用于关键设备的连续监控; 离线监测则通过定期检测实现, 多用于非核心设备。按监测对象可分为变压器监测、电机监测、开关设备监测等, 不同设备因结构和功

能差异, 监测重点和方式各有不同, 但核心都是为了提前发现潜在故障。

### (二) 主要监测参数与传感技术

电气设备状态监测的主要参数涵盖温度、振动、绝缘性能、局部放电等。温度参数可反映设备的过热情况, 是判断电气连接是否良好的重要指标; 振动参数常用于评估旋转设备的机械磨损程度; 绝缘性能通过绝缘电阻、介损等参数体现, 直接关系到设备的安全运行; 局部放电则是高压设备绝缘劣化的早期信号。传感技术是获取这些参数的关键, 温度监测多采用热电偶、红外传感器; 振动监测常用加速度传感器; 绝缘监测依赖绝缘电阻表、介损仪; 局部放电监测则运用超声波传感器、射频传感器等。随着技术发展, 光纤传感器凭借抗电磁干扰强的优势, 在高压设备监测中的应用日益广泛。

### (三) 典型应用场景与系统构建案例

电气设备状态监测技术在电力系统、工业生产等领域应用广泛。在变电站, 对变压器、断路器等设备实施在线监测, 实时掌握其运行状态, 减少停电事故; 在工业厂区, 对电机、配电柜等进行状态监测, 保障生产线连续运行。典型的系统构建案例中, 通常由传感层、传输层、数据处理层和应用层组成。例如, 某大型工业园区的电气设备监测系统, 通过分布在各设备上的传感器采集数据, 经无线传输网络汇聚到监控中心, 借助软件平台进行数据分析和状态展示, 实现设备故障的早期预警, 降低了设备故障率和维护成本。

## 二、故障预警系统关键技术

### (一) 大数据采集与预处理方法

故障预警系统的大数据采集需构建全维度的数据获取体系，覆盖设备从投产到退役的全生命周期。实时监测数据通过部署在设备关键部位的传感器获取，包括振动、温度、压力等物理参数，以及电流、电压等电气信号，实现对设备运行状态的动态感知；历史故障记录涵盖故障发生时间、类型、维修方案及处理结果等信息，为故障模式识别提供依据；环境参数如湿度、粉尘浓度等外部因素也需纳入采集范围，因其可能加速设备老化或诱发故障。采集方式采用传感器自动采集与人工录入相结合，确保数据的完整性。预处理环节中，数据清洗通过统计分析和异常检测算法剔除噪声与离群值，避免干扰模型训练；数据集成将分散在不同系统（如设备管理系统、传感器网络）的数据按统一标准整合，消除格式差异；数据转换通过归一化、标准化等操作，使不同量级的数据具备可比性。这些预处理步骤直接决定数据质量，是后续故障诊断和预测模型可靠运行的基础。

### (二) 故障诊断与预测模型设计

故障诊断与预测模型的设计需兼顾当前状态识别与未来趋势预判的双重需求。故障诊断模型聚焦设备现存问题，基于规则的推理方法通过将专家经验转化为“若-则”逻辑规则，快速定位常见故障，如电机过热时触发“温度超过阈值→检查散热系统”的判断，但对复杂耦合故障适应性有限；机器学习分类算法（如随机森林、贝叶斯分类）通过学习历史故障样本的特征模式，可处理多参数关联的复杂故障，例如同时结合振动频率与温度变化识别轴承磨损程度。预测模型则基于时间序列分析挖掘设备状态的演化规律，通过ARIMA、LSTM等算法对历史数据建模，预测未来一段时间内的参数变化趋势，推算故障发生概率及剩余寿命。模型设计需平衡准确性与实时性，针对高速运转设备采用轻量化算法，在保证诊断精度的同时缩短响应时间，为及时维护决策提供支撑。

### (三) 人工智能在预警系统中的应用

人工智能技术的融入推动故障预警系统从被动响应向主动预判升级。机器学习算法是核心支撑，神经网络通过多层非线性映射捕捉数据中的隐性关联，可精准识别设备早期微弱异常，如通过分析齿轮箱振动信号的频谱特征，提前发现齿面磨损；支持向量机在小样本情况下仍能保持较高分类精度，适用于稀有故障类型的诊断。

深度学习技术进一步提升复杂场景的处理能力，卷积神经网络可自动提取图像类监测数据（如红外热成像图）的深层特征，循环神经网络则擅长处理时序数据，有效捕捉设备状态的动态变化规律。专家系统通过构建知识库存储领域经验，结合推理机模拟人工诊断逻辑，为复杂故障提供解释性更强的分析结果。人工智能的应用使预警系统突破传统阈值报警的局限，实现对潜在故障的精准预测和根因分析，显著降低设备突发停机风险，提升运维效率。

## 三、系统建设与优化策略

### (一) 系统架构设计与模块功能划分

故障预警系统的架构设计以分层架构为核心，通过清晰的层级划分实现数据流转与功能协同。感知层作为数据入口，根据设备类型部署振动传感器、温度传感器、电流互感器等，实时捕捉设备运行的物理与电气信号，部分场景辅以图像传感器实现可视化监测；网络层采用工业以太网、LoRa等混合通信技术，兼顾数据传输的实时性与覆盖范围，确保海量监测数据稳定上传；平台层依托云服务器与边缘计算节点，实现数据分布式存储与本地化快速处理，平衡算力需求与响应速度；应用层则通过Web端、移动端等多终端界面，为用户提供状态监控、预警提示、报表生成等服务。模块功能划分遵循“专业化+协同化”原则，数据采集模块负责传感器数据的汇聚与格式转换；数据处理模块执行清洗、融合等预处理操作；故障预警模块集成诊断与预测模型，输出故障类型与发生概率；报表管理模块自动生成设备健康报告与维护建议。各模块通过标准化接口实现数据互通，既保证单一功能的独立可靠，又支持系统整体的灵活扩展，为后续接入新设备或新增功能提供便利。

### (二) 数据融合与决策支持平台建设

数据融合技术是提升故障评估准确性的关键，通过多维度信息整合消除单一数据的局限性。时空融合将同一设备不同传感器的监测数据（如振动与温度）关联分析，捕捉参数间的耦合关系，例如电机轴承温度异常时结合振动频率判断是否为润滑失效；多源融合则整合历史故障数据、环境数据与实时监测数据，构建更全面的设备状态评估模型，避免因仅依赖实时数据导致的误判。决策支持平台作为系统中枢，以数据融合结果为基础，通过可视化仪表盘动态展示设备健康指数、预警等级及故障位置，支持管理人员快速定位问题。平台内置智能推荐引擎，根据故障类型、设备重要程度自动生

成维护方案，如对关键设备的紧急预警推送停机检修建议，对一般设备的轻微异常推荐计划性维护。建设过程中需注重兼容性设计，通过API接口与企业ERP、MES等系统对接，实现设备数据与生产计划、库存管理的联动，使维护决策更贴合企业整体运营需求，提升资源调配效率。

### （三）运行维护机制与系统优化方向

健全的运行维护机制是保障系统长期稳定运行的基础，需覆盖硬件、软件与数据全环节。硬件维护方面，定期对传感器进行校准，采用标准源对比法确保测量精度，对部署在恶劣环境的传感器增加防护措施并缩短校准周期；网络维护通过定期带宽测试与节点巡检，及时排查通信中断或延迟问题，必要时采用冗余网络设计提高可靠性。软件维护包括定期更新算法模型、修复漏洞，结合用户反馈优化界面交互，确保操作便捷性。数据维护则需建立备份与清理机制，定期归档历史数据并剔除无效信息，避免存储冗余。系统优化应聚焦三个方向：算法层面引入联邦学习等新技术，在保护数据隐私的同时提升模型泛化能力；功能层面拓展设备覆盖范围，支持从旋转机械向电气成套设备、特种设备等多类型设备的适配；智能化层面强化自主学习能力，使系统能根据新故障案例自动更新模型参数，逐步降低对人工干预的依赖。同时，通过开展操作培训与案例分享，提升管理人员对系统功能的利用率，确保技术优势转化为实际运维效率的提升。

### 结语

电气设备状态监测与故障预警系统作为设备全生命周期管理和智能运维的核心工具，通过多源数据采集技术整合传感器实时信号、历史运维记录与环境参数，结合智能分析算法深度挖掘设备状态特征，再以可视化预警技术直观呈现设备健康趋势，实现了从“被动抢修”到“主动预防”的运维模式变革。该系统不仅让设备运行状态更透明可控，及时发现潜在故障隐患，还为运维

人员提供了基于数据的科学决策依据，如精准判断维护时机、优化备品备件储备，大幅降低了非计划停机风险与运维成本。算法层面持续优化深度学习模型，提升小样本、复杂工况下的故障识别精度；系统集成度上强化与电力调度、资产管理等平台的协同，实现数据全链条贯通；应用场景上向新能源电站、工业配电等领域拓展，适配多样化设备类型。通过技术迭代与场景落地，助力电力系统加速向数字化、智能化转型，构建更可靠、高效的能源保障体系。

### 参考文献

- [1] 张伟, 李东. 电气设备状态监测系统研究进展[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(8): 112-118.
- [2] 刘志强, 王丽娜. 基于人工智能的电气设备故障预测研究[J]. 高电压技术, 2022, 48(6): 1735-1741.
- [3] 周明哲, 陈晓云. 电力设备故障预警系统设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(5): 85-91.
- [4] 胡文博, 赵旭东. 基于大数据的电气设备运行状态分析[J]. 电网技术, 2022, 46(10): 3023-3030.
- [5] 陈明, 刘艳. 智能传感器在电气设备状态监测中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2023, 44(3): 56-63.
- [6] 赵刚, 孙梅. 多源数据融合技术在电力设备故障诊断中的研究[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(12): 4210-4218.
- [7] 王静, 李军. 边缘计算在电气设备实时监测系统中的应用[J]. 计算机应用, 2023, 43(5): 1620-1626.
- [8] 张强, 吴芳. 基于深度学习的电气设备剩余寿命预测模型[J]. 控制与决策, 2022, 37(8): 1985-1992.
- [9] 刘晓, 郑华. 电力设备故障预警系统的可靠性评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(9): 78-85.
- [10] 黄勇, 马丽. 大数据驱动的电气设备运维决策支持系统构建[J]. 数据采集与处理, 2023, 38(2): 310-317.
- [11] 吴刚, 林巧. 电气设备状态监测中的数据预处理技术综述[J]. 自动化仪表, 2022, 43(6): 1-6.