

电气设备在变电运行中的监控及异常诊断

张 文

内蒙古超高压供电公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要：通过传感器、数据采集装置及监控主机组成的系统，实现对电气设备的电压、电流、功率、温度等参数的实时监测，并支持远程控制操作。全天候监控可及时发现设备运行异常，减少故障导致的停电风险。引入智能巡检技术、神经网络监测系统等，提升数据采集效率和故障预警能力。例如，基于神经网络的监测系统可分析设备运行状态，预测潜在故障。

关键词：电气设备；变电运行中；监控；异常诊断

电气设备监控通过实时参数跟踪、智能化预测、跨系统协同及快速故障响应，显著提升了电力输送网络的稳定性和可靠性，降低停电概率及经济损失。其技术应用正推动电力系统向主动防御、高效调度和低碳化方向持续发展。

1 电气设备监控与诊断的重要性

1.1 保障安全运行。预防电气火灾与事故。实时监测能够发现电气线路的过载、短路、漏电等异常情况，避免火灾或设备损坏。例如，通过温度、电流、电压等参数的持续监控，可提前预警绝缘老化或局部过热等隐患，降低人员伤亡和财产损失风险^[1]。

1.2 提升系统稳定性。对电力设备运行状态的实时跟踪（如变压器油温、开关设备接触电阻等），可确保电力系统稳定供电，减少因设备故障导致的停电事故。

1.3 提升经济性与效率。降低运维成本。智能化监控技术通过预测性维护减少突发故障，优化检修周期，降低设备维修和更换成本。例如，基于历史数据的分析可精准定位维护需求，避免过度检修或维护不足。节能降耗。通过监测用电设备的能耗数据，识别低效运行环节并优化用电结构，减少能源浪费，降低企业用电成本。

1.4 推动智能化与主动预防。智能化技术应用。引入物联网、大数据和人工智能技术，实现设备状态的深度分析及远程管理。例如，神经网络算法可预测设备寿命，智能巡检系统可自动生成诊断报告并指导运维决策。主动故障预防。从“被动响应”转向“主动预防”，通过异常模式识别和趋势分析，提前干预潜在故障，减少非计划停机时间。

1.5 支持全生命周期管理。智慧化监控系统覆盖设备从安装到退役的全过程，通过数据积累为设备设计优化、改造升级提供依据，延长设备使用寿命并提升整体可靠性。

1.6 未来发展趋势。随着物联网和云计算技术的普及，电气设备监控将更加集成化、网络化，实现跨区域、多设备的协同管理，推动电力系统向更安全、高效、低碳的方向发展。

2 电气设备监控对电力输送稳定性的影响

2.1 实时监测与故障预防。参数实时跟踪。通过传感器对电气设备的电压、电流、温度等核心参数进行全天候监测，可及时发现局部过热、绝缘老化等隐患，避免设备故障引发的停电事故^[2]。例如，变压器温度异常或电缆过载的实时预警，能有效降低电力输送中断风险。故障快速响应。智能监控系统结合阈值报警机制，可在设备异常初期发出预警，指导运维人员快速干预，缩短故障修复时间，减少对电力输送的连锁影响。

2.2 智能化分析与优化调度。数据驱动的预测能力。基于大数据和人工智能技术，监控系统可分析历史运行数据，预测设备寿命、负荷波动及潜在风险，优化电力调度策略，提升输配电网的动态稳定性。例如，通过负荷预测调整区域电网的功率分配，避免过载导致的电压波动。电能质量保障。电能质量在线监测装置可实时捕捉谐波、电压暂降等干扰因素，并通过滤波装置或动态补偿技术调整电网参数，确保电力输送的波形稳定和频率一致性。

2.3 系统协同与资源整合。跨区域协同管理。物联网技术实现多设备、多站点的数据互联，支持跨区域电力资源的智能调配。例如，在负荷高峰时段，通过监控系统协调多个变电站的出力，均衡电力输送压力。全生命周期维护支持。监控数据覆盖设备从安装到退役的全过程，为设备升级或更换提供决策依据，延长关键设备使用寿命，减少因设备老化导致的输送中断。

2.4 应急能力提升。智能监控系统集成故障自诊断功能，可精准定位故障点（如电缆击穿或断路器失灵），

并通过远程控制快速隔离故障区域，最大限度缩小停电范围。例如，局部放电检测技术可提前数小时预警绝缘缺陷，为抢修争取时间。

3 电气设备监控如何保障用电安全

3.1 实时监测与隐患预警。关键参数全天候跟踪。通过传感器对电气设备的电压、电流、温度、剩余电流等参数进行实时监测，及时发现线路过载、短路、漏电等异常情况，避免电气火灾和设备损坏。例如，监测电缆温度可预警绝缘老化风险，防止局部过热引发火灾。阈值报警与数据记录。监控系统设定安全阈值，当参数异常时（如电流过载或电压暂降），立即触发报警并记录数据，为故障分析和后续处理提供依据。

3.2 主动预防与快速响应。智能化主动防御。基于大数据和人工智能技术，分析历史运行数据，预测设备潜在故障（如变压器过热、电缆击穿），提前采取维护措施，从“被动响应”转向“主动预防”。例如，通过神经网络算法预测设备寿命，优化检修周期。远程控制与快速隔离。支持远程切断故障线路或调整运行参数，如检测到短路时自动断电，防止电弧火花引发火灾；负荷高峰时段动态分配电力资源，避免设备过载。

3.3 用电场景的全覆盖管理。多样化场景适配。在家庭、工厂、商场等场景中，监控系统针对不同用电需求定制方案。例如，家庭环境监测电器漏电，工业场景预防设备过载，公共场所保障消防设备电源稳定。消防设备电源保障。实时监控消防设备的电流、电压及开关状态，确保火灾时消防水泵、应急照明等关键设备电源正常运作，避免因电源故障延误救援。

3.4 技术与管理协同优化。标准化安装与维护。遵循设备安装规范（如传感器布设、调试参数记录），结合定期巡检和人员培训，提升运维效率。能源精细化管理。分析用电数据，识别低效环节并优化能耗结构，如调整工厂设备运行时段以降低低谷负荷差异，实现节能降耗与安全双目标。电气设备监控通过实时监测、智能预警、远程控制及全场景覆盖，有效预防电气火灾、设备故障和触电事故，保障用电安全。其技术应用结合管理优化，正推动电力系统向更智能、可靠的方向发展。

4 电气设备监控方法与技术

4.1 实时监测与参数采集技术。多维度参数跟踪。通过智能传感器对电压、电流、温度、剩余电流等核心参数进行全天候监测，覆盖输变电设备、配电室及关键线路，实现异常状态的早期发现（如局部过热、绝缘老化）。例如，输变电设备的智能监测方法采用多参数融合分析，提升隐患识别精度。环境与设备状态同步监

控。在配电室、变电站等场景中，集成温湿度、烟雾、水浸等环境传感器，结合门禁与视频监控，形成多维安全防护体系。

4.2 智能分析与预测维护技术。大数据驱动的预测模型。基于历史运行数据构建AI算法（如神经网络），预测设备寿命与故障风险。例如，换流站监控系统通过融合模型分析设备运行趋势，优化维护周期。电能质量优化。通过谐波检测与动态补偿技术，实时调整电网参数，减少电压暂降、波形畸变等干扰，保障电力输送稳定性。

4.3 远程控制与自动化运维技术。远程操作与故障隔离。支持远程分合闸操作、负荷动态调整，故障时快速隔离受损区域，缩小停电范围。例如，10kV配电室改造方案通过云端平台实现远程自动化控制。自动化巡检与告警处理。智能监控系统自动生成巡检报告，结合阈值报警机制（如电流过载、漏电阈值）触发告警，并通过工单系统分配运维任务。

4.4 物联网与多技术融合应用。物联网设备协同管理。采用RFID、边缘计算等技术，实现跨区域设备数据互联与资源调度。例如，配电房通过5G和云平台整合分散设备，构建集中监控网络。多层次冗余配置。关键设备（如换流站监控系统）采用冗余硬件与软件架构，提升系统容错能力，避免单点故障导致全网瘫痪。

4.5 可视化与无人值守模式。三维可视化监控。通过EasyCVR等平台整合视频监控、环境数据与设备状态，以电子大屏展示实时运行全景，支持语音对讲与云台控制。无人值守智能运维。结合AI视频分析（如人员入侵检测、设备异常行为识别），减少人工巡检依赖，降低运维成本。

4.6 电气火灾专项防控技术。部署剩余电流监测与温度阈值报警系统，识别泄漏电流缓慢升高、线间端子过热等隐患，通过分级告警机制阻断火灾风险。电气设备监控技术通过实时数据采集（传感器）、智能分析（AI与大数据）、远程控制（云端平台）及多技术融合（物联网、可视化），构建了从隐患预警到故障修复的全流程闭环管理，显著提升电力系统的安全性、稳定性和运维效率。

5 电气设备监控数据分析方法

5.1 数据采集与预处理。高精度传感器部署。采用电流互感器、电压互感器等传感器实时采集电流、电压、温度等核心参数，确保数据源的准确性。例如，通过电涡流传感器捕捉设备振动数据，为后续分析提供基础。数据清洗与标准化。对原始数据进行去噪、缺失值填补

及异常值处理,并通过标准化消除量纲差异,提升数据一致性。例如,变电站监控系统通过预处理降低噪声对谐波分析的影响。

5.2 统计分析趋势建模。时间序列分析。针对电压、电流等参数的历史数据,分析周期性波动与长期趋势,识别设备性能退化或负荷异常。例如,通过变压器温度数据的趋势预测绝缘老化风险。多源数据关联分析。结合设备运行数据与环境参数(如温湿度),利用统计方法挖掘关联性,定位隐性故障诱因。例如,分析电缆温度与环境湿度的相关性,优化散热策略。

5.3 机器学习算法应用。故障模式识别。基于分类算法(如随机森林、支持向量机)对设备状态进行模式匹配,区分正常工况与潜在故障。例如,利用历史短路数据训练模型,实现电弧放电的早期预警。预测性维护建模。通过神经网络或回归算法预测设备寿命,动态调整维护周期。例如,换流站监控系统通过融合模型优化设备更换策略。

5.4 大数据处理与并行计算。分布式存储架构。采用Hadoop、Spark等平台实现海量监测数据的高效存储,支持TB级数据的快速读写。例如,变电站数据通过NoSQL数据库管理,满足高频采集需求。并行特征提取与计算。利用流式计算技术(如Flink)对高并发数据进行实时处理,提取波形信号特征(如谐波、暂态分量)。例如,局部放电信号的并行分析可缩短诊断时间至毫秒级。

5.5 可视化与决策支持。动态仪表盘设计。通过FineBI等工具生成可视化报表,直观展示设备负载率、能耗分布等关键指标,辅助运维决策。多层级报警机制。结合阈值报警与智能分析结果,分级触发告警(如预警、紧急告警),并通过工单系统自动分配处理任务。电气设备监控数据分析通过传感器采集、多维度建模(统计与机器学习)、大数据平台处理及可视化反馈,实现从数据到决策的闭环管理,显著提升设备可靠性、能效与故障响应效率。

6 电气设备异常诊断策略

6.1 多维度感官诊断与仪表测量结合。“六诊”法综合应用。通过“口问、眼看、耳听、鼻闻、手摸、表

测”六种方法,结合人工经验与仪器测量快速定位异常。例如,通过嗅觉识别绝缘材料烧焦气味,结合万用表测量电流参数异常,判断短路或过载风险。高频振动与局部放电检测。利用振动传感器捕捉设备异常振动信号,结合高频电流互感器分析局部放电频谱特征,识别机械磨损或绝缘缺陷(如电缆击穿、开关触点氧化)。

6.2 智能算法与数据驱动诊断。多源数据融合建模。整合设备运行参数(电压、电流、温度)、环境数据(温湿度)及历史维护记录,构建故障预测模型。例如,西门子通过开关柜运行数据与故障案例库匹配,提升诊断准确性。分层故障分类机制。采用随机森林、支持向量机等算法对故障模式分类:一级分类:区分电气故障(短路、漏电)与机械故障(轴承磨损、部件松动);二级定位:结合波形分析(如谐波畸变率)与热成像数据,定位故障具体部件(如变压器绕组、断路器触点)。

6.3 诊断流程优化与响应机制。“三先后”优先级策略。先静态后动态:断电检测绝缘电阻后再上电观察动态参数;先易后难:优先排查常见故障点(如接触不良)再处理复杂隐患;先外部后内部:检查外围线路、传感器后再拆卸设备内部组件。实时告警与工单联动。设定多级报警阈值(预警、紧急告警),触发后自动生成维修工单并推送至责任人,缩短故障响应时间。

6.4 技术与管理协同策略。诊断经验知识库构建。将历史故障案例、专家经验转化为标准化诊断规则,通过AI模型持续迭代优化(如南京凯奥思专利中的模型自更新机制)。

总之,随着技术的不断进步,电气设备的监控与诊断将变得更加精准、高效,为电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1]罗才鑫.电气设备在变电运行中的监控及异常诊断探究.2023.
- [2]刘建平.电气设备在变电运行中的监控及异常诊断分析.2022.