

电气工程电气设备在线监测技术应用

张 海 宋皓然 刘 妍 赖成雨
国惠环保新能源有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘 要：电气工程中，电气设备在线监测技术通过传感装置与数据处理系统，实时捕捉设备健康信息，覆盖发电、输电、配电等环节。与传统监测相比，该技术具有时效性强、不影响设备运行、数据连续等优势。本文阐述核心监测对象特征，分析应用系统架构设计，介绍应用实施流程，包括监测方案规划、系统部署调试及状态评估与干预衔接，为设备稳定运行提供保障。

关键词：电气设备；在线监测技术；状态评估；系统架构；监测实施

引言：电气工程中，电气设备稳定运行关乎电力系统安全与效率。传统监测方式依赖定期停机检测，存在时效性差、数据离散等局限，难以满足现代电气工程需求。电气设备在线监测技术应运而生，通过实时感知设备运行状态、动态捕捉关键参数，实现对设备全生命周期的精准监控。该技术不仅提升故障预警能力，还降低运维成本，成为推动电气工程智能化转型的关键支撑。

1 在线监测技术在电气设备应用中的基础内涵

1.1 技术定义与应用范畴

电气工程中电气设备在线监测技术是指在设备正常运行过程中，通过部署传感装置和数据处理系统，对设备的运行状态进行持续感知和参数记录的技术体系。其核心在于不干扰设备原有运行流程，实时捕捉反映设备健康状况的各类信息^[1]。该技术在设备全生命周期管理中占据关键位置，贯穿从设备投入运行到退役的整个过程。在应用中，其核心内容包括对设备运行状态的实时感知，如电机运转时的振动幅度、变压器的油温变化等，通过这些信息判断设备是否处于正常工作区间。参数动态捕捉则涵盖电流波动、绝缘电阻变化等关键数据，这些数据随设备运行状态动态变化，是评估设备性能的重要依据。应用范畴覆盖发电、输电、配电等多个环节的各类电气设备，无论是大型发电机还是小型控制柜，都能通过该技术实现状态监控。

1.2 与传统监测在应用中的本质区别

在线监测在时效性上远超传统离线检测。传统监测需中断设备运行，定期停机进行检测，检测结果仅反映特定时间点的状态。在线监测则能在设备运行过程中持续获取数据，及时捕捉瞬间出现的异常，如短路故障发生前的电流突变，为故障预警提供及时信息。对设备运行的影响方面，传统监测因需要停机操作，会打乱正常生产计划，影响电气工程的连续运行。在线监测无需

设备停机，传感装置与设备同步工作，既不影响设备的正常功能发挥，也不会增加设备运行负担，确保电气工程流程不受监测活动干扰。数据连续性上，传统监测受检测周期限制，数据呈现离散状态，难以反映设备状态的渐变过程。在线监测通过持续采集数据，形成完整的状态变化曲线，能清晰展现设备从正常到异常的演变轨迹，如绝缘性能随运行时间的逐步下降趋势，为分析设备老化规律提供完整依据。这种连续的数据记录方式，使设备状态评估更加全面准确，也为维护策略制定提供更可靠的参考。

2 设备在线监测的核心对象及特征

2.1 变电设备在线监测

变压器作为变电系统的核心设备，在线监测中绝缘油特性的变化是重要观察点。绝缘油在设备运行中会因局部过热或放电产生分解物，这些物质的成分与含量变化能间接反映内部潜在故障。绕组绝缘强度监测通过持续获取绝缘电阻和介损值，判断绕组是否出现老化或受潮，绝缘强度下降会增加击穿风险^[2]。铁芯接地状况监测关注接地电流的稳定性，异常电流可能源于铁芯多点接地，引发局部过热影响整体电磁性能。这些参数的协同监测，能全面反映变压器内部绝缘状态与电磁转换效率的变化趋势。电抗器在线监测同样注重绝缘与电磁参数，其绕组绝缘强度的波动直接关联无功补偿效果，铁芯接地异常会导致损耗增加，影响设备运行经济性。电抗器的绕组变形监测可通过振动信号分析实现，绕组位移会改变电感值，影响无功调节精度。

2.2 开关设备在线监测

高压断路器的在线监测聚焦触头磨损程度，触头在多次通断操作中会因电弧灼烧产生损耗，磨损量累积到一定程度会导致接触电阻增大，影响通断能力。操作机构响应速度监测记录从合闸指令发出到触头接触的时间

间隔,响应延迟可能导致操作失灵,危及系统安全。绝缘气体状态监测针对SF₆等气体的压力与纯度,气体泄漏或纯度下降会削弱绝缘与灭弧性能。隔离开关的在线监测侧重触头接触状态与操作灵活性,触头表面氧化或积污会增加接触电阻,操作机构卡涩则影响分合位置的准确性。这些参数的实时捕捉,能有效评估开关设备的通断可靠性与安全运行水平。高压负荷开关的在线监测还需关注灭弧室状态,灭弧介质的性能衰减会导致分断能力下降,增加故障概率。

2.3 输电与配电设备在线监测

电缆在线监测中局部放电强度是关键指标,局部放电产生的脉冲信号能反映绝缘内部的缺陷发展,持续放电会加速绝缘老化。温度场分布监测通过捕捉电缆各部位的温度差异,判断是否存在过载或接触不良,温度异常升高会降低绝缘性能。绝缘电阻变化监测跟踪电阻值随运行时间的衰减情况,电阻持续下降预示绝缘层可能出现破损或受潮。母线在线监测关注连接处的温度变化与局部放电现象,连接处松动会导致接触电阻增大引发过热,局部放电则可能源于绝缘支持件老化。这些参数的监测数据,为判断输电与配电设备的承载能力和绝缘状态提供直接依据。电缆中间接头的在线监测需强化密封性检查,密封失效会导致水分侵入,加速绝缘劣化。

2.4 旋转电机在线监测

发电机运行中绕组温升监测至关重要,温升速度与幅度超过正常范围表明冷却系统或绕组存在异常,长期高温会加速绝缘材料老化。机械振动幅值监测捕捉电机运行时的振动频率与强度,振动异常可能源于转子不平衡或轴承磨损,持续振动会加剧部件损耗。轴承运行状态通过振动信号和温度变化综合判断,轴承滚子与滚道的异常接触会产生特定频率的振动,温度升高则提示润滑不良或内部磨损。电动机在线监测中绕组绝缘状态与机械振动同样是重点,绕组绝缘劣化会增加短路风险,振动异常则影响传动精度。这些参数的协同监测,能全面掌握旋转电机机电系统的运行状态,及时发现潜在故障。此外,电机的气隙磁场监测可反映定转子相对位置变化,气隙不均匀会导致附加损耗增加,影响运行效率。

3 电气设备在线监测应用系统的架构设计

3.1 硬件层架构在应用中的配置

传感器部署拓扑需根据电气设备的分布与监测需求合理规划。在变电设备的关键部位如变压器绕组、电抗器铁芯附近,按监测参数类型布置相应传感器,形成多点覆盖的感知网络。针对高压设备的绝缘特性,选用耐高压的光纤传感器;监测振动参数时,采用压电式传感

器以提升灵敏度^[3]。输电线路沿线则采用间隔布置方式,确保对线路温度、振动等参数的全面捕捉。数据采集终端采用分布式布局,就近接入周边传感器,减少信号传输距离与干扰。每个终端具备一定的信号调理能力,对原始信号进行滤波与放大,提升数据质量。终端内置的微处理器可完成简单的信号转换,将模拟信号转为数字信号便于传输。边缘计算节点与采集终端协同工作,承担前端数据的初步处理任务,筛选出有效信息并剔除冗余数据,减轻后续传输与处理压力。节点可根据预设规则识别明显异常的参数,优先传输关键告警信息。这种配置让硬件层在复杂的电气环境中能高效获取设备状态数据,为系统运行提供可靠的基础支撑。

3.2 软件层架构在应用中的功能

数据存储模块采用结构化设计,按设备类型、监测参数、时间维度对数据进行分类存储,便于快速查询与调用。针对历史数据设置自动归档机制,按时间周期压缩存储,节省存储空间的同时保留完整数据链条。针对不同电气设备的监测数据特性,设置相应的存储格式与更新频率,确保数据完整性与时效性。实时分析引擎集成多种算法,能对传入的数据流进行即时处理,识别参数变化中的异常模式。通过与预设的正常阈值对比,判断设备是否出现潜在故障迹象。引擎可根据设备运行年限动态调整阈值范围,适应设备老化带来的参数变化。可视化界面将处理后的数据以图形化方式呈现,直观展示设备运行状态,如温度变化曲线、振动波形等,让操作人员能快速掌握设备情况。界面支持分层展示,可从系统整体状态逐层深入至单台设备的具体参数。预警逻辑的触发机制根据参数异常程度设置多级响应,轻微偏离时发出提示信息,严重异常时启动告警并推送至相关人员。触发机制与设备关联关系绑定,当某一设备出现严重异常时,自动提示可能受影响的关联设备。软件层的这些功能相互配合,实现对监测数据的高效处理与应用,为设备状态评估与故障预警提供有力支持。

4 电气设备在线监测技术的应用实施流程

4.1 监测方案的应用规划

依据设备类型与运行环境制定监测方案是应用实施的首要环节。不同类型的电气设备核心监测参数存在差异,变压器需重点关注绝缘油特性与绕组温度,高压断路器则需优先监测触头状态与操作机构响应。运行环境同样影响参数优先级,高温环境中设备的温度监测权重提升,潮湿环境下绝缘参数的监测更为关键^[4]。传感器安装方式需结合设备结构与运行特点确定。对于振动剧烈的旋转电机,传感器采用刚性固定方式避免松动;

高压设备的传感器安装需满足绝缘距离要求,防止电场干扰。安装位置应避开设备的高温区域与机械应力集中点,确保传感器自身工作环境稳定。数据采集频率根据参数变化速率调整,变化缓慢的绝缘电阻可采用较低频率,快速变化的电流参数则需提高采集频率。通过综合考量这些因素,形成适配设备特性与环境条件的监测策略,为后续实施提供清晰指引。

4.2 系统部署与调试的应用实施

传感器校准是系统部署的基础工作。根据传感器类型采用相应的校准方法,温度传感器通过恒温环境对比调整精度,电流传感器借助标准电流源校准测量范围。校准过程需记录偏差值并进行补偿,确保采集数据的准确性。校准完成后进行封装保护,避免后续安装过程影响校准结果。传输链路测试涵盖有线与无线两种方式。有线链路检查接口连接的稳定性,通过信号传输测试验证线路衰减是否在允许范围内。无线链路测试信号覆盖强度与抗干扰能力,在多设备共存环境中确保数据传输的稳定性。软件功能验证需逐项测试数据存储、分析与展示功能,检查数据分类存储是否准确,分析算法能否有效识别异常,界面呈现是否与实际参数一致。调试过程中需特别关注监测系统与被监测设备的特性适配。电气特性方面,确保传感器接入不会影响设备的绝缘性能与接地状态。机械特性方面,传感器安装不得阻碍设备的正常操作与维护空间。调试时模拟设备各种运行工况,验证系统在不同负荷下的监测性能。通过多轮调试消除系统与设备间的不兼容问题,保障监测系统稳定运行。

4.3 状态评估与干预的应用衔接

基于监测数据生成设备健康指数是状态评估的核心。健康指数综合多个参数的变化趋势计算得出,绕组温度持续升高会降低指数,绝缘性能稳定则有助于维持指数。指数变化速率同样纳入评估,快速下降的指数提

示设备状态恶化加速。评估时结合设备运行年限与维护历史,使健康指数更贴合设备实际状况。建立分级响应机制实现从监测到干预的衔接。轻微异常时,系统发出提示信息并加强监测频率,跟踪参数变化趋势。中度异常时,自动生成检查建议,指导维护人员进行针对性排查。严重故障时,触发紧急告警并关联停机流程,防止故障扩大。这种分级响应机制与预防性维护流程紧密衔接。根据健康指数与异常等级,自动生成维护计划,轻微异常纳入常规维护周期,中度异常安排专项检查,严重故障启动紧急维修流程。维护完成后,系统记录处理结果并更新设备健康指数,将维护前后的参数变化纳入分析,优化后续评估标准。形成监测、评估、干预的闭环管理,提升设备维护的主动性与有效性。

结束语

电气设备在线监测技术凭借其实时性、连续性和非侵入性优势,为电气工程项目管理提供了高效解决方案。通过构建硬件感知网络与软件分析平台,结合分级响应机制,该技术实现了从数据采集到维护决策的闭环管理。未来,随着物联网与人工智能技术的融合,在线监测将向更智能化、精准化方向发展,为提升电力系统可靠性、优化资源配置提供更强有力的技术保障。

参考文献

- [1]王亚丹.电气设备在线监测与故障预测技术的现状与发展趋势[J].电脑校园,2024(12):184-186.
- [2]刘俊洋,刘相强.电力系统中的电气设备参数在线监测与维护[J].汽车博览,2024(9):34-36.
- [3]代贵朋,曹泽武.电力系统中的电气设备在线监测与诊断[J].传奇故事,2024(8):22-24.
- [4]罗敬元,卢宗杞.电力系统电气设备绝缘状态在线监测与评估技术研究[J].光源与照明,2024,(10):60-62.