

在线监测技术在变电运行检修中的应用探讨

郭伟鲜

长治市容海智成电力勘测设计有限公司 山西长治 046000

摘要：在线监测技术在变电运行检修中，已经从“可选”升级为“必选”，它通过实时感知设备状态，让检修从“计划修复”转向“预测维护”，核心价值在于提升安全性、降低运维成本、优化检修策略。传统的电力系统检修工作主要是对设备进行检修，在没有进行在线监测的情况下，无法对设备状态进行评估，导致了检修工作存在很大的缺陷，为了能够更好地进行变电检修工作，就必须采用新的技术手段，以实现变电检修工作的自动化、智能化。

关键词：在线监测技术；变电运行；检修中；应用

在线监测技术作为一种新兴技术手段，能够对变电设备进行实时监测，并且能够及时发现设备存在的故障。从而，保证电力系统运行的安全性和稳定性。

一、技术核心

1. 监测对象：变压器：在线监测技术的核心在于通过传感器和数据处理系统对变压器运行状态进行实时、连续的检测与分析。其监测对象主要包括以下几个方面：油中溶解气体（DGA）：通过分析变压器油中溶解的氢气、甲烷、乙炔等气体成分及含量变化，判断是否存在局部过热、放电或绝缘老化等故障。温度监测：包括绕组温度、铁芯温度及环境温度的实时监测，防止因温度过高导致绝缘劣化或设备损坏。局部放电（PD）监测：利用高频电流传感器、超声波传感器等手段捕捉局部放电信号，实现对绝缘缺陷的早期预警。套管绝缘状态监测：通过介损、电容量等参数评估套管的绝缘性能，及时发现受潮、老化等问题。铁芯接地电流监测：检测铁心夹件的接地电流，防止多点接地引发环流过热。声纹监测：采集变压器运行声音信号，结合人工智能算法识别内部机械或电气故障。这些监测手段共同构成了变压器在线监测系统的多维度监控体系，有助于提升设备运行的安全性和可靠性。

2. 高压断路器：高压断路器在线监测技术的核心在于通过多种传感手段，对关键运行参数进行实时、精准的采集与分析，以评估设备健康状态，实现从“计划性运维”向“预测性运维”的转变。其核心技术主要围绕温度监测、机械特性监测和真空灭弧室状态诊断展开。温度监测：针对断路器主回路中的触头、连接点等易发热部位，采用内嵌式无线无源传感器或贴附式无线温度

变送器进行实时监测。前者通过电磁波无线取能技术供电，后者则依赖低功耗电池，两者均能有效解决高压环境下的隔离与抗干扰难题。监测点通常覆盖三相共12个关键位置，温度测量精度可达 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，异常温升可触发动态阈值报警。机械特性监测：通过非接触式磁感应传感器或压电式超声波传感器，对断路器的合/分闸时间、触头行程、储能电机扭矩等机械运动参数进行高精度采集。磁感应法可实现0.1ms级的时间分辨率，而超声波法则通过分析机械振动产生的特征信号，构建“超声波特征-机械特性”映射模型，实现多参数同步监测与异常诊断，抗干扰性更强。真空灭弧室诊断：对灭弧室的核心状态进行评估，包括触头压力（测量范围通常为2000N至6000N）和开距（动态监测误差小于0.3mm）的实时测量。触头压力的衰减是真空度下降的重要指标，该功能能有效预测灭弧室的寿命与可靠性。这些技术共同构建了完整的设备健康评估体系，已在数据中心、电力系统等领域得到应用，显著提升了运维效率与系统安全性。

3. 在线监测是一种通过固定仪器对设备进行连续或高频率测量的技术，其核心功能包括实时获取状态参数、分析潜在故障及评估健康状态。监测对象：输电线路，技术核心：输电线路在线监测系统采用多种技术手段实现对输电线路的实时监控，主要包括：多参数集成监测：系统集成视频图像、微气象（温度、湿度、风速、风向等）、杆塔倾斜、覆冰、导线温度、风偏、舞动、弧垂、绝缘子污秽、周边施工情况等多种参数的实时采集与分析。高精度定位与传感：部分先进装置利用北斗差分定位技术，实现对边坡和杆塔位置变化的毫米级监测（静态精度水平小于 $\pm 2\text{mm}$ ，垂直小于 $\pm 4\text{mm}$ ），并结合倾角

计、雨量计等传感器全面评估稳定性。分布式智能感知：新一代分布式故障在线监测装置在输电线路密集部署传感节点，实时采集电流、电压、温度、振动、局部放电等20余项参数，通过边缘计算和AI算法实现故障的毫秒级定位与类型识别（如雷击、覆冰、断线），定位误差可控制在百米以内^[1]。先进通信与数据处理：系统采用太阳能供电，配备无线公网（3G/GPRS/4G/5G）、光纤、甚至低轨卫星融合通信，确保数据可靠传输；后端平台通过行波测距、工频波形分析等技术进行综合诊断，并支持Web端和移动端实时预警。系统组成：通常包括前端数据采集模块（含传感器、通信设备、太阳能供电系统）和后端分析处理平台。

二、核心价值

1. 提升安全性：核心价值：提升安全性，实时监控，风险早知：它能24小时不间断地监测设备状态（比如变压器的油中气体、断路器特性），一旦发现异常（如绝缘子污秽或局部放电），立刻报警，让运维人员第一时间处理隐患，避免小问题酿成重大事故。精准预警，主动防御：结合大数据和AI分析，系统不仅能预测故障，还能给出维护建议，变“被动抢修”为“主动预防”，大幅降低突发故障和停电风险。保障人员，守护现场：通过远程监控和自动化操作，减少了人员进入高压环境的频次，从源头上降低了触电、电弧等作业风险。应用实例：安全落地，变压器监测：安装油中气体、温度传感器，实时分析绝缘状态，预防过热或放电故障。绝缘子监测：在污秽或恶劣天气下，监测电阻变化，及时预警闪络风险。输电线路监测：部署微气象站，监测风速、覆冰等，提前防范舞动、冰闪等灾害。在线监测技术让变电检修从“定时检修”转向“状态检修”，核心就是用数据驱动安全，实现风险可感知、预警可提前、决策可智能，是保障电网安全的智能利器。

2. 降低运维成本：在线监测技术在变电运行检修中的核心价值，就是显著降低运维成本，同时大幅提升电网的可靠性与安全性。从“被动抢修”到“主动预防”，降低故障成本，传统定期检修往往存在“该修的没修，不该修的乱修”问题，导致维护不足或过度维护。在线监测技术通过实时采集设备状态数据（如局部放电、温度、接地电阻等），实现状态检修，即“该修时才修”。这有效避免了突发性故障导致的巨额损失和非计划停电，同时减少了不必要的停电检修次数，直接降低了运维开支。从“人工巡检”到“智能监测”，降低人力与时间成

本，传统人工巡检效率低、覆盖面有限。在线监测系统通过传感器网络 and 智能分析平台，实现7x24小时不间断监测，自动分析数据并预警。这大幅减少了人工巡检的工作量，让运维人员能从繁重的重复劳动中解放出来，专注于更关键的决策工作。从“经验驱动”到“数据驱动”，提升决策效率与精度，系统自动生成的设备健康趋势报告和风险评估，为运维决策提供了客观、量化的数据支持。这避免了凭经验判断的主观性和滞后性，使检修计划更科学、资源配置更优化，进一步提升了运维效率。从“单点监测”到“系统集成”，实现全生命周期成本优化，现代在线监测技术正与智能电网调度系统集成，实现电网运行状态的全景感知和协同优化。这不仅提升了局部设备的可靠性，更从系统层面降低了因连锁故障导致的大面积停电风险，优化了电网的全生命周期成本。

3. 优化检修策略：在线监测技术在变电运行检修中的核心价值，就是帮你把检修策略从“定期检修”或“故障后修”优化为“预测性维护”，从而实现降本、增效、保安全的目标。它主要通过以下方式达成这一目标：从“计划检修”转向“状态检修”：不再依赖固定周期，而是根据设备实时状态数据决定是否需要检修，避免了过度检修和检修不足。实现故障的早期预警与精准定位：持续监测关键参数（如变压器油中气体、局部放电等），能在故障发生前发出预警，甚至定位故障点，大幅缩短抢修时间。优化资源配置与降低运维成本：通过数据分析识别真正需要关注的设备，合理分配人力物力，减少不必要的停电和维护开支。提升电网运行的可靠性与安全性：及时发现并处理隐患，有效预防事故发生，保障电网稳定运行和人员安全。这项技术是推动变电运维从被动响应转向主动预防的关键，让检修工作变得更智能、更高效。

三、发展趋势与挑战

1. 核心应用与价值，状态监测与故障预警：通过传感器实时采集变压器局部放电、断路器机械特性等数据，结合AI算法分析趋势，提前发现隐患（如绝缘劣化），减少非计划停电。检修模式变革：推动从定期检修（TBM）或状态检修（CBM）向预测性维护转变，基于设备健康状态精准安排检修，降低运维成本30%以上。全生命周期管理：覆盖设备选型、安装到报废全过程，为电网规划提供数据支持。发展趋势，诊断精准化：AI与深度学习提升故障诊断能力，如区分变压器局部放电类型，减少误报。预测前瞻化：结合设备大数据构建寿命

预测模型，实现从“故障预警”到“寿命预测”跨越。运维协同化：与智能巡检机器人、无人机联动，构建空天地一体化立体巡检体系。技术融合深化：多功能综合监测：单设备监测多个参数（如温度、振动、气体成分）。无线与边缘计算：无线传感器减少布线，边缘计算实现实时本地分析。云平台与数字孪生：构建变电站数字孪生模型，实现远程集中监控与仿真。

2. 面临挑战，数据整合与分析：多源异构数据（如振动、红外、电气量）融合分析存在壁垒，需统一标准与平台。技术成本与可靠性：高精度传感器和系统部署成本高，恶劣环境（如高温、电磁干扰）影响长期稳定性。人才与标准滞后：缺乏既懂电力又懂数据分析的复合型人才，部分技术标准未跟上发展。

3. 未来展望。技术将向更智能、更集成、更自主方向发展，最终实现电网“自愈”能力。但需突破数据、成本、人才瓶颈，并加强行业协作与标准建设。当前应用概述，在线监测技术在变电运行检修中已成为核心工具，通过实时数据采集与分析，显著提升了运维效率与安全性^[2]。其核心应用包括：实时状态监测：利用传感器网络持续跟踪变压器、断路器等关键设备的运行参数（如温度、振动、局部放电），实现异常情况的即时预警，减少突发故障风险。故障预警与诊断：结合大数据分析，系统能识别潜在故障模式，例如通过变压器油中溶解气体分析预测绝缘老化，帮助运维人员提前干预，避免生产中断。智能运维支持：集成物联网技术，实现远程监控中心与现场设备的实时通信，优化资源配置，降低人工巡检成本，并增强决策的科学性。未来发展趋势展望，随着技术进步，在线监测技术将向更智能、更精细的方向演进，具体体现在以下方面：智能化与AI深度融合，高级数据分析：人工智能（AI）和机器学习算法将深度融入监测系统，提升对海量运行数据的处理能力。通过模式识别和趋势预测，系统能更精准地诊断复杂故障，如变压器内部绝缘缺陷，并自动生成维护建议，推动运维从被动响应转向主动预防。自适应监测策略：

未来系统可能具备自学习能力，能根据设备状态动态调整监测频率和参数，实现全生命周期精细化管理，进一步提高故障预警的准确性和可靠性。监测精度与范围扩展，多维度数据融合：传感器技术将更先进，支持温度、振动、局放等多参数同步采集，构建设备数字孪生模型。例如，GIS（气体绝缘开关设备）监测将集成微型探头和三维可视化技术，实现放电行为的全息感知，提升故障定位效率。应用场景拓宽：技术将从变电设备延伸至输电线路和电缆，覆盖更广泛的电力网络，满足电网规模扩大带来的精细化运维需求。生态协同与自动化提升，系统联动与主动防御：在线监测将与电网调度系统深度集成，形成生态协同网络。例如，通过局放趋势预判绝缘缺陷，系统可自动触发保护策略，减少人为干预，增强电网整体稳定性。自动化运维升级：结合5G等高速通信技术，数据传输将更实时，支持远程控制与自动化检修，显著提升电力企业的运营效率和服务质量，推动行业向绿色低碳转型。行业影响与经济效益，风险与成本优化：实时监测降低电网运行风险，减少因故障导致的损失，同时通过资源优化提高能源利用效率，为企业创造长期经济效益。创新驱动发展：持续的技术迭代将激发更多创新，如边缘计算在数据处理中的应用，进一步强化监测系统的自主性和适应性，引领电力行业智能化变革。

总之，在线监测技术是变电设备智能化运维的基石，它通过实时感知、智能分析、精准预警，为电网安全稳定运行提供了坚实保障，是未来智能电网建设的关键支撑技术。

参考文献

[1] 胡英坤. 在线监测技术在变电检修中的应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41(10): 280-281. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2024.10.131.

[2] 武思雪. 在线监测技术在变电检修中的应用研究[J]. 中国电力企业管理, 2024, (15): 46-47.