

电力系统变电一次设备状态检修技术探析

江绍明

中国电建集团江西省电力建设有限公司 江西 南昌 330000

摘要：本文探析电力系统变电一次设备状态检修技术，先明确变电一次设备范畴、状态检修定义，对比与传统检修模式差异，阐述核心目标与原则；再从信息采集、处理分析、决策支持构建核心技术体系；随后梳理前期准备、监测采集、评估诊断、检修验证的实施流程；最后提出技术、管理、系统协同层面的优化方向与保障措施。为提升变电一次设备可靠性、推动检修模式升级提供参考。

关键词：变电一次设备；状态检修；核心技术体系；实施流程；优化保障

引言：变电一次设备是电力系统电能传输与分配的关键载体，其运行状态直接影响电网安全稳定。传统定期检修模式因依赖固定周期，易出现过度检修或检修不足问题，难以适配电网高质量发展需求。随着监测技术与人工智能的发展，状态检修凭借数据驱动、精准施策的优势，逐渐成为检修模式主流。深入研究变电一次设备状态检修技术，对提升设备运维效率、降低成本、保障电力供应稳定具有重要现实意义。

1 变电一次设备状态检修的基础认知与核心内涵

1.1 变电一次设备的范畴与状态检修定义

变电一次设备涵盖电力系统变电环节中直接参与电能传输与分配的关键设备，不同类型设备承担特定功能。变压器作为核心设备，实现电压等级转换以保障电能在不同传输距离间高效输送；断路器负责电路通断控制，故障时快速切断电流保护电网安全；隔离开关用于检修时隔离带电部分，确保运维人员操作安全，这些设备共同构成变电系统的硬件基础^[1]。状态检修以设备实际运行状态为核心依据，通过采集设备运行参数、绝缘性能、机械特性等数据评估设备健康程度，动态调整检修计划与策略。其本质特征在于摆脱固定周期束缚，设备状态良好时可延长检修间隔，监测数据显示异常趋势时及时安排检修，使检修工作更贴合设备真实需求，避免盲目性与滞后性。

1.2 状态检修与传统检修模式的差异

传统定期检修模式依据预设固定周期开展，未充分考虑设备个体运行差异。部分状态良好的设备因到达周期被迫停运检修，造成过度检修，增加人力物力成本与设备停运损失；部分存在潜在故障但未达周期的设备，易因检修不足导致故障扩大，引发电网停运风险，难以平衡检修效果与经济性。状态检修通过实时监测与动态评估，显著提升检修针对性，仅对存在异常或隐患的设

备精准施策，减少不必要的设备停运；同时降低过度检修带来的资源浪费，优化检修成本投入；提前识别设备隐患并及时处理，有效避免故障突发，减少非计划停运时间，进一步提升电网运行可靠性，形成与传统检修模式的鲜明差异。

1.3 状态检修的核心目标与原则

状态检修的核心目标聚焦保障设备安全稳定运行，通过精准掌握设备状态，及时消除潜在故障隐患，避免设备运行中出现性能劣化或功能失效，确保变电一次设备持续发挥正常作用，为电力系统整体稳定运行提供支撑，减少因设备故障引发的供电中断或电网波动。为实现这一目标，状态检修需遵循三大实施原则。数据驱动原则要求以设备实时监测数据、历史运行记录为决策基础，避免依赖经验判断；精准施策原则强调根据设备具体健康状态制定差异化检修方案，不搞“一刀切”；全生命周期管理原则需统筹设备从投运到退役的全过程，结合不同阶段状态特征优化检修策略，确保设备在全生命周期内始终处于高效、安全的运行状态。

2 变电一次设备状态检修的核心技术体系

2.1 设备状态信息采集技术

在线监测技术通过部署专用传感器，实时采集设备运行中的关键参数。电气量采集聚焦电压、电流、功率等数据，动态反映设备电能传输与转换效率；机械量采集针对断路器分合闸速度、隔离开关操作力矩，捕捉设备机械动作的稳定性；温度采集依托光纤或红外传感器，追踪绕组、接头等易发热部位的温度变化；油中溶解气体采集通过气相色谱技术，检测变压器油中特征气体含量，预警绝缘劣化风险。离线检测技术作为在线监测的补充，在设备停运或特定周期开展。预防性试验涵盖绝缘电阻测试、介损测量，评估设备绝缘性能；红外检测利用热成像技术，排查设备表面隐性温度异常；局

部放电检测通过超声波或超高频传感器,捕捉设备内部局部放电信号,发现早期绝缘缺陷。信息采集设备的选型与适配需结合设备类型与运行环境。传感器需匹配设备电压等级、温度耐受范围,数据传输模块需具备抗电磁干扰能力,确保采集数据能真实反映设备状态,为后续分析提供可靠基础。

2.2 状态信息处理与分析技术

数据预处理技术是提升分析准确性的关键。降噪处理通过专用算法消除电磁干扰带来的杂波信号,滤波技术根据参数特性选择适配方式,异常数据剔除通过统计分析识别超出合理范围的数据点,避免异常值影响评估结果。状态评估技术从多维度判断设备健康状况。基于阈值的评估将监测数据与标准限值对比,快速识别明显异常;基于趋势的评估通过分析数据变化曲线,预判参数演变方向;基于模糊理论的评估处理参数边界模糊场景,实现定性定量结合;基于人工智能的评估依托机器学习算法,挖掘历史数据与设备状态的关联,提升评估精度。故障诊断技术聚焦设备异常的深度解析^[2]。故障类型识别通过特征参数匹配,确定绝缘、机械或电气故障类别;故障定位结合监测点分布与数据差异,锁定故障具体部位;故障严重程度判断依据参数超标幅度与变化速率,划分故障等级,为后续处理提供依据。

2.3 检修决策支持技术

检修需求判断技术以状态评估结果为核心。设备参数正常且无劣化趋势时,判定无即时检修需求;参数接近阈值或缓慢劣化时,提出计划性检修建议;参数严重超标或存在明确故障时,触发紧急检修需求分析,避免遗漏关键隐患。检修策略制定技术需结合设备状态与实际工况。检修内容根据故障类型与部位确定,检修时机需平衡设备安全性与电网供电连续性,检修方式选择在线或离线模式,确保方案科学可行。决策模型的构建与应用逻辑需整合多源信息。模型以设备状态数据为核心输入,结合台账、历史检修记录,通过算法计算不同方案的效益与风险,输出最优决策建议,且需遵循“数据输入-计算-输出-反馈优化”逻辑,持续提升决策合理性。

3 变电一次设备状态检修的实施流程与关键环节

3.1 前期准备环节

设备基础信息梳理是状态检修的前提工作。需系统整理设备参数档案,涵盖设备型号、额定电压、额定电流、绝缘等级等出厂技术参数,明确设备基础特性;收集历史运行数据,包括历年负荷变化、电压电流波动、温度变化趋势等,掌握设备长期运行规律;汇总过往检修记录,梳理历次检修发现的问题、采取的处理措施及

检修效果,为当前检修提供参考依据。通过全面梳理基础信息,建立完整的设备信息库,为后续环节提供数据支撑。监测与检测方案制定需结合设备特性与运行环境。监测点布置要针对设备关键部位,如变压器绕组、断路器触头、隔离开关接头等易出现故障的区域,确保监测数据能精准反映设备核心状态;检测周期设定需兼顾设备重要度与运行风险,核心设备可缩短检测间隔,运行稳定的设备可适当延长周期,同时参考设备制造标准与运维经验,制定科学合理的检测计划,避免检测过度或不足。

3.2 状态监测与信息采集环节

在线监测系统的部署需根据设备类型与监测参数选择适配设备,按预设监测点安装传感器与数据采集模块,搭建数据传输网络,确保监测数据能实时上传至管理平台。系统运行维护需定期检查传感器工作状态,清理表面灰尘、油污等影响监测精度的杂物,校验数据采集模块的准确性,及时修复传输网络故障,保障系统持续稳定运行,避免因设备故障导致监测中断。离线检测的规范化执行需严格遵循检测规程,操作人员需具备专业资质,按标准流程开展检测作业,如预防性试验中需规范接线、控制试验电压与电流;数据记录要完整准确,详细记录检测时间、环境温度、湿度等现场条件,以及检测过程中的各项数据,避免遗漏关键信息,确保检测数据具备可追溯性,为后续状态评估提供可靠依据。

3.3 状态评估与故障诊断环节

多维度数据的综合分析需整合在线监测与离线检测数据,结合设备历史运行信息,从电气性能、机械状态、温度变化等多个维度开展分析。状态等级判定需依据预先设定的评价标准,将设备状态划分为正常、注意、异常、严重等不同等级,明确各等级对应的参数范围与处理要求,确保评估结果客观准确,为后续决策提供清晰依据。潜在故障的识别需通过对比分析数据变化趋势、排查参数异常点,结合设备故障机理,判断可能存在的故障类型;风险预警需根据故障严重程度与发展速度,评估故障对设备运行的影响,及时发出预警信号,提醒运维人员采取应对措施,避免故障进一步发展扩大,保障设备安全运行。

3.4 检修实施与效果评估环节

检修方案的细化需明确具体检修内容、所需人员资质、使用的工具设备及作业流程,人员安排要结合专业技能分工,确保各环节有专人负责;设备准备需提前检查检修工具、备件的完整性与可用性;流程协同要制定详细的作业时序,避免各工序冲突,保障检修工作有序

开展^[3]。检修后设备状态复核需通过在线监测与离线检测相结合的方式,采集设备关键参数,与检修前数据及标准值对比,判断设备状态是否恢复正常;检修效果验证需跟踪设备运行一段时间,观察参数变化趋势,评估检修措施是否彻底解决问题,若发现仍存在异常,需及时调整检修方案,确保检修达到预期效果,为设备长期稳定运行提供保障。

4 变电一次设备状态检修的优化方向与保障措施

4.1 技术层面的优化路径

监测技术升级需聚焦高精度与多参数融合,研发更高灵敏度的传感器,提升对微弱异常信号的捕捉能力,例如增强变压器油中微量特征气体的检测精度,更早发现绝缘劣化趋势;推动多参数融合监测,将设备电气量、温度、机械特性等数据整合分析,打破单一参数监测的局限性,更全面反映设备整体状态,减少因数据片面导致的误判或漏判。人工智能技术的深度应用需强化与故障诊断的适配,通过机器学习算法对海量历史故障数据进行训练,构建更精准的故障识别模型,实现故障类型与原因的自动判断;引入深度学习处理复杂非线性数据,例如通过神经网络分析设备局部放电信号的细微特征,提升隐蔽性故障的诊断效率,降低对人工经验的依赖。数字孪生技术的探索需聚焦状态模拟与检修预演,构建与实体设备完全映射的虚拟模型,基于实时监测数据模拟设备运行状态变化,预判长期运行后的性能趋势;在检修前通过虚拟模型预演不同检修方案的操作流程与可能效果,优化检修步骤,减少现场试错成本,提升检修安全性与效率。

4.2 管理层面的保障措施

数据管理体系建设需完善数据存储、共享与安全防护机制,搭建大容量、高可靠性的数据库,确保设备全生命周期监测数据的长期留存;建立跨部门数据共享平台,打破信息孤岛,实现检修、运维、调度等环节的数据互通;加强数据安全防护,通过加密传输、权限管控等手段,防止数据泄露或被篡改,保障数据完整性与可用性。人员能力建设需强化技术培训与专业素养提升,定期组织状态检修新技术、新设备的培训课程,覆盖在线监测系统操作、数据分析工具使用等内容;开展案例教学与实操演练,提升技术人员对复杂故障的诊断与处

理能力,培养既懂设备原理又掌握数据分析技能的复合型人才,适应状态检修技术发展需求。检修流程的标准化与规范化需制定统一操作指南,明确从状态评估、故障诊断到检修实施、效果验证的全流程标准,规定各环节的操作要求、数据记录格式与质量标准;建立流程监督机制,定期检查流程执行情况,及时纠正不规范操作,确保检修工作质量稳定可控,避免因流程差异导致的检修效果参差不齐。

4.3 系统协同层面的完善

状态检修系统与电力调度、运维管理系统的协同需打通数据接口,实现状态检修系统的设备健康信息与调度系统的电网运行数据实时交互,调度部门可根据设备状态调整运行方式,避免故障设备承担过重负荷;同时将检修计划、进度等信息同步至运维管理系统,实现检修资源与运维任务的统筹调配,提升整体工作效率。设备全生命周期数据的贯通与应用需整合设备从设计、制造、投运到退役的全阶段数据,建立完整的全生命周期档案,通过分析不同阶段数据的关联关系,挖掘设备状态变化与使用年限、运行环境的内在规律;基于全生命周期数据优化检修策略,例如根据设备制造缺陷信息调整重点监测部位,根据历史故障规律设定针对性检修项目,实现从“被动检修”向“主动预防”的转变。

结束语

变电一次设备状态检修技术通过科学的技术体系、规范的实施流程及多维度保障措施,有效突破传统检修局限,为设备安全运行提供有力支撑。未来需持续推动技术创新、强化管理能力、完善系统协同,进一步提升状态检修的精准性与高效性。相信随着技术不断成熟,该技术将在电力系统中发挥更大作用,助力电网实现更安全、更经济、更可靠的运行目标。

参考文献

- [1]刘洋汉,葛嵩弥,张怡君.探究变电一次设备故障预测及检修方法[J].新发现,2025(5):43-45.
- [2]丁晓莹.电力系统变电一次设备状态检修技术探析[J].电力设备管理,2025(2):14-16.
- [3]宋高宇.电力系统变电一次设备状态检修技术探析[J].电力设备管理,2025(6):50-52.