

变电站主变压器故障诊断与运维管理策略

杨璨华

昆明川力水电工程有限公司 云南 昆明 650200

【摘要】：主变压器作为变电站核心设备，长期承受复杂工况运行，局部放电、绝缘老化及过载等因素容易引发设备异常，影响电网稳定运行。故障识别滞后、状态监测深度不足及运维管理协同性欠缺，使风险控制难以形成闭环。依托状态监测、数据分析及分级运维措施，建立故障预警、诊断研判和全过程管理机制，增强设备健康状态感知能力，降低故障发生概率，提升检修效率与供电安全水平。

【关键词】：主变压器；故障诊断；状态监测；运维管理；风险预警

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.067

1 主变压器运行状态识别存在的关键问题

1.1 设备状态监测覆盖存在不足

主变压器运行状态获取仍存在监测维度不完整、数据连续性不足等情况，关键部位监测信息之间缺乏有效关联，导致设备健康状态难以得到全面反映。部分监测手段仍停留于周期性检测模式，面对负荷变化、环境波动及绝缘性能衰减等动态特征时，实时感知能力受到限制，早期异常信号容易被正常运行数据掩盖。监测平台之间数据共享程度有限，多源信息融合分析能力不足，状态评价结果与设备实际运行特征存在一定偏差，影响故障诊断的及时性和运维决策的精准性，也制约了状态检修模式的深入实施。

1.2 故障信息研判准确性偏低

故障诊断过程中涉及油色谱、局部放电、绕组温升及运行参数等多类型数据，不同信息之间关联分析深度不足，容易造成异常特征识别片面，降低故障性质判断的准确程度。面对多因素叠加形成的复杂运行状态，单一指标分析方式难以准确反映设备内部劣化趋势，部分隐蔽性缺陷长期处于渐进发展阶段，增加误判和漏判风险^[1]。故障诊断标准与实际运行工况结合程度仍需提升，数据模型动态修正能力不足，导致诊断结果对设备寿命评估、检修时机确定及风险等级划分的支撑作用未能充分发挥。

1.3 运维协同管理衔接不够紧密

故障诊断、状态评价、检修实施及运行管理之间尚未形成高效联动机制，信息流转效率不足，影响设备全生命周期管理质量。监测数据、巡视记录、试验结果及检修档案之间存在一定程度的信息分散，设备运行历史难以形成完整的数据链条，增加运维分析复杂度。风险识别、缺陷处置和检修计划之间缺少动态协同，部分管理环节存在响应滞后现象，难以及时调整运维策略。数字化管理理念与精益化运维要求不断提升，对全过程数据贯通、资源协同配置及风险闭环管控提出更高要求，现有管理模式仍需进一步优化。

2 主变压器故障诊断能力提升路径

2.1 完善在线状态监测体系

构建覆盖主变压器全运行周期的在线状态监测体系，应当突出数据连续采集、信息实时传输和状态智能识别的协同运行机制，将油色谱在线监测、绕组热点温度监测、套管介损检测、局部放电监测、铁芯接地电流监测及负荷变化监测纳入统一平台，实现多维运行参数同步采集与集中管理。监测终端配置应兼顾设备结构特点和运行环境差异，提升关键部位异常信息获取能力，减少监测盲区。平台层应强化数据融合分析功能，建立设备健康指数评价模型，将实时监测结果、历史运行数据、检修记录及试验报告进行关联计算，提高设备状态辨识精度。通信网络应保持稳定可靠，保障监测数据完整传输和快速响应，避免信息丢失影响故障判断。数字化运维理念融入状态监测全过程，推动监测系统由单点采集向全景感知转变，由参数展示向智能分析升级，使设备运行状态能够持续动态更新，为故障诊断提供更加完整、准确的数据基础，进一步提升主变压器状态检修工作的科学性和针对性。（见表1）。相关在线监测体系建设要求已纳入我国电力行业和国家标准体系。

表1 主变压器在线监测系统功能配置建议表

监测模块	监测对象	推荐配置单位（国内）	数据更新周期	数据处理方式	应用目标
油色谱在线监测	溶解气体变化	中国电力科学研究院有限公司	30min	趋势分析+异常比对	判断绝缘劣化程度
局部放电监测	放电信号	国网山东省电力公司电力科学研究院	实时	特征识别+模式分析	提前识别绝缘缺陷
绕组热点监测	温升状态	国网江苏省电力有限公司电力科学研究院	5min	温升预测	防止过热故障

套管绝缘监测	介损、电容量	广东电网有限责任公司电力科学研究院	10min	状态评价	套管绝缘预警
铁芯接地监测	接地电流	国网安徽省电力有限公司电力科学研究院	实时	阈值分析	防止多点接地
综合健康评价	全部监测数据	中国电力科学研究院有限公司	自动更新	健康指数计算	支撑状态检修决策

来源：中国电力科学研究院有限公司、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院等单位公开标准资料整理。

2.2 优化故障数据分析机制

提升主变压器故障诊断能力，需要建立多源数据融合分析机制，使设备运行参数、在线监测信息、带电检测结果、预防性试验数据及历史缺陷记录形成统一的数据分析链条。不同类型数据应按统一标准进行清洗、校验、分类和关联处理，减少信息孤立带来的判断偏差，提高异常特征识别能力。故障分析模型应综合考虑设备运行年限、负载变化规律、环境温湿度、检修周期及历史故障类型，形成动态评价方式，避免单一指标造成误判。诊断过程中强化趋势分析和关联分析，重点识别参数变化速率、异常持续时间及多项指标同步变化特征，使潜伏性缺陷能够在早期得到准确识别^[2]。设备健康评价模型应保持持续优化，根据运行反馈不断修正分析参数，提高模型适应不同工况的能力。数字技术与智能算法协同应用，可实现故障原因自动匹配、风险等级自动评估和检修建议自动生成，进一步缩短故障分析周期，提高诊断结果的一致性和可靠性，为检修资源合理配置提供更加精准的数据支撑。

2.3 健全异常预警处置流程

异常预警体系应贯穿监测、研判、响应、消缺及评价全过程，形成闭环运行机制，使故障风险能够在发展初期得到快速识别和有效控制。预警模型应依据设备状态变化规律建立多级风险阈值，对温度异常、局部放电增强、油中气体异常增长及负荷持续偏高等运行特征实施动态分级管理，根据风险等级自动启动相应处置流程，提高风险响应效率。预警信息发布后，应同步关联设备运行档案、历史缺陷信息及检修记录，为故障研判提供完整依据，减少重复分析环节。运维、检修、试验等业务环节应建立统一协同机制，实现任务自动流转、责任自动分配及处理过程实时跟踪，确保异常信息能够快速落实到具体处置措施。处置完成后，应及时开展效果验证和数据回传，对预警准确率、故障消除效率及设备恢复情况进行综合评价，并持续修正预警模型参数，推动异常识别能力和风险防控水平同

步提升，使主变压器故障管理逐步形成数据驱动、动态优化和全过程闭环控制的运行模式。

3 主变压器运维管理优化措施

3.1 实施设备分级运维模式

设备分级运维应依据主变压器运行年限、健康状态、负荷水平、缺陷记录及故障风险等级建立差异化管理机制，使运维资源配置更加精准。设备健康评价结果可作为运维等级划分的重要依据，对运行状态稳定、参数波动较小的设备实行常态化巡视与周期检测，对存在异常趋势或关键指标持续变化的设备提高巡视频次和检测深度，对高风险设备实施专项跟踪管理与重点技术监督，实现运维策略动态调整。运维计划编制应同步结合季节性负荷变化、电网运行方式调整及设备历史运行规律，合理安排检修窗口，减少重复检修和过度维护现象。设备全寿命周期管理理念融入分级运维全过程，使状态评价、风险识别、检修安排和运行管理保持统一衔接，进一步提高设备利用效率和运维工作的科学化水平。

3.2 强化检修质量全过程管控

检修质量控制应贯穿准备、实施、验收和评价各个环节，形成全过程闭环管理机制，确保各项检修措施真正落实到设备运行实际。检修方案制定阶段应结合故障诊断结果、状态监测数据及历史缺陷档案，明确检修重点和质量控制节点，提高检修内容针对性^[3]。现场作业过程严格执行标准化工艺要求，加强关键工序质量复核和重要部位检测，保证检修数据真实完整、工艺参数符合规范要求。设备恢复运行前，应组织综合性能验证，对绝缘性能、电气试验结果及运行参数进行全面核查，确认设备达到安全运行条件后投入运行。检修结束后的质量评价同步纳入设备履历管理，通过缺陷闭环验证、运行效果跟踪和质量追溯，不断优化检修标准与管理流程，提高主变压器长期运行可靠性。



图1 主变压器检修质量全过程闭环管控示意图

3.3 构建数字化运维管理体系

数字化运维体系建设应以数据贯通和业务协同为核心，将在线监测、巡视检查、试验检测、缺陷治理及设备档案统一接

入管理平台,实现设备运行信息全过程集成管理。平台应具备实时数据采集、健康状态分析、风险自动评估及运维任务智能生成等功能,推动运维方式由经验判断逐步向数据驱动转变。各类运行数据按照统一标准进行分类存储和动态更新,形成完整的设备数字档案,为故障分析、寿命评估及检修决策提供可靠依据。业务流程同步实现线上流转,对巡视计划、缺陷消除、检修进度及质量验收实施全过程跟踪,提高信息共享效率和管理透明度。数字技术与精益运维理念深度融合,持续提升设备状态感知能力、资源调配效率及运维管理水平,增强主变压器运行保障能力。

4 故障诊断优化后的设备运行改善

4.1 故障预警准确率持续提升

故障诊断体系优化后,主变压器运行状态识别能力得到进一步增强,多源监测数据之间形成稳定关联,异常特征能够在早期阶段得到及时捕捉。预警模型持续融合实时运行参数、历史趋势变化及设备健康评价结果,风险识别由单项指标判断转向综合分析,减少误报警和漏报警情况。异常信息经过自动筛查、智能比对和分级研判后,可快速形成风险等级,为运维决策提供更加可靠的技术依据。预警信息发布时效明显提高,设备隐患处置更加主动,故障控制节点持续前移,风险防控能力得到进一步强化。

4.2 设备运行可靠性不断增强

运维管理与故障诊断保持深度协同后,设备健康状态得到

持续跟踪,影响安全运行的潜在因素能够得到动态控制。状态检修逐步替代经验性维护模式,检修时机更加科学,设备停运次数得到合理控制,运行资源配置效率同步提高^[4]。绝缘性能、温升水平及负荷运行状态保持稳定,设备关键部件长期处于可控运行区间,运行风险持续降低。全寿命周期管理理念不断融入设备管理全过程,使运行数据、检修记录及状态评价形成统一支撑,提高主变压器长期安全稳定运行水平。

4.3 运维管理闭环逐步完善

故障诊断、状态评价、检修实施、运行验证及效果反馈之间建立起更加顺畅的管理链条,各业务环节数据实现持续贯通,形成完整的信息闭环。设备异常从发现、研判、处置到消缺验证均具备清晰记录,责任落实更加明确,管理过程可追踪、可核查。运行反馈结果持续修正状态评价模型和运维策略,使设备管理保持动态优化状态。数据共享机制不断完善,运维资源调配更加合理,风险防控、质量管理及技术监督形成协同联动,为主变压器稳定运行提供更加完善的管理保障。

5 结语

主变压器安全稳定运行离不开精准故障诊断与科学运维管理的协同支撑。状态监测、数据分析、风险预警和全过程运维相互衔接,持续提升设备健康管理水平,推动运维模式向精益化、数字化转变,进一步增强设备运行可靠性,为变电站安全运行和电网稳定供电提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 张丽馨,张琦,张文,等.110kV 变电站主变压器油中溶解气体异常故障的诊断与维修策略[J].家电维修,2026,(1):247-249.
- [2] 苑齐鼎.智能变电站主变压器铁心接地异常故障诊断技术分析[J].智能制造研究与应用,2025,1(3):111-113.
- [3] 袁冠军.110 kV 变电站主变压器在线监测与故障诊断[J].电气时代,2025,(4):105-107.
- [4] 赵明星.考虑运行损耗的变电站主变压器局部放电故障诊断[J].自动化仪表,2024,45(12):24-28.