

基于状态检修理念的变电站电力设备智能运维策略探讨

李东宁 冀 敏

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古 阿拉善盟 750300

摘 要:随着电网规模持续扩张,传统定期检修、故障检修模式已难以适配现代变电站高可靠、高效率的运维需求,过度检修、缺陷滞后处置等问题逐渐凸显。本文以状态检修理念为核心,从基础理论、全域感知体系、智能运维策略、平台架构四个维度展开系统性探讨,对比三类主流检修模式的优劣,梳理设备劣化故障机理,搭建覆盖一二次设备的多源数据感知与处理体系,设计差异化分级运维、故障预判、智能巡检、工单协同等核心策略,最终完成智能运维平台的分层架构与功能落地设计。研究成果可为变电站运维提质增效、降低安全风险提供可行的技术参考与实践路径。

关键词:状态检修;变电站;电力设备;智能运维;在线监测

引言:当前我国新型电力系统建设持续推进,变电站作为电网电能转换与配送的核心枢纽,其设备运行的稳定性直接关系到区域供电的可靠性与电网的整体安全。长期以来,国内多数变电站仍沿用传统定期检修为主的运维模式,不仅易造成运维资源浪费,还可能因频繁拆装设备引入新的安全隐患,难以适配高负荷、复杂工况下的运维管控需求。在此背景下,状态检修理念凭借其“数据驱动、按需运维”的核心优势,逐步成为电力运维领域的主流发展方向。本文立足变电站运维实际痛点,系统性构建覆盖感知、研判、处置全流程的智能运维体系,为变电站运维模式的智能化升级提供可落地的实践方案。

1 状态检修与变电站智能运维基础理论

1.1 设备检修模式对比(故障检修、定期检修、状态检修)

故障检修属于传统被动运维模式,仅在变电站设备发生故障、停运或性能失效后开展检修作业,无需前期监测与规划,运维成本低,但极易造成电网供电中断、设备损坏扩大,仅适用于次要、低负荷、故障影响小的辅助设备。定期检修为固定周期预防性模式,依据行业规程与设备运行年限制定检修计划,可提前规避批量设备故障,保障电网基础稳定,但存在检修盲目性,易出现过度检修、资源浪费问题,还可能因频繁拆装设备引入新故障。状态检修为智能化主动检修模式,依托实时监测数据评估设备运行状态,按需开展检修作业,有效规避前两种模式的弊端,兼顾运维安全性与经济性,适配现代变电站高可靠、高效率的运维需求,是当前电力

运维的主流发展方向。

1.2 状态检修核心实施逻辑与评判标准

状态检修的核心实施逻辑是以设备实时运行数据为核心,摒弃固定检修周期,构建“数据感知-状态评估-风险研判-精准检修”的闭环运维体系。通过采集变电站各类设备的运行参数、环境数据、电气特性等多维度信息,结合设备出厂参数、历史故障记录、运维台账等静态数据,动态研判设备运行工况,精准识别设备潜在缺陷与劣化趋势,杜绝盲目检修和滞后检修问题^[1]。其核心评判标准包含量化指标与阈值体系,主要涵盖电气性能指标、机械特性指标、绝缘状态指标、损耗老化指标四大类,同时结合设备运行年限、负荷等级、环境工况修正评判阈值,区分正常、注意、异常、故障四种运行状态,为差异化运维策略落地提供精准的数据支撑。

1.3 变电站主要一次、二次设备劣化与故障机理

变电站一次设备长期承受高电压、大电流、机械振动及温湿度变化影响,劣化与故障机理以物理老化、绝缘衰减、机械磨损为主。变压器易出现绝缘油老化、铁芯过热、绕组变形等问题,引发绝缘击穿、漏油故障;GIS设备因密封老化、杂质堆积,易产生局部放电、气室漏气缺陷;断路器机械结构磨损、操作机构卡涩,会导致分合闸失灵、灭弧性能下降。二次设备以继电保护、测控装置、二次回路为核心,劣化故障多源于电气老化、电磁干扰、接触不良,长期电磁辐射、温湿度波动会造成装置芯片老化、回路接线氧化,引发保护误动、信号异常、数据传输偏差等问题,直接影响变电站

控制、保护及监测系统的稳定运行。

2 变电站设备状态信息感知体系构建

2.1 变压器、GIS、断路器等主设备在线监测方案

变电站核心主设备在线监测方案围绕关键运行参数全覆盖感知搭建,针对性适配变压器、GIS、断路器的设备特性与故障风险点。变压器重点部署油色谱在线监测、油温绕组温度监测、局部放电监测及振动监测装置,实时采集油中溶解气体组分、温度变化、绝缘缺陷信号,精准预判过热、放电、老化等隐患。GIS 设备配置 SF6 气体密度、温湿度、泄漏及局部放电监测模块,实时监控气室密封状态与内部绝缘工况。断路器聚焦机械特性与电气状态监测,采集分合闸时间、行程、操作线圈电流、灭弧室状态等数据。所有监测数据实时上传后台,实现主设备运行状态不间断、高精度动态感知。

2.2 辅控环境、安防、二次回路状态采集手段

变电站辅控、安防及二次回路状态采集是完善全域感知体系的关键,覆盖主设备之外的全场景运维要素。辅控环境通过温湿度传感器、烟感探测器、水浸传感器、风机水泵状态采集终端,实时监测站内环境参数、消防状态及辅助设备运行工况,保障站内运行环境合规稳定。安防系统依托高清摄像头、红外入侵探测器、门禁采集模块,实现人员进出、站内区域安防状态实时采集与动态监控^[2]。二次回路采用高精度回路监测终端、接线状态传感器及信号采集模块,实时采集回路电流电压、接线紧固度、信号传输状态,精准捕捉回路松动、绝缘下降、信号异常等隐性缺陷,补齐二次系统状态感知短板。

2.3 多源监测数据清洗、融合与标准化处理

变电站监测数据来源繁杂,涵盖主设备、辅控、安防、二次系统等多维度多类型数据,存在数据格式不统一、冗余噪声多、时序错位等问题,需通过清洗、融合、标准化处理提升数据有效性。数据清洗主要剔除重复数据、异常干扰数据、缺失无效数据,修正采集偏差数据,筛选有效运维数据。数据融合通过大数据算法,将不同设备、不同维度的独立数据关联整合,构建设备全维度运行数据模型,打破数据孤岛。标准化处理依据电力行业规范,统一数据格式、采集频率、传输协议与阈值标准,实现各类监测数据的规范化存储、传输与调用,为设备状态评估、故障研判、智能运维分析提供高质量数据支撑。

3 基于状态检修的智能运维核心策略设计

3.1 设备健康分级差异化运维策略

设备健康分级差异化运维策略以设备状态评估结果为核心依据,结合设备重要等级、运行工况、故障风险,将变电站设备划分为健康、良好、预警、故障四个等级,匹配针对性运维方案。健康等级设备运行参数稳定、无劣化迹象,执行常规周期巡检,减少过度运维作业,节约运维资源。良好等级设备存在轻微老化迹象,无安全隐患,适当延长监测周期,做好日常状态跟踪记录。预警等级设备存在明显劣化趋势、参数偏离标准阈值,加密监测频次,开展专项排查,提前制定预检修方案。故障等级设备存在安全隐患、影响运行安全,立即启动停运检修流程,快速消除设备缺陷,保障电网稳定运行^[3]。

3.2 故障提前预警与缺陷预判处置策略

故障提前预警与缺陷预判处置策略依托大数据分析,实现变电站设备故障从事后处置向事前预判转型。系统基于设备历史故障数据、实时监测参数、劣化规律构建故障预判模型,通过对比实时数据与标准阈值、拟合参数变化趋势,精准识别设备隐性缺陷与早期故障隐患,生成分级预警信号。针对不同等级预警信息,建立标准化处置流程,轻微预警开展现场核查跟踪,中度预警启动专项排查与隐患整改,重度预警立即触发风险管控机制,落实隔离、监护及检修准备工作。同时建立预警闭环管理机制,全程跟踪缺陷处置进度,实现隐患早发现、早处置、零扩大。

3.3 巡检智能化优化策略(机器人、视频 AI、移动巡检)

智能巡检优化策略整合巡检机器人、视频 AI、移动巡检三大技术手段,替代传统人工巡检短板,构建全域、高效、精准的巡检体系。巡检机器人搭载红外测温、高清摄像、气体检测模块,可自主完成站内设备定时巡检、特殊工况专项巡检,适配高温、高负荷、夜间等复杂巡检场景。视频 AI 技术通过图像智能识别算法,实时分析设备外观缺陷、仪表读数、异物入侵、设备发热等问题,实现 24 小时不间断可视化巡检。移动巡检依托终端设备实现运维人员现场打卡、数据录入、缺陷上报、工单核查,打通线上线下运维链路,三者协同互补,大幅提升巡检效率与缺陷识别准确率。

3.4 检修工单智能推送与资源协同调度策略

检修工单智能推送与资源协同调度是智能运维高效落地的核心保障,依托平台数据研判结果实现运维工作自动化、精细化管理。系统根据设备缺陷等级、故障紧急程度、运维优先级,自动生成标准化检修工单,精准

匹配对应专业运维人员,实现工单定向智能推送,杜绝人工派单滞后、匹配不合理问题。同时构建人力、物资、设备、车辆一体化资源调度体系,结合工单数量、作业区域、人员技能台账,智能统筹调配运维资源,规避资源闲置或短缺问题。通过多维度资源协同联动,简化检修作业流程,缩短故障处置时长,提升变电站整体运维作业效率与管控水平。

4 智能运维平台整体架构与功能实现

4.1 平台分层总体架构

变电站智能运维平台采用分层模块化总体架构,自下而上分为感知层、传输层、数据层、应用层、展示层五层结构,各层级分工明确、协同联动。感知层为底层基础,整合各类传感器、巡检设备、采集终端,负责全站设备及环境状态数据采集。传输层依托电力专用网络、光纤、无线专网,实现各类数据安全、稳定、实时传输。数据层承担数据存储、清洗、融合、标准化处理功能,构建运维专属数据库。应用层为核心功能载体,集成状态监测、健康评估、预警研判、工单管理、资源调度等核心功能。展示层通过可视化界面实现运维数据、设备状态、作业进度集中展示,形成全层级一体化智能运维架构。

4.2 状态监测、健康评估、运维管理核心模块

平台核心功能模块涵盖状态监测、健康评估、运维管理三大核心板块,全面支撑智能运维全流程管控。状态监测模块实现对全站一二次设备、环境参数及安防数据的实时采集与展示,支持异常告警推送与参数动态刷新,直观呈现设备运行工况,提升故障发现效率。健康评估模块依托智能算法模型,综合设备运行参数、老化程度及环境因素,自动开展健康状态分级评估,生成健康诊断报告与劣化趋势分析,为状态检修提供科学依据。运维管理模块整合巡检、缺陷、工单及检修管理等功能,实现任务智能下发、作业过程全程管控、缺陷闭环处置及运维台账自动归档,提升管理规范化水平。三大模块互联互通、数据共享,形成“监测-评估-处置”一体化闭环,构建全覆盖、智能化、可追溯的运维管控体系,全面提升设备可靠性与运维效率。

4.3 与变电站综自、辅控系统数据互通方案

智能运维平台通过标准化接口协议,实现与变电站综合自动化系统、辅助控制系统的双向数据互通与资源共享。平台采用电力行业通用 IEC61850 标准协议、MQTT 传输协议,搭建安全数据交互通道,对接综自

系统获取设备遥测、遥信、遥控、故障录波等核心运行数据,同步对接辅控系统获取环境监测、安防监控、消防、给排水等辅助运维数据^[4]。同时设置数据安全隔离机制,保障数据传输安全合规,避免系统数据冲突与泄露。通过跨系统数据互通,打破各系统独立运行的数据壁垒,实现全站数据统一汇聚、统一分析、统一管控,提升运维数据利用率与系统协同性。

4.4 运维可视化、历史数据追溯分析功能

平台运维可视化与历史数据追溯分析功能是运维复盘、优化迭代的重要支撑。可视化功能通过三维变电站模型、数据仪表盘、趋势曲线图等形式,集中展示设备运行状态、告警信息、巡检进度、作业台账等核心内容,让全站运维工况一目了然,便于运维人员快速掌握现场情况。历史数据追溯功能可精准调取设备任意时段的运行参数、告警记录、缺陷处置记录、检修台账等数据,支持多维度数据对比、趋势分析、故障复盘。通过对历史数据的深度挖掘分析,可总结设备劣化规律、故障高发诱因,为运维策略优化、设备技改、周期检修方案调整提供科学的数据依据。

结束语

本文围绕基于状态检修理念的变电站电力设备智能运维策略展开全链条探讨,从基础理论梳理到全域感知体系搭建,再到核心运维策略设计与平台功能落地,形成了一套完整的变电站智能运维实施方案。该方案可有效破解传统运维模式下检修盲目、缺陷发现滞后、资源调度效率偏低等痛点,在保障变电站设备运行安全的同时,大幅降低运维成本、提升运维作业效率。未来随着人工智能、大数据技术的持续迭代,变电站智能运维体系还将向更精准的故障预判、更自主的无人运维方向演进,为新型电力系统的稳定运行提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 杨鹏兴. 基于状态检修理念的变电站电力设备智能运维策略探讨 [J]. 通信电源技术, 2025, 42(13): 210-212.
- [2] 李伟光, 王核哲, 丁心晓. 变电站电力设备运行监测与维护 [J]. 百科论坛电子杂志, 2021(23): 3209-3210.
- [3] 艾合麦提·麦麦提, 阿力木江·萨米, 王聪. 基于人工智能数字化变电站变压器设备在线监测智能分析研究 [J]. 电脑校园, 2025(4): 81-83.
- [4] 丁小军. 智能变电站二次设备电力控制的安全防护技术难点与增强策略 [J]. 电力设备管理, 2026(7): 222-224.