

智能化技术在发电厂电气运行维护中的应用探索

卫乐乐¹ 李广鹏²

黄河明珠水利水电建设有限公司 河南三门峡 472000

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18537

[摘要] 为了提升发电厂电气运行维护的智能化水平,文章分析了智能化技术在设备状态监测、故障预警处置、运维管理优化等方面的应用路径,研究了在线传感监测、红外诊断、健康评估、预测预警、远程诊断、应急响应、数字巡检、智能调度、大数据分析等技术方法。研究表明,智能化技术能够显著提升设备监测精度,缩短故障响应时间,优化运维资源配置,为发电厂电气系统安全稳定运行提供技术保障。

[关键词] 智能化技术; 发电厂; 电气运行维护

发电厂电气运行维护是保障发电设备安全稳定运行的核心工作,涉及变压器、断路器、母线、配电装置等关键电气设备的日常监控与养护。运行维护工作需要及时发现设备潜在缺陷,准确判断故障类型,快速实施检修处置,既要确保设备可靠性又要降低维护成本。智能化技术的引入为传统运维模式带来变革契机,在线监测系统替代人工定期巡检,大数据分析支撑预测性维护决策,自动化响应机制缩短故障处置周期,推动运维工作向精准化智能化方向转型。

1. 智能化技术在电气设备状态监测中的应用

1.1 部署在线传感监测系统

在线传感监测系统在发电厂电气设备关键部位安装温度传感器、振动传感器、局部放电传感器、SF₆气体密度传感器等多类型感知装置,实现设备运行参数的实时采集与持续跟踪。温度传感器布置于变压器绕组、铁芯、套管等发热部位,采集温度数据形成热分布曲线,当温度超过阈值时系统自动触发预警,提示运维人员排查过载、散热不良等异常状况。振动传感器安装在断路器操动机构、电机轴承等运动部件,监测振动频谱特征,频谱异常波动往往预示着机械松动、轴承磨损、不平衡等早期故障征兆。局部放电传感器采用高频检测技术捕捉GIS组合电器、电缆接头内部的局放信号,局放量增大反映绝缘材料老化程度加剧,为制定绝缘检修计划提供量化依据^[1]。传感器采集的海量数据经工业以太网传输至监控中心服务器,数据处理系统对多源异构数据进行清洗、标准化、时序对齐等预处理操作,建立设备运行状态数据库。监测系统配置可视化界面,运维人员可实时查看各监测点参数曲线、历史数据对比、异常事件记录,数据呈现方式从表格转向图形化仪表盘,设备状态信息一目了然。

1.2 应用红外热成像诊断技术

红外热成像诊断技术利用红外热像仪探测电气设备表面辐射的红外能量,将温度分布转换为可视化热图,无需接触设备即可快速识别过热缺陷。母线连接处、隔离开关触头、电缆接头等电流密集部位因接触电阻增大会产生局部发热,红外热像图中过热点呈现明显高温区域,温度数值与正常部位对比超过设定温差标准时判定为缺陷。诊断人员手持红外热像仪对配电装置进行扫描式巡检,采集的热图数据存储至移动终端,内置智能分析软件自动识别异常温度点,标记温升超标位置,生成缺陷初步诊断报告。固定式红外监测装置安装于重要设备区域,按设定周期自动拍摄热像图,图像数据上传至云端分析平台,人工智能算法比对历史热图识别温度变化趋势,当温升速率异常时提前预警。红外诊断技术适用于带电检测,无需停电即可完成设备状态评估,检测效率较传统接触式测温提升数倍。诊断结果结合设备台账、检修记录、负荷曲线等信息综合研判缺陷成因,区分过载导致的正常温升与缺陷引发的异常发热,为检修决策提供准确依据。

1.3 构建设备健康评估模型

设备健康评估模型以多源监测数据为输入,融合物理模型与数据驱动方法,量化评估电气设备的健康状态等级。评估模型首先建立设备劣化机理模型,变压器油中溶解气体分析遵循罗杰斯比值法判断内部故障类型,绝缘电阻下降速率反映绝缘材料老化进程,机械特性参数偏移揭示操动机构磨损程度。模型采集设备历史运行数据、试验数据、巡检记录,提取表征设备状态的特征参数,如油色谱数据中氢气、乙炔含量,介质损耗角正切值,合闸时间、分闸时间等机械参数。机器学习算法对特征参数进行深度挖掘,训练神经网络识别

健康、注意、异常、严重等多级状态模式,模型学习大量设备从正常运行到故障发生的演化路径,掌握状态转移规律。评估系统将实时监测数据输入训练好的模型,输出设备当前健康度评分,评分低于安全阈值时触发检修提醒。模型还预测设备剩余使用寿命,基于当前劣化速率推算设备达到检修标准或失效边界的时间节点,支撑状态检修策略制定。评估结果以健康度曲线、雷达图、风险矩阵等形式呈现,管理人员直观掌握设备群体健康状况分布,优先安排高风险设备的检修资源投入^[2]。

2. 智能化技术在电气故障预警处置中的应用

2.1 建立智能故障预测系统

智能故障预测系统基于设备历史故障数据与实时运行数据,运用深度学习算法挖掘故障前兆特征,实现故障早期预警。系统收集发电厂多年积累的故障案例库,记录故障类型、发生时间、设备参数、环境条件等多维信息,形成标准化训练样本集。数据预处理环节清洗异常数据,补全缺失值,对不同量纲参数进行归一化处理,提取时域特征、频域特征、时频域特征等多尺度特征向量。长短期记忆网络模型学习设备参数时间序列的演化规律,捕捉参数变化趋势中蕴含的故障征兆,模型训练过程不断优化网络权重参数,提升故障模式识别准确率。预测系统接入实时监测数据流,按分钟级频率刷新设备状态评估结果,当模型识别到参数组合与历史故障前兆高度相似时触发预警信息。预警信息按故障概率、影响程度分级推送,一级预警直接发送至运维负责人手机终端并启动应急预案,二级预警提示班组加强监视,三级预警记录至日志供后续分析。系统配置误报抑制机制,设置预警确认时间窗口,连续多个周期检测到异常信号才输出预警,避免偶发数据波动引发误报。预测结果反馈至模型训练模块,实际故障发生情况验证预测准确性,模型持续迭代优化不断提升预见能力。

2.2 开发远程诊断分析平台

远程诊断分析平台构建发电厂与设备厂商、专家团队之间的协同诊断网络,突破现场诊断的时空限制。平台采用云架构部署,发电厂将设备运行数据、监测波形、图像视频等多模态信息上传至云端数据中心,数据传输采用加密通道确保信息安全。设备制造商技术专家通过平台客户端远程访问设备数据,调取历史运行曲线、故障录波文件、试验报告等

资料,专家结合设备设计参数、制造工艺、运行工况进行深度诊断分析。平台内置专家知识库,存储典型故障案例、诊断决策树、检修指导书等专业知识,人工智能诊断引擎调用知识库进行初步诊断推理,缩小故障范围,为专家诊断提供参考建议^[3]。远程会诊功能支持多方专家在线研讨,专家标注异常数据位置、绘制分析图表、编写诊断意见,协作完成复杂疑难故障的诊断工作。平台集成虚拟现实技术,专家佩戴VR设备远程查看设备三维模型,现场人员操作摄像机采集设备实景画面实时传输,专家指导现场人员精准定位故障部件。诊断结论形成结构化报告,明确故障原因、处置方案、备品备件需求、预计修复时间,报告自动推送至运维管理系统生成工作任务单。平台记录每次诊断过程数据,积累形成诊断案例库,为后续相似故障提供快速检索参考。

2.3 实施自动化应急响应机制

自动化应急响应机制在检测到电气设备故障或异常时,系统自动执行预设应急流程,最大限度缩短故障处置时间。响应机制设置多级触发条件,设备保护动作、监测参数越限、预测系统预警等事件均可触发应急流程启动。系统接收故障信号后自动识别故障类型与严重程度,调用对应应急预案模板,预案规定处置步骤、责任人员、时间要求、安全措施等关键要素。自动化控制系统执行设备隔离操作,断开故障设备供电电源,切换备用设备投入运行,确保发电系统整体功能不受影响。系统同步启动应急通信流程,自动拨打相关人员电话,发送短信与移动应用推送通知,语音播报故障位置与处置要求,确保应急人员第一时间获知信息。现场应急照明系统自动开启,电子显示屏展示疏散路线与安全注意事项,视频监控切换至故障区域实时画面,为应急指挥提供现场态势感知。系统自动启动故障录波装置、事件顺序记录装置,完整记录故障发生前后的电气量变化过程,数据存储至防篡改存储器为事故分析提供可靠依据。应急响应全过程自动生成时间轴日志,记录每个操作节点的执行时间、操作人员、设备状态,日志数据用于应急演练复盘与流程优化。机制设置人工接管接口,特殊情况下值班人员可中断自动流程转为手动操作,保证应急处置的灵活性。

3. 智能化技术在运维管理优化中的应用

3.1 搭建数字化巡检管理系统

数字化巡检管理系统将传统纸质巡检记录转变为移动端

电子化作业,实现巡检过程的标准化、可追溯、数据化。系统预先设置巡检路线、巡检项目、检查标准、正常值范围等规范要求,运维人员携带配备巡检APP的移动终端按规定路线执行巡检任务。巡检点部署NFC标签或二维码标识,巡检人员到达现场扫描标签打卡,系统自动记录巡检时间、地理位置,防止漏检或代检行为。移动终端界面展示该巡检点的检查项目清单,包括设备外观检查、仪表读数记录、声音气味判断、温度测量等具体内容,巡检人员逐项确认并录入检查结果。系统支持拍照、录音、录像等多媒体信息采集,发现设备异常时拍摄现场照片上传,语音描述缺陷特征,视频记录设备运行状态,多维信息全面反映设备真实情况。数据实时同步至管理平台,班组长通过电脑端查看巡检进度,检查记录完成质量,对不合格记录退回要求重新检查。系统自动统计巡检完成率、缺陷发现数量、处理及时率等关键指标,生成巡检质量分析报表,评估运维人员工作绩效。历史巡检数据形成设备状态档案,记录设备参数长期变化趋势,为劣化趋势分析提供数据支撑^[4]。

3.2 推行智能工单调度模式

智能工单调度模式运用人工智能算法优化运维任务分配,提升人力资源利用效率与任务完成时效。系统收集缺陷工单、检修工单、技改工单等各类运维任务信息,提取任务紧急程度、技能要求、预计工时、所需工器具等关键属性。调度算法建立运维人员技能画像,记录每位员工的专业特长、资质证书、经验年限、历史任务完成质量等信息,形成人员能力数据库。算法综合考虑任务优先级、人员能力匹配度、地理位置距离、工器具可用性等多重约束条件,计算最优任务分配方案,确保高优先级任务优先响应,专业任务分配给对口人员,减少人员往返移动时间。系统自动将工单推送至被指派人员移动终端,工单包含任务描述、技术要求、安全措施、参考资料等完整信息,人员接收工单后导航系统规划最短路径。任务执行过程实时反馈进度,人员到达现场、开始作业、完成验收等关键节点通过APP上报,调度中心动态掌握所有任务状态。突发紧急任务插入时,算法快速重新计算调度方案,自动调整其他任务执行顺序或重新分配人员,保证应急响应及时性。系统记录每次调度决策与执行结果,分析任务完成时长、人员工作负荷均衡度、资源利用率等指标,调度算法根据反馈数据持续优化决策规则。

3.3 建设运维大数据分析平台

运维大数据分析平台汇聚设备监测数据、巡检数据、工单数据、备品备件数据、气象数据等多源异构信息,挖掘数据价值支撑运维决策优化。平台构建分布式数据存储架构,海量时序数据采用列式存储数据库,结构化业务数据使用关系型数据库,图片视频等非结构化数据存储于对象存储系统,实现PB级数据的高效管理。数据治理模块统一数据标准,建立设备编码体系、参数命名规范、数据质量校验规则,清洗重复数据、修正错误数据、填补缺失数据,提升数据可用性。分析引擎提供批处理计算与流式计算双模式,批处理任务挖掘历史数据中的故障规律、劣化模式、季节性特征,流式计算实时处理监测数据流进行异常检测与实时预警。平台开发设备可靠性分析模型,统计各类设备的故障率、平均无故障时间、平均修复时间等可靠性指标,识别薄弱环节,为技术改造提供决策依据。备品备件需求预测模型基于设备故障频次、检修计划、库存消耗历史预测备件需求量,优化库存水平,避免积压浪费或缺货影响检修。

结束语

智能化技术在发电厂电气运行维护领域的深度应用将持续推进,传感技术、人工智能、大数据分析的融合创新必将催生更多智能运维场景。运维人员应当主动适应技术变革,提升数字化技能素养,充分发挥智能系统辅助决策作用,在人机协同模式下不断提升电气设备管理水平,为电力系统安全稳定运行筑牢坚实基础。

[参考文献]

- [1]冯海洋.提升发电厂电气运行可靠性的预防性维护措施分析[J].电子元器件与信息技术,2025,9(07):82-85.
 - [2]张丙建.火力发电厂电气设备安全运行管理与维护探析[J].电力设备管理,2025,(10):261-263.
 - [3]王玲.浅析发电厂电气设备的运行管理及维护措施[J].中国设备工程,2023,(22):57-59.
 - [4]王澎.发电厂电气设备的运行管理与维护策略[J].集成电路应用,2023,40(02):190-191.
- 作者简介:1.卫乐乐,(1987年10月-),男,汉族,陕西渭南,工程师,本科,水利工程;
2.李广鹏,(1983年10月-),男,汉族,河北沧州,工程师,大学本科,电气工程及其自动化。