

变电站智能化运维技术应用研究

褚万明 周永强 马存良

国网宁夏电力有限公司固原供电公司 宁夏 固原 756000

摘要:为适配新型电力系统数字化转型需求,破解传统变电站人工运维效率低、隐患排查滞后、运维成本偏高的难题,本文梳理智能感知、数据传输、智能分析、数字孪生四大核心运维技术体系。阐述智能巡检、状态监测、故障处置、全周期管控等典型应用场景,剖析技术融合不足、设备适配性差、体系不完善、专业人才匮乏等现存问题,针对性提出技术、管理、人才多维度优化对策,为变电站智能化、精细化运维升级提供参考。

关键词:变电站;智能化;运维技术;应用

引言:变电站是电力电网运行的核心枢纽,其运维质量直接关乎电网供电稳定性与安全性。传统变电站运维依赖人工操作与定期检修,存在作业风险高、数据采集片面、故障响应滞后、运维模式固化等诸多短板,难以适配现代化电网高效、安全、智能的运维需求。在此背景下,智能化运维技术逐步落地应用,推动变电运维模式革新。本文围绕其核心技术、实际应用、现存问题及优化策略展开深入研究。

1 变电站智能化运维核心技术体系

1.1 智能感知与数据采集技术

(1) 高精度感知设备是智能运维的数据基础,电子式互感器、光纤传感器、无线温度振动监测装置等设备依托光电感应、无线传感原理,替代传统传感设备,具备精度高、抗干扰能力强的优势,可实时捕捉电力设备细微运行状态变化,适配变电站复杂电磁运行环境。(2) 技术可实现全维度数据采集,全面覆盖电网运行电压、电流等电气参数,以及设备温度、振动、绝缘状态等设备运行参数,同时采集温湿度、门禁、安防等环境参数,全方位囊括变电站核心运维数据,构建完整的数据采集体系^[1]。(3) 配套数据预处理技术可对原始采集数据进行统一处理,通过数据清洗、降噪、无效数据筛选等操作,剔除干扰数据与异常冗余数据,有效提升运维数据的准确性、有效性,为后续数据分析与智能决策提供可靠数据支撑。

1.2 数据传输与存储技术

(1) 依托电力专用传输网络架构,融合 5G 通信、工业以太网、物联网等前沿技术,搭建高速、稳定的专属传输链路,突破传统传输延迟缺陷,实现变电站各类运

维数据的实时、高效传输,保障数据同步更新。(2) 采用专用数据安全传输协议,对传输数据进行加密处理,建立数据传输校验机制,有效规避数据传输过程中丢失、篡改、泄露等安全风险,筑牢电力运维数据传输安全防线。(3) 采用分布式海量数据存储与精细化管理模式,适配变电站高频次、多维度、大容量的运维数据存储需求,实现各类数据分类存储、统一管理、快速调取,保障数据长期稳定留存与高效调用。

1.3 智能分析与决策技术

(1) 基于机器学习、大数据算法开展人工智能数据分析,深度挖掘海量运维数据内在规律,对设备运行状态、电网工况进行全方位智能研判,摆脱人工数据分析的局限性。(2) 依托故障智能识别与预警技术,精准识别设备隐性缺陷与潜在故障,结合历史数据预判故障发展趋势,实现故障提前预警,从被动处置转变为主动预防运维。(3) 搭建自动化运维决策生成机制,结合设备运行状态与运维规范,智能生成巡检计划、检修方案、设备管控策略等专业化方案,为变电站运维工作提供精准智能支撑。

1.4 数字孪生可视化运维技术

(1) 通过三维建模、数据实时映射技术构建变电站数字孪生模型,精准复刻站内所有物理设备与场地环境,实现物理实体与虚拟模型的实时同步、动态映射。(2) 依托可视化运维监测功能,将抽象的运行数据转化为直观的三维画面,直观展示设备运行状态、电网实时工况,实现全站设备可视化、一体化监测管控。(3) 利用模型仿真推演功能,模拟设备不同运行工况,预判设备老化趋势与运行风险,提前优化运维方案,有效支撑设备全生命周期精细化、智能化运维管理。

2 变电站智能化运维技术典型应用

2.1 智能巡检运维应用

(1) 机器人自主巡检技术应用。在变电站日常运维中,智能巡检机器人已广泛替代人工开展常态化巡检作业,重点覆盖高空设备、高压间隔、高危狭小等人工难以抵达、风险较高的作业区域。机器人搭载高清摄像、红外测温、气体检测等多功能模块,可按照预设路线自动巡航,全天候完成设备巡检工作,有效规避人工巡检高空坠落、触电等安全风险,同时弥补人工巡检视野受限、夜间巡检盲区大的短板,大幅提升巡检作业的安全性与覆盖面。(2) 视频智能巡检识别系统。该系统依托机器视觉与人工智能识别算法,对变电站监控视频画面进行实时分析研判,可自动识别各类运维隐患。能够精准捕捉设备外观破损、绝缘子污闪、接头发热、仪表指针异常、指示灯故障等设备缺陷,同时实时监测场地异物堆积、门禁异常、消防隐患等环境问题,全程无需人工值守盯控,实现巡检识别自动化、精准化,降低人工漏检、误检概率^[2]。(3) 巡检数据智能归档与分析。系统可自动汇总机器人巡检、视频巡检采集的各类数据,按照设备类型、巡检时间、隐患类型进行标准化分类归档,形成完整的巡检数据台账。同时通过大数据分析挖掘巡检数据规律,统计设备缺陷高发问题、巡检薄弱区域,为巡检频次优化、重点设备管控提供数据支撑,推动变电站巡检工作走向标准化、常态化、规范化管控模式。

2.2 设备状态智能监测与评估

(1) 核心设备实时状态监测。针对变电站主变压器、GIS 组合电器、断路器等关键核心电力设备,搭建全时段实时监测体系。通过前端感知设备持续采集设备温度、振动、绝缘参数、局部放电、操作次数等核心运行数据,动态掌握设备运行工况,实时捕捉设备细微状态波动,彻底改变传统定期巡检无法实时把控设备状态的弊端,实现核心设备运行状态全天候可控。(2) 设备运行健康状态智能评估模型构建与应用。基于设备运行历史数据、出厂参数、检修记录、环境影响数据,搭建专属的设备健康状态评估模型。依托机器学习算法对多维度数据进行综合研判,量化设备健康分值,精准判定设备正常、亚健康、故障隐患等不同运行状态,科学评估设备老化程度与运行可靠性,为设备状态研判提供量化、智能化依据。(3) 差异化运维策略制定。依托设备健康评估结果,摒弃传统一刀切的定期检修运维模式,推行差异化精准运维策略。对健康状态良好的设备延长运维周期,减少无效检修作业;对存在轻微隐患、处于亚健康状态的设备加强监测频次、开展针对性维护;对故障风险较高的设备及时安排检修整改,有效降低运维

成本,避免过度运维或运维缺失问题^[3]。

2.3 故障智能处置与应急运维

(1) 故障快速定位与溯源技术应用。依托全站数据联动分析技术,设备发生异常时,系统可快速关联电气参数、设备状态、环境数据,精准锁定故障点位、判定故障类型,完成故障溯源。相较于传统人工逐项排查的方式,大幅缩短故障排查时长,解决传统故障排查效率低、定位不准、耗时久的痛点,为故障快速处置争取宝贵时间。(2) 故障分级预警与智能推送机制。系统根据故障危害程度、影响范围,将设备隐患及故障划分为一般、预警、紧急等不同等级,建立分级预警体系。不同等级隐患对应差异化处置流程,同时通过平台弹窗、移动端推送等方式,将预警信息精准推送至对应运维人员,实现隐患早发现、早预警、早处置,从源头减少重大电力故障的发生。(3) 应急运维方案智能生成与辅助执行。针对各类常见故障及突发异常,系统结合故障类型、变电站运行规范、历史处置案例,自动匹配并生成标准化应急运维方案,明确处置步骤、操作要点、安全注意事项。同时全程辅助运维人员开展处置作业,实时同步处置进度、校核操作规范性,大幅提升突发故障的应急处置效率与标准化水平。

2.4 全生命周期智能化运维管理

(1) 设备全流程智能管控。构建覆盖电力设备入网、日常运行、定期检修、缺陷整改、报废退役的全生命周期智能管控体系。设备入网阶段完成参数建档、信息录入;运行阶段实时监测状态、动态更新运行数据;检修阶段智能匹配检修方案、记录检修过程;报废阶段完成状态核验、台账注销,实现设备全流程可追溯、可管控。(2) 运维数据闭环管理体系搭建。整合巡检、监测、故障处置、检修维护等全场景运维数据,搭建数据采集、分析、应用、复盘、优化的闭环管理体系。各类运维数据统一汇总归档、分析研判,将数据结果反哺于运维策略优化、设备管控升级,解决数据分散、利用率低的问题,形成良性运维闭环^[4]。(3) 运维成本与效率智能化管控优化。通过智能化运维手段,精准统筹运维人力、物资、设备资源,合理规划运维作业计划,减少无效巡检、重复检修等冗余工作。同时依托数据复盘分析运维工作短板,持续优化运维流程与资源配置,有效降低人工、物资、时间成本,全面提升变电站运维工作的精细化水平与整体运行效率。

3 变电站智能化运维技术应用问题与优化对策

3.1 技术应用现存问题

(1) 技术融合度不足。现阶段变电站各类智能运维系统独立运行、功能分散,各平台数据接口不统一,无法实现互联互通,形成严重的数据孤岛,导致运维数据无法共享、复用,大幅降低了智能化运维的整体效能。(2) 设备适配性参差不齐。电网中存在大量老旧变电站,原有设备架构老旧、技术标准落后,与新型智能感知、监测设备兼容性较差,智能化升级改造施工难度大、改造成本高,改造后系统稳定性不足。(3) 智能运维体系不完善。目前变电站智能化运维缺乏统一的行业标准和作业规范,运维流程不统一,同时配套的考核、监管机制缺失,导致智能运维工作落地不规范、管控不到位。(4) 专业运维人才匮乏。智能化运维融合电力、大数据、人工智能等多领域技术,现有运维人员多擅长传统电力运维,缺乏智能技术实操能力,复合型专业人才储备不足,制约智能运维体系落地应用。

3.2 技术层面优化策略

(1) 搭建一体化数据共享平台。统一各智能系统的数据接口、传输协议与数据格式,整合巡检、监测、故障处置、设备管理等多维度数据,打破原有数据壁垒。实现全站运维数据集中汇聚、融合分析与共享复用,为智能研判、精准决策提供完整的数据支撑,彻底解决数据孤岛问题。(2) 优化智能设备适配技术。针对老旧变电站设备老旧、兼容性差的问题,采用模块化、适配性改造方案,选用兼容性强的轻量化智能设备。对老旧设备进行针对性升级适配,无需大规模替换原有设备,降低改造难度与成本,提升新旧设备协同运行的稳定性。(3) 升级智能算法模型。结合变电站实际运行工况,持续迭代优化故障识别、状态评估算法,引入多维度数据比对与深度学习机制。修正算法识别偏差,提升设备隐患识别、故障定位、健康状态评估的精准度,提高智能运维研判的可靠性^[5]。

3.3 管理与体系优化对策

(1) 建立统一运维标准规范。结合变电站智能化运维实际需求,参照行业技术准则,制定统一的智能设备安装、数据采集、智能巡检、故障处置标准化作业规范,统一运维流程与技术标准,实现运维工作规范化落地。(2) 完善考核评价管理体系。构建适配智能化运维的考核机制,围绕数据质量、巡检成效、故障处置

效率、设备运维状态等维度设定考核指标。细化奖惩细则,将智能化运维工作纳入常态化考核,倒逼运维工作提质增效。(3) 搭建常态化迭代机制。建立设备定期运维、系统动态迭代的长效机制,定期排查智能设备运行状态、检修故障隐患,根据电网运维需求、技术发展趋势,持续优化系统功能与运维模式,保障智能运维体系长效适配现场工作需求。

3.4 人才队伍建设优化方案

(1) 构建分层分类培训体系。针对在岗运维人员能力差异,开展分层专项培训,基础层侧重智能设备操作、系统使用技能,骨干层侧重数据分析、故障研判、系统运维技术,全面提升在岗人员智能化运维实操能力。(2) 引进复合型专业人才。定向引进掌握电力运维、大数据分析、人工智能技术的复合型人才,补齐人才短板,优化运维人才结构,为智能化运维体系升级、技术创新提供人才支撑。(3) 建立创新激励机制。搭建内部技术交流、案例分享平台,鼓励人员开展智能运维技术创新与实操优化。设立创新奖励机制,激发团队学习与创新积极性,持续提升整体智能化运维水平。

结束语

本文系统探究变电站智能化运维核心技术与实际应用成效,明确当前技术落地、体系建设、人才储备等方面的突出短板。通过搭建数据共享平台、完善运维标准、优化设备适配、强化人才培育等举措,可有效破解智能运维落地难题。智能化运维是电力行业数字化转型的必然趋势,持续迭代技术与管理体系,能够全面提升变电站运维质效与电网安全运行水平。

参考文献

- [1] 盛晓峰. 变电站中的智能化运维技术应用 [J]. 电子技术, 2022, 51(11): 246-249.
- [2] 吴彦亨, 罗鑫. 变电运维技术中智能化技术研究 [J]. 科技经济市场, 2022, 7(11): 20-22.
- [3] 闫小芳. 智能化技术在变电运维安全管控中的应用研究 [J]. 中国新技术新产品, 2024, 12(24): 146-148.
- [4] 陆游. 变电运维技术中的智能化技术分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(12): 334-337.
- [5] 朱颜, 王天成, 钱其隆, 等. 变电运维技术中智能化技术运用探析 [J]. 电力设备管理, 2024, 10(22): 47-49.