

智能变电站技术在输变电系统电力设备运维中的应用

王志鹏

上海叙升电力设计有限公司, 上海, 200135;

摘要: 在新型电力系统建设提速与电网数字化转型的背景下, 智能变电站技术成为输变电设备运维提质增效的核心支撑。本文立足企业运维实践, 剖析智能变电站技术体系架构, 阐述其在输变电设备状态感知、故障诊断、运维决策、全生命周期管理等环节的落地应用, 梳理传统运维模式向智能化运维转型的核心痛点, 提出技术适配、管理协同、人才培养的优化路径。研究表明, 智能变电站技术可有效打破运维数据壁垒, 实现设备状态全域监测、故障提前预警、检修精准施策, 大幅降低运维成本与设备停运风险, 助力企业提升输变电系统运行可靠性与运维管理精细化水平, 为电网安全稳定运行提供技术保障。

关键词: 智能变电站; 输变电系统; 电力设备; 智能化运维; 状态监测

DOI: 10.69979/3029-2727.26.05.054

引言

随着能源结构转型升级与电网负荷持续攀升, 输变电设备运行工况日趋复杂, 传统人工巡检、定期检修的运维模式已难以满足企业对电网安全、高效、经济运行的管控需求。智能变电站融合传感、物联网、大数据、人工智能等前沿技术, 构建起全域感知、智能分析、协同管控的运维体系, 为输变电设备运维变革提供了全新路径。企业作为电网运维实施主体, 亟需依托智能变电站技术破解运维效率低、故障响应慢、决策依赖经验等难题, 推动运维模式从被动抢修、定期检修向主动预警、状态检修转型。本文结合企业运维管理实际, 系统探究智能变电站技术在输变电设备运维中的应用价值与实施路径, 为电网企业智能化运维升级提供理论参考与实践指引。

1 智能变电站核心技术与输变电运维适配性分析

1.1 智能变电站核心技术体系构成

智能变电站技术并非单一技术模块, 而是由多层次、多维度技术单元协同构成的完整体系, 核心涵盖感知层、网络层、平台层与应用层四大板块, 各层级技术相互衔接、数据互通, 形成闭环管控链路^[1]。感知层以各类智能传感器、在线监测装置为核心, 实现输变电设备运行参数、环境信息、机械状态的全域采集, 突破传统监测点少、数据滞后的局限; 网络层依托工业以太网、光纤专网、5G 通信技术, 搭建高带宽、低时延、高可靠的数据传输通道, 保障监测数据与控制指令的精准高效交互; 平台层聚焦数据整合与算力支撑, 构建统一数据中

台与算法模型库, 完成多源异构数据的清洗、融合、分析, 消除企业内部数据孤岛; 应用层则对接运维实际需求, 开发状态监测、故障诊断、智能预警、检修决策等功能模块, 直接服务于输变电设备运维全流程。

1.2 技术与输变电设备运维的适配逻辑

企业开展输变电设备运维, 核心目标是保障设备可靠运行、缩短故障处置时长、优化检修资源配置, 智能变电站技术的应用恰好精准对接这三大目标, 形成技术赋能与运维提质的双向适配。从运行保障维度, 智能变电站技术可实现变压器、断路器、GIS 设备、隔离开关等核心输变电设备的全参数、全天候监测, 实时捕捉设备潜在异常, 筑牢电网运行安全防线; 从故障处置维度, 依托智能算法与故障模型, 可快速定位故障点位、研判故障类型、评估故障影响, 替代传统人工排查, 大幅压缩故障响应与处置周期; 从资源优化维度, 通过设备状态精准评估, 可制定差异化检修策略, 避免过度检修与漏检问题, 降低人力、物力、财力投入, 提升企业运维资源利用效率。

2 智能变电站技术在输变电设备运维中的核心应用场景

2.1 输变电设备全域状态监测

状态监测是输变电设备运维的基础环节, 也是智能变电站技术应用的核心场景, 企业通过部署智能监测体系, 可实现设备运行状态的全方位、无死角把控。针对变压器这类核心主设备, 智能变电站技术整合油色谱分析、局部放电监测、绕组温度监测、振动监测等多项技术, 实时采集绝缘油组分、放电信号、温度分布、机械

振动等参数,构建设备多维度健康画像,精准反映变压器绝缘性能、散热性能、机械结构的运行状态。对于断路器、隔离开关等开关类设备,依托电流电压监测、分合闸状态监测、触头温度监测技术,实时跟踪设备动作特性与导电性能,及时发现触头过热、机构卡涩、分合闸异常等隐性缺陷。

相较于传统人工巡检的周期性、局限性,智能状态监测实现了24小时不间断在线管控,数据采集频率与精度大幅提升,能够捕捉设备早期劣化迹象,为企业提前介入处置提供数据支撑^[2]。同时,监测数据同步上传至企业运维平台,实现跨区域、跨站点设备状态集中管控,打破地域限制,提升企业整体监测管控效率。

2.2 设备故障智能诊断与预警

故障诊断与预警是智能变电站技术赋能运维的关键环节,依托大数据分析与人工智能算法,实现从“被动抢修”向“主动预警”的转变,这也是企业提升电网应急处置能力的核心抓手。智能变电站运维平台内置多种故障诊断模型,通过对海量历史运维数据、设备参数、故障案例的深度学习,构建故障特征库与判别规则,可对监测数据进行实时比对分析,快速识别异常数据、定位故障根源。当设备运行参数偏离正常阈值、出现劣化趋势时,平台会自动触发分级预警,按照故障严重程度推送预警信息至运维终端,明确预警设备、异常参数、风险等级与处置建议,避免故障扩大化。

针对复杂故障场景,智能变电站技术可实现多源数据关联分析,突破单一参数诊断的局限性,提升故障诊断准确率。例如结合局部放电信号、油色谱数据、温度数据联合研判变压器绝缘故障,精准区分绝缘受潮、局部过热、放电击穿等不同故障类型,为企业制定针对性处置方案提供可靠依据,大幅减少非计划停运事件的发生。

2.3 智能化运维决策与检修规划

传统运维决策多依赖运维人员经验,易出现检修计划不合理、资源配置失衡等问题,而智能变电站技术依托数据驱动,实现运维决策的科学化、精准化,助力企业优化检修管理体系。企业运维平台基于设备状态评估结果、故障预警信息、历史检修记录,结合电网运行负荷、运维资源分布等因素,自动生成个性化检修方案,明确检修时间、检修内容、人员配置、备品备件需求,实现“一设备一策略”的精准检修。相较于传统定期检修模式,这种状态检修方式可根据设备实际健康状况安排检修任务,既避免无故障设备过度检修造成的资源浪

费,又能确保隐患设备及时处置,保障设备运行可靠性。

2.4 设备全生命周期管理与运维管控优化

输变电设备投资成本高、使用周期长,全生命周期管理是企业控制成本、提升资产利用率的关键,智能变电站技术为这一目标实现提供了技术载体。从设备出厂、安装调试、运行维护到退役报废,智能变电站平台全程记录设备各类参数、运行状态、检修记录、故障信息等数据,构建完整的设备电子档案,实现设备全生命周期轨迹可查、状态可控^[3]。企业可基于档案数据开展设备健康状态趋势分析、剩余使用寿命评估,合理规划设备更新、改造计划,避免设备提前退役或超期服役,最大化发挥设备资产价值。

在运维管控层面,智能变电站技术可实现运维数据的统计分析与可视化展示,企业可通过平台直观掌握各站点设备运行状况、故障发生率、检修完成率、运维成本等核心指标,精准识别运维管理薄弱环节,针对性优化运维制度、调整资源配置。同时,依托远程管控功能,实现部分运维任务的线上处置,减少现场作业频次,降低运维人员工作强度与现场作业风险,提升企业运维管理的整体效能。

3 企业应用智能变电站技术面临的现实挑战

3.1 技术兼容与数据整合难题

当前多数电网企业存在新旧变电站并存、多厂家设备混用的现状,不同厂家设备的通信协议、数据格式存在差异,智能变电站技术与老旧设备、原有运维系统的兼容性不足,导致多源数据难以高效融合,形成数据孤岛。部分老旧输变电设备未配备智能监测接口,加装智能装置需进行大规模改造,投入成本高、施工难度大,制约了全域智能监测的落地。同时,企业内部运维、调度、检修等部门的数据系统相对独立,数据共享机制不完善,智能变电站平台难以整合全维度数据,影响技术赋能效果。

3.2 运维人才队伍能力适配不足

智能变电站技术融合电力、通信、计算机、自动化等多领域知识,对运维人员的综合能力提出更高要求,而企业现有运维人员多具备传统电力运维经验,缺乏智能化技术、数据分析、平台操作等专业能力,难以充分发挥智能变电站技术的核心价值。部分运维人员对智能监测装置、运维平台的操作不熟练,无法精准解读预警信息、开展故障智能诊断,甚至出现误判、漏判问题,导致技术应用效果打折扣。此外,企业针对智能化运维

的专项培训体系不完善, 人才培养速度跟不上技术升级节奏, 复合型运维人才缺口较大^[4]。

3.3 运维管理制度与技术模式不匹配

智能变电站技术推动运维模式发生根本性变革, 但部分企业仍沿用传统运维管理制度, 缺乏针对智能化运维的流程规范、责任分工、考核标准, 导致技术应用与管理体制脱节。例如智能预警处置、状态检修等环节缺乏明确的操作规程, 运维人员处置无章可循; 智能化运维成效考核仍沿用传统指标, 未将预警准确率、检修效率、成本管控等核心指标纳入考核体系, 难以调动人员积极性。同时, 跨部门协同机制不健全, 技术部门、运维部门、检修部门之间沟通不畅, 影响智能运维任务的高效推进。

4 企业优化智能变电站技术应用的实施路径

4.1 推进技术整合与设备智能化改造

企业应统筹规划智能变电站技术应用, 统一通信协议与数据标准, 搭建兼容多厂家设备、多业务系统的一体化运维平台, 打通数据壁垒, 实现全维度数据共享互通。针对老旧设备, 分批开展智能化改造, 优先对核心输变电设备加装智能监测装置, 兼顾改造成本与运维需求; 对于新建变电站, 全程采用标准化智能设备与系统, 实现智能化运维全覆盖^[5]。

4.2 构建复合型运维人才培养体系

聚焦智能化运维需求, 企业需建立分层分类的人才培训机制, 针对管理人员开展数字化运维理念、管控策略培训, 提升统筹决策能力; 针对运维骨干开展智能平台操作、故障诊断、数据分析专项培训, 强化实操技能; 针对一线人员开展基础操作、应急处置培训, 保障运维任务规范执行。

4.3 完善智能化运维管理制度体系

结合智能变电站技术应用特点, 企业需重构运维管理制度, 制定智能监测、预警处置、状态检修、远程管控等全流程操作规程, 明确各岗位责任分工、作业标准, 实现运维流程标准化。优化运维考核指标体系, 将预警准确率、故障处置时效、检修成本管控、设备健康率等核心指标纳入考核, 建立科学的激励约束机制。健全跨部门协同机制, 明确技术、运维、检修等部门的职责边界与协作流程, 形成数据共享、任务联动、责任共担的工作格局, 保障智能运维体系高效运转。

4.4 强化网络安全与系统运维保障

筑牢网络安全防线, 企业需构建纵深防御体系, 部署防火墙、入侵检测、数据加密等安全防护装置, 建立网络安全监测与应急响应机制, 定期开展安全漏洞排查与攻防演练, 防范网络攻击与数据泄露风险。建立智能系统常态化运维机制, 定期对监测装置、运维平台进行检修维护, 及时处理硬件故障、软件漏洞; 持续优化故障诊断、预警算法模型, 结合实际运维数据迭代更新, 提升模型准确性与适用性^[6]。制定系统故障应急处置预案, 明确故障分级、处置流程、备用方案, 确保系统故障时能够快速恢复, 保障输变电设备运维不间断。

5 结论

智能变电站技术作为输变电设备智能化运维的核心支撑, 已成为电网企业提升运维效率、保障电网安全、降低运营成本的必然选择。其在设备状态监测、故障诊断预警、检修决策、全生命周期管理等场景的深度应用, 彻底打破传统运维模式的局限, 实现运维管控的数字化、智能化、精细化。当前企业在技术兼容、人才培养、制度适配、安全保障等方面仍面临诸多挑战, 需通过技术整合、人才培养、制度完善、安全强化等措施, 破解应用瓶颈, 充分释放技术赋能价值。

参考文献

- [1] 张密生. 超高压主网输变电智能变电站安全防护技术研究[J]. 电工技术, 2025, (17): 233-235+238.
- [2] 袁丽坚. 基于输变电技术的智能变电站状态评估应用研究[D]. 昆明理工大学, 2023.
- [3] 刘涛. 基于层次分析法的220kV千佛智能变电站设计研究[D]. 郑州大学, 2022.
- [4] 范朋. 输变电工程智能变电站关键设备调试技术与可靠性分析[D]. 三峡大学, 2018.
- [5] 庄建煌. 基于合作博弈和云模型的智能变电站输变电一次设备状态评估[C]//福建省电机工程学会. 福建省电机工程学会2018年学术年会获奖论文集. 国网福建省电力有限公司莆田供电公司, 2018: 145-149.
- [6] 王淼. 智能电网中的智能输变电技术[J]. 科技创新与应用, 2012, (19): 18.

作者简介: 王德鹏(1990.08-), 男, 汉, 籍贯: 上海市浦东新区, 学历: 本科, 职称: 无, 研究方向: 土建项目管理。