

数字化技术赋能电力设备智慧检修

梅玉彬

中国汽车工程研究院股份有限公司 重庆 北部新区 401122

摘要: 传统电力设备检修多采用定期检修与事后抢修模式,存在检修精度低、运维效率差、资源浪费严重、数据管理碎片化等突出问题,难以适配新型电力系统运维发展需求。本文围绕数字化赋能电力设备智慧检修展开研究,阐述智慧检修核心概念与关键数字化技术,分析行业转型现存各类痛点,从架构搭建、场景落地、体系优化等方面提出实施路径,为电网运维智能化、精细化、高效化发展提供实践参考。

关键词: 数字化技术;赋能电力设备;智慧检修

引言: 当前电网设备日趋规模化、复杂化,电网运行对运维安全、效率与经济性的要求持续提升,依赖人工经验的传统检修模式弊端不断凸显,滞后于现代化电网建设步伐。物联网、大数据、人工智能及数字孪生等数字化技术的成熟应用,为电力检修模式革新提供了全新支撑。本文结合电力检修工作实际,探究数字化技术的赋能逻辑与应用路径,破解传统运维难题,推动电力设备检修向数据驱动的智慧运维模式转型升级。

1 相关概念与核心数字化技术基础

1.1 电力设备智慧检修核心概念

(1) 传统电力设备检修:指针对电网各类电力设备开展的常规运维保障工作,核心模式分为定期检修与故障抢修两类。定期检修遵循固定周期开展设备巡检、保养与维修,标准化程度高但灵活性不足;故障抢修为设备故障发生后的被动维修。整体具备运维模式固化、依赖人工经验、预防性不足、资源浪费较突出的应用特征。(2) 智慧检修内涵:是以数据驱动为核心的新型电力设备检修模式,依托各类数字化技术打破传统运维局限,完整实现设备实时状态感知、潜在故障提前预判、检修方案智能决策、设备运维精准执行的全流程闭环管理,适配现代化电网安全、高效、低成本运维需求^[1]。(3) 智慧检修与传统检修的核心差异:运维理念上,传统以被动维稳为主,智慧检修以主动预判为核心;工作模式上,传统依赖人工实操、固定流程,智慧检修实现人机协同、动态运维;决策方式上,传统依托经验判断,智慧检修基于数据量化分析决策;运维效率上,传统检修冗余作业多、故障滞后处理,智慧检修可降低运维成本、减少设备停运风险。

1.2 赋能电力检修的核心数字化技术

(1) 物联网感知技术:通过智能传感器采集设备温度、振动、负荷等运行参数,结合无线传输技术实现数

据实时上传,依托多模态数据采集技术整合多维信息,为设备状态监测提供基础数据支撑。(2) 大数据与云计算技术:负责海量电力运维数据的存储、清洗、筛选与分析,依托云端平台实现数据共享与算力支撑,解决传统数据零散、处理低效的问题,为运维研判提供数据底座。(3) 人工智能技术:借助机器学习、深度学习算法挖掘数据规律,通过故障识别模型精准定位设备隐患,实现故障智能诊断与运行风险动态预警,提升检修预判的专业性与准确性。(4) 数字孪生技术:构建电力设备高精度数字模型,实现物理设备与虚拟模型虚实联动、实时映射,完成设备全生命周期运行状态仿真推演,支撑精准运维调控。

1.3 数字化赋能智慧检修的运行逻辑

(1) 数据采集层:依托物联网设备全域、实时采集电力设备运行参数、周边环境、设备损耗、负荷变化等多维度数据,构建完整的运维数据资源体系。(2) 数据分析层:整合大数据、人工智能等数字化技术,深度挖掘采集数据的潜在价值,精准研判设备运行状态、识别异常隐患,完成数据向运维信息的转化。(3) 决策执行层:基于数据分析结果生成最优智能检修方案,联动自动化运维设备与智能管控系统,完成检修作业的自动化落地,实现数据驱动的闭环智慧运维。

2 传统电力设备检修现状及数字化转型痛点

2.1 传统电力设备检修工作现状

(1) 主流检修模式:当前电力设备检修仍以定期预防性检修和事后故障抢修两大模式为主。定期预防性检修按照行业统一固定周期开展设备巡检、保养、部件更换等工作,适用于电网常规设备常态化运维,流程标准化、通用性强。事后故障抢修属于被动式运维模式,仅在设备出现故障、跳闸、停运等问题后开展抢修作业,多用于突发故障场景,保障电网快速恢复运行,是传统

运维体系的核心兜底方式。(2) 现有运维体系: 现阶段电力运维整体依托人力巡检为主、经验决策为辅的管理模式开展工作。日常设备状态排查、现场工况核查、隐患筛查等工作大多依赖运维人员线下实地操作, 设备状态判断、检修方案制定、隐患等级界定, 主要依靠工作人员长期积累的从业经验, 尚未形成标准化、数据化的运维管理体系。(3) 常规设备检修场景: 电网核心设备均采用固化传统检修方式。变压器以定期停电检测、绝缘测试、部件保养为主; 开关柜依靠人工巡检外观、接线状态及温湿度情况, 定期开展紧固、除尘作业; 输电线路以人工徒步巡检、无人机辅助巡查为核心, 按周期排查线路老化、破损、外力破坏等问题, 整体检修方式固化且传统。

2.2 传统电力设备检修存在的核心问题

(1) 检修精度不足: 传统检修高度依赖人工经验与肉眼观测, 主观性较强, 标准化程度偏低。人工巡检易受环境、状态、技术水平影响, 频繁出现漏检、误检问题, 设备隐性、轻微潜在故障难以被及时识别, 无法提前排查设备运行隐患, 增加电网故障突发风险。(2) 运维效率偏低: 传统检修流程繁琐, 从巡检排查、问题记录、人工研判到检修执行需耗费大量人力物力。人工巡检覆盖范围有限、耗时较长, 一旦设备发生突发故障, 故障定位、原因分析、抢修部署响应滞后, 整体运维处置效率难以适配现代化电网高效运行需求。(3) 资源浪费严重: 定期检修模式缺乏针对性, 未结合设备实际运行状态调整运维方案。大量运行状态良好的设备仍需按固定周期开展检修作业, 普遍存在过度检修、无效检修现象, 不仅浪费人力、物力、财力资源, 还会增加设备启停损耗, 导致整体运维成本居高不下^[2]。(4) 数据管理缺失: 传统运维工作以线下人工记录为主, 设备运行数据、检修数据、故障数据零散分布, 数据碎片化问题突出。各站点、各设备数据无法互通共享, 形成大量数据孤岛, 无法整合分析设备运行规律, 难以支撑运维方案优化与长效运维体系建设。

2.3 数字化技术赋能检修的现存痛点

(1) 技术适配痛点: 电网中存在大量投运年限久、型号老旧的电力设备, 设备硬件老旧、接口不统一, 缺乏数字化监测基础条件。此类设备数字化改造兼容性差、改造难度大、改造成本高, 难以适配物联网、人工智能等数字化技术, 整体技术适配性严重不足。(2) 体系建设痛点: 目前电力数字化检修尚处于过渡阶段, 完整的数字化运维体系尚未建成。数字化设备部署、技术应用、运维流程衔接不够顺畅, 技术、设备、人员之间协同机

制不健全, 各环节联动性弱, 导致数字化技术难以充分发挥赋能作用。(3) 人才与管理痛点: 行业内兼具电力运维专业知识与数字化技术能力的复合型人才缺口较大, 现有运维人员数字化操作、数据分析能力不足。同时, 传统运维管理制度适配人工检修模式, 与智慧数字化检修的工作流程、管理需求不匹配, 制约数字化检修落地推进。

3 数字化技术赋能电力设备智慧检修的实施路径与体系构建

3.1 数字化智慧检修总体架构设计

(1) 感知层架构: 感知层作为智慧检修的数据基础层, 主要依托智能传感器、高清采集终端、无线传输设备搭建全域立体化智能感知网络。针对变压器、输电线路、开关柜等核心电力设备, 全方位采集设备运行温度、振动频率、电气参数、环境温湿度等多维状态数据, 填补传统人工巡检的数据盲区, 实现设备运行状态全天候、无死角精准采集, 为后续数据分析与智能决策提供原始数据支撑。(2) 平台层架构: 平台层采用云端一体化架构, 搭建集约化智慧检修管理平台, 整合数据存储、智能清洗、数据分析、资源调度、信息共享等核心功能。依托云计算技术解决海量运维数据存储算力不足的问题, 统一规范数据标准, 打通各设备、各站点的数据壁垒, 实现运维数据集中管理、实时共享与高效处理, 为上层智能应用提供稳定、可靠的平台支撑。(3) 应用层架构: 应用层是数字化技术落地的核心载体, 聚焦电力检修实际业务场景, 搭建多元化智能应用模块。全面覆盖设备故障智能诊断、运行风险实时预警、检修任务智能派单、设备全生命周期管理、运维数据复盘分析等核心场景, 实现检修业务数字化、智能化闭环落地, 贴合电网运维实际工作需求^[3]。

3.2 核心场景数字化赋能实施路径

(1) 设备状态智能监测: 基于物联网感知技术, 在各类电力设备上部署适配的智能采集终端, 替代传统人工定时巡检模式。实时动态采集设备温度、振动、电流、电压、负荷等关键电气与物理参数, 全天候监测设备运行工况, 同步完成数据实时上传, 精准捕捉设备细微状态变化, 及时发现设备异常波动, 实现设备状态可视化、动态化管控。(2) 故障智能诊断与预警: 依托人工智能算法, 整合海量设备历史故障数据与实时运行数据, 构建高精度故障识别与诊断模型。通过模型自主学习设备故障特征规律, 对设备异常数据进行智能研判, 可快速精准定位故障点位、判断故障类型与故障等级, 提前预判潜在隐患, 改变传统故障事后处置模式, 实现故障早

发现、早预警、早处置。(3) 预测性检修优化: 利用大数据技术深度挖掘设备长期运行数据、损耗数据、检修台账数据, 总结设备老化规律与故障发生周期。摒弃传统固定周期的被动检修模式, 根据设备实际运行状态动态调整检修计划, 精准判定最优检修时间, 开展针对性预测性检修, 有效规避过度检修与漏检问题, 提升检修工作的科学性与精准度^[4]。(4) 数字孪生全生命周期运维: 基于实体电力设备参数构建高精度、动态化数字孪生模型, 实现虚实设备实时数据联动、状态同步映射。依托仿真技术模拟设备不同工况下的运行状态、老化过程与故障演变趋势, 结合仿真结果优化检修方案, 持续迭代运维策略, 实现设备设计、运行、检修、报废全生命周期数字化管控。

3.3 智慧检修管理体系优化策略

(1) 流程数字化优化: 针对传统检修流程繁琐、环节冗余、效率低下的问题, 对检修全流程进行数字化重构。搭建线上线下一体化管理流程, 实现检修申请、审批、调度、作业、验收、复盘全流程线上化流转, 简化冗余环节, 缩短审批与作业周期, 实现检修流程标准化、透明化、高效化管理。(2) 资源智能化调度: 依托数字化平台整合运维人力、检修物资、作业设备等各类资源数据, 结合设备故障等级、检修任务优先级、区域运维负荷进行数据化研判。智能匹配运维人员与物资资源, 动态调配检修力量, 避免资源闲置与浪费, 解决传统调度盲目、滞后的问题, 大幅提升整体运维调度效率。(3) 安全数字化管控: 构建全流程数字化安全管控体系, 对检修作业全过程进行实时监控、数据记录与轨迹溯源。依托平台实时识别违规作业、高危操作与运行风险, 及时发出安全预警, 规范检修作业流程, 有效规避人工操作失误、现场安全隐患等问题, 筑牢电力检修运维的安全防线^[5]。

3.4 技术融合落地保障方案

(1) 设备改造保障: 针对电网老旧设备适配性差的问题, 推行差异化数字化升级改造方案, 对老旧设备加装标准化感知终端与数据接口, 完成智能化升级。同时规

范新增智能设备技术标准, 统一数据传输与对接协议, 实现新旧设备兼容适配, 保障数字化技术全域落地应用。(2) 数据安全保障: 搭建全方位电力运维数据安全防护体系, 建立数据分级管理、加密传输、权限管控机制。针对数据采集、存储、传输、分析全流程设置安全防护策略, 有效防范数据泄露、数据篡改、数据失真等安全问题, 保障电力运维数据的安全性、完整性与真实性。(3) 人才建设保障: 构建系统化数字化运维人才培养体系, 针对在岗人员开展物联网、大数据、人工智能、数字孪生等新技术专项培训, 补齐数字化能力短板。同时建立配套的考核与激励机制, 鼓励人员转型升级, 打造兼具传统检修经验与数字化技术能力的复合型运维人才队伍, 为智慧检修落地提供人才支撑。

结束语

本文结合电力设备传统检修现状, 系统梳理数字化技术赋能智慧检修的核心逻辑与转型痛点, 构建了覆盖感知、平台、应用的总体架构, 提出场景化赋能路径与体系优化、落地保障策略。数字化转型能够有效弥补传统检修短板, 实现设备状态预判、精准检修与高效管控。后续需持续深化技术融合、完善运维体系、培育复合型人才, 全面推进电力检修智慧化升级, 保障电网安全稳定高质量运行。

参考文献

- [1] 余烈均. 智能技术在电力设备运维检修中的应用[J]. 电子技术, 2024, 53(11): 230-231.
- [2] 徐欧珺, 吕佳芮. 人工智能技术在配电网电力设备运维检修中的应用[J]. 中国机械, 2024(29): 48-51.
- [3] 张冀, 马也, 张荣华, 等. 数字孪生变电站框架设计与关键技术研究[J]. 工程科学与技术, 2023, 55(6): 15-30.
- [4] 赵小宁, 谢正青, 刘华健, 等. 电力生产中智能运维检修技术应用策略[J]. 科海故事博览, 2025(30): 12-14.
- [5] 刘晓明, 陈志刚. 物联网技术在电力设备状态监测中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(12): 157-164.