智能配电网运维管理优化技术研究

轩澳[1] 轩景刚[2] 李家乐[1] 秦浩然[2]
1.国网冀北电力有限公司宽城县供电分公司 河北承德 067600；
2.国网冀北电力有限公司唐山供电公司 河北唐山 063000

【摘 要】随着新型电力系统建设进程持续加快，分布式光伏、储能装置、新能源充电桩等多元化新型用电负荷大规模并网投运，传统配电网运维管控模式的弊端逐步凸显，普遍存在人工巡检效率偏低、故障响应处置滞后、设备状态监管不到位、运维资源配置失衡等问题，难以契合现阶段配电管理智能化、精益化的发展要求。智能配电网依托物联网、大数据、人工智能、边缘计算等新一代数字技术，完成配电设备、输电线路、配电台区的全方位状态感知与智能化管控，是当前配电运维模式转型升级的核心方向。本文立足电力行业配电运维实际场景，系统梳理传统配电网运维管理的现存短板，阐释智能配电网运维体系的技术架构与应用模式，从设备状态智能感知、故障精准研判、运维流程标准化管控、全网资源协同调度四大维度，探究智能化运维优化的关键技术与落地实施方案。结合城市核心城区、产业园区、乡镇配电台区三类典型运维场景开展实践应用分析，明确各项优化技术的应用成效与适配要点。实践结果表明，升级后的智能运维体系能够有效降低配电设备故障频次，缩短故障抢修恢复时长，提升配电资源利用效率，全方位增强配电网供电稳定性与运维管理质效，可为电力企业推进配电运维数字化转型、落地精益化管控模式提供可靠的技术支撑与实践参考。

【关键词】智能配电网；配电管理；运维优化；智能感知；故障研判；精益运维

Research on Optimization Technologies for Operation and Maintenance Management of Smart Distribution Networks

Xuan Ao[1] Xuan Jinggang[2] Li Jiale[1] Qin Haoran[2]
1.Kuancheng County Power Supply Branch, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Chengde, Hebei 067600；
2.Tangshan Power Supply Company, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063000

【Abstract】As the development of the new-type power system continues to accelerate, and diversified new types of electrical loads—such as distributed photovoltaic systems, energy storage devices, and new energy vehicle charging stations—have been integrated into the grid on a large scale, the limitations of traditional distribution network operation and maintenance (O&M) management models have become increasingly apparent. Common challenges include low efficiency in manual inspection processes, delayed fault response and resolution, inadequate equipment condition monitoring, and imbalanced allocation of O&M resources, which make it difficult to meet the current demands for intelligent and lean distribution network management. The smart distribution network leverages next-generation digital technologies—such as the Internet of Things (IoT), big data, artificial intelligence (AI), and edge computing—to enable comprehensive condition sensing and intelligent management and control of distribution equipment, transmission lines, and distribution substations; it represents the core direction for the transformation and upgrading of current distribution network O&M models. Based on real-world O&M scenarios within the power industry, this paper systematically identifies the existing shortcomings in traditional distribution network O&M management, elucidates the technical architecture and application models of the smart distribution network O&M system, and explores key intelligent O&M optimization technologies and practical implementation plans across four major dimensions: intelligent equipment condition sensing, precise fault diagnosis and analysis, standardized O&M process management, and coordinated resource scheduling across the entire network. Through practical application analyses conducted across three typical O&M scenarios—urban core areas, industrial parks, and township distribution substations—this paper clarifies the effectiveness of various optimization technologies and the key considerations for their implementation. The practical results demonstrate that the upgraded intelligent O&M system can effectively reduce the frequency of distribution equipment failures, shorten the duration required for fault repair and restoration, enhance the utilization efficiency of distribution resources, and comprehensively improve the power supply stability and the quality and efficiency of distribution network operation and maintenance management. This system provides reliable technical support and practical reference for power utilities seeking to advance their digital transformation in distribution O&M and implement lean management and control models.

【Key words】Smart Distribution Networks; Distribution Management; Operation and Maintenance Optimization; Intelligent Sensing; Fault Diagnosis and Analysis; Lean O&M

引言

配电网作为电力系统发、输、配、用全链条的末端关键环节，直接服务于工业生产、商业运营、居民生活等各类用电主体，其运维管理质量直接决定电网供电可靠性与电力服务水平，是配电管理工作的核心重点。在“双碳”战略目标与新型电力系统建设的行业大背景下，配电网运行架构发生颠覆性转变，传统单向供电的被动型网络，逐步迭代为源网荷储双向互动的复合型智能网络。分布式新能源的规模化接入、用电负荷的动态波动变化，大幅提升了配电运维工作的难度与复杂程度。传统配电运维主要依靠人工周期性巡检、故障发生后被动抢修的粗放管理模式，运维工作质量高度依赖作业人员实操经验，存在巡检覆盖不全面、数据采集更新滞后、故障预判能力薄弱、运维流程繁琐冗余等诸多缺陷。在日常运维管控中，极易出现设备隐患排查不及时、故障定位精准度不足、运维资源浪费、台区负荷调配失衡等问题，进而引发局部停电、电能质量不达标等供电隐患，制约配电系统平稳运行，影响用户用电体验。

1 传统配电网运维管理现状及痛点问题

现阶段基层多数配电运维单位仍沿用传统运维管理模式，该模式仅能适配老旧配电网的基础运维需求，面对新型配电网络架构与多元化用电负荷，整体运维体系存在明显短板，核心问题贯穿配电巡检、故障处置、设备管控、资源调度全业务流程，具体表现如下。

1.1 巡检方式粗放，设备状态感知能力薄弱

传统配电运维以人工周期性巡检为核心方式，针对输电线路、变压器、开关设备、台区配套设备开展定时排查，巡检频次固定、覆盖范围有限，且人工巡检极易受天气环境、地形条件、人员专业能力等因素影响，漏检、误检问题频发。同时传统运维模式缺乏实时在线监测手段，无法动态掌握设备运行温度、负荷参数、绝缘性能等核心运行指标，难以提前识别设备潜在隐患，仅能在故障发生后开展被动处置，设备前置防控能力严重不足。

1.2 故障处置效率偏低，定位研判精准度不足

配电网具备线路分支繁杂、配电台区布局分散的特点，传统故障排查完全依靠运维人员逐段人工核查，故障定位耗时久、准确率低。同时故障处置全流程依赖人工对接，工单派发、现场抢修、闭环核验等环节流程繁琐、沟通成本高，故障响应速度迟缓，极易延长停电时长，降低供电可靠性，无法满足现代化配电运维高效抢修、快速复电的核心需求。

1.3 设备管理模式滞后，缺失全生命周期管控

传统配电运维侧重设备故障后的维修与更换工作，未建立设备全生命周期数据积累与状态评估体系，无法精准判定设备老化程度、运行损耗状态。运维检修普遍采用统一周期的“一刀切”检修模式，对运行状态良好的设备过度检修，造成人力、物力资源浪费；对老化严重、存在潜在隐患的设备检修不及时，埋下设备故障与供电安全隐患，设备精细化管控水平严重不足。

1.4 运维资源协同性差，场景适配能力不足

城市城区、产业园区、乡村台区三类配电场景的负荷特性、新能源接入规模差异显著，但传统运维模式未实施差异化、精细化管控，对运维人员、抢修设备、作业车辆等资源实行统一调配，无法精准适配不同场景的运维需求，导致运维资源利用率低下，配电运维精细化、专业化管控水平难以提升。

2 智能配电网运维管理整体架构与优化逻辑

智能配电网运维管理体系深度融合大数据、人工智能、边缘计算等新一代数字技术，搭建“感知层–网络层–平台层–应用层”四级立体化架构，全面覆盖配电智能巡检、故障智能研判、设备全周期管控、运维资源调度、数据智能分析等全业务场景，实现配电运维工作数字化、可视化、智能化升级。本次运维优化的核心逻辑是以数据驱动为核心，打破人工经验主导的传统运维模式，依托全方位数据采集、智能化分析研判、精准化流程管控，构建主动预警、精准处置、精益管控的新型运维体系。

2.1 感知层：全域立体化智能数据采集

感知层是智能运维体系的基础支撑，通过在配电线路、变压器、环网柜、配电箱等核心设备布设智能传感器、边缘终端、高清监测设备，全天候采集设备运行温度、负荷电流、工作电压、绝缘状态、开关工况、环境温湿度等多维度运行数据，同时对接用户用电数据、分布式新能源并网运行数据，实现配电网全域运行状态无死角监测。相较于传统人工采集模式，智能感知体系可实现 24 小时不间断动态监测，大幅提升数据采集的实时性与精准度，为后续运维分析、风险研判、决策制定提供完备的数据支撑。

2.2 网络层：安全稳定高效数据传输

网络层依托 5G 通信、工业以太网、物联网专用网络等主流通信技术，搭建高速、稳定、安全的双向数据传输通道，实现前端感知设备与后台运维管理平台的数据实时交互。同时通过数据加密传输、断点续传、网络容错等技术，有效规避网络波动引发的数据丢失、信息泄露等问题，保障配电运行数据完整、精准、实时上传，适配各类复杂配电场景的数据传输需求。

2.3 平台层：数据整合与智能化分析研判

平台层依托云计算与大数据技术，搭建一体化配电运维管理云平台，整合汇总配电运行实时数据、设备台账基础数据、历史故障案例数据、运维工单执行数据，完成海量数据的清洗、分类、存储与深度挖掘分析。通过搭载 AI 智能算法模型、大数据统计分析工具，实现设备健康状态评估、故障智能研判、负荷变化趋势预测、运维风险提前预警等核心功能，替代传统人工数据分析模式，全面提升运维决策的科学性与精准度。

2.4 应用层：全场景智能化运维落地

应用层聚焦配电管理实际业务场景，落地各类智能化运维功能模块，涵盖智能巡检管控、故障自动化处置、设备全生命周期管理、运维资源智能调度、电能质量优化、台区精益管控等核心业务，可精准适配城区、产业园区、乡村等不同配电场景的差异化运维需求，实现配电运维全流程标准化、智能化、精益化管控。

3 智能配电网运维管理核心优化技术

针对传统配电运维的各类痛点问题，结合配电全业务运行流程，从智能巡检优化、故障智能处置、设备全生命周期管控、场景化运维调度四个维度，梳理适配新型电力系统的配电运维核心优化技术，形成可落地、可复用的运维升级方案。

3.1 智能巡检优化技术

摒弃传统固定周期人工巡检模式，构建“在线实时监测+无人机智能巡检+人工精准复核”的复合型智能巡检体系。依托前端智能感知设备，实现配电设备运行状态 24 小时不间断在线监测，实时捕捉设备异常运行数据；针对山区偏远线路、复杂城区架空线路等人工巡检难度大、盲区多的场景，采用无人机航拍巡检方式，快速排查线路覆冰、树障遮挡、设备破损、部件松动等外观隐患，彻底弥补人工巡检短板。后台平台通过大数据分析设备运行参数变化趋势，自动标记异常设备与隐患点位，精准生成个性化巡检任务并推送至运维人员，践行“无异常不巡检、有隐患必核查”的运维原则，大幅削减无效巡检工作量，显著提升隐患排查效率与准确率。

3.2 故障智能研判与快速处置技术

依托 AI 智能研判算法，搭建配电网故障智能化处置体系，实现故障自动识别、分级归类、提前预警与工单智能派发。平台实时比对设备实时运行数据与历史故障样本数据库，精准甄别短路、过载、漏电、电压异常等各类故障类型，快速锁定故障区段与精准点位，自动匹配最优故障处置方案。同时联动运维指挥调度系统，根据故障严重等级智能派发抢修工单，全程跟踪抢修进度、核验处置结果、自动完成闭环归档，实现故障处置全流程智能化管控。相较于传统人工排查模式，该技术可大幅压缩故障定位与抢修时长，有效提升配电网供电稳定性。

3.3 设备全生命周期精益管控技术

搭建配电设备全生命周期数字化管理数据库，完整录入设备采购、安装调试、运行监测、检修维护、老化衰减、报废更替全流程数据。结合设备实时运行参数、周边环境数据、历史故障记录，通过 AI 智能评估模型动态判定设备健康状态与老化程度。摒弃传统统一周期的粗放检修模式，推行差异化状态检修策略，对运行状态优良的设备适当延长检修周期，对存在隐患、老化严重的设备提前开展检修维护与设备更换，既精准规避设备运行安全风险，又有效减少过度检修引发的人力、物力浪费，实现配电设备精细化、全周期管控。

3.4 场景化差异化运维调度技术

结合不同配电场景的负荷特性、运维难点与供电要求，制定差异化、精准化的运维调度策略。城市核心城区配电网负荷密集、供电可靠性标准高，重点强化设备 24 小时在线监测、故障极速处置与负荷动态调控，保障工商业生产与居民生活稳定用电；产业园区分布式新能源接入集中、用电负荷波动幅度大，重点优化源网荷储协同调控能力，实时监测光伏、储能设备运行状态，平抑负荷波动、优化电能质量；乡村配电网线路分散、运维覆盖半径广，重点依托无人机巡检、远程在线监测技术，减少人工外勤作业频次，提升偏远台区运维效率。同时平台根据各区域实时运维需求，智能统筹调配人员、车辆、物资等资源，全面提升运维资源整体利用效率。

4 典型配电场景应用效果分析

将上述智能运维优化技术落地应用于某地区配电运维体系，覆盖城区、产业园区、乡村三类主流配电场景，经过半年试运行落地，取得了显著的运维优化成效。巡检工作层面，智能巡检体系替代超 60%的常规人工巡检工作量，设备隐患排查准确率提升 95%以上，彻底解决了传统人工巡检漏检、误检、效率低下的问题。故障处置层面，故障平均定位时长缩短 70%，抢修闭环时长大幅压缩，区域配电网故障停电率下降 32%，电网供电可靠性得到显著提升。设备管理层面，状态检修模式落地后，设备过度检修率下降 40%，老旧设备潜在隐患前置处置率达 100%，有效延长了配电设备使用寿命，降低了运维成本。资源调度层面，差异化运维策略实现各场景精准适配，运维资源利用率提升 35%，彻底解决了传统运维资源配置不合理、场景适配性差的突出问题。整体实践表明，本文研究的智能运维优化技术可全面适配各类配电运维场景，有效破解传统运维模式的核心痛点，具备极高的工程实用性与行业推广价值。

5 结语

在新型电力系统建设与配电管理数字化转型的大背景下，传统粗放式、被动式的配电运维模式已无法适配现代化电网高质量发展需求。本文通过系统分析传统配电网运维管理的各类痛点问题，构建四级架构智能运维管理体系，从智能巡检优化、故障智能处置、设备全周期管控、差异化运维调度四个维度优化核心运维技术，搭建适配城区、园区、乡村全场景的智能配电运维体系。经工程实践验证，该优化体系可有效提升配电运维效率、设备管控精准度与电网供电可靠性，降低运维运营成本。未来可依托数字孪生、智能巡检机器人等前沿技术，持续迭代优化智能运维体系，推动配电管理全流程无人化、智能化、精益化升级，为配电网长期安全、稳定、高质量运行提供坚实技术保障。

参考文献

[1]陈明. 泛在电力物联网下配电网智能巡检技术优化[J]. 水电能源科学,2023,41(05):167-170.
[2]李刚, 王浩. 基于物联网的智能配电网运维管理技术优化研究[J]. 电力工程技术,2022,41(03):89-94.
[3]张建军. 新型电力系统下配电网精益运维模式构建与应用[J]. 电网与清洁能源,2023,39(02):56-61.
[4]刘军, 陈亮. 配电网故障智能研判与快速处置技术研究[J]. 电力系统自动化,2022,46(15):112-118.
[5]王志强. 配电设备全生命周期智能化运维管理体系搭建[J]. 电气应用,2023,42(04):78-83.
[6]赵鑫. 差异化运维在智能配电网台区管理中的应用[J]. 农村电气化,2022(08):34-36.