

电力光纤通信网络的智能运维体系构建与实践探索

王松瑞 杨 洋 常宛露

国网河南省电力公司郑州供电公司, 河南 郑州 450000

[摘要]电力系统朝着数字化、智能化方向发展,电力光纤通信网络作为基础信息支撑平台,其运行安全与效率直接影响电网智能化水平。传统运维方式存在设备复杂性高、故障定位难、数据响应慢等问题,构建高效、精准的智能运维体系十分紧迫。文中以电力光纤通信网络为中心,探讨智能运维体系的架构设计、关键技术支撑和平台实现路径,提出一种融合大数据分析、AI辅助诊断、远程可视化运维的新型运维模式,经工程实践验证该模式可行且高效,为后续电力通信网运维升级提供参考。

[关键词]电力通信网络; 光纤运维; 智能管理; 远程监控; 故障诊断

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17639

中图分类号: TN929

文献标识码: A

Construction and Practical Exploration on Intelligent Operation and Maintenance System for Power Fiber Optic Communication Network

WANG Songrui, YANG Yang, CHANG Wanlu

Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He'nan Electric Power Company, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: The power system is developing towards digitization and intelligence, and the power fiber optic communication network, as the basic information support platform, directly affects the level of grid intelligence in terms of operational safety and efficiency. The traditional operation and maintenance methods have problems such as high equipment complexity, difficult fault location, and slow data response. It is urgent to build an efficient and accurate intelligent operation and maintenance system. The article focuses on the architecture design, key technical support, and platform implementation path of the intelligent operation and maintenance system, with the power fiber optic communication network as the center. It proposes a new operation and maintenance mode that integrates big data analysis, AI assisted diagnosis, and remote visual operation and maintenance. The feasibility and efficiency of this mode have been verified through engineering practice, providing reference for the subsequent upgrade of power communication network operation and maintenance.

Keywords: power communication network; fiber optic operation and maintenance; intelligent management; remote monitoring; fault diagnosis

引言

电力光纤通信网络是电网调度、控制与信息传输的核心保障通道,由于系统规模持续扩大,传统靠人工巡检和被动响应的方式难以达到现代电网对安全性、实时性、智能化的高标准要求,构建智能化运维体系是提升运维效率与管理水平的关键,本文从光纤通信网络运维现状入手分析问题,提出基于智能技术构建全流程运维体系的方案以推动通信网运维模式朝着高效、智能、精细化转型。

1 智能运维体系架构设计

1.1 整体系统架构构成

电力光纤通信网络智能运维体系的建设得秉持“分层分布、集中管理、协同响应”的设计原则才能适应现代电网智能化运维需求的与日俱增,这一体系整体被划分为感知层、网络层、平台层和应用层四大核心部分,各类智能监测终端主要被部署在感知层,像光功率监测模块、OTDR测试设备、环境感知传感器、智能分光器之类的,它们能实时采集链路运行状态、电压电流参数、节点温湿度信息以及潜在传输异常,光纤通信主干通道被网络层所依托且以5G和工业以太网等多种接入方式作辅助可实现

高速、低时延、高可靠性的数据传输给上层平台稳定的数据通道支撑,数据融合处理模块、AI智能诊断系统、边缘计算节点与故障预测引擎等功能被部署在平台层从而能实现数据的深度分析和闭环管理,多终端统一可视化运维界面由应用层提供且支持Web浏览器、移动端App和指挥中心大屏等形式能满足管理层、运维人员与调度端不同角色的需求,统一数据管理中心与安全控制模块被集成在系统架构中构建起数据可追溯、权限可控、运行可预警的全生命周期保障机制。这一架构有着高度的模块化、很强的兼容性以及可扩展性,能够适应多区域、多场景、多业务融合的电力通信运维环境。

1.2 功能模块设置

在功能设计方面,智能运维体系秉持着“统一平台、分布感知、协同处置”的理念构建起一个高效协同且由智能驱动的全流程管理体系。系统有分别承担通信网络运行中关键环节任务的监测告警模块、资源管理模块、故障诊断模块、运维工单模块以及数据分析模块这五大核心功能单元。监测告警模块部署多种传感器与智能监测设备实时采集链路光功率、设备运行状态、环境参数等信息,再结合AI算法进行异

常行为分析从而及时触发多级预警与应急联动。资源管理模块对光缆资源、通信设备、站点节点等进行数字化建模与统一管理构建动态更新的资源台账系统并支持拓扑图展示与设备生命周期管理。故障诊断模块依托数据融合、智能识别与故障推理模型实现快速故障定位与智能处置建议生成。诊断模块和运维工单模块无缝联动自动创建维护任务并实现智能化调度与任务闭环跟踪。数据分析模块基于大数据技术深度挖掘历史运维数据生成趋势图表、故障预测模型和绩效分析报告从而提供决策层科学支撑。这些模块间信息互联且逻辑闭环从而构成一个智能高效可持续的运维生态体系。

1.3 数据采集与集成机制

智能运维体系闭环管理的基础环节在于构建高效且稳定的数据采集与集成机制,要全面知晓电力光纤通信网络的运行状况,系统需在各类关键节点部署各类智能传感设备,如光功率检测器、光纤断点探测终端、环境温湿度监测仪、机柜开合状态传感器、电源监测模块等设备以达成链路健康、设备运行、环境安全等多维度信息的实时采集,这些支持 SNMP、MQTT、IEC61850 等统一通信协议的终端设备可接入主平台,保证不同厂商、不同型号设备间良好的兼容性与互操作性,数据传输时采集终端有断点续传、临时缓存、异常补发这些容灾机制使数据在网络波动或者传输中断时仍然完整有效,数据到集成层后系统设有高性能的数据接入网关和预处理引擎,原始数据经去噪、格式校验、结构化转换,还按时间戳、来源、设备类型等维度标识和归档,为后续数据调用和挖掘精准支撑,并且建设统一的数据中台,使采集数据在各运维子系统间共享和联通,打通信息孤岛,为 AI 智能分析模块、故障预警模型和运维可视化平台提供清晰、及时、统一的数据基础,构建稳定、高效、可扩展的数据支撑体系。

2 关键技术支撑手段

2.1 AI 智能诊断技术

对于电力光纤通信网络的自主运维而言, AI 智能诊断技术是核心,主要靠构建以机器学习和深度学习为基础的智能识别模型,该技术能实时评估光纤链路、通信设备的运行状态并对异常进行预警。采集大量历史运行数据后,系统利用支持向量机(SVM)、卷积神经网络(CNN)等算法训练分类模型,可自动识别常见故障类型如断纤、衰减、信号干扰、模块老化等,结合光纤链路拓扑结构信息和设备状态数据构建图神经网络(GNN)以推理可能的故障节点和传播路径来精准定位,引入像 LSTM 这样的时间序列预测算法后,系统能提前预警异常波动趋势以避免突发故障。AI 技术的引入提升了诊断准确性和响应速度、大幅减少人工干预、降低运维人员的负担,这对推动智能化运维体系从“人管设备”向“设备自诊断”转变很重要。

2.2 大数据运维分析技术

海量通信运维数据经大数据运维分析技术挖掘处理后构建多维度分析体系,为故障预判、运维优化提供科学

依据。在多源异构数据融合机制下,系统先将不同设备和系统的数据统一汇聚并转换格式以形成结构化数据池。光功率变化、链路通断记录、维护行为日志、气候环境信息等借助数据仓库与数据湖技术进行存储管理,数据分析层利用聚类分析、异常检测、关联规则挖掘等技术识别运维过程中的关键异常模式和高风险点,将历史故障记录和环境参数关联起来以识别高温或高湿对光模块的影响规律,分析运维行为和故障演化关系来优化巡检策略和任务调度流程。系统还支持动态运维指标看板建设,实时展示光纤利用率、平均修复时间、风险热点区域分布等关键指标,为管理者精细化决策提供支撑。

2.3 边缘计算与远程控制

在电力通信网络智能运维里,边缘计算技术起着桥梁般的作用,解决了传统架构里“云端处理压力大、响应时延长、实时性不够”的难题。在通信站房、变电站等关键节点部署边缘计算设备能让本地数据得到初步处理、判断故障、下发指令,从而大大降低通信时延与带宽负荷。边缘节点可独立完成光功率实时监测、异常波动分析、温度突变预警等操作,在预设规则被触发后启动应急措施,如自动切换备份链路、关闭异常端口、发送警报信息。边缘计算平台靠轻量级控制协议和中心平台保持同步,保障数据完整一致。远程控制时构建集中运维控制中心,安全 VPN 通道可使边缘设备、现场仪表和智能终端被远程配置、调试与升级,再结合北向接口标准化设计,让平台兼容各类现有通信设备,实现全网运维一体化管理。

3 智能运维平台实现路径

3.1 平台搭建关键步骤

实现各类运维功能集成和流程统一的基础工程是搭建智能运维平台,其有五个关键步骤:需求分析、系统设计、平台开发、功能集成与上线部署。需求分析阶段要全面调研电力光纤通信网络现状、运维流程、故障特征、管理制度以明确系统功能需求、性能指标与部署范围,接着在系统设计阶段构建包含用户层、业务层、数据层与设备层的分层架构并明确各模块交互逻辑与技术边界。平台开发阶段采用微服务架构和模块化插件设计理念以便平台具有良好的扩展性和可维护性且能灵活支持后期功能迭代,功能集成阶段需与现有通信网管理系统、资产系统、告警平台及数据采集系统对接才能互通业务信息,完成多环境部署与功能测试后平台即可上线,平台支持“中心+边缘”混合部署形式并引入 DevOps 工具链以保障平台持续集成与高效运维从而全面提升电力通信网络运维数字化水平。

3.2 运维流程再造与自动化

智能化平台运行有需求,原有运维流程就得系统性再造和优化形成自动化流程链条,其主线是“主动预警-智能诊断-任务分派-闭环管理”,设备自诊断与 AI 分析模块能让系统自动感知链路异常、生成故障事件,无需再像以前那样人工值守,故障事件经智能工单系统会自动生成对

应任务,按设备类型、故障等级、地理位置等信息智能分派从而使任务流转高效又精准,运维人员用移动终端接收工单可远程诊断或者现场处理且任务完成后系统自动收集数据、更新设备状态,整个流程在平台里全过程记录、可视化监控以便于评估运维质量、积累经验,平台还能自动统计像平均修复时长(MTTR)、故障恢复率、巡检合格率等关键运维指标形成数据驱动的优化闭环,流程再造加上自动化部署使运维效率大大提高、人员工作负担变轻、突发事件响应更及时,进而构建起敏捷高效的通信网络运维体系。

3.3 多维安全策略设计

智能化平台运行时,网络安全因运维数据敏感且系统要有高可用性得达到更高标准,要构建多维度、多层次的安全保障体系。在通信安全方面,平台采用端到端数据加密传输机制并结合VPN和SSL双重加密手段,防止信息传输时被截获或篡改。平台访问控制方面构建基于角色的权限管理模型(RBAC),对运维人员、管理员、设备接入等分级授权以防止权限滥用,并且设置双因素认证和操作日志全记录机制,使平台访问更可控、可追溯。数据安全方面,平台部署分布式数据库加密存储系统并加上定期备份和容灾机制,确保突发情况时数据完整可恢复。业务安全方面,引入行为审计引擎实时监控系统操作、指令下发、数据调用等行为并检测异常以及及时阻断非法操作,构建应急响应预案系统,其具备漏洞响应、病毒防御、攻击隔离等功能,让平台受安全威胁时能快速反应,构建全面的安全策略体系为智能运维平台稳定运行提供坚实保障。

4 实践应用成效与优化建议

4.1 实践项目概况与部署

某区域电网公司想要验证智能运维体系在实际电力光纤通信网络中的应用效果,便把辖区内覆盖220kV及电压等级的骨干光纤通信网络选作试点,部署智能运维平台并同步安装边缘计算节点与监测设备。项目在主干传输环网、调度通信链路、无人值守站点等关键区域安装近百套设备,如智能光功率监测器、远程OTDR终端、环境传感器等,从而构建起全网可视化监测体系。平台侧采用中心-边缘协同部署模式,边缘节点负责链路数据实时采集与初步处理,中心平台负责综合分析与智能派单,运维终端的移动工单App同步上线,实现巡检任务、故障响应的在线接收与反馈闭环。整个部署过程按阶段严格推进,先后完成系统集成、测试验证、培训上岗与联动演练,建立起运维流程规范与响应机制,形成电力通信网络智能运维示范场景,实现标准化、规范化、信息化。

4.2 应用成效分析

平台上线运行半年内,在故障发现效率、运维响应速度、巡检管理水平等方面实践项目成效显著,在故障识别上,AI算法和链路拓扑模型相结合,能自动预警断纤、性能衰减等问题并精准定位,链路平均故障识别时间从原

来的30min缩到不到5min,在响应效率方面,智能工单系统自动化原本靠人工传递的任务分派,任务秒级生成且分类推送,使平均故障处理周期缩短超40%,再次运维任务执行率大大提高,平台把例行巡检、异常复核、维护处理等任务都归入管理视图,借助可视化日历和智能调度,月均巡检覆盖率提升到98%,在管理上,平台大数据分析模块形成多维统计报表,支持从链路健康度、故障趋势、人员绩效等多方面分析考核,有力支撑管理层决策。

4.3 持续优化方向

试点项目有了阶段性成果,但系统推广应用时还得持续优化以增强平台的适应性和智能性。引入AIOps(智能运维)理念能提升系统对多源复杂数据的自学习能力,通过模型迭代使故障识别精度和根因分析能力不断增强,达成“边运维边学习”的目标;扩大运维平台的接入范围,覆盖接入网、配电自动化通道和边缘微站,从而让运维体系的覆盖能力更广;第三,优化边缘计算节点的功能集成度,将数据处理、协议解析、安全控制等功能集为一体,进而提高部署的灵活性和处理能力;细化运维流程中的任务标准和考核指标以实现全生命周期闭环管理,提升运维服务的规范化和透明化水平;推动平台接口开放,融合GIS系统、电力调度系统等外部平台,构建跨系统协同的综合运维生态圈,促使电力通信网络全面迈向智能、高效、安全的新阶段。

5 结束语

建设电力光纤通信网络的智能运维体系是推动电网朝着数字化、智能化转型的关键环节,通过优化架构,融合AI与大数据技术,部署边缘计算,建设智能平台,使运维效率与故障响应能力得到显著提升,强化网络安全保障与全流程管理水平,实践显示传统运维模式存在瓶颈问题,该体系不但有效解决这些问题,还为构建高效、可靠、自适应的通信网络打下坚实基础,往后要不断推动系统智能演进、多系统融合,构建面向全业务场景的运维新格局。

【参考文献】

- [1]陈亚鹏.电网光通信系统自主协同方法研究[D].北京:华北电力大学(北京),2024.
- [2]丁锦航.电力场景中无源光网络链路监测关键技术研究[D].北京:北京交通大学,2024.
- [3]高仕斌,刘帝洋,韦晓广,等.基于数字孪生网络的牵引供电智能运维体系与应用架构[J].铁道学报,2023,45(12):1-15.
- [4]唐振钦.NN供电公司智能配电网运行管理改进研究[D].南京:广西大学,2023.
- [5]刘瑞.考虑节点重要度的电力QoS路由优化与通信中心选址研究[D].南宁:广西大学,2023.

作者简介:王松瑞(1991.3—),男,河南省郑州人,汉族,研究生学历,工程师,就职于国网郑州供电公司,从事电力通信网运维工作。