

电力通信光缆故障快速排查与预防性运维技术研究

方超 葛文洁 陈琳 李万隆 裴金刚 高晨博

甘肃同兴智能科技发展有限公司 甘肃 兰州 730050

摘要：电力通信光缆支撑起新型电力系统全部数据传输工作，是电网各类业务稳定运转的基础线路。伴随电网智能改造持续推进，光缆铺设范围持续拓展，日常运维工作量大幅上涨。以往依靠人工现场巡检、故障出现后再抢修的作业方式，隐患预判、故障定位能力不足。本文立足电力通信数字化运维实际发展方向，梳理光缆多发故障类型与诱发因素，研究智能检测、前置防护类运维手段，完善光缆从铺设到报废的整套运维流程，补齐传统运维各类短板，减少线路停运时长，切实守住电网通信可靠运行底线。

关键词：电力通信；光缆故障；快速排查；预防性；运维技术

引言

当下新型电力系统全面落地，配套通信光缆组网规模持续扩张，野外、站内、跨路等敷设场景叠加，光缆常年遭受机械外力破坏、极端天气侵蚀、线路自然老化等问题，线路故障出现频次逐年升高。传统运维仅依靠周期巡查与故障抢修，检测方式简单粗放，线路运行数据未能充分挖掘，潜在隐患无法提前处置，故障排查耗时久，极易引发通信链路中断，干扰调度、配电等核心电力业务。顺应电网数字化转型需求，更新故障检测手段、建立长效前置运维机制，已是电力通信运维亟待落实的核心任务。

1 电力通信光缆运维现状

目前国内电力通信光缆已经形成全域覆盖的网络格局，架空光缆、地理光缆、管道光缆等多种敷设方式并存，适配不同区域电网的通信传输需求。光缆线路覆盖城市城区、郊野、山区、河道等多种场景，线路跨度大、点位分散，整体运维难度持续提升。现阶段多数电力运维单位仍沿用传统运维模式，核心工作以人工定期巡检、故障被动处置为主，智能化、数字化技术的普及应用程度参差不齐^[1]。日常巡检工作中，基层运维人员主要依靠人工徒步排查、简易设备测试的方式开展工作，巡检内容集中在光缆外观破损、接头松动、外部施工破坏等显性问题，对于光缆内部衰耗异常、隐性损伤、绝缘老化等不易察觉的隐患，无法及时识别。同时人工巡检受人员专业水平、巡检精力、天气环境影响较大，存在巡检盲区、漏检、误检等情况，巡检数据多以纸质记录或简单电子存档为主，数据整理、汇总、分析工作缺乏系统性。故障处置环节，传统模式依赖运维

人员经验判断，故障发生后需要人工逐段排查定位故障点位，整体排查流程繁琐、耗时久。面对多点位同时故障、隐蔽性故障时，排查效率会大幅下降，容易导致故障抢修延迟，影响电力通信网络的正常传输。此外，当前运维工作缺乏动态化隐患预警机制，运维策略多为固定周期开展，没有结合光缆运行状态、敷设环境、使用年限进行动态调整，老旧线路、复杂环境线路的运维频次不足，隐患积累问题突出。随着电网智能化业务不断增多，电力通信光缆的传输负荷持续提升，对光缆运行的稳定性、连续性要求不断提高，传统运维模式的短板持续凸显，已经无法适配新型电力系统的运维需求，亟需依托现代化技术优化故障排查与预防性运维体系。

2 电力通信光缆常见故障及成因分析

2.1 外力破坏故障

在电力通信光缆各类故障中，外力破坏是最常见的故障类型，也是诱发光缆突发性通信中断的关键因素。城镇片区的基建施工、道路拓挖、地下管线翻新改造，以及野外区域的农耕机械作业、林木采伐、山体开挖施工等各类工程、农事活动，均会对架空、地理两类光缆产生拉扯、碾压、切割等物理损伤，极易造成光缆保护层破损、纤芯断裂，直接引发电力通信传输中断。多数施工队伍作业前期未开展地下光缆管线摸排核查，施工操作随意盲目，对深埋地下的光缆造成永久性、不可逆的结构损伤。同时，户外架设的架空光缆长期裸露运行，周边乔木肆意生长、飞鸟撞击、漂浮异物附着悬挂等情况，会持续磨损光缆外层防护结构，日积月累导致纤芯传输损耗超标^[2]。此外，部分区域私自搭建构筑物、违规私拉线缆的行为，会打乱光缆原有受力平衡，

致使光缆拉伸变形、接头部位松动,持续降低电力通信的传输稳定性与质量。外力破坏故障具备突发性、随机性特点,事前无明显征兆,传统巡检模式无法提前预判,故障发生后影响范围广、处置紧急度高,是电力光缆运维中需要重点防控的故障类型。

2.2 环境与自然因素故障

电力通信光缆大多露天敷设,长期受自然环境与气候条件影响,会产生各类渐进式故障。极端天气场景下,大风、暴雨、暴雪、冰冻等天气,会造成架空光缆晃动幅度增大、线路覆冰积雪,引发光缆拉伸、弯折、垂度超标,导致纤芯衰耗异常或断裂。雷雨天气产生的感应电压,会损伤光缆接头盒内的元器件,造成接头老化失效。不同敷设环境会催生不同类型故障,山区光缆易受山体滑坡、泥石流、落石冲击影响,造成线路断裂移位;低洼、潮湿区域的地理光缆、管道光缆,容易出现积水浸泡、受潮腐蚀问题,导致光缆外皮破损、纤芯衰减增大。高温暴晒环境会加速光缆护套老化、硬化、开裂,低温环境会让光缆材质变脆,抗拉伸、抗冲击能力下降。这类故障多为渐进式发展,初期仅表现为传输参数小幅波动,无明显故障表象,随着环境影响持续累积,故障问题会不断加重,最终引发通信故障,隐蔽性和滞后性较强,常规人工巡检难以精准识别。

2.3 设备老化与运维操作故障

电力通信光缆及配套附件存在固定使用年限,长期运行过程中会出现自然老化问题。光缆护套、绝缘层长期损耗后会出现开裂、脱落,防护性能持续下降,水汽、杂质侵入后会腐蚀纤芯,造成传输损耗升高。光缆接头盒、固定金具、接地装置等配套设备,长期使用后会出现密封失效、螺丝松动、金属锈蚀等问题,引发接头衰耗异常、线路接触不良等故障。运维操作不规范也会引发人为故障,光缆熔接、检修、迁移作业中,操作流程不标准会造成熔接损耗超标、纤芯错位、接头密封不严等问题,遗留隐性故障^[3]。日常测试、巡检过程中,设备操作不当、线路踩踏、拉扯,会造成光缆内部纤芯轻微损伤,后期逐步发展为显性故障。

3 电力通信光缆故障快速排查与预防性运维新技术

3.1 基于多设备协同的快速故障定位技术

当下电力光缆故障排查已经摆脱传统人工逐段排查模式,形成多设备协同的智能化定位体系,核心依托光时域反射仪、智能光开关、分布式传感设备完成故障快速筛查与精准定位,大幅缩短故障排查时长。单一光时域反射仪测试存在近端盲区、多纤芯测试效率低的问

题,搭配智能光开关协同作业后,可实现多纤芯光路自动切换测试,覆盖整条光缆线路的全段检测,消除传统测试盲区,精准识别接头故障、轻微衰耗异常等隐性问题。分布式声学传感技术可实现光缆线路24小时不间断动态监测,设备依托光缆自身传感特性,实时采集线路周边振动、位移数据,精准捕捉施工挖掘、线路撞击、山体异动等异常信号,快速锁定故障发生点位与故障类型。该技术适配长距离架空光缆、地理光缆监测,定位精度可达到米级,能够在故障发生瞬间完成初步定位,为抢修工作提供精准坐标。针对复杂环境下的隐蔽故障,运维端引入波形智能分析技术,通过设备采集光缆传输波形数据,依托智能算法自动比对正常波形与故障波形差异,快速区分纤芯断裂、衰耗超标、接头故障、外皮破损等不同故障类型,无需人工逐一分析波形。同时结合电网光缆拓扑一张图系统,将故障点位与地理信息、线路台账数据联动,直接在可视化界面标注故障位置、影响范围,帮助运维人员省去现场排查流程,实现故障即发现、即定位。

3.2 多模态数据融合智能监测技术

电力通信光缆智能化运维的核心是数据驱动,多模态数据融合技术整合光缆运行参数、环境数据、设备状态数据、告警数据等多类信息,实现光缆运行状态的全方位动态监测,替代传统单一参数监测模式。该技术依托全网光缆监测终端、传感设备、环境采集装置,实时采集光缆传输衰耗、线路温度、周边湿度、振动信号、设备告警、运行负荷等多维度数据,形成完整的光缆运行数据台账。系统通过智能算法对多源数据进行融合分析,摒弃单一数据阈值判断模式,通过多数据交叉校验识别异常状态。比如结合线路振动数据与周边施工台账数据,可精准区分自然环境振动与人工施工破坏振动,减少无效告警;结合温度、湿度、衰耗数据联动分析,可提前识别光缆受潮、老化、过热等隐性隐患。同时依托大模型技术对海量历史运维数据、故障数据进行学习,梳理不同场景下的故障数据特征,提升异常数据识别准确率。多模态数据融合系统可实现告警信息分级分类,对轻微隐患、一般异常、紧急故障进行差异化标注,自动推送对应处置提示,避免海量告警信息造成的运维混乱。系统还可完成数据实时更新、动态分析,形成光缆运行状态的可视化展示,运维人员可通过后台终端实时掌握全网光缆运行情况,无需现场巡检即可完成全域状态管控^[4]。该技术彻底改变了传统运维依靠人工经验判断的模式,以数据为核心支撑实现光缆状态精准研判,有效降低隐患漏判、误判概率,为预防性运维提

供精准的数据支撑,适配新型电力系统光缆全网智能化监测需求。

3.3 人机协同常态化预防性巡检技术

预防性运维的核心是提前排查隐患、规避故障,现阶段电力光缆巡检全面推广人机协同模式,替代传统纯人工巡检方式,实现巡检全覆盖、隐患全排查。人工巡检主要聚焦光缆近距离细节检查、设备外观核查、现场环境排查,重点处理设备密封状态、金具锈蚀、线路周边障碍物等可视化问题,弥补智能设备细节监测的不足。智能设备承担大范围、高难度、高频次巡检工作,无人机搭载高清拍摄设备,对山区、高空、河道等人工难以抵达的光缆线路开展全景巡检,拍摄线路外观、弧垂、周边环境影像,实现高危路段无死角巡检。自动化巡检终端按照预设路线完成光缆参数常态化测试,定期采集光缆衰耗、接头损耗等核心数据,对比历史数据判断线路状态变化,及时发现渐进式隐患。人机协同巡检模式实行差异化巡检策略,根据光缆敷设环境、使用年限、历史故障记录、运行负荷划分线路等级。核心主干光缆、老旧光缆、施工密集区域光缆,提升巡检频次与检测精度;常规稳定线路实行标准化周期巡检,在保障巡检质量的同时降低运维成本。巡检完成后,系统自动汇总人工巡检记录、智能设备监测数据,形成巡检报告,梳理现存隐患与潜在风险。

3.4 全生命周期动态运维优化技术

传统电力光缆运维采用固定周期的统一运维模式,未区分线路运行状态与设备差异,运维资源浪费、隐患防控不到位等问题突出。全生命周期动态运维技术以光缆设备使用年限、运行状态、环境条件、故障数据为核心依据,搭建动态运维体系,实现运维策略精准适配。该技术将光缆运行全周期分为投运初期、稳定运行期、老化衰退期三个阶段,制定差异化运维方案。投运初期重点开展参数校准、接头检测、线路核查工作,排查施工遗留隐性问题;稳定运行期以常态化监测、周期性巡

检、环境隐患防控为主,保障线路稳定运行;老化衰退期提升监测频次,重点跟踪衰耗异常、设备老化问题,提前制定设备更新、线路改造计划^[5]。系统依托大数据持续积累光缆运行数据、故障处置数据、整改数据,建立光缆健康度评估模型,动态测算每条线路的健康状态,实时调整运维频次、检测项目与防控重点。针对施工密集区域、极端气候多发区域的光缆,自动增加外力破坏、环境影响相关的监测项目,强化针对性防控;针对长期稳定运行的光缆,合理简化冗余运维流程,提升运维效率。

结语

电力通信光缆是电网各类业务数据稳定传输的基础载体,直接关系电网整体运行安全。本文结合现场运维实际梳理光缆日常管护现存短板,归纳施工外力破坏、极端气候侵蚀、线路构件老化、现场作业流程疏漏四类高发故障诱因,探讨故障智能定点、实时数据监控、人工搭配设备巡检、全生命周期动态管控等新型运维手段。这类新技术可有效解决传统运维排查慢、隐患预判能力不足、工作方式单一等短板。后续行业应不断深化光缆运维数字智能改造,搭建前置化防护运维机制,依托精细化管控满足新型电力系统建设发展需求。

参考文献

- [1] 王振刚. 基于智能光缆的电力通信网络运维管理系统设计研究 [J]. 科技资讯, 2025, 23(12): 62-64.
- [2] 金波, 赵婷, 陈家麟, 祝为, 隋璐捷. 基于电力通信动静态资源的光缆故障诊断研究 [J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(5): 80-83+96.
- [3] 史腾飞. 电力通信中的光缆故障定位与处置对策分析 [J]. 通信电源技术, 2024, 41(8): 204-206.
- [4] 孙华东, 刘家豪. 电力通信光缆典型故障及应对措施探讨 [J]. 通信电源技术, 2023, 40(22): 255-257.
- [5] 宗碧. 电力通信网络光缆在线监测系统研究与应用 [J]. 云南电业, 2024(3): 7-11.