

基于物联网的输电线路全生命周期状态检修技术研究

陈 曦

国网河南省电力公司许昌供电公司 河南 许昌 461000

摘 要：输电线路传统运维存在数据零散、传输不稳、故障研判精度低等问题，难以适配智能电网精细化运维需求。本文依托物联网技术搭建线路状态感知体系，通过差异化布点、标准化采集与终端预处理，实现多源运维数据规范归集。构建分层传输、云端整合与安全防护一体化数据架构，结合时序数据分析完成线路状态评估、故障定位与隐患甄别。依托分级检修与全流程管控模式，完善线路全生命周期运维体系，有效提升输电运维的智能化与精准化水平，保障电网安全稳定运行。

关键词：物联网；输电线路；全生命周期；状态检修；故障研判

引言：输电线路是电力输送的核心基础设施，长期运行于复杂野外环境，气象变化、地质扰动与设备老化易诱发各类运行隐患。传统人工巡检、定期检修模式效率偏低，隐性隐患识别滞后，运维资源配置缺乏合理性，无法满足大范围线路常态化运维需求。依托物联网感知与智能数据分析技术搭建全生命周期检修体系，可弥补传统运维短板，实现线路状态动态管控，为电力系统安全平稳运行提供可靠技术支撑。

1 输电线路全生命周期状态信息采集体系构建

1.1 输电线路全生命周期状态信息的分类梳理

输电线路全生命周期覆盖投产、运行、老化、退役多个阶段，状态信息类型繁杂、维度分散。结合线路设备结构与运行特性，可将各类信息划分为设备本体状态信息、环境工况信息、运行电气信息三大类别^[1]。设备本体状态信息包含导线磨损、断股、覆冰、舞动、绝缘子污损、金具锈蚀等硬件损耗数据。环境工况信息涵盖线路走廊内的风速、温度、湿度、降雨、山体位移、树木生长高度等外部环境参数。运行电气信息囊括线路负荷电流、运行电压、漏电电流、故障波形等运行核心数据。精准完成信息分类，能够为后续感知布设、数据采集和数据处理提供清晰的分类依据。

1.2 面向输电线路多场景适配的物联网感知节点布设逻辑

输电线路跨越山地、丘陵、平原、河道等复杂地域，不同场景的环境干扰、设备损耗风险存在明显差异。节点布设摒弃统一化布置模式，依据场景风险等级和设备关键程度制定差异化布设方案。高风险区段重点布置高精度感知设备，重点监测覆冰、舞动、地质灾害

等高危工况。常规区段精简设备数量，以基础状态监测为主。关键设备点位加密布设感知节点，普通辅助设备降低布设密度。这套适配性布设逻辑，可在控制监测成本的基础上，保障全线路状态监测的完整性与精准度。

1.3 输电线路多源状态数据的标准化采集规则设定

不同感知设备输出的数据格式、采样频率、数据精度存在较大差异，原始数据存在兼容性差、可用性低的问题。针对多源数据异构特性，统一各类数据的采集频次、输出格式、精度阈值和存储规范。对电气运行数据设置高频次采集模式，实时捕捉运行波动变化。对环境和设备状态数据设置常规采集频次，平衡数据体量与监测价值。明确无效数据、异常数据的判定标准，统一各类数据的编码格式与传输协议，实现多源异构数据的规范归集，为数据深度分析奠定标准化基础。

1.4 采集数据的本地预处理与初步筛选机制设计

海量原始采集数据中掺杂大量冗余、干扰、错误信息，直接传输会造成传输资源浪费和后台运算压力。依托物联网终端设备搭建本地预处理模块，完成数据的初步清洗、降噪、格式转换。通过设定固定数据阈值，自动剔除超出合理区间的错误数据。依托数据关联逻辑，筛除重复、无效的冗余信息。保留具备分析价值的有效数据，完成数据轻量化处理。经过本地预处理与筛选的数据集，可直接用于线路状态初步研判，提升后续检修分析的整体效率。

2 输电线路状态数据的物联网传输与云端整合架构

2.1 输电线路状态数据的分层无线传输路径规划

输电线路监测点位覆盖面积积极广，线路跨度动辄数

十公里, 常规的单一传输方式很难适配野外复杂多变的网络环境。研究依托物联网层级架构, 搭建终端、中继、云端三级无线传输链路, 完成分层化数据传输布局。终端设备就近采集经过预处理的线路状态数据, 选用适配野外弱网、信号波动场景的无线通信方式, 完成基础数据上传^[2]。中继设备统一汇总片区内所有监测数据, 专门补强偏远点位、信号薄弱地段的传输信号, 彻底消除监测传输盲区。云端统一接收各地汇总数据, 完成全域数据归集整合。分层传输的布局可以适配不同地段的信号差异, 有效提升野外数据传输的稳定性和全域覆盖能力。

2.2 多源异构状态数据的云端接入与分类存储逻辑

输电线路监测生成的设备状态、环境参数、电气运行数据结构差异较大, 异构数据兼容是云端接入的核心难点。系统搭建通用标准化云端接入接口, 兼容各类终端设备的通信协议与数据格式, 对接入的原始数据做统一转换处理。系统依据数据属性、更新频次和实际应用场景, 划分多级存储结构。实时波动的电气运行数据更新速度快, 存入高速缓存分区, 缩短后台调取响应时间。变化相对平缓的设备状态、环境监测数据, 归入常规存储分区。过往历史数据单独归档存储, 避免各类数据混杂堆叠、难以检索, 实现云端数据规整化、条理化管理。

2.3 输电线路全生命周期数据的跨时序关联规则搭建

输电线路设备损耗、环境参数波动、电气运行波动都会随时间持续演变, 单一时间节点的零散数据, 无法完整反映设备全周期运行状态。研究结合电网线路实际运行规律, 构建跨时序数据关联规则, 打通不同时间维度的监测数据壁垒。分析短期环境参数波动对线路设备瞬时运行状态的影响规律, 总结长期负荷波动与设备老化、构件损耗之间的内在联系。梳理不同时序数据的联动逻辑, 搭建完整的设备状态演变数据链条, 为线路运行趋势预判、故障根源追溯提供扎实的数据支撑。

2.4 数据传输过程中的安全防护机制设计

输电线路监测数据涵盖电网关键运行参数, 数据传输链路长期处于野外开放环境, 容易受到外界网络干扰与非法窃取行为的破坏。数据安全防护覆盖数据传输全部环节。终端设备完成数据采集与预处理后, 统一执行加密处理, 从数据输出源头规避信息泄露风险。传输通道部署权限核验与入侵识别功能, 对各类非法访问行为进行拦截, 阻断数据窃取链路。云端接

收端口配置独立的数据校验模块, 甄别传输过程中出现的篡改、伪造异常数据。多层防护结构覆盖数据发送、链路传输、云端接收各个环节, 保障野外监测数据的完整性与保密性, 稳固电网数据系统的运行安全基础。

3 输电线路全生命周期状态研判与故障定位方法

3.1 基于全周期数据的输电线路运行状态趋势梳理

输电线路长期服役于野外复杂环境, 气象变化、荷载波动与自然老化都会持续影响设备健康状态。单一时刻的监测数据只能展现瞬时运行工况, 无法完整呈现设备长期性能演变规律。结合平台归集的全生命周期数据, 整合线路投运基准参数、长期运行监测记录、环境演变资料以及历年检修档案。从荷载工况、气象侵蚀、设备老化多个维度, 总结线路设备性能衰减的整体规律^[3]。区分正常老化衰减、极端环境扰动、设备异常损伤三种状态演变形式, 精准捕捉设备细微工况波动与隐性劣化迹象。梳理完整的线路运行状态演变脉络, 搭建适配实际运维场景的趋势分析模型, 为线路健康评估与检修方案优化提供坚实的数据支撑。

3.2 输电线路潜在缺陷的关联特征匹配逻辑设计

输电线路多数故障隐患具备渐进发展的特性, 故障显现前会长期伴随细微的状态参数变化。传统人工巡检判别方式依赖运维经验, 对隐性、微小缺陷识别力度不足, 容易出现漏判、误判问题。结合海量线路运行数据与真实故障样本, 深挖各类线路缺陷对应的电气参数波动、设备结构形变、温度参数偏移、环境参数异常等核心特征。搭建专属的线路缺陷特征数据库, 明确各类隐患的参数波动区间与演化特点。设计多层级特征匹配判别逻辑, 对实时监测数据进行深度比对分析, 有效识别导线疲劳损伤、绝缘子老化劣化、金具松动锈蚀等隐性问题的, 实现线路隐患的提前预警。

3.3 依托节点位置关联的输电线路故障点定位方法

传统输电线路故障排查依靠人工全线巡检, 大范围线路排查耗费大量人力与时间, 定位精度较差, 难以适配智能化电网运维需求。结合物联网感知节点的空间布设体系, 为所有监测终端绑定精准地理坐标与对应线路区段信息。建立监测数据与线路物理区段的精准映射关系, 根据异常数据的产生点位、信号损耗程度、参数波动特点, 初步划定故障所属区段。通过周边多个监测节点的数据源开展交叉验证, 压缩故障排查范围, 削弱单点监测误差带来的定位偏差。这套定位方式可以快速锁定故障核心区域, 大幅提升输电线路故障排查与现场处

置效率。

3.4 不同故障类型的状态特征分类梳理

输电线路运行环境复杂,故障诱因繁杂,各类故障的发展过程与状态表现存在明显差异。梳理线路运维工作中的高频故障类型,主要包含覆冰闪络、导线断股、风致舞动、绝缘子污损、地质形变引发的线路结构异常等。逐一拆解各类故障的完整发展过程,总结故障萌芽、发展、爆发各阶段的电气参数、设备状态、环境条件变化特征。细化不同故障的特征判定边界,区分同类故障的细微差异,构建层次清晰、覆盖全面的故障特征分类体系。这套体系可为线路智能研判、故障精准识别提供标准化判定依据,全面提升输电线路运维检修的智能化、规范化水平。

4 输电线路全生命周期状态检修的作业流程设计

4.1 基于状态研判结果的检修任务分级划分规则

输电线路设备缺陷的危害程度、发展速度存在较大区别,统一标准的检修模式容易造成运维资源浪费,或是遗漏高危隐患。以线路状态研判成果为基础,依据缺陷风险等级、设备重要程度、工况恶化速度搭建检修分级判定规则。重点针对会引发大面积停电、线路跳闸的高危缺陷划定一级检修任务,优先安排现场处置工作。针对缓慢劣化、短期不会影响线路安全运行的一般性缺陷划定二级检修任务,纳入常规运维计划。针对轻微损耗、仅需日常观测记录的微小问题划定三级检修任务,实行常态化跟踪管理^[4]。分级规则可以精准匹配运维资源,保障高危隐患快速处置,提升整体检修工作的针对性与合理性。

4.2 对应不同故障类型的差异化检修作业路径规划

不同类型的线路故障存在独特的损坏特征与处置需求,通用检修流程无法适配各类缺陷的修复标准。结合覆冰、舞动、金具锈蚀、绝缘子劣化、导线损伤等常见故障特性,定制专属检修作业路径。线路覆冰、风致舞动等环境诱发故障,优先开展现场工况排查、隐患清除与设备加固工作。绝缘子污损、金具锈蚀等老化类缺陷,以部件更换、防腐处理、性能校验为核心作业内容。导线断股、结构形变等硬件损伤故障,严格按照设备修复标准开展补强、更换与调试作业。差异化的路径规划能够规范各类故障的检修流程,保障每一项作业贴合设备修复标准。

4.3 检修作业全流程的物联网动态追踪逻辑设计

传统线路检修作业缺乏全过程动态监管,作业进

度、现场工况、人员操作状态难以实时掌握,容易出现作业不规范、进度滞后等问题。利用物联网感知、定位传输技术搭建全流程作业追踪体系,覆盖检修准备、现场施工、质量核验各个环节。采集现场作业人员位置信息、设备操作记录、施工环境参数等关键信息,实时更新检修作业推进进度。设置作业工序校验节点,每完成一项施工内容即可完成数据同步留存,规避工序遗漏、操作不规范等问题。完整的动态追踪逻辑可以强化现场作业管控力度,保障检修施工的规范性与可控性。

4.4 检修完成后的状态数据回传与全周期数据更新机制

检修作业完成后产生的修复数据、设备全新工况参数,是完善线路全生命周期数据库的核心内容。搭建标准化数据回传机制,督促现场终端及时录入检修位置、故障类型、修复方式、部件更换情况、检修后设备运行参数等全新数据。后台系统自动替换老旧失效数据,补充最新设备状态信息,更新线路设备健康档案。同时修正状态研判模型中的参数阈值与特征标准,让数据库与线路实际运行状态保持一致。持续的数据更新能够保障全生命周期数据的时效性与完整性,为后续状态研判、隐患预警、运维规划提供精准的数据支撑。

结束语

物联网传感监测、云端数据融合与智能研判技术的融合运用,打造出涵盖线路运行监测、状态分析、检修落地的一体化运维链路,有效解决传统运维数据分散、故障排查耗时、作业管控松散等实际问题。通过场景化感知布设、时序数据联动分析与层级化检修管控,能够提前排查线路隐性隐患、精准锁定故障范围、规范现场检修流程,稳步提升输电线路运维的精细化与智能化水准。一体化运维模式高度适配野外复杂运行工况,可为电力线路智能运维体系的优化升级提供实操性参考。

参考文献

- [1] 孙家兴,母雪东,张振国.基于物联网的输电线路全生命周期状态检修技术研究[J].电气技术与经济,2026(3):396-398,405.
- [2] 陈超.基于BIM+GIS的架空输电线路项目全生命周期管理[J].建筑机械化,2025,46(08):48-52.
- [3] 王晓敏,郑汪洋,郑海波.输电线路运维检修技术优化策略的探究[J].建筑工程与设计,2025,4(8):215-217.
- [4] 史光举,翟相如,王恒,等.输电线路数字化检修策略及其应用效果研究[J].大武汉,2023(24):266-268.