

数字化输电线路运检体系建设

董书彤

河南送变电建设有限公司 河南 郑州 450000

摘要：数字化输电线路运检体系建设是应对电网规模化扩张、破解传统运检模式瓶颈的关键路径。以物联网、人工智能等技术为支撑，构建涵盖数据采集、处理、业务应用及支撑保障的完整体系，通过分阶段实施实现运检业务全流程数字化转型。本文从建设基础、核心构成、实施步骤及运行保障四个维度，系统梳理体系建设的核心内容与推进逻辑，打通数据壁垒、再造业务流程，构建数据驱动的新型运检作业范式，为输电线路运检效率提升与安全管控强化提供支撑，助力运检模式从人力密集型向智慧化转型。

关键词：数字化输电线路；运检体系；数据采集；业务数字化；运行保障

引言：随着电网基础设施持续扩张，传统人力密集型输电线路运检模式已难以适配复杂地形与庞大线路规模的运维需求，运检效率与安全管控面临严峻挑战。与此同时，物联网感知、人工智能、通信网络等技术快速迭代，为运检业务数字化转型提供了坚实技术支撑，现有业务数据积累与管理体制改革也为体系建设创造了有利条件。在此背景下，开展数字化输电线路运检体系建设，整合硬件、软件与数据资源，重构运检业务流程，成为破解运维难题、提升运检水平的必然选择。

1 数字化输电线路运检体系建设基础

1.1 运检体系数字化建设前提

输电线路运检业务的数字化转型并非技术的简单叠加，而是建立在多重现实条件成熟的基础之上。电网基础设施的规模化扩张带来了运维压力的持续攀升，传统人力密集型巡检模式已难以覆盖日益增长的线路规模与复杂地形条件^[1]。物联网感知技术、人工智能算法以及通信网络技术的快速迭代，为运检业务的数据采集、传输与处理提供了可靠的技术底座。现有生产管理系统在数据积累方面已形成一定规模，各类巡检记录、缺陷台账与检修工单沉淀了丰富的业务数据，这些数据资源构成了数字化体系建设的原始驱动力。管理体制上运检一体化改革的持续推进，使得业务流程的标准化与集约化成为可能，为数字化手段的嵌入创造了组织条件。电网企业对运检效率与安全水平的内在需求，构成了数字化转型最根本的现实动因，技术供给与业务需求在这一节点上形成了自然交汇。

1.2 运检体系数字化建设核心目标

数字化运检体系的建设目标指向业务全链条的智慧化重构。在感知层面要实现空天地多维协同的立体化监测覆盖，将人工巡检逐步替代为无人机自主作业与在线

可视化监拍相结合的智能感知模式。在管理层面要打通数据壁垒，构建从缺陷发现、风险研判、计划制定到现场消缺、验收归档的全流程线上闭环，消除信息孤岛对运检效率的制约。在决策层面要依托海量运行数据与智能分析模型，推动检修策略从周期性计划检修向状态检修与预测性维护转变，实现资源的精准投放与风险的前置管控。最终要形成一套数据驱动、算法赋能、流程再造的新型运检作业范式，使运维人员从繁重的重复性劳动中解放出来，转向更具价值的分析与决策工作。

1.3 运检体系数字化建设核心原则

体系建设须遵循业务引领与技术支撑相统一的基本逻辑，避免为数字化而数字化的倾向。数据标准化原则要求在建设之初就统一缺陷分类、设备编码与接口规范，确保多源异构数据能够有效融合与共享。安全可靠原则强调系统架构须具备容错与冗余能力，特别是在偏远山区等通信条件受限区域，要设计多链路备份方案保障数据不中断。渐进迭代原则主张分阶段推进、分电压等级覆盖，在实践中不断优化算法模型与业务流程，而非追求一步到位的理想化方案。协同共享原则要求打破部门与专业间的数据封锁，使运检数据能够在规划、建设、调度等多个环节流转复用，真正释放数据资产的叠加价值。

2 数字化输电线路运检体系核心构成

2.1 运检数据采集模块

数据采集是数字化运检体系运转的起点，涵盖基础数据、过程数据与环境数据三个维度。输电线路基础数据采集以杆塔坐标、导地线型号、绝缘子串参数等静态台账为对象，依托三维激光扫描与倾斜摄影技术实现通道全景数字化建模，为后续分析提供空间基准^[2]。运检过程数据采集则聚焦巡检记录、缺陷描述、检修工单等动态业务信息，通过移动终端、无人机智能巡检系统与在

线监测装置自动捕获作业全过程数据,减少人工录入带来的遗漏与偏差。环境及外部影响数据采集主要获取气象参数、地质灾害预警、交叉跨越距离变化以及周边施工活动等外部信息,将线路运行置于更宏观的环境坐标系中加以审视,从而为风险研判提供多源输入。

2.2 运检数据处理模块

采集到的原始数据须经过清洗、存储与关联三道工序方可进入业务应用。数据清洗与标准化阶段需剔除重复记录、纠正格式错误,并按照统一编码规则对缺陷类型、设备编号等字段进行归一化处理,确保不同来源的数据具备可比性。数据存储与管理环节采用分布式架构承载海量时空数据,结合索引优化与分片策略保障读写效率,同时通过权限分级机制保护敏感信息安全。数据关联与整合将分散在巡检、监测、检修等子系统碎片信息按设备维度与时间轴进行拼接,形成每基杆塔、每段线路的完整运行画像,为上层分析奠定数据基础。

2.3 运检业务数字化模块

业务数字化涵盖巡检、缺陷、检修与监测四大核心环节。线路巡检数字化以无人机自主飞行与可视化远程监拍替代传统人工步行巡视,配合智能路径规划实现精细化覆盖。缺陷管理数字化依托深度学习算法对巡检图像自动标注,生成缺陷工单并推送至责任班组,形成发现至处置的线上闭环。检修作业数字化将工作票办理、安全措施布置、现场作业记录与竣工验收全流程迁移至移动平台,实现无纸化流转与实时留痕。线路状态监测数字化通过覆冰、微风振动、导线温度等在线传感装置持续采集运行参数,异常状态触发分级告警,支撑状态检修策略制定。

2.4 运检数字化支撑模块

支撑模块由平台、硬件与软件三部分构成。数字化平台搭建以统一智慧管控系统为枢纽,整合GIS地图、视频流与业务工单,提供一站式操作界面。硬件设备支撑包括无人机机库、边缘计算网关、在线监测终端以及北斗定位模块,构成感知网络的物理基础。软件系统支撑则涵盖数据中台、AI算法引擎与移动应用客户端,为业务模块提供计算能力与交互入口,三者协同保障体系稳定运行。平台层还需预留与上级调度系统、下级班组终端的标准接口,确保纵向贯通与横向协同,使整个运检体系形成有机整体而非孤立的信息系统堆砌。

3 数字化输电线路运检体系建设实施步骤

3.1 前期筹备

数字化体系建设并非技术设备的简单堆砌,而是一项涉及业务流程再造与组织模式变革的系统工程,前期

筹备的质量直接决定后续推进的顺畅程度。筹备阶段的重心在于摸清家底,运检部门需联合信息化团队对现有线路台账、巡检记录、缺陷工单及在线监测数据进行全面梳理,识别数据断点与流程瓶颈。技术方案论证应聚焦无人机自主巡检、AI图像识别、物联传感等关键能力的适用性,避免贪大求全导致落地困难^[3]。人员能力评估同样不可忽略,一线班组的数字化素养与操作习惯直接影响系统上线后的使用深度,需据此设计分层分类的培训方案。资金与物资计划要与建设节奏紧密咬合,防止硬件到货滞后拖累软件联调进度。管理制度的修订须走在系统上线前面,运检管理办法、数据安全规范与绩效考核细则都应在筹备期完成初稿,为数字化工具嵌入业务流程扫清制度障碍。

3.2 模块建设与部署

模块建设遵循数据先行、业务跟进、支撑兜底的推进逻辑。数据采集模块优先部署无人机机库、可视化监拍装置与微气象传感终端,在重过载线路与高故障率区段形成密集感知覆盖。数据处理模块紧随其后搭建清洗规则引擎与分布式存储架构,确保前端采集的海量影像与时序数据能够及时入库并完成标准化转译。业务数字化模块中缺陷智能识别算法训练与巡检路径规划功能率先开发,检修工单线上流转与状态监测分级告警功能接续上线。支撑模块的统一智慧管控平台作为全体系的数据汇聚枢纽应尽早投入搭建,为各前端应用提供稳定的接口服务与算力调度。各模块之间通过标准化数据接口实现松耦合连接,预留扩展端口以适应后续功能迭代需求,避免单体架构带来的升级困境。

3.3 系统调试与优化

模块部署完毕后进入联调联试阶段,核心任务是验证数据从采集端经处理层到应用端的全链路贯通性与一致性。AI缺陷识别模型需用真实巡检图像反复训练与校验,针对树障识别、销钉缺失等误判率偏高的缺陷类型进行专项参数调优。平台并发承载能力要在模拟多条线路数据汇聚的高压场景下充分压测,确保响应延迟控制在可接受范围内。一线运维人员深度参与试用并反馈操作体验,界面交互逻辑不合理、工单流转环节冗余等问题逐项打磨。山区与偏远地段的通信链路稳定性需做专项测试,卫星通信与公网双链路自动切换机制反复验证可靠性。数据安全策略中的权限分级与敏感字段脱敏规则也在此阶段落地固化。

3.4 全面推广与落地

试点线路验证通过后,将建设成果向全电压等级线路推广,按照先主网后配网、先平原后山区的原则分批次

覆盖。推广过程中组建省地两级技术支撑团队，驻点指导各单位部署中遇到的适配问题。运检人员完成全员轮训并持证上岗，确保数字化工具真正融入日常作业而非停留在演示层面。绩效考核机制随推广进度动态调整，将线上作业数据量、缺陷处置及时率等指标纳入班组评价体系^[4]。体系运行一个完整周期后组织阶段性回顾，收集各方意见用于下一轮功能迭代，形成建设、应用、反馈、优化的持续改进闭环。

4 数字化输电线路运检体系运行保障

4.1 技术保障

体系持续运转依赖于底层技术架构的稳定性与可扩展性。通信网络作为数据传输的命脉，须在山区、跨河等信号薄弱地段部署卫星通信与多运营商链路互备方案，确保巡检影像与监测数据不因网络波动而丢失。AI算法模型需建立定期更新机制，随着新增缺陷样本的持续积累，模型参数应每季度滚动调优，防止识别准确率随时间推移而衰减。边缘计算节点部署在杆塔或变电站侧，承担本地数据预处理与初级过滤任务，减轻云端算力压力的同时保障极端天气下的离线分析能力。网络安全防护要覆盖数据传输加密、访问身份鉴别与操作行为审计等多个层面，定期开展渗透测试与漏洞扫描，及时修补系统短板。数据备份策略采用本地热备与异地冷备相结合的方式，防范硬件故障或自然灾害导致的数据不可逆损失。

4.2 人员保障

数字化工具能否真正发挥效能，归根结底取决于一线人员的操作能力与思维转变。运检班组须配备专职数字化管理员，负责日常系统运维、数据质量核查与故障初判，充当技术团队与现场作业之间的桥梁。分层培训体系应覆盖管理层与执行层，管理人员侧重数据分析与决策支持能力的培养，操作人员则聚焦移动终端使用、无人机操控与在线监测装置维护等实操技能。跨专业协作机制的建立有助于打破运检、信息化、调度等部门间的壁垒，定期组织联合演练与案例复盘，促进不同专业背景人员形成统一的数字化工作语言。绩效激励设计上将线上作业完成度、数据录入质量与缺陷处置效率等指标纳入考核，引导人员主动拥抱数字化作业模式而非被

动应付。

4.3 运维保障

硬件设备的全生命周期管理是体系稳定运行的物质基础。无人机、传感器、边缘网关等终端设备须建立电子台账，记录安装时间、运行时长、维修历史与备件更换周期，做到每台设备状态可追溯。预防性维护计划根据设备厂商建议与实际运行环境制定，在故障发生前完成关键部件的检测与更换，避免因单点失效影响整条线路的感知覆盖^[5]。软件系统运维包括补丁更新、数据库优化与日志分析，运维团队需设定响应时效标准，一般故障在规定时间内完成修复，重大故障启动应急预案并组织专项攻关。备品备件库实行分级储备策略，常用耗材在班组级存放，关键模组在地市级集中管理，确保故障发生后能够快速调配资源恢复作业。运行日志与故障记录定期汇总分析，为下一年度的设备选型与维护策略调整提供数据支撑。

结束语

数字化输电线路运检体系建设是一项系统工程，涉及技术集成、流程再造与人员能力提升，需依托完善的实施步骤稳步推进，依靠全方位的保障机制确保稳定运行。通过搭建完整的数据采集、处理与应用体系，打破信息孤岛，实现运检业务全流程线上闭环与智能管控，有效缓解运维压力、提升作业效能。体系建设需坚守业务引领、数据标准、安全可靠等原则，在实践中不断优化完善，充分释放数据资产价值，构建适配电网发展需求的智慧运检新模式，为输电线路安全稳定运行筑牢根基。

参考文献

- [1]张琦.数字化技术赋能输电线路运检的应用现状[J].张江科技评论,2025(8):65-67.
- [2]陈博,周福刚,徐祎或.数字化输电线路运检体系建设[J].模型世界,2024(33):22-24.
- [3]严波,孙飞,马俊杰,等.基于数字孪生的输电线路智能运检系统设计[J].自动化技术与应用,2024,43(5):177-181.
- [4]颜辉.数字化平台在输电线路运检中的应用[J].集成电路应用,2023,40(9):192-193.
- [5]曾柏琛,郭扬铮.数智化提升输电线路运检效能[J].电气时代,2025(4):34-36.