

电力系统智能巡视自动化应用探析

白志远 田小鹰 苏前程 侯昌平

南京国电南自软件工程有限公司 江苏南京 211100

DOI:10.32629/ems.v8i6.20606

[摘要] 电力系统是支撑社会运行的核心基础设施,其安全稳定运行直接关联经济发展与民生保障,传统依靠人工的巡视模式在覆盖范围、响应速度、判断准确性等方面的局限日益明显,难以适配新型电力系统高可靠性、高智能化的运维要求。智能巡视自动化以物联网感知、人工智能分析、多网融合传输等技术为核心,推动电力运维从“人工驱动”向“技术赋能”转型。本文着重围绕技术架构分层协同逻辑以及多场景落地差异化适配思路来展开论述,填补了现有研究里技术落地路径与场景适配方法分析不足的空白,梳理了智能巡视自动化的应用背景与核心价值,拆解其四层技术架构的运行逻辑,分析不同电力场景下的落地路径,总结当前应用的共性瓶颈并提出优化方向,为电力运维体系的数字化、智能化升级提供系统性的实践参考。

[关键词] 电力系统;智能巡视;自动化技术;运维效率;电网安全

随着“双碳”目标逐步推进,新型电力系统电源结构、负荷特性、网架形态发生深刻变化,分布式能源大量接入且电网运行复杂度持续提升,对运维管理精细化、实时性、可靠性提出前所未有的要求。传统电力巡视模式高度依赖运维人员现场作业,需投入大量人力成本,在偏远山区、极端天气、高电压等特殊场景下会给运维人员带来较高安全风险。同时人工巡检存在记录不规范、缺陷判断依赖经验、故障预警滞后等问题,易使小隐患演变为大故障,智能巡视自动化技术的应用与推广成为破解传统运维痛点、适配新型电力系统发展需求的核心路径,对保障电网安全稳定运行、提升电力系统整体运维效能具有重要现实意义。

1 电力系统智能巡视自动化的核心价值与应用背景

1.1 传统电力巡视模式的痛点分析

传统电力巡视模式以人工现场排查为核心,在实际运维过程中暴露出多维度局限性。首先,存在覆盖范围与效率之间的矛盾。跨区域输电线路及偏远山区杆塔设备分布范围广且通行难度大,人工巡检需耗费大量时间在路上,不仅巡视周期长,高风险难抵达区域还易出现巡检盲区,无法实现全时段全区域覆盖。缺陷识别存在主观性与滞后性。人工巡检判断设备缺陷高度依赖运维人员经验水平,不同人员判断标准有差异,易出现漏检误检情况。且设备内部隐性故障与早期异常难用肉眼识别,往往要等故障显现甚至引发停电问题才被发现,无法满足故障提前预警需求。再者是数据价值难以沉淀,人工记录的巡检数据存在格式不统一、信息不完整、存储分散等问题,无法形成标准化数据库,难以支撑后续设备状态分析、趋势研判等深度应用,致使大量巡检数据无法转化为运维决策有效支撑。

1.2 智能巡视自动化的应用价值

智能巡视自动化应用给电力运维体系带来全方位价值升级,在成本与安全方面,大量智能化终端和移动巡检载体的应用能替代人工完成高风险、高重复性巡检任务,既大幅降低人工投入成本也减少运维人员进入极端环境、高电压区域作业的频次,从而有效降低运维作业安全风险。在运维可靠性方面智能感知终端可24小时不间断采集设备运行数据,配合人工智能算法实现缺陷自动识别与实时告警,能第一时间捕捉设备早期异常信号,大幅缩短故障响应与处置时间,减少故障停电带来的经济损失与社会影响。在管理升级方面标准化巡检数据采集、存储与分析体系可实现设备全生命周期运行数据沉淀。通过对历史数据深度挖掘研判设备运行趋势与规律推动运维模式从事后处置向事前预防转型,并为电力系统运维决策提供科学客观的数据支撑,全面提升电力运维精细化管理水平。

2 电力系统智能巡视自动化的技术架构

2.1 多源数据采集终端体系

感知层是达成设备状态全面感知的重要基础,它由多种类型采集终端和边缘计算节点共同构成,固定监测终端会依据不同设备的运维需求按需部署,如在输电杆塔上所安装的摄像头、红外测温传感器、局部放电监测装置、气象环境传感器,能够实时采集设备外观、温度、放电特征、周边环境等多维度数据,以此持续监测设备的运行状态。移动巡检载体针对不同场景的巡检需求进行配置,巡检机器人适用于变电站等封闭场景开展自主巡航,无人机适合长距离输电线路实施快速巡检。边缘计算节点部署在终端侧,能够对采集到的原始数据开展预处理,过滤无效信息并且提取关键特征,实现低时延的本地告警响应,减少数据传输的带宽压力,进而提升整个系统的运行效率。

2.2 多网融合数据通信体系

传输层需依据不同场景通信需求适配对应技术方案, 以此保障数据传输稳定、安全且高效, 对于输电线路和偏远地区的感知终端, 普遍采用 LoRa 等低功耗广域通信技术, 在满足低功耗、广覆盖需求的同时实现小批量监测数据稳定传输, 对于变电站、配网台区等数据传输量大且对时延要求高的场景, 采用电力无线专网或者 5G 网络切片技术, 保障高清视频、实时监测数据高速传输以满足低时延业务需求^[1]。整个传输体系配备完善安全加密机制, 对传输的巡检数据进行加密处理并建立数据传输身份认证、权限管控机制, 防止数据泄露、篡改等安全问题, 保障电力运行数据安全, 避免数据安全问题影响电网稳定运行^[2]。

2.3 智能巡视管控中枢

数据处理模块会对感知层上传多源异构数据做统一清洗、标准化处理与存储, 形成统一巡检数据库以打破不同终端和系统间数据壁垒。智能分析模块基于计算机视觉技术构建设备缺陷识别模型, 能自动识别图像中的设备外观损伤、表计读数异常和开关位置错误等问题。还基于机器学习算法构建故障预测模型, 通过学习历史运行数据挖掘设备故障特

征规律, 对设备潜在故障提前预警^[3]。业务调度模块具备巡视任务自动派发、路径智能规划和告警闭环管理等功能, 可根据设备重要程度和运行状态自动生成巡检计划, 合理调配巡检资源, 将发现的告警信息自动流转至处置流程并跟踪整个处置过程, 实现巡检业务全流程线上化和闭环化管理^[4]。

2.4 场景化业务落地体系

应用层作为智能巡视自动化能力对外输出窗口, 能针对不同电力业务场景提供差异化功能服务, 还可实现与现有电力业务系统的深度协同, 针对输电、变电、配网等不同运维场景, 会分别开发对应的场景化功能模块, 以匹配不同场景的巡检规则、缺陷类型和业务流程, 满足不同场景的个性化运维需求^[5]。同时应用层具备标准化的系统对接接口, 能够与电力系统现有的生产管理系统、调度管理系统、设备资产管理系统等进行数据互通, 可将巡检数据同步至其他业务系统, 也能调取其他系统的设备基础信息和运行数据, 丰富巡检分析的数据源, 实现智能巡视体系与现有运维管理体系的深度融合, 避免形成信息孤岛并最大化发挥智能巡视自动化的业务价值。电力系统智能巡视自动化技术架构见图 1:

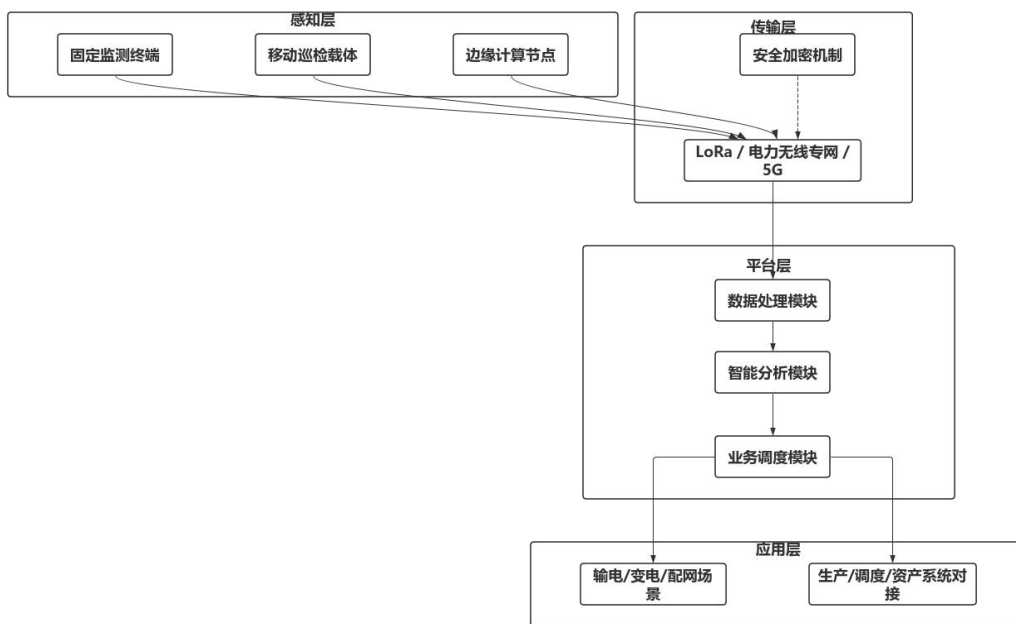


图 1 电力系统智能巡视自动化技术架构图

3 电力系统智能巡视自动化的典型应用场景

3.1 输电线路智能巡视自动化

输电线路常常跨越大范围区域且周边环境复杂, 导致人工巡检难度极大, 这属于智能巡视自动化应用的核心场景之一, 无人机自动驾驶巡检是当下应用最为广泛的模式。借助提前预设巡检航线, 无人机能够按照固定周期自动完成全线

路的巡航, 无需人工实时进行操控, 飞行过程中它会自动采集线路以及杆塔的图像与视频数据。通过机载的智能识别算法自动识别山火、外破、导线损伤、金具锈蚀等常见缺陷, 发现异常后会在第一时间向管控平台推送告警信息, 这大幅提升了输电线路的巡检效率, 在重要杆塔、易覆冰、易发生地质灾害的区域部署固定在线监测终端, 能够实时监测杆塔

的倾斜、覆冰厚度、周边环境变化等情况，对可能出现的风险进行提前预警，以此弥补无人机巡检无法实现 24 小时不间断监测的不足^[6]。两者结合形成“点面结合”的输电线路智

能巡视体系，全面提升输电线路的运行可靠性，输电线路智能巡视自动化应用模式特点对比详情见下表 1。

表 1 输电线路智能巡视自动化应用模式特点对比

应用模式	优势	局限性
无人机自主巡检	巡检效率高、覆盖范围广、成本低	受极端天气影响大，无法 24 小时连续监测
固定终端在线监测	全时段连续监测、低时延告警	覆盖范围有限，部署成本高
人工辅助巡检	可处置复杂缺陷、灵活度高	效率低、安全风险高
多模式协同巡检	优势互补，实现全维度覆盖	调度复杂度高，需统一管理体系支撑

3.2 变电站智能巡视自动化

变电站作为电力系统的能量枢纽设备密集且运维要求高，智能巡视自动化应用能大幅提升变电站运维效率与安全性，巡检机器人是变电站场景核心应用载体，搭载红外测温、高清摄像、声音采集等多种传感器，可按预设巡检路线自主完成全站的巡航任务，能自动识别表计读数、开关位置、设备异常温度等常见问题，无需运维人员进入高压区域进行作业，有效降低了运维作业过程中的安全风险^[7]。变电站内部署的固定摄像头与巡检机器人形成协同巡检体系，固定摄像头针对重点设备进行 24 小时实时监测。巡检机器人对固定摄像头覆盖不到区域及需近距离检测设备补充巡检，管控平台统一调度两者的巡检任务，实现对变电站所有设备的全覆盖监测，大幅减少人工巡检的工作量并提升设备缺陷发现及时性，保障变电站的稳定运行^[8]。

3.3 配电网智能巡视自动化

配电网设备数量众多，分布广泛且直接面向终端用户，其运行稳定性会直接影响用户的供电可靠性，智能巡视自动化的应用可有效提升配电网运维效能，对于城乡结合部以及农村区域这类配网网架薄弱且运维资源不足的地方，智能化巡视方案能在不大量增加基层运维人员负担的情况下，迅速补齐区域巡检覆盖方面的短板，有效缩小不同区域配网运维服务水平的差距。在配变台区部署智能监测终端能实时采集配变负载、电压、电流、温度等运行数据，自动研判重载、过载、三相不平衡、油温异常等运行问题并及时推送告警信息，避免配变故障引发停电问题，针对架空配网线路采用无人机批量巡检模式可快速完成大范围线路排查，自动识别树障、导线接头过热、杆塔倾斜、标识缺失等常见问题，大幅提升配网线路巡检效率并弥补人工巡检覆盖不足、效率低下问题。同时配网智能巡视系统与供电服务系统对接，发现故障后能自动定位故障位置并快速生成抢修方案，缩短故障处

置时间以提升用户的供电满意度。

4 结束语

智能巡视自动化是电力运维体系适配新型电力系统发展要求的必然选择，它借助多技术融合的架构体系，在输电、变电、配网等多个场景已展现出显著应用价值，有效解决传统人工巡视模式的诸多痛点，为电力系统安全稳定运行提供新的技术支撑。当前智能巡视自动化应用仍处于快速发展阶段，在复杂场景识别精度、跨系统数据协同、运维人员能力适配等方面存在需持续优化的空间。伴随技术不断迭代、管理机制逐步完善，智能巡视自动化将朝着全场景协同、全流程闭环、深度智能化方向发展，进一步推动电力运维模式从被动处置向主动预防转型，为构建更安全高效智能的电力系统提供坚实运维保障。

[参考文献]

[1]陆岷. 基于无人机变电站智能巡视系统技术应用研究[J]. 电工技术, 2025, (23):141-144.

[2]卢伟, 耿铮, 冯顺晨. 智能巡视系统的变电站巡视技术研究[J]. 科技与创新, 2025, (19):64-66+70.

[3]刘冲, 陈亚天, 王丹丹, 等. 基于人工智能的数字化变电站的研究与应用[J]. 电工技术, 2025, (18):181-184.

[4]郭大维. 新型数字智能变电站监控及巡视系统应用[J]. 张江科技评论, 2025, (07):96-98.

[5]徐嘉巍, 黄润桃. 基于端边协同的变电站远程智能巡视技术研究与应用[J]. 电气时代, 2025, (05):96-101.

[6]杜家振, 吴仲吉, 徐智扬. 输电线路无人机自主巡视检查技术实现[J]. 设备管理与维修, 2024, (24):119-121.

[7]段鹏. 基于智能控制技术的电力工程巡视系统设计研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(S2):1-3.

[8]李云谨, 伍永旭. 基于图像识别的智能变电站安全智能巡视方法[J]. 自动化应用, 2024, 65(S2):86-88.