

国网系统下输电线路智能化巡检技术应用与效能提升研究

李瀚

国网宁夏电力有限公司超高压公司，宁夏银川，750001；

摘要：输电线路作为电力系统能源输送的核心通道，其安全稳定运行直接关系到电网供电可靠性与社会能源保障。国网系统中，传统输电线路巡检依赖人工操作，面临作业环境复杂、巡检效率低下、隐患识别滞后等问题，难以满足大规模、高密度电网的精细化管理需求。智能化巡检技术凭借高效性、精准性、安全性等优势，成为推动输电线路巡检模式升级的关键支撑。本文围绕国网系统输电线路智能化巡检技术应用展开探讨，从智能化巡检技术体系的构建、巡检全流程的智能化重塑、巡检效能提升的实践路径三个维度，系统分析技术应用要点与效能优化方向，旨在推动国网系统输电线路巡检实现从“人工主导”向“人机协同”、从“定期巡检”向“动态监测”、从“经验判断”向“数据驱动”转变，为电网安全稳定运行提供坚实保障。

关键词：国网系统；输电线路；智能化巡检技术；效能提升；人机协同；数据驱动

DOI：10.64216/3080-1508.25.12.032

引言

在“双碳”目标和新型电力系统建设的背景下，国网系统的输电线路规模不断扩大，覆盖的区域越来越广，穿越山地、高原、荒漠等复杂地形的比例也在不断提高，传统人工巡检模式的缺点越来越明显。人工巡检不仅劳动强度大、工作风险高，还存在巡检间隔时间长、容易漏判或误判隐患等问题，没法满足电网对输电线路安全运维的高标准要求。智能化巡检技术结合了无人机、物联网、大数据、人工智能等先进技术，能够突破地理环境和人工能力的限制，实现对输电线路全方位、全天候、高精度的巡检。所以，深入研究国网系统下输电线路智能化巡检技术的应用方法和效能提升策略，对提高电网运维效率、降低安全风险、保障能源可靠供应很有意义。

1 智能化巡检技术体系的构建：夯实效能提升的技术基础

1.1 多维度巡检技术的协同整合

构建“空天地一体化”的多维度智能化巡检技术体系，整合不同技术的优势，实现对输电线路所有场景的覆盖。空中维度以无人机巡检为核心，根据线路经过的地形和巡检需求，配备多旋翼、固定翼、直升机等不同类型的无人机，搭载高清相机、红外热像仪、激光雷达等设备，完成线路导地线、绝缘子、杆塔等部件的外观缺陷检测和三维建模。地面维度依靠智能巡检机器人（比如履带式、轮式机器人），针对山区、丘陵等无人机难以起降的区域，沿着线路杆塔进行近距离巡检，重点检测杆塔基础、接地装置、线路金具等地面及低空部

件。天地协同维度结合卫星遥感技术，对大范围的输电线路走廊进行宏观监测，识别植被过高、外力施工、地质灾害等外部环境风险，形成“卫星宏观监测—无人机中观巡检—机器人微观检测”的立体巡检网络。

1.2 核心感知设备的标准化配置

统一国网系统输电线路智能化巡检核心感知设备的技术标准和配置规范，确保数据采集的一致性和兼容性。明确无人机、巡检机器人、传感器等设备的性能指标，比如无人机的续航时间、承载能力、抗风等级，红外热像仪的分辨率、测温精度，激光雷达的点云密度、测距范围等，保证设备能适应不同的气候条件和线路环境。制定设备选型和部署规范，根据线路电压等级、地形特点、风险等级来差异化配置设备。比如特高压线路优先配备高精度激光雷达无人机，重冰区线路额外安装覆冰传感器和气象监测设备。建立设备全生命周期管理机制，对感知设备的采购、校准、维护、报废进行标准化管理，确保设备长期稳定运行，为巡检数据的准确性和可靠性提供保障。

1.3 数据传输与存储的安全化保障

构建安全、高效的巡检数据传输与存储体系，保障国网系统输电线路巡检数据的完整性和保密性。在数据传输环节，采用 5G、北斗短报文等通信技术，实现无人机、巡检机器人、传感器等设备与后端平台的实时数据交互。针对偏远没有网络的区域，通过边缘计算节点对数据进行预处理和缓存，等网络恢复后再完成数据上传。

在数据安全方面，建立传输加密、访问控制、数据脱敏等安全机制，防止巡检数据在传输和共享过程中泄露或被篡改。在数据存储环节，依托国网系统云平台，构建分布式巡检数据存储中心，采用分层存储策略，把实时监测数据、历史巡检数据、设备台账数据分类存储。同时建立数据备份和灾备机制，确保数据长期安全保存和快速调用。

2 巡检全流程的智能化重塑：推动技术应用与流程深度融合

2.1 巡检计划的智能化生成

根据输电线路的运行状态和风险评估结果，实现巡检计划的智能制定和动态调整，让巡检更精准、更高效。通过大数据技术分析线路历史缺陷数据、设备运行年限、气象条件、外部环境风险等信息，构建线路风险评估模型，对每条线路的安全风险等级进行划分。比如经常出现缺陷、设备使用时间长、途经暴雨多发区的线路，风险等级就划得高一些；设备较新、运行稳定、环境简单的线路，风险等级就低一些。根据风险等级自动生成不一样的巡检计划。高风险线路缩短巡检周期、增加巡检次数，比如原本一个月巡检一次，改成半个月甚至一周巡检一次；低风险线路适当延长巡检间隔，比如从一个月改成两个月，避免“所有线路都一样频率巡检”造成的资源浪费。对接气象、地质、林业等部门的数据，当收到暴雨、台风、覆冰、山火等预警信息时，系统自动触发应急巡检计划，调度无人机、巡检机器人等设备，对可能受影响的线路区段开展针对性巡检，及时发现和处理隐患，提高巡检的及时性和精准性。

2.2 缺陷识别的自动化与精准化

利用人工智能技术实现输电线路缺陷识别的自动化和精准化，减少人工判断的主观误差，提高缺陷识别效率。以海量的历史巡检图像、视频数据为基础，训练缺陷识别算法模型。这些数据涵盖导线断股、绝缘子污秽、杆塔倾斜、金具锈蚀等常见缺陷类型，通过大量数据训练，让算法模型能准确识别不同缺陷。在巡检过程中，无人机、机器人等设备采集的图像和视频数据，实时传输到AI分析平台。算法自动处理这些数据，标记出缺陷的位置、类型和严重程度，比如指出某根杆塔的绝缘子有污秽、属于轻度缺陷，并生成初步的分析报告。建立缺陷识别结果的人工复核机制。对于AI识别

出的疑似缺陷，由专业运维人员进行二次确认，判断是不是真的有缺陷、缺陷程度如何。同时，把复核结果反馈给算法模型，不断优化模型参数，让缺陷识别准确率越来越高。

2.3 巡检成果的数字化管理

构建输电线路巡检成果数字化管理体系，实现巡检数据的高效利用和全生命周期追溯，让巡检成果更好地为运维决策服务。把巡检过程中产生的图像、视频、点云数据、缺陷报告等成果，和线路台账、设备参数、历史运维记录等信息关联起来，建立“线路—杆塔—部件”三级数字化档案。比如查看某根杆塔的巡检成果时，能同时看到这根杆塔的型号、投运时间、之前的维修记录等信息。开发巡检成果可视化平台，通过三维建模技术把线路巡检数据转化成直观的三维模型。运维人员通过平台能清晰看到线路部件的细节、缺陷的位置以及处理情况，就像“身临其境”查看线路一样，比看纸质报告更直观、更方便。建立巡检成果分析应用机制，定期对巡检数据进行统计分析，总结缺陷发生的规律和分布特征。比如发现某一区域的线路金具容易锈蚀，就可以针对性地加强防腐措施；发现某类绝缘子缺陷频发，就可以考虑更新改造这类设备。通过这样的分析应用，让巡检成果从单纯的“数据记录”变成指导运维工作的“决策依据”。

3 巡检效能提升的实践路径：实现技术价值与管理效能协同优化

3.1 人机协同巡检模式的深化应用

建立“人机协同、优势互补”的巡检作业模式，充分发挥智能化设备的技术优势与人工运维的经验优势，让两者高效配合，提升整体巡检能力。在日常巡检场景中，明确智能化设备与人工的分工。由无人机、巡检机器人等智能化设备承担大范围、高强度的基础巡检工作，比如无人机可以快速完成整条线路走廊的航拍，对导线、绝缘子、杆塔等部件进行初步缺陷检测；巡检机器人则能沿着杆塔近距离检查接地装置、基础沉降等细节问题。而人工运维团队重点负责关键环节：对智能化设备识别出的疑似缺陷进行现场复核，判断缺陷是否真实存在、严重程度如何；针对设备内部故障、隐蔽性缺陷等复杂问题，凭借专业知识和经验进行研判；对于确认的缺陷，及时开展现场处置，比如更换损坏的金具、清

理绝缘子污秽等。在应急巡检场景中,采用“无人机快速勘察+人工精准处置”的协同方式。

3.2 巡检数据的深度挖掘与应用

依托国网系统大数据平台,对输电线路巡检过程中积累的海量数据进行深度挖掘和分析,充分释放数据价值,为巡检效能提升提供有力支撑。构建线路健康状态评估模型,整合巡检过程中采集的缺陷数据(包括缺陷类型、发生位置、严重程度)、设备实时监测数据(如温度、振动、绝缘性能)以及外部环境数据(如气象条件、地形特征、周边植被情况)。通过大数据算法对这些数据进行分析,对线路整体健康水平进行动态评价,比如判断哪些区段线路健康状态良好、哪些区段存在潜在风险,并预测设备可能出现故障的时间和部位。基于这些预测结果,提前制定预防性维护计划,把过去“设备坏了再修”的事后维修模式,转变为“提前发现隐患、主动预防”的事前预防模式,减少故障停机时间。开展缺陷关联分析,运用数据挖掘技术找出缺陷类型与设备自身属性、外部环境之间的内在联系。比如分析不同型号绝缘子在高湿度、高盐雾环境下的缺陷发生率,看看哪种型号绝缘子更耐污;研究设备运行年限与缺陷发生的关系,判断设备老化规律。根据这些分析结果,优化设备选型,比如在沿海高盐雾地区优先选用耐污型绝缘子;调整运维策略,针对缺陷高发的设备型号或运行年限较长的线路,增加巡检频次、加强维护力度。建立跨区域巡检数据共享机制,打破国网系统内部不同区域电力公司之间的信息壁垒。通过大数据平台,让各个区域共享巡检数据、缺陷处理经验、技术应用成果。

3.3 运维管理体系的智能化升级

推动国网系统输电线路运维管理体系与智能化巡检技术深度融合,对管理流程进行智能化改造,让运维管理更高效、更规范。搭建一体化运维管理平台,把巡检全流程的功能整合到一起,包括巡检计划的智能制定、巡检数据的实时采集、缺陷的自动识别与分类、运维工单的智能派发、缺陷整改的进度跟踪、巡检成果数字化归档等。平台还能通过数据接口,与无人机、巡检机器人等智能化设备,以及国网系统现有的设备台账系统、物资管理系统互联互通,实现数据共享。这样一来,从巡检任务开始到成果应用,整个过程都能在线上完成,

巡检与运维工作无缝衔接,避免了因信息不互通导致的流程卡顿。建立缺陷处置闭环管理机制,确保每一个缺陷都能得到及时、妥善处理。当智能化设备识别出缺陷,经人工复核确认后,平台会自动根据缺陷类型、严重程度、所在线路区段,生成标准化的运维工单,并按照职责分工派发给对应的责任单位和运维人员。工单接收人员要在规定时间内制定整改方案,开展整改作业,并且通过平台实时更新整改进度,比如“正在采购材料”“已到达现场开始整改”等。整改完成后,责任人员需要上传整改现场照片、检测报告等验收资料,提交验收申请。验收人员通过平台审核资料,再到现场复核,验收合格后完成缺陷销号;如果验收不合格,就退回让责任人员重新整改,形成“缺陷发现—工单派发—处置整改—验收闭环”的完整管理链条,不让任何一个缺陷遗漏、拖延。引入数字化绩效考核,激发运维人员的工作积极性。把巡检工作的关键指标,如巡检覆盖率(实际巡检的线路长度占计划巡检长度的比例)、缺陷识别准确率(AI识别且人工确认的有效缺陷数占总识别缺陷数的比例)、缺陷整改及时率(在规定时间内完成整改的缺陷数占总缺陷数的比例)等,纳入运维人员的考核体系。

4 结语

国网系统下输电线路智能化巡检技术的应用与效能提升,是一项融合技术创新、流程再造与管理优化的系统性工程。在实践过程中,需始终结合国网系统输电线路的实际运维需求与技术发展趋势,动态调整技术应用策略与管理机制,不断突破技术瓶颈与流程障碍。唯有如此,才能充分发挥智能化巡检技术的价值,提升国网系统输电线路运维的效率与质量,保障新型电力系统安全稳定运行,为社会经济发展提供可靠的能源支撑。

参考文献

- [1] 马忠梅,韩宝卿,李文娟,等.智能识别技术在无人机输电线路巡检中的应用[J].集成电路应用,2022,39(08):126-127.
- [2] 李倩竹,杜永永,杨阳.无人机智能巡检在输电线路中的应用与发展研究[J].四川电力技术,2020,43(03):53-56+63.
- [3] 彭向阳,吴功平,金亮,等.架空输电线路智能机器人全自主巡检技术及应用[J].南方电网技术,2017,11(04):14-22.