

电力施工中智能化巡检技术的应用研究

郑耀

浙江浙天通信工程有限公司 浙江 宁波 315000

摘要: 电力施工中智能化巡检技术通过融合物联网、人工智能、机器人及大数据分析等前沿技术,实现了巡检过程的自动化、数据采集精准化与故障识别智能化。该技术涵盖无人机巡检、机器人巡检、智能传感与在线监测、AI图像识别及数字孪生等核心模块,显著提升巡检效率与质量,降低运维成本与安全风险,推动电力施工从传统人工巡检向智能运维模式转型,为电力系统安全稳定运行提供技术支撑。

关键词: 电力施工;智能化巡检技术;应用

引言:随着电力行业规模持续扩张与施工环境日益复杂,传统人工巡检方式因效率低、覆盖范围有限、安全风险高等问题,已难以满足现代电力施工的高标准要求。智能化巡检技术凭借物联网、人工智能、无人机及机器人等技术的深度融合,实现了设备状态实时监测、环境风险智能预警及施工过程精准管控,成为提升电力施工安全性、可靠性与经济性的关键手段。本文系统探讨其技术体系、应用场景及发展挑战,为行业智能化转型提供参考。

1 电力施工巡检技术基础理论

1.1 电力施工巡检的核心需求

(1) 设备状态监测:针对输电线路、变压器、开关柜等核心电力设备,开展运行参数监测、部件完整性核查,及时发现设备老化、破损等潜在故障,保障施工期间设备安全稳定运行。(2) 环境安全检测:重点监测施工区域温度、湿度等气象参数,排查气体泄漏、易燃易爆物质等安全隐患,规避环境因素引发的施工安全事故。(3) 施工过程合规性检查:对照电力施工标准化作业流程,核查施工方案执行、人员操作规范及安全防护措施落实情况,确保施工全过程合规有序。

1.2 传统巡检技术分析

(1) 人工巡检的流程与缺陷:流程以巡检人员按预定路线现场巡查、肉眼观测及手工记录为主。缺陷表现为效率低下,难以覆盖大范围、偏远区域;受人员经验与责任心影响大,易出现漏检、误判;高空等高危场景作业安全风险高。(2) 半自动化工具的局限性:红外测温仪、局部放电检测仪等工具虽提升了局部检测精度,但存在明显不足。需人工携带逐点检测,覆盖范围有限;数据需人工整理,易产生误差且无法实时共享;对复杂环境适应性差,检测结果易受干扰。

1.3 智能化巡检技术概述

(1) 定义与分类:指融合现代信息技术实现巡检自动化、数据处理智能化的技术体系,核心是通过智能设备替代人工完成巡检作业。主要分为物联网在线监测、无人机巡检、机器人巡检、AI诊断分析等类别。(2) 技术特点:具备实时性优势,可通过传感器实时采集传输数据,及时捕捉异常状态;采用非接触式检测,规避高危作业风险,不影响施工与设备运行;以数据驱动决策,依托大数据与AI算法挖掘数据价值,精准识别隐患并辅助决策,提升巡检智能化水平。

2 电力施工中智能化巡检关键技术分析

2.1 无人机巡检技术

(1) 无人机类型与选型:核心类型为多旋翼与固定翼。多旋翼具备垂直起降、悬停稳定优势,适配复杂地形近距离精细检测;固定翼续航长、速度快,适用于大范围线路巡查,选型需结合施工范围、地形及精度需求确定。(2) 搭载设备:标配高清摄像头捕捉外观缺陷,红外热成像仪检测温度异常,激光雷达实现三维建模与隐蔽缺陷探测,多设备协同保障巡检数据全面性。(3) 应用场景:广泛用于输电线路断股、锈蚀等缺陷排查,杆塔结构与绝缘子状态检测,以及灾后施工区域设备损坏情况快速勘察,为抢修提供数据支撑。

2.2 机器人巡检技术

(1) 地面巡检机器人:适用于变电站、隧道、电缆沟等封闭或半封闭区域,自主沿预设路线移动,实现设备参数监测与环境安全检测,弥补人工高危区域巡检短板。(2) 爬壁机器人:依托磁吸附或真空吸附技术贴合高空设备表面,对输电塔、开关柜外壁等部位精细检测,规避人工高空作业风险。(3) 自主导航与避障技术:融合激光雷达、视觉导航与GPS定位,实现路径自主规划,实时识别障碍物并调整路线,保障复杂施工环境下稳定运行^[1]。

2.3 物联网与传感器技术

(1) 无线传感器网络 (WSN) 在电力设备监测中的应用: 通过在变压器、开关柜等关键设备上部署大量传感器节点, 构建无线传感器网络, 实时采集设备的温度、振动、绝缘状态等参数, 实现设备运行状态的全天候在线监测, 为巡检提供连续、精准的基础数据。(2) 边缘计算与数据预处理: 边缘计算技术将数据处理节点部署在巡检现场附近, 对传感器采集的海量原始数据进行实时预处理, 过滤冗余信息、提取关键特征, 减少数据传输量, 降低云端处理压力, 同时提升数据处理的实时性, 为后续故障诊断提供高效数据支撑。

2.4 大数据与AI分析技术

(1) 故障诊断模型: 基于深度学习的图像识别模型可自动识别巡检图像中的设备缺陷, 如线路断股、绝缘子破损等; 振动分析模型通过挖掘设备振动数据的特征规律, 精准判断设备机械故障, 大幅提升故障识别的效率与准确率, 减少人工误判。(2) 预测性维护: 借助大数据分析技术整合设备全生命周期数据, 构建剩余寿命评估模型, 精准预测设备剩余服役年限; 通过风险预警算法识别潜在故障隐患, 提前发出预警信号, 实现从“事后维修”向“预测性维护”的转变, 降低施工安全风险。

2.55 G与数字孪生技术

(1) 5G通信在实时数据传输中的作用: 5G具备高带宽、低时延、广连接的特性, 可实现巡检过程中高清图像、视频及海量传感器数据的实时高速传输, 保障无人机、机器人与控制中心的实时联动, 为远程操控、实时决策提供稳定的通信支撑。(2) 数字孪生在施工模拟与巡检优化中的应用: 通过构建电力施工区域的数字孪生模型, 映射真实施工场景与设备状态, 可模拟不同施工工况下的巡检流程; 基于模型分析优化巡检路线与方案, 提前规避巡检盲区与风险点, 提升巡检规划的科学与合理性。

3 电力施工中智能化巡检技术的具体应用

3.1 输电线路施工巡检

(1) 无人机自动巡航与缺陷识别: 依托GNSS定位与预设航线规划技术, 无人机可实现输电线路施工区域的全自动巡航, 无需人工操控即可完成杆塔、导线、绝缘子等关键部位的全覆盖巡查。通过搭载高清摄像头与AI图像识别系统, 实时捕捉线路断股、绝缘子破损、杆塔锈蚀等缺陷, 自动标记缺陷位置与类型并上传至控制中心, 大幅提升巡检效率与缺陷检出精度, 相较人工巡检效率提升5-10倍, 漏检率降低至5%以下^[2]。(2) 导线弧垂与覆冰监测: 采用无人机搭载激光雷达或高清测距摄

像头, 精准测量施工过程中导线的弧垂参数, 判断是否符合施工规范要求, 避免因弧垂偏差影响线路安全运行。在低温雨雪天气下, 结合红外热成像技术监测导线覆冰厚度与分布, 实时传输数据至后台系统, 当覆冰量达到预警阈值时自动触发警报, 为除冰作业与施工调整提供精准数据支撑, 保障极端天气下输电线路施工安全。

3.2 变电站施工巡检

(1) 机器人巡检路径规划与表计读数: 地面巡检机器人基于激光SLAM与视觉导航技术, 自主规划最优巡检路径, 规避施工障碍物, 精准抵达各设备监测点。通过搭载工业相机与OCR识别算法, 自动读取压力表、温度计、电流表等各类表计数据, 实时对比施工标准阈值, 实现表计数据的自动化采集与异常预警, 替代人工重复性读数工作, 减少人为误差, 提升数据记录的准确性与及时性。(2) 设备温度异常检测与局部放电定位: 机器人搭载红外热成像仪, 对变压器、开关柜、母线等关键设备进行全方位温度扫描, 精准识别设备接头、绕组等部位的温度异常点, 定位精度可达0.5米以内。结合超声波局部放电检测仪, 捕捉设备局部放电信号, 通过多传感器数据融合分析实现局部放电的精准定位, 提前排查绝缘老化、接触不良等潜在故障, 保障变电站施工过程中设备的安全运行^[3]。

3.3 电缆施工巡检

(1) 分布式光纤传感技术 (DTS) 监测电缆温度: 在电缆施工过程中, 将分布式光纤传感器与电缆并行敷设, 利用光时域反射原理实现电缆全程温度的实时监测, 监测距离可达数十公里, 温度分辨率高达0.1℃。可精准捕捉电缆接头、弯曲段等关键部位的温度异常, 及时发现因施工损伤、敷设不当导致的过热隐患, 为电缆施工质量把控与安全防护提供连续、可靠的温度数据支撑。(2) 地下电缆路径探测与故障定位: 采用电磁感应探测技术与雷达探测技术相结合的智能化设备, 精准探测地下电缆的敷设路径、埋深等参数, 避免后续施工过程中对已敷设电缆造成机械损伤。当电缆出现短路、接地等故障时, 通过时域反射法 (TDR) 与频域反射法 (FDR) 融合的故障定位技术, 快速定位故障点位置, 定位误差控制在1米以内, 大幅缩短故障排查时间, 提升电缆施工故障处理效率。

3.4 施工安全监控

(1) 人员定位与行为识别: 基于UWB超宽带定位技术, 为施工人员配备定位终端, 实现施工区域内人员位置的实时精准定位, 定位精度可达10厘米, 可有效管控人员进入高危作业区域。结合计算机视觉技术, 通过现

场监控摄像头识别人员未佩戴安全帽、高空抛物、违规动火等危险行为,实时触发声光警报并通知管理人员,从源头规避人员违规操作带来的安全风险。(2)环境风险预警:在施工区域部署气体传感器、烟雾传感器、倾角传感器等智能化设备,实时监测可燃气体、有毒气体泄漏情况,以及火灾隐患、边坡坍塌风险等环境安全指标。通过物联网技术将监测数据实时传输至安全监控平台,当监测指标超出安全阈值时,自动发出多级预警,同时联动现场应急设备(如排风系统、消防喷淋设备)启动初步处置,构建全方位施工环境安全防护体系^[4]。

4 电力施工智能化巡检的挑战与对策

4.1 技术挑战

(1)复杂环境下的信号干扰与数据传输稳定性:电力施工场景多涉及山区、隧道、高空等复杂区域,易受地形遮挡、电磁干扰、极端天气等因素影响,导致5G、物联网等通信信号衰减或中断。这会造成巡检设备与控制中心间的数据传输延迟、丢失,影响实时巡检决策,尤其对无人机远程操控、机器人自主导航等依赖实时数据的环节产生关键制约。(2)多源异构数据的融合与分析难度:智能化巡检产生的数据涵盖图像、视频、传感器参数等多种类型,数据格式、维度差异大,形成多源异构数据体系。当前数据融合技术难以实现不同来源数据的高效整合,且海量数据中有效信息提取难度高,导致AI诊断模型的训练效率与精准度受限,难以充分发挥数据驱动决策的价值。

4.2 管理挑战

(1)人员技能转型与培训需求:传统巡检人员多具备现场实操经验,但缺乏智能化设备操作、数据解读、AI系统应用等专业技能。智能化巡检技术的普及,对人员技能结构提出新要求,若未及时开展系统性培训,易出现设备操作不规范、数据误判等问题,制约技术应用效果。(2)标准化体系与安全规范缺失:电力施工智能化巡检技术发展较快,行业内尚未形成统一的技术标准、设备选型规范及安全操作流程。不同厂商设备接口不兼

容、巡检数据格式不统一,增加了系统集成难度;安全规范的缺失则导致施工过程中存在设备操作风险、数据泄露隐患等问题。

4.3 应对策略

(1)加强产学研合作推动技术突破:联合高校、科研机构与企业开展技术攻关,针对复杂环境信号干扰问题,研发抗干扰通信模块与多路径数据传输备份技术;依托产学研协同创新平台,优化多源异构数据融合算法,提升数据处理效率与分析精度,突破核心技术瓶颈。(2)完善行业标准与政策支持:由行业主管部门牵头,联合企业、协会制定统一的智能化巡检技术标准、设备认证规范及安全操作流程,实现设备接口、数据格式的标准化;出台专项扶持政策,鼓励企业开展技术研发与人员培训,搭建技能培训平台,助力巡检人员完成技能转型,保障智能化巡检技术规范、有序推广。

结束语

电力施工中智能化巡检技术的应用,是技术创新与行业需求深度融合的成果,其通过自动化、智能化手段显著提升了施工效率与安全性,降低了运维成本与风险。未来,随着5G、数字孪生、AI算法等技术的持续突破,智能化巡检将向更精准、更高效、更协同的方向发展。行业需加强标准制定、技术攻关与人才培养,推动智能化巡检技术的规模化应用,为电力施工高质量发展和电网安全稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1]王明达,毕成.电力设备智能运检中的智能技术应用[J].电子技术,2025,54(02):224-225.
- [2]曾啸.智能巡检机器人在变电运维系统中的应用[J].集成电路应用,2024,41(10):114-115.
- [3]杨海亮,姚日斌,何南.智能巡检机器人的换流站安全监督研究与实践[J].信息技术,2022,(10):70-75.
- [4]党霞.基于机器人视觉导航技术的智能巡检方法分析[J].长江信息通信,2022,35(08):87-89.