

电力巡检人工成本与隐患识别问题 及无人机+红外检测智能化对策

程先寿

国能神华九江发电有限责任公司 江西九江 332504

摘要: 本文探讨传统人工电力巡检存在的成本高、隐患识别率低等问题,进而提出“无人机+红外检测”的智能化巡检对策,该方案通过红外热辐射检测与AI图像识别技术,实现电力巡检的自动化与智能化,既能大幅提升巡检效率,又能降低巡检成本,还能提高隐患识别率,同时保障作业安全;从应用案例来看,该系统不仅能显著缩短巡检周期、降低年巡检成本,还能进一步提高隐患识别率、减少漏检故障数,最终有效提升供电可靠性,因此具有较高的行业推广价值。

关键词: 电力巡检;人工成本;隐患识别;无人机;红外检测;智能化

引言

电力巡检作为保障输电线路与变电站等设备安全稳定运行的核心环节,截至2024年我国输电线路总里程已突破130万公里,其中高压及特高压线路占比超40%,巡检任务量年均增长12%~15%^[1];传统人工巡检依赖运维人员徒步或乘车作业,在山区、跨江河等复杂地形与暴雨、暴雪等恶劣天气下,不仅效率低下,还存在人身安全风险,同时人工巡检对设备隐患的识别高度依赖人员经验,易受视觉盲区、环境光照等因素影响,导致接头过热、绝缘子老化等隐性故障漏检;在此背景下,探索低成本、高精度的智能化巡检技术,成为电力行业运维升级的关键课题。

一、传统人工电力巡检的核心问题

(一) 人工巡检成本高企

人工巡检的成本体系由直接成本与间接成本共同构成,而且这两类成本均呈现出刚性增长的特征;从直接成本来看,受电网线路分散性与覆盖范围广的影响,单条高压线路需配置固定的巡检团队,人员薪酬需结合野外作业津贴、技术岗位补贴等,同时还需承担团队日常的管理投入与培训投入,另外,巡检作业需配套专用车辆、手持检测仪器及安全防护装备,此类设备的采购、折旧与日常维护均需持续投入,这就形成了稳定的设备

成本支出;间接成本的核心源于巡检效率低下带来的连锁损耗,由于人工巡检受体力、地形限制,日均巡检里程有限,导致线路停电检修窗口期被迫延长,进而增加了供电量损失,与此同时,山区、跨林区线路巡检时需协调地方管理部门完成巡检通道开辟,过程中涉及植被清理、临时通行许可等环节,会产生额外的协调与沟通成本;从行业整体运行情况看,人工巡检成本在电力运维总成本中的占比持续攀升,不断加大的成本压力挤压着运维预算空间,也制约了运维工作的规模化开展。

(二) 隐患识别率低且漏检风险大

人工巡检采用“肉眼观察+手持仪器检测”的传统模式,因存在三类技术短板导致隐患识别能力不足;第一类是视觉盲区限制,输电线路的杆塔顶部、导线弧垂下方、绝缘子串内侧等区域,受巡检人员观察角度与高度的限制难以实现全面覆盖,这类区域的绝缘子破损、导线断股、金具松动等隐患很容易被遗漏;第二类是隐性故障识别能力薄弱,接头过热、电缆绝缘层老化、避雷器性能衰退等故障没有明显外观特征,需要依赖巡检人员对设备运行状态的经验判断,而不同人员的技术水平与经验存在差异,这容易导致误判,部分早期隐性故障也会因为没及时发现而发展成显性故障^[2];第三类是环境干扰影响显著,暴雨、雾霾、沙尘等天气会降低能见度,导致肉眼观察精度下降,同时潮湿环境会干扰手持仪器的检测信号,进一步降低数据准确性;从故障后果来看,漏检的隐患容易引发线路跳闸、设备烧毁等事故,直接对电网供电可靠性造成冲击,同时还会增加后期抢修成本与停电损失,形成“漏检-故障-抢修”的恶

作者简介: 程先寿(1997.02--),男,汉族,江西上饶人,学历:大学本科,职称:助理工程师,研究方向:火力发电。

性循环，加剧运维工作的被动性。

二、无人机+红外检测的智能化巡检对策

(一) 技术原理与系统架构

人工巡检采用“肉眼观察+手持仪器检测”的传统模式，因存在三类技术短板导致隐患识别能力不足；第一类是视觉盲区限制，输电线路的杆塔顶部、导线弧垂下方、绝缘子串内侧等区域，受巡检人员观察角度与高度的限制难以实现全面覆盖，这类区域的绝缘子破损、导线断股、金具松动等隐患也很容易被遗漏；第二类是隐性故障识别能力薄弱，像接头过热、电缆绝缘层老化、避雷器性能衰退这类故障没有明显外观特征，需要依赖巡检人员对设备运行状态的经验判断，可不同人员的技术水平与经验存在差异，这就容易导致误判，部分早期隐性故障也会因为没能及时发现而发展成显性故障；第三类是环境干扰影响显著，暴雨、雾霾、沙尘等天气会降低能见度，进而导致肉眼观察精度下降，同时潮湿环境还会干扰手持仪器的检测信号，进一步降低数据准确性；从故障后果来看，漏检的隐患容易引发线路跳闸、设备烧毁等事故，直接对电网供电可靠性造成冲击，同时还会增加后期抢修成本与停电损失，最终形成“漏检-故障-抢修”的恶性循环，进一步加剧运维工作的被动性^[3]。

系统架构分为三层且各层级功能明确、协同联动，其中巡检执行层作为硬件基础，选用载重5-10kg的多旋翼无人机，这类无人机具备垂直起降、悬停稳定的优势，续航时长可达25-40分钟，能满足单架次覆盖5-8公里线路的需求，同时搭载分辨率为640×512的红外热像仪，其测温精度为±2℃，可覆盖110kV-500kV不同电压等级线路的检测需求，还配备高清可见光相机用于辅助识别设备外观缺陷；数据处理层承担核心计算任务，会部署边缘计算节点实现红外数据的实时预处理，具体包括降噪处理以消除环境热辐射干扰、温度标定以结合环境温度与距离修正测温值、特征提取以识别热异常区域轮廓与温度梯度，同时对接电力运维云平台，完成数据存储、历史数据对比分析及跨部门数据共享，确保巡检数据可追溯、可复用^[4]；决策应用层聚焦运维落地，基于AI算法输出的隐患结果，将隐患按“一般（无需紧急处理）、严重（短期内处理）、紧急（立即停机检修）”划分等级，再通过移动终端推送至运维人员，同时关联设备台账与检修资源调度系统，辅助制定检修计划，最终实现从检测到处置的无缝衔接。

(二) 巡检流程优化

相较于人工巡检采用的“分段徒步+随机检测”模

式，无人机加红外检测方案通过标准化流程设计实现了巡检效率与精度的双重提升，其具体流程分为环环相扣的四步，第一步是路径规划，这一步会依托GIS地理信息系统构建线路三维模型，再根据线路走向、杆塔位置和地形特征预设无人机飞行航线，同时明确标注杆塔顶部、绝缘子串、导线接头等关键检测点，还会设定5-10米的飞行高度与3-5米/秒的飞行速度，以此确保无人机按航线自动飞行时偏差控制在±0.5米内，从而避免因飞行偏移导致检测盲区；另外会根据风速小于5级、能见度大于1公里等天气条件设定巡检窗口期，进一步保障飞行安全与数据质量。第二步是同步检测，当无人机按预设航线飞行时，红外热像仪与可见光相机会同步启动，其中红外相机每2秒拍摄1张热像图，可见光相机每1秒拍摄1张图像，且两类数据会按时间戳关联，这能确保后续分析时可通过可见光图像定位热异常对应的具体设备部件；飞行过程中，无人机会实时将数据回传至地面控制中心，操作人员既能实时监控飞行状态与数据质量，发现异常时也能远程调整飞行参数或暂停作业。第三步是实时分析，地面控制中心的数据分析系统会对回传的红外数据进行实时处理，同时通过预设的温度阈值——像接头正常温度需≤70℃、绝缘子正常温度与环境温差需≤5℃——来识别热异常区域，再结合AI算法判断故障类型，比如接头过热、绝缘子破损，同时自动标记隐患位置且能精确到杆塔编号与部件名称；一旦检测到紧急隐患，系统就会触发声光告警，还会同步推送告警信息给运维负责人，以此确保能快速响应。第四步是闭环管理，运维人员接收到隐患报告后，会结合现场实际情况制定检修计划，明确检修所需的人员、设备以及时间，检修完成后会调度无人机对原隐患区域进行复检，采集新的红外数据并和历史数据做对比，等确认热异常特征消失后，再把检修结果与复检数据录入系统，从而完成“检测-告警-检修-复检”的闭环管理，避免出现隐患遗漏或重复检测的情况。整个巡检流程无需人工干预，单条100公里线路的巡检时长也从人工巡检的10到12天缩短至2到3天，同时这些数据还能直接用于运维档案归档，减少后续的数据整理工作量^[5]。

(三) 核心优势

“无人机+红外检测”方案的核心优势集中在降本增效、精度提升与安全保障三个维度，且这些优势都依托技术特性形成了系统性价值，在降本增效方面，该方案依靠人员替代与流程优化实现成本大幅降低，单架无人机只需配备1名操作人员和1名数据分析师就能完成巡检

任务，这可替代传统多人人工的工作量让人员成本直接减少，无人机日均巡检里程远高于人工还能减少巡检周期内的人力投入时长；同时不需要配置多辆巡检车辆，也不用开辟山区、林区的人工巡检通道，车辆折旧、燃油消耗与通道协调成本都能完全省去，综合成本降幅显著，此外高效巡检还能缩短线路停电检修窗口期，减少供电量损失间接提升电网运营收益。

在提升识别精度上，方案依靠技术特性突破人工巡检的固有局限，红外热像仪不受光照条件影响，能在夜间、雾霾、暴雨等恶劣天气下正常作业，避免环境因素导致的检测中断，同时其检测范围可覆盖杆塔顶部、导线下方等人工难以观察的区域，消除视觉盲区让漏检率大幅降低，AI算法则通过大量历史数据训练，对热异常特征的识别准确率高，还可区分不同故障类型，误判率控制在较低水平，有效发现人工难以识别的早期隐性故障，实现隐患早发现早处理；在保障作业安全方面，方案从根本上规避人工巡检的安全风险，无人机可在高空、跨江河、山区陡峭地形等危险区域作业，无需人员攀爬杆塔或徒步穿越复杂地形，避免高空坠落、野生动物袭击、滑倒摔伤等安全事故，同时操作人员在地面远程控制，与高压线路保持安全距离，无需接触带电设备，消除触电风险，从运维场景源头保障人员安全，彻底解决人工巡检的安全隐患问题。

四、应用案例分析

某省级电力公司针对辖区内总长150公里的220kV跨山区输电线路开展“无人机+红外检测”系统试点，该线路穿越多片山地与沟壑且地形复杂，部分区段还无通行道路，传统人工巡检需绕行山路且要8-10人协作，遇阴雨天气还需暂停作业，运维效率与安全性均受制约；为解决这一痛点该公司于2022年引入6架搭载640×512分辨率红外热像仪的多旋翼巡检无人机，配套部署地面控制中心与AI数据分析平台以构建完整的智能化巡检体系，之后通过3个月试运行优化航线规划与算法模型，最终形成稳定的应用方案。

试点过程中，通过对比人工巡检与智能化巡检的核心指标，验证方案实际效果，具体数据如表1所示。

在试点应用期间，该系统不仅在提升巡检效能和精准度方面表现突出，还显著增强了隐患响应速度，共识别出18起接头过热问题且最高温度达到92℃远超安全标准，同时也及时发现了9起绝缘子老化缺陷；基于系统

表1 人工巡检与无人机+红外检测巡检指标对比表

指标	人工巡检	无人机+红外检测	提升幅度
日均巡检里程(公里)	10	65	550%
年巡检成本(万元)	120	45	-62.50%
隐患识别率	78%	96.20%	18.20%
漏检故障数(年)	12	3	-75%

数据来源：某省级电力公司2022-2023年巡检运维报告

提供的隐患位置与风险等级信息，运维团队实现了高效处置，紧急隐患在24小时内完成处理，一般隐患则在72小时内修复，整个过程未引发任何线路跳闸事件，供电可靠性也较此前提升0.3个百分点；这一成果为后续推广提供了有力支撑，企业已于2023年将该系统应用于辖区内80%的山区高压线路，其形成的技术标准还被3家同类型单位采纳借鉴，展现出良好的可复制性与行业示范意义。

五、结论与展望

本文深入分析传统人工电力巡检存在的高成本、低隐患识别率问题，提出并详细阐述“无人机+红外检测”的智能化巡检对策，该方案依托自身技术原理与系统架构实现了电力巡检的自动化、智能化与高效化，不仅显著降低巡检成本，还提高了隐患识别率与巡检效率，同时保障作业安全；相关应用案例进一步验证了该方案的实际效果与推广价值，未来随着无人机技术与AI算法的持续进步，该方案有望应用于更多复杂场景，进一步推动电力巡检行业智能化发展，为电网安全稳定运行提供更有力的保障。

参考文献

- [1]任卜勇, 陈思帆. 基于“无人机+AI”的灾后配电网巡检系统设计[J]. 通信电源技术, 2025(9): 100-101.
- [2]王宁, 李杰豪, 耿思远. 国网湖北电力研发应用输电线路通道快巡技术: 无人机飞巡隐患识别率达80%[J]. 农村电工, 2025, 33(1): 3-4.
- [3]于子洪. 基于无人机双目视觉的绝缘子故障检测[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021(1): 15-16.
- [4]耿宗世. 基于自动巡检平台的电厂指针式仪表读数识别研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2022(2): 23-24.
- [5]王昊, 张宸瑞. 基于北斗定位的输电通道无人机协同巡检[J]. 电网与清洁能源, 2024, 40(12): 71-77.