

分析无人机在架空输电线路运检中的应用

田 磊

国网白银供电公司 甘肃白银 730900

摘 要: 作为电力系统能量传输的一个重要载体, 架空线路的安全稳定运行对国民经济发展与社会用电安全具有重要意义, 但传统运行检测模式存在地形适应性差, 运行效率低以及探测精度低等瓶颈问题, 有待进行检修技术升级以改善这些问题。无人机技术因其机动灵活, 覆盖面积大以及数据收集效率高等优点, 逐渐成为输电线路运行检测领域的一个重要技术改革方向, 本文就以对无人机在架空输电线路运行检测中的应用价作为论述核心, 首先探讨了其具体的应用路径, 在此基础上以某运检实际工程为例, 探讨了无人机技术在复杂环境下的检修实践应用, 案例结果表明通过无人机技术的应用, 可使输电线路巡检效率大幅提升, 为输电线路运检工作向智能化及高效化的方向发展提供了一种切实可行的解决方案, 对促进电网运营管理体系的升级具有重要的现实意义。

关键词: 无人机; 架空输电线路; 运检技术; 数据采集; 缺陷识别; 运维优化

引言

随着我国电力系统向特高压及远距离方向的快速发展, 架空输电线路的覆盖面积越来越大, 线路途经的地形也越来越复杂, 传统的人工巡检受限于地形条件, 山地环境下每人每天巡检里程仅5-8 km, 还存在坠落及触电等安全隐患, 且小缺陷识别主要依靠人工经验, 容易发生漏检与误判^[1]。近年来无人机技术的成熟与普及为解决该问题提供了一条崭新的技术途径, 它融合了航空动力学及遥感测绘等多学科交叉的优势, 突破了空间与地形的限制, 实现对输电线路的全方位无死角探测, 大大提高了运检工作的自动化与智能化水平, 本文就结合理论与实例着重围绕无人机在架空输电线路运行检修中的具体应用展开论述, 旨在为进一步优化与推广该技术提供理论借鉴与实践参考。

一、无人机在架空输电线路运检中的应用优势

无人机在输电线路运行检测中的应用优势主要体现在运行检修效率高, 安全性好以及具有良好的检测精度等方面, 在运行检修效率上, 对100公里以上的山区架空线路, 传统人工巡检模式需要投入8-10人的队伍至少耗时15-20天才能完成全线巡检, 而配备高清摄像头的多旋翼无人机可摘3-5天就能完成, 效率提高60%以

上, 并能快速覆盖江河跨山区等特殊路段, 有效缩短巡检周期, 另在安全保障方面, 无人机采用遥控方式进行非接触式巡视, 完全避免了人工登高时可能出现的高空坠落及触电等安全风险, 减少高空作业的发生率, 还可避免操作人员在复杂地形条件作业时可能遇到的自然灾害及野生动物的侵袭, 大大提高运检工作的安全性^[2]。在探测精度上, 无人机搭载1080P高清可见光摄像机及640×512红外热像仪与激光雷达, 可在距导线5-10 m处精确悬停拍摄, 图像分辨率达到0.01 m/像素, 可实现对导线断股与绝缘子破损以及金具锈蚀等微小缺陷的清晰捕捉, 如结合红外热成像技术, 对绝缘子零值与接头过热等隐性缺陷进行精确识别的准确率达到95%以上, 较传统人工巡检提高30%以上^[3]。

一些电力企业认为引入无人机可能会增加成本, 虽然前期会有一定投入, 但从远期成本角度来看无人机反而会降低成本, 无人机不需要搭建脚手架, 也不需要租赁登高设备, 所以每公里的巡检费用只有传统的人工巡检费用的30%-40%, 长期使用可以大大降低电力企业的运检费用, 同时借助无人机的高效率, 使对缺陷的早发现早处理, 降低了线路故障停运所造成的经济损失, 具有显著的经济效益。

二、无人机在架空输电线路运检中的应用路径

(一) 巡检准备及任务规划

巡检前准备与任务规划是无人机运检作业高效开展的前提, 需要综合考虑线路参数, 地形条件以及检测要

作者简介: 田磊, 1998.5, 男, 汉族, 甘肃张掖临泽, 本科, 助理工程师, 输电运维。

求等因素来建立科学的作业计划,前期利用GIS系统获取线路的杆塔坐标与导线型号,还有档距以及海拔等核心参数,利用1:5000地形图对线路进行地形地貌分析,确定线路廊道内的障碍分布以及禁飞区范围等关键信息,并结合线路运营年限与历史病害记录,确定重点监测区段^[4]。在选择无人机时要考虑线路电压等级与工作环境的不同,对500 kV及以上高压输电线路,优先选择起飞重量4~6公斤且最大负载1.2~1.5公斤的多旋翼无人机,并配备可见光及红外双传感器,保证复杂环境下的稳定与数据收集能力,在110~220 kV输电线路则可以选择若干小型的多旋翼无人机,以达到高效与低成本的平衡。任务规划阶段可利用专业航路规划软件,结合杆塔分布特征,设计定点环绕与直线巡航搭配的复合航路以保证影像采集完整,同时还要制定电池更换方案与工作分区方案,以5公里为单位划分作业区,每个作业区配备3~4节备用电池,单体电池续航时间为25~35分钟以保证作业连续性,对特殊段如河流或高速公路等位置,则要提前申请空域许可并制定相关的应急处置预案^[5]。

(二) 无人机巡检现场作业实施

现场作业实施需严格遵循安全规程与操作流程,确保数据采集的完整性与可靠性。作业前需对现场环境进行勘察,测量风速、能见度等气象参数,当风速超过6级、能见度低于500米或遇雷雨、大雾等恶劣天气时,暂停作业;对作业区域周边障碍物进行排查,清理杆塔周围50米范围内的易燃物与障碍物,设置安全警示标识,划定作业禁区。设备调试阶段需完成电池电量检查(剩余电量不低于80%)、遥控器信号测试、图传系统连接调试,确保信号传输稳定,无卡顿、延迟现象。飞行作业采用手动与自动结合模式,在杆塔附近等复杂区域采用手动操控,精准调整飞行姿态与拍摄角度,对导线接头、绝缘子串、杆塔基础等关键部位进行近距离拍摄,每个关键部位拍摄不少于3张不同角度的高清照片与1段10~15秒的视频;在导线区段采用自动飞行模式,按照预设航线匀速飞行,实现连续数据采集。作业过程中实时监控飞行参数,保持飞行高度偏差不超过 ± 0.3 米,速度偏差不超过 ± 0.5 m/s,针对红外热成像检测,控制飞行速度不超过3m/s,确保温度测量精度误差不超过 ± 1 ℃。单架次作业完成后,及时下载采集数据,对设备进行清洁、保养,检查电池损耗情况,为下一架次作业做好准备,单日作业结束后,对数据进行初步筛选,剔除模糊、无效数据。

(三) 数据处理与分析

对无人机获取的数据加以处理与分析是运检的核心,这一步骤需要把采集到的原始数据转换成有用的运行检测信息,先对数据信息进行预处理如剔除遮挡或模糊以及过度曝光等无效数据,并采用Pix4D及ContextCapture等软件对线路进行拼接处理,以厘米级精度建立线路走廊的三维模型,实现线路与周围环境空间关系的直观再现,并通过系统自动识别实现快速对各类故障如导线断股,绝缘子破损以及搭巢等常见缺陷的自动识别,可大幅降低人工审核工作量^[4]。人工审核也不能忽视,对于复杂的场景需要人工审核,如对比导线与正常截面之间的温度差,判断是否存在接触电阻过大等隐性缺陷,将系统自动识别与人工审核的结果进行汇总归档,对每个缺陷进行详细标注并及时处理这些问题,保障架空输电线路的稳定运行。

(四) 运检成果的反馈和应用

在无人机巡检结束后24小时内,通过系统识别与人工审核形成无人机输电线路巡检结果,包括线路概况与巡检范围,以及发现的缺陷统计及整改意见等核心内容,并将缺陷分级以其中A级缺陷为最高级别需48小时内完成整改,B级缺陷7日内完成整改,C级缺陷则纳入季度检修计划,并建立缺陷整改跟踪机制,通过现场检查与无人机图像对比等手段,对整改效果是否合格进行验证。同时还要根据所发现的故障建立故障发展趋势分析模型,分析故障发生规律与关键影响因素,以避免同类故障的再次发生,提前制定线路故障预防方案以减少线路失效风险,实现运行检测由事后维修到事前预防的方向转变。

三、无人机在架空输电线路运检中的应用案例分析

(一) 案例概况

以我国西南地区某一500 kV架空输电线路为例,该线路2015年投入运营其线路全长120 km,线路涉及320座杆塔,导线型号LGJ-630/45,设计档距400~600 m,线路所在地区的环境十分复杂,线路穿越山地丘陵及河流等复杂地形,其中山地占65%及跨越河流3处与高速公路2处,还有林地45平方公里,导致传统人工巡检难度极大,线路投入运营后较长时间都采用传统巡检方式,巡检周期3个月,单次巡检需15人且耗时至少10天,平均每人日巡检里程仅8公里,且在山地路段需搭建临时作业通道,存在较高的安全风险与较多成本投入。从2023年开始本线路将无人机运检技术引入线路运行检测工作体系中,并借助信息系统对无人机巡检获取的数据

进行分析,突破传统运行方式效率低及安全性差的瓶颈以提高线路运行检修质量,以下就对2024年某次无人机运检工作的具体应用展开论述。

(二) 无人机运检技术的应用

本次应用选用多旋翼无人机6架,型号为DJI M300 RTK,起飞重量4.5kg,最大载荷1.2kg,最大飞行海拔5000米,续航时间30分钟,搭载1080P高清可见光摄像头与640×512分辨率红外热成像仪,具备GPS/北斗双模定位功能,定位精度±1米。作业前通过GIS系统导入线路杆塔坐标、地形数据等基础信息,采用专业航线规划软件划分12个作业区段,每区段长度10公里,设计“直线巡航+杆塔环绕”的复合航线,设定飞行高度25米、水平距离杆塔6米,航线规划误差控制在±0.3米。现场作业分两组同步开展,每组配置3名工作人员(1名飞手、1名观察员、1名数据记录员),作业时间选择在清晨与傍晚(气象条件稳定),飞行速度控制在10m/s,重点区段降至5m/s,每基杆塔采集图像25张,其中绝缘子串、导线接头等关键部位采用多角度拍摄,确保缺陷信息完整采集。本次巡检累计飞行时间120小时,采集可见光图像18000张、红外图像3600张,数据总量达144GB,作业过程中未发生任何安全事故,气象条件均满足作业要求(风速≤4m/s,能见度≥8km)。

(三) 无人机运检成果

从该线路无人机巡检在实际应用效果来看,其在运检效率以及故障识别方面都取得了突破性进展,120公里的线路巡检仅需7天,比10天的传统人工巡检时间减少30%且参与人员减少到8人,使总体工作效率提高4倍,在缺陷识别方面由于采用智能分析与人工审核相结合的方法大幅提高了检修效率,共检测出42个缺陷并经无人机监督了缺陷的及时处理,整改合格率达100%,有效避免了故障带来的线路瘫痪风险,全年未出现因设备缺陷

导致停运事故,有效保障了线路安全稳定运行,可见无人机技术的应用大幅提高了运检效率。

结束语

将无人机技术应用于架空输电线路运行检测可以突破传统运行检测模式的技术瓶颈,促进电网运行管理系统向智能化与高效化的方向发展,为电网安全可靠运行提供强有力的帮助。今后随着人工智能技术,5G通信技术以及激光雷达等技术的不断发展及与无人机技术的融合,有望实现“无人机巡检-智能数据分析-缺陷自动预警-整改闭环管理”的全流程检修智能化,不过需要意识到电力企业引入无人机技术的同时,还要建立配套的操作流程规范及内部数据共享机制,还要加强检修人员的信息化能力建设,这样才能促进这项技术创新在实践应用中的深度融合,为我国能源建设与能源安全稳定保障提供更有力的技术支持。

参考文献

- [1] 缪金,任明,徐骏,等.电力巡线无人机非同轴光谱图像的智能配准算法研究[J].光学与光电技术,2025,23(05):32-39.
- [2] 张伟健,白伟本,宋义帆.配电线路运检中无人机巡检技术运用分析[J].电力设备管理,2025,(18):33-35.
- [3] 刘笑.基于无人机技术的输电线路巡检系统研究[J].电气技术与经济,2025,(09):281-284.
- [4] 胡晓平,彭星星,于森.高压输电线路中的运检技术策略分析[J].电力设备管理,2025,(04):50-52.
- [5] 郭嵘,鲍奕,王磊.无人机在特高压输电线路运检业务中的应用提升[J].数字技术与应用,2024,42(08):144-146.