

无人机在电网架空线路架设中的应用

胡毅

国网枣阳市供电公司 湖北 襄阳 441200

【摘要】：目前我国电网建设规模不断扩大，山区、丘陵等地形复杂的架空线路施工项目也越来越多。传统的架空线路架设施工靠人工高空作业，存在着作业风险大、施工效率低、人力成本高、环境适应性差等诸多问题。无人机技术因为机动灵活、操作方便、安全可靠等优势，开始在电网架空线路的整个架设过程中得到应用，包括前期勘测、导引绳展放、辅助金具安装、施工质量验收等各个施工环节。本文根据国网电力工程施工实际情况，分析无人机在架空线路架设中所具有的技术优势，整理出主要的应用场景，归纳出当前存在的主要技术问题，提出相应的改进措施。从工程实践结果来看，合理使用无人机技术可以减少高空作业人员投入，缩短施工工期，降低工程建设成本，提高线路架设施工的标准化和智能化水平，可以给类似的电网架空线路施工项目提供技术参考。

【关键词】：无人机；架空线路；线路架设；电网施工；智能化施工

DOI:10.12417/3083-5526.26.02.040

引言

国网系统不断推进电力施工智能化转型，无人机凭借着低空飞行、精准作业、高清测绘的技术特点，冲破传统施工模式的束缚，被普遍应用到架空线路架设施工当中。无人机作业相比传统的施工工艺，不需要人员靠近高空作业区域，可以适应复杂恶劣的施工环境，大幅度提高施工效率。为了使无人机在架空线路架设中更规范地使用，在对电力施工经验进行总结的基础上，本文从无人机应用技术入手，对无人机应用要点、存在的问题及改进方法进行系统地分析，以提高电网架空线路施工质量及作业效率为目的。

1 架空线路架设传统施工模式弊端

1.1 施工安全风险偏高

传统架空线路的施工包含杆塔搭建、导线敷设、金具安装等诸多高空作业工作，作业人员大多处在露天的高空环境中，遇天气变化时风险会增大。山区施工区地形起伏大、施工道路窄小，人员通行和设备转运困难，容易造成安全事故。另外人工展放绳索时，导线容易出现缠绕、拉扯情况，会损坏线缆材料，而且会危及作业人员的人身安全。

1.2 施工工作效率低下

复杂地形区域架空线路施工中人工清理作业通道、搬运施工材料，前期准备时间较长。导线展放工作依靠人工牵引拖拽进行，行进速度缓慢，单档线路施工时间较长。同时传统施工受天气的影响大，恶劣天气下要停工，会延长整个工程的总工期，不能达到电网快速建成投运的要求。

1.3 工程建设成本较高

传统的施工方式需要投入很多的施工人员和辅助机械设备，人工工资、设备租赁费、场地维护费等费用高。山地林区施工要砍伐植被开挖路基，会造成植被补偿、生态保护等其他费用的产生。加上人工施工的精度问题，很容易造成线缆排布

不均匀、金具安装偏移等质量问题，后期返工维修会增大工程建设成本。

1.4 施工环保性能较差

为了保证导线展放作业顺利进行，传统的施工会将线路通道内所有的树木、植被清除掉，破坏当地的自然环境。施工过程中的机械运转噪声、尾气排放及施工垃圾堆放均会对周边生态产生不良影响，不能体现国网绿色电网、低碳施工建设的要求。

2 无人机应用于架空线路架设的技术优势

2.1 提升施工安全等级

无人机采用远程操控作业方式，可以代替人工进行高空、高危的施工工作，最大程度上减少高空作业人员的数量。操作人员在地面上安全区域做飞行操纵、设备调试等工作，避开高空坠落、触电、物体打击等危险。无人机装备高清摄像装置，可对施工周边环境进行实时观测，能及时发现山体滑坡、极端大风等安全风险并加以控制。

2.2 强化复杂环境适配能力

小型多旋翼无人机体积小、机动性好，无专用起降场，可以适应山地、丘陵、水域等各种复杂的施工地形。低能见度、微风等恶劣天气条件下，无人机依然可以进行稳定的飞行作业，减少天气、地形对施工进度的影响，扩大架空线路施工作业范围。

2.3 提高施工作业精度

目前国网施工使用的工业级无人机，装有高清摄像头、高精度定位模块、智能传感设备等设备，飞行定位误差在厘米级以内。无人机在线路勘测、绳索展放、金具安装等作业过程中可以准确定位，保证线缆间距、安装角度符合施工要求，减少人工操作造成的误差，提高工程施工精细化程度。

2.4 降低综合建设成本

无人机作业可以缩减施工人员的队伍规模，削减人工成本。不需要大规模清除植被通道，减少生态赔偿、修复费用。根据相关工程数据统计可知，用无人机进行架空线路架设施工，工程总体投资可以减少四成以上，施工工期缩短一半左右，具有明显的综合经济效益优势。

3 无人机在电网架空线路架设中的核心应用场景

3.1 线路施工前期勘测

架空线路施工前期要开展线路走向勘测、地形地貌采集、障碍物排查等工作，勘测数据直接影响到施工方案是否合理。传统的手工勘测方式所覆盖的范围小，山区和密林区的勘测工作比较困难，且数据采集的精确度不高。无人机携带高清航拍设备和三维建模技术，可以迅速搜集线路走廊内地形、植被、建筑物等各方面的情况并生成高精度三维地形模型。技术人员根据模型对线路走向进行优化，避开密集植被和危险的地质地段，科学地布置施工通道和杆塔的位置。无人机还可检查线路两侧及周边有无跨越的物体，预估施工风险，给施工方案编写和安全管控措施制订赋予准确的数据支持。

3.2 智能化展放导引绳索

导引绳展放属于架空线路架设的关键工序，也是无人机应用最广的施工环节。传统的人工展放方式劳动强度大，还会造成线缆的磨损。无人机展放绳索作业流程简明，施工前按照线路电压等级、档距长度选择适合的轻质高强度导引绳，用无人机专用挂载机构固定好绳索。操作人员规划出一条飞行航线，控制无人机飞越杆塔、障碍物来完成最初的导引绳架设。初步展放完成后，用牵引机械设备逐级替换粗直径牵引绳，最后完成导线架设。部分优化过的无人机设备可以直通放线滑车，节省了绳索铺设的环节，削减了人力操作。此种作业方式不需要开辟大面积的施工通道，植被破坏程度很低，适合复杂地形的长距离线路施工。

3.3 辅助高空金具安装作业

架空线路施工后期要进行间隔棒、挂线金具、防护器具等部件的安装工作，传统作业主要依靠人员在杆塔上进行高空作业，工序繁杂、危险性大。采用机械夹持、锁定结构的专用作业无人机，可以做标准金具安装工作。无人机用于配电房防风偏绝缘间隔棒安装，带电作业，不需要线路停电，单档作业时间缩短到十五分钟，作业人员减少到两人。部分大型作业无人机具有特殊的机体结构，可以稳稳地停靠在导线上，抵御导线的舞动干扰，精确地完成金具的夹持、固定、锁紧等工作，大大简化了高空作业过程。

3.4 施工过程动态监测

架空线路施工工序较多，现场人员、设备、线缆分布较为零散，人工巡检很难达到全方位控制的效果。无人机装有高清

可见光摄像头和红外测温设备，可以对施工现场实施实时巡查，即时捕捉杆塔搭建、导线牵拉、金具安置这些施工画面，并把画面传送到地面监控平台。管理人员借助影像数据去考察施工工艺的合规情况，并且马上纠正那些不符合规定的操作。同时无人机还可以监测到线缆的张力、设备运行的温度等重要参数，提前发现线缆有无磨损、设备有无过热等危险情况，促使施工过程有序开展。

3.5 工程竣工质量验收

线路架设施工完毕后进行竣工验收，检查杆塔垂直度、线缆间距、金具安装质量、通道障碍物等。传统人工巡查的覆盖面小，对于高空、隐蔽的地方很难做到彻底的检查。无人机依靠灵活的飞行特点，在靠近线路的位置执行全面的、精细的巡检工作，获取线路外表状况、金具安装情况、杆塔结构等内容的清晰图像，并且利用智能识别手段来与施工标准进行对比，从而迅速找出螺栓松动，金具摆动，线缆开裂这些质量问题。无人机航测技术可以准确测量线路高程、档距、交叉跨越距离，产生验收检测报告，提高竣工验收工作客观性、高效性。

4 优化无人机架空线路施工应用的改进措施

4.1 升级改良施工专用无人机设备

根据国网各电压等级线路施工的要求进行电力专用无人机的研制。优化机体结构，使用轻量化高强度材质来提高设备抗风、抗低温、防雨防尘的能力，并且增强复杂环境适应性。升级智能传感模块，用高精度定位、激光避障、红外检测装置提高飞行稳定性、作业精度。优化挂载机构，设计出通用型可拆卸作业模块，适应绳索展放、金具安装、物料吊运等各方面的作业需求，丰富设备的功能。另外改进电池储能技术，延长设备的续航时间，适应长距离线路施工的要求。

4.2 强化专业作业人员技能培训

创建分层分级的人才培育体系，对基层操作人员展开飞行操控，施工工艺，安全规范等基础训练，考核合格后方可颁发资质证书。按照实际情况定期开展实际操作演习，即模拟大风、寒冷天气等情况进行操作演习。组建无人机智能化施工专业研发团队，针对复杂地形开展施工技术攻坚工作。健全人员的考核激励机制，把操作规范和施工质量纳入考核指标当中来提高人员的专业水平以及责任感。

4.3 推进施工流程智能化升级

依靠大数据、人工智能技术来创建无人机智能施工管控平台。整合航线规划、实时监控、数据存储、缺陷分析等各方面的功能，实现无人机自主起降、航线自动生成、障碍物自动避开，降低人工操作的干涉程度。施工期间自动采集作业数据并保存在台账中，有利于以后的核查工作。结合三维建模技术对施工现场进行数字化管理，及时掌握施工进度、作业质量、安全管理等各方面的情况，使架空线路施工达到智能化、数字化

的目的。

4.4 健全行业施工管理规范标准

根据国网施工管理要求,制定完善的无人机架空线路施工专项标准,明确设备选型、作业流程、安全控制、质量检验等方面的标准,统一行业施工技术标准。对施工现场的管理进行改善,确定好作业人员的职责,规范飞行空域申请、设备调试、现场操作程序,规避违规操作的风险。建立完善的设备全生命周期管理体系,做好设备维修保养工作,包括设备的定期大修、技术鉴定、技术检测等,并且及时更换老化的零件,保证设备处于良好的工作状态。完善应急预案,对飞行失控、设备故障等应急事件进行相应的处理措施准备,提高施工安全。

5 工程应用实例分析

5.1 工程概况

国网某110千伏架空输电线路新建工程,线路总长8.6千米,沿线山地、林地、河流分布广,地形起伏大,沿线植被繁茂。工程中有杆塔42基,最大档距380米,传统人工施工要砍伐大量的植被,高空作业风险大,施工时间大约为120天。为了改善施工方式,本工程所有施工工序均使用无人机进行勘测、放线、辅助安装及质量验收工作。

5.2 施工应用方案

施工前期采用无人机进行地形测量,形成三维地形模型,调整路线走向,避开密集林区和不良地质区。利用多旋翼无人机布设导引绳,选用水阻系数低的、轻质高强度的纤维绳,对跨越河流、山林等地形复杂的区域的绳索实施铺设作业。针对

线路间隔棒、挂线金具使用专用作业无人机进行辅助安装,全过程不进行高空的人工攀爬作业。施工期间用无人机动态巡查施工现场,控制施工工艺。竣工后利用无人机对全线进行全面的检查,查找施工存在的问题。

5.3 应用效果分析

本工程采用无人机施工技术之后,不再大面积砍伐植被,植被破坏面积减少80%以上,生态保护效果好。施工人员由原来的58人减少为现在的30人,节约了人工费。工程实际施工期62天,比原计划缩短了48%。施工过程没有发生任何安全事故,线缆排布、金具安装质量全部达到国网施工标准,竣工验收缺陷排查准确率达到100%,综合施工效益明显提高。

结论

无人机技术适配电网架空线路架设施工需求,可以有效地克服传统施工模式的不足,在前期勘察、绳索展放、金具安装、过程监测、竣工验收等方面具有明显的优势。此技术可以改善施工安全状况,缩减工程工期,缩减建设本钱,减轻生态环境损害,契合新型电力系统智能化、绿色化的趋向。目前无人机电力施工还存在着环境适应性不够、专业人员匮乏、智能化水平不高、标准化体系不健全等状况。此后电力行业应当不断改进专用无人机设备,加强人员职业技能培训,创建完善行业的管理标准,促使施工流程实现智能革新。随着技术的不断更新,无人机会在超高压线路、复杂的地形地貌电网工程等更广泛的领域得到更加广泛的应用,从而不断改善电网架空线路施工的智能化程度,给电网架结构的高质量创建给予有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 王环环,张乐. 深化无人机应用 高效推进供电所智能化发展 [J]. 农电管理, 2026, (02): 48-49.
- [2] 徐正达,杨庆鹏,兰成松. 无人机在电网架空线路架设中的应用 [J]. 黑龙江科学, 2024, 15 (22): 148-150.
- [3] 曹增. 电力线路利用无人机测量技术跨越天然林的技术研究 [J]. 中国高新科技, 2023, (24): 143-145. DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2023.24.45.
- [4] 黎中文. 无人机在电力行业中的应用 [J]. 广西电业, 2020, (07): 17-18.
- [5] 吴玺,曹瑞超,哈峥,等. 无人机在输变电路巡视和应急抢险中的应用研究 [J]. 河北农机, 2019, (10): 76. DOI:10.15989/j.cnki.hbnjzss.2019.10.053.