

# 无人机在水电站高压送出线路智能监理的应用

龚俊

湖南省水利电力工程建设监理咨询有限公司, 中国·湖南 长沙 410008

**摘要:** 鉴于水电站高压送出线路存在地形复杂、电磁干扰强烈, 传统人工监理有着效率低下、盲区众多、安全性差等诸多痛点, 智能监理转型的需求十分迫切。本文把无人机智能化监理技术当作研究的对象, 系统地对飞行导航、电力监理规范、计算机视觉这三大核心的理论基础予以阐述, 从自动化巡检、抗干扰飞行控制、深度学习缺陷识别、5G 边缘数据处理、数据闭环管理这五个维度, 构建适配于水电站场景的智能监理的优化体系, 并且通过实际的工程案例来验证技术的可行性与落地的效果。研究的成果能够有效解决山区水电站线路监理实际操作的难题, 提升监理的精准性与时效性, 为电力线路智能化监理体系的建设以及电网安全稳定的运行提供实践的参考与技术的支撑。

**关键词:** 水电站; 高压送出线路; 无人机; 智能监理; 深度学习; 边缘计算

## Application of UAV-Based Intelligent Supervision for High-Voltage Transmission Lines in Hydropower Stations

Gong Jun

Hunan Provincial Water Conservancy & Electric Power Engineering Construction Supervision & Consulting Co., Ltd., China  
Hunan Changsha 410008

**Abstract:** Given the complex terrain and strong electromagnetic interference associated with high-voltage transmission lines in hydropower stations, traditional manual supervision methods suffer from inefficiency, numerous blind spots, and poor safety performance, making the transition to intelligent supervision imperative. This study focuses on UAV-based intelligent supervision technology, systematically elaborating three core theoretical foundations: flight navigation, power supervision standards, and computer vision. It establishes an optimized supervision framework tailored for hydropower station scenarios across five dimensions—automated inspection, interference-resistant flight control, deep learning-based defect identification, 5G edge data processing, and closed-loop data management—and validates the technology's feasibility through practical engineering cases. The research findings effectively address operational challenges in line supervision at mountainous hydropower stations, enhance supervision accuracy and timeliness, and provide practical references and technical support for developing intelligent supervision systems and ensuring grid stability.

**Keywords:** Hydropower station; High-voltage transmission line; Drone; Intelligent supervision; Deep learning; Edge computing

## 0 引言

水电站高压送出线路作为电能外送的关键枢纽, 大多布设于山地河谷, 工况环境颇为复杂, 传统人工监理存在安全风险较高、巡检盲区较大、作业效率较低等问题。为推进电力运维智能化的升级, 本文依托智能传感技术、机器视觉技术与移动通信技术, 梳理相关的理论基础, 提出多维度的应用优化策略, 结合工程实例来验证成效, 为线路智能监理的落地提供参考。

## 1 无人机水电站高压线路智能监理的理论基础

### 1.1 无人机飞行控制与导航技术原理

适配于高压线路监理工作的多旋翼无人机, 是以闭环

姿态控制系统当作核心的, 依靠多传感器融合技术来达成全工况稳定飞行以及精准作业定位。系统借助陀螺仪、加速度计、气压计等传感元件, 实时且高频地采集机身姿态、高度、运动参数, 经过内嵌的 PID 动态调节算法动态地修正旋翼转速, 以此抵消气流以及侧风的扰动, 从而保障悬停定点拍摄、线性巡航等监理作业的姿态。在导航采用 RTK 实时动态差分定位与惯性导航融合的模式, 来弥补卫星定位在山林遮挡、高压电磁干扰情况下的信号缺失状况, 厘米级的定位精度能够满足线路金具、绝缘子等细小构件近距离拍摄的需求, 为全域高精度监理提供硬件支撑。

### 1.2 高压输电线路智能巡检与监理标准

水电站高压线路智能监理严格地依照电力行业标准

化体系,以国家以及行业专项导则作为依据,适配电站线路运维特殊性来规范作业的全流程。核心依据包含 DL/T 1482—2015《架空输电线路无人机巡检作业技术导则》、DL/T 1813—2018《输电线路无人机红外巡检技术规范》等标准,明确无人机作业空域安全距离、气象阈值、图像采集参数以及缺陷判定等级。结合水电站送出线路并网运行、电磁强度高、通道环境复杂特点,细化施工质量监督、运行隐患排查、设备状态核验这三类作业标准,统一导线损伤、绝缘子污秽、金具锈蚀、通道树障等常见缺陷判定的依据,消除人工监理主观偏差,实现智能化作业标准化、规范化的落地。

### 1.3 计算机视觉与图像识别基础理论

计算机所具备的视觉技术是无人机达成无人化智能监理的核心感知基础所在,凭借图像采集、预处理、特征提取、智能研判完整的链路,来完成对高压线路设备状态所进行的自动化分析。无人机搭载着可见光、红外双光相机去采集线路的实景数据,依靠图像滤波、畸变校正、对比度自适应增强算法,消除山林光影、水雾雾霾、高压电场光影所产生的干扰,优化图像有效信息的维度。在此基础上,依靠卷积神经网络算法来完成深层特征的提取,通过海量水电站高压线路缺陷样本来训练模型,自动区分设备本体和山体、植被等背景所造成的干扰,精准捕捉导线断股、绝缘子破损、设备过热等具有隐蔽性的缺陷,实现从图像采集到缺陷智能判定的自动化闭环,为监理工作的智能化升级提供算法理论支撑。

## 2 无人机智能监理在水电站高压线路的应用优化策略

### 2.1 基于无人机自动巡检的高效监理作业

无人机开展自动化巡检这一行为,是提升高压线路监理效率核心手段。借助航线规划算法以及自主飞行控制系统,从而摆脱人工操控所存在的局限,达成线路全覆盖、标准化、常态化的监理工作。对线路杆塔坐标、走线轨迹、地形高程数据进行整合,以此构建三维数字化的航线模型。针对基础巡检、精细化验收、隐患复查等相关场景,设置存在差异的飞行高度、速度、拍摄倍率以及定点采集点位,以此保障流程实现标准化。模式能够规避人工巡检受到地形、视野、体能等限制的问题,实现对偏远山区、高空危险区段进行无死角的监理,缩短巡检的周期,提升全面性以及规范性。

在西南山区的一座大型水电站,其 220kV 高压送出线路的总长度为 48.6 公里,其中包含 126 基杆塔,线路贯穿峡谷以及山林地带。传统的人工巡检需要 6 人花费 3~4 天

的时间,山顶、跨河谷的杆塔存在大量的盲区。该电站引入无人机全自动巡检监理模式,在前期进行三维建模,录入全线杆塔以及线路的坐标,划分出 6 个独立的巡检单元,预设专属的自动化航线,无人机自主完成起飞、巡航、定点拍摄、返航的整个流程。在日常常态化监理工作中,每日能够完成全线的全覆盖。在竣工验收阶段,启用精细化定点拍摄,对导线接头、绝缘子串、杆塔金具等关键部位进行多角度的高清采集。应用该模式之后,巡检时长被压缩至 4 小时以内,消除地形盲区,每年节省大量的人工成本,监理的标准化程度以及效率得到显著提升。

### 2.2 适应复杂环境与抗电磁干扰的飞行控制

在水电站高压送出线路的周边,是存在着像强电磁场辐射、山谷乱流、瞬时阵风等复杂干扰因素的。高压设备交变电磁场会对无人机导航、通信、传感模块产生干扰,进而引发定位漂移、信号中断、机身抖动的情况;山区多变气流则会使得飞行姿态出现失衡、拍摄画面变得模糊。针对上述场景所存在的痛点,需要对无人机飞行控制系统开展算法与硬件的双重优化工作:借助动态姿态自适应调节算法,实时去感知外界气流扰动的参数,动态地对旋翼动力输出作出调整,提升抵抗风力稳定飞行的能力;与此同时,对核心电子模块实施电磁屏蔽防护,优化信号滤波算法,过滤掉高压电磁杂波的干扰,搭配上智能故障预判机制,达成异常状态下的自主避险,保障复杂工况下飞行的安全以及作业的稳定。

一个梯级水电站 110kV 送出线路处在山谷风口的位置,常年风力比较大,并且紧邻发电机组与高压配电设备,电磁干扰的强度较高。早期人工操控无人机进行巡检的时候,频繁出现机身晃动、定位偏移、画面模糊等问题,严重影响到监理的质量。该项目对巡检无人机进行专项的改造升级:在硬件,为导航、通信核心模块加装金属屏蔽防护层;在算法,搭载自适应抗风飞行控制程序,能够实时采集周边风速、风向的数据并且动态修正飞行姿态。改造之后,无人机能够在 6 级阵风的环境下稳定地开展作业,有效规避由高压电磁干扰所引发的信号漂移问题,线路近距离精细化拍摄作业的成功率从 62% 提升到 98%,彻底解决复杂山区电磁与气象环境下飞行作业的难题。

### 2.3 融合深度学习的线路缺陷精准识别

传统的无人机监理仅仅是完成图像的采集工作,缺陷的甄别是依赖人工逐帧地进行筛查,存在工作量大、漏检率高、判别标准不统一等问题。基于深度学习的智能识别技术能够实现高压线路缺陷自动化、高精度地进行研判,

其核心是依托卷积神经网络来构建专属的检测模型,通过海量的水电站线路实景样本去完成模型的训练、迭代以及优化。模型能够自主地提取绝缘子破损、导线断股、金具锈蚀、设备发热、异物悬挂等典型的缺陷特征,摒弃人工肉眼判读所存在的主观偏差,同时针对山区复杂背景、光照不均、雾霾阴雨等干扰场景去优化特征提取的能力,大幅度地提升隐蔽性、小目标缺陷识别的精度,实现图像采集与缺陷研判同步地进行智能化处理。

一座位于西北高原水电站 330kV 高压送出线路,线路沿线温差大、风沙天气频发,绝缘子污秽、导线轻微开裂、金具锈蚀等隐性缺陷高发,传统的人工图像筛查的漏检率长时间超过 15%。此电站引入深度学习的智能缺陷识别系统,总计采集上万张高原线路的实际场景图像来构建训练用的数据集,着重对风沙、强光、低温环境之下的缺陷识别算法模型加以优化。无人机巡检所产生的图像数据能够自动导入到系统之中,模型自行完成缺陷的定位、分类以及等级判定工作,精准地识别出人工难以发现的导线细微断股、绝缘子表面隐性裂纹等缺陷。系统投入使用之后,线路缺陷整体的漏检率降低到 2% 以下,识别的准确率提升到 96% 以上,完全改变传统人工筛查效率低下、误差较大的弊端,达成缺陷研判的智能化与精准化。

## 2.4 5G 与边缘计算驱动的实时数据传输与处理

传统无人机巡检多采用作业后离线导出数据、事后分析研判的模式,存在着数据传输的时延比较高、处理存在滞后的问题,没有办法满足施工现场进行实时监理、对隐患进行即时处置的管控需求。5G 技术具备大带宽、低时延、高可靠的特性,能够支撑 4K 高清影像、红外测温等大容量的数据进行实时回传,和边缘计算技术相结合,能够把数据处理、图像分析、缺陷研判等相关算力下沉到作业现场的终端那里,不需要依赖云端进行远程处理。架构能够在就近的地方完成数据的预处理、智能识别以及冗余信息的剔除工作,大幅度降低数据传输的压力以及运算的时延,实现无人机作业、数据传输、智能分析、隐患告警的同步推进动作,推动监理模式从在事后进行核查向在事中进行实时管控的转型。

一个在华东地区的抽水蓄能水电站新建的 220kV 送出线路工程,在施工阶段需要全程进行智能化的监理,传统的离线数据处理模式很难及时发现施工工艺不规范、设备安装存在偏差等问题。该工程搭建 5G 加上边缘计算的智能监理体系,无人机所采集的高清施工影像、设备状态数据通过 5G 网络实时回传至现场的边缘计算终端,终端依

靠内置的 AI 算法实时完成图像分析以及质量核查。针对导线铺设弧度不达标、金具安装错位、绝缘子固定不规范等施工问题,系统能够即时发出告警信息并且推送到现场监理终端。技术应用之后,施工缺陷处置的响应时长从 24 小时缩短到秒级,有效地规避施工隐患遗留的问题,全面提升新建线路施工全过程监管管控的时效性。

## 2.5 数据驱动的智能监理全流程闭环管理

智能监理闭环管理把无人机巡检大数据当作核心内容,对飞行日志、图像数据、缺陷记录、整改信息以及验收资料等全维度的数据予以整合,去搭建一个一体化的智能管控平台,从而突破传统监理存在的数据分散、流程割裂、追溯困难局限。通过将数据进行标准化的录入、分类归档以及智能分析,来构建水电站高压线路设备的电子档案,达成线路状态的动态监测以及趋势研判。平台按照缺陷严重程度自动地进行分级分类,智能地生成整改工单并且划分责任,全程跟踪进度,在整改完成之后由无人机复查来核验效果,最终完成资料的归档,形成巡检、研判、派单、整改、复查、归档的全业务闭环,实现监理工作的数字化、规范化、可追溯化管理。

一个西南大型水电站在运维阶段依靠大数据平台构建智能监理闭环管理体系,把全线无人机巡检数据、设备缺陷数据、历年运维记录统一整合并且录入平台数据库。平台针对日常巡检发现的树障隐患、设备老化、构件破损等问题自动分级,重大隐患即时预警并且推送整改工单,一般隐患纳入常态化整改清单。运维班组整改完成之后,调度无人机开展专项复查巡检,比对前后设备状态数据以核验成效,所有作业流程以及数据资料自动归档留存。该闭环管理模式落地之后,线路隐患整改完成率提升到 100%,复发率大幅降低,彻底解决传统监理流程松散、管控滞后、责任追溯不清问题,实现高压线路监理工作的精细化、常态化、长效化管控。

## 3 结语

本文结合水电站高压送出线路复杂的运维场景,系统地对无人机智能监理的核心理论体系进行梳理工作,从巡检作业、飞行控制、缺陷识别、数据处理以及闭环管理这五个提出具有针对性的优化策略,并且依托实际的工程案例来验证技术方案的实用性。这项研究有效地弥补传统人工监理所存在的短板,显著地提升高压线路监理的安全性以及智能化水平。后续可以结合多机协同、数字孪生技术持续地进行优化工作,为水电站电力线路智能运维体系的建设提供技术借鉴。

# 参考文献:

[1] 胡航, 闵四海, 王利新等. 智能巡检无人机在水电站巡检中的应用探索 [J]. 大电机技术, 2026(S1): 95-99.

[2] 林志友, 毛清华, 田聪. 无人机全自主巡检系统在水电站的应用探讨[J]. 人民黄河, 2021, 43 (S1): 194-195+197.

[3] 严良平, 芦建刚, 崔博涛等. 基于无人机巡查的电站征地红线智能分析系统[J]. 工业仪表与自动化装置, 2022(1): 106-111.

作者简介: 龚俊 (1983-), 男, 汉族, 湖南省双峰县, 研究生, 中级工程师, 研究方向: 水利水电工程建设管理。