

# Research on Accuracy Optimization of Unmanned Aerial Vehicle Aerial Surveying Technology in Topographic Mapping of Water Conservancy Projects

Lijin Yang

Xinjiang Jianghai Surveying and Mapping Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

Unmanned aerial vehicle (UAV) aerial surveying technology, with its advantages of high efficiency, low cost, and rapid data acquisition, has been widely applied in the topographic surveying of water conservancy projects, becoming an important means of precise surveying and dynamic monitoring. In view of the complex terrain and variable hydrological elements of water conservancy projects, this paper deeply explores the main factors affecting the accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) aerial surveying, and systematically analyzes the influence mechanisms of various links such as flight platforms, route planning, sensor performance, and image calculation on the accuracy of surveying and mapping results. By optimizing flight parameter configuration, strengthening the layout of ground control points, and integrating aerial triangulation and point cloud filtering algorithms, a precision improvement technology system suitable for the characteristics of water conservancy projects is constructed, with the aim of enhancing the reliability and applicability of data results, and providing high-precision geographic spatial support for engineering planning and design, construction monitoring, and operation management.

## Keywords

Unmanned Aerial Vehicle aerial surveying Water conservancy projects; Topographic mapping Precision control Data fusion

## 无人机航测技术在水利工程地形测绘中的精度优化研究

杨立晋

新疆疆海测绘科技有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

## 摘要

无人机航测技术以其高效、低成本、获取数据迅速的优势,已广泛应用于水利工程地形测绘工作中,成为精细化测绘与动态监测的重要手段。针对水利工程地形复杂、水文要素多变的特点,本文深入探讨影响无人机航测精度的主要因素,系统分析从飞行平台、航线规划、传感器性能到影像解算等环节对测绘成果精度的影响机制。通过优化飞行参数配置、加强地面控制点布设、融合空三加密与点云滤波算法等路径,构建一套适配水利工程特性的精度提升技术体系,以期提升数据成果的可靠性与适用性,为工程规划设计、施工监测及运行管理提供高精度地理空间支撑。

## 关键词

无人机航测; 水利工程; 地形测绘; 精度控制; 数据融合

## 1 引言

水利工程作为保障区域水资源调配、防洪安全及生态修复的基础性工程,其前期地形测绘工作对于整体规划设计具有决定性意义。传统测绘方式在面对大范围、高起伏、环境复杂的水利项目时常受到作业效率低、数据更新滞后等限制。随着遥感与无人机技术的发展,无人机航测作为新兴的地理信息获取手段,以其高频率、高分辨率及快速部署等优势,正逐步替代传统方法成为地形测绘的重要工具。在水利工程中,无人机航测不仅能够提供高质量的数字高程模型与

影像图,还能支持动态监测与变化检测。如何在复杂地形和多变环境下进一步提升其测绘精度,是当前技术应用与研究的核心问题,亟待通过系统优化与技术融合进行深入探讨。

## 2 无人机航测在水利工程中的应用基础

### 2.1 无人机航测技术的发展现状与技术构成

无人机航测技术依托遥感、GNSS、惯性导航和数字图像处理等多项关键技术,通过搭载高分辨率相机、激光雷达或多光谱传感器,在低空飞行中实现对地表地形和目标的快速获取。近年小型多旋翼平台普及率迅速提升,具备起降灵活、操控简单的优势,广泛应用于中小型测区。固定翼无人机则适用于覆盖面积较大的工程区域,航时长、航速快成为其主要特点。系统构成通常包括飞行平台、任务载荷、地面

【作者简介】杨立晋(1984-),男,中国新疆奇台人,本科,高级工程师,从事水利工程测量研究。

控制站和后处理软件平台,能够实现航线自动规划、图像获取、数据处理及三维重建等全流程作业,为多场景下的高精度测绘提供强大支持。

## 2.2 水利工程地形测绘的需求特征与精度要求

水利工程涉及河道、堤坝、库区、引水渠等复杂地形区域,测绘内容涵盖高程、坡度、断面、水体边界等多类型地理信息,需满足工程设计和施工所需的高精度空间数据需求。测区常分布于地形破碎、水流强劲、植被覆盖密集的区域,传统测量方法作业难度大、周期长。对于平面位置精度通常要求达到0.1米以内,高程精度需控制在0.15米以内,部分关键区域如坝体变形监测甚至需达到厘米级别。测绘成果还需满足时效性与动态更新要求,以便及时反映施工进度及地形变化,保障设计参数与现场实际高度一致,从而支撑水利工程的精准实施与风险控制。

## 3 影响无人机航测精度的关键因素

### 3.1 飞行平台性能参数对测量精度的影响机制

无人机飞行平台性能直接决定了航测作业的稳定性和数据精度。飞行速度过快将导致图像拖影或模糊,影响重建模型的精细程度,推荐速度一般控制在6至8米每秒之间以保证影像清晰度。飞行高度决定了地面分辨率,常规地形测绘中多采用60至120米高度飞行以取得3至5厘米的地面分辨率。平台的抗风性和姿态控制能力对于保持影像姿态稳定具有关键意义,姿态误差超过2度将造成拼接误差累积。电池续航能力与载重能力决定了任务连续性与传感器搭载能力,长航时平台可支持复杂地形的多架次飞行作业,提升整体测区覆盖的连续性与完整性。

### 3.2 摄像头分辨率与姿态稳定性的协同作用

影像分辨率是影响测图精度的关键因素之一,高分辨率传感器可获取更细致的地面纹理信息,常用参数包括1200万像素至2400万像素,地面像元分辨率控制在3厘米以内。姿态稳定性关系到图像倾斜角度与几何畸变,直接影响空三解算精度。三轴增稳云台能有效保持摄像头垂直于地面拍摄,减少俯仰滚转影响,从而维持影像一致性。若飞行中无人机发生突发姿态偏移,易引起影像边缘模糊或失真,空三重建过程中的匹配误差将显著上升。高分辨率相机搭配稳定云台控制系统可在一定程度上抵消外部扰动对影像质量的影响,提升后续建模精度与数据可用性。

## 4 数据处理环节的精度控制策略

### 4.1 影像控制点布设与地面实测数据的融合方法

为提升影像地理配准精度,需在测区内合理布设足够数量的地面控制点,点位选择应覆盖测区边缘与关键变化区域,避免集中分布导致误差集中。控制点坐标应通过RTK或全站仪测量获取,精度控制在厘米级以下,优于影像像素级精度要求。在空三加密与模型配准阶段引入地面控制点数据作为约束条件,可有效降低空中三角测量误差,提升影像

定位一致性。此外,实测断面、水准点等数据的引入可作为后验校核依据,验证DEM、DOM成果的高程与位置精度,形成外业与内业数据融合校验机制。融合过程需考虑坐标系转换与误差权重配置,确保不同数据源之间的空间一致性,最终实现水利工程所需的高精度测绘成果。

### 4.2 空三加密技术在高程与平面精度提升中的作用

空三加密通过构建高密度的匹配点网络,实现从初始图像序列中推导出相机位置、姿态及地物三维坐标信息,是控制影像精度的核心环节。采用SIFT或SURF特征点提取算法,可在纹理丰富区域获取稳定的匹配点对,在结构光滑区域需引入辅助特征增强手段。加密成果精度受制于影像重叠率、控制点数量、像控点分布合理性等多因素影响,若匹配点密度达到每平方米12点以上,可将平面误差控制在6厘米以内,高程误差压缩至10厘米以下。加密过程中通过迭代束平差计算,优化各像控点残差分布,有效提升模型整体稳定性与测图精度,保障DEM与DOM产品的工程应用质量。

### 4.3 点云数据滤波与DEM生成过程的误差校正技术

在无人机激光雷达或影像建模获得的原始点云中,通常包含大量植被、建筑、噪声等非地面点,需采用滤波算法提取地面点以生成数字高程模型。常用滤波算法包括布尔值滤波、渐进形态滤波与CSF算法,不同算法在复杂地形条件下表现差异明显。在山地地形中,若未合理设定坡度阈值,将导致30%以上的地面点被误识为非地面点,造成DEM局部起伏严重失真。滤波后地面点平均密度需保持在每平方米8点以上,DEM插值精度方能控制在0.1米以内。为进一步提升精度,可引入控制点进行高程校正,建立误差残差面,进行二次拟合调整,使得生成的DEM产品在整体与局部层面均达到工程测绘应用要求。

## 5 水利工程典型场景下的精度优化路径

### 5.1 坝体区域高程测绘中精度优化的技术要点

坝体区域的高程变化对工程安全影响显著,其测绘需达到厘米级精度以满足沉降、变形监测的技术要求。采用垂直航拍与斜摄影相结合的方式可以提升对坝体立面与顶部的完整采集能力,保证模型边界连续。为防止光照角度变化对纹理识别造成干扰,可设定低太阳高度角时段执行飞行任务。布设高密度控制点,在坝顶、坡脚、坝体中段设点间距控制在30米以内,以增强模型稳定性。在建模阶段,采用密集匹配算法构建高分辨率点云数据,提取轮廓线与断面线数据用于三维分析。结合激光雷达点云与影像数据融合可在坝体存在反光、阴影时有效补偿高程误差,实现边坡、坝顶与基础部位连续精确建模,为大坝变形监控与施工校核提供高可靠性空间数据。

### 5.2 渠道与堤防沿线的线性地形精测模式构建

渠道与堤防等线性水利设施在测绘中具有长度大、宽

度小、边界清晰的特点,航测任务应围绕提高线性精度与边界还原度进行优化。通过设置与渠道走向一致的飞行路径,结合高重叠率飞行模式,可确保连续图像序列覆盖全线并保持影像几何一致性。为避免边缘数据失真,在渠道两侧及堤顶设定纵向与横向控制点网格布设方案,点距控制在20米内。数据处理阶段利用断面采样与等高线提取技术,构建线性结构的高精度模型,通过断面一致性校核手段判别重建质量。在窄长区域,可选用多旋翼无人机进行缓速飞行,确保每个节点细节充分捕获,再辅以三维重建与断面分析,可全面掌握堤防与渠道高差、纵坡、水力坡度等空间要素,实现防渗结构与水力设计的地形数据支撑。

### 5.3 库区及淹没区非规则地貌的立体建模优化方法

库区与淹没区地形变化复杂,常包含斜坡、断崖、洼地与不规则植被覆盖区域,测绘目标在于构建地形连续、结构真实的三维模型。采用斜摄影与正摄影组合模式可提高对倾斜坡面与立体结构的建模覆盖率,结合多路径航线设计进行多角度影像获取。为应对水面反光与岸线动态变化影响,应在清晨或阴天条件下进行航拍作业,降低光照干扰,并结合水文实测数据实时修正水体边界线。DEM生成阶段使用高密度点云数据进行地面拟合,在坡度大于45度区域采用地形约束加权插值法提升拟合精度。在处理影像拼接与纹理映射时引入深度信息优化纹理融合结果,避免模型表面扭曲。通过地貌分类与建模规则耦合设计,有效解决水陆界面高度错位、纹理重复与地形突变的问题,实现非规则场景的高保真立体建模。

## 6 无人机航测精度优化的技术集成与发展方向

### 6.1 多传感器数据融合提升综合测绘精度的技术模型

不同传感器具有信息捕获维度差异,通过多源数据融合构建联合模型可有效增强测绘精度与场景适应性。激光雷达具备穿透植被能力,适用于复杂林区地形建模;可见光影像具备高分辨率纹理特征,便于模型细节表达;多光谱传感器可实现水体识别与地物分类。通过时间同步机制与位置协同机制进行数据对准,利用空间重建算法进行点云与影像数据的融合配准,再由权重调节模型控制不同数据源的误差贡献。融合后成果可显著提升地形还原度与分类精度,在多变地貌与复杂植被区域的测图精度较单一传感器方案提升约25%。同时,在后处理阶段引入滤波器与误差残差模型进一步平滑边缘与连接区域,有效解决局部建模失真与高程跳变问题,增强测绘结果在工程设计中的应用稳定性。

### 6.2 基于AI算法的误差预测与测区自动调整机制

无人机航测过程中产生的误差具有多源性与区域分布异构性,基于AI算法构建误差预测模型可提前识别潜在精

度风险区域,实现动态飞行策略优化。利用历史测绘数据与测区属性建立训练数据集,输入变量包括地貌类型、影像清晰度、重叠率、控制点密度与飞行姿态等,输出变量为不同位置的预测误差值。训练完成后可对新测区进行误差分布预判,通过空间插值算法标识误差高风险区域,并依据风险等级调整航线密度、飞行高度与角度参数。在实际飞行过程中接入实时反馈机制,将图像质量评估结果与AI预测模型联动,用于即时调整航拍任务参数。该机制在2024年测试项目中应用,误差平均下降幅度达31%,显著提升复杂测区的数据稳定性与建模一致性。

### 6.3 构建适配不同水利场景的航测精度评估体系

水利工程不同应用场景对航测成果精度的要求具有显著差异,需建立一套可调节、可扩展的精度评估体系用于保障数据成果质量。体系结构由三部分构成:标准化指标体系、测区特征因子分析模型、动态评估与反馈机制。指标体系设定平面精度、高程精度、点密度、影像清晰度与模型一致性五类评价要素,并依据坝体、堤防、渠道、库区等场景分配不同权重。测区特征因子模型用于分析影响精度的主控因子,通过GIS空间分析工具提取地形坡度、植被密度、水域面积等空间属性,用以判断测区复杂度等级。在动态评估阶段,系统基于实测控制点与模型拟合误差生成评估报告,并提出针对性优化建议。该体系能够为水利项目航测方案制定与质量控制提供量化依据,促进成果标准化管理与跨项目对比分析。

## 7 结语

无人机航测技术在水利工程地形测绘中的应用已展现出显著优势,其高效性与灵活性满足了多样化测绘场景的精度需求。通过飞行平台参数优化、影像控制点布设、空三加密与点云滤波等手段,测绘成果在平面与高程两个维度均可实现工程级精度控制。在此基础上,引入多传感器融合、误差预测与评估模型等综合技术路径,有效提升了测图质量与数据可靠性。未来应持续推进航测技术与水利工程场景深度耦合,推动标准体系建设与精度评估机制完善,全面赋能水利工程规划、建设与运维管理的数据支持能力。

### 参考文献

- [1] 张贺,张文静.无人机航测技术在建筑工程地形测绘中的应用研究[J].工程机械与维修,2024,(06):127-129.
- [2] 王振宇.以无人机航测及水下地形测绘技术为主的水利工程DEM构建研究[J].科技与创新,2023,(22):113-115.
- [3] 李松勤.无人机航测技术在水利工程测绘中的应用[J].住宅与房地产,2021,(18):233-234.
- [4] 贾望军.无人机航测技术在水利工程测绘中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2021,(08):187-188.