

Research on Key Points of Construction Engineering Surveying and Mapping Based on UAV Oblique Photography Technology

Zhihang Liu

Huizhou Road and Bridge Survey and Design Institute, Huizhou, Guangdong, 516000, China

Abstract

Drone oblique photography technology has become a crucial technical approach in modern construction engineering surveying, leveraging its advantages of multi-angle imaging, rapid 3D modeling, and high-precision measurement. This paper systematically elucidates the principles and application characteristics of drone oblique photography technology, addressing practical needs in construction engineering surveying. It outlines key technical aspects from field operations, data processing, precision control, to model optimization, analyzes common operational challenges and improvement strategies, and proposes standardized workflows tailored for construction scenarios. The study demonstrates that through rational flight path planning, precise image control deployment, rigorous aerial triangulation, and refined modeling processing, the accuracy and completeness of 3D models can be significantly enhanced to meet the requirements of 1:500 large-scale engineering surveying. This technology effectively improves surveying efficiency, reduces operational costs, ensures data comprehensiveness, and provides reliable support for construction project investigation and design, construction management, completion surveying, and digital operation and maintenance.

Keywords

UAV oblique photography; construction engineering surveying; 3D modeling; precision control; real-scene 3D model

基于无人机倾斜摄影技术的建筑工程测绘要点研究

刘志航

惠州市道路桥梁勘察设计院, 中国·广东 惠州 516000

摘要

无人机倾斜摄影技术凭借多角度成像、快速三维建模与高精度量测等优势, 已成为现代建筑工程测绘的重要技术手段。本文结合建筑工程测绘实际需求, 系统阐述无人机倾斜摄影技术原理与应用特点, 从外业作业、数据处理、精度控制、模型优化等环节梳理关键技术要点, 分析作业过程中常见问题与改进对策, 并提出适用于建筑工程场景的标准化作业流程。研究表明, 通过合理航线规划、精准像控布设、严密空三解算与精细化建模处理, 可有效提升三维模型精度与完整性, 满足 1:500 大比例尺工程测绘要求。该技术能够显著提高测绘效率、降低作业成本、保障数据全面性, 为建筑工程勘察设计、施工管控、竣工测绘与数字化运维提供可靠支撑。

关键词

无人机倾斜摄影; 建筑工程测绘; 三维建模; 精度控制; 实景三维模型

1 引言

建筑工程测绘贯穿项目规划、设计、施工、验收及运维全生命周期, 是保障工程建设质量与进度的基础性工作。传统工程测绘主要依赖全站仪、GNSS-RTK、水准仪等设备, 采用人工逐点采集方式开展作业, 在复杂建筑结构、高层立面测量、大面积场地测绘中存在效率低、周期长、数据不完整、作业风险高等问题, 难以满足数字化建造与智慧工地建设需求。

近年来, 无人机倾斜摄影技术快速发展, 通过多镜头

同步采集地物顶面与四向倾斜影像, 结合空中三角测量、密集匹配与纹理映射技术, 可快速生成高还原度实景三维模型, 实现建筑立面、空间形态、地形地貌的完整表达。该技术具有覆盖范围广、数据采集快、成果直观、量测精度高等特点, 能够有效弥补传统测绘手段的不足。当前, 无人机倾斜摄影在建筑工程测绘应用中仍存在作业流程不规范、参数设置不合理、模型精度不稳定、复杂场景适配性不足等问题。基于此, 本文从技术应用全流程出发, 系统研究建筑工程测绘中的关键控制要点, 提出优化方案与质量保障措施, 为行业规范化应用提供理论参考与实践依据。

【作者简介】刘志航 (1995-), 男, 本科, 中国广东惠州人, 助理工程师, 从事建筑工程测量研究。

2 无人机倾斜摄影技术原理与应用优势

2.1 技术原理

无人机倾斜摄影技术以航空摄影测量与计算机视觉理论为基础，通过搭载多视角倾斜相机，在飞行过程中同步获取下视影像与前、后、左、右四个倾斜方向影像，实现对建筑顶面、立面及周边环境的全方位数据采集。系统搭载的POS定位定姿装置实时记录影像拍摄瞬间的空间坐标与姿态参数，经地面像控点联合平差完成空中三角测量解算，再通过密集点云匹配、三角网构建与真实纹理映射，最终生成带空间坐标的实景三维模型。模型可直接进行距离、面积、体积、高程等数字化量算，并兼容CAD、BIM、GIS等主流工程软件。

2.2 应用优势

1. 数据采集全面化：同时获取顶面与立面信息，解决传统正射影像无法表达建筑竖向结构的缺陷，对异形建筑、高层结构还原度更高。
2. 作业效率高效化：外业采集时间短、覆盖范围大，内业处理自动化程度高，整体工期较传统方式缩短60%以上。
3. 成果精度可靠化：在规范作业条件下，平面与高程精度可达到厘米级，满足1:500大比例尺建筑工程测绘要求^[1]。
4. 应用场景多元化：适用于场地勘察、土方计算、BIM建模、施工监测、竣工测绘、数字化验收等全流程业务。
5. 作业安全化：可替代人工开展高空、危险区域测量，降低现场作业风险，提升复杂工地环境适应性。

3 建筑工程测绘作业流程与核心要点

3.1 测区踏勘与设备选型

作业前需开展现场踏勘，明确测区范围、建筑高度、结构类型、场地障碍物、空域条件与电磁环境。设备优先选用工业级多旋翼无人机，搭配五镜头倾斜相机与RTK/PPK组合定位模块，保证影像质量与定位精度。针对高层与超高层建筑，应选用抗风性能强、续航稳定、云台可控角度大的机型，确保数据采集稳定可靠^[2]。

3.2 航线规划与参数设置

航线规划直接影响影像重叠度、模型完整性与最终精度，是倾斜摄影测绘的核心环节。建筑工程测绘应遵循“全覆盖、高重叠、无死角、分层飞行”原则，关键参数控制如下：地面分辨率GSD控制在1.5~3cm；航向重叠度不低于85%，旁向重叠度不低于75%；飞行高度宜为建筑最高高度的1.2~1.5倍；对高层、悬挑、复杂造型建筑增加环绕飞行与立面补飞，消除数据盲区。

3.3 像控点布设与测量

像控点是提升模型绝对精度的关键。布设遵循“均匀分布、边缘加密、特征明显、稳定不变”原则，标准区域按5~8个/平方公里布设，检查点均匀分布于测区内部与

边缘。像控点优先选择道路交叉口、硬化地面角点、建筑棱角等清晰易识别位置，采用GNSS-RTK或全站仪实测坐标，平面与高程坐标误差控制在1cm以内，确保刺点精准无误^[3]。

3.4 外业影像采集与质量检查

数据采集应选择光照均匀、无大风、无雾霾的天气，避开强光直射与逆光时段。飞行前完成罗盘、IMU、云台校准，飞行中实时监控影像清晰度、重叠度与丢片情况，飞行后逐张检查影像质量，对模糊、过曝、欠曝及遮挡区域及时补飞，保证原始数据完整可用。

3.5 内业数据处理与模型构建

内业处理主要包括影像预处理、空中三角测量、密集点云生成、三维模型构建与纹理映射。空三解算需严格控制像点残差，剔除粗差；点云处理需滤除噪点、浮动点与冗余数据；建模过程中对弱纹理区域、玻璃幕墙、金属屋面等易失真部位进行手动修复与纹理优化，确保模型拓扑关系正确、形态完整、纹理清晰。

3.6 精度验证与成果交付

采用独立检查点法进行精度评定，将模型量测值与RTK实测值对比，计算平面中误差与高程中误差。民用建筑工程一般要求平面误差 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，高程误差 $\leq \pm 8\text{cm}$ 。验收合格后，输出三维模型、点云数据、数字线划图、正射影像、土方量报告等成果，满足工程设计、施工与验收使用^[4]。

4 关键技术参数与常见问题优化（含图表）

4.1 建筑工程倾斜摄影测绘关键参数表详见表1所示

表1 建筑工程倾斜摄影测绘关键技术控制指标

控制项目	标准指标	适用测绘等级
地面分辨率（GSD）	1.5 ~ 3cm	1:500大比例尺测绘
航向重叠度	$\geq 85.0\%$	全类型建筑工程
旁向重叠度	$\geq 75.0\%$	全类型建筑工程
像控点密度	5 ~ 8个/km ²	常规场地；复杂区加密
平面位置中误差	$\leq \pm 5\text{cm}$	民用建筑竣工测绘
高程中误差	$\leq \pm 8\text{cm}$	民用建筑竣工测绘
点云密度	≥ 50 点/m ²	精细化三维建模
空三加密平均残差	≤ 0.5 像素	高精度建模要求

（图表说明：本表为建筑工程倾斜摄影作业核心控制指标，可直接用于方案编制与成果验收）

4.2 常见问题与优化对策

4.2.1 模型缺失与遮挡盲区

高层裙楼、悬挑结构、狭窄巷道易产生数据空洞。优化措施：增加侧面航线、降低飞行高度、采用环形补飞，结合近景摄影补充盲区数据。

4.2.2 纹理模糊与反光失真

玻璃、金属、石材易出现反光与过曝。优化措施：调整拍摄时段、使用HDR模式、避免逆光拍摄，后期通过软件手动修复纹理。

4.2.3 模型变形与拉伸

弱纹理区域如墙面、地面易导致匹配失败。优化措施：提高影像重叠度、加密像控点、增加特征约束、提升点云密度^[5]。

4.2.4 整体精度不达标

像控不均、刺点误差、POS 漂移易造成精度不足。优化措施：规范布网、精准刺点、采用 PPK/RTK 紧耦合解算、增加检查点核验。

4.2.5 数据冗余与处理缓慢

过度飞行与重复采集导致数据量过大。优化措施：依据 GSD 精准计算航高，分区规划航线，减少无效数据采集。

5 无人机倾斜摄影在建筑工程中的应用

5.1 工程勘察与场地测绘

快速获取场地三维模型，自动生成等高线、地形图与土方量算结果，为场地规划、总图设计、土方平衡提供高精度基础数据，大幅缩短前期勘察周期。

5.2 BIM 设计与数字化建模

实景三维模型可直接与 BIM 设计软件对接，实现场地环境可视化、方案比选、日照分析与碰撞检测，提升设计精度与合理性，减少后期设计变更。

5.3 施工监测与进度管理

通过多期航测模型对比，实现施工进度可视化跟踪、工程量自动核算、基坑与建筑变形动态监测，提升施工管控精度与现场安全水平^[6]。

6 结语

无人机倾斜摄影技术以高效、精准、全面的数字化采

集能力，为建筑工程测绘提供了全新技术路径，有效推动工程测绘向自动化、智能化、三维化方向发展。在实际应用中，必须严格把握设备选型、航线规划、像控布设、空三解算、建模优化与精度验证六大核心要点，建立标准化作业流程，针对性解决数据缺失、模型失真、精度不足等问题，确保成果满足建筑工程设计、施工与验收需求。

随着人工智能、点云融合、实时建模与数字孪生技术的不断发展，无人机倾斜摄影将进一步与 BIM、GIS、物联网深度融合，在智慧工地、数字建造、智慧城市建设中发挥更大价值。未来应持续完善技术标准、优化处理算法、提升复杂场景适应性，推动技术在建筑工程领域更广泛、更规范、更高效地应用，为工程建设高质量发展提供坚实的数据支撑与技术保障。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. 航空摄影技术规范 GB/T 19294-2019[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [2] 李清泉,周命端.无人机倾斜摄影测量三维建模理论与实践[M].北京:科学出版社,2020.
- [3] 王晏民,黄明.地面与航空摄影测量三维重建技术[M].武汉:武汉大学出版社,2021.
- [4] 张卡,盛业华.基于倾斜摄影的建筑工程竣工测绘方法研究[J].测绘通报,2022(04):87-91.
- [5] 刘先林,邹友峰.无人机航空摄影测量在工程测绘中的应用[J].测绘科学,2021,46(02):1-6.
- [6] 赵超英,张勤.无人机倾斜摄影精度控制关键技术研究[J].测绘工程,2022,31(03):45-50.