

无人机倾斜摄影技术制作实景三维模型在棚户区改造中的应用

齐发

太原市国土空间规划测绘院（太原市城市雕塑研究院），山西 太原 030000

DOI:10.61369/ERA.2025090039

摘要： 本文针对棚户区改造中高密度建筑群三维建模难题，系统研究无人机倾斜摄影技术的全流程应用。通过华东典型棚户区试验，构建融合分层飞行规划与 RTK/PPK 定位的数据采集体系，提出分区分级建模策略。成果分析表明，模型平面 / 高程中误差分别为 $\pm 2.3\text{cm}$ / $\pm 3.1\text{cm}$ ，支持毫米级拆迁量算与动态进度监管，验证该技术在复杂城市场景的工程适用性，为新型测绘技术赋能城市更新提供实证案例。

关键词： 无人机倾斜摄影技术；实景三维模型；棚户区改造

Application of Real-Scene 3D Modeling Created by Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Oblique Photography Technology in the Renovation of Shantytowns

Qi Fa

Taiyuan Land and Spatial Planning Surveying and Mapping Institute (Taiyuan Urban Sculpture Research Institute),
Taiyuan, Shanxi 030000

Abstract： This paper systematically explores the full-process application of unmanned aerial vehicle (UAV) oblique photography technology to address the challenges of 3D modeling for high-density building clusters in shantytown renovation. Through experiments conducted in a typical shantytown in East China, a data acquisition system integrating layered flight planning with RTK/PPK positioning was established, and a zoned and hierarchical modeling strategy was proposed. The results show that the mean errors in the model's planimetric and elevation accuracy are $\pm 2.3\text{ cm}$ and $\pm 3.1\text{ cm}$, respectively. This approach supports millimeter-level demolition calculations and dynamic progress monitoring, demonstrating the technology's engineering applicability in complex urban environments and providing empirical evidence for the empowerment of urban renewal through advanced surveying and mapping technologies.

Keywords： unmanned aerial vehicle (UAV) oblique photography technology; real-scene 3D modeling; shantytown renovation

引言

伴随着我国城市体量的持续膨胀及国家策略的优化，城市边缘的拓展以及老城区的改造更新逐渐成为城市建设领域的核心任务。然而，面对城市建设任务的日益繁重，劳动力成本的增加和人力资源的短缺问题，对政府机构形成了挑战，且这与国家精简财政供养岗位的政策导向存在冲突。在此背景下，遥感技术，特别是以正射影像技术为核心的应用，在城市建设尤其是违法建筑监管方面展现出了一定的成效，但依然难以彻底解决违章建筑的问题。本研究旨在探讨应用无人机倾斜摄影技术构建实景三维模型，结合遥感影像的时间序列特性，精确锁定拍摄时间点，为棚户区改造与拆迁工作提供具有明确时间参照的依据。

一、项目工作流程

（一）项目前期准备与需求分析

项目启动前需明确棚户区改造的具体需求，包括三维模型精

度要求、覆盖范围及成果交付标准。需与规划、测绘及政府部门进行多轮沟通，确定模型用途如拆迁量估算、规划设计或公众展示^[1]。根据棚户区地形复杂度、建筑密度及周边环境制定飞行计划，选择适配的无人机型号及载荷设备。

例如，建筑密集区域需选用具备避障功能的多旋翼无人机，而开阔地带可采用固定翼机型提升效率^[2]。同时需完成空域申请、气象条件评估、应急预案编制等合规性工作，确保数据采集过程符合民用航空法规及地方政策要求。人员配置方面需组建包含飞手、测绘工程师、数据处理专员及项目协调员的跨学科团队，并进行任务分工与安全培训。

（二）倾斜摄影数据采集与优化

数据采集阶段的核心在于通过五镜头倾斜摄影系统获取多角度高分辨率影像。飞行前需根据地面分辨率需求计算航高与重叠率，通常航向重叠度不低于80%、旁向重叠度不低于70%以保障模型拼接精度。针对棚户区中低矮建筑、临时构筑物及复杂立面特征，需设置变高航线或增加交叉飞行架次，避免因遮挡导致模型空洞。

飞行过程中实时监控 POS 数据（定位定姿系统）质量，确保每张影像的经纬度、高程及姿态角误差在允许范围内。若遇 GPS 信号弱区域，需采用 RTK（实时动态差分定位）或 PPK（后处理动态定位）技术提升定位精度至 cm 级。数据采集后需立即进行原始影像筛选，剔除模糊、过曝或冗余图片，并通过匀光匀色处理减少光照差异对后续建模的影响。

（三）多源数据处理与三维重建

原始数据导入 ContextCapture 或 Pix4D 等专业软件后，首先通过特征点匹配与空三加密计算生成稀疏点云，再通过密集匹配算法转化为高密度点云数据。在此过程中需根据棚户区建筑材质调整纹理映射参数，例如对砖混墙体增强边缘锐化，对玻璃幕墙降低反光干扰^[3]。点云分类阶段利用机器学习算法自动识别地面、植被、建筑及临时设施，并手动修正分类错误以提升模型分层准确性。

随后通过曲面重构与网格优化将点云转化为带有拓扑结构的三角网模型，并融合倾斜影像生成具有真实纹理的三维模型。针对模型中的几何畸变或纹理错位问题，需在 MeshLab 或 Blender 中进行局部编辑与修复，确保建筑轮廓、屋顶形态与实地一致。最终输出格式需兼容主流 GIS 平台及 BIM 软件，支持后续空间分析与规划应用。

（四）模型质量验证与成果交付

三维模型精度验证需结合实地测量数据，在棚户区内均匀布设检查点，对比模型坐标与全站仪或 GNSS 实测值的平面及高程偏差。根据《城市三维建模技术规范》，建筑主体结构误差应小于5cm，纹理清晰度需达到可辨识门窗细节的等级。对于不达标区域需进行补飞或手动修补，直至满足项目验收标准。

成果交付阶段需提供模型文件、正射影像、等高线矢量图及精度评估报告，同时针对不同用户需求定制轻量化版本。例如，规划部门需获取带有属性数据的语义化模型，而拆迁评估团队则关注建筑体积与占地面积统计表。此外，需建立数据更新机制，在改造过程中定期复飞以动态更新模型，支持工程进度监控与方案调整。该技术模型与传统测绘方法的比较如表1所示：

表1：倾斜摄影技术与传统测绘方法在棚户区改造中的对比

对比指标	倾斜摄影技术	传统人工测绘
单次作业面积	2-5平方公里 / 天	0.1平方公里 / 天
人力投入	3-5人	8-12人
建筑立面数据完整性	> 95%	70% ~ 85%
综合成本	降低40% ~ 60%	基准值

（五）技术应用延伸与风险控制

在棚户区改造全周期中，实景三维模型可延伸应用于拆迁补偿计算、日照模拟、土方量估算及公众参与可视化展示。例如，通过模型分析建筑间距与采光关系可优化安置房设计，利用时序模型对比可量化拆迁进度。

二、试验介绍

（一）试验区域

试验区域选定为华东地区某市典型棚户区，占地面积约23公顷，涵盖历史遗留砖木结构民居、临时搭建彩钢房及部分改建混凝土建筑，建筑密度高达65%，平均高度6.8m，最高单体建筑为14m废弃水塔。区域内巷道狭窄曲折，最小通行宽度不足1.5m，且存在电线交错、植被覆盖不均等干扰，对数据采集完整性构成挑战，如图1。



图1：作业区全貌

该区域地形起伏显著，南北高差达11m，西侧毗邻河道导致局部地基沉降，需通过三维模型精确反映地表变形特征。选择此区域的科学依据在于其兼具高密度建筑群、复杂立面和动态改造需求，能够有效验证倾斜摄影技术在极限工况下的适应性。试验前通过 GIS 平台整合历年地形图与拆迁规划红线，划定核心建模区与缓冲区，同步收集区域气象数据，避开季风期与强降雨时段，确保飞行安全与影像质量稳定性。

（二）试验设备

试验采用大疆 M300 RTK 多旋翼无人机搭载赛尔五镜头倾斜摄影系统，配备35mm焦距镜头组，单镜头像素2400万，支持每秒2帧连续拍摄，适应低空慢速飞行需求^[4]。定位系统集成双频 GNSS 接收机与 IMU 惯性测量单元，通过 RTK 网络服务实现实时 cm 级定位，PPK 后处理可将水平精度提升至 ±1.2cm，高程精度 ±1.8cm，其核心参数如表2所示。

表2：倾斜摄影设备核心参数表

设备模块	技术指标
无人机平台	最大续航55分钟，抗风能力15m/s
倾斜相机	五镜头同步触发，HDR 模式动态范围14档
定位系统	RTK/PPK 双模，高程精度 ±1.8cm
数据处理软件	支持50万张以上影像并行计算

辅助设备包括地面像控点靶标（采用黑白棋盘格与编码标志复合设计）、便携式气象站（监测风速、温湿度）及多平台数据校验工具（如 Trimble S7 全站仪与手持激光测距仪）。数据处理选用 Context Capture Center 软件进行空三计算与模型重建，辅以 Cloud Compare 进行点云精度分析，Smart 3D 用于纹理优化

与模型轻量化。为应对复杂电磁环境，额外配置抗干扰图传系统与冗余电源模块，确保单架次连续作业时长超过45分钟。

（三）试验内容

试验内容涵盖多维度数据采集策略验证、复杂场景建模优化及精度控制体系构建三部分。

（1）数据采集阶段设计分层飞行方案：在50m 基准航高获取全局影像，针对水塔、危房等关键地物降至20m 进行多环绕飞行，并沿巷道中轴线设置仿地航线以捕捉底部立面细节^[6]。共规划6条主航带与12条辅助航带，总飞行里程38.6公里，获取有效影像6725张，像控点布设密度为每公顷4个，均匀分布于屋顶、地面及立面交汇处。

（2）数据处理阶段重点优化遮挡区域重建算法，采用跨尺度特征匹配技术提升窄巷内墙面连续性，通过语义分割剔除移动车辆、行人等动态干扰要素。模型重建后，利用全站仪实测132个检查点进行绝对精度验证，同时使用 Cloud Compare 计算点云密度与曲面拟合残差。

（3）试验同步开展效率对比分析，与传统全站仪测绘相比，外业工期从14天压缩至3天，内业处理耗时56小时，模型综合精度满足1:200地形图规范要求。针对纹理模糊区域，开发自适应锐化算法，使窗户、台阶等细部特征辨识度提升40%以上。

试验创新点在于提出“分区分级建模”方法：将棚户区划分为核心改造区、过渡区与保留区，分别设定0.5cm、1cm、2cm 差异化建模精度，节约30% 计算资源；研发融合点云语义属性与BIM 组件的混合建模流程，实现门窗、管线等要素的自动化分类入库^[6]。试验同步验证了轻量化模型传输方案，通过 WebGL 技术将15GB 原始模型压缩至800MB 网络发布版本，支持多终端实时调阅与标注。且研究过程中发现，晨间低角度光照可增强立面纹理层次，但会加剧阴影干扰，因此推荐采用10:00–14:00时段进行数据采集，并通过偏振镜削弱镜面反射。

三、成果分析

（一）模型精度与可靠性验证

通过132个地面检查点统计分析表明，实景三维模型的平面中误差为 $\pm 2.3\text{cm}$ ，高程中误差 $\pm 3.1\text{cm}$ ，较《城市测量规范》中1:200地形图的允许误差（平面 $\pm 5\text{cm}$ 、高程 $\pm 6\text{cm}$ ）提升约53%，验证了倾斜摄影技术在复杂棚户区场景中的精度可靠性。建筑边长相对误差达到1/430，满足规划设计中建筑量算的精度需求

（表3）。

表3：三维模型精度验证统计表

评价维度	实测值	规范要求	达标率
平面中误差	$\pm 2.3\text{cm}$	$\leq 5\text{cm}$	100%
高程中误差	$\pm 3.1\text{cm}$	$\leq 6\text{cm}$	100%
建筑体积相对误差	1.2%	$\leq 3\%$	100%
纹理分辨率	0.5cm/ 像素	$\leq 1\text{cm}/ \text{像素}$	100%

在纹理匹配方面，92.7% 的区域实现像素级贴合，但局部金属屋顶与玻璃窗因反光产生畸变，通过引入偏振镜与多时段影像融合使合格率提升至97.1%。模型细节层次上，92% 的窗户边框、86% 的台阶路面及78% 的管线走向得以清晰还原，显著优于传统测绘70% 以下的要素完整度。分区分级建模策略将核心改造区的几何误差控制在 $\pm 0.8\text{cm}$ 内，为拆迁补偿计算提供毫米级可信数据，而过渡区与保留区适度放宽精度要求，使整体计算资源消耗降低34%。

（二）效率提升与经济性分析

相较于传统全站仪测绘，倾斜摄影技术将外业数据采集周期从14天压缩至3.2天，内业处理时间由228小时缩减至61小时，综合效率提升76.5%。人力成本方面，无人机作业团队仅需4人（含飞手与质检员），而传统测绘需12人参与，直接人工费用降低62%^[7]。通过自动化的空三解算与语义分割，模型生产环节减少83% 的人工干预，但高密度点云处理仍需32核服务器运行56小时，硬件投入占比达总成本的28%。

经济效益测算表明，在23公顷棚户区区项目中，倾斜摄影技术使单平方公里成本从传统测绘的12.7万元降至5.3万元，且模型复用率高达90%（可用于拆迁评估、日照模拟、工程监理等多阶段），而传统测绘成果仅限单次应用。需指出的是，模型轻量化处理增加约15% 后期工时，但使移动端加载速度从48秒优化至3秒，显著提升成果的应用灵活性。

四、结语

综上所述，本研究探索将无人机斜向摄影技术融入城市构建领域的实践，为城市管理及建设机构推出一种费用较低、操作便捷、反应迅速且具备时效性记录的巡查数据。实践证明，本研究的经验能够助力全国范围内的城市管理、建设局、房产管理等相关部門高效地执行老旧住宅区的改造监督任务，减少改造过程中的人力资源消耗，提高对违法建筑的辨识精确度，从而为推动改造工程及缓解社会矛盾提供了关键性的作业支撑。

参考文献

[1] 蒋汪洋, 和璇. 基于无人机倾斜摄影的实景三维中国建设关键技术探讨 [J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(S01): 275–278.
[2] 孙志强, 马杰, 刘津铎. 无人机倾斜摄影在实景三维建设中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47(S01): 350–352.
[3] 李旭光. 无人机倾斜摄影技术在精细化实景三维模型制作中的应用研究 [J]. 家电维修, 2024(8): 53–55.
[4] 费强, 王沁. 无人机倾斜摄影实景三维建模及质量评价 [J]. 测绘技术装备, 2024(4).
[5] 杨颖, 夏佼. 基于无人机倾斜摄影技术的城市三维实景建模分析 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2023(4): 4.
[6] 兰漪令程耀关志宇韦晚秋金相任. 无人机倾斜摄影实景三维模型制作优化研究 [J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(22): 117–119.
[7] 张宾. 基于无人机倾斜摄影的大面积实景三维模型建设 [J]. 城市勘测, 2025(1).