

Application of large scale digital aerial photogrammetry in urban mapping projects

Yue Peng

Hubei Provincial Institute of Land Surveying and Mapping, Wuhan, Hubei, 430010, China

Abstract

In urban surveying projects, the integration of digital aerial photography equipment, airborne inertial navigation systems (INS/IMU), and high-precision GNSS positioning has made large-scale (e.g., 1:500–1:2000) digital aerial photogrammetry a crucial method for rapidly acquiring basic topographic data, cadastral records, and 3D urban models. This paper first reviews the fundamental principles and technical characteristics of this technology. It then details its application process in urban surveying through five stages: project preparation, aerial photography acquisition, image processing and aerial triangulation densification, indoor mapping/modeling, and result production and application. The article further illustrates its implementation in three typical scenarios: detailed topographic mapping of urban areas, renovation of old urban areas (Sanjiu), and centralized demolition and reconstruction surveys, as well as 3D modeling for smart cities. By integrating China's engineering practices, the paper proposes systematic workflows and methodologies to provide technical references for similar projects.

Keywords

large-scale digital aerial photogrammetry; urban surveying projects; technical principles; application scope

大比例尺数码航空摄影测量在城镇测绘项目中的应用

彭粤

湖北省国土测绘院, 中国·湖北 武汉 430010

摘要

在城镇测绘项目中,随着数码航摄设备、机载惯性导航系统(INS/IMU)与高精度GNSS定位的融合推进,采用大比例尺(如1:500~1:2000)数码航空摄影测量技术已成为基础地形、地籍与三维城市模型快速获取的重要手段。本文首先回顾该技术的基本原理与技术特征;继而从项目作业准备、航空摄影采集、影像处理与空三加密、内业编绘/建模、成果产出与应用五个环节详述其在城镇测绘中的应用流程;然后通过城镇详细地形图测绘、三旧改造及集中连片拆改测量、智慧城市三维建模三类典型场景加以说明。文章旨在结合我国工程实践经验,提出系统化流程和做法,以期类似项目提供技术参考。

关键词

大比例尺数码航空摄影测量;城镇测绘项目;技术原理;应用范畴

1 引言

随着我国城镇化进程加速推进,城镇范围内的地形、地物及设施变化日益频繁,对测绘数据的更新速度、空间精度与信息集成提出了更高要求。在此背景下,传统全野外地面测量方式劳动强度大、效率低、成本高,难以满足现代城镇测绘“时效-精度-成本”三维一体的要求。相比之下,大比例尺数码航空摄影测量技术通过机载数码航摄仪、GNSS/INS组合导航系统、影像自动处理及空中三角网加密技术,能够在较短周期内获取高分辨率影像并转化为测绘成果。本文基于在城镇测绘项目中的具体操作经验,系统梳理该技术的适用规律、作业流程与典型应用,以期工程实施

提供指导。

2 大比例尺数码航空摄影测量的技术原理与特点

大比例尺数码航空摄影测量技术基于机载数码相机或推扫式航摄仪,在飞行平台通过预定航线对测区地表进行连续影像捕捉,通过高重叠航片构成立体像对/像群,结合地面控制点(GCP)与机载POS(Position & Orientation System, GNSS+INS)数据,实现影像的内方位元素和外方位元素解算,构建摄影测量立体模型。其基本几何原理为:摄影过程为中心投影,通过像片坐标及摄站几何关系进行“几何反转”,即空中三角测量计算像片外方位参数及地面点三维坐标。从技术特征来看,本技术首先具备高空间分辨率能力,采用大比例尺飞行(低航高、高像质)可获取0.1 m级甚至更高精度的地物影像资料^[1]。其次,具备强影像自

【作者简介】彭粤(1985-),女,中国湖南宁乡人,本科,高级工程师,从事摄影测量研究。

动化处理能力,现代数码航摄系统可实现影像直接数字化获取、GNSS/INS 同步记录、影像预校正、立体匹配与 DEM/DOM 生成,显著缩短内业时间。再者,该技术具备较强的适应性与灵活性,在城镇复杂地物、高差变化区域,通过优化航线设计、增加旁向重叠、采用多视角或倾斜摄影,可有效提高测绘精度与地物判识能力。

最后,本技术结合地理信息系统(GIS)与三维建模要求,能够直接输出正射影像图(DOM)、数字高程模型(DEM/DTM)、三维点云或三维实体模型,为城镇测绘提供多维信息服务。综上,其技术原理严谨、流程系统、自动化程度高、适用于城镇测绘的快速变化环境。

3 大比例尺数码航空摄影测量在城镇测绘项目中的应用流程

在城镇测绘项目中,为确保测绘成果质量、控制项目风险、提升效率,建议采用如下五大作业环节进行系统实施:

3.1 作业准备

作业准备阶段包括测区范围确认、控制网布设方案、航摄仪器选择、飞行计划设计及数据质量控制方案制定。首先,根据城镇测区空间范围、地形起伏及地表地物条件,明确所需比例尺(例如 1:500、1:1000)和测绘精度要求,并结合地形特征制定影像重叠度(通常航向重叠 70%+旁向重叠 30%或更高)、飞行高度、像元尺寸及航线间隔等技术指标。其次,需在测区内布设地面控制点(GCP)及检校点,控制网一般采用 GNSS RTK 实时差分或静态观测结合,并依据国家/地方规范(如《数字摄影测量控制测量规范》)执行点位分布、精度等级要求及联测关系。再者,应选用适用的大比例尺数码航摄仪(如大画幅数码航摄相机、推扫式航摄仪)并配置机载时间同步 GNSS/INS 系统以记录飞机姿态、位置与影像时间戳。此外,依据测区地物特点制定飞行计划,包括航带方向、起/终点、飞行高度变化、检校场飞行、影像暴露控制、天气条件要求以及避障、安全航线审批^[2]。最后,编制数据质量控制方案,明确影像模糊、重叠不足、像控偏差、影像阴影遮挡、后处理误差等风险,并制定外业巡查、内业影像质量审核、空三残差评估、成果检验流程。该阶段为后续顺利开展航空摄影及影像处理奠定基础。

3.2 航空摄影采集

航空摄影采集阶段为项目实施的关键外业环节,其流程包括航线执行、影像拍摄、机载 POS 记录、检校场飞行、现场质量监控及初步影像审核。首先,实施时按照既定航线设置飞机并启动机载数码航摄系统,先执行检校场飞行以验证 GNSS/INS 系统定位精度、飞行高度稳定性、影像前后、旁向重叠达到预设值。其次,在航带飞行中,持续记录机载 POS 系统数据,包括飞机位置、姿态、速度及航摄仪触发时间,确保每幅图像与飞机姿态数据对应。影像获取要求每帧均保

证清晰聚焦、光照均匀、无飞行迹线抖动、影像覆盖完整测区。再者,飞行过程中应安排外业巡查,比如检查云影、飞行高度异常、航带偏移、像控点摄影是否受遮挡等情况。最后,完成航摄后,进行影像初步审核,检验影像重叠是否满足预设、是否存在大面积影像模糊、是否有影像阴影遮挡严重地物、GNSS/INS 记录丢失或姿态异常。针对发现的问题,应视情况安排补飞或修正航带。

3.3 影像处理与空三加密

影像处理与空三加密阶段是从原始航摄影像到立体模型与控制加密网络建构的核心内业环节。首先对机载影像进行几何预处理,包括镜头畸变校正、姿态与位置数据同步、影像正射纠正准备。其次开展相对方位处理与影像匹配,通过自动立体像对生成、影像内匹配算法(如 SIFT、SURF 或基于块匹配的立体相关方法)获取影像间同名点,实现模型初步构建。此外实施解析空中三角测量(空三):将少量地面控制点(GCP)与像控点联测数据代入平差模型,通过最小二乘平差计算影像外方位元素、像点坐标及地面三维坐标,构建立体影像模型。随后进行加密测图控制点(像控点)布设,根据测区地形变化与建筑密集程度,在影像模型中选取必要的像控点进行加密测量,以提升模型空间精度。我国工程实践中常见“空三加密更新”方式,即在已有旧像控资料基础上增设若干新点,减少外业控制布设量、提高更新效率。最后应进行残差分析与精度检验:包括像控点残差分布、像间匹配残差、模型变形检测、阴影与遮挡区配对质量审核。如发现异常,需剔除或补测控制点、调整匹配参数直至满足精度要求。完成上述流程后,建立可靠的立体模型可用于下一步测绘与建模。

3.4 内业编绘/建模

在内业编绘/建模阶段,基于立体影像模型与精化控制网进行地物采集、矢量化绘制及三维建模。首先,采用立体测图软件或自动提取系统,在立体模型中进行地表地物判读和矢量化,包括点状、线状、面状地物如建筑轮廓、道路、绿地、水系、地籍界线等。对于高精度大比例尺任务,还需人工校对自动生成结果,确保地物边界准确、线状地物中心线定位合理、面积分类正确。其次,根据项目需求生成数字高程模型(DEM/DTM)与正射影像图(DOM):利用匹配生成的稠密点云或深度图,平差滤波生成 DEM,并结合影像进行正射纠正。再者,在三维城市建模任务中,结合倾斜摄影或多视角影像,建立建筑物三维实体模型(LOD1/LOD2/LOD3),导入 GIS 或 BIM 环境,实现城镇三维可视化及分析应用。最后,编绘过程中还要实施数据质量控制流程,对建筑物轮廓精度、地表高程一致性、影像与模型配准误差等指标进行复核,并标识出遮挡严重、影像匹配差的地物进行外业复查或补充采集。该阶段是测绘成果生成的核心环节,其质量直接决定项目最终输出成果的可靠性^[3]。

3.5 成果产出与应用

成果产出与应用阶段包括测绘数据整理、交付标准化、应用导入及后期更新机制建立。首先将内业编绘或建模成果组织成数码地形图（如 1:500 或 1:1000）、数字地籍图、三维城市模型、正射影像图等标准产品，按照国家/地方测绘规范进行成果格式转换、元数据编制、成果报验、质量备案。然后将成果导入城镇管理平台、智慧城市系统或资产管理系统，实现要素查询、空间分析、三维可视化、规划支持。为提升应用价值，还需建立数据更新机制：一是基于后续拆改或地物变化开展循环航摄或无人机补测；二是制定变更监测流程，通过影像比对、变化检测识别重点区域并触发再测。最后，需做好测绘成果的档案管理与备份，包括原始影像、控制点资料、配准报告、内业处理日志等，以便后续复查或工程复用。该阶段不仅是测绘项目的收尾工作，也是测绘数据走向应用转化的重要桥梁。

4 具体应用场景

4.1 城镇详细地形图测绘

在城镇详细地形图测绘中，项目多采用 1:500~1:1000 比例尺，要求地表建筑、道路、绿地、水体、地下施工洞室入口等地物清晰、等高线间距小、地形起伏细节表达充分。应用大比例尺数码航空摄影测量项目中，首先依据实地情况设计低空航摄，选择像元尺寸常在 0.1 m 或更佳。飞行中可采用低空、小航高、多旁向重叠，以减弱建筑遮挡与地物阴影影响。影像处理阶段通过空三加密提高高差控制精度，再馈入内业编绘生成高细节矢量图层。对于大比例尺测图，建筑屋檐、墙角、界桩、道路路缘等要素定位要求高，因此在判读阶段需结合影像与现场查验、适当外业复测。在成果产出阶段，生成数字地形图与正射影像叠加展示，并导出 GIS 图层供城镇规划、管线布置、地籍更新使用。该应用场景中测绘效率显著提升，外业地面测量工作量大幅减少，而测绘精度及细节表达能力得到增强。

4.2 三旧改造、集中连片拆改测量

在城镇“三旧”改造或城市更新中的集中连片拆除改造测量任务中，地物变更频繁、管线复杂、地块形态多样。采用大比例尺数码航空摄影测量技术，可以快速获取改造区最新高分辨率影像，飞行计划可结合拆改区边界设定航带，确保拆改前后影像可比。影像处理期间通过空三加密和像控

点更新，确保新旧航片精确配准。内业编绘阶段重点包括建筑物轮廓变化、临时设施、施工围挡、拆迁界桩标记、地籍界线变更、道路拓宽及管线迁改要素。测绘成果可及时用于拆迁补偿地块划分、临时设施布置、管线迁改方案设计。通过该技术，可将传统外业测量时间由月级缩减至周级，且影像可回溯对施工全过程进行辅助。该应用场景强调快速响应与变化监测能力，是城镇测绘技术服务城市更新的重要方式。

4.3 智慧城市、三维城市建模

在智慧城市建设背景下，城镇测绘不仅关注平面地形，还强调三维实体、地上地下设施的综合表现。大比例尺数码航空摄影测量在该场景中主要通过倾斜摄影、多视角影像、机载 LiDAR 及影像融合，实现建筑物立体模型 (LOD2/LOD3) 和市政设施三维表达。飞行中通常采用航高较低、旁向重叠加倾斜影像角度控制，影像处理阶段生成密集点云并通过立体匹配算法构建三维模型。内业建模阶段将影像匹配得到的点云转化为实体模型，结合 GIS、BIM 平台进行属性挂接、可视化分析。成果可用于城市可视化、自然资源部门三维档案管理、管线指挥调度、灾害应急响应、无人驾驶辅助地图等。该场景中测绘要素复杂、数据量大、更新频次高，数码航空摄影测量技术提供了高效获取三维城市基础数据的路径。

5 结语

总而言之，采用大比例尺数码航空摄影测量，与传统解析数字测绘成图比较，优点是项目测量周期短，测量外业工作量少，地形图表示的地形、地貌完整性好，工作效率高，体现了该技术在城镇快速变化环境中的适用优势。未来，随着传感器技术、自动影像处理算法和三维建模软件的进一步成熟，城镇测绘将更加依赖这一技术路径，实现更高精度、更快速度和更强应用集成。

参考文献

- [1] 黄勇.浅谈大比例尺数码航空摄影测量在城镇测绘项目中的应用--以安徽霍邱县临水镇城镇测绘项目为例[J].西部资源, 2023(2):161-163.
- [2] 焦小建,王朝霞,武焕咪.大比例尺航空摄影测量中像控点布设方法的测试与研究[J].陕西水利, 2024(5):181-183.
- [3] 桂桂.大比例尺地形图测绘中无人机倾斜摄影测量的应用分析[J].城市周刊, 2025(30).