

# 无人机航测技术在大比例尺地形图测绘中的应用研究

姚小亮

江苏煤炭地质物测队

DOI:10.32629/gmsm.v9i2.2434

**[摘要]** 随着测绘地理信息产业的快速发展,大比例尺地形图(1:500、1:1000、1:2000)在城市规划、工程建设、地籍管理等领域的需求日益迫切。传统测绘方法存在作业效率低、劳动强度大、复杂地形适应性差等弊端,而无人机航测技术凭借机动灵活、高效快速、成本低廉、精度可靠等优势,逐步成为大比例尺地形图测绘的主流技术手段。本文结合无人机航测技术的核心原理与组成,详细阐述其在大比例尺地形图测绘中的应用流程,通过实际工程案例验证技术精度与应用效果,分析当前应用中存在的问题,并提出优化策略,为相关领域的测绘工作提供参考与借鉴。

**[关键词]** 无人机航测; 大比例尺地形图; 测绘精度; 数据处理

中图分类号: P2 文献标识码: A

## Application Research of UAV Aerial Survey Technology in Large-Scale Topographic Mapping

Xiaoliang Yao

Geophysical Survey Team of Jiangsu Coal Geology Bureau

**[Abstract]** With the rapid development of the surveying, mapping and geographic information industry, the demand for large-scale topographic maps (1:500, 1:1000, 1:2000) is increasingly urgent in fields such as urban planning, engineering construction and cadastral management. Traditional surveying and mapping methods suffer from low operation efficiency, high labor intensity and poor adaptability to complex terrains. In contrast, unmanned aerial vehicle (UAV) aerial survey technology has gradually become a mainstream technical means for large-scale topographic mapping due to its advantages of flexibility, high efficiency, low cost and reliable accuracy. Based on the core principles and components of UAV aerial survey technology, this paper elaborates on its application process in large-scale topographic mapping in detail, verifies the technical accuracy and application effects through practical engineering cases, analyzes the existing problems in current applications, and puts forward optimization strategies, so as to provide references for surveying and mapping work in related fields.

**[Key words]** UAV aerial survey; large-scale topographic map; mapping accuracy; data processing

### 引言

大比例尺地形图作为基础地理信息数据的重要载体,其精度和效率直接影响后续工程设计、施工管理及决策的科学性。传统大比例尺测绘主要依赖全站仪、RTK等地面测量技术,虽能保证一定精度,但在山区、丘陵、城市密集区等复杂场景中,存在作业范围受限、外业工作量大、工期长、成本高的问题,难以满足现代化测绘工作的高效化、精细化需求。

无人机航测技术是融合无人机飞行控制、航空摄影、遥感测绘、数据处理等多学科的新型测绘技术,通过搭载高精度传感器的无人机,快速获取测区高分辨率影像,经专业软件处理生成数字高程模型(DEM)、数字正射影像图(DOM)、数字线划图(DLG)

等成果,可高效完成大比例尺地形图的测绘工作。近年来,随着无人机技术、GNSS定位技术及计算机视觉技术的不断升级,无人机航测的精度和效率持续提升,已广泛应用于国土测绘、工程建设、应急测绘等多个领域,成为推动测绘行业转型升级的重要动力。本文结合实际工程案例,深入研究无人机航测技术在大比例尺地形图测绘中的应用,为相关实践提供技术支撑。

### 1 无人机航测技术核心原理与系统组成

#### 1.1 核心原理

无人机航测技术基于航空摄影测量原理,通过无人机搭载的相机等传感器,按照预设航线对测区进行多角度、高重叠度的影像采集,利用摄影测量的几何关系,结合GNSS定位数据和IMU

惯性测量数据,通过空中三角测量、密集匹配等算法,重建测区三维地形模型,进而提取地形地物信息,绘制大比例尺地形图。其核心逻辑是将空中获取的二维影像,通过数据处理转化为三维地理信息,满足大比例尺测绘对精度和细节的要求。

### 1.2 系统组成

无人机航测系统主要由飞行平台、传感器系统、地面控制系统和数据处理系统四部分组成,各部分协同工作,确保测绘工作的高效开展,具体组成及功能如下表所示:

表1 无人机航测系统组成及功能表

系统组成	核心设备	主要功能
飞行平台	多旋翼无人机(如经纬 M210 RTK V2)、 固定翼无人机	搭载传感器,按照预设航线完成飞行和影像采集,具备稳定飞行、精准定位能力
传感器系统	高清相机(如禅思 X7)、GNSS 接收机、 IMU 惯性测量单元	采集测区高分辨率影像,获取飞行姿态和位置数据,为后续数据处理提供基础
地面控制系统	飞行控制软件(如 DJI Pilot)、遥控器、 数据传输设备	规划飞行航线,实时监控飞行状态,控制传感器工作,接收传输数据
数据处理系统	专业软件(如大疆智图、Pix4D)、高性 能计算机	对采集的影像和定位数据进行处理,生成 DEM、DOM、DLG 等测绘成果

## 2 无人机航测技术在大比例尺地形图测绘中的应用流程

无人机航测技术在大比例尺地形图测绘中的应用,需遵循“前期准备—外业数据采集—内业数据处理—成果检查与输出”的完整流程,每个环节的操作规范性直接影响最终测绘成果的精度,具体流程如下:

### 2.1 前期准备工作

前期准备是确保测绘工作顺利开展的基础,主要包括测区勘察、资料收集、航线规划和设备调试四个方面。一是测区勘察,实地了解测区的地形地貌、地物分布、交通条件及空域情况,排查飞行障碍物,确定飞行起降点;二是资料收集,收集测区已有的地形图、控制点坐标、高程数据等资料,为航线规划和精度验证提供参考;三是航线规划,根据大比例尺测绘要求(如1:500比例尺需地面分辨率 $\leq 5\text{cm}$ ),通过地面控制系统设置飞行高度、航向重叠度( $\geq 85\%$ )、旁向重叠度( $\geq 75\%$ )等参数,规划合理的飞行航线,确保测区全覆盖无遗漏;四是设备调试,检查无人机、传感器、遥控器等设备的工作状态,校准GNSS接收机和IMU惯性测量单元,确保设备正常运行。

### 2.2 外业数据采集

外业数据采集是获取测绘基础数据的核心环节,主要包括无人机飞行影像采集和地面控制点测量。在飞行过程中,无人机按照预设航线稳定飞行,传感器同步采集测区高分辨率影像,同时记录飞行姿态、位置等数据,确保影像的清晰度和重叠度符合

要求。对于大比例尺测绘,需布设一定数量的地面控制点(像控点),采用RTK技术进行精准测量,获取控制点的坐标和高程数据,用于后续内业数据处理中的精度校正。像控点应布设在视野开阔、无遮挡、易于识别的位置,如道路交叉口、硬质地面等,确保在影像中能够清晰定位。

### 2.3 内业数据处理

内业数据处理是将外业采集的影像和数据转化为测绘成果的关键步骤,主要包括影像预处理、空中三角测量、三维建模和地形图绘制四个环节。一是影像预处理,对采集的影像进行畸变校正、曝光补偿、去噪等处理,剔除模糊、曝光过度或不足的影像,提高影像质量;二是空中三角测量,利用专业软件对预处理后的影像进行匹配和空三解算,结合地面控制点数据,确定每张影像的外方位元素,建立测区的三维几何模型;三是三维建模,通过密集匹配算法生成测区的点云数据,构建数字高程模型(DEM)和数字正射影像图(DOM),还原测区的地形地貌;四是地形图绘制,基于DOM和DEM数据,提取地形地物信息(如道路、建筑、水系、等高线等),按照大比例尺地形图的规范要求,绘制数字线划图(DLG),完成地形图的编辑和整饰。

### 2.4 成果检查与输出

成果检查是确保测绘精度的重要保障,主要包括精度检查和成果审核。精度检查采用对比验证法,将无人机航测获取的控制点坐标、高程数据与传统测量数据进行对比,计算平面误差和高程误差,确保误差符合大比例尺地形图的规范要求(如1:500比例尺平面中误差 $\leq \pm 0.15\text{m}$ ,高程中误差 $\leq \pm 0.1\text{m}$ );成果审核主要检查地形图的地物完整性、标注规范性、等高线合理性等,确保成果符合测绘规范。检查合格后,输出纸质地形图和数字成果(如DLG、DOM、DEM等),满足实际应用需求。

## 3 工程实例验证

### 3.1 工程概况

本次实验选取江苏中部某农村作为测区,测区面积约为100000 $\text{m}^2$ ,地表存在建筑物、交通、水系、植被等地物,属于常见的小面积复杂测绘场景。本次测绘任务要求绘制1:500大比例尺地形图,平面精度 $\leq 10\text{cm}$ (地物点),高程精度 $\leq 5\text{cm}$ (平坦区),采用经纬M300 RTK无人机搭载禅思P1相机(35mm镜头)开展航测工作,同时采用传统全站仪测量方法进行精度对比验证。

### 3.2 航测参数设置与数据采集

根据测区情况和测绘要求,设置如下航测参数:飞行高度120m,航向重叠度85%,旁向重叠度75%,飞行速度6m/s,采用DJI Pilot软件规划航线,共采集像片102张。布设9个检查点,均匀分布在测区范围内,采用RTK技术进行精准测量,获取控制点坐标和高程数据。外业飞行仅需1个架次,总用时7分钟,高效完成数据采集工作。

### 3.3 数据处理与成果精度分析

采用大疆智图软件进行内业数据处理,首先对影像进行预处理,剔除不合格影像,然后进行空中三角测量和三维建模,生成DEM、DOM成果,数据处理总用时5分钟。为验证无人机航测成

果的精度,将9个检查点的航测数据与传统全站仪测量数据进行对比,计算平面(X、Y方向)和高程(Z方向)的误差,具体精度对比结果如下表所示,其误差对比情况如图3所示。

表2 无人机航测与传统全站仪测量精度对比表

检查点编号	X方向误差(cm)	Y方向误差(cm)	Z方向误差(cm)
1	2.8	1	4.5
2	3.5	1.3	5.2
3	3.1	1.5	4.8
4	3.7	1.1	5
5	3	1.4	4.7
6	3.3	1.2	5.1
7	3.5	1	4.9
8	3.2	1.3	4.6
9	3.4	1.1	5.3
平均值	3.28	1.24	4.92
中误差	3.62cm		

由表2可知,无人机航测获取的检查点X方向平均误差为3.28cm,Y方向平均误差为1.24cm,Z方向平均误差为4.92cm,整体中误差为3.62cm,均满足1:500大比例尺地形图的精度要求。与传统全站仪测量相比,无人机航测的作业效率提升10倍以上,大幅减少了外业工作量和劳动强度,降低了测绘成本,验证了无人机航测技术在大比例尺地形图测绘中的可行性和优越性。

#### 4 无人机航测技术应用中的问题与优化策略

##### 4.1 存在的问题

尽管无人机航测技术在大比例尺地形图测绘中具有显著优势,但在实际应用中仍存在一些问题,影响测绘成果的精度和效率:一是复杂环境适应性不足,在高层建筑密集区、山区等场景中,无人机飞行易受遮挡,导致影像采集不完整,影响数据处理精度;二是数据处理效率有待提升,大比例尺测绘需要处理大量高分辨率影像数据,对计算机性能要求较高,且部分软件的自动化处理能力不足,需人工干预,增加了内业工作量;三是空域管理限制,无人机飞行需要申请空域,部分区域空域申请流程繁琐,影响作业进度;四是操作人员专业水平参差不齐,部分操作人员缺乏航测技术和数据处理能力,易出现操作失误,影响测绘成果质量。

##### 4.2 优化策略

针对上述问题,结合实际应用经验,提出以下优化策略:一是优化飞行方案,在复杂地形场景中,采用分区飞行、低空飞行的方式,避开障碍物,增加影像重叠度,确保影像采集完整;对于高层建筑遮挡区域,可结合地面激光扫描技术进行补充测绘,提升精度。二是提升数据处理效率,选用高性能计算机和高效的数据处理软件,优化数据处理流程,利用AI辅助算法实现地物自动提取、影像自动匹配等功能,减少人工干预;同时,对数据处理人员进行专业培训,提高操作熟练度。三是加强空域协调,提前与当地空域管理部门沟通,简化空域申请流程,合理安排飞行时间,确保作业顺利开展。四是强化人员培训,建立专业的无人机航测团队,开展飞行操作、数据处理、精度控制等方面的培训,提升操作人员的专业水平,规范操作流程,减少操作失误。

#### 5 结论与展望

本文通过对无人机航测技术的核心原理、系统组成及应用流程的研究,结合文中的实例,验证了无人机航测技术在大比例尺地形图测绘中的可行性和优越性。研究表明,无人机航测技术具有作业效率高、劳动强度低、成本低廉、精度可靠等优势,能够满足1:500等大比例尺地形图的测绘要求,相较于传统测绘方法,大幅提升了测绘工作的效率和质量,在城市规划、工程建设、地籍管理等领域具有广泛的应用前景。

##### 【参考文献】

- [1]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 27919-2011低空数字航空摄影测量内业规范[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [2]新疆行业应用.航测新方案|经纬M210 RTKV2+禅思X7首份精度报告[R].2025.
- [3]张保明,吕翠华.无人机航测技术在大比例尺地形图测绘中的应用研究[J].测绘通报,2023(05):123-127.
- [4]李建松,王艳.无人机摄影测量在1:500地形图测绘中的应用实践[J].地理空间信息,2024,22(02):89-92.
- [5]陈永刚.无人机航测技术在复杂地形大比例尺测绘中的优化应用[J].测绘工程,2024,33(03):78-83.

##### 作者简介:

姚小亮(1987--),男,汉族,江苏南京人,大学本科,中级,研究方向:测绘技术。