

无人机航测技术在数字测图中的应用探讨

庄甜

江苏煤炭地质物测队

DOI:10.32629/gmsm.v9i3.2491

[摘要] 在测绘技术快速发展的背景下,无人机航测作为一种新型测绘手段,凭借速度快、机动性强、成本低的显著优势,正逐步颠覆传统数字测图的制作工艺。文章首先阐述了无人机航测系统的构成、数据处理流程及主要成果;其次,从数字测图的数据基础建设与质量控制两个核心维度展开说明;随后,重点研究无人机航空摄影测量中两种主流作业方式——传统立体像对立体测图与基于实景模型的裸眼三维测图,系统分析其工作原理、操作步骤及各自的优劣性;最后,结合具体实例,通过数据对比,明确两种测图方法在硬件设备要求、工作效率及成果精度等方面的差异,为无人机航测技术在数字测图中的合理应用提供参考。

[关键词] 无人机航测; 数字测图; 立体测图; 裸眼三维测图

中图分类号: P2 **文献标识码:** A

Exploration of the Application of Unmanned Aerial Vehicle Aerial Surveying Technology in Digital Mapping

Tian Zhuang

Jiangsu Coal Geological and Geophysical Survey Team

[Abstract] With the rapid development of surveying and mapping technology, unmanned aerial vehicle (UAV) aerial surveying, as a new surveying and mapping method, is gradually overturning the traditional digital mapping production process with its significant advantages of fast speed, strong maneuverability, and low cost. The article first elaborates on the composition, data processing flow, and main achievements of the unmanned aerial vehicle aerial survey system; Secondly, we will elaborate on the two core dimensions of data infrastructure construction and quality control in digital mapping; Subsequently, the focus will be on studying the two mainstream operational methods in unmanned aerial vehicle aerial photogrammetry – traditional stereo mapping and naked eye 3D mapping based on real-world models. The working principles, operational steps, and respective advantages and disadvantages will be systematically analyzed; Finally, by combining specific examples and comparing data, the differences between the two mapping methods in terms of hardware equipment requirements, work efficiency, and accuracy of results are clarified, providing reference for the rational application of drone aerial surveying technology in digital mapping.

[Key words] drone aerial survey; Digital mapping; Stereoscopic mapping; Naked eye 3D mapping

引言

大比例尺地形图是国家基础设施建设、国土规划、自然资源调查的基础资料。传统成图以全站仪、GPS-RTK等野外实地测量为主,虽准确性较高,但工作效率低下,需投入大量人力、物力、财力,尤其在地形复杂或测区面积较大的区域,效率劣势更为突出。近年来,无人机航空摄影测量技术逐步兴起,该技术融合无人驾驶航空器、高清晰度数码相机及GPS/IMU实时差分导航定位系统,可快速获取高分辨率、高重叠度影像,经后期处理可生成数字表面模型(DSM)、数字正射影像(DOM)、实景三维模型

等多种地理空间信息成果,为数字测图提供了崭新技术路径,有利推动了测绘领域的技术革新与发展。现阶段,利用无人机影像生产大比例尺地形图(DLG)的技术路线主要有两条:一是以传统立体像对为基础的传统立体测图,二是以倾斜摄影实景三维模型为基础的裸眼测图。两种方式各有优劣,实际生产中如何选择最优方案成为测绘工作人员关注的重点。本文结合具体项目实例及已有研究成果,对这两大技术路线进行详细分析与对比,旨在为行业同仁提供借鉴与参考。

1 无人机航测技术综述

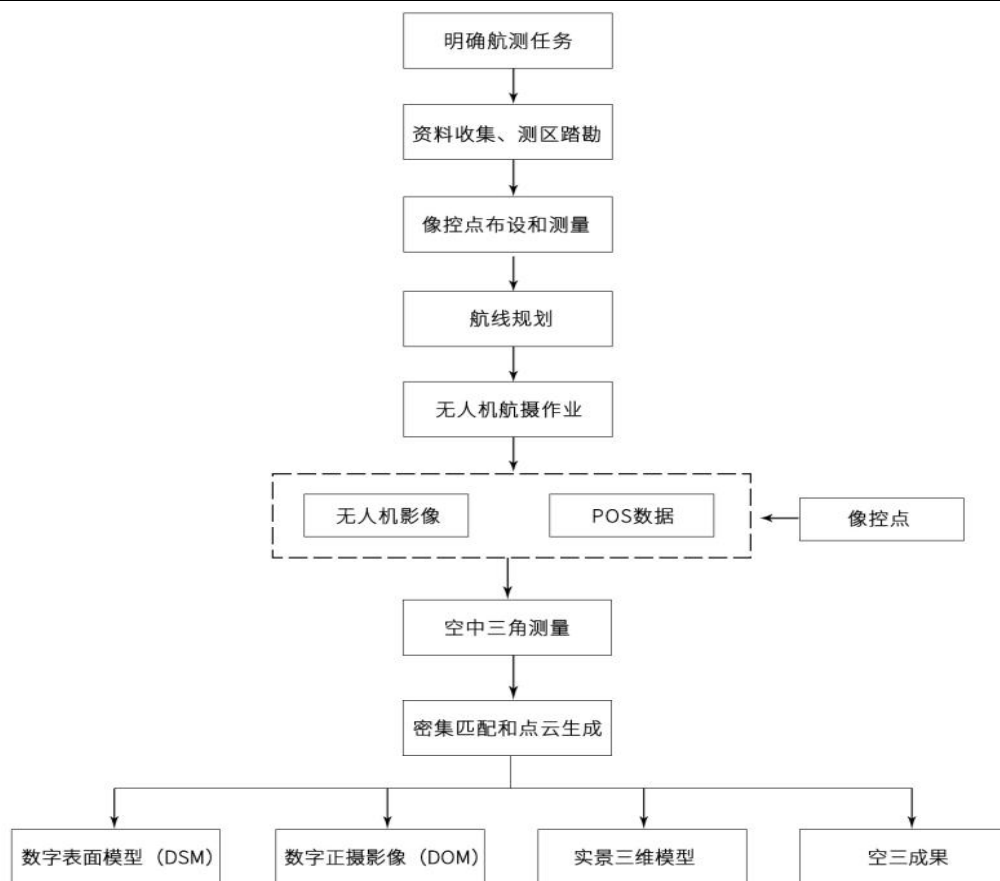


图1 研究技术流程图

1.1 系统组成与工作原理

无人机航空摄影测量系统是一个集中的系统,主要包括三个部分:飞行控制系统、无人机飞行平台、影像传感器。飞行控制系统就是整个无人机的“大脑”,控制整个飞行的各项任务,包含航迹规划、姿态控制、自主航线导航等功能,地面人员借助控制系统实施起飞及降落操作,当无人机起飞之后,便可按照规划好的路线自行飞行。无人机飞行平台相当于系统的载体,它的续航能力、承重能力和运行安全性直接影响着拍摄工作的效率以及范围大小。影像传感器就是整个系统的“心脏”,它的性能好坏直接影响着采集的数据质量,现阶段,为了适应大比例尺测绘的要求,往往会配置高像素的倾斜摄影相机或者多镜头相机,以采集地物不同方向上的丰富纹理信息。

1.2 无人机航摄技术与数据处理流程

进行无人机航摄首先需要明确航测任务的目标、精度与成果要求,继而开展测区资料收集与现场踏勘,为像控点布设与高精度坐标测量提供依据;在此基础上进行航线规划,合理设定航向、旁向重叠度及飞行参数,随后实施无人机航摄作业,获取原始影像、POS数据及像控点数据。进入数据处理阶段后,首先通过空中三角测量对影像进行特征匹配与区域网平差,结合POS与像控点信息解算出精确的外方位元素,生成空三成果;在此基础上进行密集匹配并生成三维点云,进而构建数字表面模型

(DSM)。基于DSM与空三成果,通过数字微分纠正与镶嵌处理生成数字正射影像(DOM),同时利用密集点云与纹理映射技术构建实景三维模型,最终完成从原始航测数据到多种测绘成果的全流程生产。如图1所示:

1.3 技术优势与局限性分析

与传统的测绘技术相比,无人机航测的优势明显,主要表现在高效率、低成本、灵活、产品多样等几个方面,可以很好地弥补传统测绘的不足,大大提高测绘工作的整体效率。但是无人机航测也有其不足之处,受电池续航能力以及镜头性能的制约,对大面积、高精度的测图工作来说,一般要进行多次重复飞行,从而增加作业成本,并且加大后期数据处理的难度,在障碍物密集的地方,如繁茂林地、密集的城市高楼峡谷等,影像数据很难完全采集到,容易造成三维建模出现死角、成果精度降低等问题^[1]。

2 数字测图的数据基础构建

2.1 外业航飞与像控点布设

外业航拍是无人机航测信息采集的第一步,在制作大比例尺地形图的时候,要根据不同的比例尺要求来确定对应的地面采样间隔(GSD)。制作1:500地形图时一般要求GSD不大于5cm,飞行高度、航线重叠率(60%-80%)等重要参数都必须根据GSD和摄影机有关指标来准确计算,从而保证航摄数据的准确性,为后续成果精度打下基础。

表 1 1:500 地形图精度检验误差统计表

检测项目	检测点数(个)	中误差(m)	限差要求(m)	合格率(%)	备注
平面精度	550	±0.037	±0.15 (1:500 地物点)	100	符合规范要求
高程精度	550	±0.045	±0.15 (1:500 高程注记点)	100	符合规范要求

注: 根据《1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量数字化测图规范》(GB/T 15967-2024) 和《1:500、1:1000、1:2000 地形图质量检验技术规程》CH/T 1020-2010 要求, 1:500 地形图地物点平面位置中误差不应大于±0.15m, 高程注记点中误差不应大于±0.15m。

此外, 像控点作为连接航空摄影测量与地面实际坐标的核心纽带, 其设置合理性至关重要。在1平方公里的试验区内, 共布置20个像控点, 其中12个用于空三加密, 8个用作检核点, 点位分布如图2所示。合理的像控点数量与科学的分布, 能够有效控制误差累积, 保障空中三角测量的良好效果^[2]。



图2 控制点展点图

2. 2内业数据处理与模型生成

外业作业完成后, 即进入内业数据处理与计算环节, 该环节通常采用Smart3D、大疆智图、重建大师等专业软件开展工作, 其主要步骤分为三个阶段: ①数据准备阶段, 将源像片、POS数据、像控点坐标等基础资料导入软件, 完成前期数据录入与整理。②空中三角测量阶段, 通过软件自动完成特征点匹配、自由网平差、刺像控点及约束平差等操作, 最终获取高精度空三成果。③成果生成阶段, 以空三成果为核心基础, 生成高密度点云, 构建不规则三角网(TIN), 并通过纹理映射技术, 形成真实的三维模型(OSGB格式)以及数字正射影像(DOM)等成果。

图3是基于实景三维模型制作而成的1:500数字线划图成果展示图, 直观呈现了内业处理的最终效果, 也验证了该处理流程的可行性与有效性。

2. 3数据成果的精度评定与控制

成果数据的质量必须经过现场检验方可保障, 检验工作通常采用同精度检验方式开展: 以GPS-RTK等测量设备采集一定数量的特征点作为检验点, 将其与从成果数据中量算得出的对应

点进行距离对比, 进而计算出平面及高程方面的中误差, 以此评判成果精度。在某示范项目的检验工作中, 研究者共对550个地物点进行抽检, 用于检验1:500地形图的绝对精度, 具体误差统计如表1所示。



图3 1:500大比例尺测图最终成果示意图

3 基于立体像对的传统测图应用

3. 1立体测图原理与硬件环境

基于立体像对的传统测图, 其核心数据基础是空中三角测量加密成果与立体像对。立体测图建立在摄影测量基本理论之上, 利用同一地物在两个不同摄站获取的立体像对, 通过前方交会原理推算其空间三维坐标^[3]。作业时, 观察者需佩戴专用立体眼镜, 左右眼分别观察左右影像, 通过大脑视觉融合构建立体模型, 进而识别地物并完成矢量化。在硬件环境方面, 该方法对计算机外设要求苛刻, 需配备专业立体显卡、专业立体显示器, 并搭配手轮、脚盘、3D眼镜等专用设备。整体硬件成本较高, 且通常需在暗室或遮光环境下作业以保证立体观测效果。

3. 2立体测图作业流程

以立体像对为基础的测图流程较为繁琐, 主要包括: 工程创建、影像加载与定向检查、立体模型建立与恢复(含相对/绝对定向)、核线生成、立体矢量采集、属性录入及成果输出。该过程需人工全程深度参与, 对作业人员的空间思维与操作技巧要求较高^[4]。

表 2 立体测图与裸眼三维测图综合对比表

对比维度	立体测图	裸眼三维测图
技术原理与数据	基于立体像对的双目视觉；空三成果+立体像对	基于实景三维模型的单目视觉；实景模型(OSGB)
硬件配置与成本	专业立体显卡/显示器、手轮脚盘、3D 眼镜(成本高)	普通显卡、普通显示器、鼠标键盘(成本低)
作业环境	空三加密成果+立体像对	实景三维模型(OSGB)
工程恢复	复杂,需内定向、相对定向、绝对定向等多个步骤	简单,直接加载模型即可
人才要求	要求高,需具备立体视觉和空间想象能力,学习周期>2个月	要求低,有 CASS 基础者 1-2 周可掌握,符合人眼视觉习惯
采集效率	开阔区高,建筑密集区较低	建筑区高,开阔区无明显优势
全周期效率	较长,数据采集、内业、外业补测耗时均很长	较短,尽管前期建模慢,但后续流程的高效大幅压缩了整体周期。
平面精度	高(可达 1:500~1:2000 要求,约 5-20cm)	较高(在模型精度足够时可达到同等水平)
高程精度	极高且稳定	相对较低(受限于模型匹配,易采集到表面高程)
适用场景	地形起伏区、植被覆盖区的高程精准采集及精细修测	建筑密集区、大范围地物平面属性采集及紧工期项目

3.3 立体测图作业流程

以立体像对为基本的测图流程,大致分为工程创建、影像加载与定向检查、立体模型建立与恢复(相对或绝对定向)、核线生成、立体矢量采集、属性录入和成果输出。此过程必须要有 人工的全程深入介入,对作业人员的空间思维和操作技术有着较高的要求。

3.4 立体测图的优缺点分析

立体测图的平面和高程精度很高,在建筑物拐角、道路沿线以及地形起伏的地方特征明显。但是它的劣势也十分明显,硬件昂贵、流程繁杂、模型恢复困难、人员培训时间长(约两个月),并且长期作业容易造成视觉疲劳。

4 基于实景模型的裸眼三维测图应用

4.1 实景三维模型：数据可视化

实景三维模型是利用倾斜摄影测量技术,将多视角影像进行密集匹配并建立三维模型得到的。其生产过程大致可以分为空三加密得到高密度点云、建立 TIN 白模、影像纹理贴图。该模型可以逼真地模拟出现实中的地形地貌,是裸眼三维测绘以及数字孪生城市的数据基础。实景模型数据量大,一般用 OSGB 格式存储。

4.2 裸眼三维测图技术原理与实现方式

裸眼三维测图依靠实景三维模型,在普通二维显示屏上用漫游、缩放浏览三维场景,直接在模型表面做点选、绘线、属性采集。其主要流程就是新建工程、加载 OSGB 模型、统一坐标系

和空间纠偏、根据纹理特征分类提取矢量地物、属性填充和拓扑验证、导出 DWG/SHP 成果。不需要使用 3D 眼镜,符合人眼自然的认知,大大降低了测绘入门的门槛。

4.3 应用优势与典型场景

与传统的立体测图相比,裸眼三维测图有设备投入小、学习成本低(有 CASS 基础者一周内可学会)、省去复杂定向过程效率高、采编一体化等特点。典型的使用场景有河流湖泊确权、水利普查、新农村建设与美丽乡村地形图测绘、地籍测量和不动产登记、应急测绘与灾情调查、裸露矿产测量和土石方量计算等。

4.4 立体测图与裸眼三维测图的综合对比与应用策略

为了对两种技术有一个全面的了解,本文把原硬件配置、作业流程、精度效率等各方面进行整合,做全方位的对比,如表 2 所示。

混合应用策略中前者的优点和后者的缺点相互补充,不是互相取代的关系。在实际作业中推荐使用“裸眼测图为主、立体测图为辅”的混合模式,即在测量过程中优先采用裸眼测图方式,在条件允许的情况下再使用立体测图方式。

(1) 地物和建筑在裸眼三维环境里快速获取轮廓和属性,可以做到 80%到 90%的要素采集。

(2) 地形和地貌,在立体测图环境下用核线影像准确地获取高程以及等高线。

(3)数据核验,用立体测图的高程优势来校验修正裸眼测图在植被区等复杂地形的高程点,保证整体精度。

5 结束语

本文对基于立体像对的立体测图、基于实景模型的裸眼三维测图技术特点进行了详细的总结。两者各有所长,立体测图更精确,裸眼测图更高效、更经济。在实际生产中应该抛弃非此即彼的思想,建立“取长补短”的混合生产流程。随着无人机硬件更新、AI技术、三维建模软件的不断迭代,测绘数字化会更加趋向于自动化、智能化、精细化,给数字中国建设赋予更强的空间数据支持。

[参考文献]

[1]王国仁.基于垂直摄影生产大比例尺地形图的两种方式

对比分析[J].科学技术创新,2021(15):23-24.

[2]匡再谊.无人机倾斜摄影测量技术在大比例尺测图中的应用及关键技术研究[J].华北自然资源,2024(06):106-109.

[3]苗小芒.无人机倾斜摄影测量在大比例尺测图技术中的应用研究[J].信息记录材料,2021,22(12):131-132.

[4]周平,唐新明,李丹丹,等.资源三号03星立体影像与激光测高点联合区域网平差处理及精度验证[J].遥感学报,2024,28(04):1089-1100.

作者简介:

庄甜(1986—),女,汉族,江苏邳州人,大学本科,工程师,研究方向:测绘工程。