

无人机航测在大比例尺地形图测绘中的应用

袁辉 王志伟

江苏煤炭地质物测队，江苏 南京 210046

[摘要]随着测绘地理信息技术快速发展起来，无人机航测技术凭借自身高效、灵活以及高精度等特性，在大比例尺地形图测绘这个领域里凸显出了颇为显著的应用优势以及潜在的发展潜力。文章主要对无人机航测技术的核心构成以及作业流程展开较为系统的阐述，同时针对大比例尺地形图测绘所提出的有关精度、内容以及规范方面的严格要求给予细致剖析，并且着重就无人机航测在该领域应用时所涉及到的各项关键技术环节展开探讨，其内容包含从精细化的航线规划以及控制点布设一直到高分辨率多视角影像的采集工作，接着生成高精度的实景三维模型以及点云数据，最后完成数字化测图以及地形要素提取这一整个过程。

[关键词]无人机航测；实景三维模型；数字化测图

DOI: 10.33142/aem.v7i12.18664 中图分类号: P231

文献标识码: A

Application of UAV Aerial Survey in Large Scale Topographic Mapping

YUAN Hui, WANG Zhiwei

Jiangsu Coal Geological Survey Team, Nanjing, Jiangsu, 210046, China

Abstract: With the rapid development of surveying and mapping geographic information technology, unmanned aerial vehicle (UAV) aerial surveying technology has highlighted significant application advantages and potential development potential in the field of large-scale topographic mapping due to its high efficiency, flexibility, and high accuracy. The article mainly elaborates on the core components and operational processes of unmanned aerial vehicle (UAV) aerial surveying technology, and provides a detailed analysis of the strict requirements for accuracy, content, and specifications in large-scale topographic mapping. It also focuses on exploring the key technical aspects involved in the application of UAV aerial surveying in this field, including fine route planning and control point layout, high-resolution multi view image acquisition, high-precision real-world 3D models and point cloud data, and finally completing the entire process of digital mapping and terrain feature extraction.

Keywords: unmanned aerial vehicle surveying; realistic 3D model; digital mapping

引言

近年来，随着测绘科技的迅猛发展，以无人机测量为代表的新型测量方法正逐步被引入到大比例尺地形图测绘领域中。传统的地形测绘技术主要依靠野外实测和航拍，尽管已有一定的经验，但仍存在着人力成本高、周期长、受地形、气候等因素制约的问题。无人机航拍为上述问题的解决开辟了一条新的途径，借由无人机的机动性、高效性与现代传感技术的优势，可实现复杂地形条件下的高分辨。

1 无人机航测技术概述

1.1 系统组成与工作原理

无人机航测系统属于一个综合性技术体系，其中整合了飞行平台、任务载荷、地面控制以及数据处理软件等诸多方面。其核心的飞行平台主要是指那些可搭载传感器的各类固定翼或者多旋翼无人机，这些无人机的任务是依据预先设定好的航线来稳当地实现自动飞行操作。任务载荷涵盖的范围比较广，像高分辨率数码相机就包含在内，尤其是那种拥有多个镜头且能同步曝光的倾斜摄影相机，

还有由惯性测量单元以及全球导航卫星系统接收机构成的定位定姿系统，它们一道在飞行期间从垂直或者倾斜的不同角度去获取地表影像，并且同步把每张影像所对应的高精度位置以及姿态参数都记录下来。地面控制系统在整个系统中充当着任务规划以及飞行监控方面的指挥中枢角色，而数据处理软件则担负着处理海量影像数据的诸多繁重任务，比如影像数据的拼接工作、空三加密操作、模型重建事宜以及信息提取等方面。无人机航测的基本工作原理是这样的：先合理规划好飞行航线，让无人机所搭载的传感器系统针对目标区域有条不紊地开展影像数据采集活动，随后借助摄影测量学里的共线方程理论以及多视角立体匹配算法，把那些存在重叠度的二维序列影像还原成目标区域的三维空间信息，进而构建出能够用于测量以及制图的数字化产品。

1.2 技术特点与作业流程

无人机航测和传统测绘技术相比，有诸多技术特点。其作业高度灵活，数据获取快，空间分辨率高，还能轻松获取建筑物立面纹理信息。其标准化作业流程一般从详尽

的测前规划开始,包含空域申请、航线设计以及像控点布设方案制定。之后进入外业数据采集阶段,无人机依据计划升空,执行自动飞行与拍摄任务。外业结束后,获取的原始影像与 POS 数据会被导入专业处理软件,经过一系列核心处理步骤,如数据预处理、空中三角测量计算、密集匹配生成点云、构建纹理映射三维模型等。在数字化测图环境下,依据生成的实景三维模型或数字表面模型,完成地形地物要素的测绘与编辑,输出符合规范要求的大比例尺地形图成果。

2 大比例尺地形图测绘的技术要求

2.1 比例尺与精度指标

大比例尺地形图,一般而言是指比例尺大于或者等于1:5000的那种地形图产品,它的关键特点就在于能够极为详尽且精确地对地理要素的空间位置以及属性信息加以描述。国家层面以及相关行业所颁布的一系列测绘规范,针对这类图件的数学精度设定了极为严苛的要求^[1]。就好比说,对于比例尺为1:500的地形图来讲,图上地物点相对于附近控制点的点位中误差,在平坦地区通常是不允许超出特定的厘米级限差的,而高程注记点的高程中误差也都有着相应的明确规定。这些精度指标堪称是检验地形图成果是否能够达标的最为根本的依据所在,不论何种生产技术手段,都务必要把确保能够满足这些精度要求当作前提条件来遵循,无人机航测技术在应用的时候也同样得围绕着这一核心目标去开展相关工作,其技术设计以及流程优化也需要紧紧围绕着最终成果的精度保障这个方面来服务。主要精度指标示例如表1所示。

表1 大比例尺地形图主要精度指标示例(部分摘录)

比例尺	地物点平面位置中误差 (图上 mm)	高程注记点高程中误差(基本 等高距)
1:500	平坦地区: ≤0.3	平坦地区: ≤1/3
	丘陵地区: ≤0.4	丘陵地区: ≤1/2
	山地: ≤0.6	山地: ≤2/3
1:1000	平坦地区: ≤0.3	平坦地区: ≤1/3
	丘陵地区: ≤0.4	丘陵地区: ≤1/2
	山地: ≤0.6	山地: ≤2/3
1:2000	平坦地区: ≤0.3	平坦地区: ≤1/3
	丘陵地区: ≤0.4	丘陵地区: ≤1/2
	山地: ≤0.6	山地: ≤2/3

2.2 要素内容与表示规范

除了数学精度之外,大比例尺地形图还应当完整且准确地呈现出测量规范里所规定的所有各类地形以及地物要素。这些要素所涉及的内容,一方面包含了道路、水系、植被、地貌等属于自然地理范畴的实体,另一方面也包含了建筑物、管线、垣栅、独立地物等属于人文地理范畴的实体,并且要依照统一的图式符号、线划规格以及注记规则来达成规范化呈现的目的。地形图在表达方面必须要具

备清晰性、易读性以及一致性,从而能够为使用地图的人给予直观并且没有歧义的空间相关信息。所以说,凭借无人机航测数据去生产地形图的整个过程,绝不仅仅只是一个单纯提取几何信息的过程,而是一个依据制图规范来开展综合取舍以及符号化表达的工作,这无疑对数据处理以及要素识别提取算法的智能化程度以及规范化程度都提出了比较高的要求。

3 无人机航测在大比例尺地形图测绘中的关键技术环节

3.1 航线规划与像控点布设

科学且合理的航线规划,乃是保障航测数据质量以及后续处理精度的关键前提。规划时所涉及的各项内容,得全面考量诸多因素,像是成图比例尺所要求的地面分辨率、重叠度的具体设定情况、无人机可续航的实际能力、测区地形呈现出的起伏状况以及确保安全飞行所需的高度等方面。一般来讲,要满足三维建模方面的需求,那么航向重叠度以及旁向重叠度就需要设定在相对较高的程度上。与此像控点的布设方案同样是极为重要的。这些像控点作为地面标志点,会均匀分布在测区的内部与外部,它们所具有的精确大地坐标是借助地面测量的方式去获取的,在后续开展的空中三角测量环节当中,能够起到绝对的约束作用以及对精度加以控制的作用。像控点的数量多少、分布的密度大小还有点位目标的选取情况,会对空三加密的整体精度以及可靠性产生直接影响,进而最终确定了地形图的数学精度,所以务必要根据测区的具体形状以及精度方面的要求来精心地予以设计。关键作业参数与技术要求如表2所示。

表2 大比例尺地形图无人机航测关键作业参数与技术要求

关键环节	主要参数/要求	建议指标/说明
影像重叠度	航向重叠度	≥80% (确保三维建模可靠)
	旁向重叠度	≥60%
像控点布设	布设方案	“周边+中间”均匀分布
	测量精度	应高于成图精度一个等级
	标志要求	醒目、稳定、易于识别
地面分辨率 (GSD)	1:500 比例尺	≤5cm
	1:1000 比例尺	≤10cm
飞行时间/天气	光照条件	晴朗无云, 避免阴影过长
	风力	一般不大于4级

3.2 多视角高分辨率影像获取

数据获取阶段最为关键的任务是要借助无人机所搭载的传感器系统来高效地采集影像,这些影像要能覆盖整个测区,并且得具备高空间分辨率以及高辐射质量,还是多视角的序列影像才行。高分辨率是保证能够识别并提取细小地形地物要素的基础,多视角影像,尤其是依靠倾斜摄影技术所获取的那些包含建筑物立面信息的影像,对于

实现实景三维模型的完整重建、解决建筑物遮挡的问题以及提升高程测量的精度而言，是极为关键的。在开展飞行作业的时候，务必要确保相机曝光参数的设置是合适的，使得影像清晰、色彩均匀、曝光适度，防止出现运动模糊或者过曝、欠曝等情况，从而给后续的处理工作提供优质的原始数据来源。

3.3 实景三维模型与点云生成

获取的原始影像数据在经过相应的预处理操作之后，便进入到最为关键的计算阶段。在这个阶段当中，先是凭借带有 POS 数据作为辅助手段的区域网空中三角测量方式，来对所有影像的高精度外方位元素加以解算，进而构建起影像彼此之间那种极为严密的几何关联^[2]。在此之后，依靠多视角立体匹配算法，去生成出高密度的三维点云数据，而这样的点云密度之高，完全可以细致入微地呈现出地物的几何形态。把点云进行构网处理并且自动映射上真实的纹理，由此便形成了一种拥有真实视觉效果的实景三维模型。这一模型属于一种数字化的、具备可量测特性的、极为逼真的地理场景再现形式，它一方面能够成为后续地形要素测绘环节里的主要工作底图，另一方面其自身还能够直接衍生出像数字表面模型、数字高程模型以及真正射影像图等诸多种类的数字化产品。

3.4 数字化测图与地形要素提取

以生成的实景三维模型或者 DSM 当作主要的数据来源，作业人员会在专业的数字摄影测量工作站又或者是三维测图软件里开展交互式的数字化测图相关工作。和传统的那种基于立体像对的测图方式相比而言，基于三维模型的测图环境会更为直观一些，而且不需要专业的立体观测设备，如此一来便把操作的门槛给降低了。作业人员借助于在三维场景当中直接去采集地物的轮廓线以及特征点线，并且赋予其相应的属性编码与符号，进而一步步地完成所有地形要素的提取以及表达方面的工作。对于部分规则地物或者特定要素来讲，同样可以试着利用人工智能算法来达成半自动或者自动识别与提取的目的，以此提升作业的效率。这个阶段可以说是最终地形图产品能够成型的极为关键的步骤，在此期间需要作业人员同时拥有测绘方面的知识以及地图制图方面的知识，从而保证提取内容的准确性以及表示方式的规范性。

4 无人机航测在大比例尺地形图测绘中的优化策略

4.1 数据获取阶段的优化策略

在数据获取这个阶段，优化策略应当着重关注提升原始数据的质量以及适用性。在获取方式上，除了常规的正射航线之外，要优先采用那种搭载着五镜头相机的倾斜摄影方案，如此便能够从多个角度去获取地物的相关信息。对于那些高大建筑物比较密集的区域或者地形高差变化十分剧烈的区域，可以去设计分层飞行的方案，或者增加

交叉航线，通过这样的方式来让遮挡区域的数据获取效果得以改善。像控点在布设的时候，应该遵循“周边加中间”的这样一个原则，同时要使用那种醒目且稳定的标志，而且其测量精度务必要比成图精度高出至少一个等级才行。除此之外，挑选光照条件比较好的天气来进行相关作业，并且要对相机展开严格的检校工作，这些都属于是保障影像质量必不可少的一些措施。

4.2 数据处理阶段的优化策略

数据处理阶段的优化，其目的在于提升计算效率以及成果精度。借助高性能计算集群或者云计算资源来处理海量影像数据，这已然成为行业的普遍趋势。在空三加密这一环节当中，若引入更多连接点并且采用更为稳健的平差算法，那么便能够有效地对误差的积累与传播加以控制^[3]。就点云生成而言，需要依据地物类型以及复杂程度，灵活且自适应地去调整匹配算法的各项参数，在确保细节得以保留的前提下，尽可能地减少那些冗余的数据^[3]。而在开展三维模型重建工作之时，务必要关注模型几何结构方面的优化，同时还要妥善处理纹理接边处的自然融合事宜，从而避免出现诸如扭曲或者破洞之类的不良现象，进而为后续的测图营造出一个较为良好的可视化环境。

4.3 产品生成阶段的优化策略

在产品生成也就是数字化测图这个阶段，优化的方向主要集中在提高人机交互的智能化程度以及让作业流程的标准化程度得以提升上。去开发或者集成那种依据深度学习所打造的地物自动分类还有提取工具，如此一来便可以让作业人员从诸多重复性的轮廓描绘工作当中获得部分的解脱，进而能够把精力更多地聚焦在质检以及编辑相关的工作上面。要建立起标准化的地形要素采集模板以及符号库，以此来保障不同作业人员所取得成果的一致性。与此还需要构建起一套从三维模型数据一直到最终地形图成果这样完整链条之中的、高效且顺畅的数据流转以及质检流程，从而降低在中间环节可能出现的错误情况。

4.4 全流程协同与管理优化策略

从更为宏观的角度来讲，得构建起能够贯穿整个项目始终的全流程协同以及质量管理体系。要制定出详尽且专门针对无人机航测项目的那份技术设计书，同时还得制定出相应的作业指导书，把各个不同环节所对应的技术指标以及质量控制点都清晰明确地确定下来^[4]。得强化外业团队和内业团队彼此之间的沟通联系，务必要保证像控点信息、飞行记录还有原始数据都能够准确无误地完成交接工作。要引入项目管理软件来对项目的进度情况、数据版本状况以及问题记录事项展开跟踪式的管理操作。借助定期开展的人员培训活动以及技术方面的交流研讨，持续不断地提升整个团队所具备的技术能力以及协作效率，进而从系统层面切实有效地保障项目成果具备可靠性以及规范性，最终顺利达成项目所设定的目标。

5 结束语

无人机航测技术给传统的大比例尺地形图测绘增添了新的生机与活力。它把先进的飞行控制技术、传感器技术还有数据处理技术整合到一起，搭建起一套完整的从空中采集数据一直到地面生成信息产品的技术方案。这项技术可大大提升测绘作业的效率，让外业工作的强度以及风险都降低了。凭借其获取数据时具备的高分辨率、多视角的能力，还为生产那种精度高、时效性强且信息丰富的地形图打下了稳固的数据根基。往后，随着无人机平台性能不断进步、传感器技术一天天完善，再加上人工智能算法在数据处理以及信息提取环节里融合得更深，无人机航测技术肯定会在自动化、智能化方面获得更大进展，进而进一步稳固并扩展其在大比例尺地形图测绘以及相关地理信息工程服务里的关键地位，持续为国家经济建设和社会发展给予更为精准、高效且可靠的空间地理信息保障。

【参考文献】

- [1] 袁祥海,谢志锋.无人机航测在大比例尺地形图测绘中的应用探究[J].中国战略新兴产业,2025(9):128-130.
 - [2] 乐泽龙.无人机航测技术在矿山大比例尺地形图测量中的应用[J].中国高新科技,2022(24):145-147.
 - [3] 路璐.基于微型无人机航测大比例尺地形图的测绘[J].黑龙江科学,2022,13(8):130-131.
 - [4] 魏世丽,董巧玲.浅析无人机航测技术在大比例尺地形图测绘中的应用[J].华北自然资源,2023(4):99-101.
- 作者简介：袁辉（1987.3—），毕业院校：中国地质大学武汉，所学专业：测绘工程技术，当前就职单位名称：江苏煤炭地质物测队，就职单位职务：职员，职称级别：助理工程师；王志伟（1993.3—），毕业院校：丽水职业技术学院，所学专业：工程测量与监理，当前就职单位名称：江苏煤炭地质物测队，就职单位职务：职员，职称级别：助理工程师。