

# 无人机航空摄影测量在地形测绘中的应用与精度分析

李辉

宁夏禾宇空间测绘有限公司, 中国·宁夏 银川 750004

**摘要:** 无人机航空摄影测量技术作为现代测绘领域的重要手段, 凭借其高效、灵活、成本低廉等显著优势, 在地形测绘中发挥着越来越重要的作用。本文旨在系统阐述无人机航空摄影测量的基本原理及其在地形测绘中的具体应用, 深入分析不同无人机平台与传感器类型对测量精度的影响, 并详细介绍地形测绘中的数据采集流程。同时, 本文还将探讨提高测量精度的关键技术手段, 以期为相关领域的研究与实践提供参考与借鉴。

**关键词:** 无人机航空摄影测量; 地形测绘; 应用; 精度分析

## Application and Accuracy Analysis of Drone Aerial Photogrammetry in Terrain Mapping

Li Hui

Ningxia Heyu Space Surveying and Mapping Co., Ltd, China Ningxia Yinchuan 750004

**Abstract:** As an important means of modern surveying and mapping, drone aerial photogrammetry technology plays an increasingly important role in terrain surveying and mapping due to its significant advantages such as high efficiency, flexibility, and low cost. This article aims to systematically explain the basic principles of unmanned aerial vehicle aerial photogrammetry and its specific applications in terrain surveying, deeply analyze the influence of different unmanned aerial vehicle platforms and sensor types on measurement accuracy, and provide a detailed introduction to the data acquisition process in terrain surveying. At the same time, this article will also explore key technical means to improve measurement accuracy, in order to provide reference and inspiration for research and practice in related fields.

**Keywords:** Unmanned aerial vehicle aerial photogrammetry; Topographic mapping; Application; Precision analysis

## 0 引言

随着科技的飞速发展, 地形测绘领域正经历着前所未有的变革。传统测绘方法因受限于环境、成本及效率等因素, 已难以满足日益增长的测绘需求。在此背景下, 无人机航空摄影测量技术应运而生, 并迅速成为地形测绘领域的一股新兴力量。它不仅克服了传统方法的诸多局限, 还以其高效、灵活和成本效益高的显著优势, 为地形测绘工作带来了革命性的变化。本文将深入探讨无人机航空摄影测量的基本原理, 详细阐述其在地形测绘中的具体应用, 全面分析影响测量精度的关键因素, 并针对性地提出一系列提高测量精度的有效技术手段, 以期为相关领域的研究与实践提供有益的参考与借鉴。

## 1 无人机航空摄影测量概述

### 1.1 无人机航空摄影测量的定义与原理

无人机航空摄影测量作为地形测绘领域的重要技术手段, 在现代测绘工作中发挥着日益关键的作用。从定义上来说, 无人机航空摄影测量是指利用无人机搭载专业的摄

影测量设备, 在一定高度的空中按照预定的航线对地面进行连续拍摄, 获取高分辨率的影像数据, 再通过专业的软件和算法对这些影像数据进行处理和分析, 从而生成地形地貌的三维模型、数字高程模型 (DEM)、正射影像图 (DOM) 等测绘成果的技术。其原理基于摄影测量学的基本理论, 通过对不同位置拍摄的具有一定重叠度的影像进行匹配和解析, 利用三角测量原理确定地面点的三维坐标。

### 1.2 无人机航空摄影测量在地形测绘中的作用

无人机航空摄影测量在地形测绘中发挥着至关重要的作用, 其应用极大地推动了地形测绘领域的发展。从定义与原理来看, 无人机航空摄影测量是利用无人机搭载传感器, 按照一定的飞行计划对地形进行拍摄, 通过获取的影像数据来构建地形模型, 从而实现对地形的精确测绘。这种测量方式打破了传统地形测绘受地形条件和人力限制的局面, 能够快速、高效地获取大面积地形信息。在实际的地形测绘工作中, 无人机航空摄影测量的作用显著。传统测绘方式可能需要数月时间, 且由于山区地形复杂, 部分

区域难以到达,导致测绘数据存在缺失。而采用无人机航空摄影测量技术,仅用数周时间就完成了整个山区的地形数据采集。通过高精度的传感器,获取了分辨率高达厘米级的影像数据,为后续的地形分析和规划提供了详细准确的基础资料。在数据采集流程方面,合理的无人机飞行计划制定和规范的实地数据采集操作步骤是确保获取高质量数据的关键。根据地形特点和测绘要求,精确规划无人机的飞行路线、高度和拍摄间隔,能够保证影像数据的完整性和重叠度。在实地操作中,严格按照预定计划进行数据采集,及时检查数据质量,为后续的数据处理和地形模型构建提供可靠保障。数据处理与地形模型构建是无人机航空摄影测量的核心环节。原始数据的预处理方法能够去除噪声和误差,提高数据的准确性。通过先进的算法和流程构建地形模型,能够直观地展示地形的三维特征。例如,利用数字表面模型(DSM)和数字高程模型(DEM),可以对地形的起伏、坡度等进行精确分析,为土地利用规划、工程建设等提供科学依据。如图1,无人机地形测绘技术流程。

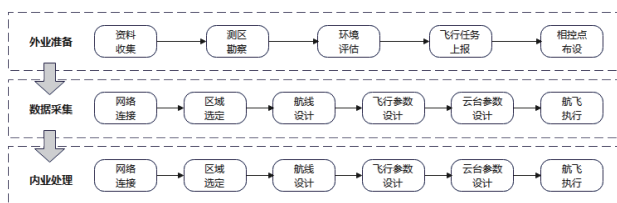


图1 无人机地形测绘技术流程

## 2 无人机平台与传感器选择

### 2.1 无人机平台的分类及其适用性

在无人机航空摄影测量用于地形测绘的过程中,无人机平台的分类及其适用性是极为关键的环节。不同类型的无人机平台在地形测绘领域有着各自独特的优势和适用场景。从分类上看,常见的无人机平台主要有固定翼无人机、多旋翼无人机和复合翼无人机。

固定翼无人机具有飞行速度快、航程远的特点,其飞行速度一般可达到每小时50-100公里,航程能达到数十甚至上百公里。这使得它非常适合大面积的地形测绘任务。例如在对一片广袤的山区进行地形测绘时,固定翼无人机可以快速覆盖大片区域,高效地完成数据采集工作。多旋翼无人机则以其灵活性和稳定性著称。它可以垂直起降,能够在狭小的空间内作业,并且可以在空中悬停,这对于需要精确采集数据的小范围地形测绘任务十分适用。比如在城市中的建筑密集区域或者复杂的山地峡谷等地形中,多旋翼无人机可以灵活地穿梭,获取高精度的地形数

据。但多旋翼无人机的续航能力相对较弱,一般续航时间在20-40分钟左右,这限制了它在大面积测绘中的应用。复合翼无人机结合了固定翼和多旋翼的优点,既具备垂直起降的能力,又有较长的续航和较快的飞行速度。它的续航时间通常在1-3小时之间,飞行速度可达每小时30-80公里。在一些中等面积的地形测绘项目中,复合翼无人机表现出了良好的适用性。

### 2.2 传感器类型及其对测量精度的影响

常见的传感器类型有光学传感器、激光雷达传感器等。光学传感器主要通过拍摄影像来获取地形信息,其测量精度受多种因素制约。例如,在山区地形测绘项目中,使用普通光学传感器进行测量,由于山区地形复杂,光照条件差异大,影像的清晰度和对比度受到影响。经实际测量分析,在光照充足且地形相对平缓的区域,光学传感器能够达到厘米级的测量精度,平面精度约为±5cm,高程精度约为±8cm;然而在光照不足的山谷或植被茂密区域,测量精度大幅下降,平面精度可能降低至±15cm,高程精度降至±20cm。这是因为光学传感器依赖于光线反射成像,复杂的地形和光照条件会导致影像模糊、阴影遮挡等问题,从而影响后续的数据处理和地形模型构建的精度。

激光雷达传感器则是通过发射激光束并测量反射光的时间来获取地形数据,具有较高的穿透性和三维测量能力。在城市地形测绘案例中,激光雷达传感器能够穿透植被和建筑物的遮挡,准确获取地面点云数据。研究表明,激光雷达传感器在城市环境中的测量精度较高,平面精度可达±3cm,高程精度可达±5cm。但激光雷达传感器也存在一定局限性,其测量精度会受到扫描角度、点云密度等因素的影响。当扫描角度过大时,点云数据的密度会降低,导致地形细节信息丢失,从而影响测量精度。通过建立误差分析模型可以发现,扫描角度每增加10°,测量精度可能会降低约1~2cm。

## 3 地形测绘中的数据采集流程

### 3.1 无人机飞行计划的制定

在无人机航空摄影测量用于地形测绘的工作中,无人机飞行计划的制定是极为关键的一环,它直接关系到后续数据采集的质量和地形测绘的精度。从定义与原理来看,无人机航空摄影测量是利用无人机搭载传感器,按照特定的飞行路径获取地形影像数据,再通过一系列处理构建地形模型。而合理的飞行计划制定则是实现这一过程的基础。在制定无人机飞行计划时,需要综合考虑多方面因素。首先要依据测绘区域的地形地貌特征,对于地形起伏较大

的山区,要合理规划飞行高度,确保能获得完整且清晰的地形影像数据,同时避免因高度过低导致无人机碰撞障碍物;对于平坦的平原地区,可适当降低飞行高度以提高影像分辨率。其次,要根据测绘任务的要求确定飞行速度,飞行速度过快可能导致影像模糊,影响数据质量,飞行速度过慢则会延长作业时间,降低效率。此外,还要规划好飞行航线,航线应尽量覆盖整个测绘区域,避免出现遗漏,同时要保证航线之间的重叠度符合要求,以便后续数据处理时能更好地拼接影像。除了上述提到的因素外,天气状况也是制定飞行计划时不可忽视的重要方面。在晴朗无风或微风天气下,无人机飞行较为稳定,能更好地按照预定计划执行任务,获取高质量的影像数据。若遇到大风、暴雨、雾霾等恶劣天气,不仅会影响无人机的飞行安全,还可能导致影像模糊、数据丢失等问题,因此应尽量避免在这些天气条件下进行飞行作业。另外,还需考虑当地的空域管制情况,提前向相关部门申请飞行许可,确保飞行活动合法合规。

### 3.2 实地数据采集的操作步骤

在无人机航空摄影测量用于地形测绘的工作中,实地数据采集的操作步骤至关重要,它是确保最终测量精度和成果质量的基础环节。首先,依据地形测绘的具体需求和目标区域的特点,精心制定无人机飞行计划。这其中涉及到确定飞行高度、航线、重叠度等关键参数。

在完成飞行计划制定后,便进入实地数据采集阶段。操作团队要提前到达目标区域,对无人机进行全面检查和调试,确保其设备状态良好、传感器正常工作。在起飞前,还需对周边环境进行评估,排除可能影响飞行安全的因素,如鸟类活动、强风等。起飞后,操作人员要密切监控无人机的飞行状态和数据采集情况,实时查看影像质量和数据传输是否正常。在数据采集过程中,要严格按照预定的航线和参数进行飞行,避免出现漏拍、重拍等情况。为了保证实地数据采集的精度和可靠性,还需要在目标区域合理布置地面控制点。地面控制点的位置和数量会直接影响到后续数据处理和地形模型构建的精度。一般来说,根据目标区域的大小和地形复杂程度,按照一定的间距均匀布置地面控制点。在布置过程中,要使用高精度的测量仪器对控制点的坐标进行精确测量,并做好标记和记录。通过对这些地面控制点的数据采集和分析,可以有效提高无人机航空摄影测量的整体精度,为后续的地形测绘工作提供坚实的数据基础。

## 4 提高测量精度的技术手段

在无人机航空摄影测量用于地形测绘的过程中,提高测量精度的技术手段至关重要。从无人机平台与传感器选择方面来看,不同类型的无人机平台和传感器对测量精度有着显著影响。例如,固定翼无人机续航能力强、速度快,适合大面积地形测绘;多旋翼无人机灵活性高、可垂直起降,适用于小范围、复杂地形的测绘。选择合适的无人机平台能为高精度测量奠定基础。在传感器类型上,高分辨率的相机和先进的激光雷达传感器能够获取更精确的数据。在数据采集流程中,科学制定无人机飞行计划是提高精度的关键。合理规划飞行高度、航线和重叠度可以有效减少数据缺失和误差。实地数据采集时,严格按照操作步骤进行,确保无人机飞行稳定、传感器正常工作。例如,在采集过程中实时监控无人机的姿态和传感器数据,及时调整飞行参数,避免因飞行姿态不稳定或传感器故障导致的数据误差。数据处理与地形模型构建阶段,先进的预处理方法和算法能进一步提高测量精度。对原始数据进行去噪、校正和配准等预处理操作,可以消除数据中的噪声和误差。在地形模型构建方面,采用高精度的算法,如基于多视几何的三维重建算法,能够更准确地还原地形地貌。在精度提升策略上,还可以采用地面控制点测量和差分定位技术。在测绘区域合理布置地面控制点,并使用高精度的测量仪器进行测量,将其作为参考点来校正无人机测量数据,能够显著提高测量精度。差分定位技术,如实时动态差分(RTK)技术,能够实时修正无人机的定位误差,使定位精度达到厘米级。通过这些技术手段的综合应用,能够有效提高无人机航空摄影测量在地形测绘中的精度,为地形测绘工作提供更可靠的数据支持。

虽然无人机在灾害应急测绘中的应用与提高测量精度看似关联不大,但实则紧密相连。在灾害发生时,如地震、洪水、泥石流等,现场环境往往复杂多变,传统测绘手段难以迅速获取准确的地形数据。而无人机凭借其灵活、快速的特点,能够迅速飞抵灾害现场,进行航空摄影测量。为了确保在灾害应急测绘中获取高精度的数据,同样需要采用先进的技术手段。例如,利用高精度的传感器,如激光雷达(LiDAR)和多光谱相机,能够获取更为详细和准确的地形地貌信息。同时,结合实时动态差分(RTK)技术,可以实时修正无人机的定位误差,确保测绘数据的精度。此外,通过优化飞行计划和数据处理算法,也能进一步提高灾害应急测绘的效率和精度,为灾害救援和灾后重建提供有力的数据支持。

## 5 结语

综上所述,无人机航空摄影测量以其高效、灵活、高精度的特点,在地形测绘领域展现出了巨大的应用潜力和价值。它不仅极大地提升了地形测绘的效率和精度,还降低了测绘成本,为地形测绘工作带来了革命性的变革。未来,随着技术的不断进步和应用场景的持续拓展,无人机航空摄影测量必将在地形测绘领域发挥更加重要的作用,推动地形测绘技术向更高水平迈进。

### 参考文献:

- [1] 陈晨. 无人机航空摄影测量在地形图测绘中的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024,(09):46-48.
- [2] 周韵芝. 探析无人机航空摄影测量技术在地形测绘中的应用[J]. 西部资源, 2022,(06):117-119.
- [3] 刘潇逊. 无人机航空摄影测量技术在地形测绘中的

实践分析[J]. 冶金管理, 2022,(09):121-123.

[4] 徐鹏. 探析无人机航空摄影测量在地形图测绘中的应用[J]. 西部资源, 2022,(01):77-78+81.

[5] 徐林芝, 周少岳, 方猛. 无人机倾斜摄影测量在大比例尺地形测绘中的应用[J]. 江西测绘, 2024,(02):32-35.

[6] 付佳琪. 无人机航空摄影测量在河北某矿山地形测绘中的应用及精度控制[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2024,(01):81-83+70.

[7] 陈震洋. 无人机航空摄影测量在地形测绘中的应用研究[J]. 建材发展导向, 2023,21(20):17-20.

作者简介: 李辉(1990-), 男, 汉族, 宁夏回族自治区固原市人, 本科, 工程师, 研究方向: 测绘、航空摄影测量。