

# Research on the inversion and accuracy verification method of mining subsidence prediction parameters

Chen Yao

Yangxian Vanadium Titanium Magnetite Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 723306, China

## Abstract

Unmanned aerial vehicle technology is a modern technology that uses remote control or autonomous flight methods, with the help of various sensors such as radio and infrared for real-time monitoring and data collection, and executes tasks according to preset targets. With the continuous development of science and technology today, drone technology has been widely applied in many fields. Applying drones in open-pit mine terrain mapping, with the help of GIS software and tools to obtain, store, and analyze visualized geological data, can effectively achieve the mapping results of mine terrain, which is conducive to more efficient completion of corresponding mining exploration projects.

## Keywords

drone; Oblique photography; Mine topographic mapping

# 无人机倾斜摄影在露天矿山地形测绘中的应用研究

姚晨

洋县钒钛磁铁矿有限责任公司, 中国·陕西 汉中 723306

## 摘要

无人机技术是通过遥控或自主飞行方式,借助无线电、红外线等多种传感器进行实时监测和数据采集,并根据预设目标执行任务进行的一项现代化技术。而随着当今科学技术的不断发展,无人机技术在众多领域中得到广泛应用,将无人机应用在露天矿山地形测绘中,借助其GIS软件和工具获取、存储以及分析可视化地质数据,则能够很好地实现对矿山地形的测绘结果,有利于更加高效完成相应的矿山勘探工程所需。

## 关键词

无人机; 倾斜摄影; 矿山地形测绘

## 1 引言

传统的露天矿山地形测绘方法,如全站仪测量、GPS-RTK 测量等,虽然具有较高的精度,但存在作业效率低、劳动强度大、受地形条件限制等缺点。尤其是在地形复杂、面积较大的露天矿山中,因此,传统测绘方法往往难以满足高效、全面的地形数据获取需求。而随着无人机技术和摄影测量技术的飞速发展,无人机倾斜摄影技术应运而生,该技术通过无人机搭载多台不同角度的相机,同时获取地物的多视角影像数据,能够更加真实、全面地反映地物的三维形态和纹理信息。因此,深入开展无人机倾斜摄影在露天矿山地形测绘中的应用研究具有重要的现实意义。

## 2 基于无人机倾斜摄影在矿山地形测绘中的应用

### 2.1 构建矿山地形测绘数据库

#### 2.1.1 矿山地形测绘数据库

无人机倾斜摄影技术在露天矿山地形测绘中的应用,其核心目标是构建综合性露天矿山地理信息数据库。该数据库不仅完整记录了测绘工作的全流程和露天矿山构造特征,还包含详细的地貌属性信息<sup>[1]</sup>。根据数据性质和用途差异,库内信息被划分为基础数据、中间数据和成果数据三大类别,以实现数据的高效检索、分析和图形化呈现,如图1所示。在数据库架构设计方面,重点考虑了露天矿山开采数据和空间信息的系统化存储与管理需求。专门开发的地貌表征数据模型主要用于处理和存储与露天矿山地形特征相关的各类信息。数据处理环节则应关注静态地表信息,并将其细化为地质勘探数据、开采作业数据等子类别。这些多元化的测绘数据经过标准化处理后,统一集成到基础数据库中,并支持按需转换为可视化图表或三维模型等展示形式。

【作者简介】姚晨(1995-),男,中国陕西咸阳人,本科,助理工程师,从事矿山工程测量研究。

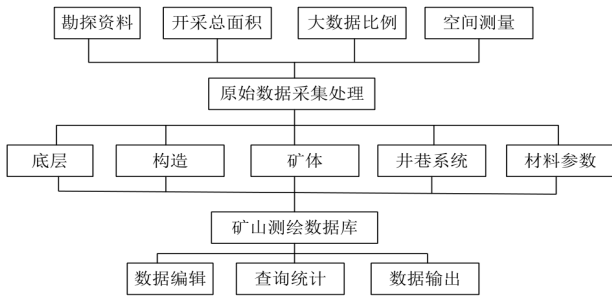


图 1：露天矿山地形测绘数据库运行结构

### 2.1.2 可视化模型

可视化功能模块包含矿山地形展示单元、剖面分析单元、CAD 交互界面以及仿真数据对接单元等核心部分，呈现了测绘建模模块的可视化操作流程架构<sup>[2]</sup>。该模块的数据处理分为两个关键环节，首先输入矿山地形数据，用于构建可视化模型的基础框架，其次设定模型的数据操作规则。为提高计算效率，系统集成了专用的仿真数据接口，并搭载数值模拟程序，可对采集数据进行动态映射分析。为保障数据处理流程的顺畅，系统支持多种建模数据格式，地形数据入库后自动生成矿区三维模型，并提供缩放、旋转、平移等交互操作功能。在监测点位部署扫描设备，采集目标区域的空间信息，并根据应用需求获取原始点云数据及其初步处理结果。点云数据处理流程包括数据链接建立和后续分析步骤，随后构建实体模型，使三维可视化图像与实际场景对齐，并在匹配后的模型中还原矿区地表真实纹理，通过添加经纬度坐标网格确定空间位置，结合数字测绘技术解析图形范围，最终完成目标区域的精准测绘。

### 2.2 无人机倾斜摄影数据采集

采用无人机开展测绘作业能够显著改善影像采集质量，能有效规避图像倾斜问题，同时缩短后期校正处理时间。在复杂山区矿区的测绘工作中引入倾斜摄影无人机技术，可同步实现成本控制、作业效率提升和数据精度保障等多重效益。无人机系统凭借其优异的飞行稳定性和机动性能，能够确保非金属矿产调查数据的准确性和完整性。进行矿区数据采集时，需在无人机底部、左右两侧及前后方向分别配置轻量化摄像设备，并在正式作业前完成各项准备工作。前期准备内容主要包括气象条件记录、环境参数采集以及飞行器状态调试等关键环节。而无人机测绘过程中，当露天矿山地形和气候没有明显变化时，那么无人机对扫描区域图像的每个点进行区分，可分为非金属区和金属区两种，而假设扫描区域内的实际测点和图像上的成像比例尺寸用  $L$  表示时，其对应的计算如公式 1 所示。

$$L = \frac{l_0}{h_0} \times h_1 \quad (\text{公式 1})$$

在公式 1 中，其中  $l_0$  是指无人机拍摄焦距参数，而  $h_0$  则是指无人机飞行实际高度，而  $h_1$  是指非比例尺寸下的有效图像点距离。根据公式 1 可知，通过调整无人机飞行高度

多次计算，则能有效确保无人机收集露天矿山图像的精准度，并且无人机在倾斜成像图的扫描过程中，其图像向量位移和飞行速度之间也村子啊一定的关联性，两者的关联如公式 2 所示。

$$W = \frac{t l_0}{h_0} \quad (\text{公式 2})$$

在公式 2 中， $W$  是指坐标测绘点的位移参数，而  $t$  是指扫描曝光时间，因此，无人机以低空速度飞行时，对应的曝光时间一般最慢，相应的测量图像分辨率也选择以最大形式的图像进行采集，从而确保山区地形收集数据的准确性。对于执行低空测绘任务的无人机，在开展非金属矿区数据标注前，必须检测目标空域是否存在电磁干扰，以消除磁场因素对测量结果的潜在影响<sup>[3]</sup>。为保证数据可靠性，建议沿规划航线实施多次重复飞行以完善数据采集。在确定飞行高度参数时，需结合山区地貌特征进行优化设计，确保获取的非金属矿产影像符合既定比例标准。数据采集过程应严格遵循预设航线和时间节点执行，若发现影像资料存在质量问题或缺失情况，须及时组织补飞作业，为后续工作提供可靠的基础数据支撑。

### 2.3 确定无人机航测飞行路线

无人机露天矿区航测作业应以区域地理信息数据为基础，其合理规划飞行坐标、航向及航线等核心参数，以保证航测影像的三维重叠效果。在航测实施前，需通过实地勘察明确测区范围，并综合评估主测方向、摄影角度、矿井分布及影像重叠率等关键指标。结合定位技术与航拍影像分析，可确保测绘数据的真实性和完整性，同时获取矿区建设的关键信息。针对无人区域的测量作业，应按照既定航测方案执行，航测管理人员需实时监控无人机运行状态，发现问题立即处置，保障航测任务顺利实施<sup>[4]</sup>。在巡检作业过程中，操作人员应严格遵循检测规程，全面分析现场情况，完成评估后组织无人机作业，并对作业环境进行全程监控，根据矿区基础测绘需求，需采取有效措施提升无人机的测量精度和作业范围。而结合测区实际情况、精度要求及无人机性能特点，需准确掌握测区地形特征，优化设计航测路线。在试验区可采用智能航测系统进行自动航区划分和最优航线规划，在地形起伏较大区域，固定航高飞行可能导致地面分辨率不一致。为确保航测覆盖率和影像质量达标，建议采用仿地飞行模式动态调整飞行高度。

### 2.4 做好无人机像控点的布设

野外像控点布设需严格遵循国家航测地形图规范中关于比例尺的技术要求，其首要步骤是在测区外围布设基准控制点，为测区平面和高程数据提供基准支撑。像控点应均匀分布于测区交界处，且每个控制点应保证被 3~4 张航拍影像所覆盖。像控点选址宜优先考虑地势平坦区域，为确保测量精度，在架设像控标志前需完成控制点布设并验证其测量精度。所有像控点数据均需详细记录并建档保存，以完整呈

现控制点区域特征,考虑到矿区勘探中复杂地质条件可能造成地形起伏,可在特征拐角处增设控制点,并在相邻区域合理分布。像控点选取时需满足0.1mm的精度标准,且点位应位于影像清晰区域。像控点测量优先采用连续运行参考站系统(CORS),在CORS信号覆盖盲区,建议采用自建基准站进行实时动态测量,实施单基站RTK测量时,需利用测区内已知测量点进行系统校准。

### 3 基于无人机倾斜摄影在露天矿山地形测绘中的实验对比分析

#### 3.1 实验说明

为了更好地证明本文所设计方法的实用性,可通过建立对比实验的方式,对无人机倾斜摄影在露天矿山地形中的测绘、GIS矿山地形测绘以及遥感技术测绘,这三种不同测绘方法进行对比研究,从而得出无人机倾斜摄影的实用性。

#### 3.2 实验准备

为全面且严谨地验证所提出方法在实际应用场景中的先进性与有效性,本文通过精心选取具有代表性的某个露天矿山为实验对象。该露天矿区地处特定地质带,其真实地形高度经专业测量确定为173.2m,精确的高度数据为后续研究提供了关键基准。而该露天矿区地质构造特征显著,呈现出节理及裂隙等地质现象,实地考察中未发现明显断层迹象,表明矿山整体岩层结构相对完整,地质环境与构造条件较为简单,这为实验提供了相对稳定的自然背景。在此基础上,为确保实验数据的准确性和可靠性,研究团队特别考虑了实验设备需具备适应复杂地形和多变气象条件的能力<sup>[5]</sup>。经过综合评估,最终选定大疆Phantom 4 RTK型号无人机作为实验设备。该无人机凭借其高精度定位、稳定飞行性能及强大的环境适应能力,成为此次研究不可或缺的技术支撑。

#### 3.3 实验结果

在矿山地形测绘的实践探索中,采用无人机倾斜摄影测绘、GIS矿山地形测绘以及遥感技术测绘。实验结果显示,基于无人机倾斜摄影的矿山地形测绘方法展现出了极高的准确性,其测绘结果与山体实际高度情况高度吻合,误差范

围控制在极小之内,充分证明了该方法在复杂地形条件下的优越性能。相比之下,基于传统地理信息系统(GS)的矿山地形测绘方法,以及基于遥感技术的矿山地形测绘方法,在本次实验中的表现则不尽如人意。这两种方法所得结果与实际情况存在较大出入,无论是地形细节的捕捉还是整体高度的还原,均存在明显偏差,难以满足高精度测绘的需求。因此,综合本次实验结果,可以明确得出结论是在矿山地形测绘领域,基于无人机倾斜摄影的测绘方法凭借其高精度、高效率及强适应性等显著优势,无疑是最为准确且值得推广应用的测绘技术。

### 4 结语

通过对无人机倾斜摄影技术在露天矿山地形测绘中的应用进行深入探讨,验证该技术在获取露天矿山三维地形数据方面的可行性和有效性。结果表明,无人机倾斜摄影技术能够高效、精准地获取露天矿山的地形地貌信息,其数据精度能够满足矿山规划、开采设计、安全监测等工作需求。相较于传统的测绘方法相比,无人机倾斜摄影技术具有显著的优势,不仅能够大大缩短作业时间,降低劳动强度,还能够获取更加全面、详细的地形数据,尤其是对于复杂地形地貌的识别和边坡稳定性的监测具有独特的优势。此外,该技术还具有成本低、灵活性强等优点,能够适应不同规模和类型的露天矿山地形测绘需求,这对矿山的可持续发展提供了强有力的技术支持。

#### 参考文献

- [1] 张进春.无人机测绘技术在金属矿产开采中的应用[J].世界有色金属,2024,(18):130-132.
- [2] 高晴晴.无人机倾斜摄影技术在矿山测绘中的应用思考[J].中国金属通报,2024,(08):219-221.
- [3] 罗坤.基于无人机倾斜摄影的大比例尺矿山地形测量研究[J].科技资讯,2021,19(04):74-76.
- [4] 尘福艳,郑鹏.三维倾斜摄影在煤矿开采中的研究及应用[J].西部资源,2020,(02):149-151.
- [5] 叶萍.无人机倾斜摄影测量技术在矿山测绘中的应用[J].世界有色金属,2020,(06):39-40.