

## 倾斜摄影测量技术在矿山动态监测中的应用

## The Application of Oblique Photogrammetry Technology in Dynamic Monitoring of Mines

李德林<sup>1</sup> 贾长东<sup>1</sup> 于文博<sup>2</sup>Delin Li<sup>1</sup> Changdong Jia<sup>1</sup> Wenbo Yu<sup>2</sup>1. 吉林省基础测绘院 中国·吉林 四平 136001  
2. 四平市两点测绘有限公司 中国·吉林 四平 1360011. Jilin Provincial Institute of Basic Surveying and Mapping, Siping, Jilin, 136001, China  
2. Siping Liangliang Surveying and Mapping Co., Ltd., Siping, Jilin, 136001, China

**摘要:** 自无人机倾斜摄影测量技术诞生以来,无人机便以其高分辨率影像采集、便于发射和回收的特点逐渐应用到各个行业中。在露天采石场资源储量动态监测方面,相较于传统测量方式经费高、周期长且危险性高,无人机倾斜摄影测量技术具有效率高、周期短、成果直观等优势,不仅解决了传统采石场测量的难题,更有效地满足了矿产监管部门对矿山动态监测的需求。基于此,论文根据倾斜摄影测量技术的相关文献,对无人机倾斜摄影测量技术在露天采石场储量动态监测方面的应用进行分析。

**Abstract:** Since the birth of drone tilt photogrammetry technology, drones have gradually been applied to various industries due to their high-resolution image acquisition, easy transmission and recycling. In terms of dynamic monitoring of resource reserves in open-pit quarries, compared to traditional measurement methods, unmanned aerial vehicle tilt photogrammetry technology has advantages such as high efficiency, short cycle, and intuitive results. It not only solves the problems of traditional quarry measurement, but also effectively meets the needs of mineral regulatory authorities for dynamic monitoring of mines. Based on this, this paper analyzes the application of unmanned aerial vehicle tilt photogrammetry technology in dynamic monitoring of open-pit quarry reserves based on relevant literature on tilt photogrammetry technology.

**关键词:** 无人机; 倾斜摄影测量; 动态监测; 分辨率

**Keywords:** drones; oblique photogrammetry; dynamic monitoring; resolving power

**DOI:** 10.12346/se.v5i1.8127

## 1 引言

无人机技术的诞生,无疑是传统人工测绘作业的新突破。无人机测绘技术先进灵活,操作相对简单。倾斜摄影测量是通过无人机的图像信息采集技术进行的,同时从一个平面和四个斜面采集数据,可以获得目标近乎全方位的数据信息。利用无人机摄影测量技术动态监测矿山储量,可以快速准确地反映矿山储量的变化,避免矿产资源的闲置浪费。

## 2 无人机倾斜摄影测量技术概述

无人驾驶飞行器(UAV)是使用无线电控制设备和预编

程计算机自主操作的无人机。无人机倾斜摄影测量系统属于无人机,配备高分辨率多视距航空相机。它可以有效地捕捉高分辨率的航拍图像。航拍程序后,可以快速创建3D模型,真实反映地面真实情况,立体信息满足人们的需求。无人机倾斜摄影测量技术结合了传感器技术、GPS技术和POS技术,是一种新型的测绘技术,可以让您实时快速处理数据和模型。与传统飞机相比,无人机在以下方面的应用更为广泛<sup>[1]</sup>。

### 2.1 机动性强

无人机体积小,重量轻。一般来说,无人机的净重在1~15kg左右。易于在各种环境中使用。受外部条件影响较小。实时、直观的数据显示。

【作者简介】李德林(1972-),男,中国山东德州人,高级工程师,从事基础测绘、工程测量、地籍测量等研究。

## 2.2 高精度

无人机通常在低空飞行,靠近地面。总飞行高度约100~1000m,可进行高精度拍摄。对于之前的技术,无人机空中影像的分辨率约为0.05~0.50m,可以对应1:500~1:5000比例尺的地形图尺寸。

## 2.3 低价、低风险

无人机结构简单,安装方便,成本低,图像数据可实时传输到地面控制终端。即使在沙漠、森林、自然灾害等困难地区作业,也能保证野外测绘人员和数据的安全<sup>[2]</sup>。

## 3 无人机摄影测量技术的项目意义

很多矿山地处不平坦的地理区域,恶劣的采矿环境和恶劣的自然条件使矿山监测变得困难,传统的监测方法复杂且耗时,连续钻探对矿产资源的动态监测更加困难。利用无人机摄影技术满足矿产资源动态监测的要求。飞机轻巧灵活的特性最大限度地减少了地形限制,提供了全面的摄影和采矿研究,并显著降低了劳动力成本。

## 4 矿区概况

此次以中国吉林省梨树县孟家岭镇大顶山硅灰石露天采石区为实验检测对象,探索无人机在矿区矿产储量检测中的具体应用。以下为矿区详细信息:地理位置为:东经124°,北纬43°。该矿属于单链硅酸盐矿物,主要成分是Ca<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>,是吉林省四平市主要石材矿区之一。开采面积0.3km<sup>2</sup>,开采海拔135m<sup>[3]</sup>。

## 5 无人机数据收集及整理

### 5.1 航摄设备

通过现场检查,对无人机的参数和元件进行校准和调整。本次测量使用DJI M600pro+Riy-D2五镜头相机,总像素:大于 $1.1 \times 10^8$ (px);CCD尺寸参考:23.5×15.6mm;CCD数量:5pcs用于数据采集<sup>[4]</sup>。

### 5.2 控制测量

本场控制测量的方法是铺设界标点,在检测区域设置5个界标点。每个点都位于检测区域的周围和中间。每个地标点的大小和形状是一个直径约1m的圆形。

### 5.3 生成DEM和DOM

对无人机采集的图像数据进行一系列处理后,通过点云密集匹配生成测量区域的三维点云文件,然后以1:1000的比例生成该区域的数字模型,即DEM,是根据数据形成的。并按照一定的比例范围进行校正和修剪,形成准确的数字正射影像集,即DOM。

### 5.4 DOM和DEM质量检查

在使用DEM和DOM技术检测矿区之前,需要对其精度进行严格的系统检查,以确保其精度符合储量监测标准和要求6。巡检方式是在已知地形区域设置24个巡检点,对

无人机检测到的DEM和DOM数据进行巡检。经检测,矿区DOM检测点平面误差为0.09m,DEM检测点标高误差为0.15m,均符合要求。

## 5.5 无人机数据进行储量监测

### 5.5.1 矿坑上底面的确定

开采前,坑面可近似视为一个平面。在本次计算中,坑的上底面可以看成是坑边缘测得的高程点的值。经实测,矿区矿坑上下表面标高98.67m。

### 5.5.2 矿坑下底面的确定

无人机在矿区产生的DEM高程误差为0.15m,满足1:1000DEM的高程精度要求。生成的数据模型可用作矿井监测的底面数据。

### 5.5.3 储量计算

使用ArcGIS Desktop创建一个分辨率为0.1m,高程为98.67m的栅格图层,根据矿井的边界选择底面对应的区域作为顶面。使用ArcGIS Desktop的栅格代数算子计算上顶面和下底面的差值,根据差值数据得出矿区生产储量为4483690.23m<sup>3</sup>。

## 6 传统方式进行储量监测

### 6.1 工作量及质量评述

为对矿区进行精准储量监测,此次上外业在83817.07米矿区采集了36442个测点,测点密度达到0.43个/m<sup>2</sup>。并根据测量数据做相关记录,计算相关数据并形成图像,最后编辑成册。本次监测的各项工作严格遵守相关操作规范的要求,对数据和工作成果进行核对。

### 6.2 计算方法

资源储量=矿坑面积×平均开采深度,资源储量单位为“m<sup>3</sup>”,矿坑面积单位为“m<sup>2</sup>”,平均开采深度单位为“m”。

### 6.3 参数确定

坑区。采用南方CASS2008测绘系统软件在1:1000资源储量估算图上计算得出。

平均开采深度。根据各测点测得的矿坑顶底标高差计算平均值,矿坑平均开采深度为52.24m。

体积。据测算,矿区矿坑容积为4378603.74m<sup>3</sup>。

## 7 无人机摄影测量技术矿山储量动态监测可行性分析

### 7.1 精度分析

表1是无人机和传统测量方法对矿山储量监测结果的统计表。由表可知,采坑顶高差与采出储量变化的相对误差分别为0.52%和2.40%,相对误差优于5%。

### 7.2 效率分析

表2显示了无人机矿物探测所需时间与传统探测方法所需时间的比较。从表中可以看出,使用无人机进行矿产勘查所需时间比传统探测方式缩短近30h,无人机现场探测所需

时间也低于传统测量方式。整个检测项目的时间成本大大节省,最重要的一点是在一些复杂地形的情况下,传统的检测方法人力无法到达,导致检测数据不准确,而无人机检测不受限制,通过空间,降低人工成本,检测数据更真实。

表1 无人机方式与传统方式矿产监测结果统计表

方法	无人机	传统测量	偏差量	误差百分比 (%)
顶底座高差 /m	52.51	52.24	0.27	0.52
取方量 /m <sup>3</sup>	4483690.23	4378603.74	105086.49	2.40

表2 无人机方式与传统方式矿产监测所需时间统计表

无人机方式		传统测量方式	
工作内容	时间 (小时)	工作内容	时间 (小时)
像控点布设	3	控制测量	5
航拍时间	1	测绘数据采集	31
控制点加密	4	位置数据纠正	1
DOM、DEM	3	地形图数据生成	2
矿区空间位置分析	2	计算土方量	5
计算土方量	3		
合计	16	合计	44

## 8 无人机航摄应用策略分析

### 8.1 技术流程与数字控制

无人机技术除了矿石资源勘察计算的基本要求外,还包括间接摄影测量、数字高程模型 DEM、数字成像等。技术控制的具体阶段如下:

第一步:纠正、组织和管理扭曲的数据。

第二步:开发数据加密并创建 DEM,对照片数据进行统计分析,并进行基于单片机 DOM 校正的数据处理。

第三步:集成 DOM 以创建跟踪数据和图像。

第四步:获取图像尺寸。

在使用 IGA 间接摄影测量技术的过程中,可以采用广域分布法监测分级检查点和采矿点的规模和地形特征。在实际工作流程中必须保证坐标指标的顺序。无人机间接摄影测量技术采用全尺寸地形测量方法,并使用参考服务平台进行转换处理。将检查站的高度转换为国家的高度。这允许执行沉浸式摄影测量和数据验证。收集和处理数据时应使用定焦

镜头。各航拍、航监部门应使用 UA 技术管理和改进航拍、飞行检查、航拍等通信<sup>[5]</sup>。

### 8.2 数据处理与质检分析

无人机使用地表摄影测量技术需要全面的数据管控、点对点的审计和加密处理。进一步提高数据采集质量。在数据处理和控制过程中,采用调节方法对区域网络的调节进行计算和分析。3D 加密完成后,进行数据校正、色彩平衡处理、轮廓勾画等。可通过智能适配创建 3D 点云文件。随着无人机间接摄影测量技术的实际应用,航拍图像的细节比较清晰,具有一定的层次感,没有明显的模糊、挫折、错位等现象。为了提高弯曲摄影测量技术在矿产资源动态监测过程中的实际应用,需要使用 DEM 和 DOM 进行处理和精度测试。在控制点的组织和开发过程中,会进行过滤,并将测量结果均匀地分布在整个研究区域。

为了检查 DOM 平面位置的准确性,通过现场测量将检查点 (Xi, Yi) 的平面坐标输入计算机,并从 DOM 中去除镜像坐标点。并对平面位置错误进行计算和分析。在山区和高寒地区,对测量的平面坐标和地表物体的 DOM 和特征坐标进行检查和分析时,应检查 1 : 1000 的比例误差。误差控制在 0.75 m 以内。为了检查 DEM 高度的准确性,将高度检查点 (X, Y, Z) 的平面坐标输入计算机,并通过计算和分析误差提取和处理 DEM 高程坐标。在预测和测量之间,可以提高无人机数据的准确性。

## 9 结语

论文简要介绍了无人机间接摄影测量技术的原理和工作流程,阐述了无人机间接摄影测量技术在露天采矿场的优势,与传统大地测量技术相比,无人机地面摄影测量技术在实践中可以准确计算矿产储量,对提高矿山勘探水平、提供动态监测具有积极作用。

### 参考文献

- [1] 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(6):39-40.
- [2] 徐坤,屈莹,王宝山.倾斜摄影测量技术在矿产资源监测中的应用[J].测绘工程,2020,29(4):38-43.
- [3] 王如意,肖锋,卢小平,等.免像控无人机倾斜摄影技术在露天采石场监测中的应用[J].测绘与空间地理信息,2020,43(7):28-30.
- [4] 闻彩焕,王文栋.基于无人机倾斜摄影测量技术的露天矿生态修复研究[J].煤炭科学技术,2020,48(10):212-217.
- [5] 张玉侠,兰鹏涛,金元春,等.无人机三维倾斜摄影技术在露天矿山监测中的实践与探索[J].测绘通报,2017(S1):114-116.