

# 倾斜摄影测量技术在露天矿山 测绘中的应用

Application of Oblique Photogrammetry Technology in Surveying and Mapping of Open-pit Mines

汤阳城<sup>1</sup>, 徐克美<sup>2</sup> (1. 湖北省国土测绘院, 湖北 武汉 430010; 2. 湖北天地云地信科技集团有限公司, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**常规的露天矿山测绘方法通过激光扫描的形式测绘出矿山环境,无法将矿山的全貌测绘出来,导致测绘效果降低。布设无人机倾斜摄影航线,利用无人机采集出矿山外业数据,测绘出矿山全貌。利用倾斜摄影测量技术,构建露天矿山测绘模型,以三维模型的形式还原矿山环境,从而实现露天矿山的精准测绘。采用实例分析的方式,验证了该测绘方法测绘效果更佳,能够将矿山的全貌测绘出来,具有较高的推广价值。

**关键词:**倾斜摄影测量技术;露天矿山;航线

**中图分类号:** TU478 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2023)03-0052-04

**Abstract:** The conventional surveying and mapping methods for open-pit mines use laser scanning to map the mining environment, which cannot provide a comprehensive view of the mine, resulting in reduced surveying and mapping effectiveness. Setting up a drone inclined photography route and using drones to collect field data of mines is the fundamental condition for mapping the overall view of mines. By utilizing oblique photogrammetry technology, a surveying and mapping model for open-pit mines is constructed to restore the mining environment in the form of a three-dimensional model, thereby achieving accurate surveying and mapping of open-pit mines. By using case analysis, it was verified that the surveying and mapping method has better surveying and mapping effect, and can map the overall view of the mine, which has high promotion value.

**Key words:** tilt photogrammetry technology; open pit mine; route

## 1 前言

矿产资源作为经济发展的原材料,长时间、大规模、无规划地开采,导致矿山环境遭到损害,影响了矿区周围环境。矿山环境保护与治理迫在眉睫,矿山的治理与保护离不开矿山测绘方法的应用,只有了解矿区全貌,才能进行针对性地治理。针对此类问题,研究人员设计了多种测绘方法。其中,基于无人机的露天矿山测绘方法,与基于三维激光扫描设备的露天矿山测绘方法的应用较为广泛。基于无人机的露天矿山测绘方法,主要是利用无人机与全站仪,绘制出矿山地形环境,在满足测绘比例尺精度需求的条件下,减少了外业数据采集量,在矿山中的应用较为广泛<sup>[1]</sup>。

基于三维激光扫描设备的露天矿山测绘方法,

主要是利用 SLAM 技术,引入三维激光扫描设备,获取矿山数据,通过相关数据建立的测绘模型,能够快速测绘出矿山实际环境,更加有效地完成测绘工作<sup>[2]</sup>。以上两种方法均能进行矿山测绘,工作量相对较少,人员投入相对较低<sup>[3]</sup>。但是,由于缺少外业数据的采集,在矿山环境实时变化的条件下,无法精准地测绘出矿山全貌,导致测绘效果降低。倾斜摄影测量技术是通过垂直、倾斜等多个测量角度,对相关物体进行测绘的过程,测绘精度较高<sup>[4]</sup>。因此,本文将倾斜摄影测量技术,应用在露天矿山测绘过程中,有效地测绘矿山全貌。

## 2 基于倾斜摄影测量技术的露天矿山 测绘方法设计

### 2.1 布设无人机倾斜摄影航线

在进行矿山测绘之前,为保证无人机倾斜摄影的影像符合要求,以尽可能少的飞行次数完成最多的飞行任务,减少测绘工作量<sup>[5]</sup>。因此,在无人机倾斜摄影测量之前,对无人机摄影航线进行布设。无人机的技术参数见表 1。

[作者简介] 汤阳城(1981—),男,汉,湖北省黄梅县人,高级工程师,主要从事测绘工程技术应用研究与管理。

[引用格式] 汤阳城,徐克美. 倾斜摄影测量技术在露天矿山测绘中的应用[J]. 中国矿山工程,2023,52(3):52-55.

表1 无人机技术参数表

飞行参数	规格指标
电池容量	≥4 5000 mAh
平飞速度	≥35 km/h
无线传输距离	≥3.0 km
垂直起降速度	≥4 m/s
飞行工作高度	≥4 50m
电机对焦轴距	≥1 300 mm
飞行时间	≥50 min
安全飞行风力	≥5 级

如表1所示,选用上述技术参数的无人机测量矿山影像之后,无人机的航线尽量朝向一个方向。采用单镜头无人机进行倾斜摄影,航线的方向呈现“井”字形。航线的高度尽可能高,表面障碍物影响飞行安全<sup>[6]</sup>。对于倾斜摄影测量技术而言,地形变化与相片倾斜均为不确定性因素,与影像比例尺不等。因此,本文利用公式确定航线高度见式(1)。

$$h = \frac{G \cdot g}{r} \quad (1)$$

式中, $h$ 为航线高度; $G$ 为倾斜摄影采样间隔; $g$ 为镜头焦距; $r$ 为像元尺寸。确定了摄影航线之后,本文利用无人机采集矿山外业数据。外业数据包括像控点、坐标、高程参数、已有地形图、矿山整体测绘方案等数据。按照外业航线与摄影测量规范,确定出符合测绘需求的飞行路线,飞行范围完全覆盖矿山<sup>[7]</sup>。按照1:1 000的比例,将无人机测量的影像数据进行分析。在航线、外业数据确定之后,结合航线布设像控点。像控点的实测坐标与测绘坐标相近,即可保证测绘成果的精度。矿山环境的地貌较为复杂,地物点、拐点、交点较少,无法利用喷漆作为像控点。本文采用标靶板布设像控点,均匀分布在矿区测绘位置,保证像控点能够出现在无人机影像中。像控点的坐标根据GPS定位的方式获得,将其作为实测坐标。测绘像控点时,确认像控点的位置与对应点后,对应的坐标参数、投影、坐标系等数据均进行确认,最大限度地保证矿山外业数据的采集精度。

## 2.2 基于倾斜摄影测量技术构建露天矿山测绘模型

使用倾斜摄影测量技术的过程中,无人机镜头与地面保持着一定的角度,镜头中的视线与地面存在较为复杂的关系,用此测量方法得出的测绘成果不准确。因此,本文根据矿山实际情况,对摄影参数进行分析。从地面分辨率、地面覆盖范

围、重叠度、姿态角、景深距离等参数进行系统分析<sup>[8]</sup>。倾斜摄影得到的影像数据的像元是矩形,从行向、列向、垂直三个方向辅助影像数据进行地面分辨。外业采集到的数据中,像片的地面覆盖范围越大,测绘成果越准确,根据倾斜影像的近、远端边长与高的关系得出地面覆盖范围。重叠度的增加使像片数量增加,影像匹配点随之增加,对于测绘模型的构建具有重要作用。在无人机起飞之前,设定好镜头的位置与朝向,在设定的航线中进行影像拍摄,飞行方向与地面形成一定角度,重叠范围尽可能大,保证影像飞行姿态更加稳定。倾斜影像重叠情况如图1所示。

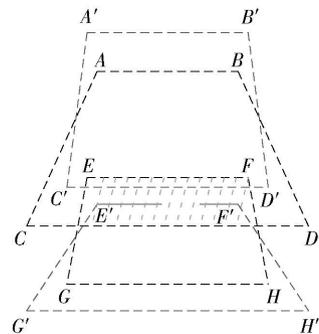


图1 影像重叠

如图1所示,无人机倾斜摄影的过程中,倾斜产生的姿态角是影响重叠度的关键指标, $A, B, C, D$ 是原始图像,前端倾斜成 $A', B', C', D'$ ;远端倾斜成 $E, F, G, H$ ;远端向后倾斜成 $E', F', G', H'$ 。 $E, F, E', F'$ 为影像重叠覆盖范围,该范围越大,矿山测绘成果的覆盖越完整。景深的大小取决于光圈、镜头、拍摄距离。倾斜摄影时选择小光圈,并在无人机上安装减震设备,提高曝光速度,固定焦距,由此保证景深距离。在影像内方位素一致的情况下,像控点坐标作为实测值,构建矿山测绘模型,表达式为

$$\begin{cases} K_x = -a_{m1} \Delta X - a_{m2} \Delta Y - a_{m3} \Delta Z - k_x \\ K_y = -a_{(m+1)1} \Delta X - a_{(m+1)2} \Delta Y - a_{(m+1)3} \Delta Z - k_y \end{cases} \quad (2)$$

式中, $K_x$ 为测绘像控点坐标; $a_{m1}, a_{m2}, a_{m3}, a_{(m+1)1}, a_{(m+1)2}, a_{(m+1)3}$ 为影像测绘误差矩阵向量; $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 为空间坐标系上的测绘误差; $k_x$ 为横向交会点; $k_y$ 为纵向交会点。

构建出矿山测绘模型之后,调用评查软件,对影像外方位元素进行计算,通过像控点相关数据的自动提取与自动化处理,将倾斜影像的数据自动转为测绘成果,提高矿山的测绘精度。

### 3 实例分析

#### 3.1 矿区概况

为了验证本文设计的测绘方法是否具有实用价值,本文以武穴市田镇盘塘振亚碎石矿区为例,对上述测绘方法进行实例分析。武穴市位于湖北,矿区位于东经  $115^{\circ}28'$ ,北纬  $29^{\circ}53'$ 。矿区的工作范围如图 2 所示。

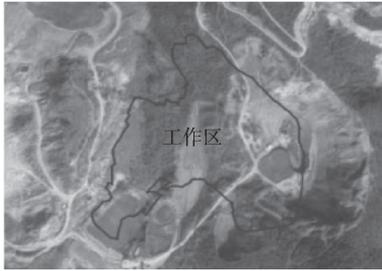


图 2 露天矿山工作区

如图 2 所示,武穴市以平原为主,盆地、谷地、洼地分布在平原中。平原面积约  $717.86 \text{ km}^2$ ,占武穴市总面积的  $59.81\%$ 。该矿区在发现开采时,出现了过度开采的现象,导致矿区生态环境受到了损害。因此,展开对武穴市田镇盘塘振亚碎石矿区的修复。矿区修复过程需要对矿山的实际情况进行分析,利用本文设计的测绘方法,对矿区进行测绘,测绘流程如图 3 所示。

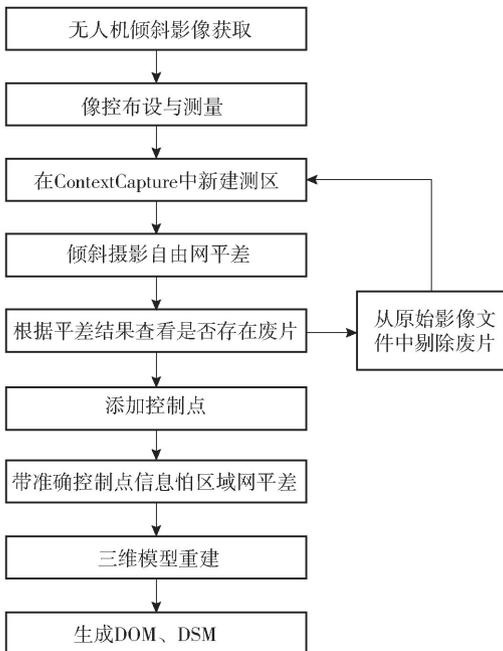


图 3 测绘流程图

如图 3 所示,利用无人机倾斜摄影测量技术,测绘出矿山的实际情况。无人机航拍作业选择在晴

天环境下,航拍前根据矿区位置和范围,规划出了飞行航线,采用单个矿山航拍的方式,无人机的飞行范围能够完全符合所测矿山需求。在外业作业前,首先要收集测区资料,包括控制点成果、坐标系统和高程基准参数、已有的地形图成果与地名资料等,制定无人机航飞技术方案并申请空域,明确无人机搭载的传感器、地面分辨率、影像重叠度、飞行航高航带架次数、影像拍摄间隔等问题。外业工作人员按逐航带或测区面积布设像控点,然后依照技术方案的安排,用无人机搭载多传感器从不同角度采集地形数据。调查采用固定翼无人机获取倾斜影像数据和 POS 数据。

获取影像数据、对应的 POS 数据以及控制点数据后采用 ContextCapture 软件完成空三、实景三维模型建立和 DSM、DOM 的生成,其中,空三加密、建立实景三维模型等操作均可待数码倾斜影像导入软件后由软件自动解算完成,通过多视影像联合平差技术进行倾斜影像区域网平差,并通过带准确控制点信息的区域网平差达到所需的精度。

按照 1:1 000 比例尺航空摄影技术要求,航摄获取  $3.0 \text{ cm}$  分辨率倾斜摄影航飞影像数据,测绘效果良好。本文采用倾斜摄影测量技术,获取了矿山的影像数据,完成测绘建模之后,在矿山上布设像控点,像控点布置图如图 4 所示。

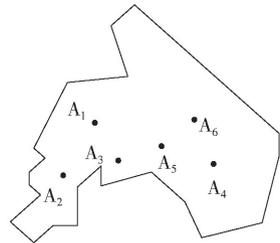


图 4 矿山工作区像控点布置图

如图 4 所示,在矿山工作区布设了 6 个像控点,将倾斜摄影测量技术得出的影像数据,在测绘模型中进行矿区重构,由此绘制出矿区的三维模型,用于辅助影像测量矿山工作。在矿山三维模型中,6 个像控点的坐标与矿山实测的像控点坐标趋近一致,才能保证矿山测绘效果。

#### 3.2 应用结果

在上述实验条件下,本文选取取出  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_5$ 、 $A_6$  共 6 个像控点,其露天矿山的实测坐标均不相同。在无人机技术参数、矿山环境等相关条件均一致的情况下,使用本文设计的基于倾斜摄影测量

技术的露天矿山测绘方法,将像控点的坐标( $X, Y, Z$ )进行测量。测量结果与实测坐标越相近,测绘效

果越真实,对于满足矿山测绘地形图需求具有重要作用。具体应用结果见表2。

表2 应用结果

像控点号	矿山像控点的实测坐标/m			使用本文设计的基于倾斜摄影测量技术的露天矿山测绘方法得到的矿山像控点坐标/m		
	$X$	$Y$	$Z$	$X$	$Y$	$Z$
A <sub>1</sub>	3 308 556.953	642 500.913	74.634	3 308 556.933	642 500.936	74.680
A <sub>2</sub>	3 308 816.281	642 432.430	100.293	3 308 816.262	642 432.439	100.276
A <sub>3</sub>	3 308 783.682	642 575.377	138.429	3 308 783.690	642 575.360	138.466
A <sub>4</sub>	3 308 404.261	642 603.700	124.896	3 308 404.273	642 603.680	124.927
A <sub>5</sub>	3 308 543.927	642 375.271	48.453	3 308 543.950	642 375.284	48.481
A <sub>6</sub>	3 308 336.488	642 265.774	46.247	3 308 336.473	642 265.798	46.226

如表2所示,本文选取的A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub>、A<sub>5</sub>、A<sub>6</sub>像控点中,实测坐标不同。按照矿山地形图的绘制要求来看,矿山像控点的实测坐标,与测绘方法得到的像控点坐标之间的误差不能超过0.1 m。在误差0.1 m的范围之内,即可保证矿山地形图测绘质量。在上述像控点中,矿山地质环境、水质条件、温度环境等变量均一致,此条件下利用倾斜摄影测量技术,对矿山像控点坐标进行测量。

矿区的像控点坐标以( $X, Y, Z$ )的形式呈现,A<sub>1</sub>点的实测坐标为(3 308 556.953, 642 500.913, 74.634),使用本文设计的基于倾斜摄影测量技术的露天矿山测绘方法得到的矿山像控点坐标为(3 308 556.933, 642 500.936, 74.680)。以此类推,得出A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub>、A<sub>5</sub>、A<sub>6</sub>像控点中,测绘方法得到的坐标与实测坐标之间存在 $\pm 0.1$  m的误差,误差分布在 $X, Y, Z$ 中。由此证明,使用本文设计的测绘方法能够将像控点位置进行精准描述,满足矿山地形图的绘制需求,具有较高的测绘效果,符合本文研究目的。

## 4 结论

近些年来,矿产资源开采严重,长时间的开采工作,导致矿山地形出现较大的变化,增加了矿区的开采隐患。在此条件下,矿山开始进行环境修复,由于矿山面积较大,在不了解矿区全貌的情况下,无法精准修复矿山环境。因此,本文以武穴市某矿山为例,利用倾斜摄影测量技术,设计了露天矿山测绘方法。从布设航线,构建测绘模型两个方面,对武穴市某矿

山进行精准测绘。通过无人机采集到的数据,能够辅助测绘模型对矿山全貌进行测绘,从而提高测绘效果,对于矿山环境的有效修复具有重要作用。

### [参考文献]

- [1] 素杰,李瑞,李小虎,等. 无人机倾斜摄影技术在矿山测绘中的应用[J]. 电子技术与软件工程,2020(24): 122-123.
- [2] 张君,胡哲骏,刘晓杨. 三维激光扫描设备在矿山井巷工程快速测绘中的应用[J]. 采矿技术,2020,20(6): 229-232.
- [3] 冯啸. 无人机倾斜摄影测量技术在地质灾害监测中的应用——以四川省茂县叠溪镇山体滑坡为例[J]. 华北自然资源,2022(4):98-101.
- [4] 陈方圆,于洪雨,李雪杉,等. 基于倾斜摄影测量技术的城市实景三维模型制作与质量分析[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(S1):222-223+227+231.
- [5] 郭凯,汪旭波,杨荣欣. 无人机倾斜摄影测量技术在大比例尺地形图测绘中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(S1):256-258+261.
- [6] 方青,周飞. 倾斜摄影测量技术在农村不动产测绘项目中的应用及精度分析——以南京市江宁区为例[J]. 经纬天地,2021(6):22-24+29.
- [7] 范印,李梁,刘登飞,等. 无人机倾斜摄影测量技术在测绘工程中的应用研究——以农村房地一体化为例[J]. 无线互联科技,2021,18(19):79-81.
- [8] 何湘平,梁运强,黎志坚,等. 无人机倾斜摄影测量技术在农村房地一体化测量中的应用[J]. 南宁师范大学学报(自然科学版),2021,38(3):129-134.