

# 基于无人机航测的矿山地形测绘技术研究

赖泽锋<sup>1</sup>, 陈 恋<sup>2</sup>, 李佳艺<sup>3</sup>

<sup>1</sup>衢州优尚工程勘测有限公司, 浙江 衢州

<sup>2</sup>衢州市衢江区空港勘测规划设计研究有限公司, 浙江 衢州

<sup>3</sup>衢州职业技术学院机电工程学院, 浙江 衢州

收稿日期: 2023年4月26日; 录用日期: 2023年5月16日; 发布日期: 2023年5月31日

## 摘 要

近年来, 基于无人机低空遥感系统的4D产品生产、小比例尺地表监测、应急数据采集技术、大比例尺地形图快速生成技术等测绘相关技术日趋成熟, 为区域大比例尺基础地理数据的快速获取和应用、地表数据的快速获取应急处理提供了相应的技术服务, 基于无人机的低空遥感系统也已应用于矿山测量。为了给无人机遥感技术在测绘和工程测绘方面提供一些参考, 本文简要介绍了无人机遥感技术的现状, 讨论了无人机在测绘和工程测绘技术方面的影响。结果表明, 无人机遥感技术的应用可以提高工程测绘的精度和效率。因此, 应根据测绘和工程测绘的实际情况, 合理应用无人机遥感技术。

## 关键词

无人机遥感技术, 矿山测绘工程, 精度

# Research on Mine Topography Mapping Technology Based on UAV Aerial Survey

Zefeng Lai<sup>1</sup>, Lian Chen<sup>2</sup>, Jiayi Li<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Quzhou Youshang Engineering Surveying Co. Ltd., Quzhou Zhejiang

<sup>2</sup>Quzhou Qujiang District Konggang Survey Planning Design Research Co. Ltd., Quzhou Zhejiang

<sup>3</sup>School of Electrical and Mechanical Engineering, Quzhou College of Technical, Quzhou Zhejiang

Received: Apr. 26<sup>th</sup>, 2023; accepted: May 16<sup>th</sup>, 2023; published: May 31<sup>st</sup>, 2023

## Abstract

In recent years, 4D product production based on UAV low-altitude remote sensing system, small-scale surface monitoring, emergency data collection technology, rapid production technology of large-scale topographic maps and other surveying and mapping-related technologies have been maturing, pro-

viding corresponding technical services for rapid acquisition and application of regional large-scale basic geographic data and rapid acquisition of surface data for emergency processing. Low-altitude remote sensing system based on UAV has also been applied in mine surveying. In order to provide some reference on the application of remote sensing drone technology for surveying and engineering mapping, the present paper briefly presents the development of remote sensing drone technology and discusses the impact of the application of remote sensing drone technology for surveying and engineering mapping. With a particular project for example, this paper will analyse the application of remote sensing technology of unmanned aerial vehicles (UAVs) in survey and investigation engineering mapping and its impact. The results show that the application of unmanned aerial vehicle remote sensing technology can improve the accuracy and efficiency of engineering surveying and mapping. Therefore, UAV remote sensing technology should be reasonably applied according to the actual situation in surveying and mapping.

## Keywords

UAV Remote Sensing Technology, Mine Surveying and Mapping Engineering, Precision

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 1. 无人机航测技术

### 1.1. 无人机技术发展现状



Figure 1. UAV remote sensing technology diagram

图 1. 无人机遥感技术图

无人机是可重复使用的无人机，提供空中升力，机载。无人机遥感是无人机技术成熟后形成的一种新型空中遥感系统[1]。20 世纪 60 年代，我国已正式生产出低速遥感无人机[2]，进入 21 世纪后，无人机的遥感技术开始迅速发展[3]。早期的无人机遥感技术主要由空中、地面、辅助、空中包括遥感、遥感无人机、遥感和控制系统组成。无人机的地面部分包括地面控制系统、分轨规划、数据提取系统、实时数

据显示和处理。辅助部分包括标定系统,可满足自动获取遥感图像、快速实时查看、获取地面数据等要求。目前,无人机遥感技术具有最高的分辨率,并显示出系统的定量特征,如基于卫星中继的无人机遥感[4]、基于北斗的无人机遥感[5]、基于 GPRS 的无人机遥感[6]等,可以满足高速实时数据传输、数据处理、高空地面精确监测的要求。

上世纪 80 年代,美国等发达国家发射了一系列高分辨率、多波段的陆地卫星,自此无人机的遥感技术在美国科研人员中引起了广泛关注。日本利用遥感图得到了境内部分地质灾害分布图,美国则利用应用卫星与遥感技术对活断层及危险区进行判断用以地震预测。而我国对遥感技术的应用起步较晚,但经过我国科研人员的不懈研究,我国基于无人机遥感技术建立了重大自然灾害的历史数据库与背景数据库,同时利用无人机进行地形测绘技术也逐渐成熟。图 1 为无人机遥感技术图。

## 1.2. 测绘技术相关研究分析

随着计算机技术的飞速发展,目前的测绘已经不局限于固有模式,而向多种类、多应用场景逐步发展。目前绝大多数研究都是利用三维摄影测量技术来得到地面的三维信息,由于雷达卫星不受恶劣天气影响等优势而被广泛用作摄影测量。随着测绘研究的不断深入,遥感图像全数字测绘系统逐步成型,并率先应用于我国的军事领域。该系统基于系统所获取到的航天遥感图像提取战场地理信息进行全数字测绘作业的智能化综合信息处理系统。与传统测绘技术相比,遥感图像全数字测绘系统利用全新计算机技术实现了数字空中三角测量,成功解决了卫星遥感影像匹配的技术难题;而在地形三维可视化领域,该系统实现了三维地形图的空间查询及分析与大区域地形数据、高分辨率遥感纹理图像的三维可视化,可以预见在未来该系统必将应用于地形测绘研究领域。

此外,全球定位系统(GPS)与地理信息系统(GIS)在地形测绘工程中也发挥了极大的作用。GPS 系统出现于上世纪 70 年代,经过半个世纪的发展 GPS 系统已逐渐成熟,已经成为了地面测量的主要技术手段。由于有卫星定位的辅助,GPS 相较于常规地面测量系统相比拥有更强的灵活性、全天候作业、测量精度更高的优势。而地理信息系统是多个学科、多种技术交融的产物,该系统一经问世便受到广泛的关注,GIS 系统作用对空间地理分布有关的数据进行采集分析的新型计算机系统,其发展对测绘科学的发展意义重大,是未来测绘技术发展的方向。

## 2. 无人机遥感技术应用对矿山测绘工程测量的影响

### 2.1. 提高矿山测绘工程测量精度

量化是无人机遥感技术的一个重要特点,标定无人机领域的建设为无人机量具精度和遥感提供了高度的保障,可以满足测量和工程测绘的高精度厘米级测量要求。特别是近年来,航天建设是以无人机为基础的定标领域,无人机遥感数据与航天数据的融合,可以实现物理空间中地球物理参数和光学参数的穿透,消除测绘和工程测绘中影像面上端的系统误差,提高测绘和工程测绘的精度。图 2 为无人机进行测绘时接收端所展现的信息,图中可以明显看到测量的误差值可精确到小数点后两位,可满足绝大多数的工程要求。

### 2.2. 提高测绘工程测量效率

自动化是无人机遥感技术的主要表现。基于无人机遥感的一般物理模型,可以自动完成从多形式静态成像加载到单一形式成像的切换[7]。同时,综合无人机遥感可以自动依靠无人机携带的传感器完成地面成像,修改数据后标定地面飞行,机动灵活,测绘和工程测绘的效率可以得到提高,图 3 为无人机航测技术工作流程示意图。

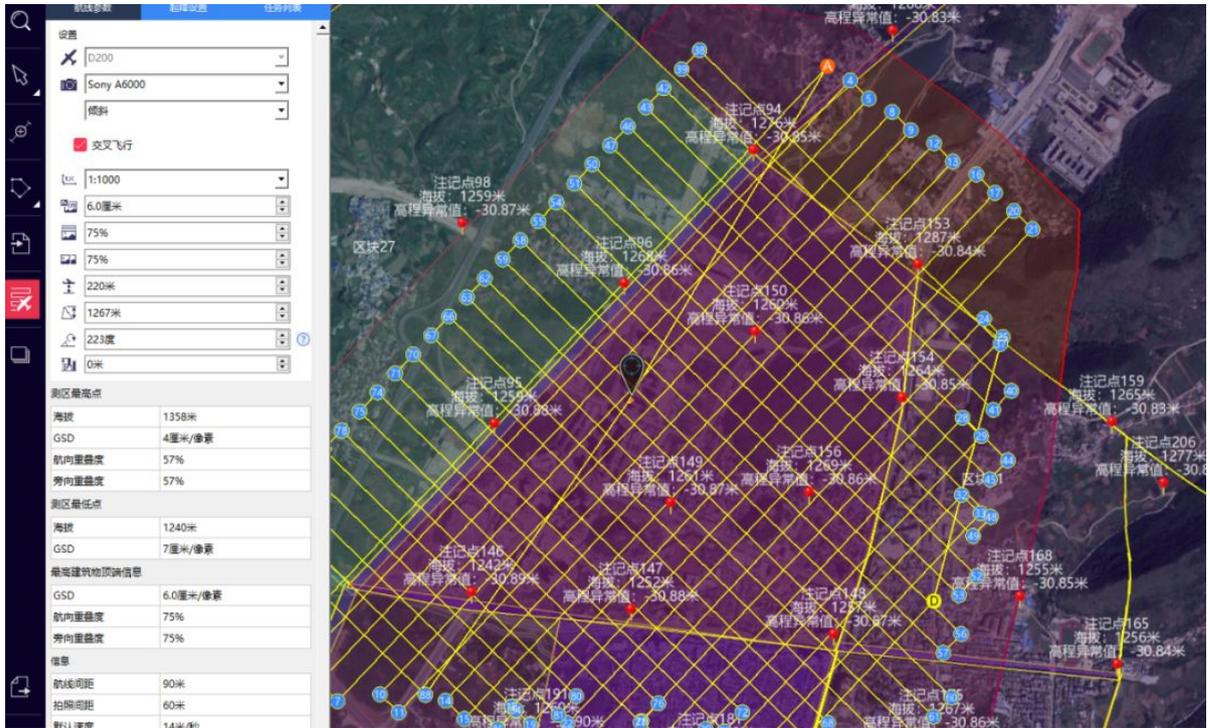


Figure 2. Unmanned aerial vehicle mapping receiving terminal display  
图 2. 无人机测绘接收端展现图

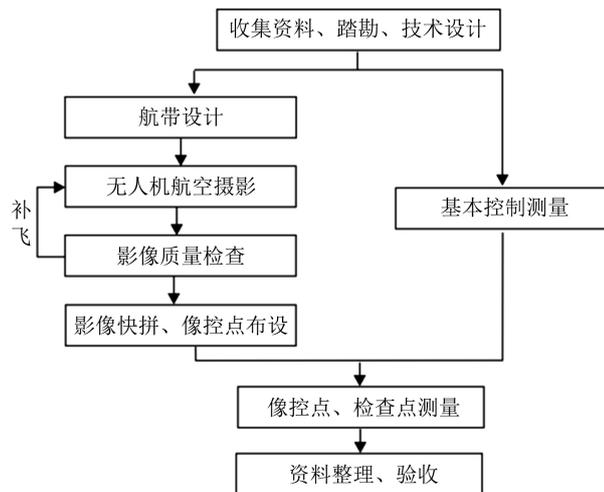


Figure 3. Schematic diagram of the workflow of aerial survey technology for drones  
图 3. 无人机航测技术工作流程示意图

### 2.3. 提高测量数据应用效率

大规模是遥感无人机技术的一个特点。在我国无人机遥感技术的拓展发展过程中，遥感无人机的目标尺寸更加多样，可以满足各种矿山测绘和工程测绘的要求。充足的遥感无人机测绘可以保证顺利完成各种矿山规模的测绘，同时可以通过三维模型对矿区状态进行实时信息测绘和工程测绘，从而为矿山测绘和工程测绘的应用提供数据基础。

### 3. 无人机遥感技术在矿山测绘工程测量中应用实践

#### 3.1. 工程概况

矿山测绘工程正线全长 101 km, 总占地面积 27.53 hm<sup>2</sup>, 其中永久占地 19.36 hm<sup>2</sup>, 其余为临时占地。工程具有线路长、施工周期长、扰动和破坏植被面积大、废弃土石方量大的特点。所在地区为中低山丘陵地貌, 相对高差 25 m~596 m, 海拔 125 m~1056 m。区域土壤成土母质为可蚀性较高的冲积物。区域山坡植被丛生, 坡脚植被覆盖率为 15.23%, 斜坡植被覆盖率为 32.50%。区域为暖温带大陆性季风气候, 年均温为 12.9℃, 年均降雨量 854 mm。

#### 3.2. 应用情况及效果分析

采矿业的测绘和工程制图是通过大地测量和地理空间信息进行地形测绘的过程, 是采矿业和建筑工程领域最初的大规模过程, 也是投资、规划和工程设计的决策依据。应用无人机遥感技术进行测绘和工程测绘, 包括几个步骤: 测绘设备的准备、数据采集(测量影像和测绘)、拍摄和数据处理。在测量设备的准备中, 技术测量确定了项目范围和精度要求, 设备准备和电路布局, 包括飞行高度、风向、角度等。根据《低空数字航空摄像测量内业规范》(CH/Z3003-2010)、《低空数字航空摄影规范》(CH/Z3005-2010)等规范要求, 工程无人机遥感技术应用范围呈“Z”字形, 多数废弃渣土常位于线路两侧 50 km 直线范围(以线路为中心线两端各外扩 50 km)内, 监测范围超过 19 hm<sup>2</sup>。无人机遥感在矿山测绘工程测量中应用成果精度设定为数字高程模型高程精度 2 m~5 m, 数字正射影像地面分辨率 0.22 m, 水平精度 1 m~3 m。根据成果设定要求, 准备发动机引擎、机身、螺旋桨、起落架、机翼、降落伞组成的固定翼无人机以及 2110 万像素全画幅数码相机(含 35 mm 红圈定焦镜头)、机载飞行和地面站控制系统、精度达到 0.5 m~1 m 的 Trimble GEOXT 手持 GPS(地面控制点采集)、Pix4UAV Desktop3D(遥感影像后期处理), 飞控系统和地面站负责自动飞行、导航和控制俯仰角、滚转角, 并根据道路计划进行远程控制[8]。经过技术人员的设备准备和测量, 必须按照无人机的操作说明, 对无人机航拍图像的状态、无人机及相关设备的完整性、成像系统和通信设备进行逐一验证。此外, 根据实际情况, 对无人机遥感软件地面站进行校正, 确保无人机航拍过程中图像质量清晰, 色彩效果良好。

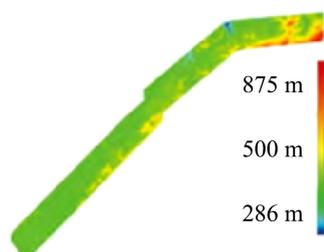
测绘和数据收集是工程测绘领域不可缺少的步骤。测绘和数据采集的准确性和速度将影响工程测绘的结果。

因此, 在技术测量控制系统中, 按照设计方案对飞行的无人机进行推进、拍摄, 协调无人机的垂直倾斜传感, 应从多个角度获得足够的原始影像数据。在遥感比例尺确定的基础上, 结合项目所在地的地形地貌, 以及调查遥感的精度要求, 调查区域内的行程为 32 公里。以 E105.25123、N31.251251, H426 m 为基准的航高为 1156 m, 单张照片覆盖面积为 1 km (1233.251 m × 821.365 m), 拍摄正向影像时的航线呈“Z”字形, 照片拍摄航向间隔 159 m, 航向重叠率超过 82%, 航带之间间隔 615 m, 旁向重叠率超过 50%, 实际覆盖空间范围为 197 km<sup>2</sup>。而无人机航摄系统技术要求航向重叠度不低于 53%、旁向重叠度不低于 13%, 本次测量均满足航空摄影技术规范, 便于获得分辨率为 5472 × 3078 的高质量遥感数据。整条线路中拍摄照片 562 张, 去雾处理、筛选姿态后具备实际应用价值的照片为 558 张(JPG 格式)。

在获得原始影像数据的基础上, 可以进行技术调查采集地面控制点, 确保数据达到标准。一条完整线路的地面控制点共采集 25 个, 检查点数量为 9 个, 每个检查点均匀分布在航空的各个部门, 可以保证完全准确。

拍摄数据处理是基于专业软件处理原始影像数据的操作, 需要在拼接数据的基础上开展高程纠正、几何纠正, 确保 DOM、DEM 格式的数据与精度要求相符。即在去雾预处理的基础上, 借助 Pix4UAV

Desktop 3D 软件提取与精度要求相符的 DEM、DOM 格式影像。同时, 在原始影像中找到控制点, 输入 GPS 记录的控制点实际高程、经纬度, 提取 DOM 与 DEM 影像叠加信息, 勾画工程边界。进而根据 0.22 m 的地面分辨率要求, 以 tile (瓦片) 形式存储。后期测量数据应用时, 根据精度要求, 在 Globalmapper15 软件内生成成果数据, 成果数据采样率、格式均不同, 得出结果见图 1。在高程渲染图得出之后, 可以从 DEM 上直接观测工程情况, 或者利用 Globalmapper15 软件自带的测量工具, 进行多边形创建, 提取监测所需长度(挡渣墙、路基挡墙、截排水长度)、面积(土地整治、工程护坡长度)信息(见表 1), 或者结合实地调查结果进行体积(挖方量、截排水工程量、挡墙工程量等)数据的间接计算, 为工程开展提供数据 [9]。



**Figure 4.** Rendering of remote sensing digital elevation by UAV for surveying and mapping engineering  
**图 4.** 测绘工程无人机遥感数字高程渲染图

如图 4 所示, 工程东北地区的工程边缘显示出较小的失真能力。结果表明, 应用无人机遥感技术进行工程测绘, 可以首次准确反映工程过程。与传统的卫星遥感相比, 无人机遥感的机动性和时效性更强, 可以满足矿山工程测绘、人员监测时空遥感组的遥感计划、短时间内提取遥感影像以及工程中传统监测的要求。同时, 遥感无人机可以满足一米以下的监测要求, 飞行高度可以根据要求调整, 获得多精度的结果, 满足空间定位、工程测绘等信息的连续监测和判读要求。此外, 无人机遥感的结果可以更全面、更直观地展现当前测绘工程, 为建筑规划、建筑管理、监测进度提供参考。

**Table 1.** Calculation results of mapping project area

**表 1.** 测绘工程面积计算结果

测区编号	基准值	模拟值	误差	检查点误差均值
1	37700.3 m <sup>2</sup>	35598.2 m <sup>2</sup>	5.58%	14.85 cm
2	224500.5 m <sup>2</sup>	201956.1 m <sup>2</sup>	10.04%	17.56 cm
3	13100.6 m <sup>2</sup>	13996.5 m <sup>2</sup>	6.84%	16.38 cm

由表 1 可知, 在面积的计算上, 无人机遥感技术得出的精度不高, 每个扫描区域的误差不大, 可能是由于软件在初级处理上的应用不到位, 而在获得马尔卡和多姆影像面积后作为一种比较成熟的提取技术。此外, 无人机成像特性的绝对误差最大, 相对误差最小, 空间的测绘工程, 计算同等影响区域之间的结果, 意味着从一个检查点的差异是一个小误差。

### 3.3. 讨论

首先, 无人机遥感技术应用于测绘工程领域时, 操作无人机的载荷相对较小, 操作水平高, 容易受

到气压、气流等诸多因素的影响,稳定性甚至偏离提前飞行的路径,影响最终测量的火场影像的准确性。特别是在云、雨、雪等恶劣天气下,测试结果不能满足精度要求。为了解决这个问题,需要根据现场的实际基准进行精确分析。这就是,以 Dom 形式分为搜索地面检查点和读取经纬度,读取有价值的图像的数值,用地面定位系统对应的检查点经纬度测量数值,进行准确分析,分析公式如下:

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - x_{i0})^2}{n}}, m_y = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (y_i - y_{i0})^2}{n}}, m_{xy} = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (1)$$

式(1)中  $m_x$  为 X 方向精度, cm;  $x_i$  为地面检查点影像横坐标, cm;  $x_{i0}$  为地面检查点实测坐标, cm;  $n$  为检查点个数;  $i$  为检查点;  $y_i$  为地面检查点影像纵坐标, cm;  $m_y$  为 Y 方向精度, cm;  $y_{i0}$  为地面检查点实测纵坐标, cm;  $m_{xy}$  为影像平面位置精度, cm。在计算精度的基础上,技术勘察应从数据的采集和处理以及测绘入手,加强无人机的飞行控制,完善内部处理程序,减少外部因素的干扰。例如,当某项目测绘区域的高差处于较高水平时,由于采用单“Z”形发射路径,主干道两侧的高度已从一侧逐渐降低到另一侧(或逐渐升高)的方向,可采用双“Z”形路径,以消除精度误差。

第二,为了保证无人机遥测的准确性,在测绘工程开始时,技术人员可以从测绘实际区域调整无人机的飞行路线,避免外界因素的干扰,在测绘过程中,无人机的高度误差数字遥感高度使无人机的地图在 2~5 米之间。此外,手持式遥感无人机成像设备可以自动修改镜头的焦距,避免干扰对获得清晰图像的负面影响。同时,用无人机模型的遥感数据代替基于模块的差分估算方法,可以快速获得高分辨率的测绘和工程测绘数据设置航线参数。图像的地面分辨率根据地图对比表确定有价值分辨率的百分比。根据以下公式计算航行高度。该项目的要求是 1:1000 比例尺,地球图像分辨率超过 10 厘米。因此,对于摄影参考飞机,摄影空中高度不应大于 5548 米。

$$H = \frac{f \times GDS}{a} \quad (2)$$

式中:  $H$  为摄影航高;  $f$  为物镜镜头焦距;  $a$  为像元尺寸;  $GDS$  为航摄影像地面分辨率。

根据待测区域的实地情况,确定起止点的经纬度,确定航线的方向和长度,利用公式计算出摄影基线的长度及航线间隔的宽度。将这些数据输入至地面监控站,航线数据可自动生成。

$$B_x = L_x (1 - p_x) \times \frac{H}{f} \quad (3)$$

$$D_y = L_y (1 - q_y) \times \frac{H}{f}$$

式中:  $L_x$ ,  $L_y$  分别为像幅长和宽,单位为米;  $p_x$ ,  $q_y$  分别为旁向和航向重叠度(以百分比表示);  $B_x$  为摄影基线长度,单位为米;  $D_y$  为航线间隔宽度,单位为米。

第三,由于测绘和遥感无人机测绘工作量大,技术人员必须在熟悉测绘和工程测绘的基础上手工处理数据的时间和成本提取,人工成本是一项重要的投入。同时,与目前的矿山测绘和工程测绘成本相比,无人机遥感测绘的成本更高,它不能进行长期的连续监测,只能根据矿山测绘和遥感工程需要实施示范区域的监测计划。为了解决这个问题,测绘人员可以对当地市场上的工程测绘软件进行系统和价格分析,协调无人机遥感设备的价格和精度,探索应用无人机遥感的可能性,为应用无人机遥感进行长期测绘提供依据。

#### 4. 结语

总之,现代科学技术发展的综合化整体方向极大地影响着现代测绘科学的发展趋势,无人机遥感具

有灵活性强、在各种天气条件下均可使用的特点。将无人机遥感技术应用于工程测绘，不仅可以提高工程测绘的效率，还可以提高测绘和工程测绘的精度。因此，应根据测绘的重要工程内容，科学地应用无人机遥感技术，同时积极吸收外来技术并转化为自己的技术优势。在应用无人机冲击技术进行测绘和工程测绘的基础上，及时思考，及时改进，为无人机技术在测绘和工程测绘中的有效应用提供依据。

## 参考文献

- [1] 田俊鼎. 测绘工程测量中无人机遥感技术的应用探究[J]. 信息记录材料, 2020, 21(3): 86-87.
- [2] 徐勇, 徐小芳, 田剑. 测绘工程测量中无人机遥感技术的应用[J]. 工程技术研究, 2020, 5(8): 117-118.
- [3] 吴江明. 无人机测绘数据处理关键技术及应用探究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2020(4): 109-110.
- [4] 黄霞, 赵红艳. 无人机航测技术在矿山测绘作业中的运用浅析[J]. 世界有色金属, 2020(14): 28-29.
- [5] 孙敏. 无人机遥感技术在测绘工程中的应用[J]. 河南科技, 2021, 40(6): 39-41.
- [6] 杨亚君. 无人机航测技术在矿山测绘中的应用[J]. 世界有色金属, 2021(13): 136-137.
- [7] 赵超. 无人机航空数字测量技术在地形测绘中的应用研究[J]. 江西建材, 2021(10): 172-173.
- [8] 刘少宇, 宋永飞, 史长斌. 无人机测绘技术在露天矿山监管中的应用[J]. 世界有色金属, 2022(6): 31-33.
- [9] 余智渊. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用研究[J]. 智能城市, 2022, 8(8): 24-26.