

现代测绘技术在露天矿山执法测量中的应用探讨

王宇翔

湖南省生态地质调查监测所, 湖南 长沙

收稿日期: 2025年6月4日; 录用日期: 2025年6月27日; 发布日期: 2025年7月4日

摘要

随着矿产资源开发监管需求的提升, 现代测绘技术在矿山执法中发挥着日益重要的作用。本文以CORS-RTK、全站仪、无人机航空摄影测量及三维激光扫描技术为研究对象, 结合测绘技术的实现原理与矿产执法测量实践, 系统分析各类技术在矿山超深越界测算中的适用性。通过对某矿山超深越界测量案例的分析, 探讨不同测绘技术在矿山执法中的应用效果及其适用场景。

关键词

矿山执法测量, CORS-RTK, 全站仪, 无人机航空摄影测量

Discussion on the Application of Modern Surveying and Mapping Technology in Open-Pit Mine Law Enforcement Measurement

Yuxiang Wang

Ecology Geological Survey and Monitoring Institute of Hunan Province, Changsha Hunan

Received: Jun. 4th, 2025; accepted: Jun. 27th, 2025; published: Jul. 4th, 2025

Abstract

With the increasing demand for regulatory oversight in mineral resource development, modern surveying and mapping technologies have played an increasingly vital role in mine law enforcement.

文章引用: 王宇翔. 现代测绘技术在露天矿山执法测量中的应用探讨[J]. 测绘科学技术, 2025, 13(3): 136-144.
DOI: 10.12677/gst.2025.133016

This paper focuses on CORS-RTK, Total Station, UAV Aerial Photogrammetry, and 3D Laser Scanning technologies. Combined with the implementation principles of these technologies and practical mining law enforcement measurement practices, it systematically analyzes their applicability in detecting over-excavation and boundary violations in mines. By analyzing a case of the over-excavation and boundary violation measurement at a certain mine, this paper explores the application effects and applicable scenarios of different surveying and mapping techniques in mining law enforcement.

Keywords

Mine Law Enforcement Measurement, CORS-RTK, Total Station, UAV Aerial Photogrammetry

Copyright © 2025 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/>



Open Access

1. 引言

2024 年至 2025 年期间,我单位承担了湖南省的露天矿山执法核查项目,该项目旨在就下达的疑似非法采矿图斑进行现场核查。本文结合执法核查中采用的各项测量手段和方式,对现代测绘技术在露天矿山执法中的应用效果进行分析,旨在探讨不同测量方式在露天矿山执法测量中的应用优势及其适用场景。

2. 矿山执法测量中应用的现代测绘技术

2.1. CORS-RTK

CORS 系统(Continuously Operating Reference Stations)即连续运行参考站系统,CORS 系统将若干个连续运行 GPS 参考站均匀布设在一个较大区域内,构成参考站网,在设定的采样率下,各参考站连续接收卫星定位信号,并将接收数据实时传输至数据处理中心,数据处理中心处理各站数据,完成本区域误差改正模型后,生成差分校正信息,通过电信运营商的信号发射塔发送给用户的移动站[1]。

CORS 系统是网络 RTK (Real Time Kinematic 即实时动态测量)系统的基础设施,CORS-RTK 设备结合 CORS 网络发送的差分校正信息与自身接收的 GPS 卫星信号,进行载波相位观测值的实时差分处理,修正误差,无须另行架设基准站,即可实时得到毫米级精度的定位信息。原理示意图见图 1。

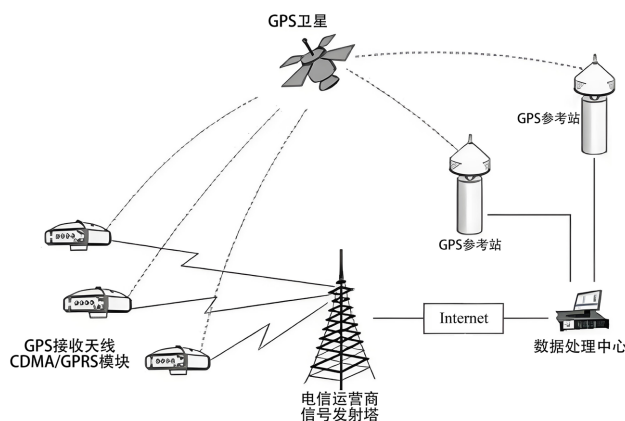


Figure 1. Schematic diagram of CORS-RTK equipment principle
图 1. CORS-RTK 设备原理示意图

2.2. 全站仪

全站仪是以光学测距和精密角度测量为主要工作原理,集光学、机械、电子技术于一体的现代化测量仪器。其具备测角、测距、数据处理及存储等功能,通过向待测点进行激光测距,结合全站仪内置的高精度角度测量装置,直接测得与待测点的斜距、水平角度和垂直角度等信息,数据处理系统根据预设的参数信息即可快速精确计算出待测点的空间坐标,其单点测量精度可达毫米级[2] [3]。

目前较为先进的全站仪多具备免棱镜功能,通过识别待测点漫反射回的激光信号进行测距,不再需要在待测点处放置全反射棱镜[4],极大地拓宽了全站仪的工作范围,可以安全地对陡壁、采坑边缘等危险或人员无法到达的部位进行测量,同时,其自动化程度极高的作业流程,在保证数据准确可靠的情况下,大大提高了工作效率,降低了人为误差[2] [3]。

2.3. 无人机航空摄影测量

无人机航空摄影测量是一种基于无人机平台搭载光学传感器,通过低空飞行获取多视角影像数据,结合定位定向系统(POS)、地面像控点与摄影测量算法,重建地表三维信息的技术。

POS 系统基于 DGPS (差分全球定位系统)与 IMU (惯性测量单元),测定摄影瞬间无人机的空间位置与姿态数据,即纬度、经度、高程、偏航角、俯仰角及翻滚角;参考 POS 数据,依据地面控制点进行空中三角测量,提取不同像片重叠部分的特征点或地面像控点,对像片进行控制点加密,得出像片的精确外方位元素及像片之间的几何关系(如图 2);随后通过影像同名点匹配进行地物三维重建,获得 DSM (数字表面模型),最后,根据航空摄影机的内方位元素、获得的外方位元素以及 DSM,对像片进行几何校正,拼合得到 DOM (数字正射影像),并进行三维建模[5]。

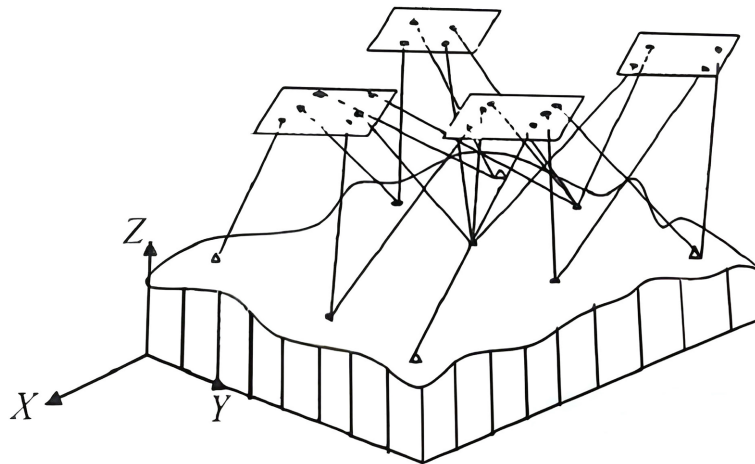


Figure 2. Aerial triangulation of regional network using beam method
图 2. 光束法区域网空中三角测量

2.4. 三维激光扫描

三维激光扫描技术基于激光测距与极坐标测量原理,通过主动发射激光脉冲并接收反射信号,计算激光发射与接收的时间差确定目标距离,然后根据扫描仪本身的定位信息和仪器参数,记录激光束的水平角和垂直角,结合测距值计算获得目标点的三维坐标,并通过传感器获取目标物体的反射率及色彩信息,形成高密度点云数据,最后通过软件(如大疆智图、CoPre2)进行去噪、配准、抽稀,生成实景三维模型,并提取 DEM (数字高程模型)、等高线、巷道平面(立体)图等成果。

3. 实例应用分析

现以本次项目中核查的某矿山为例，就不同现代测绘技术在矿山执法测量中的效率、精度进行对比分析，探讨不同测量方式在露天矿山执法测量中的应用效果及其适用场景。本次采用设备信息见表 1。

Table 1. Table of model and accuracy of surveying instruments
表 1. 测绘仪器型号及精度表

设备名称	型号	精度
RTK	南方极点	平面测量精度 $\pm(8\text{ mm} + 1 \times 10^{-6}\text{ D})$ 高程测量精度 $\pm(15\text{ mm} + 1 \times 10^{-6}\text{ D})$
全站仪	南方 NTS-342R5A	测角精度 2" 免棱镜测距精度 0~500 m: $\pm(3\text{ mm} + 2 \times 10^{-6}\text{ D})$ 500~1000 m: $\pm(5\text{ mm} + 2 \times 10^{-6}\text{ D})$
无人机	大疆 MAVIC 3E	广角: 4/3CMOS, 2000 万像素, 3.3 μm 像元 长焦: 等效焦距 162 毫米, 1200 万像素

3.1. 测区概况

该矿山在上一周期执法核查中确定了其北部存在越界开采情况，此次分别开展了无人机倾斜摄影测量和全站仪实地测绘，对其越界范围进行测量和超挖土方计算。矿区面积为 0.0272 km²，所在区域海拔 235 m~358 m，相对高差约 123 m。矿山自设立以来，已阶梯式开采多年，台阶面清晰稳固，开采区域及矿石加工厂区地表裸露，通视情况良好；周边区域植被发育，仅采坑顶部外缘基岩出露；北部越界开采区域为开挖陡壁，地形裸露无遮挡。地面条件符合无人机航空摄影测量工作需求。

3.2. CORS-RTK 控制测量

因测区为矿山开挖陡壁，测绘人员无法持 RTK 进行实地测量，此次 RTK 设备仅用于测设控制点等。现场先为全站仪测设了 3 个图根控制点；随后在测区外围及中心区域使用油漆喷涂了 5 个 20 cm 宽，50 cm × 50 cm 大小的“L”形红色标志作为像控点，平滑采集 15 轮次取得像控点坐标[6] (如图 3)，最后在测区范围内，喷涂并测设了 10 个对照点。因 RTK 测量数据高程为国家 2000 椭球的大地高，而矿山的采矿许可证批准范围为 1985 国家高程基准高程[7]，现场测量后，通过 HNCORS 平台的坐标转换功能，将测得数据转换为 1985 国家高程基准高程，以供矿山执法测量使用。



Figure 3. Image control point measurement
图 3. 像控点测量

3.3. 全站仪实地测量及数据处理

现场通过全站仪采用极坐标法对越界区域测得了 43 个碎部点空间信息后,在 CASS 软件中生成当前地形三角网,与矿山原地形三角网、采矿权批准范围进行对比核算,即可通过方格网法、三角网法等算法算得超深越界超挖矿石方量(如图 4),进而计算得开采资源量。

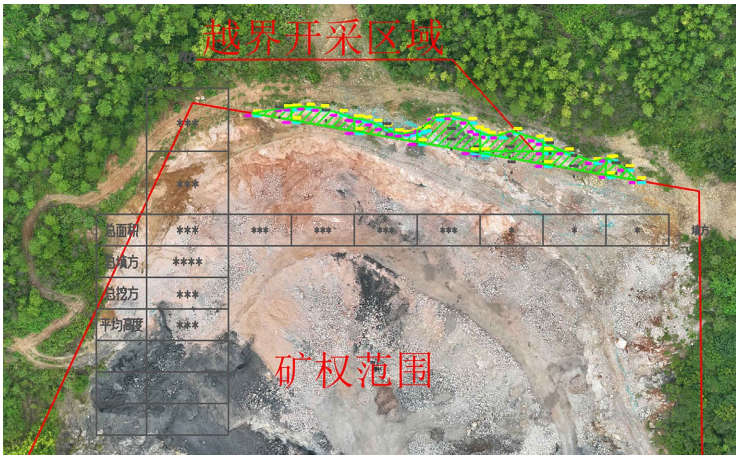


Figure 4. Calculation earthwork volume by CASS software with grid method
图 4. CASS 方格网法计算土方量

3.4. 航空摄影测量及其数据处理

航飞前预先将巡查时正射采集生成的 DSM 文件、矿山及相关厂区外扩 100 m 后 0.155 km² 测区范围的 KML 文件导入无人机存储卡中。在矿山现场加载航线 KML 文件和 DSM 文件,设置仿地飞行模式,仿地飞行高度 160 m,正射 GSD 4.30 cm/pixel,倾斜 GSD 6.08 cm/pixel,采用智能摆动拍摄模式,旁向重叠率 70%,航向重叠率 80%,等距间隔拍照,航线速度 15 m/s [6]。航飞执行时通过遥控器实时监控无人机的电池电量、RTK 信号状态、风速信息、航线周边障碍物等情况,确保航测的顺利完成,最后获得带 POS 信息的像片共 353 张。

本次采用的是大疆智图软件进行无人机数据处理,导入航飞像片和像控点坐标文件,完成像控点刺点并设置好输出坐标系、输出文件类型等必要参数后,软件开始全自动空中三角测量,进而加工输出 DSM、DOM 和三维模型等成果文件[8]-[10]。无人机 RTK 航测出来的高程为国家 2000 椭球的大地高,经过 1985 高程像控点刺点之后,此时输出的以上 DSM、DOM 和三维模型文件的高程,已经转换为 1985 国家高程基准高程,可以直接与采矿许可证范围进行核对。

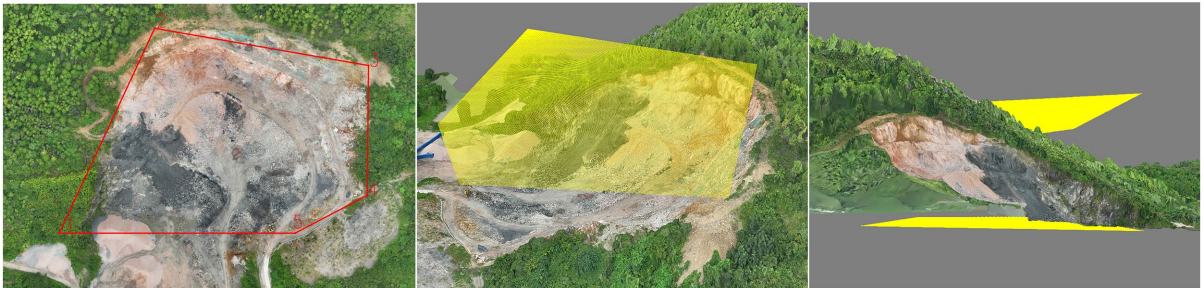


Figure 5. Analyzing the situation of over-excitation and boundary violations through a three-dimensional model of the mine
图 5. 矿山三维模型分析超深越界情况

在 CASS 中加载三维模型、DOM、采矿权许可证坐标绘制的矿区顶、底板范围，如图 5 所示，进行套合，通过多角度观察对比，可以立体直观地分析矿山开挖情况和超深越界位置及程度。进而在三维模型中提取超深越界位置的空间信息，与原地形、矿权范围进行对比，计算超挖矿石方量，进而进行开采资源量估算。

3.5. 效率及精度分析

本次测量分别采用全站仪实地测量及无人机倾斜摄影测量 2 种方式开展工作，进行对比分析。全站仪实地测量：经过图根控制点测设，全站仪架设及碎部点测量，共计耗时 28 分钟，完成了对越界范围的测量工作，内业资料整理通过 CASS 软件很快完成了超挖矿石方量计算。无人机倾斜摄影测量：经过前期 5 个像控点测设，约 20 分钟航飞作业，后期内业约 1 小时 20 分钟的数据加工处理，完成了对越界范围的测量工作并获得了整个矿区的测量数据模型。

本次航空摄影测量按照相关规范要求执行，平面坐标精度符合规范要求，此次着重对无人机航空摄影测量的高程精度进行探讨。通过 ArcGIS 软件，将实测的 43 个碎部点及 10 个对照点对应坐标的航测高程提取出来，与实测高程进行对比，结果见表 2。

Table 2. Comparison table of elevation information
表 2. 高程信息对比表

点号	全站仪/RTK 实测值			航测高程 H(m)	差值 (cm)	备注
	X(m)	Y(m)	H(m)			
1	****148.313	****360.727	327.482	327.503	-2.1	碎部点
2	****154.024	****352.018	325.934	325.889	4.5	碎部点
3	****146.541	****353.558	325.580	325.563	1.7	碎部点
4	****140.366	****357.325	324.966	325.062	-9.6	碎部点
5	****129.288	****359.243	323.365	323.536	-17.1	碎部点
.....						
43	****169.091	****334.197	312.789	312.916	-12.7	碎部点
JC1	****133.511	****256.518	275.399	275.434	-3.5	对照点
JC2	****197.891	****268.725	291.262	291.291	-2.9	对照点
JC3	****102.972	****300.652	296.085	296.069	1.6	对照点
JC4	****226.703	****229.940	296.037	296.008	2.9	对照点
JC5	****098.936	****171.822	264.124	264.175	-5.1	对照点
JC6	****163.166	****299.282	292.237	292.312	-7.5	对照点
JC7	****144.611	****232.549	273.592	273.623	-3.1	对照点
JC8	****094.196	****211.171	263.484	263.447	3.7	对照点
JC9	****172.232	****196.475	288.399	288.427	-2.8	对照点
JC10	****200.695	****318.803	309.079	309.113	-3.4	对照点

经过分析统计，43 个碎部点及 10 个对照点高程差绝对值最大为 17.6 cm，最小为 0.7 cm，平均值 7.73 cm，高程中误差±8.95 cm，满足 1:2000 地形测量的精度要求。

4. 现代测绘技术在矿山执法中的应用效果分析

CORS-RTK 结合全站仪进行实地测绘因其测绘精度高、数据可追溯性好、适用范围广的特点，在历

年的矿产执法中获得了矿山企业和国土管理部门的普遍认可，具备司法鉴定的权威性，且通过以上数据和以往实践经验对比，在局部小范围的越界开采定量测量中，因无人机航空摄影测量在像控点布设和后续内业数据处理上耗时较多，CORS-RTK+ 全站仪测量具有较大的优势。然而因其需要测绘人员长期在矿山现场进行测量，尤其是矿坑边界、底部，存在着垮塌、落石以及人员摔落等风险，对于现场测绘人员具有较大风险。

崔宏兵等人验证了免像控模式下建立的三维立体模型成果符合相关规范的要求，可以实现判定矿山企业是否存在超越矿区批准范围采矿行为的目的[8]；王炳新证明了无人机技术成果的精度符合相关规范要求，可以作为一种可靠的测绘成果为执法部门提供基础数据[11]；结合此次数据对比，可以认为在按照规范进行操作的情况下，无人机航空摄影测量精度已经满足规范的要求，能够作为矿山执法的测量依据。因其现场测量快捷、成果立体直观等优点，无人机航空摄影测量技术在露天矿山执法、地质勘查及区域调查等领域中已得到广泛应用，尤其是大范围或地形陡峭、人员实地测量困难且危险环境中的测量工作，具有明显的优势。随着无人机航空摄影测量技术的发展，目前部分先进机型免像控测量已经可以达到规范要求的精度，然而如图6所示，因可见光摄影无法穿透植被，航测生成的三维模型和DSM模型，都是依据植被表面信息生成，无法采集植被以下地表空间数据，在测量工作中仍具有一定的局限性，并且受气候影响较大，大风天、雨天、雾天及夜晚均无法开展测量工作。



Figure 6. Schematic diagram of the 3D model and DSM model partial of aerial photogrammetry
图6. 航空摄影测量三维模型及DSM模型局部示意图

目前三维激光扫描仪分为机(车)载激光扫描仪、架站式三维激光扫描仪和手持式激光扫描仪，在露天矿山测量中，可采用无人机载激光扫描仪进行测量，配合架站式三维激光扫描仪和手持式激光扫描仪，进行地面补充扫描，最终可获得矿山整体的精细三维模型，且通过颜学铮等人在衡阳市某矿山的实践，论证了三维激光点云数据精度略高于倾斜三维实景数据[12]。同时，基于激光雷达穿透能力强及多回波的特性，扫描仪在植被茂密的地形上可穿透树层，精准获取林下的地形信息，使其测量成果在矿山尤其是植被茂密的矿山测量上，较航空摄影测量具有明显的优势，且激光扫描仪不依赖环境光源，在夜间依然可以开展工作。然而目前高端扫描仪的采购与维护费用远高于航空摄影设备，难以进行广泛普及。

5. 结语

综上所述，全站仪与CORS-RTK设备相配合进行现场实地测绘，是露天矿山执法中传统测绘手段的核心方法，经过长期的实践，已经证明其可靠性，但因其需实地测量，受地形地貌影响，具有一定的危险性和局限性。无人机航空摄影测量、三维激光扫描技术以其远程操控及无人机快速扫描的特性，能够

安全快速地进行大范围测量，且经过多方验证，测量精度已经完全符合目前相关规范的要求[6] [8]-[10]。不同的测绘技术各有其优势与劣势，在矿山执法测量工作中，我们可以根据需求，依据不同测绘技术手段的优劣势和使用场景(见表 3)，选择不同的方法开展工作，如仅需小范围越界超挖量测算且环境安全时，可采用 CORS-RTK 直接测量或配合全站仪开展工作；需要对矿山超深越界情况进行判定时，可直接开展无人机倾斜摄影测量，存在超深越界情况则可根据航飞成果直接进行超挖土方量计算；需要对矿山开展整体调查时，可采用三维激光扫描进行扫描建模。随着现代测绘技术的快速发展，如航摄免像控技术、三维激光扫描设备的普及、多源三维模型以及多技术融合[13]等先进测绘技术的发展，将能更好地为矿山执法提供更加精确、直观、高效的测绘技术支撑。

Table 3. Advantages, disadvantages, applicable scenarios, and development directions of different surveying and mapping techniques in mine law enforcement

表 3. 不同测绘技术在矿山执法中的优劣情况及其适用场景、发展方向

特性 测绘技术	CORS-RTK	全站仪	无人机航空摄影测量	三维激光扫描
优势	1、认可度高 2、测点速度快 3、免控制点直接测量	1、认可度高 2、适用范围广，可免棱镜中等距离测量陡坡、峭壁等区域	1、现场测量快捷 2、成果立体直观 3、能快速地进行大范围测量	1、现场测量快捷 2、成果立体直观 3、受植被影响小 4、可夜间工作
劣势	1、受信号遮挡影响 2、所测必到，陡壁等无法测量，实地测量，危险性较大 3、大范围测量人工强度大，耗时久	1、需配合至少 2 个控制点进行测量，远处或不通视则需从控制点引导线 2、架站时间较长 3、大范围测量人工强度大，耗时久	1、受气候影响较大 2、受植被影响大 3、需测设像控点进行校正	1、受气候影响较大 2、价格昂贵
适用场景	露天无遮挡的平坦区域，能够快速进行点位测量，进行超深判定或超深越界区域信息采集	结合 CORS-RTK 测设的控制点，对矿山进行测量，进行超深判定或超深越界区域信息采集，地形限制较小	1、越界判定(正射采集) 2、超深越界判定及挖方测量(倾斜采集)	1、对植被发育的矿山进行扫描测量 2、空天地一体联合扫描，建立矿山全域模型
发展方向	融合激光测距仪、惯导及摄影测量技术，实现无接触式测量	融合 RTK 设备的超站仪，露天矿山无需单独测设控制点即可开展测量	1、随着免像控技术的发展，无须像控点依然可以达到规范要求的精度 2、随着无人机技术和相机技术的发展，飞得更久，拍得更清晰 3、与三维激光扫描等技术进行融合测量	1、随着技术的发展和成本的控制，逐渐进行普及 2、与航空摄影测量等技术进行融合测量

参考文献

[1] 陈美杉. CORS 技术在矿山测量中的应用分析[J]. 建材发展导向, 2019, 17(19): 144.

[2] 王禹. RTK 结合全站仪的矿山地形测量技术研究[J]. 世界有色金属, 2024(19): 136-138.

[3] 曹宝栋, 朱丽丽. 全站仪测量技术在矿山测量中的应用研究[J]. 世界有色金属, 2024(16): 148-150.

[4] 张潜. 全站仪免棱镜测量在矿山中的应用及成果管理[J]. 新疆有色金属, 2021, 44(4): 91-92.

[5] 赵燕伶, 洪增林, 付垒. 无人机遥感技术在土地违法监测中的应用研究[J]. 矿产勘查, 2019, 10(4): 976-983.

[6] 国家测绘局测绘标准化研究所. GB/T 7931-2008 1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量外业规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

- [7] 崔宏兵, 焦殿阳. 无人机三维建模在矿山执法检查工作中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(7): 164-166.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50026-2020 工程测量规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
- [9] 中华人民共和国自然资源部. GB/T 18341-2021 地质矿产勘查测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [10] 国家测绘局测绘标准化研究所. GB/T 7930-2008 1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量内业规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [11] 王炳新. 无人机摄影测量技术在违法用地土石方量计算方面的应用[J]. 矿山测量, 2021, 49(4): 61-65.
- [12] 颜学铮, 郭招娣, 黄栋良, 杨阳. 基于无人机倾斜摄影与激光扫描的露天矿山三维模型构建与应用研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(16): 180-183.
- [13] 太浩宇. 多源数据融合的矿山地上地下三维实体模型构建方法研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2023.