

综合测绘方法在矿山巡查监测中的应用研究

邓冉阳

湖南省生态地质调查监测所, 湖南 长沙

收稿日期: 2025年3月31日; 录用日期: 2025年4月25日; 发布日期: 2025年5月30日

摘要

随着现代测绘技术的不断发展, 其在矿山测量领域的应用也越来越广泛。本文通过对现代测绘技术在矿山测量中的应用进行探究和总结, 分析了其在提高矿山测量效率、精度、可靠性和安全性方面的优势。同时, 还结合常用的现代测绘技术在矿山测量中的具体应用案例, 并对未来的发展趋势进行了展望。本文以湖南省某县2022~2024年度矿山超深越界巡查项目为例, 通过无人机、RTK (CORS)、全站仪这三种测量技术特点在矿山巡查中的实际应用, 可实现协同工作以提高矿山巡查的效率、精度和安全性。

关键词

无人机, RTK (CORS), 全站仪, 矿山巡查, 综合测绘

Research on the Application of Comprehensive Surveying and Mapping Methods in Mine Inspection

Ranyang Deng

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

Received: Mar. 31st, 2025; accepted: Apr. 25th, 2025; published: May 30th, 2025

Abstract

With the continuous development of modern surveying and mapping technology, its application in the field of mining surveying is becoming increasingly widespread. This article explores and summarizes the application of modern surveying technology in mining surveying, and analyzes its advantages in improving mining surveying efficiency, accuracy, reliability, and safety. At the same time, specific application cases of commonly used modern surveying techniques in mining surveying were also combined, and future development trends were discussed. This paper takes a mining over-depth and boundary-exceeding inspection project in a county of Hunan Province from 2022 to

2024 as an example. By leveraging the practical applications of three surveying technologies—drones, RTK (CORS), and total stations—in mining inspections, it is possible to achieve collaborative work to enhance the efficiency, accuracy, and safety of mining inspections.

Keywords

Drone, RTK (CORS), Total Station, Mine Inspection, Comprehensive Surveying and Mapping

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

为进一步加强政府对当地矿山企业的开采监管，规范矿产资源开采秩序，动态监测矿山开采变化及防范因超深越界开采引发的安全事故，依据湖南省自然资源厅相关文件规定，结合本地区实际情况，对境内持证开采矿山进行超深越界检测工作。

本文基于无人机、RTK (CORS)、全站仪三种方法在矿山超深越界检测中的应用，分析其适用场景、技术特点并进行总结，为全省推进矿山超深越界检测工作提供借鉴作用。

2. 测绘仪器技术应用

2.1. 免棱镜全站仪在矿山测量中的原理

全站仪测量技术的应用原理基于光学测量和几何学原理，通过激光测距和角度测量的组合，实现了对目标物体在三维空间中位置和姿态的高精度测量。数据处理系统的功能为用户操作仪器、设置参数、处理数据和获取测量结果提供了便利。全站仪测量技术的应用原理基于激光测距、角度测量和数据处理等关键技术。① 激光测距原理：全站仪使用内置的激光发射器发射一束激光束，该激光束照射到目标物体上并反射回来。仪器通过计算激光从发射到接收返回的时间间隔，以及光在空气中传播的速度，确定了目标物体与仪器之间的距离。② 角度测量原理：全站仪内部的角度测量装置通过使用水平仪、垂直仪和转盘等部件，测量目标物体与仪器之间的水平角度和垂直角度。角度测量装置可以精确测量出仪器在水平和垂直方向上的旋转角度，从而获取目标物体相对于仪器的方位信息。③ 数据处理原理：全站仪的数据处理系统是其核心部分，用于处理测量得到的距离和角度数据，并进行计算、分析和显示。数据处理系统具有高性能的处理器和内存，可以进行复杂的数学运算和数据处理。根据测量原理，激光测距和角度测量的数据会被输入到数据处理系统中进行相应的计算和转换[1] [2]。

2.2. RTK (CORS)测量技术在矿山测量中的原理

RTK 测量技术是以载波相位观测量为根据的实时差分 GPS 测量技术。而且实时动态测量的基本原理是在基准站上安装一台 GPS 接收器，对可见的卫星进行连续观测，并将其观测的数据通过相关设备传输到观测站。随后观测站所显示 GPS 卫星信号的同时，能够运用无线电传输设备接收所传输的观测数据，然后根据相对定位的原理实时计算，显示用户的三维坐标，从而能够发挥精准测量的效果[3]。

CORS 是 Continuously Operating Reference Station 的英文缩写，意为“连续运行基准站”，是指通过在一定范围内，选择合理分布并适于观测的站点，布设若干个连续运行的永久性 GNSS 基准站，构成基准站网络。各个参考站要根据设定好的采样频率进行连续观测，利用数据通信系统将观测到的数据传送

给系统的控制中心,这个系统控制中心的首要任务是预处理和质量分析各站的数据,随后对整个数据进行统一的解算,实时估算网内各个系统的误差改正项(对流层、电离层以及卫星轨道误差等),得到本区域的误差改正模型,同时把 GPS 改正数据发送给用户。用户只需要使用一台 GPS 接收机,就可进行毫米级、厘米级、分米级、米级的实时、准实时地快速定位或事后定位,全天候地支持各种类型的 GNSS 测量、定位、变形监测和放样作业。常规的控制测量(导线测量、三角测量)要求点间通视,既费时又费工,并且精度不均匀,外业不能对测量成果的精度进行准确地把握。快速静态、GPS 静态相对定位测量不需要点间通视,尽可以高精度地进行控制测量,但是它需要对数据进行处理,不能够及时地进行定位以及把握定位的精度,内业在处理以后,还需要进行反复测量,利用网络 RTK 技术进行控制测量,实时地把握定位精度和定位结果,使其作业效率大大提高。现阶段,除了高精度的控制测量还使用 GPS 相对定位技术以外,地形测图中的控制测量已经开始使用 CORS 系统的 RTK 技术。

2.3. 无人机测量技术在矿山测量中原理

无人机成图技术基于无人机技术、图像融合处理技术、数据处理技术以及实时动态定位技术,在其使用初期,以竖直摄影技术为主导,其最大特点是只能获得竖向图像数据。由于不能获得物体表面的纹理,使得采集到的图像中出现了许多“留白”现象,严重影响了图像的识别率。随着影像融合与数据处理等方面的进步,无人机携带的立式相机转变为多种角度的多视角倾角成像设备,实现对测量地区地表进行多视角观测的根本目标。该方法不仅能较好地提取物体表面的纹理特征,而且能使采集到的图像具有较好的真实感和较高的精确度[4]。无人机测量技术在矿山测量中具有广泛的应用。通过搭载测量设备的无人机,可以实现对矿山的快速、高效测量和监测任务。无人机测量技术可以获取高分辨率的航空影像和三维模型,用于矿山地貌分析、矿体体积计算、开采进度评估等方面。通过无人机搭载的相机设备,可以获取高分辨率的航空影像,用于地形和地貌特征的提取和分析。这些影像可以用于生成数字高程模型(DEM)和数字地貌模型(DTM),以获取矿山地形的详细信息。地貌分析可以帮助确定矿区的地形特征、地质构造和地表变形等,为矿山规划和设计提供基础数据。通过飞行航线的规划和影像的获取,无人机可以捕捉到矿体的三维信息。结合其它测量设备和图像处理软件,可以对矿体进行三维重构和体积计算。这对于矿山资源评估和开采规划非常重要,可以准确估算矿体的容量和储量。通过定期的无人机测量,可以获取开采区域的影像数据,并与之前的数据进行比对。通过比对分析,可以评估开采区域的变化和开采进度,及时发现问题和调整开采策略,确保开采进程的顺利进行[5]。

3. 现代测绘技术的特点和优势

现代测绘技术具有以下几个特点:① 利用先进的仪器设备和自动化的数据处理方法,能够快速获取大量的地理信息,提高测量工作的效率。② 利用高精度的测量仪器和精确的数据处理算法,可以实现对地理信息的高精度测量和定位,提供准确的测量结果。③ 采用遥感和无人机等非接触式的测量方法,可以避免人员进入危险或难以到达的地区,保障测量人员的安全。④ 可以将来自不同源头的地理信息数据进行融合,如将地面测量数据、卫星遥感数据和激光扫描数据等进行整合分析,提供更全面、准确的地理信息。⑤ 可以实现对矿山的实时监测和变更调查,及时获取矿山的地理信息变化,提供支持决策的数据基础[6]。

在矿山巡查中,无人机、RTK(实时动态差分定位技术)与全站仪的综合应用展现了显著的优势。

① 综合应用显著提高了巡查的效率和精度。无人机能够迅速覆盖大面积矿区,通过高清影像捕捉矿山的整体状况,而 RTK 技术则确保了关键点的精确定位,为后续的详细分析提供了坚实的数据基础。全站仪则进一步在细节上发挥作用,对特定区域进行精确测量,三者协同工作,保证了数据的全面性和准

确性，同时大大缩短了巡查周期。

② 综合应用降低了人员安全风险。无人机替代人员进入危险或难以到达的区域，RTK (CORS)与全站仪的结合使用，也使得人员能够在相对安全的位置进行操作，减少了现场作业的不确定性和危险性。

③ 综合应用有助于实现矿山的智能化管理。通过无人机测量的影像图，结合 RTK (CORS)和全站仪的精确测量，可以将矿山进行数字化成图。

综上所述，无人机、RTK (CORS)与全站仪在矿山巡查中的综合应用，不仅提高了巡查效率和精度，增强了安全性。

4. 三种技术的结合方式

在矿山巡查中，无人机、RTK 与全站仪的结合应用，为矿山的精确测绘、实时监测和高效管理提供了强有力的技术支撑。无人机以其空中视角和数据采集能力，成为矿山巡查中的重要组成部分。无人机配备的高清摄像头或激光雷达等传感器，可以快速获取矿区的地形地貌、植被覆盖、建筑物分布等信息。同时，无人机还可以对矿区的重点区域进行细致观察，及时发现潜在的安全隐患。

RTK (Real-Time Kinematic)技术是一种实时动态差分定位技术，具有高精度、实时性强等特点。在矿山巡查中，RTK (CORS)技术可以与无人机相结合，实现无人机的高精度定位和数据采集。RTK (CORS)技术通过接收和处理卫星信号，在地面空旷处布设像控点若干，并对像控点进行测量，并在无人机数据处理时导入像控点坐标处理，从而提高数据采集的准确性和可靠性。

全站仪作为一种传统的地面测量仪器，在矿山巡查中同样发挥着重要作用。全站仪可以精确测量矿区的地形、地貌和建筑物等特征点的三维坐标，为矿山的规划、设计和施工提供基础数据。在无人机和 RTK (CORS)技术的支持下，全站仪可以更加高效地完成地面测量工作，减少人力物力的投入。

三种技术的结合方式如下：无人机搭载 RTK 设备进行空中测绘，获取高精度的地形地貌数据；同时，利用 RTK (CORS)测量已布设好的像控点，并现场测量 2 个全站仪使用的图根点，利用全站仪对关键区域进行地面测量，确保数据的准确性和完整性。这种结合方式不仅提高了矿山巡查及超深越界开采测量的效率，还增强了数据的可靠性和实用性，为当地行政主管部门对矿山的科学管理提供了有力保障[7]。

5. 项目概况及应用效果

5.1. 项目概况

(案例 1)

蓝山县某矿区涉嫌超深越界开采行为，导致矿区边缘存在高陡边坡。传统测量手段无法到达边缘地区进行测绘工作。由于其地形复杂，决定采用无人机、RTK 与全站仪的综合应用方案。

1) 无人机、RTK 与全站仪的综合应用方案

经现场确认，越界部分存在高陡边坡，人员无法使用 RTK 到达边坡处进行测量工作。

首先使用无人机对矿区进行航测，见图 1。航测后数据使用 Pix4Dmapper 软件进行正射影像制作，见图 2。并设置好所在区域的代号及坐标系统，由于无人机自带高程是大地高标准，需在制作影像时加上大地高与正常高之间的差值，制作好的正射影像导入至南方 CASS 软件，并导入该矿山矿权范围，即可初步认定该矿区东部存在部分越界开采行为。然后利用 RTK (CORS)在范围内布设 2 个图根控制点，再使用全站仪对高陡边坡处进行碎部点测量。

利用全站仪对矿区超深越界高陡边坡区域进行碎部点测量，见图 3，表 1。

表 1 为碎部点测量成果表。

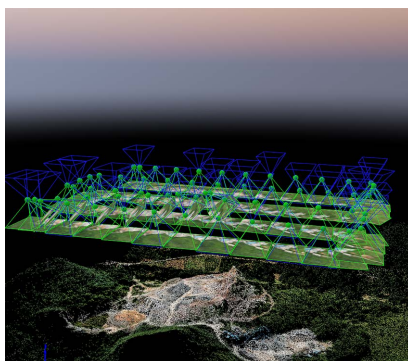


Figure 1. Drone point cloud data
图 1. 无人机点云数据



Figure 2. Drone orthophoto
图 2. 无人机正射影像



Figure 3. Location of high and steep slope
图 3. 高陡边坡位置

Table 1. Measurement results table 1
表 1. 测量成果表 1

点号	X	Y	H	备注	点号	X	Y	H	备注
KZ1	28???41.083	60???2.557	301.696	测站点	27	28???63.245	60???8.247	302.951	
KZ2	28???20.453	60???0.508	302.438	后视点	28	28???64.739	60???7.794	302.896	
1	28???76.803	60???8.109	309.767		29	28???66.620	60???7.025	302.847	
2	28???78.942	60???4.098	307.423		30	28???71.244	60???2.416	302.423	
3	28???78.531	60???9.679	305.768		31	28???70.766	60???6.683	301.999	
4	28???72.055	60???6.255	305.663		32	28???60.107	60???9.199	301.377	
5	28???77.348	60???3.274	306.492		33	28???53.406	60???2.061	301.285	
6	28???65.238	60???9.868	305.402		34	28???48.688	60???8.290	301.196	
7	28???64.064	60???3.153	303.146		35	28???55.013	60???0.324	302.701	
8	28???67.210	60???7.105	303.141		36	28???48.077	60???3.813	301.061	
9	28???76.014	60???2.245	304.395		37	28???50.662	60???6.051	301.159	
10	28???73.670	60???6.832	304.373		38	28???52.986	60???4.906	303.076	
11	28???73.234	60???2.142	304.444		39	28???54.782	60???2.678	303.547	
12	28???73.522	60???4.798	304.501		40	28???55.245	60???9.418	303.468	
13	28???72.742	60???5.491	304.493		41	28???56.262	60???3.368	302.66	
14	28???70.338	60???8.442	304.492		42	28???58.878	60???7.173	302.862	
15	28???67.579	60???1.646	304.501		43	28???63.150	60???2.562	305.365	
16	28???64.856	60???3.142	304.481		44	28???60.818	60???0.207	304.809	
17	28???60.097	60???1.484	305.915		45	28???60.764	60???2.309	306.971	
18	28???56.018	60???6.895	305.809		46	28???59.247	60???7.085	306.670	
19	28???57.549	60???1.433	306.704		47	28???56.987	60???0.166	305.865	
20	28???59.104	60???1.559	307.128		48	28???52.752	60???2.340	304.126	
21	28???59.920	60???8.462	307.353		49	28???43.910	60???6.340	301.336	
22	28???63.793	60???5.484	307.814		50	28???44.570	60???0.958	301.097	
23	28???69.308	60???0.494	307.523		51	28???43.943	60???8.342	301.155	
24	28???72.904	60???3.818	306.795		52	28???44.355	60???9.735	301.230	
25	28???74.670	60???8.256	306.331		53	28???35.475	60???4.505	301.984	

2) 利用剖面法对越界区域进行储量计算(见图 4)

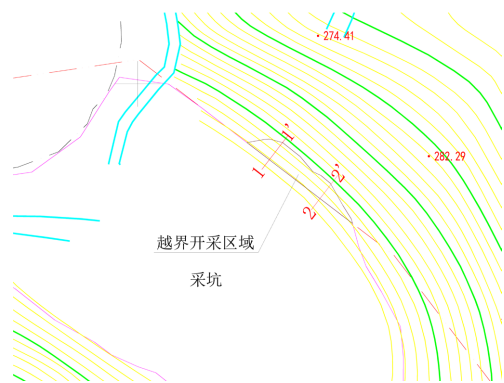


Figure 4. Current terrain and section design
图 4. 现状地形及剖面设计

设计 2 条剖面以方便计算采损资源量，见表 2、图 5。

Table 2. Estimation of resource loss by cross section mining method
表 2. 断面法采损资源量估算表

块段 编号	类 别	剖面 编号	断面 编号	断面积 (m ²)	剖面间 距(m)	体积 (×10 ³ m ³)	体重 (t/m ³)	可采系 数	矿石量 (×104 t)	估算 公式
YJ-1		1	S 越 1	12.7	8.5	0.05	2.6	0.95	0.0133	③
YJ-2		1	S 越 1	12.7	28	0.27	2.6	0.95	0.0671	①
		2	S 越 2	6.7						
YJ-3		2	S 越 2	6.7	8.8	0.02	2.6	0.95	0.0049	④
小计						0.35			0.0853	

矿区建筑石料用灰岩矿越界开采资源量估算剖面图
1:1000

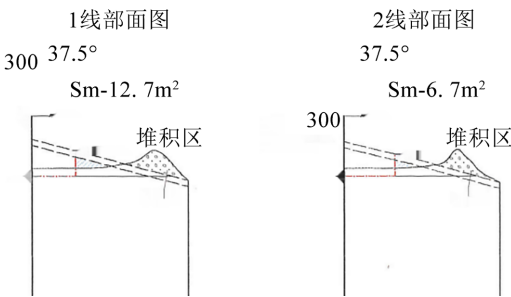


Figure 5. Sectional view
图 5. 剖面图

(案例 2)



Figure 6. Confirming the part of cross-border mining
图 6. 确认越界开采部分

另一矿区同样涉嫌超深越界开采行为，因为该矿区地形较简单，所以只使用无人机与 RTK 进行测绘

工作。首先使用 RTK (CORS)将越界部分范围进行碎部点测量，见图 6，然后使用无人机进行航测，航测后数据使用 Pix4Dmapper 软件进行正射影像制作，随即将生成的 DSM 数据导入 Global mapper 提取越界开采部分高程数据，见图 7，将提取的高程数据导入 CASS，使用方格网法计算采损区域方量，见图 8、表 3。

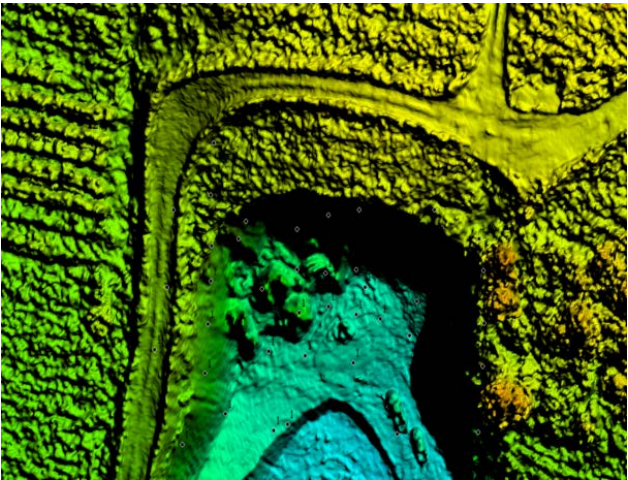


Figure 7. Global mapper extracts elevation point features
图 7. Global mapper 提取高程点要素



Figure 8. Calculation of total volume of mining loss using CASS software grid method
图 8. 使用 CASS 软件方格网法计算采损部分总方量

Table 3. Measurement results table 2
表 3. 测量成果表 2

点号	X	Y	H
FW1	28????0.727	63???8.313	327.482
FW2	28????2.018	63???4.024	325.934
FW3	28???3.558	63???6.541	325.580
FW4	28???7.325	63???0.366	324.966
FW5	28???9.243	63???9.288	323.365
FW6	28???9.621	63???7.402	324.309
FW7	28???7.085	63???7.511	323.855
FW8	28???1.688	63???5.272	323.737
FW9	28???6.096	63???4.556	323.872
FW10	28???9.366	63???3.524	314.549
FW11	28???3.252	63???6.380	314.011
FW12	28???2.087	63???9.418	313.501
FW13	28???6.881	63???0.338	313.459
FW14	28???9.916	63???6.594	313.488
FW15	28???4.197	63???9.091	312.789

5.2. 案例效果

通过无人机、RTK 与全站仪的综合应用，该矿区成功实现了高效、安全的巡查与超深越界测量工作。无人机巡查大幅缩短了巡查周期，提高了巡查效率；RTK 技术提供了高精度的定位测量数据；全站仪则在特定区域中发挥了重要作用。三者相辅相成，共同为矿山的可持续发展提供了有力保障。

6. 结论

在实际的工作中，我们使用无人机、RTK 技术以及全站仪在矿山巡查中进行测量，综合应用效果良好。

- (1) 无人机凭借其高空俯瞰的优势，结合高清摄像设备和红外热成像技术，实现了对矿区的高效巡检与异常检测。通过实时图像传输和数据分析，操作员能够及时评估问题的严重程度，提高矿区的安全性和生产效率。此外，无人机还能提供高精度的地理信息和三维模型，为矿区超深越界检测工作提供了有力的数据支持。
 - (2) RTK (CORS)技术以其高精度、实时动态定位的特点，在矿山测量中发挥了重要作用。RTK (CORS) 技术能够迅速获取矿区的精确坐标和高程信息，满足了矿山测量对高精度数据的需求。这一技术的应用不仅提高了测量效率，还为矿山资源管理和开采监督提供了可靠的数据保障。
 - (3) 全站仪则以其集光学技术、电子信息技术与数据系统于一体的优势，在矿山巡查中展现出了强大的测量能力。
 - (4) 无人机存在的缺点：普遍使用的大疆无人机的核心缺点集中在续航能力以及抗风能力，当风速较大或其他天气情况影响，会极大地缩短电池续航能力。
- 综上所述，无人机、RTK (CORS)技术以及全站仪在矿山巡查中的应用，极大地提高了矿区的安全性

和生产效率,为矿山资源的可持续利用和环境保护提供了有力的技术支持。这些研究成果不仅丰富了矿山巡查的技术手段,还为矿山行业的智能化、环保化、安全化发展提供了有益的参考。

参考文献

- [1] 姚加宁,陈佳春.浅谈免棱镜全站仪在矿山地形测量中的应用[J].西部探矿工程,2022,34(7):137-139.
- [2] 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.
- [3] 朱化林,张金明.探究GPS(RTK)技术在矿山测量中的应用[J].管理及其他,2020(4):182,184.
- [4] 唐善斌.多旋翼无人机测量技术在矿山测量中的应用[J].勘探测绘,2024(13):190-192.
- [5] 王扬名.无人机测量技术在矿山测量中的应用研究[J].测绘科学技术学报,2020,40(2):209-216.
- [6] 周坚.无人机测绘技术在地质矿产勘察中的应用[J].中国高新科技,2023(10):150-152.
- [7] 杨彦超,杨海成,李云涛,等.现代测绘技术在地质矿产测绘中的应用探究[J].世界有色金属,2022(4):24-26.