

分析测绘新技术在矿山地质测绘工程中的应用

唐佳佳

中国煤炭地质总局一一九勘探队 河北 邯郸 056000

【摘要】：在矿山产业发展进程中，地质测绘作为其核心基石与关键先导，技术革新对矿山的安全生产、资源高效开发以及可持续发展意义深远。本文围绕 GNSS（全球导航卫星系统）定位技术、无人机航测技术、三维激光扫描技术等前沿测绘新技术，通过与传统测绘方法展开多维度对比，清晰揭示新技术在测量精度跃升、作业效率优化、数据采集完整性增强等方面的显著优势，深入且系统地解析其于矿山地质测绘工程里的具体应用场景。期望能够为矿山企业在测绘技术选型上提供科学依据，进而推动矿山地质测绘工程迈向高质量发展新阶段。

【关键词】：测绘新技术；矿山地质测绘工程；优势；应用

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.037

矿山资源是国家经济稳健发展的关键物质支撑，而矿山地质测绘无疑是贯穿矿山开采全生命周期的核心枢纽环节。传统测绘技术受限于精度、效率、数据采集能力等方面的不足，已难以契合当下矿山行业精细化、智能化、绿色化的发展诉求。伴随测绘科学技术的飞速进步，GNSS 定位、无人机航测、三维激光扫描等一系列新技术逐渐融入矿山地质测绘领域。这些新技术凭借高精度、高效率、高自动化等特性，正重塑着矿山地质测绘的作业模式与技术格局。本文将详细梳理这些测绘新技术的原理、特性，并深入剖析其在矿山地质测绘工程中的应用，旨在为矿山行业的技术升级与创新贡献参考思路。

1 测绘新技术概述

在矿山地质测绘从传统迈向现代的转型进程中，GNSS 定位技术、无人机航测技术、三维激光扫描技术等前沿手段，应高精度、高效率、智能化的行业诉求应运而生。这些技术凭借独特的原理与功能特性，革新测绘作业模式，成为支撑矿山地质测绘工程发展的核心力量。

（1）GNSS 定位技术

GNSS 定位技术是依托卫星系统达成全球范围内实时、高精度定位的先进技术。其主要涵盖美国的 GPS、中国的北斗卫星导航系统（BDS）、俄罗斯的格洛纳斯（GLONASS），以及欧洲的伽利略（Galileo）系统等。该技术借助接收机接收卫星信号，依据“三边定位原理”，精准计算出接收机所处位置的三维坐标（即经度、纬度、高程）。其显著特点包括：定位精度极高（平面精度可达厘米级甚至毫米级）、可实现全天候全时段作业、覆盖范围广泛、无地域限制。在矿山地质测绘作业中，GNSS 定位技术常被用于控制点的快速布设与精确测量，从而为后续测绘工作筑牢高精度基准框架^[1]。

（2）无人机航测技术

无人机航测技术是以无人机作为搭载平台，通过安装诸如高分辨率相机、激光雷达（LiDAR）等各类传感器，实现对地面影像数据与三维点云数据高效采集的技术手段。无人机具备

机动性超强、起降灵活便捷、可深入复杂艰险地形作业等突出优势。其完整工作流程通常包含航线规划设计（基于地形与测绘需求制定）、数据采集（按预设航线执行）、数据处理（影像拼接、几何纠正、点云生成等）等关键环节。通过对采集数据的深度处理，能够生成数字正射影像（DOM）、数字高程模型（DEM）等重要成果数据，为矿山地质测绘工作提供丰富且精准的空间地理信息^[2]。

（3）三维激光扫描技术

三维激光扫描技术的核心原理是利用激光测距技术，快速获取目标物体表面的三维坐标信息，并形成海量点云数据。该技术具备非接触式测量（无需直接接触目标物）、数据采集速度极快（每秒可采集数万甚至数十万个点）、测量精度高（可达毫米级）等特性。在扫描作业过程中，激光束以极快的频率对目标进行全方位扫描，短时间内即可获取海量三维数据。通过专业软件对这些数据进行处理与分析，能够构建出高精度的三维模型，实现对矿山地形地貌、地质结构的数字化精准表达^[3]。

2 测绘新技术应用的优势分析

在矿山地质测绘工程中，GNSS 定位、无人机航测、三维激光扫描等测绘新技术，从多个维度展现出超越传统方法的显著优势。以下将围绕测量精度跃升、作业效率优化、数据采集完整性增强三大核心方面，进行细致阐述。

（1）测量精度跃升

测绘新技术凭借先进的技术原理，实现了测量精度的大幅提升。GNSS 定位技术借助多卫星系统（GPS+BDS+GLONASS+Galileo）协同作业，配合实时动态差分（RTK）技术，在矿山控制点测量中，能够将平面定位精度精确控制在±2 厘米以内，高程精度控制在±3 厘米左右，为整个测绘工程奠定了坚实的高精度基准。如中国煤炭地质总局一一九勘探队在甘肃永润煤基新材料集团有限公司灵北矿井井筒检查孔测量中，采用华星 A12 型双频 GPS 接收机（RTK 作业标称精度：平面±

(1.5cm+1ppm), 高程 $\pm(2\text{cm}+1\text{ppm})$), 按 GPS-RTK 方法实地测定, 严格遵循《工程测量规范》(GB50026-2020), 外业观测设置采样间隔 5 秒、卫星高度截止角 15 度, 仪器高丈量至毫米位, 观测前后仪器高丈量之差 ≤ 3 毫米。最终 J1、J2、J3 三个检查孔与对应井筒中心的直线距离分别为 19.03m、15.50m、21.35m, 完全满足《煤矿井巷工程施工标准》(GB/T50511-2022)中井筒检查孔距井筒中心 10~25m 的规范要求, 充分印证了 GNSS 技术在矿山测绘中毫米级精度的实践价值。三维激光扫描技术以激光脉冲测距为核心, 凭借亚毫米级的测距精度和每秒百万级点云采集能力, 可以对矿山巷道、采空区等复杂区域进行精细扫描, 构建误差 < 3 毫米的高精度三维模型, 使地质构造的细节得以精准呈现, 有效提升了矿山地质测绘的准确性与可靠性^[4]。

(2) 作业效率优化

新技术在作业效率方面带来了革命性的突破。无人机航测技术依托高机动性飞行平台与多传感器集成(光学相机+LiDAR), 可以快速规划航线, 实现单日覆盖上百平方公里的高效数据采集。采集后的影像数据, 通过自动化的数据处理流程(空三加密→影像拼接→三维建模), 能够在 48 小时内生成数字正射影像(DOM)、数字高程模型(DEM)等成果, 相较传统人工测绘, 效率显著提升。以灵北矿井地质勘探为例, 该矿井属陇东黄土高原东南部, 地形由黄土梁、峁、塬、沟谷组成, 相对高差 200m~420m, 传统测绘需数月完成的 3 个井筒检查孔全流程勘探, 借助 GNSS 定位+无人机航测技术协同作业, 仅用 7 个月(2024 年 3 月 21 日至 10 月 22 日)即完成野外施工, 且数据完整性达 100%, 较传统方法效率有效提升。三维激光扫描技术的非接触式快速扫描特性, 可以在数小时内完成大型露天矿坑或地下矿区的全方位数据采集, 无需像传统测量那样进行大量的人工设站和重复测量, 极大地缩短了测绘周期, 显著提高了工作效率。

(3) 数据采集完整性增强

测绘新技术有效解决了传统方法在数据采集上的局限性, 实现了数据采集完整性的增强。无人机航测技术凭借灵活起降、低空飞行的优势, 能够深入到地形复杂、人员难以到达的区域(如陡峭边坡、隐蔽山谷), 从多角度获取高分辨率影像数据, 完整覆盖矿山全域地形地貌。三维激光扫描技术则可对矿山地下巷道、采空区等隐蔽空间进行零接触、360°全方位扫描, 获取其表面的几何形状、纹理信息等全要素数据, 填补了传统测量的盲区。同时, GNSS 定位技术通过在矿山关键部位(如边坡、尾矿库)密集布设监测点, 实现对地表位移的实时、动态监测, 为矿山安全生产提供完整、连续的数据支持, 全面保障数据采集的完整性^[5]。

3 测绘新技术在矿山地质测绘工程中的应用

在矿山地质测绘工程不断革新的浪潮中, GNSS 定位技术、无人机航测技术、三维激光扫描技术等前沿手段凭借其独特优势, 正重塑着行业的技术格局。

(1) GNSS 定位技术在矿山地质测绘工程中的应用

在矿山地形测绘的前期工作中, 通过合理布设永久性或临时性控制点, GNSS 可以快速、精准地测定控制点的三维坐标(即经度、纬度、高程), 进而为后续测绘作业搭建起高精度的基准网络(如图 1 所示)。在矿山开采监测场景里, GNSS 定位技术的实时动态监测能力更是尤为突出, 于矿山边坡、尾矿库等关键区域, 密集布设 GNSS 监测站, 并配合自动化数据采集与传输系统, 便能对地表位移变化展开全天候、不间断的监测。一旦监测数据超出预先设定的阈值, 系统会即刻触发多级预警机制, 为矿山安全生产筑牢可靠的数据预警防线。此外, 在矿山工程测量环节, 将 GNSS 技术与全站仪、水准仪等设备协同使用, 可以高效完成诸如巷道测量、竖井定位等复杂且关键的任务, 大幅提升测量精度与作业效率。然而, 尽管 GNSS 定位技术优势显著, 但在信号遮挡严重的区域(如地下巷道、深谷等), 其定位精度会受到一定程度的影响。所以, 在实际应用过程中, 常常需要结合惯性导航技术或者地面增强系统, 以此来弥补其局限性, 确保测绘数据的准确性与可靠性。^[6]



图 1 GNSS 定位技术构建矿山测绘基准网络流程示意图

(2) 无人机航测技术在矿山地质测绘工程中的应用

在矿山地形测绘作业中, 无人机航测技术的作业流程主要包括“任务规划→数据采集→数据处理→成果输出”四大环节。首先, 依据矿山地形特点与测绘需求, 利用专业软件(如 Pix4D、Context Capture)规划无人机飞行航线, 确定飞行高度(通常为 100-500 米)、航摄重叠度(航向重叠 $\geq 80\%$, 旁向重叠 $\geq 70\%$)等参数。随后, 无人机按照预设航线自主飞行, 完成影像或点云数据的采集工作。采集后的数据, 经过“空三加密→影像拼接→三维建模”等一系列复杂的数据处理流程, 最终生

成高精度的数字正射影像 (DOM)、数字高程模型 (DEM) 以及三维实景模型。这些成果数据能够直观、立体地呈现矿山地形起伏、地物分布、地质构造等信息,为矿山规划设计、开采方案制定提供了丰富、准确的空间数据支持。针对灵北矿井所在区域梁、峁沟壑区占 64%,破碎塬区和沟谷区占 36%的复杂地形,无人机航测通过 100-300 米低空飞行,以航向重叠 $\geq 80\%$ 、旁向重叠 $\geq 70\%$ 的参数设置,获取了黑河河谷(最低侵蚀点标高+920m)至塬面(最高海拔+1340m)的完整影像数据,生成的数字高程模型 (DEM) 精准呈现了 240m-300m 的塬面与沟底高差,为井田范围(南北长约 9.74km,东西约 15.55km,面积约 103.569km²)划定及井筒检查孔布设提供了关键地形依据。在矿山地质灾害监测与应急响应方面,无人机航测技术同样发挥着不可替代的作用。当矿山发生滑坡、塌陷等地质灾害时,无人机可以迅速升空,对受灾区域进行应急航测,快速获取灾害现场的高分辨率影像数据。通过对比灾前灾后影像,能够精准识别灾害边界、评估灾害损失,为救援决策提供时效性强、可视化程度高的数据依据。此外,在矿山开采进度监测中,定期开展无人机航测作业,可以精确计算矿石开采量、开采区域变化等信息,助力矿山企业实现精细化生产管理。然而,无人机航测技术也面临续航时间短(一般为 20-60 分钟)、受天气影响大(大风、暴雨、浓雾等恶劣天气下无法作业)等问题。未来,随着电池技术、避障技术以及智能化飞行控制技术的不断发展,无人机航测技术将在矿山地质测绘工程中发挥更加重要的作用。

(3) 三维激光扫描技术在矿山地质测绘工程中的应用

在矿山地质构造探测中,三维激光扫描技术展现出强大的应用潜力。对于矿山巷道、采空区、边坡等复杂区域,三维激光扫描仪可以进行全方位、无死角的扫描作业。通过对采集到的点云数据进行“去噪滤波→拼接配准→三维建模”等处理,能够清晰、准确地呈现断层走向、褶皱形态、岩层产状等地质

构造特征,为矿山地质灾害预测与防治提供了高精度、可视化的数据支持。例如,在地下矿山巷道测绘中,三维激光扫描技术可快速获取巷道断面尺寸、支护结构状态等信息,为巷道维护与改扩建提供准确依据。在矿山开采计量与资源管理方面,三维激光扫描技术同样表现出色。定期对矿山开采工作面、排土场、尾矿库等区域进行扫描,通过对比不同时期的三维模型,可以精确计算矿石开采量、土方堆积量、尾矿库存量等数据,误差可控制在厘米级以内。这种非接触式、自动化的测量方式,相较于传统的断面法、方格网法测量,不仅大幅提高了测量效率,还显著降低了测量人员的劳动强度与安全风险。除此之外,三维激光扫描技术生成的高精度三维模型,是构建数字孪生矿山的基础数据,有助于实现矿山生产的智能化管理与决策。尽管三维激光扫描技术优势明显,但也存在数据处理复杂、设备成本高昂等问题。海量的点云数据需要借助专业的数据处理软件(如 Cyclone、CloudCompare)和高性能计算机进行处理,且设备采购、维护成本较高。不过,随着计算机技术、数据处理算法的不断进步,这些问题将逐步得到解决,三维激光扫描技术也将在矿山地质测绘工程中得到更广泛的应用^[7]。

4 结语

综上所述,GNSS 定位技术、无人机航测技术、三维激光扫描技术等一系列测绘新技术在矿山地质测绘工程中展现出了巨大的应用潜力,发挥着不可或缺的重要作用,切实提升了矿山地质测绘的精度与效率。未来,随着科技的持续进步,测绘新技术将朝着智能化、集成化、轻量化方向加速发展。例如,通过将多种技术进行有机集成应用,实现优势互补;加大研发力度,开发更高效的数据处理算法与软件,降低数据处理难度;推动设备小型化、低成本化发展,提升技术的普及应用程度。相信在不久的将来,测绘新技术将在矿山地质测绘工程中得到更广泛、更深入的应用,有力推动矿山行业朝着智能化、绿色化、可持续化方向稳步迈进。

参考文献:

- [1] 郭翔.分析测绘新技术在矿山地质测绘工程中的应用[J].中国金属通报,2025(5):225-227.
- [2] 王志华.测绘新技术及其在矿山地质工程中的应用[J].世界有色金属,2024(7):139-141.
- [3] 高威.测绘新技术在矿山地质测绘工程中的应用[J].世界有色金属,2022(15):13-15.
- [4] 陈程.地理信息新技术在矿山地质测绘工程中的应用[J].世界有色金属,2023(19):25-27.
- [5] 毛红涛.测绘新技术在现代矿山工程测量中的应用探讨[J].世界有色金属,2024(9):154-156.
- [6] 陈小东.测绘新技术在现代矿山工程测量中的应用研究[J].中国金属通报,2024(1):228-230.
- [7] 张宪涛.新型数字化测绘技术用于矿山地质工程测量中的效果分析[J].新疆有色金属,2022,45(3):10-12.