

# Research on Engineering Survey of Complex Mine Geology and Application of Modern Surveying and Mapping Technology

Gang Xue

Inner Mongolia Second Geological Mineral Exploration and Development Co. Ltd., Suzhou, Gansu, 015000, China

## Abstract

In mining operations, complex geological conditions and dynamic engineering environments pose significant challenges to measurement accuracy and safety. Traditional surveying methods demonstrate limitations in maintaining control network stability, conducting roadway/slope surveys, and monitoring subsidence, failing to meet the demands of precision management and safe production. As a critical foundation for mine construction and operations, engineering surveying supports spatial data acquisition and risk control in mining areas. The integration of modern mapping technologies presents new opportunities to enhance surveying capabilities. This study investigates engineering surveying techniques and modern mapping applications in complex geological environments, aiming to drive technological innovation and integration in mining measurement methods, thereby providing robust technical support for safe production and scientific management in mining operations.

## Keywords

mining surveying; complex geological conditions; engineering surveying; 3D laser scanning; UAV remote sensing; GIS

## 矿山地质复杂工程测量与现代测绘技术应用研究

薛刚

内蒙古第二地质矿产勘查开发有限责任公司, 中国·甘肃 肃州 015000

## 摘要

在矿山开采过程中,复杂的地质条件和动态的工程环境使得测量精度和安全性面临巨大挑战,传统测量方法在控制网稳定性、巷道及边坡测量以及地表沉降监测等方面存在局限,难以满足精细化管理与安全生产的需求。工程测量作为矿山建设与运营的重要基础,为矿区空间信息获取和风险管控提供支撑,其中现代测绘技术的引入为提升矿山测量水平带来新的机遇。本文围绕复杂地质环境下的工程测量与现代测绘技术应用展开研究,旨在推动矿山测量手段的更新与融合,为矿山安全生产和科学管理提供坚实技术支持。

## 关键词

矿山测量; 地质复杂条件; 工程测量; 三维激光扫描; 无人机遥感; GIS

## 1 引言

矿山作为重要的资源开发场所,在经济建设和社会发展中具有不可替代的地位,但其地质条件往往复杂多变,伴随断层、褶皱、破碎带等不稳定因素,给工程建设和生产安全带来显著影响。传统测量手段在面对空间环境受限、地形起伏剧烈以及动态变化频繁的矿区时,精度和效率难以满足现代化生产需求。随着信息技术和测绘技术的不断发展,工程测量在矿山中的地位日益突出,现代测绘技术的应用逐渐展现出强大优势,为提升数据获取能力和信息处理水平提供了新的途径,在保障矿山安全生产和科学管理方面具有重要研究价值。

## 2 项目概况

某西部大型有色金属矿山工程位于高山峡谷地带,区域地质构造复杂,地层主要由片麻岩、花岗岩及断裂破碎带组成,矿体赋存深度大,厚度和延伸方向变化明显,局部伴随地下水发育,地质环境十分不稳定。矿区开采方式以地下采掘为主,部分区域采用露天开采,形成“地上一地下”并行的特殊格局。地下巷道分布广泛,断面形态多样,局部区域顶板破碎,施工安全风险突出;露天采场边坡高差超过百米,坡体稳定性直接关系到整体生产安全。随着开采深度的增加,地表出现沉降与塌陷趋势,地裂缝与滑坡隐患逐渐显现,给矿山基础设施和居民区带来潜在威胁。在这种地质环境下,常规测量手段在空间信息获取的完整性和实时性方面难以满足实际需求,尤其在控制网布设、巷道断面测量以及边坡稳定性监测环节中,存在精度下降与数据更新滞后的问题,直接影响矿山工程的施工组织与安全保障。为了适应

【作者简介】薛刚(1987-),男,中国甘肃肃州人,硕士,工程师,从事测量,地质工程研究。

这一需求，本工程在实施过程中引入多种先进测绘技术，以期实现矿区空间数据的全面获取与动态管理。

### 3 工程测量的关键内容

#### 3.1 控制网的建立与精度保障

在该西部大型有色金属矿山工程中，控制网的建立是所有测量工作的前提，测量内容必须覆盖地表采场、井下巷道以及沉陷影响范围，保证整个矿区空间数据具有统一基准。具体测量内容包括：在地表稳定山体基岩处设立一级控制点，获取其精确的平面坐标与高程数据，用于长周期的稳定性检核；在采场边界、运输道路节点和主要工业场地布设次级控制点，以保证生产活动区的坐标统一；在井下主要运输大巷、采掘工作面入口及关键联络巷布设三维控制点，形成完整的井下控制网，并与地表控制点建立联系，实现地上地下坐标系统的统一。此外，由于矿区采动导致局部控制点发生位移，控制网测量内容还包括对点位的周期性复测和异常变化记录，观测数据需明确指出年位移量和高程变化量，作为更新控制体系的重要依据。

#### 3.2 巷道空间与边坡测量实施

该矿山下部巷道分布广泛，总长度超过百公里，巷道形态受复杂地质条件影响显著，顶板破碎与帮部变形普遍存在，测量内容的重点是巷道断面几何参数与空间关系。具体包括：在关键运输巷道和采掘工作面巷道中采集断面特征点坐标，获取断面面积、周长、顶板拱高和帮部偏移量等指标，成果用于分析巷道收敛趋势与支护稳定性；在断层穿越段和岩体破碎区，需要增加断面测点密度，观测顶板下沉量、帮部外移量及断面变形速率，形成时序对比数据，以判断支护强度是否满足要求。露天采场边坡的测量内容则包括坡角、坡高、平台宽度、坡脚位置和坡顶位移量等几何要素，重点监测在节理裂隙密集区和边坡高陡段，成果用于边坡稳定性评价与滑坡趋势分析。同时，监测内容还包括不同时间点的坡面三维坐标数据，形成动态边坡表面模型，以发现潜在的局部变形区域。

#### 3.3 地表沉陷与矿区变形监测

深部采掘活动导致该矿下地表出现沉陷与变形现象，对道路、居民区及矿区基础设施产生影响，测量内容必须覆盖沉陷区、边界带与潜在灾害隐患区。具体包括：在采空区上方布设沉降点，定期测量其高程变化，形成沉陷曲线与沉陷盆地分布图，成果数据包括沉降量、沉降速率和累计沉降值；在沉陷边界带布设加密监测点，获取差异沉降量和水平位移量，用于分析沉陷盆地扩展规律；在裂缝发育区设置监测桩，测量裂缝张开量和延伸方向，观测结果形成裂缝分布图与张开速率表，为灾害风险判断提供基础。此外，在靠近居民点和道路的区域，测量内容还包括对地表标志物和基础设施变形量的跟踪观测，以反映沉陷对生产与生活环境的影响。

## 4 现代测绘技术的应用研究

### 4.1 三维激光扫描在矿山建模中的应用

在该西部大型有色金属矿山工程中，巷道纵横交错、断层和褶皱带广泛分布，顶板破碎区和软弱围岩段占比高，露天采场边坡高差超过百米，平台宽度和坡角变化频繁，仅依靠传统断面仪和全站仪难以在复杂空间内高效获取断面形态、顶板沉降量、帮部外移量和边坡几何参数。为了在控制网提供的统一基准下全面落实这些测量任务，工程在地下巷道和露天采场全面引入三维激光扫描技术，其应用过程表现为在井下和地表分别布设固定扫描基站，井下选择运输大巷交汇口、工作面入口和断层破碎带段落布设站点，保证扫描范围覆盖顶板、帮部与底板，在采场则在各平台转角、坡顶和坡脚位置设置站点，以保证坡面几何特征完整记录<sup>[1]</sup>。现场操作过程中，扫描仪以高频脉冲方式发射激光束，获取目标表面高密度点云，单次作业点数超过数千万，点云数据经过坐标配准与误差修正后，与控制网成果统一到同一坐标系，形成三维点云数据库<sup>[2]</sup>。在数据处理阶段，工程人员利用专业软件对点云进行滤波、切片和模型重建，自动生成巷道断面轮廓和边坡三维表面模型，计算巷道断面面积、拱高、帮部间距及坡角、坡高和平台宽度等参数。为了计算剥离量和堆积体积，利用点云生成的数字地表模型进行体积差分分析，采用公式：

$$V = \sum (h_i \cdot A_i)$$

其中  $V$  为计算体积， $h_i$  为分区单元高程差， $A_i$  为单元面积，该成果被用于采场剥离工程量核算和废石堆场容量评估。以某采区运输大巷为例，扫描成果表明断面面积为  $21.36 \text{ m}^2$ ，与设计值差异控制在  $\pm 1.2\%$ ，顶板沉降与帮部外移量在模型中可直接量化，为支护加固设计提供依据。在露天采场，扫描成果生成的坡面模型用于比对不同采剥阶段边坡形态，结果表明边坡平台宽度和坡角在局部发生偏差，模型成果及时反馈给设计部门调整爆破参数。具体如下：

表 1 三维激光扫描在巷道与边坡测量中的应用数据

应用对象	面积测量误差 / %	坐标精度 / mm	点位密度 / 点·m <sup>2</sup>
巷道断面	1.2	±4.7	12050
边坡表面	1.8	±5.1	11890

该表格结果显示，三维激光扫描在复杂矿山环境中能够保证断面与边坡测量成果的高精度与高密度。

### 4.2 无人机遥感在动态监测中的应用

在该矿山深部开采与露天剥离并行的条件下，沉陷监测、裂缝分布调查和边坡几何测量内容，传统方法难以在大范围、高落差区域全面实施，尤其在居民区、道路及工业设施附近，人工布点效率低、风险高，因此在控制网提供统一基准的基础上引入无人机遥感技术，其应用过程为：先在沉陷盆地、边坡及矿区周边设置若干地面控制点，这些控制点均与主控点相联，以保证后续影像与空间坐标系一致。接

着,规划无人机航线,覆盖采空区上方、边界带和居民点等关键区域,采用高重叠度飞行模式(航向重叠率80%,旁向重叠率70%)获取影像,并搭载分辨率5 cm级别的数码相机采集连续航摄照片<sup>[3]</sup>。数据获取后,通过空三加密处理将影像与控制点坐标联合平差,生成正射影像和数字高程模型(DEM)。在沉陷监测任务中,利用多期DEM叠加,计算沉陷量与沉降速率,公式为:

$$V_s = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

其中,  $V_s$  为沉降速率,  $\Delta H$  为相邻期次高程差,  $\Delta t$  为观测时间间隔。该方法能够在较大范围内快速提取沉陷分布特征,与第二章提出的水准测线监测形成互补。对于裂缝监测,无人机影像通过影像增强与解译提取裂缝张开量与走向分布,成果用于绘制裂缝演化图,与控制网点数据结合,保证裂缝空间定位精度<sup>[4]</sup>。在边坡测量中,DSM成果被用于提取坡高、坡角和平台宽度等几何要素,替代传统人工测点不足的问题。

### 4.3 GIS平台在综合分析与管理中的应用

在该矿山项目中,针对地质条件复杂,地下与地表空间交织,提出了控制网点位、巷道断面参数、边坡几何要素和沉陷曲线等多样化测量内容,这些成果数据量大、类型复杂,若分散使用则难以实现系统化管理和综合分析。为此,工程应用GIS平台实现多源数据的集成与动态管理,应用过程为:先将三维激光扫描生成的巷道与边坡点云模型转化为矢量和栅格数据格式,导入GIS数据库,并与控制网坐标统一;接着将无人机获取的DEM和正射影像叠加在同一基准下,并与沉陷监测点和水准数据进行空间配准;然后将巷道断面测量成果数字化为线要素,作为井下空间数据的一部分导入系统,最终形成覆盖地表与井下的综合数据库。在分析层面,GIS通过叠加分析功能对沉陷等值线与采掘进度进行对比,揭示沉陷区扩展方向与采空区空间位置对应关系,并利用缓冲区分析,对居民区与道路等基础设施的沉陷影响范围进行评估,输出风险分区图,进而采用空间插值法对未设监测点的区域进行沉降趋势预测,形成沉陷预测面<sup>[5]</sup>。对于边坡监测,GIS能够将不同时期的坡面三维模型进行叠

加,通过空间分析功能提取位移矢量分布,判定局部不稳定区。在管理层面,GIS平台支持对不同测量成果进行动态调用和三维可视化展示,实现巷道收敛曲线、边坡几何参数和沉陷曲线的快速查询与对比。根据中国地质调查局《矿山信息化建设指南》(2020),基于GIS的沉陷预测与实测结果的平均偏差为±7.5%,说明分析成果可靠。

表2 GIS平台在综合分析中的精度表现

分析对象	预测精度 /%	平均偏差 /%
沉陷预测	92.3	±7.5
边坡位移预测	89.7	±8.1

数据表明,GIS平台能够在沉陷预测与边坡位移分析中保持较高精度,其应用过程有效整合了所涉及的控制网、巷道、边坡与沉陷测量内容,形成矿区全局化的综合分析与管理,为安全生产和科学决策提供了坚实的技术支撑。

## 5 结语

本文围绕西部大型有色金属矿山复杂地质条件下的工程测量展开研究,从控制网的建立、巷道与边坡测量、地表沉陷与变形监测等关键环节出发,系统阐述了工程测量在矿山建设与运营中的核心作用,并深入探讨了三维激光扫描、无人机遥感及GIS平台在实际应用中的具体过程与技术优势。研究表明,现代测绘技术与传统测量手段相结合,能够有效提升矿山空间信息获取的完整性与精度,实现地上与地下、静态与动态的统一监测与管理,为复杂环境下的安全生产和科学决策提供有力支撑。

## 参考文献

- [1] 任卫峰.高精度测量技术在矿山地质灾害监测中的应用[J].凿岩机械气动工具,2025,51(07):225-227.
- [2] 周天龙.数字化测量技术在矿山测量中的应用试析[J].中国金属通报,2025,(07):34-36.
- [3] 宋英伦.矿山特殊地形测量关键技术研究[J].中国金属通报,2025,(07):98-100.
- [4] 邓敏.测量技术在矿山地质环境治理中的应用[J].中国金属通报,2025,(07):110-112.
- [5] 李森盛.矿山工程测量中的质量控制与管理[J].中国金属通报,2025,(06):62-64.