

# 测绘技术在矿山开采过程中的数字化智能化应用研究

高 伟

内蒙古伊东集团沙咀子煤炭有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

**摘 要：**矿山开采行业历经人工、机械化、数字化阶段，正加速向智能化转型，但存在区域、类型发展不均等问题。测绘技术作为核心支撑，构建了“多源数据融合”的立体化监测体系，涵盖地面三维激光扫描、无人机摄影、卫星遥感等技术，实现数据标准化与共享。在勘探、设计、生产、闭坑修复全流程中，测绘技术推动精准地质测绘、数字化设计、智能化管控及生态修复评估。关键技术突破包括深部矿山高精度定位、数据与采矿系统协同、智能化分析，有效提升资源利用率、安全管控能力及生态修复效果，助力矿山行业高质量发展。

**关键词：**测绘技术；矿山开采；数字化；智能化

**引言：**矿山开采是能源供应的核心支撑环节，传统人工主导的测绘模式存在效率低下、精度不足、高危环境作业风险高等痛点，已难以适配智慧矿山精细化、智能化的发展需求。近年来，无人机倾斜摄影、激光雷达扫描、三维可视化建模等数字化智能化测绘技术逐步深度融入矿山开采全流程，为地形测绘、地质监测、开采规划提供高精度动态数据支撑。本文聚焦此类技术的落地场景与关键应用逻辑，探究其对矿山开采效能与安全管理的赋能路径，为智慧矿山建设提供实践参考。

## 1 矿山开采数字化智能化发展现状

### 1.1 矿山开采行业发展历程与现状

矿山开采行业历经“人工主导-机械化-数字化-智能化”四个阶段。早期人工开采效率低、安全风险大，仅能满足基础需求；20世纪中后期进入机械化阶段，引入挖掘机等设备提升开采规模，但存在资源浪费、环境扰动大等问题；21世纪初，随着GNSS等技术普及，行业向数字化转型，实现数据化记录与可视化管理；当前，在人工智能等驱动下，加速向智能化迈进，无人矿卡等装备开始规模化应用，部分大型矿山已实现“少人值守、无人作业”。目前，我国矿山开采数字化智能化水平“区域不均、类型分化”：露天矿智能化装备应用率较高，地下矿转型进度滞后；大型国有矿山转型成效显著，中小型矿山面临技术储备不足、改造成本高问题，行业需突破技术协同等瓶颈。

### 1.2 矿山开采数字化智能化转型的必要性

矿山开采数字化智能化转型是应对行业痛点、适配新时代需求的必然之举。资源利用上，传统开采依赖人工经验，资源回收率低，数字化智能化可精准测绘与智能调度，提升回收率，缓解资源稀缺压力；安全管控方面，传统开采事故频发，多与人工监测不及时相关，数

字化智能化能实时测绘监测与风险预警，降低人员伤亡风险；生态保护角度，传统开采破坏大、修复滞后，数字化智能化可动态监测修复过程，契合绿色矿山建设要求；经济效率上，能减少人工成本，提升设备利用率，缓解经营压力<sup>[1]</sup>。另外，在全球矿业竞争背景下，数字化智能化是衡量竞争力的核心指标，转型滞后会使我国矿山在国际资源开发中处于劣势，故转型迫在眉睫。

## 2 测绘技术在矿山开采中的数字化智能化基础

### 2.1 矿山数字化测绘技术体系构建

矿山数字化测绘技术体系以“多源数据融合”为核心，通过集成地面三维激光扫描、无人机倾斜摄影、卫星遥感及井下移动测量等技术，形成覆盖空-天-地-井的立体化监测网络。地面三维激光扫描技术采用高精度激光脉冲，可实现毫米级精度的三维建模，尤其适用于露天矿边坡稳定性监测与变形分析，其点云数据可实时捕捉岩体裂隙扩展与滑坡前兆。无人机倾斜摄影通过多视角影像拼接，快速生成矿区三维实景模型，结合像素级分类算法，可精准计算土方量、剥离量及复垦面积，为开采计划优化提供数据支撑。卫星遥感技术（如INSAR）通过差分干涉测量，可长期监测地表沉降与位移，精度达毫米级，适用于闭坑矿山生态修复效果评估。井下移动测量系统（MMS）集成激光雷达与惯性导航单元，实现巷道掘进的实时定位与误差补偿，其动态建模功能可减少超挖欠挖，提升资源回收率。该体系通过数据融合算法，将多源异构数据统一至同一坐标系，为矿山智能化提供全要素、高精度的空间基准。

### 2.2 矿山测绘数据标准化与共享平台

数据标准化是矿山智能化转型的关键前提。当前，矿山测绘数据存在格式碎片化（如CAD、Shapefile、点云等）、语义歧义（如“矿体”定义不一致）及坐标系不统

一等问题，导致跨系统数据交互困难，制约了智能决策的时效性。行业需制定覆盖数据采集、处理、存储全流程的标准体系，例如采用GeoJSON格式统一空间数据结构，通过CityGML规范三维模型语义，明确矿体、断层、设备等对象的属性字段与编码规则。同时，构建基于云计算的测绘数据共享平台，采用分布式存储架构支持PB级数据管理，通过微服务架构实现多源数据实时接入与处理。平台集成三维可视化引擎，支持地质模型、设备状态、环境参数的动态叠加展示，并嵌入AI分析模块，实现数据自动质检与异常预警。例如，某大型矿业集团通过平台贯通地质、测量、生产数据流，将调度决策时间从小时级缩短至分钟级，显著提升了生产协同效率<sup>[2]</sup>。

### 2.3 矿山数字模型构建技术

数字模型是矿山智能化的“数字孪生”核心，通过融合地质勘探、测量监测及生产运营数据，构建覆盖全生命周期的动态模型体系。三维地质模型采用体素化建模技术，将矿体划分为百万级三维单元，结合实时监测数据动态更新品位分布与边界形态，为资源量估算提供高精度依据。开采设计模型基于BIM（建筑信息模型）技术，集成地质条件、设备参数与工艺流程，支持爆破参数优化、采场布局仿真及运输路径规划，其虚拟推演功能可减少现场试验次数，降低设计变更成本。设备运行模型通过物联网传感器实时采集振动、温度、功耗等数据，结合机器学习算法构建故障预测模型，实现设备健康状态评估与维护周期优化。例如，某金矿通过数字模型将爆破块度合格率从70%提升至95%，年节约炸药成本超800万元，同时模型驱动的智能调度系统使设备空载率下降20%，显著提升了生产效能。

## 3 测绘技术在矿山开采全流程的数字化智能化应用场景

### 3.1 矿山勘探阶段：精准化地质测绘

在矿山勘探阶段，测绘技术通过多维度数据采集与融合，实现地质测绘从“粗放圈定”到“精准定位”的转变。区域地质测绘环节，采用搭载激光雷达的无人机航测系统，可快速完成50-100km<sup>2</sup>范围1:2000比例尺地形测绘，相较传统全站仪效率提升15倍以上，同步获取的高分辨率影像（分辨率≤5cm）结合GIS空间分析，能精准识别断层、褶皱等地质构造，划分潜在矿化带；辅以InSAR遥感技术开展年度尺度监测，捕捉因地下矿体分布引发的微形变（形变率≤2mm/年），进一步缩小勘探靶区。矿体定位环节，GNSSRTK技术实现钻孔平面精度≤±3cm、高程精度≤±2cm的精准布设，确保钻孔严格契合设计勘探线；对钻孔岩芯采用三维激光扫描（精

度≤±0.1mm）构建数字模型，记录矿化带厚度、裂隙分布等细节，结合地质编录数据通过Surpac软件圈定矿体边界，误差控制在1m内。多源数据融合构建的三维地质模型，使矿体储量估算误差从传统15%降至5%以下，为后续开采设计提供可靠地质依据。

### 3.2 矿山设计阶段：数字化设计支撑

矿山设计阶段，测绘技术依托高精度数字模型，推动设计方案从“经验估算”到“量化优化”的升级。露天矿开采境界设计中，无人机航测构建的DTM模型（精度0.1m）与矿体三维模型结合，通过Lynx软件以“经济剥采比”为核心优化开采深度，模拟不同方案下的剥采量与经济效益，选择最优境界；GNSSRTK在实地标定界桩，确保开挖不超界，三维激光扫描则模拟台阶稳定性，对35°-45°边坡角进行风险评估，必要时放缓2°-3°提升安全性。地下矿巷道设计环节，基于光纤陀螺定向构建的三维巷道模型（精度±10cm），通过AutoCADCivil3D开展碰撞检测，避免巷道穿越断层或含水层；GIS空间分析优化巷道路径，使运输巷道与矿体走向平行，缩短运输距离12%以上，降低施工成本。生产系统布局设计中，数字孪生技术整合地形、工程、设备模型，模拟物料运输路径，确保运输能力比开采量高8%，避免物料积压，为矿山高效投产奠定基础<sup>[3]</sup>。

### 3.3 矿山生产阶段：智能化动态管控

生产阶段，测绘技术通过实时监测与精准调控，实现开采过程从“人工值守”到“智能管控”的跨越。露天矿生产中，地面三维激光扫描或无人机航测每周采集台阶数据，与设计模型对比，若台阶高度偏差超±10cm、坡面平整度偏差超±5cm，立即调整钻机钻孔位置与爆破药量；北斗+GNSS双模定位（精度≤±10cm）为无人矿卡提供实时位置，调度系统基于AI算法优化路线，设备利用率提升20%；InSAR与激光扫描融合监测边坡，变形速率超0.5mm/天时自动预警，避免滑坡事故。地下矿生产中，光纤传感技术（精度≤±1mm）每月监测巷道顶板下沉与两帮收敛，变形超设计限值（顶板下沉100mm、两帮收敛80mm）时触发支护预警；UWB定位（精度≤±30cm）构建“人员-设备-环境”协同系统，人员误入采空区或设备间距小于5m时自动报警。资源管理方面，每月通过开采测量更新矿体模型，动态计算储量，确保资源回收率稳定在95%以上。

### 3.4 矿山闭坑与生态修复阶段：数字化监测与评估

闭坑与生态修复阶段，测绘技术通过全周期监测，实现修复效果从“定性描述”到“定量评估”的转变。地形恢复监测中，无人机航测每季度对采空区、排土场开

展测绘,生成地形变化报告,对比设计平整标高与覆土厚度,三维激光扫描测量土方量误差 $\leq 3\%$ ,确保工程达标。植被修复评估环节,高分辨率无人机影像结合AI算法识别植被类型,计算覆盖率(要求 $\geq 80\%$ ),提取NDVI指数判断生长状况,NDVI $< 0.2$ 区域及时补种;土壤质量监测中,GNSSRTK(精度 $\leq \pm 5\text{cm}$ )定位采样点,检测pH值(要求6.5-7.5)与重金属含量,超标区域采用淋洗或客土置换处理。地质稳定性方面,InSAR开展5年以上长期监测,形变速率超2mm/年(如采空区沉降)时评估风险,采取充填措施,保障修复区域长期安全,推动矿山生态功能持续恢复。

#### 4 测绘技术在矿山应用中的关键技术突破

##### 4.1 深部矿山高精度定位技术

针对深部矿山定位难题,测绘技术突破传统局限,构建“多技术融合”的高精度定位体系。露天矿深部边坡(开采深度超1000m)定位中,采用“多基站GNSS网络+地面三维激光扫描”融合技术,5km覆盖半径的GNSS基站解决深部信号遮挡问题,结合激光扫描点云(密度100点/cm<sup>2</sup>),实现边坡变形监测精度达0.3mm/年,较单一GNSS技术精度提升60%。地下矿定位领域,研发光纤陀螺无导线定向技术,单次定向距离超1000m,精度达 $\pm 3''$ ,规避传统导线测量误差累积;同步建设地下局部北斗基站,实现井下定位精度 $\leq \pm 5\text{cm}$ ,较UWB技术精度提升80%,为地下智能钻机、电机车提供精准位置服务,突破深部矿山定位“信号弱、误差大”的瓶颈。

##### 4.2 测绘数据与采矿系统协同技术

测绘数据与采矿系统的协同技术,打破“数据孤岛”,实现从“独立采集”到“实时联动”的突破。数据传输环节,研发“边采集边传输”技术,无人机航测数据通过5G网络实时回传(速率 $\geq 100\text{Mbps}$ ),三维激光扫描现场预处理去噪效率提升50%,边缘计算节点10分钟内完成变形分析,避免数据延迟。系统协同方面,开发标准化API接口,实现测绘数据与无人矿卡调度系统、智能钻机控制系统的实时交互(延迟 $\leq 100\text{ms}$ ),如将开采边界数据推送至钻机,自动调整钻孔位置;构建“测绘-开采-

反馈”闭环,根据实际开采偏差(如超挖5cm)优化测绘数据精度与设备参数,使开采符合率从85%提升至98%,大幅提升生产效率<sup>[4]</sup>。

##### 4.3 测绘数据智能化分析技术

测绘数据智能化分析技术,推动数据处理从“人工干预”到“自动研判”的升级。异常检测领域,训练卷积神经网络模型识别GNSS定位跳变、激光扫描噪声点,异常识别准确率达98%以上,自动剔除无效数据;点云分类效率提升10倍,可快速区分岩石、植被、设备等目标。模拟预测环节,将实时测绘数据输入矿山数字孪生体,结合LSTM神经网络预测1年内边坡变形趋势与资源消耗情况,如预测边坡3个月后变形超阈值,提前调整支护方案;通过模拟不同开采顺序的经济效益,优化方案选择,使矿山综合收益提升12%,为矿山智能化决策提供核心技术支撑。

##### 结束语

测绘技术作为矿山开采数字化智能化转型的核心驱动力,通过多源数据融合、标准共享与数字建模,构建了覆盖全生命周期的智能监测体系。其在勘探、设计、生产及生态修复各阶段的应用,显著提升了资源利用效率、安全生产水平及生态修复质量。未来,随着深部定位、数据协同及智能分析技术的持续突破,测绘技术将进一步推动矿山行业向“少人化、无人化、绿色化”方向演进,为全球矿业竞争提供关键技术支撑,助力实现可持续发展目标。

##### 参考文献

- [1]葛传兴,李长江.矿山开采智能化设备的发展与应用研究[J].矿业科学与技术,2024,49(3):105-110.
- [2]曹建军,张德胜.矿山智能钻探设备的应用与发展趋势[J].矿山机械,2023,48(5):89-94.
- [3]何成群.矿山智能化技术在机械工程自动化中的应用研究[J].中国设备工程,2023,(19):36-38.
- [4]鲁伟.采矿工程中的智能化技术应用与发展趋势研究[J].中国矿业,2024,33(S1):199-202.