

智能时代下矿山测量数据的高效采集与动态分析

谢杰文 尤双双 吴晗 刘光宾

湖北省核工业地质局

DOI:10.12238/gmsm.v8i3.2202

[摘要] 当前智能化技术深度融入矿山测量领域,人工智能与物联网结合明显加快了数据获取速度,采集到的信息种类越来越多样化,测量精度也在持续优化。传统人工操作配合单一设备的作业模式逐渐退出,现在通过整合多源异构信息、搭建自动化平台、运用智能算法驱动,形成了更高效的采集体系。文中分析智能时代下矿山测量的新特点,给出矿山测量数据的高效采集与动态分析的策略。

[关键词] 智能时代; 矿山地质; 测量数据; 高效采集

中图分类号: TD1 **文献标识码:** A

Efficient Collection and Dynamic Analysis of Mine Survey Data in the Intelligent Era

Jiewen Xie Shuangshuang You Han Wu Guangbin Liu

Hubei Nuclear Industry Geological Bureau

[Abstract] Currently, intelligent technologies are deeply integrated into the field of mine survey. The combination of artificial intelligence and the Internet of Things has significantly accelerated the speed of data acquisition. The types of collected information are becoming increasingly diverse, and the measurement accuracy is continuously optimized. The traditional operation mode of manual operation combined with a single device is gradually phased out. Now, by integrating multi-source heterogeneous information, building an automated platform, and using intelligent algorithm-driven approaches, a more efficient collection system has been formed. This paper analyzes the new characteristics of mine survey in the intelligent era and proposes strategies for the efficient collection and dynamic analysis of mine survey data.

[Key words] Intelligent Era; Mine Geology; Survey Data; Efficient Collection

当前技术变革浪潮正重塑传统行业格局,矿山测量这个资源开发与环境保护的核心环节也在经历深刻转型。过去主要靠人工经验和简单仪器来操作的传统方式,现在越来越跟不上节奏,毕竟现在矿山对效率、安全和精准管理的要求越来越高。特别是在地质数据应用层面,从最初的矿山勘探,到日常开采作业,再到最后的闭坑整治,每个环节都面临数据质量与时效性的双重考验。以人工智能、大数据为代表的新技术,正在改变数据采集与分析的传统模式。比如新型智能设备的应用,不仅让数据获取效率成倍提升,还能捕捉到更多维度的信息,就连空间分辨率这类专业指标也获得突破性改善。这种技术革新带来的不仅是效率提升,更重要的是为绿色开采、可持续发展这些战略目标提供了新的实现路径。

1 智能时代下矿山测量的新特点

在智能化技术深度渗透的背景下,矿山测量领域正经历着技术路径与管理模式的双重变革,其运作范式已突破传统测量框架形成全新格局。核心转变首先体现在数字化转型层面,各类传感装置、遥感卫星群、无人机编队与移动终端的协同部署,

使得信息获取过程摆脱纸质记录本与分散作业方式束缚,测量数据实现即时数字化处理并集中存储至标准化数据库,这种转变不仅显著提升作业效率,更通过规范化流程设计消除人为操作偏差,确保全周期数据可溯源性与完整性保障^[1]。

技术迭代浪潮中,自主化作业系统正重塑行业生态。无人机载激光扫描系统、自动化钻探取样装置与智能巡检机器人构成全天候作业网络,在降低人力成本的同时有效提升高危作业场景安全阈值。典型如矿井巷道或边坡监测场景中,集成化监测系统可对岩体应力变化实施毫秒级响应,借助动态预警机制实现灾害风险前置预判,此类实时感知体系为后续数据解析奠定坚实基础;卫星遥感影像与地面激光点云数据的空间配准技术,结合地下物探数据反演算法,成功构建矿区全尺度三维地质模型,极大深化地质构造认知维度。设备间依托标准化通信协议实现横向整合,彻底终结传统作业中信息壁垒困局。随着物联网节点密度持续提升,分布式监控终端可实现状态参数同步采集与异常事件实时上报,配合云端存储与弹性计算资源,为海量数据并行处理提供可靠支撑平台。

2 智能时代下矿山测量数据的高效采集策略

2.1 智能感知装备与自动化平台大规模部署

随着传感器制造技术不断提升,越来越多适用于矿区环境的小型化、高灵敏度设备被投入使用。这些多功能传感装置可以全天候持续监测地表形变、水位波动以及有害气体浓度变化等关键指标。比如在露天矿场和井下巷道中部署具备无线传输功能的三维激光扫描系统,这类设备能够实时捕捉边坡位移或巷道结构细微变化。通过远程控制界面,技术人员可随时查看数据,系统自带的智能分析模块还能自动识别异常波动,有效降低现场作业强度^[2]。

配备高清摄像与激光雷达的无人机系统显著扩展了监测范围,短时间内就能完成大范围区域的三维建模。这类设备可根据实际需求灵活调整飞行高度,智能避障功能的持续优化使其在复杂地貌环境中也能保持稳定运行。地下探测机器人开始应用于危险区域勘探,能够进入人员难以到达的作业面实施精准采样;自动化钻探设备依据预设程序开展深层取样,可对岩芯构造与矿物成分进行连续检测分析。这类机械化作业在操作效率与稳定性方面明显优于传统人工方式。针对塌陷区域快速勘测或老旧矿井安全评估等特定场景,采用多类型感知终端协同作业模式,通过设备间的数据互补提升监测精度,为后续开展动态分析创造有利条件。

2.2 多源异构数据融合采集体系建设

矿山测量数据类型复杂的特点,建立包含卫星影像、三维点云、物探数据及现场音视频的多源同步收集体系。采用卫星遥感配合航空摄影技术,既能获取大范围空间布局特征,又能识别肉眼难以观察的地质构造细节;通过无人机低空摄影补充立体视角,将平面地图转化为三维实景模型,便于识别微小地形变化。同步部署地震波监测、电磁探测与地下水动力传感网络,形成地下介质变化的立体监控网。各类设备采用统一数据传输标准,实现原始数据自动归集与实时校验,有效避免不同接口间数据丢失问题。具体应用时需针对性组合设备:山体滑坡高风险区域侧重高频定位、气压传感与图像识别协同监测;深层金属矿勘探优先采用声波反射与电阻率剖面交叉验证^[3]。

2.3 自适应智能调度与分布式协同作业模式

依托物联网系统全覆盖基础,当前各采集终端已形成互联互通网络架构,并配置本地数据处理模块。在此技术框架内,通过动态调配算法将系统资源向地质活动活跃区倾斜。具体运行中若监测到局部区域出现异常形变信号,系统将优先调度邻近无人机执行低空航测任务,同步激活半径500米内巡检机器人实施定点勘测,形成多维度数据采集方案。该机制可显著降低资源冗余,减少固定频次巡查带来的无效工作量,提升井下作业区域监测效率。在设备协同层面,建立共享控制平台实现多终端联动,各节点实时上传运行参数,当检测到设备电池余量低于15%或信号强度减弱至阈值时,自动切换至备用设备组继续作业。以金属矿井长距离探测为例,首台探测装置执行主巷道快速扫描时,辅助型机器人同步对岩体裂隙进行微距成像,双端数据经融合处

理后即时生成三维地质模型,当模型显示顶板位移量超警戒值时,系统将在90秒内启动全网预警并推送处置预案至调度中心。

2.4 云—边—端一体化实时处理平台支撑

面对矿山测量过程中持续产生的大量原始数据,若继续沿用传统人工整理归档方式,可能导致信息处理滞后与数据丢失风险。采用云—边—端协同架构成为有效解决方案:首先由终端设备完成初步筛选和压缩,随后边缘服务器进行初级分析并提取关键特征,最后上传至云端进行深度建模和集中存储。整个处理流程无需人工介入,系统自动完成数据流转并保留完整溯源记录,每条数据配置唯一识别编码便于后续追溯核查^[4]。

这种智能化处理机制有效释放人力资源,使技术人员能够专注于核心业务创新,避免精力过度消耗在重复性基础工作上。结合5G/6G高速通信技术,在偏远矿区或井下作业环境中仍可实现毫秒级远程控制响应。现场工程师通过移动终端即可实时监控设备运行状态,参数调整指令可实现即时生效。采用多重冗余存储阵列确保原始数据长期安全保存,即使在突发断电情况下仍能保障数据完整性;通过与监管部门数据库实现双向对接,构建政企数据互通机制,在满足合规要求基础上,可整合外部权威数据资源进行深度分析,为后续政策制定与风险防控提供可靠支撑。

2.5 安全防护机制完善及隐私保护

效率提升必须与安全防护同步推进,所有数据采集活动需构建设备防护—数据加密—责任追溯三位一体安全框架。在物理安全层面,作业区域需配置多参数环境监测系统,重点针对可燃气体浓度、氧气含量等关键指标实施实时预警,定期对硬件设备和软件系统进行升级维护,确保监测精度与响应速度。移动勘测设备需集成双模定位系统与生物特征识别技术,当设备遭遇异常位移或未授权操作时,系统将自动触发地理围栏锁定机制并回传实时坐标。

数据安全采取动态权限控制策略,依据数据敏感程度划分四级访问权限,所有传输过程采用混合加密算法,核心数据库实施物理隔离存储。审计系统除记录常规操作日志外,重点标记非常规时段访问、批量下载等风险行为,异常操作将触发分级响应机制。配套建立双向追溯制度,既可通过操作日志反查责任人,也能根据事故节点追溯系统漏洞,通过制度性约束确保行业健康有序发展。

3 智能时代下矿山测量数据的动态分析

3.1 构建面向多源异构数据的融合分析框架

在卫星遥感、无人机激光扫描、高精度三维成像与地下物探设备协同应用背景下,矿山数据获取维度已显著扩展。不同观测设备生成的数据在空间尺度、采集精度及信息类型层面存在天然差异,需建立能够兼容卫星影像、地表点云、物探波形及历史文本记录等非结构化资料的综合处理体系。具体实施路径包含四步技术流程:首先进行智能标签归类与自动预处理操作,随后通过高性能计算平台实现空间校准、时间配准和语义整合,继而采用时域重建与空间插值技术对离散观测点实施连续性建

模,最终依托机器学习算法完成趋势识别与异常检测。针对数据分辨率差异与采集频次不匹配问题,建议引入动态缓冲机制,在云端部署弹性计算资源池,实现历史数据与实时观测信息的同步加载与按需调用,使系统响应效率得到实质性提升。

3.2 实现时空多维度动态监控与智能预警

针对传统监测体系存在的巡检周期固定、异常响应滞后等问题,基于分布式传感网络构建实时感知系统。在巷道顶板、采空区边界等关键位置部署压力传感器组,对岩层形变位移进行毫米级连续监测;沿矿脉走向布设温湿度复合探头,同步追踪围岩环境参数波动^[5]。

云平台接收到实时数据后,立即调用时空关联分析模型进行处理:将构造活动带的三维位移矢量场与邻近区域渗流场变化建立动态耦合方程,融合开采进度时序数据库进行联合反演。当监测数值超过预设的复合型阈值(位移速率 $>5\text{mm/h}$ 且渗流量突增 $>30\%$)时,系统自动触发分级预警机制——现场声光报警装置立即启动,同时向移动终端推送带有定位编码的压缩数据包。对于疑似冒落区或突水点,立即激活应急处置程序:自动规划巡检机器人最优路径,通过多光谱成像设备进行亚米级精度复核;同步唤醒待命无人机群,利用激光雷达对危险区域实施厘米级变形监测。

3.3 应用人工智能算法实现深层次知识挖掘

在数据规模持续膨胀的现状下,传统人工经验与规则系统已显露出局限性,引入深度学习等智能算法成为必然发展方向。具体而言,可利用CNN模型对遥感影像中的地质构造线进行自主辨识,采用RNN模型建立岩体应力时变规律的动态捕捉机制,同时依托聚类算法对海量钻孔样本实施岩性特征分组。这些技术手段有效突破了人类对地下空间演变特征的认知边界。值得强调的是,在勘查工程优化领域,基于强化学习框架构建的智能布点系统,能够依托历史勘查数据持续迭代路径规划策略,实现勘查效率与信息获取量的双提升。针对地下水渗流与边坡稳定耦合作用等复杂工况,建议构建多模态融合网络架构,同步处理图像数据、监测数值与地质报告文本,从而构建多维度的地质演变

预测模型。系统设计时应建立数据闭环机制,通过实时接入最新监测数据驱动模型持续优化,使智能决策系统具备知识库自主更新与推理能力渐进式增强的重要特性。

4 结语

总之,矿山测量领域正经历着从传统作业模式向智能监测体系的渐进式转变,当前技术突破主要体现为三大核心环节:基于智能感知设备与无人机集群的立体化数据采集体系,依托大数据清洗技术的多维度质量保障机制,以及融合深度学习算法的动态风险预警模型。具体而言,通过部署矿用本安型传感器阵列与高精度定位终端,实现了岩层位移、瓦斯浓度等关键参数的实时获取;运用数据清洗规则引擎与区块链存证技术,使采集数据的完整性校验效率提升;建立三维地质模型与灾害演化图谱,将突水、瓦斯突出等灾害的预警响应时间缩短。重点推进三方面工作:构建矿山全要素数字孪生平台,完善多源异构数据的标准化接入协议;开发轻量化边缘计算节点,强化井下复杂环境的自适应分析能力;建立监测-预警-处置全链条响应机制,形成覆盖开采全周期的动态防控体系。

【参考文献】

- [1]王文州.矿山地质测量中数字化测绘运用及技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2025,(04):175-177.
- [2]张侯,奥帅,李晨,等.基于三维激光扫描的矿山地质灾害测绘系统[J].国外电子测量技术,2025,44(01):41-47.
- [3]章桃,李国强,周娟娟,等.矿山地质测量中数字化制图技术的运用探索[J].世界有色金属,2023,(13):25-27.
- [4]赵龙.信息技术在矿山地质测量中的应用研究[J].世界有色金属,2019,(05):30+32.
- [5]裴林.浅谈GPS测绘技术及其在矿山地质测绘中的应用[J].世界有色金属,2019,(04):37+39.

作者简介:

谢杰文(1987--),男,汉族,湖北仙桃人,工程师,湖北省核工业地质局,主要研究矿山测量方向。