

地质勘察成果在开采中的动态应用

任泽琛

陕西五洲矿业股份有限公司 陕西 商洛 726403

摘要：地质勘察成果是矿山开采设计的基础依据，但传统模式下勘察成果与开采过程存在“一次性交付、静态使用”的问题，难以适应开采过程中地质条件的动态变化。本文分析了开采活动引发地质条件变化的主要因素与监测方法，构建了包含实时更新地质模型、动态优化开采方案、安全预警与风险管理的动态应用模式。通过建立勘察-开采数据闭环、部署智能化监测系统、构建三维动态地质模型，可显著提升资源回收率、降低开采风险与成本。本文还分析了动态应用面临的技术与管理挑战，提出了相应保障措施，为矿山智能化建设提供参考。

关键词：地质勘察成果；开采过程；动态应用

引言：地质勘察成果是矿产资源开发的核心技术资料，其准确性和时效性直接影响矿山开采效率与安全水平。传统勘察-开采模式中，地质勘察成果主要在开采前一次性提交使用，勘察与开采之间存在明显的“数据断层”。然而，开采活动本身会持续改变地质条件，导致原有勘察成果与实际工况逐渐偏离，若不能及时更新应用，将造成资源损失、安全事故甚至生产中断。随着智能化矿山建设的推进，地质勘察成果的动态应用成为亟待解决的关键问题。本文聚焦地质勘察成果在开采过程中的动态应用，探讨其模式、效益与保障措施，为矿山企业实现精细化、智能化开采提供理论指导。

1 地质勘察成果概述

1.1 地质勘察的内容与方法

地质勘察是矿产资源开发的前期基础工作，其主要内容包括区域地质调查、矿床地质研究、矿体形态与产状控制、矿石质量评价、水文地质与工程地质条件调查以及开采技术条件分析等。勘察方法体系由地质填图、钻探工程、坑探工程、地球物理勘探和地球化学勘探等组成。地质填图查明地表岩性分布与构造特征；钻探工程获取深部岩心样品，控制矿体空间形态；坑探工程验证钻探成果并提供开采技术参数；物探方法如电法、磁法、地震法等探测隐伏构造与矿化异常；化探方法通过土壤、岩石或水系沉积物分析圈定成矿远景区。各类方法的综合运用，形成了从宏观到微观、从地表到深部的多层次勘察体系，为矿山开采提供了基础地质资料。

1.2 地质勘察成果的表现形式

地质勘察成果的表现形式多样，主要包括图件成果、数据成果、文字报告成果和三维模型成果四大类。图件成果是最直观的表现形式，包括地质平面图、剖面图、钻孔柱状图、等值线图，反映矿体形态、品位分布及构造特

征。数据成果包括钻孔测井数据、样品化验数据、水文观测数据等，是定量分析的基础。文字报告成果系统总结了勘察工作过程、地质认识结论及资源储量估算结果，是矿山设计的权威依据^[1]。随着计算机技术的发展，三维地质模型已成为现代勘察成果的重要表现形式，通过将钻孔数据、剖面解释结果进行三维可视化，可直观展示矿体空间形态、品位分布规律及构造发育特征。这些成果共同构成了矿山开采的地质信息基础。

2 开采过程中地质条件的变化特征

2.1 开采引发地质条件变化的因素

矿山开采活动在获取资源的同时，会持续改变原有地质条件，而引发这些变化的因素是多方面的。采动应力重分布是重要因素之一。当矿石被采出后，原本稳定的原岩应力场被打破，围岩应力开始重新分布。在巷道周边和采场附近，会形成应力集中区，这些区域应力远超正常水平，极易引发岩爆、片帮等动力灾害。岩体结构劣化也不容忽视，爆破震动产生的强大冲击力以及机械开采的持续扰动，会使岩体的完整性遭到破坏，原本闭合的节理裂隙不断扩展，岩体的力学参数逐渐劣化，其抵抗外力的能力大幅下降，同时渗透性显著增强，为地下水的流动提供了更多通道。地下水系统也会因开采而受到扰动，采掘工程一旦揭露含水层或导水构造，就可能引发矿井突水，给开采安全带来巨大威胁；而疏干排水会导致地下水位大幅下降，形成降落漏斗，进而改变区域水文地质条件。另外，采空区的形成与塌陷也是常见问题，采空区上覆岩层会发生变形、断裂，严重时甚至会导致地表塌陷，不仅破坏地表形态，还可能诱发地裂缝、滑坡等次生灾害。这些变化的复杂性和不确定性，决定了地质勘察成果必须动态更新。

2.2 地质条件变化的监测方法与技术

为了及时、准确地掌握开采过程中地质条件的变化情况,需要构建一套系统的监测网络,并采用先进的监测技术。应力监测是关键环节,通过在关键位置安装钻孔应力计、锚杆应力计等设备,能够实时监测围岩应力的变化规律。这些设备能够灵敏地感知应力变化,一旦应力出现异常变化,就能及时发出预警,为防范岩爆风险提供有力支持。位移监测同样重要,采用多点位移计、激光测距仪及三维激光扫描技术,可以精确监测巷道顶底板及两帮的收敛变形情况。微震监测则利用高灵敏度微震传感器阵列,捕捉岩体破裂产生的微震信号,通过分析这些信号,能够定位破裂源位置,反演岩体损伤演化过程,为判断岩体稳定性提供科学依据^[2]。水文监测方面,在关键层位安装水位计、水质分析仪,可实时监测水位动态、水温、电导率等参数,通过这些参数的变化识别突水前兆。地表沉降监测采用InSAR卫星遥感、无人机航测及GPS监测站等多种手段,能够全面获取地表沉降速率与范围。各类监测数据通过工业环网实时上传至数据中心,形成动态监测数据库,为技术人员分析地质条件变化、制定应对措施提供了丰富的数据支持。

3 地质勘察成果在开采中的动态应用模式

3.1 实时更新地质模型

实时更新地质模型堪称地质勘察成果在开采中动态应用的核心环节。传统静态地质模型在开采启动后便停滞不前,不再随实际工况变化而更新。随着开采不断推进,模型与实际地质状况的偏差会持续累积,严重影响开采决策的准确性。实时更新模式的关键在于构建勘察-开采数据闭环系统。在采掘过程中,将新揭露的地质信息,如巷道素描所呈现的岩层纹理、走向,工作面煤岩层厚度、产状的变化,以及钻孔验证资料等,还有各类监测数据,像应力、位移、水文数据等,实时传输并输入数据库。基于这些增量数据,运用克里金插值、序贯高斯模拟或机器学习算法,对原有模型进行局部修正与全局优化。更新内容广泛,包括矿体边界的精准修正、品位模型的及时刷新、构造发育程度的合理调整、岩体力学参数的科学更新等。实时地质模型以三维可视化形式呈现,技术人员能直观洞察地质条件的变化趋势,为开采决策提供最新、最准确的依据。模型更新频率依据开采速度和地质复杂程度灵活设定,可从每日到每周不等。

3.2 开采方案动态优化

基于实时更新的地质模型,开采方案能够实现动态优化,从而显著提升资源利用效率。在采掘布局优化方面,依据矿体边界的最新认识,对采区划分和工作面布置进行合理调整。避免将巷道布置在劣化岩体或断层带

中,减少无效进尺,降低开采成本。采矿方法调整上,当模型显示矿体厚度或倾角发生变化时,及时对采矿方法参数进行优化。比如改变进路尺寸,使其更符合当前矿体条件;调整爆破参数,提高爆破效果;优化充填配比,保证充填质量。配矿方案优化中,根据品位模型的实时更新,动态调配采场出矿计划。将高品位矿石与低品位矿石合理搭配,保证入选品位稳定,提高资源综合利用率。生产计划滚动调整方面,每月或每季度基于最新地质模型编制滚动生产计划,使计划始终紧密结合当前最佳地质认识,提高计划的科学性和可行性。动态优化需要地质、采矿、测量等多专业紧密协同,借助数字化平台实现信息共享与联合决策。

3.3 安全预警与风险管理

地质勘察成果的动态应用在安全管理方面具有重要的实用价值,基于实时更新的地质模型与监测数据,可建立多级安全预警体系。在地质灾害预警方面,将地质构造信息,如断层、破碎带的位置和特征,与采动应力监测、微震监测数据进行叠加分析。当监测指标超过预设阈值时,系统自动报警,相关人员能够提前采取加固或避让措施,有效防范地质灾害的发生。突水风险预警中,把水文监测数据与地质模型中的含水层分布、导水构造位置进行关联分析,建立突水风险指数模型。通过对多种数据的综合分析,实现突水前兆的早期识别,为应对突水事故争取宝贵时间。顶板冒落预警方面,依据岩体力学参数的动态更新和顶板离层监测数据,运用科学方法预测顶板冒落的时空范围,指导支护参数的合理调整,保障作业人员安全^[3]。风险动态评估上,定期开展基于最新地质信息的风险评估,更新风险等级分布图,为应急预案编制和安全投入决策提供可靠依据。预警信息通过井下广播、手机终端、调度大屏等多渠道发布,确保相关人员能够及时响应,保障开采安全。

4 动态应用的效益分析与保障措施

4.1 主要效益

地质勘察成果动态应用可产生显著的经济效益与安全效益。资源回收率提升:通过动态优化采掘布局和配矿方案,减少资源损失,可使矿石回收率提高3%至8%。以年产500万吨的矿山为例,每年可多回收矿石15至40万吨。开采成本降低:实时更新的地质模型可指导巷道优化布置,减少无效进尺15%至20%;精准的爆破参数设计降低炸药单耗;优化支护方案减少支护材料用量。安全效益:地质灾害预警系统可将冒顶、突水等事故发生率降低40%至60%,减少人员伤亡与设备损失。管理效率提升:数字化动态应用模式减少了地质、采矿之间的信息

传递时延,决策周期从周级缩短至天级甚至小时级,提高了矿山的快速响应能力。综合测算,动态应用的投资回报周期通常为1至2年。

4.2 实施保障

地质勘察成果动态应用的成功实施需要多方面的保障措施。组织保障:建立由地质、采矿、测量、安全等专业人员组成的动态应用团队,明确各岗位职责与协作流程;设立技术主管负责模型更新与方案优化的审核把关。制度保障:制定地质模型更新管理办法、开采方案动态调整审批流程、安全预警响应预案等规章制度,使动态应用有章可循。技术保障:部署三维地质建模软件、矿山生产计划软件和监测数据分析平台,实现数据的自动采集、传输与处理;建立标准化的数据接口,打通勘察-开采-监测各环节的信息孤岛。人才保障:定期开展地质统计学、三维建模、数据分析等方面的专业培训,培养既懂地质又熟悉采矿的复合型技术人才。资金保障:将动态应用系统建设纳入矿山智能化改造预算,确保硬件采购、软件开发及运维费用足额投入。

5 地质勘察成果动态应用面临的挑战与对策

5.1 面临的挑战

地质勘察成果动态应用在实践中仍面临多重挑战。数据融合困难:勘察数据、采掘揭露数据、监测数据来源多样、格式不一、精度各异,缺乏统一的数据标准和接口规范,数据融合与互操作难度大。模型更新滞后:高精度三维地质模型的更新计算量大,尤其是在复杂地质条件下,局部更新算法的稳定性和效率难以满足实时性要求。专业协同不足:地质、采矿、测量等专业长期条块分割,信息共享机制不健全,跨专业协作效率低,影响动态优化的及时性^[4]。技术人才短缺:同时掌握地质理论与采矿实践、熟悉数字化工具的复合型人才稀缺,制约了动态应用模式的推广。投资成本较高:动态应用需要部署多种监测设备、采购专业软件、建设数据中心,中小型矿山面临资金压力。这些挑战需要在实践中逐步破解。

5.2 应对策略

针对上述挑战,可采取以下应对策略。数据标准化:制定企业内部地质数据采集与存储标准,推广使用通用数据交换格式(如XML、JSON),建立统一的数据中台,实现多源数据融合。技术攻关:研发高效的地质模型增量更新算法,利用并行计算和GPU加速技术缩短模型更新周期;探索机器学习方法自动识别地质边界,减少人工干预。组织变革:推行地质-采矿一体化管理模式,组建跨专业项目团队,定期召开技术协调会,建立基于统一数字化平台的信息共享机制。人才培养:与高校合作开设矿山数字化相关课程,选派技术骨干参加专业培训,引进具有地矿软件应用经验的人才。分步实施:对于中小型矿山,可先选择重点采区开展动态应用试点,逐步推广;采用云服务模式降低软件和硬件投入成本。通过上述策略的综合运用,可有效破解动态应用推广中的障碍。

结束语

地质勘察成果在开采中的动态应用是矿山智能化建设的核心内容之一,也是实现精细化开采、提升资源利用率和保障开采安全的关键途径。本文系统分析了开采过程中地质条件的变化特征,构建了包含实时更新地质模型、动态优化开采方案、安全预警与风险管理的动态应用模式,阐述了动态应用的效益及实施保障措施,并探讨了面临的挑战与应对策略。未来,随着物联网、人工智能及数字孪生技术的发展,地质勘察成果的动态应用将更加实时、智能、精准。

参考文献

- [1]王坤宇,王默.地质勘察在煤矿开采中的重要性[J].内蒙古煤炭经济,2023(9):154-156.
- [2]屈海军,陈聪明,傅冬彬.极端地质条件下煤矿开采风险应对研究[J].中国公共安全,2026(2):46-48.
- [3]封伟庆,刘小明.矿山地质勘察与岩土勘察工程研究[J].中国金属通报,2025(14):183-185.
- [4]房鸿鹏.金属矿山矿体围岩工程地质勘察在生产中的作用分析[J].中国金属通报,2025(18):213-215.