

地下矿山采矿方法与安全技术的研究与应用

骆小毅

崇义县章源钨业股份有限公司 江西 赣州 341300

摘要: 地下矿山采矿方法的选择与安全技术应用直接影响矿山开采效益与安全生产水平。本文系统分析空场法、崩落法、充填法等主要采矿方法的适用条件与技术特点,探讨在不同地质与开采环境下的优势与局限。围绕地压控制、通风防尘、火灾防治、水害治理等关键安全环节,构建多层次技术防护体系。通过采矿工艺与安全措施的协同优化,提出基于风险评估的采矿方法动态调整机制与智能化管控策略,为提升矿山本质安全水平与资源回收率提供理论依据与实践路径。

关键词: 地下矿山; 采矿方法; 地压管理; 通风防尘; 协同优化

引言: 地下矿山开采是矿业生产重要环节,其采矿方法选择与安全技术应用直接影响生产效率与人员安全。不同地质条件与开采需求下,空场、崩落、充填等采矿方法展现出独特优势与局限。地压、通风防尘、火灾防治等安全技术是保障矿山稳定生产的关键。深入探讨采矿方法分类、选择依据及安全技术体系,并研究二者协同优化策略,对提升地下矿山开采水平意义重大。

1 地下矿山采矿方法分类与特点

1.1 空场采矿法

空场采矿法基于矿块空间分割与分步回采原理展开作业。该方法将矿体划分为矿房与矿柱两个功能单元,首先回采矿房区域,利用周边围岩与保留的矿柱共同构建支撑体系,维持采空区顶板的稳定性。待矿房回采结束后,再对矿柱进行有序回收。该技术体系适用于矿体赋存条件优越的矿床,具体表现为矿体本身强度较高且围岩具备良好自承能力。在工艺实施层面,空场采矿法展现出显著的工程优势,其回采作业流程简洁高效,设备配置标准化程度高,特别适合大规模机械化作业^[1]。但需特别关注的是,随着开采活动的持续推进,采空区空间规模不断扩大,围岩应力场发生动态演变,若地压管理措施不到位,可能引发局部岩体失稳。因此建立系统的地压监测网络,制定科学的矿柱回采顺序,成为保障作业安全的关键环节。

1.2 崩落采矿法

崩落采矿法的核心在于通过可控的围岩崩落实现地压管理。该方法在回采过程中,有计划地诱导上部围岩崩落,使崩落岩体充填采空区,形成自然缓冲层以吸收地压能量。该技术特别适用于围岩稳固性较差或需严格控制地表沉陷的矿床条件。从工程特性分析,崩落采矿法具有显著的产能优势,其连续回采作业模式可实现较

高的生产效率,由于减少了矿柱留设量,资源利用率得到提升。但需注意的是,大规模围岩崩落可能引发地表变形,对周边建筑物造成影响,因此需建立完善的地表移动监测系统,优化崩落参数设计。

1.3 充填采矿法

充填采矿法通过人工构建支撑体系维护采空区稳定。该方法利用废石、尾砂等固体物料,经配比加工形成充填体,及时填充采空区以控制围岩变形。该技术体系特别适用于高价值矿体开采、深部开采工程以及地表变形控制要求严格的开采场景。从技术经济指标分析,充填采矿法可显著降低矿石贫化率,提高资源回收率,通过充填体对围岩的支护作用,有效抑制岩爆等动力灾害的发生。但该工艺涉及充填材料制备、输送等多个复杂环节,对设备系统可靠性要求较高,导致初期投资与运营成本相对较大。

2 地下矿山采矿方法选择依据

2.1 地质条件

矿体赋存特征是采矿方法选择的基础性要素。矿体形态的规则程度直接影响开采空间布置的难易,规模较大的层状矿体适合采用长壁式或阶段式开采,而形态复杂的透镜状矿体则需采用更为灵活的房柱法或进路式开采。矿体产状参数中,倾角大小决定着采场布置方向与落矿方式,急倾斜矿体可采用垂直走向布置的采准系统,缓倾斜矿体则需沿走向布置以减少矿石损失。围岩稳固性评估需综合岩石单轴抗压强度、节理裂隙发育程度及岩体完整性指数等参数,当围岩RQD值大于75%时,可考虑空场法开采,若RQD值低于50%则需采用充填或崩落法控制地压^[2]。地质构造的复杂程度对开采安全影响显著,断层破碎带、褶皱轴部等应力集中区域需预留足够的安全矿柱,一般安全矿柱的宽度需根据实际情况确定,在断层破

碎带附近预留的安全矿柱宽度可达10-20米，节理密集发育地段需优化爆破参数以减少爆破振动对围岩的扰动。

2.2 开采技术条件

矿井深度增加导致地应力呈非线性增长，当开采深度超过800米时，岩爆风险显著上升，此时需优先选择能够及时释放地压的崩落法或充填法。开采强度与生产规模的匹配性决定设备选型方向，大规模开采需配置高效连续采矿设备，而中小规模矿山则更适合模块化组合设备。现有技术体系对采矿方法的制约体现在多个维度，凿岩设备性能决定孔网参数设计，出矿设备能力影响采场结构参数，支护技术发展水平制约采空区处理方式选择。技术升级路径需考虑设备更新周期与投资回报率，当现有设备剩余使用寿命较长时，应优先选择与之兼容的采矿方法。

2.3 经济因素

成本效益分析需建立全生命周期评价模型，初期投资涵盖采准切割、设备购置及安全设施建设费用，运营成本包括材料消耗、能源动力及人工支出。不同采矿方法的成本构成存在显著差异，空场法单位成本较低但资源回收率有限，充填法虽成本较高却能够实现90%以上的回采率。资源综合利用要求推动采矿方法向精细化方向发展，高品位矿体适合采用分段崩落法提高出矿品位，低品位矿体则需通过充填采矿法减少贫化损失。环境保护标准提升促使矿山企业优化开采方案，采用充填法可减少尾矿排放量，崩落法需配套建设地表变形监测系统，空场法必须实施严格的地压管理措施以防止采空区塌陷。经济可行性评估需综合考量市场价格波动、政策导向及技术进步等因素，建立动态调整机制确保采矿方法选择的持续优化。

3 地下矿山安全技术体系

3.1 地压管理技术

地压动态监测网络的构建是预防岩体失稳的重要举措。多点位移计借助多点位移传感器，能实时捕捉围岩变形特征；数值模拟软件则基于三维地质模型，模拟应力场演变规律。二者结合，可提前预警地压灾害，为后续措施争取时间。支护体系的选择需与岩体强度特征相适配。木支护成本低、安装便捷，适用于浅部松软围岩的临时支撑；金属支架具备可缩性设计，能灵活适应中等强度岩体的变形；锚杆支护通过锚固剂与围岩形成承载拱结构，增强围岩稳定性；注浆加固利用高压注入水泥基材料填充岩体裂隙，提升整体强度。充填采矿法通过胶结充填体与围岩协同作用，有效转移采空区应力集中，减少应力集中对岩体的破坏，从而降低岩爆等灾害

发生的风险，保障矿山开采安全。

3.2 通风与防尘技术

通风系统布局需兼顾风流稳定性与污染源控制，对角式通风适用于走向长度大的矿井，中央式通风适合深度较浅的矿体，混合式通风通过多级机站实现复杂巷道网络的风量精准调控^[3]。防尘措施实施呈现多层次特征，湿式凿岩通过高压水雾抑制粉尘产生，喷雾降尘装置在转载点形成水幕屏障，个体防护装备中的防尘口罩需满足KN95级过滤标准。某矿山实践表明，综合防尘措施可使作业面粉尘浓度从80mg/m³降至5mg/m³以下，达到国家卫生标准要求。

3.3 火灾防治技术

火灾监测网络构建依赖多参数传感器阵列，气体检测装置实时监测CO浓度变化，温度传感器捕捉异常升温区域，红外热成像技术定位隐蔽火源。为确保监测数据的及时有效，各传感器需通过矿山综合监控平台实现数据融合与联动分析，从而提升早期预警的精准度与可靠性。灭火技术选择遵循“早发现、快处置”原则，直接灭火采用惰性气体喷射或化学灭火剂覆盖，隔绝灭火通过密闭墙切断氧气供应，综合灭火结合注氮降温与凝胶堵漏技术。某金属矿火灾事故处置中，综合灭火方案使火区温度在72小时内从600℃降至常温，有效控制火势蔓延。

3.4 水害防治技术

水文地质勘探采用物探与钻探结合方式，瞬变电磁法探测含水层分布，超前探水钻孔验证前方水文条件，探放水设计遵循“预测预报、有疑必探”原则。在采掘工作面接近含水构造或积水区时，必须严格执行探放水作业规程，确保钻孔密度、深度和方向符合设计要求，探放水过程中要密切监测水量、水压变化。防水闸门设置于主要巷道交汇处，抗水压能力需达到设计水头的1.5倍，排水系统配置多级泵站实现接力排水，应急水仓容积按2-4小时正常涌水量设计。排水系统应建立定期检修制度，对水泵、管路、阀门等设备进行维护保养，确保排水能力满足要求。在雨季或特殊水文时期，需加强对矿井涌水量的监测频率，提前做好排水系统的运行调度。某深部矿山通过构建“探测-拦截-排放”三级防控体系，成功应对突水涌水量达500m³/h的险情。

3.5 爆破安全技术

爆破作业规程制定需考虑岩体特性与周边环境，装药结构优化可降低爆破振动强度，毫秒延期起爆技术实现分段能量释放，起爆顺序设计遵循“由里向外”原则^[4]。数码电子雷管通过芯片控制实现精准延期，振动监测系统实时反馈爆破影响范围，某铁矿应用显示，数码雷管使

周边构筑物振动速度降低60%，显著提升爆破安全性。

4 采矿方法与安全技术的协同优化

4.1 采矿方法对安全的影响

采矿工程中，不同采矿方法诱发的地压显现规律存在明显差异，其对应的安全风险特征也不尽相同。空场采矿法由于预留采空区，易在矿柱及顶板形成应力集中区，若矿柱强度不足或尺寸设计不当，可能引发片帮冒顶事故。崩落采矿法虽然通过围岩崩落释放地压，但崩落过程难以精确控制，可能产生空气冲击波或造成地表塌陷。充填采矿法则借助充填体的支撑作用改善采场应力环境，有效降低岩爆风险，尤其适用于深部或复杂地质条件开采。采矿方法的选定直接关系到矿山安全辅助系统的配置与运行效果。采用空场法时，为维护采空区稳定而保留的矿柱网络可能割裂通风巷道，破坏风流组织的连续性，需要在巷道中增设风门、风窗等通风构筑物进行调节，增加了通风管理的复杂性。崩落法在落矿与出矿环节持续产生高浓度粉尘，要求配备大功率通风设备与高效喷雾降尘系统，并在溜井口等关键部位强化密闭措施。充填采矿法因使用大量胶凝材料，在充填制备站与输送管路沿线存在粉尘与湿度控制问题，同时对采场防火材料的耐腐蚀性能提出了特殊要求。

4.2 安全技术对采矿方法的支撑

安全监测数据为采矿参数动态调整提供科学依据，多点位移计监测数据显示矿柱变形速率超过2mm/d时，需立即调整回采顺序并加强支护；微震监测系统定位的岩爆频发区，可指导优化爆破参数以降低应力波叠加效应。应急避险系统与采矿作业的融合设计体现人性化特征，永久避难硐室按500m服务半径布置于主要运输巷道，临时避险设施采用可移动式设计跟随采掘工作面推进，某金矿应用表明这种布局使人员撤离时间缩短至15分钟以内。

4.3 协同优化策略

风险评估体系构建需量化采矿方法与安全技术的耦合关系，通过建立包含12项指标的评估模型，对不同采

矿方案进行安全效能分级。某磷矿实践显示，采用崩落法配合强化防尘措施的组合方案，其安全风险指数较传统空场法降低37%。智能化技术应用推动协同优化向精准化方向发展，数字孪生技术通过构建三维地质模型，模拟不同采矿方法下的应力场演变，为矿柱尺寸优化提供虚拟验证平台；物联网技术实现设备状态实时监测与工艺参数自动调整，某铁矿应用智能通风系统后，风量调节响应时间从30分钟缩短至2分钟^[5]。协同优化平台建设强调数据互通，将地压监测、通风控制、人员定位等系统集成于统一管理界面，实现安全风险动态评估与处置措施闭环管理。这种协同模式使某铅锌矿的百万吨产能下死亡率从0.8人/百万吨降至0.2人/百万吨，达到国际先进水平。

结束语

地下矿山采矿方法与安全技术紧密相连、相互影响。采矿方法决定着安全风险特征与安全辅助系统配置，安全技术则为采矿方法实施提供支撑保障。通过构建科学的风险评估体系、应用先进的智能化技术、搭建高效的协同优化平台，实现采矿方法与安全技术的深度协同，可有效降低矿山安全风险，提高资源开采效率，推动地下矿山开采行业朝着安全、高效、可持续方向发展。

参考文献

- [1]刘伟.地下矿山采矿方法与安全技术的研究与应用[J].世界有色金属,2025(6):108-110.
- [2]孙玉良.地下金属矿山充填采矿技术研究[J].中国科技纵横,2025(9):126-128.
- [3]南二刚.地下金属矿山充填采矿技术分析[J].世界有色金属,2025(10):111-113.
- [4]赵忠琦.地下金属矿山复杂难采二步资源大规模采矿技术运用研究[J].中国金属通报,2025(16):25-27.
- [5]尹晓灿.金属矿山井下采矿方法及安全管控策略[J].中国金属通报,2024(15):44-46.