

谈井下采矿技术及井下采矿的发展趋势

朱玉忠

乌海市裕隆利胜矿业有限公司 内蒙古 乌海 016000

摘要: 井下采矿技术主要包括空场采矿、充填采矿和崩落采矿三大类, 各类技术具有不同的适用条件和优势。空场采矿依靠矿柱支撑采空区, 充填采矿通过填充材料控制围岩移动, 崩落采矿借助矿体崩落实现开采。当前井下采矿正向智能化、绿色化和深部开采方向发展, 智能化设备与控制系统逐步应用, 绿色采矿理念推动资源高效利用和环境保护, 深部开采技术突破应对高应力、高温等挑战。安全技术与采矿工艺的协同发展构建了更加完善的井下作业防护体系, 为采矿行业可持续发展提供技术支撑。

关键词: 井下采矿技术; 空场采矿; 充填采矿; 崩落采矿; 发展趋势

引言: 井下采矿作为资源开发的重要方式, 其技术水平直接影响开采效率、安全与资源利用率。随着资源需求增长与开采条件复杂化, 传统采矿技术面临诸多挑战, 同时也催生了技术革新的需求。深入研究井下采矿技术的核心类别、应用条件及发展趋势, 对于推动采矿行业进步具有重要意义。本文将系统剖析各类采矿技术特点, 结合实际应用条件, 展望未来发展方向, 为相关实践与研究提供思路。

1 井下采矿技术的核心类别

1.1 空场采矿技术

空场采矿技术的基本原理是在矿体开采过程中, 利用矿柱支撑采空区, 保持采场结构稳定, 为矿石回采创造安全作业空间。矿柱的设置需根据矿体厚度、围岩性质确定尺寸与分布方式, 通常分为永久矿柱与临时矿柱, 永久矿柱用于长期支撑采空区, 临时矿柱在回采后期根据情况回收。分步回采矿石需按照预定顺序逐步开采矿体, 先划分矿房与矿柱, 开采矿房时保留矿柱, 待矿房开采完成后再处理矿柱, 避免采空区突然失稳^[1]。在不同矿体条件下, 空场采矿技术有多种应用形式。对于厚度较小、倾角较缓的矿体, 可采用全面采矿法, 将矿体划分为多个矩形矿房, 逐个开采并保留规则分布的矿柱, 适用于围岩稳定性较好的场景。当矿体厚度较大、倾角较陡时, 房柱采矿法更为适用, 通过设置连续的矿柱与矿房, 矿房宽度根据开采设备与围岩承载能力确定, 回采过程中可采用机械或爆破方式落矿。留矿采矿法则适用于薄而急倾斜的矿体, 开采时先将矿石暂留在采场, 利用矿石自重支撑围岩, 待采场达到一定高度后再逐步放出矿石, 减少围岩暴露时间。该技术对围岩稳定性要求严格, 若围岩强度不足, 可能出现矿柱变形、采空区坍塌等风险, 应用前需对围岩稳定性进行全面评估。

1.2 充填采矿技术

充填采矿技术通过向采空区填充材料处理采空区, 以此控制围岩移动。填充材料填入采空区后, 能够传递和分散岩层压力, 减少矿体和围岩的变形, 避免采场坍塌或地表沉降。该技术的技术要点在于确保填充体的强度和完整性, 使填充体能够及时承担起支撑作用。填充材料的选择需综合考虑矿体特性、开采成本和环境要求。天然砂石来源广泛且成本较低, 适用于对填充体强度要求不高的场景。人工胶结材料由水泥、粉煤灰等混合而成, 强度较高, 常用于需要长期稳定的采空区。工业废料的应用既解决了废弃物处理问题, 又能满足填充需求, 符合资源循环利用的理念。填充工艺的关键环节包括材料制备、输送和充填三个阶段。材料制备阶段需将各种原料按比例混合, 保证材料的均匀性和流动性。输送过程根据距离和地形选择合适的方式, 可通过管道泵送或机械运输将材料送至采空区。充填阶段需控制材料的浇筑速度和分布范围, 确保填充体充满采空区的各个角落, 形成连续完整的支撑结构。

1.3 崩落采矿技术

崩落采矿技术借助矿体崩落实现矿石开采, 通过爆破等手段使矿体破碎并垮落, 再将崩落的矿石运出采场。崩落范围控制需与矿体边界匹配, 避免过度崩落引发围岩失稳或资源浪费。爆破参数的选择需根据矿体硬度、结构确定, 包括炮孔布置、装药量、起爆方式等, 确保矿体按预定范围崩落, 破碎块度均匀, 便于后续回收。矿石回收在矿体崩落完成后进行, 通过底部结构将矿石汇集并运输至地表。底部结构的设计需适应崩落矿石的流动特性, 通常采用漏斗式或堑沟式结构, 减少矿石残留。回收过程中需控制出矿速度, 避免采场压力集中, 防止废石混入矿石降低品位。对于急倾斜厚矿体,

可采用分段崩落方式,将矿体划分为多个分段,自上而下逐层崩落开采,每一分段的崩落与回收相互衔接,提高开采连续性。该技术能充分利用矿体自重与爆破能量,简化开采流程,降低作业成本,但会导致采空区上方岩层崩落,可能引发地表下沉,适用于地表允许下沉的矿区,回采过程中需监测崩落区范围与地表移动情况,及时调整参数。

2 井下采矿技术的应用条件

2.1 地质条件适配性

地质构造的复杂程度直接影响采矿技术的选择。断层、褶皱等构造发育的区域,岩体完整性较差,若采用空场采矿技术,矿柱易因受力不均发生断裂,此时充填采矿技术更能适应围岩的不稳定状态,通过填充体增强岩体整体性^[2]。对于岩层坚硬、结构完整的地质环境,空场采矿技术可凭借矿柱的自然支撑作用高效作业,减少填充材料的消耗。矿体形态的差异也决定技术应用方向。层状矿体分布连续且厚度稳定,房柱采矿法可按矿体走向划分矿房,实现有序开采;脉状矿体分布零散、厚度变化大,留矿采矿法能灵活适应矿体形态,减少资源浪费。倾斜角度不同的矿体对技术要求不同,缓倾斜矿体适合全面采矿法,利用水平作业面推进;急倾斜矿体则需借助崩落采矿法的重力作用辅助矿石运输,提升开采效率。技术应用需与地质环境协调,避免过度扰动引发塌方、涌水等问题,在富水地层需加强排水措施,配合充填技术控制围岩变形,确保采矿作业安全。

2.2 资源特征匹配度

矿体厚度是技术选择的重要依据。薄矿体开采需注重资源回收率,留矿采矿法通过暂留矿石支撑围岩,减少因矿柱设置过多造成的资源损失;中厚矿体可采用房柱采矿法,平衡开采效率与资源回收;厚矿体适合分段崩落法,分层开采降低单次作业强度,同时提高回采率。埋藏深度影响技术适用性。浅部开采受地压影响较小,空场采矿技术可发挥高效优势;深部开采地应力显著增大,充填采矿技术通过填充体抵抗地压,防止采场坍塌。矿石硬度决定落矿方式,坚硬矿石需采用爆破手段,崩落采矿法的爆破参数需与矿石硬度匹配;松软矿石可通过机械切割开采,空场采矿技术中的机械落矿工艺更能适应此类资源特征。资源特征与技术的匹配需综合考量,在保证安全的前提下最大化资源利用率,避免因技术不匹配导致开采成本上升或资源浪费。

2.3 技术应用的实际限制

设备能力制约技术应用范围。大型自动化采矿设备需要宽敞的作业空间,在狭窄矿脉中难以施展,此时需

采用小型设备配合的留矿采矿法;深井开采中,提升设备的负荷能力有限,崩落采矿法的集中出矿方式可减少提升次数,适应设备能力限制。作业空间的大小影响技术实施。井道狭窄、弯道较多的区域,充填材料的运输难度增加,限制充填采矿技术的应用;开阔的采场空间则为崩落采矿法的爆破作业提供便利,便于大型设备周转。施工难度的差异决定技术可行性,复杂地形中钻孔、爆破精度难以保证,崩落采矿法的分段作业可降低单次施工难度;高海拔地区因氧气不足,人工操作效率下降,自动化程度高的空场采矿技术更能适应环境限制。技术应用需正视这些实际约束,结合现场条件调整工艺,在设备、空间与施工难度之间寻找平衡,确保技术方案切实可行。季节性气候变化也会带来影响,雨季可能加剧井道积水,需提前调整排水设备配置,保障采矿技术在特殊时段正常应用。

3 井下采矿的发展趋势

3.1 智能化采矿技术的融合

智能化采矿技术的融合正逐步改变传统井下采矿模式。智能化设备的应用方向聚焦于替代人工完成高危、高强度作业,无人采矿台车可在复杂矿道中自主移动,精准执行钻孔、爆破等操作,减少人员暴露在危险环境中的时间。自动化控制系统通过整合采矿设备运行数据,实现采场规划、设备调度的动态调整,根据矿体分布实时优化开采路径,避免无效作业。智能感知技术嵌入采矿全过程,通过布置在矿道、设备上的传感器,实时捕捉围岩变形、设备温度等信息,为决策提供依据。这些技术的融合不仅提升采矿效率,更能通过精准控制减少资源浪费,设备运行的协调性增强可降低能耗,使单位矿石开采成本逐步下降。智能化系统对异常情况的响应速度远超人工,能在事故发生前发出预警并启动应急措施,从技术层面筑牢安全防线。智能算法通过分析历史开采数据,可提前预判矿体赋存状态变化,指导采矿计划动态调整,减少因地质条件突变导致的停工。远程操控平台的完善使地面人员能实时监控井下作业,通过三维可视化技术还原采场场景,精准指挥设备协同作业,进一步提升开采的精准度与安全性。

3.2 绿色采矿理念的深化

绿色采矿理念的深化推动采矿技术向低耗、环保方向革新。减少资源浪费需优化采矿工艺,通过精准爆破、选择性开采等技术,提高矿石回采率,降低废石混入量。低贫化采矿技术通过控制爆破范围,使采出矿石品位更稳定,减少后续选矿环节的能耗与污染^[3]。降低环境影响需突破传统处理模式,尾矿处理技术正从单纯

堆存转向资源化利用,将尾矿加工为建筑材料或填充材料,实现废弃物减量。废水回收技术通过多级过滤、净化工艺,使采矿过程中产生的废水达到循环利用标准,用于设备冷却、巷道降尘等,减少新鲜水源消耗。地表沉降控制技术通过优化开采顺序与填充工艺,减轻采矿对地表生态的扰动,保护植被与地质结构,使采矿活动与周边环境更协调。新型环保药剂的应用降低选矿过程中的污染排放,生物浸矿技术利用微生物提取矿石中的有用成分,减少化学药剂使用,实现清洁生产。土地复垦技术与采矿进程同步推进,边开采边修复,通过土壤改良、植被种植等手段,使矿区在开采结束后快速恢复生态功能。

3.3 深部采矿技术的突破

深部采矿技术的突破旨在应对地下复杂环境带来的挑战。高应力环境下的采矿技术创新聚焦于增强采场稳定性,新型充填材料具备更高强度与韧性,能有效抵抗深部地压,减少巷道变形。岩体加固技术通过注浆、锚杆支护等方式改善深部岩体力学性能,提高其承载能力。高温环境的应对需开发耐高温设备与通风系统,采矿设备的核心部件采用耐热材料,确保在高温下持续稳定运行。高效通风技术通过优化风道设计、采用大功率通风机,加速井下空气流通,降低作业面温度,为人员与设备创造适宜环境。深部矿体探测技术通过先进物探手段,更精准地掌握矿体形态与分布,为开采方案制定提供可靠基础,减少盲目开采带来的风险。地应力监测技术通过布设传感器网络,实时追踪应力变化规律,为支护方案调整提供数据支持,避免因应力集中引发岩爆。深井降温技术结合冰浆输送与局部制冷,在高温区域形成低温作业带,保障人员工作效率与设备正常运转,为深部资源开发提供稳定环境。

3.4 采矿与安全技术的协同发展

采矿与安全技术的协同发展是提升井下作业安全水

平的关键要素。安全监测技术与采矿过程的结合日益紧密,实时监测系统可追踪矿道支护结构的受力变化情况、空气中有害气体浓度等指标,数据实时传输至控制中心,当指标超出安全范围时自动触发警报。灾害预警技术通过分析历史数据与实时监测信息,识别可能发生的塌方、突水等灾害征兆,提前发出预警信号,为人员撤离与应急处置争取一定的时间。采矿设备与安全装置的联动机制逐步完善,当监测到危险时,设备可自动停止运行并启动防护措施,如紧急支护装置迅速展开加固巷道。安全培训模拟系统与采矿技术操作培训相结合,通过虚拟场景还原各类危险情况,提升作业人员的应急处置能力,使安全意识融入采矿操作的每个环节中。智能化监测与采矿设备的协同可实现动态安全的管控,根据开采进度自动调整监测重点情况,在爆破作业后立即加强对周边岩体的监测,确保下一环节作业是在安全的基础上,没有任何问题。这种技术整合打破采矿与安全管理的界限,使安全保障贯穿采矿全过程,形成相互支撑的安全体系。

结束语

井下采矿技术历经发展,形成多种成熟技术体系,且在不断适应不同条件中完善。展望未来,智能化、绿色化、深部开采及采矿与安全协同等技术趋势,将引领井下采矿迈向新高度。行业需紧跟趋势,加大技术创新投入,推动井下采矿技术持续进步,实现资源高效开发与环境保护双赢,为经济社会可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]王海龙.煤矿井下生产技术及采矿方法[J].矿业装备,2023,(03):46-48.
- [2]丁宁.煤矿井下采矿生产技术及采矿方法研究[J].矿业装备,2022,(05):134-136.
- [3]梁旭.井下采矿技术及井下采矿的发展趋势探究[J].能源与节能,2021,(12):149-150.