

井下采矿生产工艺优化与安全管控技术研究

高明斌

呼图壁县西沟煤炭有限责任公司 新疆 昌吉 831200

摘要：井下采矿工艺涵盖矿床开拓、矿石回采及巷道支护、通风防尘等辅助关键环节，直接决定矿山开采效率与生产安全性。为破解传统采矿生产瓶颈，可从技术创新、管理革新、环境适配、设备更新四大维度优化生产工艺，适配不同地质、水文、瓦斯等复杂井下工况，提升采矿生产效能与经济性。同时，依托智能安全监测、应急救援、智能个体防护、安全信息四大核心技术，构建全方位井下安全管控体系，实现采矿隐患提前预警、风险精准防控，有效规避井下开采安全事故，助力矿山实现高效、安全、可持续开采。

关键词：井下采矿；生产工艺优化；安全管控技术

引言：随着社会经济的快速发展，对矿产资源的需求日益增长，井下采矿作为获取资源的重要途径，其生产工艺优化与安全管控至关重要。传统井下采矿在效率、安全和环保等方面面临挑战，难以适应现代发展要求。一方面，落后工艺易造成资源浪费和生产效率低下；另一方面，安全管控不到位会引发各类事故，威胁人员生命财产安全。因此，深入研究井下采矿生产工艺优化与安全管控技术，不仅能提高资源开采效率、降低生产成本，还能保障井下作业安全，减少事故发生，推动采矿行业可持续发展。

1 井下采矿生产工艺概述

井下采矿是获取地下矿产资源的重要手段，其生产工艺复杂且关键，直接影响着矿产开采的效率、质量和经济效益。井下采矿生产工艺包含多个关键环节，矿床开拓，这是采矿工作的基础。为了开采地下矿床，需要从地面开掘一系列井巷通达矿床，形成行人、运输与提升、通风、供风、排水、供水、供电及充填等系统。主要开拓井巷有平硐、竖井、盲竖井、斜井、盲斜井及斜坡道等。不同的开拓方式适用于不同的矿床地质条件和开采要求，合理选择开拓方式能为后续的开采工作奠定良好基础^[1]。矿石回采，这是获取矿石的核心环节。常见的回采方法有房柱式、长壁式等。房柱式回采是将矿块划分为矿房和矿柱，先采矿房，再根据情况决定是否回收矿柱；长壁式回采则是沿矿体走向布置长壁工作面，进行连续开采。在回采过程中，需要进行凿岩、爆破、装矿和运输等作业。凿岩是在矿体内钻凿炮孔，为爆破做准备；爆破则是利用炸药的爆炸能量将矿石破碎；装矿是将破碎后的矿石装载到运输设备上；运输则是将矿石运送到地面或指定地点。井下采矿还涉及到巷道支护、通风防尘等辅助环节。巷道支护是为了保证巷道的

稳定性，防止围岩垮落，常用的支护方式有锚杆支护、喷射混凝土支护等；通风防尘是为了改善井下作业环境，保障矿工的身体健

2 井下采矿生产工艺优化策略

2.1 技术创新驱动工艺升级

技术创新驱动工艺升级是突破井下采矿传统产能瓶颈与实现安全高效开采的根本路径，必须通过深度融合前沿科技重塑底层生产逻辑。（1）智能采掘装备应用：大力引进自主导航凿岩台车与智能连续采矿机组，替代传统人工高风险作业，实现破岩与出矿过程的自动化操控，大幅提升底层生产效率。（2）精准爆破技术突破：运用数值模拟优化炮孔布置与微差起爆网络，匹配高性能环保炸药，降低大块率与粉矿率，为后续提升分选环节创造优质原矿条件。（3）岩体力学监测融合：建立采空区与围岩稳定性三维力学模型，实时采集应力与位移数据指导回采顺序调整，从源头规避地压活动诱发的冒顶与片帮风险。（4）采选协同工艺重构：依据矿石赋存特征推行超前注浆与原位浸出等新型回收工艺，打破传统采选独立运作壁垒，实现高品位伴生资源的同步综合回收。（5）数据决策中枢搭建：部署矿山工业物联网平台整合各生产环节数据流，构建采矿工艺参数自适应优化模型，推动井下生产由经验驱动向数据驱动跨越。

2.2 管理模式重塑生产效能

管理模式重塑生产效能是激发井下采矿内部活力与保障工艺优化成果落地的关键支撑，必须通过管理机制变革实现生产组织的高效运转。（1）扁平化生产组织构建：精简管理层级并下放现场指挥权至采矿一线班组，建立以采区为利润中心的管理架构，缩短决策传导链条并提升突发状况响应速度。（2）精细化定额考核落实：

制定涵盖且回采率与材料消耗及设备开机率的多维指标体系,将定额达标情况直接与薪酬分配挂钩,激发全员降本增效内生动力。(3)设备全生命周期管理:推行预防性维护与点检定修融合制度,建立设备运行数字档案并实行动态状态监测,降低非计划停机率并延长核心装备服役周期。(4)跨部门协同作业机制:打破采矿与地质及安全等专业技术壁垒,组建多专业联合攻关团队统筹规划采掘衔接,减少工序衔接空档并实现资源利用最大化。(5)安全网格责任全覆盖:划分井下作业区域并实行网格化包保责任制,将隐患排查与三违治理责任落实到具体岗位人员,筑牢安全生产防线并保障效能释放。

2.3 环境适配调整工艺方案

在井下采矿作业中,环境适配调整工艺方案是保障生产高效与安全的关键所在。由于不同矿区的地质、水文、瓦斯含量等环境条件差异巨大,因此必须因地制宜地制定和调整工艺方案。地质条件是影响井下采矿的重要因素,在软岩地层,岩石稳定性差,巷道极易出现变形、坍塌等问题。此时,采用短掘短支的工艺,减少围岩暴露时间,并加强支护强度,如增加锚杆密度、采用锚索联合支护等,能够有效提高巷道的稳定性。而在高应力区域,运用卸压技术释放围岩应力,可避免岩爆等灾害的发生^[2]。水文条件同样对工艺选择有着重要影响,富水矿区需要优化排水系统,提高排水能力,采用超前探水、预注浆堵水等措施,防止突水事故的发生。而在干旱缺水地区,则应注重水资源的循环利用,采用节水型设备和工艺,以降低水资源的消耗。瓦斯含量不同的矿井,通风方案也需适配调整。高瓦斯矿井要强化通风系统,增加通风量,采用分区通风、局部通风等方式,确保瓦斯浓度在安全范围内,从而保障井下作业人员的生命安全。

2.4 设备更新提升开采效率

在井下采矿中,设备更新是提升开采效率的重要途径。随着科技的不断进步,新型采矿设备不断涌现,其性能和功能远优于传统设备。更新凿岩设备能显著提高钻孔速度和精度,新型凿岩机采用先进的液压技术和自动化控制系统,可根据岩石硬度自动调整钻进参数,减少人工操作误差,使凿岩效率大幅提升^[3]。在装载和运输方面,引入智能化的装载机和高效的运输车辆,能实现快速装矿和连续运输。装载机具备自动称重、智能导航等功能,可精准控制装载量,运输车辆则拥有更大的载重能力和更快的行驶速度,减少了矿石运输时间。设备的自动化和智能化水平提高,还能降低人力成本和劳动

强度,减少人为因素导致的安全事故。同时,新型设备通常具有更好的可靠性和稳定性,降低了设备故障率和维修时间,保证了开采作业连续性。

3 井下采矿安全管控技术分析

3.1 安全监测技术

安全监测技术是构筑井下采矿灾害防线与保障作业人员生命安全的前端触角,必须通过构建多维全息感知体系实现隐患早期识别与精准预警。(1)微震监测系统部署:在采空区与断层周边布设高灵敏度拾震传感器,通过捕捉岩层破裂微震信号反演应力分布演化规律,实现冲击地压与大面积冒顶的提前研判预警。(2)多源气体实时感知:在主要进回风巷道与盲端作业区域悬挂智能复合气体检测仪,连续监测甲烷与一氧化碳等有毒有害气体浓度,发现异常即刻触发声光报警及联动断电。(3)顶底板位移精确量测:运用钻孔倾斜仪与顶板离层指示仪等精密装置对关键巷道进行位移动态观测,结合位移速率突变指标判定围岩失稳风险并及时撤出作业人员。(4)井下人员精确定位:基于超宽带无线脉冲技术构建亚米级高精度定位网络,实时追踪井下作业人员与机车轨迹,为灾变时期快速应急救援提供确切位置信息支撑。(5)矿山压力在线预警:集成多类传感数据搭建矿山压力集成监测分析平台,运用大数据挖掘模型建立阈值判据与趋势预报体系,实现由被动报警向主动预防的管控转变。

3.2 应急救援技术

井下采矿环境复杂且充满不确定性,各类事故时有发生,应急救援技术在保障矿工生命安全方面发挥着举足轻重的作用。井下通信系统如无线通信、漏泄通信的建立,为救援行动提供了坚实的信息支撑。通过这些通信手段,救援人员能够与被困矿工实时沟通,第一时间了解他们的位置、身体状况以及所处的危险情况,从而制定出科学合理的救援方案,避免盲目救援带来的风险。人员定位系统和传感器网络等技术的应用,能够在事故发生的瞬间精准锁定被困人员和事故地点^[4]。这大大缩短了救援时间,为被困人员争取到了宝贵的生存机会。在分秒必争的救援行动中,每一秒都关乎着生命的存亡,快速定位技术的重要性不言而喻。在巷道坍塌等紧急情况下,强力破拆工具和快速支护设备能够迅速清除障碍物,搭建起临时支护结构。这不仅保障了救援人员能够安全地进入事故区域,也为被困人员提供了一个相对安全的生存空间。定期组织演练,能让救援人员和矿工熟悉应急流程和操作技能,在面对突发事件时能够做到有条不紊、协同配合。这种演练不仅提高了个体的

应急响应能力,也增强了整个团队的战斗力。

3.3 个体防护装备技术

个体防护装备技术是构筑井下矿工生命安全的最后一道防线,必须通过装备升级与智能化改造全面提升个体防护的可靠性与舒适度。(1)轻量化头盔研发应用:采用高强度碳纤维复合材料制造矿用安全帽,在保证抗冲击与耐穿透性能的前提下大幅降低自重,缓解矿工长时间佩戴引发的颈椎疲劳。(2)智能避险自救器配置:研发集成氧气生成与有害气体催化过滤功能的新型自救器,延长额定防护时间并简化佩戴操作步骤,确保紧急逃生时矿工能够迅速安全撤离。(3)呼吸防护过滤升级:针对粉尘与柴油尾气等井下复合污染环境,开发高容尘量低呼吸阻力滤棉与防毒碳层组合滤件,切实降低尘肺病等职业健康危害发生概率。(4)防砸防穿刺鞋靴优化:运用高模量纤维复合鞋头与凯夫拉防穿刺中底技术改良工矿靴,兼顾足部防护与行走弯折灵活性,有效抵御坠物与锐器造成的足部伤害。(5)生理体征监测背心:内嵌微型传感器的智能矿服背心可实时采集心率体温与姿态数据,遇异常时自动向地面调度中心发送求救信号,显著提升个体危险境遇救援效率。

3.4 安全信息技术

安全信息技术在井下采矿安全管控中发挥着关键作用。借助传感器网络技术,可对井下环境参数如瓦斯浓度、一氧化碳含量、温度、湿度等进行实时监测,一旦参数超出安全范围,系统能立即发出警报,提醒工作人员采取措施,避免事故发生。地理信息系统(GIS)能为井下采矿提供详细的地质信息和巷道布局,帮助管理人员进行科学规划和决策。通过对地质构造、断层等信息的分析,提前制定应对方案,降低安全风险^[5]。大数据分析技术可对大量的安全数据进行深度挖掘和分析,找

出潜在的安全隐患和规律。例如分析事故发生的时间、地点、类型等因素,为安全管理提供针对性的建议。云计算技术为安全信息的存储和处理提供了强大的支持,确保数据的安全性和可靠性。同时,通过建立安全信息共享平台,实现不同部门和人员之间的信息互通,提高安全管控的协同性和效率,保障井下采矿作业的安全进行。

结语

未来,井下采矿生产工艺优化与安全管控技术研究将迎来更为广阔的发展空间。随着科技的飞速发展,智能化、自动化、数字化技术将深度融入井下采矿作业,大幅提升生产工艺的先进性和安全性。大数据、人工智能等技术的应用,可实现对井下环境的精准监测和实时预警,为安全管控提供有力支撑。同时,新型的开采工艺和设备将不断涌现,进一步提高资源开采效率和质量。行业将更加注重绿色环保理念,实现井下采矿与生态环境的和谐共生。通过持续的技术创新和管理优化,井下采矿行业必将朝着更加安全、高效、绿色的方向迈进。

参考文献

- [1]张如松,潘守鑫,丁雷.造纸废料充填采矿工艺及矿山井下安全生产建设研究[J].造纸科学与技术,2026,45(6):51-54.
- [2]刘显彪,杨满勇.深部金属矿床开采中的井下采矿技术与工艺优化研究[J].世界有色金属,2025,(15):124-126.
- [3]尹志祥.破碎顶板井下采矿支护施工优化应对措施研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2026,(6):091-094.
- [4]杨懂.煤矿井下采矿生产技术及采矿方法研究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(23):43-45.
- [5]王定华.采矿工程技术及安全管控策略分析[J].能源新观察,2025,(9):37-38.