

现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用

单磊

府谷县恒益煤矿，陕西省榆林市，719400；

摘要：现代化采矿工艺技术通过融合 5G、AI、自动化等先进技术，显著提升了采矿工程的效率、安全性和环保水平。现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用已经成为推动矿业领域发展的重要引擎，传统的采矿方法往往伴随着资源浪费、环境污染等问题，而现代化采矿工艺技术的引入不仅提高了采矿效率，同时也极大地减少了对自然环境的影响。在这不断变化的领域中，先进的勘探技术、智能化的设备和信息化管理系统已经成为矿业企业日常运营的重要组成部分。通过引入先进的勘探技术，矿业公司能够更准确地确定矿藏分布，从而避免不必要的探矿过程，提高资源利用率。同时，现代化的采矿设备结合智能控制系统，不仅提高了开采效率，还降低了事故发生的风险，保障了工人的安全。

关键词：现代化采矿技术；采矿工程；环境保护；资源利用

DOI：10.64216/3080-1508.26.02.046

现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用可以提高矿产资源开采效率、降低生产成本以及预防安全事故，企业不仅能够获得更高的经济效益，同时也为社会和环境带来了更为可持续的效益。矿山企业应当积极探索现代化采矿工艺技术，不断引入创新，以提升自身的综合效益。现代化采矿工艺技术，特别是智能化开采技术，正在通过 5G 与 AI 的深度融合，显著提升采矿工程的安全性、效率和可持续性。

1 智能化开采技术

1.1 5G+AI 远程控制

5G+AI 远程控制技术的核心应用，5G 专网构建稳定通信基础：在矿山环境中，5G 企业专网通过高带宽、低延迟的特性，实现井下巷道的全覆盖。例如，矿部署 5G 专网后，结合边缘计算（MEC）系统，保障了远程设备控制的数据传输稳定，使井下作业人员大幅减少，生产组织更高效。类似地，山东刘岭铁矿通过矿用 4G/5G 双模设备和差异化覆盖策略，实现了-220 米水平巷道的无死角信号覆盖，为远程操作提供了可靠通信保障。AI 驱动的智能设备与流程优化：在 5G 网络支持下，AI 技术应用于设备远程操控和生产流程管理。例如：无人驾驶运输系统：煤矿采用 5G+AI 无人驾驶单轨吊，实现从地面到采掘面的全流程自动化运输，运输效率提升 40%，同时降低矿工劳动强度。智能选矿与采煤：矿的磨矿—浮选—浓密压滤全流程专家系统，通过 AI 实时调整参数，优化生产效率；金桥煤矿则通过“掘锚—

体机+智能自移机尾”系统，实现掘进、支护连续作业，并利用 AI 视频分析预测设备故障，提升安全性。综合管理平台实现全局协同：5G 与 AI 技术集成于统一平台，如山东移动为山东黄金打造的综合管理平台，融合三维 GIS、VR 等技术，对生产、安全、设备进行实时监控与智能分析，为决策提供数据支撑，推动矿山向绿色高效方向发展。技术带来的变革与未来趋势，安全与效率提升：通过 5G+AI 远程控制，高危作业区域的人力介入降至极限，例如“坐在地面采煤”的模式减少了井下人员风险，同时 AI 算法优化了钻进轨迹和资源利用率，降低勘探误差^[1]。绿色与可持续发展：智能化技术还助力资源循环利用，如金桥煤矿通过 5G 集控系统处理矿井废水，实现绿色低碳转型。未来展望：随着 5G-A/6G 网络和量子计算等技术的演进，采矿工程将进一步向“地质透视化、开采工厂化、生产无人化”方向发展，形成从勘探到生产的全链条智能闭环。5G+AI 远程控制技术正成为智慧矿山建设的核心引擎，推动采矿工程向更安全、高效和可持续的方向转型。

1.2 智能优化系统

现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用，特别是智能化开采技术，正通过集成先进信息技术和自动化设备，显著提升采矿效率、安全性和可持续性。智能优化系统的构成与功能，智能优化系统是智能化采矿的核心，它通过数据驱动决策、装备替代和系统协同，实现采矿全过程的精准控制。该系统通常包括以下几个关键部分：数据采集与感知层：利用物联网传感器、摄像头等设备

实时监测矿山环境（如温度、气体浓度）、设备状态（如振动、温度）和生产数据（如矿石品位、产量），为优化提供基础信息。算法与模型层：基于人工智能技术（如机器学习、数字孪生），对多源数据进行分析 and 挖掘，构建预测模型（如设备故障预测、产量优化）和仿真系统（如开采方案模拟），实现动态调整和优化。执行与控制层：通过自动化设备（如无人驾驶矿卡、智能凿岩台车）和机器人执行具体任务，减少人工干预，提高作业连续性和精度。具体应用案例与效益，智能优化系统已在多个矿山场景中落地，带来显著效益：效率提升：AI 算法优化开采路径可缩短运输距离 30%，数字孪生技术降低设备空转率 25%，整体产能提升 20%-40%。安全增强：智能监测系统（如瓦斯、地压预警）结合无人装备，将井下作业人员减少 70%以上，事故率显著下降。资源与成本优化：通过智能配矿和大数据精准圈定矿体边界，资源回收率从 60%提升至 85%，同时降低能耗和维护成本。发展趋势与挑战，未来，智能优化系统将更注重人机协同和预测性维护，通过 5G 通信和边缘计算实现毫秒级响应。但实施中需避免盲目投入，应结合矿山实际需求，逐步构建自主知识产权的智能体系。智能化开采技术正推动采矿工程向绿色、高效方向转型，其深度应用将依赖跨学科融合与持续创新。

2 深部与复杂环境开采

2.1 机械连续切割技术

机械连续切割技术是深部与复杂环境开采中的核心创新，通过直接切割设备（如截割头）实现精准开采，替代传统爆破工艺。其优势包括：效率提升：采、装、运全流程连续作业，效率提高 40%以上。资源优化：贫化率可控制在 5%以下（传统爆破为 15%-30%），显著提升资源利用率。安全环保：减少爆破对围岩的破坏，降低粉尘和振动，符合绿色采矿趋势。技术挑战：复杂矿体形态对设备适应性要求高，切割头耐磨性不足。初期投资成本较高，但长期运营效益显著。应用案例：德国维特根切割机已成功应用于硬岩矿山，实现矿石破碎与运输同步。该技术在铜矿、煤矿等深部开采中展现出巨大潜力，尤其适用于高价值矿体。未来，随着智能化设备（如地下无人机、远程操作技术）的集成，机械连续切割技术将进一步推动采矿工程向高效、安全、可持续发展方向。

2.2 高压水射流破岩

现代化采矿工艺技术在深部与复杂环境开采中展现出重要应用价值，尤其在高压水射流破岩技术方面取得了进展。现代化采矿工艺技术概述，深部与复杂环境开采面临高应力、高地温、岩体破碎等挑战，传统方法难以兼顾安全与效率。现代化工艺技术通过集成自动化、智能化和绿色化手段，提升了开采适应性。例如，空场采矿法适用于矿石与围岩稳固的条件，通过分步回采矿房和矿柱来控制采空区稳定性；充填采矿法则通过胶结或干式充填体支撑围岩，有效缓解采后地压活动；岩体加固技术利用锚索等工具强化溜井、顶板等部位，增强整体安全性。这些技术均强调在保障安全前提下优化资源回收率，并注重环境影响控制。高压水射流破岩技术的应用，高压水射流破岩技术作为一种新兴破岩方式，利用高速水流冲击矿岩表面实现破碎，适用于软岩和中等硬岩条件。在深部开采中，该技术能减少爆破带来的震动和粉尘，提升作业安全性。然而，在处理坚硬矿岩时，现有技术需更高水射流压力，可能影响设备可靠性与寿命，因此正向超高压大功率方向发展以适应硬岩破岩需求。该技术尤其适合对环境敏感或需精细控制的复杂场景，如地下矿山无废开采。深部与复杂环境开采的综合技术策略，针对深部开采的高风险特性，技术应用需注重多方法协同。例如，结合自动化采矿设备（如无人驾驶车辆）与智能感知系统，实时监测岩体稳定性并优化回采路径；利用数字化技术构建三维地质模型，提前预测灾害风险。同时，混合填充料技术可结合废石与尾矿回填采空区，减少地表沉降。这些措施共同强化了在复杂地质条件下的开采可靠性。现代化采矿工艺技术正朝着智能化、绿色化方向发展，高压水射流破岩技术作为其中一环，需进一步突破硬岩适应性瓶颈，以更好服务于深部开采需求。

2.3 膏体充填技术

现代化采矿工艺技术在深部与复杂环境开采中的应用，特别是膏体充填技术，正推动采矿工程向高效、安全和绿色方向发展。膏体充填技术的核心应用，膏体充填技术通过将尾矿与胶凝材料混合制成膏体，回填至采空区，有效解决深部开采中的地压控制、环境影响和资源利用难题。该技术在深井环境中尤其关键，能减少地表沉降、降低应力灾害风险，并实现尾矿资源化利用。深部开采适应性：在深部高应力环境下，膏体充填能主动支护围岩，抑制岩体变形和破裂。例如，会泽矿业通

过膏体充填技术成功防控深井开采中的应力灾害,提升资源利用率,并实现井下作业环境的改善。复杂地质条件应对:对于破碎岩体或高瓦斯等复杂条件,膏体充填可增强空区稳定性,减少塌陷风险。技术通过优化充填接顶效果和输送工艺,适应不同矿体形态。深部与复杂环境开采的其他技术进展,除了膏体充填,深部开采还融合了多种现代化工艺,以应对高应力、大变形等挑战:智能感知与预警系统:利用多模态监测装置(如超声波、电磁波集成)实时采集围岩信息,实现冲击地压等灾害的智能预警^[2]。高效采矿方法:如放顶煤技术在厚煤层、高倾角等复杂煤层中的应用,结合智能放煤算法优化开采效率。岩体加固与控制:通过分步联合控制理论和成套技术,管理深部巷道的米级大变形灾害,保障施工安全。技术集成与未来趋势,当前,膏体充填技术正与智能化、绿色化趋势深度融合。例如,通过PDCA循环优化充填工艺参数,结合远程监控和自动化设备,提升深井充填的精准度和安全性。未来,随着多相多场耦合机理研究的深入,这些技术将进一步提升深部资源开发的可持续性。

3 绿色与高效工艺

3.1 溶浸采矿技术

溶浸采矿技术是一种通过化学溶剂(如硫酸铵)或微生物菌液溶解低品位矿石中的目标矿物,再回收含矿溶液的绿色采矿方法。其核心优势包括:环保性:无需大规模开采,减少废石、尾矿排放,对地表破坏极小。经济性:开采成本较传统方法降低30%以上,尤其适用于0.15%~0.45%的低品位铜矿、铀矿等。技术分类:包括原地浸出、堆浸和原地破碎浸出,美国20多个铜矿已应用该技术,铜产量占比超20%。中国在新疆伊犁盆地建成千吨级铀矿示范工程,通过低酸氧浸技术将浸出率从8.4%提升至84.2%。但需注意防控溶液渗漏风险,需严格匹配水文地质条件。

3.2 空场连续崩落技术

空场连续崩落技术是一种结合空场法高回收率与崩落法低成本优势的现代化采矿工艺,通过“先空场、

后崩落”的连续作业实现高效开采。现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用,特别是在绿色与高效方面,空场连续崩落技术是一种重要的方法。该技术结合了空场采矿法和崩落采矿法的优点,旨在提高资源回收率、降低环境影响并增强作业安全性。空场连续崩落技术的特点,工艺原理:空场连续崩落技术通过分区开采,先开采矿房后开采矿柱,利用矿柱提供初期支撑,随后通过控制崩落围岩来维持采空区稳定。这种方法能有效减少塌方风险,并提高矿产资源的综合利用率。绿色效益:该技术注重矿区环境的保护,通过科学规划采空区处理(如加固周边矿石),降低地质灾害概率,减少资源浪费和能源消耗,符合可持续发展理念。高效性:技术实施中强调地质勘测和能源储备计算,利用先进设备(如液压钻机)优化开采效率,实现高回采率。同时,通过智能管理延伸,如自动化控制和无人化操作,进一步提升生产效能。应用中的关键考虑,工艺选择:需根据矿区地质条件(如围岩分布)选择具体崩落方式,例如无底柱或底柱分段崩落,以平衡成本与设备要求。安全与规划:开采前需进行详细地质勘察,避免施工错误;同时,合理规划矿区布局,防止开采过剩,确保作业安全。未来发展方向,技术正向精细化和智能化演进,例如结合充填法和自动化技术,以进一步降低成本和环境影响。通过持续优化工艺参数(如分段控制和通风管理),提升深矿井开采的适应性,推动绿色采矿的规模化应用。空场连续崩落技术为现代化采矿提供了兼顾绿色与高效解决方案,其应用需结合具体矿区条件进行动态调整。

总之,现代化采矿工艺通过技术创新,显著增强了在深部与复杂环境下的开采能力,为资源高效利用和安全生产提供支撑。将现代化采矿工艺技术纳入企业战略规划是明智之举,为实现矿山可持续经营、推动行业进步贡献应有的努力。

参考文献

- [1] 李建峰. 现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用分析. 2023.
- [2] 王立海. 现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用探讨. 2024.