

采矿作业中采矿工艺技术的应用

刘 杰

神木县隆德矿业有限责任公司 陕西 榆林 719000

摘要：采矿作业中，采矿工艺技术的应用是实现资源高效安全开采的关键。其涵盖露天、地下开采及特殊工艺如溶浸采矿等，结合机械化、智能化手段，精准适配地质条件与矿体特征，提升开采效率与资源回收率。同时，通过绿色开采技术减少生态破坏，利用智能监测系统强化安全管控，推动采矿行业向低碳、可持续方向转型，保障资源开发与环境保护协同共进。

关键词：采矿作业；采矿工艺技术；应用

引言：矿产资源作为国家经济发展的重要物质基础，其开采效率与可持续性直接关乎能源安全与生态平衡。在采矿作业中，科学应用采矿工艺是破解资源高效利用、安全生产与环境保护矛盾的核心路径。随着地质条件复杂化、开采深度增加及环保要求趋严，传统采矿模式面临挑战，亟需通过技术创新推动工艺升级。本文聚焦采矿工艺技术的分类、应用场景及优化方向，探讨其如何赋能行业高质量发展。

1 采矿工艺技术概述

1.1 采矿工艺技术的定义与分类

采矿工艺技术是指在矿产资源开发过程中，为实现资源高效、安全开采所采用的一系列方法、技术与流程的总称，是连接矿产资源与工业应用的核心环节，其发展水平直接决定采矿效率、资源利用率及安全环保水平。按不同维度可分为以下类别：（1）按开采方式分类：主要包括露天开采、地下开采、溶浸采矿等。露天开采适用于矿体埋藏浅、储量大的矿产，具有开采效率高、成本低等优势；地下开采针对埋藏较深的矿体，通过构建地下巷道实现资源开采，对地表破坏较小；溶浸采矿属于化学采矿范畴，通过溶剂溶解矿体中的有用成分并回收，适用于低品位、难开采矿产。（2）按技术类型分类：涵盖机械化开采、智能化开采、绿色开采等。机械化开采以各类采矿机械替代人力作业，提升开采效率；智能化开采融合物联网、大数据等技术，实现采矿过程自动化管控；绿色开采聚焦资源高效利用与生态保护，通过减损降耗、矿山修复等技术减少采矿对环境的影响。

1.2 采矿工艺技术的核心要素

（1）采矿方法选择：需综合考量地质条件、矿体特征及经济性三大核心因素。地质条件决定开采难度与安全风险，矿体特征影响开采方式适配性，经济性则需平

衡开采成本与资源收益，确保选择的采矿方法兼具可行性与效益性。（2）设备与工艺的匹配性：核心在于保障爆破、掘进、运输、支护等关键环节的设备与工艺精准适配。合理的设备选型与工艺搭配可提升作业效率，降低设备损耗，同时保障各环节衔接顺畅，避免生产中中断。（3）安全生产与环境保护要求：是采矿工艺技术的底线要素。安全生产需通过完善的技术措施防范坍塌、瓦斯爆炸等风险；环境保护则要求采矿过程中落实污染治理、资源回收等措施，实现矿产开发与生态保护协同发展^[1]。

2 采矿作业中主要采矿工艺技术的应用分析

2.1 露天开采工艺技术

（1）台阶式开采技术是露天开采的核心技术，遵循“穿孔、爆破、采装、运输”四步核心流程。穿孔环节通过钻机在矿岩中钻出特定深度和直径的炮孔，为爆破作业奠定基础；爆破采用精准药量控制技术，将矿岩破碎至适宜采装的粒度，同时减少对周边环境的冲击；采装环节借助专业设备将破碎后的矿岩装入运输工具，保障作业连续性；运输环节根据矿山规模和地形条件，选择公路、铁路或胶带输送机等方式，实现矿岩高效转运，该技术适用于矿体埋藏浅、地形平缓的大型矿山，可显著提升开采效率^[2]。（2）大型露天矿设备的应用是提升开采产能的关键。电铲凭借铲斗容量大、作业效率高的优势，成为采装环节的核心设备，可快速完成矿岩装载；自卸卡车具备载重能力强、机动性好的特点，适配复杂地形的短途运输需求，是露天矿运输的主力设备；牙轮钻机则以穿孔效率高、炮孔质量优为特色，能精准匹配爆破作业的孔位和深度要求，三者协同应用构建起露天矿高效开采的设备体系。

2.2 地下开采工艺技术

（1）空场法、充填法、崩落法是地下开采的三大

主流方法。空场法适用于围岩稳固、矿体厚度适中的矿床，具有开采成本低、效率高的优点，但对地质条件要求严苛，易引发围岩坍塌风险；充填法通过向采空区填充物料控制地压，适用于高品位、稀缺矿产开采，安全性高、资源回收率高，不过充填成本较高，会降低开采效率；崩落法借助围岩自然崩落填充采空区，适用于围岩不稳固的厚大矿体，开采成本低、适应性强，但资源回收率较低，易影响周边地质环境。（2）深部开采面临严峻的地压控制和通风降温技术挑战。随着开采深度增加，地应力显著增大，易出现巷道变形、岩爆等问题，需采用锚网支护、注浆加固等综合地压控制技术；同时深部环境温度升高，通风难度加大，需构建高效通风系统，搭配制冷降温设备，保障作业人员工作环境达标，提升作业安全性。

2.3 特殊采矿工艺技术

（1）溶浸采矿主要包括原地浸出和堆浸工艺。原地浸出无需剥离地表和开采矿体，通过钻孔将溶浸剂注入地下矿体，溶解有用成分后抽出回收，适用于渗透性好的铀、铜等矿产，具有对环境破坏小、成本低的优势；堆浸工艺则将低品位矿石破碎后堆置于特定场地，喷洒溶浸剂实现有用成分浸出，适用于低品位金矿、铜矿等，工艺简单、投资少，但浸出周期长、效率较低。

（2）海洋矿产开采技术聚焦多金属结核和海底热液矿床开发。多金属结核开采需借助深海采矿装备，通过遥控采集系统将海底结核提升至海面平台；海底热液矿床因埋藏深、环境复杂，开采需突破高压、高温环境下的装备适配和作业控制技术，目前该技术仍处于研发完善阶段，尚未实现大规模商业化应用^[3]。

2.4 智能化与绿色采矿技术

（1）无人驾驶采矿设备以“5G+远程操控”为核心，通过搭载智能感知、自动驾驶系统，实现采矿设备的远程调度和无人化作业，可大幅降低人工成本，提升作业安全性，目前已在部分露天矿和地下矿实现试点应用。（2）充填采矿与尾矿资源化利用是绿色采矿的重要方向。充填采矿将尾矿、废石等固体废弃物作为充填物料，减少尾矿堆存带来的环境压力；尾矿资源化利用则通过技术手段提取尾矿中的有用成分，或加工为建筑材料，实现资源循环利用，降低矿产开发的环境影响。（3）低碳采矿技术通过推广新能源设备（如电动采矿车、光伏供电系统）和节能爆破技术（如精准控制药量、采用环保炸药），减少采矿过程中的碳排放和能源消耗，契合“双碳”目标要求，是采矿行业未来发展的重要趋势。

3 采矿作业中采矿工艺技术应用的影响因素

3.1 地质条件与矿体特征

地质条件与矿体特征是决定采矿工艺技术选择的核心基础因素，其中矿体厚度、倾角、埋深的影响最为直接。矿体厚度方面，厚大矿体更适配露天开采或地下崩落法、充填法等大规模开采工艺；薄矿体则需采用房柱法等精细化开采工艺，避免资源浪费与开采效率低下。矿体倾角影响开采难度与设备适配性，缓倾斜矿体可借助履带式设备实现高效开采，急倾斜矿体则需针对性设计巷道布局与提升系统，防止矿岩滑落。矿体埋深直接决定开采方式，浅埋矿体优先选择露天开采以控制成本；深埋矿体需采用地下开采，且需配套强化地压控制、通风降温等辅助技术，应对深部复杂地质环境。

3.2 技术经济性分析

技术经济性是采矿工艺技术应用的关键考量因素，核心在于实现投资成本、运营成本与资源回收率的动态平衡。投资成本涵盖设备采购、巷道构建、技术研发等前期投入，大型智能化开采设备虽投资较高，但可显著提升长期运营效率；传统工艺投资较低，但资源回收率与作业效率受限。运营成本包括人力、能耗、维护等日常支出，工艺选择需结合矿山规模与产能，避免因设备冗余或工艺复杂导致运营成本过高。资源回收率直接关系矿产开发效益，高品位矿产可适当提升成本投入以保障回收率，低品位矿产则需在控制成本的前提下，选择高效回收工艺，实现效益最大化^[4]。

3.3 政策与法规约束

政策与法规对采矿工艺技术应用形成刚性约束，主要体现在安全生产标准与环保要求两方面。安全生产标准明确规定了开采过程中的巷道支护、通风、防瓦斯、防岩爆等技术要求，不符合标准的工艺技术严禁应用，倒逼矿山采用更安全的开采设备与流程。环保要求日益严格，对矿山废水处理、废渣堆存、粉尘控制、生态修复等提出明确要求，限制了高污染、高能耗传统工艺的应用，推动矿山转向绿色采矿技术，如尾矿资源化利用、低碳节能开采等，确保矿产开发与生态保护协同发展。

3.4 技术创新与人才需求

（1）数字化技术对采矿工艺优化起到关键推动作用。大数据技术可整合分析地质勘探、生产运营等全流程数据，为工艺参数优化、设备调度提供精准支撑；AI技术可实现开采过程的智能监测与自动控制，提升作业精度与安全性，推动采矿工艺从机械化向智能化升级。（2）工艺技术的升级迭代对复合型技术人才提出迫切需求。此类人才需兼具地质勘探、采矿工程、数字化技术

等多领域知识,既能熟练操作智能化开采设备,又能结合实际工况优化工艺方案。因此,人才培养与引进成为保障先进工艺落地应用的重要支撑,直接影响矿山技术升级的进度与成效。

4 采矿作业中采矿工艺技术的优化方向

4.1 提高资源利用率

提高资源利用率是采矿工艺技术优化的核心目标之一,关键在于推广精细化开采与低品位矿利用技术。精细化开采通过融合高精度地质勘探数据与智能开采设备,实现对矿体边界的精准识别和开采范围的精准控制,减少矿产资源的残留与浪费,尤其适用于复杂形态矿体的开采。针对大量未利用的低品位矿,需研发应用高效分选、生物浸出、化学浸出等技术,降低资源利用门槛,将以往难以经济开采的低品位矿转化为可利用资源,最大化挖掘矿产资源潜力,提升矿山整体资源回收率。

4.2 强化安全生产保障

强化安全生产保障的核心优化方向是构建智能监测与预警系统,重点聚焦顶板位移、瓦斯浓度等关键风险点。通过在采矿作业区域布设高精度传感器,实时采集顶板位移、瓦斯浓度、地应力等数据,借助大数据与AI算法对数据进行分析研判,实现风险的提前预警。针对顶板位移监测,可结合激光测距与雷达监测技术,精准捕捉顶板变形趋势,防范坍塌事故;针对瓦斯浓度监测,采用智能传感与实时传输技术,一旦浓度超标立即触发报警并联动通风系统调整,从技术层面筑牢安全生产防线,降低人为干预风险^[5]。

4.3 推动绿色可持续发展

推动绿色可持续发展需从生态修复与清洁能源替代两大方向发力。(1)生态修复技术方面,重点推广土地复垦与水资源保护技术。土地复垦通过回填、土壤改良、植被重建等措施,将采矿废弃地转化为耕地、林地等可利用土地;水资源保护则针对采矿过程中的地下水扰动与废水排放问题,采用地下水回灌、废水处理循环利用等技术,减少对区域水资源的破坏。(2)清洁能源替代方面,加快推进采矿设备电动化升级,推广电动铲

运机、电动自卸车等设备,降低化石能源消耗;探索氢能大型采矿设备中的应用,借助氢能清洁、高效的特性,进一步减少碳排放,实现采矿过程的低碳化转型。

4.4 智能化与自动化升级

智能化与自动化升级是采矿工艺技术的重要发展方向,核心在于推动数字孪生技术应用与无人化采矿系统全流程覆盖。(1)数字孪生技术通过构建采矿场景的虚拟映射模型,整合开采、运输、支护等全流程数据,实现对采矿过程的可视化监控、模拟仿真与精准调控,为工艺优化提供数据支撑与决策依据。(2)无人化采矿系统的全流程覆盖,需实现从穿孔、爆破、采装、运输到支护的全环节无人化作业,依托5G通信、自主导航、智能调度等技术,打造“地面远程操控、井下无人作业”的新模式,大幅提升作业效率,降低人员安全风险。

结束语

采矿工艺技术的创新应用是推动行业高质量发展的核心动力。从露天开采的规模化效率提升,到地下开采的安全精细化管理;从绿色开采的生态修复实践,到智能化技术的无人化作业突破,技术迭代正重塑传统采矿模式。未来,需持续深化多技术融合创新,强化资源高效利用与低碳转型,平衡经济效益与生态责任。唯有以科技为引领、以安全为底线、以绿色为导向,方能实现矿产开发与可持续发展的双赢目标。

参考文献

- [1]魏萌,靳海蛟.分析现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(22):157-159.
- [2]魏中.探讨现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用[J].世界有色金属,2024,(22):198-200.
- [3]张云卫.采矿工艺技术在自动化综采工作面的运用思考[J].世界有色金属,2024,(01):70-72.
- [4]陆永彪.现代化煤矿工艺技术在采矿工程中的应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2023,(08):49-51.
- [5]王有奇,黄维,高航.现代化采矿工艺技术的应用分析[J].低碳世界,2023,13(03):55-57.