

# 矿业工程中的采矿工艺与技术探讨

李守波

宁夏红墩子煤业有限公司红一煤矿 宁夏 银川 750000

**摘要：**矿业工程中采矿工艺与技术的先进程度直接影响资源开采效率、作业安全与可持续发展水平。本文系统探讨露天开采、地下开采、海洋采矿及溶浸采矿等典型工艺的实施要点，分析高效掘进、精准爆破、智能运输、充填支护及数字化技术等关键技术的应用原理与方法。通过优化工艺参数、引入自动化装备与智能控制系统，能够显著提升采矿精度与资源利用率，降低环境扰动，为矿业工程的高效推进与绿色转型提供理论支撑与实践路径。

**关键词：**矿业工程；采矿工艺；采矿技术

## 引言

矿产资源是工业发展的重要基石，高效与可持续开采是矿业工程关键目标。随着开采深度加大、资源条件日趋复杂，传统模式遭遇效率与安全难题，亟待工艺技术革新。现代采矿工程融合多学科知识，构建多元工艺体系。现对采矿工艺分类与实施展开探讨，重点剖析智能化装备和精准技术在关键环节的应用，为工程优化提供参考。

### 1 采矿工艺技术在矿业工程中的重要性

采矿工艺技术在矿业工程中占据核心地位，其先进程度直接关系到矿产资源的开采效率、资源综合利用水平以及生产作业的安全性与可持续性。在资源勘探阶段，精准的工艺技术有助于科学评估矿体赋存条件与资源储量，为后续开采设计奠定坚实基础。进入实际开采环节，合理的工艺选择能够有效提升矿石回采率，减少资源浪费，并通过对围岩稳定性的控制降低地质灾害风险；随着开采深度与难度的增加，工艺技术的持续创新成为应对复杂地质条件、深部高地压与高温环境等挑战的关键支撑。现代采矿工艺正朝着智能化与绿色化的方向演进，自动化装备与远程控制系统显著提升了作业精度与人员安全，而生态友好的开采方式则致力于减轻对周边环境的扰动，推动矿产资源开发与生态环境保护的协调发展。因此，采矿工艺技术的进步不仅是保障矿业工程成功实施的根本，更是驱动整个行业实现高效、安全、绿色发展的核心动力<sup>[1]</sup>。

## 2 矿业工程中的采矿工艺

### 2.1 露天开采工艺

(1) 台阶式开采：台阶式开采把矿岩体划分成多个分层并按顺序开采，形成阶梯状工作帮。台阶高度由矿岩稳定性和设备作业能力决定，常以电铲最大挖掘高度为参考；台阶宽度要满足采掘运输设备安全作业空间需求，坡

面角依据岩体抗剪强度和地质构造综合确定。合理设计台阶参数可形成稳定临时边坡，保障下部作业安全，多台阶平行作业能提高开采强度，实现矿石与废石分流运输；精确控制台阶坡面角有助于维持边坡稳定，优化工作带推进方向能减少设备移运时间，提升采掘效率。(2) 穿孔爆破技术：牙轮钻机适合中硬岩层高效穿孔，潜孔钻机在极坚硬岩层穿孔速度快。爆破参数设计要考虑岩体节理和震动控制，炸药类型要与岩体波阻抗匹配，装药方式影响应力波传播；毫秒延期起爆技术能创造好的岩石碰撞条件，调整孔网参数和装药结构可优化爆破块度，超钻深度改善根底状况，震动监测数据用于调整药量保安全。(3) 铲装运输工艺：电铲适合大规模采场，液压挖掘机在复杂条件下有优势。设备选型考虑矿岩特性，铲斗与运输设备容量匹配，不同运输方式适应不同情况，内部道路设计合理，优化运输周期和采用双面装车工艺可提高效率，实时调度系统动态调整任务。

### 2.2 地下开采工艺

(1) 空场采矿法：适用于形态规则、围岩稳固的急倾斜厚大矿体，采场结构参数设计上，矿房跨度依据岩体自然平衡拱理论确定，矿柱尺寸要满足长期承载；回采沿矿体走向划分采场，先采矿房后采矿柱，靠矿柱与围岩维持采空区稳定。此方法资源回收率高、采切工程量小，但开采深度增加时，采空区暴露面积扩大或诱发地压活动，残留矿柱应力集中需数值模拟预测，回采顺序采用间隔回采可改善应力分布。(2) 充填采矿法：胶结充填以水泥为胶凝剂，非胶结充填用分级尾砂或破碎岩石。水力充填借流体特性长距离输送，胶结充填靠控制灰砂比调节强度，充填工艺能控制地压，充填体及时接顶可抑制围岩变形；优化充填参数包括调整料浆浓度、使用添加剂，提高早期强度可缩短回采周期，充填挡墙设计要考虑静水压力，排水系统保证固结，优化配

比与工艺可实现协同变形,减少地表沉降。(3)崩落采矿法:自然崩落靠矿体自然应力破碎,强制崩落用爆破手段。适用于厚大矿体,崩落矿石在重力下移动,放矿形成椭球体流动带,需合理设计放矿口间距与顺序,均匀放矿减少损失贫化,根据矿石品位变化及时调整放矿策略<sup>[2]</sup>。

### 2.3 特殊采矿工艺

(1)海洋采矿工艺:深海多金属结核分布在数千米水深的海底平原,开采环境具有高压、低温特性。采矿船作为水面支持平台,配备动态定位系统保持作业位置,提升系统采用水力提升或机械提升方式将矿石输送至海面,中间舱设计缓解船舶升沉运动影响;水下作业机器人配备声学探测设备与机械采集装置,实现海底矿石的精准采集;高压环境对设备密封性能提出特殊要求,海水腐蚀防护需采用特种材料,作业系统在复杂海况下的可靠性面临挑战,矿物输送过程中的颗粒悬浮稳定性影响提升效率。(2)溶浸采矿工艺:该方法通过注液孔向矿体注入溶浸液,溶浸液在矿体孔隙中渗透扩散,适用矿种包括可溶性盐类与某些氧化型金属矿床,工艺流程包含注液、渗透、反应、收集等环节。对于低品位矿石,溶浸采矿显著降低开采成本,化学选择性溶解提高资源利用效率;溶浸范围控制通过布孔方案调整实现,溶液流向受矿体渗透性影响。环境影响关注重点在于溶浸液可能的地下运移,防渗帷幕与监测井设置构成环境保护体系;溶液回收率提升需优化注采井网布置,浓度监测指导生产过程调整。

### 2.4 智能化采矿工艺

(1)自动化采矿设备:无人驾驶矿车通过激光雷达与GPS定位实现路径规划,车联网技术保证多设备协同作业,自动化钻机依托钻孔参数实时采集系统,自动调整钻进参数适应岩层变化。智能铲运机配备载荷监测与自动换挡系统,铲装轨迹优化提高作业效率;设备运行状态通过传感器网络实时传输,预防性维护系统根据设备健康指标安排检修计划。远程操控中心集中监控多台设备运行,虚拟现实技术辅助复杂作业决策,设备间安全距离保持通过防撞系统实现,能源管理系统优化设备动力分配。(2)采矿过程监控与决策系统:多类型传感器构成分布式监测网络,应变传感器监测岩体应力变化,位移传感器追踪围岩变形趋势。数据采集网关实现多协议转换与边缘计算,工业以太网与无线Mesh网络组合构建可靠传输通道,在数据预处理环节剔除异常值与噪声干扰,时间序列分析识别参数变化规律。数字孪生技术构建采场虚拟模型,机器学习算法预测设备故障概率;生产调度模块根据资源模型与

设备状态动态分派任务,安全预警系统基于多参数融合分析识别风险源;优化控制指令通过执行机构反馈至生产现场,形成闭环控制系统<sup>[3]</sup>。

## 3 矿业工程中的采矿技术探讨

### 3.1 高效掘进技术

高效掘进技术致力于提升巷道开挖速度与安全性,其核心在于机械设备与工艺方法的持续改进。传统钻爆法逐步被机械化掘进设备替代,全断面掘进机与部分断面掘进机可实现连续化作业,显著减少工序转换时间;这些设备配备高强度切割头与智能液压系统,能够依据岩层特性自适应调整推进速度与旋转扭矩。实时监测系统通过传感器收集掘进参数,动态优化设备运行状态,确保在硬岩或软岩条件下均能保持理想进尺。地质预报技术的融入进一步增强了复杂地质条件下的适应性,借助声波探测与电磁波扫描提前识别前方断层与含水层,有效预防施工风险。自动化控制单元将数据采集与指令执行有机结合,实现掘进过程的远程监控与自主调节;材料科技的进步推动耐磨合金钻头与高效排渣系统的创新,通过流体动力学优化有效维持工作面清洁,高效掘进技术通过机械设计革新、过程精准控制与地质条件预判的深度融合,构建了安全高效的巷道开挖体系。

### 3.2 精准爆破技术

精准爆破技术聚焦于爆破能量的精细化控制,在保证矿岩破碎效果的同时最大限度降低对围岩的扰动。该技术基于爆炸力学原理,对炸药性能、装药方式与起爆流程进行系统性设计,相较于传统集中装药方式,现代爆破更注重能量分布的均匀性,采用微差爆破技术实现毫秒级序列起爆,通过应力波干涉效应优化破碎块度并抑制振动传播。预裂爆破工艺在开挖轮廓面预先形成隔离带,有效保护围岩原始结构,电子雷管与数字化起爆装置构成精准时序控制的基础,可编程特性确保复杂爆破方案的可靠实施。爆破参数设计需综合考量钻孔几何参数与岩体力学特性,依托数值模拟技术预测爆破效果,不断优化方案设计,将安全与环保要素贯穿技术实施全过程,通过控制飞石距离与粉尘浓度减少环境影响;振动监测系统与高速影像记录为效果评估提供数据支撑,形成持续改进的闭环管理,该技术体系在提升采矿效率的同时,为后续工序创造了更稳定的作业环境<sup>[4]</sup>。

### 3.3 高效运输与提升技术

高效运输与提升系统承担着矿山物料输送的关键职能,其性能直接影响整体生产效率。井下运输环节涵盖轨道车辆、带式输送机及无轨设备等多种形式,带式输送系统凭借其连续运输特性与较低能耗优势,在长距离

运输中表现突出；智能控制系统可根据物料负荷自动调节运行速度，配备堵塞检测与应急制动功能确保运行可靠。无轨运输装备依托内燃或电力驱动，结合路径规划算法实现车辆高效调度与安全避障，垂直提升环节采用卷扬提升机构与平衡配置方案，实现矿石与人员的快速升降，多绳摩擦式提升装置通过增加摩擦接触面积提升承载能力与安全余量。数字化监控平台实时采集运行参数，通过数据分析预测维护需求，预防突发故障；物料转运节点的缓冲设计有效平缓作业波动，以连续提升模式替代传统批次作业提升系统效率。能源回收技术的应用将下放势能转化为电能，降低系统综合能耗，该技术体系通过设备优化、智能调度与能源管理的协同发展，构建了顺畅高效的物料输送通道。

### 3.4 充填与支护技术

充填与支护技术致力于维持采空区稳定与控制岩层移动，是保障矿山安全生产的重要技术支撑。充填工艺注重材料配比与输送方式的优化，常用充填介质包括尾砂、骨料及胶结材料等；这些材料通过管道输送至采空区域，其流动特性与最终强度需根据地质条件精确调控。高浓度充填技术可改善料浆稳定性，特殊添加剂的应用则能调节凝结过程以适应开采节奏，围岩加固采用锚杆锚索与喷射混凝土等主动支护方式，锚固系统通过杆体与岩体的协同变形形成承载结构，深层锚索则提供更大范围的预应力保护；喷射混凝土工艺快速封闭岩面，防止风化脱落并提高整体承载能力。现代支护设计强调动态调整特性，依托监测数据实时反馈围岩变形趋势，借助数值模拟预判应力演化规律，实现支护参数的精准配置；工业副产品的资源化利用既降低充填成本又减少环境负担。充填与支护系统的协同运作不仅延长矿山服务期限，同时有效控制地表沉降幅度，实现开采安全与生态保护的有机统一<sup>[5]</sup>。

### 3.5 数字化与信息化技术

数字化与信息化技术正推动采矿工程向智能化方向转型，通过数据采集、传输与解析实现全过程精细管理。多类型传感器网络持续监测井下环境参数与设备状

态，包括气体浓度、岩体位移及机械运行指标等；无线通信架构确保监测数据的实时传输，云计算与边缘计算技术协同处理海量信息，生成设备调控与风险预警指令。三维地质建模与空间信息系统深度融合，构建矿床可视化模型，支撑开采方案模拟与资源评估；自动化控制系统推动无人化作业模式发展，自主行驶车辆与远程操控钻机减少现场作业人员，提高操作精度与安全性。生产管理平台集成计划调度与设备维护功能，基于算法模型预测故障概率，规划预防性维修方案，以标准化通信协议促进各子系统数据互联，以物联网架构实现采掘运输与提升设备的协同运行。网络安全防护体系保障数据流通安全，防范未授权访问与恶意干扰，该技术体系通过硬件创新与算法优化的持续迭代，为矿业工程的高效运行与可持续发展提供核心支撑。

结束语：采矿工艺与技术的持续创新是推动矿业工程迈向高效、安全与绿色的关键动力。通过对露天台阶开采、地下空场充填、海洋采矿及溶浸采矿等工艺的深入剖析，明确了各类方法的适用条件与优化方向。高效掘进、精准爆破、智能运输等技术的集成应用，显著提升了资源回收率与作业安全性。未来，随着数字化与智能化技术的深度融合，采矿工程将进一步实现全过程精细管控与生态友好型发展，为矿产资源的可持续开发奠定坚实基础。

### 参考文献

- [1]张修民.现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用探究[J].现代工业经济和信息化,2022,12(5):168-169.
- [2]阴宇旸.阐述现代化采矿工艺技术在矿山开采中的应用[J].世界有色金属,2022(5):211-213.
- [3]张骅.现代化采矿工艺技术在标准采矿工程中的应用探索[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(24):155-156.
- [4]张君.现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用[J].山西化工,2021,41(5):203-205.
- [5]朱剑.煤矿采矿工程中的采矿工艺与技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2022(19):25-27.