

采矿工程现代化工艺技术探讨

王 杰

鄂尔多斯市东胜区能源事业发展中心 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要：采矿工程作为资源开发的关键环节，其工艺技术革新对保障能源供应、推动产业升级具有战略意义。综合机械化、充填、自动化及智能开采等现代化技术，通过集成先进装备与信息技术，有效提升资源开采效率、安全性及回采率，同时降低环境负荷。这些技术在深部资源开发、复杂地质条件开采中发挥核心作用，推动行业向高效、安全、绿色方向转型，为实现资源可持续利用与行业高质量发展提供重要支撑。

关键词：采矿工程；现代化；工艺技术

引言

随着全球资源需求攀升与开采环境复杂化，传统采矿技术已难以满足高效、安全、环保的产业要求。现代化工艺技术凭借数字化、智能化及绿色化特征，成为破解行业发展瓶颈的关键路径。本文聚焦综合机械化、充填、自动化与智能开采技术，系统分析其技术原理、应用优势及实践成效，并探讨智能化、绿色化等前沿发展趋势，旨在为采矿工程技术创新与行业转型升级提供理论参考与实践指引。

1 采矿工程概述

采矿工程作为矿业领域的核心技术体系，聚焦于从地壳中安全、高效地开采各类矿物资源，其研究范畴涵盖矿床地质勘探、开采方法设计、巷道掘进支护及矿物运输提升等全流程技术与工程实践。矿床地质特征直接决定开采方案，地质工程师通过钻探取样与地球物理探测，获取矿体形态、产状、矿石品位等关键数据，这些参数是制定开采设计的基础。例如，急倾斜薄矿脉与缓倾斜厚大矿体在开采方式与工艺选择上存在显著差异，前者多采用留矿法、充填法，后者则适合分层崩落法或露天开采。在开采工艺层面，采矿工程需综合运用凿岩爆破、机械采掘等技术手段。凿岩爆破作为传统破岩方式，通过优化炮孔布置、装药量及起爆顺序，提升矿石破碎效果与爆破安全性；机械采掘则凭借连续作业优势，在煤矿、金属矿开采中展现出高效产能，尤其是悬臂式掘进机、连续采煤机等设备的应用，大幅提高了开采效率。巷道支护技术是保障采矿作业安全的关键，根据围岩稳定性，采用锚杆支护、喷混凝土支护或联合支护方案，有效控制巷道变形，防止冒顶、片帮等灾害。现代采矿工程高度依赖智能化与自动化技术革新。无人化采掘设备、智能监控系统逐步应用于井下作业，通过远程操控与传感器实时监测，实现开采过程动态优化与

风险预警。绿色开采理念贯穿采矿工程全生命周期，采用充填开采减少地表沉降，应用选矿新技术提高资源回收率，降低尾矿排放，推动矿业可持续发展。采矿工程不仅是资源开发的技术支撑，更是衔接地质勘查与矿物加工的重要纽带，其技术水平直接影响国家能源与矿产资源的供应安全和经济效益。

2 采矿工程现代化工艺技术分析

2.1 综合机械化开采技术

综合机械化开采技术是通过将多种设备有机组合，构建高度集成化的开采系统，实现煤炭等矿物高效开采的核心技术。该系统以滚筒采煤机、液压支架、刮板输送机为三大核心设备，采煤机凭借螺旋滚筒上截齿的旋转切削，对煤层进行破煤与落煤作业；破碎后的煤炭经由刮板输送机的连续运输，源源不断地输送至工作面运输巷；液压支架则依据采煤机的推进速度，以电液控制系统为支撑，自动完成降架、移架、升架等动作，及时支护采空区顶板，有效防止顶板垮落事故发生。在实际应用中，这种技术适用于煤层厚度稳定、地质构造相对简单的大型矿井，能够显著提升开采效率，将工作面单产提升至传统开采方式数倍。以中厚煤层开采为例，综合机械化开采技术可使日产量达到数千吨甚至上万吨，大幅减少人工干预，降低工人劳动强度，同时凭借精确的设备协同作业，有效控制开采过程中的煤炭损失率，提高资源回收率。随着制造工艺的进步，采煤机截割功率不断提升，液压支架的支护强度与稳定性持续增强，综合机械化开采技术正朝着大功率、大采高、高可靠性方向发展，以适应更复杂的开采条件^[1]。

2.2 充填开采技术

充填开采技术是一种以解决资源开采与环境保护矛盾为核心的现代化采矿工艺，其通过向采空区输送充填材料，支撑顶板并控制岩层移动，有效降低地表沉降，

减少对矿区生态环境的破坏。充填材料种类丰富,涵盖矸石、粉煤灰、工业废渣等固体废弃物,以及膏体、似膏体等混合材料。在工艺实施过程中,第一,对充填材料进行破碎、搅拌、配比等预处理,使其达到适宜的输送和充填性能;第二,借助管道输送系统,利用重力或泵送方式将充填材料输送至采空区,实现对采空区的及时、有效充填。该技术在建筑物下压煤、水体下采煤等特殊开采场景中优势显著,通过精准控制充填体的强度和密实度,可将地表沉降控制在极小范围内,为矿区周边居民生活与生态环境提供有力保障。充填开采技术还能实现固体废弃物的资源化利用,减少废弃物堆存占用土地,降低环境污染风险。在煤矿领域,充填开采技术不仅解决了资源安全开采难题,还推动了绿色矿山建设进程。随着新材料研发与输送技术创新,充填开采技术正朝着高浓度、高流动性、低能耗方向发展,以提升充填效率与效果,扩大应用范围。

2.3 自动化开采技术

自动化开采技术以计算机控制、传感器监测和通信技术为支撑,实现采矿设备的远程操作与自主运行,有效降低人工干预程度,提高开采作业的安全性与稳定性。在煤矿综采工作面,自动化开采系统通过在采煤机、液压支架、刮板输送机等设备上安装各类传感器,实时采集设备运行参数、工作面地质条件等信息,并将数据传输至地面控制中心。控制中心依据预设程序与算法,对设备进行远程调控,实现采煤机自动截割、液压支架自动跟机移架、输送机自动调速等功能。在无人化开采模式下,工作人员可在地面监控室对井下设备进行实时监控与操作,避免工人直接暴露在危险作业环境中,显著降低事故发生概率。自动化开采技术能够通过数据分析优化设备运行参数,提高设备运行效率,减少设备故障停机时间。在金属矿山开采中,自动化凿岩台车、自动装药车等设备的应用,实现了钻孔、装药等作业的自动化,提升了采矿作业的标准化与精准度。随着人工智能与物联网技术的深度融合,自动化开采技术正朝着智能化、自适应方向发展,以更好地应对复杂多变的井下开采环境^[2]。

2.4 智能开采技术

智能开采技术是采矿工程领域的前沿技术,其融合了人工智能、大数据、云计算、5G通信等先进技术,赋予采矿系统自主感知、智能决策、精准执行能力,推动采矿作业向高度智能化方向发展。在智能开采系统中,利用三维激光扫描、地质雷达等探测技术,构建高精度的工作面地质模型,结合实时监测数据,为开采决策提

供准确依据。采煤机配备智能截割系统,通过深度学习算法,能够根据煤岩识别传感器反馈的信息,自动调整截割高度、速度与截齿角度,实现对不同煤岩条件的自适应截割;液压支架则采用智能感知与协同控制技术,可根据顶板压力变化自动优化支护参数,保障支护效果。智能开采技术通过建立数字孪生模型,在虚拟空间中对整个开采过程进行模拟与优化,提前预判潜在风险并制定应对策略。在远程控制方面,基于5G通信的超低时延特性,实现地面控制中心对井下设备的毫秒级响应控制,如同工作人员亲临现场操作。智能开采技术不仅大幅提升了开采效率与资源回收率,还极大改善了井下作业环境,降低了安全风险。随着技术的不断创新与完善,智能开采技术将成为未来采矿工程发展的主流方向,引领行业实现智能化转型升级。

3 采矿工程现代化工艺技术发展趋势

3.1 智能化深度发展

(1) 人工智能与物联网技术深度融合于采矿设备,推动采掘机械的自主化进程。通过搭载高精度传感器与复杂算法,智能挖掘机、凿岩台车等设备能够实时感知矿体结构、地质应力变化,自动调整作业参数,精准完成钻孔、破碎、装载等操作,大幅提升开采效率与作业精度。基于数字孪生技术构建的虚拟矿山系统,可将井下实际工况1:1映射至数字空间,实现生产过程的全流程可视化监控与动态模拟优化,为采矿方案的科学决策提供数据支撑。(2) 无人化开采模式在地下矿山的应用逐渐成熟,无人驾驶矿用卡车借助5G通信与北斗定位系统,在狭窄巷道内实现精准导航与高效运输,避免人员暴露于高风险环境。智能化选矿厂采用机器视觉与机器学习算法,对矿石品位、粒度等参数进行实时在线分析,自适应调整选矿流程与药剂添加量,显著提高矿物回收率与精矿质量,降低生产成本与资源浪费。(3) 智能决策支持系统整合地质、开采、设备运行等多源数据,运用大数据分析 with 深度学习技术,对矿山生产进行全局优化与风险预测。通过建立开采进度、设备维护、安全预警等模型,提前预判潜在故障与安全隐患,实现预防性维护与风险管控,保障矿山安全、高效、可持续运营,引领采矿工程向智能化、智慧化方向持续迈进。

3.2 绿色开采技术创新

(1) 充填开采技术不断革新,积极采用尾砂、废石等固体废弃物作为充填料,不仅解决了废弃物堆积难题,还实现了资源再利用。搭配优质胶结材料与先进的泵送工艺,可精准把充填料输送到采空区。这一做法有效控制了地压活动与地表沉降,减少对周边生态环境的

破坏。充填体经过特殊设计,可作为后续回采的人工矿柱,提高矿产资源回收率,实现资源开发与环境保护的双重目标。(2)微生物冶金技术利用特定微生物对金属矿物的氧化、吸附作用,在温和条件下实现低品位矿石、尾矿中有价金属的浸出提取。该技术无需高温、高压等复杂流程,能耗低、污染小,尤其适用于处理传统选矿技术难以利用的复杂矿石资源,拓宽资源利用边界的同时,降低对环境的负面影响。(3)水资源循环利用系统在矿山广泛应用,通过沉淀、过滤、反渗透等物理化学处理工艺,将矿山废水净化处理后回用于生产环节,如井下防尘、设备冷却、选矿作业等,大幅减少新鲜水取用量与废水排放量。采用生态修复技术对开采扰动区域进行植被重建与土壤改良,恢复矿区生态平衡,实现绿色矿山建设目标^[3]。

3.3 深部与海洋采矿技术突破

(1)深部采矿面临高地温、高应力、高水压等极端复杂环境,新型耐高温、耐高压采矿设备与材料研发成为关键。高强度合金钻头与隔热防护装置的应用,使采矿设备能够在高温、高应力条件下稳定运行;高压密闭式采矿舱体与自动化作业系统,保障深部矿体开采过程中的人员安全与作业效率,突破深部资源开采的技术瓶颈。(2)深海采矿技术聚焦于多金属结核、富钴结壳、海底热液硫化物等资源开发。自主研发的深海采矿机器人配备先进的海底探测与采集装置,能够在数千米深海环境中精准识别目标矿体,通过流体提升或管道输送技术将矿石采集至海面作业平台。深海采矿过程中的环境监测与保护技术同步发展,减少对海洋生态系统的扰动与破坏。(3)深部与海洋采矿技术的突破离不开多学科交叉融合,地质工程、机械工程、海洋工程、材料科学等领域协同创新,推动高精度探测技术、高效开采工艺、安全保障系统等不断升级。随着技术的持续进步,深部与海洋矿产资源将成为未来全球资源供应的重要补充,重塑资源开发格局。

3.4 跨界融合与协同发展

(1)采矿工程与信息技术的跨界融合催生新的生产

模式,区块链技术应用用于矿产资源供应链管理,通过分布式账本记录矿石从开采、运输到交易的全流程信息,实现数据的透明化、可追溯化,提升供应链效率与信任度。云计算与边缘计算技术构建矿山数据处理平台,实现海量数据的实时存储与快速分析,为生产决策提供强大算力支持。(2)与新能源领域的协同发展成为趋势,矿山生产过程中引入太阳能、风能等清洁能源,替代传统化石能源,降低碳排放与能源成本。新能源电池关键金属需求的增长,促使采矿企业与电池生产企业建立战略合作关系,从资源勘探、开采到冶炼加工形成一体化产业链,保障资源稳定供应的同时,推动产业协同升级。(3)跨行业技术共享与创新合作日益频繁,石油工程中的定向钻井技术、航空航天领域的轻量化材料与精密控制技术引入采矿工程,为复杂地质条件下的资源开采提供新思路与新方法。不同矿山企业之间开展技术交流与资源共享,共同攻克技术难题,推动采矿行业整体技术水平提升,实现互利共赢与协同发展^[4]。

结语

综上所述,采矿工程现代化工艺技术通过技术创新与装备升级,显著提升了资源开采效率与安全性,有效缓解了传统开采模式的环境压力。智能化、绿色化与跨界融合趋势正重塑行业发展格局,为深部与海洋资源开发开辟新路径。未来,需持续深化技术研发,强化多学科协同创新,推动采矿工程向更高效、更安全、更绿色的方向迈进,以应对日益复杂的资源开发挑战,实现行业可持续发展。

参考文献

- [1]张立新,程明明.采矿工程中的现代化工艺技术[J].内蒙古煤炭经济,2020(15):75-76.
- [2]李超.采矿工程中的现代化采矿工艺技术[J].当代化工研究,2020(14):119-120.
- [3]李鹏.采矿工程中现代化工艺技术的应用[J].内蒙古煤炭经济,2021(5):181-182.
- [4]徐孟良.采矿工程中现代化采矿工艺技术的应用[J].中国金属通报,2023(24):82-84.