

煤矿掘进工作面快速掘进工艺分析

王金玉

中煤黄家沟(临县)煤业有限公司 山西 吕梁 033000

摘要: 煤矿掘进工作面快速掘进工艺对提升煤炭开采效率与安全性意义重大。研究通过剖析高效破岩、连续装运、及时支护及智能化控制等关键技术,深入探讨该工艺面临的挑战并提出应对策略。在破岩环节,采用机械破岩结合高压水射流等技术,有效提升效率与质量;装运系统运用连续运输设备实现矸石高效转运;锚网索联合支护等及时支护技术保障作业安全;智能化控制技术推动无人化、精准化发展。然而,复杂多变的地质条件,如岩性差异大、构造应力集中及有害因素赋存复杂,设备可靠性与适应性不足,以及技术人才短缺等问题,严重制约其发展。对此,提出加强地质勘探与超前预报、提升设备研发创新能力、强化人才培养与技术培训等对策。研究表明,通过解决现存问题、推动多维度协同发展,可实现快速掘进工艺升级,助力煤矿行业智能化、绿色化发展。

关键词: 煤矿;掘进工作面;快速掘进工艺

引言

在煤炭行业智能化转型加速的背景下,煤矿掘进效率与安全成为制约产业发展的核心因素。传统掘进工艺存在效率低、风险高的弊端,难以满足现代化煤矿开采需求。快速掘进工艺凭借先进技术与装备,实现破岩、装运、支护等环节的高效协同,为煤矿生产带来新突破。本文深入剖析快速掘进工艺的关键技术,探讨其面临的挑战并提出应对策略,旨在为提升煤矿掘进技术水平、保障安全生产提供理论参考与实践指导。

1 煤矿掘进工作面快速掘进工艺概述

煤矿掘进工作面快速掘进工艺旨在通过优化技术组合与设备配置,大幅提升巷道掘进效率,降低施工成本与安全风险。其核心在于突破传统掘进模式局限,综合应用新型破岩、装运及支护技术,形成高度集成化、自动化的作业体系,以适应现代化煤矿高效开采需求。破岩环节作为快速掘进的关键起点,常采用悬臂式掘进机、综掘机等设备实施机械破岩,相较传统钻爆法,机械破岩通过旋转截割头直接破碎岩石,避免了爆破对围岩的扰动,能有效控制巷道成型质量,降低超挖、欠挖现象。对于硬度较高的岩层,还可引入高压水射流辅助破岩技术,利用高压水流的冲击力削弱岩石强度,提升破岩效率。装运系统是实现快速掘进的重要保障,连续运输设备的应用尤为关键。带式输送机与刮板输送机的组合配置,可实现破岩后矸石的连续、高效转运,减少因转载环节造成的时间损耗。部分先进的快速掘进系统配备了跨骑式转载机,能够灵活适应巷道断面变化,与掘进机紧密配合,确保出矸作业流畅无阻。巷道支护同样是快速掘进工艺不可或缺的组成部分。锚网索联合支

护技术凭借其及时、高效的特点,成为主流支护方式。该技术通过锚杆、锚索与金属网的协同作用,在巷道开挖后迅速对围岩施加主动支护力,有效抑制围岩变形,保障作业安全。预紧力可控的新型锚杆、可延伸锚索等新材料的应用,进一步增强了支护结构的适应性与可靠性,为快速掘进提供安全稳定的作业环境。各环节间的高效协同与技术创新,共同推动煤矿掘进工作面快速掘进工艺不断发展,助力煤矿开采迈向智能化、高效化新阶段。

2 煤矿掘进工作面快速掘进工艺的关键技术

2.1 高效破岩技术

煤矿掘进中岩石破碎效率直接制约掘进速度,高效破岩技术通过创新的能量传递与岩石力学特性匹配机制,实现掘进效率突破。基于冲击动力学原理的高频破碎设备,利用高频率、小振幅的冲击荷载作用于岩石表面,在岩石内部形成密集的微裂隙网络,显著降低岩石整体强度,相较传统低频大冲击方式,破岩比能耗降低30%以上。定向聚能爆破技术则通过特殊设计的聚能药包结构,将爆炸能量集中作用于预设破岩方向,在周边眼爆破中实现精确轮廓控制,减少超挖量达15%-20%,同时降低爆破震动对围岩稳定性的影响。高压水射流破岩技术利用超高压泵将水加速至数百米每秒,形成具有极强动能的水射流,通过水楔效应和冲蚀作用破碎岩石,特别适用于软岩及中硬岩掘进,该技术避免了爆破作业的粉尘污染和安全隐患,配合磨料混合系统可拓展至硬岩工况,实现破岩效率与安全性的双重提升。复合破岩技术通过机械截割与高压水射流、激光加热等方式的协同作用,针对不同岩性调整破岩参数组合,在复杂地质

条件下展现出显著的适应性,为掘进效率的持续提升提供了可靠技术路径^[1]。

2.2 连续装运技术

连续装运系统是保障掘进工作面高效运转的核心环节,其通过优化物料流态和设备衔接,实现掘进渣石的快速转运。履带式刮板输送机采用高强度耐磨链板和大倾角设计,在巷道起伏条件下仍能保持稳定输送,其链速控制在0.8-1.2m/s,既能保证物料连续输送,又避免因速度过快导致的物料洒落。桥式转载机通过可伸缩悬臂结构与带式输送机实现柔性对接,采用液压自动调平装置确保设备在复杂底板条件下的稳定运行,最大水平转弯半径控制在8-10m,满足巷道转弯处的连续运输需求。智能调速系统根据输送机负载实时调节运行速度,在空载时降低能耗,满载时提升输送效率,较传统固定速度模式节能18%以上。模块化设计的装运设备可根据巷道断面尺寸快速组装,配套的自清洁刮板和防卡堵装置有效减少设备故障率,使装运系统综合作业效率提升至250-350m³/h。多机联动控制系统通过传感器网络实现各设备间的动作协同,当掘进机截割头接触岩石时,装运设备自动启动并调整至对应输送速度,形成破岩-装运一体化作业流程。

2.3 及时支护技术

及时支护是保障掘进工作面安全的关键,其核心在于支护结构与围岩变形的动态适配。自移式液压支架采用快速升降立柱系统,单个立柱的升降时间控制在8-12s,可在掘进机每完成一个截割循环(通常1.5-2m)后迅速完成支护,支护强度达0.4-0.6MPa,有效抑制围岩初期变形。锚杆锚索联合支护技术通过预应力施加使围岩形成自承拱结构,高强度螺纹钢锚杆采用全长锚固工艺,锚固力不低于150kN,配合可延伸锚索(延伸率 $\geq 8\%$),在高地应力巷道中实现支护结构与围岩的协同变形。喷射混凝土支护采用湿喷工艺,通过添加聚羧酸系减水剂和钢纤维,使混凝土早期强度在4h内达到10MPa以上,回弹率控制在15%以下,有效封闭围岩裂隙并提供持续支护力。智能监测系统实时采集围岩位移、应力数据,当监测值超过预警阈值时,自动启动液压支架的二次补压程序或触发锚杆的预应力补偿装置,实现支护结构的动态强化。新型柔性支护材料如高弹性聚氨酯注浆材料,在破碎围岩中可渗透至微小裂隙形成弹性支撑体,有效缓冲围岩变形能量,提升支护体系的整体稳定性^[2]。

2.4 智能化控制技术

智能化控制技术通过多源信息融合与自主决策,推

动掘进作业向无人化、精准化方向发展。三维地质建模系统利用地质雷达、超前钻探等设备采集数据,结合机器学习算法构建巷道前方地质模型,预测岩石硬度、断层分布等信息,为破岩参数调整提供依据,预测准确率达85%以上。掘进机截割轨迹自动控制系统基于视觉识别技术,通过安装在掘进机上的高清摄像头实时捕捉巷道轮廓,与设计模型对比后自动调整截割头姿态,截割偏差控制在 $\pm 50\text{mm}$ 以内。设备健康管理系统通过振动传感器、温度传感器实时监测关键部件运行状态,采用深度学习算法分析设备故障前兆,提前72h发出维护预警,降低非计划停机时间40%。远程集控平台整合破岩、装运、支护设备的运行数据,操作人员可通过虚拟现实界面实现远程操控,在突发危险情况下快速切换至自动避灾模式。物联网技术实现设备间的数据实时交互,当装运系统堵塞时,破岩设备自动降低作业速度;支护压力不足时,装运设备同步减速,确保各环节协同作业。

3 煤矿掘进工作面快速掘进工艺面临的挑战与对策

3.1 面临的挑战

3.1.1 地质条件复杂多变

煤矿井下地质环境犹如动态的迷宫,岩石力学性质差异显著,断层、破碎带、瓦斯富集区等不良地质体随机分布。不同矿区岩层硬度跨度极大,从软质泥岩到坚硬花岗岩,硬度系数变化范围可达1-20,掘进设备需频繁应对岩性突变带来的截割阻力波动。构造应力集中区域致使巷道围岩变形速率远超常规,部分高应力矿区实测巷道收敛量每日可达50-100mm,严重影响掘进效率与支护稳定性。瓦斯、水等有害因素的赋存状态复杂,高瓦斯矿井瓦斯涌出量波动区间可达5-50m³/min,突水点水压最高能突破5MPa,这些不可控因素随时可能中断掘进作业,形成安全生产隐患。

3.1.2 设备可靠性与适应性不足

现有掘进装备难以完全适应复杂工况,截割头在软硬交替岩层中作业时,易出现刀具异常磨损与截割臂振动过载,某型号掘进机在复合岩层中刀具平均寿命仅为均质岩层的30%。连续运输系统存在明显短板,带式输送机在长距离、大倾角巷道中易出现打滑、撒料现象,刮板输送机链条断裂故障频发,导致物料运输效率降低40%以上。设备智能化程度偏低,远程操控响应延迟普遍超过1s,感知系统对地质变化的识别准确率不足70%,难以实现截割参数的实时自适应调整,制约快速掘进技术的推广应用^[3]。

3.1.3 技术人才短缺

煤矿掘进技术领域专业人才储备不足,熟练掌握快

速掘进工艺的操作人员占比低于30%。复杂设备的维护检修对技术人员要求极高,掘进机液压系统故障诊断需综合分析压力、流量、温度等多参数数据,但多数现场维修人员缺乏系统的故障逻辑分析能力,单次故障处理时间平均延长2-3h。新设备、新工艺的应用需要操作人员具备较强的学习能力与实践经验,而现有从业人员中具备机电一体化、自动化控制等多学科知识背景的复合型人才极为稀缺,导致先进设备无法发挥最佳效能,新技术推广周期显著拉长。

3.2 对策

3.2.1 加强地质勘探与超前预报

(1) 采用多源地质探测技术构建立体感知体系,综合运用三维地震勘探、电磁波CT、瞬变电磁法等手段,对掘进前方30-50m范围精细化探测。三维地震勘探实现煤层等构造毫米级成像,电磁波CT对含水异常区分辨率达0.5m。通过多数据融合处理,将地质异常体识别准确率提升至90%以上。(2) 建立动态地质模型更新机制,利用掘进过程中实时采集的截割电流、振动频率等数据,结合随掘探测数据,每2h自动更新地质模型。采用人工智能算法分析模型变化趋势,预测前方岩层硬度、裂隙发育程度等参数,为截割工艺优化提供数据支撑。(3) 研发智能超前预报系统,集成地质雷达、声波探测等多种传感器,实现探测数据的实时传输与智能分析。当系统检测到断层、破碎带等异常情况时,自动生成预警信息并推送至作业终端,同时给出支护参数调整建议,确保掘进作业安全高效推进。

3.2.2 提升设备研发与创新能力

(1) 开展截割机构仿生优化设计,借鉴穿山甲鳞片排列与犀牛角力学结构,研发新型截齿排布方式与截割头曲面形态。通过仿真模拟与现场试验验证,使截割比能耗降低25%,刀具寿命延长50%,在复合岩层中的截割效率提升30%以上。(2) 构建智能化运输系统,采用磁悬浮驱动技术改造带式输送机,消除传统托辊摩擦损耗,提升运输效率40%。在刮板输送机上应用智能张紧系统与链条应力在线监测装置,当链条张力波动超过阈值时,自动调节张紧力并预警,将链条断裂故障率降低

80%。(3) 开发掘进装备智能控制系统,搭载多传感器融合感知平台,实现截割头转速、进给速度、喷雾压力等参数的自主调节。引入数字孪生技术,在虚拟空间实时映射设备运行状态,通过机器学习算法持续优化控制策略,使设备对地质变化的响应时间缩短至0.3s以内。

3.2.3 强化人才培养与技术培训

(1) 建立企业内部实操培训基地,模拟复杂地质条件掘进作业场景,配真实掘进设备与虚拟仿真系统。培训课程涵盖多模块,采用“理论讲解+实操演练+案例分析”模式,使新员工3个月内掌握基础技能,6个月内能独立处理常见故障。(2) 开展技术骨干进阶培养计划,组织优秀技术人员参与行业前沿技术研讨会,与设备制造商联合开展技术攻关项目。针对智能化掘进设备,定期邀请专家进行专项培训,重点讲解自动化控制原理、大数据分析应用等内容,培养既懂设备又懂技术的复合型人才。(3) 搭建线上学习交流平台,整合设备操作手册、维修案例库、技术视频教程等资源,方便员工随时随地学习。设立技术交流社区,鼓励员工分享工作经验与创新想法,对提出有效改进方案的员工给予奖励,营造良好的学习创新氛围,持续提升团队整体技术水平。

结语

综上所述,煤矿掘进工作面快速掘进工艺凭借一系列关键技术,极大提升了煤矿开采的效率与安全性。但复杂地质条件、设备性能局限及人才短缺等问题仍亟待解决。未来需持续深化地质勘探技术应用,加强设备研发创新,构建完善人才培养体系。通过多维度协同发展,推动快速掘进工艺不断升级,助力我国煤矿行业向智能化、绿色化方向迈进。

参考文献

- [1]赵伟.煤矿掘进工作面快速掘进工艺技术研究[J].机械管理开发,2022,37(7):325-326,331.
- [2]王保健.煤矿掘进工作面快速掘进工艺技术研究[J].石油石化物资采购,2024(20):109-111.
- [3]岳峰.煤矿岩巷掘进工作面快速掘进工艺研究[J].能源与节能,2024(8):169-172.