

煤矿掘进巷道快速掘进技术与装备配套方案研究

赵鸿鹏

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 751400

摘要: 煤矿巷道掘进作业易受围岩赋存状态、井下地质环境与传统施工模式限制,整体掘进效率与施工稳定性难以提升。本文梳理巷道掘进的基础条件与固有制约短板,系统阐释快速掘进破岩、支护、出渣运输及围岩稳定控制核心技术,逐层剖析配套掘进装备的结构特性与适配模式,结合井下施工实际工况,优化掘进工序衔接、装备协同、地质适配及系统化提质增效的实施路径,能够有效改善巷道掘进施工短板,为煤矿巷道高效、规范掘进施工提供可靠的技术参考。

关键词: 煤矿巷道;快速掘进;掘进技术;配套装备;施工优化

引言: 巷道掘进是煤矿井下开采的前置核心工序,施工效率与成型质量直接关系矿井整体生产接续与作业安全。井下复杂多变的围岩条件、封闭特殊的施工环境,会对掘进施工形成多重约束。传统掘进施工工序固化、装备适配性弱、围岩管控方式被动,难以适配现代化矿井高效掘进的生产需求。依托先进快速掘进技术与成套配套装备,优化施工体系与作业模式,能够化解传统掘进模式的各类短板,改善井下掘进施工条件,持续提升巷道掘进的规范化与高效化水平。

1 煤矿巷道掘进基础条件与掘进制约因素

1.1 巷道掘进围岩赋存基础条件

煤矿井下巷道掘进作业依托原生围岩结构开展,围岩自身的结构状态是影响掘进作业开展的根本基础^[1]。不同煤层及顶底板岩层的结构组成存在明显区别,岩层自身的坚硬程度、分层状态、完整程度都会改变巷道掘进的施工难度。岩层结构完整、整体性较好的掘进区域,围岩自身具备稳定承载能力,巷道成型状态更为规整,掘进作业能够保持稳定推进状态。岩层破碎、节理发育充分的区域,围岩整体稳定性偏弱,巷道成型过程中易出现结构松散、岩体脱落等问题。围岩内部的岩层组合形式存在较大差异,顶板岩层厚度、底板岩层硬度、侧帮岩体致密程度,都会对掘进截割、巷道成型以及后续围岩管控工作形成直接影响。围岩赋存状态的差异性,决定掘进施工方式的选取方向,也界定井下巷道施工的基础作业环境。

1.2 巷道掘进施工环境与地质影响条件

井下巷道处于封闭地下空间,施工环境相较于地面工程存在极强特殊性。地下空间通风条件有限,粉尘、

瓦斯等介质会持续积聚,空间视野受限,整体作业环境更为复杂。地质构造的分布状态会对掘进施工形成直接干扰,断层、褶皱、陷落柱等地质构造会打乱原有岩层的稳定结构,造成岩层硬度突变、结构紊乱。地下水发育区域会软化表层岩体,降低岩层整体强度,让围岩稳定性持续下降。地应力的分布变化同样会作用于巷道掘进过程,高地应力区域的岩体易出现挤压变形,巷道成型后易发生收缩、开裂等形变问题。各类地质与环境条件相互作用,构成井下巷道掘进的整体施工基底。

1.3 传统巷道掘进施工的固有制约因素

传统巷道掘进施工模式沿用固定作业流程,整体施工体系存在明显短板。施工工序划分相对固化,各作业环节衔接灵活性不足,整体作业节奏难以根据现场地质状态灵活调整。施工设备功能单一,各类设备作业范围固定,不同施工环节的设备适配性较差,难以适配复杂多变的井下地质环境。围岩管控模式较为被动,多依托成型后的支护作业保障巷道稳定,前期围岩扰动控制力度不足。传统截割作业对围岩扰动深度可达1.2m,施工流程对岩体扰动控制精度偏低,截割作业易破坏原生围岩结构,加剧岩体破碎程度。老旧施工体系的适配性缺陷,会持续限制巷道掘进作业效率提升,难以适配现代化井下高效掘进的施工需求。

2 煤矿巷道快速掘进核心技术

2.1 巷道高效破岩掘进技术原理与技术形式

破岩作业构成巷道掘进的主体工序,施工质量与推进速度直接影响巷道建设整体进度。破岩技术依托力学作用瓦解岩层内部结构粘结力,促使岩体与母体岩层分离,规整出符合设计标准的巷道空间轮廓。机械

截割技术依靠掘进设备刀具持续切削岩壁, 分层剥离破碎岩体, 适配结构均匀、硬度较低的煤岩巷道, 能够保持平稳的施工节奏^[2]。硬岩巷道施工可采用集约化破岩方式, 通过集中作用力破坏致密岩层结构, 攻克坚硬岩体难以切削、成型不规整的施工难题。不同破岩方式对应差异化的地质工况, 能够适配复杂多变的井下岩层环境, 为巷道高效推进筑牢技术基础。

2.2 巷道临时支护与永久支护配套技术

井下原有围岩处于应力平衡状态, 掘进施工会打破固有结构, 裸露岩壁易出现松动、开裂和掉落问题。支护技术能够主动干预围岩状态, 维持巷道空间的结构完整性。临时支护应用于巷道成型初期, 快速覆盖裸露岩面, 约束浅表岩体松动变形, 填补巷道成型至永久支护施工的空档期。永久支护依托锚杆、锚索、金属网、喷射混凝土等构件组合成型, 构建长效防护体系。锚杆锚索深入围岩深部, 固结松散岩层, 提升整体结构强度。表层防护构件封闭岩壁裂隙, 隔绝井下潮湿空气与水汽侵蚀。两级支护分工明确、互为补充, 搭建起完整的巷道围岩防护体系。

2.3 巷道出渣与运输连续作业技术

掘进施工产生的破碎岩渣会占用有限的巷道作业空间, 干扰破岩、支护等关键工序开展。连续作业技术优化传统间断式清渣模式, 搭建一体化的岩渣处置流程。整套作业体系依托专用机械化运输设备, 适配井下狭窄的施工空间, 有序完成岩渣收集、转运、排出全流程作业。机械化作业模式简化繁琐的人工清渣流程, 减少人力投入, 提升岩渣处置效率。有效规避岩渣堆积引发的施工停滞问题, 缩减岩渣处理占用的施工时长, 保障掘进各道工序有序衔接, 提升巷道整体施工流畅度。

2.4 巷道围岩动态稳定控制技术

掘进扰动会改变井下应力分布状态, 围岩会随施工推进产生持续性形变与裂隙发育。动态稳定控制技术依托围岩形变发育规律, 对巷道结构进行全过程管控治理。结合围岩松动程度、形变特征、裂隙扩展情况, 针对性调整施工工艺与管控方案。通过优化支护布设形式、调整结构加固强度, 降低掘进扰动对围岩的破坏作用, 遏制裂隙持续扩张与岩体松散脱落。减少围岩失稳引发的施工隐患, 全程保障巷道结构稳定, 适配快速掘进的施工与安全要求。

3 快速掘进配套装备与适配模式

3.1 破岩掘进主力装备结构与工作机制

破岩掘进装备构成巷道快速施工的核心硬件载体,

整体结构围绕井下掘进工况特点设计打造, 主要涵盖截割、行走、操控以及防护四大核心结构。主流掘进设备截割功率可达 270 ~ 560kW, 截割结构作为核心作业单元, 依靠刀体旋转带动硬质刀齿接触岩壁, 通过切削、剥离、碾压等机械作用破碎煤岩体, 完成巷道轮廓塑造。行走结构保障设备在狭小巷道内部灵活位移, 适配巷道持续向前推进的作业状态^[3]。操控结构能够微调截割角度、进给深度与行进速率, 适配不同岩层硬度与岩体结构的施工需求。防护结构抵御落石冲击与粉尘侵蚀, 降低恶劣工况对设备本体的损耗。整套设备依托稳定的机械传动结构完成自动化破岩作业, 支撑巷道掘进作业稳定开展。

3.2 支护装备的结构组成与适配特性

支护装备主要服务于巷道围岩加固与稳定管控, 按照作业用途可划分为临时支护装备与永久支护装备。临时支护装备多采用机载伸缩支架结构, 作业启动速度快, 可快速覆盖新暴露岩壁, 约束浅层岩体松动变形, 填补巷道成型后的围岩防护空白。永久支护装备包含锚杆钻机、锚索张拉机具、混凝土喷射设备等, 分别对应深部岩体锚固与表层岩壁封闭作业。设备整体结构紧凑, 机身尺寸适配井下狭窄作业空间。作业参数可根据围岩破碎程度、岩层应力状态灵活调整, 适配多种复杂围岩工况, 构建稳定性更强的巷道支护体系。

3.3 出渣运输及辅助作业装备配置形式

出渣运输装备负责掘进废渣的收集与转运处理, 是保障掘进工序有序推进的关键配套设施。井下掘进施工多选用刮板输送设备、连续输送设备作为核心出渣设备, 持续处理掘进产生的碎岩废渣, 避免废渣堆积阻滞施工进度。辅助作业装备覆盖井下施工环境优化的多个维度, 包含通风设备、除尘设备、巷道修整设备等。通风设备改善井下空气流通条件, 稀释巷道内部有害气体浓度。除尘设备抑制掘进作业产生的扬尘, 净化巷道作业环境。各类设备相互配合、协同运行, 完善快速掘进的成套硬件配置。

3.4 不同掘进技术对应的装备适配组合方式

各类掘进技术的施工流程、作业强度与适用工况存在明显区别, 硬件配置需要对应匹配专属组合模式。常规软岩掘进工艺适配轻型截割设备、简易支护设备与小型输送设备, 满足常规巷道平稳推进的施工需求。硬质岩层掘进工艺需要搭载大功率破岩设备与高强度支护设备, 强化硬岩破碎能力与围岩防护水平。连续化掘进工艺可搭配成套输送设备与标准化辅助设备, 完善掘进全

流程硬件配套。科学匹配工艺与装备组合,能够弥补单一设备适配性不足的问题。充分发挥成套设备的作业优势,提升巷道掘进施工的整体质量与推进效率。

4 快速掘进技术与装备配套优化策略

4.1 掘进工序衔接优化方法

井下巷道掘进各施工环节存在独立的作业周期,工序排布方式直接影响现场施工推进节奏。传统掘进作业划分方式较为固化,各施工环节独立开展,环节交替阶段会产生大量作业空档。破岩完成后未能及时开展清渣作业,支护施工等待时间过长,都会压缩有效施工时长。针对工序衔接问题,可对现场施工环节进行重组排布^[4]。依据各工序作业特性,调整环节交替顺序,压缩不必要的作业间隔。对重复性施工环节进行整合处理,减少工序切换频次。结合巷道断面尺寸、现场施工条件,固定各工序作业时长与流转顺序,形成固定的施工流转模式。减少无序作业带来的进度延误,让每一轮掘进循环都保持紧凑的作业节奏,有效加快巷道掘进推进速度。

4.2 装备协同作业匹配优化路径

快速掘进现场配备的各类装备拥有不同的作业范围与运行节奏,设备运行参数不统一、作业区域划分混乱,都会制约整体施工开展。部分设备作业负荷过高,其余设备长期处于闲置状态,造成硬件资源浪费。装备协同优化需要聚焦设备作业适配性开展调整工作。根据掘进、支护、运输设备的作业能力,划分专属作业区域,规避设备运行过程中的空间交叉干扰。结合施工推进节奏调整设备运行参数,统一设备作业负荷标准,平衡各类装备的作业强度。优化现场设备布设形式,缩短设备移位、对接的耗时。细化设备作业分工,明确各类装备在掘进循环中的作业内容,推动成套设备有序联动,充分释放成套硬件设备作业潜能,提升整体施工效率。

4.3 复杂地质条件下配套体系调整思路

井下岩层结构、围岩状态会随掘进推进持续变化,常规工况适配的技术与装备配置无法适配特殊地质环境。破碎围岩、软岩地层、地质构造带周边的施工条件更为苛刻,固定的掘进模式容易出现施工适配不足的问题。

地质条件较差的区域,可选用低扰动破岩方式,降低机械截割对围岩结构的破坏。提升支护布设密度,更换高强度支护构件,强化松散围岩的约束能力。岩层硬度突变的地段,更换适配截割设备,微调截割作业参数,适配岩体硬度变化。围岩渗水、粉尘浓度偏高的地段,升级辅助作业设备配置,强化环境治理力度。

4.4 掘进作业系统化提质增效优化方向

掘进作业提质增效需要从施工细节与硬件配置层面逐层优化,补齐现场施工短板。细化各施工环节的作业标准,规范破岩截割深度、支护布设间距、岩渣清理标准等关键施工内容,弱化人工操作差异带来的施工质量偏差。更新老旧作业设备,完善成套装备配置,补齐单一设备作业短板。结合巷道掘进的现场工况,微调技术应用方式,让施工工艺适配现场环境变化。规范现场设备管护流程,维持装备稳定的作业状态,减少设备故障造成的施工停滞。

结束语

巷道快速掘进技术与配套装备的合理适配,是提升煤矿井下掘进施工质量与作业效率的关键。通过梳理掘进施工基础条件与制约因素,明确各类快速掘进核心技术的应用特性,厘清不同装备的适配场景与组合模式,从工序衔接、装备协同、地质适配、系统优化多个维度完善掘进施工体系。多维度的优化调整可以有效弥补传统掘进施工的各类缺陷,强化复杂地质工况的施工适配能力,保障煤矿巷道掘进作业平稳高效开展,夯实矿井安全生产与高效开采的施工基础。

参考文献

- [1] 张凯棋. 煤矿矿井建设中岩石巷道的快速掘进技术实践分析[J]. 能源与节能,2026(3):276-278.
- [2] 郭永新. 岩石巷道快速掘进支护技术在煤矿矿井建设中的应用[J]. 凿岩机械气动工具,2026,52(5):148-150.
- [3] 杜鹏程,魏增录,杨熙福,等. 煤矿巷道快速掘进技术的优化策略与工程实践研究[J]. 价值工程,2026,45(3):102-104.
- [4] 姜春力,黄明明,杜建新. 煤矿回采巷道快速掘进技术的应用[J]. 内蒙古煤炭经济,2025(10):118-120.