

煤矿掘进巷道快速施工技术与配套装备的协同优化

甄创家

宁夏王洼煤业有限公司 宁夏 固原 756509

摘要：国内煤矿巷道掘进普遍存在工序衔接不畅、装备适配性差、作业流程分散等问题，整体掘进效率受限。立足煤矿智能化、集约化发展趋势，本文聚焦巷道快掘技术与配套装备协同作业，梳理当前施工、装备配套的现存问题，优化掘、支、运各工序衔接方式与装备组合模式，完善智能协同作业机制。通过技术与装备双向协同优化，破解传统掘进作业脱节、设备利用率低、施工效率不足的问题，为煤矿巷道高效连续施工提供可行的优化参考。

关键词：煤矿；掘进巷道；快速施工技术；配套装备；协同优化

引言

煤炭行业整体向集约化、智能化生产转型，巷道掘进是煤矿井下开采的关键前置工序，其施工效率直接影响矿井整体产能。传统掘进采用工艺单一、装备分散的作业模式，掘进、支护、运输各环节独立运行，工序间隔久、设备匹配度低。井下开采深度增加、地质条件趋于复杂后，传统施工模式的效率缺陷更加明显，难以满足现代化矿井高产高效的生产标准。当前行业提质增效的核心方向，集中在新型快掘技术应用、成套装备优化配置、多作业环节联动协同，是提升巷道掘进效率的关键途径。

1 煤矿巷道快速施工与装备配套整体现状

目前国内煤矿巷道掘进已经摆脱传统人工主导、小型设备分散作业的模式，基本实现机械化全覆盖，多数矿井逐步推广智能化掘进作业体系。当下主流掘进模式以机械化掘锚作业为主，配套运输、除尘、支护等专用设备，整体作业机械化水平大幅提升，但整体协同作业体系仍处于完善阶段。多数矿井的掘进施工技术与配套装备采用固定搭配模式，未结合井下地质条件、巷道规格、开采工况动态调整，出现技术工艺与现场工况不匹配、装备参数与施工节奏不契合的问题。从施工技术层面来看，传统掘进工序拆分较为零散，掘进、临时支护、永久支护、物料运输分步开展，各工序之间存在较长等待间隔，有效作业时长占比偏低。近年推广的一体化掘进技术，初步实现多工序并行作业，但多数矿井仍存在工序衔接不顺畅、作业流程标准化程度低的问题，复杂地质条件下的施工适配性不足，无法持续保持高效掘进状态^[1]。从配套装备层面来看，现有掘进装备品类齐全，涵盖截割、支护、运输、除尘等全系列设备，大

功率截割设备、自动化钻锚设备、智能输送设备逐步普及。但多数矿井存在装备选型固化、成套性不足的问题，不同厂家、不同型号设备混用情况普遍，设备之间运行参数不兼容、控制逻辑不统一，无法实现联动运行。单台设备运行效率达标，但成套系统整体作业效率偏低，设备闲置、启停频繁、故障干扰等问题频发。从协同作业层面来看，现阶段掘进作业多为人工操控、分段管控，各设备独立运行，缺乏统一的智能调度与联动控制机制。掘进速度、支护节奏、运输效率无法实时匹配，出现掘进超前、支护滞后，或者运输卡顿制约掘进作业的情况。整体来看，当前煤矿快掘发展的核心瓶颈不再是单一技术、单一设备的性能短板，而是技术与装备、各工序、各设备之间的协同适配性不足，优化技术装备协同体系成为突破掘进效率上限的关键。

2 巷道快速施工核心配套体系

2.1 掘进施工工艺体系

现代化煤矿巷道快速施工工艺以一体化、并行化、集约化为核心发展方向，摒弃传统分步循环作业模式，重构掘进作业整体流程。当前主流工艺体系围绕掘锚平行作业、支护同步施工、连续运输运行三大核心搭建，打破各工序独立作业的局限，压缩非作业等待时长。工艺设计不再采用统一标准模式，而是结合巷道围岩稳定性、煤层硬度、地质构造等条件动态调整作业流程。围岩条件较好的巷道，重点优化掘进与永久支护的并行作业流程，在保证作业安全的前提下，缩短单循环作业周期。复杂地质条件巷道，优先优化临时支护跟进速度，调整截割进尺参数，匹配围岩变形规律，避免空顶距过大影响作业连续性。同时，当下快掘工艺融入智能感知适配机制，依托井下环境监测数据，实时调整截割

节奏、支护间距、作业步距,替代传统固定循环作业模式。新型施工工艺简化冗余作业环节,整合重复作业流程,将传统多道独立工序整合为连续作业链条,减少设备频繁启停、人员反复定位的无效作业。工艺体系同步适配绿色施工需求,将除尘、降温、降噪作业融入掘进全流程,实现高效施工与环境管控同步推进,保障井下作业连续稳定开展,适配现代化煤矿长效生产需求。

2.2 掘进成套装备配置体系

巷道快速掘进成套装备以掘锚主机为核心,搭配智能运输、自动支护、智能除尘、辅助保障设备,形成完整的机械化、智能化作业单元。现阶段装备配置摒弃单一设备选型模式,转向成套化、匹配化、一体化配置,保障各设备运行参数、作业节奏相互适配。核心掘进设备以大功率纵轴、横轴截割设备为主,适配硬岩、半煤岩等不同巷道截割需求,设备功率密度、运行稳定性持续提升^[2]。支护装备完成从单体钻机到自动化钻锚设备的升级,钻锚一体化设备实现钻孔、锚固、安装一体化作业,简化传统支护作业流程。运输装备采用可伸缩式智能输送设备,搭配自移机尾装置,实现掘进跟进式连续运输,解决传统运输设备移位繁琐、衔接滞后的问题。辅助装备包含智能除尘、围岩监测、设备巡检装置,为连续掘进提供基础保障。成套装备配置重点强调型号适配、参数兼容、功能互补,统一设备运行控制逻辑,减少不同设备运行节奏偏差。同时装备配置贴合智能化改造需求,搭载数据采集、状态监测、远程调控模块,为后续多设备协同联动、智能调度提供硬件支撑,构建适配高效快掘的硬件配套体系。

2.3 作业协同运行体系

巷道掘进作业协同体系是衔接施工工艺与配套装备的核心载体,主要实现工序协同、设备协同、人机协同三大核心功能。传统作业模式无系统化协同机制,各环节独立管控,导致整体作业效率损耗。现代化协同体系以连续作业为目标,打通掘进、支护、运输、辅助作业之间的衔接壁垒,实现各环节同步推进、动态适配。工序协同方面,建立动态循环作业机制,根据实时施工进度调整各工序作业时长与作业顺序,杜绝工序脱节、作业等待等问题。设备协同方面,搭建统一的设备联动控制逻辑,实现掘进设备、支护设备、运输设备的启停联动、速度匹配,避免单一设备超速、滞后引发的作业卡顿。人机协同方面,简化人工操作流程,依托自动化、智能化设备减少人工干预,将人工操作聚焦于设备巡检、参数微调、隐患排查等核心工作。同时协同体系融入数据联动机制,汇总各设备运行数据、施工进度数

据、环境监测数据,实现作业状态实时研判、运行故障提前预警、施工节奏动态优化,全方位提升巷道掘进作业的连续性与稳定性。

3 快速施工技术与配套装备协同优化策略

3.1 施工工艺与装备选型适配优化

工艺与装备的精准适配是提升巷道掘进效率的基础,现阶段多数矿井效率偏低的核心原因在于工艺模式与装备性能不匹配,固定工艺搭配固定设备的模式无法适配复杂多变的井下工况^[3]。协同优化需要打破传统固化搭配模式,建立工况导向的动态适配机制,根据巷道地质条件、断面规格、开采进度,针对性匹配施工工艺与成套装备。针对普通煤巷施工场景,简化掘进循环工艺,采用大进尺连续截割工艺,搭配大功率快速截割设备与同步支护装备,提升单循环进尺与作业速度。针对半煤岩、硬岩巷道场景,调整截割工艺参数,采用小进尺、多循环的平稳截割模式,搭配高稳定性、高耐磨截割装备,降低设备损耗,减少故障停机时长。针对深部复杂地质巷道,优化临时支护前置工艺,搭配快速钻锚装备,缩短空顶暴露时长,保障作业安全的同时维持连续施工状态。装备选型优化摒弃盲目追求大功率、高性能设备的思路,以工艺需求为核心匹配设备参数。并行作业工艺需搭配多臂同步支护设备、分体式掘进设备,保障多工序同步开展;连续运输工艺需搭配可自适应调速的输送设备,匹配掘进截割出煤量变化。同时同步优化工艺细节,根据装备运行特性调整作业步距、循环周期、工序顺序,规避设备性能短板,最大化发挥装备作业效能。

3.2 多设备联动协同运行优化

煤矿巷道掘进属于多设备联合作业工程,单台设备效率提升无法带动整体作业效率升级,必须通过多设备联动协同优化,打通设备之间的运行壁垒,实现成套装备一体化作业。传统作业模式下,各设备独立操控、单独运行,运行速度、启停时机、作业范围无法同步,容易出现掘进设备完成截割作业后,支护、运输设备未及时跟进,造成作业空档,或者运输设备过载、空载运行,浪费设备能耗。多设备联动优化核心是搭建一体化联动控制机制,统一所有配套装备的运行基准,实现掘进、支护、运输、除尘设备的同步启停、动态调速、作业衔接。依托设备自带的传感监测模块,实时采集截割速度、出煤量、支护进度、运输负荷等数据,通过集中控制系统实现各设备参数自动适配^[4]。掘进设备截割速度提升时,运输设备自动调高运行速度,支护设备同步跟进作业;截割作业暂停时,配套辅助设备同步停机,

减少无效能耗与设备磨损。同时优化设备空间布局与作业时序,根据巷道断面尺寸调整各设备安装位置、作业范围,避免设备运行干涉、作业重叠、空间拥堵的问题。梳理各设备作业时序,明确主次作业设备与辅助作业设备的配合逻辑,让核心掘进作业持续推进,辅助作业同步跟进,无间断衔接。

3.3 工序流程集约化协同优化

巷道掘进整体作业效率的提升,核心在于压缩非有效作业时长,优化工序衔接流程,实现全工序集约化运行。传统掘进工序划分细致、分步作业,工序之间交接、等待、复位的无效时长占比过高,有效掘进作业时长占比不足一半,是制约快掘效率的重要因素。工序流程协同优化以并行化、集约化、简化化为核心,重构全流程作业体系。首先推进串行工序改并行作业,将原本分步开展的截割、清浮煤、临时支护、钻孔锚固等工序,调整为交叉并行作业模式。在掘进设备完成局部截割作业后,支护设备即刻跟进作业,无需等待整段巷道截割完成,大幅压缩单循环作业周期。同时整合冗余工序,合并功能重复的作业环节,简化设备移位、人员定位、现场检查等辅助流程,减少无效作业步骤。其次优化工序衔接标准,制定统一的工序交接规范,明确各工序作业完成标准、交接时限、衔接方式,杜绝人为操作导致的工序拖延、衔接滞后。结合智能监测数据,预判工序作业进度,提前做好下一工序的设备、人员准备,实现工序无缝衔接。针对地质条件变化场景,动态调整工序优先级,围岩不稳定时优先保障支护工序跟进,围岩稳定时侧重提升掘进截割效率^[5]。最后建立全流程工序管控机制,跟踪各工序作业时长、作业质量、衔接状态,针对频繁卡顿、效率偏低的薄弱工序进行针对性优化。

3.4 智能管控协同体系优化

智能化协同管控是当下煤矿巷道快掘技术升级的核心方向,也是实现技术与装备深度协同的关键手段。传统协同管控依赖人工调度、现场管控,管控精度低、响应速度慢,无法适配现代化成套装备的高效作业需求。智能管控协同体系依托数据采集、智能分析、自动调控技术,实现掘进全流程、全装备、全工序的智能化协同管理。智能管控体系搭建一体化数据采集平台,对接所有掘进配套装备的监测模块,实时采集设备运行参数、

作业进度、故障信息,同时汇总井下围岩状态、巷道环境、地质变化等数据,形成掘进作业大数据资源。通过智能分析算法,对数据进行实时研判,精准识别工序衔接漏洞、设备运行异常、作业效率短板,为协同优化提供数据支撑。依托数据分析结果,系统实现自主调控优化,自动调整各设备运行参数、各工序作业节奏,动态匹配现场施工工况。当监测到围岩应力变化时,系统自动放缓掘进速度、加快支护进度;当监测到运输负荷不足时,自适应调整截割进尺,保障作业负荷均衡。同时搭建远程管控平台,实现掘进作业远程监测、参数微调、故障预警,减少现场人工干预,提升管控精准度与及时性。

结语

煤矿巷道快速施工的发展重点,已从单一技术、设备升级转变为技术与装备的深度协同优化。本文结合巷道快掘作业现状,围绕工艺装备适配、多设备联动、工序集约化、智能管控四个方向,提出适配智能化发展的协同优化方案。相关优化方式可改善传统掘进工序脱节、设备利用率低、施工效率不足等问题,提升巷道掘进的稳定性与作业效率。未来煤矿快掘将持续推进智能集约化升级,完善技术装备协同体系,助力煤矿安全、高效、绿色开采。

参考文献

- [1] 王宁宁.复杂地质条件下煤矿巷道快速掘进与协同支护技术探究[J/OL]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026,(4):054-057.
- [2] 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.
- [3] 高爽.煤矿巷道快速掘进与支护协同技术研究[J/OL]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025,(10):057-060.
- [4] 周开平.煤矿智能化掘进成套装备工艺及技术研究[J]. 煤炭工程,2025,57(4):12-18.
- [5] 丁振华,吴家梁,姜德义,等.煤矿巷道智能掘进装备的关键技术问题探讨[J]. 中国煤炭,2020,46(11):58-62.