

Research on Optimization of High-efficiency Tunneling Technology for Coal Mining Working Face

Hanbin Wang

Shanxi Xinzhou Shenda Qifeng Coal Industry Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 036700, China

Abstract

The excavation efficiency of coal mine working faces is directly related to mine production capacity and resource development benefits. Under complex geological conditions and high-intensity mining, traditional excavation processes face higher requirements in balancing efficiency and safety. Focusing on issues such as insufficient equipment coordination, poor process connection, and lagging support during excavation, this study systematically analyzes the optimization paths of high-efficiency excavation processes. By examining key factors including geological conditions, equipment configuration, and operation organization, fast excavation equipment, integrated support technologies, and dynamic parameter regulation methods are integrated to construct an efficient excavation technical system adaptable to variable working conditions. On this basis, process optimization and multi-process coordination mechanisms are strengthened, while safety risk control and quality assurance systems are improved, promoting the development of excavation operations toward continuity, refinement, and high efficiency, and providing support for enhancing coal mine production efficiency and safety levels.

Keywords

coal mine excavation; high-efficiency excavation process; process optimization; coordinated operation; safety management

煤矿采掘工作面高效掘进工艺优化研究

王汉斌

山西忻州神达栖凤煤业有限公司, 中国 · 山西 忻州 036700

摘要

煤矿采掘工作面掘进效率直接关系到矿井生产能力与资源开发效益,在复杂地质条件与高强度开采背景下,传统掘进工艺在效率与安全之间的平衡面临更高要求。围绕掘进过程中的设备协同不足、工序衔接不畅及支护滞后等问题,对高效掘进工艺优化路径进行系统梳理。通过分析地质条件、装备配置与作业组织等关键因素,整合快速掘进装备、支护一体化技术及动态参数调控方法,构建适应多变工况的高效掘进技术体系。在此基础上,强化流程优化与多工序协同机制,完善安全风险管控与质量保障体系,推动掘进作业向连续化、精细化与高效化方向发展,为提升煤矿生产效率与安全水平提供支撑。

关键词

煤矿掘进; 高效掘进工艺; 工艺优化; 协同作业; 安全管控

1 引言

煤矿资源开发不断向深部与复杂区域延伸,采掘工作面地质条件呈现出高应力、多断层及围岩不稳定等特征,掘进作业面临的技术挑战持续加剧。掘进效率作为制约矿井生产接替与经济效益的重要指标,其提升不仅依赖单一技术改进,还需要从工艺体系、装备配置及组织管理等多维度协同推进。在实际生产过程中,设备利用率不均、工序衔接不紧密以及支护与掘进节奏不匹配等问题较为普遍,导致掘进进度波动明显,安全风险随之增加。随着综掘装备与施工技术不断发展,掘进工艺逐步向机械化与连续化方向演进,对工

艺集成与动态调控提出更高要求。在此背景下,从系统优化视角对采掘工作面掘进工艺进行梳理与提升,对于实现高效、安全与稳定生产具有重要意义。

2 煤矿采掘工作面高效掘进工艺的基础条件与影响因素分析

2.1 地质构造特征对掘进效率的制约机理

煤矿采掘工作面所处地质构造直接决定掘进作业的复杂程度与稳定性水平。断层发育区、褶皱构造带及软硬岩层交替区域均会引发围岩应力重新分布,使掘进过程中顶板破碎、帮部失稳等现象频繁出现,进而影响设备运行效率与作业连续性。在高应力环境下,围岩变形速率可达 3~8 mm/d,局部区域甚至超过 10 mm/d,导致支护需求加剧并增加停工处理时间。含水层与瓦斯赋存条件复杂区域还会对施工安全

【作者简介】王汉斌(1984-),男,中国河南鲁山人,本科,工程师,从事矿井采掘工程、技术管理及现场实施研究。

与通风条件形成叠加影响,使掘进工艺参数调整频繁。地质条件的不确定性使掘进过程难以保持稳定节奏,增加了作业组织与技术控制难度,成为制约掘进效率提升的重要因素。

2.2 围岩稳定性与支护条件对工艺选择的影响

围岩稳定性是决定掘进工艺类型与支护方式的重要依据,不同稳定等级下对施工工艺的适应性存在显著差异。在Ⅰ~Ⅱ类稳定围岩条件下,围岩自稳能力较强,允许采用较大循环进尺,单循环进尺可达到1.2~1.5 m,有利于提高施工效率。在Ⅲ类及以下围岩条件中,顶板破碎程度加剧,围岩松动圈范围扩大至1.5~3.0 m,掘进过程中需配置密集支护措施,如锚杆间距缩小至0.7 m以内或增加锚索加固,从而延长作业时间。支护形式与掘进节奏之间存在明显耦合关系,支护滞后或强度不足均会引发围岩失稳,影响施工连续性。合理匹配支护方式与掘进工艺,有助于在安全与效率之间形成协调平衡。

2.3 设备配置水平与作业组织对掘进效率的作用

设备配置水平直接决定掘进系统的生产能力与稳定运行程度,高效掘进依赖于截割、装运、支护等设备之间的协同配合。综掘机截割功率提升至200~315 kW时,单位时间截割量可提高20%以上,但若运输系统能力不足,物料堆积将造成停机等待现象,降低整体效率。作业组织方式对设备利用率具有重要影响,单班有效作业时间通常占班次时间的65%~75%,通过优化工序衔接与减少非生产时间,可提升至80%以上。人员配置、班组协同及现场调度水平也会影响施工节奏,合理安排交叉作业与工序衔接,有助于实现连续化生产,提升掘进效率与设备运行稳定性^[1]。

3 煤矿采掘工作面掘进工艺类型及适用性分析

3.1 综掘工艺结构特征与适用条件

综掘工艺以机械化连续截割为核心,集截割、装运与支护于一体,具有作业连续性强、劳动强度低及效率稳定等特点。在煤岩硬度系数 f 值小于6的条件下,综掘机可实现较高截割效率,日进尺可达到6~10 m,适用于中等稳定及以上围岩环境。工艺系统依赖配套运输设备与支护系统协同运行,对设备匹配程度要求较高。综掘工艺在巷道断面规则、地质条件相对稳定的区域表现出良好的适应性,但在强断层或高硬岩层中截割效率下降明显,对设备负荷与维护提出更高要求。

3.2 钻爆法掘进工艺流程与效率特征

钻爆法掘进工艺通过钻孔、装药、爆破及出渣等步骤完成岩体破碎,适用于高硬度岩层及复杂地质条件。钻孔深度通常为1.5~2.5 m,爆破后循环进尺约为1.2~2.0 m,单循环时间约为4~6 h,整体效率受作业环节衔接影响较大。该工艺对设备依赖程度较低,灵活性较强,在断层发育区及坚硬岩层中具有较好的适应能力。爆破震动及围岩扰动可能加剧围岩破碎程度,对支护提出更高要求,同时爆破间歇使施

工呈间断状态,难以实现连续化作业,影响整体掘进效率^[2]。

3.3 连续化掘进工艺及其技术发展趋势

连续化掘进工艺以设备高度集成与作业流程无缝衔接为特征,通过实现截割、装运、支护同步进行,显著提升掘进效率与作业稳定性。新型连续掘进系统可将日进尺提高至10~15 m,设备利用率超过85%,减少人工干预与停机时间。随着自动化与远程控制技术的发展,掘进设备逐步向智能化方向演进,实现对截割参数、支护强度及运输负荷的动态调节。连续化掘进对设备可靠性与系统协调性要求较高,在复杂地质条件下仍面临适应性挑战,未来发展将集中在装备性能提升与多系统协同控制能力强化方面。

4 煤矿采掘工作面高效掘进工艺关键技术体系构建

4.1 快速掘进装备集成与协同运行技术

高效掘进依赖于多设备系统的协同运行,需实现截割、运输与支护环节之间的高效衔接。通过优化综掘机、转载机与皮带运输系统的匹配关系,使物料输送能力达到截割能力的1.1~1.3倍,可减少设备等待时间。采用集中控制系统对各设备运行状态进行实时监测,可将设备故障响应时间缩短至5 min以内,提高系统稳定性。装备集成水平的提升有助于减少工序间断,增强作业连续性,从而提升整体掘进效率。

4.2 支护与掘进协同一体化技术路径

支护与掘进同步实施是保障作业安全与效率的重要技术路径,通过采用掘支一体化设备,使支护滞后距离控制在1.5 m以内,可有效降低围岩失稳风险。锚杆、锚索及喷浆支护组合应用,有助于形成整体受力结构,提高围岩稳定性。支护参数根据围岩条件动态调整,可使支护效率提升15%~25%。支护与掘进的协同实施减少重复作业与停机时间,实现施工过程的连续化与高效化^[3]。

4.3 掘进参数优化与动态调控技术方法

掘进参数优化是提升效率与保障安全的重要手段,通过对截割速度、推进力及支护间距等参数进行动态调整,可适应不同地质条件变化。截割速度控制在0.8~1.2 m/min范围内时,设备负荷与效率达到较优平衡状态。利用实时监测数据对围岩变形、设备运行状态进行分析,可实现对掘进参数的及时修正,使施工过程保持稳定。动态调控技术能够减少因参数不合理导致的停机与事故风险,提高掘进作业的整体效率与安全水平。

5 煤矿采掘工作面高效掘进工艺优化实施路径

5.1 掘进作业流程优化与施工组织重构

掘进作业流程的优化以减少无效时间与提升连续作业能力为核心,通过对截割、装运、支护及辅助作业环节进行系统梳理,重构工序衔接关系,使循环作业更加紧凑高效。通过缩短工序转换时间,将单循环时间由原有的90 min压缩至70 min以内,可使日进尺提升约15%~20%。施工组织

方面强化班组分工与岗位职责界定,使关键岗位覆盖率达到100%,减少因职责交叉产生的等待现象。通过引入标准化作业流程,将关键工序操作时间控制在规定区间范围内,降低人为因素波动。流程优化与组织重构相结合,使掘进作业由间断运行转向连续推进,提升整体施工效率与运行稳定性。

5.2 多工序协同作业机制与效率提升模式

多工序协同作业机制以实现掘进、支护与运输的同步推进为目标,通过建立工序间时间匹配关系,使不同作业环节在空间与时间上形成协调联动。通过将支护作业与截割作业间距控制在1.5~2.0 m范围内,可减少等待时间并降低围岩暴露风险。运输系统能力与截割能力保持1.2倍以上匹配,有助于避免物料堆积与设备停机现象。采用交叉作业模式,使装运与支护可在不同区域同时进行,班组作业效率提升约18%。协同机制的建立依赖于统一调度与实时信息反馈,使各工序运行状态保持动态平衡,从而形成稳定高效的作业模式。

5.3 现场精细化管理与动态调度控制机制

现场精细化管理通过对作业过程各环节进行量化控制,实现对时间、质量与安全指标的全过程管控。将设备开机率控制在85%以上,故障停机时间降低至每班15 min以内,可显著提升生产效率。动态调度机制基于实时数据对作业状态进行分析,对设备负荷、人员分布及施工进度进行调整,使资源配置保持合理状态。通过建立调度响应机制,使异常情况处理时间控制在10 min以内,减少生产波动。精细化管理与动态调度的结合,使现场运行由经验驱动转向数据支撑,提高掘进作业的可控性与稳定性^[4]。

6 煤矿采掘工作面高效掘进工艺保障体系与运行机制

6.1 安全风险分级管控与隐患治理机制

安全风险分级管控以风险识别与动态评估为基础,对不同等级风险实施差异化控制措施。通过将风险划分为I、II、III级,并建立对应控制标准,使高风险区域实现重点监控,隐患整改完成率达到98%以上。隐患治理机制通过对隐患信息进行分类管理与闭环处理,将隐患处理周期控制在24 h以内,有效降低事故发生概率。风险监测与预警系统对瓦斯浓度、围岩变形等关键指标进行实时监控,使异常情况能够及时识别与处置。该机制推动安全管理由事后处理向过程控制转变,为高效掘进提供稳定安全环境。

6.2 技术标准体系与质量控制机制

技术标准体系通过对掘进工艺、设备运行及支护施工等环节进行规范,确保施工过程具备一致性与可控性。关键工序质量控制指标明确至具体数值范围,如锚杆间距控制在0.7~1.0 m范围内,安装合格率达到99%以上,使支护质量保持稳定。质量控制机制通过过程检查与数据记录,对施工偏差进行及时纠正,将质量问题发生率降低至2%以下。标准体系的实施使各环节操作具备明确依据,减少人为操作差异,提升整体工程质量水平与掘进效率。

6.3 人员能力提升与信息化支撑体系构建

人员能力提升通过系统培训与技能考核,提高作业人员对设备操作与工艺流程的掌握程度,使关键岗位持证上岗率达到100%。通过开展岗位技能评估与实操训练,使人员操作失误率降低至1%以下,增强现场作业稳定性。信息化支撑体系通过数据采集与分析平台,实现对设备状态、施工进度及安全指标的集中管理,使管理层能够实时掌握现场情况。移动终端与监测设备的联动应用,使信息传递时间缩短至5 min以内,提高决策效率^[5]。人员能力与信息化系统的协同作用,为高效掘进工艺的稳定运行提供持续支撑。

7 结语

煤矿采掘工作面高效掘进工艺的优化是提升矿井生产能力与安全水平的重要路径。通过对地质条件、工艺类型及关键技术的系统整合,形成以装备协同、工序优化与动态调控为核心的技术体系,使掘进作业实现由间断向连续转变。实施过程中,通过流程重构与精细化管理强化现场执行力,同时依托风险管控与质量保障机制提升运行稳定性。综合技术与管理措施的协同推进,有助于构建安全、高效、稳定的掘进模式,为煤矿高质量生产提供持续支撑。

参考文献

- [1] 秦超.煤矿采掘工作面顶板管理问题的处理方法[J].西部探矿工程,2026,38(02):179-181+184.
- [2] 李永玲.关于煤矿采掘工作面照明灯具的安全性能探讨[J].中国照明电器,2025,(07):75-77.
- [3] 旷思维.煤矿地质工作对采掘安全的重要性[J].内蒙古煤炭经济,2025,(11):184-186.
- [4] 姜威.煤矿采掘工作面风险演化与评价研究[D].导师:张召冉;闫铁成.北方工业大学,2025.
- [5] 唐兵,周榆,林喜芳.优化煤矿采掘接续工作增强安全生产保障能力——福建省煤矿安全监管监察部门持续推进煤矿采掘接续工作[J].安全与健康,2024,(12):24-26.