

掘锚一体机在大断面煤巷快速掘进中的应用分析

冯 辉

陕西彬长大佛寺矿业有限公司 陕西 咸阳 713500

摘要: 随着我国煤炭工业向安全、高效、智能化方向转型升级,大断面煤巷作为现代化矿井高产高效的必要保障,其快速掘进技术成为制约矿井产能释放的关键瓶颈。传统“掘-支-运”分步作业模式存在工序转换频繁、循环时间长、人员劳动强度大、安全风险高等问题,难以满足日益增长的生产需求。掘锚一体机作为一种集截割、装载、运输、临时支护及永久锚杆(索)支护于一体的高端智能装备,为破解大断面煤巷快速掘进难题提供了全新的技术路径。本文系统阐述了掘锚一体机的技术原理、核心结构与功能特点,深入剖析了其在在大断面煤巷快速掘进中的应用优势,并结合典型工程案例,对其应用效果进行量化评估。同时,针对当前应用中存在的适应性、配套协同、智能化水平及成本效益等挑战,提出了相应的优化策略与发展建议。研究表明,掘锚一体机通过实现“掘支平行作业”和“多臂协同支护”,能显著提升大断面煤巷的综合掘进效率与安全保障水平,是未来煤矿巷道掘进技术发展的主流方向。

关键词: 掘锚一体机; 大断面煤巷; 快速掘进; 平行作业; 锚杆支护

引言

煤炭是我国能源体系的基石,保障国家能源安全意义重大。“十四五”及未来,煤炭行业加速高质量发展,建设现代化矿井是关键,其中矿井开拓布局与采掘接续能力影响其长期稳定高产。大断面煤巷(净宽 $\geq 5.0\text{m}$ 、净高 $\geq 3.5\text{m}$)通风、运输能力强,服务年限长,是千万吨级大型矿井首选。但大断面煤巷掘进挑战巨大:断面增大使截割工程量倍增,围岩稳定要求锚杆(索)数量和支护强度大幅提高。传统悬臂式掘进机配合单体锚杆钻机,采用串行工序,工序转换频繁耗时,大断面下支护作业成“卡脖子”环节,严重制约掘进速度。传统模式下,大断面煤巷月进尺普遍在200-400米,难以满足高产高效矿井需求,“采快掘慢”矛盾突出。为解决此问题,美国久益、德国艾柯夫等国际巨头率先研发应用掘锚一体机。近年,我国中国煤科太原研究院等企业也成功研制国产化掘锚一体机,并在多地示范应用。掘锚一体机集成掘进与支护工序,实现“边掘边支”或“掘支平行”。本文将系统分析其技术内涵、优势、效果及挑战,为其在大断面煤巷规模化、高效化应用提供参考指导。

1 掘锚一体机的技术原理与结构特点

1.1 核心工作原理

掘锚一体机的核心工作原理在于打破传统掘进与支护的时空隔离,实现两者的协同甚至同步作业。其典型工作循环如下:(1)截割与装载阶段:主机利用强大的截割部对巷道断面进行全断面或分层截割,截割下来的煤(岩)经星轮、第一运输机(刮板或皮带)转运至后方的第二运输机(通常是可伸缩皮带机),最终由连续运

输系统(如桥式转载机、带式输送机)运出工作面。(2)临时支护阶段:在截割过程中或截割完成后,位于截割部上方的机载临时支护装置(通常为伸缩式护顶梁)会及时伸出,紧贴新暴露的顶板,为后续的永久支护作业提供一个安全、稳定的操作空间,有效防止片帮冒顶事故^[1]。(3)永久支护阶段:这是掘锚一体机区别于传统设备的关键。在临时支护的保护下,分布在机身两侧及顶部的多台(通常4-8台)锚杆钻臂可以同时或分区域进行钻孔、安装锚杆(索)、搅拌树脂药卷及紧固螺母等一系列永久支护作业。这些钻臂具有多自由度(升降、回转、俯仰、推进),能够覆盖整个巷道断面,实现精准、高效的支护。通过上述流程,掘锚一体机将原本串行的工序转变为部分并行的作业模式,极大地压缩了非生产性辅助时间,提升了整体作业效率。

1.2 主要结构组成与功能

一台典型的掘锚一体机主要由以下几大系统构成:(1)截割系统:包括截割头、截割减速机、截割电机等。针对大断面煤巷,截割功率通常在300kW以上,截割头设计需兼顾破岩能力和装煤效率,常采用横轴或纵轴式结构。(2)装载与运输系统:由星轮(或耙爪)、第一运输机(刮板或短距离皮带)和第二运输机(可伸缩皮带机)组成。该系统需具备大容量、高可靠性的特点,以匹配快速截割产生的大量煤流。(3)行走系统:多采用履带式行走机构,提供强大的接地比压和牵引力,确保设备在泥泞、起伏的巷道底板上稳定行走和定位。(4)机载临时支护系统:这是保障作业安全的核心。通常由液压油缸驱动的伸缩梁和护网组成,能在数秒内完成伸

出动作,为操作人员提供即时的顶板防护。(5)多臂锚杆钻装系统:这是掘锚一体机的“灵魂”。每台钻臂都是一套独立的微型钻机,集成了钻孔、锚杆(索)自动或半自动安装、扭矩控制等功能。多臂协同工作是实现快速支护的关键。(6)液压与电气控制系统:作为整机的“神经中枢”,现代掘锚一体机普遍采用电液比例控制或负载敏感系统,配合先进的PLC/工控机,实现各系统的精准、协调动作。操作人员可在驾驶室内通过电液先导手柄或触摸屏进行集中操控。(7)除尘与降尘系统:由于截割和钻孔会产生大量粉尘,高效的内外喷雾、泡沫除尘及负压抽尘系统是保障作业环境和人员健康的重要组成部分。

2 掘锚一体机在大断面煤巷快速掘进中的应用优势分析

2.1 显著提升掘进效率,破解“采掘失衡”困局

效率提升是掘锚一体机最核心的价值。通过“掘支平行作业”,它彻底消除了传统模式中因等待支护而造成的掘进机停机时间。以一个标准循环为例,传统模式可能需要60分钟(掘进30分钟+支护30分钟),而掘锚一体机通过在截割后半段即开始支护,可将总循环时间压缩至40分钟以内。更重要的是,多臂钻机的同时作业,使得大断面所需数十根锚杆的支护时间被大幅缩短^[2]。根据国内多个矿区的实测数据,装备掘锚一体机的大断面煤巷(如5.5m×3.8m),其日进尺可稳定在40~60米,月进尺可达800~1200米,效率是传统模式的2~3倍,有效缓解了采掘接续紧张的局面。

2.2 大幅改善作业安全性,降低安全风险

安全是煤矿生产的首要前提。掘锚一体机通过两大机制显著提升了作业安全性:一是机载临时支护的即时性:新暴露的顶板在数秒内即得到有效支撑,从根本上杜绝了空顶作业,极大降低了片帮、冒顶等人身伤害事故的风险。二是人员远离危险区域:操作人员全程在封闭、有防护的驾驶室内作业,无需像传统模式那样频繁进出工作面进行打眼、安装锚杆等近距离、高强度的手工操作,有效规避了来自顶板、片帮、设备误伤等多重风险。此外,设备集成的视频监控、瓦斯监测、人员接

近预警等智能安全系统,进一步构建了立体化的安全防护网。

2.3 有效保障支护质量,提升巷道稳定性

支护质量直接关系到巷道的服务寿命和后期维护成本。掘锚一体机在这方面同样具有先天优势。钻臂的液压或电动控制系统可以精确控制钻孔位置、角度和深度,并能提供恒定的搅拌和紧固扭矩,确保每根锚杆(索)都能达到设计预紧力,避免了人工操作因体力、经验等因素导致的质量波动^[3]。遵循“随掘随支”的原则,能够在围岩应力尚未充分释放、变形最小时进行支护,最大限度地发挥锚杆(索)的主动支护作用,有效控制围岩变形,保持巷道成型规整。

2.4 优化劳动组织,降低工人劳动强度

传统掘进工作面通常需要15~20人协同作业,包括掘进机司机、锚杆工、清理工、运料工等,分工复杂,劳动强度极大。掘锚一体机的应用实现了高度的机械化和自动化,一个正规循环作业班组通常只需5~8人,包括1名主司机、1~2名副司机(负责监护、补料)及少量辅助人员。工人从繁重的体力劳动中解放出来,主要承担设备操作、物料供应和状态监控等任务,工作环境和劳动条件得到根本性改善。

3 典型工程应用案例与效果评估

3.1 案例背景

以我国西部某千万吨级现代化矿井的中央回风大巷为例。该巷道设计为矩形断面,净宽5.8米,净高4.0米,服务全矿井通风,地质条件为中等稳定煤层,局部有薄层夹矸。原计划采用EBZ260悬臂式掘进机配合MQT-130锚杆钻机施工,预计月进尺350米。

3.2 应用方案

该矿引进了一台国产某型号掘锚一体机(截割功率350kW,配备6台锚杆钻臂),并配套了自移式机尾、带式输送机、湿式除尘风机等成套装备,构建了“掘锚一体机+连续运输+智能集控”的快速掘进作业线。

3.3 应用效果对比分析

经过三个月的试运行与数据采集,取得了显著成效,具体对比如下表所示:

表1:应用效果对比

评价指标	传统工艺(EBZ260+MQT-130)	掘锚一体机工艺	提升幅度
平均日进尺(m)	12.5	48.6	289%
平均月进尺(m)	320	1050	228%
正规循环率(%)	65	92	+27个百分点
单循环时间(min)	65	38	缩短41.5%
作业人数(人/班)	18	7	减少61%

续表:

评价指标	传统工艺(EBZ260+MQT-130)	掘锚一体机工艺	提升幅度
锚杆预紧力合格率(%)	78	96	+18个百分点
顶板离层量(mm)	45	22	降低51%

数据分析表明,掘锚一体机不仅在进尺效率上实现了质的飞跃,而且在工程质量、安全保障和人力资源优化方面均取得了全面胜利。该巷道提前近两个月贯通,为矿井早日形成完整的通风系统、释放采煤工作面产能赢得了宝贵时间。

4 当前应用中存在的挑战与对策

4.1 地质适应性及设备可靠性挑战

掘锚一体机结构复杂、集成度高,在遇到复杂地质条件(如断层、陷落柱、高瓦斯、淋水大等)时,其稳定性和适应性可能不如结构相对简单的传统掘进机。一旦关键部件(如截割头、钻臂、液压系统)发生故障,维修难度大、周期长,将严重影响生产。对策:一是加强地质超前探测,做到精准预报,提前制定过构造措施;二是提升设备本身的可靠性与模块化设计水平,便于快速更换维修;三是建立专业的运维团队和充足的备品备件库。

4.2 配套系统协同性不足

掘锚一体机的高效运行依赖于一个高度协同的“系统工程”,包括连续运输系统(要求不中断)、快速物料配送系统(锚杆、托盘、药卷的及时供应)、以及高效的通风除尘系统。任何一个环节的短板都会制约整机效能的发挥。对策:必须摒弃“重主机、轻配套”的观念,进行一体化设计和系统集成^[4]。推广使用自移机尾、梭车或单轨吊等高效辅助运输方式,确保物料直达工作面;优化通风除尘方案,保障良好的作业环境。

4.3 智能化与自动化水平有待提升

目前大部分掘锚一体机仍处于“机械化+部分自动化”阶段,对操作人员技能依赖度高,自主决策、自适应截割、全自动锚护等功能尚不成熟。对策:深度融合5G、UWB精确定位、数字孪生、人工智能等新一代信息技术。研发基于围岩感知的智能截割路径规划、锚杆(索)参数自适应调整、远程可视化集中控制等高级功能,向“无人化”或“少人化”掘进工作面迈进。

4.4 初期投资成本较高

掘锚一体机及其配套系统的购置成本远高于传统设备,对于部分资金紧张的矿井构成压力。对策:应从全生命周期成本(LCC)的角度进行综合评估。虽然初期投入高,但其带来的高效率、低人工、低事故率、低维护成本等长期收益,通常能在2-3年内收回投资。同时,国家和地方层面可出台相应的补贴或鼓励政策,引导企业进行技术升级。

5 结语

掘锚一体机作为煤矿巷道掘进技术的一次革命性突破,通过其独特的“掘支一体化、平行化”作业模式,成功解决了大断面煤巷快速掘进的核心瓶颈。实践证明,它不仅能成倍提升掘进效率,有效保障安全生产,还能显著改善支护质量和优化劳动组织,是实现煤矿安全高效绿色开采的关键装备。展望未来,掘锚一体机的发展将呈现三大趋势:一是智能化:向具备环境感知、自主决策、精准执行能力的智能掘进机器人演进。二是成套化:与运输、通风、供电、排水等子系统深度融合,形成标准化、模块化的智能快速掘进成套装备与技术体系。三是绿色化:更加注重节能降耗与粉尘、噪音治理,打造清洁、舒适的掘进作业环境。随着技术的不断成熟、成本的逐步下降以及配套体系的日益完善,掘锚一体机必将在我国乃至全球的煤矿大断面巷道掘进领域扮演越来越重要的角色,为煤炭工业的高质量、可持续发展注入强劲动力。

参考文献

- [1]杨钦.掘锚一体机在煤矿掘进中的应用分析[J].中国设备工程,2025,(17):235-237.
- [2]惠祥利,靳安国.掘锚一体机在煤矿掘进中的应用及发展趋势[J].凿岩机械气动工具,2026,52(02):10-12.
- [3]耿志凯,冯嘉欣.煤矿智能化掘锚一体机快速掘进关键技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(23):142-144.
- [4]魏帅.掘锚一体机应用于煤矿连采连充工艺关键问题探讨[J].煤矿机械,2025,46(12):99-102.