

# 煤矿掘进工作面自动化技术探讨

邓小勇

鄂尔多斯市华兴能源有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017100

**摘要:** 煤矿掘进工作面作为煤炭生产的核心环节,其自动化水平直接决定煤矿生产的安全性与效率。本文聚焦掘进工作面自动化技术,阐述其核心构成与应用价值,分析掘锚机自动化、智能感知、远程控制等关键技术的应用现状,剖析当前技术推广中存在的装备适配性不足、系统协同性差等问题,提出针对性优化策略,为推动掘进工作面自动化技术升级、实现煤矿少人化无人化开采、助力煤炭产业智能化转型提供理论与实践参考。

**关键词:** 煤矿掘进;工作面;自动化技术

**引言:** 随着煤炭产业智能化转型步伐加快,传统掘进工作面人工操作模式存在的劳动强度大、安全隐患多、生产效率低等弊端日益凸显,已无法满足现代煤矿安全高效生产的需求。掘进工作面自动化技术融合自动控制、物联网、人工智能等多领域技术,是破解行业痛点的关键路径。当前我国煤矿掘进自动化虽取得一定进展,但仍存在技术发展不均衡、核心技术有待突破等问题,基于此,本文对煤矿掘进工作面自动化技术进行深入探讨,助力行业高质量发展。

## 1 煤矿掘锚机及配套系统自动化掘进相关理论基础

### 1.1 掘锚机及配套系统核心构成

(1) 掘锚机主体结构:核心由截割机构、锚护机构、行走机构、液压系统及电气控制系统组成,五大结构协同作用,实现掘进与锚固作业一体化,为自动化掘进提供坚实硬件支撑,保障各作业环节有序衔接。(2) 配套系统组成:主要包括转载运输、通风除尘、监测监控及供电四大系统,各系统与掘锚机精准协同、无缝配合,形成完整的自动化掘进作业体系,确保掘进全过程高效、安全、稳定。

### 1.2 自动化掘进核心理论

(1) 自动控制理论:涵盖闭环控制、模糊控制、PID控制等核心技术,广泛应用于掘锚机截割速度、锚护精度及行走轨迹的自动调节,有效提升自动化作业的稳定性和精准度。(2) 协同作业理论:核心是指导掘锚机与配套系统的联动控制,打破各工序壁垒,实现掘进、锚固、转载、通风等工序同步自动化,大幅提升作业效率,减少工序等待时间。(3) 智能感知理论:基于传感器、物联网等技术,实时感知掘进工作面环境、设备运行状态及煤岩特性,采集关键数据并传输至控制终端,为自动化决策提供可靠数据支撑。

### 1.3 掘锚机及配套系统自动化掘进的技术特征

(1) 一体化作业:掘锚机可同步完成掘进与锚固作业,配套系统与掘锚机无缝衔接,大幅减少工序衔接耗时,提升作业连续性和整体性。(2) 智能化控制:具备自动截割、自动锚护、自动调速等功能,可根据作业环境动态自适应调整参数,最大限度降低人工干预,提升作业精准度。(3) 远程可操控:依托远程监控系统,实现对掘锚机及配套设备的远程操作与实时状态监测,有效规避井下恶劣环境对作业人员的安全危害<sup>[1]</sup>。

## 2 煤矿掘锚机及配套系统自动化掘进核心技术

### 2.1 掘锚机单机自动化技术

(1) 自动截割技术:以煤岩识别技术为核心,通过传感器实时采集煤岩特性数据,实现截割轨迹的自动规划与动态调整,同时根据煤岩硬度自适应调节截割速度,有效避免超挖、欠挖问题,显著提升巷道成型质量。实际应用中可结合记忆切割与自主定型定向截割技术,优化截割路径,减少无效作业,进一步提升截割效率与精准度。(2) 自动锚护技术:整合锚孔定位、自动钻孔、锚杆/锚索自动安装等全流程功能,实现锚固作业的自动化闭环控制,大幅提升锚护精度与作业效率。针对锚护速度提升需求,可采用多钻机并行作业技术,合理分配锚护任务,缩短锚护工序耗时,保障锚固作业与掘进作业同步推进<sup>[2]</sup>。(3) 自动行走与定位技术:采用激光导航与惯性导航相结合的双模定位系统,实时捕捉掘锚机运行姿态与位置信息,实现掘锚机的自动行走、精准定位与方向校正,确保掘进方向与设计图纸高度一致,定位精度完全满足井下掘进作业的严苛要求,为自动化掘进提供方向保障。

### 2.2 配套系统自动化技术

(1) 转载运输自动化技术:配套刮板输送机、带式输送机等运输设备,构建自动化转载运输体系,实现掘进物料的自动转载、连续运输,设备具备自动调速、过

载保护、故障报警等功能,可根据掘进产量动态调整运输速度。同时可采用柔性连续运输系统,减少运输环节衔接间隙,提升运输连续性与稳定性,避免物料堆积。

(2) 通风除尘自动化技术:依托粉尘、瓦斯浓度传感器,实时监测掘进工作面粉尘、瓦斯含量,自动调节通风机转速、除尘设备运行参数,实现通风除尘的智能化、精细化控制,既能有效降低作业环境粉尘浓度,又能确保瓦斯浓度控制在安全范围,保障井下作业人员人身安全。

(3) 监测监控自动化技术:部署各类专用传感器,全面采集设备运行参数、井下环境参数(瓦斯、粉尘、温度、湿度等),通过物联网技术实现数据的自动传输、实时分析与异常预警,构建全时空、全方位的信息数字感知体系,为自动化控制决策提供精准、实时的数据支撑。

### 2.3 多设备协同自动化控制技术

(1) 协同控制架构:构建以中央自动化控制平台为核心的协同控制体系,打通掘锚机与各配套系统的信息传输通道,实现设备间的信息互通、指令联动,彻底消除信息孤岛,确保各设备、各系统协同一致运行。(2) 工序协同优化:运用智能调度算法,对掘进、锚护、转载、通风等各工序进行动态优化调度,打破工序壁垒,实现多工序并行作业,合理分配资源,缩短整体作业周期,显著提升自动化掘进系统的整体作业效率。可采用多机多工序协同控制行为规划决策方法,进一步优化工序衔接,提升协同作业水平<sup>[3]</sup>。(3) 故障协同诊断:建立完善的设备故障数据库,整合各设备运行数据与故障特征,实现掘锚机及配套设备故障的自动诊断、精准定位与实时报警,同时推送故障处理建议,为设备快速维护提供精准依据,有效降低故障停机时间,提升整个自动化系统的可靠性与稳定性。

## 3 煤矿掘锚机及配套系统自动化掘进应用现状与存在问题

### 3.1 应用现状

(1) 国内应用概况:当前国内大型煤矿已逐步推广掘锚机及配套系统自动化掘进技术,自动化装备普及率持续提升,部分先进矿井已实现掘进工作面少人化、无人化作业。相较于传统掘进工艺,自动化技术大幅提升作业效率,月进尺显著增加,其中部分矿井月进尺可达500m以上,同时有效降低了井下作业人员劳动强度,提升了作业安全性。(2) 典型应用案例:以某大型煤矿掘锚机自动化掘进工作面为例,该工作面配置全套自动化掘锚设备及配套系统,实现了自动截割、自动锚护、转载运输等全工序自动化。应用后,作业效率较传统工艺提升30%以上,井下作业人员数量减少50%,瓦斯、粉尘

等安全隐患大幅降低,安全水平与人力利用效率得到双重提升,为行业推广提供了实践参考。

### 3.2 存在的主要问题

(1) 核心技术层面:煤岩识别精度不足,易导致自动截割出现超挖、欠挖现象,影响巷道成型;锚护自动化稳定性欠佳,在复杂地质条件下适配性较差,易出现锚护质量不达标问题;部分核心零部件依赖进口,自主化水平不高,增加了设备运维成本与技术风险。(2) 系统协同层面:掘锚机与配套系统协同性不足,存在工序衔接不畅、信息传输延迟等问题,影响整体作业效率;多设备协同控制算法不够完善,难以灵活适应井下复杂多变的地质与作业环境,易出现协同失控情况。(3) 应用保障层面:自动化设备结构复杂,维护成本较高且技术难度大,中小煤矿难以承担;操作人员专业素养不足,缺乏自动化设备操作与维护技能,难以熟练操作设备;部分中小煤矿资金投入有限,无法完成全面的自动化改造,导致技术推广不均衡。

### 3.3 问题产生的原因分析

(1) 技术研发层面:行业整体研发投入不足,核心技术攻关力度不够,缺乏针对国内复杂地质条件的定制化研发;数字孪生等先进技术与自动化掘进系统融合应用不够深入,技术创新能力有待提升。(2) 产业配套层面:国内相关零部件制造水平有待提高,缺乏完善的产业链支撑;自动化系统标准化程度不高,不同厂家设备接口不统一,兼容性较差,影响系统协同运行。(3) 人才培养层面:煤矿自动化专业人才储备不足,高校与企业人才培养衔接不够紧密,人才培养模式与现场需求脱节,缺乏兼具理论知识与实践能力的复合型技术人才,制约技术落地应用。

## 4 煤矿掘锚机及配套系统自动化掘进技术优化策略

### 4.1 核心技术优化

(1) 提升煤岩识别与自动截割技术:融合机器视觉、雷达探测等多种先进技术,构建多源数据融合的煤岩识别模型,有效提升复杂地质条件下煤岩识别的精度与速度,减少识别误差对截割作业的影响。同时优化截割轨迹规划算法,结合井下地质参数动态调整截割路径,提升复杂煤层、断层区域的自动截割适应性;引入虚拟教学式记忆切割技术,通过模拟不同地质场景的截割操作,优化记忆切割参数,进一步提升截割效率与巷道成型质量,避免超挖、欠挖问题。(2) 完善自动锚护技术:重点优化锚孔定位算法,结合激光定位、惯性导航技术,提升锚孔定位的精准度,确保锚护位置与设计高度一致。研发高性能锚护零部件,提升零部件的耐磨性、抗冲击性,

解决复杂地质条件下锚护自动化稳定性不足的问题；积极推广锚索自动连续钻孔技术，优化锚护作业流程，实现锚孔钻孔、锚索安装的连续化作业，大幅提升锚护效率，保障锚固质量，实现锚护作业与掘进作业的同步高效推进<sup>[4]</sup>。（3）推进核心技术自主化：加大科研资金与人力投入，聚焦核心零部件国产化攻关，重点突破截割机构、液压控制系统、高精度传感器等关键零部件的制造技术，打破国外技术垄断，降低对进口零部件的依赖。同时整合国内科研资源，加强产学研协同创新，提升自动化系统的自主设计、研发与集成能力，实现自动化掘进系统的自主可控，降低设备采购与运维成本，提升技术推广的可行性。

#### 4.2 系统协同优化

（1）构建高效协同控制体系：优化中央自动化控制平台的硬件配置与软件功能，升级信息传输模块，提升数据传输的速度与稳定性，消除信息传输延迟问题，实现掘锚机与转载运输、通风除尘、监测监控等配套系统的无缝协同、联动控制。采用“虚控实、虚实结合”的多级数字孪生构架，构建掘进工作面数字孪生模型，实现设备运行状态、作业环境的实时仿真与动态调控，提前预判协同作业隐患，优化作业流程。（2）优化协同控制算法：结合深度学习、智能调度等前沿技术，完善多设备协同控制算法，充分考虑井下地质环境、设备运行状态、工序衔接要求等多方面因素，实现多设备的动态调度与柔性协同。重点提升复杂环境下的工序协同优化能力，打破各工序壁垒，实现掘锚、转载、通风等多机柔性并行作业，减少工序等待时间，进一步提升自动化掘进系统的整体作业效率与稳定性<sup>[5]</sup>。

#### 4.3 应用保障体系优化

（1）降低设备维护成本：建立设备全生命周期管理体系，对设备采购、安装、运行、维护、报废等全流程进行规范化管理，优化维护流程，减少不必要的维护环节。研发便捷化维护工具，简化维护操作流程，降低维护技术难度；加强设备故障预警系统建设，通过实时监测设备运行参数，提前识别故障隐患，实现故障早发现、早

处理，减少故障停机时间，降低设备维护成本。（2）加强人才培养：推动高校与煤矿企业深度合作，根据行业需求开设煤矿自动化相关专业，优化人才培养方案，重点培养兼具理论知识与实践能力的复合型技术人才，弥补人才储备缺口。建立完善的岗前培训与在岗培训体系，针对自动化设备操作、维护、故障处理等内容开展专项培训，提升现有操作人员的专业素养与操作技能，确保操作人员能够熟练操作自动化设备，保障技术落地应用。（3）加大政策与资金支持：呼吁政府出台针对性政策，明确煤矿自动化改造的扶持方向，鼓励煤矿企业推进掘锚机及配套系统自动化改造，对自动化改造成效显著的企业给予政策倾斜与资金补贴。引导社会资本投入煤矿自动化领域，搭建资金帮扶平台，为资金有限的中小煤矿提供贷款支持、资金补助等，解决其自动化改造的资金难题，推动自动化技术在各类煤矿全面均衡推广。

#### 结束语

煤矿掘进工作面自动化技术的研发与应用，是煤炭产业摆脱传统生产模式、实现转型升级的必然选择，对提升生产效率、降低安全风险、减少人工投入具有重要意义。本文系统探讨了该技术的核心内容、应用现状与优化方向，明确了技术发展的重点与难点。尽管目前仍面临诸多挑战，但随着技术的不断迭代与产学研深度融合，必将推动掘进自动化水平持续提升，为煤炭产业绿色、安全、高效发展注入强劲动力。

#### 参考文献

- [1]李旭.机电自动化技术在煤矿掘进工作面中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2020,(2):55-57.
- [2]李海生.机电自动化技术在煤矿掘进工作面中的应用[J].机械管理开发,2020,35(2):229-230.
- [3]刘朗.分析机电自动化技术在煤矿掘进工作面中的应用[J].大众标准化,2020,(19):28-29.
- [4]马宏超.关于自动化技术在煤矿机电设备中的实践探讨[J].科学与信息化,2024,(10):153-155.
- [5]卢礼.机电自动化技术在矿山掘进工作面中的应用研究[J].冶金与材料,2024,44(4):106-108.