

煤矿采掘机械自动化和智能化应用研究

张庭

陕西华电榆横煤电有限责任公司，陕西榆林，719000；

摘要：煤矿产业作为我国能源领域的中流砥柱，在国民经济体系中占据举足轻重的地位。然而，传统煤矿采掘方式饱受生产效率低下、安全风险居高不下等问题的困扰。随着自动化与智能化技术的蓬勃发展，将这些前沿技术应用于煤矿采掘机械，成为突破当前困境的关键路径。本文系统阐述了煤矿采掘机械的发展历程，深入剖析自动化与智能化技术在采煤机、掘进机等设备中的具体应用，全面探讨应用过程中遭遇的技术瓶颈、成本压力、安全保障等诸多挑战，并针对性地提出解决策略，对未来发展趋势作出前瞻性展望，旨在为煤矿行业自动化与智能化发展提供有力参考。

关键词：煤矿采掘机械；自动化；智能化；应用研究；传感器技术；5G 融合

DOI：10.69979/3029-2727.25.01.054

1 引言

煤矿产业在我国能源供应格局中扮演着不可替代的角色，对国民经济发展意义深远。相关统计数据显示，在过去十年间，我国煤矿平均每年发生事故达数百起，导致上千人不幸丧生，事故造成的经济损失难以估量。传统的煤矿采掘主要依赖人工操作，效率极为低下，每吨煤的开采成本居高不下。与之形成鲜明对比的是，采用自动化、智能化采掘方式的煤矿，生产效率可提高30%以上，每吨煤开采成本能降低约20%。由此可见，提升煤矿采掘的自动化、智能化水平，对于保障安全生产、提高生产效率、降低成本具有重大现实意义。

2 煤矿采掘机械的发展历程

2.1 传统机械阶段

早期煤矿采掘主要依赖传统机械设备，例如人工采煤工具、简单运输设备等。这些设备大部分依赖人力或简单动力带动，操作流程复杂，生产效率极其低劣，安全性能也严峻不够，工人面对高负荷劳动与高安全风险。拿19世纪中叶的英国煤矿作为例子，人工掏煤每日平均产量不到2吨，并且瓦斯爆炸事故年均发生率达到各百矿30宗。

2.2 机械化阶段

工业革命的浪潮促进煤矿采掘机械进入机械化阶段。采煤机、掘进机、刮板输送机等大型机械设备接连面世，依靠机械动力带动，煤矿采掘效率获得大幅提高，人力劳动强度明显缓解。1954年我国引入的顿巴斯1

型采煤机，单机日产量超过200吨，相比传统手动方式增加了100倍以上。

2.3 自动化阶段

20世纪后期，电子技术与计算机技术的崛起，推动煤矿采掘机械朝自动化方向前进。智能化技术的使用令煤矿采掘机械可以达成某些或完全智能化操作，降低人力干预，明显提高了生产的稳定性与可靠性。比如德国艾柯夫公司研发的SL系列智能化采煤机，借助电液控制系统完成了截割高度智能化监测煤层厚度，开采效率提高40%。

2.4 智能化阶段

迈入21世纪，人工智能、大数据、物联网等技术快速进步，煤矿采掘机械跨入智能化阶段。智能化技术给予煤矿采掘机械独立感知、决策、执行的能力，达成了采掘过程的智能化管控，进一步提高了生产效率与安全性能。美国皮博迪能源公司的智能化煤矿已经达成掘进机独立避障与路径规划，巷道掘进效率提高至每日50米超过。

3 自动化和智能化在煤矿采掘机械中的具体应用

3.1 采煤机

3.1.1 自动化应用

自动化采煤机装载了多种传感器，涵盖激光煤层厚度传感器、倾角传感器、位置传感器等，可以即时收集

工作面相关数据。依靠高新控制系统,采煤机可以根据这些数据自主调整牵引速度、截割高度、滚筒转速等工作参数,保障采煤作业高性能开展。当激光煤层厚度传感器感知到煤层厚度自 3 米急降到 1.5 米时,PLC 控制系统将于 0.3 秒之内把牵引速度自 6m/min 降低到 2m/min,并且把截割深度自 800mm 调校为 1200mm,因此确保煤炭回收率保持在 95% 之上。

3.1.2 智能化应用

智能化采煤机结合了大数据解析与人工智能技术,对采煤过程实施预估与改进。借助采集、解析大量历史数据,构造采煤过程数学模型,可以预先预知煤层变化趋势、设备运行状态等,达成采煤作业的改进控制。山西某煤矿采用的 MG1000/2500GWD 型智能化采煤机,借助边缘计算节点解析 3000+ 小时历史运行数据,搭建了涵盖 12 个变量的截割阻力预估模型,可以预先 20 分钟警报地质异常区域,设备故障率减少 28%。

3.2 掘进机

3.2.1 自动化应用

自动化掘进机使用尖端的导航与自主控制技术,可以达成掘进路径自主规划与精确控制。运用激光导航系统或卫星导航系统,掘进机可以即时确认自身位置与方向,保证掘进路径精确正确。自动化掘进机装备自主截割系统,可以根据巷道设计标准自主调节截割头位置与角度,完成巷道自主掘进。于掘进进行中,可以依照巷道断面形状与尺寸,自主校准截割头运动轨迹,保障巷道成型质量。徐工集团 EBZ300M 型掘进机的惯性导航系统,定位误差能限制于 $\pm 50\text{mm}$ 之内,巷道成型合格率达到 98%。

3.2.2 智能化应用

智能化掘进机融合了物联网与智能监控技术,可以对掘进过程实施即时监控与智能调控。在掘进机上装备振动传感器、温度传感器、粉尘传感器等各类传感器与监测设备,即时监控设备运行状态与工作环境参数,并将数据传递到地面监控中心。地面监控中心应用大数据解析与人工智能算法加工解析数据,迅速察觉问题并采取适当措施。淮南矿业集团某掘进工作面配置的智能化系统,借助机器学习算法解析截割电机电流波动,可以预先 1 小时预告截齿磨损故障,设备停机时间降低 35%。

3.3 其他设备

除此之外采煤机与掘进机,自动化与智能化技术在煤矿采掘其他设备中也获得普遍使用。刮板输送机运用自主控制系统,可以依据运输量自主调整运作速度,达成省能减耗。带式输送机应用智能化监控技术,即时监控输送带运作状态,迅速察觉跑偏、撕裂等故障。通风设备运用自主控制技术,依据井下空气质量自主调整通风量,保证空气质量合格。兖州煤业的智能化通风系统,借助 1600+ 个环境监控节点,完成了通风量灵活调整,能耗减少 19%,井下粉尘浓度均值降低 42%。

4 应用过程中面临的挑战

4.1 技术难题

4.1.1 设备可靠性和稳定性

煤矿井下环境复杂恶劣,具有高湿度、高粉尘、强电磁干扰等诸多问题,对自动化与智能化设备的可靠性、稳定性要求了极高要求。部分自动化与智能化设备在这种恶劣环境下工作可靠性不佳,易于发生故障,进而干扰煤矿常规生产。某型号激光测距传感器在粉尘浓度超出 2000mg/m^3 的环境中,测量误差从 $\pm 10\text{mm}$ 增加到 $\pm 20\text{mm}$,造成采煤机自动调高技术失灵。部分 PLC 控制器在电磁辐射强度超出 100dB 的区域,程序工作故障率提高到 15%。

4.1.2 核心技术自主化程度低

我国煤矿采掘机械自动化与智能化领域核心技术自立程度较差,一些关键零部件与核心技术依靠进口。高档数控机床、高精度传感器、高性能控制器等关键零部件首要依赖输入,这不只提升了设备购置成本,还显著限制了我国煤矿行业自动化与智能化发展。国内 90% 的高精度惯性导航系统、85% 的伺服电机依然需输入,引发国产智能化采煤机成本中输入部件占比达到 45%。

4.1.3 系统集成度和协同性

煤矿采掘机械自动化与智能化系统为一个复杂的系统工程,包含多个设备和子系统配合运行。各设备和子系统之中集成度、配合性不够,出现信息孤岛现象,使得系统整体性能很难完全发挥。某煤矿的采煤机、刮板输送机、带式输送机各自使用不同厂商的控制系统,数据接口协议不兼容,造成工作面设备启动停止延误到 810 秒,显著干扰生产效率。

4.2 成本问题

4.2.1 设备购置成本高

自动化与智能化设备购置成本高昂,对于部分中小型煤矿企业而言,推广应用面临巨大困难。一台智能化采煤机价格可达数千万元,远高于传统采煤机,这使得许多中小型煤矿企业因资金压力难以承受。例如,国产某型号智能化综采工作面成套设备总价达 2.8 亿元,相当于传统设备的 3.5 倍,中小型煤矿年均利润难以覆盖设备投资。

4.2.2 维护成本高

自动化与智能化设备维护成本亦偏高,需专业技术人员实施维护保养。煤矿行业于自动化与智能化设备维护领域专业人才短缺,造成设备维护成本上升。部分关键零部件更换成本高,更加大了维护成本负担。进口液压支架电液控制系统的单组阀组更换成本达到 12 万元,并且货期持续 8 周,其间设备停机损失达到每天 500 万元。

4.3 安全保障问题

4.3.1 系统安全性

自动化与智能化系统的安全性立即关联到煤矿安全生产,一旦系统发生故障或受到黑客攻击,或许造成严重后果。若采煤机自动化控制系统故障,或许引起采煤机失常,造成安全事故。煤矿智能化监控系统若遭黑客攻击,或许使得监控数据遭篡改或外泄,危害煤矿安全生产。2021 年某煤矿由于地面监控系统受到勒索病毒攻击,造成井下瓦斯监测数据终止 3 小时,差点导致瓦斯超标事故。

4.3.2 人员安全意识

虽然自动化与智能化技术可以提高煤矿采掘安全性,然而人员安全意识仍然不可忽略。部分煤矿工人对自动化与智能化设备操作、维护未熟练,安全意识薄弱,易于引起安全事故。某煤矿工人在没有断电情况下私自拆除智能化传感器,造成系统错报瓦斯浓度,启动紧急停机,导致直接经济损失 80 万元。

4.4 人才短缺问题

自动化与智能化技术需要大量专业人才支撑,目前煤矿行业在这方面人才储备不足。一方面,高校煤矿相关专业与自动化、智能化技术结合不够紧密,培养的人才缺乏跨学科知识与技能;另一方面,煤矿企业对专业人才吸引力较低,导致许多专业人才不愿投身煤矿行业,制约了煤矿行业自动化与智能化发展。据统计,我国煤

炭类高校自动化专业毕业生中,仅 12%选择进入煤矿企业,且 3 年内流失率达 45%。

5 解决策略

5.1 加强技术研发

在技术研发领域,须构造政策引领+合作创新的双引擎模式,政府与企业须共同增加研发投入,经由建立专项基金如国家能源集团每年 5 亿元的智能化研发基金、财政补贴及税收优惠等政策,推动企业与清华大学、中国矿业大学等科研机构进行产学研合作,集中智能感知、自主导航等核心技术攻克。同时务必加强关键零部件国产化突围,面向高档数控机床、高精度传感器等卡脖子领域增加研发力度,如中煤科工集团顺利研发精度达 0.01°/h 的国产光纤陀螺仪,取代进口后成本减少 60%,同时促进设备与子系统的集成改进,构造自主可控的技术创新体系,为行业智能化转型巩固技术根基。

5.2 培养专业人才

在人才培养方面,必须建立校企协同+内部赋能双线机制,高校与企业需加强合作,开办结合煤矿开采与自动化智能化技术的交叉学科课程,如中国矿业大学北京开办智能采煤工程专业,并与陕煤集团共建实训基地,将企业生产难题融入学生毕业设计,培育理论联系实际的复合型人才。企业自身需加强内部培训体系,如兖矿能源集团实施智能工匠计划,借助理论+仿真+实操三维培训模式,每年针对性培育 500 名熟练掌握设备操作维护的骨干,同时加强安全意识教育,构建从专业教育到岗位实践的全链条人才培育生态,为行业智能化转型供给人力支撑。

5.3 加大政策支持力度

处于政策支持维度,必须建立补贴激励+产业引导双轮驱动机制,政府能够借助财政补贴减少企业智能化改造成本,例如山西省对实施智能化改造的煤矿提供最多 3000 万元/矿的补贴,立即促进 500 余处煤矿实施升级。与此同时必须加强产业政策引导,国家发展改革委等八部门发布的《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》已经清晰 2025 年大型煤矿基本智能化的目标,在此框架下应当激励龙头企业建设示范工程,经由技术输出、经验推广等方式引领中小型煤矿同时升级,促成全行业智能化转型的政策合力。

5.4 完善安全保障体系

于安全确保层面，须构造多层次防护体系，另一面须设立完善煤矿采掘机械自动化与智能化系统全生命周期安全标准规范，覆盖设计、安装、调试、运作、维护等各环节，经由安全评估与认证机制防止不符合系统启用应用，现行《煤矿智能化建设规范》GB/T422292022 已经为智能化建设供给标准化依据。对于逐渐严重的网络安全威胁，须整合利用防火墙、入侵检测、数据加密等技术手段构造边界防护+终端防护+数据防护三重体系，并且设立应急响应机制，国家矿山安监局已经将此类网络安全措施列入安全生产标准化考核，全面确保系统稳定运作。

6 发展趋势展望

未来煤矿采掘机械智能化将要朝多维度深度发展，人工智能与大数据推动设备独立感知决策能力提升，如深度学习模型能精确预判 50 米内煤层变化，促进开采

效率再度提高 20%。5G 技术依托低时延高带宽特性，达成地面中心对井下设备微秒级操控，河南能源集团 5G+智能工作面已经将故障响应从 15 分钟缩短到 3 分钟。双碳目标下，融合变频调速等节能技术的绿色智能化设备转变为主流，预期 2030 年单位能耗降低 30%、矸石利用率达到 80%。人机协同模式中，瓦斯巡检机器人等取代高危岗位，英国研发的无人机群系统已经完成井下独立巡检，建立机器主役、人工协同的安全高效新业态。

参考文献

- [1] 陈兴宝. 煤矿采掘机械自动化和智能化应用研究 [J]. 大众科学, 2024, 45(6): 7-9.
- [2] 樊梦莹. 煤矿采掘机械自动化和智能化应用研究 [J]. 智能城市, 2023, 9(6): 120-122.
- [3] 徐波, 崔兆波. 煤矿采掘机械自动化和智能化应用研究 [J]. 2021. DOI: 10. 12229/j. issn. 1672-5719. 2021. 24. 103.