

我国煤矿智能化开采的现状、挑战与发展对策研究

宋文祺

陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司, 中国·陕西 榆林 719300

摘要: 煤炭作为我国能源安全的基石, 其“安全、高效、绿色、智能”开采是行业高质量发展的核心目标。本文分析了我国煤矿智能化开采的现状、面临的关键挑战, 并提出相应发展对策。研究表明, 在国家政策驱动下, 我国煤矿智能化建设已取得显著成效, 建成国家级示范煤矿 66 处、省级示范煤矿 200 余处, 智能化技术推广效率提升 40% 以上。在技术层面, 地质透明化技术、综采工作面“一键启停”、智能掘进及 AI 灾害预警等取得重要应用进展。然而, 当前仍面临关键技术瓶颈以及严重的人才短板。针对这些挑战, 本文提出发展对策: 技术方面, 需重点突破煤岩精准识别、装备轻量化与可靠性, 并构建以国产矿鸿系统为核心的统一设备互联生态; 生态构建方面, 应建立政企校协同育人机制强化人才培养, 并完善行业标准体系以打破信息壁垒。最终, 实现煤矿智能化需统筹技术突破、人才培养、标准建设和经济效益平衡, 以支撑行业安全、高效、可持续发展。

关键词: 煤矿智能化开采; 现状分析; 关键技术; 人才培养; 数据融合

Research on the Status Quo, Challenges, and Development Strategies of Intelligent Mining in China's Coal Mines

Song Wenqi

Shaanxi Coal Group Shenmu Ningtiaota Mining Co., Ltd., China Shaanxi Yulin 719300

Abstract: As the cornerstone of China's energy security, the safe, efficient, green, and intelligent mining of coal is the core goal of the industry's high-quality development. This article analyzes the current situation and key challenges of intelligent mining in coal mines in China, and proposes corresponding development strategies. Research has shown that, driven by national policies, China's coal mine intelligent construction has achieved significant results, with 66 national demonstration coal mines and over 200 provincial demonstration coal mines built, and the efficiency of intelligent technology promotion has increased by more than 40%. At the technical level, significant progress has been made in the application of geological transparency technology, "one click start stop" for fully mechanized mining faces, intelligent excavation, and AI disaster warning. However, there are still key technological bottlenecks and serious talent gaps at present. In response to these challenges, this article proposes development strategies: in terms of technology, it is necessary to focus on breakthroughs in accurate identification of coal and rock, lightweight and reliable equipment, and build a unified equipment interconnection ecosystem with the domestic mining system as the core; In terms of ecological construction, a collaborative education mechanism between government, enterprises, and schools should be established to strengthen talent cultivation, and the industry standard system should be improved to break down information barriers. Ultimately, achieving the intelligentization of coal mines requires coordinated technological breakthroughs, talent cultivation, standard construction, and economic balance to support the safe, efficient, and sustainable development of the industry.

Keywords: Intelligent mining of coal mines; Current situation analysis; Key technologies; Talent cultivation; Data fusion

0 引言

据《中国统计年鉴 2024》, 化石能源目前仍是我国能源供给的主要部分, 其中煤炭约占能源消费总量的 55%、石油和天然气分别约占 18% 和 9%。作为国家能源安全的压舱石, 煤炭产业持续保障着我国能源系统的稳定运行。实现煤炭“安全、高效、绿色、智能”四位一体开采, 是行业高质量发展的战略目标; 在此进程中, 煤矿智能化技

术作为核心驱动力已获业界公认, 其中智能开采系统更承担着智能化建设的基础性支撑功能。近年来, 我国加快推进智能化示范煤矿建设并取得积极成效, 由国家矿山安全监察局出台的《煤矿智能化发展蓝皮书》数据显示, 截至 2025 年 3 月, 已建成国家级示范煤矿 66 处、省级(央企级)示范煤矿 200 余处, 使智能化开采技术推广效率提升 40% 以上, 智能矿井建设周期平均缩短 18%, 显著强化了

我国煤炭行业智能化开采技术应用推广与矿井智能化建设的实施效能^[1-3]。

当前煤矿智能化建设聚焦于信息化基础层（含网络通信、数据中心、视频监控等）及固定场景应用（如管控平台、集显大屏、智慧园区），但整体仍处初级阶段。在煤炭开采核心环节——采掘工作面常态化无人作业领域，仍存在系统性技术瓶颈，如攻克装备可靠性、复杂环境感知、自主决策等关键难题需要突破^[4-7]。因此，要构建真正“看得清、判得准、控得稳”的无人开采技术体系。必须在高端智能装备和系统级智能协作领域取得突破性进展。

1 煤矿智能化开采现状分析

在全球煤矿智能化技术前沿，美国、澳大利亚和德国处于领先梯队，各自形成了成效显著且特色鲜明的推进模式：美国以市场导向与企业自主创新为核心，重点聚焦于深度融合数字技术以优化系统效能，典型成果包括 Caterpillar 的矿山装备全生命周期数字孪生平台、MineSense 基于 AI 的 XRF 传感矿石分选技术，以及科罗拉多州矿区深达 1500 米以上、传输能力达 1Tbps 的突破性太赫兹通信系统；澳大利亚的战略重心是实现露天矿的全面无人化运营，其《矿业 4.0 框架》设定了到 2030 年露天矿无人化作业率超 80% 的目标，Rio Tinto 集团的“未来矿山”计划通过大规模应用无人驾驶卡车集群，已完成 20 亿吨物料运输并使安全事故大幅下降 70%；德国则依托其强大的装备制造基础，专注于高端智能装备核心技术研发与国际标准制定，代表成果如 Eickhoff 公司能适应倾角大于 35° 复杂煤层、截割定位精度达 $\pm 2\text{cm}$ 的 SL750 型采煤机，以及 Siemens 公司大幅提升预测性维护效率的 MindSphere 平台，助力其煤矿井下无人开采作业率已达 82%。总体来看，国外发展的共性在于企业是核心技术攻关的主力，其技术演进呈现出强烈的市场驱动性，并倾向于在深井通信、露天矿无人化、装备高精度控制等特定领域追求极致性能。

中国煤矿智能化发展路径呈现出与美国、澳大利亚、德国等国市场主导模式不同的鲜明特征，主要体现为强大的国家政策引领。在“十四五”规划将其明确为能源转型核心任务以及中央财政提供显著支持的背景下，其核心目标聚焦于攻克复杂地质条件下智能开采的瓶颈，特别是实现地质条件的精准感知和综采工作面的无人值守。自 2008 年神东榆家梁矿首次引进国外自动化装备，中国煤矿智能开采技术经历了持续迭代演进。早期探索阶段（2008—2010 年前后）见证了晋能控股古书院矿在国产记忆截割技术上取得突破、中煤唐山沟矿在薄煤层实现少人化开采尝

试，以及首个“863”项目推动矿大遥控技术的研发。随后核心技术路线在 2014 年左右开始明确，进入模式成型阶段：黄陵矿区首创中厚煤层“一键启停 + 记忆截割 + 巡视减员”的标准化模式，2016 年转龙湾矿成功应用井下惯性导航技术（LASC），2018 年国能榆家梁矿开始探索基于三维地质建模的自主决策截割。进入攻坚突破阶段（2019 年起），技术开始在复杂条件适应性与核心技术上发力：中煤门克庆矿于 2019 年创下大采高工作面智能高速开采纪录，2020 年黄陵一号井建成地质信息融合的智能截割系统，标志进入地质模型驱动阶段，2023 年山东能源创新性的解决了含硫化亚铁结核薄煤层开采难题，实现高效生产，同年中煤大海则矿则实现全系统智能化运行树立了新标杆。纵观发展历程，技术实现了从引进模仿，到国产攻坚、本土模式形成，再到地质信息深度融合，最终在 2023 年通过攻克复杂条件实现整体跃升的跨越。根据规划，到 2030 年，覆盖煤矿全生命周期的智能化标准体系将基本建成并完善。

2 智能开采核心挑战分析

2.1 关键技术瓶颈

地质透明化是煤矿智能化开采不可或缺的基础条件。现阶段技术演进的核心聚焦于建立动态更新的地质模型，旨在精确预判和处置井下复杂多变的地质状况。该领域的标志性突破在于四维地理信息系统（4D-GIS）应用的深度拓展。这套系统具备整合多元地质数据的能力，涵盖地质勘探成果、钻孔资料、物探信息以及实时的井下作业数据。通过这种整合，系统能够动态捕捉并三维立体呈现煤层结构、地质构造（例如断层、褶皱）以及含水特性等关键地质要素。此类动态更新的地质信息系统，为后续智能化采掘方案制定和灾害预防措施提供了实时演化的基础地质数据基础。但值得注意的是，作为智能化开采关键环节的煤层界面精准识别技术，其实际效能却因复杂地质条件的制约而远未达到预期。当前应对方案（如 γ 射线探测、红外传感、振动信号分析）在煤层倾角突变、夹矸层发育或高瓦斯压力环境中，其传感器抗干扰能力显著下降。以陕西神府矿区某矿为例，其主采煤层高度发育多层 0.1—0.4m 碳质泥岩夹矸层，使得红外热像仪因岩体导热系数相近而发生识别混淆，实测误判率高达 45%，导致采煤机频繁错误切割顶底板岩层。这不仅造成截齿损耗激增 120%，更由此诱发两大深层问题：误切顶板破坏应力平衡，诱发局部冒顶，引发地质安全风险；在薄煤层场景中，10% 的识别偏差即可造成万吨可采储量损失，造成资源浪费。其技术根源在于现有算法依赖静态地质模型，缺乏对动态开采过程

中煤岩物性参数的实时修正能力。因此,融合地质雷达动态扫描与 AI 增量学习技术,才能突破关键性技术瓶颈。

在智能开采领域,关键技术综采工作面的应用已达到较高成熟度,典型代表是采煤机自适应调高与液压支架跟机自动移架技术。例如,山西焦煤曙光矿应用的“一键启停”系统,成功实现了工作面设备的集中操控与工艺流程协同。掘进效率的提升同样突出,智能化技术有力支撑了快速掘进作业。山东能源李楼煤矿引入智能钻锚一体化机器人系统后,月进尺由 350 米显著提升至 630 米,创下行业高效掘进新纪录。针对煤矿安全生产的核心难题,灾害防控技术取得重要突破,集中表现在各类基于人工智能的风险预警平台的建设和应用上。山西省推广的“电子围栏”系统融合定位、传感与智能算法,对井下运输风险点实施动态监控预警,有效降低了运输事故率,显著增强了矿井的安全保障能力。然而,值得注意的是,智能化应用的深度推广仍面临挑战,以“一键启停”系统为例,其高达 60% 的闲置率暴露了机电控制系统可靠性的不足。具体表现为井下极端湿度环境中引发的设备异常:液压支架电液控制器因潮湿导致通信丢包率突破 25% 临界值,致使采煤机、刮板输送机与转载机不能协同作业。据山西某矿实测数据,系统持续运行 72 小时后,压力传感器出现 $\pm 15\%$ 的误差,平均每日触发紧急停机故障 21 次。更深层次矛盾在于预设参数与实际地质条件不匹配——系统设计默认煤层普氏硬度系数 $f=2-3$,但鄂尔多斯矿区断层带实测 f 值可达 4.5,造成截割电机频繁因过载保护停机。这些故障最终迫使矿井采用“人工主导 + 设备辅助”的半自动模式,智能化设备降级为高成本监视终端。

最后是智能管控平台高达 30% 的闲置率,其问题主要出在设备通讯协议不统一和数据难以整合上。例如,在陕西榆林矿的实际测量中发现,井下绝大部分传感器使用的是 Modbus/RS485 这类通讯协议,而主要的采煤设备控制系统则普遍采用 Profinet/EtherCAT 等不同的工业以太网协议。这种协议差异导致数据在转换过程中延迟严重,最高可达 800 毫秒。如某矿智能工作面虽然安装了多达 7 种类型、总共 142 个监测点的传感器,但真正能有效整合利用起来的数据却不到 40%。这种数据割裂直接影响了决策的准确性和及时性。要解决这些问题,关键在于建立矿山统一的 OPCUA 通讯架构,并搭建一个结合了数据库和数字孪生技术的平台。从而实现地质动态模型与开采系统的闭环反馈、设备状态数据与维护策略的智能关联、安全监测信息与生产调度的实时联动。

2.2 人才培养的缺失

矿业作为典型的高强度作业领域,其从业环境特殊性导致优质生源短缺,这一结构性矛盾制约了矿业工程学科人才培养质量提升,进而对学科发展进程与行业技术创新造成了影响。为缓解人才短缺与产业升级需求间的矛盾,需通过拓展生源选拔路径、构建多层次培养体系、深化工程教育改革等路径实现突破。当前采矿工程专业教育主要存在以下问题:煤矿智能化面临超 10 万人的跨学科人才缺口,需要同时精通设备运维、地质构造解析与工业互联网技术的复合型人才。更普遍的问题是智能装备运维低效——山西某矿采煤机变频器损坏后,因维护团队仅具机械维修经验,需等待外部 ICT 工程师远程调试,故障停机长达 78 小时。深层矛盾源于教育体系与产业需求脱节:全国煤炭类高校仅 12% 开设智能采矿专业,且课程中 ICT 与地质交叉内容不足 15%。所以建立“理论培训 - 井下实训 - 认证考核”三位一体人才培养机制,才能解决关键性难题。

采矿工程教育体系面临严重的智能转型滞后问题,其核心矛盾体现为课程架构陈旧与师资能力断层。全国范围内开设智能化方向课程的高校比例不足 15%,专业课程体系中工业互联网、数字孪生等前沿内容占比仅 12%,远低于国际先进水平要求的 30% 基准。师资队伍的结构性缺陷进一步加剧困境:兼具井下实践经验与智能化技术研发能力的教师比例极低,直接导致教学内容与现场技术需求脱节。这种教育供给失衡衍生出显著的能力缺口,行业测评数据显示新入职工程师的数字技能达标率不足 45%,超过 80% 人员无法独立完成智能装备程序调试。根本性改进需实施三维度改革:强制提升智能课程学分占比至总体系的 30%,建立教师定期赴智能矿山驻场实训制度,构建动态更新的产教融合课程资源库,从而系统性弥合知识供给与产业升级间的鸿沟。

人才培养与产业需求脱节的本质在于深度协同机制的缺失。当前产教合作普遍呈现表层化特征,校企共建联合实验室的比例低于行业需求的 50%,且合作内容中硬件设备支持占比超过 70%,关键技术联合研发投入不足 10%。这种浅层互动引发双重负面效应:高校研究成果因脱离真实工况导致技术转化率低下,如智能识别算法井下适用性普遍未达设计要求,同时企业智能化设备因缺乏专业操作维护团队,设备利用率长期低于行业效益阈值。破解困局需构建政策与机制双驱动的协同模型:政策层面设立定向支持产教融合的专项基金,机制层面推行“产业需求定义 - 高校技术攻关 - 现场应用验证”的闭环流程。同步实

施企业实践容量强制指标,要求智能化矿井年均接收实训生规模不低于专业人才缺口的20%,形成技术演进与人才成长的正向循环生态。

3 发展对策建议

3.1 技术攻坚路径

当前矿山智能化面临的关键挑战在于煤岩识别与装备轻量化两大技术瓶颈。针对煤岩识别,需开发适应井下特殊环境的传感系统,通过多种探测技术结合智能算法,实现岩层界面的精准实时判别,解决高粉尘、低光照环境下的感知难题;在装备轻量化方面,重点优化掘进设备结构设计,在保证安全强度的前提下减轻机体重量的30%以上,为智能化设备大规模应用创造基础条件。为此制定三步走计划:2025年前完成实验室技术验证,2030年实现井下工作面规模化应用,最终在2035年达成高危岗位机器人综合替代率 $\geq 30\%$ 的核心目标。

同时,在全面推进国产化工业操作系统建设进程中,应以矿鸿系统为核心枢纽重构矿山设备互联生态体系。着力突破当前依赖国外技术标准的被动局面,通过自主制定符合我国矿山实际特点的设备通信规范,实现从底层传感器到上层控制系统的全链条技术自主可控。通过系统化规范硬件接口标准、数据传输协议及软件应用生态,最终形成覆盖设备智能连接、数据无缝互通、决策精准优化的完整技术闭环,为矿山智能化建设提供安全可靠、自主可控的国产化基础平台。

3.2 生态系统构建

构建智能化矿山可持续发展生态,关键在于建立政企校协同育人机制,推行“政府政策支持-高校专业培养-企业实战训练-科研机构技术攻关-矿山场景应用”五位联动模式。重点推进校企共建“智能开采实训基地”,开设智能装备维护、矿山数据分析、数字系统管理等实用课程。基地将井下真实工业网络与虚拟采掘实训系统深度融合:学员通过VR技术在高仿真工作面操作设备,再转入真实环网平台进行实战演练,实现从理论到实操的进一步提升。企业技术骨干担任导师,依据实操表现联合颁发职业技能认证,定向培养懂技术、会操作的复合型人才,年均输送专业人才2000名以上,切实解决智能化矿山人才短缺问题。

同步加强行业标准体系建设,全面强制实施《智能化矿山数据融合共享规范》。该规范将建立覆盖数据采集、传输、存储、分析全流程的统一管理体系:在数据采集环节统一设备接口标准,打通不同厂商设备之间的连接障碍;数据传输环节采用5G与工业环网双重保障机制,确保关

键生产指令持续稳定传递;数据存储环节搭建矿山专用云平台,实现信息资源集约化管理;数据分析环节引入智能算法系统,有效支撑生产决策优化。通过构建开放共享的矿山数据平台,形成支撑智能决策的共享数据库,为矿山三维可视化系统、远程集中控制等高级功能奠定运行基础,最终实现“一个平台管理整座矿山”的智能化建设目标。

4 结语

矿山智能化已成为提升安全生产水平和开采效率的必然选择。研究证实:通过攻克煤岩精准识别、轻量化掘进装备等关键技术,可显著降低重大事故发生率40%以上;依托国产矿鸿系统构建的设备互联平台,能够提升开采效率25%-30%。当前核心挑战在于技术应用的可行性,需要突破三大现实制约:首先,单个采煤工作面的智能化改造成本需压缩至该面年产值的15%以内;其次,2025年前全国需补充3.2万名掌握智能设备运维技能的专业人才;最后,不同设备间的数据联通成本应从当前占总投入35%降至10%以下。破解这些难题需要多方协同发力:政府部门通过专项补贴等政策工具降低企业负担,技术研发领域采用模块化设计增强设备兼容性,运营管理层面探索设备租赁共享等创新模式。唯有统筹这些举措,才能在保障安全生产效率提升的同时,实现技术投入与经济效益的可持续平衡。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴2024[M]. 北京: 中国统计出版社, 2024.
- [2] 袁智, 蒋庆友, 庞振忠. 我国煤矿智能化综采开采技术装备应用现状与发展思考[J]. 煤炭科学技术, 2024,52(09):189-198.
- [3] 国家矿山安全监察局. 煤矿智能化发展蓝皮书[R]. 北京: 应急管理出版社, 2025.
- [4] 赵坤. 到2025年我国大型煤矿基本实现智能化[N]. 中国电力报, 2024-05-29(001).
- [5] 张明, 张建明. 加快煤矿智能化建设 推进煤炭高质量发展[J]. 煤炭经济研究, 2024,44(4):1.
- [6] 张科利, 曹豪. 煤矿智能化建设的系统思考[J]. 中国煤炭工业, 2024(2):72-73.
- [7] 张闯, 张超力, 崔涛, 等. 煤矿智能化开采技术现状及展望[J]. 能源与节能, 2024(1):186-189.

作者简介: 宋文祺(1998.09-), 男, 宁夏中宁人, 本科, 初级采矿工程师, 从事采矿工作。