

煤矿智能化技术发展趋势探讨

马蓉蓉 王 洋 郝选平
神东煤炭集团 陕西 榆林 719000

摘 要：煤矿智能化技术正加速向全链条协同、绿色化及差异化方向发展。截至2025年，全国建成超1800个智能化采掘工作面，5G、AI、数字孪生等技术深度融合，实现地质精准探测、采掘装备自主决策及灾害超前预警。政策驱动下，头部企业构建“技术-生态-国际化”壁垒，中小企业聚焦细分领域，如安全预警与设备健康管理。预计2030年智能化采掘面占比将达60%，绿色矿山占比超六成，形成多元产业生态。

关键词：煤矿智能化技术；发展趋势；挑战与应对策略

引言：随着全球能源转型与“双碳”目标的推进，煤矿行业正经历从机械化向智能化、绿色化的深刻变革。我国作为全球最大煤炭生产国，现有煤矿超4000处，年产量占全球50%以上。面对复杂地质条件、安全生产压力及资源利用率提升需求，智能化技术成为破解行业发展瓶颈的关键路径。5G、AI、数字孪生等技术的突破，正推动煤矿实现“采-运-销”全流程自主决策与少人化作业，开启能源生产革命新篇章。

1 煤矿智能化技术体系构建

1.1 基础架构创新

（1）工业互联网平台：以矿用超万兆环网为核心，融合5G-A技术打造井下通信网络，实现信号全覆盖。如大海则煤矿应用该组网后，数据传输延时大幅降低65%，为井下设备协同作业提供稳定网络支撑。（2）数字孪生系统：国神公司准东二矿搭建采煤机数字孪生双控体系，地面数字模型与井下0.1毫米级精度的采煤机实时联动，可远程监控设备运行状态、调整作业参数，提升采煤机操控精准度与安全性。（3）AI大模型应用：陕煤集团构建“云网边端”协同决策系统，将AI大模型融入地质分析环节，通过多源数据实时运算，使地质模型误差率控制在3%以内，为开采规划提供精准数据依据。

1.2 核心环节技术突破

（1）智能采掘：研发连采机与掘锚一体机协同快掘系统，作业效率较传统设备提升300%；同时推出10米超大采高装备，突破行业采高纪录，大幅提高单工作面产能。（2）运输系统：主运输皮带采用智能集控技术，实现无人化操作，人员配置减少30%；露天矿无人驾驶卡车攻克极寒环境技术难题，在低温恶劣条件下稳定运行，保障运输作业连续性。（3）灾害防控：部署激光瓦斯监测设备，实现井下98%区域全覆盖监测，可实时预警瓦斯浓度异常；研发矿井通风分钟级风量调节技术，能快速

响应通风需求变化，有效防范瓦斯、粉尘等灾害^[1]。

1.3 关键技术集群

（1）感知技术：应用UWB定位技术，定位精度达10厘米，可精准追踪井下人员、设备位置；采用多光谱煤质分析技术，仅需7分钟即可完成煤质检测，为煤质分选与利用提供快速数据支持。（2）决策技术：基于深度学习算法开发顶板压力超前预警系统，能提前预判顶板风险，为支护方案调整争取时间；构建多模态灾害识别系统，整合视频、传感器等多源数据，提升灾害识别准确率与响应速度。（3）执行技术：投入6自由度喷浆机器人，喷浆回弹率控制在11%以下，减少材料浪费并提高支护质量；辅助运输无人驾驶车辆实现小于5厘米的错车精度，保障井下运输安全高效。

2 煤矿智能化技术应用现状与瓶颈分析

2.1 典型应用场景

（1）中煤大海则煤矿，全球首创5G700MHz+2.6GHz融合组网，信号覆盖更为全面且稳定。在此基础上，其智能综采开机率高达95%，极大提升了煤炭开采效率，保障了生产作业的连续性。（2）陕煤黄陵矿业取得重大突破，实现全国首个薄中厚煤层智能开采全覆盖。目前已建成7个国家级智能化示范矿井，在智能开采技术应用、安全生产管理、高效运营等多方面发挥了示范引领作用。（3）山西某矿借助AI视频分析技术，显著提升事故预警能力，将事故预警提前量提升3倍，为安全事故防范争取了更多时间。同时，人员定位系统精准度极高，误差小于0.5米，能实时精准掌握井下人员位置，便于应急调度与安全管理。（4）神东13个矿25个综采工作面推广应用人员接近防护系统。通过建设人员接近防护系统，实现工作面人员、设备精确定位，接近报警停机，有效防护人员安全。

2.2 现存问题

(1) 技术适配性: 煤矿地质条件复杂多样, 在复杂地质条件下, 掘进系统智能化率不足40%。部分智能化设备难以适应断层、褶皱等特殊地质构造, 导致设备故障频发、作业效率低下, 无法充分发挥智能化优势。(2) 数据孤岛: 约85%的矿井存在子系统间数据壁垒, 不同设备、系统采集的数据相互独立, 无法有效整合与共享。这使得数据难以发挥综合价值, 限制了基于大数据分析的智能决策与协同作业能力提升。(3) 人才缺口: 智能化专业人才缺口达60%, 煤矿行业对智能化人才吸引力不足。且机器人操作员等专业岗位培训周期长, 难以满足煤矿智能化快速发展需求, 导致设备维护、操作不专业, 影响智能化系统运行稳定性。(4) 经济性矛盾: 单矿井智能化改造投资超5亿元, 投入成本巨大。而回收期长达7-8年, 投资回报周期长, 对于部分资金实力有限的煤矿企业而言, 智能化改造积极性受到抑制, 阻碍了智能化技术的全面推广。

3 煤矿智能化技术发展趋势与战略路径

3.1 技术演进方向

(1) AI深度融合: 矿山领域将加速AI技术渗透, 重点推动矿山大模型与生成式AI的深度结合。通过整合地质勘探、开采作业、设备运行等全流程数据, 矿山大模型可构建动态开采决策体系, 生成式AI则能基于实时工况模拟不同开采方案, 实现开采参数的动态优化调整, 进一步提升开采效率与资源利用率, 减少因参数固定导致的资源浪费或设备损耗。(2) 装备迭代升级: 装备技术将向绿色化、高精度方向突破。在动力系统方面, 氢能驱动的无人驾驶装备将逐步推广, 氢能作为清洁能源, 可大幅降低装备运行过程中的碳排放, 契合煤矿绿色发展需求; 在探测技术领域, 量子传感技术将应用于地质探测, 凭借其超高灵敏度与抗干扰能力, 能更精准识别地下煤层分布、断层构造等地质信息, 为开采规划提供更可靠的数据支撑, 降低因地质探测误差引发的开采风险^[2]。(3) 生态协同创新: 煤矿产业将打破单一开采格局, 向产业链延伸与多产业融合发展。一方面, 将新能源制氢与煤矿生产结合, 利用煤矿副产物或闲置能源资源开展制氢项目, 实现能源的循环利用; 另一方面, 推动煤基新材料产业发展, 如以煤炭为原料研发生产煤基石墨烯等高性能材料, 拓展煤炭应用领域, 提升煤炭产品附加值, 构建“煤矿开采—新能源—新材料”协同发展的产业生态, 增强煤矿产业的综合竞争力与抗风险能力。

3.2 政策与产业协同

(1) 标准体系完善: 国家层面将加快推进煤矿智能

化相关标准的制定与落地, 重点推动《智能化矿山数据融合共享规范》等国家级标准的出台。该标准将明确智能化矿山各子系统数据采集、传输、存储、共享的技术要求与接口规范, 解决当前不同系统数据格式不统一、难以互通的问题, 为数据跨系统整合应用提供依据, 打破数据孤岛, 促进数据价值最大化发挥。(2) 产学研用联动: 将进一步深化“科研院所+装备企业+矿企”的创新联合体建设, 如依托煤矿智能化创新联盟等平台, 整合科研院所的技术研发优势、装备企业的生产制造能力与矿企的现场应用经验。通过联合开展技术攻关、共同研发智能化装备与系统、共建试验基地等方式, 加速科研成果向实际应用转化, 缩短技术研发周期, 提高技术与现场工况的适配性, 避免科研与应用脱节^[3]。(3) 国际技术输出: 借助“一带一路”倡议契机, 中国煤矿智能化技术与解决方案将向沿线国家推广。以蒙内铁路沿线矿井为例, 可结合当地煤矿资源条件与开采需求, 提供定制化的智能化开采系统、装备及技术服务, 包括智能综采设备、安全监测系统、远程运维平台等, 帮助当地提升煤矿开采效率与安全生产水平, 同时推动中国煤矿智能化技术与装备走向国际市场, 增强中国在全球煤矿智能化领域的技术话语权与产业影响力。

3.3 企业转型策略

(1) 头部企业: 将聚焦构建“技术、生态、国际化”三重壁垒, 引领行业发展方向。以中煤集团为例, 将重点布局“风光火储”一体化基地建设, 整合风力发电、光伏发电、煤炭发电与储能技术, 实现多种能源形式的协同互补, 保障能源供应稳定的同时, 推动煤矿产业与新能源产业深度融合; 在技术层面, 持续加大研发投入, 攻克核心关键技术, 保持技术领先优势; 在生态建设上, 整合上下游资源, 构建涵盖装备制造、技术服务、新材料等领域的产业生态; 在国际化布局上, 积极参与国际煤矿项目合作, 推动技术与装备出口, 拓展国际市场。(2) 中小企业: 将采取差异化发展策略, 避开头部企业在全产业链布局的竞争优势, 聚焦安全预警、设备健康管理等细分领域。如蒲白矿业研发的“AI+千眼系统”, 专注于煤矿井下安全监测, 通过AI技术整合多类型监测设备数据, 实现对瓦斯浓度、顶板压力、人员行为等安全隐患的精准预警; 中小企业可凭借在细分领域的专注度, 深入研究特定场景的技术需求, 开发针对性强、性价比高的产品与服务, 形成自身独特的竞争优势, 填补市场细分领域空白, 与头部企业形成互补发展格局, 共同推动煤矿智能化产业整体发展^[4]。

4 煤矿智能化技术发展的挑战与应对策略

4.1 技术层面

(1) 装备可靠性: 当前煤矿智能化装备在复杂地质条件下适应性明显不足。我国部分煤矿存在断层多、煤层厚度不稳定、涌水量大等问题, 现有智能掘进机、综采设备易因地质突变出现卡顿、故障, 如在松软煤层中, 智能装备截割阻力骤增时易引发部件损耗, 导致设备停机率上升, 难以保障连续作业, 制约智能化技术落地效果。(2) 数据孤岛: 跨系统协同与标准统一难题突出。不同煤矿企业采购的设备多来自不同厂商, 各子系统(如综采监控系统、人员定位系统、通风监测系统)数据格式、接口协议不统一, 80%以上矿井存在数据壁垒。例如, 某矿智能综采系统采集的开采数据, 无法直接接入矿井安全管理平台, 需人工二次录入, 不仅增加工作量, 还易出现数据误差, 阻碍多系统协同决策。

4.2 管理层面

(1) 人才短缺: 复合型技术团队培养严重滞后。煤矿智能化需既懂采矿技术、又掌握AI算法、设备运维的复合型人才, 但行业内传统矿工占比高, 具备智能化技能的人才仅占从业人员的15%左右。且高校相关专业招生规模有限, 企业内部培训周期长(如智能设备运维人员培训需6-12个月), 导致技术团队无法快速匹配智能化发展需求。(2) 机制僵化: 传统管理模式与智能化发展存在冲突。部分煤矿仍沿用“层级管理、人工调度”的传统模式, 智能化系统生成的实时决策建议(如开采参数调整、设备检修预警)需经多环节审批, 响应滞后。例如, 某矿智能监测系统发现顶板压力异常, 需逐层上报至矿领导审批后, 才能安排支护调整, 错过最佳处置时机。

4.3 经济层面

(1) 投资回报周期长: 中小企业智能化改造意愿低迷。单矿井智能化改造平均投资超5亿元, 而受煤炭产能、市场需求影响, 投资回收期普遍达7-8年。中小企业资金实力有限, 且融资渠道较窄, 面对长期回报压力, 更倾向维持现有生产模式, 不愿投入大量资金开展智能化改造。(2) 煤炭价格波动: 智能化投入存在持续性风险。煤炭价格受国际能源市场、政策调控等因素影响波动较大, 当价格下行时, 煤矿企业利润空间压缩, 可能削减智能化研发、设备更新等方面的投入。例如, 2023

年部分时段煤炭价格下跌, 导致部分矿企暂停智能监测系统升级项目, 影响智能化技术持续推进。

4.4 应对路径

(1) 产学研协同: 加快建设创新联盟与共享实验室。依托煤矿智能化创新联盟, 整合高校(如中国矿业大学)、科研院所(如煤炭科学研究总院)、装备企业(如三一重装)资源, 共建共享实验室, 针对复杂地质条件下装备可靠性、数据标准统一等问题开展联合攻关, 缩短技术研发周期, 提升成果适配性。(2) 政策支持: 加大税收优惠与示范项目补贴力度。对开展智能化改造的煤矿企业, 给予增值税即征即退、企业所得税减免等优惠; 设立专项补贴资金, 对国家级、省级智能化示范矿井分别给予不同额度补贴, 降低企业改造成本, 激发中小企业参与积极性。(3) 商业模式创新: 探索租赁分成与数据服务增值模式。针对中小企业资金压力, 推出智能装备租赁服务, 企业按产量支付租赁费用, 减少前期投入; 鼓励煤矿企业开放数据资源, 为上下游企业(如煤电企业、化工企业)提供地质数据、煤质分析等增值服务, 拓宽收入来源, 缓解投资回报压力。

结束语

煤矿智能化作为能源领域数字化转型的核心方向, 正以技术创新驱动产业深度变革。在AI、5G、数字孪生等技术的赋能下, 煤矿将加速迈向安全高效、绿色低碳的智能化新阶段。未来需持续强化技术攻坚、完善标准体系、优化人才结构, 并构建多方协同的产业生态, 推动智能化技术从单一矿井应用向全产业链延伸, 为全球能源可持续发展提供具有示范意义的中国路径。

参考文献

- [1]张颖峰.智能化矿山采矿技术中的安全管理问题研究[J].世界有色金属,2022,(23):181-183.
- [2]李敏.物联网技术在煤矿智能化开采中的应用[J].自动化应用,2024,65(12):253-255.
- [3]徐士鹏.煤矿智能化开采技术现状及展望[J].冶金与材料,2024,44(05):187-189.
- [4]史忠普,周博,程帆.煤矿综采工作面智能化开采技术应用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(09):160-162.