

智能化煤矿开采技术体系构建与优化

霍浩浩

陕西华电榆横煤电有限责任公司，陕西榆林，719000；

摘要：煤炭作为我国能源安全的压舱石，其开采模式的转型升级直接关系到能源供给稳定性与行业可持续发展。传统煤矿开采面临安全风险高、资源利用率低、生产效率受限等突出问题，智能化技术的深度融合为解决这些痛点提供了有效路径。本文基于我国煤矿开采行业发展现状，系统阐述智能化煤矿开采技术体系的核心构成，包括感知层、决策层、执行层与保障层的技术架构与功能定位，深入分析体系构建中的关键技术瓶颈。结合实际应用案例，提出从技术融合、数据治理、人才培养及政策保障等维度出发的优化策略，为推动煤矿开采行业向安全、高效、绿色、智能方向转型提供理论支撑与实践参考。

关键词：智能化煤矿；开采技术体系；构建路径

DOI：10.64216/3080-1508.26.02.055

引言

我国煤炭资源储量丰富，在一次能源消费结构中占比长期超 50%，是保障工业与民生的核心能源。但传统煤矿开采依赖人工，有高风险、高能耗、低效率、低效益缺陷，且随着浅部资源枯竭、开采向深部延伸，地质条件复杂，安全隐患凸显，传统技术难适应发展需求。智能化煤矿开采以少人则安、无人则安为理念，融合先进技术，实现开采自主感知、智能决策等，是煤炭行业转型方向。据统计，截至 2024 年底，我国建成智能化煤矿 523 处、智能化采掘工作面 1100 余个，相比传统模式，智能化矿井事故率降 60% 以上、回采率提升 15%-20%、生产效率提高 30% 以上。不过，当前智能化开采技术体系存在技术碎片化、数据共享不畅、核心装备依赖进口等问题，构建并优化系统完善、高效协同的技术体系是推动煤炭行业高质量发展的关键。

1 智能化煤矿开采技术体系的核心构成

智能化煤矿开采技术体系是一个多维度、多层次的复杂系统，以数据为核心驱动，以技术融合为支撑，涵盖感知、决策、执行、保障四个关键环节，各环节协同联动，实现开采全流程的智能化管控。

1.1 感知层：智能化开采的神经末梢

感知层是技术体系的基础，负责采集煤矿井下地质环境、设备运行、生产过程等各类数据，为后续决策提供精准依据，核心技术包括多源传感技术、物联网技术与数据预处理技术。

在地质环境感知方面，通过部署微震监测传感器、瓦斯浓度传感器、顶板位移传感器等设备，实现对井下关键参数的实时采集。例如，采用光纤传感技术可实现

对煤层温度、应力的分布式监测，监测范围覆盖整个采掘区域，精度达到 0.1°C 和 0.1 MPa；基于雷达探测技术的地质超前探测系统，能提前 100 米探明前方地质构造，为开采方案调整提供依据。

设备运行感知通过在采煤机、刮板输送机、液压支架等核心装备上安装振动、温度、压力等传感器，实时监测设备运行状态。例如，智能采煤机配备的煤岩识别传感器，可通过识别截割声音、负载变化等特征，自动区分煤与岩石，实现截割高度的自适应调整。物联网技术则通过 5G、工业以太网等通信手段，将分散的传感器数据汇聚至数据平台，形成空-天-地-井一体化感知网络。

1.2 决策层：智能化开采的大脑中枢

决策层基于感知层采集的海量数据，通过数据分析与智能算法，制定最优开采方案并下发执行指令，核心技术包括大数据分析、人工智能算法与数字孪生技术。

大数据分析技术对感知数据进行清洗、挖掘与融合，提取隐藏在数据中的规律与趋势。例如，通过分析历史瓦斯浓度数据与地质参数的关联关系，可建立瓦斯突出风险预测模型，预测准确率达到 85% 以上；基于设备运行数据的故障诊断模型，能提前预警液压支架泄漏、采煤机齿轮磨损等故障，预警响应时间小于 10 秒。

人工智能算法是决策层的核心，包括机器学习、深度学习、强化学习等技术。在开采参数优化中，采用强化学习算法的智能决策系统，可根据煤层厚度、硬度等实时参数，自动调整采煤机截割速度、液压支架移架步距等参数，使回采率提升 10%-15%；在工作面调度中，基于遗传算法的调度模型能实现人员、设备的最优配置，减少设备闲置时间 30% 以上。

数字孪生技术通过构建与物理矿井 1:1 对应的虚拟模型，实现开采过程的可视化模拟与虚拟调试。例如，某大型能源企业旗下智能化煤矿构建的数字孪生系统，可实时映射井下采掘场景，通过虚拟仿真测试不同开采方案的效果，提前规避地质风险与设备冲突，使开采方案制定效率提升 50%。

1.3 执行层：智能化开采的手脚

执行层负责将决策层的指令转化为具体的开采动作，通过智能装备实现无人化、自动化作业，核心装备包括智能综采装备、无人掘进装备与智能运输系统。

智能综采工作面是执行层的核心，以采煤机-液压支架-刮板输送机协同控制为核心，实现全流程自动化。例如，某大型煤矿的智能综采工作面，采用电液控液压支架与采煤机协同控制系统，液压支架可根据采煤机位置自动完成降架、移架、升架动作，移架速度达到 3.5 秒/架，相比人工操作提升效率 4 倍；采煤机配备的自适应截割系统，可根据煤层起伏自动调整截割路径，截割误差控制在 $\pm 50\text{mm}$ 以内。

无人掘进装备通过融合掘进机、锚杆钻车、转载机等设备的自动化控制技术，实现掘进过程的无人操作。例如，基于激光导航的无人掘进机，定位精度达到 $\pm 10\text{mm}$ ，可自动完成截割、装煤、运煤工序，掘进效率达到 300 米/月，相比传统掘进模式提升 2 倍；智能锚杆钻车可自动识别锚杆孔位置并完成钻孔、安装作业，锚杆安装精度误差小于 $\pm 20\text{mm}$ 。

智能运输系统通过智能矿车、皮带输送机、轨道运输等设备的协同控制，实现煤炭与物料的高效运输。例如，采用无人驾驶技术的智能矿车，通过激光雷达与视觉导航系统实现自主避障与路径规划，运输效率提升 25%；皮带输送机配备的智能纠偏系统，可实时监测输送带跑偏情况并自动调整，减少输送带磨损 80% 以上。

1.4 保障层：智能化开采的支撑体系

保障层为智能化开采提供安全、通信、标准等支撑，确保技术体系稳定运行，主要包括安全保障技术、通信保障技术与标准规范体系。

安全保障技术以主动预防为核心，通过智能监测与应急处置技术降低安全风险。例如，智能瓦斯抽采系统可根据瓦斯浓度自动调整抽采参数，抽采效率提升 30%；应急救援机器人可进入高风险区域完成探测、救援任务，避免人员伤亡。

通信保障技术构建高速、稳定、抗干扰的井下通信网络，为数据传输提供支撑。5G 技术的应用实现了井

下 10Gbps 的传输速率与 1ms 的低时延，满足高清视频传输与设备实时控制需求；工业环网与无线 Mesh 网络的融合，确保通信网络在井下复杂环境中的全覆盖与高可靠性。

标准规范体系包括技术标准、管理标准与安全标准，为智能化开采提供统一依据。目前我国已发布《智能化煤矿建设指南》《煤矿智能化采掘工作面技术条件》等多项标准，规范了智能装备、数据接口、系统集成等关键环节的技术要求，但仍需完善跨企业、跨行业的标准协同机制。

2 智能化煤矿开采技术体系的优化路径

当前智能化煤矿开采技术体系仍存在技术融合不深、数据价值挖掘不足、核心技术卡脖子等问题，需从技术、数据、人才、政策等多维度出发，构建协同优化的发展路径。

2.1 深化技术融合，突破核心瓶颈

技术融合是智能化开采的核心驱动力，需打破技术壁垒，推动多学科技术的深度融合。一方面，加强人工智能与开采技术的融合，针对复杂地质条件开发自适应开采算法，提升系统对地质变化的响应能力；另一方面，突破核心装备与元器件的技术瓶颈，加大对高端传感器、智能控制器、特种芯片等关键部件的研发投入，减少对进口产品的依赖。例如，国内煤炭科研机构研发的自主可控智能采煤机控制系统，已实现核心芯片与软件的国产化，相比进口系统成本降低 40%。

同时，推动智能化+绿色化融合发展，将智能化技术与煤层气开发、矸石利用等绿色开采技术结合，实现煤炭资源的高效清洁利用。例如，智能化矸石充填系统可根据采空区体积自动调整充填量，充填效率提升 50%，减少地表沉陷与矸石排放。

2.2 强化数据治理，释放数据价值

数据是智能化开采的核心资源，需构建采-存-管-用全流程数据治理体系。首先，统一数据标准与接口规范，制定煤矿行业数据采集与传输标准，实现不同设备、不同系统的数据互联互通；其次，建立分布式数据存储平台，采用云计算与边缘计算融合的架构，满足海量数据的存储与实时处理需求，边缘计算节点可实现井下数据的本地分析，减少数据传输压力；最后，构建数据安全保障体系，通过数据加密、访问控制、安全审计等技术，确保数据在采集、传输、使用过程中的安全。

此外，加强数据价值挖掘，建立跨矿井的数据共享平台，通过汇聚不同矿井的地质、生产、设备数据，构

建行业级的智能决策模型。例如,某大型能源集团建立的煤矿大数据平台,汇聚了旗下50余处矿井的数据资源,构建的开采参数优化模型可适配不同地质条件,使矿井平均回采率提升8%。

2.3 完善人才体系,强化智力支撑

智能化开采需要既掌握煤炭开采技术,又熟悉人工智能、大数据等前沿技术的复合型人才,需构建高校培养-企业培训-行业引进的人才培养体系。高校应优化专业设置,开设煤矿智能化智能采煤工程等交叉学科专业,加强实践教学环节,与煤矿企业共建实训基地;企业应建立内部培训机制,针对一线员工开展智能化装备操作培训,针对技术人员开展智能算法与系统集成培训;同时,加大高端人才引进力度,吸引人工智能、工业互联网等领域的人才投身煤炭行业。

例如,某大型煤矿企业与国内矿业类高校合作开设智能采煤订单班,定向培养复合型人才,同时建立首席科学家制度,引进国内外顶尖专家团队,为智能化技术研发提供智力支撑。

2.4 健全政策保障,优化发展环境

政策支持是智能化煤矿发展的重要保障,需构建国家引导-地方扶持-企业主导的政策体系。国家层面应加大对智能化煤矿技术研发的资金支持,设立专项研发基金,支持核心技术攻关与示范工程建设;地方政府应结合区域煤炭资源特点,制定差异化的扶持政策,对智能化改造项目给予税收减免、贷款贴息等优惠;同时,完善行业监管体系,建立智能化煤矿安全评估标准,规范智能化开采过程中的安全管理。

例如,国内某省出台《智能化煤矿建设三年行动计划》,对通过智能化验收的矿井给予最高5000万元的奖励,推动该省智能化煤矿覆盖率从2022年的45%提升至2024年的78%。

3 案例分析:国内某智能化煤矿技术体系实践

国内某大型智能化示范煤矿地质条件复杂,含多层夹矸与瓦斯富集区,传统开采模式下回采率仅65%,事故率高。该煤矿构建感知-决策-执行-保障一体化智能化开采技术体系,实现全流程智能化管控,成效显著。

在感知层,部署1200余个传感器,构建基于5G与工业环网的通信网络,实时采集参数,数据传输延迟小于1ms;在决策层,构建数字孪生系统与AI决策平台,融合数据建立模型,提前预警风险,开采参数调整响应

时间小于5秒;在执行层,采用智能综采装备与无人掘进系统,综采工作面无人跟机、远程操控,掘进效率提升2倍;在保障层,建立智能安全监测与应急处置平台,瓦斯抽采效率提升35%,事故率下降90%。

该煤矿技术体系优化后,回采率提升至82%,吨煤开采成本下降18%,年增产值超5亿元,为复杂地质条件下智能化煤矿建设提供可复制经验。

4 智能化煤矿开采技术体系的挑战与展望

我国智能化煤矿开采技术体系虽取得阶段性成果,但仍面临挑战:一是复杂地质条件适应性不足,对智能装备与传感器可靠性要求高;二是核心技术自主化率待提升,部分领域依赖进口;三是标准体系不完善,跨企业数据共享与系统集成有壁垒;四是人才缺口大,复合型人才供给难满足需求。

未来,智能化煤矿开采技术体系将向更智能、更绿色、更安全方向发展。技术上,人工智能与数字孪生技术深度融合构建闭环系统;装备上,出现更适应复杂地质的仿生智能装备与微型机器人;能源上,实现煤矿-新能源协同发展,煤矿成综合能源生产基地;标准上,构建跨行业国际标准体系,提升我国全球话语权。

5 结论

智能化煤矿开采技术体系是煤炭行业转型升级的核心支撑,其构建与优化是一项系统工程,需统筹感知、决策、执行、保障四个关键环节,实现技术、数据、人才、政策的协同发力。通过深化技术融合突破核心瓶颈,强化数据治理释放数据价值,完善人才体系提供智力支撑,健全政策保障优化发展环境,可推动智能化开采技术体系持续完善。

实践表明,智能化煤矿开采技术体系能有效提升开采效率与回采率,降低安全风险与开采成本,为煤炭行业高质量发展提供有力保障。未来,随着技术的不断创新与政策的持续完善,智能化煤矿开采技术体系将更加成熟,为我国能源安全与双碳目标实现作出重要贡献。

参考文献

- [1] 张智波.现代智能化煤矿开采技术研究[J].能源与节能,2025(5):56-59.
- [2] 王刚.探讨智慧煤矿与智能化开采关键核心技术[J].2025(5):53-55.
- [3] 李全生.井工煤矿减损开采理论与技术体系[J].煤炭学报,2024,49(2):988-1002.