

智能采矿技术在露天煤矿的实践探索

刘建平

内蒙古锦泰川宏煤炭有限公司, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 本文研究露天煤矿智能采矿技术的实践应用, 梳理了智能感知与数字孪生、工业互联网与通信网络等核心技术体系, 分析其在地质保障、穿爆、采装运输等关键环节的应用路径, 剖析了技术成熟度不足、投资回报周期长、网络安全存在短板等实践难题, 并从技术、经济、安全维度提出针对性发展对策, 为露天煤矿智能采矿技术的推广应用提供参考。

关键词: 智能采矿技术; 露天煤矿; 技术体系

Practice Exploration of Intelligent Mining Technology in Open-pit Coal Mine

Liu Jianping

Inner Mongolia Jintai Chuanhong Coal Co., Ltd., China Inner Mongolia Ordos 017000

Abstract: This study investigates the practical implementation of intelligent mining technologies in open-pit coal mines. It systematically examines core technological frameworks including smart sensing and digital twins, industrial internet, and communication networks. The research analyzes application pathways in critical operational phases such as geological assurance, blasting operations, and mining/transportation processes. Practical challenges identified encompass technological immaturity, prolonged investment payback periods, and cybersecurity vulnerabilities. Targeted development strategies are proposed from technical, economic, and safety perspectives, providing actionable references for the widespread adoption of intelligent mining technologies in open-pit coal mining.

Keywords: Intelligent mining technology; Open-pit coal mine; Technical system

0 引言

智能采矿技术作为露天煤矿转型升级的关键手段, 应用已成行业趋势, 但落地过程中仍面临技术、经济、安全等多重现实问题。本文围绕露天煤矿智能采矿技术展开研究, 为其实际应用提供思路。

1 露天煤矿智能采矿核心技术体系

1.1 智能感知与数字孪生技术

露天煤矿智能采矿的核心技术体系, 首要依托智能感知与数字孪生技术筑牢数据底座, 为智能化开采奠定可视化、实时化的基础。该技术以地质勘探数据为核心依据, 搭建资源三维可视化模型, 清晰还原矿区煤层分布、地形地貌与储量信息, 打破传统地质数据碎片化、抽象化的局限; 同时借助无人机倾斜摄影、激光雷达(LiDAR)等设备, 高效完成矿区大范围、高精度地形测绘, 弥补人工测绘效率低、误差大的短板, 在此基础上整合采掘、运输、设备运行等全维度实时数据, 构建与现实矿山高度契合的数字孪生体, 实现虚拟矿山与现实矿山的实时双向映射, 为生产管控、风险预判提供精准的数字参照。

1.2 工业互联网与通信网络技术

工业互联网与通信网络技术是露天煤矿智能采矿的传输中枢, 承担着数据高速传输、高效整合与规范治理的关键使命, 为各项智能技术落地提供网络支撑。针对露天矿区作业范围广、设备分散、环境复杂的特性, 搭建 5G 专网、Wi-Fi 6 相结合的组网架构, 依托高带宽、低延时、广连接的网络优势, 保障海量感知数据、设备控制指令的稳定传输, 破解传统网络传输卡顿、信号覆盖不全的难题; 同时构建分层级的矿山工业互联网平台, 细化边缘计算层、基础设施层、平台层的功能边界, 实现数据就近处理、资源统筹调度, 进一步推进多源异构数据的标准化处理与融合治理, 打通各系统间的数据壁垒, 实现数据资源的高效复用^[1]。

1.3 智能装备与无人驾驶技术

智能装备与无人驾驶技术是露天煤矿智能采矿的执行核心, 推动采掘作业从人工操控向自主作业、远程操控转型, 提升作业效率与安全系数。核心作业设备中, 无人矿卡依托多传感器融合感知、智能决策与精准控制技术, 整合环境感知、路径规划、避障调控功能, 适配露天矿区复

杂作业场景；智能钻机、电铲则突破传统人工操作模式，实现远程集中操控与自主作业，减少人员近距离高危作业频次；推土机、平路机等辅助作业设备也同步开展智能化改造，依托协同控制技术实现与核心采掘、运输设备的联动作业，构建起全流程智能化装备作业矩阵，优化人力配置、降低作业风险。

1.4 智能调度与协同管控平台

智能调度与协同管控平台是露天煤矿智能采矿的决策大脑，统筹全生产流程的高效运转，实现生产管控的精细化、协同化。平台依托车流规划、智能配矿等核心算法，结合矿区生产需求、设备状态、地形条件动态优化调度方案，告别传统经验式调度模式；同时聚焦采掘、运输、排土全作业链条，搭建一体化协同管控机制，打破各作业环节的信息孤岛，保障工序衔接顺畅、资源利用高效；此外推动生产执行系统（MES）与企业资源计划系统（ERP）深度融合，实现生产现场管控与企业经营管理的数据互通、业务协同，全面提升露天煤矿生产运营的智能化管控水平与综合效益。

2 智能采矿技术在露天煤矿关键环节的应用探索

2.1 地质保障与测量环节的智能化

在露天煤矿地质保障与测量环节，智能化技术的应用彻底革新了传统地质勘测与地形测量模式，为后续开采作业筑牢前期基础。依托动态地质建模技术，整合实时更新的地质勘探、煤层赋存、地形地貌等数据，构建贴合矿区实际工况的动态地质模型，能够精准匹配开采进度优化开采计划，规避煤层误判、开采偏差等问题，提升资源开采的合理性与精准度；同时搭建无人化智能测量系统，摒弃传统人工野外测绘的作业模式，借助无人机、激光雷达等自动化设备完成矿区地形、采场边界、排土场标高的常态化测量，既能大幅减少野外作业人员数量、降低高危作业风险，又能提升测量精度与作业效率，实现地质测量数据的实时采集、快速处理与高效反馈^[1]。

2.2 穿爆环节的智能化

穿爆环节作为露天煤矿开采的前置关键工序，智能化技术的融入实现了爆破作业的精准化、数字化管控，破解传统穿爆作业粗放、效果难把控的痛点。基于前期构建的高精度地质模型，结合煤层硬度、岩层分布、开采边界等参数，开展精准布孔与智能爆破设计，告别人工经验化设计模式，优化孔网参数、装药量与起爆顺序，从源头提升爆破作业的针对性；同时依托钻机自主作业技术，实现钻

孔定位、钻进作业的自动化操控，减少人工干预，搭配爆破效果数字化评估体系，通过影像采集、数据比对等方式量化分析爆破块度、抛掷效果、爆破震动等指标，反向优化后续穿爆参数，形成“设计-作业-评估-优化”的闭环管控模式。

2.3 采装与运输环节的智能化

采装与运输环节是露天煤矿生产的核心流程，智能化技术推动该环节实现设备协同、高效运转，大幅提升生产作业的自动化与集约化水平。构建采掘设备与运输设备的智能协同作业模式，依托数据互通与调度指令联动，实现电铲采装与矿卡运输的无缝衔接，避免设备等待、作业脱节等问题，优化工序衔接效率；无人驾驶矿卡车队依托智能感知、路径规划、自动避障技术，实现编组运行、自主汇入主路、精准停靠装卸，适配露天矿区复杂作业环境，提升运输作业的安全性与连续性；针对连续或半连续开采工艺系统，搭建智能化控制中枢，统筹破碎机、胶带输送机、转载设备等协同运行，实时调控作业参数，适配开采节奏变化，进一步提升采装运输全流程的生产效能。

2.4 排土与复垦环节的智能化

排土与复垦环节的智能化应用，兼顾了露天煤矿生产作业的规范性与生态环保的可持续性，实现排土作业高效化、生态监测智能化。无人推土机搭载自主导航、平整作业控制系统，在排土场实现自动化平整、推铺作业，精准把控排土标高与边坡坡度，提升排土场规整度与稳定性，同时减少人工现场操作，降低排土作业安全隐患；借助遥感监测技术，搭配地面数据采集设备，搭建复垦进度与生态环境动态监测体系，实时追踪复垦区域植被覆盖、土壤墒情、地形恢复等情况，量化评估复垦成效，为复垦方案优化、生态修复推进提供数据支撑，助力露天煤矿实现开采与生态保护的协同发展^[1]。

3 智能采矿实践中的关键问题与挑战

3.1 技术成熟度与可靠性挑战

在露天煤矿智能采矿实践中，技术成熟度与可靠性是最基础的现实挑战，直接制约智能化作业的落地成效。露天矿区常年伴随粉尘弥漫、极端高低温、设备运行颠簸等恶劣工况，这类复杂环境极易干扰传感器精度、损耗智能设备硬件，导致数据采集失真、设备运行卡顿，难以保障全天候稳定作业；无人驾驶作为核心智能技术，需兼顾生产效率与矿区作业安全，高安全冗余设计面临多重难点，既要适配矿区动态路况、规避突发风险，又要实现故障应急响应，技术调试与优化难度极大；同时矿山现场智能设

备品牌繁杂、型号各异,各设备接口协议不统一、兼容性差,多源数据无法高效互通,进一步加剧数据孤岛问题,割裂智能化作业的技术协同性。

3.2 投资回报与商业模式挑战

投资回报与商业模式层面的难题,让矿山企业在智能化改造推进过程中顾虑重重,难以实现良性可持续发展。智能采矿改造涉及智能设备购置、系统搭建、网络部署等多项内容,初期资金投入高昂,且技术调试、运维升级还需持续投入成本,加之矿山生产周期长、效益见效慢,导致投资回报周期被大幅拉长,中小矿山企业难以承受;智能化改造带来的安全管控升级、设备损耗降低、运维成本减少等隐性效益,缺乏科学统一的评估体系,无法精准量化核算,难以直观体现智能化改造价值;同时矿山企业在建设模式选择上也面临抉择,自主研发资金与技术门槛高、周期长,联合研发需协调多方资源、权责划分复杂,整体外包虽省心却易丧失技术主导权,各类模式均存在明显利弊^[4]。

3.3 网络安全与数据治理挑战

网络安全与数据治理短板,为露天煤矿智能采矿埋下多重隐患,制约数据资产价值的有效释放。矿山工业互联网、智能管控系统的普及,让工业控制系统暴露在网络风险中,外部网络攻击、病毒入侵极易干扰生产调度、破坏系统运行,甚至引发生产安全事故;矿山核心生产数据涉及资源储量、生产调度、设备运行等关键信息,其归属权与使用权界定模糊,在数据采集、传输、共享过程中易出现权责纠纷,数据安全难以保障;加之行业内缺乏统一的数据标准,多源异构数据采集格式、存储规范、治理要求不一,数据无法有效整合、深度分析,海量生产数据沦为闲置资源,难以转化为助力生产优化的有效资产。

4 推进露天煤矿智能化发展的对策与建议

4.1 技术层面:构建标准体系与强化基础研究

针对当前矿山设备通信协议杂乱、数据接口不互通的痛点,要联动行业协会、矿山企业、科研机构等多方力量,推动制定统一的行业通信协议与数据接口标准,打破设备与系统间的壁垒,彻底解决数据孤岛问题,实现多源数据高效互通共享;同时加大核心技术攻关力度,重点加码极端工况适配型核心传感器、厘米级高精度定位、智能决策算法等“卡脖子”技术的研发投入,依托产学研协同模式补齐技术短板;此外还要搭建贴合露天矿粉尘、高低温、复杂路况等全场景的测试环境,对智能装备、控制系统开展反复调试与实战验证,全面提升技术在恶劣工况下的鲁

棒性与运行稳定性,具体如下图所示。

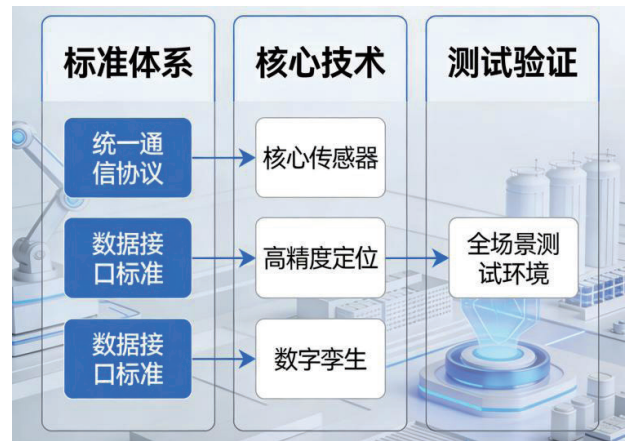


图1 露天煤矿智能采矿技术体系与标准架构示意图

4.2 经济层面:创新投资模式与效益评估体系

摒弃单一的自主投入模式,积极探索合同能源管理、智能设备租赁、第三方技术服务等多元化商业模式,分流矿山企业初期资金压力,盘活现有设备与技术资源,适配不同规模矿山的改造需求;打破传统仅核算生产经济效益的单一评估模式,构建覆盖安全管控提升、设备运维成本降低、生态环保增效、生产效率提升的全生命周期综合效益评估模型,精准量化智能化改造的隐性价值,为企业投资决策提供科学依据;同时紧盯国家煤炭行业智能化改造相关政策,主动对接、充分申领专项资金与税收优惠、补贴扶持,降低企业改造成本,撬动智能化建设的内生动力^[5]。

4.3 安全层面:构建主动防御与全生命周期安全管理

针对工业互联网环境下的网络风险,搭建全方位的矿山工业互联网安全防护体系,落实边界防护、入侵检测、病毒查杀等防护举措,严密防范外部网络攻击、非法入侵对生产控制系统的干扰破坏,守护采掘、运输、调度等核心生产环节平稳运行;同步强化数据安全管控能力,建立分级分类的数据备份机制,搭配异地容灾恢复系统,应对数据丢失、篡改、泄漏等突发状况,保障资源储量、生产调度、设备运行等核心生产数据的完整性与安全性,实现智能采矿全生命周期的安全可控,为露天煤矿智能化发展保驾护航。

5 结语

综上所述,露天煤矿智能化发展是系统性工程,需从技术、经济、安全多维度协同发力。未来随着技术迭代与产学研用融合,智能采矿技术将不断完善,推动露天煤矿实现全面智能化,助力煤炭行业高质量发展。

参考文献:

[1] 王忠鑫, 刘英璐, 孙鑫等. 露天煤矿智能开采技术装备进展与展望[J]. 煤炭科学技术, 2026,54(01):424-444.

[2] 付翔, 赵阳升, 王然风. 人工智能赋能的智能采矿工程技术发展路径[J/OL]. 煤炭学报, 1-16[2026-03-06].

[3] 张红伟, 张小波, 许仁有. 煤矿采矿智能化技术在安全生产中的应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025,(23): 106-108.

[4] 陈利朋, 王志强. 基于多系统协同优化的煤矿智能采矿自动化控制技术[J]. 凿岩机械气动工具, 2025,51(12): 222-224.

[5] 丁继国. 煤矿智能开采技术的发展进展与挑战[J]. 西部探矿工程, 2025,37(11):60-62.

作者简介: 刘建平(1988.09-), 男, 汉族, 内蒙古鄂尔多斯市, 本科, 毕业于中国矿业大学银川学院, 工程师, 研究方向: 主要从事露天煤矿开采技术方面研究。