

Application Status and Development Trend Analysis of Key Technologies in Intelligent Mining Systems

Linping Yang

Shaanxi Zhongneng Coalfield Co., Ltd. Yulin City, Shaanxi Province, 719000, China

Abstract

Intelligent mining serves as a critical pathway for the mining industry to achieve intrinsic safety, efficient resource utilization, and sustainable development. China has already implemented large-scale applications of intelligent mining technologies, with intelligent production capacity accounting for over 65% of total output by the end of 2025, while robot replacement rates in hazardous positions have reached 35%. Geological assurance technologies have enabled the visualization of concealed disaster risks, achieving sub-meter-level detection accuracy. The intelligent mining equipment system has been deployed across more than 1,800 working faces, and intelligent disaster identification technologies have transformed prevention strategies from reactive to proactive approaches. However, there remains room for improvement in geological detection precision, equipment adaptability, and data integration capabilities. Future efforts must focus on enhancing detection accuracy, optimizing equipment compatibility, and deepening multi-source data integration to further solidify the foundation for high-quality mining development.

Keywords

Intelligence; Mining system; Key technologies; Application status; Development trends;

智能化采矿系统关键技术应用现状与发展趋势分析

杨林平

陕西中能煤田有限公司, 中国·陕西 榆林 719000

摘要

智能化采矿是矿业实现本质安全、资源高效利用、可持续发展的途径,智能化采矿在我国已经实现了规模化应用,2025年底,我国智能化产能占比超过65%,危险岗位机器人替代率已达35%。地质保障技术已让隐蔽致灾因素可见,探测精度达到亚米级,智能采掘装备体系已有1800余个工作面投入应用,灾害智能识别技术使防控从被动转为主动。但是,地质探测精度方面还存在着提升空间,装备的适应性还有待增强,数据融合也需要深化。未来,仍需进一步提升地质探测精度、增强装备适应性、以及深化多源数据融合,持续夯实矿业高质量发展。

关键词

智能化; 采矿系统; 关键技术; 应用现状; 发展趋势

1 引言

矿业作为国家经济的支柱产业,其生产安全、开采效率都对国家能源战略有直接影响,煤炭产出量在2024年已经达到47.8亿吨,其主体能源地位十分稳固。矿业转型契机正发生数字化/智能化技术革命:复杂开采环境及传统人海模式都带来了安全、效率两方面的重大压力。2025年底,全国已建成智能化煤矿1066处,产能占比超65%,真正迈入规模化应用新阶段。当前矿井智能化进程仍有明确问题:约2/3的设施尚未完成升级,而此类矿井仍支撑着我国近35%的产量。如何突破技术瓶颈,让智能化采矿从通用化转向精准定制化,已成为当前重要课题。因此,本文梳理三大关键

技术应用进展,厘清核心问题及技术瓶颈,为智能化采矿技术研发及工程实践提供参考。

2 智能化采矿关键技术应用现状

2.1 透明地质保障技术

地质条件透明化是实现智能精准开采的基础,而传统地质勘探又长期依靠钻孔取样、人工判读的方法,数据采集周期长、信息整合困难,也极难对隐蔽致灾因素做动态感知。因此多物理场探测、三维地质建模及数字孪生技术近年来都处在革新阶段,是透明地质保障体系革新的有力支点。

高分辨率地震勘探、槽波探测、瞬变电磁、CT监测、三维激光扫描等物探技术开展融合运用之后,极大程度上提高了对地下结构的探测精度,部分先进矿区把雷达、槽波以及钻孔勘探数据开展整合工作,构建起了工作面精细地质模型,来实现透明地质保障系统与采掘生产、灾害防控的流程

【作者简介】杨林平(1984—),男,中国陕西榆林人,本科,工程师,从事采矿工程研究。

化作业。地质探测数据凭借 5G 网络来实现实时传输,同时结合借助三维技术所构建的地下模型,就可以准确地预测煤岩结构地质隐患呈现出特定的分布规律,断层展布、导水裂隙发育以及应力异常区域都展现出了清晰的聚集特性。隐蔽致灾体识别当中,凭借随采地震以及地质雷达等先进技术,把传统米级精度提升到了亚米级,这样就能精准地去锁定潜在风险点,从源头来规避隐患。

2.2 智能采掘装备技术:成套化与自主化并行

智能采掘装备构成了采矿智能化方面的执行实体,历经不断地开展技术突破工作,我国已经成功地构建了一个集智能感知、高速传输、智能决策以及自主运行等功能为一体的采掘装备技术体系,它的智能化采掘工作面总数如今已经突破了 1800 个。

综采工作面当中,采煤设备以及支护装置开展的协作工作日益精进了,采煤机在 5G 网络以及三维数字孪生决策体系的支持下,来实现自主截割作业,并且液压支架会随之自动协同跟进。那么这套高端智能一体化成套装备是由天玛智控发布的,并且在山西天地王坡煤矿开展了成功应用,它是国内首套适宜复杂地质条件的装备,该装备把采高提升到了 3.5 m,工作面设计长度达到了 350 m,回采率平均提高了 4%,采煤机开展规划截割的截割率超过 85%,综合自动化率达到了 85% 以上,一矿一井一面年产三百万吨的高效集约化生产来实现了,把传统两工作面同时生产的格局彻底改变了。

2.3 矿山灾害智能辨识技术:从被动应对到主动预警

矿山灾害方面的智能防控工作,彰显出了采矿作业所具有的核心价值,传统灾害防控开展依靠人工巡检以及经验判断来开展工作,针对瓦斯突出、水害、顶板灾害等风险大多处于事后去处理工作的被动状态,造成预警极大程度上滞后。煤矿灾害防控正在经历着深刻的变革,借助人工智能大模型的深入应用,会把传统依赖经验的定性模式,往精确量化的方向进行推动,让其得以演进。

矿井智能灾害防控平台将井下多元传感器数据进行整合,形成感知、分析、预警、决策这样的链条,把灾害监测实时化以及协同处置功能开展多元化整合来实现,要开展地下地质环境透明化呈现的工作,就需要把瓦斯灾害、水害、顶板压力灾害等关键风险的预测结果,和空间 GIS 地理信息加以精准融合。AI 大模型所拥有的深度分析与预测能力,是实现这一目标的核心支撑,灾害防控工作,凭借空间数据所具有的直观性以及精准性,得到了有力支撑。

矿山人员以及车辆的定位系统、生产安全监控系统,还有通信联络系统,正在从各自独立运行的状况,逐步朝着深层次的整合来开展,超宽带技术得以实现厘米级定位,智能电子围栏可以对危险区域入侵开展预警;指挥中心在紧急状态的时候,马上就能够开展灾区全员资料以及最终定位的提取工作,迅速来规划最优撤离路线,并且凭借通信网络

把这些信息传递给受困者。矿山安全管控体系把三网进行融合,极大程度上提高了态势感知以及应急处置的工作效率。

3 当前面临的核心问题与技术瓶颈

3.1 地质探测精度与可靠性难以满足无人化开采需求

无人化开采是要依靠透明地质的,而现有的那些探测技术存在精度不高、可靠性较低以及时效性较差的问题。井下复杂环境会对高精度物探设备造成干扰,使得信号的信噪比以及分辨率难以开展维持工作;进行多物理场数据融合建模时,它所采用的理论方法以及算法的鲁棒性方面还存在着欠缺。隐蔽致灾体的探测技术,像针对小断层或者陷落柱的识别,它的精度目前已经达到了亚米级别。不过,这种探测精度和无人化采掘作业所要求的地质信息厘米级标准之间,仍然存在着明显的差距。采掘推进的速度常常会超过地质模型进行更新的频率,实时进行“随掘随探”的需求还需要充分地得以实现。

3.2 智能装备对复杂地质条件的适应性亟待提升

矿山地质状况呈现出复杂多样的特性,煤层厚度有着显著的波动,断层构造发育程度较高,围岩稳定性相对较差,这些因素共同对智能装备的适应能力开展了严峻的考验。通用型智能综采系统在煤层倾角陡变区域没办法动态开展液压支架支撑力的调整工作,在高瓦斯区域会由于传感器精度不足而致使预警失灵,在薄煤层矿区会碰到采煤机“卡壳”的情况。在复杂的矿井环境当中,智能装备开展常态化运行的比率偏低,而它的故障发生比率却明显偏高。

3.3 多源异构数据融合不充分

采煤、掘进、机电、运输、通风安全等方面会产生海量数据,而且这些数据普遍有着格式不统一、标准不一致以及接口不兼容这样的问题。地质勘探数据、设备运行数据、环境监测数据、视频监控数据、人员定位数据等分散于不同的系统当中,很难来实现多源数据的融合以及一盘棋协同决策,那么矿山智能化管控平台已经完成了建设,然而下层系统之间进行数据交互的时候存在着障碍,这样新的信息孤岛就产生了,这对智能化效能的全面释放造成了制约

3.4 技术标准体系不完善

智能化采矿技术标准的建设工作滞后于技术发展,目前,智能装备的数据接口规范还缺乏统一的国家/行业标准,导致不同厂商所生产的设备之间难以实现互联互通。矿山企业在开展智能化建设工作当中会面临设备选型锁定风险,要是选择了某家供应商的设备,后续的升级改造以及维护服务就只能依靠该供应商,增加建设成本以及运维难度。

3.5 智能化建设成本高

中小型矿山企业面临着巨额的资金压力,开展智能化升级项目通常需要投入数千甚至上亿元的资金,当前,全国还有超过 2/3 的矿井还未得以实现智能化升级,这些矿井大多是资源条件不太好、开采环境复杂的中小型矿山。这些

矿山把相对滞后的生产技术工艺当作工具来使用,承担着大约35%的煤炭产能,中小型矿山对于智能开采技术存在特定的需求,它的装备需要同时兼顾轻便性以及模块化设计。成本控制是实现采矿智能化得以广泛推广的关键制约缘由。

4 智能化采矿关键技术发展趋势

4.1 透明地质与数字孪生深度融合

地质技术正在朝着透明化的方向演进,其精度能够持续得到提升,实时能力也会有所增强,同时融合程度会进一步加深。开展隐蔽致灾因素方面的精细化探测工作,需要重点研发新一代物探技术。这当中囊括了高分辨率地震勘探、分布式光纤传感以及矿井瞬变电磁等方法,随掘随探数据驱动开展三维地质模型动态更新工作成为了关键技术,借助融合钻探、物探以及采掘等多源信息,来实现矿井整体与局部地质数字孪生的构建,地质条件的变化,如今可以被实时描绘出来,并且能够做到对其提前进行预判。透明地质系统以及采掘控制系统得以实现深度融合,地质模型直接开展对采掘装备的轨迹规划以及工艺参数优化的指导工作,这样构建起从地质感知到模型驱动,再到装备执行的闭环智能开采体系。

4.2 采掘装备向自主协同与自适应控制演进

采掘装备正在逐渐去适应复杂的环境,它的集群协作效能也得到了极大程度上的提升,煤岩动态识别技术得以实现毫米级的突破,多物理场感知以及装备状态自诊断能力得到了增强。在复杂地质条件这样的情况下,装备自主运行能力从而得到提升。在装备集群这个方面当中,技术的突破是把焦点聚集在开展智能协同控制工作上,采煤机、液压支架以及刮板输送机等多种装备得以实现工况自适应协同,并且掘进机和锚杆钻车等设备也被纳入到协同体系当中开展转载机与掘进的协同一体化工作。采掘作业的智能化进程正在逐渐地深化,它的发展脉络是从依靠远程操控以及自主截割,逐步朝着无人值守以及自适应调控的方向发展,最终的目标是实现工作面作业人员的大量减少,甚至是完全无人化。

4.3 智能定制化成为技术落地的主导模式

鉴于矿山地质状况具备复杂多样的特性,这就决定了

智能化建设办法把统一标准当作标准来使用,未来采矿智能化会朝着定制化方向开展发展工作,借助各矿井的具体条件来进行个性化设计。矿方开展智能化建设的主导工作,鉴于地质条件以及管理需求来提出定制化要求,打破设备供应商所主导的传统模式,这样能对现场生产条件开展精确感知以及预判的工作,透明地质系统的建设进程得以加快,三大技术突破凭借这一情况促使精准适配得以实现;多类传感器以及多元数据开展融合工作,这样感知与动作的响应速度得以提高;软件设计需要进行普适需求和定制需求的平衡工作,借助可视化界面以及灵活配置来开展,这样能够降低使用方面的难度。开展构建覆盖勘探设计、智能开采以及生态修复全周期的国家标准体系的工作,制定智能装备数据接口规范,这样来打破设备间的互联互通壁垒,这样就得以奠定了智能定制化的根基。

5 结语

智能化采矿是矿业开展安全高效发展的关键支撑,它的重要性正日益凸显出来,智能化采矿已经从示范试点迈向了规模化应用的新阶段,透明地质保障、智能采掘装备以及灾害智能辨识这三大技术体系取得了显著进展,智能化采掘工作面超过了1800个,智能生产能力处于主导地位,它所占的比重已经超过了65%。地质勘探的精确性还比较薄弱,勘探装备难以适应复杂环境,各类数据没有得到有效整合,中小型矿山在技术应用上会面临比较高的障碍,未来采矿智能化会是大势所趋,即地质透明化和数字孪生技术会紧密地融合,从而得以实现地层状态的即时呈现以及预先研判。

参考文献

- [1] 汤明刚,张正伟,吴波,等.深海采矿系统软管应用现状与技术挑战[J].海洋工程装备与技术,2019,6(06):765-770.
- [2] 李昱.基于数字化技术的矿山自动化智能采矿系统设计与优化[J].中国金属通报,2024,(08):80-82.
- [3] 康娅娟,刘少军.深海采矿技术与装备研究进展及系统方案综述[J].机械工程学报,2023,59(20):325-337.
- [4] 杨蓓,林强,杜新光.深海采矿船存储转运系统关键技术研究[J].江苏船舶,2019,36(05):1-5.