

煤矿安全生产管理智能化技术研究与应用

黄 帅

国神公司技术支持中心 陕西 西安 710000

摘 要：随着煤矿产业规模拓展，安全挑战日益增多。本文聚焦煤矿安全生产管理智能化技术，概述了该技术的基本概念与重要性。详细阐述了智能化技术在煤矿安全生产管理中的多方面应用，包括智能监测与预警系统、自动化采掘与运输系统、智能通风与安全保障系统等。同时，分析了技术应用过程中面临的技术难题、成本投入、人才短缺以及安全与隐私等挑战。针对这些挑战，提出了加强技术研发与创新、优化成本管理、强化人才培养与引进、完善安全与隐私保护措施等促进煤矿安全生产管理智能化技术应用的对策，旨在推动煤矿安全生产管理水平的提升。

关键词：煤矿安全生产；智能化技术；应用研究；对策建议

引言：煤矿作为我国重要的能源产业，其安全生产关乎国家能源供应稳定与人民生命财产安全。然而，传统煤矿安全生产管理模式存在效率低、风险预警不及时等问题，难以适应现代煤矿发展需求。随着信息技术、人工智能等技术的飞速发展，煤矿安全生产管理智能化成为必然趋势。智能化技术能够实现对煤矿生产全过程的实时监测、精准分析与智能决策，有效降低事故发生率，提高生产效率。研究煤矿安全生产管理智能化技术的研究与应用，对于保障煤矿安全生产、推动煤矿行业可持续发展具有重要的现实意义。

1 煤矿安全生产管理智能化技术概述

煤矿安全生产管理智能化技术是煤炭工业高质量发展的核心支撑，通过物联网、大数据、人工智能、5G等新一代信息技术与煤矿生产全流程深度融合，构建“自感知、自学习、自决策、自执行”的智能体系，实现从被动应急向主动防御的转变。其核心特征体现在三方面：（1）全要素实时感知与动态监测。通过部署智能传感器网络，对井下瓦斯浓度、粉尘、顶板压力、设备状态等关键参数进行24小时实时采集，结合UWB定位技术实现人员厘米级精确定位。例如，山西某煤矿采用激光甲烷检测与光纤传感技术，将数据误差率控制在0.5%以内，报警响应时间缩短至30秒，结合智能通风系统动态调节风量，确保氧气浓度维持在安全区间。（2）智能预警与风险预测。基于大数据分析和AI算法构建预测模型，对采集的多源异构数据进行深度挖掘。如通过机器学习识别瓦斯异常涌出趋势、顶板压力突变等隐患模式，结合数字孪生技术模拟不同开采方案的安全风险，实现事故前兆的精准预警。某大型煤矿应用该技术后，安全隐患排查效率提升3倍，设备故障预警准确率达92%。（3）自动化控制与少人化作业。采用远程操控或

自主运行的智能装备替代高危岗位人工操作，如智能掘进机、巡检机器人、喷浆支护机器人等，减少人员在瓦斯突出、顶板塌落等危险区域的暴露时间。同时，通过5G+工业互联网实现设备间协同控制，当瓦斯超限时自动切断电源、启动通风设备，形成“监测-预警-处置”的闭环管理^[1]。

2 煤矿安全生产管理中智能化技术的应用

2.1 智能监测与预警系统

（1）实时数据采集与传输。通过在井下关键区域部署多类型传感器（如瓦斯、粉尘、温度、位移、压力传感器），结合可穿戴设备监测矿工生命体征（心率、体温、姿态），形成覆盖环境、设备、人员的立体化感知体系。以内蒙古扎哈淖尔露天煤矿为例，其无人矿卡搭载的环境感知系统可实时采集温度、湿度、粉尘浓度等数据，并通过5G网络以毫秒级延迟传输至控制中心。为确保数据可靠性，系统采用冗余设计，关键监测点部署多传感器协同工作，结合数据融合技术（如卡尔曼滤波算法）消除噪声干扰，确保数据精度。此外，边缘计算节点的部署使数据在本地完成初步处理，减少网络传输压力，实现瓦斯超限等紧急情况的本地快速响应。（2）数据分析与智能预警。以瓦斯监测为例，系统利用深度学习模型分析历史瓦斯浓度数据与地质构造、开采进度的关联性，构建瓦斯突出预测模型，提前30分钟至1小时预警潜在风险。中国矿业大学团队在某煤矿的实践中，通过整合地质勘探数据、设备振动信号与人员定位信息，利用集成学习算法将顶板垮塌预警准确率提升至95%以上。系统还采用数字孪生技术构建矿井虚拟模型，实时映射物理环境变化，结合GIS地理信息系统实现风险可视化展示。例如，当顶板位移超过阈值时，系统自动触发声光报警，并通过移动终端向相关人员推送预警

信息,同时生成应急预案,指导人员撤离与设备联动控制,形成“感知-分析-决策-执行”的闭环管理机制。

2.2 自动化采掘与运输系统

(1) 自动化采掘设备。自动化采掘设备通过集成高精度传感器、智能控制系统与远程操控技术,实现采掘作业的精准化与高效化。液压支架配备电液控制系统,可实时感知顶板压力并自动调整支护强度,确保作业安全;采煤机采用记忆截割与惯性导航技术,根据煤层赋存条件自动规划截割路径,减少人工干预。同时,设备状态监测系统通过振动、温度等参数实时分析运行状态,结合故障诊断算法预测潜在问题,提前安排维护计划,避免非计划停机。此外,自动化采掘设备与工作面监控系统联动,实现数据共享与协同控制,提升整体作业效率与资源利用率。

(2) 智能运输系统。智能运输系统依托物联网、无人驾驶与智能调度技术,构建高效、安全的物料运输网络。主运输带式输送机配备智能监控装置,实时监测张力、速度与跑偏状态,自动调整运行参数以适应不同物料特性;辅助运输环节采用无人驾驶矿车,通过激光雷达、摄像头与高精度定位技术实现自主导航与避障,结合车路协同系统优化运输路径,减少等待时间。智能调度平台整合生产计划、设备状态与运输需求数据,利用优化算法动态分配运输任务,平衡各环节运力,降低空载率。同时,系统支持远程监控与故障预警,确保运输过程连续稳定,提升矿井整体运营效率。

2.3 智能通风与安全保障系统

(1) 智能通风控制

智能通风控制通过集成传感器网络、动态调节算法与远程执行机构,实现矿井通风系统的精准化与自适应管理。系统实时监测瓦斯浓度、风速、温度及压力等参数,结合矿井三维通风模型与数值模拟技术,动态计算各区域需风量,自动调节风门、风窗开度或风机转速,确保通风网络高效运行。同时,智能通风系统与安全管理平台联动,当检测到瓦斯超限或火灾隐患时,立即启动应急通风模式,快速稀释有害气体浓度并控制火势蔓延。此外,系统支持远程操控与故障诊断,减少人工巡检频次,提升通风管理的安全性与可靠性。(2) 安全保障技术。安全保障技术综合运用物联网、人工智能与应急管理策略,构建多层次、立体化的矿井安全防护体系。通过部署气体传感器、人员定位标签与设备状态监测装置,实时感知环境风险与人员动态,结合大数据分析预测事故趋势,提前发出预警。在应急响应方面,系统自动生成逃生路线并推送至矿工终端,同时联动通风、排水、供电等子系统,为救援提供安全条件。此

外,智能穿戴设备可监测矿工生命体征,异常时自动报警并定位,为医疗救援争取时间。

3 煤矿安全生产管理智能化技术应用面临的挑战

3.1 技术难题

煤矿环境复杂,智能化技术需适应高温、高湿、高粉尘及强电磁干扰等极端条件,但现有传感器、通信设备在稳定性与可靠性上仍存在短板,易出现数据失真或传输中断。多源异构数据融合难度大,不同系统采集的数据格式、精度及更新频率差异显著,导致数据分析模型训练效率低、预测准确性不足。此外,智能化设备与现有煤矿生产系统的兼容性较差,集成过程中常面临接口不匹配、协议不统一等问题,制约了技术落地效果。

3.2 成本投入

智能化改造需大量资金投入,涵盖硬件设备购置、软件系统开发、网络基础设施建设及后期维护升级等环节。高精度传感器、5G基站、边缘计算节点等设备成本高昂,且煤矿规模越大,部署密度越高,初始投资压力显著。同时,智能化系统运维需专业团队支持,人工成本与技术培训费用持续增加。部分煤矿因资金有限,仅能实现局部智能化,难以形成覆盖全流程的协同效应,导致整体效益提升不明显。

3.3 人才短缺

智能化技术应用需要既懂煤矿生产又掌握信息技术、人工智能的复合型人才,但当前行业人才结构以传统采矿工程背景为主,跨学科人才储备严重不足。高校相关专业设置滞后,课程体系与实际需求脱节,毕业生难以直接胜任智能化岗位。此外,煤矿工作环境艰苦、薪酬竞争力有限,导致高端技术人才流失严重,现有员工对新技术接受度较低,培训周期长且效果参差不齐,制约了智能化技术的深度推广^[2]。

3.4 安全与隐私问题

智能化系统高度依赖数据采集与传输,但煤矿网络通信环境复杂,易遭受黑客攻击或数据篡改,导致设备误动作或生产中断,甚至引发安全事故。同时,矿工定位、健康监测等数据涉及个人隐私,若管理不善可能导致信息泄露,引发法律与伦理风险。此外,智能化设备自主决策机制的黑箱特性,使得事故责任认定困难,一旦发生意外,难以追溯是人为操作失误还是算法缺陷导致,增加了安全管理的复杂性。

4 促进煤矿安全生产管理智能化技术应用的对策

4.1 加强技术研发与创新

煤矿智能化技术的突破需聚焦核心环节的自主创新。针对复杂地质条件下的数据采集难题,应研发高适

应性传感器,提升其在高温、高湿、强电磁干扰环境中的稳定性与精度,同时优化数据传输协议,减少信号衰减与延迟。在数据分析层面,需结合煤矿实际场景,开发专用人工智能算法,强化对瓦斯涌出、顶板垮落等风险的预测能力,通过机器学习不断优化模型参数,提升预警准确率。此外,推动设备智能化升级,集成自主导航、远程操控等功能,实现采掘、运输等环节的自动化协同。企业可联合科研机构建立创新联盟,共享技术资源与实验平台,加速成果转化,形成“研发-测试-应用”的闭环体系,逐步缩小与国际先进水平的差距。

4.2 优化成本管理

智能化改造需平衡技术投入与长期收益。企业应建立全生命周期成本模型,从设备选型、系统集成到运维服务,综合评估性价比。优先选择模块化、标准化的智能装备,降低定制化开发成本,并通过规模化应用分摊研发费用。采用“云-边-端”协同架构,将部分计算任务下沉至边缘端,减少核心设备配置需求,降低硬件投入。同时,探索智能化服务外包模式,将数据分析、系统维护等环节委托专业团队,转移技术风险与人力成本。此外,通过设备状态监测与预测性维护,减少非计划停机,延长设备使用寿命,间接降低运营成本。

4.3 强化人才培养与引进

智能化转型依赖复合型人才支撑。企业应与高校、职业院校合作,优化采矿工程、安全工程等专业课程体系,增设人工智能、大数据分析等交叉学科内容,培养既懂煤矿生产又掌握信息技术的复合型人才。内部建立分层培训体系,针对管理层、技术员与操作工设计差异化课程,重点提升数据分析、设备运维等实战能力。同时,通过高薪、晋升通道、项目奖励等机制,吸引外部高端技术人才,尤其是具备煤矿经验与信息技术背景的跨界人才。推动企业内部知识共享,建立技术交流平台,鼓励员工参与

创新项目,形成“传帮带”的良性循环。

4.4 完善安全与隐私保护措施

智能化系统的安全运行需构建多层次防护体系。在数据层面,采用加密存储与传输技术,防止敏感信息泄露;部署入侵检测系统,实时监控网络攻击行为,提升系统防御能力。针对设备自主决策风险,建立算法审计机制,定期评估决策逻辑的合理性与安全性,关键操作设置人工确认环节,避免误动作。在隐私保护方面,制定数据分类分级管理制度,对矿工健康、位置等敏感信息匿名化处理,严格限制访问权限,防止内部滥用。同时,优化系统容错设计,确保局部故障不影响整体运行,通过冗余备份与快速恢复机制,提升系统可靠性^[1]。

结束语

煤矿安全生产管理智能化是行业高质量发展的必由之路。通过集成物联网、人工智能与大数据等技术,智能化系统实现了风险动态感知、设备自主调控与决策科学化,显著提升了安全水平与生产效率。然而,技术适配性、成本投入、人才储备及安全隐私等问题仍需持续突破。未来,需进一步深化产学研用协同创新,优化技术架构与成本结构,培养复合型人才队伍,完善安全防护机制。随着技术迭代与应用场景拓展,智能化将推动煤矿向少人化、无人化目标迈进,为能源安全与可持续发展提供坚实保障,助力行业迈入安全、高效、绿色的新阶段。

参考文献

- [1]张飞.煤矿智能化综采工作面系统设计与应用探讨[J].中国设备工程,2020(5):28-30.
- [2]杨昌臻.基于当前环境对综掘工作面智能化开采技术研究[J].世界有色金属,2020(1):27.
- [3]吕沁军.煤矿安全生产标准管理体系智能化研究[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(24):3-5.