

中国煤矿安全监测技术的演进历程与应用

刘统学

宁夏王洼煤业有限公司王洼二矿, 宁夏 固原

收稿日期: 2025年6月10日; 录用日期: 2025年7月10日; 发布日期: 2025年7月24日

摘要

煤矿在我国能源体系中占据关键地位, 其安全生产对保障能源供应和推动经济社会发展具有重要意义。但是我国复杂的地质条件与高危作业环境导致煤矿安全事故频发, 严重制约煤炭行业的高质量发展。本文综述了我国煤矿安全监测技术的演进历程, 从早期依赖人工巡检与简易设备的阶段, 到借助传感器和有线网络实现数据自动采集与远程传输的信息化阶段, 再到如今融合5G通信、物联网、边缘计算与人工智能等前沿技术的智能化阶段, 系统分析了各阶段的技术特征、应用成效及存在的局限性。通过典型案例剖析, 总结了煤矿安全监测系统在实用性、实时性、可靠性方面的技术发展趋势, 并指出了当前面临的数据安全与隐私保护、系统兼容性与互操作性、实时性与可靠性、成本与可扩展性以及人才短缺等问题。针对这些问题, 提出了加强数据安全与隐私保护、推动系统标准化与互操作性、提升系统实时性与可靠性、降低建设和运营成本、加强人才培养与引进、推动产学研用合作等发展建议。本文旨在为我国煤矿智能化升级与安全保障体系建设提供理论支撑和实践参考, 助力煤矿行业实现安全、高效、智能的可持续发展。

关键词

煤矿安全, 监测技术, 传感器, 智能化, 人工智能

The Evolutionary Journey and Applications of Coal Mine Safety Monitoring Technology in China

Tongxue Liu

Wangwa No. 2 Coal Mine of Ningxia Wangwa Coal Industry Co., Ltd., Guyuan Ningxia

Received: Jun. 10th, 2025; accepted: Jul. 10th, 2025; published: Jul. 24th, 2025

Abstract

Coal mines play a vital role in China's energy system, and their safe production is of great significance

文章引用: 刘统学. 中国煤矿安全监测技术的演进历程与应用[J]. 矿山工程, 2025, 13(4): 791-800.
DOI: 10.12677/me.2025.134090

for ensuring energy supply and promoting economic and social development. However, the complex geological conditions and hazardous working environment lead to frequent coal mine safety accidents, which seriously restrict the high-quality development of the industry. This review systematically examines the evolution of coal mine safety monitoring technologies in China. From the early stage relying on manual inspections and simple equipment, to the informatization stage that leverages sensors and wired networks for automatic data collection and remote transmission, and then to the current intelligent stage integrating cutting-edge technologies such as 5G communication, the Internet of Things, edge computing, and artificial intelligence, the technical characteristics, application effects, and limitations of each stage are analyzed. Through case studies, the technological development trends of coal mine safety monitoring systems in terms of practicability, real-time performance, and reliability are summarized. Current issues such as data security and privacy protection, system compatibility and interoperability, real-time performance and reliability, cost and scalability, and talent shortages are pointed out. Targeted suggestions are proposed, including strengthening data security and privacy protection, promoting system standardization and interoperability, enhancing real-time performance and reliability, reducing construction and operation costs, strengthening talent training and introduction, and promoting cooperation among industry, academia, and research institutions. This review aims to provide theoretical support and practical references for the intelligent upgrading of China's coal mines and the construction of safety guarantee systems, and to help the coal mining industry achieve safe, efficient, and intelligent sustainable development.

Keywords

Coal Mine Safety, Monitoring Technology, Sensors, Intelligentization, Artificial Intelligence

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

煤炭作为我国主要的一次能源，在保障国家能源安全、支撑工业体系运行以及推动经济社会高质量发展方面发挥着关键作用。据 2023 年能源统计数据，全国煤炭产量超过 48 亿吨，占一次能源总产量的 67%，消费比重达 56% [1]。然而，煤矿井下作业环境复杂多变，存在高温、高湿、高瓦斯、高地压、强突水等多种灾害因素，极易引发瓦斯爆炸、煤尘爆炸、一氧化碳中毒、顶板垮塌等重大事故[2]-[7]。如图 1 所示，近年来全国煤矿事故死亡人数和百万吨死亡率持续下降，但事故风险依然广泛存在，安全生产形势依然严峻[6]-[16]。

煤矿安全监测技术作为事故预防、灾害预警、应急处置和安全管理的技术支撑核心，在整个煤矿安全保障体系中占据基础性地位。其功能从最初的人工巡检与局部监测，逐步发展为以多参数在线感知、有线/无线通信、集中数据分析为核心的信息化系统，再到以 5G、物联网、边缘计算和人工智能为支撑的智能化安全监测体系[13]-[15]。随着“智慧矿山”战略的加速推进，煤矿安全监测系统正经历从“静态感知”向“动态智能”“主动响应”的范式转型，赋能矿山全生命周期安全管理[16]。

对煤矿安全监测技术的发展脉络进行阶段性划分，有助于系统性梳理其技术演进趋势及内在动力机制。煤矿安全监测与监控系统可大致划分为三个阶段：人工监测阶段、信息化阶段、智能化阶段。各阶段在系统架构、核心技术、应用水平和响应机制上呈现显著差异，反映了从“人控”向“智控”的逐步跨越[17]-[20]。尤其在智能化阶段，安全监测系统正从“数据采集终端”转向“智能决策中枢”，具备多源

异构数据融合、趋势识别、风险预测、联动处置等能力。例如，基于深度学习的 AI 预警模型、数字孪生矿图、边缘感知网络、复合型智能传感器系统等相继应用于重点矿区，显著提升了系统实时性、准确性与联动响应能力[21]。与此同时，数字平台统一、传感器标准化、算法泛化、系统集成等问题仍未完全解决，限制了智能化煤矿安全监测技术的大范围推广和实效提升。

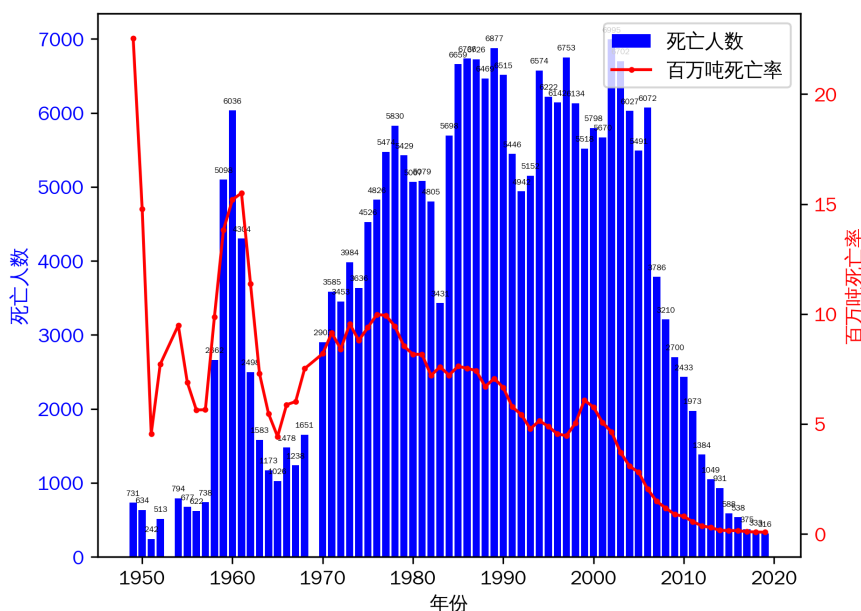


Figure 1. The trend of work safety in China's coal mines

图 1. 中国煤矿安全生产趋势

当前，已有部分研究从系统架构、技术装备、平台搭建等角度探讨了煤矿智能监测系统的构建路径，系统性回顾煤矿安全监测监控技术从人工监测到信息化、再到智能化的阶段性演进路径。但是关于结合多源数据融合、关键技术变迁与未来趋势研判的论述相对不足[17]-[25]。因此，有必要开展一项全面、深入的技术演进综述，为行业提供全景化认知和前瞻性参考。

本文以“中国煤矿安全监测技术的演进历程与应用”为核心主题，从系统架构演变、核心技术革新、典型应用实践与未来发展趋势等维度出发，系统梳理我国煤矿安全监控系统的发展脉络与技术体系，深入分析其在实时性、可靠性、智能性等方面的进展与挑战，提出亟待突破的关键技术难点与发展建议，旨在为煤矿行业智能化升级和本质安全建设提供理论支撑和工程参考。

2. 煤矿安全监测监控技术的发展历程

2.1. 人工监测阶段

2.1.1. 技术背景与监测手段

从新中国成立伊始到二十世纪七十年代末，我国煤矿安全监测技术处于起步阶段。这一时期，监测手段主要依赖人工巡检和简易检测设备，技术含量低、覆盖面窄，整体监测能力较弱，难以有效应对复杂、多变的矿井安全风险。当时的监测工具包括便携式瓦斯报警器、通风观测表、干湿球温度计和简易粉尘采样器等。这些设备普遍存在响应慢、易损坏、使用寿命短、维护频率高等问题。由于无法实现数据自动采集与实时传输，巡检人员需定时手动读取仪器数据并填写纸质记录，再由管理人员集中汇总和研判，整个过程效率低、误差大，极易导致安全盲区和管理漏洞[26]。

2.1.2. 事故案例与教训

在人工监测阶段，井下巡检工作通常安排在固定时间段，若在两次巡检之间突发气体浓度异常或通风系统失效，往往无法在第一时间发现隐患。例如，1960年5月9日，山西大同矿务局老白洞煤矿发生煤尘爆炸，死亡684人，为新中国成立以来最严重的矿难。这一事故凸显了人工巡检方式的局限性，强调了建立实时监测系统的重要性。此外，该时期煤矿尚未建立标准化的安全监测体系，不同煤矿之间在设备选择、监测项目、预警阈值等方面存在较大差异，难以实现统一管理的有效联动。一些地方煤矿甚至因资金紧张而完全依赖“经验主义”操作，进一步加剧了安全事故的频发态势。

2.1.3. 阶段特征与局限性

总的来看，初期阶段的煤矿安全监测技术严重依赖作业人员的责任心与应变能力，缺乏科学、系统、连续、准确的技术保障[11]。具体局限性包括：

监测手段单一：主要依靠人工巡检和简易设备，无法实现连续、实时监测。

数据处理效率低：数据采集和处理依赖人工，效率低下且易出错。

缺乏标准化体系：不同煤矿之间的监测设备和流程差异大，难以统一管理和协同工作。

应急响应能力弱：无法及时发现和处理突发安全隐患，应急响应能力不足。

2.1.4. 对后续发展的推动作用

尽管初期阶段的监测技术存在诸多局限性，但这一阶段通过人工巡检和简易设备的使用，积累了大量的现场经验和数据，为后续信息化和智能化监测技术的研发提供了宝贵的参考。同时，初期阶段的事故教训也促使行业认识到建立标准化、系统化监测体系的必要性。

2.2. 信息化阶段

2.2.1. 技术背景与系统构成

进入20世纪80年代末至90年代中后期，随着微电子、自动化与通信技术的快速发展，我国煤矿安全监测技术逐步迈入信息化阶段。这一阶段的核心特征是以有线传输为基础，构建传感器阵列自动采集系统，实现井下多参数环境监测与地面调度中心的数据远程接收与显示，从而开启了从“人工感知”向“机器监测”的技术转型[10][28][29]。

在这一时期，煤矿普遍采用“检测传感器 + 有线网络 + 中控平台”的结构模式。监测参数显著扩展，涵盖瓦斯浓度、一氧化碳、风速、风压、温湿度、液位、电机温度、电气状态等十余项。20世纪80年代中期以后，在引进、消化、吸收的同时，结合我国煤矿的实际情况，我国先后研发了KJ1、KJ2、KJ4等第一批煤矿安全监测监控系统。20世纪90年代以后，我国先后研发出一批具有国际先进水平的监控系统，如KJ95、KJ90、KJ101、KJF2000等。这些系统采用Windows操作系统，具备智能化水平高、响应速度快、瓦斯风电闭锁、区域联网等显著特点。各类传感器通过矿用电缆或光缆接入传输网络，最终汇聚至调度室主控机。在CRT显示屏上，系统能够进行实时曲线绘制、报警提示与数据记录。调度人员可以根据预设阈值自动识别异常，从而实现初步的“被动报警 - 人工干预”安全管理模式。例如，1997年大柳塔煤矿开始建设井下自动化系统。

2.2.2. 技术进步与事故控制效果

据《中国煤炭工业年鉴(2000)》统计，如图1所示，1990年至2001年间，全国煤矿年均死亡人数从约6515人降至5670人，煤矿百万吨死亡率由6.66人/百万吨降至5.07人/百万吨[26]。技术进步成为这一时期事故控制的关键支撑因素之一。同期，煤矿安全投入持续加大，国务院多次颁布《煤矿安全监察条例》《煤矿安全规程》等文件，明确要求矿井配置安全监测系统并定期校准。

2.2.3. 局限性与发展瓶颈

尽管信息化阶段的技术进步显著，但该阶段仍存在较多限制。具体局限性包括：

数据传输局限性：在复杂巷道环境的远距离动态布设场景中，依赖有线通信的数据传输方式存在明显不足：布线困难，且难以满足动态监测需求。

数据融合不足：传感器间未形成数据联动，监测点信息相互独立，既无法进行多参数融合分析，也难以识别复杂的耦合风险。

报警机制简单：报警机制采用单变量阈值触发方式，既无法识别耦合风险及趋势性变化，也易导致漏报或误报。

平台功能有限：平台功能较为单一，主要依赖数据记录与人工响应，缺乏智能化决策支持能力。

2.2.4. 信息化阶段意义

总体而言，信息化阶段标志着我国煤矿安全监控从“人工监测”进入“自动化检测”阶段。该阶段构建了以传感器为核心的井下环境数据采集体系，仍处于“信息孤岛式”发展模式，尚未形成系统性、协同性的感知与响应机制。

2.3. 智能化阶段

2.3.1. 技术背景

进入 21 世纪，随着互联网、云计算、大数据、物联网等新兴技术的快速发展，煤矿安全监测技术逐步迈入智能化阶段。2020 年 3 月，国家发展改革委、能源局、应急部、煤监局、工信部、财政部、科技部、教育部等八部委联合印发了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》。2020 年 11 月，国家级工业互联网联合创新中心发布的《面向煤炭行业的 5G+工业互联网标准化研究白皮书》提到，5G+工业互联网技术与煤矿工业深度融合，将煤炭行业全要素、全产业链互联，将数字化全面连接煤炭生产、洗选加工、运输、销售、使用以及安全监管、企业决策、生态影响等方面。井下开采方面，通过煤炭工业互联网平台，可感知井下人员、矿车、温度、湿度、一氧化碳、甲烷含量、矿井气压、风速等相关信息，同时利用信息融合算法对每个传感器节点信息进行多层次、多方面、多级别的处理，最终实现对井下情况的精准掌握[29]-[35]。

2.3.2. 煤炭工业互联网平台

煤炭工业互联网平台的核心在于实现从数据感知到智能决策的闭环控制，其工作原理可抽象为“数据流”和“决策流”两个关键路径。数据流方面，终端设备通过 MQTT 等轻量协议实时上报环境参数，边缘节点对多源数据进行去噪、降维、融合处理，再上传至云端进行深度学习模型训练与风险识别；决策流方面，云端模型形成的判断结果将经平台中台处理后反馈至边缘节点，触发本地化执行指令，从而实现闭环响应。如图 2 所示，煤炭工业互联网平台组成主要包括如下部分：

端层：端层是工业互联网平台的物理基础，涵盖煤矿生产现场的各类物联网型工业设备。部署在井下的传感器(瓦斯、一氧化碳、温湿度)、控制器(风机、水泵开关)、执行器(自动断电装置)等设备，通过物联网协议(如 MQTT、CoAP)实现数据采集与初步控制。例如，瓦斯传感器可以以秒级甚至毫秒级采集浓度数据，通过矿用本安型无线网络(如 4G/Wi-Fi 6 Mesh 等)实时回传至监控系统。

边缘层：边缘层位于端层与云端之间，负责对端层采集的数据进行预处理和初步分析。通过边缘计算技术实时处理大量原始数据，提取关键信息，减少数据传输量，降低网络带宽压力。例如，基于边缘计算的瓦斯浓度监测系统可在数据源头进行异常检测，一旦发现瓦斯浓度超标，立即触发本地报警，并将预警信息快速上传至云端。

IaaS 层：IaaS 层为基础设施服务层，为工业互联网平台提供了强大的云基础设施支撑。它通过虚拟化技术，将计算、存储、网络等资源进行池化管理，根据用户需求动态分配资源，实现了资源的高效利用和灵活扩展。例如，当煤矿生产规模扩大或监测任务增加时，IaaS 层可自动调整资源分配，保障监测数据的实时处理和分析。

PaaS 层：PaaS 层是工业互联网平台的核心，为煤矿安全监测应用的开发、部署和运行提供了强大的平台支持。它集成了大数据处理、机器学习、人工智能等先进技术，为开发者提供了丰富的工具和框架。基于 PaaS 层，煤矿企业可以快速开发定制化的安全监测应用，如瓦斯泄漏预警模型、设备故障诊断系统等。

SaaS 层：SaaS 层是工业互联网平台与用户直接交互的界面，为煤矿企业提供了一系列即用型的安全监测应用服务。这些应用服务以云原生的方式部署在平台上，用户无需复杂的安装和配置，即可通过浏览器或移动终端随时随地访问和使用。例如，煤矿安全管理人员可以通过 SaaS 层的可视化监控平台，实时查看井下环境参数、设备运行状态和安全预警信息，实现对煤矿安全生产的远程监控和管理。

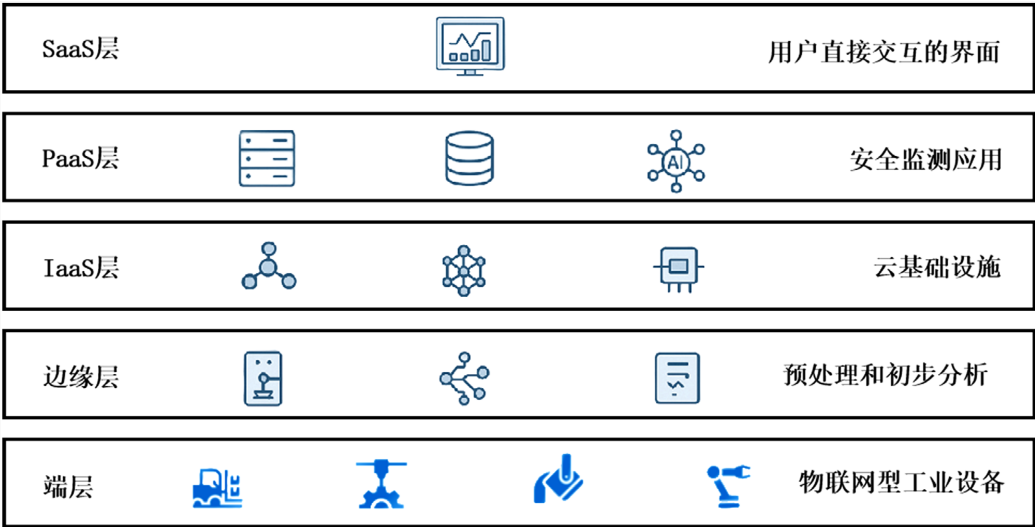


Figure 2. The technical architecture of coal industry internet platform
图 2. 煤炭工业互联网平台技术架构

2.3.3. 智能化煤矿

《煤矿智能化建设指南(2021 年版)》提出了智能化煤矿应基于工业互联网平台的建设思路，采用一套标准体系、构建一张全面感知网络、建设一条高速数据传输通道、形成一个大数应用中心，面向不同业务部门实现按需服务，为煤矿智能化建设提供了技术路线参考，规范了煤矿智能化建设遵循的范式。2023 年 6 月，国家矿山安全监察局发布了《智能化矿山数据融合共享规范》，包含基础共性、数据编码、数据采集、数据治理、数据安全、数据应用等 6 大专题共 40 项规范，为统一数据标准、汇聚高质量数据集支撑煤矿智能化建设提供了参考。如图 3 所示，2023 年 8 月，国家矿山安全监察局再次发布《矿山智能化标准体系框架》，将煤矿和非煤矿山智能化标准纳入同一体系，注重大数据、人工智能、机器人等新技术与传统矿山行业深度融合，为矿山智能化建设提供了标准遵循。智能化标准体系框架包括基础通用、数据与模型、生产系统与技术装备、决策与应用等四部分，共 265 个具体标准制定方向。从横向来看，覆盖开采工艺、技术装备、数据治理、安全保障等智能化矿山全部业务领域；从纵向来看，考虑矿山设计、建设、运行全生命周期的标准化需求。

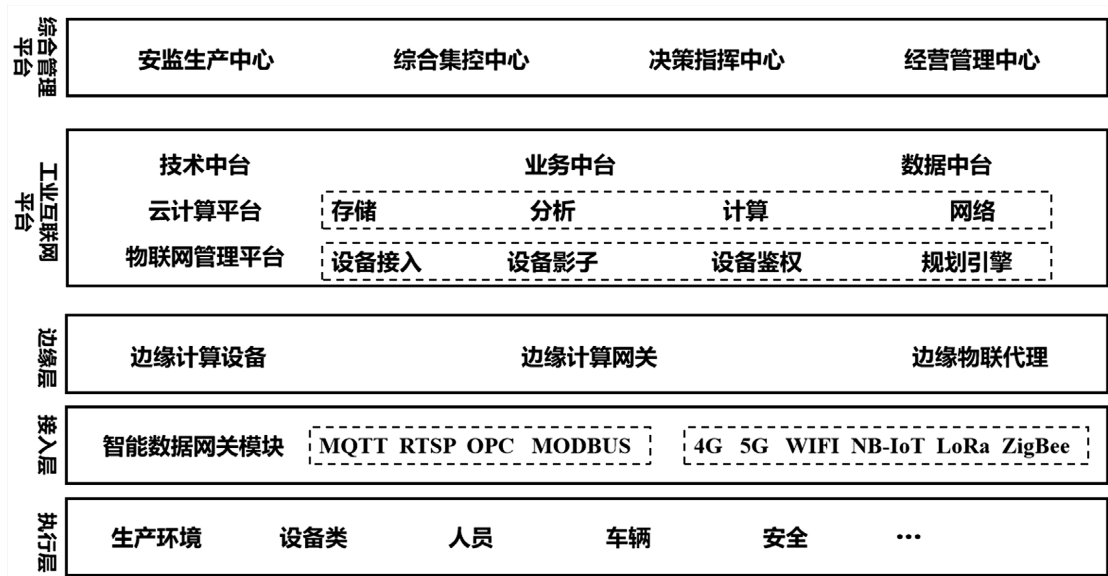


Figure 3. The technical architecture of intelligent coal mine platform
图 3. 智能化煤矿平台技术架构

2.3.4. 创新生态与跨界合作

国家鼓励煤矿智能化建设政策相继出台，促使政产学研用各相关单位整合创新资源，形成了一批协同创新平台和创新联盟，构建煤矿安全技术智能化“生态圈”。2020 年，中国煤炭学会、中国煤炭科工集团发起，率先联合 43 家大型煤炭企业、科研机构、高等院校和有关装备企业等共同组建成立全国煤矿智能化创新联盟；国家能源集团、中国煤炭科工集团联合组建煤矿智能化协同创新中心；甘肃省应急管理厅和中国移动、华为等 12 家单位成立推进矿山智能化建设改造服务联盟；中国煤炭机械工业协会和中国煤矿机械装备公司等 29 家单位成立了煤机装备智能化产业联盟；中国中煤联合 23 家企业、科研机构、高等院校共同成立中煤智能创新联盟；山西省、晋能控股等单位联合成立“智能矿山创新实验室”；中国矿业大学(北京)、中信重工开诚智能公司联合 36 家高等院校、科研院所、企业成立矿山机器人创新应用联盟；安徽理工大学、中国中煤、中国煤炭科工集团联合建设“煤炭无人化开采数智技术全国重点实验室” [15][16]。跨界合作不断深入，IT、通信、互联网、军工、航天、机器人、汽车、安防、新能源等行业、产业加入矿山智能化建设，一批新技术、新装备落地应用，跨界创新的叠加、倍增作用持续显现，惯性导航、人工智能、边缘计算、北斗导航等技术，盾构掘进、新能源汽车、永磁驱动、无人机、井下作业机器人等在矿山领域成功应用，煤炭行业“政产学研用”协同创新生态初步形成。

2.3.5. 智能化阶段成效

智能化煤矿建设在提升煤矿安全生产水平、保障煤炭稳定供应方面取得了显著成效。2023 年中国煤炭工业协会发布的《2022 煤炭行业发展年度报告》显示，全国建成智能化煤矿 572 处、智能化采掘工作面 1019 处，31 种煤矿机器人在煤矿现场应用，全国百万吨死亡率降至 0.024 人，创历史新低，技术进步作用显著。

3. 存在问题与发展建议

3.1. 存在问题

我国煤矿安全监测技术正由信息化向智能化跃升，尽管系统性能与管理效能大幅提升，但在实地运

行中仍面临多维度瓶颈，亟需通过具体措施予以突破。本文从五个方面详细分析当前存在的核心问题，并提出可落地的改进路径[13]-[16]。

数据安全与隐私保护机制亟待完善：随着传感器数量激增和数据采集粒度加密，井下环境数据、人员定位信息、调度日志等海量敏感数据集中于工业互联网平台。当前多数煤矿缺乏完备的网络安全体系，仅依赖传统防火墙和白名单配置，难以抵御日益复杂的勒索病毒、钓鱼攻击、协议监听等新型威胁。此外，数据传输链路普遍缺乏端到端加密和访问审计机制，存在数据泄露、非法篡改和跨系统违规调用的潜在风险。

设备异构化严重，系统集成难度大：现有煤矿使用的安全监测设备由多厂家、不同技术体系构成，接口封闭、通信协议各异，造成数据难以共享、功能难以统一。平台间互操作性差，不仅加大了系统集成与维护难度，也阻碍了跨部门联动、集中决策和远程调度的实现。

系统实时性与稳定性尚存短板：尽管边缘计算、低功耗无线传输等技术得到应用，但在高瓦斯、高粉尘、高湿度等极端井下环境中，传感器仍易出现漂移失准、离线中断等问题；部分边缘节点缺乏容错与冗余机制，遇突发事件响应滞后，影响预警的时效与可靠性。

建设成本高且运维复杂：煤矿智能监测系统包含通信网络、感知节点、边缘网关、工业平台等多个子系统，投资成本高昂；后期运维需要专人负责固件升级、设备巡检和网络维护，对技术队伍配置提出高要求，中小企业常因成本、人员瓶颈无法持续推进。

复合型技术人才储备不足：智能化煤矿的建设涉及物联网、人工智能、大数据安全、边缘计算等交叉技术，而煤矿行业长期以传统采掘工艺为主，复合型工程师储备明显不足。同时，井下恶劣工作环境对青年人才吸引力弱，形成“技术空心化”趋势。

3.2. 发展建议

为应对上述挑战，本文提出以下发展建议：

构建多层级数据安全与隐私保护体系：针对煤矿安全监测系统中存在的数据安全与隐私保护问题，应构建“边-管-云”多层级防护体系，确保数据全生命周期的安全可控。在边缘层，应部署具备硬件加密功能的工业级网关设备，支持本地加密、访问认证与非法接入拦截；在传输层，建议统一采用 TLS1.3 或国密 SM9 算法保障链路安全，结合轻量化协议如 MQTT over SSL 以适应井下复杂通信环境；在云端，则应构建零信任访问模型，配置基于用户行为分析的动态风险检测引擎，同时通过数据沙箱与分级脱敏机制实现敏感信息的可控存储与调用。此外，还需建立网络安全责任人制度，定期开展攻防演练与数据泄露风险评估，提升矿区整体网络安全治理能力。

制定统一标准以打通系统互联互通壁垒：针对设备异构化严重、系统集成难度高的问题，亟需由政府主管部门或行业标准组织牵头推动煤矿安全监测系统的标准化与互操作性体系建设。建议优先制定统一的数据结构模板、通信协议标准及接口开放规范，构建国家级“煤矿设备互联互通标准库”，确保多厂商设备具备“即插即用”能力。在此基础上，开发基于低代码平台的集成中台，实现可视化接入、多系统数据同步与流程逻辑统一配置，降低系统运维与二次开发门槛。同时，鼓励设备企业提供标准化 SDK 与 API 文档，并对接国产工业操作系统与工业互联网平台，推动数据的集中管理与跨系统协同分析。

提升监测系统实时性与鲁棒性：为了提升煤矿监测系统在极端井下环境下的实时性与稳定性，应在关键区域布设融合瓦斯、温湿度、风速等参数的复合型多模态传感器，通过传感数据一致性算法提升准确性与鲁棒性；在数据处理侧部署轻量级边缘 AI 模型，实现对作业行为、环境变化的实时分析与预警；同时构建具备本地缓存与断点续传能力的容灾机制，并采用主备冗余网关确保系统在关键节点失效时仍可持续运行。

通过技术集成与模式创新降低成本：面对当前系统建设成本高、运维复杂等问题，建议通过软硬件集成创新和服务模式转型有效降低中小矿区的建设门槛和经济负担。在技术路径上，可选用开源工业平台结合国产模块化边缘设备，构建具备扩展能力的低成本智能监测系统；在硬件部署上，推广“微型智能监测包”概念，将传感、通信、供电和计算模块集成为一体，减少布线与现场调试成本；在服务模式上，探索“平台租赁 + 系统运维外包”新商业模式，鼓励技术服务商提供定制化交钥匙工程，并通过共建共享“煤矿云平台”降低系统开发、模型训练与数据分析成本，形成“即装即用、按需付费”的可持续运行机制。

构建复合型人才梯队：在复合型技术人才匮乏问题日益突出的背景下，应从供需两端协同发力，构建覆盖“育、引、留”的智能矿山人才保障体系。在供给侧，鼓励高等院校设置“矿山 AI 与智能装备”等交叉专业方向，并配套实训基地与标准课程体系，强化学生的工程实践能力与产业认知；在需求侧，支持煤矿企业联合科研院所建立培训中心，开展在岗轮训、案例教学与远程直播课程，推动技术骨干的系统化培养；在引才机制方面，建议设立“智能矿山高层次人才引进专项计划”，从薪酬激励、职业晋升、项目资助等方面增强行业吸引力，吸纳青年科技人才深度参与智能煤矿建设，夯实行业发展的智力基础与创新活力。

4. 结论

本文系统梳理了我国煤矿安全监测技术从人工监测、信息化到智能化的演进历程，分析了各阶段技术特征、应用成效及局限，指出当前存在数据安全、系统集成、实时性、成本和人才等问题，提出加强数据安全保护、推动标准化、提升系统性能、降低成本及强化人才培养等建议，旨在为煤矿智能化升级和安全保障体系建设提供理论与实践参考，助力行业安全高效智能发展。

参考文献

- [1] 王国法, 任怀伟, 富佳兴. 煤矿智能化建设高质量发展难题与路径[J]. 煤炭科学技术, 2025, 53(1): 1-18.
- [2] 许名标, 彭德红. 我国煤矿事故的致因分析和对策[J]. 矿业快报, 2006, 22(11): 33-35.
- [3] 贺超, 李贤功, 王桂强. 面向安监部门的煤矿安全监管指标体系设计[J]. 煤矿安全, 2016, 47(4): 235-237.
- [4] 张波. 煤矿安全生产综合监控信息系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [5] 洪玉玲. 煤矿安全监控三级联网系统软件的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2014.
- [6] 王志波. 矿井安全监测监控系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 包头: 内蒙古科技大学, 2014.
- [7] 黄丹. 基于“六大系统”的矿山 CIMS 生产管理体系研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2014.
- [8] 路娟. 煤矿监测监控系统综合评价与应用研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
- [9] 王红博. “互联网+”背景下陕西煤炭企业转型升级路径研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2017.
- [10] 张莉. 煤矿安全生产监控系统云联网平台关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- [11] 吴滔. 湖南省煤矿安全生产监管研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 国防科技大学, 2020.
- [12] 张弛. 河南省煤矿企业安全生产信息化管理平台构建与应用研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2021.
- [13] 李伟良. 煤矿智能化综采工作面安全评价研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2022.
- [14] 王言之. 矿山全员安全风险管控信息化平台的研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 赣州: 江西理工大学, 2023.
- [15] 李楠. 基于物联网的煤矿安全监控系统设计[D]: [硕士学位论文]. 包头: 内蒙古科技大学, 2024.
- [16] 杨浩. 安全价值视角下的煤矿企业安全投入决策研究[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2024.
- [17] 王洪亮, 马龙, 仙文豪. 煤炭行业新质生产力的探索: 创新驱动与绿色转型[J]. 矿山工程, 2025, 13(1): 169-177.
- [18] 李立社. 煤矿智能化开采技术研究现状及展望[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(3): 159-161.
- [19] 刘强, 王耀龙, 张飞, 等. 露天煤矿智能化安全管控平台设计[J]. 煤炭技术, 2024, 43(7): 230-234.

-
- [20] 刘香兰. 煤矿安全生产大数据分析与管理平台设计研究[J]. 煤炭工程, 2017, 49(6): 32-35.
- [21] 范济安, 潘睿, 王竑达. 智能化矿山数据融合与应用研究[J]. 中国煤炭, 2023, 49(10): 11-17.
- [22] 国家安全生产监督管理总局. 国家煤矿安全监察局 1 煤矿安全规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009: 178-193.
- [23] 高洪波, 张冬阳, 王鹏, 等. 智能化矿山数据中台建设与应用规范解读与实践[J]. 中国煤炭, 2023, 49(12): 1-5.
- [24] 周洪军, 周宗林. 煤矿智能化建设中存在的问题及其对策研究[J]. 中国煤炭, 2024, 50(2): 30-34.
- [25] 武绍利, 刘炳刚, 李旺, 等. 以技术创新提升智能化水平, 推动智能化矿山建设[J]. 企业管理, 2023(S2): 294-295.
- [26] 国家煤炭工业局. 中国煤炭工业年鉴 2000 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [27] 吴小文. 基于物联网的煤矿井下安全监控系统设计与应用研究[J]. 煤矿现代化, 2021, 30(4): 110-112.
- [28] 刘具, 秦坤, 王海燕, 等. 煤炭企业数字化转型建设路径研究[J]. 煤炭工程, 2024, 56(6): 203-210.
- [29] 惠文杰. 红石湾煤矿安全生产监控系统升级改造设计与应用[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2019.
- [30] 霍中刚, 武先利. 互联网 + 智慧矿山发展方向[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 28-33.
- [31] 杨会龙. 大型现代数字化矿井的设计[J]. 黑龙江科技大学学报, 2017, 27(1): 77-81.
- [32] 杨荣明, 张学亮, 覃杰. 国家能源集团井工煤矿智能开采指南研究与实践[J]. 中国煤炭, 2023, 49(3): 62-69.
- [33] 付翔, 秦一凡, 李浩杰, 等. 新一代智能煤矿人工智能赋能技术研究综述[J]. 工矿自动化, 2023, 49(9): 122-131.
- [34] 杨军, 张超, 杨恢凡, 等. 煤炭工业互联网技术研究综述[J]. 工矿自动化, 2023, 49(4): 23-32.
- [35] 郑昆, 常淑光. 基于物联网的煤矿井下安全监控系统设计与应用研究[J]. 数字通信世界, 2024, 15(6): 188-190.