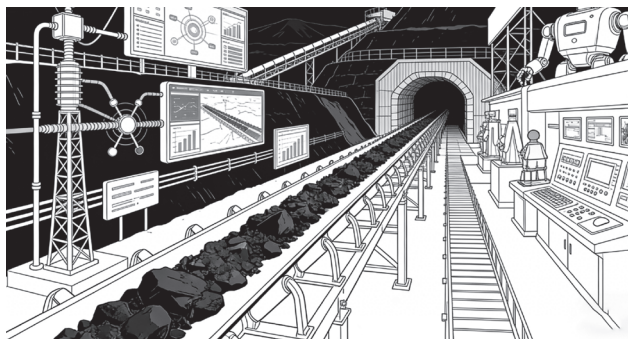


# 科技创新赋能煤炭领域应急管理体系现代化研究

文 | 臧红敏

我国作为全球最大的煤炭生产和消费国，煤炭在国家能源安全战略中具有特殊地位。然而，煤炭开采面临地质条件复杂、灾害类型多样的严峻挑战，安全生产压力巨大。近年来，随着开采深度增加、开采强度加大，瓦斯突出、冲击地压、水害等重大灾害呈上升趋势，传统的应急管理模式已难以适配新形势下安全生产的要求。以智能化、信息化为核心的科技创新为煤炭应急管理带来了革命性变革，推动着煤炭安全生产从被动应对向主动防控、从经验决策向数据驱动转型。



(配图由 AI 生成)

## 科技创新对煤炭应急管理的战略意义

### 保障国家能源安全的战略需求

煤炭作为我国能源体系的“压舱石”，其安全生产直接关系到国家能源安全。通过智能化、信息化技术的科技创新，可提升煤炭应急管理能力，大幅降低重大事故的发生概率和影响程度，保障煤炭稳定供应。在当前能源转型的关键时期，科技创新推动煤炭开采实现更安全、更高效的运行，为国家能源安全提供了坚实的技术保障。

### 推动行业高质量发展的必然选择

高质量发展要求煤炭行业必须转变发展方式，从粗放型向集约型转型。通过科技创新的智能化改造，煤炭企业实现了减人提效，降低了安全风险；通过信息化建设，提升了管理精细化水平；通过自动化装备应用，改善了作业环境。科技创新不仅提升了煤炭行业安全生产水平，也增强了企业的经济效益和核心竞争力，为煤炭行业高质量发展开辟了新路径。

### 实现以人为本发展理念的重要举措

“人民至上、生命至上”是安全生产工作的根本遵循。科技创新将矿工从危险繁重的劳动中解放出来，最大限度地保障了矿工的生命安全和身体健康。智能化工作面实现了远程操控，减少了井下作业人员；智能巡检机器人替代人工进行危险区域检查；应急救援机器人可在灾后执行搜救任务。这些技术创新充分体现了以人为本的发展理念，显著提升了矿工的获得感和安全感。

## 科技创新赋能煤炭应急管理现代化体系

### 智能化监测预警体系

一是多源信息融合的危害预警平台。科技创新推动监测预警系统，从单一参数监测向多源信息融合的智能化预警转型。系统利用机器学习算法对多源数据进行融合分析，能够识别灾害前兆的复杂模式，实现更准确的预警。以冲击地压预警为例，传统方法主要依赖微震事件频次、能量等单一指标，预警准确率有限。新一代智能化预警系统整合了地应力、电磁辐射、声发射、采动应力等多种信息，通过深度学习模型挖掘各类参数与冲击地压发生之间的非线性关系，预警准确率可提升 30% 以上。

二是基于数字孪生的风险动态评估。数字孪生技术为煤炭灾害风险动态评估提供了革命性工具。通过构建矿井的高保真三维数字模型，与实时监测数据联动，可在虚拟空间中对灾害风险进行可视化展示与量化评估。系统可模拟不同开采方案下的应力场分布、瓦斯运移规律、围岩变形特征等，预测潜在风险区域和风险等级。

三是智能视频监控与行为识别。传统视频监控主要依赖人工查看，效率低且容易遗漏。基于计算机视觉技术的智能视频监控系统，能够自动识别人员违章行为、设备异常状态、环境风险因素等。建立动态视频管理系统，在井下重点部位安装摄像头，通过 AI 算法实时分析视频流，自动抓取不戴安全帽、违章操作、设备异常等行为，并及时报警，不仅提高了监管效率，还形成了强大的心理威慑，促使员工自觉遵守安全规程。

### 智能化应急指挥决策体系

一是一体化应急指挥平台。传统应急指挥存在“信息孤岛”、协同困难等问题。智能化应急指挥平台通过统一的数据标准和接口规范，集成了安全监控、人员定位、通信调

度、视频监控、应急预案等多个子系统，实现了信息的互联互通。平台采用“一张图”模式，在地理信息系统上叠加各类实时信息，为指挥员提供全面、直观的态势感知。一方面，实现信息汇聚与融合，自动汇集各子系统数据，消除信息矛盾，形成一致的态势图；另一方面，基于规则引擎和机器学习模型，自动识别风险并生成预警。

二是基于大数据的智能辅助决策。智能辅助决策系统通过对历史案例库、专业知识库、实时数据流的分析，为指挥员提供决策支持。系统采用案例推理技术，从类似事故的处置经验中提取有效方案；采用规则推理技术，基于安全规程和专家知识生成处置建议；采用数据挖掘技术，从实时数据中发现关键信息。

三是虚实结合的应急演练系统。基于虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术的应急演练系统，为培训提供了全新手段。系统可以模拟各种灾害场景，如瓦斯爆炸、火灾、透水等，让参演人员在高度仿真的虚拟环境中进行处置训练。系统的优势在于可以模拟真实环境下难以复现的极端场景，记录参演人员的每一个操作，便于事后分析和评估，还可以实现远程协同演练，提高培训的灵活性。

#### 智能化应急救援装备体系

一是应急救援机器人。在灾后环境下，井下条件极其危险复杂，传统的人工搜救面临巨大风险，应急救援机器人的发展为这一难题提供了解决方案。目前已经应用于煤矿救援的机器人包括：携带多种传感器进入危险区域探测环境参数的侦察机器人，进入火场执行灭火任务的灭火机器人，具备一定的负载能力、可以运输物资或协助人员转移的救援机器人。随着5G技术的应用，机器人可以实现高清视频实时回传和低延迟远程控制，大大扩展了其应用范围。未来，救援机器人将向集群化、智能化方向发展，多机器人协同完成复杂任务将成为可能。

二是智能个人防护与定位装备。矿工的个人防护装备正在从被动防护向主动智能防护转变。新一代智能矿灯集成多种传感器，能够实时监测周围环境的气体浓度、温度、湿度等参数，当检测到危险时自动报警。同时，矿灯内置定位模块，结合井下定位系统，可以精确追踪每位矿工的位置。在应急情况下，个人定位装备作用尤为突出，可以快速确定被困人员的位置和数量，了解被困区域的环境状况，通过矿灯的报警功能与被困人员建立简单通信，为救援路线规划提供依据。

三是快速应急通信系统。传统的有线通信系统在地震、爆炸等灾害中容易被破坏，无线通信则受到巷道结构限制。新一代应急通信系统采用多种技术融合的方案，例如，Mesh自组网技术可以在没有基础设施的情况下快速构建通信网

络，透地通信技术能够穿透岩层实现通信联络，应急通信基站可以在关键位置快速部署。在灾害发生时，即使部分基础设施受损，系统仍可以通过剩余节点重构网络，保持基本通信能力。

#### 科技创新赋能煤炭应急管理现代化面临的难题

##### 技术集成与系统兼容性难题

煤炭应急管理涉及多种技术系统，如监测监控、通信联络、人员定位、设备控制等。这些系统往往来自不同厂商，采用不同的技术标准和数据格式，集成难度大。在实际应用中，经常出现“信息孤岛”、数据不一致、系统互操作困难等问题，影响了整体效能发挥。这主要是因为，一方面，缺乏统一的行业标准体系，企业现有系统改造升级困难；另一方面，系统集成商能力参差不齐，缺乏整体解决方案，导致很多智能化系统只能实现局部优化，难以形成整体合力。

##### 技术可靠性与环境适应性难题

煤矿井下环境恶劣，存在爆炸性气体、高湿度、高粉尘、电磁干扰等不利因素。在实际应用中，经常出现设备故障率高、传感器漂移、通信中断等问题，影响了系统的稳定运行。特别是在应急情况下，系统需要承受更大的压力，任何故障都可能导致严重后果。当前许多智能化设备在实验室环境下表现良好，但在井下复杂环境中的长期可靠性仍需验证，需要设备制造商深入了解煤矿特殊需求，进行针对性的设计和测试。

##### 数据质量与模型准确性难题

智能化应急管理系统依赖高质量数据和准确模型。然而在实际中，数据质量问题突出。例如，传感器数据存在噪声和误差，不同系统数据不一致，历史数据不完整等。这些问题影响了数据分析的准确性和模型预测的可靠性。模型准确性也面临挑战，灾害机理复杂，影响因素多，许多灾害过程具有非线性、突发性特征，难以用传统数学模型描述。机器学习模型需要大量标注数据，但灾害样本稀少，导致模型训练困难，模型的可解释性不足，影响决策者对模型的信任度。

##### 人才短缺与组织适应性难题

智能化应急管理需要既懂煤矿安全生产，又懂信息技术的复合型人才，复合型人才目前严重短缺。传统煤矿技术人员对新技术的接受度不高，信息技术人员对煤矿生产实际了解不深，两者之间存在知识隔阂。在组织层面的挑战同样严峻，传统的层级式管理与智能化要求的扁平化、敏捷化管理存在矛盾，部门壁垒阻碍了信息共享和业务协同，绩效考核体系未能充分体现科技创新的价值，影响了员工积极性。

##### 投入产出与经济可行性难题

智能化建设需要大量资金投入，包括硬件采购、软件开发、系统集成、人员培训等。对于许多煤炭企业，特别是经营困难的企业而言，负担较重。智能化建设的效益往往需要较长时间才能显现，安全效益难以量化，导致企业投资决策困难。同时，智能化系统的运营维护也需要持续投入，包括软件升级、硬件更换、数据服务等。一些企业在初期建设后，由于后续投入不足，导致系统逐渐落后，甚至瘫痪。如何建立可持续的投入机制，是智能化建设必须解决的问题。

### 科技创新赋能煤炭应急管理现代化的主要路径

#### 加强顶层设计与标准体系建设

在国家层面应加快制定煤炭行业智能化、信息化相关标准，包括数据标准、接口标准、安全标准、验收标准等，为系统互联互通奠定基础。特别要建立标准动态更新机制，适应技术快速发展。在企业层面应将应急管理科技创新纳入发展战略，制定中长期规划，规划应坚持需求导向，分步实施，确保实用性和可扩展性。同时，企业成立专门的领导小组和工作机构，明确责任分工，确保规划顺利推进。

#### 推动关键技术攻关与自主创新

针对煤矿特殊环境的适应性技术，应加大研发投入，突破防爆、防潮、防尘、抗干扰等技术瓶颈。鼓励设备制造商与煤炭企业深度合作，开发专用设备。在核心软件和算法方面，支持产学研用协同创新，推动企业与高校、科研机构合作开发适用于煤矿灾害预警、决策支持的专业模型。同时，加强基础理论研究，揭示灾害发生发展机理，为技术创新提供理论支撑。

#### 创新人才培养与组织变革机制

建立复合型人才培养体系，通过校企合作、在职培训、岗位交流等方式，培养既懂煤矿安全生产，又懂信息技术的专业人才。改革现有企业组织架构和管理流程，适应智能化管理需求。例如，打破部门壁垒，建立跨部门协同机制；优化绩效考核，将科技创新成果纳入考核体系；培育创新文化，鼓励员工提出改进建议。

#### 完善投融资机制与商业模式

在政府层面应加大对煤炭智能化建设的支持力度，通过专项资金、税收优惠、电价优惠等方式降低企业负担。打造智能化建设示范项目，以点带面推动行业发展。探索多元化的商业模式，如融资租赁、合同能源管理、技术服务外包等，降低企业初始智能化投资压力。建立效益评估体系，科学量化智能化建设的安全效益、经济效益和社会效益，为企业投资决策提供依据。同时，建立效益分享机制，让各方都能从科技创新中获益，形成良性循环。

#### 构建产学研用协同创新生态

推动形成完整的煤炭智能化产业生态，包括技术研发、装备制造、系统集成、运营服务等各个环节。支持专业化服务企业，为煤炭企业提供运维保障、数据分析、人员培训等服务。加强产业链上下游协同，促进企业合作创新。建立产业创新联盟，攻克共性技术难题。培育具有国际竞争力的龙头企业，带动产业链升级。加强企业、高校、科研院所、设备制造商的合作，建立技术创新联盟或联合实验室，有效整合内外部创新资源。搭建开放共享的创新平台，汇聚行业数据、案例、算法等资源，降低创新门槛。通过举办技术竞赛、创新大赛等活动，发现和培育创新人才。加强国际交流合作，引进、消化、吸收国外先进技术，同时推动中国技术和标准走向国际。

科技创新正在深刻改变煤炭应急管理的理念、模式和方法，推动煤炭安全生产进入智能化新时代。通过智能化监测预警、应急指挥、救援装备等技术应用，煤炭应急管理实现了从被动应对向主动防控、从经验决策向数据驱动、从分散作业向协同作战的转变。科技创新赋能煤炭应急管理，不仅是技术问题，更是系统性的管理变革，需要技术、管理、人才、政策等多方面协同推进。当前，面对技术集成、可靠性、数据质量、人才短缺、经济下行等挑战，科技创新赋能煤炭应急管理现代化，必须加强顶层设计、推动关键攻关、创新体制机制、完善政策标准，加快构建现代化应急管理体系，为矿工生命安全筑牢防线，为行业可持续发展奠定基础。科技创新永无止境，应急管理任重道远。煤炭行业应以更加开放的姿态拥抱新技术，以更加务实的态度推进创新应用，以更加系统的思维构建现代化应急管理体系，为建设安全、高效、绿色的现代化煤炭工业贡献力量。同时，需要企业、政府、科研机构、社会各界共同发力，形成推进科技创新的强大合力，共同谱写煤炭安全生产的新篇章。

本文选自 2025 年度沈阳市哲学社会科学规划课题一般项目“人工智能与沈阳制造业深度融合催生新质生产力研究”(SY202512Y) 阶段性成果。

**作者简介：**臧红敏 中共辽宁省委党校（辽宁行政学院、辽宁省社会主义学院）