 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i8.11525

The Application and Development of Artificial Intelligence in the Coalbed Methane Field

Jianxin Geng

China Coal Technology & Engineering Group Chongqing Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Chongqing, 400016, China

Abstract

In the process of coalbed methane development, traditional management models face challenges such as delayed response and limited risk identification ability due to the complex underground environment and variable geological dynamics. The introduction of artificial intelligence technology provides a new path for transforming the paradigm of building safety management in the field of coalbed methane. By integrating machine learning, computer vision, and IoT perception technologies, artificial intelligence systems can achieve real-time monitoring, intelligent warning, and decision assistance for well site construction, safety control, and facility operation and maintenance. This significantly improves the accuracy, proactivity, and systematicity of risk prevention and control, laying the technical foundation for building a safe, efficient, and intelligent coalbed methane engineering production system.

Keywords

artificial intelligence; coalbed methane safety management; risk warning; intelligent monitoring

人工智能在煤层气领域的应用和发展

耿建新

中煤科工重庆设计研究院（集团）有限公司，中国·重庆 400016

摘　要

在煤层气开发过程中，传统管理模式因井下环境复杂、地质动态多变而面临响应滞后、风险识别能力有限等挑战。人工智能技术的引入为变革煤层气领域建筑安全管理范式提供了新路径。通过集成机器学习、计算机视觉与物联网感知技术，人工智能系统能够实现对井场建设、安全管控、设施运维的实时监控、智能预警与决策辅助，从而显著提升风险防控的精准性、主动性与系统性，为构建安全、高效、智能的煤层气工程生产体系奠定技术基础。

关键词

人工智能；煤层气安全管理；风险预警；智能监测

1 引言

煤层气资源规模化开发需要大量的地面建设工程项目和井下开采作业，因此它的安全管理工作存在着很高的复杂性和特殊性。钻井平台、压裂作业区、集输站场等建筑环境的危险性存在于勘探、开发、生产全过程。传统的安全管理方式很大程度上依靠人工巡检和经验判断，对于隐蔽致灾因素、突发地质变化以及设备连锁故障等都存在一定的局限性。近些年来，以大数据分析、深度学习以及智能传感为代表的人工智能技术迅速发展，它所具有的强大模式识别和预测能力，给破解上述问题带来了希望。

【作者简介】耿建新（1982–），男，中国河北邯郸人，硕士，高级工程师，从事煤层气，石油天然气研究。

2 煤层气安全管理传统模式的主要问题

煤层气工程安全管理传统模式是以规章制度、周期性巡检、从业者的经验积累为基础，在长期实践中形成了一套比较固定的安全管理体系。但是随着开发规模扩大和作业环境越来越复杂，该模式的缺点也越来越明显，第一，就是风险感知被动滞后。安全隐患的发现主要依靠人工现场检查，不能对整个作业区域和全部时段进行无死角的连续监控。第二，信息决策碎片化。安全数据来自不同的部门和独立的系统，地质勘察报告、设备运行日志、人工巡检记录等信息格式不一、标准不同，缺少有效的集成和关联分析平台。管理层决策大多依靠局部、静态的报告，不能够形成对于整个安全态势的动态、全景的认识，从而造成管控措施常常落后于风险的发展。第三，人员行为存在管理盲区。在高压、高危的作业环境里，施工和操作人员的疲劳状况、不规范的动作以及短暂的疏忽，都会直接造成重大事故的发生。传统的管

理依靠安全教育和纪律约束，没有对个体行为状态进行实时、客观的评价和即时的干预手段，人的不安全因素不能得到有效控制。

3 应用于安全管理的人工智能核心技术基础

人工智能在安全管理中所起的作用，依靠的是诸多核心技术的支持和融合。首先就是物联网以及智能传感技术，属于感知层的“神经网络”。在井场的关键位置、井下巷道、重要设备、施工人员的装备上布置各种高精度传感器（甲烷浓度、应力应变、振动、位移、视频监控等），对环境参数、设备状态和人员位置进行全天候、全方位的数据采集，给上层智能分析提供大量的、实时的数据源。其次是机器视觉和模式识别技术，就是系统的眼睛。基于深度学习的图像 / 视频分析算法可以自动识别施工区域内不安全状态，即未戴安全帽、进入危险区、设备异常烟雾等，并把预警信息及时推送到监管平台。另外就是大数据分析和机器学习技术，起着“决策大脑”的作用。利用历史事故数据、实时监测数据和地质模型数据，用回归分析、随机森林、神经网络等算法训练预测模型，可以对煤层气泄露、设备故障趋势等进行超前预警。同时强化学习算法可以应用到应急疏散路径动态优化、救援资源调度等复杂决策中。最后数字孪生技术给安全带来了一个虚拟的沙盘。创建一个与物理井场完全对应起来的虚拟模型，把实时的数据输入到模型当中，管理者可以在虚拟空间里安全地开展风险模拟、应急预案推演以及管控措施效果评价等工作，从而达成由被动应对向主动预防的转变。

4 人工智能在煤层气安全管理中的具体应用

4.1 地面施工安全智能监控

煤层气开发地面施工包含井场搭建、钻井平台设置、管线敷设和站场创建等工作内容，作业范围大、工种繁杂、动态风险多。人工智能技术的应用使地面施工安全管理工作变得细密起来，精准起来。人员安全行为控制依靠的是计算机视觉的智能监控系统。分布在施工现场的高清摄像头对视频流进行实时采集，经过算法分析后可以自动检测并发出预警信号，对高空作业未系安全带、临边洞口无防护、特种作业人员无证上岗、危险区域内人员聚集等违规行为进行预警。该系统不但可以发出声光警报，还可以用广播系统或者佩戴式智能设备直接通知到涉事人员，同时把事件记录存档起来，用作安全考核和教育的依据。

对大型机械、重要构筑物的安全监控，人工智能也不能缺少。采用重型吊装设备、挖掘机械等安装多维传感器，对这些设备运行过程中倾角、载荷、振动进行实时采集，并采集设备的工作状态及周围环境。机器学习模型可以识别出异常模式，比如吊臂负载和角度不匹配就容易引起倾覆事故，系统可以提前预警并要求操作手进行干预。对钻井井架、临时支撑结构等重要的构筑物布置应变、位移传感器可以得到它们的受力和形变数据，再联系数字孪生模型来开展结构健康度评定以及剩余寿命预估工作，从而达到预防性维护的目的，防止出现结构性坍塌事故。

另外环境安全综合感知系统把气象数据、地质雷达数据和现场传感器数据结合起来。以降雨量、土壤湿度和边坡监测数据为输入，用 AI 模型可以预测施工区段边坡滑塌风险，以风速、风向和粉尘浓度数据为输入，可以发出大风引起物体打击或者粉尘爆炸风险的预警。这些智能监控手段一起构成地面施工的主动防御体系，把安全管理的重心从前置到事中控制、事前预防。

4.2 煤层气从业人员智能安全管控培训

煤层气地面开发岗位类型繁杂、一线人员流动频繁，新入职施工人员安全意识薄弱，老员工容易产生操作麻痹、习惯性违章等现象，传统的线下集中培训、纸质考核方式存在形式单一、无法跟踪效果等缺点，借助人工智能可以创建起全流程、全覆盖的地面从业人员安全管控和智能培训体系，全程没有涉及井下作业的相关内容。依靠 AI 虚拟仿真培训平台创建地面作业专属实训场景，包含井场搭建、钻井地面配套操作、管线敷设、集输站设备操作、大型工程机械操作等全部地面工种。系统使用三维虚拟建模还原真实的作业现场，参训人员用交互终端进行模拟实操，AI 算法实时采集操作步骤、动作规范度，对未按照流程摆放钻井地面防护器材、管线焊接前未检查试压设备、吊装作业未划定警戒区等不规范操作即时弹窗纠错，同步推送对应的规范条文，克服了传统培训只能听讲、不能实操的局限性。对特种地面作业人员设置重型机械吊装、高空井架搭设、站场高压设备操作等高危模拟考核，用 AI 记录每一次失误的操作，形成个人安全薄弱项档案，实行因材施教式的专项复训。

在日常在岗动态安全管控上，用施工现场智能穿戴终端加 AI 人脸识别系统来实现人员全生命周期的管理。入场时采用人脸识别技术与人员资质数据库对比，自动核验特种作业操作证有效期、安全培训结业证明，无证或证过期者一律禁止进入施工场区，在岗时智能安全帽内设定位、语音交互装置，AI 行为识别系统同现场摄像机联动起来，若出现人员离岗、擅自进入设备危险区、不佩戴防护用品等情况，终端立刻发出语音警示并同步传送到安全管理后台。长期在岗员工会收到岗位风险等级相应的 AI 推送，每天或者每周定时推送含有边坡防护、设备防雨防雷、粉尘防护、管线第三方施工防护等地面专项安全内容的线上安全微课，通过在线考试合格之后才能上岗，线上学习内容及成绩记录会同步到个人档案当中，成为个人安全培训考核成绩的重要参考依据。

4.3 地质环境与灾害耦合分析

煤层气开发区域地质环境复杂，单个灾害容易和其它因素相互耦合、相互诱发，增大了安全管理工作难度。人工智能强大的多源数据融合和关联分析能力，给认识地质

灾害耦合机理、开展综合防控提供了一种新的途径[1]。人工智能平台可以将地震勘探数据、地质钻孔数据、遥感数据、InSAR 地表形变监测数据、井下实时监测数据等整合在一起，创建出高精度的三维地质力学模型和水文地质模型。该智能化模型可以模拟出在不同的开采工况、不同的工程扰动下地层应力场、裂隙场和渗流场的变化过程。例如分析瓦斯富集和地质构造（断层、褶皱）的空间关系，评价采动影响下断层活化造成瓦斯集中涌出或者突出的风险，模拟煤层开采引起顶板岩层移动的规律，预测顶板上覆含水层受到破坏的程度以及可能形成的突水通道出现的时间和位置，评价井下水压裂作业对围岩稳定性的危害，分析它是否会引发微震事件或者加重邻近区域的顶板灾害风险[2]。耦合分析冲破了传统单一因素、静态评判的束缚，达成对于复杂地质环境里灾害链风险的动态预估。

另外，人工智能还可以改善工程布置和开采设计，从而避免大型的风险。利用不同的虚拟设计方案来运行耦合分析模型，可以评价各个方案对于地质环境的扰动程度以及可能会产生的灾害风险等级，从中选出安全性的最优设计方案。通过改善水平井走向布置来避开高风险的地质构造带，或者改变开采顺序控制地应力集中以及煤层气动态释放。这就把安全管理由被动应付灾害的后果，提前到主动避开高风险地质情况，把安全因素嵌入到工程的设计之初。

4.4 集输站场与管线设施智能运维

煤层气集输站场属于地面处理和输送的关键部分，散布的管道网络则是能源输送的“血管”[3]。这些设施长期工作在恶劣的环境里，所以要保证它们的安全、稳定运转。人工智能技术给传统运维加上了预测性和主动性。在站场设备健康管理方面，给增压机、分离器、脱水装置、阀门等重要设备加装振动、温度、压力、噪声、润滑油品质等各类传感器，对它们的“生命体征”数据进行实时采集。机器学习模型通过大量历史运行数据和故障数据的学习，可以建立设备正常运转的“数字画像”，并及时对它的运行状况进行监测，看它和这个“数字画像”有无差别。一旦检测出异常模式，比如压缩机轴承振动频谱异常、阀门内漏特征信号等等，系统就会在故障出现之前数小时甚至数天发出警报，给出可能的故障原因及维修意见，从而促使维护人员实施预测性维护工作，防止非计划停机和安全事故的发生。

对煤层气主集输管道的安全监控，传统的依靠人工巡线的方式效率低、盲区多。人工智能同无人机巡检以及智能视频分析技术融合起来之后，可以完成对管线地表状况（第三方施工，植被侵入，水土流失），架空煤层气管道、支撑结构（支架腐蚀，位移）的周期性快速巡视工作。无人机搭载的高清摄像头和热成像仪所拍摄的图像和视频数据，经过 AI 算法的自动分析，可以很快地发现管道裸露、占压、泄漏热斑、防腐层破损等异常情况，并给出准确的地理位置。同时，在管线沿线或者重要节点处设置光纤振动传感系统，采用模式识别算法来监测、区分出由人造成的影响、由机械造成的冲击、由车辆引起的碾压等对管线安全有影响的入侵行为，及时发出警报并采取应急措施，从而防止第三方破坏事件的发生。

煤层气站场内危险气体泄漏的智能监测也不能缺少 AI。传统的点式气体探测器的覆盖范围小。利用激光扫描或者红外成像技术以及图像识别算法相结合的方式，可以对大范围开放区域或者复杂的装置区进行可视化的气体泄漏监测，快速找到泄漏源，并且评价出泄漏扩散的范围，给紧急关断和人员疏散提供重要的信息。

5 结语

人工智能技术同煤层气领域的安全管理相融合之后，便成了促使行业安全发展模式发生转变的决定性推动力量。从地面施工现场智能监控、井下复杂环境风险预警、地质灾害耦合分析、关键设施预测性运维、事故后应急决策辅助等各方面，人工智能凭借自身强大的感知、分析、决策能力，正在创建起一个包含全过程、全流程的智能化安全防护体系。不仅可以提高风险识别的准确性、预警的及时性，还可以把安全管理由被动应对变为主动预防、源头规避的新高度，为煤层气开发过程中的安全可靠运行提供强有力的科技支撑。

参考文献

[1] 靳亮亮, 魏迎春, 王安民, 曹代勇, 陈志坤, 吕惠敏, 段昭阳. 深部煤层气含气量特征及计算方法探讨[J]. 煤炭工程, 2025, 57 (06): 164-171.

[2] 夏阳, 朱敏, 刘玉石, 孙威, 仝世伟, 张文华. 基于人工智能的煤层气排采制度优化方法[J]. 中国煤层气, 2025, 22 (03): 37-39.

[3] 刘永成, 张磊, 潘建钟, 罗亮, 刘鑫元, 田悦辰. 我国煤层气智能化开发研究现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2025, 53 (S1): 223-232.