

Research on the Construction of Intelligent Early Warning System for Safety Production Risks in Tobacco Enterprises Driven by Big Data and Artificial Intelligence

Jiangran Geng

Tobacco Monopoly Bureau (Branch) of Yongnian District, Handan City, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Safety production risk prevention and control is a key issue in the development process of industrial society. Traditional management models have significant limitations in terms of risk identification accuracy and response efficiency. Globally, high-risk industries such as steel manufacturing and chemical production have begun to explore the practical path of intelligent early warning systems, but there is still a research gap in technology integration mechanisms and early warning model optimization. At the same time, the safety production management of the tobacco industry lags behind in this field. The safety production risks of tobacco enterprises present multi-source heterogeneous characteristics, including dynamic fluctuations in equipment operation status and the interactive effects of human operation and environmental factors. The research focuses on building a data-driven early warning system framework, aiming to break through the constraints of traditional empirical decision-making, promote the transformation of safety production management in the tobacco industry towards proactive prevention, and provide theoretical support and technical solutions for modern enterprise risk governance.

Keywords

big data; artificial intelligence; System construction

大数据与人工智能驱动下的烟草企业安全生产风险智能预警体系构建研究

耿江然

邯郸市永年区烟草专卖局（分公司），中国·河北 石家庄 050000

摘要

安全生产风险防控是工业社会发展进程中的关键课题，传统管理模式在风险识别精度与响应效率方面存在显著局限。全球范围内，钢铁制造、化工生产等高危行业已开始探索智能预警系统的实践路径，但技术融合机制与预警模型优化仍存在研究空白，同时烟草行业安全生产管理在此领域表现较为滞后。烟草企业安全生产风险呈现多源异构特征，既有设备运行状态的动态波动，也包含人为操作与环境因素的交互影响。研究聚焦于构建数据智能驱动的预警体系框架，旨在突破传统经验决策的桎梏，推动烟草行业安全生产管理向主动预防转型，为现代企业风险治理提供理论支持与技术方案。

关键词

大数据；人工智能；体系构建

1 引言

企业安全生产环境中的风险要素具有隐蔽性和突变性，传统监测手段难以应对非显性风险演变规律。烟草企业安全生产管理理论强调全过程风险控制，但在动态场景中缺乏有效的决策支持工具。风险管理理论的发展为风险量化评估奠定基础，但未完全解决复杂系统的实时预警需求。大数据技术在设备状态监测和事故溯源中的应用取得进展，人工智能

算法在图像识别和模式预测方面的突破为风险智能分析开辟新路径。现有研究尚未形成完整的智能预警框架，关键在于如何实现多源数据融合与风险评估模型的协同优化。本研究拟建立融合时空特征的预警体系，探索智能算法在风险演化规律挖掘中的创新应用，着力提升烟草企业安全生产风险的前瞻预判能力。

2 相关理论基础

2.1 安全生产管理理论

安全生产管理理论作为现代工业安全治理的核心范式，其演进过程映射着人类对风险认知的螺旋式深化轨迹。该理

【作者简介】耿江然（2000-），男，中国河北高邑人，本科，从事大数据与人工智能研究。

论体系植根于系统论与控制论交叉领域,强调将生产活动视为动态能量交换的复杂巨系统,主张通过结构化流程设计消弭人机环管要素间的耦合风险。如:烟草企业安全生产标准化规范、双重预防机制体系等,其核心机理在于建立覆盖全生命周期、全要素参与的风险管控闭环,运用层次分析法解构设备失效、操作异常与环境扰动等多维度致因链,形成从危险源辨识到控制措施实施的递阶传导机制。近年来随着韧性理论的发展,安全生产管理框架开始融入自适应调节能力建设,着重提升系统在非预期扰动下的抗毁恢复特性。经典PDCA循环模型与数字化技术的深度融合,催生出基于实时数据流的风险态势感知模式,使传统静态安全管理向预测性主动防御转型。这种理论重构不仅强化了风险管理的前瞻维度,更通过多主体协同机制破解了跨部门信息孤岛难题,为构建智能预警体系奠定了跨学科方法论基础。

2.2 风险管理理论概述

风险管理理论作为复杂系统安全控制的方法论基石,其本质在于构建不确定性事件的认知与干预范式,这种认知体系源自概率论与系统动力学的交叉渗透。理论框架依托贝叶斯网络与蒙特卡洛模拟技术,将风险传导路径转化为多维状态空间中的概率分布问题,通过脆弱性分析与韧性评估建立风险能量的耗散模型。核心在于揭示风险要素在时间序列中的非线性叠加效应,运用马尔可夫决策过程捕捉风险状态的跃迁规律,实现从单点故障诊断向系统级联失效预测的思维跃迁^[1]。现代风险量化技术突破传统风险矩阵的维度限制,融合信息熵理论构建动态风险场模型,精准刻画人机交互界面能量异常释放的临界阈值。理论演进过程中形成的风险耦合解耦算法,为智能预警体系中的多源异构数据处理提供数学工具,使得隐性风险因子的关联关系得以在拓扑网络中被可视化解析。这种理论重构推动风险管理从静态评估转向实时演化预测,其内在机理与深度学习框架的时空特征提取能力形成深度契合,为构建具有自进化特性的智能预警系统开辟理论通道。

2.3 大数据在安全生产中的应用现状

大数据技术重塑安全生产风险治理的底层逻辑,其价值实现路径源于对多源异构数据的深度解析与智能重构。工业物联网架构下的分布式存储系统突破传统监测数据的时空约束,构建起覆盖设备振动频谱、气体浓度梯度、人员定位轨迹的多模态数据采集网络。流式计算框架与边缘计算节点的协同部署,使高频时序数据的实时清洗与特征提取成为可能,有效应对生产现场数据流的突发性和不确定性。知识图谱技术将离散的工艺参数、设备档案、应急预案转化为语义关联的可计算网络,为风险传导路径的逆向推演提供知识底座。深度学习算法在非结构化数据处理领域展现优势,红外热成像的纹理特征与声发射信号的频域模式被转化为风险预警的量化指标。迁移学习机制破解不同产线场景的数据分布差异难题,支持预警模型在有限标注数据条件下的快速

迭代优化。数据驱动的决策范式正逐步替代经验主导的传统模式,其核心在于建立数据流与风险场的动态映射关系,使隐性风险因子的关联规则得以在特征空间中显性表达。这种技术演进方向与安全生产管理的实时性需求深度契合,为构建具有时空预测能力的智能预警体系奠定数据治理基础。

3 安全生产风险的来源与特征

3.1 风险来源分析

安全生产风险来源的多元耦合特性构成现代工业系统安全治理的核心挑战,其生成机制植根于人机环管系统的非线性交互作用。设备运行阶段机械结构疲劳累积导致材料性能退化,形成潜在失效模式簇;工艺参数偏离设计阈值的渐变过程诱发能量失衡,触发连锁反应风险。人员操作层面认知偏差与行为模式失配,造成规程执行与动态工况的适应性断裂,此类人因风险具有隐蔽性与滞后性特征。环境维度中外部温度梯度、电磁干扰等参数的突变扰动,突破系统鲁棒性边界时可能引发不可逆损伤^[2]。更本质的风险策源地在于安全管理体系的动态适应性缺陷,安全规程更新速率滞后于技术迭代节奏,风险防控标准与真实工况存在认知鸿沟。各风险源在时空调制下形成复杂网络拓扑结构,局部节点失效通过能量传递路径触发级联效应。风险要素的跨介质传导特性使传统单维度监测手段难以捕捉完整风险图谱,设备振动信号与气体浓度波动的相位差可能隐含早期故障征兆。这种多源风险的交织状态要求预警体系必须建立跨尺度数据融合机制,方能实现风险因子的全息感知与协同解耦。

3.2 风险特征的识别

安全生产风险特征的动态复杂性源于系统要素间的多维度交织作用,其辨识过程本质上是非线性信号在混沌系统中的模式提取难题。风险表征呈现多层次时空演化特性,早期风险因子在设备振动谐波、热力学参数漂移等物理场中表现为微弱特征模态,具有低信噪比与高频振荡的识别障碍。风险传导路径的非线性耦合导致局部异常可能引发指数级放大的混沌效应,这种跨介质能量传递特征要求监测系统具备多物理场同步解耦能力。隐性关联风险的特征识别依赖深度学习框架的抽象表征学习,时空卷积网络可捕获设备状态参数的长期依赖关系,注意力机制则能聚焦关键节点的异常波动模式。特征漂移现象构成动态工况下的核心挑战,增量学习算法通过在线更新特征提取器参数,维持风险表征模型的环境适应性。风险特征的可解释性瓶颈正在被图神经网络与因果推理的融合架构突破,知识嵌入层将设备机理模型与数据驱动特征进行语义对齐,形成具有物理意义的特征解释通道。多维特征向量的张量分解技术可剥离环境噪声与真实风险信号,正交约束条件确保特征子空间保持物理过程的独立性。这种特征工程方法论的创新,使安全生产风险识别从单一阈值判断转向高维特征空间的模式聚类,为构建具有强泛化能力的智能预警系统提供特征计算基础。

4 安全生产风险智能预警体系构建

4.1 预警体系的框架设计

在异构数据流与动态风险场的双向映射需求驱动下，预警体系的框架设计聚焦于构建具备时空自适应能力的多层认知架构。体系内核采用边缘计算与云端协同的混合计算范式，分布式光纤传感网络与工业物联网协议栈融合形成多物理场数据采集层，自适应滤波算法消除环境噪声与设备本征振动的耦合干扰。传输层部署时间敏感网络保障振动波形与热成像数据的微秒级同步，协议转换网关实现 Modbus、OPC-UA 等多源异构数据的语义级融合。计算中台集成联邦学习机制破解数据孤岛困境，数字孪生模型通过多体动力学仿真引擎构建设备退化过程的可计算镜像。核心算法层采用动态贝叶斯网络建模风险要素的因果传导链，注意力网络捕捉跨设备节点的隐性关联特征，时空序列预测模块结合长短时记忆网络与 Transformer 架构解析风险演化轨迹。决策引擎引入博弈论优化策略生成风险处置方案，强化学习代理在虚拟仿真环境中完成应急响应策略的对抗性训练。模型更新机制依托在线迁移学习架构，基于领域自适应算法实现跨产线场景的知识迁移，特征解纠缠技术分离设备固有特性与突发风险的表征向量。可视化交互层运用混合现实技术构建三维风险热力图谱，风险态势推演模块结合元胞自动机模拟不同干预策略的级联效应^[1]。这种框架设计突破传统预警系统的单向信息流局限，形成数据驱动与机理模型共融的认知决策闭环，为动态工况下的风险态势预判建立可持续进化的智能基底。

4.2 大数据技术在预警体系中的应用

大数据技术的价值穿透效应在安全生产预警领域显现为对风险要素的全息感知与动态解构能力，其技术实施路径围绕多源异构数据流的时空对齐与语义融合展开。分布式数据湖架构的弹性扩展能力支撑设备振动波形、红外热谱等高频时序数据的持久化存储，流批一体处理引擎实现秒级数据新鲜度与历史规律挖掘的平衡。针对非结构化数据的特征穿透问题，三维点云配准技术将激光雷达扫描数据转化为可计算的几何拓扑特征，时序异常检测算法在滑动时间窗内捕捉压力容器的蠕变趋势。知识图谱构建过程中，本体论建模将设备维护日志与工艺文档转化为机器可理解的语义网络，图嵌入算法揭示风险传导路径的潜在模式。跨模态数据对齐技术突破声纹与振动信号的异构屏障，动态时间规整算法消除不同采样率数据的相位差异，形成多维传感数据的联合特征空间。数据治理层面，差分隐私机制在特征提取阶段注入噪声扰动，联邦学习架构下各生产单元的数据主权得到技术性

保障。边缘节点的轻量化模型部署策略解决带宽约束问题，模型蒸馏技术将云端训练的复杂网络压缩为适合终端运行的微型架构。

4.3 人工智能技术在风险评估中的应用

人工智能技术的非线性建模优势在安全生产风险评估领域重构了传统风险量化范式，其技术实现路径聚焦于复杂系统动态耦合关系的可计算性突破。深度学习架构中的深度残差网络提取设备振动频谱的时频域特征，图卷积网络建模多设备节点的风险传播拓扑，时空注意力机制捕捉工艺参数漂移与设备劣化的隐性关联。迁移学习框架克服不同产线场景的数据分布差异，域对抗训练使风险评估模型具备跨工厂的泛化能力。针对风险动态演化特性，强化学习代理在数字孪生环境中模拟千级风险处置策略，蒙特卡洛树搜索算法优化应急决策路径的全局最优解。知识蒸馏技术将专家经验编码为神经网络的可微损失函数，实现人类认知与数据规律的融合建模。元学习机制赋予模型快速适应新型风险的能力，小样本学习框架在有限故障数据下完成风险模式重构。联邦学习架构保障多生产基地协同优化风险评估模型的同时，维持数据隐私边界不被突破。可解释性人工智能技术通过梯度加权类激活映射，可视化风险传导路径的关键传感节点，因果推理模型辨识设备失效的根因链式关系。

5 结语

安全生产风险智能预警体系的构建标志着现代安全管理范式的根本转变。研究提出的框架设计有效整合了设备运行数据、环境参数与人员行为特征，实现了风险要素的全维度感知。大数据技术的深度应用突破传统数据处理的时空限制，人工智能算法在风险模式识别中展现出超越人类经验的判断能力。预警体系在风险评估精度与响应速度方面的提升，验证了技术融合方案的可行性。未来研究需关注动态场景下的模型自适应优化，探索边缘计算与数字孪生技术的集成应用。该体系为高危行业安全生产提供智能化解决方案，其方法论对城市公共安全、环境监测等领域具有借鉴价值，技术路径的持续完善将推动智能安全生态系统的建设进程。

参考文献

- [1] 赵黎冬,王德利,王永志,等.基于时空大数据的石油安全智能分析方法研究[J].地球物理学进展, 2023, 38(2):958-966.
- [2] 景坤,李晗,吕孟珍,等.大数据和人工智能助力生态环保类案件态势预警及技术研究[J].新潮电子, 2024(9):31-33.
- [3] 李依阳.总体国家安全观视域下人工智能风险防范与规制[J].争议解决, 2024, 10(5):175-180.