

基于人工智能的油脂加工企业安全风险智能识别与预警研究

周伟 冯延杰

中储粮油脂工业盘锦有限公司, 辽宁 盘锦 124000

[摘要]油脂加工作业环节涉及高温高压、火灾爆炸等复杂危险因素,传统安全管理手段在风险识别的及时性与准确性方面存在明显不足。文章旨在构建面向油脂加工行业的安全风险智能识别与预警管理体系,系统梳理行业主要风险隐患及传统管理方法的局限性,深入分析机器学习、深度学习等人工智能算法的理论基础及其在工业安全领域的应用现状,设计多源信息融合的智能感知系统架构,涵盖在线监测、预警推送等功能模块。通过构建层次化融合识别模型并进行系统性能验证,证明该方法能够有效实现风险早期特征实时捕捉与预警级别智能判定,显著提升安全生产预防性管控水平。研究成果可为油脂加工业企业安全管理智能化转型提供重要参考与指导依据。

[关键词]油脂加工; 安全生产; 风险识别; 人工智能; 智能预警

DOI: 10.33142/nsr.v3i1.19393

中图分类号: F27

文献标识码: A

Research on Intelligent Identification and Early Warning of Safety Risks in Oil Processing Enterprises Based on Artificial Intelligence

ZHOU Wei, FENG Yanjie

SINOGRAIN Oil Industry Panjin Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124000, China

Abstract: The oil processing operation involves complex hazardous factors such as high temperature and high pressure, fire and explosion. Traditional safety management methods have obvious shortcomings in the timeliness and accuracy of risk identification. The article aims to build an intelligent identification and warning management system for safety risks in the oil processing industry, systematically review the main risks and hazards in the industry and the limitations of traditional management methods, deeply analyze the theoretical basis of artificial intelligence algorithms such as machine learning and deep learning, and their application status in the field of industrial safety. It designs an intelligent perception system architecture that integrates multiple sources of information, covering functional modules such as online monitoring and warning push. By constructing a hierarchical fusion recognition model and conducting system performance verification, it has been proven that this method can effectively achieve real-time capture of early risk characteristics and intelligent judgment of warning levels, significantly improving the level of preventive control in safety production. The research results can provide important reference and guidance for the intelligent transformation of safety management in the oil processing industry enterprises.

Keywords: oil and fat processing; safety production; risk identification; artificial intelligence; smart early warning

引言

随着我国油脂加工业规模持续扩大与工艺复杂度不断提升,生产过程中潜在的安全隐患日益凸显。油脂加工涵盖预处理、压榨或浸出、精炼、氢化等核心工序,普遍涉及高温、高压工况及易燃易爆溶剂使用,火灾爆炸、有毒有害气体泄漏等重大风险贯穿生产全过程。传统安全管理模式主要依托规章制度与管理人员经验开展风险评估,风险辨识以定期检查与事后分析为主,面对海量动态生产数据时表现出显著的滞后性与主观性缺陷。推动安全管理从被动

防御向主动预判转型,已成为行业亟待解决的关键课题。

人工智能技术的快速发展,特别是在预测分析领域的突破性进展,为工业安全风险智能感知提供了全新思路。研究表明,人工智能能够从历史数据与实时信息流中挖掘人脑难以察觉的潜在规律与关联模式。本文致力于将人工智能技术全面融入油脂加工安全风险场景,构建集智能识别、实时预警于一体的风险感知技术体系,在理论层面拓展安全科学与工程学科的交叉研究,在实践层面为企业安全生产管理提供可落地的人工智能解决方案,切

实保障从业人员生命财产安全，促进产业高质量发展。

1 油脂加工企业安全风险概述

1.1 油脂加工工艺与主要风险点

油脂加工是包含物理分离与化学转化的连续性生产过程，主要包括预处理、压榨或浸出、精炼、深加工等工艺环节。预处理工段中，原料清理、破碎、软化等工序产生大量可燃性粉尘，在特定浓度条件下遇点火源极易引发猛烈爆炸。浸出工段危险等级最高，普遍采用正己烷等低闪点、高挥发性易燃溶剂，设备密封失效或人为操作失误导致溶剂泄漏后，形成的爆炸性混合气体遇明火或高温表面即发生严重燃爆事故。精炼工段中，脱臭、脱色等工序操作温度常超过 200°C，热载体系统存在超温、超压及泄漏风险，高温油脂本身亦具可燃性。氢化等深加工工序需使用氢气等危险化学品并维持高压环境，对安全管控提出严苛要求。此外，整条生产线配套使用的锅炉、压力容器、压力管道等特种设备，运行故障亦构成重大危险源。上述相互关联的风险节点交织形成复杂的安全风险网络，系统性管控难度极大。

1.2 传统安全风险识别方法的局限性

传统安全风险辨识以法规标准与人员经验为核心，主要表现为定期检查、设备点检、事后统计分析等形式。该模式虽在历史上发挥重要作用，但面对现代复杂生产系统已显露多重局限：

一是主观性强，标准化程度低。风险判定效果高度依赖检查人员的专业素养与责任心，缺乏统一量化标准，不同人员判定结果差异显著，难以实现标准化、规范化管理。

二是时效性差，存在监测盲区。检查多为周期性开展，无法实时捕捉生产过程中的瞬态异常变化，形成时间空白区与信息滞后，错失风险干预最佳窗口期。

三是数据利用率低，信息挖掘不足。面对现场持续生成的多源异构数据，人工方式难以实现有效整合与深度解析，大量蕴含风险征兆的信息被闲置浪费。

四是系统性分析能力弱。侧重显性隐患排查，缺乏分析工具研究风险因子间复杂耦合关系，难以预判多因素联动引发的系统性风险。

传统模式的固有缺陷使其在复杂生产环境中捉襟见肘，亟需引入智能化手段提升风险辨识的客观性、实时性与系统性。

2 人工智能技术在安全风险识别中的理论基础

2.1 相关人工智能技术概述

人工智能多项子技术为安全风险智能辨识提供技术

支撑。机器学习使系统能够从数据中进行自我优化：有监督学习算法（如支持向量机）可利用历史事故数据训练分类器，对新风险状态进行判别；无监督学习（如聚类算法）擅于在未标注数据中发现内在规律，识别设备运行的异常模式。深度学习通过构建深层神经网络挖掘数据中的复杂抽象特征：卷积神经网络在图像视频分析中表现卓越，可自动识别监控画面中的火灾烟气与人员违规操作；循环神经网络及其变体（如 LSTM）适用于时序数据分析，能够捕捉工艺参数随时间演变的规律并检测离群点。自然语言处理技术可解析设备维修日志、巡检记录等文本资料，提取关键风险要素。上述技术构成由浅入深、多维互补的人工智能工具体系。

2.2 智能识别与预警的基本框架

人工智能安全风险智能感知与预警一般遵循“数据层-算法层-应用层”的体系化架构。数据层负责大规模采集生产设备传感器参数、视频监控图像、安全巡查记录、维护档案等多源异构数据。算法层对原始数据执行清洗、对齐、融合等预处理操作，基于目标风险类型选取特征工程方法与人工智能模型，输出风险概率等识别结果。应用层依据预设规则将识别结果转化为低危、中危、高危等分级预警提示，通过可视化界面、短信、语音等多种渠道向相关人员推送预警信息，形成“检测-计算-反馈”的闭环管理流程。

2.3 人工智能在工业安全领域的应用现状

人工智能在工业安全领域已取得阶段性进展。设备健康管理方面，机器学习算法被用于大型旋转机械状态监测数据分析，实现故障早期预警与预测性维护，减少次生事故发生。流程工业安全方面，深度学习算法应用于化工过程异常工况识别，通过数据驱动方法捕捉工艺参数变化趋势并追溯根因^[1]。现场作业监管方面，基于计算机视觉的技术能够自动识别未佩戴安全帽、违规闯入危险区域等行为，弥补人工监管的视野盲区。多源信息融合方面，学者们综合运用文本、传感器、图像等多模态数据开展风险评估，提升复杂环境下的判断准确性。上述实践为人工智能在油脂加工业的落地应用提供了技术参照，但如何结合行业特殊性与具体风险场景开展定制化开发，仍是亟待探索的课题。

3 油脂加工企业安全风险智能识别模型构建

3.1 风险数据采集与预处理

构建高质量数据集是模型开发的首要环节。模型所需数据主要包括三类：一是工艺装置实时运行时序数据，如

温度、压力、流量、液位等关键工艺参数；二是环境与状态监测数据，如可燃气体浓度、视频监控流、设备振动频率、红外热成像等；三是管理与文档文本数据，如巡检记录、维护工单、事故报告、操作规程等。鉴于多源数据在格式、标准、时序上差异显著，需进行统一预处理：异常值剔除、缺失值填补、时间戳同步、非结构化文本结构化转换、量纲标准化等。数据质量直接决定模型性能，必须建立严格的数据质量管理体系。

3.2 风险特征提取与选择

在预处理基础上需提取表征风险状态的有效特征。时序数据可从时域（均值、方差、斜率、峰值）与频域（频率分布、能量谱）维度提取统计特征，反映设备运行稳定性；图像数据借助卷积神经网络进行深度特征提取，获取泄漏蒸汽形态、火焰纹理、人员姿态等高层语义信息；文本数据通过词嵌入技术转换为低维稠密向量，捕捉语义关联。初步提取的特征往往维度高且存在冗余，需进一步开展特征选择：采用基于特征重要性的排序筛选或主成分分析降维，保留与风险标签关联最紧密、区分度最高的特征子集，在降低维度的同时提升模型效率与可解释性。

3.3 智能识别模型设计

为满足多模态风险识别需求，本文提出层次化融合智能识别模型框架，整体架构如图 1 所示。

底层为并行独立子模型层，针对不同数据类型设计专用处理单元：采用“一维卷积+LSTM”混合模型学习工艺参数时序异常特征；基于 YOLO 等目标检测算法构建视觉识别模型定位危险目标（如火焰、烟雾、泄漏点）；基于 BERT 等预训练语言模型构建文本理解模型解析工单描述中的风险语义。各子模型独立输出初步风险概率或特征表示。

中层为自适应融合层，引入注意力机制模块动态评估各子模型输出结果的可信度，赋予差异化权重，实现信息源的择优整合。

顶层为决策输出层，通过全连接网络对加权融合后的高层次特征进行综合研判，输出从“正常”到“高风险”的总体风险等级判定。

该架构既保留了对单一信号源的精细化分析能力，又实现了多源信息的整体性融合判断，兼顾识别精度与系统鲁棒性。

3.4 模型训练与优化方法

模型训练依赖高质量标注数据集构建，需组织领域专家依据事故案例与行业规范对样本进行风险等级人工标注。针对工业场景中高风险事件样本稀缺的类别不平衡问题，可采用 SMOTE 过采样或生成对抗网络（GAN）合成虚拟样本等方式实现数据均衡。训练过程选用交叉熵损失函数与 Adam 优化器进行参数寻优，引入 Dropout、L2 正则化等技术抑制过拟合，基于验证集性能监控实施早停策略。对于学习率、网络层数、隐藏单元数等超参数，采用网格搜索或贝叶斯优化确定最优配置。经系统训练优化后，即可获得稳健可靠的风险智能识别模型。

4 安全风险智能预警系统设计及实现

4.1 预警系统总体架构

基于识别模型进行工程化部署，构建稳定运行的安全风险智能预警系统。系统采用分层松耦合架构设计，如图 2 所示，包含四个核心层次：

边缘感知层：由现场传感器、工业摄像头、智能仪表等物联网设备构成，负责原始数据采集与边缘预处理。

数据汇聚处理层：基于 Kafka 消息队列与 Flink 流处理平台构建，实现多源数据接入、实时清洗、格式转换、持久化存储，并对外提供统一数据服务接口。

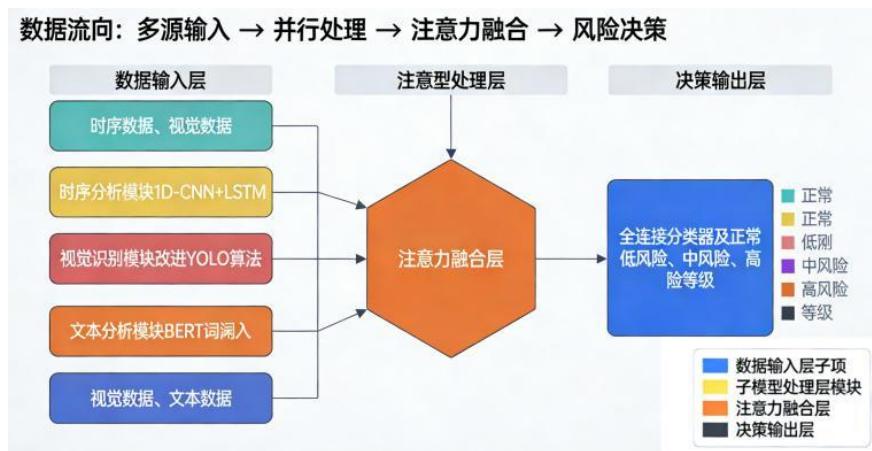


图 1 分层融合智能识别模型架构图

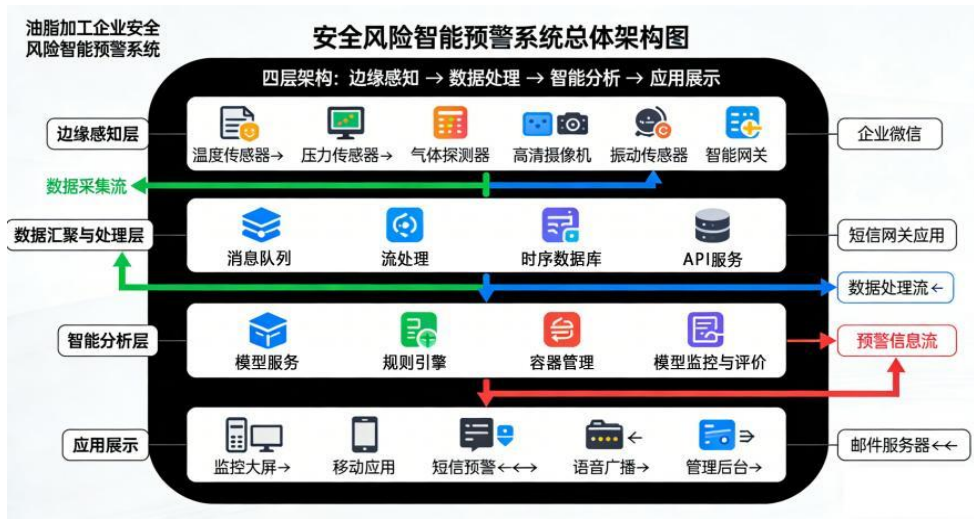


图 2 安全风险智能预警系统总体架构图

智能分析层：将训练完成的风险识别模型封装为微服务，以 RESTful API 或 gRPC 方式对外提供实时推理计算能力，支持弹性扩展与版本管理^[2]。

应用呈现层：面向安全管理人员提供可视化监控大屏、实时预警列表、统计分析报表、历史追溯查询等功能模块，并通过标准接口对接企业短信平台、声光报警器、应急广播等外部系统，实现多渠道预警推送。

各层之间通过标准化协议（MQTT、HTTP/HTTPS）互联，确保系统具备良好的可扩展性与可维护性。

4.2 实时风险分析模块

实时风险分析模块需满足高并发、低延迟的处理要求，采用 Apache Flink 等流计算框架对连续数据流进行实时处理与建模分析。模块内部维护多模型实例池，支持多条生产线的并行分析请求。针对时序数据流维护滚动时间窗口，将窗口内时序特征输入时序模型计算动态风险分值；针对视频流按固定频率抽帧送入图像识别模型进行推理。模块内置规则引擎，基于行业知识库制定逻辑规则（如“可燃气体浓度超限时直接触发高危预警”），对模型输出结果进行辅助校验与修正。最终综合模型预测结果与规则引擎输出，生成结构化风险事件记录并推送至预警生成模块。

4.3 预警信息生成与发布机制

预警信息生成模块负责将风险事件转换为标准化预警信息。系统实施四级预警分级机制：提醒（蓝色）、警示（黄色）、告警（橙色）、危急（红色），对应差异化的推送策略与响应流程。模块内置可配置信息模板库，依据事件特征自动填充生成包含风险位置、类型、等级、建议措施等要素的完整预警内容。发布机制采用发布-订阅

（Pub/Sub）模式，预警信息推送至中心消息主题，短信网关、移动 APP、Web 界面、声光设备等订阅端异步接收消息。全量预警信息及后续处置记录完整存档，形成闭环管理，支持事后审计与模型迭代优化。

4.4 系统测试与性能评估

系统投用前需经过严格测试验证，包括功能测试、性能测试与现场试点测试。功能测试验证数据采集、模型推理、预警推送等全流程功能正确性；性能测试评估高负载场景下的响应延迟、吞吐能力与系统稳定性；现场试点测试选择非核心生产线开展实体验证，对比系统报警与人工发现、模拟测试的响应情况，综合评价系统实效。核心评估指标包括：预警准确率、虚警率、漏检率、平均预警延迟时间等。测试通过后方可正式部署应用^[3]。

5 结论与展望

本文立足油脂加工行业安全生产实际需求，系统研究了人工智能技术在安全风险智能识别与预警中的应用。通过分析行业风险特征与传统管理方法的局限性，构建了层次化融合智能识别模型与配套系统架构。研究表明，基于多源信息融合的人工智能方法能够有效提升风险识别敏感度，实现从“事后分析”向“事前预防”的管理模式转型。

然而，框架的全面落地仍面临高质量数据获取困难、模型可解释性不足、人机协同机制不完善等挑战。未来研究可从以下方向深化：一是探索小样本学习与迁移学习技术，降低对大规模标注数据的依赖；二是引入可解释人工智能（XAI）方法，提升模型决策透明度与可信度；三是深化预警信息与应急响应预案的智能联动，构建“识别-

预警-处置”一体化闭环。人工智能与安全生产的深度融合是一项长期迭代、持续优化的系统工程，需要产学研用各方协同推进，为油脂加工乃至流程工业的本质安全水平提升贡献智能化力量。

[参考文献]

- [1]梁强,李鸿运.基于大数据和人工智能的危化企业安全风险预警与控制技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(13):72-74.
- [2]哈承春.化工企业中的风险监控与安全管理预警技术[J].化工管理,2021(26):92-93.
- [3]魏家勇,余阳荣,方建伟.人工智能驱动下轮胎制造企业安全风险智能预测技术研究[J].中国轮胎资源综合利用,2025(7):97-99.

作者简介：周伟（1986.8—），男，单位名称：中储粮油脂工业盘锦有限公司，毕业学校和专业：沈阳化工，安全工程专业；冯延杰（1982.7—），男，中级安全工程师，单位名称：中储粮油脂工业盘锦有限公司，毕业学校和专业：沈阳工业大学，热能与动力工程专业。