

AI赋能的MoE油库高效并行风险预测系统设计与实现

张韶田¹ 何俊霖¹ 王一婷¹ 黄李元钧² 李满弈¹

1. 重庆科技大学石油与天然气工程学院, 重庆;
2. 重庆科技大学电子智能材料与器件研究中心, 重庆

摘要 | 随着人工智能技术的飞速发展, 其在工业领域的应用日益广泛。油库作为能源储存和转运的重要设施, 其安全管理直接关系到国家能源安全和环境保护。本文旨在探讨如何利用混合专家模型 (MoE) 与人工智能技术, 设计并实现一个高效并行的风险预测系统, 以提升油库的安全管理水平。该系统通过实时数据采集、智能分析与预测, 能够提前识别并预警潜在风险, 为油库的应急响应和安全管理提供有力支持。

关键词 | 人工智能; 混合专家模型 (MoE); 油库安全管理; 风险预测

Copyright © 2024 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

能源安全是国家安全的重要组成部分, 对国家繁荣发展、人民生活改善、社会长治久安至关重要^[1], 为实现国家能源安全战略部署, 油库安全管理一直都是国家能源安全战略的重中之重, 油库是协调原油生产、原油加工、成品

通讯作者: 何俊霖, 重庆科技大学本科生, 研究方向: 石油工程。

文章引用: 张韶田, 何俊霖, 王一婷, 等. AI赋能的MoE油库高效并行风险预测系统设计与实现 [J]. 环境与资源, 2024, 6 (4): 121-128.

<https://doi.org/10.35534/er.0604011>

油供应及运输的纽带，是国家石油储备和供应的基地，它对于保障国防和促进国民经济高速发展具有相当重要的意义。尽管传统的油库安全管理模式已具备一定基础，但其固有的局限性逐渐显现，诸如过度依赖人工巡检导致效率低下、风险预警机制缺失使得隐患识别不够及时以及应急响应机制滞后等问题日益突出。伴随信息技术尤其是人工智能领域的迅猛发展，一系列前沿技术为传统行业的转型升级提供了强有力支撑。本研究拟开发的人工智能赋能的多专家（MoE）油库高效并行风险预测系统，正是在此背景下应运而生，旨在通过技术创新解决现有管理体系中的不足，提升整体安全管理水平。

近年来，国内外学术界针对油库安全管理、人工智能（AI）技术深度应用及风险预测精度提升等领域，展开了广泛且深入的科研探索。传统油库安全管理高度依赖人工巡检与经验决策，导致管理效能低下、安全风险凸显及人力资源成本攀升。随着信息技术的飞跃发展，油库安全管理正经历从传统范式向数字化、智能化转型的深刻变革。特别是，机器学习与深度学习等人机智能融合技术的创新应用，为油库风险预测领域带来了理论与实践的双重突破。其中，混合专家模型（mixture of experts, MoE）^[2]作为集成学习领域的关键方法，通过整合多个子模型的预测优势，显著增强了预测的精确性与模型的泛化能力，为油库风险预测提供了强有力的技术支持，展现出巨大的科研价值与实际应用潜力。

2 技术需求分析与模型构建

在构建AI赋能的混合专家模型（MoE）油库高效并行风险预测系统前，提出了一个基于大数据分析的油库泄漏事故应急处置系统设计，定义了油库泄漏事故的概念并讨论了其特点，包括泄漏事故的潜在危害和处理难度。探讨了大数据技术在应急处置中的角色，包括实时监测与预警、智能决策支持、资源优化与响应效率提升^[3]。必须先行展开系统需求分析。该分析涵盖四大核心方面：实时数据获取、智能风险评估与预测、高效并行计算架构、预警机制与应急策略制定，以及交互式可视化呈现^[4]。具体而言，实时数据获取要求系统具备连续监控油库环境指标（例如温度、压力、液位高度、空气中有害气体浓度

等), 设备工作状况, 以及人员活动日志的能力。智能风险评估与预测则依赖先进的人工智能技术来实现对收集数据的智能解析, 识别出可能导致事故的风险点, 并估算其发生概率及其潜在影响。高效并行计算架构旨在应对海量数据流, 通过分布式处理确保系统响应速度和计算准确性。预警机制与应急策略制定功能确保系统能够及时检测到潜在威胁, 并提出有效的应急措施来最小化危害后果。交互式可视化呈现则要求开发出一个用户友好型平台, 使得最终用户可以轻松访问风险预测结果及相关应急建议。

基于上述需求分析, 本文设计的AI赋能的MoE油库高效并行风险预测系统涵盖数据采集层、数据处理层、智能分析层^[5]、预警与应急响应层以及可视化展示层等核心组成部分, 共同构建了一个从数据获取到风险评估及管理的闭环体系。

数据采集层利用传感器网络融合了大数据技术、物联网技术等先进技术, 构建智能决策系统及信息系统架构, 以帮助油田建设企业减少运行成本, 保证智慧油田平台内数据传输的安全性, 达到提高企业油气总产量的目的^[6]。实时捕获油库内环境参数、设备状态监控及人员操作日志等多元化数据, 实现全面而精确的数据采集。随后, 数据处理层通过数据去噪、归一化及缺失值补全等预处理手段, 提升数据质量, 并将清洗后的数据存储于数据库中, 为后续分析奠定坚实基础。智能分析层作为核心, 运用人工智能技术, 特别是特征提取与选择技术, 从数据中提炼关键风险特征, 进而采用混合专家模型(MoE)进行建模预测, 融合多模型优势, 提升预测精度与泛化能力, 并借助并行计算加速预测过程。预警与应急响应层则基于分析结果, 实施潜在风险的早期预警, 并生成应急响应策略, 通过多渠道通知机制确保信息即时传达, 同时制定应急预案与演练规划, 增强应急响应的效能与精准度。最终, 可视化展示层以图表、地图等科研级可视化手段, 直观展现风险预测、应急措施等信息, 为用户提供便捷高效的决策支持平台。

(1) 数据预处理

在构建混合专家模型(MoE)以进行油库多维风险预测之前, 首要任务是实时且全面地采集油库内部环境参数^[7](涵盖温度、压力、液位、气体浓度

等)、设备运行状态监控及人员操作日志等多样化数据,这些数据构成了模型训练与预测不可或缺的基石。鉴于原始数据中常伴随的噪声污染与缺失值问题,数据预处理环节显得尤为关键,该过程融合了数据清洗、去噪技术、缺失值插补策略及归一化处理等高级手段,旨在提升数据集的纯净度与一致性,为后续特征提取与模型训练奠定坚实的基础。在特征提取这一核心步骤中,鉴于油库数据固有的多维度与高复杂性特性,需灵活运用统计方法、先进机器学习算法及深度学习技术,精准提炼出与风险预测紧密相关的关键特征集。进一步地,通过实施特征选择策略,从庞大的特征池中筛选出最具辨识度的特征子集,以期增强模型的预测精度与泛化能力,为构建高效、准确的MoE油库风险预测模型提供有力支持。

(2) 模型构建

混合专家模型(MoE)作为一种先进的集成学习架构,通过巧妙融合多个独立专家网络(Experts),并辅以一个精心设计的门控网络(Gating Network)来实现动态决策^[8]与预测优化。在MoE框架内,每个专家网络专注于解析输入数据的一个特定子集或特征域,而门控网络^[9]则作为智能选择器,依据输入数据的特性动态调整各专家网络的贡献权重。这种机制不仅充分利用了各专家网络的专长,还显著提升了模型的预测精度与泛化能力。MoE的组成结构严谨,包括专家网络层、门控网络层及输出层,其中专家网络层负责特征空间的细分处理,门控网络层则负责智能分配权重,输出层则通过加权聚合生成最终预测。MoE的训练过程复杂且精细,需同步优化专家网络与门控网络的参数,常借助反向传播算法与梯度下降法进行迭代调整。为应对过拟合风险,训练中常引入正则化项与早停策略等高级技术。在油库风险预测领域,MoE模型展现出巨大潜力,可通过定制化设计多个专家模型(如针对火灾风险的专家模型基于温度、烟雾浓度等特征,而针对泄漏风险的专家模型则侧重于压力、液位等特征)进行细分风险预测,随后利用门控网络实现专家预测结果的智能集成,从而提供更为精准、全面的油库风险预测解决方案。

(3) 模型优化

在模型训练与优化阶段,参数调优是至关重要的一环,旨在通过系统搜索

策略如网格搜索、随机搜索及贝叶斯优化等，自动探索并确定最佳的模型参数配置，从而最大化模型的预测性能。此外，特征选择与权重调整作为提升模型效能的关键策略，前者通过应用先进的特征选择算法^[10]，从海量特征中筛选出最具判别力的特征子集；后者则聚焦于优化门控网络的权重分配机制，以精细调控专家模型的参与程度，两者协同作用，显著增强了模型的预测精度与泛化能力。更进一步地，集成学习原理的融入为MoE模型性能的提升开辟了新途径，通过将多个MoE模型视为基础学习器，并采用加权平均、投票集成等策略对它们的预测结果进行智能融合，实现了预测性能的飞跃，为复杂环境下的油库风险预测提供了更为坚实可靠的技术支撑。

(4) 高效处理技术

鉴于油库数据规模的庞杂性，系统构建需着重强化高效并行处理能力。为此，可引入分布式计算框架^[11]（如Hadoop、Spark等）作为核心支撑，实现对海量数据的并行化处理，显著提升处理效率。此外，结合GPU加速技术，可进一步挖掘计算潜能，加速处理流程。具体实施策略涵盖：首先，实施精细的数据分区策略，依据既定规则将采集数据切分为多个子集，为后续并行处理奠定基础；随后，通过智能的任务分配机制，将处理任务均衡地分配给多个计算节点或GPU核心，实现计算资源的最大化利用与并行计算的深入开展；最后，采用高效的结果汇总与整合方法，将各计算节点输出的处理结果进行汇总分析，以得出全面且准确的预测结果，从而确保油库风险预测系统的高效性与精准性。

3 系统测验与应用案例

为科学验证AI驱动MoE油库高效并行风险预测系统的效能与可靠性，我们系统地实施了多维度测试与验证流程。该流程涵盖了功能验证、性能评估及实际应用测试三大核心环节。在功能验证阶段，我们严格检验了系统各功能模块（数据采集模块^[12]、数据处理模块^[13]、智能分析引擎^[14]、预警与应急响应机制^[15]，以及可视化展示平台）的完整性与运行稳定性，确保所有预设功能均能达到设计预期。性能评估阶段则聚焦于系统的处理速度与预测精度的量化分

析, 通过构建大规模数据集并模拟实时预测场景, 我们深入评估了系统在高负载条件下的数据处理效能与预测准确性。最后, 在实际应用测试中, 我们将系统部署至真实油库环境中, 通过与传统安全管理模式进行对比分析, 全面评估了系统在真实场景下的表现, 包括风险识别的敏感度、预警发布的及时性、应急响应的有效性, 以及对于油库整体安全管理水平提升的实际贡献, 从而科学验证了该系统的有效性与可靠性。

4 结论与展望

本研究在大数据技术的驱动下, 创新性地融合了混合专家模型 (MoE) 理论, 提出了油库多维风险预测模型的构建与优化策略。通过构建一套包括实时数据采集、精细化数据预处理、高效特征提取, 以及 MoE 模型构建与迭代优化的综合框架, 我们成功部署了一个具备高预测精度与强大泛化能力的油库风险预测系统。实验验证环节, 该系统展现出相较于其他基准模型的显著优越性, 不仅在预测精度上实现了突破, 还增强了模型的通用性与适应性, 为油库应急响应机制与安全管理体系的强化提供了坚实的决策支持。展望未来, 本团队将致力于深化 MoE 模型的理论研究与实践应用, 探索并集成更多高级优化算法以提升预测性能的上限。同时, 我们将拓宽视野, 关注大数据技术在油库安全管理领域的多元化应用潜力, 如设备健康监测与故障预测、能源效率优化等, 以期推动油库运营向智能化、精细化转型。此外, 鉴于物联网 (IoT) 与云计算等前沿技术的迅猛发展, 我们亦将积极探索这些技术与油库安全管理的深度融合路径, 旨在构建一个更加全面覆盖、智能协同的安全管理体系, 为油库行业的可持续发展注入新的活力。

参考文献

- [1] 马永生. 为维护国家能源安全提供坚强保障、贡献石化力量 [J]. 中国石化, 2024 (7): 4-6.
- [2] 叶进, 李温良, 余天添, 等. 面向混合专家模型的流行专家预取策略 [J/OL]. 小型微型计算机系统, [2024-09-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/>

[detail/21.1106.TP.20240731.1002.004.html](https://doi.org/10.35534/er.0604011).

- [3] 周云峰, 文涛, 郑圣东, 等. 基于大数据分析的油库泄漏事故应急处置系统设计 [J] . 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (16) : 4-6.
- [4] 吕懂憬. 基于海陆一体化平台的海上溢油实时动态可视化研究与设计 [D] . 中国海洋大学, 2012.
- [5] 于国政. 检验分析技术在石油化工检测中的运用探析 [J] . 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43 (11) : 58-60.
- [6] 黄红梅. 大数据及物联网技术在智慧油田建设中的应用 [J] . 网络安全和信息化, 2024 (4) : 73-75.
- [7] 朱其晓. 大型油罐检测机器人数据处理及软件系统的开发 [D] . 兰州理工大学, 2023.
- [8] 任伟建, 计妍, 康朝海. 基于XLBIC的石油开采数据命名实体识别研究 [J] . 计算机仿真, 2024, 41 (6) : 390-395.
- [9] 于光辉. 油水界面检测及控制系统研究与设计 [D] . 太原理工大学, 2018.
- [10] 王昊. 基于机器学习的油库工业控制系统轻量化异常检测方法研究 [D] . 北京石油化工学院, 2023.
- [11] Shi L, Yang H, Ji Z, et al. Field-split preconditioned active-set reduced-space algorithm for complex black oil reservoir simulation at large-scale [J] . *Journal of Computational Physics*, 2024.
- [12] 陈楠, 谭海峰, 向东奎. 智能化在油田发展中的应用 [J] . 中国管理信息化, 2021, 24 (18) : 90-91.
- [13] 赵振学. 面向油库安全运营的工业互联网态势感知系统 [R] . 中国石油天然气股份有限公司西北销售分公司, 2019.
- [14] 罗缙. 久长油库泄漏危害综合分析 [D] . 中国石油大学 (华东) , 2021.
- [15] 伍星光, 侯磊, 吴守志, 等. 基于改进SHIPP模型的大型原油库区事故风险预测 [J] . 油气储运, 2020, 39 (5) : 519-529.

Design and Implementation of an AI-empowered Efficient Parallel Risk Prediction System for MoE Oil Depots

Zhang Shaotian¹ He Junlin¹ Wang Yiting¹

Huang Liyuanjun² Li Manyi¹

- 1. School of Petroleum and Natural Gas Engineering, Chongqing University of Science and Technology Chongqing;*
- 2. Chongqing University of Science and Technology Electronic Intelligent Materials and Devices Research Center Chongqing*

Abstract: With the rapid development of artificial intelligence technology, its application in the industrial field is becoming increasingly widespread. As an important facility for energy storage and transportation, the safety management of oil depots is directly related to national energy security and environmental protection. This article aims to explore how to use a hybrid expert model (MoE) and artificial intelligence technology to design and implement an efficient parallel risk prediction system to improve the safety management level of oil depots. The system can identify and warn potential risks in advance through real-time data collection, intelligent analysis, and prediction, providing strong support for emergency response and safety management of oil depots.

Key words: Artificial intelligence; Hybrid Expert Model (MoE); Oil depot safety management; Risk prediction; Efficient parallelism