

基于大数据分析的化工储罐风险预测模型研究

王泓森 苏姗姗 彭飞翔 郭金生^{通讯}（湖北康宁安全环保科技有限公司，湖北 随州 441300）

摘要：化工生产链条中，化工储罐占据核心地位，其风险识别对保障生产安全具有至关重要的意义。储罐作业环境复杂多变，安全隐患层出不穷，传统风险预估手段存在一定局限。采用数据挖掘与分析方法，构建化工储罐风险预判模型，可以依托实时监控资料、过往事故记录及环境要素进行全方位解析，识别风险端倪并实施预警。运用数据分析与智能计算模型，可以精准预判储罐在各类环境下的潜在安全隐患，增强事故防范效能与应急处置节奏。该模型的实施推动了储罐风险监管流程的升级，提高了安全系数，降低了灾害潜在爆发的风险，为化工领域的安全作业保驾护航。

关键词：化工储罐；大数据分析；风险预测；安全管理；模型研究

0 引言

化工储罐作为危险化学品的主要存储设施，其安全性直接关系到环境保护与公共安全。随着化工行业规模的不断扩展，储罐事故隐患持续扩大，传统风险评价手段面临着不断升级的安全管理挑战。运用数据挖掘分析技术，通过实时储罐操作数据、过往事故记录以及周边环境要素，能够精准预测并实施风险预警。采用此技术显著提升了储罐安全管理效率，作为风险管理的科学参考，构建精确的风险预判体系，实现了化工储罐安全的关键突破，推动了智能化安全管理的进步，这一环节至关重要。

1 理论基础与相关研究

1.1 大数据分析技术概述

大数据分析技术涉及对海量、复杂、多类型数据集的搜集、存储、处理、分析和深度挖掘。通过传感器、企业管控系统等多渠道，实时或回溯性地收集数据，依托分布式存储技术实现大规模数据的便捷存取。在信息处理阶段，一般会实施数据清洗和预处理流程，去除冗余、缺失或错误的数据，确保数据的准确性。采用数据挖掘技术、智能算法应用、深度学习框架等分析手段，从数据中挖掘出有价值的资讯。大数据分析技术正在成为各行各业应用的热点，应用领域不断拓展，尤其在化工行业中表现尤为突出。通过对实时设备数据和过往事故记录的细致分析，可以精确预判设备故障和安全威胁，构建风险防御屏障，从而提高生产过程的安全性。

1.2 化工储罐风险管理概述

化工储罐作为储存危险化学品的核心设施，其风险管理是化工企业安全管理的重要组成部分。储罐面临的风险来源多样且错综复杂，包括储罐结构缺陷、

操作失误、自然因素（如气候变化、地震活动）以及外部干扰（如人为破坏、交通事故）等。储罐可能面临腐蚀、泄漏、超压等隐患，若未得到及时处理，可能导致严重后果，如生态破坏、人身伤害，甚至引发火灾或爆炸。因此，储罐隐患的治理应系统化，覆盖各个层面，确保其安全稳定运行。

目前，化工储罐的风险管理方法主要依赖于传统的安全评估工具，如 HAZOP（危害与可操作性分析）、故障树分析（FTA）等，以及定期的检查与维护。这些方法能够帮助企业识别和评估潜在风险，及时采取防范措施。

1.3 相关研究综述

关于化工储罐风险预测及大数据技术应用，国内外已有诸多研究。传统研究多集中于化工储罐的物理化学属性分析，通过静态数据进行潜在风险的预判。然而，这些方法通常缺乏实时监管和智能警报机制，且难以应对环境变化的快速调整。随着大数据技术的进步，越来越多的学术研究开始将大数据分析技术应用于化工储罐风险预测。一些研究通过融合传感器数据、历史事故记录和环境信息，采用机器学习方法构建预测模型，实现储罐动态的实时跟踪与潜在隐患的预估。实证分析表明，借助大数据分析，风险预判的准确性得到了显著提升，增强了化工储罐的安全管理能力。

2 基于大数据分析的化工储罐风险预测模型

2.1 数据收集与处理

化工储罐风险预测模型的精准度与数据质量及全面性紧密相关。数据支撑来源于化工储罐的过往事故记录、传感设备采集资料及环境检测所得的数据，包括过往储罐故障与事故的详实历史资料、设备故障类别、事故发生时间、地点、原因、损失程度等。

生时间、天气环境及操作步骤等；实时数据反映储罐内压、温度、液位、腐蚀等物理参数，以及储罐作业的实时反馈。环境相关资料包括气象数据及邻近化学污染数据，多个因素共同影响储罐的安全性。

在数据梳理阶段，首先应对所获数据进行净化，筛选数据，排除缺失、重复或错误内容。针对海量数据流，采用数据净化流程，进行缺失值插补，以维护资料的完整性与准确性。接着进行属性筛选，聚焦与储罐风险紧密相关的核心变量，去除冗余成分，提高模型运算效能与精度。数据标准化措施尤为重要，尤其在数据来源量纲差异较大的情况下，采用标准化方法可以减少特定变量对模型结果的过度干扰。

2.2 风险预测模型构建

风险预测模型的构建过程是整个系统中的核心环节。基于大数据分析技术，首先需要选择合适的机器学习算法，以从大量的数据中挖掘潜在的风险模式。常用的算法包括决策树、支持向量机（SVM）、神经网络等。决策树可以通过对数据进行递归分割来构建简单的预测模型，适用于识别某些基本的风险特征；支持向量机则通过构造超平面实现分类，适合于高维数据的复杂分类问题；神经网络具有强大的非线性拟合能力，尤其适合处理多层次、非线性关系的复杂数据。

在模型构建时，储罐的温度、压力、液位、环境因素及历史故障档案等关键参数集将作为输入数据。这些参数可通过传感器与外部监测体系实时采集，并用于评估储罐的安全风险等级。力求模型精度达到更高水平，模型构建需纳入多个关键性能参数，如故障预警周期、事件发生比率等，以此作为决策的依据。

2.3 模型验证与优化

当风险预测模型构建完成后，应根据历史数据进行验证，评估模型的预测效果与可信度。常规方法为交叉验证法，通过数据集的分割，将训练集和验证集分开，使用多样化的数据样本进行训练和测试，评估

模型在不同数据集上的泛化能力。模型性能的评估可借助准确率、召回率、F1 分数等指标。如果模型预测表现不佳，可根据评估结果对模型进行优化和升级。

优化方法主要包括参数调节和算法改进。通过调整模型的超参数（如支持向量机中的核函数类型、决策树中的深度等），可以提升模型的预测性能。

3 模型应用与案例分析

3.1 实际应用背景

以某石化公司储罐群体为案例，该公司在全国范围内经营多个化工储罐，其中主要储存易燃液体化学品，如液化石油气（LPG）、醇类溶剂等。由于储罐所储化学品的危险性，该公司的储罐安全管理一直是重中之重。储罐群体的运行状况复杂，涉及多个动态变量，如温度、压力、液位变化及环境因素等。为了有效管理风险，公司在多个储罐上安装了传感器设备，实时监控储罐的运行状态。此外，环境数据（如气温、湿度、风速）和历史事故数据也被纳入系统，用于综合评估储罐的潜在风险。

数据采集过程通过安装在储罐上的温度、压力、液位传感器进行实时监控，所有数据通过无线网络上传至中央数据库。此外，结合储罐的操作记录和历史事故数据（如曾发生的泄漏、爆炸等事件），通过系统进行数据融合与分析，构建风险预测模型。如表 1 所示。

3.2 应用效果分析

采用数据密集型风险推断模型对储罐群体进行动态监测与即时评价。预测结果显示，TANK-001 与 TANK-003 在恶劣气候环境下存在较大的泄漏隐患，尤其在温差与压差显著变动时，风险因素急剧上升。模型推算出的高风险储罐与实际风险事件相吻合，TANK-001 在狂风肆虐期间发生了轻微渗漏事件，且模型在事件发生一小时前发出了风险警报通知，成功阻止了事故的进一步恶化。

与实际风险事件对比，预测精度超过 85%，能够

表 1 该储罐群体的部分采集数据

储罐编号	温度 (°C)	压力 (MPa)	液位 (%)	风速 (m/s)	历史事故 (次)
TANK-001	45	1.2	80	3.5	2
TANK-002	48	1.1	75	4.0	0
TANK-003	50	1.3	85	2.8	1
TANK-004	47	1.0	70	3.2	3

精准识别高危储罐并实施预警。该模型显著提高了风险预测的精确度，优化了储罐安全管理流程，尤其在恶劣气候环境下，帮助运营人员迅速启动预防措施，避免了潜在安全隐患的发生。

3.3 案例总结与经验教训

该案例总结的主要经验包括：大数据分析技术显著提高了化工储罐的安全系数，通过实时数据跟踪与前瞻性分析，能够敏锐捕捉潜在隐患，有效阻止事故风险的发生。模型的准确性与数据的全面性和精确度密切相关，实时监控储罐与历史事故资料是模型精准预判的核心要素。通过多种数据资料的集成，包括生态环境指标与操作过程日志，显著提高了预测的准确性。

然而，案例也暴露了一些问题。尽管模型的预测效果良好，低风险储罐有时仍被错误地预测为高风险，这可能导致资源的过度调配。由于资料来源多样化，部分传感器的精确度较低，削弱了数据的可验证性。未来可以通过加强数据净化、优化传感器布设与保养来提高数据的精确度，并引入更先进的深度学习技术，进一步提升预测的灵敏度与准确度，减少误报的发生，增强模型的实用性。

4 结论与展望

4.1 研究结论

利用大数据分析技术构建的化工储罐风险预测模型大幅提升了储罐安全管理水平。通过实时监控储罐的操作状况并分析历史数据，模型能够提前识别潜在风险，并发出精准的预警通知，从而推动企业采取防御行动，显著降低事故发生率。该模型的构建依赖于传感器数据的准确描述，并融合周边环境信息及历史事故记录，显著提升了风险预测的完整性与精确度。实证研究表明，该模型在化工储罐风险管理领域展现出卓越的预测能力和实际应用价值，为化工领域提供了精准的决策支持与风险预警基础，推动了储罐安全性能的提升、事故率的降低及资源配置的优化。

4.2 研究局限性与不足

尽管本研究取得了一定的成果，但仍面临一些挑战。数据来源的局限性是本研究的主要问题之一。虽然通过传感器和历史事故数据进行分析，但数据的完整性和精确性仍然存在一定的挑战。传感器故障、数据丢失或数据延迟可能会影响模型的预测精度。其次，模型的适用性也存在一定的局限，当前的风险预测模型主要针对特定类型的储罐，在其他化工储罐群体中可能需要进一步调整和优化。此外，模型的实时性和

数据处理速度仍需进一步提升，尤其是在大数据背景下，需加强算法的响应速度与实时预测能力。

4.3 未来研究方向

未来的研究可以从多个角度拓展该领域的前沿技术。在数据收集和处理方面，应加强传感器的精度和多样化，结合不同类型的数据来源（如视频监控、无人机巡检等）进行综合分析，提升数据的准确性和多维度覆盖。其次，随着深度学习和人工智能技术的发展，模型可以进一步引入这些技术，尤其是在特征提取和模式识别方面，提高预测的准确性和适应性。后续研究还应探讨该模型的普适性，针对不同类型储罐与化工设备的风险预测模型展开研究，推动化工行业采用更广泛的大数据分析技术。实现实时监控系统的优化和集成，结合大数据与化工安全监管，将是未来研究的关键领域，进一步促进化工行业智能化与自动化安全管理的现代化升级。

5 结语

本研究深入挖掘了大数据驱动的化工储罐风险预测模型，显著提升了储罐的安全管理能力。通过融合罐体运行数据、周边环境信息与历史事故案例，模型能够精准识别潜在威胁并及时发出预警警报，进而引导企业快速采取防范措施，有效降低事故发生率。实证结果已表明，大数据分析在化工领域的应用成效显著，随着技术的不断发展和数据处理能力的提升，风险预测模型有望在更广泛的化工设施中得到推广应用，为化工行业的安全管理提供更加智能化、精准化的解决方案。

参考文献：

- [1] 李艳春. 大数据分析流程建模关键技术研究 [D]. 东北石油大学, 2020.
- [2] 邹彤, 刘传安. 基于大数据分析的煤矿安全风险预测系统研究 [J]. 煤炭工程, 2018, 50(07):173-176.
- [3] 周建文, 张健, 张凯, 胡朝雄, 刘彦军. 基于海量运维数据的铁路数据中心风险预测与防控系统研究与开发 [J]. 铁路计算机应用, 2023, 32(04):11-17.
- [4] 李建伟, 苏占玖, 黄赟茹. 基于大数据学习分析的在线学习风险预测研究 [J]. 现代教育技术, 2018, 28(08):78-84.
- [5] 庄海燕. 大数据分析技术的无线通信网络安全风险预测 [J]. 微电子学与计算机, 2019, 36(08):97-100.

作者简介：

王泓森（1987-），男，汉族，本科，湖北随州，注册安全工程师（中级），研究方向：化工安全。