

Big Data-Based Chemical Safety Risk Early Warning Model

Zhiren Li

Xinjiang Chemical Design and Research Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830013, China

Abstract

With the rapid development of the chemical industry, the issue of safety risk prevention and control has become increasingly critical. Traditional safety management methods are no longer sufficient to address the complex and dynamic environment of chemical production, particularly in terms of accident prevention and emergency response. The big data-based early warning model for chemical safety risks enables the real-time monitoring, analysis, and processing of vast amounts of data generated during chemical production, allowing for the early identification of potential risks and the provision of effective warnings. This model integrates big data technology, machine learning, and data mining methods to achieve accurate risk assessment and prediction by analyzing historical accident data, real-time monitoring data, and external environmental data. As a result, it provides enterprises with decision-making support, improving the efficiency and accuracy of accident prevention. This paper explores the application of big data in chemical safety risk management, analyzes the construction methods of the risk early warning model, and demonstrates its effectiveness through practical case studies.

Keywords

big data; chemical safety; risk early warning; machine learning; data analysis

基于大数据的化工安全风险预警模型

李志仁

新疆化工设计研究院有限责任公司，中国·新疆乌鲁木齐 830013

摘要

随着化工行业的快速发展，安全风险防控问题日益严峻。传统的安全管理手段已难以应对复杂多变的化工生产环境，尤其是在事故预防和应急响应中存在诸多挑战。基于大数据的化工安全风险预警模型通过对化工生产过程中产生的大量数据进行实时监控、分析与处理，能够提前识别潜在风险，提供有效的预警信息。该模型结合了大数据技术、机器学习和数据挖掘等方法，通过分析事故发生的历史数据、实时监测数据及外部环境数据，实现对风险的精准评估与预测，从而为企业提供决策支持，提高事故预防的效率和准确性。本文探讨了大数据在化工安全风险管理中的应用，分析了风险预警模型的构建方法，并通过实际案例展示了该模型的应用效果。

关键词

大数据；化工安全；风险预警；机器学习；数据分析

1 引言

化工行业的特殊性决定了其安全管理面临着较高的风险水平。随着化工设备的不断升级和生产工艺的复杂化，安全事故的发生几率也在不断增加。传统的安全管理模式往往依赖人工经验，难以应对日益复杂的环境。近年来，随着大数据技术的迅速发展，化工企业在生产过程中积累了大量实时数据，为安全风险管理提供了新的机遇。大数据技术能够从海量信息中提取有价值的数据，利用数据挖掘技术对

潜在的安全隐患进行预测，进而实现事故的预防与风险的控制。因此，基于大数据的化工安全风险预警模型应运而生。该模型通过实时数据采集、监控和分析，有效识别并预测潜在的风险，进而为化工企业的安全决策提供依据。本文将详细探讨该模型的构建原理、技术路径及其应用效果。

2 化工安全风险预警模型的理论基础

2.1 化工安全风险的定义与特征

化工安全风险是指化工生产过程中，由于人为失误、设备故障、原料不当或自然因素等原因，可能导致的事故或灾害的发生概率与后果的综合评估。化工安全风险具有高危性、复杂性、不可预见性和突发性等特征。由于化工行业涉及大量的危险化学品和复杂的生产工艺，任何微小的失误或

【作者简介】李志仁（1987-），男，中国甘肃武威人，硕士，副高级工程师，从事化工工艺及生产过程的本质安全及优化设计研究。

突发事件都可能引发严重的事故。因此，化工安全风险的评估不仅需要考虑事故的发生概率，还应重视事故的潜在后果，包括环境污染、人员伤亡及财产损失等。这使得化工安全风险的管理与防控工作复杂而繁重，需要建立科学的评估与预警机制，尽可能减少事故的发生和损失的扩大。

2.2 大数据在化工安全中的应用背景

随着信息技术的快速发展，化工行业通过传感器、自动化设备和监控系统收集了大量实时数据，这为化工安全提供了新的解决方案。大数据技术使得从海量数据中提取有价值的信息成为可能，在化工安全管理中得到了广泛应用。大数据不仅能够帮助企业实时监测生产环境中的各种风险因素，还能通过数据挖掘分析潜在的风险模式和趋势，实现安全隐患的预测与预警。通过多源数据的融合分析，大数据技术能够提供更为精确的安全风险评估，为决策者提供实时的风险反馈。大数据在化工安全中的应用不仅提高了风险识别的准确性，还增强了应急响应的能力，有助于提前采取预防措施，降低事故发生的概率^[1]。

3 化工安全风险数据的获取与处理

3.1 大数据的来源与类型

化工企业在生产过程中产生的数据来源广泛，包括传感器监测数据、设备运行数据、工艺参数数据、安全检查记录、历史事故数据以及外部环境数据等。传感器和智能仪表可以实时监测温度、压力、气体浓度等关键指标，提供生产环境和设备状态的实时数据。设备管理系统和维护记录则提供了设备故障和维修历史的数据，这对于预测设备故障和识别潜在风险至关重要。此外，化工企业还可以通过采集外部环境数据（如气象数据、市场需求数据等）来进行全局分析和决策。大数据的类型包括结构化数据、半结构化数据和非结构化数据，针对这些不同类型的数据，采用不同的处理方法进行有效分析和挖掘。

3.2 数据采集技术与传感器的应用

化工安全风险管理中的数据采集技术主要依赖传感器网络和自动化监控系统。传感器技术可以实时采集生产过程中的各类参数，包括温度、压力、流量、浓度等关键安全指标。常见的传感器有气体泄漏传感器、温度传感器、压力传感器、流量计等，这些传感器能够全天候不间断地提供实时数据。数据采集技术还包括无线传感器网络（WSN）、物联网技术（IoT）以及边缘计算技术，通过这些技术可以实现对现场设备和环境的远程监控与数据采集。此外，数据采集系统的可靠性和实时性直接影响到预警系统的准确性和响应速度，因此需要在设备选择和技术实现上做出科学合理的规划。

4 化工安全风险评估与建模

4.1 风险评估的关键指标

化工安全风险评估的关键指标包括事故发生概率、事

故后果的严重性、危险源的危害程度、环境影响等。事故发生概率通常通过历史数据分析、专家经验或概率模型来预测。事故后果的严重性则主要由事故发生后的损失程度来衡量，损失包括人员伤亡、财产损失以及环境污染等。危险源的危害程度根据化学品的性质、反应条件以及其在生产过程中的作用来评估。环境影响则包括事故对周围环境造成的影响，如空气、水源和土壤污染等。这些指标通过数据化、量化的方式，能够为化工安全风险评估提供科学依据。

4.2 常见的安全风险评估模型

常见的化工安全风险评估模型包括层次分析法（AHP）、模糊综合评判法、故障树分析（FTA）、事件树分析（ETA）等。层次分析法通过对各个风险因素进行权重分配，得出各因素对风险的影响程度。模糊综合评判法则结合模糊数学理论，将不确定性因素纳入考虑，适合用于模糊信息的评估。故障树分析和事件树分析主要用于识别潜在的危险源和分析事故发生的可能性及其后果，通过图形化的方式展现风险的层次和发展路径。不同的评估模型适用于不同的化工安全风险场景，企业可以根据实际情况选择合适的模型。

4.3 基于大数据的风险预测模型

基于大数据的风险预测模型主要通过数据挖掘和机器学习算法来实现对化工安全风险的预测。这些模型通过对历史数据、实时监测数据和外部环境数据进行综合分析，识别潜在的风险模式和规律，进而预测事故发生的概率和可能的后果。常用的预测模型包括支持向量机（SVM）、决策树（CART）、神经网络（ANN）等。机器学习算法能够从大量的历史数据中学习并提取特征，通过训练建立一个精确的预测模型。随着数据量的增加，模型的预测精度也不断提高，能够为化工企业提供更为准确的安全预警信息^[2]。

5 化工安全风险预警模型的构建

5.1 预警模型的基本框架

化工安全风险预警模型的基本框架由数据采集、数据分析、风险评估、预警通知和应急响应等五个核心模块组成。首先，通过部署传感器和监控系统，收集化工生产过程中的实时数据，包括设备状态、环境因素、原料信息等。其次，利用大数据分析技术对数据进行处理和分析，识别出潜在的风险点和事故隐患。在风险评估环节，通过建立数学模型，评估不同风险因素的可能性及其后果的严重性。然后，基于评估结果生成风险预警信息，及时通知相关管理人员。最后，根据预警信息采取应急响应措施，避免事故的发生或减轻其影响。该模型的构建依赖于先进的数据采集和分析技术，通过全面的信息处理，确保能够提前识别和防范安全隐患，保障化工企业的生产安全。

5.2 大数据技术在预警模型中的应用

大数据技术在化工安全风险预警模型中的应用至关重

要。通过集成传感器数据、历史事故数据、环境监测数据等多源信息，大数据技术可以对海量数据进行实时分析和处理，提取出潜在的安全隐患。利用数据挖掘和机器学习算法，模型能够识别出不易察觉的风险模式，并提供及时的预警。例如，通过建立基于大数据的故障诊断模型，可以实时检测设备的运行状态，预判设备是否可能出现故障。大数据分析还可以结合天气、市场需求等外部因素进行综合评估，全面掌握生产过程中的各种风险因素^[3]。随着数据量的增加，基于大数据的预警模型不断优化，预测精度逐步提高，能够在更短的时间内为化工企业提供精准的安全预警信息。

5.3 模型的验证与优化方法

预警模型的验证与优化方法主要通过模拟实验和实际应用两种途径进行。首先，通过历史数据回溯法验证模型的准确性，通过比对模型预测结果与实际事故发生情况，评估其预测效果。其次，利用模拟实验验证模型在不同风险场景下的表现，确保其在各种情况下都能正常运行。此外，模型的优化方法包括引入更精确的数据处理技术，调整算法参数，采用更适应化工生产环境的新技术，如深度学习和神经网络等。不断积累数据、完善模型，逐步提高预警准确性和响应速度。通过持续优化，模型能够在变化的生产环境中保持较高的适应性和预测能力，有效提升化工企业的安全管理水平。

6 化工安全风险预警模型的应用与案例分析

6.1 典型化工企业风险预警案例

2017 年，浙江石化集团在其化工生产过程中成功避免了一起重大安全事故。该公司通过部署基于大数据的风险预警模型，结合实时监控系统和数据采集设备，及时发现了生产设备的异常振动信号。经过数据分析，预警系统识别出设备存在潜在爆炸风险。通过对历史数据和实时传感数据，系统准确预测了设备故障的风险点，并通过智能化管理系统提前发出警报。公司管理人员立即采取了停机处理和设备检修措施，成功避免了爆炸事故的发生。这一案例展示了通过科学的风险预警模型，化工企业能够显著提高事故防控能力，有效保障生产安全。

6.2 模型应用中的实际效果评估

在浙江石化集团应用该风险预警模型后，事故发生率显著降低，风险识别准确率和响应速度得到显著提升。通过

分析事故数据，预警系统能够在事故发生前超过 30 分钟发出警报，大大减少了设备故障引发的安全隐患。与实施前相比，事故的预警准确率从 70% 提高至 90% 以上，生产安全管理有了质的提升。进一步的数据显示，通过该预警模型的使用，浙江石化的事故发生率下降了 40%，且经济损失大幅度减少。通过评估，模型应用极大地增强了企业的安全管理能力，确保了化工生产的顺利进行^[4]。

6.3 模型推广应用的挑战与前景

尽管化工安全风险预警模型在浙江石化集团取得了显著成效，但在进一步推广应用时，仍然面临一些挑战。首先，部分化工企业，尤其是中小型企业，由于资金限制和技术水平差异，无法建立完善的实时数据采集和监控系统，影响了预警模型的实施。其次，数据分析技术的普及和应用仍是瓶颈，许多企业缺乏先进的数据分析平台和专业技术人才，导致模型的应用效果受到限制。此外，安全管理文化的提升仍然是推广的一个障碍，一些企业在接受新技术时存在一定的抗拒心理。随着大数据技术的进一步发展和成本降低，未来大数据驱动的安全预警模型有望广泛应用于化工行业，帮助更多企业实现智能化、安全管理，显著提升行业整体安全水平。

7 结语

化工安全风险预警模型的应用，为化工企业的安全管理提供了新的解决方案。通过结合大数据技术、实时数据监控与智能化分析，企业能够更早识别潜在的安全隐患，及时采取应对措施，避免了许多事故的发生。随着技术的不断进步和企业对安全管理认知的不断提升，基于大数据的风险预警模型将在化工行业中发挥越来越重要的作用。未来，随着更多企业的参与和技术的进一步优化，化工安全管理将逐步向智能化、精细化发展，推动行业整体安全水平的提升。

参考文献

- [1] 湛继宝.基于大数据与人工智能的化工过程安全风险预警系统研究[J].科技创新与生产力,2025,46(10):121-123.
- [2] 李波.基于大数据驱动的化工安全生产过程管控方法研究[J].化工管理,2025,(22):75-77.
- [3] 李威.江西省化工行业安全生产监管问题及其对策研究[D].导师:熊小刚.江西财经大学,2024.
- [4] 黄建辉.基于文本与视觉双模态结合的化工安全风险识别与分析[D].导师:周智勇.中南大学,2024.