

# 基于人工智能的化工过程安全管理决策支持系统

张克纯

盛虹炼化(连云港)有限公司 江苏 连云港 222000

**摘要:** 随着化工产业的迅猛发展和工艺技术的不断创新,化工过程安全管理面临着前所未有的挑战。为了应对这些挑战,本文深入研究了基于人工智能的化工过程安全管理决策支持系统的设计与实现。该系统结合了先进的人工智能技术、大数据分析以及决策支持理论,旨在为化工企业提供全面、智能的安全管理解决方案。本文详细阐述了系统的架构、关键技术、实现方法以及潜在的应用价值。

**关键词:** 人工智能; 化工过程; 安全管理; 决策支持系统; 大数据分析

## 引言

化工行业作为高危行业之一,其生产过程中涉及的安全问题一直是业界关注的焦点。近年来,随着人工智能技术的不断进步,其在化工安全管理中的应用也日益广泛。本文旨在构建一个高效、智能的化工过程安全管理决策支持系统,以帮助企业提高生产效率,降低安全风险。

### 1 人工智能在化工安全管理中的应用及优势

#### 1.1 智能监测与实时预警

通过布置在化工生产现场的智能传感器,系统可以实时监测生产过程中的各项关键参数。结合人工智能算法,系统能够自动识别异常情况,如温度异常、压力波动等,并及时发出预警。这种智能监测与实时预警机制可以大大缩短企业对潜在风险的响应时间,提高安全管理效率。

#### 1.2 数据驱动的分析与优化

人工智能技术可以充分利用历史数据,构建精确的预测模型。通过对生产数据的深入分析,系统可以预测化工过程中可能出现的安全隐患,并为企业提供优化建议。这种数据驱动的分析与优化方法有助于企业制定更为精准的安全管理策略,降低生产成本和风险。

基于人工智能的化工过程安全管理决策支持系统

### 2 智能化决策支持系统框架的详细设计

#### 2.1 多层次系统架构

本系统采用多层次架构,包括数据采集层、数据处理与分析层、决策支持层以及用户交互层。各层次之间协同工作,确保数据的顺畅传输和高效处理。

##### 2.1.1 数据采集层

数据采集层作为智能化决策支持系统的前端感知部分,其设计与实施需确保从化工生产现场持续、稳定地采集各类实时数据,为整个系统提供坚实的数据基础。以下是该层级的详细设计与操作要点:

(1) 数据源确定:明确需要采集的数据类型,主要包括传感器数据和操作记录两大类。确定关键传感器位置,确保覆盖生产过程中关键的温度、压力、流量、液位等工艺参数。与操作系统对接,获取操作人员的每一步操作记录,包括开关设备、调整参数等。

(2) 数据采集技术选型:选择稳定可靠的数据采集技术,如工业物联网(IIoT)技术、SCADA系统等。确保数据采集设备与传感器的兼容性,以及数据的准确传输。

(3) 数据实时性与完整性保障:设计高效的数据传输协议,确保数据的实时性。实施数据校验机制,如校验码、冗余传输等,确保数据的完整性<sup>[1]</sup>。对数据进行时间戳标记,以便后续的数据处理与分析。

(4) 数据安全性与隐私保护:实施数据加密技术,确保数据在传输过程中的安全性。遵守相关法律法规,确保数据的合法采集与使用。对敏感数据进行脱敏处理,保护企业隐私。

(5) 数据采集监控与维护:设计数据采集监控机制,实时监控数据采集设备的状态与数据传输情况。定期对数据采集设备进行维护与校准,确保数据的准确性。对数据采集过程中出现的问题进行及时响应与处理。

2.1.2 数据处理与分析层。数据处理与分析层是智能化决策支持系统的核心环节,负责将数据采集层获取的原始数据转化为有价值的信息和洞见。以下是该层级的详细操作流程与实施要点,以确保数据处理与分析工作的可操作性和有效性:

(1) 数据清洗与预处理:设计并执行数据清洗流程,包括去噪、去除异常值、填补缺失值等步骤。利用统计方法或机器学习算法识别并处理异常值,确保数据的准确性。根据数据的特性和业务需求,选择合适的填补策略来填补缺失值。

(2) 数据整合与变换:将来自不同数据源的数据进

行整合,确保数据的一致性和完整性。对数据进行标准化或归一化处理,以消除量纲差异,便于后续分析。根据业务需求和数据分析目标,进行特征工程,构造新的特征或转换现有特征。

(3) 数据分析方法选择与应用:根据化工过程安全管理的特点,选择适合的统计分析、数据挖掘和机器学习算法。应用聚类分析、关联规则挖掘等技术,发现数据中的隐藏模式和关联。利用回归、分类等机器学习算法,对化工过程的安全性进行预测和评估。

(4) 风险评估与安全隐患识别:基于历史数据和专业知识,建立风险评估模型,识别潜在的风险点和安全隐患。设定合理的阈值和预警机制,对异常情况进行实时监测和预警。对识别出的风险点和安全隐患进行优先级排序,为后续的决策支持提供依据。

(5) 数据可视化与报告生成:利用图表、仪表盘等工具,将数据分析结果直观地展示给用户。设计并定期生成包含关键指标、异常检测、风险评估等内容的报告。提供交互式数据探索功能,允许用户深入钻取数据并获取更多细节信息。

2.1.3 决策支持层。决策支持层直接关联到企业的安全管理实践。这一层级基于数据处理与分析层提供的深入洞察,综合考量化工生产过程中的各种风险因素,为企业提供具体的安全管理建议和风险应对策略。这些建议包括但不限于优化生产流程、调整操作参数、加强特定设备的维护检查等。同时,该层级还会根据风险评估的结果,制定针对性的应急预案,确保在突发情况下能够迅速响应,最大限度地减轻潜在风险对企业运营的影响。

2.1.4 用户交互层。用户交互层主要功能是通过设计友好的用户界面,将数据处理与分析的结果以及决策支持层的建议清晰、直观地展示给企业决策者。这一层级不仅提供图表、报表等多种可视化工具来帮助决策者更好地理解复杂的数据分析结果,还能根据决策者的需求定制个性化的展示内容。通过用户交互层,企业决策者能够迅速把握生产现场的安全状况,了解潜在的风险点和优化建议,从而做出快速且明智的决策<sup>[2]</sup>。此外,用户交互层的即时反馈机制也支持决策者根据实际情况调整策略,确保企业的安全生产和高效运营。

## 2.2 关键技术解析

2.2.1 大数据处理技术。随着化工数据量的增长,传统处理方法已无法满足实时、高效的分析需求。大数据处理技术,依赖于分布式存储和计算,成为解决此问题的关键。分布式存储通过将数据分散在多个节点上,提高了数据的可靠性和可扩展性,解决了单一存储设备

容量有限的问题。在计算方面,采用如Apache Hadoop、Apache Spark等分布式计算框架,将大规模计算任务分解为多个小任务并行执行,显著提高了计算效率。此外,大数据技术还涉及数据仓库、数据挖掘和机器学习等领域,为决策支持提供了更深入的信息和有力的预测模型。

2.2.2 机器学习算法。在智能化决策支持系统中,机器学习算法,特别是支持向量机(SVM)和神经网络,发挥着重要作用。SVM通过寻找最优超平面来最大化类别间的边界,实现数据分类,可用于识别化工生产中的异常情况。神经网络,尤其是深度学习网络如CNN和RNN,能够处理复杂的非线性关系,发现潜在模式,用于预测设备寿命、故障可能性或生产趋势。决策树、随机森林等算法也通过构建树状结构对数据进行分类和预测,易于理解和实现。数据预处理和特征工程是提高模型性能和准确性的关键步骤。

2.2.3 可视化技术。可视化技术在智能化决策支持系统中占据重要地位,它能够以直观的方式呈现给用户。现代可视化技术采用多种先进的数据可视化工具和技术,如热图、散点图、条形图、柱状图、饼图等,以及动态图表和交互式图表,帮助用户快速洞察数据中的关键信息。三维可视化技术也为用户提供了更为立体的数据展示方式<sup>[3]</sup>。在实施可视化技术时,需考虑色彩搭配、布局设计以及交互逻辑等多个方面,以确保用户能够轻松理解并操作可视化界面。

## 3 基于人工智能的化工安全管理决策支持系统的具体实现方法

### 3.1 数据采集与预处理模块

在决策支持系统中,数据采集与预处理模块是实现精准决策的重要基石。以下是该模块的具体实现步骤和方法:

#### 3.1.1 数据采集

(1) 定制化数据采集设备:针对化工生产过程中的特定需求,设计和部署专用的传感器和监控系统。这些设备应具备高精度、高稳定性和实时性,能够持续、准确地捕捉温度、压力、流量等关键生产指标。

(2) 分布式数据采集架构:为应对大规模的数据收集需求,采用分布式的数据采集架构。这种架构能够并行处理多个数据源,提高数据采集的效率和稳定性。同时,通过冗余设计和负载均衡策略,确保数据采集的可靠性和可扩展性。

(3) 实时数据传输:利用工业以太网、无线传感器网络等先进技术,实现实时、高效的数据传输。确保数据从采集点快速、准确地传输到数据中心或云端进行处

理和分析。

### 3.1.2 数据预处理

(1) 数据清洗：通过定制化的数据清洗算法，去除重复、无效或异常的数据。例如，可以设置合理的阈值来过滤掉超出正常范围的数据点，或者利用时间序列分析技术来识别并去除异常波动。

(2) 数据去噪：采用先进的去噪算法，如小波变换、卡尔曼滤波等，识别并消除数据中的噪声和干扰因素。这些算法能够有效地提高数据的信噪比，使得后续的数据分析和建模更加准确和可靠。

(3) 数据标准化：为便于后续的数据分析和建模，需要将不同量纲和范围的数据转换为统一的尺度。可以采用Min-Max标准化方法，将数据映射到[0,1]区间内。具体地，对于每个数据点 $x$ ，其标准化后的值 $x'$ 可以通过以下公式计算： $x' = (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min})$ ，其中 $x_{min}$ 和 $x_{max}$ 分别为数据集中的最小值和最大值。

(4) 数据归一化：在数据标准化之后，进一步进行归一化处理，以消除数据间的量纲差异。常用的归一化方法包括Z-score标准化和归一化到[-1, 1]区间等。这些方法能够使得所有数据在相同的尺度上进行分析 and 比较，提高后续数据分析和建模的准确性和效率。

## 3.2 风险评估与预测模块

风险评估与预测模块利用机器学习算法，如支持向量机、神经网络等，构建高效的风险评估和预测模型。这些模型通过训练历史数据，学习并识别出与安全风险相关的特征模式。当新的实时数据输入时，模型能够迅速分析并预测潜在的安全风险。例如，模型可以监测化工生产过程中的温度、压力等关键指标，一旦发现异常波动，即可及时发出预警信息。这种基于数据驱动的预测方法不仅提高了风险评估的准确性，还能为企业提供及时的预警，帮助企业在安全风险发生前采取有效措施，从而保障生产安全<sup>[4]</sup>。此外，模块还具备灵活性，可以根据实际需求调整和优化模型参数，以应对不同场景下的风险评估需求。

### 3.3 决策支持与建议生成模块

决策支持与建议生成模块是决策支持系统的核心组成部分，它负责将风险评估和预测模块的输出转化为具体、可操作的安全管理建议和措施。以下是该模块的具体实现步骤和方法：

3.3.1 深入分析风险评估和预测结果。首先，该模块会整合风险评估和预测模块输出的所有数据，包括潜在的安全风险、风险发生的可能性、潜在影响以及风险的发展趋势等。接着，根据风险的性质、影响范围和潜在

后果，对风险进行分类和评估。这有助于更准确地理解风险的本质，并为后续的建议生成提供基础。

3.3.2 综合考量各种因素。在生成建议时，模块会综合考量生产过程中的各种因素，如设备状态、操作条件、人员技能、环境条件等。这有助于确保生成的建议更加全面、具体和可行。模块会利用内置的安全管理知识库，结合行业标准和最佳实践，为建议的生成提供理论支持和经验借鉴。

3.3.3 生成具体建议与措施。根据风险评估结果，模块会提出操作参数的优化建议，以减少潜在的安全隐患。例如，调整温度、压力或流量等关键参数，以确保生产过程在更安全的范围内运行。针对关键设备，模块会生成定期维护和检查计划，以确保设备的正常运行和延长使用寿命。这包括定期检查、更换磨损部件、清洗和润滑等。对于可能发生的突发事件，模块会制定详细的应急预案，包括应急响应流程、人员疏散路线、紧急停机程序等。这有助于企业在面对突发事件时能够迅速、有效地做出应对。

3.3.4 建议优先级排序。模块会根据风险评估的严重性和紧急性，对生成的建议进行优先级排序。这有助于企业决策者能够迅速把握重点，优先处理高风险和紧急的事项。为了帮助企业更好地实施建议，模块还会生成建议实施的时间表，明确各项建议的实施时间、责任人和预期效果。

## 结语

本研究成功构建了一种基于人工智能的化工过程安全管理决策支持系统。该系统结合了大数据处理、机器学习以及可视化技术等多种先进技术，为化工企业提供了全面、智能的安全管理解决方案。未来，我们将继续优化系统功能，拓展应用场景，并关注新技术在化工安全管理中的应用前景。同时，我们也将致力于提高系统的安全性和可靠性，以确保其在实际应用中的稳定性和可持续性。

## 参考文献

- [1]高翔.石油化工企业过程安全管理评估系统的设计与应用研究[J].石化技术,2018,25(12):181.
- [2]田苏明,张静.化工企业生产系统中的风险监控和安全管理[J].化工设计通讯,2020,46(11):122-123.
- [3]李玉光.大型化工企业安全管理智能化建设实践[J].化工管理,2024,(11):4-6.
- [4]李通.关于信息技术在石油化工安全管理中的应用研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(05):93-95.