

化工企业应急预案智能化生成与动态更新方法研究

董云祥¹ 章 璐^{2*} 陶华祥¹ 潘海朋³

1. 杭州衡信安全科技有限公司 浙江 杭州 310000

2. 杭州上城区人力资源开发服务有限公司 浙江 杭州 310000

3. 杭州优迈科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：化工企业生产过程复杂，事故风险高，传统应急预案存在响应滞后、适应性差等问题。针对此，开展应急预案智能化生成与动态更新方法研究。通过构建化工企业数据体系，整合生产、设备、环境等多源数据，利用自然语言处理、机器学习等技术实现知识获取。构建风险分析与情景模拟模型，结合智能决策算法，完成应急预案的智能化生成；设计动态更新触发机制、更新策略及评估体系，实现预案随生产环境、法规等变化及时优化。研究成果可有效提升化工企业应急预案的科学性、时效性与实用性，增强企业应急管理能力，为化工安全生产提供有力保障。

关键词：化工企业；应急预案；智能化生成；动态更新；应急管理

1 引言

化工企业作为国民经济重要支柱，其生产过程涉及高危险化学品与复杂工艺，事故突发性强、危害范围广。传统应急预案多依赖人工经验编制，存在流程固化、更新滞后、动态适应性不足等问题，难以应对瞬息万变的事故场景，致使应急响应效率与处置效果受限。随着人工智能、大数据技术的发展，智能化手段为化工应急预案的革新带来机遇。通过整合多源数据、运用智能算法，可实现应急预案的精准生成与动态优化，提升应急管理的科学性与时效性。然而，当前化工应急预案智能化研究仍面临数据整合难度大、算法适应性不足、更新机制不完善等挑战。本研究旨在探索化工企业应急预案智能化生成与动态更新的有效方法，推动应急管理从经验驱动向数据与智能驱动转变，强化化工行业安全保障能力。

2 化工应急预案基础理论

2.1 应急预案的核心要素

化工应急预案涵盖多核心要素。应急组织架构明确各部门与人员职责，构建高效指挥体系，如应急指挥中心负责统筹协调，消防、医疗等小组各司其职。响应流程是关键环节，从事故接报、响应启动到救援行动展开、后期处置，都有严格步骤，保障应急行动有序。处置措施依据不同事故类型制定，像火灾事故采取灭火、疏散，泄漏事故执行堵漏、洗消。资源调配涉及人力、物力、财力，及时合理分配消防设备、医疗物资及应急资金等，为应急救援提供坚实保障，各要素协同配合，提升应急处置效能^[1]。

2.2 应急预案的编制原则

科学性要求以科学理论为依据，借助风险评估模型精准识别风险，制定合理救援策略。系统性强调从整体出发，综合考虑化工生产全流程与周边环境，各环节、各部门紧密衔接，形成完整体系。实用性确保预案贴合实际，操作流程简单明了，救援措施切实可行，便于在事故中快速执行。动态性则因化工生产环境与技术不断变化，要求预案定期评估修订，融入新法规、新技术、新案例，增强对新形势的适应性，保障预案始终有效。

2.3 智能化对应急预案的变革影响

在编制环节，人工智能、大数据技术自动收集分析海量数据，快速生成预案初稿，自然语言处理技术优化文本表述，提升编制效率与质量。管理阶段，智能管理系统实时监测生产数据，依据风险预警触发预案更新，实现动态管理。应用层面，智能决策系统整合现场信息与预案内容，为指挥人员提供决策建议；结合虚拟现实、增强现实技术，开展虚拟演练，增强人员对应急流程的熟悉度，大幅提升应急预案应用效果，推动化工应急管理智能化发展。

3 智能化生成的数据基础与技术支持

3.1 化工企业数据体系构建

化工企业运营产生海量繁杂数据，构建完备数据体系是应急预案智能化生成基础。生产环节中，工艺流程参数（如反应温度、压力、物料流量）反映生产动态，对事故风险判断至关重要。设备状态数据（运行时长、振动幅度、部件磨损程度）可提前预警潜在故障。环境监测数据涵盖园区大气、水质、土壤污染指标及气象信

息（风速、风向），用于评估事故环境影响。管理上，借助传感器、智能仪表搭建自动化采集系统，经传输网络将数据汇总至数据中心，采用分布式存储保障安全与调用^[2]。

3.2 关键技术原理与应用

自然语言处理、机器学习、知识图谱技术助力应急预案智能化生成。自然语言处理把化工专业文档等非结构化数据转为结构化，像分析事故报告提取关键信息存案例库。机器学习用大量历史数据训练，建立事故预测和风险评估模型，学习化工反应数据规律预测事故。知识图谱整合化学品性质、工艺流程、设备维护等知识，构建语义关联网络，生成预案时快速关联知识，辅助智能决策，三者协同为应急预案智能化提供关键技术支撑。

3.3 数据驱动的知识获取

从海量数据中获取有效知识，是实现应急预案智能化生成的核心任务。首先对收集到的化工生产、设备、环境等数据进行清洗和预处理，去除噪声数据和异常值，提高数据质量。然后利用数据挖掘算法，如关联规则挖掘，分析不同参数之间的潜在联系，找出可能引发事故的关键因素组合。例如发现某些化工原料的配比异常与反应失控事故之间的关联。基于深度学习的文本挖掘技术，可从化工技术文档、专利文献中提取关键技术和事故预防措施。通过对大量数据的分析和学习，构建起应急预案生成所需的规则库，包含事故类型与处置流程的对应规则；同时建立案例库，存储各类历史事故案例及对应的成功处置经验，为新的应急预案生成提供丰富的参考依据，实现从数据到知识的转化与沉淀^[3]。

4 应急预案智能化生成模型构建

4.1 风险分析与情景构建模型

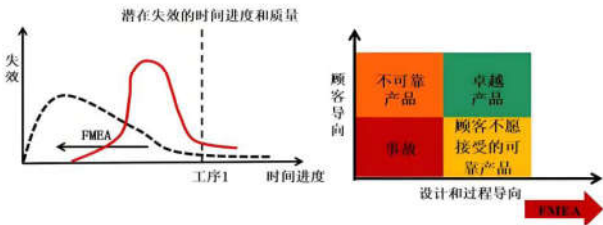
化工生产存在众多不确定因素，需借助风险分析与情景构建模型为应急预案智能化生成奠定基础。在风险分析中，运用故障树分析、失效模式与影响分析方法，梳理化工生产流程，识别潜在风险点，明确危险物质特性、生产设备故障、人为操作失误等风险因素及其引发事故的可能性与后果严重程度。情景构建则以风险分析结果为依据，模拟不同类型事故场景，如火灾、爆炸、泄漏等。结合化工企业实际布局、周边环境，考虑事故发生时间、气象条件等因素，设定事故发展态势，包括事故扩散范围、持续时间、可能造成的人员伤亡和财产损失等情景细节，为后续应急策略制定提供具体、直观的参考框架，使应急预案更具针对性与实用性。如图1所示：

FMEA的定义

- FMEA：潜在失效模式及后果分析
(Potential Failure Mode and Effects Analysis)
- FMEA是一种系统化的过程活动；
- 1. 针对产品（系统、子系统、零件）或制造过程；
- 2. 分析潜在失效原因、失效模式及失效后果；
- 3. 识别现行的控制措施；
- 4. 风险评价；
- 5. 按行动优先级，制定改进措施并完成验证。

FMEA的目的和范围

- FMEA是一套面向团队的系统的、定性分析方法，目的：
- ◆评估产品/过程中失效的潜在技术风险
- ◆分析失效的起因和影响
- ◆记录预防和探测措施
- ◆针对降低风险的措施提出建议
- ◆FMEA仅用于分析计划风险，从而减少失效、提高产品和过程的安全性。



FMEA的作用

- FMEA作为技术风险分析工具，可以帮助组织实现如下预期：



图1 FMEA介绍图

4.2 智能决策算法设计

智能决策算法是应急预案智能化生成的核心，它整合多源信息以输出科学合理的应急策略。引入机器学习算法，如决策树、神经网络等，对大量化工事故历史数据及实时监测数据进行学习训练。这些数据涵盖事故类型、风险因素、应急处置措施及处置效果等，算法从中挖掘数据间潜在关联与规律。当面临新事故情景时，算法基于已学习知识，快速分析事故特征，匹配最佳应急处置措施。同时，结合运筹学中的优化算法，如线性规划、整数规划等，根据化工企业现有应急资源（人力、物力、财力）状况，对救援力量调配、物资运输路线规划等进行优化决策，确保应急资源高效利用，最大程度

降低事故损失，提升应急响应效率与科学性。

4.3 预案结构化与模板设计

预案结构化与模板设计是实现应急预案智能化生成的关键环节，能使生成的预案条理清晰、便于应用与管理。结构化方面，将应急预案内容分解为多个层次分明的模块，如应急组织架构、应急响应流程、处置措施、资源保障等。明确各模块包含的关键要素及相互间逻辑关系，以树形结构或流程图表述，使预案内容层次清

晰、易于理解。模板设计则依据化工行业特点与不同事故类型，制定标准化预案模板。模板中设定固定格式与内容框架，填充通用应急原则、流程及关键节点要求等内容，预留可灵活调整区域，用于根据具体事故情景补充个性化信息。通过结构化与模板设计，不仅提高应急预案智能化生成效率，也增强预案规范性、一致性与可操作性，方便化工企业日常管理与应急时快速响应^[4]。如图2所示：

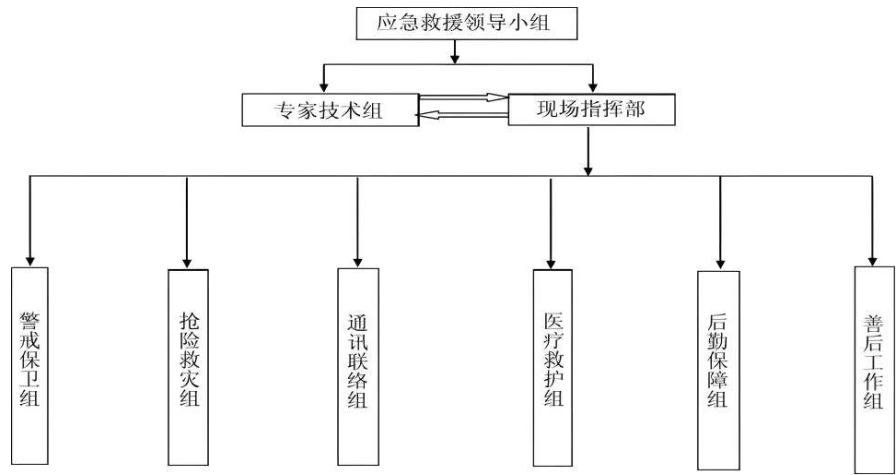


图2 应急预案架构图

5 应急预案动态更新方法

5.1 动态更新触发机制

化工企业生产环境复杂多变，需构建精准有效的动态更新触发机制。一方面，密切关注生产工艺调整、新设备引入、化学品种类与用量变化等内部因素。如某企业引入新型催化剂，反应条件改变，涉及的危险物质与反应风险随之变化，此时应急预案需及时更新，确保能应对新的安全挑战。另一方面，紧盯外部法规政策修订、行业标准更新。当环保部门对化工废气排放标准提升，企业需调整应急处置中废气处理的相关内容，以满足合规要求。同时，事故案例的经验教训也是重要触发点，若同行业发生类似事故，企业应参照反思，及时更新预案，完善应急处置流程与措施，增强自身应对能力。

5.2 更新策略与流程设计

更新策略要兼顾全面性与针对性。局部修订适用于轻微变化，如应急物资储备库中某类灭火器的更换，只需对应急物资清单与使用说明进行局部调整。而当企业进行大规模扩建、生产流程全面优化等重大变革时，则需启动整体重构，从风险分析、应急组织架构到处置措施全面更新。流程设计上，先由一线员工、安全管理人员等收集变化信息，汇总至预案管理小组。小组评估后制定更新草案，组织专家研讨，综合各方意见完善草

案。随后提交企业管理层审批，获批后发布新版预案，并同步通知各部门，确保全员知悉，保证更新工作科学、有序推进^[5]。

5.3 更新效果评估体系

构建科学的更新效果评估体系，是保障应急预案有效性的关键。完整性指标关注更新后预案是否覆盖新风险与法规要求，像新的危险化学品管理法规出台，评估预案是否纳入相应应急措施。准确性指标考量应急流程、数据的精确程度，例如应急救援路线规划是否准确合理。适用性指标评估预案在实际场景中的可用程度，通过模拟演练检验，观察各部门配合是否顺畅，应急措施是否切实可行。利用量化打分、专家评价、员工反馈等方式，定期对应急预案更新效果进行评估，根据评估结果持续优化，不断提升预案质量，为化工企业安全生产保驾护航。

6 结语

本研究围绕化工企业应急预案智能化生成与动态更新展开系统探索，成功构建多源数据整合框架，运用智能算法实现预案高效生成，并建立动态更新全流程机制。通过融合自然语言处理与机器学习技术，实现知识自动化提取与决策优化；设计科学的触发、更新及评估体系，确保预案随生产环境与法规动态适配，显著提升

化工应急管理的科学性与时效性。然而,研究仍存在优化空间。在复杂化工场景下,算法对多维度风险的动态识别精度有待提高,预案与实际应急业务的深度融合机制尚需完善。未来将聚焦于强化算法对不确定性因素的自适应能力,探索应急预案与数字孪生、物联网等技术的深度结合,推动化工应急管理向智能化、精准化迈进,为行业安全生产提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]宋光雄,陈功,王雷.基于物联网和大数据的化工园区应急管理系统研究[J].工业安全与环保,2023,49(12):106-111.
- [2]杨健,郭智威,李博.化工企业安全生产信息化管理平台设计与实现[J].化工自动化及仪表,2022,49(11):1138-1143.
- [3]孙国友,陈福真,王雪.基于知识图谱的化工事故应急救援决策方法研究[J].中国安全生产科学技术,2021,17(11):144-150.
- [4]高慧,李雪.化工园区智慧应急管理体系建设探讨[J].安全、健康和环境,2021,21(09):44-47.
- [5]徐伟.石油化工事故预案的智能生成与管理方法:C N201710226047.1[P].2017-04-07.