

化工运输风险管理：化工工艺专业下的安全保障机制探究

罗先峰

广东 珠海 519050

DOI:10.61369/ME.2025060020

摘 要： 围绕化工运输风险管理，阐述风险识别评估方法，包括多维度风险分类特征及评估方法。介绍PDCA循环与Bowtie模型应用框架，分析不同运输场景风险控制点。强调实时监控、专项技术、操作规范、制度保障等重要性，构建评估体系，提出数字孪生技术应用及三方协作机制，创新技术－管理双驱动保障机制。

关 键 词： 化工运输；风险管理；安全保障机制

Chemical Transportation Risk Management: An Exploration of Safety Assurance Mechanisms under the Chemical Process Specialty

Luo Xianfeng

Zhuhai, Guangdong 519050

Abstract： Focusing on the risk management of chemical transportation, this paper expounds the methods of risk identification and assessment, including the multi-dimensional risk classification characteristics and assessment methods. Introduce the PDCA cycle and the Bowtie model application framework, and analyze the risk control points in different transportation scenarios. Emphasis on real-time monitoring, special technology, operation specification, system guarantee, such as importance, construct evaluation system, put forward the digital twin technology application and tripartite coordination mechanism, guarantee mechanism innovation technology－management double drive.

Keywords： chemical transportation; risk management; safety assurance mechanism

引言

化工运输风险识别与评估是化工运输风险管理的重要环节，涉及多个维度和复杂因素。近年来，我国发生了一些重大化工运输事故，凸显了加强化工运输风险管理的紧迫性。2021年我国发布的《危险化学品安全专项整治三年行动方案》强调了对危险化学品全生命周期的安全管理，包括运输环节。欧盟REACH法规也为化工运输管理提供了借鉴，其注重风险评估与管理等要素。在此背景下，本研究围绕化工运输风险管理展开，深入探究安全保障机制，构建技术－管理双驱动的保障机制具有重要意义。

一、化工运输风险管理的基本理论

（一）化工运输风险识别与评估理论

化工运输风险识别与评估是化工运输风险管理的重要环节。风险分类特征可从多个维度解析，包括化学品的物理化学性质（如易燃易爆性）、运输方式（如公路、铁路、水路运输的不同风险）以及运输环境（如气候条件影响）等。风险概率与后果评估方法多样，HAZOP通过对化工工艺过程的引导词分析，识别潜在危险^[1]。LOPA则进一步对识别出的危险进行量化分析，确定风险的可接受程度。结合化工工艺专业标准建立量化模型，可综合考虑化学品的特性参数、运输条件以及工艺要求等因素，更准确地评估化工运输风险，为后续的风险管理提供科学依据。

（二）风险管理与安全保障逻辑模型

构建PDCA循环与Bowtie模型在化工运输安全中的应用框架，是实现有效风险管理与安全保障的重要举措。PDCA循环包括计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）和处理（Act）四个阶段，通过不断循环来持续改进运输过程中的风险管理。Bowtie模型则从危害因素、预防措施、控制措施和后果等方面进行分析，清晰地呈现出风险的因果关系^[2]。风险控制与安全保障机制之间存在紧密的耦合关系。有效的风险控制措施是安全保障机制的核心内容，能够降低事故发生的可能性和严重程度。同时，安全保障机制为风险控制提供了制度和技术支持，确保风险控制措施得以有效实施。这种耦合关系有助于提高化工运输的安全性和可靠性。

二、化工运输过程中的风险因素分析

（一）危险化学品运输属性分析

危险化学品的物理化学性质对运输风险有显著影响。易燃性是重要特性之一，易燃的危险化学品在运输过程中，若遇到火源、高温或静电等情况，极易引发火灾甚至爆炸，严重威胁运输安全和周边环境^[3]。腐蚀性也是关键因素，具有腐蚀性的化学品可能会腐蚀运输容器，导致容器泄漏，不仅会损坏运输设备，还可能使化学品泄漏到环境中，造成环境污染和对人员的伤害。此外，化学品的毒性、放射性等性质也会给运输带来不同程度的风险。了解这些货物特性及其对运输风险的影响机制，是有效管理化工运输风险的基础。

（二）多模态运输风险关键控制点

在化工运输过程中，不同运输场景下的风险关键控制点各有特点。公路运输中，车辆的行驶稳定性受路况、驾驶员操作等影响，存储压力需考虑容器的抗压能力及密封性能，环境温度变化可能导致化工品的物理化学性质改变，增加泄漏风险^[4]。铁路运输时，运输速度和轨道状况对风险有影响，存储压力同样与容器相关，极端环境温度可能影响运输设备的安全性。管道运输则更关注管道的材质、压力等级以及沿线的环境温度变化对化工品的影响，管道内的存储压力需严格控制，防止因压力过高导致管道破裂泄漏。综合对比三种运输场景，准确分析各因素对风险传导的定量影响，对化工运输风险管理至关重要。

三、化工运输安全保障机制构建

（一）技术层面的安全保障体系

1. 智能监测预警系统架构

基于物联网的实时监控系统在化工运输安全保障中至关重要。通过集成传感器网络，能够实时获取化工运输过程中的各类关键数据，如温度、压力、湿度等参数^[5]。这些数据是反映运输环境和货物状态的重要指标。同时，结合大数据分析技术，对大量的实时数据进行快速处理和分析，挖掘潜在的风险因素。通过建立相应的风险预警模型，当数据出现异常波动或超出设定阈值时，及时发出预警信号，以便相关人员采取措施进行干预，从而有效避免化工运输事故的发生，确保化工运输的安全。

2. 事故应急防护技术体系

化工运输过程中，泄漏控制和消防联动等专项技术至关重要。针对可能出现的泄漏情况，应开发先进的泄漏检测与控制技术，例如采用高精度传感器实时监测运输容器的压力、温度和物质浓度等参数，一旦发现异常，立即启动自动封堵或引流装置，防止泄漏物扩散^[6]。同时，消防联动技术需综合考虑化工品的特性，制定相应的灭火策略和联动机制。例如，对于易燃液体化工品，应配备泡沫灭火系统，并与运输车辆的紧急制动和报警系统联动，在火灾发生时能迅速响应，降低事故危害。通过这些专项技术方案的开发，形成梯度化应急处置标准，以应对不同程度的化工运输事故。

（二）管理层面的制度保障体系

1. 全流程标准化管理制度

化工运输过程涉及诸多风险，从装载到卸载需制定标准化操作规范。装载环节要明确规定货物的固定方式、装载量限制以及不同化工品的隔离要求等，确保货物在运输过程中稳定且不会发生化学反应^[7]。运输途中需规定车速、路线选择原则以及驾驶员的操作规范，如定时检查货物状态等。卸载环节同样要有详细流程，包括卸货顺序、剩余货物处理等。同时，建立运输资质动态审核机制至关重要。定期对运输企业及人员的资质进行审查，包括运输车辆的安全性能、驾驶员的从业资格和培训记录等。对于不符合要求的企业或人员，及时暂停其运输业务，直至整改合格，从而保障化工运输全流程的安全。

2. 人员培训与责任追溯制度

在化工运输安全保障机制的构建中，管理层面的制度保障体系至关重要。对于人员培训，应构建包含 VR 实训的安全培训体系^[8]。通过 VR 技术，员工能够身临其境地体验化工运输过程中可能出现的各种风险场景，从而更好地掌握应对措施。这种培训方式不仅能提高培训效果，还能增强员工对风险的敏感度。

同时，完善基于区块链技术的责任追溯系统也是关键。区块链的不可篡改和可追溯特性，能够准确记录化工运输过程中的每一个环节和相关责任人。一旦出现问题，可以迅速定位责任主体，提高处理问题的效率，从而保障化工运输的安全。

四、实证分析与机制优化

（一）典型事故案例深度解析

1. 国内重大运输事故复盘

近年我国发生了一些重大化工运输事故，如^[9]中所提及的某起事故。从技术失效角度看，运输车辆的罐体材质可能未达到化工品运输的特殊要求，在长期运输过程中出现腐蚀等情况，导致化工品泄漏。同时，运输过程中的温度、压力等参数监测技术可能不完善，无法及时准确反馈异常情况。从管理漏洞维度分析，部分企业对运输人员的资质审核不严格，一些驾驶员缺乏应对化工品运输突发情况的专业知识和技能。而且在运输路线规划上，可能未充分考虑途经区域的人口密度、环境敏感性等因素，增加了事故发生后的危害程度。

2. 国际先进经验对比研究

欧盟 REACH 法规为化工运输管理提供了一套较为完善的范式。该法规强调了对化学品全生命周期的管理，包括运输环节。其要求对化学品进行严格的分类、标签和包装，以确保运输过程中的安全性^[10]。同时，法规还规定了企业在运输过程中的责任和义务，如提供安全数据表等。从管理体系要素来看，其注重风险评估与管理，要求企业对运输过程中可能出现的风险进行全面评估，并采取相应的措施进行预防和控制。此外，法规还强调了信息的透明度和可追溯性，通过建立相关的数据库和信息系统，实现对化学品运输的全程监控和管理。这些体系要素对于我国化工运输风险管理具有重要的借鉴意义。

（二）安全保障机制实践验证

1. 某化工园区运输系统改造项目

以某化工园区运输系统改造项目为例，应用新型监测技术后风险发生率有显著变化。通过对改造前后运输过程中各项风险数据的收集与分析，发现新型监测技术能够实时精准地监测到运输车辆的运行状态、货物状态以及环境参数等。在未应用该技术前，风险发生率处于较高水平，而应用后，风险发生率大幅降低。这主要得益于新型监测技术能够及时发现潜在风险并发出预警，使得相关人员可以迅速采取措施进行处理。由此验证了在化工工艺专业背景下，针对化工运输安全保障机制所采取的改造措施及应用新型监测技术的有效性，为化工运输风险管理提供了有力的实践支撑。

2. 供应链安全绩效评价模型

建立包含 15 项 KPI 的评估体系，用于化工运输风险管理的安全保障机制实践验证。这些 KPI 涵盖运输过程的各个环节，如运输设备状况、人员资质、应急响应能力等。通过对各项 KPI 的量化评估，实施运输安全星级评定制度。星级评定直观反映运输安全水平，为企业提供明确的改进方向。例如，高星级表明安全保障机制运行良好，低星级则提示需要对特定 KPI 相关环节进行优化。该评价模型有助于化工企业及时发现运输风险，针对性地调整安全保障策略，提升化工运输的整体安全性。

（三）机制持续改进路径设计

1. 风险动态适应机制构建

随着化工行业的发展，化工运输风险备受关注。基于数字孪生技术建立风险演化模拟系统具有重要意义。该系统可精确模拟化工运输过程中的各种复杂工况和潜在风险，通过对大量数据的分析和学习，实现对风险的实时监测和精准预测。在此基础上，系统能够智能迭代防护策略，根据风险的变化动态调整运输过程

中的安全措施，如优化运输路线、调整运输时间、改进包装方式等。同时，该系统还可与实际运输设备和监控系统进行实时交互，确保防护策略的有效实施，从而提高化工运输的安全性和可靠性，为化工工艺专业下的化工运输安全保障机制提供有力支持。

2. 多主体协同治理模式

政府-企业-保险机构三方应构建协作平台以完善化工运输风险共担机制。政府需发挥监管职能，制定严格的化工运输安全标准和法规，督促企业合规运营。同时，为企业提供政策支持 and 引导，促进化工运输行业的健康发展。企业应积极履行主体责任，加强化工运输过程中的安全管理，包括车辆设备维护、人员培训等。保险机构则要依据化工运输风险特点，开发合理的保险产品，为企业提供风险保障。三方通过信息共享、资源整合，形成协同治理模式，共同应对化工运输风险，提高化工运输的安全性，保障化工行业的稳定运行。

五、总结

本研究围绕化工运输风险管理展开，在化工工艺专业背景下深入探究安全保障机制。通过系统研究，构建了技术-管理双驱动的保障机制，这是研究的重要创新点。该机制整合了化工工艺专业技术与风险管理措施，从技术层面确保运输过程中化工产品的稳定性和安全性，从管理层面规范运输流程、加强人员培训与监管。然而，随着化工行业的发展，新型化学品不断涌现，其运输风险具有新的特点和挑战。未来需进一步加强对新型化学品运输风险的研究，不断完善安全保障机制，以适应化工运输行业的发展需求，确保化工运输的安全与稳定。

参考文献

- [1] 张仲浩. W 化工企业业务的内部环境风险管理研究 [D]. 山东大学, 2023.
- [2] 李丹丹. HK 化工公司新产品导入阶段风险管理研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2023.
- [3] 李涛. A 化工企业安全风险评价研究 [D]. 青岛科技大学, 2022.
- [4] 宋思聪. S 市智慧化工园区大数据项目进度与风险管理研究 [D]. 北京化工大学, 2023.
- [5] 曹艳军. 江苏华昌化工大型气化框架工程施工质量风险管理研究 [D]. 兰州交通大学, 2022.
- [6] 赵国良. 探究化工工艺的风险识别和安全评价 [J]. 山西化工, 2022, 42(03): 228-229.
- [7] 汤方位. 探究化工产品进口贸易中的风险管理 [J]. 中国科技投资, 2022, (06): 4-6.
- [8] 王雪峰, 袁珊珊. 化工企业工艺安全管理 (PSM) 探究 [J]. 中国储运, 2021, (10): 151-152.
- [9] 付维. 化工工艺安全风险辨识研究 [J]. 化纤与纺织技术, 2022, 51(10): 90-92.
- [10] 高智祥. 化工企业设备安全风险与隐患管理 [J]. 化工管理, 2023, (35): 106-109.