

基于组合分析法的危化品车辆装卸作业风险辨识与管控研究

孙小梅（中海油气（泰州）石化有限公司，江苏 泰州 225300）

摘要：本研究以某石化装卸车场为研究对象，综合运用作业安全分析（JHA）、安全检查表（SCL）及危险与可操作性分析（HAZOP）等方法，系统性地辨识与评价了危化品车辆装卸作业中的风险。研究共识别出主要风险因素，其中槽车紧急切断装置失灵、装卸口接头脱落、人员操作失误等风险对作业安全威胁显著。基于风险评估结果，从工程技术、管理控制和应急处置三个维度，提出了具有针对性的风险分级管控措施体系。实践应用表明，该体系能有效降低作业风险，为同类企业提供了可借鉴的管理方案。

关键词：危险化学品；装卸作业；风险辨识；JHA；SCL；HAZOP；风险管理

中图分类号：X937 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）034-0142-03

Research on Risk Identification and Control in Hazardous Chemical Vehicle Loading and Unloading Operations Based on the Combined Analysis Method

Sun Xiaomei (CNOOC OIL& GAS (TAIZHOU) PETROCHEMICAL CO ., LTD., Taizhou Jiangsu 225300, China)

Abstract: This study takes a petrochemical loading and unloading yard as the research object, systematically identifying and evaluating risks in hazardous chemical vehicle loading and unloading operations by comprehensively applying methods such as Job Hazard Analysis (JHA), Safety Checklist (SCL), and Hazard and Operability Study (HAZOP). The research identified key risk factors, among which the failure of emergency shut-off devices on tank trucks, detachment of loading/unloading port connections, and operational errors significantly threaten safety. Based on the risk assessment results, a targeted risk classification and control measures system was proposed from three dimensions: engineering technology, management control, and emergency response. Practical application demonstrates that this system effectively reduces operational risks and provides a referenceable management solution for similar enterprises.

Keywords: Hazardous chemicals; Loading and unloading operations; Risk identification; JHA; SCL; HAZOP; Risk management and control

危险化学品具有易燃、易爆、有毒、腐蚀等特性，其生产、储存、运输及装卸等各个环节均存在较高的安全风险。近年来，我国危化品车辆运输巨大，江苏省境内日均通行危险化学品运输车超过3万辆次，装卸作业作为连接储存与运输的关键动态环节，因涉及设备交叉、物料转移、人机交互等复杂因素，已成为事故易发、高发的重点管控区域。

目前，国内外学者在危化品仓储与运输风险领域已取得一定研究成果，但多数研究集中于宏观管理策略或单一风险因素分析，缺乏对装卸作业现场“人-机-料-法-环”全要素的系统性、精细化风险辨识与评估。传统的安全管理模式多依赖于经验判断，缺乏定量与定性相结合的科学分析工具支撑，难以实现风险的前瞻性与精准化管控。

为解决上述问题，本研究以某石化装卸车场为案例，构建JHA-SCL-HAZOP组合风险辨识模型，系统识别作业过程潜在风险并定量评估，最终形成分层、分级的风险管控措施体系，旨在提升装卸作业本质安

全水平，为行业安全管理实践提供参考。

1 风险辨识方法与应用

1.1 研究方法论框架

本研究采用JHA、SCL和HAZOP三种分析方法进行组合应用，形成互补。①作业安全分析（JHA）：侧重于对连续性的人员操作步骤进行分解，辨识每一步骤的潜在危害，适用于装卸流程分析。②安全检查表（SCL）：依据《危险化学品安全管理条例》《固定式压力容器安全技术监察规程》、《道路运输液体危险货物罐式车辆》等法规标准，对静态设备设施安全状态逐项检查并判定风险。③危险与可操作性分析（HAZOP）：通过引导词对装卸工艺流程参数进行系统性偏差分析，探究其可能原因及后果，适用于复杂工艺系统。

1.2 研究对象概况

本研究对象为某石化汽车装卸车场。该车场承担液化石油气、汽油、柴油、MTBE、丙烷、丙烯等物料的装车外运，日均装车量约60车次。主要设备包

括下装式装车栈台 2 个, 液下装车臂 25 套, 以及相应的机泵、压缩机和计量系统, 符合《移动式压力容器充装站安全技术条件》等规范要求。

1.3 风险评价标准

采用“风险矩阵法”进行评价, 从事故发生的可能性 (L) 和后果的严重性 (S) 两个维度, 将风险等级划分为重大、较大、一般和低风险四个级别。①可能性 (L): 按防护措施有效性、历史事故记录等划分为 5 级 (1 级: 极不可能发生; 5 级: 正常情况下经常发生); ②后果严重性 (S): 结合人员伤亡、经济损失、法规符合性等划分为 5 级 (1 级: 无伤亡无损失; 5 级: 死亡、100 万元以上损失及重大社会影响); ③风险等级: 通过风险值 ($R=L \times S$) 确定为重大 ($R=20-25$)、较大 ($R=15-16$)、一般 ($R=9-12$)、低风险 ($R=1-8$) 四级, 对应公司级、部门级、班组级、岗位级管控要求。

2 风险辨识与评价结果分析

2.1 设备设施风险分析 (基于 SCL)

通过安全检查表 (SCL), 针对装卸作业关键的压力槽车、装卸臂接口、静电导出装置三类设备开展安全核查, 核心风险及管控方案分析如下:

2.1.1 压力槽车风险

风险核心聚焦于槽车罐体腐蚀、紧急切断阀失灵、安全阀失效等。罐体腐蚀会导则物料泄漏, 紧急切断阀失灵会导致物料泄漏后无法快速切断输送, 安全阀失效则在槽车超压时无法自动泄压, 三类隐患叠加后, 结合液化石油气、丙烯等物料的易燃易爆特性, 极易诱发火灾、爆炸事故。

①防控措施: 槽车入场前严格执行“五必查”制度, 安全附件每年需经第三方校验并留存报告, 同时装卸台额外配置备用紧急切断阀形成双重保障。

②风险评估结果为: 发生可能性 3 级 (槽车流动使用易致附件损耗)、后果严重性 5 级 (可造成死亡或 100 万元以上损失), 风险值 15, 判定为较大风险, 由公司级统筹管控, 每月开展专项隐患排查。

2.1.2 装卸臂接口风险

风险核心为接头卡扣损坏与密封圈老化。卡扣损坏可能引发装卸过程中接口脱落, 密封圈老化则易导致物料渗漏, 渗漏的易燃物料遇静电、明火等点火源, 将引发爆炸、火灾。①防控措施包括: 装卸前由充装员与押运员双人确认接口状态并签字, 每周对接口进行维护保养, 及时更换老化密封圈。②风险评估显示: 可能性 3 级 (接口高频使用易磨损)、严重性 5 级 (泄漏致重大安全事故), 风险值 15, 属较大风险, 纳入公司级管控, 每季度开展接口可靠性测试。

2.1.3 静电导出装置风险

风险核心为接地夹接触不良、释放器故障等, 会导致静电无法有效导出而聚集, 当静电电压达到物料点火能量时, 将引燃泄漏物料。①防控措施为: 接地夹与充装系统联锁, 接地电阻 $> 100 \Omega$ 时报警, 并联锁切断充装控制阀; 每日作业前检查人体静电释放柱, 每月测试装车臂静电释放器电阻 (要求 $\leq 10 \Omega$); 作业人员需穿戴防静电服、鞋。②风险评估为: 可能性 2 级 (定期维护可降低故障概率)、严重性 5 级 (静电引燃致爆炸伤亡), 风险值 10, 判定为一般风险, 由车间级管控, 每日检查设备完好性。

综上, 设备风险集中于安全附件可靠性与动态连接稳定性, 需通过“联锁控制 + 定期维护 + 作业确认”三重措施防控, 并按风险等级落实分级管控责任。

2.2 工艺流程风险分析 (基于 HAZOP)

以液化烃装车流程为分析对象 (流程含装车泵、定量批控系统、气相平衡线、充装鹤管等), 核心风险为工艺参数失控, 具体分析如下:

2.2.1 超装风险

定量装车系统故障 (如传感器失灵) 或人为设定偏差 (如未按槽车容积设定充装量), 可能导致槽车超装泄漏; 液化烃泄漏后易形成爆炸性混合物, 后果严重性达 $S=5$ 级 (死亡、100 万元以上损失), 结合发生可能性 $L=3$ (防护措施到位但存在人员误操作概率), 综合风险等级为较大风险 ($R=15$)。防控措施: ①常压槽车设置溢流报警及自动切断装置, 压力槽车配备安全阀 + 压力超限切断阀; ②充装前核查槽车容积证书与充装量, 避免超容积充装; ③定量批控系统定期校验 (每月 1 次), 确保精度符合 $\pm 0.2\%$ 要求。

2.2.2 超压风险

气相平衡线堵塞 (如管线杂质堆积、阀门误关闭) 导致槽车压力超标, 可能引发罐体破裂; 后果严重性 $S=5$ (死亡、100 万元以上损失), 发生可能性 $L=2$ (定期维护但存在偶发堵塞概率), 综合风险等级为一般风险 ($R=10$)。防控措施: ①增设槽车压力报警及自动切断装置 (报警值设定为设计压力的 80%); ②气相平衡线每季度进行氮气吹扫清理, 每年进行压力测试; ③充装前检查平衡线阀门开启状态, 避免误关导致超压。

2.2.3 错装风险

鹤位标识不清或操作失误 (如未核对运单) 导致物料错装, 可能引发化学反应 (如不同液化烃混合导致聚合放热); 后果严重性 $S=4$ (设备损坏、50-100 万元损失), 发生可能性 $L=2$ (联锁装置到位但存在人为解除概率), 综合风险等级为一般风险 ($R=8$)。防控措施: ①实现“鹤位 - 物料”联锁控制 (鹤位与

物料不匹配时无法启动充装) ; ②充装前双人核对运单、槽车适装介质、鹤位标识, 留存确认记录; ③鹤位设置统一标识(含物料名称、CAS号、危险性图标), 避免标识混淆。

2.3 操作过程风险分析(基于JHA)

对槽车入场检查、鹤管对接、装车启动、人员监护、等关键操作步骤的分析显示, 人为因素是风险动态演变的核心: ①接口未卡紧: 鹤管对接后未确认卡扣到位, 固有风险值达20(重大风险), 通过“自封式接头+操作确认表”干预后, 剩余风险值降至10(一般风险); ②流速控制不当: 装车初始流速超1m/s易产生静电, 固有风险值20(重大风险), 通过“流速联锁控制+人员培训”干预后, 剩余风险值降至10(一般风险); ③监护离岗: 装车过程中操作人员离岗, 固有风险值20(重大风险), 通过“视频监控+巡检打卡”干预后, 剩余风险值降至10(一般风险)。

3 风险管控体系构建与实施效果

3.1 工程技术措施

①本质安全化: 推广“静电消除-溢流检测-定量控制”三联锁装车系统, 实现操作步骤自动确认; 采用自封式快速接头、万向装卸管道及拉断阀等本质安全设施; 液体装卸全面改为下装方式, 控制初始流速≤1m/s, 正常流速≤4.5m/s, 减少静电产生; ②自动化防控: 在装卸区10m外管道增设远程紧急切断阀, 支持DCS系统与现场手动双重控制, 配备定量装车系统, 精度达±0.2%, 避免超装; ③监测预警: 装卸区全覆盖可燃气体报警仪(检测范围0-100%LEL)及全方位高清摄像头, 报警信号联动声光提示与应急切断。

3.2 管理控制措施

①准入管控: 严格执行槽车“五必查”制度(车辆行驶证和营运证、驾驶人和押运员资质、车辆罐体检验合格证、充装物料是否与运单一致、物料是否与车辆适装介质一致、危险废物的单证报告), 不符合要求车辆禁止入场; 采用装车排队系统, 控制现场车辆进出; ②培训授权: 实施“持证上岗”制度, 员工需通过安全技能考核取得《移动式压力容器充装证》及公司内部上岗证, 每月开展不少于2次专项培训(含案例分析、实操考核); ③过程监督: 装卸作业全程视频记录, 管理人员每2h巡检1次; 使用装卸管理小程序, 实现“装车前检查-过程参数记录-装车后确认”全流程数字化留痕。

3.3 应急处置措施

①预案与演练: 针对液化烃泄漏、火灾等场景制定专项现场处置方案, 明确“报警-切断-疏散-灭火”处置流程; 每月开展班组级桌面演练, 每季度开

展部门级实战演练(含物料泄漏模拟、消防器材使用); 不定期开展无预警应急演练。②装备保障现场配备: 泡沫消防栓(保护半径≤15m)、超细干粉灭火器、消防蒸汽幕; 为作业人员配备正压式空气呼吸器(续航≥30min)、防化服、便携式可燃气体检测仪, 每月校验确保完好。

3.4 实施效果

通过实施上述管控体系, 装卸车场在2024年实现安全装车20000辆, 并实现: 隐患自查自改率提升10%, 未出现重大隐患逾期整改情况; 装卸过程各类违章行为同比下降10%; 未发生因设备故障或操作失误导致的物料泄漏及以上等级安全事故。

4 结论

本研究将JHA、SCL和HAZOP组合分析方法应用于危化品车辆装卸作业的风险管理中, 形成了一套系统化、结构化的风险辨识与管控流程。实践表明, 该方法能够, 该流程可有效解决传统管理中“风险辨识不全面、管控措施针对性弱”的问题, 实现从“经验管控”到“科学管控”的转变。研究的局限性在于其基于单一案例, 未来可将该方法论在不同规模、不同工艺类型的危化品企业中进行应用验证, 以进一步优化其普适性。总之, 该研究为提升危化品装卸作业的安全管理水平提供了一条科学、有效的路径。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院. 危险化学品安全管理条例 [Z]. 国务院令第591号, 2011.
- [2] 应急管理部. 危险化学品企业安全风险隐患排查治理导则 [Z]. 应急管理部令第78号, 2019.
- [3] 江苏省安全生产监督管理局. 江苏省化工(危险化学品)企业安全风险评估和分级办法 [Z]. 苏安监〔2017〕77号, 2017.
- [4] 江苏省应急管理厅. 江苏省化工企业安全风险分区分级指南(试行) [Z]. 苏应急〔2019〕105号, 2019.
- [5] 中国化学品安全协会. 危险与可操作性分析(HAZOP)应用指南 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- [6] TSG 21-2016. 固定式压力容器安全技术监察规程 [S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2016.
- [7] GB 18564-2019. 道路运输液体危险货物罐式车辆 [S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会, 2019.
- [8] TSG R4002-2011. 移动式压力容器充装许可规则 [S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2011.
- [9] TSG 07-2019. 特种设备生产和重装单位许可规则 [S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2019.