

# 危化品装车系统事故后果模拟分析与本质安全化提升

熊浩 韩军 (武汉科技大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430081)

方群伟 (中韩(武汉)石油化工有限公司, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 应用过程安全定量风险评估方法和科学的自动化控制手段, 提升危化品装卸站本质安全设计, 实现过程安全管控, 可有效降低危化品装车系统的泄漏爆炸风险, 保障人员财产的安全。

**关键词:** 危化品装车系统; 批控器; 过程安全定量风险评估; 本质安全

## 1 基本情况

危化品装卸环节泄漏遇点火源爆炸问题多发, 给企业造成巨大的人员伤亡和财产损失。山东临沂金誉石化公司“6·5”火灾爆炸, 10人死亡, 9人受伤; 河北省张家口盛华化工公司“11·28”爆燃事故, 24人死亡, 21人受伤; 山东东营中通运输公司“1·15”燃爆事故, 3人死亡等, 伤亡事故屡见不鲜。从国家到地方先后出台了多项法规和文件, 对危化品运输安全管理提出明确要求, 监管越来越严。2020年2月26日中办、国办印发了《关于全面加强危险化学品安全生产工作的意见》, 要求加强涉及危险化学品的停车场安全管理, 纳入信息化监管平台, 强化托运、承运、装卸、车辆运行等危险货物运输全链条安全监管; 国务院安委会《全国安全生产专项整治三年行动计划》中, 也明确提出了强化托运、承运、装卸、车辆运行等危险货物运输全链条安全监管的要求。提升危化品装卸站本质安全设计, 完成风险评估和过程安全管控措施亟待决策和落实。

## 2 某化工企业危化品液体装车站现状及存在风险

本文以某化工企业危化品液体装车站现有批量装车系统为背景, 装置布置图如图1, 模拟物质选取介质正丁烷, 探讨符合法规和规范要求的智能化改造方案。

### 2.1 装车介质及环境因素



图1 某化工企业危化品液体装车站示意图

设备: 液化烃罐车; 油品种类: 正丁烷( $C_4$ );

压力: 27.2BAR; 温度: 40℃(室外温度: 20℃); 泄漏孔径: 50mm; 现有联锁设置: 静电接地、溢油联锁; 现有安全措施: 可燃/有毒气体报警器、消防喷淋; 年平均风速: 1.9m/s(最大风速平均值: 11.9m/s)。

### 2.2 存在风险

通过对装卸设施的调查情况, 各装卸栈台建设符合国家规范标准, 液态烃装车采用了万向管道充装系统, 实现了定量装车, 配备了视频监控设施, 设置可燃/有毒气体探测器报警, 但是, 目前装卸作业控制联锁未开展量化评估, 设计未达到本质安全的要求。经过系统评估及分析, 危化品装车区域风险主要体现在如下几个方面:

#### 2.2.1 区域风险

该危化品液体装车区域西侧围墙外为货运车辆进出厂必经的主干道, 且主干道位于装卸场最大频率风向(东北风)下风侧, 装卸的危化品(尤其是液态烃)一旦泄漏, 极易扩散至西侧道路, 经行驶车辆引燃, 引发重大火灾爆炸风险。

#### 2.2.2 本质安全程度不高

##### 2.2.2.1 紧急切断可靠性低, 无法满足安全风险防控要求

主要表现为: 紧急切断阀门没有联锁动作条件, 需人工画面点击操作; 现场无紧急切断操作柱按钮, 异常情况不能快速启动紧急切断系统; 即使阀门及时人工关闭, 由于管道长, 管道内存量液化烃较多, 在自身压力下泄放, 短时间内即可形成爆炸性蒸气云团, 极易发生爆炸事故。

##### 2.2.2.2 人员集中建筑物未采用抗爆设计

装卸栈台车辆聚集, 危化品尤其是液态烃泄漏后在这些阻塞区域积聚, 可成为蒸汽云爆炸(VCE)的爆炸源, 但装卸场临近人员密集场所及建筑物未采用抗爆设计。泄漏的VCE爆炸源遇点火源后发生蒸气云爆炸, 将发生临建建筑物内人员群死群伤

事故。

### 2.2.2.3 智能化水平低，现场人员众多

现有装车系统虽然都能实现定量装车，也有规范要求的切断设施及必要的联锁，如静电接地状态与防溢流的联锁，但总体智能化装车水平低，需人工操作并现场监护。

### 2.2.2.4 液化烃快速接头有脱开风险

现有液化烃装车快速接头与金誉石化“6·5事故”为同类型的液化烃装卸快速接头，不能实现脱开自密封，一旦发生脱开事故，势必造成重大泄漏。由于该接头的结构缺陷，末端短节内液化烃不能安全排放，只能就地排放，且每装一辆车就要就地排放一次。

### 2.2.3 其他风险

液化气装车气相返回实际未投用（控制阀门关闭），不能及时有效保护槽车；现场视频监控没有做到全覆盖，只能看到槽车，装卸接头及动作阀门的位置监控不到位。

### 2.2.4 引发事故扩大风险

由于装车站北面和南面毗邻液体产品罐区，包括丁二烯及剩余 C<sub>4</sub> 罐组、C<sub>5</sub> 罐组、乙二醇罐组、MTBE 及苯类罐组、裂解燃料油罐组等，一旦液化烃装车系统泄漏引发爆炸，爆炸冲击波可损坏临近罐区及设施，引发多米诺效应，扩大事故后果。

## 3 整体解决方案

为了提升该化工企业危化品液体装车站区域的本质安全，强化危化品装卸区的安全监管，切实降低危化品装车区域风险，结合近期国家、地方和中国石化的有关规定，从区域安全风险管控、本质安全化提升两个方面，提出安全过程控制解决方案<sup>[1]</sup>。

### 3.1 区域安全风险管控

对模拟工况下的泄漏扩散事故进行后果分析和预测。本文拟应用 DNV 公司开发的事故后果模拟分析软件 PHAST（Process Hazard Analysis Software Tool），根据工艺设备、气象条件、平面布置等参数，定量模拟和计算由油气所产生的安全泄漏事故发生的后果，通过计算火灾热辐射、爆炸超压、毒性浓度这三个后果因素，可以与时间和距离自由组合，最终预测出泄漏多少时间时某个指定位置的热辐射、爆炸超压和毒性浓度；或者距离泄漏点指定距离的最大热辐射、超压和毒性浓度。采用过程定量风险评估的方法，确定最大可信事故场景，即最严重事故和最大可信事故的影响范围，测算外部安全防护距离，绘制个人风险和社会风险 FN 曲线。将计算

出来的风险等高线与《危险化学品生产装置和储存设施风险基准》GB36894-2018 中的一类、二类、三类和高敏感防护目标的要求进行比对，提出敏感性分析及消减措施；同时根据中国石化风险矩阵确定企业最终的风险等级。

#### 3.1.1 扩散结果

事故形态下物料泄漏扩散范围模拟计算见表 1、图 2。

表 1 物料泄漏扩散范围模拟计算结果

| 路径          | 事故场景                     | 天气         | 至 UFL 的距离 [m] | 至 LFL 的距离 [m] | 至 LFL 百分率的距离 [m] |
|-------------|--------------------------|------------|---------------|---------------|------------------|
| 装车场 \ 液态烃罐车 | 泄漏                       | 1.9/F 天气类型 | n/a           | 171.042       | 298.908          |
| 备注          | UFL: 着火浓度上限; LFL: 着火浓度下限 |            |               |               |                  |

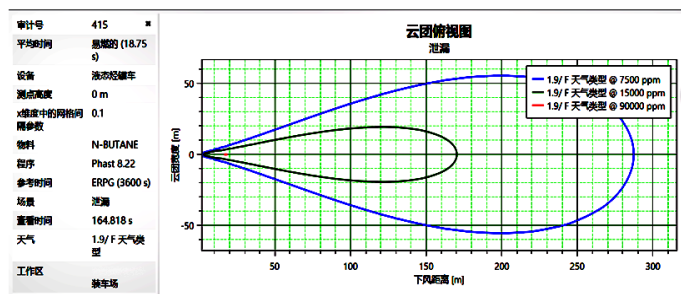


图 2 物料泄漏扩散范围示意图

#### 3.1.2 喷射火结果

表 2 喷射火的热辐射模拟计算结果

| 路径          | 场景                                                                                            | 天气         | 火焰长度 [m] | 至强度水平 1 的下风距离 [m] | 至强度水平 2 的下风距离 [m] | 至强度水平 3 的下风距离 [m] |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 装车场 \ 液态烃罐车 | 泄漏                                                                                            | 1.9/F 天气类型 | 85.7086  | 178.199           | 135.484           | 108.979           |
| 备注          | 入射通量，强度水平 1: 4kW/m <sup>2</sup> ；强度水平 1: 12.5kW/m <sup>2</sup> ；强度水平 1: 37.5kW/m <sup>2</sup> |            |          |                   |                   |                   |

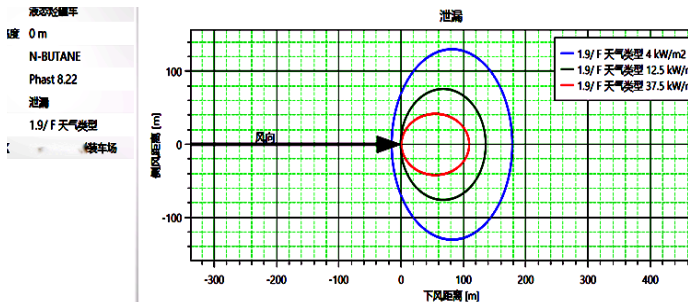


图 3 喷射火的热辐射影响范围示意图

事故形态下物料泄漏后发生喷射火的热辐射影响范围见表 2、图 3。

#### 3.1.3 超压爆炸结果

表 3 超压爆炸危害区域模拟计算结果

| 路径          | 场景 | 天气         | 超压水平 [bar] | 最大距离 [m] | 直径 [m]  |
|-------------|----|------------|------------|----------|---------|
| 装车场 \ 液态烃罐车 | 泄漏 | 1.9/F 天气类型 | 0.02068    | 685.114  | 810.229 |

|  |  |  |        |         |         |
|--|--|--|--------|---------|---------|
|  |  |  | 0.1379 | 360.506 | 141.012 |
|  |  |  | 0.2068 | 342.863 | 105.726 |

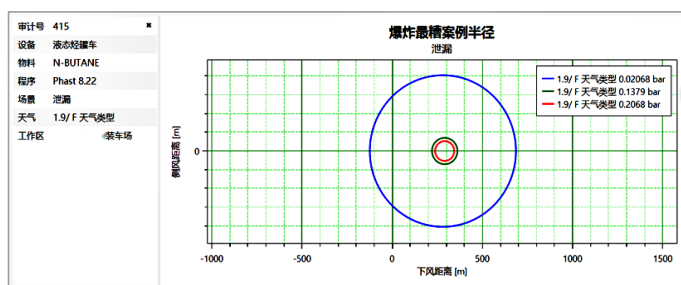


图4 爆炸最糟案例半径示意图

事故形态下物料泄漏后发生超压爆炸影响范围见表3、图4。

### 3.1.4 模拟结果分析

①在给定的事故条件下，泄漏扩散范围超出装置界区，能影响到打单室及邻近装置的安全生产；②从喷射火热辐射事故后果模拟看出：在给定的事故条件下，物质泄漏发生闪火的热辐射对设备和人体造成的危害范围波较远，有可能影响到打单室及邻近装置的安全生产；③从爆炸冲击波超压事故后果模拟看出：在给定的事故条件下，爆炸冲击波0.2bar压力均超过100m，对设备、建筑物等造成破坏以及伤害人体的危害区域的影响范围波及邻近装置；④本模拟结果仅供企业参考，企业应根据物料火灾、爆炸的危险特性，物质泄漏后浓度分布情况、火灾类型热辐射影响范围、爆炸冲击波影响范围，并结合企业自身实际情况，做好事故预防、处理以及各种事故应急救援预案工作。

## 3.2 本质安全化提升

### 3.2.1 装卸智能化改造

对液化烃、可燃液体装车鹤管进行装车控制系统改造，增加人体静电释放、可燃气体泄漏、油气回收（气相管线）、鹤管归位、鹤管连接、钥匙归位与定量装车系统的联锁；①人体静电释放联锁：操作人员装车前必须接触人体静电释放报警器，检测信号接入批控仪，如果未接触，装车批控仪无法启动装车；②车钥匙管理器联锁：装车前把罐车钥匙插到一个钥匙控制盒，管理器能判断钥匙是否插入槽位，并把信号传至装车批控仪，如果未插入槽位，无法启动装车；③鹤管归位联锁：顶部装车和底部装车鹤管归位器能够自动判断鹤管的归位状态，并把检测到的状态信号输出到装车批控仪，归位不到位发生声光报警；④液化烃装车鹤管连接检测联锁：当罐车连接时，能判断连接是否异常，并把异常信号接入批控仪，由批控仪根据信号状态确

定是否停止装车；⑤底部装车气相管线流量检测器联锁：检测到无流量或出现液体时，报警信号输出到装车批控仪，与阀门联锁，停止装车；⑥可燃/有毒气体报警联锁：当装车现场可燃有毒气体报警器至少有2个同时报警时，报警信号输出至批控仪，与装车阀门联锁，停止装车，同时联锁关闭紧急切断阀。

### 3.2.2 设置紧急切断功能

①增设界区紧急切断阀控制按钮，应位于人员易于安全接近位置；②增加液化烃装车系统过流切断功能，一旦超过管道设计流量，应立即切断，停止装车，避免装车栈台侧大型泄漏；③优化现有紧急切断系统联锁条件，应包含3.2.2增设联锁信号。

### 3.2.3 液化烃装车接头改造

对现有液化烃装车接头进行改造，采用脱开自密封快速接头（干断接头）。

### 3.2.4 优化车辆预约系统

通过优化车辆预约系统减少道路停放车辆及装车场现场人员暴露数量，降低事故发生的后果及风险等级。

### 3.2.5 周边人员密集场所及建筑物抗爆治理

依据《中国石化既有建筑物抗爆治理指导意见》（试行）（集团工单安风[2020]41号）等规范和导则，通过建筑物爆炸风险评估，确定建筑物遭受的爆炸冲击波参数，并结合建筑物的结构形式，确定最终的抗爆治理方案。

## 4 结论

如能切实落实该整体解决方案各项措施，各项硬件设施满足相关规范及方案要求，加强对检测、联锁仪表的维护保养，能确保各项检测仪表灵敏好用，确保各安全设施的可靠性，同时加强进场司乘人员、操作工及相关单位人员的管理及培训（含应急），强化现场应急管理，提高员工及承运商、司乘人员的应急处置能力，可有效降低危化品装车系统的泄漏爆炸风险，保障人员财产的安全。

### 参考文献：

- [1] 路亚彬, 张新晓, 马良俊, 等. 危险化学品装卸运输一体化安全风险预警平台设计与研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(05): 179-184.

### 作者简介：

熊浩（1986-），男，汉族，湖北安陆人，工程师，2009年毕业于武汉科技大学自动化专业，就职于中韩（武汉）石油化工有限公司设备工程部，研究方向：仪表技术管理。