

# Safeti 软件在油气存储设施的多米诺效应分析中的应用

刘小汇 杨代玢 蒋 依 (湖南安全生产科学研究所有限公司, 湖南 长沙 410007)

**摘 要:** 油气存储设施具有库容量大, 单罐容积大, 储存物料易燃易爆等特点。特别是在靠近油田、气田等源头区域油气存储设施, 布局相对集中, 一旦一个油气存储设施的危险源发生生产安全事故时可能会引起其他相邻油气存储设施的危险源也相继发生安全事故, 引发多米诺效应。本文采用挪威船级社 (DNV) 的 safeti 软件对油气存储设施进行多米诺效应定量模拟计算, 得出基于可信事故方法和基于风险的方法 2 种不同方式的多米诺效应影响半径, 对比多米诺效应定量模拟计算的输入条件、计算结果, 提出避免油气存储设施多米诺效应的建议措施。

**关键词:** safeti 软件; 多米诺效应分析; 油气存储设施

## 0 前言

自“8.12”瑞海公司特别重大火灾爆炸事故、“3.21”天嘉宜化工爆炸事故等重特大生产安全事故相继发生后, 为遏制重特大事故的发生, 应急管理部分别于 2019 年、2023 年先后印发了《化工园区安全风险排查治理导则 (试行)》(应急〔2019〕78 号)、《化工园区安全风险排查治理导则》(应急〔2023〕123 号) 等文件, 要求危险化学品建设项目在安全评价报告中对其与周边企业的相互影响进行多米诺效应分析, 优化项目平面布局, 降低区域安全风险, 避免多米诺效应。

油气存储设施具有库容量大, 单罐容积大, 储存物料易燃易爆等特点。特别是在靠近油田、气田等源头区域油气存储设施, 布局相对集中, 一旦一个油气存储设施发生生产安全事故时可能会引起其他相邻油气存储设施的危险源也相继发生安全事故, 引发多米诺效应。因此, 在油气存储设施建设项目安全评价阶段对其与周边企业的相互影响进行多米诺效应分析, 既是国家法律法规等政策要求, 也是油气存储设施建设项目及其所在化工园区或集中区实现本质安全的重要措施。

采用挪威船级社 (DNV) 的 safeti 软件对油气存储设施建设项目的高风险装置、设施进行定量风险模拟计算进行多米诺效应分析, 通过减轻事故后果、降低事故频率、优化危险化学品建设项目平面布局等措施, 降低区域安全风险, 避免多米诺效应。

## 1 多米诺效应模拟软件介绍

本次应用的软件是挪威船级社 (DNL) 的 safeti 软件, 该软件是目前全世界市场化应用最广泛的定量评价软件, 被国内外超过 1000 多家企业使用, 其中中国

内用户数已超过 80 多家。该软件是国家安全生产监督管理局总局认可的定量评价软件之一, 作为一种被推荐的定量评价方法列入在 2003 年版《安全预评价导则》附录 B 中。

## 2 多米诺效应分析

选取位于化工园区的某油库建设项目为例, 该项目位于化工园区的油库集中布置区域, 其东侧、南侧均为已建油库, 北侧、西侧为工贸企业, 存在大量大容积的成品油储罐, 存在发生火灾爆炸事故引起多米诺效应的可能。通过辨识某油库建设项目及其周边企业的危险源、事故场景, 采用 safeti8.61 版软件进行事故后果和风险模拟, 得到某油库建设项目及其周边企业相互之间的多米诺效应影响, 最终根据多米诺效应影响有针对性的提出避免多米诺效应的相关安全技术措施。

### 2.1 多米诺效应影响临界值

多米诺效应影响的主要形式有三种:

- ①火灾发生时的热辐射效应;
- ②爆炸的冲击波;
- ③爆炸抛射物。

能够触发多米诺效应的重大事故具体形式主要为: 火灾 (池火、喷射火)、爆炸 (早期点火爆炸、晚期点火爆炸)。其中池火和喷射火的多米诺效应主要是热辐射作用的结果; 爆炸引起的多米诺效应是冲击波超压和爆炸碎片共同作用的结果。

多米诺效应的发生必须具备以下三个条件:

- ①事故所形成破坏效应的范围之内存在敏感装置;
- ②破坏效应的强度足够大以致装置失效;
- ③破坏的发生存在极大的可能性。

根据多米诺效应的发生条件之一“破坏效应的强度必须能够导致装置失效”，一般利用临界值标准确定。如果事故带来的影响小于给定临界值时，则认为不会发生多米诺效应。如果事故带来的影响大于给定的临界值时，则认为可能会发生事故多米诺效应。

根据《危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法》（GB/T37243-2019）中的热辐射通量对设备的伤害准则（附录 G 表 G.2）和超压对建筑物的影响准则（附录 G 表 G.3）选取多米诺效应外部防护目标后果影响临界值，具体为：火灾（喷射火、池火、火球等）的热辐射通量临界值为  $37.5\text{ kW/m}^2$ （操作设备损坏），爆炸的超压临界值为  $20.7\text{ kPa}$ （钢结构建筑变形并离开基础、自成构架的钢面板建筑破坏、油储罐破裂等）。

参考《石油化工过程风险定量分析标准》（报批稿）附录 M 中表 M-1，对于各类爆炸冲击波影响，可采用可信事故方法或基于风险的方法评估多米诺影响。采用基于风险的方法时累计频率可取  $10^{-4}$  次/年。

## 2.2 多米诺效应模拟分析条件输入

### 2.2.1 危险源及泄漏场景辨识

对某油库建设项目与周边企业的危险源及泄漏场景分别进行辨识，具体如下：

#### 2.2.1.1 某油库建设项目危险源及泄漏场景辨识

某油库建设项目内部分布有油罐区及泵区、汽车装卸罩棚、综合楼、公用工程等单体，其中涉及易燃易爆物质、可能发生火灾爆炸事故的场所为油罐区及泵区、汽车装卸罩棚。因此，某油库建设项目危险源为油罐区及泵区、汽车装卸罩棚。

油罐区及泵区涉及  $3000\text{ m}^3$  汽油罐 7 台、 $3000\text{ m}^3$  柴油罐 3 台、 $2000\text{ m}^3$  汽油罐 2 台，均常温常压储存。汽车装卸罩棚涉及汽油装车鹤位 9 个、柴油装车鹤位 3 个，汽油、柴油混合卸车鹤位 2 个，鹤管管径均为 DN100，操作条件为常温、 $0.4\text{ MPa}$ ，年装卸时长约 866h；另外考虑装卸过程中各鹤位停放 1 台  $50\text{ m}^3$  容积常温常压操作的汽车槽车。

依据《危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法》（GB/T37243-2019）第 6.4 节中介绍的方法，进行油罐区及泵区、汽车装卸罩棚的泄漏场景进行辨识。

油罐区各储罐的泄漏场景选择完全破裂、大孔泄漏（100mm）、中孔泄漏（25mm）、小孔泄漏（5mm）四种场景。按 GB/T37243-2019 附录 C：各储罐完全

破裂的泄漏频率为  $2 \times 10^{-5}$  次/年、大孔泄漏的泄漏频率为  $1 \times 10^{-5}$  次/年、中孔泄漏的泄漏频率为  $1 \times 10^{-4}$  次/年、小孔泄漏的泄漏频率为  $4 \times 10^{-5}$  次/年。

汽车装卸罩棚各鹤管的泄漏场景选择鹤管完全破裂（DN100）、中孔泄漏（25mm）两种场景，汽车槽车泄漏场景选择 100mm 孔泄漏、槽车破裂两种场景。按 GB/T37243-2019 附录 C：各鹤管完全破裂的泄漏频率为  $866 \times 3 \times 10^{-7} = 2.6 \times 10^{-4}$  次/年、中孔泄漏的泄漏频率为  $866 \times 3 \times 10^{-8} = 2.6 \times 10^{-5}$  次/年；汽车槽车 100mm 孔泄漏的泄漏频率为  $5 \times 10^{-7}$  次/年、槽车破裂的泄漏频率为  $1 \times 10^{-5}$  次/年。

### 2.2.1.2 相邻已建油库危险源及泄漏场景辨识

某油库建设项目东侧已建油库危险源包含  $5000\text{ m}^3$  汽油罐 5 台、 $3000\text{ m}^3$  汽油罐 9 台、 $2000\text{ m}^3$  汽油罐 2 台、 $1500\text{ m}^3$  汽油罐 4 台、 $5000\text{ m}^3$  柴油罐 5 台、 $3000\text{ m}^3$  柴油罐 1 台；南侧已建油库危险源包含  $30000\text{ m}^3$  汽油罐 4 台、 $5000\text{ m}^3$  汽油罐 4 台； $30000\text{ m}^3$  柴油罐 8 台、 $10000\text{ m}^3$  柴油罐 2 台。储油罐均常温常压储存，事故场景及泄漏频率与某油库建设项目相同。

### 2.2.2 多米诺效应模拟

按以下步骤输入多米诺效应模拟相关参数：

①在 safeti8.61 版软件中插入某油库建设项目及其周边企业的地图，设置卫星地图的比例尺和原点；

②输入项目所在地区的天气参数（如风速、大气稳定度、风频等）；

③在 Models 模块中按照危险源及泄漏场景辨识结果输入某油库建设项目及其相邻已建油库中各危险源的“设备、物质、温度、压力、事故场景、围堰面积、泄漏频率”等参数；在 Map 模块中输入蒸汽云爆炸的受阻空间，在 risk 模块中按 GB/T37243-2019 附录表 F.5 输入项目内外部的工业企业、运输道路、输电线路、人口等点火源信息；

④在 effect 模块中输入各类火灾事故多米诺效应临界值（ $37.5\text{ kW/m}^2$ ）、爆炸事故多米诺效应临界值（ $20.7\text{ kPa}$ ）；运行软件，得到多米诺效应影响的图形结果。

## 2.3 多米诺效应结果分析

根据上述 Safeti8.61 版软件模拟结果，某油库建设项目及其周边企业的相互影响多米诺效应计算结果具体如图 1-图 2。

由图可知，基于可信事故方法进行计算，某油库建设项目及其周边企业在发生池火灾事故时可造成多



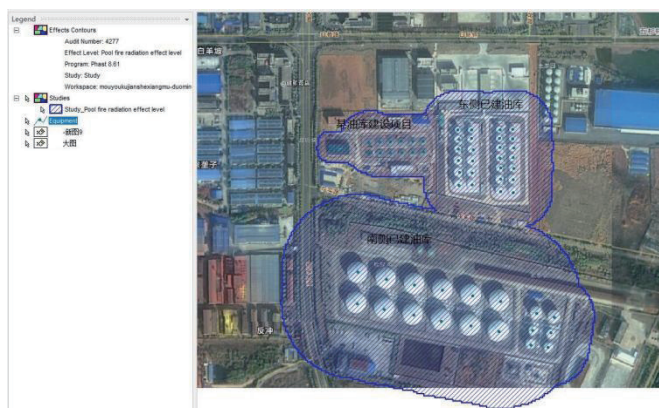


图 1 基于可信事故方法某油库建设项目的多米诺效应影响范围图

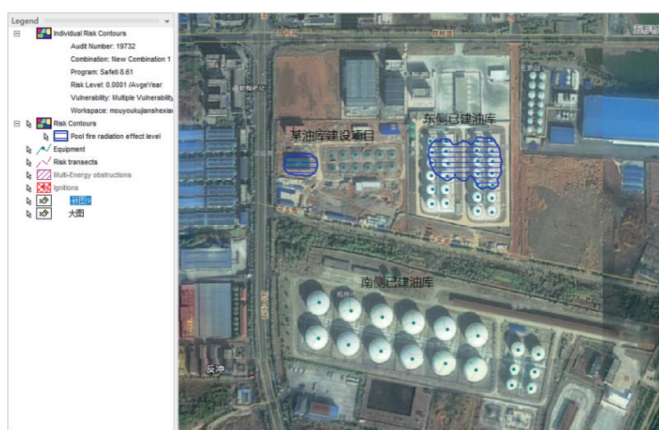


图 2 基于风险方法某油库建设项目的多米诺效应影响范围图  
米诺效应；而基于风险的方法计算某油库建设项目及其周边企业不会发生多米诺效应。

综合对比可知，基于可信事故方法的多米诺效应影响范围较基于风险方法的更为严重。但考虑到油气存储设施一般设置有集散控制系统或安全仪表系统，油气储运设备设施定期检测检验、维护管理，可燃气体检测报警系统预警、人员巡检能及时发现泄漏情况，及时消除事故隐患；设置有消防水系统、灭火器材、火灾自动报警系统等消防设施能减小事故影响范围。从采取相应措施后的事故实际后果、实际发生频率方面综合考虑，基于风险方法的多米诺效应影响范围与实际情况更为相近。因此，可从减轻事故后果严重程度、降低事故发生频率等方面采取各类安全技术措施，避免油气存储设施间发生多米诺效应。

### 3 避免多米诺效应的建议措施

通过运用 safeti8.61 版软件，采用基于可信事故方法和基于风险的方法 2 种方式分别进行了某油库建设项目及其周边企业的相互影响多米诺效应进行对比分析，提出避免油气存储设施间多米诺效应的建议措施

如下：

#### 3.1 从后果严重程度方面避免多米诺效应措施

①严格控制油气存储设施内危险物质存在量，合理设计储罐、设备的容积，从源头减小事故的影响范围；

②对于油气存储设施设置防火堤、防护墙等能够防止事故蔓延的措施；

③加强油气存储设施的人员巡检，配备可燃气体检测报警系统等预警系统，及时消除危险物质泄漏等隐患；

④加强油气存储设施的火源管理，如进入油气存储区的车辆须装设阻火器、爆炸危险区域内使用防爆型电仪设备等，消除引起火灾爆炸事故的关键三要素之一——火源；

⑤油气存储去设置与储存规模相匹配的消防水系统、灭火器材、火灾自动报警系统等消防设施，减小事故影响范围；

⑥合理布局油气存储设施，将无火灾爆炸影响的公辅设施、柴油等事故影响范围相对较小的物料储存设施布置在靠近周边相邻油气存储设施。

#### 3.2 从降低事故发生频率方面避免多米诺效应措施

①合理设计油气存储设备设施，根据存储介质性质、实际工况等情况合理进行选材、耐压等级设计、腐蚀裕量预留等设计，实现本质安全；

②设置集散控制系统、安全仪表系统、可燃气体检测报警系统等自控系统，设置必要的联锁控制回路，降低误操作引发事故的频率；

③加强油气储运设备设施的检测检验、定期维护管理，降低油气储运设备设施本身泄漏频率。

#### 参考文献：

- [1] 杨亚文, 吕华, 徐亚兰等. 多米诺效应分析在安全评价中的应用 [J]. 宁波化工, 2022, 2(09): 33-41.
- [2] 应急管理部. 化工园区安全风险排查治理导则 (试行) [Z]. 应急 [2019]78 号, 2019-8-12.
- [3] 应急管理部. 化工园区安全风险排查治理导则 [Z]. 应急 [2023]123 号, 2023-11-14.
- [4] GB/T37243-2019. 危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法 [S]. 北京: 国家市场监管总局, 2019.

#### 作者简介：

刘小汇 (1988- ), 女, 汉族, 湖南株洲人, 本科, 工程师, 研究方向: 化工安全。