

# DB32

## 江苏省地方标准

DB 32/ XXXXX—XXXX

### 化工装置事故多米诺效应风险评估导则

Guide for risk assessment of domino effect on accidents of chemical plants

(征求意见稿)

(本稿完成日期: 20230925)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

江苏省市场监督管理局 发布

# 目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 风险评估程序.....	3
5 多米诺效应风险评估内容.....	3
附录 A （资料性） 数据资料收集.....	8
附录 B （资料性） 危险度评价法.....	9
附录 C （资料性） 起始装置、目标装置清单.....	10
附录 D （资料性） 同类设备（设施）典型泄漏场景泄漏频率值.....	11
附录 E （资料性） 多米诺效应风险评估方法.....	12
参考文献.....	13

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

本文件由江苏省应急管理厅提出。

本文件由江苏省安全生产标准化技术委员会归口。

本文件主要起草单位：江苏省安全生产科学研究院、南京工业大学。

本文件主要起草人：。

# 化工装置事故多米诺效应风险评估导则

## 1 范围

本文件规定了化工装置多米诺效应风险评估的基本程序、评估内容和评估报告编制要求。

本文件适用于生产、储存及使用易燃易爆危险化学品的化工装置事故引发邻近装置破坏事故和次生事故多米诺效应风险评估。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 36894-2018 危险化学品生产装置和储存设施风险基准
- GB 50089-2018 民用爆炸物品工程设计安全标准
- GB 50160-2008 石油化工企业设计防火标准（2018年版）
- GB/T 34708-2017 化学品风险评估通则
- GB/T 37243-2019 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
- AQ/T 3046-2013 化工企业定量风险评价导则
- DB32/T 2916-2016 化工园区（集中区）安全风险评估导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**化工装置区** chemical plant area  
多个独立化工装置或联合装置组成的区域。  
[来源：GB 50160-2008，2.0.10，有修改]

### 3.2

**化工装置事故多米诺效应** domino effect on accidents of chemical plants  
化工装置初始事故（火灾或爆炸）产生超压、热辐射、破片等破坏效应，作用于周边装置引发多个次生事故（爆炸、火灾或泄漏），次生事故的破坏效应在具体环境下相互耦合引发更深层次事故，生成多条事故链的现象，本标准仅考虑化工装置间的第一级多米诺效应。

### 3.3

**风险** risk

发生特定危害事件的可能性与后果严重性的结合。

[来源：AQ/T 3046-2013, 3.6]

### 3.4

#### 风险评估 risk assessment

以实现工程、系统安全为目的，应用安全系统工程原理和方法，对工程、系统中存在的危险、有害因素进行识别与分析，判断工程、系统发生事故和急性职业危害的可能性及其严重程度，提出安全对策措施与建议，从而为工程、系统制定安全防范措施和管理决策提供科学依据。风险评估可针对一个特定的对象，也可针对一特定的区域范围，通常通过个人风险和社会风险两类指标进行表征。

[来源：DB32/T 2916-2016, 3.3]

## 4 风险评估程序

化工装置多米诺效应风险评估程序，见流程图1。

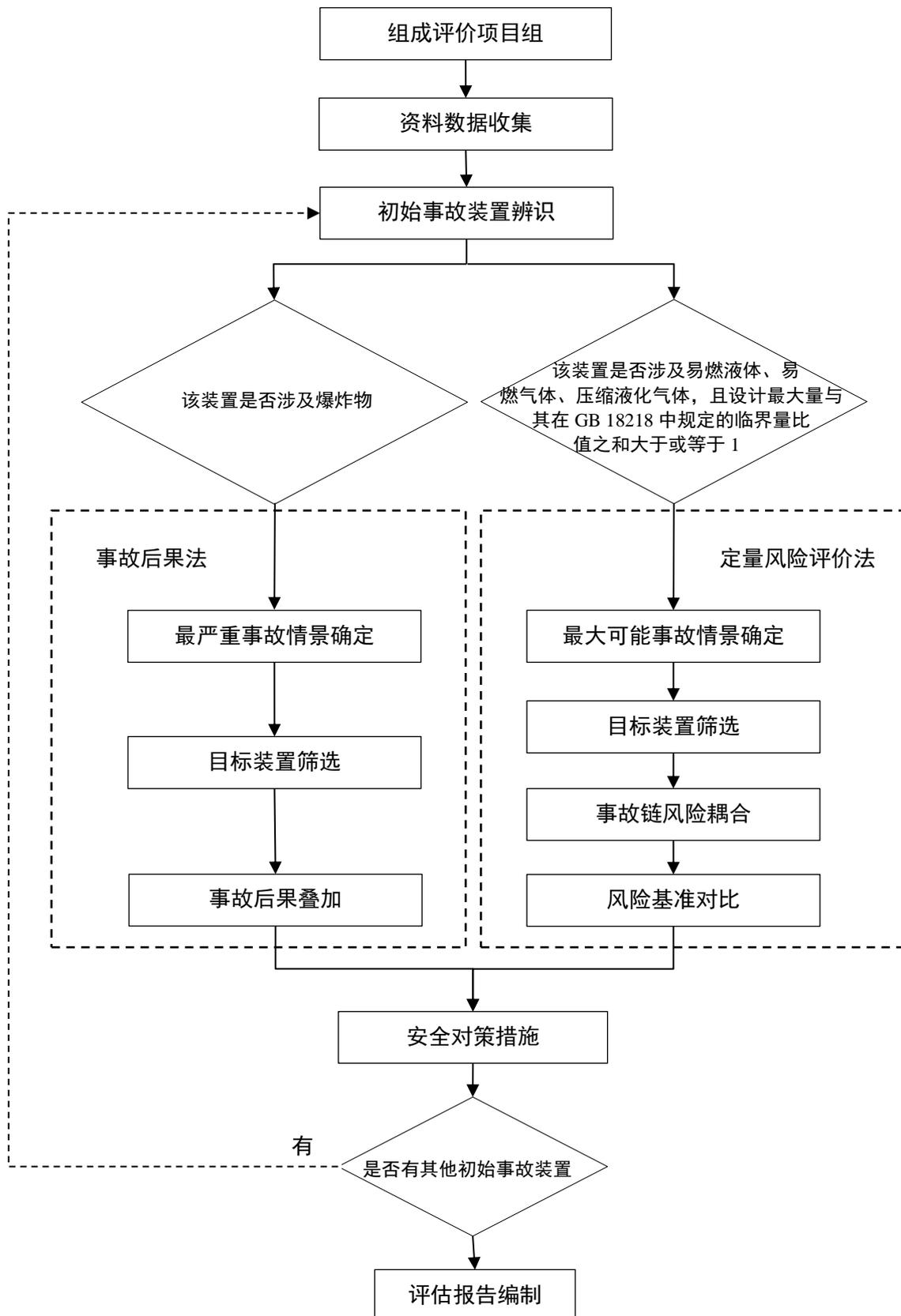


图 1 化工装置事故多米诺效应风险程序图

## 5 多米诺效应风险评估步骤及要求

### 5.1 数据资料收集

应根据评价目标装置区域确定所需收集的数据资料，包括但不限于附录A。

### 5.2 初始事故装置辨识

采用危险度评价法（见附录B）对带压管道、固定的带压容器和储罐、固定的常压容器和储罐、泵和压缩机、换热器、压力释放装置等设备（设施）进行辨识，储存爆炸物的仓库则直接列入初始事故装置清单，初始事故装置清单详见附录C。根据初始事故装置涉及的物质，辨识是否为爆炸物或者易燃液体、易燃气体及压缩液化气体，针对性采用事故后果法或定量风险评价法分析事故后果或风险。

### 5.3 事故后果法

#### 5.3.1 最严重事故情景确定

辨识装置或设施（仓库）内涉及爆炸物的单元，参照 GB 50089，确定装置或设施（仓库）内能够发生同时爆炸的最大爆炸物数量，并将该数量爆炸物同时发生爆炸的场景作为最严重事故情景。

#### 5.3.2 目标装置筛选

根据最严重事故情景以及附录公式 E.27 爆炸事故后果计算模型，参照附录表 E.2.1 中各类目标装置的超压临界破坏阈值计算破坏半径，筛选出破坏半径内的目标装置。

应参照表附录 E.2.1 中各类目标装置的临界破坏条件概率公式和附录公式 E.29 计算目标装置的破坏概率。将破坏条件概率单位大于 70% 的目标装置列入最终目标装置清单。

#### 5.3.3 事故后果叠加

选取事故造成人员死亡概率为 50% 的半径作为死亡半径，参照附录公式 E.28 计算爆炸事故后果的死亡半径。将初始事故及最终目标装置次生事故的死亡半径进行事故后果空间上综合叠加。

### 5.4 定量风险评价法

#### 5.4.1 发生频率

发生频率可使用以下数据来源：

- 工业失效数据库，泄漏场景与失效数据场景基本假设相一致；
- 企业历史数据，历史数据充足并具有统计意义；
- 供应商的数据，谨慎使用；
- 基于可靠性的失效概率模型；
- 同类设备（设施）典型泄漏场景泄漏频率值参见附录 D 中的表 D.1～表 D.7。

#### 5.4.2 最大可能事故情景确定

最大可能事故参照 GB/T 37243 与 GB 18218 应同时满足以下两个条件：

- 发生的频率  $\geq 10^{-6}$ /年；
- 涉及易燃液体、易燃气体和压缩液化气体的危险化学品设备（设施），其设计最大量与 GB 18218 中规定的临界量比值之和大于或等于 1 的应采用定量风险评价方法。

#### 5.4.3 目标装置筛选

根据初始最大可能事故情景以及附录公式 E.1 事故后果计算模型，参照附录表 E.2.1 中各类目标装置的临界破坏阈值计算破坏半径，筛选破坏半径内的各类目标装置。

应参照附录表 E.2.1 中各类目标装置的临界破坏概率公式和附录公式 E.29 计算目标装置的破坏条件概率。将破坏概率大于 70% 的目标装置确定为最终目标装置，得到各类装置的最终目标装置清单，形

成以初始事故装置事故为源头，最终目标装置此生事故为终点的多条事故链。

#### 5.4.4 事故链风险耦合

针对初始事故和次生事故构成的多条事故单链，参照附录公式 E.30 计算每条事故单链上最终目标装置或设备（设施）的破坏概率，计算初始事故和次生事故风险耦合下个人风险。

#### 5.4.5 风险基准对比

事故周边的最终目标装置或设备（设施）所承受的个人风险，宜参照 GB 36894 的个人风险基准判定风险是否可接受。

### 5.5 安全对策措施

根据筛选的初始事故装置以及最大可能事故的情景，确定事故后果影响及多米诺效应影响的目标装置，采取以下安全对策措施，包括但不限于：

- a) 优化生产工艺。研究并优化生产工艺，改变工艺路线或优化反应条件，提升工艺本质安全。
- b) 优化自动化控制措施。采取自动化控制、紧急切断、紧急停车、安全联锁、检测报警等控制方案和安全管控措施，提高设备安全可靠。
- c) 降低储量。降低主要生产装置的在线量、储存设施的储存量。
- d) 优化建（构）筑物安全设施。依据国家相关法律法规和标准规范中建（构）筑物火灾危险性分类、耐火等级、防爆、抗震、层数、面积、防火分区、安全出口及安全疏散距离的要求，设置必要的防火、泄爆、抗爆、防腐、耐火保护、通风、排烟、除尘、降温等安全设施。
- e) 优化装置或设备防护措施。采取隔热、喷淋等措施降低热辐射破坏效应；采取泄压、隔爆、泄爆、自动抑爆等措施降低超压冲击波破坏效应。
- f) 优化消防救援及应急处置。优化消防站的车辆、消防器材、个人防护装备配备；新建、待建企业优化消防给水系统、消防水源、消防管网布置、消防泵房及消防泵设置、消防水池（罐）、各类灭火系统、冷却设施、灭火器配置、灭火药剂及其储存等的设计。
- g) 优化定岗定员。涉及硝化的生产车间（区域），同一时间现场操作人员控制在 2 人以内；涉及加氢、氯化、氟化、重氮化、过氧化生产车间（区域），同一时间现场操作人员控制在 3 人以内；涉及易燃易爆、爆炸性粉尘的作业现场或厂房的人数（包括交接班时）控制在 9 人以内。
- h) 优化总平布置。新建、待建企业从防火间距、功能分区、最小频率风向等方面优化化工装置的布局，从防火间距、主导风向等方面优化总平面布置中消防泵房、消防站的位置。

## 6 评估报告的主要内容

评估报告应包括但不限于以下内容：

- a) 概述，包含评估目的、评估范围及评估依据；
- b) 化工装置概况；
- c) 初始事故装置辨识；
- d) 最大可能事故情景选取；
- e) 目标装置筛选；
- f) 事故后果叠加或事故链风险耦合；
- g) 判定事故后果及多米诺效应；
- h) 安全对策措施；
- i) 评估结论。

## 7 评估报告的要求

评估报告的内容应简洁、准确，评估过程科学、规范。

## 8 评估报告附件

- a) 化工企业总平面布置图、初始事故装置分布图、多米诺效应影响范围图、事故后果范围图、重大危险源分布图、消防安全重点单位分布图、风险源四色等级分布图、应急避难场所分布图等；
- b) 被评估化工企业提供的原始资料目录或复制件等；
- c) 其他。

## 9 评估报告格式

评估报告格式一般包括：

- a) 封面
- b) 目录
- c) 前言
- d) 正文
- e) 附件及附录

附 录 A  
(资料性)  
数据资料收集

数据资料收集见表A。

表 A 数据资料收集

类别	数据收集
危害信息	爆炸物、易燃液体、易燃气体及压缩液化气体物质存量、危险物质安全技术说明书(SDS)、现有的工艺危害分析(如危险与可操作性分析(HAZAP))结果、点火源等
设计和运营数据	区域位置图、平面布置图、技术说明、工艺技术程序、安全操作规程、工艺流程图(PFD)、管道和仪器流程图(P&ID)、设备数据、管道数据、运行数据等
减缓控制系统	探测和隔离系统、连锁切断等(可燃气体和有毒气体检测、火焰探测、电视监控)、消防、水幕等减缓控制系统
管理系统	管理制度、操作和维修手册、培训、应急、事故调查、承包商管理、机械完整性管理、变更和作业程序等
自然条件	大气参数(气压、温度、湿度、太阳辐射等)、风速、风向及大气稳定度联合频率;现场周边地形、现场建筑物等
历史数据	事故案例、设备失效统计资料、各设备(设施)典型泄漏场景泄漏频率值(见附录D)
材料信息	制造各设备(设施)所用材料性能资料
人口数据	评价范围内人口分布
风险基准	区域内防护目标个人、社会风险基准
应急预案	园区内事故应急消防救援预案

**附录 B**  
**(资料性)**  
**危险度评价法**

危险度评价法是以各设备（设施）的物料、容量、温度、压力和操作等五项指标进行评定，每一项又分为A、B、C、D四个类别，分别给定10分、5分、2分、0分，最后根据这些分值之和来评定该单元的危险程度等级。危险度评价取值表见表B.1。危险度分级见表B.2。

表B.1 危险度评价取值表

工程	分值			
	A (10分)	B (5分)	C (2分)	D (0分)
物质（系指单元中危险、有害程度最大的物质）	1.甲类可燃气体 <sup>1</sup> ； 2.甲A类物质及液态烃类； 3.甲类固体； 4.极度危害物质 <sup>2</sup>	1.乙类可燃气体； 2.甲B、乙A类可燃液体； 3.乙类固体； 4.高度危害物质	1.乙B、丙A、丙B类可燃液体； 2.丙类可燃固体； 3.中、轻度危害物质	不属于左述之A、B、C项的物质
容量 <sup>3</sup>	1.气体在1000m <sup>3</sup> 以上； 2.液体在100m <sup>3</sup> 以上	1.气体在500m <sup>3</sup> ~1000m <sup>3</sup> ； 2.液体在50m <sup>3</sup> ~100m <sup>3</sup>	1.气体在100m <sup>3</sup> ~500m <sup>3</sup> ； 2.液体在10m <sup>3</sup> ~50m <sup>3</sup>	1.气体<100m <sup>3</sup> ； 2.液体<10m <sup>3</sup>
温度	1000℃以上使用，其操作温度在燃点以上	1.1000℃以上使用，但操作温度在燃点以下； 2.在250℃~1000℃使用，其操作温度在燃点以上	1.250℃~1000℃以上使用，但操作温度在燃点以下； 2.在低于250℃时使用，操作温度在燃点以上	在低于250℃时使用，操作温度在燃点以下
压力	100MPa	20 MPa~100 MPa	1 MPa~20 MPa	1 MPa 以下
操作	1.临界放热和特别剧烈的放热反应操作； 2.在爆炸极限范围内或其附近操作	1.中等放热反应（如烷基化、酯化、加成、氧化、聚合、缩合等反应） 2.系统进入空气或不纯物质，可能发生危险的操作； 3.使用粉状或雾状物质，有可能发生粉尘爆炸的操作； 4.单批式操作	1.轻微放热反应（如加氢、水合、异构化、磺化、中和等反应）操作； 2.在精制过程中伴有化学反应； 3.单批式操作，但开始使用机械等手段进行程序操作； 4.有一定危险的操作	无危险的操作
注1：物质火灾危险性分类GB 50160中可燃物质的火灾危险性分类。 注2：见HG/T 20660表1、表2、表3 注3：（1）有触媒的反应，应去掉触媒所占空间；（2）气液混合反应，应按其反应的气相选择上述规定。				

表B.2 危险度分级

总分值	≥分值分	11分~15分	≤5分
等级	I	II	III
危险程度	高度危险	中度危险	低度危险

附 录 C  
(资料性)  
初始事故装置、目标装置清单

序号	设备（设施）种类	类别
1	管道	初始事故装置/目标装置
2	固定的带压容器和储罐	初始事故装置/目标装置
3	固定的常压容器和储罐	初始事故装置/目标装置
4	泵和压缩机	初始事故装置/目标装置
5	换热器	初始事故装置/目标装置
6	压力释放装置	初始事故装置/目标装置
7	储存爆炸物的仓库	初始事故装置/目标装置
<p>注1：固定的带压容器和储罐分为三类：</p> <p>（1）带压容器：内部绝对压力大于0.1MPa储存容器。例如分液罐、压力储罐等。</p> <p>（2）工艺容器：在容器内，物质发生物理性质变化（如温度或相态）的容器。如果容器仅仅发生液位的变化，则它应作为一个受压容器（不包括具有管程和壳程结构的换热器）。例如蒸馏塔、过滤器等。</p> <p>（3）反应容器：在容器内物质发生了化学变化的容器。如果在一个容器内发生了物质混合放热，则该容器也应作为一个反应容器。例如通用反应器、釜式反应器、床式反应器等。</p>		

## 附录 D

(资料性)

## 同类设备（设施）典型泄漏场景泄漏频率值

同类设备（设施）典型泄漏场景泄漏频率值参见D.1~D.7。

表D.1 管道泄漏频率值

管道直径 mm	泄漏频率（每米每年）			
	小孔泄漏	中孔泄漏	大孔泄漏	完全破裂
20	$3 \times 10^{-5}$	—	—	$1 \times 10^{-6}$
25	$2 \times 10^{-5}$	—	—	$2 \times 10^{-6}$
50	$1 \times 10^{-5}$	—	—	$2 \times 10^{-6}$
100	$3 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$	—	$2 \times 10^{-7}$
150	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$	—	$3 \times 10^{-7}$
200	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-8}$
250	$7 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-8}$
300	$3 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-8}$
400	$3 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-8}$	$7 \times 10^{-8}$
>400	$2 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-8}$	$3 \times 10^{-8}$

表D.2 固定的带压容器和储罐泄漏频率值

设备类型	泄漏频率（/年）			
	小孔泄漏	中孔泄漏	大孔泄漏	完全破裂
带压容器	$4 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-6}$
工艺容器-塔器	$8 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-6}$
工艺容器-过滤器	$9 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$
反应容器	$1 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-6}$

表D.3 固定的常压容器和储罐泄漏频率值

设备类型	泄漏到大气中（/年）				泄漏到外罐中（/年）			
	小孔泄漏	中孔泄漏	大孔泄漏	完全破裂	小孔泄漏	中孔泄漏	大孔泄漏	完全破裂
单防罐	$4 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	—	—	—	—
双防罐	—	—	—	$1.2 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^{-8}$
全防罐	—	—	—	$1 \times 10^{-8}$	—	—	—	—
半地下储罐	—	—	—	$1 \times 10^{-8}$	—			
地下储罐	—							

表D.4 泵和压缩机泄漏频率值

设备类型	泄漏频率（/年）			
	小孔泄漏	中孔泄漏	大孔泄漏	完全破裂
单密封离心泵	$6 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	—
双密封离心泵	$6 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	—
离心压缩机	—	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-4}$	—

往复式压缩机	—	$6 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-4}$	—
--------	---	--------------------	--------------------	---

表D.5 换热器泄漏频率值

设备类型	泄漏频率 (/年)			
	小孔泄漏	中孔泄漏	大孔泄漏	完全破裂
危险物质在壳程	$4 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-6}$
危险物质在管程，壳程设计压力 小于危险物质压力	—	$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-5}$
危险物质在管程，壳程设计压力 大于危险物质压力	—	—	—	$1 \times 10^{-6}$

表D.6 压力泄放装置泄漏频率值

设备类型	泄漏频率 (/年)
压力释放装置	$2 \times 10^{-5}$

表D.7 仓库三种场景对应泄漏频率值

设施场所	场景 (1) 每次处理包装单元	场景 (2) 每次处理包装单元	场景 (3) 每年
包装单元和仓库	1 装单元 <sup>-5</sup>	15 单元 <sup>-5</sup>	55 单元 <sup>-4</sup>

注：场景 1 和场景 2 应结合包装单元和仓库的年处理包装单元次数，折算场景对应的年频率。  
仓库应考虑包装单元和仓库整体火灾的可能性，可取以下三种场景：

- (1) 固体包装单元的粉末扩散；
- (2) 液体包装单元的存量释放；
- (3) 火灾（关注毒性燃烧产物和非火灾燃烧产生的毒性物释放）。

附 录 E  
(资料性)  
事故后果计算

### E.1 源项事故后果范围计算

#### E.1.1 池火计算

池火火焰的几何尺寸及热辐射参数计算执行公式 (E.1~E.14)。

$$q_{(r)} = q_0(1 - 0.058 \ln r)V \dots\dots\dots (E.1)$$

$$q_0 = \frac{0.25\pi D^2 \Delta H_C m_f f_h}{0.25\pi D^2 + \pi DL} \dots\dots\dots (E.2)$$

$$L/D = 42 \times [m_f / (\rho_0 \sqrt{gD})]^{0.61} \dots\dots\dots (E.3)$$

$$D = \left(\frac{4S}{\pi}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (E.4)$$

$$S = W / (H_{min} \times \rho) \dots\dots\dots (E.5)$$

$$V = \sqrt{V_V^2 + V_H^2} \dots\dots\dots (E.6)$$

$$\pi V_V = A - B \dots\dots\dots (E.7)$$

$$A = \frac{(b - \frac{1}{s})}{\sqrt{b^2 - 1}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{(b+1)(s-1)}}{\sqrt{(b-1)(s+1)}} \dots\dots\dots (E.8)$$

$$B = \frac{(\frac{a-1}{s})}{\sqrt{a^2 - 1}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{(a+1)(s-1)}}{\sqrt{(a-1)(s+1)}} \dots\dots\dots (E.9)$$

$$\pi V_V = \arctan[h/(s^2 - 1)^{0.5}]/s + h(J - K)/s \dots\dots\dots (E.10)$$

$$J = \left[\frac{a}{(a^2 - 1)^{0.5}}\right] \arctan \left[\frac{(a+1)(s-1)}{(a-1)(s+1)}\right]^{0.5} \dots\dots\dots (E.11)$$

$$K = \arctan[(s - 1)/(s + 1)]^{0.5} \dots\dots\dots (E.12)$$

$$a = \frac{h^2 + s^2 + 1}{2s} \dots\dots\dots (E.13)$$

$$b = \frac{1 + s^2}{2s} \dots\dots\dots (E.14)$$

式中:

$r$ ——目标装置到火焰中心的距离, m。

$q_0$ ——目标装置接收到的热通量, kW/m<sup>2</sup>;

$q_{(r)}$ ——火焰表面的热通量, kW/m<sup>2</sup>;

$D$ ——液池直径, m;

$S$ ——防火堤所围面积,  $m^2$ ;  
 $W$ ——泄漏液体质量,  $kg$ ;  
 $H_{min}$ ——最小物料层厚度,  $m$ ;  
 $\rho$ ——液体的密度,  $kg/m^3$ ;  
 $L$ ——火焰高度,  $m$ ;  
 $m_f$ ——燃烧速率,  $kg/(m^2 s)$ ;  
 $\rho_0$ ——空气密度,  $kg/m^3$ ;  
 $g$ ——重力加速度,  $m/s^2$ ;  
 $\Delta H_C$ ——燃烧热,  $kJ/kg$ ;  
 $f_h$ ——热辐射系数, 可取 0.15;  
 $V$ ——视觉系数;  
 $s$ ——目标装置到火焰垂直轴的距离与火焰半径之比;  
 $h$ ——火焰高度与直径之比;  
 $A、B、J、K、V_H、V_V$ ——引入的中间变量。

### E.1.2 沸腾液体扩展蒸气云爆炸 (BLEVE) 计算

沸腾液体扩展蒸气云爆炸热辐射模型计算执行公式 (E.15~E.17)。

$$q(r) = \frac{q_0 R^2 r (1 - 0.058 \ln r)}{(R^2 + r^2)^{3/2}} \dots \dots \dots (E.15)$$

$$R = 2.9W^{1/3} \dots \dots \dots (E.16)$$

$$t = 0.45W^{1/3} \dots \dots \dots (E.17)$$

式中:

$r$ ——目标装置到火球中心的平均距离,  $m$ 。

$q_{(r)}$ ——目标装置接收到的热通量,  $W/m^2$ ;

$q_0$ ——火焰表面的热通量,  $W/m^2$ ; 柱形罐取  $270 W/m^2$ , 球形罐取  $200 W/m^2$ ;

$R$ ——火球直径, 单位为米  $m$ ;

$W$ ——火球中消耗的可燃物质量,  $kg$ ; 单罐存储, 取罐容量的 50%; 双罐存储, 取罐容量的 70%; 多罐存储, 取罐容量的 90%;

$t$ ——火球持续时间,  $s$ 。

### E.1.3 喷射火计算

喷射火热辐射通量模型计算执行公式 (E.18~E.21)。

$$q(r) = \tau_a \eta \dot{m} \Delta H_C F_p \dots \dots \dots (E.18)$$

$$\tau_a = 2.02 \times (p_w X_s)^{-0.09} \dots \dots \dots (E.19)$$

$$p_w = 101325 \times RH \times e^{\left(14.4114 - \frac{5.32T - 5.328}{T_1}\right)} \dots \dots \dots (E.20)$$

$$F_p = \frac{1}{4\pi r^2} \dots \dots \dots (E.21)$$

式中:

- $q(r)$ ——目标装置接收的热通量, kW/m<sup>2</sup>;
- $\tau_a$ ——大气传输率;
- $\eta$ ——热辐射系数;
- $\dot{m}$ ——燃料质量流速, kg/s;
- $\Delta H_c$ ——燃烧热, kJ/kg;
- $p_w$ ——大气中水蒸气的分压, Pa;
- $X_s$ ——目标到火焰表面的距离, m;
- $RH$ ——相对湿度, %;
- $T_1$ ——环境温度, K;
- $F_p$ ——视角因子;
- $r$ ——目标装置到火焰中心的距离, m。

E.1.4 蒸气云爆炸 (TNO) 计算

蒸气云爆炸计算执行公式 (E.22~E.24)。

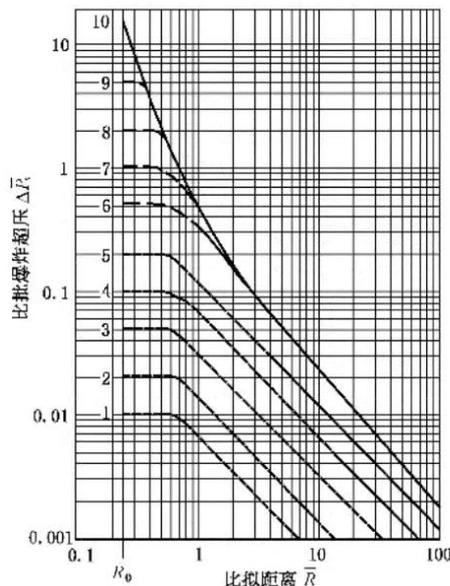
$$E = V_s \times 3.5 \times 10^6 \dots\dots\dots (E.22)$$

$$\bar{R} = \frac{r}{(E / p_0)^{1/3}} \dots\dots\dots (E.23)$$

$$\Delta P = \Delta \bar{p}_s p_0 \dots\dots\dots (E.24)$$

式中:

- $E$ ——爆炸源内燃料-空气混合物的燃烧能, J;
- $V_s$ ——爆炸源中燃料-空气混合物体积, m<sup>3</sup>;
- $\bar{R}$ ——爆炸源的 Sachs 比拟距离(无量纲);
- $r$ ——目标装置到爆炸源中心的距离, m;
- $\Delta P$ ——爆炸超压值, Pa;
- $p_0$ ——环境大气压, Pa;
- $\Delta \bar{p}_s$ ——Sachs 比拟爆炸超压(无量纲), 见图 E.1.1;



图E.1.1 TNO模型的Sachs比拟超压

### E.1.5 爆炸计算

涉及爆炸物的设备（设施）采用 TNT 模型，计算执行公式（E.25~E.27）。

$$E_g = \frac{PV}{(k-1)} \left[ 1 - \left( \frac{0.1013}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \times 10^3 \dots \dots \dots \text{ (E.25)}$$

$$Q = \frac{E_g}{4500} \dots \dots \dots \text{ (E.26)}$$

$$\Delta P = 14 \frac{Q}{r^3} + 4.3 \frac{Q^{2/3}}{r^2} + 1.1 \frac{Q^{1/3}}{r} \dots \dots \dots \text{ (E.27)}$$

式中：

- $E_g$ ——气体的爆破能量，kJ；
- $P$ ——容器内气体的绝对压力，MPa；
- $V$ ——容器的容积， $m^3$ ；
- $k$ ——气体的绝热指数，空气取值 1.4。
- $\Delta P$ ——冲击波超压值， $10^5 Pa$ ；
- $Q$ ——一次爆炸的 TNT 当量，kg；
- $r$ ——目标装置到爆炸点的距离，m。

### E.1.6 多米诺事故半径

在事故后果模型范围内确定多米诺事故半径。临界阈值热辐射值 $I$ 、临界阈值超压值 $\Delta P$ ，代入公式（E.1）（E.15）（E.18）（E.23）（E.27），确定多米诺事故半径 $r_d$ ，初始事故中心距 $n$ 个目标装置 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $\dots$ 、 $T_n$ 距离分别为 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $\dots$ 、 $r_n$ ， $r_i$ （ $i=1, 2, \dots, n$ ） $\leq r_d$ ，目标装置 $T_i$ 受损。

### E.1.7 爆炸死亡半径计算

给定暴露场景下，爆炸事故死亡区内的人员如缺少防护，则被认为将无例外地蒙受严重伤害或死亡，其内径为零，外径为 $R_{0.5}$ ，表示外圆周围处人员因冲击波作用导致肺出血而死亡的概率为0.5，它与爆炸量之间的关系如下式确定：

$$R_{0.5} = 13.6 \left( \frac{W_{TNT}}{1000} \right)^{0.37} \dots \dots \dots \text{ (E.28)}$$

式中：

- $W_{TNT}$ ——蒸气云 TNT 当量质量，kg。

## E.2 目标装置破坏概率计算

### E.2.1 多米诺事故扩展判定准则

多米诺事故扩展判断准则执行公式（E.29）计算。

$$P_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp(-x^2/2) dx \dots \dots \dots \text{ (E.29)}$$

式中：



$P_i^0$ ——选择场景的初始事故概率；

$P_d^{T_i}$ ——目标装置 $T_i$ 接受到热辐射强度和爆炸压力后破坏条件概率（ $P_d$ ， $[0, 1]$ 之间）；

$P_s^{T_i}$ ——初始事故引发的目标装置破坏概率。

## 参 考 文 献

- [1] Mingguang Z, Juncheng J. An improved probit method for assessment of domino effect to chemical process equipment caused by overpressure[J]. Journal of hazardous materials, 2008, 158(2-3): 280-286.
- [2] Cozzani V, Gubinelli G, Salzano E. Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events[J]. Journal of hazardous materials, 2006, 129(1-3): 1-21.
- [3] Mingguang Zhang,Zhan Dou,Longfei Liu,Juncheng Jiang,Ahmed Mebarki,Lei Ni. Study of optimal layout based on integrated probabilistic framework (IPF): Case of a crude oil tank farm[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2017,48:305-311.
-