

ICS 13.200
C 67
备案号: 41155—2013

AQ

中华人民共和国安全生产行业标准

AQ/T 3046—2013

化工企业定量风险评价导则

Guidelines for quantitative risk assessment of chemical enterprises

中华人民共和国安全生产
行业标准
化工企业定量风险评价导则
AQ/T 3046—2013

煤炭工业出版社出版
(北京市朝阳区芍药居35号100029)
网址: www.ccpb.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本880mm×1230mm 1/16 印张33/4
字数106千字
2013年11月第1版 2013年11月第1次印刷
155020/731

社内编号7039 定价40.00元

版权所有 违者必究
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

AQ/T 3046—2013

2013-06-08发布

2013-10-01实施

国家安全生产监督管理总局 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 基本程序 3

5 定量风险评价项目管理 4

6 资料数据收集 4

7 危险辨识和评价单元选择 5

8 泄漏场景及频率 6

9 源项和气云扩散 10

10 暴露影响 12

11 风险计算 13

12 风险可接受标准 17

13 风险评价 17

附录 A(规范性附录) 定量风险评价基本程序 18

附录 B(资料性附录) 定量风险评价项目管理 19

附录 C(规范性附录) 评价单元选择方法——危险度评价法 21

附录 D(规范性附录) 评价单元选择方法——设备选择数法 23

附录 E(资料性附录) 源项和气云扩散计算 28

附录 F(资料性附录) 探测和隔离系统的判定及相应的泄漏时间 44

附录 G(资料性附录) 可燃物质释放事件树及点火概率 45

附录 H(资料性附录) 影响阈值 50

附录 I(规范性附录) 死亡概率与概率值对应关系及物质毒性常数 55

参考文献 56

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。
本标准由国家安全生产监督管理总局提出。
本标准由全国安全生产标准化技术委员会化学品安全分技术委员会(SAC/TC 288/SC 3)归口。
本标准起草单位：中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院、化学品安全控制国家重点实验室、国家安全生产监督管理总局化学品登记中心、国家石化项目风险评估技术中心
本标准主要起草人：张海峰、牟善军、白永忠、党文义、武志峰、于安峰、沈郁、韩中枢、赵文芳。

化工企业定量风险评价导则

1 范围

本标准规定了化工企业定量风险评价过程中的技术要求。
本标准适用于化工企业的定量风险评价，不适用于公路运输、铁路运输、水上运输、长输管道等企业外运输设施的定量风险评价。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 18218 危险化学品重大危险源辨识
GB 50160 石油化工企业设计防火规范
AQ 8001 安全评价通则
HG 20660 压力容器中介质毒性危害和爆炸危险程度分类
SY/T6714 基于风险检验的基础方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

- 3.1 危险 hazard
可能造成人员伤亡职业病、财产损失、环境破坏的根源或状态。
- 3.2 危险辨识 hazard identification
采用系统分析方法识别出系统中存在的危险或事故隐患。
- 3.3 失效 failure
系统、结构或元件失去其原有包容流体或能量的能力(如泄漏)。
- 3.4 失效频率 failure frequency
失效事件所发生的频率，单位为/年。
- 3.5 失效后果 failure consequence
失效事件的结果，一个事件有一个或多个结果。
- 3.6 风险 risk
发生特定危害事件的可能性与后果的乘积。

3.7

定量风险评价 quantitative risk assessment

对某一设施或作业活动中发生事故频率和后果进行定量分析，并与风险可接受标准比较的系统方法。

3.8

单元 unit

具有清晰边界和特定功能的一组设备、设施或场所，在泄漏时能与其他单元及时切断。

3.9

故障树分析 fault tree analysis

又名事故树，它是通过对可能造成系统失效的各种因素(包括硬件、软件、环境、人为因素等)进行分析，画出逻辑框图(故障树)，从而确定系统失效原因的各种可能组合方式及其发生概率。

3.10

存量 containment

设备或单元可能释放流体量的上限。

3.11

常压储罐 atmospheric storage tank

设计压力小于或等于6.9 kPa(罐顶表压)的储罐。

3.12

压力储罐 pressurized storage tank

设计压力大于或等于0.1 MPa(罐顶表压)的储罐。

3.13

单防罐 single containment storage tank

带隔热层的单壁储罐或由内罐和外罐组成的储罐。其内罐能适应储存低温冷冻液体的要求，外罐主要是支撑和保护隔热层，并能承受气体吹扫的压力，但不能储存内罐泄漏出的低温冷冻液体。

3.14

双防罐 doublecontainment storage tank

由内罐和外罐组成的储罐。其内罐和外罐都能适应储存低温冷冻液体，在正常操作条件下，内罐储存低温冷冻液体，外罐能够储存内罐泄漏出来的冷冻液体，但不能限制内罐泄漏的冷冻液体所产生的气体排放。

3.15

全防罐 full containment storage tank

由内罐和外罐组成的储罐。其内罐和外罐能适应储存低温冷冻液体，内外罐之间的距离为1 m~2 m,罐顶由外罐支撑，在正常操作条件下，内罐储存低温冷冻液体，外罐既能储存冷冻液体，又能限制内罐泄漏液体所产生的气体排放。

3.16

源项 modeling source term

可能引起急性伤害的触发事件，如危险物质泄漏、火灾、爆炸等。

3.17

射流 jet

泄漏出来的高速气流与空气混合形成的轴向蔓延速度远大于环境风速的云羽。

3.18

事件树分析 event tree analysis

根据规则用图形来表示由初因事件可能引起的多事件链，以追踪事件破坏的过程及各事件链发生

2

的概率。

3.19

闪火 flash fire

在不造成超压的情况下物质云团燃烧时所发生的现象。

3.20

池火 pool fire

可燃液体泄漏后流到地面形成液池，或流到水面并覆盖水面，遇到火源燃烧而形成池火。

3.21

点火源 ignition source

能够使可燃物与助燃物(包括某些爆炸性物质)发生燃烧爆炸的能量源。

3.22

蒸气云爆炸 vapor cloud explosion

当可燃气体(或可燃蒸气)与空气预先混合后，遇到点火源发生点存在某些特殊原因或条件，火焰加速传播，产生蒸气云爆炸。

3.23

喷射火 jet fire

加压的可燃物质泄漏时形成射流，在泄漏口处被点燃，由此形成喷射火。

3.24

火球 fire ball

大量燃料与周围的空气有限混合后燃烧时所发生的现象。

3.25

个体风险

individual risk
个体在危险区域可能受到危险因素某种程度伤害的频发程度 通常表示为个体规范的发生频率，单位为/年。

3.26

社会风险 societal risk

群体(包括职工和公众)在危险区域承程度伤害的频发程度，通常表示为大于或等于N人死亡的事故累积频率(P)，通常以累积频率和死亡人数之间关系的曲线(一人面线)来表示。

3.27

潜在生命损失(PLL) potential loss of l

单位时间某一范围内全部人员中可能死亡人员的数目。

3.28

尽可能合理降低原则(ALARP)as low as reasonably practice

在当前的技术条件和合理的费用下，对风险的控制要做到在合理可行的原则下“尽可能的低”。

3.29

死亡概率(P) probability of death

表示个体死于暴露下的概率大小，P为0~1之间的无因次数。

4 基本程序

定量风险评价包括以下步骤，流程图参见附录A:

a) 准备;

b) 资料数据收集;

- c) 危险辨识;
- d) 失效频率分析;
- e) 失效后果分析;
- f) 风险计算;
- g) 风险评价;
- h) 确定评价结论, 编制风险评价报告

5 定量风险评价项目管理

- 5.1 定量风险评价项目管理主要包括以下步骤, 流程图参见附录B.1:
- a) 了解用户需求;
 - b) 确定研究目的和目标;
 - c) 确定研究深度;
 - d) 确定评价规则;
 - e) 制定项目计划;
 - f) 项目执行。
- 5.2 在定量风险评价前, 应确定以下评价规则:
- a) 风险度量形式和风险可接受标准;
 - b) 数据采集、处理及缺失数据的处理;
 - c) 评价数据、假设、过程及结果的记录;
 - d) 评价小组组成及培训要求;
 - e) 失效频率的计算方法及原则;
 - f) 点火概率的计算方法;
 - g) 失效后果的计算方法及原则;
 - h) 风险的计算方法及原则;
 - i) 风险评价结果及建议的符合性审查。
- 5.3 宜对评价小组成员进行培训, 明确定量风险评价小组成员所需的技能及在团队中的职责。小组成员包括但不限于风险评价项目经理、企业主管、工艺/设备工程师、安全工程师/风险分析师及风险评价技术专家等。定量风险评价小组成员职责及培训内容参见附录B.2。

6 资料数据收集

6.1 一般资料数据

应根据评价的目标和深度确定所需收集的资料数据, 包括但不限于表1的资料数据。

表 1 定量风险评价收集的一般资料数据

类别	一般资料数据
危害信息	危险物质存量、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(HAZOP)]结果、点火源等
设计和运行数据	区域位置图、平面布置图、设计说明、工艺规程、安全操作规程、工艺流程图(PFD)、管道和仪表流程图(P&ID)、设备数据、管道数据、运行数据等

表 1 定量风险评价收集的一般资料数据(续)

类别	一般资料数据
减缓控制系统	探测和隔离系统(可燃气体和有毒气体检测、火焰探测、电视监控、连锁切断等)、消防、水幕等减缓控制系统
管理系统	管理制度、操作和维护手册、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、太阳辐射热等)、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	故案例、设备失效统计资料等
人口数据	评价目标(范围)内室内和室外人口分布

6.2 人口数据

- 6.2.1 人口分布统计时, 应遵循以下原则:
- a) 根据评价目标, 确定人口统计的地域边界;
 - b) 考虑人员在不同时间上的分布, 如
 - c) 考虑娱乐场所、体育馆等敏感场所人员的流动
 - d) 考虑已批准的规划区内可能存在的人
- 6.2.2 人口数据可采用实地统计数据, 也可采用通过政府主管部门、地理信息 商业途径获得的数据。

6.3 点火源

- 6.3.1 化工企业典型点火源分为:
- a) 点源, 如加热炉(锅炉)、机车、火炬、人员;
 - b) 线源, 如公路、铁路、输电线路
 - c) 面源, 如厂区外的化工厂、冶
- 6.3.2 应对评价单无的工艺条件、设备(设施)、平 布局等资料进行分析, 结合现场调研, 确定最坏事故场景影响范围内的潜在点火源, 并统计点火源的名称、种类、方位、数自以及出现的概率等要素。

7 危险辨识和评价单元选择

7.1 危险辨识

- 7.1.1 应按照AQ 8001第6.2条的规定对评价对象进行系统的危险辨识, 识别系统中可能对人造成急性伤亡或对物造成突发性损坏的危险, 确定其存在的部位、方式以及发生作用的途径和变化规律。
- 7.1.2 危险辨识可采用如下方法:
- a) 系统危险辨识方法, 如预先危险分析(PHA)、“如果-怎么样”(What-if) 分析、危险与可操作性分析(HAZOP)、故障类型和影响分析(FMEA)、故障树分析(FTA)和事件树分析(ETA)等;
 - b) 依 据GB 18218进行危险化学品重大危险源辨识;
 - c) 事故案例分析;
 - d) 其他方法。

7.2 评价单元选择

- 7.2.1 根据评价目的，可对辨识出的所有危险单元开展定量风险评价；也可对辨识出的危险单元进行初步评价并选择需要进行定量风险评价的单元，选择的评价单元应能代表评价对象的风险水平
- 7.2.2 评价单元选择可采用如下方法：
- a) 危险度评价法(见附录C)；
 - b) 设备选择数法(见附录D)；
 - c) 其他方法。

8 泄漏场景及频率

8.1 泄漏场景

8.1.1 基本泄漏场景

泄漏场景根据泄漏孔径大小可分为完全破裂以及孔泄漏两大类，有代表性的泄漏场景见表2。当设备(设施)直径小于150 mm时，取小于设备(设施)直径的孔泄漏场景以及完全破裂场景

表 2 泄漏场景

单位为毫米

泄漏场景	范围	代 表 值
小孔泄漏	0~5	5
中孔泄漏	5~50	25
大孔泄漏	50~150	100
完全破裂	>150	1) 设备(设施)完全破裂或泄漏孔径>150 2) 全部存量瞬时释放

8.1.2 设备典型泄漏场景

泄漏场景应根据设备(设施)的工艺条件、历史事故和实际的运行环境进行确定，可采用表3定义的典型泄漏场景。

表 3 设备(设施)典型泄漏场景

序号	设备(或设施)种类	泄 漏 场 景
1	管线	见8.1.3
2	常压储罐	见8.1.4
3	压力储罐	见8.1.5
4	工艺容器和反应容器	见8.1.6
5	泵和压缩机	见8.1.7
6	换热器	见8.1.8
7	压力释放设施	见8.1.9
8	化学品仓库	见8.1.10
9	爆炸物品储存	见8.1.11
10	公路槽车或铁路槽车	见8.1.12
11	运输船舶	见8.1.13

8.1.3 管线

- 管线泄漏场景见8.1.1，并满足以下要求：
- a) 对于完全破裂场景，如果泄漏位置严重影响泄漏量或泄漏后果，应至少分别考虑3个位置的完全破裂：
 - 管线前端；
 - 管线中间；
 - 管线末端。
 - b) 对于长管线，宜沿管线选择一系列泄漏点，泄漏点的初始间距可取为50 m，泄漏点数应确保当增加泄漏点数量时，风险曲线不会显著变化

8.1.4 常压储罐

常压储罐泄漏场景见表

常压储罐泄漏场景

储罐类型	泄漏到环境中				罐壁中						
	5 mm 孔径 泄漏	25 mm 孔径 泄漏	100 mm 径泄	破裂	直径 泄漏	25 mm 孔 泄漏	100 mm 孔 泄漏	完全破裂			
单防罐	√	√		√							
双防罐				√	√	√		√			
全防罐											
地下储罐	注1										
注1: 对地下储罐，如果设有限制液体 设施失效引发的液池蒸发，反之 注2: 如果储罐的储存液位变化较大， 注3: 对于其他类型的储罐，可根据实际									环境中的封闭设施， 地下储罐类型，考虑为单 风险计算结果产生重大影响 表4中的场景。	场景考虑为地 双防罐或全防罐的泄漏场景。 可考虑不 的概率。	完全破裂以及封闭

8.1.5 压力储罐

压力储罐泄漏场景见8.1.1。对于储存压缩液化气体的压力储罐当储存液位变化较大，且对风险计算结果产生重大影响时，可考虑不同液位的概率。

- 8.1.6 工艺容器和反应容器的定义见表5其泄漏场景。1.对于蒸馏塔附属的再沸器、冷凝器泵、回流罐、工艺管线等其他相关部件的泄漏场景可按照各自的设备类型考虑。

表 5 工艺容器和反应容器的定义

类型	定 义	例 子
工艺容器	容器内物质只发生物理性质(如温度或相态)变化的容器 (不包括8.1.8中的换热器)	蒸馏塔、过滤器等
反应容器	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	通用反应器、釜式反应器、床式反应器等

8.1.7 泵和压缩机

泵和压缩机的泄漏场景取吸入管线的泄漏场景，见8.1.1；当泵或压缩机的吸入管线直径小于150 mm时，则最后一种泄漏场景的孔尺寸为吸入管线的直径。

8.1.8 换热器

换热器泄漏场景见表6。

表6换热器泄漏场景

换热器类型	具体分类	泄漏位置	漏			
			泄漏场景1	泄漏场景2	泄漏场景3	泄漏场景4
板式换热器	危险物质在板间通道内	板间危险物质泄漏	5 mm孔径泄漏	25 mm孔径泄漏	100 mm孔径泄漏	破裂
管式 换热器	危险物质在壳程	壳程内危险物质泄漏	5 mm孔径泄漏	25 mm孔径泄漏	100 mm孔径泄漏	破裂
	危险物质在管程，壳程的设计压力大于管程危险物质的最大压力	管程内危险物质泄漏				10条管道破裂
	危险物质在管程，壳程的设计压力小于或等于管程危险物质的最大压力	管程内危险物质泄漏	一条管道5 mm孔径泄漏	一条管道25 mm孔径泄漏	一条管道破裂	10条管道破裂
	管程和壳程内同时存在危险物质，壳程的设计压力大于管程危险物质的最大压力	壳程内危险物质泄漏	5 mm孔径泄漏	25 mm孔径泄漏	100 mm孔径泄漏	破裂
	管程和壳程内同时存在危险物质，壳程的设计压力小于或等于管程危险物质的最大压力	管程内危险物质泄漏				10条管道破裂
		壳程内危险物质泄漏	5 mm孔径泄漏	25 mm孔径泄漏	100 mm孔径泄漏	破裂
		管程内危险物质泄漏	一条管道5 mm孔径泄漏	一条管道25 mm孔径泄漏	一条管道破裂	10条管道破裂
注1:假设泄漏物质直接泄漏到大气环境中 注2:其他换热器可按表6的具体分类进行泄漏场景设置						

8.1.9 压力释放设施

当压力释放设施的排放气直接排入大气环境中，应考虑压力释放设施的风险，其场景可取压力释放设施以最大释放速率进行排放。

8.1.10 化学品仓库

化学品仓库宜考虑物料在装卸和存储等处理活动中，由毒性固体的释放、毒性液体的释放或火灾造成的毒性风险

8.1.11 爆炸物品储存

爆炸物品储存应考虑储存单元发生爆炸和火灾两种场景。在储存单元内发生爆炸，采用储存单元爆炸场景。如果爆炸不会发生，采用储存单元火灾场景。

8.1.12 公路槽车或铁路槽车

企业内部公路槽车或铁路槽车的泄漏场景应考虑槽车自身失效引起的泄漏和装卸活动导致的泄漏。泄漏场景见表7。

表7公路槽车或铁路槽车泄漏场景

设备(设施)	漏场景
公路槽车或铁路栏车	1)孔泄漏，孔直径等于槽车最大接管直径槽车破裂
装卸软管	
装卸臂	

8.1.13运输船舶

企业内部	码头运输船舶的泄漏事件应考虑装卸活动和外部影响(冲击), 溢接				景观表8。
	表8 运输船舶泄漏场景				
设备(设施)		泄漏场景	备		
装卸臂		见8.1	装卸臂		
气体罐(运输船)的		见8.1	外部影响(冲击)		
半冷冻式罐		见8.1	外部影响(冲击)		
单壁液体罐		见8.1	外部影响(冲击)		
双壁液体罐		见8.1	外部影		
注1:外部影响如船舶碰撞引起的泄漏，可考虑罐体完全破裂，如果船停泊在港口外，外部碰撞造成的泄漏可不考虑					
注2:如果装卸臂由多根管道组成，装卸臂的完全破裂相当于所有管道完全破裂					

8.2泄漏频率

8.2.1泄漏频率可使用以下数据来源

- a) 适用于化工行业的失效数据库
- b) 企业历史统计数据
- c) 基于可靠性的失效概率模型
- d) 其他数据来源

8.2.2 泄漏频率数据选择应考虑以下事项

- a) 应确保使用的失效数据与数据内在的基本假设相一致；
- b) 使用化工行业数据库时，宜考虑下列因素对泄漏频率的影响——减薄；

— 衬里；
— 外部破坏；
— 应力腐蚀开裂；
— 高温氢腐蚀；
— 机械疲劳(对于管线)；
— 脆性断裂；
— 其他引起泄漏的危害因素。
c) 如果使用企业历史统计数据，则只有该历史数据充足并具有统计意义时才能使用。
8.2.3 可考虑企业工艺安全管理水平对泄漏频率的影响，可采用SY/T 6714第8.4条的规定进行修正。
8.2.4 当8.1中泄漏场景发生的频率小于10-8/年或事故场景造成的死亡概率小于1%时，在定量风险评价时可不考虑这种场景。

9 源项和气象云扩散

9.1 源项和气象云扩散计算

9.1.1 源项和气象云扩散的计算应考虑以下情形：
a) 泄漏(释放)；
b) 闪蒸和液池蒸发；
c) 射流和气象云扩散；
d) 火灾；
e) 爆炸。
9.1.2 在选择源项和气象云扩散模型时，应考虑泄漏物质的特性。模型及相关计算条件的科学性已得到试验数据验证或模型比较研究论证等。源项和气象云扩散计算模型参见附录E。

9.2 泄漏

9.2.1 对每一个泄漏场景应选择一个合适的泄漏模型，不同泄漏场景的泄漏速率计算方法参见附录E.1。
9.2.2 泄漏位置应根据设备(设施)实际情况而确定。在工艺容器或反应容器中，当容器内同时存在气相和液相时，应模拟气相泄漏和液相泄漏两种场景。
9.2.3 泄漏方向应根据设备安装的实际情况确定。如果没有准确的信息，泄漏方向宜设为水平方向，与风向相同。对于地下管道，泄漏方向宜为垂直向上。
9.2.4 泄漏一般考虑为无阻挡释放，以下两种情况宜考虑泄漏位置附近的地面或者物体的阻挡作用：
a) L_w/L_i 小于0.33， L_i 为泄漏点到阻挡物的距离， L_i 为自由喷射长度，见式(1)：

$$L_i = \sqrt{2} u_0 \frac{h_0}{u_{cr}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 u_0 ——源处的喷射速度，单位为米每秒(m/s)
 h_0 ——源半径，单位为米(m)；
 u ——平均环境风速，单位为米每秒(m/s)，通常取5 m/s。
b) 对所有可能的释放方向， L_w/L_i 小于0.33的概率P；大于0.5，在这种情况下，频率为f的泄漏场景应分成两个独立的泄漏场景：频率为 $P_i \times f$ 的有阻挡释放和频率为 $(1-P) \times f$ 的无阻挡释放。

9.2.5 最大可能泄漏量取 a) 和 b) 的较小值：
a) 泄漏设备单元中的物料加上相连设备截断前可流入泄漏设备单元中的物料，设定流入速度等于泄漏速度；
b) 泄漏设备及相连单元内所有的物料量应根据实际运行数据确定，当缺乏数据时可采用SY/T 6714第7.4条推荐的方法进行估算。
9.2.6 在确定有效泄漏时间时，应考虑设备和相连系统中的存量、探测和隔离时间以及可能采取的任何反应措施。应对每个泄漏场景的有效泄漏时间逐个确认，有效泄漏时间可取如下3项中的最小值：
a) 60 min；
b) 最大可能泄漏量与泄漏速率的比值；
c) 基于探测及隔离系统等级的泄漏时间，参见

9.3 闪蒸和液池蒸发

9.3.1 过热液体泄漏计算应考虑闪蒸的影响，闪蒸计算参见附录上。
9.3.2 液池扩展应考虑地面粗糙度、障碍物以及液体收集系统等的影响如果存在围堰、防护堤等拦蓄区，且泄漏的物质不溢出拦蓄区时，液池最大半径为拦蓄区的等效半径。

9.4 扩散

9.4.1 计算扩散时，应至少考虑以下两种情况
a) 射流，对于射流需确定喷射高度或距离
b) 大气扩散，大气扩散计算应考虑实际气体特性，根据扩散气体的初始、Richardson数等条件选择重气扩散或非重气扩散。
9.4.2 室内的容器、储罐和管道等设备泄漏，应考虑建筑物对扩散的影响选模型时应考虑以下情况：
a) 建筑物不能承受物质泄漏带来的压力，可设定物质直接释放到大气
b) 建筑物可承受物质泄漏带来的压力，则室外扩散源项应考虑建筑物源项以及通风系统的影响
9.4.3 在计算扩散时，宜选择稳定、中等稳定、不稳定、低风速、中风速和高风速、Pasquill大气稳定度(参见附录E.3)时，可选择以下6类气象条件，见

表9 选择的天气条件

单位为米每秒	
大气稳定度	
B	风速：3~5
D	低风速：1~2
D	中风速：3~5
D	高风速：8~9
E	中风速：3~5
F	低风速：1~2

9.4.4 扩散计算时，应考虑当地的风速、风向及稳定度联合频率，宜选择16种风向。气象统计资料宜采用评价单元附近气象站的气象统计数据。

9.5火灾和爆炸

9.5.1 对于可燃气体或液体泄漏(释放)应考虑发生沸腾液体扩展蒸气云爆炸(BLEVE)和(或)火球、喷射火、池火、蒸气云爆炸及闪火等火灾、爆炸场景。具体场景与物质特性、储存参数、泄漏类型、点火类型等有关,可采用事件树方法确定各种可燃物质释放后各种事件发生的类型及概率。可燃物质释放事件树参见附录G.1。

9.5.2 点火分为立即点火和延迟点火。立即点火的点火概率应考虑设备类型、物质种类和泄漏形式(瞬时释放或者连续释放)。可根据数据库统计或通过概率模型计算获得。可燃物质泄漏后立即点火概率参见附录G.2。

延迟点火的点火概率应考虑点火源特性、泄漏物特性以及泄漏发生时点火源存在的概率,可按式(2)计算:

$$P(t)=P_{\text{presant}}(1-e^{-\lambda t}) \quad \text{.....(2)}$$

式中:

P(t)——0~t 时间内发生点火的概率;

Ppresent——点火源存在的概率;

λ——点火效率,单位为每秒(s⁻¹),与点火源特性有关;

t——时间,单位为秒(s)。

常见点火源在1 min 内的点火概率参见附录G.3。

9.5.3 压缩液化气体或压缩气体瞬时释放时,应考虑 BLEVE 或火球的影响。BLEVE 或火球热辐射计算参见附录 E.4.2。

9.5.4 可燃有毒物质在点火前应考虑毒性影响,在点火后应考虑燃烧影响。可进行如下简化:

- a) 对低活性物质(参见附录G.2),假设不发生点火过程,仅考虑有毒物释放影响;
- b) 对中等活性及高活性物质,宜分成可燃物释放和有毒物释放两种独立事件进行考虑。

9.5.5对于喷射火,其方向为物质的实际泄漏方向;如果没有准确的信息,宜考虑垂直方向喷射火和水平方向喷射火,计算方法参见附录E.4.3。

9.5.6 气云延迟点火发生闪火和爆炸时,可将闪火和爆炸考虑为两个独立的过程。

9.5.7 气云爆炸产生的冲击波超压计算宜考虑气云的受约束或阻碍状况,计算方法参见附录 E.4.4。

9.6 减缓控制系统

应考虑不同种类的减缓控制系统对危险物质释放及其后果的影响。如果能够确定减缓控制系统的效果,宜采用下列步骤反映减缓控制系统的作用:

- a) 确定系统起作用需要的时间t;
- b) 确定系统的效果;
- c) 0~t 时间内不考虑减缓控制作用;
- d)t 时间后的源项值应考虑减缓控制系统的效果并进行修正;
- e) 应考虑减缓控制系统的失效概率。

10 暴露影响

10.1 死亡概率计算

10.1.1 有毒气体、热辐射和超压的影响参见附录H。

10.1.2 给定暴露下死亡概率可采用概率函数法计算,死亡概率Pa 与相应的概率值P: 函数关系见下

式, Pa 和 P_i 的对应关系见附录I1:

$$P_{e_i}=0.5 \times \left[1 + \exp \left(\frac{P_i - 5}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad \text{..... (3)}$$

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad \text{..... (4)}$$

式中:

t——暴露时间,单位为秒(s)

10.2 中毒

毒性暴露下死亡概率值可按下式计算:

$$Pr_a = a + b \ln(C) \quad \text{.....(5)}$$

式中:

Pr 毒——毒性暴露下的死亡 值;

a、b、n——描述物质毒性的常数

C 浓度,单位为毫克每立方米

t 暴露—毒物环境中的时间,单位为分(min),最大值为30 m

10.3热辐射危害

10.3.1火球、池火及喷射火的死亡概率值可按下式计算:

$$36.38 + 2.56 \ln(Q^2 t) \quad \text{.....(6)}$$

式中:

Pr热 热辐射暴露下的死亡概率值;

Q 热辐射强度,单位为瓦每平方米(W/m²)

t 暴露时间,单位为秒(s),最大值为20 s。

10.3.2在计算热辐射暴露死亡概率时,处于火球、池火及喷射火火场 热辐射强度不小于 37.5 kW/m²时,人员的死亡概率为100%

10.4闪火和爆炸

10.4.1闪火的火焰区域等于点燃时可燃云团LFL 的范围。内火火 内,人员的死亡概率值为100%;闪火火焰区域外,人员的死亡概率值为0

10.4.2 对于蒸气云爆炸,在0.0 MPa 超压影响区域内,人员的化解率为100%;在0.01 MPa 超压影响区域外,人员的死亡概率为0。

11风险计算

11.1定量风险评价风险度量分为个体风险和社会风险。个体风险可表现为个体风险等值线,社会风险可表现为F-N 曲线和潜在生命损失PLL。

11.2 个体风险和社会风险的表现形式应满足:

- a) 个体风险应在标准比例尺地理图上以等值线的形式给出,宜表示出频率不小于10⁻⁸/a的个体风险等值线;
- b) 社会风险应绘制F-N 曲线。

11.3在计算个体风险和社会风险时,应对评价区域进行计算网格划分,遵循的原则为:

- a) 网格单元的划分应考虑当地人口密度和事故影响范围,网格尺寸不应影响计算结果;

- b) 确定每个网格单元的人员数量时，可假设网格单元内部有相同的人口密度；
- c) 将点火概率分配到每一个网格单元，如果网格中有多个点火源，则将所有点火源合并成处于网格单元中心的单个点火源。
- 11.4 个体风险考虑人员处于室外的情况，社会风险应考虑人员处于室外和室内两种情况。在计算个体风险和社会风险时，可按下式进行修正：

$$P \text{ 个体风险} = \beta \text{ 个体风险} P_a \quad (7)$$
$$P \text{ 社会风险} = \beta \text{ 社会风险} P_a \quad (8)$$

式中：

P_a —— 人员的死亡概率；

P 个体风险—— 个体风险计算时的死亡概率；

P 社会风险—— 社会风险计算时的人口死亡百分比；

β 个体风险—— 个体风险计算时的死亡概率修正因子；

β 社会风险—— 社会风险计算时的人口死亡百分比修正因子。

β 取值见表10

表10修正因子 β 取值

场 景		β 个体风险		β 社会风险	
		室外	室外	室内	室内
爆炸	爆炸超压 ≥ 0.03 MPa	1	1	1	1
	0.01 MPa $<$ 爆炸超压 <0.03 MPa				
	爆炸超压 ≤ 0.01 MPa	0	0	0	0
闪火范围内		1	1	1	1
闪火范围外		0	0	0	0
热辐射强度小于37.5 kW/m ²	火球	1	0.14*	0	0
	喷射火		0.1a	0	0
	池火	1	0.14	0	0
热辐射强度大于或等于37.5 kW/m ²	火球	1	1	1	1
	喷射火	1	1	1	1
	池火	1	1	1	1
毒性		1	1	1*	1*

爆炸超压0.01 MPa $\sim$ 0.03 MPa半径区域的室外人员的死亡概率为0；在计算社会风险时，室内人员需考虑建筑物破坏的影响，死亡百分比为2.5%。

当计算社会风险时，通常认为在衣服着火以前，室外人员因受到衣服的保护而减弱了热辐射的影响，与没有衣服保护相比，其死亡百分比减小至0.14倍，因此修正因子为0.14。

• 计算室内人员的死亡百分比时应考虑室内真实毒性剂量，室内毒性剂量与毒性气团的通过时间和房间通风率有关，在没有具体参数时，可取同样剂量下室外人员死亡概率的0.1倍。

- 11.4.1 个体风险计算程序如图1所示，步骤如下：
- a) 选择一个泄漏场景(LOC)，确定LOC的发生频率 f_s ；
- b) 选择一种天气等级M 和该天气等级下的一种风向中，给出天气等级M 和风向中同时出现的联合概率 PMP_p ；
- c) 如果是可燃物释放，选择一个点火事件i 并确定点火概率P；如果考虑物质毒性影响，则不考虑点火事件；
- d) 计算在特定的LOC、天气等级M、风向中及点火事件i(可燃物)条件下网格单元上的死亡概率P 个体风险，计算中参考高度取 h_{ref} ；
- e) 计算(LOC、M、中、i)条件下对网格单元个体风险的贡献

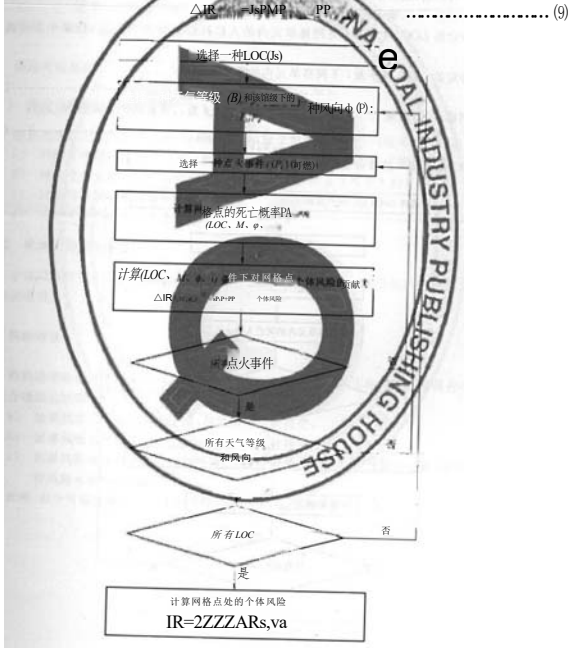


图 1 网格点处的个体风险计算程序

- f) 对所有的点火事件,重复c)~e)步的计算;对所有的天气等级和风向,重复b)~e)步的计算;
对所有的LOC重复a)~e)步的计算,则网格点处的个体风险由下式计算:

$$IR = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^q \Delta N_{S,M,E,i} \dots \dots \dots (10)$$

11.4.2 社会风险计算程序如图2所示,步骤如下:

- a) 首先确定以下条件:
1) 确定LOC及其发生频率 f_s ;
2) 选择天气等级M, 概率为PM;
3) 选择天气等级M下的一种风向中, 概率为P;
4) 对于可燃物, 选择条件概率为P, 的点火事件;
b) 选择一个网格单元, 确定网格单元内的人数N;
c) 计算在特定的LOC、M、 ϕ 及i下网格单元内的人口死亡百分比 ϕ 社会风险, 计算中参考高度取1m;
d) 计算在特定的LOC、M、 ϕ 及i下网格单元内的死亡人数 $\Delta N_{S,M,E,i}$
 $\Delta N_{S,M,E,i} = P$ 社会风险Nal $\dots \dots \dots (11)$
e) 对所有网格单元, 重复b)~d) 步的计算, 对LOC、M、 ϕ 及i, 计算死亡总人数Ns.M...
 $N_{S,M,E,i} = \sum_{i=1}^m \Delta N_{S,M,E,i} \dots \dots \dots (12)$
f) 计算LOC、M、 ϕ 及i的联合频率 $f_s M \phi i$

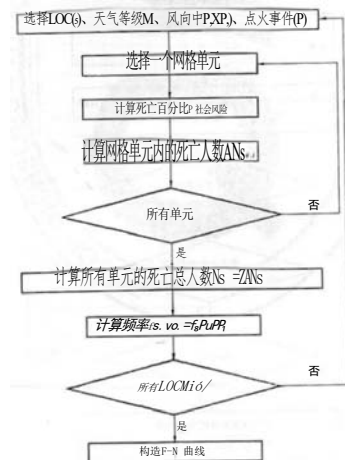


图2社会风险计算流程

$$f_s \cdot M \cdot \phi \cdot P_i = f_s P_m P_i P_i \dots \dots \dots (13)$$

对所有的LOC(φ)、M、及i, 重复a)~f) 步的计算, 用累积死亡总人数 $N_{S,M} \geq N$ 的所有事故发生频率 $f_s \cdot M$ 构造F-N 曲线:

$$F_N = \sum_{i=1}^m f_s \cdot M \cdot \phi \cdot P_i \rightarrow N_{S,M,E,i} \geq N \dots \dots \dots (14)$$

11.5 潜在生命损失PLL应按下式进行计算:

$$PLL = \sum_{i=1}^m f_s N_i \dots \dots \dots (15)$$

式中:

PLL — 潜在生命损失;

f_s — 事件结果的频率, 单位为 $1/a$ 年;

N_i — 第i个事件的死亡人数。

C

12 风险可接受标准

0

12.1 风险可接受标准确定原则

企业在进行定量风险评价前, 应确定风险可接受标准值。确定风险可接受标准时应遵循以下原则:

- 风险前接受标准应具有一定的社会基础, 能够被政府和公众所接受
- 重大危害对员工个人或公众成员造成的风险不应显著增加人们日常中已经存在的风险;
- 风险可接受标准应和社会经济发展水平相适应, 并适时更新;
- 应考虑企业内部和企业外部个体风险的差异。

12.2 风险可接受标准值

个体风险可接受标准值和社会风险可接受标准值应满足国家安全生产监督管理总局令(第40号)的相关要求。

13 风险评价

将风险评价的结果和风险可接受标准进行比较, 判断项目的实际风险水平是否可以接受, 可采用尽可能合理降低原则(ALARP)

- 如果风险水平超过容许上限, 该风险不能被接受;
- 如果风险水平低于容许下限, 该风险可以被接受
- 如果风险水平在容许上限和下限之间, 可考虑风险成本与效益分析, 采取降低风险的措施, 使风险水平“尽可能低”。

此外, 对于可能造成严重后果的事件, 应努力降低此事件发生的频率

附录 A
(规范性附录)
定量风险评价基本程序

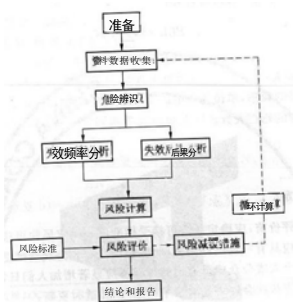


图 A.1 定量风险评价基本程序

附录 B
(资料性附录)
定量风险评价项目管理

B.1 定量风险评价项目管理



图B.1 定量风险 评价项目管理

B.2 定量风险评价小组成员职责及培训内容

B.2.1 定量风险评价小组成员职责

表 B.1 定量风险评价小组成员职责

人 员	主要工作职责
企业主管	• 确定评价工作的范围和目的 • 根据评价工作的需求，批准所需资源 • 理解研究结果 • 审查减缓风险的措施 • 基于风险评价的结果做出决策

表 B.1 定量风险评价小组成员职责(续)

人 员	主要工作职责
风险评价项目经理	- 与企业主管协商，确定评价工作的范围和目的 - 确定所需资源 - 控制风险评价工作进度 - 质量控制 - 协调相关部门及人员 - 审查减缓风险的措施
工艺/设备工程师	- 工艺流程说明 - 提供工艺操作参数 - 设备参数 - 提供装置内的危险物质种类及储存数量 - 参与提出最终评价结果 - 审查减缓风险的措施
安全工程师/风险分析师	- 协助确定风险评价范围 - 开展具体的风险评价(包括危险性分析、后果、频率及风险计算等) - 对风险评价的结果进行解释 - 提供定量风险评价技术培训
风险评价技术专家	- 提供广泛的定量风险评价技术的建议 - 改进定量风险评价技术 - 提供定量风险评价技术培训

B.2.2 定量风险评价培训内容

B.2.2.1 对企业主管及参与评价项目相关人员的培训内容：

- 定量风险评价方法介绍；
- 项目管理与控制；
- 在项目中承担的职责。

B.2.2.2 定量风险评价工作组成员的培训内容：

- 定量风险评价原理
- 定量风险评价方法；
- 失效频率的计算方法和原则；
- 失效后果的计算方法和原则；
- 数据的采集，审核及缺失数据的处理

附 录 C
(规范性附录)
评价单元选择方法——危险度评价法

C.1 危险度评价法

该方法以各单元的物质、容量、温度、压力和操作5项指标进行评定，每一项又分为A、B、C、D 4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度等级。危险度评价取值表见表C.1。

表 C.1 危险度评价取值表

工程	值			
	A(10分)		C(2分)	D(0分)
物质(指单元中危险、有害程度最大的物质)	1. 甲类可燃气体 2. A类物质及液态烃类 3. 甲类固体 4. 极度危害物质	1. 乙类气体 2. 甲类固体 3. 甲类固体 4. 极度危害物质	丙A、丙B类 2. 丙类可燃固体 3. 中、轻度危害物质	属于左述之A、B、项之物质
容量	1. 气体在1000 m ³ 以上 2. 液体在100 m ³ 以上	1. 气体 10 m ³ ~100 m ³	体在100 m ³ ~500 m ³ 在10 m ³ ~50 m ³	气体小于100 m ³ 液体小于10 m ³
温度	1000℃以上使用，其操作温度在燃点以上	℃以上使用，但度在燃点以下 1000℃使用，其操作温度在燃点	1. C~1000℃ 用，其操作温度在燃点 在250℃ 操作温度在燃点	在低于250℃时使用，操作温度在燃点以下
压力	100 MPa	MP MP	1 MPMP	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	中等放热反应(如烷基化、酯化、加氢、氢化、聚合、缩合等反应)操作 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. 轻热反应(如加水合、异构化、烷基化、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
见GB 50160中可燃物质的火灾危险性分类。 见HG 20660中表1、表2、表3。 (1)有触媒的反应，应去掉触媒所占空间；(2)气液混合反应，应按其反应的相态选择上述规定				

C.2 危险度分级

危险度分级见表C.2。

表 C.2 危险度分级

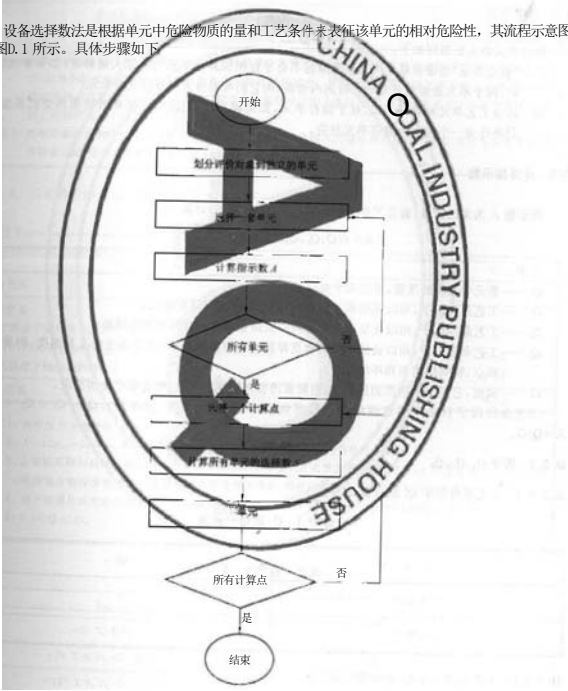
总分值	≥16分	11分~15分	≤10分
等级	I	II	III
危险程度	高度危险	中度危险	低度危险

可选择总分值大于或等于11分的单元(装置)进行定量风险评价。

附录 D
(规范性附录)
评价单元选择方法——设备选择数法

D.1 引言

设备选择数法是根据单元中危险物质的量和工艺条件来表征该单元的相对危险性，其流程示意图如图D.1所示。具体步骤如下



图D.1 设备选择数法流程示意图

- a) 将企业划分为独立的单元
- b) 计算单元的指数A, 它表征了单元的固有危险, $A=f$ (危险物质的质量, 工艺条件, 物质属性);
- c) 计算企业周边系列点上单元造成的危险。该点的危险用选择数S 来表征, 它是指数A 和该点与装置的距离L 的函数, $S=f(A,L)$
- d) 根据选择数S 的相对大小, 选择需进行定量风险评价的单元。

D.2 单元划分

划分单元的主要原则如下:

- a) “独立单元”是指该单元内物质的泄漏不会导致相邻其他单元的物质大量释放; 如果事故发生时, 两个单元能够在非常短的时间内切断, 则它们可划分为相互独立的单元;
- b) 区分工艺单元和储存单元, 对于储存单元, 如储罐, 即使储罐包含循环系统和热交换系统, 它仍将作为一个独立的储存单元对待。

D.3 计算指数

指数A 为无量纲, 表征了单元的固有危险, 由式(D.1) 计算:

$$A=f(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, G)=\frac{Q_1 Q_2 Q_3 Q_4}{G} \dots\dots\dots(D.1)$$

式中:

Q— 单元中物质的质量, 单位为千克(kg);

Q₁——工艺条件因子, 用以表征单元的类型, 即工艺单元或储存单元

Q₂——工艺条件因子, 用以表征单元的布局以及防止物质扩散到环境的措施

Q₃——工艺条件因子, 用以表征单元中物质释放后气相物质的量(基于单元的工艺温度、物质常压沸点、物质的相态和环境温度);

G —— 阈值, 它表征了物质的危险度, 由物质的物理属性和毒性、燃烧爆炸性所决定。

工艺条件因子只适用于有毒物质和可燃物质, 对于爆炸物质(如炸药), $Q=Q_2=Q=1$, 则

$A=Q/G$

D.3.1 因子Q₁、Q₂、Q₃

D.3.1.1 工艺条件因子Q₁ 的取值见表D.1

表 D.1 Q₁取值一览表

单元类型	Q ₁
工艺单元	1
储存单元	0.1

D.3.1.2 工艺条件因子Q₂ 的取值见表D.2

表 D.2 Q₂取值一览表

单元的布置和防护措施	Q ₂
室外单元	1.0
封闭式单元	0.1
单元有围堰, 工艺温度T _p ≤沸点T+5℃	1
单元有围堰, 工艺温度T _p >沸点T+5℃	0.1
注1:对于储存单元, 工艺温度可视作储存温度 C 注2:封闭式单元应能阻业物质泄漏时散到环境中。它要力, 此外封闭设施能极大降低物质直接释放到环境中, 如设能故使释放到大环境中的物质数量降到原的1/5成批设施能够将释放物导向全地占以虚为封闭的否则否应该作为一个室外单元。 注3:围堰应能阻止物质扩散到环境中。 双防常压罐、全防常压储罐、地下常压罐和地下常压罐	
D.3.1.3 工艺条件因子Q ₃ 取值见表D.3。 表D.3 Q ₃ 取值一览表	
	Q
物质为气态	10
物质为液态 ①工艺温度下饱和蒸汽压≥3×10 ⁵ Pa ②1×10 ⁵ Pa≤工艺温度下饱和蒸汽压 P _a ③工艺温度下饱和蒸汽压<1×10 ⁵ Pa	10 X+△ p±4
物质为固态	0.1
注1:表中压力为绝对压 注2: X=45pat-3. 5, pa为饱和蒸汽(MPa), p为工艺温度下物质的来 注3:A夷征环境与泌之间的执住里原的游州浆浆定增, △量取, 值A取和常。4. 对危险物质混合物应该使用10%蒸馏温度点作为常压沸点, 合确此10%馏蒸馏掉。 注4:对于溶解在业危险性溶剂里的值险物质, 地虚蒸汽汽用压T ₁₀ 代替危险物质的分压。 注5:0.1≤Q≤10	

表D.4 △取值一览表

T _{bp}	△
-25℃≤T	0
-75℃≤T _p <-25℃	1
-125℃≤T _m <-75℃	2
T _p <-125℃	3

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/887031160102006143>