

# SZDB/Z

## 深圳市标准化指导性技术文件

SZDB/Z 16—2008

### 深圳市重大危险源安全评估导则

Guideline on safety assessment of major hazard installations

2008-10-07 发布

2009-01-01 实施

深圳市质量技术监督局 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
3.1 重大危险源 major hazard installations .....	1
3.2 安全评估 safety assessment .....	1
4 安全评估程序 .....	1
4.1 准备阶段 .....	1
4.2 危险、有害因素辨识与分析 .....	1
4.3 安全生产条件评价 .....	2
4.4 应急救援预案评价 .....	2
4.5 重大危险源分级 .....	2
4.6 安全评估结果及建议 .....	2
4.7 安全评估报告的编制 .....	2
5 安全评估内容 .....	2
5.1 准备阶段 .....	2
5.2 危险、有害因素辨识与分析 .....	2
5.3 安全生产条件评价 .....	2
5.4 应急救援预案评价 .....	3
5.5 重大危险源等级划分 .....	3
5.6 安全评估结果及建议 .....	5
5.7 安全评估报告 .....	5
附 录 A（规范性附录） 重大危险源范围 .....	7
A.1 贮罐区（贮罐） .....	7
A.2 库区（库） .....	7
A.3 生产场所 .....	8
附 录 B（规范性附录） 事故场景与模型 .....	9
B.1 贮罐区重大事故后果分析 .....	9
B.2 库区重大事故后果分析 .....	25
B.3 生产场所重大事故后果分析 .....	26
B.4 死亡概率的计算方法 .....	31
附 录 C（规范性附录） 重大危险源安全评估报告封面样张 .....	33
参考文献 .....	34

## 前 言

重大危险源安全评估是落实《中华人民共和国安全生产法》要求，确保重大危险源安全，防生产安全事故，减少事故损失，保障人民群众生命和财产安全的有效手段。

为规范深圳市重大危险源安全评估，特制定本标准。

本标准由深圳市安全生产监督管理局提出。

本标准起草单位：中国安全生产科学研究院、深圳市安全生产科学技术学会。

本标准主要起草人：吴宗之、刘骥、谭永良、高建明、叶青、姜中亚。

# 深圳市重大危险源安全评估导则

## 1 范围

本标准规定了深圳市重大危险源安全评估目的、程序、评估方法和报告格式。

本标准适用于深圳市危险化学品生产、经营、储存以及剧毒化学品使用单位的贮罐区（贮罐）、库区（库）和生产场所等属于危险化学品（民用爆炸物品、固态和非挥发性液体类别的剧毒化学品除外）重大危险源安全评估。重大危险源范围应符合GB18218《重大危险源辨识》和附录A的规定。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

《中华人民共和国安全生产法》（中华人民共和国主席令第70号）

《危险化学品安全管理条例》（国务院令第344号）

《关于开展重大危险源监督管理工作的指导意见》（安监管协调字[2004]56号）

《广东省安全生产监督管理局重大危险源监督管理规定》（粤安监[2006]542号）

《危险化学品名录》

《剧毒化学品目录》

GB18218 《重大危险源辨识》

GB/T28001 《职业健康安全管理体系规范》

AQ8001 《安全评价通则》

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准化指导性技术文件。

### 3.1 重大危险源 major hazard installations

长期地或者临时地生产、搬运、使用或者储存危险化学品，且危险化学品的数量等于或超过临界量的单元（包括场所和设施）。

### 3.2 安全评估 safety assessment

针对重大危险源，以实现安全为目的，应用安全系统工程原理和方法，辨识与分析重大危险源所在单位生产经营活动中的危险、有害因素，预测发生事故或造成职业危害的可能性及其严重程度，提出科学、合理、可行的安全对策措施建议，做出评估结论的活动。

## 4 安全评估程序

安全评估程序主要包括：准备阶段；危险、有害因素辨识；安全生产条件评价；应急救援预案评价；重大危险源分级；形成安全评估结论及建议；编制安全评估报告。

### 4.1 准备阶段

辨识重大危险源，明确评估对象和范围，收集国内外相关法律法规、技术标准及工程、系统的技术资料。

### 4.2 危险、有害因素辨识与分析

针对重大危险源，进行危险、有害因素辨识和分析，确定其存在的部位、发生作用的途径，可能出现的事故类型以及变化规律。

#### 4.3 安全生产条件评价

根据重大危险源相关的工程、系统情况，采用安全检查表对重大危险源相关的现有安全生产条件进行评价，评估企业重大危险源安全生产条件。

#### 4.4 应急救援预案评价

采用安全检查表对生产经营单位应急救援预案进行评价，评估生产经营单位应急能力。

#### 4.5 重大危险源分级

在危险、有害因素辨识和分析的基础上，选择合适的事故场景与模型，依据重大危险源分级判据对重大危险源进行分级。事故场景与模型见附录B。

#### 4.6 安全评估结果及建议

对上述安全评估结果进行总结，明确提出完善生产经营单位重大危险源安全管理、提高安全生产水平的建议。

#### 4.7 安全评估报告的编制

依据安全评估的结果，按照安全评估报告格式要求，编制相应的安全评估报告。

### 5 安全评估内容

#### 5.1 准备阶段

主要工作内容包括：明确评估对象和评估范围；组建评估组并制定工作计划；收集整理确定适用的国内外相关法律法规、行政规章、标准；安全设施、设备、装置检测报告；特种设备使用、特种作业、从业许可证明；收集整理并分析评估对象的基础资料（生产经营单位基本情况、重大危险源基本情况、重大危险源周边情况、气象和地质灾害数据、危险化学品作业活动与工艺流程）、重大危险源监测与监控系统、事故案例、事故应急救援预案、重大危险源相关安全管理制度等。

#### 5.2 危险、有害因素辨识与分析

分析重大危险源中所存在危险化学品的各种物理和化学特性（包括物态、密度、沸点、闪点、引燃温度、自燃点、燃烧热、爆炸极限、溶解性等），对其燃烧、爆炸及中毒等危险特性（包括危险性类别、稳定性、反应活性、腐蚀性、健康危害、环境危害、毒理学资料、生态学资料等）进行分析判断；结合生产工艺条件、自然环境、周边社会环境等条件，综合分析考虑可能出现的事故类型、出现原因、发生及发展的规律等。

#### 5.3 安全生产条件评价

根据《建筑设计防火规范》(GB50016)、《石油化工企业防火设计规范》(GB50160)、《工业企业总平面设计规范》(GB50187)、《工业企业厂内铁路、道路运输安全规程》(GB4387)、《生产过程安全卫生要求总则》(GB12801)、《生产设备安全卫生设计总则》(GB5083)、《消防安全标志设置要求》(GB15630)、《防止静电事故通用守则》(GB12158)、《化工企业静电接地设计规程》(HG/T20675)、《建筑物防雷设计规范》(GB50057)、《石油与石油设施雷电安全规范》(GB15599)、《建筑灭火器配置设计规范》(GB50140)、《建筑抗震设计规范》(GB50011)等现行技术标准要求，采用安全检查表进行企业重大危险源安全生产条件符合性评价。企业重大危险源安全生产条件符合性评价检查表主要包括以下内容：

1 厂址选择评价：厂址选择地区的规划、厂址工程地质条件和水文地质条件等自然条件、交通、危险化学品的生产装置和储存设施与周围居民区、商业中心、公园、学校、体育场馆等人口密集区域、公共设施以及相邻工矿企业的距离等；

2 厂区总平面布置：分区布置和布局、分区内各项设施的布置、厂区主要建筑物和构筑物距离、厂区的通道宽度等；

3 设备设施安全检查：电气设备、消防设施、防爆设施、防雷电设施、防静电设施、重大危险源

监测和监控设施、环保设施、特种设备、采暖通风等；

4 安全管理状况检查：有关证照文书、安全责任制及安全管理组织、安全培训教育、应急援、安全检查、作业环境和“三同时”等。

#### 5.4 应急救援预案评价

根据《危险化学品事故应急救援预案编制导则（单位版）》（安监管危化字[2004]43号）和《生产经营单位安全生产事故应急预案编制导则》（AQ/T 9002）等要求，采用安全检查表对生产经营单位应急救援预案进行评价，评估生产经营单位应急能力。

应急救援预案评价主要包括以下内容：

- 1) 应急组织机构、人员及其职责；
- 2) 危险目标及其危险特性、对周围的影响；
- 3) 现场处置方案；
- 4) 危险区隔离和现场有害物质监测；
- 5) 报警、通讯联络方式与程序；
- 6) 应急资源与位置；
- 7) 人员紧急疏散；
- 8) 外部应急组织机构、政府相关部门的报警、报告和协助程序；
- 9) 重大危险源周边单位与组织的通告程序；
- 10) 事故后的恢复；
- 11) 应急培训；
- 12) 应急演练；
- 13) 应急救援预案修订。

#### 5.5 重大危险源等级划分

在危险、有害因素辨识和分析的基础上，按照附录B选择合理事故场景和事故模型，计算事故发生后可能造成的人员死亡数量，然后按照表1中所列判据进行重大危险源等级划分。

表1 表1 重大危险源分级判据

重大危险源等级	分级判据
	死亡人数
一级	可能造成30人（含30人）以上
二级	可能造成10—29人
三级	可能造成3—9人
四级	可能造成1-2人

具体判别的依据如下：

- ①一级重大危险源：可能造成死亡30人（含30人）以上的重大危险源；
- ②二级重大危险源：可能造成死亡10-29人的重大危险源；
- ③三级重大危险源：可能造成死亡3-9人的重大危险源；
- ④四级重大危险源：可能造成死亡1-2人的重大危险源。

##### 5.5.1 重大危险源死亡人数计算方法

可能造成的死亡人数计算程序如下：

①将重大危险源的周边区域划分成等间隔的网格区,采用一笛卡尔坐标体系的网格覆盖的区域地图(如图1所示),网格间距大小取决于当地人口密度,以不影响计算结果为准。

②确定每一网格内的人员数量,通过火灾(室内火灾除外)、爆炸或毒物泄漏扩散事故后果模型计算事故在每一网格中心处产生的热辐射、超压或毒物浓度的数值,然后通过热辐射、冲击波超压或中毒概率函数将其转化为造成死亡的概率。

③将每一网格中心的死亡率与人口数量相乘,即得到死亡的人数。

④将所有网格的死亡人数求和,即得到总的死亡人数。

具体用下式表示:

$$N = \sum_{i=1}^n D_i \cdot S \cdot v_i \quad \dots \dots \dots (1)$$

式中:

N—总的死亡人数,单位为人;

$D_i$ —第*i*个网格的人口密度,单位为人/ $m^2$ ;

S—网格面积,单位为 $m^2$ ;

$v_i$ —第*i*个网格的个人死亡率;

n—网格的数目。

图1 图1 死亡人数计算原理示意

### 5.5.2 重大危险源分级

重大危险源分级程序见图2。如果一种危险化学品具有多种事故形态,按照后果最严重的事故形态考虑,即遵循“最大危险原则”。各类重大危险源事故场景、后果计算模型及死亡概率计算方法参见附录B。



图2 重大危险源评估分级程序

## 5.6 安全评估结果及建议

对安全生产条件评价结果进行概括,并给出重大危险源等级,指出生产经营单位应重点防范的重大危险因素和应急救援预案及应急管理存在的主要问题,明确生产经营者针对重大危险源安全管理应采取的重要安全措施以及建议。

## 5.7 安全评估报告

### 5.7.1 安全评估报告的编制

安全评估报告要做到数据准确,内容完整,方法科学,建议措施具体可行,结论客观公正。安全评估报告主要包括以下内容:

- 1) 安全评估的主要依据;
- 2) 重大危险源基本情况;
- 3) 危险、有害因素辨识;
- 4) 可能发生事故的种类及严重程度;
- 5) 安全生产条件评价;
- 6) 应急救援预案评价;
- 7) 重大危险源等级;
- 8) 防范事故的对策措施;



9) 评估结论与建议等。

#### 5.7.2 安全评估报告的基本格式要求

安全评估报告的基本格式要求如下：

- a) 封面
- b) 安全评价资质证书影印件
- c) 著录项
- d) 前言
- e) 目录
- f) 正文
- g) 附件
- h) 附录

安全评估报告应采用 A4 幅面，左侧装订。

封面的内容应包括：

- 被评价重大危险源名称及所属单位；
- 标题；
- 安全评价机构名称；
- 安全评价机构资质证书编号；
- 评估报告完成时间。

封面样张见附录 C。

“安全评价机构法定代表人、评估项目组成员”等著录项一般分两页布置。第一页署明安全评价机构的法定代表人、技术负责人、评估项目负责人等主要责任者姓名，下方为报告编制完成的日期及安全评价机构公章用章区；第二页则为评价人员、各类技术专家以及其它有关责任者名单，评价人员和技术专家均应亲笔签名。

附 录 A  
(规范性附录)  
重大危险源范围

### A.1 贮罐区（贮罐）

贮罐区（贮罐）重大危险源是指储存表 A.1 中所列类别的危险化学品，且储存量达到或超过其临界量的贮罐区或单个贮罐。

储存量超过其临界量包括以下两种情况：

- ① 贮罐区（贮罐）内有一种危险化学品的储存量达到或超过其对应的临界量；
- ② 贮罐区内储存多种危险化学品且每一种物品的储存量均未达到或超过其对应临界量，但满足下面的公式：

$$\frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \dots + \frac{q_n}{Q_n} \geq 1 \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$q_1, q_2, \dots, q_n$  —每一种危险化学品的实际储存量；

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  —对应危险化学品的临界量。

表 A.1 贮罐区（贮罐）临界量

类 别	物 质 特 性	临 界 量
易燃液体	闪点 < 28℃	20 t
	28℃ ≤ 闪点 < 60℃	100 t
可燃气体	爆炸下限 < 10%	10 t
	爆炸下限 ≥ 10%	20 t
毒性物质（气态和挥发性液体）	剧毒品	20t

### A.2 库区（库）

库区（库）重大危险源是指储存表 A.2 中所列类别的危险化学品，且储存量达到或超过其临界量的库区或单个库房。

储存量超过其临界量包括以下两种情况：

- ① 库区（库）内有一种危险化学品的储存量达到或超过其对应的临界量；
- ② 库区（库）内储存多种危险化学品且每一种物品的储存量均未达到或超过其对应临界量，但满足下面的公式：

$$\frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \dots + \frac{q_n}{Q_n} \geq 1 \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$q_1, q_2, \dots, q_n$  —每一种危险化学品的实际储存量；

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  —对应危险化学品的临界量。

表 A.2 库区（库）临界量

类别	物质特性	临界量
烟火剂、烟花爆竹		5 t
易燃液体	闪点<28℃	20 t
	28℃≤闪点<60℃	100 t
可燃气体	爆炸下限<10%	10 t
	爆炸下限≥10%	20 t
毒性物质（气态和挥发性液体）	剧毒品	20 t

### A.3 生产场所

生产场所重大危险源是指生产、使用表 A.3 中所列类别的危险化学品量达到或超过临界量的设施或场所。

包括以下两种情况：

- ① 单元内现有的任一种危险化学品的量达到或超过其对应的临界量；
- ② 单元内有多种危险化学品且每一种物品的储存量均未达到或超过其对应临界量，但满足下面的公式：

$$\frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \dots + \frac{q_n}{Q_n} \geq 1 \quad \dots\dots\dots(A.3)$$

式中：

$q_1, q_2, \dots, q_n$  —每一种危险化学品的现存量；

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  —对应危险化学品的临界量。

表 A.3 生产场所临界量

类别	物质特性	临界量
烟火剂、烟花爆竹		0.5 t
易燃液体	闪点<28℃	2 t
	28℃≤闪点<60℃	10t
可燃气体	爆炸下限<10%	1 t
	爆炸下限≥10%	2 t
毒性物质（气态和挥发性液体）	剧毒品	2 t

**附 录 B**  
(规范性附录)  
**事故场景与模型**

**B.1 贮罐区重大事故后果分析****B.1.1 贮罐区主要事故后果类型****B.1.1.1 池火灾**

易燃液体如汽油、苯、甲醇、乙酸乙酯等，一旦从储罐及管路中泄漏到地面后，将向四周流淌、扩展，形成一定厚度的液池，若受到防火堤、隔堤的阻挡，液体将在限定区域（相当于围堰）内得以积聚，形成一定范围的液池。这时，若遇到火源，液池可能被点燃，发生地面池火灾。

**B.1.1.2 蒸气云爆炸**

易燃易爆气体如 H<sub>2</sub>、天然气等，泄漏后随着风向扩散，与周围空气混合成易燃易爆混合物，在扩散过程中如遇到点火源，延迟点火，由于存在某些特殊原因和条件，火焰加速传播，产生爆炸冲击波超压，发生蒸气云爆炸。

易燃易爆的液化气体如液化石油气、液化丙烷、液化丁烷等，其沸点远小于环境温度，泄漏后将会由于自身的热量、地面传热、太阳辐射、气流运动等迅速蒸发，在液池上面形成蒸气云，与周围空气混合成易燃易爆混合物，并且随着风向扩散，扩散过程中如遇到点火源，也会发生蒸气云爆炸。

**B.1.1.3 喷射火**

对于易燃易爆气体如 H<sub>2</sub>、天然气，以及易燃易爆的液化气体来说，泄漏后可能因摩擦产生的静电立即点火，产生喷射火。

**B.1.1.4 沸腾液体扩展为蒸气云爆炸**

易燃易爆的液化气体容器在外部火焰的烘烤下可能发生突然破裂，压力平衡被破坏，液体急剧气化，并随即被火焰点燃而发生爆炸，产生巨大的火球。这种事故被称为沸腾液体扩展为蒸气云爆炸。

**B.1.1.5 中毒事故**

毒性的液化气体如液氯、液氨等，由于沸点小于环境温度，泄漏后会因自身热量、地面传热、太阳辐射、气流运动等迅速蒸发，生成有毒蒸气云，密集在泄漏源周围，随后由于环境温度、地形、风力和湍流等因素影响产生漂移、扩散，范围变大，浓度减小。

**B.1.2 贮罐区主要事故后果模型****B.1.2.1 池火灾事故后果模型**

池火灾火焰的几何尺寸及辐射参数按如下步骤计算。

## ①计算池直径

根据泄漏的液体量和地面性质，按下式可计算最大可能的池面积。

..... (B.1)

式中：

S—液池面积，单位为 m<sup>2</sup>；

W—泄漏液体的质量，单位为 kg；

$\rho$ —液体的密度，单位为 kg/m<sup>3</sup>；

H<sub>min</sub>—最小油层厚度，单位为 m。

最小物料层与地面性质对应关系见表B.1。

表 B.1 不同性质地面物料层厚度

地面性质	最小物料层厚度 (m)
草地	0.020
粗糙地面	0.025
平整地面	0.010
混凝土地面	0.005
平静的水面	0.0018

## ②确定火焰高度

计算池火焰高度的经验公式如下:

$$h = L/D = 42 \times [m_f / (\rho_0 \sqrt{gD})]^{0.61} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

L—火焰高度, 单位为 m;

D—池直径, 单位为 m;

$m_f$ —燃烧速率, 单位为  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

$\rho_0$ —空气密度, 单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

g—引力常数。

## ③计算火焰表面热通量

假定能量由圆柱形火焰侧面和顶部向周围均匀辐射, 用下式计算火焰表面的热通量:

$$q_0 = \frac{0.25\pi D^2 \Delta H_c m_f f}{0.25\pi D^2 + \pi DL} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

$q_0$ —火焰表面的热通量, 单位为  $\text{kw}/\text{m}^2$ ;

$\Delta H_c$ —燃烧热, 单位为  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

$\pi$ —圆周率;

f—热辐射系数, 取 0.15;

$m_f$ —燃烧速率, 单位为  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

其它符号同前。

## ④目标接收到的热通量的计算

目标接收到的热通量  $q(r)$  的计算公式为:

$$q(r) = q_0 (1 - 0.058 \ln r) V \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

$q(r)$ —目标接收到的热通量, 单位为  $\text{kw}/\text{m}^2$ ;

$q_0$ —按式 (B.3) 计算的火焰表面的热通量, 单位为  $\text{kw}/\text{m}^2$ ;

r—目标到油区中心的水平距离, 单位为 m;

V—视角系数。

## ⑤视角系数的计算

视角系数 V 与目标到火焰垂直轴的距离与火焰半径之比 s, 火焰高度与直径之比 h 有关。

$$V = \sqrt{(V_V^2 + V_H^2)} \dots\dots\dots (B.5)$$

$$\pi V_H = A - B \quad \dots\dots\dots (B. 6)$$

$$A = (b - 1/s) \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{(b+1)(s-1)}{(b-1)(s+1)} \right]^{0.5} \right\} / (b^2 - 1)^{0.5} \quad \dots\dots\dots (B. 7)$$

$$B = (a - 1/s) \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{(a+1)(s-1)}{(a-1)(s+1)} \right]^{0.5} \right\} / (a^2 - 1)^{0.5} \quad \dots\dots\dots (B. 8)$$

$$\pi V_V = \tan^{-1}(h/(s^2 - 1)^{0.5})/s + h(J - K)/s \quad \dots\dots\dots (B. 9)$$

$$J = \left[ \frac{a}{(a^2 - 1)^{0.5}} \right] \tan^{-1} \left[ \frac{(a+1)(s-1)}{(a-1)(s+1)} \right]^{0.5} \quad \dots\dots\dots (B. 10)$$

$$K = \tan^{-1}((s-1)/(s+1))^{0.5} \quad \dots\dots\dots (B. 11)$$

$$a = (h^2 + s^2 + 1)/(2s) \quad \dots\dots\dots (B. 12)$$

$$b = (1 + s^2)/(2s) \quad \dots\dots\dots (B. 13)$$

式中：

A、B、J、K、 $V_H$ 、 $V_V$ —为描述方便而引入的中间变量；

$\pi$ —圆周率。

### B. 1. 2. 2 蒸气云爆炸事故后果模型

蒸气云爆炸产生的冲击波超压是其主要危害。冲击波超压可通过传统的 TNT 当量系数法进行计算，将事故爆炸产生的爆炸能量等同于一定当量的 TNT，也可根据爆炸能量直接计算。

(1) TNT 当量法

①确定闪蒸系数

在热力学数据资料的基础上，用下式估算燃料的闪蒸部分。

$$F = 1 - \exp \left[ \frac{-C_p \Delta T}{L} \right] \quad \dots\dots\dots (B. 14)$$

式中：

F—蒸发系数；

$C_p$ —燃料的平均比热，单位为 kJ/(kg·K)；

$\Delta T$ —环境压力下容器内温度与沸点的温差，单位为 K；

L—汽化热，单位为 kJ/kg。

②计算云团中燃料的质量：

$$W_f = 2FW \quad \dots\dots\dots (B. 15)$$

式中：

$W_f$ —云团中燃料的质量，单位为 kg；

SZDB/Z 16—2008

W—泄漏的燃料的质量，单位为 kg；

F—闪蒸系数。

③计算 TNT 当量：

$$W_{TNT} = \alpha_e W_f H_f / H_{TNT} \quad \dots\dots\dots (B. 16)$$

式中：

$W_{TNT}$ —燃料的 TNT 当量，单位为 kg；

$W_f$ —云团中燃料的质量，单位为 kg；

$H_f$ —燃料的燃烧热，单位为 MJ/kg；

$H_{TNT}$ —TNT 的爆热，单位为 MJ/kg；

$\alpha_e$ —TNT 当量系数，推荐  $\alpha_e=0.03$ 。

④将实际距离转化为无因次距离：

$$\bar{R} = R / W_{TNT}^{1/3} \quad \dots\dots\dots (B. 17)$$

式中：

R—离爆炸点的实际距离，单位为 m；

$\bar{R}$ —无因次距离，单位为 m。

在离爆炸点距离为 R 处，根据相应的  $\bar{R}$  值，查图 B. 1 得到超压，进而预测人员受伤害和建筑受破坏的情况。

无因次超压 ( $\times 9806.65 \text{Pa}$ )图 B.1  $\Delta P \sim R$  曲线

## (2) 直接计算法

在得到云团中燃料的质量的情况下，可按下式直接计算爆炸冲击波超压  $\Delta p$ 。

$$\ln(\Delta p / p_a) = -0.9126 - 1.5058(\ln Z) + 0.1675(\ln Z)^2 - 0.0320(\ln Z)^3 \dots\dots \text{(B. 18)}$$

(0.3 ≤ Z ≤ 12)

$$z = R / \left( \frac{E}{p_a} \right)^{1/3} \dots\dots \text{(B. 19)}$$

$$E = 1.8\alpha W Q_c \dots\dots \text{(B. 20)}$$

式中：

$\Delta p$ —冲击波最大超压，单位为 Pa；

Z—无量纲距离；

$p_a$ —环境压力，单位为 Pa；

R—目标到爆源的水平距离，单位为 m；

E—爆源总能量，单位为 J；

$\alpha$ —蒸气云当量系数，一般取 0.04，

W—蒸气云中对爆炸冲击波有实际贡献的燃料质量，单位为 kg；

$Q_c$ —燃料的燃烧热，单位为 J/kg。

## B.1.2.3 喷射火事故后果模型

加压的可燃物泄漏时形成射流，如果在泄漏裂口处被点燃，则形成喷射火。假定火焰为圆锥形，并用从泄漏处到火焰长度 4/5 处的点源模型来表示。

## ① 火焰长度计算

喷射火的火焰长度可用如下方程得到：

$$L = \frac{(H_c m)^{0.444}}{161.66} \dots\dots \text{(B. 21)}$$

式中：

L—火焰长度，单位为 m；

$H_c$ —燃烧热，单位为 J/kg；

m—质量流速，单位为 kg/s。



②热辐射的通量计算

距离火焰点源为 X(m) 处接收到的热辐射通量可用下式表示:

$$q = \frac{fH_c m \tau}{4\pi X^2 \times 1000} \dots\dots\dots (B. 22)$$

式中:

q—距离 X 处接收到的热辐射的通量, 单位为 kw/m<sup>2</sup>;

f—热辐射率;

τ—大气传输率。

大气传输率 τ 按下式计算:

$$\tau = 1 - 0.0565 \ln X \dots\dots\dots (B. 23)$$

B. 1. 2. 4 沸腾液体扩展为蒸气云爆炸事故后果模型

计算主要包括如下步骤。

①火球直径

$$D = 2.665W^{0.327} \dots\dots\dots (B. 24)$$

式中:

D—火球直径, 单位为 m;

W—火球中消耗的可燃物质量, 单位为 kg, 对单罐储存, W 取罐容量的 50%; 对双罐储存, W 取罐容量的 70%; 对多罐储存, W 取罐容量的 90%。

②火球持续时间

$$t = 1.089W^{0.327} \dots\dots\dots (B. 25)$$

式中:

t—火球持续时间, 单位为 s。

③火球抬升高度

火球在燃烧时, 将抬升到一定高度。火球中心距离地面的高度 H 由下式估计:

$$H = D \dots\dots\dots (B. 26)$$

④火球表面热辐射能量

假设火球表面热辐射能量是均匀扩散的。火球表面热辐射能量 SEP 由下式计算:

$$SEP = F_s m H_a / (\pi D^2 t) \dots\dots\dots (B. 27)$$

式中:

F<sub>s</sub>—火球表面辐射的能量比;

H<sub>a</sub>—火球的有效燃烧热, 单位为 J/kg。

F<sub>s</sub> 与储罐破裂瞬间储存物料的饱和蒸气压力 p (MPa) 有关:

$$F_s = 0.27 p^{0.32} \dots\dots\dots (B. 28)$$

对于因外部火灾引起的沸腾液体扩展为蒸气云爆炸事故, 上式中的 p 值可取储罐安全阀启动压力 p<sub>v</sub> (MPa) 的 1.21 倍, 即:

$$p = 1.21 p_v \dots\dots\dots (B. 29)$$

H<sub>a</sub> 由下式求得:

$$H_a = H_c - H_v - C_p T \dots\dots\dots (B. 30)$$

式中:

$H_c$ —燃烧热, 单位为 J/kg;

$H_v$ —常沸点下的蒸发热, 单位为 J/kg;

$C_p$ —恒压比热, 单位为 J/(kg·K);

$T$ —火球表面火焰温度与环境温度之差, 单位为 K, 一般来说  $T=1700K$ 。

#### ⑤视角系数

视角系数  $F$  的计算公式如下:

$$F = ((D/2)/r)^2 \quad \dots\dots\dots (B. 31)$$

式中:

$r$ —目标到火球中心的距离, 单位为 m。

令目标与储罐的水平距离为  $X$ , 则:

$$r = (X^2 + H^2)^{0.5} \quad \dots\dots\dots (B. 32)$$

#### ⑥大气热传递系数

火球表面辐射的热能在大气中传输时, 由于空气的吸收及散射作用, 一部分能量损失掉了。假定能量损失比为  $\alpha$ , 则大气热传递系数  $\tau_a=1-\alpha$ 。 $\alpha$  和大气中的  $CO_2$ 、 $H_2O$  的含量、热传输距离及辐射光谱的特性等因素有关。

$\tau_a$  可由以下的经验公式来求取:

$$\tau_a = 2.02(p_w r')^{-0.09} \quad \dots\dots\dots (B. 33)$$

式中:

$p_w$ —环境温度下空气中的水蒸气压, 单位为  $N/m^2$ ;

$r'$ —目标到火球表面的距离, 单位为 m。

$$p_w = p_w^0 \times RH \quad \dots\dots\dots (B. 34)$$

式中:

$p_w^0$ —环境温度下的饱和水蒸气压, 单位为  $N/m^2$ ;

$RH$ —相对湿度。

$$r' = r - D/2 \quad \dots\dots\dots (B. 35)$$

#### ⑦火球热辐射强度分布函数

在不考虑障碍物对火球热辐射产生阻挡作用的条件下, 距离储罐  $X$  处的热辐射强度  $q$  ( $W/m^2$ ) 可由下式计算:

$$q = SEP \times F \times \tau_a \quad \dots\dots\dots (B. 36)$$

### B. 1. 2. 5 中毒事故后果模型

#### (1) 泄漏模型

##### ①液体泄漏速率模型

液体泄漏可根据流体力学中的柏努力方程计算泄漏量。当裂口不规则时, 可采取等效尺寸代替; 当泄漏过程中压力变化时, 则往往采用经验公式。柏努力方程如下:

$$Q = C_d A \rho \sqrt{\frac{2(p - p_0)}{\rho} + 2gh} \quad \dots\dots\dots (B. 37)$$

式中:

Q—液体泄漏速率, 单位为 kg/s;

Cd—无量纲泄漏系数;

ρ—液体密度, 单位为 kg/m<sup>3</sup>;

A—泄漏孔面积, 单位为 m<sup>2</sup>;

p—罐压, 单位为 Pa;

p0—大气压力, 单位为 Pa;

g—引力常数, 取 9.8m/s<sup>2</sup>;

h—液压高度, 单位为 m。

液体出口速度可按下式计算:

$$u = \frac{Q}{C_d \cdot A \cdot \rho} \dots\dots\dots (B. 38)$$

式中:

u—液体出口速度, 单位为 m/s;

其他符号如前。

持续时间按下式计算:

$$t_s = [u_0 / (C_d \cdot g)](A_T / A) \dots\dots\dots (B. 39)$$

式中:

u0—初始流速, 单位为 m/s;

AT—罐内液面积, 单位为 m<sup>2</sup>。

泄漏系数 Cd 的取值通常可从标准化学工程手册中查到。对于管道破裂, Cd 的典型取值为 0.8。表 B. 2 为常用的液体泄漏系数数据。

表 B. 2 液体泄漏系数 Cd

雷诺数 Re	裂口形状		
	圆形(多边形)	三角形	长方形
>100	0.65	0.60	0.55
≤100	0.50	0.45	0.40

这个方法没有考虑泄漏速率对时间的依赖关系(压力随时间而降低以及液压高度下降)。因此, 计算出的泄漏速率是保守的最大可能泄漏速率。

②气体泄漏模型

压力气体泄漏通常以射流的方式发生, 泄漏的速度与其流动的状态有关, 其特征可用临界流(最大出口速度等于声速)或亚临界流来描述。

Perry 等人用如下的关系式作为临界流的判断准则: 当式(B. 40)成立时, 气体流动属音速流动; 当式(B. 41)成立时, 气体流动属亚音速流动。

$$\frac{p_0}{p} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k+1}} \dots\dots\dots (B. 40)$$

$$\frac{p_0}{p} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k+1}} \dots\dots\dots (B. 41)$$

式中:

$p_0$ —环境大气压力，单位为 Pa；

$p$ —容器压力，单位为 Pa；

$k$ —气体的绝热指数，即定压比热  $C_p$  和定容比热  $C_v$  之比。

对于很多气体，临界比值  $(p/p_0)_{cr}$  近似为 2，也就是说储压近似等于大气压力的两倍，此时流体泄漏的出口速度近似等于声速。临界流的质量泄漏速率可按下式计算：

$$Q = C_d A p \sqrt{\frac{Mk}{RT} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \dots\dots\dots (B. 42)$$

气体呈亚音速流动时，其泄漏量为：

$$Q = Y C_d A p \sqrt{\frac{Mk}{RT} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \dots\dots\dots (B. 43)$$

式中：

$Q$ —气体泄漏速率，单位为 kg / s；

$C_d$ —气体泄漏系数；

$A$ —裂口面积，单位为  $m^2$ ；

$M$ —气体相对分子质量；

$R$ —普适气体常数，单位为 8.31436 J / (mol · K)；

$T$ —气体的储存温度，单位为 K；

$Y$ —气体膨胀因子，按式 (B. 44) 计算。

$$Y = \sqrt{\left(\frac{1}{k-1}\right) \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k+1}{k-1}} \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{2}{k}} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} \dots\dots\dots (B. 44)$$

上述考虑的为理想气体的不可逆绝热扩散过程。此外，没有考虑气体泄漏速率随时间的变化，因此使用初始储存条件必然导致保守的结果。

### ③两相流泄漏模型

Cude 在 1975 年提出了两相流泄漏关系式。假设源容器和泄漏点之间的管道长度和管道直径之比  $L/D > 12$ ，泄漏点压力与泄漏点上流压力之比  $p_c/p = 0.55$ 。具体计算方法如下：

第一步，按下式计算两相流的质量分数：

$$M_v = \frac{(T - T_c) C_p}{H_v} \dots\dots\dots (B. 45)$$

式中：

$M_v$ —蒸发的液体占液体总量的比例；

$T_c$ —对应于泄漏点压力  $p_c$  的平衡温度，单位为 K；

$T$ —对应于泄漏点上流压力  $p$  的平衡温度，单位为 K；

$C_p$ —液体的定压比热，单位为 J / (kg · K)；

$H_v$ —液体的蒸发热，单位为 J/kg。

第二步，按下式计算两相流的平均密度：

$$\rho = \frac{1}{\frac{M_v}{\rho_v} + \frac{1 - M_v}{\rho_1}} \dots\dots\dots (B. 46)$$

式中：

$\rho$ —两相流的密度, 单位为  $\text{kg} / \text{m}^3$ ;

$\rho_v$ —蒸气的密度, 单位为  $\text{kg} / \text{m}^3$ ;

$\rho_l$ —液体的密度, 单位为  $\text{kg} / \text{m}^3$ 。

第三步, 按下式计算两相流的质量泄漏速率  $Q$  ( $\text{kg} / \text{S}$ ):

$$Q = AC_d \sqrt{2\rho(p - p_c)} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 47})$$

式中:

$C_d$ —泄漏系数, 多数情况下, 取  $C_d=0.8$ ;

$A$ —裂口面积, 单位为  $\text{m}^2$ ;

$p$ —两相混合物的压力, 单位为  $\text{Pa}$ ;

$p_c$ —临界压力, 单位为  $\text{Pa}$ 。

如果  $L / D < 12$ , 先按前面介绍的方法计算纯液体泄漏速率和两相流泄漏速率, 再用内插法加以修正。两相流实际泄漏速率的计算公式为:

$$Q = Q_{v1} + (Q_l - Q_{v1})(12 - L / D) / 10 \quad \dots\dots\dots (\text{B. 48})$$

式中:

$Q$ —两相流实际泄漏速率, 单位为  $\text{kg} / \text{S}$ ;

$Q_{v1}$ —按式 (B. 43) 计算出的两相流泄漏速率, 单位为  $\text{kg} / \text{S}$ ;

$Q_l$ —纯液体泄漏速率, 单位为  $\text{kg} / \text{S}$ 。

如果  $L/D \leq 2$ , 一般认为泄漏为纯液体泄漏。

(2) 非重气云扩散模型

①瞬间泄漏扩散模型

$$C(x, y, z, t, H_e) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left\{-\frac{(x-Vt)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 49})$$

②连续泄漏扩散模型

$$C(x, y, z, t, H_e) = \frac{Q'}{2\pi V \sigma_y \sigma_z} \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad \dots\dots (\text{B. 50})$$

式中:

$C$ —气云中危险物质浓度, 单位为  $\text{kg} / \text{m}^3$ ;

$H_e$ —泄漏源有效高度, 单位为  $\text{m}$ ;

$Q'$ —源瞬间泄漏量, 单位为  $\text{kg}$ ;

$Q'$ —源连续泄漏速率，单位为  $\text{kg}/\text{s}$ ；

$V$ —风速，单位为  $\text{m}/\text{s}$ ；

$t$ —泄漏后的时间，单位为  $\text{s}$ ；

$\sigma_{x-x}$  方向的扩散系数，单位为  $\text{m}$ ；

$\sigma_{y-y}$  方向的扩散系数，单位为  $\text{m}$ ；

$\sigma_{z-z}$  方向的扩散系数，单位为  $\text{m}$ 。

对于连续泄漏，平均时间取 10min。其中  $\sigma_x$ ， $\sigma_y$ ， $\sigma_z$  与地面的有效粗糙度有关。地面有效粗糙度长度如下表所示。

表 B.3 地面有效粗糙度长度

地面类型	$Z_0/\text{m}$	地面类型	$Z_0/\text{m}$
草原、平坦开阔地	$\leq 0.1$	分散的高矮建筑物（城市）	1-4
农作物地区	0.1-0.3	密集的高矮建筑物（大城市）	4
村落、分散的树林	0.3-1		

有效粗糙度  $Z_0 \leq 0.1\text{m}$  地区的扩散参数按下表选取。

表 B.4  $Z_0 \leq 0.1\text{m}$  地区的扩散参数

大气稳定度	$\sigma_y/\text{m}$	$\sigma_z/\text{m}$
A	$0.22x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1+0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1+0.0015x)^{-1}$
E	$0.06x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1+0.0003x)^{-1/2}$
F	$0.04x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1+0.0003x)^{-1/2}$

有效粗糙度  $Z_0 \geq 0.1\text{m}$  的粗糙地形扩散系数为：

$$\sigma_y = \sigma_{y0} f_y$$

$$\sigma_z = \sigma_{z0} f_z$$

$$f_y(Z_0) = 1 + a_0 Z_0$$

$$f_z(x, Z_0) = (b_0 - c_0 \ln x)(d_0 + e_0 \ln x)^{-1} Z_0^{f_0 - g_0 \ln x}$$

上式中  $\sigma_{y0}$ 、 $\sigma_{z0}$  按表 B.4 中的数值取值。其他系数按表 B.5 取值。

表 B.5 不同大气稳定度下的系数值

稳定度	A	B	C	D	E	F
$a_0$	0.042	0.115	0.15	0.38	0.3	0.57
$b_0$	1.10	1.5	1.49	2.53	2.4	2.913
$c_0$	0.0364	0.045	0.0182	0.13	0.11	0.0944
$d_0$	0.4364	0.853	0.87	0.55	0.86	0.753
$e_0$	0.05	0.0128	0.01046	0.042	0.01682	0.0228
$f_0$	0.273	0.156	0.089	0.35	0.27	0.29
$g_0$	0.024	0.0136	0.0071	0.03	0.022	0.023

式 (B.49) 和式 (B.50) 中泄漏源有效高度是指泄漏气体形成的气云基本上变成水平状时气云中心的离地高度。在大多数问题中, 泄漏源有效高度难以与泄漏源实际高度相一致。事实上, 它等于泄漏源实际高度加泄漏源抬升高度。

泄漏源抬升高度可以用下面的公式近似计算:

$$\Delta H = V_s d [1.5 + 0.268 p_a (T_s - T_a) T_s^{-1} d] / V \quad \dots\dots\dots (B.51)$$

或

$$\Delta H = 2.4 V_s d / V \quad \dots\dots\dots (B.52)$$

式中:

$\Delta H$ —泄漏源抬升高度, 单位为 m;

$V_s$ —气云出口速度, 单位为 m/s;

$d$ —出口直径, 单位为 m;

$V$ —环境风速, 单位为 m/s;

$p_a$ —环境大气压力, 单位为 Pa;

$T_s$ —气云出口温度, 单位为 K;

$T_a$ —环境大气温度, 单位为 K。

计算出泄漏源抬升高度以后, 将泄漏源抬升高度与泄漏源实际高度相加就得到了泄漏源有效高度。

### (3) 重气云扩散模型

常用模型有盒子模型和平板模型两类。盒子模型用来描述瞬间泄漏形成的重气云团的运动, 平板模型用来描述连续泄漏形成的重气云羽的运动。这两类模型的核心是因空气进入而引起的气云质量增加速率方程。

#### ① 盒子模型

盒子模型使用如下假设:

I、重气云团为正立的坍塌圆柱体, 圆柱体初始高度等于初始半径的一半。

II、在重气云团内部, 温度、密度和危险气体浓度等参数均匀分布。

III、重气云团中心的移动速度等于风速。

重气扩散的盒子模型示意图如下图所示。

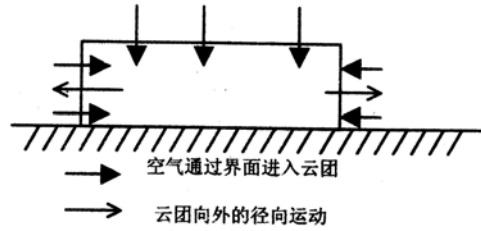


图 B.2 重气云团盒子模型

坍塌圆柱体的径向蔓延速度由下式确定：

$$V_f = dr / dt = \{g[(\rho_p - \rho_a) / \rho_a]h\}^{1/2} \dots\dots\dots (B.53)$$

式中：

$V_f$ —圆柱体的径向蔓延速度，单位为 m/s；

$r$ —圆柱体半径，单位为 m；

$h$ —圆柱体高度，单位为 m；

$t$ —泄漏后时间，单位为 s。

等式两边同时乘以  $2r$ ，上式变成下面的形式：

$$\begin{aligned} dr^2 / dt &= 2\{g[(\rho_p - \rho_a) / \rho_a]hr^2\}^{1/2} \\ &= 2\{[\rho_p - \rho_a] / \rho_a\}^{1/2} \dots\dots\dots (B.54) \end{aligned}$$

由于假设重气云团和环境之间没有热量交换，重气云团的浮力将守恒，即：

$$g[(\rho_p - \rho_a) / \rho_a]V = g[(\rho_p - \rho_a) / \rho_a]V_0 \dots\dots\dots (B.55)$$

将上式代入式(B.54)，积分后得到：

$$r^2 = r_o^2 + 2\{g[(\rho_o - \rho_a) / \rho_a]V_o / \pi\}^{1/2}t \dots\dots\dots (B.56)$$

式中：

$r_o$ —重气云团的初始半径，单位为 m；

$V_0$ —重气云团的初始体积，单位为  $m^3$ ；

$\rho_o$ —重气云团的初始密度，单位为  $kg/m^3$ 。

由于假设重气云团是圆柱体，初始高度等于初始半径的一半，因此重气云团初始半径的计算公式为：

$$r_o = (2V_0 / \pi)^{1/3} \dots\dots\dots (B.57)$$

随着空气的不断进入，云团的高度和体积也将不断变化。云团体积随时间的变化速率由下式确定：

$$dV / dt = (\pi r^2)V_T + (2\pi rh)V_E \dots\dots\dots (B.58)$$

式中：

$V$ —云团体积，其值为  $\pi r^2h$ ，单位为  $m^3$ ；

$V_T$ —空气从顶部进入重气云团的速率，单位为 m/s；

$V_E$ —空气从边缘进入重气云团的速率，单位为 m/s。

由于重气云团内部危险气体质量守恒，因此，在重气云团扩散过程中，下式存立：



$$C/C_0 = V_0/V = (h_0 r_0^2)/(hr^2) \quad \dots\dots\dots (B. 59)$$

式中:

$C_0$ —初始时刻重气云团内部危险物质浓度, 单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$C$ — $t$  时刻重气云团内部危险物质浓度, 单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

任意时刻重气云团的半径按式 (B. 56) 计算。如果知道任意时刻重气云团高度的计算公式, 利用上式就可计算任意时刻重气云团内部危险物质浓度。但这里不准备采用先推导重气云团高度的计算公式, 然后计算重气云团体积和危险物质浓度的方法。而是先采用量纲分析法求重气云团的体积和浓度, 然后利用上式反推重气云团的高度。

无量纲量  $V/V_0$  与  $x/V_0^{1/3}$  之间存在如下函数关系:

$$V = V_0 (x/V_0^{1/3})^{1.5}, x \geq V_0^{1/3} \quad \dots\dots\dots (B. 60)$$

式中:

$x$ —下风向距离, 单位为  $\text{m}$ 。

$x$  与时间、风速之间的关系为:

$$x = Vt \quad \dots\dots\dots (B. 61)$$

将上式代入式 (B. 59), 得到:

$$C = C_0 (x/V_0^{1/3})^{-1.5}, x \geq V_0^{1/3} \quad \dots\dots\dots (B. 62)$$

将圆柱形重气云团的体积  $V = \pi r^2 h$  代入式 (B. 60), 可推导出

$$h = V_0 (x/V_0^{1/3})^{1.5} / (\pi r^2), x \geq V_0^{1/3} \quad \dots\dots\dots (B. 63)$$

随着空气的不断进入, 重气云团的密度将不断减小, 重气坍塌引起的扩散将逐步让位于环境湍流引起的扩散。

目前, 判断重气坍塌过程终止的准则主要有:

I、 $\varepsilon$  准则

定义  $\varepsilon = (\rho_p - \rho_a) / \rho_a$ 。 $\varepsilon$  准则认为, 如果  $\varepsilon$  小于或等于某个临界值(在 0.001~0.01 之间), 重气坍塌引起的扩散将让位于环境湍流引起的扩散。

下面推导转变发生的位置, 令:

$$\begin{aligned} E &= gV(\rho_p - \rho_a) / \rho_a \\ &= gV\varepsilon \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (B. 64)$$

将式 (B. 60) 代入式 (B. 64), 得到:

$$E = g\varepsilon V_0 (x/V_0^{1/3})^{1.5} \quad \dots\dots\dots (B. 65)$$

从上式求出  $x$ , 得到:

$$x = E^{2/3} V_0^{-1/3} (g\varepsilon)^{-2/3} \quad \dots\dots\dots (B. 66)$$

由于不考虑云团与环境之间的热交换, 云团浮力守恒, 故  $E=E_0$ 。代入上式得到转变点对应的下风向距离为:

$$x_f = E_0^{2/3} V_0^{-1/3} (g\varepsilon_{cr})^{-2/3} \quad \dots\dots\dots (B. 67)$$

## II、Ri 准则

对于瞬间泄漏，定义 Richardson 数  $Ri = (g(\rho_p - \rho_a) / \rho_a) V^{1/3} / V_*^2$ 。Ri 准则认为，如果 Ri 小于或等于某个临界值(在 1~10 之间)，重气坍塌引起的扩散将让位于环境湍流引起的扩散。

由于云团内部浮力守恒，因此

$$E_o = E = gV(\rho_p - \rho_a) / \rho_a \quad \dots\dots\dots (B. 68)$$

对上式进行恒等变换，得到：

$$(\rho_p - \rho_a) / \rho_a = E_o / (gV) \quad \dots\dots\dots (B. 69)$$

将式 (B. 69) 代入 Richardson 数的定义式，得到：

$$Ri = E_o / (xV_o^{1/3}V_*^2) \quad \dots\dots\dots (B. 70)$$

从上式求出转变点下风向距离 x，得到：

$$x_f = E_o / (Ri_{cr}V_o^{1/3}V_*^2) \quad \dots\dots\dots (B. 71)$$

III、 $V_f$  准则

定义重气云团径向蔓延速度  $V_f = dr/dt$ 。 $V_f$  准则认为，如果  $V_f$  小于或等于某个临界值，重气坍塌引起的扩散将让位于环境湍流引起的扩散。

不同研究人员提出的重气云扩散阶段终止时的临界  $V_f$  值相差很大。例如，Vanulden 认为，重气云扩散阶段终止的条件是  $V_f = 2V_*$ ，Germeles 和 Drake 认为，重气云扩散阶段终止的条件是  $V_f = V$ ，Cox 和 Carpenter 认为，重气云扩散阶段终止的条件是  $V_f = d\sigma_y/dt$ ， $\sigma_y$  为横风向扩散系数(m)，Eidsvik(1980)认为，重气云扩散阶段终止的条件是  $V_f = 0.39V_*$ 。这些准则覆盖范围很宽，从  $V_f = 0.02V$  到  $V_f = V$ (假设摩擦速度  $V_* = V / 15$ )。Germeles 和 Drake 提出的准则太严，按照他们提出的准则，即使存在重气云扩散阶段，这个阶段持续的时间也很短。不过，多数研究人员认为， $V_f$  的临界值具有与  $V_*$  相同的数量级。

## ②平板模型

平板模型使用了如下假设：

I、重气云羽横截面为矩形，横风向半宽为 b(m)，垂直方向高度为 h(m)。在泄漏源点，云羽半宽为高度的两倍，即： $b_o = 2h_o$ 。

II、重气云羽横截面内，浓度、温度、密度等参数均匀分布。

III、重气云羽的轴向蔓延速度等于风速。

在重气云羽的扩散过程中，横截面半宽的变化由下式确定：

$$Vdb/dx = (gh(\rho_p - \rho_a) / \rho_a)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (B. 72)$$

由于假设重气云羽与环境之间无热量交换，重气云羽的浮力通量在扩散过程中守恒，即：

$$2gVbh(\rho_p - \rho_a) / \rho_a = 2gVb_o h_o (\rho_p - \rho_a) / \rho_a \quad \dots\dots (B. 73)$$

将式 (B. 73) 代入式 (B. 72)，积分后得到：

$$b = b_o \{1 + 1.5[gh_o(\rho_p - \rho_a) / \rho_a]^{1/2} x(Vb_o)^{-1}\}^{2/3} \quad \dots\dots (B. 74)$$

由于重气云羽初始半宽等于初始高度的两倍，重气云羽的初始体积通量为：

$$V_o' = 2b_o h_o V = b_o^2 V \quad \dots\dots\dots (B. 75)$$

从上式可以求出重气云羽的初始半宽：

$$b_o = 2h_o = (V_o' / V)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (B. 76)$$

随着空气的进入，不仅重气云羽的横风向水平尺寸要增大，重气云羽的高度也要增加。重气云羽高度的变化与下风向距离间的关系由下式确定：

$$dh = (w_e / v) dx \quad \dots\dots\dots (B. 77)$$

式中：

$w_e$ -空气卷吸系数。

假设空气卷吸系数由下式确定：

$$W_e = 3.5V_*' / (11.67 + Ri) \quad \dots\dots\dots (B. 78)$$

式中：

Ri-当地 Richardson 数。

上式表明，随着 Richardson 数的增加，空气卷吸系数减小。Richardson 数的定义为：

$$Ri = [g((\rho_p - \rho_a) / \rho_a) h / V_*'^2] \quad \dots\dots\dots (B. 79)$$

式中：

$V_*'$ -垂直方向的特征湍流速度，单位为 m/s。

$V_*'$  由下式确定：

$$V_*' = 1.3(V_* / V)[(4/9)(db / dt)^2 + V^2]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (B. 80)$$

式中：

$V_*$ -摩擦速度，单位为 m/s。

由于  $x = Vt$ ，因此， $db / dt = Vdb / dx$ ，结合式 (B. 74)，得到：

$$\begin{aligned} db / dt &= (2/3)(V_e b_o) \{1.5[gh_o(\rho_o - \rho_a) / \rho_a]^{1/2} (V_e b_o)^{-1}\} \\ &\times \{1 + 1.5[gh_o(\rho_o - \rho_a) / \rho_a]^{1/2} x (V_e b_o)^{-1}\}^{-1/3} \end{aligned} \quad \dots\dots (B. 81)$$

求解由式 (B. 78) ~ 式 (B. 81) 组成的联立方程组，可以求得任意下风向距离重气云羽的高度。由于重气云羽横截面上危险物质通量守恒，因此

$$2bhVC = 2b_o h_o VC_o \quad \dots\dots\dots (B. 82)$$

上式两边同时除以  $2bhV$ ，得到重气云羽中危险物质浓度的计算公式：

$$C = b_o h_o C_o / (bh) \quad \dots\dots\dots (B. 83)$$

式中：

$C$ -重气云羽内危险物质浓度，单位为  $kg/m^3$ ，下标 0 指初始条件。

无论是重气云团扩散，还是重气云羽扩散，一旦满足前面讨论过的转变条件，重力驱动扩散将转变为环境湍流驱动扩散。

为了将转变前后两个不同的扩散过程有机衔接起来，需要进行虚源计算。所谓虚源，是指位于转变点上游某处的虚拟泄漏源。虚源计算的目的是确定虚源与转变点之间的距离。进行虚源计算时应遵循下面的原则：

在相同的泄漏和扩散条件（相同源强、相同地形、相同气象条件等）下，利用重气云扩散模型对实源泄漏进行扩散分析得到的转变点所在位置危险物质浓度等于利用高斯模型对虚源泄漏进行扩散分析得到的转变点所在位置危险物质浓度。

虚源计算时假设转变点的下风向扩散系数 $\sigma_x$ 、横风向扩散系数 $\sigma_y$ 和垂直方向扩散系数 $\sigma_z$

分别由下面三个公式计算：

$$\sigma_x = \sigma_y \quad (\text{瞬间泄漏才需要}) \quad \dots\dots\dots (\text{B. 84})$$

$$\sigma_y = b/2^{1/2} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 85})$$

$$\sigma_z = h/2^{1/2} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 86})$$

因此，如果知道扩散系数与下风向距离的关系，就可以计算出虚源与转变点之间的距离。例如，如果 $\sigma_y = 0.1x$ ，那么，虚源与转变点之间的距离。

## B.2 库区重大事故后果分析

### B.2.1 库区主要事故后果类型

根据储存场所的不同以及储存危险化学品的不同，库区主要的事故后果类型如下：

(1) 仓库中存储 TNT 等爆炸性物品时，容易发生凝聚相含能材料爆炸，产生非常严重的后果。由于爆炸性物品不得露天堆放，只能存储在仓库中，因此通常发生的是受限空间的爆炸。

(2) 易燃、易爆的气体（包括液化气体）如液化石油气钢瓶等在仓库中存储时，发生泄漏并在扩散过程中遇到点火源，则很容易发生蒸气云爆炸事故。

(3) 有毒气体（包括液化气体）如液氯、液氨钢瓶在仓库中存储时，发生泄漏并在扩散很容易引起中毒事故。

(4) 易燃液体如苯、甲醇等瓶装、桶装的化工原料在仓库中存储时，泄漏后很容易引发室内池火灾。

(5) 易燃固体、自燃物品、遇湿易燃物品等瓶装、桶装、袋装的物品在仓库中存储时，容易发生室内固体火灾事故。

(6) 易燃液体的桶装的化工原料在堆场中存储时，泄漏后很容易引发大面积的池火灾。

(7) 易燃固体物品在堆场中存储时，容易发生固体火灾事故。

### B.2.2 库区主要事故后果模型

#### B.2.2.1 凝聚相含能材料爆炸

凝聚相含能材料爆炸能产生多种破坏效应，如热辐射、一次破片作用、有毒气体产物的致命效应，但破坏力最强，破坏区域最大的是冲击波的破坏效应，因此，爆炸模型主要考虑冲击波的伤害作用。

凝聚相含能材料的爆炸冲击波超压 $\Delta p$ 可按下式计算：

$$\Delta p = \begin{cases} 1+0.156Z^{-3} (\Delta p > 5) \\ 0.137Z^{-3} + 0.119Z^{-2} + 0.269Z^{-1} - 0.019 (1 < \Delta p < 10) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 87})$$

$$\Delta p_s = \Delta p / p_0 \quad \dots\dots\dots (\text{B. 88})$$

$$z = R / \left( \frac{E}{p_0} \right)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 89})$$

$$E = 1.8WQ_c \quad \dots\dots\dots (B.90)$$

式中:

Z—无量纲距离;

$\Delta p$ —目标处的超压值, 单位为 Pa;

$\Delta p_s$ —比拟超压;

$p_0$ —环境压力, 单位为 Pa;

R—目标到爆源的水平距离, 单位为 m;

E—爆源总能量, 单位为 J;

W—含能材料的质量, 单位为 kg;

$Q_c$ —爆炸物的爆热, 单位为 J/kg。

### B.2.2.2 蒸气云爆炸

见 B.1.2.2 蒸气云爆炸事故后果模型。

### B.2.2.3 毒物的泄漏扩散

见 B.1.2.5 中毒事故后果模型。

### B.2.2.4 池火灾

见 B.1.2.1 池火灾事故后果模型。

### B.2.2.5 固体火灾

固体火灾的热辐射参数按点源模型估计。此模型认为火焰射出的能量为燃烧的一部分, 并且辐射强度与目标至火源中心距离的平方成反比。

$$q(r) = \frac{fM_c H_c}{4\pi r^2} \quad \dots\dots\dots (B.91)$$

式中:

Q—目标接收到的辐射强度, 单位为  $W/m^2$ ;

f—辐射系数, 可取  $f=0.25$ ;

$M_c$ —燃烧速率, 单位为 kg/s;

$H_c$ —燃烧热, 单位为 J/kg;

r—目标至火源中心的水平距离, 单位为 m。

## B.3 生产场所重大事故后果分析

### B.3.1 生产场所主要事故后果类型

生产场所的事故类型非常复杂, 因化反应介质、工设备与机器、操作条件的不同而不同, 常见的危害较大的主要包括以下几类:

#### (1) 爆炸

##### ①物理爆炸

化工容器及设备由于设计、制造、腐蚀或低温、材料缺陷、交变载荷的作用, 使得器壁的平均应力超过材料的屈服点或强度极限, 导致脆性疲劳、疲劳破裂和应力腐蚀破裂发生物理爆炸, 也可因安全泄放装置失灵、液化气体充装过量、严重受热膨胀、违章超负荷运行等发生物理爆炸。常见的如水夹汽包、化工容器、液化器气瓶等的爆炸。

##### ②化学爆炸

化工设备和机器内的物质发生极迅速、剧烈的化学反应而产生高温高压可引发瞬间的爆炸现象。一般可分为简单分解爆炸、复杂分解爆炸和爆炸性混合物爆炸。在化工、石油化工生产中发生的化学爆炸绝大部分是爆炸性混合物爆炸。例如由于负压操作、系统串气、水封不严或失效, 空气串入到装置中,

形成爆炸性混合物，发生化学爆炸；再如硝化反应过程中，由于温度控制不良，很容易发生爆炸。

### ③蒸气云爆炸

化工设备和机器由于密封装置失效、设备管道腐蚀、磨损或疲劳破裂、断裂以及安装检修不良、操作失误等原因，可燃性气体从化工装置、设备、管道内泄漏或喷射，扩散到周围环境中，达到爆炸极限，若遇到明火或高温就会发生蒸气云爆炸。

#### (2) 燃烧

当化工设备和机器由于密封装置失效、设备管道腐蚀、磨损或疲劳破裂、断裂以及安装检修不良、操作失误等原因导致物料泄漏时，对于易燃液体而言，泄漏后形成一定范围的液池，若遇到火源，液池可能被点燃，发生地面池火灾；对于易燃气体而言，泄漏后立即遇到明火或高温，或因高速摩擦产生静电而产生喷射火，也可延时点火产生闪火。

含有易燃易爆液化气体的容器在外部火焰的烘烤下可能发生沸腾液体扩展为蒸气云爆炸，产生巨大的火球。

#### (3) 中毒

在化工、石化生产中，由于设备密封不严、严重腐蚀穿孔、疲劳破裂、磨损、超压引起的设备与管道突然断裂、开错阀门、阀门密封不严、水封失效等原因，很容易造成毒性气体的泄漏，向周围环境扩散，造成人员的中毒事故。

## B.3.2 生产场所主要事故后果模型

### B.3.2.1 物理爆炸

物理爆炸就是物质状态参数（温度、压力、体积）迅速发生变化，在瞬间放出大量能量并对外做功的现象。物理爆炸的特点是在爆炸现象发生过程中，导致爆炸发生的介质的化学性质不发生变化，发生变化的仅是介质的状态参数。

物理爆炸如压力容器破裂时，气体膨胀所释放的能量（即爆破能量）不仅与气体压力和容器的体积有关，而且与介质在容器内的物性相态有关。

当压力容器中介质为压缩气体，即以气态形式存在而发生物理爆炸时，其释放的爆破能量为：

$$E_g = \frac{pV}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{0.1013}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (B.92)$$

式中：

$E_g$ —气体的爆破能量，单位为 kJ；

$p$ —容器内气体的绝对压力，单位为 MPa；

$V$ —容器的容积，单位为  $m^3$ ；

$k$ —气体的绝热指数，即气体的定压比热与定容比热之比。

当介质全部为液体时，鉴于通常用液体加压时所做的功作为常温液体压力容器爆炸时释放的能量，爆破能量计算模型如下：

$$E_l = \frac{(p-1)^2 V \beta_t}{2} \quad \dots\dots\dots (B.93)$$

式中：

$E_l$ —常温液体压力容器爆炸时释放的能量，单位为 kJ；

$p$ —液体的绝对压力，单位为 Pa；

$V$ —容器的体积，单位为  $m^3$ ；

$\beta_t$ —液体在压力  $p$  和温度  $T$  下的压缩系数，单位为  $Pa^{-1}$ 。

而液化气体一般在容器内以气液两态存在。当容器破裂发生爆炸时，除了气体的急剧膨胀做功外，还有过热液体激烈的蒸发过程。在大多数情况下，这类容器内的饱和液体占有容器介质重量的绝大部分，它的爆破能量比饱和气体大得多，一般计算时不考虑气体膨胀做的功。

过热状态下液体在容器破裂时释放出爆破能量可按下式计算：

$$E = [(H_1 - H_2) - (S_1 - S_2)T_1]W \quad \dots\dots\dots (B. 94)$$

式中：

E—过热状态液体的爆破能量，单位为 kJ；

H<sub>1</sub>—爆炸前液化液体的焓，单位为 kJ/kg；

H<sub>2</sub>—在大气压力下饱和液体的焓，单位为 kJ/kg；

S<sub>1</sub>—爆炸前饱和液体的熵，单位为 kJ/(kg·℃)；

S<sub>2</sub>—在大气压力下饱和液体的熵，单位为 kJ/(kg·℃)；

T<sub>1</sub>—介质在大气压力下的沸点，单位为℃；

W—饱和液体的质量，单位为 kg。

压力容器爆破时，爆破能量向外释放以冲击波能量、碎片能量和容器残余变形能量三种形式表现出来。根据介绍，后二者所消耗的能量只占总爆破能量的 3%~15%，也就是说大部分能量产生空气冲击波。

#### B. 3. 2. 2 化学爆炸

对于简单分解爆炸、复杂分解爆炸产生的爆炸可用凝聚相含能材料爆炸模型计算见 B. 2. 2. 1；

对于爆炸性混合物气体爆炸，可用蒸气云爆炸事故后果模型，见 B. 1. 2. 2。

#### B. 3. 2. 3 池火灾

见 B. 1. 2. 1 池火灾事故后果模型。

#### B. 3. 2. 4 沸腾液体扩展蒸气云爆炸

见 B. 1. 2. 4 沸腾液体扩展为蒸气云爆炸事故后果模型。

#### B. 3. 2. 5 蒸气云爆炸

见 B. 1. 2. 2 蒸气云爆炸事故后果模型。

#### B. 3. 2. 6 喷射火

见 B. 1. 2. 3 喷射火事故后果模型。

#### B. 3. 2. 7 闪火模型

闪火是可燃性气体或蒸气泄漏到空气中，与之混合后被点燃而发生的一种非爆炸性的燃烧过程。闪火的主要危害来自热辐射和火焰直接接触。可燃物云团的大小决定了可能造成直接火焰接触危害的面积，而云团的大小则部分取决于扩散和泄漏条件。

在闪火模型中，假定闪火是一个火焰以恒定速度传播的过程。闪火模型的几何关系如图 B. 3 所示。

图 B.3 闪火模型

## ①火焰高度

火焰可视高度可用近似的半经验公式计算：

$$H = 20d[(s^2 / gd)(\rho_0 / \rho_a)2(wr^2 / (1-w)^3)]^{1/3} \quad \dots\dots\dots (B. 95)$$

式中：

H—火焰可视高度，单位为 m；

d—云团厚度，单位为 m；

s—燃烧速度，单位为 m/s；

g—重力加速度，单位为 m/s<sup>2</sup>；

$\rho_a$ —空气密度，单位为 kg/m<sup>3</sup>；

$\rho_0$ —燃—气混合物的密度，单位为 kg/m<sup>3</sup>；

r—理想配比下空气与燃料的质量比；

$$w = [\phi - \phi_{st}] / [\alpha (1 - \phi_{st})] \quad (\text{当 } \phi > \phi_{st}) \quad \dots\dots\dots (B. 96)$$

式中：

$\alpha$ —恒定压力下理想配比时燃烧的膨胀比(碳氢化合物一般取  $\alpha=8$ )；

$\phi$ —燃料所占混合物的体积比；

$\phi_{st}$ —理想配比时燃料占的体积比。

当  $\phi \leq \phi_{st}$ ， $w=0$ 。

燃烧速度计算方法如下：

$$s = 2.3U_w \quad \dots\dots\dots (B. 97)$$

式中：

$U_w$ —周围环境中的风速，单位为 m/s。

如果知道蒸气云团的组成和火焰的几何形状，就可以计算闪火产生的热辐射影响。

## ②火焰宽度

火焰宽度 W 随时间变化关系：

$$W = 2[R^2 - (R - St)^2]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (B. 98)$$

## ③热辐射能

平面物体单位面积上接收的辐射能由下式计算：

$$q = EF\tau_a \quad \dots\dots\dots (B. 99)$$

式中：

E—辐射能，单位为 kw/m<sup>2</sup>；

F—几何视角系数；

$\tau_a$ —大气传输率。

在保守计算场合，若是干燥晴朗的天气一般可取  $\tau_a=1$ ，已知湿度时可用

$$\tau_a = \log(14.1RH^{-0.108} X^{-0.13}) \quad \dots\dots\dots (B. 100)$$

式中：

RH—相对湿度；

X—到目标物的距离，单位为 m。



④几何视角因子

假设辐射面和接受面是两个互相平行的平面，则 F 可用  $F_{max}$  表示，计算关系如下：

$$F_{max} = (F_h^2 + F_v^2)^{0.5} \dots\dots (B. 101)$$

$$F_h = [\tan^{-1}(1/X_r) - AX_r \tan^{-1}(A)] / \pi$$

$$F_v = [H_r A \tan^{-1}(A) + (B/H_r) \tan^{-1}(B)] / \pi$$

$$A = 1 / (H_r^2 + X_r^2)^{0.5}$$

$$B = H_r / (1 + X_r^2)^{0.5}$$

$$H_r = H/b$$

$$X_r = X/b$$

$$b = 1/2W$$

当  $X_r$  和  $H_r$  给定时，可以根据以上公式计算出最大视角系数 F，也可以查表 B. 6 或图 B. 4 得到 F 值。

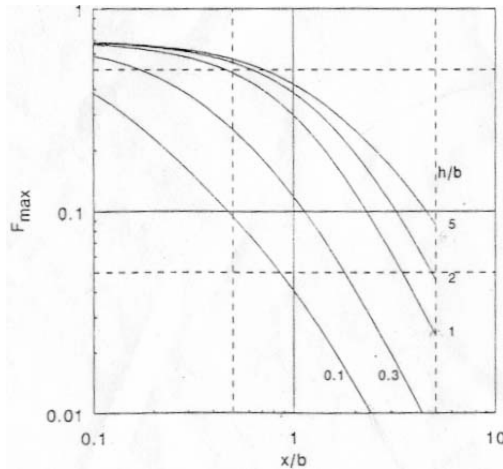


图 B. 4 最大视角系数

表 B. 6 最大视角系数  $F_{max}$  的值

$X_r$	$H_r$								
	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0
	最大视角系数 $F_{max}$								
0.1	0.3824	0.5251	0.5836	0.6317	0.6653	0.6743	0.678	0.6808	0.6823
0.2	0.2289	0.3809	0.4689	0.5550	0.6209	0.6391	0.6465	0.6521	0.6551
0.3	0.1584	0.2862	0.3771	0.4826	0.5751	0.6021	0.6131	0.6216	0.6261
0.5	0.0944	0.1809	0.2546	0.3618	0.4841	0.526	0.5438	0.5577	0.5652
1.0	0.0407	0.0804	0.1181	0.1852	0.2986	0.3558	0.3849	0.4103	0.4248
1.5	0.0222	0.0441	0.0655	0.1058	0.1865	0.2385	0.2701	0.3019	0.3223
2.0	0.0137	0.0273	0.0407	0.0666	0.1229	0.1647	0.1938	0.2271	0.2517
3.0	0.0065	0.0131	0.0196	0.0325	0.0624	0.0881	0.1089	0.1380	0.1654
5.0	0.0024	0.0049	0.0074	0.0123	0.0242	0.0355	0.0458	0.0631	0.0859

B. 3. 2. 8 中毒事故

见 B. 1. 2. 5 中毒事故后果模型。

#### B. 4 死亡概率的计算方法

##### B. 4. 1 火灾死亡概率计算方法

首先通过火灾的事故后果模型得出计算位置处的热辐射通量数值, 然后通过火灾热辐射概率方程确定死亡概率。

火灾的事故后果主要包括: 池火灾、喷射火、闪火、沸腾液体扩展为蒸气云爆炸 (Bleve)、固体火灾。

- 池火灾事故后果模型见 B. 1. 2. 1。
- 喷射火事故后果模型见 B. 1. 2. 3。
- 闪火模型见 B. 3. 2. 7。
- 沸腾液体扩展为蒸气云爆炸事故后果模型见 B. 1. 2. 4。
- 固体火灾模型见 B. 2. 2. 5。

热辐射伤害的概率方程通常使用彼德森 (Pietersen) 1990 年提出的概率方程。

皮肤裸露时的死亡几率为:

$$P_r = -36.38 + 2.56 \ln(tq^{4/3}) \quad \dots\dots\dots (B. 102)$$

二度烧伤几率:

$$P_r = -43.14 + 3.0188 \ln(tq^{4/3}) \quad \dots\dots\dots (B. 103)$$

一度烧伤几率:

$$P_r = -39.83 + 3.0186 \ln(tq^{4/3}) \quad \dots\dots\dots (B. 104)$$

式中:

Q—人体接收到的热通量, 单位为  $\text{w}/\text{m}^2$ ;

t—人体暴露于热辐射的时间, 单位为 s;

$P_r$ —人员伤害几率。

同裸露人体的情况相比, 由于服装的防护作用, 人体实际接收的热辐射强度有所减少, 人体实际接收的热辐射强度  $q_c$  ( $\text{w}/\text{m}^2$ ) 为:

$$q_c = \beta q \quad \dots\dots\dots (B. 105)$$

式中:

$\beta$ —有服装保护时人体的热接收率, 取  $\beta=0.4$ 。

##### B. 4. 2 爆炸死亡概率计算方法

首先通过爆炸的事故后果模型得出计算位置处的冲击波超压数值, 然后通过冲击波超压概率方程确定死亡概率。

爆炸事故后果主要包括: 物理爆炸、蒸气云爆炸、凝聚相含能材料爆炸。

- 凝聚相含能材料爆炸后果模型见 B. 2. 2. 1;
- 蒸气云爆炸事故后果模型见 B. 1. 2. 2;
- 物理爆炸见 B. 3. 2. 1。

冲击波超压伤害概率方程通常使用 Purdy 等人的经典概率方程。

$$Y = 2.47 + 1.43 \log \Delta p \quad \dots\dots\dots (B. 106)$$

##### B. 4. 3 毒物泄漏中毒死亡概率计算方法

首先通过气体的扩散模型得出计算位置处的毒性气体浓度数值, 然后通过毒物中毒概率方程确定死亡概率。

毒物泄漏扩散引发中毒主要包括: 非重气扩散、重气扩散。

SZDB/Z 16—2008

- 非重气云扩散模型见 B. 1. 2. 5;
- 重气云扩散模型见 B. 1. 2. 5。

概率值 Y 与接触毒物浓度及接触时间的关系如下:

$$Y = A + B \ln (C^n \cdot t) \quad \dots\dots\dots (B. 107)$$

式中:

A、B、n—取决于毒物性质的常数;

C—接触毒物的浓度, 单位为 ppm;

t—接触毒物的时间, 单位为 min。

表 B. 9 一些毒性物质的常数

物质名称	A	B	n	参考资料
氯	-5.3	0.5	2.75	DCMR 1984
氨	-9.82	0.71	2.0	DCMR 1984
丙稀醛	-9.93	2.05	1.0	USCG 1977
四氯化碳	0.54	1.01	0.5	USCG 1977
氯化氢	-21.76	2.65	1.0	USCG 1977
甲基溴	-19.92	5.16	1.0	USCG 1977
光气	-19.27	3.69	1.0	USCG 1977
氟氢酸(单体)	-26.4	3.35	1.0	USCG 1977

一般说来, 接触毒物的时间不会超过30min。因为在这段时间里人员可以逃离现场或采取保护措施。

附 录 C  
(规范性附录)  
重大危险源安全评估报告封面样张

委托单位名称 (二号宋体加粗)

评估项目名称 (二号宋体加粗)

安全评估报告 (一号黑体加粗)

安全评价机构名称 (二号宋体加粗)

安全评价机构资质证书编号 (三号宋体加粗)

评估报告完成日期 (三号宋体加粗)

### 参考文献

- [1]中国安全生产科学研究院. 社会公益研究专项资金项目“城市工业安全规划关键技术”研究报告[R]. 2006.
- [2]中国安全生产科学研究院. “十五”国家科技攻关计划“城市重大工业危险源评价与监测关键技术研究”专题总结报告[R]. 2006.
- [3]国家安全生产监督管理局安全科学技术研究中心. “十五”国家科技攻关计划“城市公共安全规划技术、方法与程序研究”专题总结报告[R]. 2004.
- [4]劳动部劳动保护科学研究所等. “八五”国家科技攻关专题“易燃、易爆、有毒重大危险源辨识评价技术的研究”鉴定材料[R]. 1995.