

# 团 体 标 准

T/COSHA ××××—2021

## 化工园区化学品急性中毒与致癌风险评价 技术指南

Guidelines for acute poisoning and carcinogenic risk assessment techniques of  
chemicals in chemical industry park

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(征求意见稿)

(本稿完成日期：2021年5月23日)

×××× - ×× - ×× 发布

×××× - ×× - ×× 实施

中国职业安全健康协会 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 缩略语.....	2
5 目标、原则和要求.....	3
6 化学品职业暴露风险分级方法.....	3
7 化学毒物急性中毒事故定量风险评价方法.....	9
8 化学致癌物职业暴露定量风险评价方法.....	12
附录 A （规范性） 化工园区化学品职业健康风险评价程序.....	15
附录 B （规范性） 化学品职业健康风险评价框架基本内容.....	16
附录 C （资料性） 化工园区职业健康风险评估报告格式及要求.....	17
附录 D （规范性） 化学品职业暴露风险分级方法的评价程序.....	20
附录 E （资料性） 常见化学品的嗅阈.....	21
附录 F （资料性） 化学品职业暴露风险分级方法示例.....	27
附录 G （规范性） 化学毒物急性中毒事故定量风险评价程序.....	31
附录 H （资料性） 中毒伤害影响区域的确定准则——毒性评价指标.....	32
附录 I （资料性） 常用软件模拟步骤.....	35
附录 J （资料性） 常见化学毒物急性中毒致死概率计算参数.....	38
附录 K （资料性） 概率变量 $Y$ 与急性中毒致死概率 $P$ (%) 之间的查表换算方法.....	39
附录 L （资料性） 化学毒物泄漏急性中毒事故定量风险计算示例.....	40
附录 M （规范性） 化学致癌物职业暴露定量风险评价程序.....	42
附录 N （资料性） 利用多阶模型计算化学致癌物的致癌风险实例.....	43
参考文献.....	44

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

本文件由中国职业安全健康协会提出并归口。

本文件起草单位：天津渤海化工集团有限责任公司劳动卫生研究所、中国职业安全健康协会化工职业安全健康专业委员会、天津市疾病预防控制中心、复旦大学公共卫生学院、天津医科大学、深圳宝安区疾病预防控制中心、天津大沽化工股份有限公司、天津渤化讯创科技有限公司、天津德安圣保安全卫生评价监测有限公司、思弘正安（北京）科技有限公司、天津东方泰瑞科技有限公司

本文件主要起草人：黄德寅、李敏嫣、张倩、寿勇明、徐天全、曾强、夏昭林、汤乃军、朱志良、张秋利、刘保峰、刘静、殷伊琳、苑成、王菁、张瑜琥、王绪亭、张晨、张奇

中国职业安全健康协会团体标准

# 化工园区化学品急性中毒与致癌风险评价技术指南

## 1 范围

本文件规定了化工园区化学品职业健康风险评价的目标、原则和要求，化学品职业暴露风险分级方法、化学品急性中毒事故定量风险评价方法和化学致癌物职业暴露定量风险评价方法等内容。

本文件适用于化工园区（包括用人单位）涉及化学品的生产、使用、贮运等过程的急性中毒事故与致癌风险评价，适用于化工园区职业健康风险管理。

## 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/T18664 呼吸防护用品的选择、使用与维护
- GB 30077 危险化学品单位应急救援物资配备要求
- GB 50493 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范
- GBZ 1 工业企业设计卫生标准
- GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素
- GBZ 159 工作场所空气中有毒物质监测的采样规范
- GBZ 188 职业健康监护技术规范
- GBZ/T 300 工作场所空气有毒物质测定
- AQ/T 3046-2013 化工企业定量风险评价导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**化工园区** chemical industry park

由多个相关联的化工企业构成，以发展石化和化工产业为导向、地理边界和管理主体明确、基础设施和管理体系完整的工业区域。

注：化工园区一般包括两种类型：1）有关部门批准设立或认定的专业化工园区；2）有关部门批准设立或认定的经济（技术）开发区、高新技术产业开发区或其他工业园区中相对独立设置的化工园（区）。

### 3.2

**化学毒物** toxicant[toxic substance(s)]

在一定条件下，较低剂量能引起机体功能性或器质性损伤的外源性化学物质。

[GBZ/T 224-2010，定义11.1.4]

### 3.3

**职业健康** occupational health

T/xxx xxx—xxx

对工作场所内产生或存在的职业健康危害因素及其健康损害进行识别、评估、预测和控制的一门科学，其目的是预防和保护劳动者免受职业健康危害因素所致的健康影响和危险，使工作适应劳动者，促进和保障劳动者在职业活动中的身心健康和社会福利。

### 3.4

#### 职业危害 occupational hazard

对从事职业活动的劳动者可能导致职业病和各种健康危害。

### 3.5

#### 风险 risk

发生有害暴露的可能性，与随之引发健康损害的严重性的组合。

### 3.6

#### 风险评价 risk assessment

对职业健康危害因素导致的风险进行评估、对职业健康危害防护控制措施的充分性加以考虑以及对风险是否可接受予以确定的过程。

### 3.7

#### 危害辨识 hazard identification

对化学毒物引起不良健康反应的潜力进行定性评价的过程。

### 3.8

#### 暴露评价 exposure assessment

确定人体通过不同的途径接触外源性化学物的量及接触条件，得出总接触量。

[GBZ/T 224-2010，定义7.2]

### 3.9

#### 剂量—反应关系 dose-response relationship

化学毒物的剂量与暴露群体当中某种效应的发生率之间的关系。

[GBZ/T 224-2010，定义11.4.18]

### 3.10

#### 风险表征 risk characterization

获得暴露人群发生特定后果的风险等级、概率，即该人群由于接触某种化学毒物可能导致某种健康后果的风险的过程。

### 3.11

#### 风险应对 risk response

在分析出风险等级、概率及其风险影响程度的基础上，根据风险性质和决策主体对风险的承受能力而制定的回避、承受、降低或者分担风险等的相应防范计划。制定风险应对策略主要考虑四个方面的因素：可规避性、可转移性、可缓解性、可接受性。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AEGLs: 急性暴露指导水平 (Acute Exposure Guideline Levels)

AIHA: 美国工业卫生协会 (American Industrial Hygiene Association)

ALOHA: 危险气体区域定位软件 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres)

CFD: 计算流体动力学 (Computational Fluid Dynamics)

E: 周暴露量 (Weekly Exposure)

EI: 暴露指数 (Exposure Index)

ER: 暴露等级 (Exposure Rating)

T/××× ××××—××××

ERPGs: 应急响应计划指南 (Emergency Response Planning Guidelines)

HR: 危害等级 (Hazard Rating)

IARC: 国际癌症研究机构 (International Agency for Research on Cancer)

IDLH: 直接有害浓度 (Immediately Dangerous to Life or Health)

MAC: 最高容许浓度 (Maximum Allowable Concentration)

NIOSH: 国家职业安全与健康协会 (National Institute for Occupational Safety and Health)

OEL: 职业接触限值 (Occupational Exposure Limit)

OT: 气体嗅阈 (Odor Threshold)

PC-TWA: 时间加权平均容许浓度 (Permissible Concentration-Time Weighted Average)

PC-STEL: 短间接接触容许浓度 (Permissible Concentration-Short Term Exposure Limit)

US EPA: 美国环保署 (United States Environmental Protection Agency)

## 5 目标、原则和要求

### 5.1 化工园区化学品职业健康风险评价的目标

化工园区化学品的职业健康风险评价应能达到如下目标:

- 1) 辨识相关化学品暴露存在的职业健康危害;
- 2) 对劳动者化学品职业暴露进行评价;
- 3) 对暴露于化学品的劳动者进行剂量—反应关系评价,分析发生职业病及其他健康影响的可能性;
- 4) 确定化学品职业暴露风险等级、急性中毒事故风险影响范围和化学致癌物风险概率,在分析风险影响程度及其风险概率的基础上,提出合理可行的职业危害防控措施,为实施化工园区建设项目和用人单位职业健康风险应对提供技术依据。

### 5.2 化工园区化学品职业健康风险评价基本原则与要求

5.2.1 涉及化学品的生产、使用、贮运等的化工园区及用人单位均应进行化学品职业暴露风险分级。

5.2.2 对于职业暴露风险分级确定为高风险的化学品,根据职业健康危害特点应进行化学毒物急性中毒事故定量风险评价和化学致癌物职业暴露定量风险评价。

5.2.3 化学品职业暴露风险分级、化学毒物急性中毒事故定量风险评价、化学致癌物职业暴露定量风险评价等风险评价方法基本程序均应遵循化学毒物的危害辨识、暴露评价、剂量—反应关系评价、风险表征和风险应对五个阶段。

5.2.4 化学品职业健康风险评价的程序应符合附录 A 的规定,其框架基本内容应符合附录 B 的规定。

5.2.5 化学品职业健康风险评估报告格式及要求见附录 C。

## 6 化学品职业暴露风险分级方法

### 6.1 化学品职业暴露风险分级的步骤

6.1.1 风险分级步骤如下:

- a) 搜集生产工艺、防护措施、化学品理化性质、职业暴露情况等相关资料;
- b) 识别化学品危害,确定危害等级;
- c) 评价暴露程度或暴露的可能性,确定暴露等级;
- d) 基于化学品危害等级和暴露等级,确定风险等级;
- e) 根据不同风险等级,决定相应风险的防护控制措施优先级,以采取有效的防控措施。

6.1.2 化学品职业暴露风险分级方法的评价程序应符合附录 D 的规定。

## 6.2 化学品职业暴露风险分级的方法内容

### 6.2.1 危害辨识

6.2.1.1 应搜集生产工艺、防护措施等相关资料，对工艺过程、劳动者操作环境和操作程序等进行全面调查，包括生产工艺控制指标、工艺设备技术参数、产品包装、运输及贮存方式、原辅料的规格及使用量、职业病防护设施、应急救援设施、职业卫生管理措施和操作规程、职业健康监护资料等。

6.2.1.2 应搜集化学品特性的相关资料，辨识蒸气压、固体物料颗粒尺度、嗅阈等理化性质；辨识化学品固有的急性毒性、刺激性、腐蚀性、致突变和致畸等特性。

6.2.1.3 应搜集影响劳动者职业暴露水平的相关资料，包括劳动者操作方式、暴露因素、暴露途径、暴露时间、暴露频率、暴露量、暴露浓度、职业病防护设施使用及维护情况等。

### 6.2.2 化学品危害等级（HR）评估

#### 6.2.2.1 依据急性毒性划分危害等级

应按表1的规定依据急性毒性划分危害等级，等级由低到高依次为1-5级。

表1 依据急性毒性划分危害等级

危害等级 HR	大鼠经口吸收 $LD_{50}^a$ (mg/kg)	大鼠或兔经皮吸 收 $LD_{50}$ (mg/kg)	大鼠经吸入吸收 (气体和蒸气) $LC_{50}^b$ (mg/(L·4h))	大鼠经吸入吸收 (浮质和微粒) $LC_{50}$ (mg/(L·4h))
1	$LD_{50} > 5000$	$LD_{50} > 5000$	$LD_{50} > 50$	$LD_{50} > 10$
2	$2000 < LD_{50} \leq 5000$	$2000 < LD_{50} \leq 5000$	$20 < LC_{50} \leq 50$	$5 < LC_{50} \leq 10$
3	$200 < LD_{50} \leq 2000$	$400 < LD_{50} \leq 2000$	$2.0 < LC_{50} \leq 20$	$1 < LC_{50} \leq 5$
4	$25 < LD_{50} \leq 200$	$50 < LD_{50} \leq 400$	$0.5 < LC_{50} \leq 2.0$	$0.25 < LC_{50} \leq 1$
5	$LD_{50} \leq 25$	$LD_{50} \leq 50$	$LC_{50} \leq 0.5$	$LC_{50} \leq 0.25$
<sup>a</sup> $LD_{50}$ 为半数致死量； <sup>b</sup> $LC_{50}$ 为半数致死浓度。				

#### 6.2.2.2 依据有毒作用影响/危害分类结果划分危害等级

应按表2的规定依据有毒作用影响/危害分类结果划分危害等级。

表2 依据有毒作用影响/危害分类结果划分危害等级

危害等级 HR	作用影响/危害分类的描述
1	不确定的健康危害影响及未归类的有毒或有害物质； 职业健康监护与流行病学资料中未见明确健康影响； 国际癌症研究机构（IARC） <sup>a</sup> G4； 未按有毒或有害分类。
2	对皮肤、眼睛、粘膜的可逆的结果或者并未造成严重的健康损害； 职业健康监护与流行病学资料中可见有健康影响，健康影响一般为可逆的； IARC G3； 皮肤过敏和刺激物质。
3	可能为人类或动物致癌物或致突变物，但尚无充足证据；

表2 依据有毒作用影响/危害分类结果划分危害等级（续）

危害等级 <i>HR</i>	作用影响/危害分类的描述
	职业健康监护与流行病学资料中可分析到剂量与健康效应关系，并可造成健康损害； 没有可靠的充足证据的流行病学资料； IARC G2B； 腐蚀性物质（pH 3~5，或9~11）、呼吸性敏感物质。
4	基于动物研究的很可能为人类致癌物、致突变物或致畸物； 职业健康监护可分析到有明显剂量与健康效应关系，健康影响出现不可逆的并有可靠的流行病学资料证实； IARC G2A； 高腐蚀性物质（pH 0~2，或11.5~14）。
5	已知人类致癌物、致突变物或致畸物； 职业健康监护可分析到有明显剂量与健康效应关系，流行病学资料中有典型病例报告； IARC G1。
<sup>a</sup> G1：确认人类致癌物；G2A：可能人类致癌物；G2B：可疑人类致癌物；G3：对人及动物致癌性证据不足； G4：未列为人类致癌物。	

### 6.2.2.3 综合确定化学品危害等级

如依据表1和表2划分的危害等级不同，应选择较高危害等级作为*HR*的评估结果。

### 6.2.3 化学品暴露等级（*ER*）评估

#### 6.2.3.1 暴露等级及计算公式

对于吸入途径的暴露，应依据公式（1）规定的方法利用暴露指数确定暴露等级。

$$ER = (EI_1 \times EI_2 \times \dots \times EI_n)^{1/n} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

*ER*——暴露等级；

*EI*——暴露指数，应按表3的规定确定；

*n*——使用的暴露因子的个数。暴露因子包括蒸气压或固体物料颗粒尺度、*OT/OEL*、*E/OEL*、职业病防护设施、每周累计暴露时间和每周生产、使用、储存、运输量等。

表3 暴露因子和暴露指数对应表

暴露因子	暴露指数（ <i>EI</i> ）				
	1	2	3	4	5
蒸气压 <sup>a</sup> 或固体物料颗粒尺度	<1.33×10 <sup>1</sup> Pa	1.33×10 <sup>1</sup> ~1.33×10 <sup>2</sup> Pa	>1.33×10 <sup>2</sup> ~1.33×10 <sup>3</sup> Pa	>1.33×10 <sup>3</sup> ~1.33×10 <sup>4</sup> Pa	>1.33×10 <sup>4</sup> Pa
粗糙的块状或潮湿物料 ≥1 cm的材料		干燥的粗粒物料 1~<10 mm的材料	干燥的细粒物料 100~<1000 μm的材料	干燥的微粒物料 10~<100 μm的材料	干燥的微粉物料 <10 μm的材料
<i>OT/OEL</i>	<0.1	0.1~<0.5	0.5~<1.0	1.0~<2.0	≥2.0
<i>E/OEL</i>	<0.1	0.1~<0.5	0.5~<1.0	1.0~<2.0	≥2.0



表3 暴露因子和暴露指数对应表(续)

暴露因子	暴露指数 (EI)				
	1	2	3	4	5
职业病防护设施	工艺过程密闭化、自动化,无直接人工操作,无化学品释放的生产过程。	无直接人工操作,有化学品释放的生产过程及设备,设置适宜的局部通风排毒设施并定期维护。	有人工操作,有化学毒物释放的生产过程及设备,设置适宜的局部通风排毒设施并定期维护。	有人工操作,有化学品释放的生产过程及设备,设置局部通风排毒设施,但未定期维护。	有人工操作,有化学品释放的生产过程及设备,未设置局部通风排毒设施。
每周生产/使用/储存/运输量	几乎可以忽略的使用量(<1 kg或1 L)	小用量(1~<10 kg或1~<10 L)	中等用量(10~<100 kg或10~<100 L)	大用量(100~1000 kg或100~1000 L)	大用量(>1000 kg或1000 L)
每周累计暴露时间	<8 h	8~16 h	>16~24 h	>24~32 h	>32 h

<sup>a</sup> 一般为化学品生产、使用、储存、运输温度下的蒸气压。

### 6.2.3.2 暴露因子

#### 6.2.3.2.1 蒸气压

化学品的蒸气压可利用安托因方程计算,见公式(2)。

$$p = 101325 \times 10^{A - [B/(T+C)]} / 760 \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$p$ ——蒸气压的数值,单位为帕(Pa);

$T$ ——化学品生产、使用、储存、运输时温度的数值,单位为摄氏度(°C);

$A$ 、 $B$ 和 $C$ ——物性常数,称为安托因常数。

#### 6.2.3.2.2 固体物料颗粒尺度

固体物料颗粒尺度指颗粒的大小。通常球体颗粒的尺度应用直径表示,立方体颗粒的尺度应用边长表示,不规则颗粒的等效直径应用与该颗粒有相同行为的某一球体直径表示。

#### 6.2.3.2.3 嗅阈与职业接触限值的比值( $OT/OEL$ )

常见化学品的嗅阈参见表E.1。

在计算 $OT/OEL$ 时,嗅阈应与职业接触限值(PC-STEL或MAC)比较。

#### 6.2.3.2.4 周平均暴露量与职业接触限值的比值( $E/OEL$ )

当劳动者接触空气中化学品的实际暴露水平可获取时,对于吸入途径的暴露,应将职业人群周平均暴露量 $E$ 与职业接触限值 $OEL$ 比较。对于一天中不超过15 min的暴露,周暴露量 $E$ 应与短间接接触容许浓度(PC-STEL)比较。

周平均暴露量 $E$ 应按公式(3)规定的方法计算:

$$E = \frac{F \times D \times M}{W} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

T/xxxx-xxxx-xxxx

- $E$ ——每周工作时间的化学品实际周平均暴露浓度的数值，单位为毫克每立方米（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ）；
- $F$ ——每周暴露次数的数值；
- $D$ ——每次暴露的平均时间的数值，单位为小时（ $\text{h}$ ）；
- $M$ ——实际监测暴露浓度的数值，单位为毫克每立方米（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ），若有多次检测结果则取中位数；
- $W$ ——标准周工作时间的数值，单位为小时（ $\text{h}$ ），设为40。

### 6.2.3.2.5 职业健康工程防护设施

应考虑职业健康工程防护设施的设置、使用及维护情况。

对存在化学品的生产过程和工艺设备，优先采用机械化、自动化、密闭化。有化学品逸散的生产过程及工艺设备，应结合生产工艺采取通风排毒等职业健康工程防护设施。

### 6.2.3.2.6 每周生产/使用/储存/运输量

化学品的生产/使用/储存/运输量及暴露时间应为暴露等级评估要考虑的因素，且这两个暴露因素均应基于周暴露考虑。

### 6.2.3.2.7 每周累计暴露时间

劳动者每周暴露于该化学品的累计时间。

## 6.2.4 化学品职业暴露风险等级的确定

按公式（4）进行风险指数计算，再按表4或图1确定风险等级。

$$Risk_{rank} = (HR \times ER)^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $Risk_{rank}$ ——风险指数；
- $HR$ ——化学品危害等级；
- $ER$ ——化学品暴露等级。

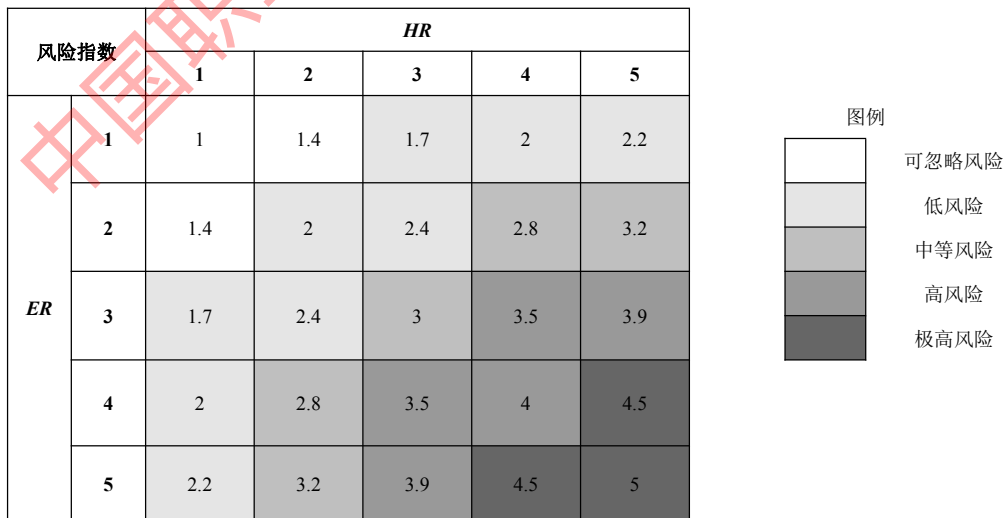


图1 风险矩阵

表4 风险指数

风险指数 <sup>a</sup>	风险等级
1	可忽略风险
2	低风险
3	中等风险
4	高风险
5	极高风险
<sup>a</sup> 风险指数应四舍五入用于确定风险等级。	

### 6.2.5 风险应对

根据风险评估结果，不同等级的风险应采取不同的控制措施，确定风险应对的优先权，并符合如下规定：

- 应结合风险等级的评估结论判断是否需要进一步进行定量风险分析。职业健康危害风险分级管理的原则应符合表5的规定。
- 应针对性地提出可行的风险控制对策，风险的优先预防和管理必须从工程控制措施、职业卫生管理措施和操作规程、应急救援预案、职业健康监护策略、职业卫生培训等方面进行。评价得到的风险等级会随时间等情况而发生变化，应对潜在有害暴露风险等级进行定期评估，按周期实施监督管理。
- 对于标注致癌性标识、（敏）标识、（皮）标识的化学毒物，应重点提示用人单位采取工程控制措施和个体防护措施以减少或消除接触，尽可能降低接触水平。
- 对高风险等级，应提供并使用有效的个体防护用品。

表5 不同等级风险的职业健康风险分类管理原则

风险等级	风险控制行动及分级管理的原则
极高风险	职业健康防护措施不可行，应立即改进或重新设计工艺和设备，重新设计工程控制措施，或用低毒物质代替高毒物质，必要时采取封闭措施隔离操作。改进后应对这类风险重新进行评价，必要时应进行定量风险评价。
高风险	应首先执行有效的工程控制措施，采取严格的职业卫生管理措施减少暴露，定期进行职业健康危害因素浓度监测与检测，应定期进行培训和职业健康检查，并采取呼吸保护计划，提供个人使用的职业病防护用品，必要时应建立职业病危害事故应急救援预案，控制并降低风险。应每2年进行一次风险评价，且应进行定量风险评价。
中等风险	继续维持现行的措施预防和控制，应定期进行职业健康危害因素检测，定期进行培训和职业健康检查。应每3年进行一次风险评价。
低风险	保持控制，应确保这类风险等级不会发生变化。应定期进行职业健康危害因素检测，每4年进行一次风险评价。

### 6.2.6 化学品职业暴露风险分级方法示例

化学品职业暴露风险分级方法示例参见附录F。

## 7 化学毒物急性中毒事故定量风险评价方法

## 7.1 化学毒物急性中毒事故定量风险评价方法的步骤

化学毒物急性中毒事故定量风险评价程序应符合附录G的规定，按如下步骤进行：

- a) 进行工程分析，现场职业卫生学调查，搜集化学毒物特性的资料及泄漏和气象参数，辨识危害因素、接触化学毒物的量、暴露途径和频次等；
- b) 选择泄漏场景，模拟计算空气中化学毒物的浓度，确定泄漏毒气影响区域；
- c) 选择化学毒物的急性中毒致死概率计算参数；
- d) 选择查表法或公式计算法确定急性中毒致死概率；
- e) 评价风险的可容许性，并采取风险应对措施。

## 7.2 化学毒物急性中毒事故定量风险评价方法内容

### 7.2.1 危害辨识

应通过工程分析，辨识可能发生事故的环节和可能发生泄漏造成急性中毒的化学毒物，收集如下资料：

- a) 现场调查搜集资料：生产工艺、包装运输方式、原辅料的使用量、产品贮存方式、暴露途径等。
- b) 化学毒物特性的资料：
  - 1) 毒理学信息：可能造成的急性健康影响，急性毒性数据（ $LD_{50}$ 、 $LC_{50}$ 等）；
  - 2) 理化性质：蒸气压、闪点、燃爆范围、挥发速率、挥发性、流动性和蒸气密度等；
  - 3) 急性中毒评价指标：急性暴露指导水平（AEGLs）、紧急响应计划指南（ERPGs）、直接致害浓度（IDLH）等，常见化学毒物的急性中毒评价指标参见附录H。
- c) 模拟化学毒物泄漏扩散所需搜集的参数和信息：
  - 1) 位置和时间参数：厂区地理位置（经纬度、时区、海拔）、建筑物类型或通风换气率、是否有遮蔽物，事故发生的时间；
  - 2) 气象和地形参数：气象条件（风速、风向、大气稳定度、是否有逆温层、云层覆盖度、气温、湿度）和地表粗糙度；
  - 3) 事故参数：泄漏源类型（持续泄漏、瞬时泄漏）、泄漏时间、泄漏量、泄漏源信息（形状、高度、孔径等）、泄漏物质信息（相态、温度、压力等）。

### 7.2.2 暴露评价

#### 7.2.2.1 事故场景的选择

在事故场景未知的情况下，应预测可能发生的不同危害程度的事故场景。可按AQ/T 3046—2013中8.1的规定选择合适的泄漏场景。

#### 7.2.2.2 泄漏量的预测

如需根据泄漏量进行扩散模拟而泄漏量未知，可按危害程度假定不同的泄漏量分别计算，也可按AQ/T 3046—2013中9.2的规定计算泄漏量。

#### 7.2.2.3 泄漏时间的预测

可按AQ/T 3046—2013中9.2.6的规定确定有效泄漏时间。

#### 7.2.2.4 空气中化学毒物浓度的预测

T/xxxx-xxxx-xxxx

可采用危险气体区域定位软件（ALOHA）、计算流体力学（CFD）软件进行化学毒物急性中毒事故的暴露分析，预测空气中化学毒物的浓度及影响范围。急性中毒事故空气中化学毒物浓度预测常用软件模拟步骤参见附录I。

### 7.2.2.5 确定事故应急等级

确定泄漏毒气影响区域，并根据急性中毒的判断标准确定相应的应急等级。可使用AEGLs、ERPGs、IDLH作为急性中毒指标，也可自行选择不同健康影响对应的暴露时间和浓度的急性中毒数据。常见化学毒物的AEGLs、ERPGs及IDLH参见附录H。

### 7.2.3 剂量—反应评价

#### 7.2.3.1 剂量—反应模型

剂量—反应模型以公式（5）中概率变量Y和急性中毒致死概率P的函数关系表示：

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- P——急性中毒致死概率的数值；
- Y——概率变量的数值，可按公式（6）计算；
- u——积分变量。

#### 7.2.3.2 概率变量 Y

概率变量Y与接触毒物浓度及接触时间的关系如下：

$$Y = A' + B' \ln(c^{n'}t) \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- Y——概率变量的数值；
- A'，B'，n'——取决于毒物性质的常数值，对不同的毒物有不同的取值，常见化学毒物的急性中毒致死概率计算参数参见附录J；
- c——接触毒物的浓度的数值，质量浓度单位为毫克每立方米（mg/m<sup>3</sup>），体积浓度为气体体积分数与10<sup>-6</sup>的比值，根据A'，B'，n'确定c为质量浓度或体积浓度；
- t——接触毒物的时间的数值，单位为分钟（min）。

### 7.2.4 风险表征

#### 7.2.4.1 查表法

利用公式（6）计算出的概率变量Y可按附录K的方法查表确定对应的急性中毒致死概率P。

#### 7.2.4.2 公式计算法

在实际应用中，也可按公式（7）基于概率变量Y计算对应的急性中毒致死概率P：

$$P = 0.5 \times \left[ 1 + \frac{Y-5}{|Y-5|} \operatorname{erf} \left( \frac{|Y-5|}{\sqrt{2}} \right) \right] \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- P——急性中毒致死概率的数值；

T/xxxx—xxxx—xxxx

*erf*——误差函数；

*Y*——概率变量的数值，可按公式（6）计算。

利用公式计算法进行化学毒物泄漏事故急性中毒定量风险计算的示例参见附录L。

## 7.2.5 急性中毒风险应对

### 7.2.5.1 急性中毒事故致死风险应对原则

化工园区急性化学中毒事故致死的可容许风险水平应设为 $1.0 \times 10^{-3}$ 。

- a) 如定量风险评价结果超过 $1.0 \times 10^{-3}$ ，即为不可接受的风险，用人单位应首选采取减少化学毒物的生产/使用/储存/运输量的措施降低风险；
- b) 如定量风险评价结果不超过 $1.0 \times 10^{-3}$ ，即为可接受的风险，用人单位应采取工程控制措施、劳动组织管理措施、个体防护措施、职业卫生管理措施、应急救援措施等，尽可能控制并降低化学毒物急性中毒事故风险。

### 7.2.5.2 工程控制

用人单位应通过尽可能减少生产/使用/储存/运输过程中的化学毒物的量，合理设计操作系统，降低化学毒物泄漏事故的频率，降低危险发展成灾害性事故的概率，设置安全程序、采用安全附件，把泄漏的化学毒物控制在边界内等措施降低风险。

用人单位应按GBZ 1的要求采取工程控制措施：采用机械化和自动化，避免直接人工操作，设备和管道应采取有效的密闭措施，并结合生产工艺采取通风和净化措施等。

### 7.2.5.3 个体防护

用人单位应按GB/T 18664的规定，为接触化学毒物的劳动者提供适宜的呼吸防护用品，并指导落实其正确佩戴。

### 7.2.5.4 职业健康管理

- a) 职业暴露评估：用人单位应建立职业健康危害因素定期检测制度，每年至少委托职业卫生技术服务机构对工作场所空气中化学毒物的浓度进行一次检测。
- b) 职业健康监护：用人单位应按GBZ 188的规定，对接触化学毒物的劳动者进行职业健康检查，发生急性职业病危害事故时进行应急健康检查。
- c) 职业健康培训：用人单位应对接触化学毒物的劳动者进行职业健康培训，培训至少应包括以下内容：
  - 1) 国家针对化学毒物职业危害制定的法律、法规及相关政策；
  - 2) 用人单位为消除、减少化学毒物危害所采取的控制措施及管理方法；
  - 3) 岗位操作规程；
  - 4) 工作区域的化学毒物危险源、暴露评估情况；
  - 5) 化学毒物的种类、危害程度、危害后果（可能造成的急性健康影响、急性毒性数据和急性中毒指标）及现场应急处置措施等；
  - 6) 使用呼吸防护用品的目的，各类型呼吸防护用品的优缺点、防护因数和如何选用、佩戴、保管和更换等；
  - 7) 职业健康检查的目的和程序。

### 7.2.5.5 应急救援措施

- a) 产生或可能存在化学毒物的工作场所应设冲洗设施；



- b) 贮存高危液体化学毒物的贮罐区周围应设置泄险沟（堰）等；
- c) 在生产中可能突然逸出大量易造成急性中毒的化学毒物的室内作业场所，应设置事故通风装置及与事故排风系统相连锁的泄漏报警装置，报警装置应按 GB 50493 的要求设计；
- d) 可能存在或产生化学毒物的工作场所应根据化学毒物的理化特性和危害特点配备现场急救用品，设置冲洗喷淋设备、应急撤离通道、必要的泄险区以及风向标；
- e) 应设置应急救援组织，制定重大事故应急预案，配备应急救援物资等，应急救援物资应按 GB 30077 的要求配备；
- f) 应急疏散的策略应包括：
  - 1) 以 AEGL-2 或 ERPG-2 对应的阈值为基准，根据毒性水平划分疏散区域；
  - 2) 以 IDLH 对应的阈值为基准，确定相应的呼吸防护区域范围；
  - 3) 针对不同的毒性水平所划分的区域，分别制定相应的应急救援预案；
  - 4) 依据可能发生的泄漏场景，制定不同紧急情况下的应急救援预案；
  - 5) 完善化学毒物泄漏突发事件时厂区内及邻近企业周围人员疏散方案和紧急医疗救治方案；
  - 6) 按 GB/T 18664 等标准规范的规定，参照超过 IDLH 浓度的范围，为在此区域内的劳动者选择合适的辅助逃生型呼吸防护用品，为进入此区域的应急人员、抢修人员等配备合适的呼吸防护用品。

## 8 化学致癌物职业暴露定量风险评价方法

### 8.1 化学致癌物职业暴露定量风险评价的步骤

化学致癌物职业暴露定量风险评价程序应符合附录M的规定，评价方法按如下步骤进行：

- a) 进行化学致癌物职业暴露的危害辨识，搜集职业暴露情况、剂量—反应评价等相关资料；
- b) 对工作场所空气中化学致癌物的浓度进行测定或预估，也可通过开展生物监测或模拟代谢产物的内剂量浓度，进行化学致癌物暴露评价；
- c) 通过毒理学资料、人群流行病学资料研究或动物实验数据等资料，拟合某化学致癌物职业暴露的多阶模型剂量—反应关系式；
- d) 将化学致癌物的空气浓度或生物监测指标浓度代入致癌风险的剂量—反应关系式，计算暴露人群致癌超额风险。
- e) 评价风险的可接受性，并采取风险应对措施。

### 8.2 化学致癌物职业暴露定量风险评价方法内容

#### 8.2.1 危害辨识

通过工程分析进行化学致癌物职业暴露定量风险评价的危害辨识，应搜集的资料包括：

- a) 化学致癌物有关资料，包括化学毒物理化性质及固有危害、毒理学作用、职业暴露人群的流行病学调查数据、动物致癌实验数据等相关资料；
- b) 职业史及现场调查资料，包括职业史、暴露人群数量、性别、年龄分布、暴露方式、暴露时间、劳动者防护条件等。

#### 8.2.2 暴露评价

##### 8.2.2.1 工作场所空气中化学致癌物的浓度测定

按GBZ 159的规定对工作场所空气中化学致癌物的浓度进行监测采样。宜选择个体采样或长时间定点采样。工作场所空气化学毒物按GBZ/T 160、GBZ/T 300的规定进行测定。应按GBZ 2.1的规定评价劳动者化学毒物的职业暴露水平。

### 8.2.2.2 工作场所空气中化学致癌物的浓度预估

在进行建设项目职业病危害预评价工作中，当工作场所空气中化学毒物浓度不能进行实际测量时，化学毒物的职业暴露水平应根据用人单位既往工作场所劳动者职业暴露的测量资料，并参考国内同类工业企业暴露测量数据资料等进行综合评估。

### 8.2.2.3 内暴露剂量评价

可开展生物监测，并按GBZ 2.1规定的职业接触生物限值评价化学致癌物职业暴露水平。

也可基于预测或测定的工作场所空气中化学毒物浓度，利用ERDEM等软件基于PBPK模型进行职业暴露内剂量的模拟。ERDEM软件的模拟步骤参见附录I。

### 8.2.3 剂量—反应评价

剂量—反应关系可用多阶模型表示。多阶模型的一般形式见公式（8）：

$$F(d) = 1 - \exp\left(-\sum_{i=0}^k a_i d^i\right) \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$F(d)$ ——剂量—反应关系函数，可能是值在0到1之间的任意单增函数， $F(0)=0$ ；

$a_i$ ——需要拟合的模型参数；

$k$ ——单个正常细胞变为恶性细胞前必须经历的  $k$  个阶段；

$d$ ——终身平均人体内剂量。

可通过收集已发布的国内外流行病学调查资料，根据化学致癌物暴露水平和肿瘤发病率数据，拟合多阶模型中的参数值，进而得到化学致癌物职业暴露致癌剂量—反应关系函数。

建立多阶模型进行剂量—反应评价示例参见附录N。

### 8.2.4 风险表征

可利用多阶模型，将暴露评价得到的化学致癌物暴露水平代入建立的剂量—反应关系函数中，计算职业暴露人群的致癌风险。个体暴露于剂量为  $D$ （工作场所空气中浓度）的化学致癌物所造成一生中患肿瘤的概率  $P_T$  可用公式（9）表示：

$$Pr(tumor | D) = P_0 + (1 - P_0)F[f(D)] \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$P_0$ ——风险背景值；

$D$ ——工作场所空气中化学毒物的浓度，单位为毫克每立方米（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ）；

$f(D)$ ——暴露剂量  $D$  下的终身平均人体内剂量，表示为  $D$  的函数，也可直接表示为终身平均人体内剂量  $d$ 。

### 8.2.5 化学致癌物职业暴露定量风险评价方法示例

利用多阶模型计算化学致癌物职业暴露导致的致癌风险示例参见附录P。



## 8.2.6 风险应对

### 8.2.6.1 致癌风险应对原则

化学致癌物超额风险的可接受风险水平应设为  $1.0 \times 10^{-4}$ 。

- a) 如化学致癌物超额风险超过致癌可接受风险水平  $1.0 \times 10^{-4}$ ，用人单位应采取工程控制措施降低致癌风险；如采取工程措施后致癌风险仍超过致癌可接受风险水平  $1.0 \times 10^{-4}$ ，应采取消除和替代致癌物措施。
- b) 如化学致癌物超额风险不超过致癌可接受风险水平  $1.0 \times 10^{-4}$ ，用人单位应采取工程控制、劳动组织管理、个体防护和职业卫生管理等措施，尽可能降低化学致癌物接触水平。

### 8.2.6.2 工程控制

用人单位应按GBZ 1的要求，优先采用机械化和自动化，避免直接人工操作。设备和管道应采取有效的密闭措施，密闭形式应根据工艺流程、设备特点、生产工艺、安全要求及便于操作、维修等因素确定，并结合生产工艺采取通风和净化措施。

### 8.2.6.3 个体防护

用人单位应按GB/T 18664的规定，为接触化学致癌物的劳动者提供适宜的呼吸防护用品，并督促其进入存在化学致癌物的工作场所时应佩戴使用。

### 8.2.6.4 劳动组织管理

用人单位应按GBZ 1的规定，通过减少劳动者接触化学致癌物暴露的工作时间或者改变操作方式进行劳动组织管理。当暴露不可避免时，应使暴露人数最小化，并为劳动者提供休息区，使劳动者定期地远离工作场所的化学致癌物。

### 8.2.6.5 职业健康管理

- a) 职业暴露评估：用人单位应建立职业健康危害因素定期检测制度，每年至少委托具备资质的职业卫生技术服务机构对工作场所空气中化学致癌物的浓度进行一次检测。检测宜选择个体采样或长时间定点采样以计算个体暴露量。
- b) 职业健康监护：用人单位应按GBZ 188的规定，对接触化学致癌物的劳动者进行职业健康检查。
- c) 职业健康培训：用人单位应对接触化学致癌物的劳动者进行职业健康培训，培训至少应包括以下内容：
  - 1) 国家针对化学致癌物职业危害制定的法律、法规及相关政策；
  - 2) 用人单位为消除、减少化学致癌物危害所采取的控制措施及管理辦法；
  - 3) 工作区域的化学致癌物危险源、暴露评估情况；
  - 4) 化学致癌物理化性质及固有危害、毒理学作用、职业健康危害等；
  - 5) 使用个体防护用品的目的，各类型个体防护用品的优缺点、防护因数和如何选用、佩戴、保管和更换等；
  - 6) 职业健康检查的目的和程序。

附录 A  
(规范性)  
化工园区化学品职业健康风险评估程序

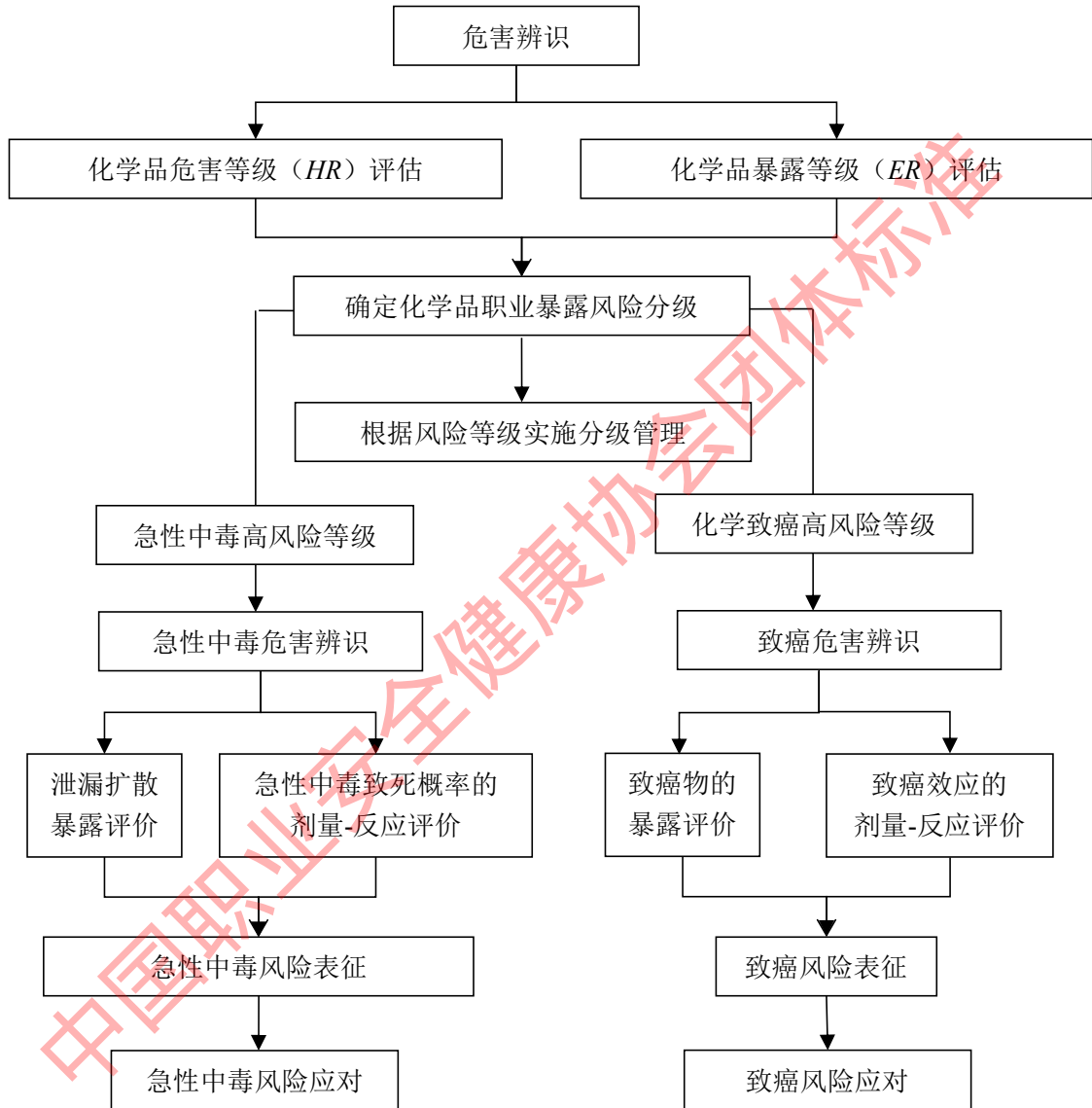


图 A.1 化学品职业健康风险评估程序

附 录 B  
(规范性)  
化学品职业健康风险评价框架基本内容

表 B.1 化学品职业健康风险评价框架基本内容

步骤	目的和内容描述	相关信息和方法
危害辨识	鉴别可能对健康产生有害影响的活动或暴露和可观察的有害影响的可能原因,对潜在职业健康危害进行识别、判别;分析风险的性质、种类、模式、发生的时机和空间条件、发生的实际可能性、影响范围、风险的严重程度等。	流行病学资料、毒理学资料、职业病及事故案例统计数据等历史资料; 职业史调查、操作规程、培训记录等; 现行法律、法规及标准、规范的对照等。 采用类比法、检查表法和经验进行。
剂量—反应评价	通过对流行病学资料和动物定量研究资料进行分析,确定暴露量与人群特定健康效应的出现频率之间的关系,即确定剂量—反应关系。	危害等级的确定; 根据急性中毒致死概率计算参数确定概率变量和急性中毒致死概率的剂量—反应模型; 根据流行病学数据拟合剂量—反应关系。
暴露评价	通过询问调查、环境监测、生物监测等方法,对化学毒物进行定性和定量评价。 职业人群暴露于化学毒物的程度或估测的可能程度,为剂量—反应关系评价和风险评价提供可靠的暴露数据。	工作场所职业健康危害因素浓度预测、监测与检测,生物代谢产物监测; 暴露指数和暴露等级的分析计算; 扩散浓度计算机模拟,选择合适的毒性评价指标确定影响区域。
风险表征	通过对前三个阶段的评价结果进行综合、分析和判断,获得暴露人群发生职业健康危害的可能性,即劳动者由于接触某种化学毒物可能导致某种健康效应的发生概率和预期危害程度的预测,并确定风险可接受性。	风险等级评估; 急性中毒事故致死概率的计算,并判断风险是否可接受; 化学致癌物职业暴露超额风险的计算,并判断风险是否可接受。
风险应对	在分析出风险概率及其风险影响程度的基础上,根据风险性质和决策主体对风险的承受能力而制定风险源控制,回避、降低或者分担职业风险的应对计划。在制定职业风险应对策略时,应主要考虑可规避性、可转移性、可缓解性、可接受性等四个方面的因素。	化学品职业健康风险分级管理; 急性中毒事故风险应对及应急管理措施、致癌风险应对措施;根据风险可容许水平,提出合理可行的工程控制措施、个体防护措施、劳动组织管理措施、职业卫生管理措施和应急救援措施等控制和降低风险。

## 附录 C

(资料性)

### 化工园区职业健康风险评估报告格式及要求

#### C.1 封面

职业健康风险评估报告封面主要应包括报告编号、报告名称及完成日期。

#### C.2 批准页

职业健康风险评估报告应经用人单位主要负责人批准方可发布。

#### C.3 目次

职业健康风险评估报告应设置目次。

#### C.4 主要章节

##### C.4.1 用人单位/建设项目基本情况

###### C.4.1.1 用人单位/建设项目概况

- a) 生产工艺过程职业卫生调查：
  - 1) 生产工艺流程；
  - 2) 生产班制及劳动定员；
  - 3) 原辅料及产品；
  - 4) 生产设备情况；
  - 5) 可能产生职业健康危害因素的工作场所等。
- b) 职业健康危害分析与评价：可能产生的职业健康危害因素及其对工作场所、劳动者（存在的作业岗位、接触人员、接触时间、接触频度，可能对人体健康产生的影响及导致的职业病等）影响的分析与评价；
- c) 职业健康危害因素检测结果；
- d) 职业健康危害防护措施调查：
  - 1) 职业危害防护设施；
  - 2) 应急救援设施；
  - 3) 个体防护用品。

##### C.4.2 职业健康风险分级

###### C.4.2.1 危害辨识

根据生产工艺过程职业卫生调查结果，辨识职业健康危害因素，确定需要开展风险分级的化学品和劳动者。

#### C.4.2.2 化学品危害等级

- a) 给出化学品的特性资料，包括理化性质、可能导致的健康影响、毒理学资料、职业暴露人群的流行病学调查数据等；
- b) 评价危害等级。

#### C.4.2.3 化学品职业暴露等级

根据职业健康危害因素分析与评价结果、检测结果和职业危害防护设施情况确定暴露等级。

#### C.4.2.4 化学毒物职业健康风险等级

根据危害等级和暴露等级确定职业健康风险分级。

#### C.4.2.5 风险应对

- a) 针对不同风险等级提出分级管理措施，并确定风险评价周期；
- b) 确定是否开展致癌风险评价和/或急性中毒事故风险评价。

#### C.4.3 急性中毒事故定量风险评价

##### C.4.3.1 危害辨识

- a) 给出化学毒物的急性毒性资料；
- b) 分析可能导致急性中毒事故的生产工艺、生产设备、劳动者及暴露情况等；
- c) 分析可能的事故场景，确定事故位置和时间参数、建筑物参数、气象和地形参数、事故参数等。

##### C.4.3.2 剂量—反应关系评价

确定化学毒物的急性中毒致死概率计算参数。

##### C.4.3.3 暴露评价

- a) 模拟计算不同事故场景空气中化学毒物的浓度；
- b) 确定不同事故场景的泄漏影响距离，绘制急性中毒评价指标的应急区域图，应包括影响人数最多的风向。

##### C.4.3.4 风险表征

针对不同浓度，选择查表法或公式计算法确定急性中毒致死概率。

##### C.4.3.5 风险应对

- a) 对不同事故场景的应急区域，提出突发中毒事故的应急疏散和应急救援的个体防护对策；
- b) 根据急性中毒事故的风险的可接受水平，确定降低急性中毒风险的优先原则和关键控制点；
- c) 根据不同事故场景的风险评价结果，提出职业健康危害风险管理对策及措施，包括：
  - 1) 工程控制措施；
  - 2) 个体防护；
  - 3) 呼吸保护计划；
  - 4) 劳动组织管理；
  - 5) 职业暴露评价；
  - 6) 职业健康监护；
  - 7) 职业卫生培训；

T/xxx xxx—xxx

- 8) 危害告知;
- 9) 应急救援措施等。

#### C. 4. 4 化学致癌物职业健康定量风险评价

##### C. 4. 4. 1 危害辨识

- a) 对确认的人类致癌物, 给出职业暴露人群的流行病学调查数据;
- b) 确定致癌物的代谢产物, 选择合适的生理药代动力学模型;
- c) 分析可能接触致癌物的劳动者的暴露情况。

##### C. 4. 4. 2 剂量—反应关系评价

选择多阶模型建立致癌的剂量—反应关系, 可以是致癌物的空气浓度与致癌发病率之间的关系, 也可以是代谢产物浓度与致癌发病率之间的关系。

##### C. 4. 4. 3 暴露评价

###### C. 4. 4. 3. 1 外暴露评价

- a) 应按照 GBZ 159 的要求对工作场所空气中化学物质的浓度进行采样, 宜选择个体采样或长时间定点采样以准确估计个体暴露量。
- b) 并按照 GBZ/T 160 或 GBZ/T 300 的要求对采集的样品进行空气中化学物质的浓度测定。

###### C. 4. 4. 3. 2 内剂量评价:

- a) 可开展生物监测, 对致癌物的代谢产物进行测定。
- b) 也可基于预测或测定的工作场所空气中苯浓度, 基于生理药代动力学模型进行化学致癌物职业暴露内剂量的模拟。

##### C. 4. 4. 4 风险表征

按多阶模型法对化学毒物职业暴露的致癌风险进行定量风险评价。

##### C. 4. 4. 5 风险应对

- a) 根据致癌风险的可接受水平, 确定致癌风险控制的优先原则及关键控制点;
- b) 根据风险评价结果, 提出致癌风险管理对策及措施, 包括:
  - 1) 工程控制措施;
  - 2) 个体防护;
  - 3) 呼吸保护计划;
  - 4) 劳动组织管理;
  - 5) 职业暴露评价;
  - 6) 职业健康监护;
  - 7) 职业卫生培训;
  - 8) 危害告知等。

#### C. 5 其他附件

附录 D  
(规范性)  
化学品职业暴露风险分级方法的评价程序

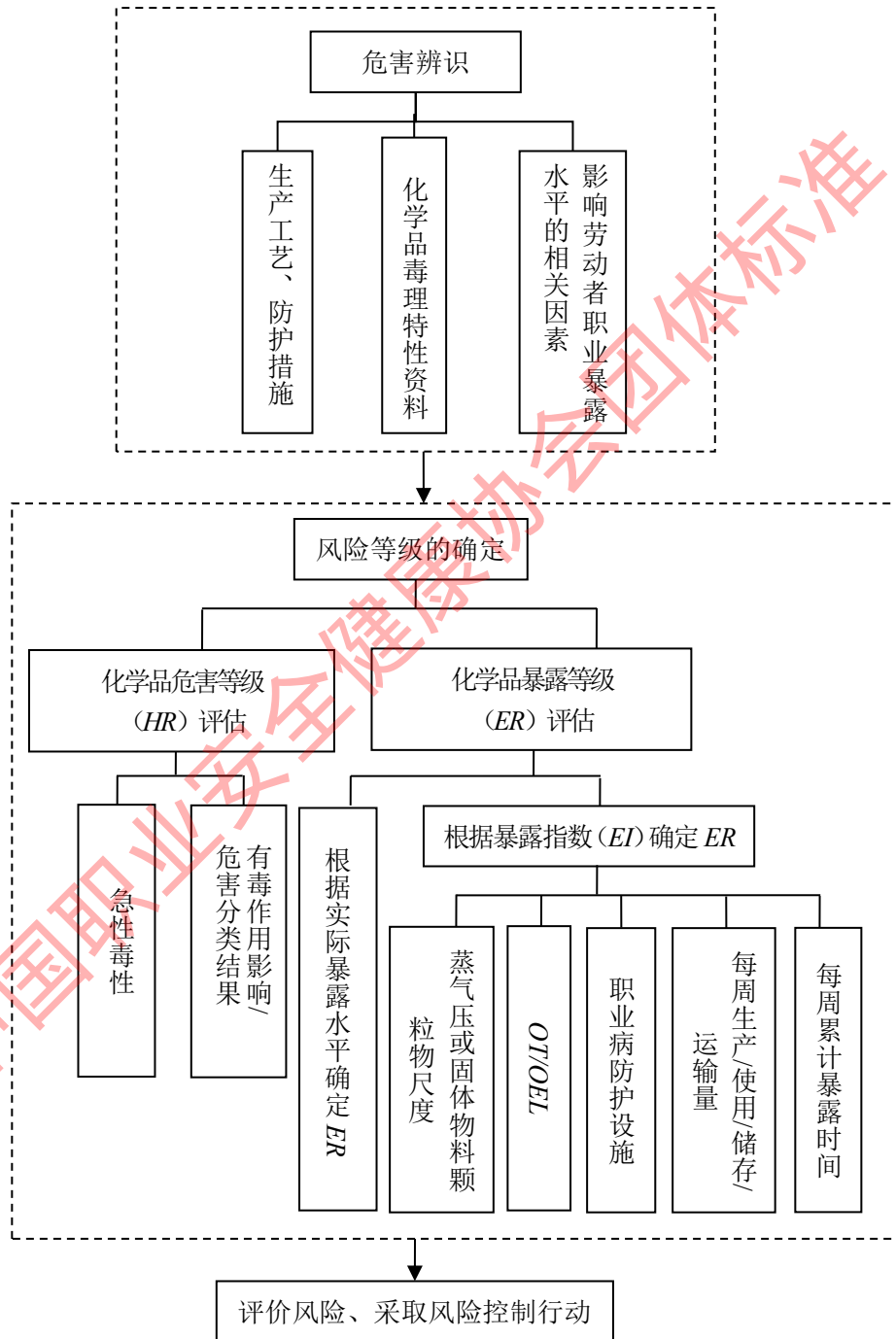


图 D.1 化学品职业暴露分级方法的评价程序

附 录 E  
(资料性)  
常见化学品的嗅阈

E.1 常见化学品的嗅阈

表 E.1 常见化学品的嗅阈

序号	中文名	化学文摘号 (CAS No.)	嗅阈 <sup>a</sup>
1	氨	7664-41-7	0.043-60.3
2	巴豆醛	4170-30-3	0.02-0.59
3	苯	71-43-2	0.47-313
4	苯胺	62-53-3	0.012-10
5	苯乙烯	100-42-5	0.0028-61
6	吡啶	110-86-1	0.01-12
7	苯基氯	100-44-7	0.041-0.046
8	丙醇	71-23-8	<0.031-10172
9	丙酸	79-09-4	0.00099-4.65
10	丙酮	67-64-1	0.40-11745
11	丙烯醇	107-18-6	0.51-35
12	丙烯腈	107-13-1	1.6-22
13	丙烯醛	107-02-8	0.0036-1.8
14	丙烯酸	79-10-7	0.092-1.0
15	丙烯酸甲酯	96-33-3	0.003-0.025
16	丙烯酸正丁酯	141-32-2	0.00029-0.101
17	臭氧	10028-15-6	0.0031-0.25
18	碘	7553-56-2	0.973
19	碘仿	75-47-8	0.000019-1.12
20	丁醇	71-36-3	0.0033-990
21	1,3-丁二烯	106-99-0	0.099-76
22	丁醛	123-72-8	0.0003-5.09
23	丁酮	78-93-3	0.07-339
24	丁烯	25167-67-3	0.362-2126
25	对二氯苯	106-46-7	0.121-15
26	二苯胺	122-39-4	0.022-0.188
27	二苯基甲烷二异氰酸酯	101-68-8	0.39
28	二噁烷	123-91-1	0.8-2609
29	二氟氯甲烷	75-45-6	200192
30	二甲胺	124-40-3	0.00076-4.2



表 E.1 常见化学品的嗅阈

序号	中文名	化学文摘号 (CAS No.)	嗅阈 <sup>a</sup>
31	二甲苯（全部异构体）	1330-20-7;95-47-6;108-38-3	0.012-316
32	二甲苯胺	121-69-7	0.001-0.2
33	1,3-二甲基丁基醋酸酯 （仲-乙酸己酯）	108-84-9	<0.068-0.39
34	二甲基甲酰胺	68-12-2	0.047-100
35	N,N-二甲基乙酰胺	127-19-5	48
36	二聚环戊二烯	77-73-6	0.00019-0.02
37	二硫化碳	75-15-0	0.016-32
38	1,2-二氯丙烷	78-87-5	0.26-8.66
39	1,3-二氯丙烯	542-75-6	<0.99
40	二氯二氟甲烷	75-71-8	199790
41	二氯甲烷	75-09-2	1.2-440
42	1,2-二氯乙烷	107-06-2	4.3-988
43	1,2-二氯乙烯	540-59-0	277
44	4,6-二硝基邻苯甲酚	534-52-1	0.00049-0.00259
45	二氧化氮	10102-44-0	0.058-0.5
46	二氧化硫	7446-09-5	0.33-8
47	二氧化氯	10049-04-4	15
48	二氧化碳	124-38-9	39000-600136
49	2-二氨基乙醇	100-37-8	0.01-0.25
50	二乙基甲酮	96-22-0	0.85-14
51	二异丁基甲酮	108-83-8	<0.103-1.6
52	二异氰酸甲苯酯（TDI）	584-84-9	0.02-2
53	酚	108-95-2	0.0045-1.95
54	呋喃	110-00-9	10.06
55	氟化氢（按 F 计）	7664-39-3	0.04
56	光气	75-44-5	0.12-5.7
57	环己胺	108-91-8	2.42
58	环己醇	108-93-0	0.058-0.491
59	环己酮	108-94-1	0.052-219
60	环己烷	110-82-7	0.52-784
61	环氧丙烷	75-56-9	10-199
62	环氧氯丙烷	106-89-8	0.08-12
63	环氧乙烷	75-21-8	0.82-690
64	己二醇	107-41-5	3.93
65	1,6-己二异氰酸酯	822-06-0	0.005-0.01
66	己内酰胺	105-60-2	0.065

表 E.1 常见化学品的嗅阈

序号	中文名	化学文摘号 (CAS No.)	嗅阈 <sup>a</sup>
67	2-己酮	591-78-6	0.024-1.15
68	甲苯	108-88-3	0.021-157
69	N-甲苯胺	100-61-8	1.6-2.0
70	甲醇	67-56-1	3.05-198686
71	甲酚（全部异构体）	1319-77-3;95-48-7;108-39-4;106-44-5	0.00005-0.0090
72	甲基丙烯腈	126-98-7	2.95-6.9
73	甲基丙烯酸	79-41-4	0.54-2.84
74	甲基丙烯酸甲酯	80-62-6	0.014-0.66
75	甲基肼	60-34-4	1-3
76	甲硫醇	74-93-1	0.000000000000051-0.56
77	甲醛	50-00-0	0.027-9770
78	甲酸	64-18-6	0.52-340
79	甲氧基乙醇	109-86-4	<0.096-90
80	肼	302-01-2	3.0-4.0
81	糠醇	98-00-0	8
82	糠醛	98-01-1	0.002-0.713
83	联苯	92-52-4	0.00052-0.0095
84	邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	0.023
85	邻苯二甲酸酐	85-44-9	0.053
86	邻二氯苯	95-50-1	0.02-50
87	磷化氢	7803-51-2	0.01-5
88	硫化氢	7783-06-4	0.00004-1.4
89	硫酸及三氧化硫	7664-93-9	0.15
90	六氯环戊二烯	77-47-4	0.15
91	氯	7782-50-5	0.021-4.9
92	氯苯	108-90-7	0.087-13
93	氯丙烯	107-05-1	0.48-5.9
94	β-氯丁二烯	126-99-8	0.11-276
95	氯化苦	76-06-2	1.09
96	氯化氢及盐酸	7647-01-0	0.06-10
97	氯化氰	506-77-4	0.994
98	氯甲烷	74-87-3	>10
99	氯乙醇	107-07-3	0.36
100	氯乙酸	79-11-8	0.013-0.155
101	氯乙烯	75-01-4	203-356
102	α-氯乙酰苯	532-27-4	0.016-0.111

表 E.1 常见化学品的嗅阈 (j)

序号	中文名	化学文摘号 (CAS No.)	嗅阈 <sup>a</sup>
103	马来酸酐	108-31-6	0.25-0.32
104	吗啉	110-91-8	0.011-0.070
105	萘	91-20-3	0.0019-1.02
106	偏二甲基胍	57-14-7	<0.31-14
107	氰化氢 (按 CN 计)	74-90-8	0.009-5.43
108	壬烷	111-84-2	2.3-21
109	乳酸正丁酯	138-22-7	0.0000000049
110	三氟化硼	7637-07-2	1.5
111	三氯甲烷	67-66-3	0.102-1413
112	1,1,1-三氯乙烷	71-55-6	0.97-715
113	三氯乙烯	79-01-6	0.5-167
114	砷化氢 (肿)	7784-42-1	<1.0
115	双丙酮醇	123-42-2	0.27-13
116	四氯化碳	56-23-5	1.68-720
117	四氯乙烯	127-18-4	0.767-71
118	四氢呋喃	109-99-9	0.092-61
119	松节油	8006-64-2	0.00006-19
120	羰基镍 (按 Ni 计)	13463-39-3	0.5-3
121	戊醇	71-41-0	0.0055-305
122	戊烷 (全部异构体)	78-78-4; 109-66-0; 463-82-1	1.29-1147
123	硒化氢 (按 Se 计)	7783-07-5	<0.3
124	硝基苯	98-95-3	0.0004-29
125	1-硝基丙烷	108-03-2	7.7-140
126	2-硝基丙烷	79-46-9	4.94-288
127	硝基甲烷	75-52-5	50
128	辛烷	111-65-9	0.66-235
129	溴	7726-95-6	<0.0099-0.99
130	一甲胺	74-89-5	0.00075-4.8
131	乙胺	75-04-7	0.027-3.5
132	乙苯	100-41-4	<0.002-18
133	乙醇胺	141-43-5	2.6-24
134	乙二胺	107-15-3	1.3-4.5
135	乙二醇	107-21-1	5.12
136	乙酐	108-24-7	0.12-0.36
137	N-乙基吗啉	100-74-3	0.085-0.25
138	乙基戊基甲酮	541-85-5	5.9
139	乙腈	75-05-8	13-1161

表 E.1 常见化学品的嗅阈

序号	中文名	化学文摘号 (CAS No.)	嗅阈 <sup>a</sup>
140	乙硫醇	75-08-1	0.0000087-18
141	乙醚	60-29-7	0.165-1924
142	乙硼烷	19287-45-7	1.8-3.5
143	乙醛	75-07-0	0.0015-1000
144	乙酸	64-19-7	0.0004-204
145	乙酸(2-甲氧基乙基酯)	110-49-6	0.33-0.64
146	乙酸丙酯	109-60-4	0.048-87
147	乙酸丁酯	123-86-4	0.00013-368
148	乙酸甲酯	79-20-9	0.17-2848
149	乙酸戊酯(全部异构体)	628-63-7	0.007-43
150	乙酸乙烯酯	108-05-4	0.12-0.4
151	乙酸乙酯	141-78-6	0.09-190
152	2-乙氧基乙醇	110-80-5	0.3-49
153	2-乙氧基乙基乙酸酯	111-15-9	0.048-0.13
154	异丙胺	75-31-0	0.025-0.70
155	异丙醇	67-63-0	1.0-2197
156	异佛尔酮	78-59-1	0.0003-0.19
157	异氰酸甲酯	624-83-9	2.14
158	异亚丙基丙酮	141-79-7	0.017-12
159	茚	95-13-6	0.0027-0.0042
160	正丁胺	109-73-9	0.08-13.9
161	正丁基硫醇	109-79-5	0.0000027-4.9
162	正庚烷	142-82-5	0.41-732
163	正己烷	110-54-3	1.50-248
<sup>a</sup> 嗅阈值为体积分数与10 <sup>-6</sup> 的比值，其与质量浓度(mg/m <sup>3</sup> )的转换计算方法参见E.2。			

E.2 体积浓度与质量浓度(mg/m<sup>3</sup>)的转换计算

理想气体的气体体积分数与10<sup>-6</sup>的比值与以质量浓度(mg/m<sup>3</sup>)为单位的气体浓度之间的数值关系可按公式(E.1)换算。

$$C_{\text{mg/m}^3} = \frac{M'}{22.4} \times C_{\text{ppm}} \times \frac{273}{273 + T'} \times \frac{P'}{101325} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

$C_{\text{mg/m}^3}$ ——气体质量浓度的数值，单位为毫克每立方米(mg/m<sup>3</sup>)；

$M'$ ——气体摩尔质量的数值，单位为克每摩尔(g/mol)；

$C_{\text{ppm}}$ ——气体体积分数与10<sup>-6</sup>的比值；

T/xxx xxx—xxx

$T'$ ——气体摄氏温度的数值，单位为开（K）；

$P'$ ——气压的数值，单位为帕（Pa）。

中国职业安全健康协会团体标准

附 录 F  
(资料性)  
化学品职业暴露风险分级方法示例

## F.1 项目概况

### F.1.1 项目简介

某用人单位拟建设年产50万吨的苯乙烯装置项目，以该新建项目职业健康危害风险评价为例。

### F.1.2 生产工艺

该建设项目拟采用传统工艺乙苯催化脱氢生产苯乙烯，即乙烯和过量的苯在烷基化催化剂作用下经烷基化反应生成中间产品乙苯和极少量的多乙苯，乙苯在铁系氧化物等催化剂作用下，在约600℃气相状态下脱氢生成苯乙烯。

### F.1.3 原辅料及产品

该项目拟使用的原辅料及产品见表F.1、表F.2。

表 F.1 主要原辅料情况

原辅料名称	形态	年用量 (t)	用途	主要化学成分	备注
乙烯	液体	142250	原料	乙烯	密闭输送
苯	液体	392300	原料	苯	密闭输送
TBC 阻聚剂	液体	167	抑制产品聚合	对叔丁基邻苯二酚	桶装，汽运

表 F.2 主要产品情况

产品名称	形态	年产量 (t)	备注
甲苯	液体	9450	副产品
乙苯	液体	530000	中间产品
苯乙烯	液体	500000	产品
氢气	气体	20350	副产品

### F.1.4 主要生产设备

该项目拟使用的主要设备见表F.3。

表 F.3 主要设备清单

设备名称	数量 (台)	工艺温度 (℃)
苯、甲苯塔	1	110
精苯乙烯塔	1	79
乙苯精馏塔	1	211

表 F.3 主要设备清单(续)

设备名称	数量(台)	工艺温度(℃)
(略)	(略)	(略)

## F.1.5 劳动定员及主要操作内容

该项目劳动定员及主要操作内容见表F.4。

表 F.4 劳动定员及主要操作内容

岗位/工种	每班人数	生产班制	定员人数	主要工作地点	主要工作内容及实际操作时间
外操工	8	四班二运转	32	生产装置区、加药间、中间储罐区等	装置区、罐区巡检,巡检过程主要检查各种泵类、管道、阀门、采样口等环节有无跑冒滴漏。现场需要进行开关阀门、现场仪表监控操作,每班累计接触4h。定期清洗苯乙烯等过滤器,TBC等液体助剂打料等操作,每次加料约15min,2周一次。

## F.1.6 拟采取的职业健康工程防护设施及应急设施

该项目主要原料经管道输送,工艺过程密闭,DCS系统自动化控制,装置露天布置,自然通风良好。拟设报警装置、现场急救用品、冲洗设备、应急撤离通道和必要的泄险区。职业健康工程防护设施及应急救援设施定期维护。加药间拟设轴流风机。

## F.2 职业健康危害辨识

通过对生产工艺流程、原辅料等进行的工程分析,识别该项目外操工接触的有害因素主要为苯、甲苯、乙苯、苯乙烯、对叔丁基邻苯二酚等。在巡视及日常操作过程中暴露于逸散在空气中的上述物质。清洗苯乙烯过滤器为苯乙烯的高暴露操作;TBC打料过程为对叔丁基邻苯二酚的高暴露操作。主要暴露途径为呼吸道吸入、眼睛和皮肤接触,其中苯、甲苯、苯乙烯可经皮吸收。

## F.3 化学品职业暴露风险分级

## F.3.1 化学品危害等级的确定

化学品危害等级见表F.5。

表 F.5 化学品危害等级

化学毒物	危害等级划分依据		危害等级 HR
	$LD_{50}$ 、 $LC_{50}$	毒性及腐蚀性等	
苯	$LD_{50}$ : 3306 mg/kg (大鼠经口) (HR=2)	IARC G1 (HR=5)	5
甲苯	$LD_{50}$ : 5000 mg/kg (大鼠经口)(HR=2); 12124 mg/kg (兔经皮)(HR=1)	可造成甲苯中毒等健康损害 (HR=3)	3
乙苯	$LD_{50}$ : 3500 mg/kg (大鼠经口)(HR=2);	IARC G2B	3

表 F.5 化学品危害等级 (续)

化学毒物	危害等级划分依据		危害等级 <i>HR</i>
	$LD_{50}$ 、 $LC_{50}$	毒性及腐蚀性等	
	17800 mg/kg (兔经皮) ( $HR=1$ )	( $HR=3$ )	
苯乙烯	$LD_{50}$ : 5000 mg/kg (大鼠经口) ( $HR=2$ ); $LC_{50}$ : 24 mg/L (大鼠吸入, 4h) ( $HR=2$ )	IARC G2B ( $HR=3$ )	3
对叔丁基邻苯二酚	$LD_{50}$ : 2820 mg/kg (大鼠经口); ( $HR=2$ ) 630 mg/kg (兔经皮) ( $HR=3$ )	呼吸性敏感物质 ( $HR=3$ )	3

## F.3.2 化学品暴露等级的确定

## F.3.2.1 暴露因子的确定

## F.3.2.1.1 蒸气压

在80~250 °C时苯的安托因常数*A*为7.2009, *B*为1415.8, *C*为248.028。根据公式(2),  $p = 101325 \times 10^{7.2009 - [1415.8 / (248.028 + 110)]} / 760 = 235160$  Pa。

F.3.2.1.2  $OT/OEL$ 

以苯为例, 苯的嗅阈*OT*为0.47~313 ppm。按最危险暴露考虑, 选取313 ppm进行计算, 换算为1091.45 mg/m<sup>3</sup>。选择苯的PC-STEL进行比较,  $OT/OEL=109.14$ 。

## F.3.2.1.3 职业病防护设施

见F.1.6。

## F.3.2.1.4 每周使用量与周暴露时间

以苯为例, 苯的年用量392300 t, 平均每周使用量7544 t > 1000 kg。作业工人累计每班接触苯4 h, 四班两运转, 每班工作12 h, 平均每周接触苯14 h, 在8~16 h范围内。

F.3.2.2 暴露指数*EI*的确定

化学品暴露等级见表F.6。

表 F.6 化学品暴露等级

化学毒物	暴露因子及暴露指数 ( <i>EI</i> )					暴露等级 <i>ER</i>
	蒸气压或固体物料 颗粒尺度	$OT/OEL$	职业健康工程防护设施	每周使 用量 (t)	周暴露 时间 (h)	
苯	235160 Pa(110 °C) ( $EI=5$ )	109.14 ( $EI=5$ )	管道输送, 工艺密闭, DCS 系统控制, 自然通风良好。 拟设报警器、淋洗设施及急 救用品等并定期维护。 ( $EI=2$ )	7544 t ( $EI=5$ )	14 h ( $EI=2$ )	3.47
甲苯	133 Pa (110 °C) ( $EI=2$ )	6.46 ( $EI=5$ )	同上 ( $EI=2$ )	181 t ( $EI=5$ )	14 h ( $EI=2$ )	2.89
乙苯	706 Pa (211 °C) ( $EI=3$ )	0.57 ( $EI=3$ )	同上 ( $EI=2$ )	10192 t ( $EI=5$ )	14 h ( $EI=2$ )	2.83
苯乙烯	15 Pa (79 °C)	2.84	同上 ( $EI=2$ )	9615 t	14 h	2.89



表 F. 6 化学品暴露等级 (续)

化学毒物	暴露因子及暴露指数 (EI)					暴露等级 ER
	蒸气压或固体物料 颗粒尺度	OT/OEL	职业健康工程防护设施	每周使 用量 (t)	周暴露 时间 (h)	
	(EI=2)	(EI=5)		(EI=5)	(EI=2)	
对叔丁基 邻苯二酚	—	—	封闭厂房内拟设机械通风设 施。(EI=2)	>1000 kg (EI=5)	<8 h (EI=1)	2.15

## F. 3.3 化学品职业暴露风险等级的确定

按6.2.4的要求确定化学品职业暴露风险等级，见表F.7。

表 F. 7 化学品职业暴露风险等级

化学毒物名称	HR	ER	风险级别	风险等级
苯	5	3.47	4.16	高风险
甲苯	3	2.89	2.94	中等风险
乙苯	3	2.83	2.91	中等风险
苯乙烯	3	2.89	2.94	中等风险
对叔丁基邻苯二酚	3	2.15	2.54	中等风险

附录 G  
(规范性)  
化学毒物急性中毒事故定量风险评价程序

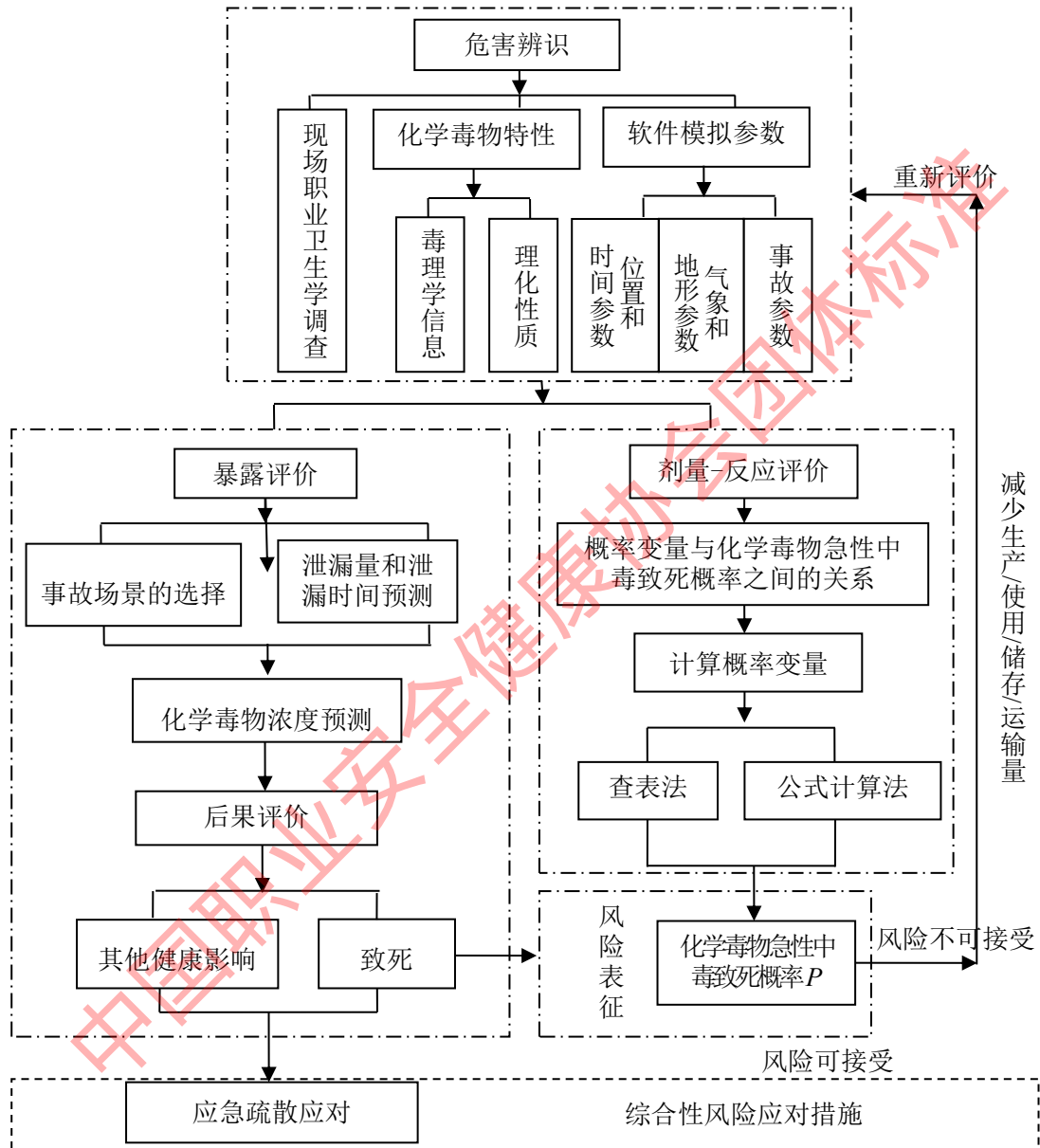


图 G.1 化学毒物急性中毒事故定量风险评价程序图

## 附录 H

(资料性)

### 中毒伤害影响区域的确定准则——毒性评价指标

#### H.1 急性暴露指导水平 (AEGLs)

AEGLs由美国环保署 (US EPA) 制定。AEGLs针对持续时间为10 min、30 min、1 h、4 h和8 h的化学毒物暴露划分三个严重等级,并给出了相应的浓度阈值。

AEGL-1:空气中毒物的浓度高于这个水平时,包括易感个体在内的普通人群会产生明显的不适、刺激或某些无症状的非感觉影响。而这些影响并不会使人丧失能力且是短暂的,在暴露停止时是可逆的。

AEGL-2:空气中毒物的浓度高于这个水平时,包括易感个体在内的普通人群会出现不可逆的或其它严重的、长时间的不良健康效应,或削弱其逃生能力。

AEGL-3:空气中毒物的浓度高于这个水平时,包括易感个体在内的普通人群会出现威胁生命的健康影响或死亡。

常见化学毒物的AEGLs值 (10 min、30 min、60 min) 参见表H.1。

#### H.2 紧急响应计划指南 (ERPGs)

ERPGs由美国工业卫生协会 (AIHA) 制定。ERPGs在暴露时间为1 h的条件下针对不同的中毒症状划分了三个等级,给出特定等级对应的最高毒物浓度,作为关注的毒性水平 (LOCs),预测毒气浓度较高可能对人造成伤害的区域。其中EPRG-2值更有意义,在低于这个浓度时,暴露60 min的情况下,大多数能够安全逃生。

ERPG-1:规定了一个空气中最大毒物浓度,在低于此浓度的毒物环境中暴露1 h,对所有人员都不会产生不利影响,或只产生轻微的、短暂的、可恢复的影响,并且察觉不到明显的异味。

ERPG-2:规定了一个空气中最大毒物浓度,在低于此浓度的毒物环境中暴露1 h,对所有人员都不会产生不可恢复的严重健康危害或影响人员逃生行动的症状。

ERPG-3:规定了一个空气中最大毒物浓度,在低于此浓度的毒物环境中暴露1 h,不会威胁到人的生命安全。

常见化学毒物的ERPGs值参见表H.2。

#### H.3 直接致害浓度 (IDLH)

IDLH浓度最初是由美国国家职业安全与健康协会 (NIOSH) 制定的用于选择工作场所呼吸面罩的标准。化学毒物的IDLH浓度是指有害环境中空气污染物浓度达到某种危险水平,如可致命,或可永久损害健康,或可使人立即丧失逃生能力。在高于此浓度的情况下,一切无防护的劳动者应立即离开现场,只有配备高可靠性呼吸防护用品的人员才能留下。

常见化学毒物的IDLH浓度参见表H.2。

#### H.4 常见化学毒物的急性中毒毒性评价指标

表 H.1 常见化学品的 AEGL 值<sup>a</sup>

中文名	化学文摘号 (CAS No.)	AEGL-1			AEGL-2			AEGL-3		
		10 min	30 min	60 min	10 min	30 min	60 min	10 min	30 min	60 min
氨	7664-41-7	30	30	30	220	220	160	2700	1600	1100
苯	71-43-2	130	73	52	2000	1100	800	9700	5600	4000
苯胺	62-53-3	48	16	8.0	72	24	12	120	40	20
丙烯腈	107-13-1	1.5	1.5	—	8.6	3.2	1.7	130	50	28
碘甲烷	74-88-4	54	31	22	200	120	82	670	400	290
二甲苯混合物	1330-20-7	130	130	130	2500	1300	920	7200	3600	2500
二甲基甲酰胺	68-12-2	—	—	—	110	110	91	970	670	530
二硫化碳	75-15-0	17	17	13	200	200	160	600	600	480
二氧化氮	10102-44-0	0.50	0.50	0.50	20	15	12	34	25	20
二氧化硫	7446-09-5	0.20	0.20	0.20	0.75	0.75	0.75	30	30	30
酚	108-95-2	19	19	15	29	29	23	—	—	—
氟化氢	7664-39-3	1.0	1.0	1.0	95	34	24	170	62	44
光气	75-44-5	—	—	—	0.60	0.60	0.30	3.6	1.5	0.75
环氧乙烷	75-21-8	—	—	—	80	80	45	360	360	200
甲苯	108-88-3	67	67	67	1400	760	560	10000	5200	3700
甲醇	67-56-1	670	670	530	11000	4000	2100	40000	14000	7200
甲醛	50-00-0	0.90	0.90	0.90	14	14	14	100	70	56
磷化氢	7803-51-2	—	—	—	4.0	4.0	2.0	7.2	7.2	3.6
硫化氢	7783-06-4	0.75	0.60	0.51	41	32	27	76	59	50
硫酸二甲酯	77-78-1	0.035	0.035	0.024	0.17	0.17	0.12	4.0	2.3	1.6
氯	7782-50-5	0.50	0.50	0.50	2.8	2.8	2.0	50	28	20
氯丙烯	107-05-1	2.8	2.8	2.8	69	69	54	180	180	140
氯乙酸	79-11-8	—	—	—	12	8.3	6.6	—	—	—
氯乙烯	75-01-4	450	310	250	2800	1600	1200	12000	6800	4800
偏二甲基肼	57-14-7	—	—	—	18	6.0	3.0	65	22	11
氰化氢	74-90-8	2.5	2.5	2.0	17	10	7.1	27	21	15
三氯乙烯	79-01-6	260	180	130	960	620	450	6100	6100	3800
砷化氢	7784-42-1	—	—	—	0.30	0.21	0.17	0.91	0.63	0.50
四氯化碳	56-23-5	—	—	—	27	18	13	700	450	340
羰基镍	13463-39-3	—	—	—	0.10	0.072	0.036	0.46	0.32	0.16
溴甲烷	74-83-9	—	—	—	940	380	210	3300	1300	740
一甲胺	74-89-5	15	15	15	160	92	64	910	510	350
一氧化碳	630-08-0	—	—	—	420	150	83	1700	600	330
乙腈	75-05-8	13	13	13	80	80	50	240	240	150
正己烷	110-54-3	—	—	—	4000	2900	2900	12000	8600	8600

<sup>a</sup> AEGL 值为 25 °C、一个标准大气压下理想气体体积分数与 10<sup>-6</sup> 的比值，其与质量浓度 (mg/m<sup>3</sup>) 的转换计算方法参见 E.2。

表 H.2 常见化学品的 ERPG、IDLH 值<sup>a</sup>

中文名	化学文摘号(CAS No.)	ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3	IDLH
氨	7664-41-7	25	150	1500	300
苯	71-43-2	50	150	1000	500
苯胺	62-53-3	—	—	—	100
丙烯腈	107-13-1	10	35	75	60
碘甲烷	74-88-4	25	50	125	100
二甲苯	95-47-6、106-42-3、108-38-3	—	—	—	900
二甲基甲酰胺	68-12-2	2	100	200	500
二硫化碳	75-15-0	1	50	500	500
1,2-二氯乙烷	107-06-2	50	200	300	50
二氧化氮	10102-44-0	1	15	30	13
二氧化硫	7446-09-5	0.3	3	25	100
酚	108-95-2	10	50	200	250
氟化氢	7664-39-3	2	20	50	30
光气	75-44-5	—	0.5	1.5	2
环氧乙烷	75-21-8	—	50	500	800
甲苯	108-88-3	50	300	1000	500
甲醇	67-56-1	200	1000	5000	6000
甲醛	50-00-0	1	10	40	20
磷化氢	7803-51-2	—	0.5	5	50
硫化氢	7783-06-4	0.1	30	100	100
硫酸二甲酯	77-78-1	—	—	—	7
氯	7782-50-5	1	3	20	10
氯丙烯	107-05-1	3	40	300	250
氯乙烯	75-01-4	500	5000	20000	—
偏二甲基肼	57-14-7	—	—	—	15
氰化氢	74-90-8	—	10	25	50
三氯乙烯	79-01-6	100	500	5000	1000
砷化氢	7784-42-1	—	0.5	1.5	3
四氯化碳	56-23-5	20	100	750	200
羰基镍	13463-39-3	—	—	—	2
溴甲烷	74-83-9	—	50	200	250
一甲胺	74-89-5	10	100	500	100
一氧化碳	630-08-0	200	350	500	1200
乙腈	75-05-8	—	—	—	137
正己烷	110-54-3	—	—	—	1100

<sup>a</sup> ERPG、IDLH 值为 25 °C、一个标准大气压下理想气体体积分数与 10<sup>-6</sup> 的比值，其与质量浓度 (mg/m<sup>3</sup>) 的转换计算方法参见 E.2。

**附 录 I**  
(资料性)  
**常用软件模拟步骤**

### 1.1 ALOHA软件模拟

ALOHA软件中采用的数学模型包括高斯模型和重气模型，适用于事故场景下化学毒物扩散浓度的模拟，不适用于烟道气或慢性、低浓度有害气体排放的模拟，不适用于火灾、爆炸和化学反应的副产物、颗粒物及化学混合物等扩散模拟，不适用于风向转变和地形变化的影响。

通过ALOHA软件实现事故泄漏后空气中化学毒物浓度的计算机模拟步骤包括：

- a) 设置事故发生的地理位置；
- b) 确定事故发生所在建筑物的信息；
- c) 事故发生的日期和时间；
- d) 选择泄漏的化学毒物；
- e) 设定气象条件；
- f) 设定源信息；
- g) 选择或设定相应的急性中毒阈值，显示模拟结果。

### 1.2 FLUENT软件模拟

FLUENT是一种常用的CFD软件，适合复杂的气体扩散场景，如事故场景下多点泄漏的浓度场分布模拟。

通过FLUENT软件实现化学毒物泄漏后的浓度场分布的计算机模拟步骤包括：

- a) 利用前处理软件建模：
  - 1) 建立模拟区域模型；
  - 2) 划分网格；
  - 3) 建立模拟场景，确定泄漏点位、边界条件等。
- b) 利用 FLUENT 求解：
  - 1) 导入网格；
  - 2) 选择模型；
  - 3) 设置参数；
  - 4) 迭代运算。
- c) 利用软件后处理，选择或设定相应的急性中毒阈值，实现结果可视化。

### 1.3 ERDEM软件模拟

ERDEM软件是由美国国家暴露研究实验室开发的PBPK模拟系统。该软件以ACSL语言为基础，可实现有毒物质在体内的代谢模拟。ERDEM的数据库中包含了研究人员根据流行病学调查或毒理学实验数据而构建、得到了广泛认可的各类毒物及其代谢产物的PBPK模型。利用ERDEM软件模拟工作场所苯职业暴露的内暴露剂量的步骤应包括：

T/xxxx—xxxx

a) 选择 PBPK 模型

常见的PBPK模型有五室模型和六室模型。其中五室模型包括：血液、肝脏、充分灌注室、不充分灌注室和脂肪，对于挥发性物质用血—肺室代替血液室。六室模型多考虑了骨髓对代谢的影响。

b) 选择 PBPK 模型参数

包括生理和生化参数等。

c) 设置暴露条件

包括暴露途径、暴露时间和浓度等。

d) PBPK 模型求解

利用ERDEM软件进行PBPK模型的求解。

中国职业安全健康协会团体标准

## 附录 J

(资料性)

## 常见化学毒物急性中毒致死概率计算参数

常见化学毒物急性中毒致死概率计算参数参见表 J.1。

表 J.1 常见化学毒物急性中毒致死概率计算参数 (数据引自 CCPS 1999 U. S. Coast Guard (1980))

中文名	化学文摘号 (CAS No.)	$A'$	$B'$	$n'$
氨	7664-41-7	-35.9	1.85	2
苯	71-43-2	-109.78	5.3	2
丙烯腈	107-13-1	-29.42	3.008	1.43
丙烯醛	107-02-8	-9.931	2.049	1
二氧化氮	10102-44-0	-13.79	1.4	2
二氧化硫	7446-09-5	-15.67	2.10	1.00
氟化氢	7664-39-3	-25.87	3.354	1.00
光气	75-44-5	-19.27	3.686	1
环氧丙烷	75-56-9	-7.415	0.509	2.00
硫化氢	7783-06-4	-31.42	3.008	1.43
甲苯	108-88-3	-6.794	0.408	2.50
甲醛	50-00-0	-12.24	1.3	2
氯	7782-50-5	-8.29	0.92	2
氯化氢	7647-01-0	-16.85	2.00	1.00
氰化氢	74-90-8	-29.42	3.008	1.43
四氯化碳	56-23-5	-6.29	0.408	2.50
溴	7726-95-6	-9.04	0.92	2
溴甲烷	74-83-9	-56.81	5.27	1.00
一氧化碳	630-08-0	-37.98	3.7	1
异氰酸甲酯	624-83-9	-5.642	1.637	0.653

<sup>b</sup> 对应的浓度  $C$  的数值为气体体积分数与  $10^{-6}$  的比值。



## 附录 K

(资料性)

概率变量  $Y$  与急性中毒致死概率  $P$  (%) 之间的查表换算方法K.1 概率变量  $Y$  与急性中毒致死概率  $P$  (%) 之间的换算关系表表 K.1 概率变量  $Y$  与急性中毒致死概率  $P$  (%) 之间的换算关系

概率变量 $Y$		急性中毒致死概率 $P$ (%) 的第二部分									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
急性中毒致死概率 $P$ (%) 的第一部分	0	—	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
	10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
	20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
	30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
	40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
	50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
	60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
	70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
	80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
	90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
	99	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09	

K.2 已知概率变量  $Y$ , 利用表 J.1 查找急性中毒致死概率  $P$  (%) 的步骤

步骤1: 在表 K.1 中找到  $Y$  的数值所处的位置;

步骤2: 将其在表 K.1 中对应的“急性中毒致死概率  $P$  (%) 的第一部分”与“急性中毒致死概率  $P$  (%) 的第二部分”相加;

步骤3: 根据需要, 估算急性中毒致死概率  $P$  (%) 后一位。

示例 1: 已知概率变量  $Y=5.40$ , 查表求急性中毒致死概率  $P$  (%)。

a) 步骤 1: 在表 K.1 中找到  $Y=5.40$  处在 5.39~5.41 之间;

b) 步骤 2: 在表 K.1 中对应的“急性中毒致死概率  $P$  (%) 的第一部分”为 60, 与“急性中毒致死概率  $P$  (%) 的第二部分”为 5%~6% 之间, 相加后为 65%~66% 之间。

c) 步骤 3: 估算急性中毒致死概率  $P$  (%) 后一位约为 65.5%。

示例 2: 已知概率变量  $Y=7.38$ , 查表求急性中毒致死概率  $P$  (%)。

a) 步骤 1: 在表 K.1 中找到  $Y=7.38$  处在 7.37~7.41 之间;

b) 步骤 2: 在表 K.1 中对应的“急性中毒致死概率  $P$  (%) 的第一部分”为 99, 与“急性中毒致死概率  $P$  (%) 的第二部分”为 0.1%~0.2% 之间, 相加后为 99.1%~99.2% 之间。

c) 步骤 3: 估算急性中毒致死概率  $P$  (%) 后一位约为 99.13%。

## 附录 L

(资料性)

## 化学毒物泄漏急性中毒事故定量风险计算示例

## L.1 项目概况

## L.1.1 项目简介

某精细化工厂生产氯甲酸酯类产品。以该项目职业健康危害光气泄漏急性中毒事故风险评价为例。

## L.1.2 生产工艺及原辅料

氯甲酸酯产品生产工艺使用的原辅料主要有焦炭、液氯、氢氧化钠及多种原料醇等。焦炭与氧气在一氧化碳发生炉内产生纯度99%的一氧化碳并贮存于气柜中。一氧化碳与氯气经计量后在光气合成器内经活性炭催化生成气态光气。气态光气冷凝为液态光气进入液态光气贮槽，液态光气用压缩氮气压入液化气化器进行气化后计量进入光气塔，在塔内与异辛醇进行反应，生成氯甲酸酯，同时产生氯化氢气体。将氯化氢气体脱出后即产品，氯化氢气体经水吸收后制成盐酸。

工艺过程由自动控制系统控制，作业工人在隔离的操作室内操作。

## L.2 职业健康危害辨识

在一氧化碳造气、液氯气化、光气造气、氯甲酸酯生产单元中，一氧化碳、氯、光气等化学毒物在输送至下游工序等工艺过程中可能发生泄漏等事故，如发生泄漏事故可造成上述化学毒物大量扩散，在事故状态下，存在接触一氧化碳、氯、光气等化学毒物的可能，极易造成人员急性中毒，甚至死亡。

## L.3 暴露评价

项目技术资料：光气缓冲罐及部分输送管道露天布置；缓冲罐直径1.2 m，高2.5 m。

模拟泄漏事故发生时的气象条件：环境温度为20℃，风速为4.1 m/s，湿度63%，风速测量点高度10m，云层覆盖度3，大气稳定度A，逆温层不存在。

模拟泄漏事故场景：光气缓冲罐完全破裂；光气输送管道内径发生完全破裂及发生管道内径的20%不完全破裂泄漏。

选择光气的急性中毒评价指标 $ERPG-3=1.5$ ， $ERPG-2=0.5$ ， $IDLH=2$ 。

采用ALOHA软件对光气泄漏后扩散影响区域的模拟结果参见表L.1。

表 L.1 光气泄漏扩散危害区域模拟结果

模拟泄漏事故场景		下风向最大扩散距离 (m)		
		ERPG-3	ERPG-2	IDLH
缓冲罐完全破裂		817	1200	737
输送管道泄漏	100%内径	645	961	579
	20%内径	518	814	458

T/xxxx-xxxx-xxxx

经模拟，在缓冲罐完全破裂的事故场景下，下风向某作业工人接触光气浓度为123.44 mg/m<sup>3</sup>，假设工人需要应急反应与逃生时间为10 min。

将空气中气体化学毒物的质量浓度（单位为毫克每立方米）转化为体积浓度（气体体积分数与10<sup>-6</sup>的比值）。气体体积分数与10<sup>-6</sup>的比值与以质量浓度（mg/m<sup>3</sup>）为单位的气体浓度之间的数值关系可按公式（L.1）换算。

$$C_{ppm} = \frac{C_{mg/m^3} \times 22.4}{M'} \times \frac{273.15 + T'}{273.15} \times \frac{101325}{P'} \dots\dots\dots (L.1)$$

式中：

$C_{ppm}$ ——气体体积分数与10<sup>-6</sup>的比值；

$C_{mg/m^3}$ ——气体质量浓度的数值，单位为毫克每立方米（mg/m<sup>3</sup>）；

$M'$ ——气体摩尔质量的数值，单位为克每摩尔（g/mol）；

$T'$ ——气体摄氏温度的数值，单位为开（K）；

$P'$ ——气压的数值，单位为帕（Pa）。

根据公式（L.1），计算该温度、气压下光气的气体体积浓度：

$$C_{ppm} = \frac{123.44 \times 22.4}{98.92} \times \frac{273.15 + 20.0}{273.15} \times \frac{101325}{101325} = 30.0$$

#### L.4 剂量—反应评价

根据表 J.1 选择光气的急性中毒致死概率计算参数： $A' = -19.27$ ， $B' = 3.686$ ， $n=1$ 。

根据公式（6）计算概率变量  $Y$ ：

$$Y = -19.27 + 3.686 \ln \left[ (30.0)^1 \times 10 \right] = 1.75$$

#### L.5 风险表征

按照公式（7）计算急性中毒致死概率  $P$ （%），误差函数可利用电子表格计算。

$$P = 0.5 \times \left[ 1 + \frac{Y-5}{|Y-5|} \operatorname{erf} \left( \frac{|Y-5|}{\sqrt{2}} \right) \right] = 0.5 \times \left[ 1 + \frac{1.75-5}{|1.75-5|} \times \operatorname{erf} \left( \frac{|1.75-5|}{\sqrt{2}} \right) \right] = 5.85 \times 10^{-4}$$

#### L.6 风险评价

即该作业工人光气急性中毒事故致死的风险为 $5.85 \times 10^{-4}$ 。不超过化学毒物急性中毒事故致死的可容许风险水平 $1.0 \times 10^{-3}$ ，属于可接受的风险。

附录 M  
(规范性)  
化学致癌物职业暴露定量风险评价程序

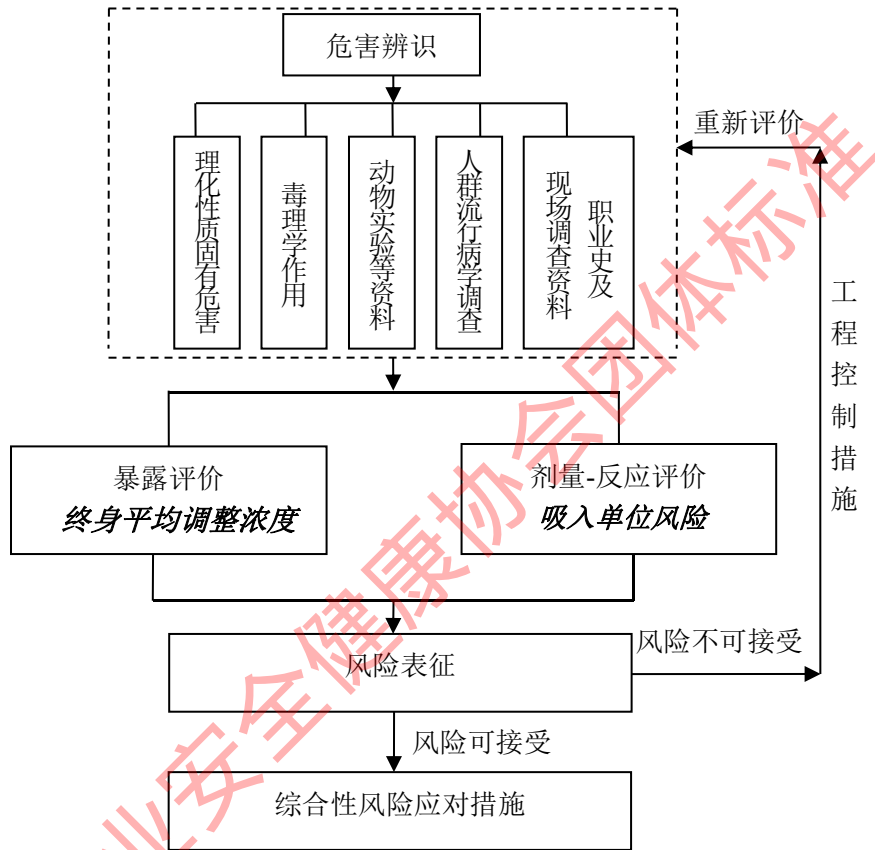


图 M.1 化学致癌物职业暴露定量风险评价程序

## 附录 N

(资料性)

## 利用多阶模型计算化学致癌物的致癌风险实例

## N.1 剂量—反应评价示例

本示例以苯职业暴露导致白血病的致癌风险计算为例。

选用国内外4个流行病学调查实例的流行病学调查数据。统计计算得出多阶模型中的剂量—反应关系函数 $F(d)$ 值，参见表N.1。

表 N.1 各流行病学调查实例的  $F(d)$  值

流行病学调查实例	$F(d)$
盐酸橡胶工厂工人	$7.69 \times 10^{-3}$
Dow 化学工人	$2.24 \times 10^{-3}$
土耳其制鞋工人	$1.6 \times 10^{-3}$
中国工人	$9.12 \times 10^{-4}$

可利用苯的PBPK模型对各案例暴露人群的内剂量进行模拟。以静脉血中苯浓度表征内剂量，模拟结果参见表N.2。

表 N.2 各流行病学调查实例的终身平均苯暴露浓度和内剂量计算结果

暴露人群	终生平均苯暴露浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	内剂量 (静脉血苯) 浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
盐酸橡胶工厂工人	12.95 — 46.82	7.50 — 29.74
Dow 化学工人	1.91 — 5.70	1.07 — 3.22
土耳其制鞋工人	31.37 — 43.92	19.17 — 27.70
中国工人	0.978 — 48.92	0.462 — 31.23

可根据表N.1和表N.2中暴露人群的白血病发病率与内剂量间的对应关系，拟合公式(2)中的参数，得到 $a_2=0.0000459$ ， $a_1=0$ ， $a_0=0$ 。

## N.2 风险表征示例

天津市1981年1月~2000年12月白血病流行情况的统计分析，天津市1981年1月~2000年12月白血病发病率为4.71/100 000。因此，选择背景反应值为 $P_0=4.71 \times 10^{-5}$ 。

苯职业暴露导致白血病的致癌风险最终可表示为：

$$Pr = 0.0000471 + (1 - 0.0000471) \times (1 - \exp(-0.0000459 \times d^2)) \dots\dots\dots (N.1)$$

## 参 考 文 献

- [1] Ministry of Manpower Occupational Safety and Health Division. A Semi-Quantitative Method to Assess Occupational Exposure to Harmful Chemicals[Z], 2005
- [2] ELSEVIER. Knovel Sampler-Calculated Vapor Pressures of Organic Compounds[DB/OL]. [http://app.knovel.com/web/view/itable/show.v/rcid:kpKS000009/cid:kt00395F3F/viewerType:ep tble/root\\_slug:knovel-sampler/url\\_slug:calculated-vapor-pressures?b-toc-cid=kpKS000009&b-toc-root-slug=knovel-sampler&b-toc-url-slug=calculated-vapor-pressures&b-toc-title=Knovel %20Sampler&start=0&columns=13,1,10,9,12,11,2,3,4,5,6,7,8](http://app.knovel.com/web/view/itable/show.v/rcid:kpKS000009/cid:kt00395F3F/viewerType:ep tble/root_slug:knovel-sampler/url_slug:calculated-vapor-pressures?b-toc-cid=kpKS000009&b-toc-root-slug=knovel-sampler&b-toc-url-slug=calculated-vapor-pressures&b-toc-title=Knovel %20Sampler&start=0&columns=13,1,10,9,12,11,2,3,4,5,6,7,8), 2003
- [3] Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards (Second Edition) [M]. American Industrial Hygiene Association, 2013.
- [4] 刘茂编著. 事故风险分析理论与方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 2011
- [5] Center for Chemical Process Safety (CCPS). Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases [M]. New York: American Institute of Chemical Engineers, 1999
- [6] (美) 克劳尔 (Crowl, D.A.), (美) 卢瓦尔 (Louvar, J.F.) 著; 蒋军成译. 化工过程安全理论及应用 第2版[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006
- [7] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Final AEGLs (188) [DB/OL]. <https://www.epa.gov/aegl/access-acute-exposure-guideline-levels-aegls-values#chemicals>, July 27, 2018
- [8] Office of Response and Restoration, NOAA's Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, USA.gov. Database of Hazardous Materials[DB/OL]. <https://cameochemicals.noaa.gov/>, CAMEO Chemicals version 2.7 rev 1
- [9] U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS) [DB/OL]. <http://www.epa.gov/iris/>, 2021
- [10] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Chemical Listing and Documentation of Revised IDLH Values [EB/OL]. <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intrid14.html>, 2019
- [11] Great Britain. Health and Safety Executive. Reducing risks, protecting people / HSE's decision-making process[EB/OL]. <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/r2p2.htm>, 2001
- [12] 金泰虞, 王祖兵主编. 化学品毒性全书[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2020
- [13] Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health, Commission on Life Sciences, National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process[M], Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1983
- [14] U.S. Environmental Protection Agency. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment) [Z], EPA-540-R-070-002, 2009
- [15] U.S. Environmental Protection Agency. Exposure Assessment Tools by Routes - Inhalation[EB/OL]. <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>, 2018
- [16] U.S. Environmental Protection Agency. EPA's Approach for Assessing the Risks Associated with Chronic Exposure to Carcinogens[EB/OL], <https://www.epa.gov/iris/epas-approach-assessing-risks-associated-chronic-exposure-carcinogens>, 1992.

T/xxx xxx—xxx

[17] National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Chemical Carcinogen Policy[Z], DHHS (NIOSH) Publication No. 2017 - 100, July 2017

[18] The American International Health Alliance (AIHA). 2016 ERPG/WEEL Handbook[M], 2016

[19] EPA's Approach for Assessing the Risks Associated with Chronic Exposure to Carcinogens[EB/OL]. <https://www.epa.gov/iris/epas-approach-assessing-risks-associated-chronic-exposure-carcinogens#main-content>, 2018

---

中国职业安全健康协会团体标准