

DB12

天 津 市 地 方 标 准

DB12/T 991—2020

工作场所苯职业病危害风险管理指南

Guidelines of risk management for benzene occupational hazards in workplace

2020 – 10 – 14 发布

2020 – 11 – 15 实施

天津市市场监督管理委员会

发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和缩略语 1

4 苯职业病危害风险评价 2

5 苯职业病危害风险管理 7

附录 A（规范性附录） 苯职业病危害风险评价程序 12

附录 B（规范性附录） 苯职业病危害风险评价框架基本内容 13

附录 C（资料性附录） 苯的特性资料 14

附录 D（资料性附录） 常用软件模拟步骤 16

附录 E（资料性附录） 利用多阶模型计算苯职业暴露导致白血病的致癌风险示例 18

附录 F（资料性附录） 利用吸入单位风险计算苯职业暴露导致白血病的致癌风险示例 19

附录 G（规范性附录） 苯职业病危害风险管理程序 20

附录 H（资料性附录） 合同告知书示例 21

附录 I（资料性附录） 苯职业病危害告知卡示例 22

附录 J（规范性附录） 泄漏事故应急疏散区域划分原则 23

参考文献 24

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由天津市卫生健康委员会提出并归口。

本标准起草单位：天津渤海化工集团有限责任公司劳动卫生研究所、天津市卫生健康委员会、天津德安圣保安全卫生评价监测有限公司、天津大沽化工股份有限公司、天津市蓟州区疾病预防控制中心。

本标准主要起草人：黄德寅、李敏嫣、刁立成、张倩、王菁、张秋利、孙倩、赵玉妍、邢立伟、周笛、薄亚莉、陈会祥。

工作场所苯职业病危害风险管理指南

1 范围

本标准规定了工作场所苯职业病危害风险评价及风险管理目的、基本原则、范围、方法、程序、内容等要求，给出了苯作业的职业病危害风险评价及管理的技术指南。

本标准适用于存在苯职业暴露的工作场所的风险评价及风险管理；适用于劳动者接触苯和含苯产品的危害程度及职业病防护措施效果的监测、评价、管理与职业卫生监督检查等。

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/T 11651 个体防护装备选用规范

GB/T 18664 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/T 50493 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准

GBZ 1 工业企业设计卫生标准

GBZ 2.1—2019 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 158 工作场所职业病危害警示标识

GBZ 159 工作场所空气中有毒物质的采样规范

GBZ 188 职业健康监护技术规范

GBZ/T 195 有机溶剂作业场所个人职业病防护用品使用规范

GBZ/T 223 工作场所有毒气体检测报警装置设置规范

GBZ/T 254 尿中苯巯基尿酸的高效液相色谱测定方法

GBZ/T 300.59—2017 工作场所空气有毒物质测定 第59部分：挥发性有机化合物

GBZ/T 300.66 工作场所空气有毒物质测定 第66部分：苯、甲苯、二甲苯和乙苯

AQ/T 3046—2013 化工企业定量风险评价导则

WS/T 680—2020 突发中毒事件卫生应急处置人员防护导则

DB12/T 881—2019 化学毒物职业病危害风险评价技术指南

3 术语和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

含苯产品 products containing benzene

苯的体积分数超过百分之一的产品。

3.1.2

健康风险 health risk

发生不良健康影响的可能性及其后果。

3.1.3**职业病危害 occupational hazard**

对从事职业活动的劳动者可能导致职业病的各种危害。

3.1.4**风险评价 risk assessment**

通过对毒理学研究、环境监测、生物监测、职业健康监护和职业流行病学调查获得的研究资料进行综合分析,定性和定量的评价发生职业病危害风险的可能性及危害程度,并决定是否需要采取相应措施的过程。

3.1.5**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。

3.1.6**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的过程。

[GBZ/T 224—2010, 定义7.2]

3.1.7**剂量—反应评价 dose-response assessment**

确定化学毒物的剂量与暴露群体当中某种效应的发生率之间关系的过程。

[GBZ/T 224—2010, 定义11.4.18]

3.1.8**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。

3.1.9**风险管理 risk management**

依据风险评价结果,制定风险应对计划,实施工程控制、个体防护,劳动组织管理、职业暴露评价、职业健康监护、职业卫生培训、危害告知、应急救援措施等一系列协调活动的全过程。

3.2 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)

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)

ERDEM: 暴露相关剂量估算模型 (Exposure Related Dose Estimating Model)

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

IDLH: 直接致害浓度 (Immediately Dangerous to Life or Health)

PBPK: 生理药代动力学 (Physiologically Based Pharmacokinetic)

4 苯职业病危害风险评价**4.1 评价目的**

苯职业病危害风险评价应能达到如下目标：

- 辨识苯暴露存在的职业健康危害；
- 对劳动者苯职业暴露进行评价；
- 对暴露于苯的劳动者进行剂量—反应评价，分析发生职业病及其他健康影响的可能性；
- 确定苯的致癌风险和急性中毒事故风险水平，提出合理可行的职业病危害风险管理建议，为实施建设项目和用人单位职业病危害风险应对提供技术依据。

4.2 评价程序

应按DB12/T 881—2019第5章规定的化学毒物职业病危害风险分级方法评价苯职业暴露风险等级，并针对苯的致癌风险和/或急性中毒事故风险按以下程序开展风险评价：

- a) 危害辨识：
 - 1) 开展现场职业卫生学调查，收集工程技术资料、苯的特性资料及相关参数信息，并进行工程分析，辨识含苯产品，当劳动者职业暴露于苯和含苯产品时，应进行苯职业暴露风险评价；
 - 2) 通过对生产过程的苯职业暴露情况调查，分析劳动者职业暴露的特点；
 - 3) 确定开展苯的致癌风险评价和/或急性中毒事故风险评价；
- b) 暴露评价：
 - 1) 考虑致癌风险：应进行终身平均调整浓度的计算或开展内暴露剂量评价；
 - 2) 考虑急性中毒事故风险：应选择泄漏场景，模拟计算空气中苯的浓度，确定泄漏的苯蒸气影响区域；
- c) 剂量—反应评价：
 - 1) 考虑致癌风险：应选择吸入单位风险或多阶模型建立苯致癌的剂量—反应关系；
 - 2) 考虑急性中毒事故风险：应选择苯的急性中毒致死概率计算参数；
- d) 风险表征：

考虑致癌风险：应按吸入单位风险法或多阶模型法对苯职业暴露的致癌风险进行定量风险评价；

考虑急性中毒事故风险：应选择查表法或公式计算法确定苯急性中毒致死概率；

应确定风险的可接受水平，并按风险评价结果采取相应的苯职业病危害风险管理对策及措施，进行风险应对。

苯职业病危害风险评价程序应符合附录A的规定，其框架基本内容应符合附录B的规定。

4.3 评价内容

4.3.1 危害辨识

4.3.1.1 收集和分析原辅料、中间产品、产品及副产品的成分，辨识其是否属于“含苯产品”，对成分不明的有机物应参照 GBZ/T 300.59—2017 规定的溶剂解吸—气相色谱—质谱法进行成分分析，确定挥发性有机化合物中的苯含量；

4.3.1.2 针对苯和含苯产品，收集以下有关资料：

- a) 理化性质：密度、熔点、沸点、蒸气压、蒸发速率、闪点等；
- b) 健康影响：可能造成的致癌和急慢性健康影响等；
- c) 毒理学资料：动物致癌实验数据、动物急性毒性数据（半数致死量 LD_{50} 、半数致死浓度 LC_{50} 等）、急性中毒评价指标（AEGLs、ERPGs、IDLH）等；
- d) 职业暴露人群的流行病学调查数据。

苯的特性资料可参见附录C。

4.3.1.3 职业接触苯和含苯产品的现场职业卫生调查主要应包括以下资料的收集：

- a) 生产工艺过程、苯和含苯产品物料的使用量/生产量/存储量、包装运输和存储方式、生产设备等工程技术资料；
- b) 生产车间岗位定员及作业情况、职业史、劳动者暴露情况、暴露途径、劳动者防护条件、呼吸保护计划制定及落实情况等职业暴露情况资料；
- c) 国内同类企业职业流行病学资料等；

4.3.1.4 应根据 4.3.1.3 苯职业暴露情况调查的结果, 确定开展苯的致癌风险评价和/或急性中毒事故风险评价, 并识别出存在苯致癌风险和/或急性中毒事故风险的劳动者及产生环节, 对劳动者职业暴露的特点进行分析；

4.3.1.5 考虑苯急性中毒事故风险的, 还应辨识可能发生事故的环节, 收集模拟泄漏事故苯扩散所需的参数和信息, 包括：

- a) 位置和时间参数：厂区地理位置（经纬度、时区、海拔）、事故发生的时间；
- b) 建筑物参数：建筑物类型、通风换气率、是否有遮蔽物；
- c) 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；
- d) 事故参数：泄漏类型（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）。

4.3.2 暴露评价

4.3.2.1 苯致癌风险职业暴露评价

4.3.2.1.1 工作场所空气中苯的浓度测定

应按照GBZ 159的要求对工作场所空气中苯的浓度进行采样, 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。

应按照GBZ/T 300.66的要求对采集的样品进行空气中苯的浓度测定。

应按GBZ 2.1规定的工作场所空气中苯的职业接触限值评价苯的职业暴露水平。

4.3.2.1.2 终身平均调整浓度的计算

利用吸入单位风险法计算苯致癌风险, 应按公式(1) 计算职业暴露的终身平均调整浓度：

$$C_{air-adj} = C \times \frac{OET}{LT} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$C_{air-adj}$ ——终身平均调整浓度的数值, 单位为毫克每立方米 (mg/m^3) ；

C ——空气中苯的测定浓度的数值, 单位为毫克每立方米 (mg/m^3) ；

OET ——职业暴露总时数, 单位为小时 (h) ；

LT ——终身总时数, 通常以70年总时数613200计算, 单位为小时 (h) 。

4.3.2.1.3 内暴露剂量评价

可开展生物监测, 按照GBZ/T 254的要求对班后尿中苯巯基尿酸进行测定, 或按照高效液相色谱法进行尿液中反—反式粘糠酸的测定, 并按GBZ 2.1规定的苯的职业接触生物限值评价苯的职业暴露水平。

也可基于预测或测定的工作场所空气中苯浓度, 利用ERDEM等软件基于PBPK模型进行苯职业暴露内剂量的模拟。ERDEM软件的模拟步骤参见附录D.1。

4.3.2.2 苯急性中毒事故风险职业暴露评价

4.3.2.2.1 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。

4.3.2.2.2 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。

4.3.2.2.3 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。

4.3.2.2.4 空气中苯浓度的预测

可采用ALOHA、CFD等软件进行苯急性中毒事故的暴露分析，预测空气中苯的浓度。急性中毒事故空气中苯浓度预测常用软件模拟步骤参见附录D.2、附录D.3。

4.3.2.2.5 确定泄漏事故苯的影响区域

确定泄漏事故苯可能影响的区域，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。

4.3.3 剂量—反应评价

4.3.3.1 苯致癌剂量—反应评价

4.3.3.1.1 吸入单位风险

剂量—反应关系可用化学致癌物吸入单位风险表示。苯的吸入单位风险为 $2.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\mu\text{g}$ ~ $7.8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\mu\text{g}$ 。

4.3.3.1.2 多阶模型

剂量—反应关系也可用多阶模型表示。多阶模型的一般形式见公式（2）：

$$F(d) = 1 - \exp\left(-\sum_{i=0}^k a_i d^i\right) \dots\dots\dots (2)$$

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，根据苯暴露水平和白血病发病率数据，拟合多阶模型中的参数值，进而得到苯职业暴露致癌剂量—反应关系函数。

基于多阶模型的苯职业暴露导致白血病的剂量—反应评价示例参见附录E.1。

4.3.3.2 苯急性中毒事故风险剂量—反应评价

剂量—反应关系以公式（3）中概率变量 Y 和急性中毒致死概率 P 的函数表示：

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P ——急性中毒致死概率的数值；

u ——积分变量；

Y ——概率变量的数值，其与接触苯浓度及接触时间的关系可按公式（4）计算：

$$Y = -109.78 + 5.3 \ln(c^2 t) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

Y ——概率变量的数值；

c ——接触苯浓度的数值，为气体百万分比浓度；

t ——接触苯时间的数值，单位为分钟（min）。

4.3.4 风险表征

4.3.4.1 苯致癌风险表征

4.3.4.1.1 吸入单位风险法

可按公式（5）计算吸入苯的致癌风险：

$$Risk = IUR \times 10^3 \times C_{air-adj} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$Risk$ ——苯致癌的职业暴露致癌风险数值；

IUR ——吸入单位风险的数值，单位为立方米每微克（ $m^3/\mu g$ ）；

$C_{air-adj}$ ——终身平均调整浓度，单位为毫克每立方米（ mg/m^3 ）。

苯的致癌风险计算可按吸入单位风险区间计算致癌风险区间，或按吸入单位风险上限估计致癌风险的上限。

利用吸入单位风险表征苯致癌风险的计算示例参见附录F。

4.3.4.1.2 多阶模型法

可利用多阶模型，将暴露评价得到的苯暴露水平代入建立的剂量—反应关系函数中，计算苯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）的苯所造成一生中患肿瘤的概率 Pr 可用公式（6）表示：

$$Pr(tumor | D) = P_0 + (1 - P_0)F[f(D)] \dots\dots\dots (6)$$

式中：

P_0 ——风险背景值；

D ——工作场所空气中苯的浓度，单位为毫克每立方米（ mg/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 。

利用多阶模型计算苯职业暴露导致白血病的致癌风险示例参见附录E.2。

4.3.4.2 苯急性中毒事故风险表征

4.3.4.2.1 查表法

利用公式（4）计算的概率变量 I 与对应的急性中毒致死概率 P 的换算关系表参见DB12/T 881—2019附录J。

4.3.4.2.2 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；

erf ——误差函数；

Y ——概率变量的数值，可按公式（4）计算。

利用公式计算法进行泄漏事故急性中毒定量风险计算的示例参见DB12/T 881—2019附录K。

5 苯职业病危害风险管理

5.1 管理原则

风险应对原则应符合以下要求：

a) 考虑苯的致癌风险时，可接受风险水平应设为 1.0×10^{-4} ；

如致癌风险超过 1.0×10^{-4} ，即为不可接受的风险，用人单位应采取工程控制措施降低致癌风险；采取其他工程措施后致癌风险仍超过 1.0×10^{-4} 的，应采取消除和替代措施；

如致癌风险不超过 1.0×10^{-4} ，即为可接受的风险，用人单位应采取工程控制措施、个体防护、劳动组织管理及其他职业卫生管理措施，尽可能降低苯的职业接触水平；

b) 经危害辨识确定可能发生苯或含苯产品泄漏导致急性中毒事故的，应考虑应急救援措施，苯的急性中毒事故致死的可接受风险水平应设为 1.0×10^{-3} ；

1) 如急性中毒致死概率超过 1.0×10^{-3} ，即为不可接受的风险，用人单位应采取减少苯或含苯产品的生产、使用、储存、运输量的措施降低风险；

2) 如急性中毒致死概率不超过 1.0×10^{-3} ，即为可接受的风险，用人单位应采取工程控制措施、个体防护、劳动组织管理及其他职业卫生管理措施、应急救援措施等，尽可能控制并降低苯的急性中毒事故风险。

5.2 职业病危害控制优先原则及职业接触控制要点

苯职业病危害控制的优先原则应符合GBZ2.1—2019中6.1条的规定，职业接触控制要点应符合GBZ2.1—2019中6.2条的规定。

5.3 管理程序

根据苯职业病危害风险评价的结果及提出的风险管理指导意见，制定风险应对计划，实施苯职业病危害风险管理。苯职业病危害风险管理程序如下：

a) 苯职业病危害风险评价：风险评价的方法及内容应符合第4章的规定；

- b) 风险应对计划：应主要考虑可规避性、可转移性、可缓解性、可接受水平等四个方面的因素；
- c) 苯职业病危害风险管理与控制：工程控制措施、个体防护、呼吸保护计划、劳动组织管理、职业暴露评价、职业健康监护、职业卫生培训、危害告知、应急救援措施等。

苯职业病危害风险管理具体控制程序应符合附录G的规定。

5.4 管理内容

5.4.1 工程控制措施

5.4.1.1 应尽可能以无毒或低毒的物质代替苯或含苯产品。本条不适用于以下情形：

- a) 苯的生产；
- b) 使用苯进行化学合成；
- c) 在发动机燃料中使用苯；
- d) 在实验室内进行的分析或研究工作。

5.4.1.2 不应将苯和含苯产品用作溶剂或稀释剂，除非该工艺过程在完全密闭的系统内进行或采用其他同等安全的工作方法。

5.4.1.3 用人单位应按 GBZ 1 的要求，优先采用机械化和自动化，避免人工直接操作。涉及使用苯或含苯产品的工艺过程应在切实可行的情况下在密闭系统中进行。

5.4.1.4 当工艺过程实际上不可能在密闭系统中进行时，应结合生产工艺在使用苯或含苯产品的工作场所采取有效的通风和净化措施，并定期维修。应使空气中苯浓度保持低于国家职业接触限值，并尽可能地减少人体接触水平。

5.4.2 个体防护

用人单位应按GB/T 18664、GB/T 11651、GBZ/T 195的规定，为接触苯或含苯产品的劳动者提供呼吸及皮肤等防护用品，并督促其进入存在苯或含苯产品的工作场所时应佩戴使用，防止苯经呼吸道及皮肤吸收。

5.4.3 呼吸保护计划

用人单位应按GB/T 18664的规定，建立并实施规范的呼吸保护计划，并书面记录计划实施情况。

5.4.4 劳动组织管理

用人单位应按GBZ 1的规定通过减少劳动者暴露于苯或含苯产品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，使劳动者定期远离可能逸散苯或含苯产品的作业环境。

女工怀孕期及哺乳期应避免接触苯或含苯产品。

5.4.5 职业暴露评价

用人单位应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苯的浓度进行一次检测。用人单位应建立职业病危害因素定期检测制度，应每月对涉及苯或含苯产品的工作场所进行一次检测。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。

5.4.6 职业健康监护

用人单位应按GBZ 188的规定，组织接触苯或含苯产品的劳动者进行上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康检查，并按要求建立职业健康监护档案。

5.4.7 职业卫生培训

用人单位应对接触苯或含苯产品的劳动者进行职业卫生培训，培训至少应包括以下内容：

- a) 国家针对苯职业病危害制定的法律、法规及相关政策；
- b) 用人单位为消除、减少苯危害所采取的工程控制措施及管理办法；
- c) 工作区域内苯或含苯产品的危险源、暴露评价情况；
- d) 苯的物理化性质、暴露途径、可能造成的职业病及其他健康影响、毒理学作用等；
- e) 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；
- f) 应急救援预案和现场应急处置措施；
- g) 职业健康检查的目的和程序；
- h) 岗位操作规程。

5.4.8 危害告知

用人单位与劳动者订立劳动合同（含聘用合同，下同）时，应将工作过程中因接触苯或含苯产品可能产生的危害及其后果、防护措施和待遇等如实告知劳动者，并在劳动合同中写明，不得隐瞒或者欺骗。劳动者在履行劳动合同期间因工作岗位或者工作内容变更，从事与所订立劳动合同中未告知的苯作业时，用人单位应当依照规定，向劳动者履行如实告知的义务，并协商变更原劳动合同相关条款。

合同告知书示例参见附录H。

任何装有苯或含苯产品的容器均应标以醒目的“苯”字及必要的警示标识。

用人单位应按GBZ 158的规定在涉及苯或含苯产品的工作场所设置“当心中毒”、“当心有毒气体”警告标识和“穿防护服”、“戴防毒面具”、“戴防护手套”、“注意通风”指令标识，并按规定维护更换。

涉及苯或含苯产品的用人单位，应在公告栏公布有关苯中毒防治的规章制度、操作规程、接触苯的岗位、苯的健康危害、接触限值和工作场所空气中苯浓度的检测结果等，并按规定维护更换。

职业病危害告知卡示例参见附录I。

用人单位应将职业健康检查结果以书面形式如实告知劳动者本人。书面告知文件留档备查。

5.4.9 应急救援措施

5.4.9.1 苯急性中毒事故预防控制措施

可能发生苯或含苯产品泄漏导致急性中毒事故的用人单位，除5.2.1~5.2.10规定的原则和措施外，还应采取以下预防和控制措施：

- a) 可能存在苯或含苯产品泄漏的工作场所应设冲洗设施；
- b) 涉及苯或含苯产品的贮罐区周围应设置泄险沟（堰）等，地面应做防渗透处理；
- c) 可能突然逸散大量苯蒸气的工作场所应设置泄漏报警装置，报警装置的设置应符合GBZ/T 223、GB/T 50493的要求，室内工作场所设置的泄漏报警装置还应与事故通风系统相连锁；
- d) 应配备现场急救用品，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，制定急性苯中毒事故应急预案，配备应急救援物资等，应急救援物资应按GB 30077的要求配备。

5.4.9.2 事故上报、调查及检测

发生苯或含苯产品泄漏导致苯急性中毒事故的，应及时上报行政管理部门，并按规定的程序开展苯中毒事件的调查和快速检测工作。

5.4.9.3 泄漏事故应急疏散区域

依据可能发生的泄漏场景，用人单位应制定不同紧急情况下的应急预案，并包括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。泄漏事故应急疏散区域的划分应符合附录J的原则，包括以下内容：

- a) 宜以苯的 AEGL-2 或 ERPG-2 对应的阈值为基准划分疏散区域，确定相应的应急疏散预案。应按 GB/T 18664 等标准规范的规定，为在此区域内的劳动者选择合适的逃生型呼吸防护用品；
- b) 将高于 IDLH 浓度的范围确定为呼吸防护区域：
 - 1) 此区域内仅有逃生型呼吸防护用品的劳动者应立即离开；
 - 2) 应为进入此区域的应急人员、抢修人员按 GB/T 18664 等标准规范的规定配备满足 IDLH 环境的呼吸防护用品。

5.4.9.4 泄漏事故现场处置

5.4.9.4.1 现场处置人员的个体防护

急性苯中毒现场处置人员的个体防护应符合以下要求：

- a) 进入苯生产、使用、储存等事故现场时：
 - 1) 如现场有中毒死亡病人或空气苯浓度超过 9800 mg/m^3 (IDLH)，应穿戴 A 级防护服和自给式空气呼吸器 (SCBA)；
 - 2) 如空气苯浓度在 $8 \text{ mg/m}^3 \sim 9800 \text{ mg/m}^3$ ，应选用可防含 A 类气体和至少 P2 级别颗粒物的全面罩呼吸防护器，并穿戴 C 级以上防护服、化学防护手套和化学防护靴；
 - 3) 中毒事件现场已经开放通风，空气中苯浓度在 8 mg/m^3 以下，现场卫生应急处置人员事件调查和医疗救治时，采用 D 级防护。
- b) 现场救援人员清洗大面积皮肤污染的苯中毒病人时，应选用可防含 A 类气体和至少 P2 级别颗粒物的全面罩呼吸防护器，并穿戴 C 级以上防护服、化学防护手套和化学防护靴；
- c) 在现场医疗救治区开展工作时，对穿戴个体防护装备无特殊要求。

泄漏事故急性苯中毒事件个体防护装备选配要求参见 WS/T 680—2020 附录 C 中的表 C.3。

5.4.9.4.2 急性苯中毒事件的确认和鉴别

急性苯中毒事件的确认标准应同时符合以下要求：

- a) 中毒病人有苯接触机会；
- b) 中毒病人短时间内出现以中枢神经系统损害为主的临床表现；
- c) 中毒事故现场空气苯浓度的检测采样样品中苯含量增高。

急性苯中毒事件应注意与急性单纯窒息性气体中毒事件、急性一氧化碳中毒事件、急性硫化氢中毒事件等相鉴别。

5.4.9.4.3 现场紧急医疗救治方案

现场紧急医疗救治方案应符合以下要求：

- a) 现场救援人员应迅速将病人移离中毒现场至空气新鲜处；皮肤污染者，应立即除去污染衣物，有条件时，可协助消防部门对危重病人进行洗消。中毒病人应保持呼吸道通畅，有条件予以吸氧，注意保暖；
- b) 当短期内出现大批中毒病人，应首先进行现场检伤分类，对中毒患者进行病情初步评估，并采取对应的现场治疗措施，优先处理红标病人：
 - 1) 红标指具有下列指标之一者：昏迷；抽搐。红标病人应保持复苏体位，立即建立静脉通道；

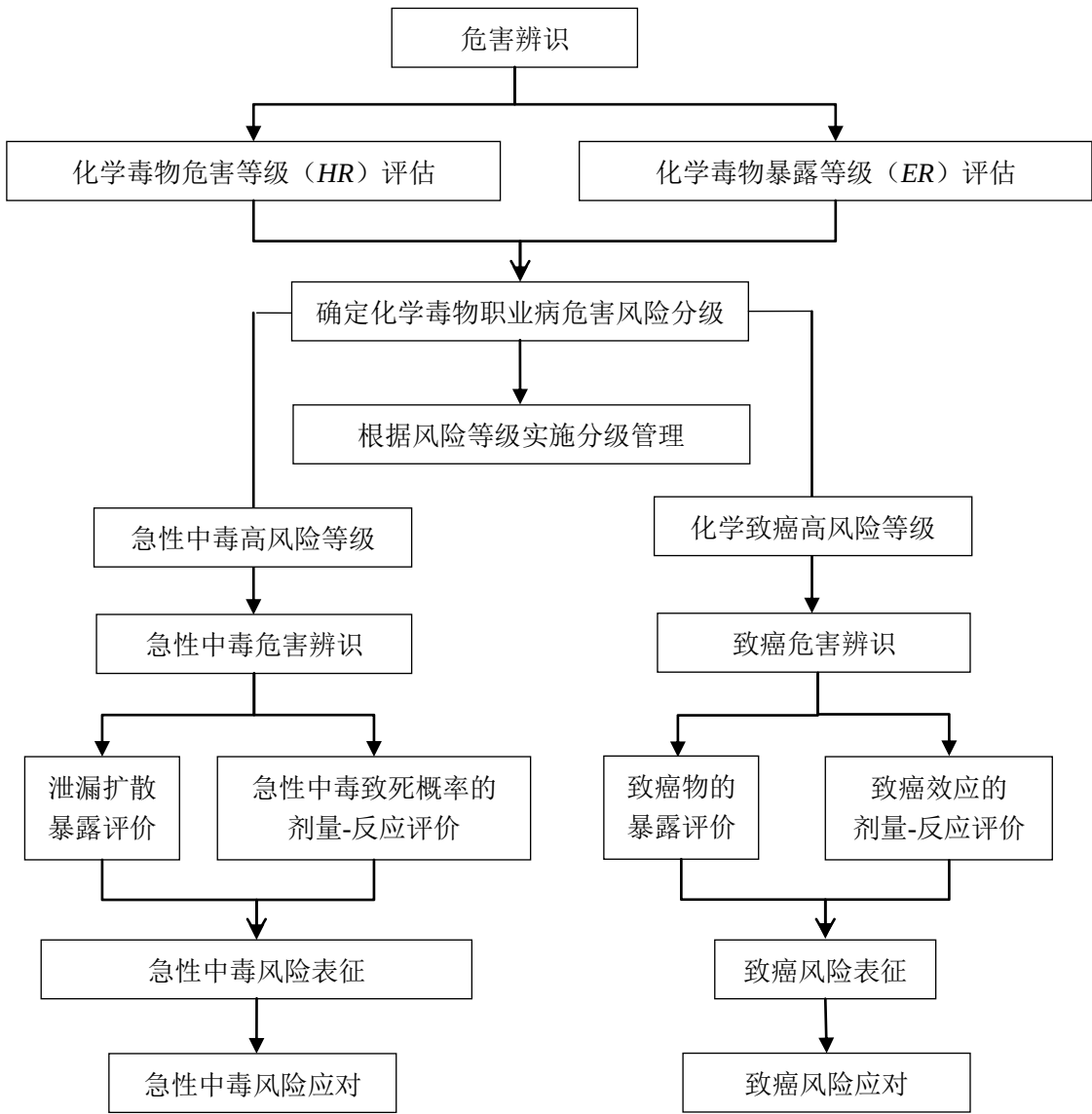
- 2) 黄标指具有下列指标之一者：谵妄状态；嗜睡；意识朦胧、混浊状态。黄标病人应密切观察病情变化，出现反复抽搐、休克等情况时，及时采取对症支持措施；
- 3) 绿标指具有下列指标者：头昏、头痛、乏力、恶心、呕吐等表现。绿标病人脱离环境后，暂不予特殊处理，观察病情变化；
- 4) 黑标指同时具有下列指标者：意识丧失，无自主呼吸，大动脉搏动消失，瞳孔散大；
- c) 急性苯中毒病人经现场急救处理后，应立即就近转送至综合医院继续观察和治疗。急性苯中毒病人应按 GBZ 188 的规定按照接触苯开展应急健康检查；
- d) 如苯溅入眼睛，应立即用大量的水冲洗，如果刺激持续或视力似乎受到影响，应尽快就医。

5.4.9.4.4 应急处置措施

应急处置措施应符合以下要求：

- a) 应尽可能切断泄漏源，切断火源。用水灭火无效，灭火剂采用泡沫、干粉、二氧化碳、砂土，并加入雾状水；
- b) 苯泄漏或溢出时应尽可能多地用合适的材料吸收苯，如干燥的沙土。剩余的应使用大量水冲洗。不应将苯冲入受限空间，如下水道，以免发生爆炸。密闭场所应通风；
- c) 现场应采取洗消措施：
 - 1) 少量泄漏：可用活性炭或其他惰性材料吸收，也可用不燃性分散剂制成的乳液刷洗，洗液稀释后放入废水系统；
 - 2) 大量泄漏：当苯泄漏进水体应立即构筑堤坝，切断受污染水体的流动，或使用围栏将苯液限制在一定范围内，然后再作必要处理；
- d) 废弃苯可通过以下方式处置：
 - 1) 用干燥的沙土吸收并在卫生填埋场处置；
 - 2) 少量泄漏可从建筑物或其他易燃场所转移至安全地点，倒入干燥的沙土并小心地点燃；
 - 3) 大量泄漏可在适宜的炉室内雾化。

附 录 A
(规范性附录)
苯职业病危害风险评价程序



图A.1 苯职业病危害风险评价程序

附 录 B
(规范性附录)
苯职业病危害风险评价框架基本内容

表B.1 苯职业病危害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，对潜在职业病危害进行识别、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—反应关系； 根据苯的吸入单位风险或多阶模型确定致癌剂量—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，对苯进行定性和定量评价。 职业人群暴露于苯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。	工作场所职业病危害因素浓度监测与检测； 生物监测或苯职业暴露内剂量的模拟； 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病危害的可能性，即劳动者由于接触苯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，并确定风险可接受水平。	风险等级评价； 急性中毒事故致死概率的计算，并判断风险是否超过可接受水平； 苯职业暴露致癌风险的计算，并判断风险是否超过可接受水平。
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、可接受水平等四个方面的因素。	苯职业病危害分级管理； 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；根据风险可接受水平，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
(资料性附录)
苯的特性资料

C.1 物质

IUPAC名: Benzene 苯
CAS号: 71-43-2

C.2 性质

化学式: C₆H₆
摩尔质量: 78.11 g•mol⁻¹
外观: 无色透明带有甜味的易挥发液体
密度: 0.8765 (20℃) g/cm³
比重 (水=1): 0.879
蒸气密度(空气=1): 2.7
熔点: 5.5 ℃ (279 K)
沸点: 80.1 ℃ (353 K)
20 ℃ (68 ℉) 蒸气压: 10.018 kPa
蒸发速率 (醚=1): 2.8
闪点: -10.11℃ (闭杯)

C.3 暴露途径

吸入、皮肤或眼睛接触苯会影响健康，不慎吞服苯也同样有害。

C.4 毒理学资料

苯的毒理学数据：
——LD₅₀: 930 mg/kg (大鼠经口)；48 mg/kg (小鼠经皮)
——LC₅₀: 9980 ppm (7 小时，小鼠吸入)
苯的急性中毒毒性评价指标参见表C.1和表C.2。

表C.1 苯的 ERPG、IDLH 值^a

中文名	化学文摘号 (CAS No.)	ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3	IDLH
苯	71-43-2	50	150	1000	500

^a ERPG、IDLH 值为理想气体的百万分比浓度 (ppm)，可按 GBZ 2.1-2019 附录 A.2.6 规定的方法转换计算为质量浓度 (mg/m³)。

表C.2 苯的 AEGL 值^a

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
苯	71-43-2	130	73	52	2000	1100	800	9700	5600	4000
^a AEGL 值为理想气体的百万分比浓度 (ppm)，可按 GBZ2.1—2019 附录 A.2.6 规定的方法转换计算为质量浓度 (mg/m ³)。										

附 录 D
(资料性附录)
常用软件模拟步骤

D.1 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:

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。

D.2 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应包括:

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。

D.3 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应包括:

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。

附 录 E

(资料性附录)

利用多阶模型计算苯职业暴露导致白血病的致癌风险示例

E.1 剂量—反应评价示例

本示例选用国内外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E.1。

表E.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	7.69×10^{-3}
Dow 化学工人	2.24×10^{-3}
土耳其制鞋工人	1.6×10^{-3}
中国工人	9.12×10^{-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E.2。

表E.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 (mg/m^3)	内剂量 (静脉血苯) 浓度 (mg/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E.1和表E.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 $a_2=0.0000459$ ， $a_1=0$ ， $a_0=0$ 。

E.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：

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

附 录 F

(资料性附录)

利用吸入单位风险计算苯职业暴露导致白血病的致癌风险示例

F.1 苯职业暴露导致白血病的致癌风险计算示例 1

假设某企业苯职业暴露工人作业方式以巡检为主，苯职业暴露地点不固定，检测得到该岗位作业工人接触苯的8小时时间加权平均浓度为 1.0 mg/m^3 ，一年按52周，每周工作4天，假设作业工人在该岗位工作25年，计算终身平均调整浓度和致癌风险。

$$C_{\text{air-adj}} = 1.0 \times \frac{8 \times (4 \times 52) \times 25}{613200} = 0.068 \text{ mg/m}^3$$

$$Risk = (2.2 \times 10^{-6} \sim 7.8 \times 10^{-6}) \times 10^3 \times 0.068 = 1.5 \times 10^{-4} \sim 5.3 \times 10^{-4}$$

该岗位作业工人苯致癌风险超过致癌可接受风险水平 1.0×10^{-4} 。

F.2 苯职业暴露导致白血病的致癌风险计算示例 2

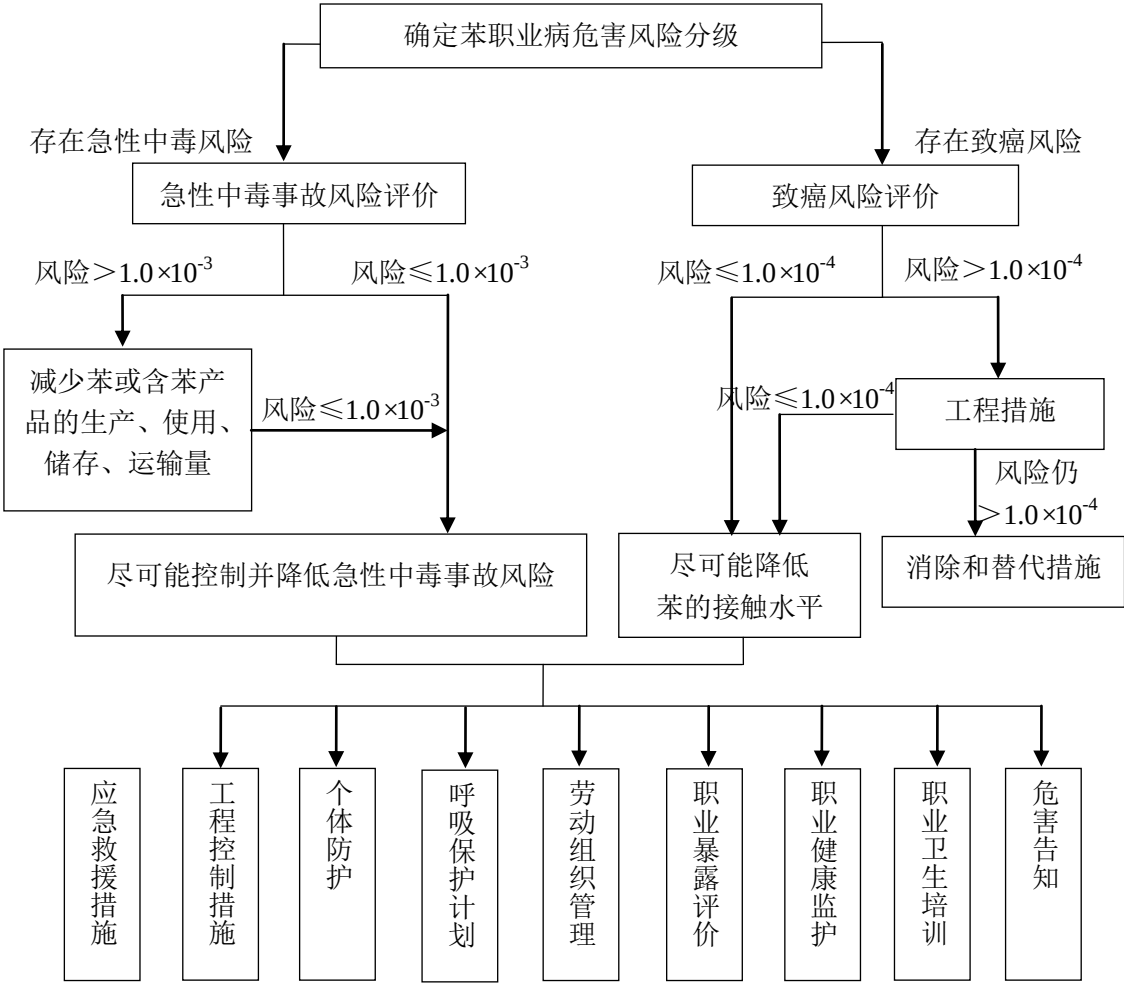
假设某企业苯职业暴露工人的苯职业暴露作业地点相对固定、暴露时机相对集中，检测得到该作业环境下，苯短时间接触浓度为 3.0 mg/m^3 。作业工人每周工作4天，每天暴露于该作业环境2小时，假设作业工人在该岗位工作25年，一年按52周，计算终身平均调整浓度和致癌风险。

$$C_{\text{air-adj}} = 3.0 \times \frac{2 \times (4 \times 52) \times 25}{613200} = 0.051 \text{ mg/m}^3$$

$$Risk = (2.2 \times 10^{-6} \sim 7.8 \times 10^{-6}) \times 10^3 \times 0.051 = 1.1 \times 10^{-4} \sim 4.0 \times 10^{-4}$$

该岗位作业工人苯致癌风险超过致癌可接受风险水平 1.0×10^{-4} 。

附 录 G
(规范性附录)
苯职业病危害风险管理程序



图G.1 苯职业病危害风险管理程序

附 录 H
(资料性附录)
合同告知书示例

(一) 所在工作岗位、可能产生的职业病危害、后果及职业病防护措施:				
所在部门及 岗位名称	职业病危害因素	职业禁忌证	可能导致的 职业病危害	职业病防护措施
例: ××车间	苯	上岗前: a)血常规检出有如下异常者: 1)白细胞计数低于 $4 \times 10^9/L$ 或 中性粒细胞低于 $2 \times 10^9/L$, 2)血小板计数低于 $8 \times 10^{10}/L$ 。 b)造血系统疾病。 在岗期间:造血系统疾病。	职业性慢性苯中毒、职业性苯所致白血病、职业性急性苯中毒	通风排毒装置 防毒面具、皮肤防护用品

(二) 甲方应依照《职业病防治法》及《职业健康监护技术规范》(GBZ188)的要求,做好乙方上岗前、在岗期间、离岗时的职业健康检查和应急检查。一旦发生职业病,甲方必须按照国家有关法律、法规的要求,为乙方如实提供职业病诊断、鉴定所需的劳动者职业史和职业病危害接触史、工作场所职业病危害因素检测结果等资料及相应待遇。

(三) 乙方应自觉遵守甲方的职业卫生管理制度和操作规程,正确使用维护职业病防护设施和个人职业病防护用品,积极参加职业卫生知识培训,按要求参加上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康检查。若被检查出职业禁忌证或发现与所从事的职业相关的健康损害的,必须服从甲方为保护乙方职业健康而调离原岗位并妥善安置的工作安排。

(四) 当乙方工作岗位或者工作内容发生变更,从事告知书中未告知的存在职业病危害的作业时,甲方应与其协商变更告知书相关内容,重新签订职业病危害告知书。

(五) 甲方未履行职业病危害告知义务,乙方有权拒绝从事存在职业病危害的作业,甲方不得因此解除与乙方所订立的劳动合同。

(六) 职业病危害告知书作为甲方与乙方签订劳动合同的附件,具有同等的法律效力。

甲方(签章)
年 月 日

乙方(签字)
年 月 日

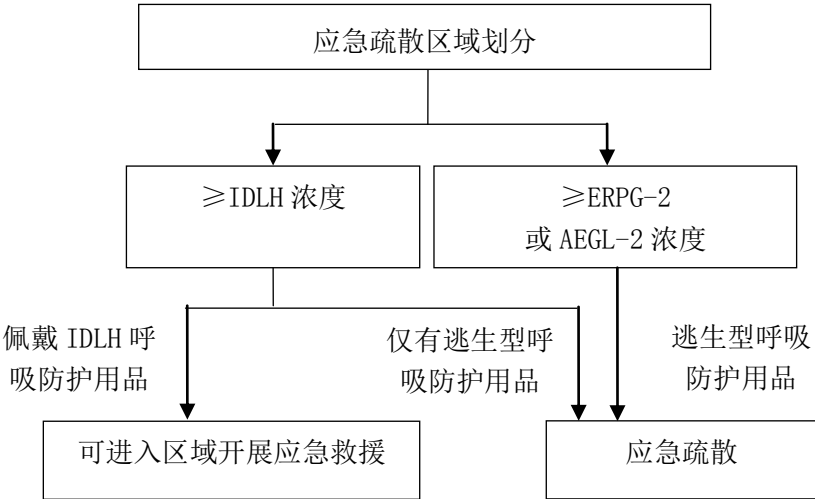
图H.1 合同告知书示例

附 录 I
(资料性附录)
苯职业病危害告知卡示例

有毒物品 注意防护 保障健康		
苯 Benzene	理化特性	健康危害
	无色液体，有芳香味，易挥发。不溶于水，与有机溶剂混溶。遇热、明火易燃烧、爆炸。	可经呼吸道、皮肤进入人体。 主要损害神经和造血系统。 短时间大量接触可引起头痛、头晕、恶心、呕吐、嗜睡、步态不稳，重者发生抽搐、昏迷。长期过量接触可引起白细胞减少、再生障碍性贫血、白血病。
当心中毒 	应急处理	
	抢救人员穿戴防护用具，速将患者移至空气新鲜处，去除污染衣物；注意保暖、安静；皮肤污染时用肥皂水清洗，溅入眼内时用流动清水或生理盐水冲洗，各至少 20 分钟；呼吸困难者给氧，必要时用合适的呼吸器进行人工呼吸；立即与医疗急救单位联系抢救。	
	防护措施	
	密闭、局部排风、呼吸防护。禁止明火、火花，高热，使用防爆电器和照明设备。工作场所禁止饮食、吸烟。      穿防护 戴防护手套 戴防毒面具 戴防护镜 注意通风	
标准限值：工作场所空气中苯的时间加权平均容许浓度（PC-TWA）： 短时间接触容许浓度（PC-STEL）：		
急救电话：120 消防电话：119		
职业中毒与控制机构：		

图 I.1 苯职业病危害告知卡示例

附 录 J
(规范性附录)
泄漏事故应急疏散区域划分原则



图J.1 泄漏事故应急疏散区域划分

参 考 文 献

- [1] International Labour Organisation. Convention concerning Protection against Hazards of Poisoning Arising from Benzene (Entry into force: 27 Jul 1973) [EB/OL]. http://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C136
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] U.S. Environmental Protection Agency. Exposure Assessment Tools by Routes – Inhalation[EB/OL]. <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>, 2018
- [6] U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS) (Benzene CASRN 71-43-2) [DB/OL]. https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/benzene_interim_dec_2008_v1.pdf, 2017
- [7] (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
- [8] Center for Chemical Process Safety(CCPs), Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases [M]. New York: American Institute of Chemical Engineers, 1999
- [9] 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
- [10] National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Chemical Carcinogen Policy[Z], DHHS (NIOSH) Publication No. 2017-100, 2017
- [11] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 29 CFR (Code of Federal Regulations) Part 1910—Occupational Safety and Health Standards—Subpart Z—Toxic and Hazardous Substances—1910.1028 Benzene [DB/OL]. https://ecfr.io/title-29/se29.6.1910_11028, 2020
- [12] 黄德寅, 张倩, 刘茂. 苯作业职业暴露评估与致癌风险模拟[J]. 中国工业医学杂志, 2011, 24(03):163-167.
- [13] NAS/COT Subcommittee for AEGLs. Benzene Interim Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) [EB/OL], https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/benzene_interim_dec_2008_v1.pdf, 2009
- [14] U.S. Environmental Protection Agency. Chemical Classification and Information Database (CCID) [DB/OL]. <https://www.epa.govt.nz/database-search/chemical-classification-and-information-database-ccid/view/1448>.

- [15] 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>, 2018
- [16] 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 2.7.1 rev 3
- [17] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Chemical Listing and Documentation of Revised IDLH Values [EB/OL]. <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>, 2019
- [18] 王阳. 苯职业健康风险评估方法及应用研究[D]. 南开大学, 2009.
-