

ICS XX. XXX

Z XX

# 团体标准

T/CSES XXXX—2021

## 二噁英类环境健康风险评估 技术规范

Technical specification for environmental health risk  
assessment of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs)  
and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs)

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国环境科学学会 发布

# 目 次

前 言.....	I
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 二噁英类评估程序.....	2
5 二噁英类数据收集与评估.....	4
6 二噁英类的暴露评估.....	4
7 二噁英类的毒性评估.....	5
8 二噁英类的风险表征.....	5
9 报告编制.....	8
附 录 A（资料性） 二噁英类的基本信息和理化性质.....	9
附 录 B（规范性） 暴露评估推荐模型.....	10
附 录 C（资料性） 风险评估模型参数及推荐值.....	12
附 录 D（规范性） 二噁英类的毒性当量因子.....	14

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》，保护生态环境，保障人体健康，指导和规范各环境介质中二噁英类的健康风险评估的工作程序，制定本标准。

本标准规定了针对二噁英类排放企业周边区域开展二噁英类人群健康风险评估的一般性原则、内容、程序、方法和技术要求。

本标准的附录 A、附录 C 为资料性附录；附录 B、附录 D 为规范性附录。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部华南环境科学研究所提出。

本标准由中国环境科学学会归口。

本标准起草单位：生态环境部华南环境科学研究所、湖北省生态环境科学研究院、中科鼎实环境工程有限公司。

本标准主要起草人：于云江、朱晓辉、罗伟铿、余江、刘哲、陈恺、凌海波、李苇苇、易川、王萍、王世君、李鹏、任明忠、向明灯、于紫玲。

本标准中国环境科学学会 年 月 日批准。

本标准自 年 月 日起实施。

本标准由起草单位负责解释。

# 二噁英类环境健康风险评估技术规范

## 1 适用范围

本标准规定了针对二噁英类排放企业周边区域开展二噁英类人群健康风险评估的一般性原则、内容、程序、方法和技术要求。

本标准适用于二噁英类排放企业周边区域环境介质（空气、土壤/尘等）及农畜水产品中 17 种二噁英类的环境健康风险评估。

## 2 规范性引用文件

本标准内容引用了以下文件中的条款。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本（包括修改单）适用于本标准。

GB 5009.205 食品中二噁英及其类似物毒性当量的测定

HJ 1111 生态环境健康风险评估技术指南 总纲

HJ 2.1 环境影响评价技术导则 总纲

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 77.2 环境空气和废气二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法

HJ 77.4 土壤和沉积物二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法

HJ 839 环境与健康现场调查技术规范 横断面调查

HJ 875 环境污染物人群暴露评估技术指南

HJ 876 儿童土壤摄入量调查技术规范

HJ 877 暴露参数调查技术规范

环境与健康横断面调查数据统计分析技术指南 环境保护部公告 2017 年第 63 号

## 3 术语和定义

### 3.1

**二噁英类** polychlorinated dibenzo-p-dioxins(PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs)

指多氯代二苯并-对-二噁英(PCDDs)和多氯代二苯并呋喃(PCDFs)的总称，本标准仅针对 17 种 2,3,7,8-位置被氯原子取代的二噁英类同类物，其中包括 7 种四氯~八氯代二苯并-对-二噁英以及 10 种四氯~八氯代二苯并呋喃，见附录 A

### 3.2

**二噁英类毒性当量因子** toxicity equivalent factor, TEF

指各二噁英类同类物对 2,3,7,8-四氯代二苯并-对-二噁英的相对毒性。

### 3.3

**二噁英类毒性当量浓度** toxicity equivalent quantity, TEQ

各二噁英类同类物浓度折算相当 2,3,7,8-四氯代二苯并-对-二噁英的等价浓度，毒性当量浓度为实测浓度与该类同类物的毒性当量因子的乘积。

## 4 二噁英类评估程序

二噁英类的健康风险评估程序和内容包括数据收集与评估、暴露评估、毒性评估和风险表征 4 个方面。

### 4.1 数据收集与评估

收集文献资料、模型预测、实验研究或现场调查等方法获取所需的相关资料和数据，掌握评价区域基本资料、二噁英类的污染程度及范围，明确评价区域人群活动特点和生活方式，分析可能的敏感受体，如儿童、成人等。

### 4.2 暴露评估

定性或定量估计特定情景下人群经不同途径暴露于二噁英类的外暴露量。

### 4.3 毒性评估

收集二噁英类相关的毒性效应、靶器官、效应终点及关键文献证据，阐明二噁英类的作用模式或机制，集成判断其健康危害的因果关系。在此基础上，定性描述二噁英类引起个体或群体发生有害效应的危害等级；建立二噁英类暴露与有害效应之间的剂量-反应（效应）关系，确定二噁英类毒性参数，包括参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和呼吸吸入单位致癌因子等。

### 4.4 风险表征

在暴露评估和毒性评估的基础上，采用风险评估模型计算多环境介质中二噁英类经多途径的致癌风险和危害商，计算二噁英的总致癌风险和危害指数。

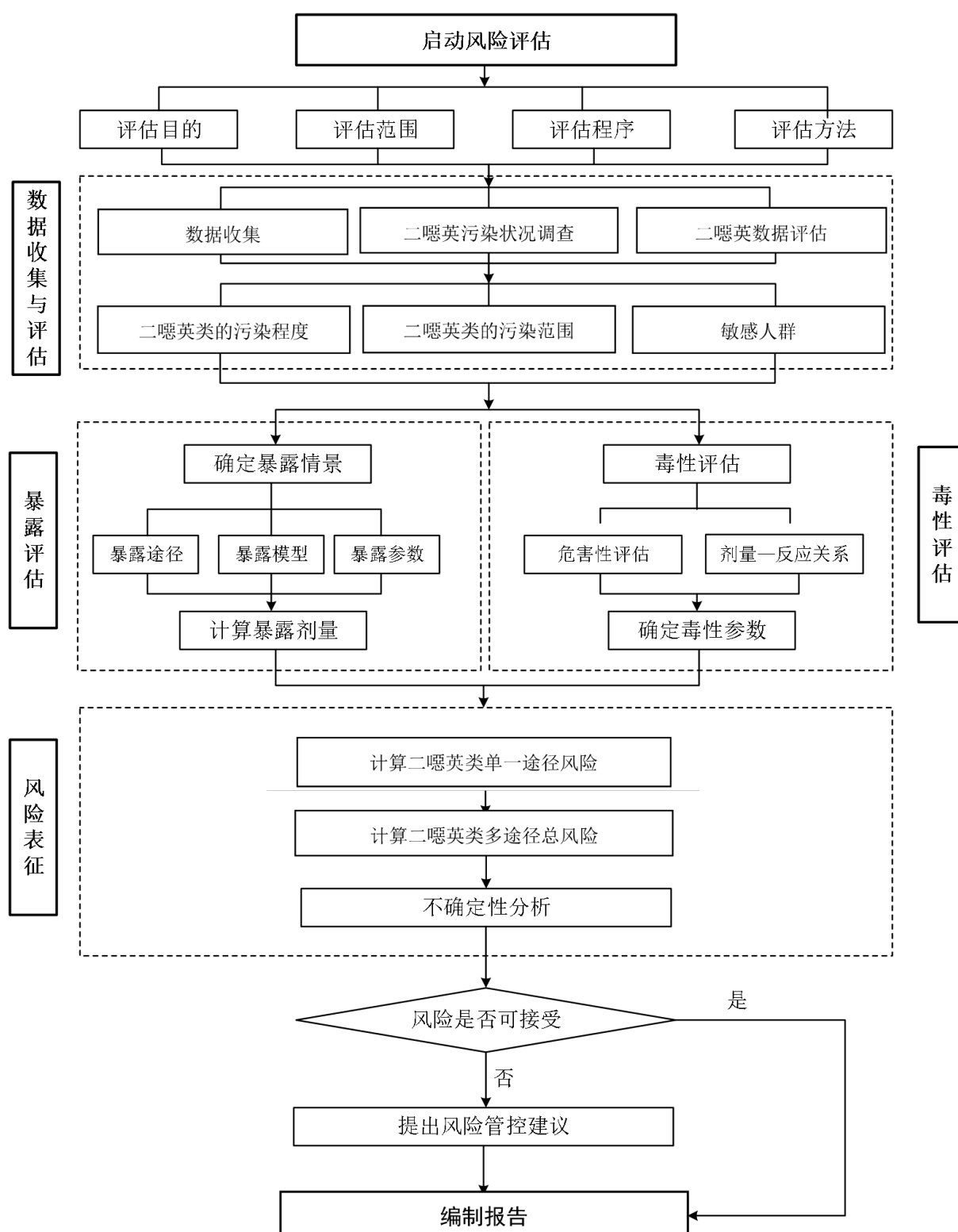


图1 二噁英类环境健康风险评估程序

## 5 二噁英类数据收集与评估

数据收集与评估主要收集和评估环境质量调查阶段获得的相关资料和数据，掌握各环境介质中二噁英类的浓度分布，明确调查区域范围人群活动特点和生活方式，分析可能的敏感受体，如儿童、成人等。

### 5.1 数据收集与调查

#### 5.1.1 评价区域基本资料

按照 HJ 839 对评估区域进行二噁英类污染状况及污染识别，获得以下信息：

- (1) 评估区域地理位置、地形、地貌、地质、土壤、水文和气象等自然条件；
- (2) 评估区域人口构成与分布、经济社会发展状况、土地利用等经济社会发展情况；
- (3) 二噁英类排放特征、污染程度及其影响范围、影响二噁英类迁移转化的环境因素等环境资料。
- (4) 评估区域膳食结构、死因回顾、疾病登记和发病率、地方性疾病等健康资料。

#### 5.1.2 调查数据

根据评估目的和评估类型，采用文献资料、模型预测、实验研究或现场调查等方法获取所需数据资料。评估时应充分利用现有数据资料，必要时开展实验研究和现场调查（HJ839）。无法收集现场调查数据时，收集相关模型模拟的大气、土壤中二噁英类数据。

#### 5.1.3 暴露参数数据

受二噁英类影响的评价区域中敏感人群的暴露参数按照 HJ877 和 HJ876 的相关规定开展现场调查获得。若无法开展暴露参数现场调查，则取值优先顺序为国内行政主管部门组织的大规模调查给出的推荐值、基于国内文献综合分析筛选获得的数据、国际权威组织或机构给出的推荐值。

### 5.2 数据评估

数据缺失值、未检出值、离群值等预处理，数据真实性、准确性、精确性等质量评估，以及数据统计描述与统计推断等按照《环境与健康横断面调查数据统计分析技术指南》（环境保护部公告 2017 年第 63 号）中的相关要求执行。

## 6 二噁英类的暴露评估

### 6.1 暴露情景分析

二噁英类为人类生产生活过程中释放的副产物，如废物焚烧、金属冶炼、造纸、制浆漂白等过程都会产生二噁英。二噁英排放企业周边区域儿童和成人均可能会长时间暴露二噁英类污染而产生健康危害。对于致癌效应，考虑人群的终生暴露危害，一般根据儿童期和成人期的暴露来评估二噁英类的终生致癌风险；对于非致癌效应，儿童较为敏感，一般根据儿童期暴露来评估二噁英类的非致癌风险。

### 6.2 暴露途径确定

本标准规定了以下暴露途径，包括经呼吸道吸入环境空气/室内空气、经口摄入农畜水产品、经口摄入土壤/室内积尘、经皮肤接触土壤/室内积尘。

### 6.3 暴露模型

#### 6.3.1 经呼吸道吸入途径

对于二噁英类的致癌和非致癌效应，计算吸入空气暴露途径对应的暴露剂量的推荐模型见附录 B 中 B.1 和 B.2。

#### 6.3.2 经消化道摄入途径

(a) 经口摄入农畜水产品的暴露剂量

对于二噁英类的致癌和非致癌效应，计算该途径对应的暴露剂量的推荐模型见附录 B 中 B.3 和 B.4。

(b) 经口摄入土壤（尘）途径的暴露剂量

对于二噁英类的致癌和非致癌效应，计算该途径对应的暴露剂量的推荐模型见附录 B 中 B.5 和 B.6。

#### 6.3.3 经皮肤接触途径

对于二噁英类的致癌和非致癌效应，计算经皮肤接触土壤（尘）途径对应的暴露剂量的推荐模型见附录 B 中 B.7 和 B.8。

## 7 二噁英类的毒性评估

### 7.1 危害性评估

确定关注二噁英类的基本信息（化学名称、分子式、结构式、分子量等）和理化性质（密度、熔点、沸点、饱和蒸汽压溶解度等），17 种二噁英类的基本信息和理化性质见附录 A。

二噁英类对人类具有致癌、致畸、致突变能力，显著增加癌症死亡率，降低人体免疫能力，影响正常荷尔蒙分泌。TCDD 为一级致癌物，是人类已知的毒性最强的致癌剂，动物试验表明 TCDD 致肝癌剂量仅需 10 ng/kg(体重)。二噁英类可以引起癌症、生殖和发育障碍，抑制免疫系统功能，造成神经系统和肝脏损伤，乃至死亡。

### 7.2 剂量-反应关系评估

在危害性评估的基础上，分析二噁英类对人体健康的危害效应，包括致癌效应和非致癌效应，确定推导毒性参数所依据的关键证据、效应终点、起算点、假设、模型方法、不确定性系数确定依据等信息。确定二噁英类毒性参数，包括经口、经呼吸的参考剂量（慢性长期暴露）和致癌斜率因子。二噁英类毒性参数见附录 C。

## 8 二噁英类的风险表征

### 8.1 毒性当量法

二噁英类总量为所有检测同类物毒性当量浓度之和，通过公式（1）计算二噁英类总量。二噁英类毒性当量因子见附录 D。

$$\sum (PCDDs + PCDFs) = \sum_{i=1}^{n=17} (C_i \times TEF_i) \dots\dots\dots (1)$$

式中：



$\sum (PCDDs + PCDFs)$  为二噁英类总量；

$C_i$  为二噁英类单体的质量浓度。

$TEF$  为二噁英类单体的毒性当量因子

## 8.2 二噁英类单一途径的风险计算

### 8.2.1 二噁英类单一途径致癌风险

#### 8.2.1.1 经呼吸道吸入途径

二噁英类经吸入空气的致癌风险公式(2)计算：

$$R_{IIA} = IER_{ca-a} \times SF_i \times 10^{-6} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

$R_{IIA}$  为二噁英类经呼吸吸入空气途径的终生致癌超额风险度，无量纲；

$IER_{ca-a}$  为经呼吸吸入空气的日均暴露量[ng TEQ / (kg·d)]；

$SF_i$  为二噁英类（以 2,3,7,8-TCDD 计）经呼吸吸入致癌斜率因子[ $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ ]。

#### 8.2.1.2 经消化道摄入途径

（a）二噁英类经口摄入农畜水产品的致癌风险公式(3)计算：

$$R_{OIF} = OER_{ca-f} \times SF_o \times 10^{-6} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

$R_{OIF}$  为二噁英类经口摄入农畜水产品途径的终生致癌超额风险度，无量纲；

$OER_{ca-f}$  为经口摄入农畜水产品途径的日均暴露量[ng TEQ / (kg·d)]；

$SF_o$  为二噁英类（以 2,3,7,8-TCDD 计）经口摄入致癌斜率因子[ $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ ]。

（b）二噁英类经口摄入土壤（尘）途径的致癌风险公式(4)计算：

$$R_{OIS} = OER_{ca-s} \times SF_o \times 10^{-6} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

$R_{OIS}$  为二噁英类经口摄入土壤（尘）途径的终生致癌超额风险度，无量纲；

$OER_{ca-s}$  为摄入土壤（尘）的日均暴露量[ng TEQ / (kg·d)]。

#### 8.2.1.3 经皮肤接触途径

（a）二噁英类经皮肤接触土壤（尘）途径的致癌风险公式(5)计算：

$$R_{DCS} = DER_{ca-s} \times SF_d \times 10^{-6} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

$R_{DCS}$  为二噁英类经皮肤接触土壤（尘）途径的终生致癌超额风险度，无量纲；

$DER_{ca-s}$  为二噁英类经皮肤接触土壤（尘）途径的日均暴露量[ng TEQ / (kg·d)]；

$SF_d$  为二噁英类（以 2,3,7,8-TCDD 计）皮肤接触致癌斜率因子[ $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ ]。

### 8.2.2 二噁英类单一途径非致癌风险

#### 8.2.2.1 经呼吸道吸入途径

二噁英类吸入空气的非致癌风险公式(6)计算：

$$HQ_{IIA} = \frac{IER_{nc-a}}{RfD_i \times 10^6} \dots\dots\dots(6)$$

式中：

$HQ_{IIA}$  为二噁英类经呼吸吸入空气途径的危害商，无量纲；

$IER_{nc-a}$  为经呼吸吸入空气的暴露量[ng TEQ / (kg·d)];

$RfD_i$  为二噁英类（以 2,3,7,8-TCDD 计）呼吸吸入参考剂量[mg/(kg·d)]。

### 8.2.2.2 经消化道摄入途径

(a) 二噁英类经口摄入农畜水产品的非致癌风险公式(7)计算:

$$HQ_{OIF} = \frac{OER_{nc-f}}{RfD_o \times 10^6} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

$HQ_{OIF}$  为二噁英类经口摄入农畜水产品途径的危害商, 无量纲;

$OER_{nc-f}$  为经口摄入农畜水产品途径的日均暴露量[ng TEQ / (kg·d)];

$RfD_o$  为二噁英类（以 2,3,7,8-TCDD 计）经口摄入参考剂量[mg/(kg·d)]。

(b) 二噁英类经口摄入土壤（尘）途径的非致癌风险公式(8)计算:

$$HQ_{OIS} = \frac{OER_{nc-s}}{RfD_o \times 10^6} \dots\dots\dots(8)$$

式中:

$HQ_{OIS}$  为二噁英类经口摄入土壤（尘）途径的危害商, 无量纲;

$OER_{nc-s}$  为摄入土壤（尘）的日均暴露量[kg/(kg·d)]。

### 8.2.2.3 经皮肤接触途径

二噁英类经皮肤接触土壤（尘）途径的非致癌风险公式(9)计算:

$$HQ_{DCS} = \frac{DER_{nc-s}}{RfD_d \times 10^6} \dots\dots\dots(9)$$

式中:

$HQ_{DCS}$  为二噁英类经皮肤接触土壤（尘）途径的危害商, 无量纲;

$DER_{nc-s}$  为经皮肤接触土壤（尘）途径的日均暴露量[kg/(kg·d)];

$RfD_d$  为二噁英类（以 2,3,7,8-TCDD 计）皮肤接触参考剂量[mg/(kg·d)]。

## 8.3 二噁英类多途径暴露的风险计算

### 8.3.1 二噁英类多途径暴露的致癌风险

二噁英类经多途径暴露的致癌风险计算见公式(10):

$$R_{total} = R_{IIA} + R_{OIF} + R_{OIS} + R_{DCS} \dots\dots\dots(10)$$

式中:

$R_{total}$  为二噁英类多途径暴露的终生致癌超额风险度。

### 8.3.2 二噁英类多途径暴露的非致癌风险

二噁英类经多途径暴露的非致癌风险计算见公式(11):

$$HQ_{total} = HQ_{IIA} + HQ_{OIF} + HQ_{OIS} + HQ_{DCS} \dots\dots\dots(11)$$

式中:

$HQ_{total}$  为二噁英类多途径暴露的危害商。

## 8.4 不确定性分析

不确定性分析参照 HJ 1111 中规定的方法, 采用定性描述和定量分析危害识别、危害表征、暴

露评估和风险估计过程中的不确定性。其中，定量不确定性分析参照 GB/T 27921 中规定的蒙特卡洛模拟方法。

## 8.5 评估结论

结合风险评估的环境管理需求，根据风险可接受水平判定标准，给出风险可接受或不可接受的结论。本标准规定可接受致癌和非致癌风险水平为(小于或等于) $10^{-6}$ 和（小于或等于）1 为风险可接受水平的判定标准。

当环境健康风险不可接受或不能满足环境管理需求的，应说明存在的重大环境健康风险及其关键环节。

## 9 报告编制

报告主要包括评估目的、评估范围、数据来源、评估方法、评估结果、质量控制和不确定性分析、评估结论等部分。当环境健康风险不可接受需求时，应提出风险管控建议。

## 附 录 A

(资料性)

## 二噁英类的基本信息和理化性质

序号	英文名	中文名	CAS	分子量	熔点/°C	沸点/°C	蒸气压/Pa	溶解度/mol L <sup>-1</sup>	log K <sub>ow</sub>
1	2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-P-dioxin	2,3,7,8-四氯代二苯并二噁英	1746-01-6	321.98	305	446	2.0×10 <sup>-7</sup>	3.4×10 <sup>-8</sup>	6.96
2	1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-P-dioxin	1,2,3,7,8-五氯代二苯并二噁英	40321-76-4	356.42	240	465	5.8×10 <sup>-8</sup>	7.8×10 <sup>-9</sup>	7.50
3	1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzo-P-dioxin	1,2,3,4,7,8-六氯代二苯并二噁英	39227-28-6	390.87	273	488	5.1×10 <sup>-9</sup>	2.6×10 <sup>-9</sup>	7.94
4	1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo-P-dioxin	1,2,3,6,7,8-六氯代二苯并二噁英	57653-85-7	390.87	2285	488	4.8×10 <sup>-9</sup>	2.2×10 <sup>-9</sup>	7.98
5	1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzo-P-dioxin	1,2,3,7,8,9-六氯代二苯并二噁英	19408-74-3	390.87	243	488	6.5×10 <sup>-9</sup>	1.6×10 <sup>-9</sup>	8.02
6	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-P-dioxin	1,2,3,4,6,7,8-七氯代二苯并二噁英	35822-46-9	425.31	264	507	7.5×10 <sup>-10</sup>	6.8×10 <sup>-10</sup>	8.40
7	1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzo-p-dioxin	1,2,3,4,6,7,8,9-八氯二苯并-对二噁英	3268-87-9	460.76	325	510	1.1×10 <sup>-10</sup>	2.5×10 <sup>-10</sup>	8.75
8	2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofuran	2,3,7,8-四氯代二苯并呋喃	51207-31-9	305.98	227	438	2.0×10 <sup>-6</sup>	1.3×10 <sup>-7</sup>	6.46
9	1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofuran	1,2,3,7,8-五氯代二苯并呋喃	57117-41-6	340.42	225	465	2.3×10 <sup>-7</sup>	3.2×10 <sup>-8</sup>	6.99
10	2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofuran	2,3,4,7,8-五氯代二苯并呋喃	57117-31-4	340.42	196	465	3.5×10 <sup>-7</sup>	2.1×10 <sup>-8</sup>	7.11
11	1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofuran	1,2,3,4,7,8-六氯代二苯并呋喃	70648-26-9	374.87	256	488	3.2×10 <sup>-8</sup>	7.1×10 <sup>-9</sup>	7.53
12	1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofuran	1,2,3,6,7,8-六氯代二苯并呋喃	57117-44-9	374.87	232	488	2.9×10 <sup>-8</sup>	6.0×10 <sup>-9</sup>	7.57
13	2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofuran	2,3,4,6,7,8-六氯代二苯并呋喃	60851-34-5	374.87	246	488	2.4×10 <sup>-8</sup>	4.2×10 <sup>-9</sup>	7.65
14	1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofuran	1,2,3,7,8,9-六氯代二苯并呋喃	72918-21-9	374.87	239	488	2.6×10 <sup>-8</sup>	2.3×10 <sup>-9</sup>	7.76
15	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofuran	1,2,3,4,6,7,8-七氯代二苯并呋喃	67562-39-4	409.31	236	507	4.7×10 <sup>-8</sup>	1.7×10 <sup>-9</sup>	8.01
16	1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofuran	1,2,3,4,7,8,9-七氯二苯并呋喃	55673-89-7	409.31	221	507	6.2×10 <sup>-8</sup>	6.3×10 <sup>-10</sup>	8.23
17	1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzofuran	1,2,3,4,6,7,8,9-八氯代二苯并呋喃	39001-02-0	444.76	258	537	5.0×10 <sup>-10</sup>	2.3×10 <sup>-10</sup>	8.60

## 附录 B

(规范性)

## 暴露评估推荐模型

## B.1 经呼吸道吸入途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害。吸入空气的暴露剂量  $IER_{ca-a}$  [ng TEQ / (kg·d)] 可通过下式计算：

$$IER_{ca-a} = \frac{DAIR_{ch} \times C_{air} \times f_r \times tf}{BW_{ch}} + \frac{DAIR_{ad} \times C_{air} \times f_r \times tf}{BW_{ad}} \dots\dots\dots B.1$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露的危害。吸入室内空气的暴露剂量  $IER_{nc-a}$  [ng TEQ / (kg·d)] 可通过下式计算：

$$IER_{nc-a} = \frac{DAIR_{ch} \times C_{air} \times f_r \times tf}{BW_{ch}} \dots\dots\dots B.2$$

式中：

$ad, ch$ —分别代表成人和儿童；

$C_{air}$ —环境空气中二噁英类总量，pg TEQ/m<sup>3</sup>；

$DAIR$ —每日空气呼吸量，m<sup>3</sup>/d；

$f_r$ —污染物停留在肺泡中的分数；

$tf$ —人群暴露的时间分数；

$BW$ —人体的体重，kg。

## B.2 经消化道摄入途径

## B.2.1 经口摄入农畜水产品的暴露剂量

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害。摄入农畜水产品的暴露剂量  $OER_{ca-f}$  [ng TEQ / (kg·d)] 可通过下式计算：

$$OER_{ca-f} = \frac{C_{mi} \times Q_{mi,ch} \times f_{mi} + C_{fv} \times Q_{fv,ch} \times f_{fv} + C_{me} \times Q_{me,ch} \times f_{me}}{BW_{ch}} + \frac{C_{mi} \times Q_{mi,ad} \times f_{mi} + C_{fv} \times Q_{fv,ad} \times f_{fv} + C_{me} \times Q_{me,ad} \times f_{me}}{BW_{ad}} \dots\dots\dots B.3$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露的危害。摄入农畜水产品的暴露剂量  $OER_{nc-f}$  [ng TEQ / (kg·d)] 可通过下式计算：

$$OER_{nc-f} = \frac{C_{mi} \times Q_{mi,ch} \times f_{mi} + C_{fv} \times Q_{fv,ch} \times f_{fv} + C_{me} \times Q_{me,ch} \times f_{me}}{BW_{ch}} \dots\dots\dots B.4$$

式中：

$ad, ch$ —分别代表成人和儿童；

$C_{mi}, C_{fv}, C_{me}$ —分别为牛奶、新鲜蔬菜、肉类中二噁英类总量，ng TEQ/kg；

$Q_{mi}, Q_{fv}, Q_{me}$ —分别为牛奶、新鲜蔬菜、肉类的日均摄入量，m<sup>3</sup>/d；

$f_{mi}, f_{fv}, f_{me}$ —分别为牛奶、新鲜蔬菜、肉类中污染物停留在肺泡中的分数；

$BW$ —人体的体重，kg。

## B.2.2 经口摄入土壤（尘）的暴露剂量

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害。摄入土壤（尘）中污染物的日均暴露量  $OER_{ca-s}$  [ng TEQ / (kg · d)]可通过下式计算：

$$OER_{ca-s} = \frac{0.24Der_{o,ch}f_mSA_{o,ch}tf_{so,ch}C_{soil} + 0.24Der_{i,ch}f_mSA_{i,ch}tf_{si,ch}C_{dust}}{BW_{ch}} + \frac{0.24Der_{o,ad}f_mSA_{o,ad}tf_{so,ad}C_{soil} + 0.24Der_{i,ad}f_mSA_{i,ad}tf_{si,ad}C_{dust}}{BW_{ad}} \dots\dots\dots B.5$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露的危害。摄入土壤（尘）中污染物的日均暴露量  $OER_{nc-s}$  [ng TEQ / (kg · d)]可通过下式计算：

$$OER_{ca-s} = \frac{0.24Der_{o,ch}f_mSA_{o,ch}tf_{so,ch}C_{soil} + 0.24Der_{i,ch}f_mSA_{i,ch}tf_{si,ch}C_{dust}}{BW_{ch}} \dots\dots\dots B.6$$

式中：

$C_{soil}$ ,  $C_{dust}$ —分别为土壤、灰尘中二噁英类总量，ng TEQ/kg；

$Der_o$ —室外皮肤灰尘覆盖量，kg/cm<sup>2</sup>；

$Der_i$ —室内皮肤灰尘覆盖量，kg/cm<sup>2</sup>；

$f_m$ —矩阵因子，无量纲；

$SA_o$ —手臂和手暴露面积，m<sup>2</sup>；

$SA_i$ —手暴露面积，m<sup>2</sup>；

$tf_{si}$ —室内暴露时间比率，无量纲；

$tf_{so}$ —室外暴露时间比率，无量纲；

## B.3 经皮肤接触途径

### B.3.1 经皮肤接触的暴露剂量

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害。皮肤接触土壤（尘）中污染物的日均暴露量  $DER_{ca-s}$  [ng TEQ / (kg · d)]：

$$DER_{ca-s} = \frac{Ing_{q,ch}[\frac{24}{24-t_{s,ch}}]tf_{so,ch}C_{soil} + Ing_{q,ch}[\frac{24}{24-t_{s,ch}}]tf_{si,ch}C_{dust}}{BW_{ch}} + \frac{Ing_{q,ad}[\frac{24}{24-t_{s,ad}}]tf_{so,ad}C_{soil} + Ing_{q,ad}[\frac{24}{24-t_{s,ad}}]tf_{si,ad}C_{dust}}{BW_{ad}} \dots\dots\dots B.7$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露的危害。皮肤接触土壤（尘）中污染物的日均暴露量  $DER_{nc-s}$  [ng TEQ / (kg · d)]：

$$DER_{nc-s} = \frac{Ing_{q,ch}[\frac{24}{24-t_{s,ch}}]tf_{so,ch}C_{soil} + Ing_{q,ch}[\frac{24}{24-t_{s,ch}}]tf_{si,ch}C_{dust}}{BW_{ch}} \dots\dots\dots B.8$$

式中：

$Ing_{q}$ —每日土壤（尘）摄入量，mg /d；

$t_s$ —每日睡眠时间，h；

$tf_{so}$ —室外暴露时间比率，无量纲；

$tf_{si}$ —室内暴露时间比率，无量纲；

$C_{soil/dust}$ —土壤（尘）二噁英类总量（平均值）。

附 录 C

（资料性）

风险评估模型参数及推荐值

参数符号	参数名称	单位	推荐值
$DAIR_{ch}$	儿童每日空气呼吸量	$m^3 \cdot d^{-1}$	7.5
$DAIR_{ad}$	成人每日空气呼吸量	$m^3 \cdot d^{-1}$	14.5
$f_r$	污染物停留在肺泡中的分数	无量纲	0.75
$tf$	人群暴露的时间分数	无量纲	1
$BW_{ch}$	儿童体重	kg	19.2
$BW_{ad}$	成人体重	kg	61.8
$f_{mi-ch}$	儿童摄入的牛奶来自污染源的比例	无量纲	1
$f_{mi-ad}$	成人摄入的牛奶来自污染源的比例	无量纲	1
$Q_{mi,ch}$	儿童牛奶摄入量	$L \cdot d^{-1}$	0.5
$Q_{mi,ad}$	成人	$L \cdot d^{-1}$	0.3
$f_{fv-ch}$	儿童摄入的新鲜蔬菜来自污染源的比例	无量纲	1
$f_{fv-ad}$	成人摄入的新鲜蔬菜来自污染源的比例	无量纲	1
$Q_{fv,ch}$	儿童新鲜蔬菜摄入量	$kg \cdot d^{-1}$	0.15
$Q_{fv,ad}$	成人新鲜蔬菜摄入量	$kg \cdot d^{-1}$	0.345
$f_{me-ch}$	儿童摄入的肉类（含鸡蛋）来自污染源的比例	无量纲	1
$f_{me-ad}$	成人摄入的肉类（含鸡蛋）来自污染源的比例	无量纲	1
$Q_{me,ch}$	儿童肉类（含鸡蛋）摄入量	$kg \cdot d^{-1}$	0.07
$Q_{me,ad}$	成人肉类（含鸡蛋）摄入量	$kg \cdot d^{-1}$	0.14
$Ing_{q-ch}$	儿童每日土壤摄入量	$kg \cdot d^{-1}$	$2 \times 10^{-5}$
$Ing_{q-ad}$	成人每日土壤摄入量	$kg \cdot d^{-1}$	$1 \times 10^{-5}$
$SA_{o-ch}$	儿童手臂和手暴露面积	$m^2$	0.28
$SA_{o-ad}$	成人手臂和手暴露面积	$m^2$	0.17
$SA_{i-ch}$	儿童手暴露面积	$m^2$	0.05
$SA_{i-ad}$	成人手暴露面积	$m^2$	0.9
$Der_{o-ch}$	儿童室外皮肤灰尘覆盖量	$kg/cm^2$	0.0051
$Der_{o-ad}$	成人室外皮肤灰尘覆盖量	$kg/cm^2$	0.0357
$Der_{i-ch}$	儿童室内皮肤灰尘覆盖量	$kg/cm^2$	$5.6 \times 10^{-4}$
$Der_{i-ad}$	成人室内皮肤灰尘覆盖量	$kg/cm^2$	$5.6 \times 10^{-4}$
$tf_{so-ch}$	儿童室外暴露的时间分数	无量纲	0.151
$tf_{so-ad}$	成人室外暴露的时间分数	无量纲	0.158
$tf_{si-ch}$	儿童室内暴露的时间分数	无量纲	0.306
$tf_{si-ad}$	成人室内暴露的时间分数	无量纲	0.458
$ts-ch$	每日睡眠时间	h	8
$ts-ad$	每日睡眠时间	h	8

fm	矩阵因子	无量纲	0.15
$URF_{2,3,7,8-TCDD}$	2,3,7,8-TCDD 呼吸吸入单位风险因子	$(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$	3.8E+04
$SF_{0-2,3,7,8-TCDD}$	2,3,7,8-TCDD 经口摄入致癌斜率因子	$[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]^{-1}$	1.3E+05
$RfDo$	经口摄入参考剂量	$[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]$	7.00E-06
$RfC$	呼吸吸入参考浓度	$\text{mg}/\text{m}^3$	4.00E-08
$ABS_{gi}$	消化道吸收因子	无量纲	1
$ABS_d$	皮肤吸收效率因子	无量纲	0.03

### C.1 呼吸吸入致癌斜率因子和参考剂量外推模型公式

呼吸吸入致癌斜率因子 ( $SF_i$ ) 和呼吸吸入参考剂量 ( $RfD_i$ ), 分别采用公式 (C.1) 和公式 (C.2) 计算:

$$SF_i = \frac{IUR \times BW_a}{IR_{a-a}} \dots\dots\dots \text{C.1}$$

$$RfD_i = \frac{RfC_i \times IR_{a-a}}{BW_a} \dots\dots\dots \text{C.2}$$

公式 (C.1) 和公式 (C.2) 中:

$SF_i$ —二噁英类 (以 2,3,7,8-TCDD 计) 呼吸吸入致癌斜率因子  $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]^{-1}$ ;

$RfD_i$ —二噁英类 (以 2,3,7,8-TCDD 计) 呼吸吸入参考剂量  $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]$ ;

$IUR$ —二噁英类 (以 2,3,7,8-TCDD 计) 呼吸吸入单位致癌因子  $(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$ ;

$RfC$ —二噁英类 (以 2,3,7,8-TCDD 计) 呼吸吸入参考浓度  $(\text{mg}/\text{m}^3)$ ;

$IR_{a-a}$ —成人每日空气呼吸量,  $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ , 推荐值见附录 C 表 C.1;

$BW$  的参数含义见公式 (B.1)。

### C.2 皮肤接触致癌斜率因子和参考剂量外推模型公式

皮肤接触致癌斜率系数和参考剂量分别采用公式 (C.3) 和公式 (C.4) 计算:

$$SF_d = \frac{SF_o}{ABS_{gi}} \dots\dots\dots \text{C.3}$$

$$RfD_d = RfD_o \times ABS_{gi} \dots\dots\dots \text{C.4}$$

公式 (C.3) 和公式 (C.4) 中:

$SF_d$ —二噁英类 (以 2,3,7,8-TCDD 计) 皮肤接触致癌斜率因子  $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]^{-1}$ ;

$RfD_d$ —二噁英类 (以 2,3,7,8-TCDD 计) 皮肤接触参考剂量  $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]$ ;

$SF_o$ —二噁英类 (以 2,3,7,8-TCDD 计) 经口摄入致癌斜率因子  $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]^{-1}$ ;

$RfD_o$ —二噁英类 (以 2,3,7,8-TCDD 计) 经口摄入参考剂量  $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]$ ;

$ABS_{gi}$ —消化道吸收效率因子, 无量纲。



附 录 D  
(规范性)  
二噁英类的毒性当量因子

名称		TEF
PCDD	2,3,7,8-TCDD	1
	1,2,3,7,8-PeCDD	1
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01
	OCDD	0.001
PCDF	2,3,7,8-TCDF	0.1
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.5
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01
	OCDF	0.001