

中国环境科学学会标准

发布公告

2021 年 第 18 号（总第 36 号）

根据《中国环境科学学会标准管理办法》的相关规定，
现批准《区域环境污染健康风险评估技术导则》（T/CSES
36-2021）标准，并予发布。

以上标准自 2021 年 9 月 30 日起实施。

特此公告。



团 体 标 准

T/CSES 36—2021

区域环境污染健康风险评估技术导则

Technical guidelines for health risk assessment of regional
environmental pollution

2021-09-30 发布

2021-09-30 实施

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 评估程序 2

5 评估方案制定 4

6 数据收集与评估 4

7 暴露评估 5

8 危害评估 6

9 风险表征 6

10 评估报告编制 8

附录 A（规范性） 推荐暴露评估模型及参数赋值 9

附录 B（资料性） 特征污染物健康效应与毒性参数 13

附录 C（规范性） 毒性参数推导方法 28

参考文献 29

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由生态环境部华南环境科学研究所提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：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。

本文件主要起草人：于云江、向明灯、于紫玲、凌海波、易川、张景鑫、李苇苇、向荟圯、刘芬、向罗京、汤国锋、姜伟、朱晓辉、郑晶。

区域环境污染健康风险评估技术导则

1 范围

本文件规定了区域环境污染健康风险评估的程序、内容、方法及技术要求。

本文件适用于区域环境中化学性污染物慢性暴露的健康风险评估。

本文件不适用于放射性物质、致病性生物污染的健康风险评估，以及化学性污染物急性暴露的健康风险评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 27921 风险管理 风险评估技术

HJ 2.2 环境影响评价技术导则 大气环境

HJ 2.3 环境影响评价技术导则 地表水环境

HJ 25.3—2019 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境

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 1111 生态环境健康风险评估技术指南 总纲

《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

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

区域环境污染 regional environmental pollution

在一个或多个行政或地理区域内，由于人类的工业生产或其它各类社会活动排放的有害物质数量或程度达到或超出自然环境承载力，从而改变环境正常状态的现象。

3.2

健康风险特征污染物 characteristic pollutants of health risk

在区域环境内，从众多环境污染物中筛选出的具有潜在污染源，人群暴露途径明确、暴露水平高、健康危害大的环境污染物。

3.3

不确定性分析 uncertainty analysis

识别健康风险评估全过程不确定性的来源，并对数据收集与评估、暴露评估、危害评估和风险表征过程中不确定性进行定性描述或定量分析。

3.4

不确定系数 uncertainty factor

在推导毒性参数过程中，为减少由动物实验资料外推至人的不确定性、人群毒性资料本身所包含的不确定性，以及数据质量因素等引起的不确定性而设置的转换系数。

4 评估程序

环境污染健康风险评估主要包括评估方案制定、数据收集与评估、暴露评估、危害评估和风险表征。区域环境污染健康风险评估程序见图 1。

- a) 评估方案制定。在开展区域环境污染健康风险评估前，风险评估人员应制定系统完整的评估方案，确定评估目的、评估范围、数据获取方法、评估内容及要求等；
- b) 数据收集与评估。主要采取资料收集和现场调查两种方式，获取评估区域基本资料、环境污染的空间分布和影响程度、重点关注目标人群和健康风险特征污染物等基础数据；
- c) 暴露评估。对人群暴露于环境介质中健康风险特征污染物的时间、频率和暴露量进行测量、估算或预测的过程，包括确定区域多介质环境中污染物质的浓度、暴露途径以及可能受影响的人群；
- d) 危害评估。危害评估包括危害识别和危害表征。危害识别是对现有毒理学资料和流行病学资料的充分分析，确认评估污染物导致的健康危害特性；危害表征是对污染物暴露和健康相关终点关系的分析，也是对危害识别中确定的健康效应终点在人群中发生的定量评估；
- e) 风险表征。综合暴露评估、危害识别和危害表征结果，定量计算健康风险大小并分析不确定性。

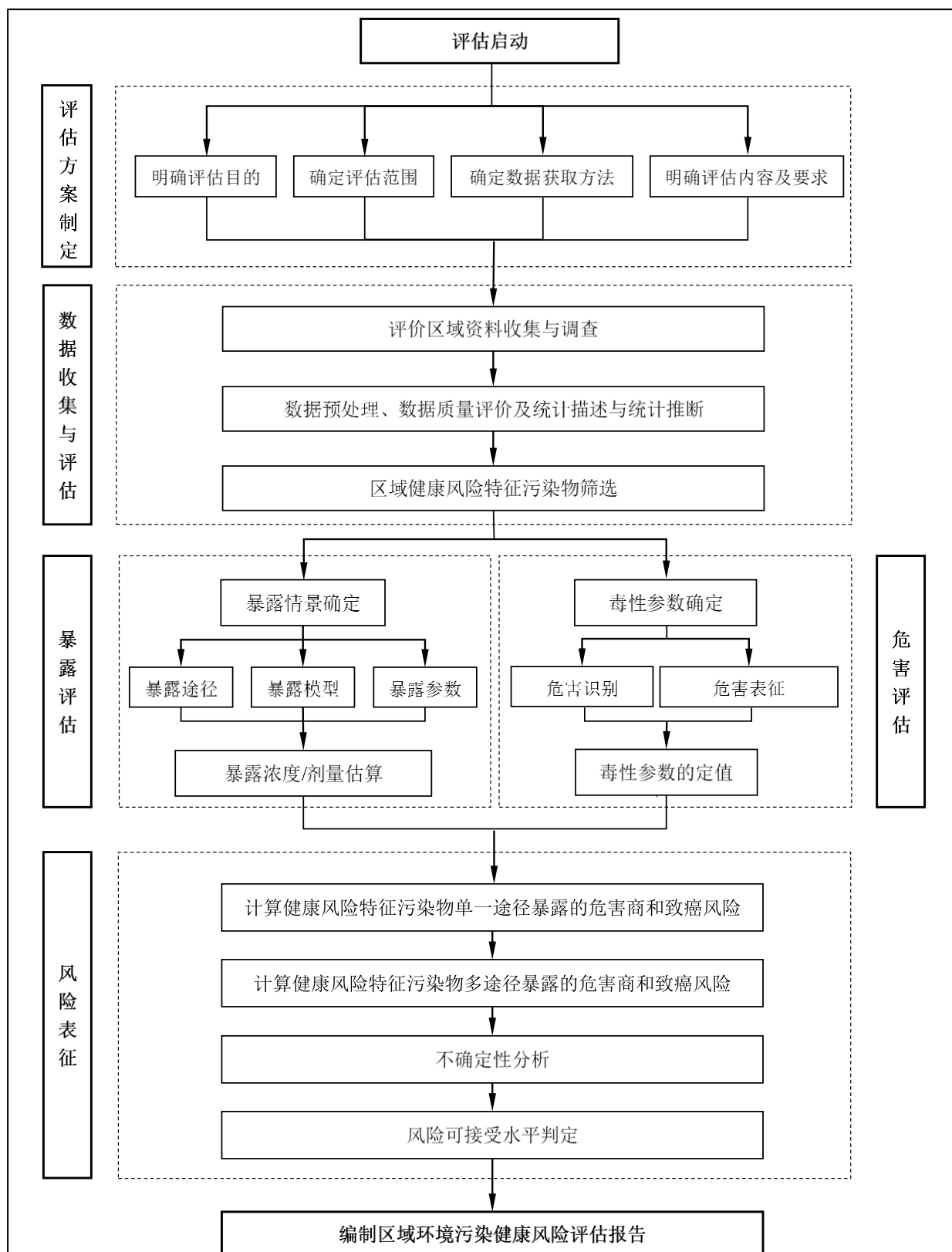


图1 区域环境污染健康风险评估程序

5 评估方案制定

评估方案制定主要包括明确评估目的、确定评估范围、确定数据获取方法、明确评估内容及要求，并制定系统完整的评估方案：

- a) 明确评估目的。开展区域环境污染健康风险评估前，评估人员应与风险管理者和利益相关方充分沟通，明确评估所要支撑的工作目标或管理需求；
- b) 确定评估范围。基于不同评估目的，确定区域环境污染健康风险评估的评估范围，包括评估空间范围和时间范围、重点关注环境污染物、目标人群等，具体要求按照 HJ 1111 执行；
- c) 确定数据获取方法。根据评估目的及评估范围，确定环境数据、暴露数据及毒性数据的获取方法。评估时应充分利用现有数据资料，必要时开展现场调查和实验研究；
- d) 明确评估内容及要求。结合待评估的行政或地理区域内环境污染概况及人群暴露特征，明确数据收集与评估、暴露评估、危害评估和风险表征各过程的工作内容和方法、技术路线、质量控制和质量保证措施，制定区域环境污染健康风险评估方案；
- e) 确定评估方案。在确定上述内容基础上，充分征求风险管理者和利益相关方的意见，必要时可组织专家咨询论证，确定最终评估方案。

6 数据收集与评估

6.1 数据收集与评估的工作内容

数据收集与评估的工作内容包括资料收集与调查、数据评估及健康风险特征污染物筛选。

6.2 资料收集与调查

6.2.1 基本资料

评估区域基本资料的收集包括自然条件、社会经济资料、环境资料、健康资料等：

- a) 自然条件包括地理位置、地形、地貌、地质、土壤、水文和气象等；
- b) 社会经济资料包括人口构成和分布、经济社会发展状况、土地利用等；
- c) 环境资料包括污染源排放特征、污染程度及其影响范围、污染物类型、主要污染物种类、影响污染物迁移转化的环境因素等；
- d) 健康资料包括居民健康档案、疾病监测、卫生统计年鉴及环境污染健康影响调查报告等。

6.2.2 环境监测或调查数据

6.2.2.1 环境监测数据收集主要包括环境现状或历史质量监测数据，以及由政府机关和权威机构所保存和发布的其他资料，如环境质量公报等。

6.2.2.2 当现有环境监测数据不足以支持环境污染健康风险评估时，则开展环境与健康现场调查或监测。调查或监测时需明确重点关注区域、环境介质、污染类型等内容，具体要求可按照 HJ 839 执行。其中，重点关注区域应根据区域主要排放源及其可能的影响范围、暴露人群分布等确定；重点关注环境介质应包括目前受污染的介质和通过迁移途径可能受污染物的介质；重点关注污染类型可分为重金属污染、有机物污染或复合污染三种类型。

6.2.3 模型预测数据

6.2.3.1 当现有环境监测或调查数据不充分时，可采用模型预测数据作为评估数据的补充。模型预测数据的获取主要通过收集污染源排放及环境质量相关信息，选择合适的环境归趋模型模拟环境污染物的迁移转化，计算不同环境介质中污染物的时空分布。

6.2.3.2 环境归趋模拟宜尽量选用通用、成熟的方法，目前使用较多的方法主要有数学模式法、物理模式法等，如 HJ 2.2、HJ 2.3、HJ 610 推荐的相关大气、地表水、地下水中污染物的迁移扩散模拟模型数据。

6.2.4 暴露相关基础数据

收集人群分布、时间-活动模式等基础数据，分析人群暴露环境污染物的方式与特点，初步识别环境污染物人群暴露途径，一般包括呼吸吸入、经口摄入和皮肤接触三种途径。

6.3 数据评估

数据评估包括数据预处理、数据质量评价及统计描述与统计推断等，具体方法可按照《环境与健康横断面调查数据统计分析技术指南》要求执行。

6.4 健康风险特征污染物筛选

根据区域环境污染调查与监测数据，初步确定目标污染物清单。在此基础上，综合考虑污染物的环境暴露情况、污染源及环境行为、健康危害程度等，筛选健康风险特征污染物：

- a) 环境暴露情况：选择检出率和环境暴露浓度较高的污染物；
- b) 污染源及环境行为：选择有潜在污染源并有较明确暴露途径的污染物，以及在环境中难降解，易于生物累积和具有环境持久性的污染物；
- c) 健康危害程度：选择国内外已公布的有毒有害污染物和优控污染物，以及其它毒性效应和健康危害较大的污染物。

7 暴露评估

7.1 暴露评估的工作内容

暴露评估的工作内容包括确定暴露人群和暴露途径、选择合适的暴露评估模型、确定暴露参数和评估暴露剂量。

7.2 暴露人群与暴露途径确定

开展区域环境污染健康风险评估时，应根据污染源排放特征、环境污染特征、人群分布及时间活动模式等，确定目标污染物的暴露人群与暴露途径，建立暴露情景。本文件规定了人群呼吸吸入、经口摄入及皮肤接触等不同环境介质中污染物的暴露途径，主要包括吸入环境空气/室内空气、经口摄入农畜水产品、经口摄入土壤/室内积尘、经口饮用地表水/地下水、皮肤接触土壤/室内积尘、皮肤接触地表水/地下水。

7.3 暴露模型选择

区域多介质环境中单一污染物不同暴露途径的暴露模型及选择如下：

- a) 经呼吸道吸入途径
对于单一污染物，暴露人群可经呼吸道吸入室内（外）空气中的污染物，计算污染物暴露浓度的推荐模型见附录 A 中的公式（A.1）。
- b) 经消化道摄入途径
对于单一污染物，暴露人群可经消化道摄入食物、饮用水（地表水、地下水）、土壤（尘）中的污染物，计算污染物暴露剂量的推荐模型见附录 A 中公式（A.2）、公式（A.3）、公式（A.4）。
- c) 经皮肤接触途径
对于单一污染物，暴露人群可经皮肤（日常洗澡、清洁、游泳等方式）接触地表（下）水中的污染物，也可经皮肤直接接触土壤（尘）中的污染物，计算污染物暴露剂量的推荐模型见附录 A 中的公式（A.5）、公式（A.6）。

7.4 暴露参数确定

暴露参数包括人体特征（如体重、期望寿命等）、时间-活动行为参数（如室内外停留时间）和摄入率参数（如呼吸速率、饮水摄入率等）。暴露参数主要获取方式和取值优先顺序按照 HJ 875 和 HJ 1111 相关要求执行。

7.5 暴露浓度或剂量估算

采用附录 A 推荐暴露模型，对暴露浓度或剂量进行估算。

8 危害评估

8.1 危害评估的工作内容

危害评估的工作内容包括危害识别和危害表征。

8.2 危害识别

8.2.1 危害识别阶段需要收集的资料主要包括流行病学调查数据、体内实验数据、体外实验数据及构效关系数据等，然后对资料进行分析、整理和综合。

8.2.2 通过毒理学、流行病学等最新研究成果，识别区域环境中健康风险特征污染物可能的健康危害或毒性效应（如急性毒性、皮肤腐蚀或刺激、严重眼损伤或眼刺激、呼吸道或皮肤致敏、生殖细胞致突变性、致癌性、生殖毒性、神经毒性、免疫毒性、发育毒性等）、效应终点（如死亡、疾病、生理功能改变或生化代谢的改变等）及可能的作用模式或机制。集成人体证据、动物证据和作用机制证据等不同证据链的信息，对目标污染物与每一种可能的健康危害或毒性效应间的因果关联做出总体判断。具体要求可按照 HJ 1111 执行。部分污染物的健康效应特征资料见附录 B 中的表 B.1。

8.3 危害表征

8.3.1 基于危害识别，建立目标环境污染物暴露与有害效应之间的剂量-反应（效应）关系，确定毒性参数。

8.3.2 对于非致癌污染物的毒性参数，采用参考剂量（RfD）或参考浓度（RfC）表示。对于致癌污染物的毒性参数，采用致癌斜率因子（SF）或单位风险因子（IUR）表示。毒性参数的确定优先采用国内外公开数据库的推荐值（参见附录 B.2）。

8.3.3 对于国内外现有毒性数据库中毒性参数缺乏的污染物，或者有毒性参数但需进一步更新的污染物，可采用附录 C 推荐方法对其毒性参数进行推导，推导步骤及技术要求按照 HJ 1111 执行。参考剂量的推导推荐采用 NOAEL/LOAEL 或 BMD 法，具体推导过程见 C.1；致癌斜率因子的推导主要利用动物毒理学资料和流行病学资料进行估算，具体推导过程见 C.2。

9 风险表征

9.1 风险表征的工作内容

9.1.1 风险表征的工作内容包括：单一途径暴露的致癌和非致癌风险计算、多途径暴露的致癌和非致癌风险计算以及风险判定和不确定性分析。

9.1.2 对于致癌性评价证据充分的污染物，评估其致癌风险，存在非致癌健康效应的同时需评估其非致癌风险；对于致癌性评价证据不充分的污染物，仅评估其非致癌风险。

9.2 单一途径暴露的风险计算

9.2.1 非致癌风险

9.2.1.1 呼吸吸入途径

对有阈污染物，通过呼吸吸入途径暴露的非致癌风险用危害商进行描述，按照公式（1）计算：

$$HQ_{inh} = \frac{EC_{inh}}{RfC \times 1000} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

HQ_{inh} ——污染物呼吸吸入途径的危害商, 无量纲;

EC_{inh} ——污染物暴露浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

RfC ——污染物暴露的呼吸吸入参考浓度, mg/m^3 。

9.2.1.2 经口摄入和皮肤接触途径

对有阈污染物, 通过经口摄入和皮肤接触途径暴露的非致癌风险用危害商进行描述, 按照公式(2)计算:

$$HQ_i = \frac{ADD_i}{RfD_i} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

HQ_i ——污染物暴露 i 途径的危害商, 无量纲;

ADD_i ——污染物暴露 i 途径的日均暴露剂量, $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$;

RfD_i ——污染物暴露 i 途径的参考剂量, $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 。

9.2.2 致癌风险

9.2.2.1 呼吸吸入途径

对无阈污染物, 通过呼吸吸入暴露的致癌风险按照公式(3)计算:

$$R_{inh} = EC_{inh} \times IUR \dots\dots\dots (3)$$

式中:

R_{inh} ——污染物呼吸吸入途径的终生超额致癌风险, 无量纲;

EC_{inh} ——污染物暴露浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

IUR ——污染物暴露的呼吸吸入单位风险因子, $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ 。

9.2.2.2 经口摄入和皮肤接触途径

对无阈污染物, 通过经口摄入或皮肤接触途径暴露的致癌风险按照公式(4)计算:

$$R_i = ADD_i \times SF_i \dots\dots\dots (4)$$

式中:

R_i ——污染物暴露 i 途径的终生超额致癌风险, 无量纲;

ADD_i ——污染物的日均暴露剂量, $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$;

SF_i ——致癌斜率因子, $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]^{-1}$ 。

9.3 多途径暴露的风险计算

9.3.1 多途径暴露的非致癌风险

对有阈污染物, 通过多途径暴露的非致癌风险按照公式(5)计算:

$$HQ_{total} = HQ_{oral} + HQ_{inh} + HQ_{dermal} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

HQ_{total} ——多途径暴露的危害商;

HQ_{oral} ——呼吸吸入途径的危害商;

HQ_{inh} ——经口摄入途径的危害商;

HQ_{dermal} ——皮肤接触途径的危害商。

9.3.2 多途径暴露的致癌风险

对无阈污染物，通过多途径暴露的致癌风险按照公式（6）计算：

$$R_{\text{total}} = R_{\text{oral}} + R_{\text{inh}} + R_{\text{dermal}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

R_{total} ——多途径暴露的终生超额致癌风险；
 R_{oral} ——呼吸吸入途径的终生超额致癌风险；
 R_{inh} ——经口摄入途径的终生超额致癌风险；
 R_{dermal} ——皮肤接触途径的终生超额致癌风险。

9.4 不确定性分析

不确定性分析包括定性和定量分析，可按照 HJ 1111 要求进行。其中，定量不确定性分析按照 GB/T 27921 中规定的蒙特卡洛模拟方法等，敏感性分析按照 HJ 875 等规定的方法。定性的不确定性分析主要讨论不确定性的来源、数据的可靠性、假设的可靠性等。不确定性因素主要考虑以下几个方面：假设的不确定性、参数的不确定性、暴露情景的不确定性、模型的不确定性等方面。

9.5 评估结论

9.5.1 结合风险评估的生态环境管理需求，根据风险可接受水平，通过综合判断获得风险可接受或不可接受的结论。本文件规定单一污染物可接受危害商为 1，可接受致癌风险水平为 10^{-6} 。

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

10 评估报告编制

10.1 区域环境污染健康风险评估报告书应全面、真实地反映环境污染健康风险评估工作，文字应简洁、准确。原始数据、全部计算过程由评估单位归档备查，必要时可编入健康风险评估报告附录。

10.2 区域环境污染健康风险评估报告书应根据评估内容和评估方法进行编制，包括背景介绍（评估目的、范围、程序和方法）、数据收集与评估（资料收集与调查、数据评估、健康风险特征污染物筛选）、暴露评估、危害评估、风险表征、结论等章节。

附录 A (规范性) 推荐暴露评估模型及参数赋值

A.1 经呼吸道吸入途径

A.1.1 计算公式

吸入室内（外）空气中污染物的暴露浓度按照公式（A.1）计算：

$$EC_{inh} = \frac{C_{air} \times ET \times EF \times ED}{AT_{inh}} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

EC_{inh} ——吸入室内（外）空气中污染物的暴露浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

C_{air} ——空气中污染物浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

ET ——暴露时间，h/d；

EF ——暴露频率，d/a；

ED ——暴露持续时间，a；

AT_{inh} ——经呼吸道吸入平均暴露时间，h。

A.1.2 变量赋值

变量赋值如下：

- a) C_{air} ：实测值；
- b) ET ：指呼吸暴露时间，由时间活动模式确定；
- c) EF ：一般取值为 365 d/a；
- d) ED ：终生暴露赋值 70 年，其他依据实际情况赋值；
- e) AT_{inh} ：
 - 1) 非致癌效应平均暴露时间 $AT_{nc} = ED \times 365 \text{ d/a} \times 24 \text{ h}$ ；
 - 2) 致癌效应平均暴露时间 $AT_{ca} = 70 \text{ a} \times 365 \text{ d/a} \times 24 \text{ h}$ 。

A.2 经消化道摄入途径

A.2.1 经消化道摄入食物途径

A.2.1.1 计算公式

摄入食物中污染物的日均暴露剂量按照公式（A.2）计算：

$$ADD_{oral-food} = \frac{C_f \times IR_f \times FI \times EF_f \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$ADD_{oral-food}$ ——摄入食物中污染物的日均暴露剂量， $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ；

C_f ——食物中污染物浓度， mg/kg ；

IR_f ——食物摄入率， kg/meal ；

FI ——摄入的食物来自污染源的比例，无量纲；

EF_f ——食物暴露频率， meals/a ；

ED ——暴露持续时间，a；

BW ——体重，kg；

AT ——平均暴露时间，d。

A.2.1.2 变量赋值

变量赋值如下：

- a) C_f ：实测值；
- b) IR_f ：根据 7.4 要求确定；
- c) FI ：根据实际情况取值，取值范围为 0~1（缺省值为 1）；
- d) EF_f ：根据 7.4 要求确定；
- e) ED ：终生暴露赋值 70 年，其他依据实际情况赋值；
- f) BW ：根据 7.4 要求确定；
- g) AT ：
 - 1) 非致癌效应平均暴露时间 $AT_{nc} = ED \times 365 \text{ d/a}$ ；
 - 2) 致癌效应平均暴露时间 $AT_{ca} = 70 \text{ a} \times 365 \text{ d/a}$ 。

A.2.2 饮用地表（下）水途径

A.2.2.1 计算公式

摄入饮用水中污染物的日均暴露剂量按照公式（A.3）计算：

$$ADD_{oral-water} = \frac{C_w \times IR_w \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

$ADD_{oral-water}$ ——摄入饮用水中污染物的日均暴露剂量， $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ；
 C_w ——水中污染物浓度， mg/L ；
 IR_w ——饮水摄入率， L/d ；
 EF ——暴露频率， d/a ；
 ED ——暴露持续时间， a ；
 BW ——体重， kg ；
 AT ——平均暴露时间， d 。

A.2.2.2 变量赋值

变量赋值如下：

- a) C_w ：实测值；
- b) IR_w ：根据 7.4 要求确定；
- c) EF ：一般取值为 365 d/a ；
- d) ED ：终生暴露赋值 70 年，其他依据实际情况赋值；
- e) BW ：根据 7.4 要求确定；
- f) AT ：
 - 1) 非致癌效应平均暴露时间 $AT_{nc} = ED \times 365 \text{ d/a}$ ；
 - 2) 致癌效应平均暴露时间 $AT_{ca} = 70 \text{ a} \times 365 \text{ d/a}$ 。

A.2.3 经消化道摄入土壤（尘）途径

A.2.3.1 计算公式

摄入土壤（尘）中污染物的日均暴露剂量按照公式（A.4）计算：

$$ADD_{oral-soil} = \frac{C_s \times IR_s \times CF \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

$ADD_{oral-soil}$ ——摄入土壤（尘）中污染物的日均暴露剂量， $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ；

C_s	——土壤中污染物浓度, mg/kg;
IR_s	——土壤摄入率, mg/d;
CF	——转换因子, 10^{-6} kg/mg;
FI	——摄入的土壤(尘)来自污染源的比例, 无量纲;
EF	——暴露频率, d/a;
ED	——暴露持续时间, a;
BW	——体重, kg;
AT	——平均暴露时间, d。

A.2.3.2 变量赋值

变量赋值如下:

- C_s : 实测值;
- IR_s : 根据 7.4 要求确定 (USEPA 推荐 1~6 岁的暴露受体取值 200 mg/d, 大于 6 岁的暴露受体取值 100 mg/d);
- FI : 缺省值为 1;
- EF : 一般取值 365 d/a;
- ED : 终生暴露赋值 70 年, 其他依据实际情况赋值;
- BW : 根据 7.4 要求确定;
- AT :
 - 非致癌效应平均暴露时间 $AT_{nc} = ED \times 365$ d/a;
 - 致癌效应平均暴露时间 $AT_{ca} = 70$ a $\times$ 365 d/a。

A.3 经皮肤接触途径

A.3.1 皮肤接触土壤(尘)途径

A.3.1.1 计算公式

皮肤接触土壤(尘)中污染物的日均暴露剂量按照公式(A.5)计算:

$$ADD_{deraml-soil} = \frac{C_s \times CF \times SA_s \times AF \times ABS_d \times EF_s \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

$ADD_{deraml-soil}$	——皮肤接触土壤(尘)中污染物的日均暴露剂量, mg/(kg·d);
C_s	——土壤中污染物浓度, mg/kg;
CF	——转换因子, 10^{-6} kg/mg;
SA_s	——与土壤(尘)接触的皮肤面积, $cm^2/event$;
AF	——皮肤对土壤(尘)的粘附因子, mg/ cm^2 ;
ABS_d	——皮肤对污染物的吸收因子, 无量纲;
EF_s	——暴露频率, events/a;
ED	——暴露持续时间, a;
BW	——体重, kg;
AT	——平均暴露时间, d。

A.3.1.2 变量赋值

变量赋值如下:

- C_s : 实测值;
- SA_s : 根据 7.4 要求确定;
- AF : 根据 7.4 要求确定 (也可参考 HJ 25.3—2019 确定);

- d) ABS_d : 根据特定污染物来确定;
- e) EF_s : 一般取值 365 events/a;
- f) ED : 终生暴露赋值 70 年, 其他依据实际情况赋值;
- g) BW : 根据 7.4 要求确定;
- h) AT :
 - 1) 非致癌效应平均暴露时间 $AT_{nc} = ED \times 365 \text{ d/a}$;
 - 2) 致癌效应平均暴露时间 $AT_{ca} = 70 \text{ a} \times 365 \text{ d/a}$ 。

A.3.2 皮肤接触地表(下)水途径

A.3.2.1 计算公式

皮肤接触地表(下)水中污染物的日均暴露剂量按照公式(A.6)计算:

$$ADD_{\text{deraml-water}} = \frac{C_w \times SA \times PC \times CF \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$ADD_{\text{deraml-water}}$ ——皮肤接触地表(下)水中污染物的日均暴露剂量, mg/(kg·d);

C_w ——水中污染物浓度, mg/L;

SA ——皮肤接触表面积, cm^2 ;

PC ——具体的化学物质皮肤渗透常数, cm/h;

ET ——暴露时间, h/d;

EF ——暴露频率, d/a;

ED ——暴露持续时间, a;

CF ——转换因子, $1\text{L}/1000 \text{ cm}^3$;

BW ——体重, kg;

AT ——平均暴露时间, d。

A.3.2.2 变量赋值

变量赋值如下:

- a) C_w : 实测值;
- b) SA : 根据 7.4 要求确定;
- c) PC : 根据特定污染物来确定;
- d) ET : 根据 7.4 要求确定;
- e) EF : 一般取值 365 events/a;
- f) ED : 终生暴露赋值 70 年, 其他依据实际情况赋值;
- g) BW : 根据 7.4 要求确定;
- h) AT :
 - 1) 非致癌效应平均暴露时间 $AT_{nc} = ED \times 365 \text{ d/a}$;
 - 2) 致癌效应平均暴露时间 $AT_{ca} = 70 \text{ a} \times 365 \text{ d/a}$ 。

附录 B

(资料性)

特征污染物健康效应与毒性参数

表B.1给出了部分特征污染物健康效应特征，表B.2给出了部分特征污染物毒性参数。

表B.1 部分特征污染物健康效应特征

中文名称	英文名称	CAS 编号	致癌等级 (IARC ^a)	效应组织或器官 ^b	关键效应 ^b
砷（无机）	Arsenic	7440-38-2	1	肾、肺、膀胱、皮肤、 肝脏	肾癌、肺癌、膀胱癌、皮肤癌、肝癌
镉	Cadmium	7440-43-9	1	肺、泌尿系统	肺肿瘤、前列腺癌、肾癌、膀胱癌、乳腺癌、子宫癌
铅	Lead	7439-92-1	2B	肾、生殖发育毒性	肾肿瘤、神经胶质瘤
铜	Copper	7440-50-8	-	消化系统	恶心、腹泻
铬（三价）	Chromium (III)	16065-83-1	3	无	生长迟缓、腭裂、骨骼畸形
铬（六价）	Chromium (VI)	18540-29-9	1	肺、胃	肺癌、胃癌
汞	Mercury	7439-97-6	3	神经系统	震颤、记忆障碍、自主神经功能障碍
甲基汞	Methyl mercury	22967-92-6	-	神经系统、生长发育	中枢神经系统功能障碍
锌	Zinc	7440-66-6	-	免疫、血液系统	健康成年大鼠红细胞铜锌超氧化物歧化酶活性降低
锰	Manganese	7439-96-5	-	神经系统	中枢神经系统功能障碍
镍	Nickel	7440-02-0	2B	肺癌、鼻窦癌	组织器官及体重减轻
苯	Benzene	71-43-2	1	肺、肾、免疫系统	肺癌、肾癌、皮肤癌、胃癌、白血病、淋巴细胞减少
甲苯	Toluene	108-88-3	3	泌尿；神经系统	肾脏质量增加；职业暴露人群具有神经系统影响
二甲苯	Xylene	1330-20-7	3	其他；神经系统	体重减轻、死亡率增加；影响运动协调（旋转能力降低）
邻二甲苯	o-Xylene	95-47-6	3	其他；神经系统	体重减轻、死亡率增加；影响运动协调（旋转能力降低）

表 B.1 部分特征污染物健康效应特征（续）

中文名称	英文名称	CAS 编号	致癌等级 (IARC ^a)	效应组织或器官 ^b	关键效应 ^b
对二甲苯	p-Xylene	106-42-3	3	其他；神经系统	体重减轻、死亡率增加；影响运动协调（旋转能力降低）
间二甲苯	m-Xylene	108-38-3	3	其他；神经系统	体重减轻、死亡率增加；影响运动协调（旋转能力降低）
1,3,5-三甲苯	1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8	-	神经系统	疼痛敏感性减弱
1,2,4-三甲苯	1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6	-	呼吸系统	炎症性肺损伤
4-乙基甲苯	4-Ethyltoluene	622-96-8	-	-	-
乙苯	Ethylbenzene	100-41-4	2B	肝脏、泌尿系统	白血病、淋巴瘤、肝毒性
异丙苯	Cumene	98-82-8	2B	泌尿系统、内分泌系统	肾脏、肾上腺重量增加
氯苯	Chlorobenzene	108-90-7	-	肝	肝组织病变
1,2-二氯苯	1,2-Dichlorobenzene	95-50-1	3	无	无明显效应
1,3-二氯苯	1,3-Dichlorobenzene	541-73-1	3	-	-
1,4-二氯苯	1,4-Dichlorobenzene	106-46-7	2B	免疫系统、肝	白血病、骨髓瘤、肝脏重量增加
1,2,3-三氯苯	1,2,3-Trichlorobenzene	87-61-6	-	-	-
1,2,4-三氯苯	1,2,4-Trichlorobenzene	120-82-1	-	内分泌系统	肾上腺重量增加、大脑皮质束状带空泡化
硝基苯	Nitrobenzene	98-95-3	2B	血液、神经、呼吸系统	肺泡细支气管肿瘤、肺泡细支气管增生、甲状腺滤泡细胞腺瘤
苯乙烯	Styrene	100-42-5	2A	肝脏、血液、神经系统	白血病、淋巴瘤、红细胞和肝脏影响；中枢神经系统影响
溴氯甲烷	Bromochloromethane	74-97-5	-	泌尿系统	肾脏细胞肥大
一溴二氯甲烷	Bromodichloromethane	75-27-4	2B	肝脏、泌尿系统	肾癌、肠癌、染色单体交换、肝组织病变
二溴一氯甲烷	Chlorodibromomethane	124-48-1	3	肝脏	肝组织病变

表 B.1 部分特征污染物健康效应特征（续）

中文名称	英文名称	CAS 编号	致癌等级 (IARC ^a)	效应组织或器官 ^b	关键效应 ^b
三溴甲烷	Bromoform	75-25-2	3	腹腔、神经系统	大肠肿瘤、小脑病变、肝脏和肾脏损伤、免疫反应降低
一氯甲烷	Chloromethane	74-87-3	3	肝脏	肝脏空泡、肝脏组织病变
二氯甲烷	Dichloromethane	75-09-2	2A	肝脏	胆管癌、非霍奇金淋巴瘤、中度/显著脂肪在肝脏中形成囊肿、血糖升高
三氯甲烷	Chloroform	67-66-3	2B	肝脏、呼吸、心血管系统及其他	结肠癌、肝癌、乳腺癌、黑色素瘤、胸膜炎、心包炎
一氟三氯甲烷	Trichlorofluoromethane	75-69-4	-	-	-
1,1-二氯乙烷	1,1-Dichloroethane	75-34-3	-	-	-
1,2-二氯乙烷	1,2-Dichloroethane	107-06-2	2B	肺	肺癌、脑肿瘤、胰腺癌
1,1,1-三氯乙烷	1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	3	肝脏、其他	肝组织病变
1,1,2,2-四氯乙烷	1,1,2,2-Tetrachloroethane	79-34-5	2B	肝脏	肝肿瘤
1,2-二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	78-87-5	1	呼吸系统	胆管癌、鼻粘膜增生
四氯化碳	Carbon tetrachloride	56-23-5	2B	肝脏	非霍奇金淋巴瘤、血清酶活性升高、肝组织脂肪浸润
1,1-二氯乙烯	Vinylidene chloride	75-35-4	2B	肝脏	肝脏毒性
三氯乙烯	Trichloroethylene	79-01-6	1	血液、肝、泌尿系统	肾癌、非霍奇金淋巴瘤、淋巴瘤、肝癌
1,1-二氯丙烯	1,1-Dichloropropene	563-58-6	-	-	-
六氯丁二烯	Hexachloro-1,3-butadiene	87-68-3	3	-	-
甲醛	Formaldehyde	50-00-0	1	呼吸系统、泌尿系统、胃肠道、其他	鼻和鼻窦癌、白血病、细胞癌、大鼠体重减轻、组织病理学变化
丙烯醛	Acrolein	107-02-8	2A	其他、呼吸系统	降低存活率；鼻腔病变

表 B.1 部分特征污染物健康效应特征（续）

中文名称	英文名称	CAS 编号	致癌等级 (IARC ^a)	效应组织或器官 ^b	关键效应 ^b
1,1,2,2-四氟-1,2 二氯乙烷	1,2-Dichlorotetrafluoroethane	76-14-2	-	-	-
1,1,2-三氟三氯乙烷	1,1,2-Trichlorotrifluoroethane	76-13-1	-	神经系统	运动障碍
丙酮	Acetone	67-64-1	-	泌尿系统	肾组织病变
2-丁酮	2-Butanone	78-93-3	-	生长发育、骨骼	幼崽的体重减轻、骨骼变形
乙酸乙酯	Ethyl acetate	141-78-6	-	其他	体重减轻、死亡率增加
4-甲基-2-戊酮	4-Methyl-2-pentanone	108-10-1	2B	生长发育、骨骼	胎儿体重减轻、骨骼变形；小鼠死亡率增加；大鼠骨骼变形
三乙胺	Triethylamine	121-44-8	-	呼吸系统	鼻腔炎症
二甲基乙酰胺	N,N-Dimethylacetamide	127-19-5	2B	-	-
乙腈	Acetonitrile	75-05-8	-	其他	影响死亡率
甲醇	Methanol	67-56-1	-	生长发育、神经	颈部肋骨增生、6 周大大鼠幼崽大脑质量减轻
苯酚	Phenol	108-95-2	3	其他	降低产妇体重的增加
邻氯酚	2-Chlorophenol	95-57-8	-	生殖	生殖效应
2,4-二氯酚	2,4-Dichlorophenol	120-83-2	-	免疫系统	降低迟发性免疫反应应答
2,4,6-三氯酚	2,4,6-Trichlorophenol	88-06-2	2B	血液	白血病
五氯酚	Pentachlorophenol	87-86-5	1	肝脏、内分泌系统	肝癌、肾癌、肝脏毒性
对硝基酚	4-Nitrophenol	100-02-7	-	-	-
邻硝基酚	2-Nitrophenol	88-75-5	-	-	-
2,4-二硝基酚	2,4-Dinitrophenol	51-28-5	-	眼睛	白内障

表 B.1 部分特征污染物健康效应特征（续）

中文名称	英文名称	CAS 编号	致癌等级 (IARC ^a)	效应组织或器官 ^b	关键效应 ^b
4,6-二硝基邻甲酚	2-Methyl-4,6-dinitrophenol	534-52-1	-	-	-
2,4-二甲酚	2,4-Dimethylphenol	105-67-9	-	神经系统、血液系统	嗜睡、虚脱、共济失调；血液学变化
4-氯-3-甲基苯酚	4-Chloro-3-methylphenol	59-50-7	-	-	-
2-甲基-4,6-二硝基苯酚	2-Methyl-4,6-dinitrophenol	534-52-1	-	-	-
萘	Naphthalene	91-20-3	2B	其他、神经、呼吸系统	喉癌、直肠癌、雄性终端平均体重降低；呼吸道和嗅上皮增生、组织变形
萘烯	Acenaphthylene	208-96-8	-	-	-
萘	Acenaphthene	83-32-9	3	肝脏	肝脏毒性
芴	Fluorene	86-73-7	3	血液系统	红细胞、细胞体积、血红蛋白减少
菲	Phenanthrene	85-01-8	3	-	-
蒽	Anthracene	120-12-7	3	无	没有观察到作用
荧蒽	Fluoranthene	206-44-0	3	肝脏、泌尿系统	血液学改变、肝脏质量减轻、肾组织病变
芘	Pyrene	129-00-0	3	-	-
苯并[a]蒽	Benzo[a]anthracene	56-55-3	2B	腹腔、皮肤	乳腺细胞突变、皮肤癌
屈	Chrysene	218-01-9	2B	腹腔、皮肤	乳腺细胞突变、皮肤癌
苯并[b]荧蒽	Benzo[b]fluoranthene	205-99-2	2B	肺、腹腔、皮肤	肺癌、皮肤癌
苯并[k]荧蒽	Benzo[k] fluoranthene	207-08-9	2B	肺	肺腺瘤
苯并[a]芘	Benzo [a] pyrene	50-32-8	1	胃肠、呼吸系统、生长发育	肺癌、胃癌、食道癌、基因毒性（包括染色体交换、DNA 损伤等）、神经行为改变、胚胎/胎儿存活率降低
二苯并[a,h]蒽	Dibenzo [a, h] anthracene	53-70-3	2A	皮肤	DNA 损伤、基因突变等

表 B.1 部分特征污染物健康效应特征（续）

中文名称	英文名称	CAS 编号	致癌等级 (IARC ^a)	效应组织或器官 ^b	关键效应 ^b
茚并[1,2,3-cd]芘	Indeno[1, 2, 3-cd]pyrene	193-39-5	2B	肺、皮肤	基因突变
苯并[g,h,i]花	Benzo(g, h, i)perylene	191-24-2	3	-	-
多氯联苯 1016	Aroclor 1016	12674-11-2	-	生长发育	降低出生体重
多氯联苯 1221	Aroclor 1221	11104-28-2	-	-	-
多氯联苯 1232	Aroclor 1232	11141-16-5	-	-	-
多氯联苯 1242	Aroclor 1242	53469-21-9	-	-	-
多氯联苯 1248	Aroclor 1248	12672-29-6	-	-	-
多氯联苯 1254	Aroclor 1254	11097-69-1	-	免疫、皮肤、视觉系统	-
多氯联苯 1260	Aroclor 1260	11096-82-5	-	-	-
多氯联苯 5460	Aroclor 5460	11126-42-4	-	-	-
3,3',4,4'-四氯联苯	3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl (PCB 77)	32598-13-3	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
3,4,4',5-四氯联苯	3,4,4',5-Tetrachlorobiphenyl (PCB 81)	70362-50-4	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
2,3,3',4,4'-五氯联苯	2,3,3',4,4'-Pentachlorobiphenyl (PCB 105)	32598-14-4	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
2,3,4,4',5-五氯联苯	2,3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl (PCB 114)	74472-37-0	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
2,3',4,4',5-五氯联苯	2,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl (PCB 118)	31508-00-6	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
2',3,4,4',5-五氯联苯	2',3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl (PCB 123)	65510-44-3	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
3,4,5,3',4'-五氯联苯	3,4,5,3',4'-Pentachlorobiphenyl (PCB-126)	57465-28-8	1	-	肺癌、软组织肉瘤、非霍奇金淋巴瘤

表 B.1 部分特征污染物健康效应特征（续）

中文名称	英文名称	CAS 编号	致癌等级 (IARC ^a)	效应组织或器官 ^b	关键效应 ^b
2,3,3',4,4',5-六氯联苯	2,3,3',4,4',5-Hexachlorobiphenyl (PCB 156)	38380-08-4	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
2,3,3',4,4',5'-六氯联苯	2,3,3',4,4',5'-Hexachlorobiphenyl (PCB 157)	69782-90-7	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
2,3',4,4',5,5'-六氯联苯	2,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl (PCB 167)	52663-72-6	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
3,3',4,4',5,5'-六氯联苯	3,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl (PCB 169)	32774-16-6	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
2,2',3,3',4,4',5-七氯联苯	2,2',3,3',4,4',5- Heptachlorobiphenyl (PCB 170)	35065-30-6	-	-	-
2,2',3,4,4',5,5'-七氯联苯	2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl (PCB 180)	35065-29-3	-	-	-
2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯	2,3,3',4,4',5,5'- Heptachlorobiphenyl (PCB 189)	39635-31-9	1	-	恶性黑色素瘤、乳腺癌、前列腺癌、脑肿瘤
2,2',4,4'- 四溴联苯醚	2,2',4,4'- Tetrabromodiphenyl ether(BDE-47)	5436-43-1	-	神经系统	神经毒性效应
2,2',4,4',5- 五溴联苯醚	2,2',4,4',5- Pentabromodiphenyl ether(BDE-99)	60348-60-9	-	神经系统	神经毒性效应
2,2',4,4',5,5'-六溴联苯醚	2,2',4,4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether(BDE-153)	68631-49-2	-	神经系统	神经毒性效应
2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-十溴联苯醚	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'- Decabromodiphenyl ether (BDE-209)	1163-19-5	-	神经系统	神经毒性效应
^a 指 IARC 指国际癌症研究机构致癌性分类（International Agency for Research on Cancer）； ^b 指效应组织或器官及关键效应数据主要来源于 IRIS（Integrated Risk Information System）。					

表B.2 部分特征污染物毒性参数

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _{in} (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因子 IUR (ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
7440-38-2	砷（无机）	1.5×10 ⁻⁵	OEHHA	3×10 ⁻⁴	IRIS	1.2×10 ¹	OEHHA	1.5	IRIS	4.3×10 ⁻³	IRIS
7440-43-9	镉	1×10 ⁻⁵	RSL	5×10 ⁻⁴ （饮水）， 1×10 ⁻³ （食物）	IRIS	1.5×10 ¹	OEHHA	-	-	1.8×10 ⁻³	IRIS
7440-50-8	铜	-	-	4.0×10 ⁻²	S	-	-	-	-	-	-
16065-83-1	铬（三价）	-	-	1.5	IRIS	-	-	-	-	-	-
18540-29-9	铬（六价）	1×10 ⁻⁴	IRIS	3×10 ⁻³	IRIS	5.1×10 ²	OEHHA	1.2×10 ⁻²	IRIS	1.5×10 ⁻¹	OEHHA
7439-97-6	汞	3×10 ⁻⁴	IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-
22967-92-6	甲基汞	-	-	1×10 ⁻⁴	IRIS	-	-	-	-	-	-
7440-66-6	锌	-	-	3×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-
7439-96-5	锰	5×10 ⁻⁵	IRIS	1.4×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-
7440-02-0	镍	9×10 ⁻⁵	ATSDR	2×10 ⁻²	RAIS	9.1×10 ⁻¹	OEHHA	-	-	2.6×10 ⁻⁴	OEHHA
71-43-2	苯	3×10 ⁻²	IRIS	4×10 ⁻³	IRIS	1.0×10 ⁻¹	OEHHA	5.5×10 ⁻²	IRIS	7.8×10 ⁻⁶	IRIS
108-88-3	甲苯	5	IRIS	8×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
1330-20-7	二甲苯	1×10 ⁻¹	IRIS	2×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-
95-47-6	邻二甲苯	1×10 ⁻¹	S	2.0×10 ⁻¹	S	-	-	-	-	-	-
106-42-3	对二甲苯	1×10 ⁻¹	S	2.0×10 ⁻¹	S	-	-	-	-	-	-
108-38-3	间二甲苯	1×10 ⁻¹	S	2.0×10 ⁻¹	S	-	-	-	-	-	-

表 B.2 部分特征污染物毒性参数 (续)

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _{in} (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因子 IUR (ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
108-67-8	1,3,5-三甲苯	6×10 ⁻²	IRIS	1×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
95-63-6	1,2,4-三甲苯	6×10 ⁻²	IRIS	1×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
622-96-8	4-乙基甲苯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-41-4	乙苯	1	IRIS	1×10 ⁻¹	IRIS	8.7×10 ⁻³	OEHHA	1.1×10 ⁻²	OEHHA	2.5×10 ⁻⁶	OEHHA
98-82-8	异丙苯	4.0×10 ⁻¹	IRIS	1×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-
108-90-7	氯苯	5.0×10 ⁻²	S	2×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
95-50-1	1,2-二氯苯	2.0×10 ⁻¹	S	9×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
541-73-1	1,3-二氯苯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
106-46-7	1,4-二氯苯	8×10 ⁻¹	IRIS	7×10 ⁻²	ATSDR	4.0×10 ⁻²	OEHHA	5.4×10 ⁻³	OEHHA	1.1×10 ⁻⁵	OEHHA
87-61-6	1,2,3-三氯苯			8.0×10 ⁻⁴	S	-	-	-	-	-	-
120-82-1	1,2,4-三氯苯	2.0×10 ⁻³	S	1×10 ⁻²	IRIS	-	-	2.9×10 ⁻²	S	-	-
98-95-3	硝基苯	9×10 ⁻³	IRIS	2×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	4.0×10 ⁻⁵	IRIS
100-42-5	苯乙烯	1	IRIS	2×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-
74-97-5	溴氯甲烷	4.0×10 ⁻²	S	-	-	-	-	-	-	-	-
75-27-4	一溴二氯甲烷	-	-	2.0×10 ⁻²	IRIS	1.3×10 ⁻¹	OEHHA	6.2×10 ⁻²	IRIS	3.7×10 ⁻⁵	IRIS

表 B.2 部分特征污染物毒性参数 (续)

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _{in} (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因子 IUR (ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
124-48-1	二溴一氯甲烷	-	-	2.0×10 ⁻²	IRIS	-	-	8.4×10 ⁻²	IRIS	-	-
75-25-2	三溴甲烷	-	-	2.0×10 ⁻²	IRIS	1.1×10 ⁻⁶	IRIS	7.9×10 ⁻³	IRIS	-	-
74-87-3	一氯甲烷	9.0×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	1.3×10 ⁻²	RAIS	1.8×10 ⁻⁶	RAIS
75-09-2	二氯甲烷	6.0×10 ⁻¹	IRIS	6.0×10 ⁻³	IRIS	3.5×10 ⁻³	OEHHA	2.0×10 ⁻³	IRIS	1.0×10 ⁻⁸	IRIS
67-66-3	三氯甲烷	9.8×10 ⁻²	ATSDR	1.0×10 ⁻²	IRIS	0.019	OEHHA	3.1×10 ⁻²	OEHHA	2.3×10 ⁻⁵	IRIS
75-69-4	一氟三氯甲烷	7.0×10 ⁻¹	RAIS	3.0×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-
75-34-3	1,1-二氯乙烷	5.0×10 ⁻¹	RAIS	2.0×10 ⁻¹	S	5.7×10 ⁻³	OEHHA	5.7×10 ⁻³	OEHHA	1.6×10 ⁻⁶	OEHHA
107-06-2	1,2-二氯乙烷	7.0×10 ⁻³	S	6.3×10 ⁻³	S	7.2×10 ⁻²	OEHHA	9.1×10 ⁻²	IRIS	2.6×10 ⁻⁵	IRIS
71-55-6	1,1,1-三氯乙烷	5	IRIS	2	IRIS	-	-	-	-	-	-
79-34-5	1,1,2,2-四氯乙烷	-	-	2×10 ⁻²	IRIS	2.0×10 ⁻¹	OEHHA	2.0×10 ⁻¹	IRIS	5.8×10 ⁻⁵	OEHHA
78-87-5	1,2-二氯丙烷	4.0×10 ⁻³	IRIS	4.0×10 ⁻²	RAIS	3.6×10 ⁻²	OEHHA	3.7×10 ⁻²	RAIS	3.7×10 ⁻⁵	RAIS
56-23-5	四氯化碳	1.0×10 ⁻¹	IRIS	4.0×10 ⁻³	IRIS	1.5×10 ⁻¹	OEHHA	7.0×10 ⁻²	IRIS	6.0×10 ⁻⁶	IRIS

表 B.2 部分特征污染物毒性参数 (续)

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _{in} (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因子 IUR(ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
75-35-4	1,1-二氯乙烯	2.0×10 ⁻¹	IRIS	5.0×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
79-01-6	三氯乙烯	2.0×10 ⁻³	IRIS	5.0×10 ⁻⁴	IRIS	7.0×10 ⁻³	OEHHA	4.6×10 ⁻²	IRIS	4.1×10 ⁻⁶	IRIS
563-58-6	1,1-二氯丙烯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
87-68-3	六氯丁二烯	-	-	1.0×10 ⁻³	S	-	-	7.8×10 ⁻²	IRIS	2.2×10 ⁻⁵	IRIS
50-00-0	甲醛	9.8×10 ⁻³	ATSDR	2.0×10 ⁻¹	IRIS	2.1×10 ⁻²	OEHHA	2.1×10 ⁻²	OEHHA	1.3×10 ⁻⁵	IRIS
107-02-8	丙烯醛	2.0×10 ⁻⁵	IRIS	5.0×10 ⁻⁴	IRIS	-	-	-	-	-	-
76-13-1	1,1,2-三氟三 氯乙烷	5	S	30	IRIS	-	-	-	-	-	-
67-64-1	丙酮	30.9	ATSDR	9.0×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-
78-93-3	2-丁酮	5	IRIS	-	-	-	-	6.0×10 ⁻¹	IRIS	-	-
141-78-6	乙酸乙酯	7.0×10 ⁻²	S	9.0×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-
108-10-1	4-甲基-2-戊酮	3	IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-
121-44-8	三乙胺	-	-	7.0×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	-	-
75-05-8	乙腈	6.0×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-
67-56-1	甲醇	20	IRIS	2	IRIS	-	-	-	-	-	-
108-95-2	苯酚	2.0×10 ⁻¹	OEHHA	3.0×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-

表 B.2 部分特征污染物毒性参数 (续)

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _{in} (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因子 IUR (ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
95-57-8	邻氯酚	-	-	5.0×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	-	-
120-83-2	2,4-二氯酚	-	-	3.0×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	-	-
88-06-2	2,4,6-三氯酚	-	-	1.0×10 ⁻³	S	7.0×10 ⁻²	OEHHA	1.1×10 ⁻²	IRIS	3.1×10 ⁻⁶	IRIS
87-86-5	五氯酚	-	-	5.0×10 ⁻³	IRIS	1.8×10 ⁻²	OEHHA	4.0×10 ⁻¹	IRIS	5.1×10 ⁻⁶	OEHHA
51-28-5	2,4-二硝基酚	-	-	2.0×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	-	-
105-67-9	2,4-二甲酚	-	-	2×10 ⁻²	RAIS	-	-	-	-	-	-
91-20-3	萘	3×10 ⁻³	IRIS	2×10 ⁻²	IRIS	1.2×10 ⁻¹	OEHHA	1.2×10 ⁻¹	OEHHA	3.4×10 ⁻⁵	OEHHA
83-32-9	茚	-	-	6×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
86-73-7	芴	-	-	4×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
120-12-7	蒽	-	-	3×10 ⁻¹	IRIS	-	-	-	-	-	-
206-44-0	荧蒽	-	-	4×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
129-00-0	芘	-	-	3.0×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	-	-
56-55-3	苯并 _[a] 蒽	-	-	-	-	3.9×10 ⁻¹	OEHHA	7.3×10 ⁻¹	S	1.1×10 ⁻⁴	OEHHA
218-01-9	屈	-	-	-	-	3.9×10 ⁻²	OEHHA	7.3×10 ⁻³	S	1.1×10 ⁻⁵	OEHHA
205-99-2	苯并 _[b] 荧蒽	-	-	-	-	3.9×10 ⁻¹	OEHHA	1.0×10 ⁻¹	S	1.1×10 ⁻⁴	OEHHA
207-08-9	苯并 _[k] 荧蒽	-	-	-	-	3.9×10 ⁻¹	OEHHA	1.0×10 ⁻²	S	1.1×10 ⁻⁴	OEHHA

表 B.2 部分特征污染物毒性参数 (续)

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _{in} (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因子 IUR (ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
50-32-8	苯并[a]芘	2.0×10 ⁻⁶	RAIS	3.0×10 ⁻⁴	RAIS	3.9	OEHHA	1	IRIS	6×10 ⁻⁴	IRIS
53-70-3	二苯并[a,h]蒽	-	-	-	-	4.1	OEHHA	1	S	1.2×10 ⁻³	OEHHA
193-39-5	茚并[1,2,3-cd]芘	-	-	-	-	3.9×10 ⁻¹	OEHHA	1×10 ⁻¹	S	6.0×10 ⁻⁵	S
12674-11-2	多氯联苯 1016	-	-	7.0×10 ⁻⁵	IRIS	-	-	7×10 ⁻²	S	2×10 ⁻⁵	S
11104-28-2	多氯联苯 1221	-	-	-	-	-	-	2	S	5.7×10 ⁻⁴	S
11141-16-5	多氯联苯 1232	-	-	-	-	-	-	2	S	5.7×10 ⁻⁴	S
53469-21-9	多氯联苯 1242	-	-	-	-	-	-	2	S	5.7×10 ⁻⁴	S
12672-29-6	多氯联苯 1248	-	-	-	-	-	-	2	S	5.7×10 ⁻⁴	S
11097-69-1	多氯联苯 1254	-	-	2.0×10 ⁻⁵	IRIS	-	-	2	S	5.7×10 ⁻⁴	S
11096-82-5	多氯联苯 1260	-	-	-	-	5.7×10 ⁻⁴	S	2	S	5.7×10 ⁻⁴	S
11126-42-4	多氯联苯 5460	-	-	6.0×10 ⁻⁴	S	-	-	-	-	-	
32598-13-3	3,3',4,4'-四氯 联苯	4.0×10 ⁻⁴	S	7×10 ⁻⁶	S	13	OEHHA	13	S	3.8×10 ⁻³	S

表 B.2 部分特征污染物毒性参数 (续)

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _{in} (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因子 IUR (ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
70362-50-4	3,4,4',5-四氯联苯	1.33×10 ⁻⁴	S	2.33×10 ⁻⁶	S	39	OEHHA	39	S	1.14×10 ⁻²	S
57465-28-8	3, 3',4, 4',5-五氯联苯	4.0×10 ⁻⁷	S	7.0×10 ⁻⁹	S	1.3×10 ⁴	OEHHA	1.3×10 ⁴	S	3.8	S
65510-44-3	2',3,4,4',5-五氯联苯	1.33×10 ⁻⁵	S	2.33×10 ⁻⁵	S	3.9	OEHHA	3.9	S	1.14×10 ⁻³	S
31508-00-6	2,3',4,4',5-五氯联苯	1.33×10 ⁻³	S	2.33×10 ⁻⁵	S	3.9	OEHHA	3.9	S	1.14×10 ⁻³	S
32598-14-4	2,3,3',4,4'-五氯联苯	1.33×10 ⁻³	S	2.33×10 ⁻⁵	S	3.9	OEHHA	3.9	S	1.14×10 ⁻³	S
74472-37-0	2,3,4,4',5-五氯联苯	1.33×10 ⁻³	S	2.33×10 ⁻⁵	S	3.9	OEHHA	3.9	S	1.14×10 ⁻³	S
52663-72-6	2,3',4,4',5,5'-六氯联苯	1.33×10 ⁻³	S	2.33×10 ⁻⁵	S	3.9	OEHHA	3.9	S	1.14×10 ⁻³	S
69782-90-7	2,3,3',4,4',5'-六氯联苯	1.33×10 ⁻³	S	2.33×10 ⁻⁵	S	3.9	OEHHA	3.9	S	1.14×10 ⁻³	S
38380-08-4	2,3,3',4,4',5-六氯联苯	1.33×10 ⁻³	S	2.33×10 ⁻⁵	S	3.9	OEHHA	3.9	S	1.14×10 ⁻³	S
32774-16-6	3,3',4,4',5,5'-六氯联苯	1.33×10 ⁻⁶	S	2.33×10 ⁻⁸	S	3.9×10 ³	OEHHA	3.9	S	1.14	S

表 B.2 部分特征污染物毒性参数（续）

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _{in} (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因子 IUR (ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
35065-30-6	2,2',3,3',4,4',5-七氯联苯	4×10 ⁻⁴	RAIS	7×10 ⁻⁶	RAIS	-	-	13	RAIS	3.8×10 ⁻³	RAIS
35065-29-3	2,2',3,3',4,4',5,5'-七氯联苯	4×10 ⁻³	RAIS	7×10 ⁻⁵	RAIS	-	-	1.3	RAIS	3.8×10 ⁻⁴	RAIS
39635-31-9	2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯	1.33×10 ⁻³	S	2.33×10 ⁻⁵	S	3.9	OEHHA	3.9	S	1.14×10 ⁻³	S
5436-43-1	2,2',4,4'- 四溴联苯醚	-	-	1.0×10 ⁻⁴	IRIS	-	-	-	-	-	-
60348-60-9	2,2',4,4',5- 五溴联苯醚	-	-	1.0×10 ⁻⁴	IRIS	-	-	-	-	-	-
68631-49-2	2,2',4,4',5,5'-六溴联苯醚	-	-	2.0×10 ⁻⁴	IRIS	-	-	-	-	-	-
1163-19-5	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-十溴联苯醚	-	-	7.0×10 ⁻³	IRIS	-	-	7.4×10 ⁻⁴	IRIS	-	-
注：IRIS 代表数据来自“美国环保局综合风险信息系统（USEPA Integrated Risk Information System）”；RAIS代表数据来自“美国能源局风险评价信息系统（Risk Assessment Information System）”；ATSDR代表数据来自“美国毒物和疾病登记署（Agency for Toxic Substances and Disease Registry）数据”；S代表数据来自“美国土壤筛选指导值（Soil Screening guideline）”；OEHHA 代表数据来自“美国加州环境健康危害评估办公室（California Office of Environmental Health Hazard Assessment）数据”。表格中未包含的污染物可参考以上数据库的最新更新版本获取其参数。											

附录 C (规范性) 毒性参数推导方法

C.1 参考剂量的推导

参考剂量推导的主要步骤：

- a) 关键效应的确定：NOAEL、LOAEL 或基准剂量(benchmark dose, BMD)，利用毒理学及流行病学的数据资料求该物质的未观察到有害效应的最高剂量（NOAEL，或称最大无作用剂量）。如无 NOAEL，可用观察到有害效应的最低剂量（LOAEL）代替；
- b) 不确定系数 UF 的确定：不确定系数包括种内差异不确定系数(UF_H)、种间差异不确定系数(UF_A)、亚慢性暴露不确定系数 (UF_S)、LOAEL 替代 NOAEL 不确定系数 (UF_L)、数据不完整导致不确定系数 (UF_D) 等，上述各项不确定系数通常取值 1、3 或 10，具体可参考 USEPA 发布的 IRIS 指导手册 (*ORD Staff Handbook for Developing IRIS Assessments*)。总的不确定系数 UF_s 为上述各项不确定系数的乘积，但其最终取值不得大于 3000；
- c) RfD 的推导按照公式 (C.1) 计算：

$$RfD = \frac{NOAEL(或LOAEL)}{UF_s} \text{ 或 } RfD = \frac{BMD}{UF_s} \dots\dots\dots (C.1)$$

- d) 皮肤接触参考剂量外推模型参考 HJ 25.3—2019 中的公式 (B.4)。

C.2 致癌斜率因子的推导

致癌斜率因子的推导可基于动物实验数据方法和流行病学方法两种：

- a) 基于动物实验数据方法
采用美国 EPA 的线性多阶段模型以及设计的专门程序 (GLOBAL 82 及 86) 求得动物的致癌斜率因子 $q(\text{动物})$ ，再通过公式 (C.2) 的转换求得人的致癌斜率因子数 $q(\text{人})$ 。

$$q(\text{人}) = q(\text{动物}) \times \left[\frac{BW(\text{人})}{BW(\text{动物})} \right]^{1/4} \dots\dots\dots (C.2)$$

- b) 基于流行病学方法
按照公式 (C.3) 计算：

$$Q = \frac{(RR(X) - 1)}{X} \times LR \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

Q ——人群资料估算的致癌斜率因子， $(\text{mg/kg} \cdot \text{d})^{-1}$ 。意义同前述 $q(\text{人})$ ；

RR ——暴露人群患癌的相对危险度，无量纲；

X ——暴露人群的终生日均暴露剂量， $\text{mg/kg} \cdot \text{d}$ ；

LR ——当地整体人群（对照）中个体的终生患癌危险度，无量纲。

- c) 皮肤接触致癌斜率因子外推模型参考 HJ 25.3—2019 中的公式 (B.3)。

参 考 文 献

- [1] U.S. Environmental Protection Agency. ORD Staff Handbook for Developing IRIS Assessments[R]. EPA/600/R-20/137, 2020.
-