

团 体 标 准

T/CSES XXXX—202X

多环芳烃环境健康风险评估技术规范

Technical specification for environmental health risk
assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons
(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

1 范围 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 多环芳烃评估程序与内容..... 2

5 多环芳烃数据收集与评估..... 4

6 多环芳烃的暴露评估..... 4

7 多环芳烃的毒性评估..... 6

8 多环芳烃的风险表征..... 6

9 报告编制.....10

附 录 A （资料性） 多环芳烃基本信息和理化性质..... 11

附 录 B （规范性） 暴露评估推荐模型..... 16

附 录 C （规范性） 风险评估模型参数及推荐值..... 21

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多环芳烃污染的健康风险评估的工作程序，制定本标准。

本标准规定了多环芳烃人体健康风险评估的原则、内容、程序、方法和技术要求。

本标准的附录A，附录B、附录C为规范性附录。

本标准首次发布。

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、中科鼎实环境工程有限公司、湖北省生态环境科学研究院、广州珠江实业环境保护有限公司。

本标准主要起草人：于云江、于紫玲、张文、刘哲，董淑容、陈柳青、吴易喆、张若雯、王海东、郑盛之、刘振升、朱成杰、罗伟铿、向明灯、朱晓辉、郑彤。

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。

多环芳烃环境健康风险评估技术规范

1 范围

本标准规定了开展多环芳烃人体健康风险评估的一般性原则、内容、程序、方法和技术要求。

本标准适用于环境介质中（空气、水、土壤/尘等）萘、蒽、苊、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并[a]蒽、屈、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、苯并[g,h,i]芘和茚并[1,23-c,d]芘 16 种多环芳烃污染的健康风险评估。

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 5009.256 食品安全国家标准 食品中多环芳烃的测定

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 478 水质 多环芳烃的测定 液液萃取和固相萃取高效液相色谱法

HJ 646 环境空气和废气 气相和颗粒物中多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法

HJ 805 土壤和沉积物 多环芳烃的测定气相色谱-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 环境污染人群暴露评估技术指南

HJ876 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

SC/T 3042 水产品中 16 种多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法

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

毒性当量因子 toxic equivalency factor, TEF

指某个化合物异构体对指定化合物的相对毒性效应。对于多环芳烃，以毒性最强的苯并[a]芘的 TEF 为 1，其他多环芳烃单体折算成相应的相对毒性效应。

3.2

毒性当量浓度 toxicity equivalence concentration, TEC

指某个化合物异构体浓度与其对应的 TEF 乘积。

4 多环芳烃评估程序与内容

多环芳烃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、多环芳烃污染程度及范围，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多环芳烃的外暴露量。

4.3 毒性评估

收集污染物相关的毒性效应、靶器官、效应终点及关键文献证据，阐明污染物的作用模式或机制，集成判断其健康危害的因果关系。通过定性描述多环芳烃引起个体或群体发生有害效应的危害等级；建立多环芳烃暴露与有害效应之间的剂量-反应（效应）关系，确定多环芳烃毒性参数，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多环芳烃单体经多途径的致癌风险和危害商，计算多环芳烃单体的总致癌风险和危害指数。

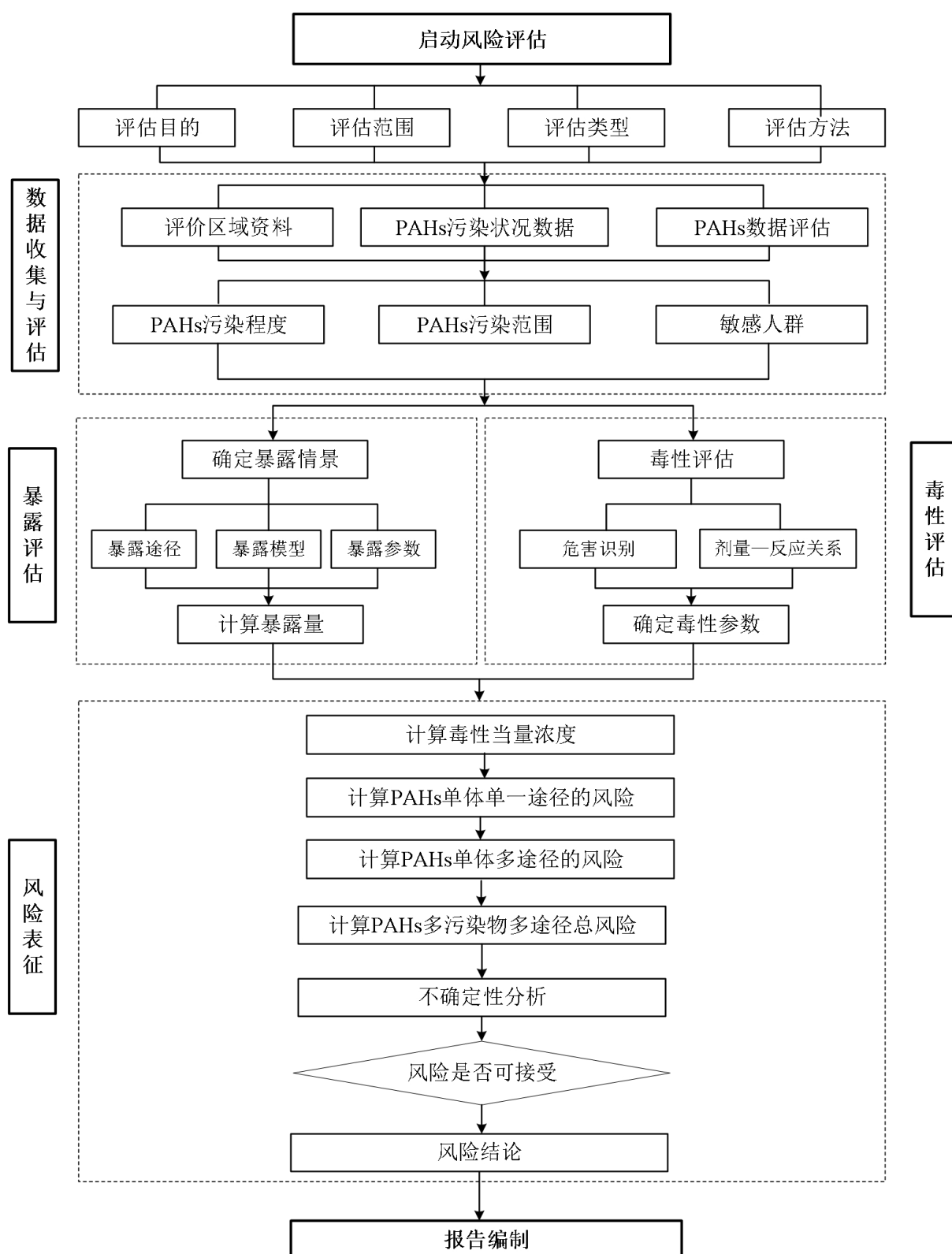


图 1 多环芳烃人体健康风险评估程序

5 多环芳烃数据收集与评估

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，掌握各环境介质中多环芳烃的浓度分布，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

5.1.1 评价区域基本资料

按照 HJ 839 对评估区域进行多环芳烃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) 多环芳烃污染源排放特征、污染程度及其影响范围、影响多环芳烃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 现场调查数据

收集国内外相关标准检测方法获得的环境空气、室内空气、土壤、农畜水产品、地表水、地下水等环境介质中多环芳烃的数据。

5.1.3 模拟数据

无法收集现场调查数据时，收集 HJ/T 2.2、HJ/T 2.3、HJ 610、HJ 25.3 推荐的相关模型模拟的大气、地表水、地下水、土壤中多环芳烃数据。

5.1.4 暴露参数数据

受多环芳烃影响的评价区域中敏感人群的暴露参数按照 HJ 877 和 HJ 876 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保护部公告 2017 年第 63 号 环境与健康横断面调查数据统计分析技术指南中的相关要求执行。

6 多环芳烃的暴露评估

6.1 暴露情景分析

暴露情景包括最不利的情景假设，暴露人群包括敏感人群和职业暴露人群。本标准规定了多环芳烃的 2 种暴露情景，即一般暴露情景和炼焦、煤化工和石油加工等职业暴露情景。

一般暴露情景下，儿童和成人均可能会长时间暴露多环芳烃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多环芳烃的终生致癌风险；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多环芳烃的非致癌风险。

职业暴露情景下，成人的暴露期长、暴露频率高，一般根据成人期的暴露来评估多环芳烃的终生致癌风险和非致癌风险。

6.2 暴露途径确定

对于一般暴露情景，主要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、经口饮用地表水/地下水、经口摄入土壤/室内积尘、经皮肤接触土壤/室内积尘、经皮肤接触地表水。

对于职业暴露情景，规定了呼吸道吸入环境空气/室内空气和经皮肤接触土壤/室内积尘途径、经皮肤接触地表水。

特定暴露情景下的主要暴露途径可根据实际情况分析确定，暴露评估模型参数应尽可能根据现场调查获得。

6.3 一般暴露情景的暴露量估算

6.3.1 经呼吸道吸入途径

a) 吸入室内空气的暴露量

一般暴露情景方式下，人群可因经呼吸道吸入暴露于污染室内空气。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，经吸入室内空气途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.1 和 B.2。

b) 吸入环境空气的暴露量

一般暴露情景方式下，人群可因经呼吸道吸入暴露于污染环境空气。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，经吸入环境空气途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.3 和 B.4。

6.3.2 经消化道摄入途径

a) 经口摄入农畜水产品的暴露量

一般暴露情景方式下，人群可因经口摄入暴露于污染农畜水产品。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，经口摄入农畜水产品途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.5 和 B.6。

b) 饮用地表（下）水途径的暴露量

一般暴露情景方式下，人群可因经口摄入暴露于污染地表（下）水。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，经饮用地表（下）水途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.7 和 B.8。

c) 经口摄入土壤（尘）途径的暴露量

一般暴露情景方式下，人群可因经口摄入暴露于污染土壤（尘）。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，经口摄入土壤途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.9 和 B.10。

6.3.3 经皮肤接触途径

a) 经皮肤接触土壤（尘）的暴露量

一般暴露情景方式下，人群可因经皮肤接触途径暴露于污染土壤（尘）。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，计算经皮肤接触土壤（尘）途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.11 和 B.12。

b) 经皮肤接触地表水的暴露量

一般暴露情景方式下，人群可因经皮肤接触途径暴露于污染地表水。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，计算经皮肤接触地表水途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.13 和 B.14。

6.4 职业暴露情景的暴露量估算

6.4.1 经呼吸道吸入途径

a) 吸入室内空气的暴露量

职业暴露情景方式下，人群可因经呼吸道吸入暴露于污染室内空气。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，计算经吸入室内空气途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.15 和 B.16。

b) 吸入环境空气的暴露量

职业暴露情景方式下，人群可因经呼吸道吸入暴露于污染环境空气。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，计算经呼吸道吸入环境空气途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.17 和 B.18。

6.4.2 经皮肤接触途径

a) 经皮肤接触土壤（尘）的暴露量

职业暴露情景方式下，人群可因经皮肤接触途径暴露污染土壤（尘）。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，计算经皮肤接触土壤（尘）途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.19 和 B.20。

b) 经皮肤接触地表水的暴露量

职业暴露情景方式下，人群可因经皮肤接触途径暴露于污染地表水。对于多环芳烃的致癌和非致癌效应，计算经皮肤接触地表水途径的暴露量的推荐模型见附录 B 中 B.21 和 B.22。

7 多环芳烃的毒性评估

7.1 危害识别

危害识别从危害因素的理化特性、吸收、分布、代谢、排泄、毒理学特性等方面进行描述。

综合分析美国环保署（EPA）、世界卫生组织（WHO）、欧洲食品安全局（EFSA）、FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会（JECFA）、美国食品药品监督管理局（FDA）等国际权威机构最新的多环芳烃技术报告或述评，确定多环芳烃的基本信息（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）；收集多环芳烃相关的毒性效应、靶器官、效应终点及关键证据，阐明多环芳烃的作用模式或机制，集成判断其健康危害的因果关系。常见多环芳烃的基本信息和理化性质以及健康效应特征见附录 A 中表 A.1 和表 A.2。

7.2 剂量-反应关系

剂量-反应关系评估从危害因素与不同健康效应（毒性终点）的关系、作用机制等方面进行定性或定量描述。在危害识别的基础上，分析多环芳烃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，确定多环芳烃毒性参数，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。常见多环芳烃的毒性参数见附录 C 中表 C.2。

8 多环芳烃的风险表征

8.1 一般技术要求

根据确定的暴露情景中多环芳烃的浓度数据，计算致癌和非致癌风险进行风险表征。如关注暴露情景中多环芳烃的浓度数据呈正态分布，可根据数据的平均值、平均值置信区间上限值或最大值组合表征致癌和非致癌风险。

8.2 毒性当量浓度计算

本标准采用苯并[a]芘毒性当量因子计算各多环芳烃单体的等效致癌毒性浓度。

$$TEC_i = C_i \times TEF_i \dots\dots\dots(1)$$

式中： TEC_i 为PAH单体*i*的苯并[a]芘等效浓度； C_i 为PAH单体*i*在环境介质中的浓度； TEF_i 为单体*i*的毒性当量因子，16种多环芳烃的毒性当量因子见附录C表C.3中。

8.3 单一污染物单一途径暴露的风险计算

8.3.1 单一污染物致癌风险

(1) 经呼吸道吸入途径

a) PAH单体*i*吸入室内空气的致癌风险公式(2)计算：

$$R_{IIA-i} = IER_{ca-ia} \times TEC_{ia-i} \times SF_{inh-BaP} \dots\dots\dots(2)$$

式中， R_{IIA-i} 为PAH单体*i*经呼吸吸入室内空气途径的终生致癌超额风险度，无量纲； IER_{ca-ia} 为经呼吸吸入室内空气的日均暴露量[$m^3/(kg \cdot d)$]； TEC_{ia-i} 为室内空气中PAH单体*i*的苯并[a]芘等效浓度($\mu g/m^3$)； $SF_{inh-BaP}$ 为BaP呼吸吸入致癌斜率因子[$\mu g/(kg \cdot d)$]⁻¹。

b) PAH单体*i*吸入环境空气的致癌风险公式(3)计算：

$$R_{IOA-i} = IER_{ca-oa} \times TEC_{oa-i} \times SF_{inh-BaP} \dots\dots\dots(3)$$

式中， R_{IOA-i} 为PAH单体*i*经呼吸吸入环境空气途径的终生致癌超额风险度，无量纲； IER_{ca-oa} 为经呼吸吸入环境空气的日均暴露量[$m^3/(kg \cdot d)$]； TEC_{oa-i} 为环境空气中PAH单体*i*的苯并[a]芘等效浓度($\mu g/m^3$)。

(2) 经消化道摄入途径

a) PAH单体*i*经口摄入农畜水产品的致癌风险公式(4)计算：

$$R_{OIF-i} = OER_{ca-f} \times TEC_{f-i} \times SF_{oral-BaP} \dots\dots\dots(4)$$

)

式中， R_{OIF-i} 为PAH单体*i*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[$kg/(kg \cdot d)$]； TEC_{f-i} 为农畜水产品中PAH单体*i*的苯并[a]芘等效浓度(mg/kg)； $SF_{oral-BaP}$ 为BaP经口摄入致癌斜率因子[$mg/(kg \cdot d)$]⁻¹。

b) PAH单体*i*饮用地表(下)水途径的致癌风险公式(5)计算：

$$R_{OIW-i} = OER_{ca-w} \times TEC_{w-i} \times SF_{oral-BaP} \dots\dots\dots(5)$$

式中， R_{OIW-i} 为PAH单体*i*饮用地表(下)水途径的终生致癌超额风险度，无量纲； OER_{ca-w} 为饮用地表(下)水途径的日均暴露量[$L/(kg \cdot d)$]； TEC_{w-i} 为饮用地表(下)水中PAH单体*i*的苯并[a]芘等效浓度(mg/L)。

c) PAH单体*i*经口摄入土壤(尘)途径的致癌风险公式(6)计算：

$$R_{OIS-i} = OER_{ca-s} \times TEC_{s-i} \times SF_{oral-BaP} \dots\dots\dots(6)$$

式中， R_{OIS-i} 为PAH单体*i*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[kg/(kg·d)]: TEC_{s-i} 为土壤（尘）中 PAH 单体 i 的苯并[a]芘等效浓度 (mg/kg)。

(3) 经皮肤接触途径

a) PAH 单体 i 经皮肤接触土壤（尘）途径的致癌风险公式(7)计算:

$$R_{DCS-i} = DER_{ca-s} \times TEC_{s-i} \times SF_{dermal-BaP} \dots\dots\dots(7)$$

式中, R_{DCS-i} 为 PAH 单体 i 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 PAH 单体 i 经皮肤接触土壤（尘）途径的日均暴露量[kg/(kg·d)]; $SF_{dermal-BaP}$ 为 BaP 皮肤接触致癌斜率因子[mg/(kg·d)]⁻¹。

b) PAH 单体 i 经皮肤接触地表（下）水途径的致癌风险公式(8)计算:

$$R_{DCW-i} = DER_{ca-w} \times TEC_{w-i} \times SF_{dermal-BaP} \dots\dots\dots(8)$$

式中, R_{DCW-i} 为 PAH 单体 i 经皮肤接触地表（下）水途径的终生致癌超额风险度, 无量纲; DER_{ca-w} 为皮肤接触地表（下）水途径的日均暴露量[kg/(kg·d)]; $SF_{dermal-BaP}$ 为 BaP 皮肤接触致癌斜率因子 [mg/(kg·d)]⁻¹。

8.3.2 单一污染物非致癌风险

(1) 经呼吸道吸入途径

a) PAH 单体 i 吸入室内空气的非致癌风险公式(9)计算:

$$HQ_{IIA-i} = \frac{IER_{nc-ia} \times C_{ia-i}}{RfD_{inh-i} \times 1000} \dots\dots\dots(9)$$

式中, HQ_{IIA-i} 为 PAH 单体 i 经呼吸吸入室内空气途径的危害商, 无量纲; IER_{nc-ia} 为经呼吸吸入室内空气的暴露量[m³/(kg·d)]; C_{ia-i} 为室内空气中 PAH 单体 i 浓度 (μg/m³); RfD_{inh-i} 为 PAH 单体 i 呼吸吸入参考剂量[mg/(kg·d)]。

b) PAH 单体 i 吸入环境空气的非致癌风险公式(10)计算:

$$HQ_{IOA-i} = \frac{IER_{nc-oa} \times C_{oa-i}}{RfD_{inh-i} \times 1000} \dots\dots\dots(10)$$

式中, HQ_{IOA-i} 为 PAH 单体 i 经呼吸吸入环境空气途径的危害商, 无量纲; IER_{nc-oa} 为经呼吸吸入环境空气的暴露量[m³/(kg·d)]; C_{oa-i} 为环境空气中 PAH 单体 i 的浓度(μg/m³)。

(2) 经消化道摄入途径

a) PAH 单体 i 经口摄入农畜水产品的非致癌风险公式(11)计算:

$$HQ_{OIF-i} = \frac{OER_{nc-f} \times C_{f-i}}{RfD_{oral-i}} \dots\dots\dots(11)$$

式中, HQ_{OIF-i} 为 PAH 单体 i 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[kg/(kg·d)]; C_{f-i} 为农畜水产品中 PAH 单体 i 浓度 (mg/kg); RfD_{oral-i} 为 PAH 单体 i 经口摄入参考剂量[mg/(kg·d)]。

b) PAH 单体 i 饮用地表（下）水途径的致癌风险公式(12)计算:

$$HQ_{OIW-i} = \frac{OER_{nc-w} \times C_{w-i}}{RfD_{oral-i}} \dots\dots\dots(12)$$

式中, HQ_{OIW-i} 为 PAH 单体 i 饮用地表(下)水途径的危害商, 无量纲; OER_{nc-w} 为饮用地表(下)水途径的日均暴露量[L/(kg·d)]; C_{w-i} 为饮用地表(下)水中 PAH 单体 i 浓度 (mg/L)。

c) PAH 单体 i 经口摄入土壤(尘)途径的非致癌风险公式(13)计算:

$$HQ_{OIS-i} = \frac{OER_{nc-s} \times C_{s-i}}{RfD_{oral-i}} \dots\dots\dots(13)$$

式中, HQ_{OIS-i} 为 PAH 单体 i 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)]; C_{s-i} 为土壤(尘)中 PAH 单体 i 浓度 (mg/kg)。

(3) 经皮肤接触途径

a) PAH 单体 i 经皮肤接触土壤(尘)途径的非致癌风险公式(14)计算:

$$HQ_{DCS-i} = \frac{DER_{nc-s} \times C_{s-i}}{RfD_{dermal-i}} \dots\dots\dots(14)$$

式中, HQ_{DCS-i} 为 PAH 单体 i 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)]; $RfD_{dermal-i}$ 为 PAH 单体 i 皮肤接触参考剂量[mg/(kg·d)]。

b) PAH 单体 i 经皮肤接触地表(下)水途径的非致癌风险公式(15)计算:

$$HQ_{DCW-i} = \frac{DER_{nc-w} \times C_{w-i}}{RfD_{dermal-i}} \dots\dots\dots(15)$$

式中, HQ_{DCW-i} 为 PAH 单体 i 经皮肤接触地表(下)水途径的危害商, 无量纲; DER_{nc-w} 为皮肤接触地表(下)水途径的日均暴露量[kg/(kg·d)]; $RfD_{dermal-i}$ 为 PAH 单体 i 皮肤接触参考剂量[mg/(kg·d)]⁻¹; C_{w-i} 为地表(下)水中 PAH 单体 i 浓度 (mg/kg)。

8.4 单一污染物多途径暴露的风险计算

8.4.1 单一污染物多途径暴露的致癌风险

PAH 单体 i 经多途径暴露的致癌风险计算见公式(16):

$$R_{total-i} = R_{IIA-i} + R_{IOA-i} + R_{OIF-i} + R_{OIW-i} + R_{OIS-i} + R_{DCS-i} + R_{DCW-i} \dots\dots\dots(16)$$

式中: $R_{total-i}$ 为 PAH 单体 i 多途径暴露的终生致癌超额风险度; R_{IIA-i} 、 R_{IOA-i} 、 R_{OIF-i} 、 R_{OIW-i} 、 R_{OIS-i} 、 R_{DCS-i} 、 R_{DCW-i} 分别见公式(2)、公式(3)、公式(4)、公式(5)、公式(6)、公式(7)、公式(8)。

8.4.2 单一污染物多途径暴露的非致癌风险

PAH 单体 i 经多途径暴露的非致癌风险计算见公式(17):

$$HQ_{total-i} = HQ_{IIA-i} + HQ_{IOA-i} + HQ_{OIF-i} + HQ_{OIW-i} + HQ_{OIS-i} + HQ_{DCS-i} + HQ_{DCW-i} \dots\dots\dots(17)$$

式中: $HQ_{total-i}$ 为 PAH 单体 i 多途径暴露的危害商; HQ_{IIA-i} 、 HQ_{IOA-i} 、 HQ_{OIF-i} 、 HQ_{OIW-i} 、 HQ_{OIS-i} 、 HQ_{DCS-i} 、 HQ_{DCW-i} 分别见公式(9)、公式(10)、公式(11)、公式(12)、公式(13)、公式(14)、公式(15)。

8.5 多污染物多暴露途径的致癌风险计算

8.5.1 多污染物多途径暴露的致癌风险

16 种多环芳烃经多途径暴露致癌风险的计算见公式(18):

$$R_{sum} = \sum_{i=1}^{n=16} R_{total-i} \dots\dots\dots(18)$$

)

8.5.2 多污染物多途径暴露的致癌风险

16 种多环芳烃经多途径暴露非致癌风险的计算见公式(19):

$$HQ_{sum} = \sum_{i=1}^{n=16} HQ_{total-i} \dots\dots\dots(19)$$

8.6 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、剂量—反应关系、暴露评估和风险表征过程中的不确定性。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。

8.7 风险结论

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)

多环芳烃基本信息和理化性质

表 A.1 常见多环芳烃基本信息和理化性质

序号	中文名称	英文名称	分子式	分子量	熔点 ℃	沸点 ℃	溶解度 (mg/L,25 ℃)	LogK _{ow}	CAS
1	萘	Naphthalene	C ₁₀ H ₈	128.2	80.5	218	31	3.30	91-20-3
2	萘烯	Acenaphthylene	C ₁₂ H ₈	152.2	92.5	280	9.0	3.94	208-96-8
3	萘	Acenaphthene	C ₁₂ H ₁₀	154.2	93.4	279	3.9	3.92	83-32-9
4	芴	Fluorene	C ₁₃ H ₁₀	166.2	114.8	295	1.69	4.18	86-73-7
5	菲	Phenanthrene	C ₁₄ H ₁₀	178.2	99.2	340	1.10	4.46	85-01-8
6	蒽	Anthracene	C ₁₄ H ₁₀	178.2	215.0	339.9	1.25	4.45	120-12-7
7	荧蒽	Fluoranthene	C ₁₆ H ₁₀	202.3	107.8	384.0	0.20	5.16	206-44-0
8	芘	Pyrene	C ₁₆ H ₁₀	202.3	151.2	404.0	0.135	4.88	129-00-0
9	苯并[a]蒽	Benz[a]anthracene	C ₁₈ H ₁₂	228.3	162.0	437.6	0.0094	5.76	56-55-3
10	屈	Chrysene	C ₁₈ H ₁₂	228.3	258.2	448.0	0.0020	5.73	218-01-9
11	苯并[b]荧蒽	Benzo[b]fluoranthene	C ₂₀ H ₁₂	252.3	168.0	481.0	0.0015	5.78	205-99-2
12	苯并[k]荧蒽	Benzo[k]fluoranthene	C ₂₀ H ₁₂	252.3	217.0	480.0	0.0008	6.11	207-08-9
13	苯并[a]芘	Benzo[a]pyrene	C ₂₀ H ₁₂	252.3	176.5	495.0	0.00162	6.13	50-32-8
14	二苯并[a, h]蒽	Dibenzo[a, h]anthracene	C ₂₂ H ₁₄	278.3	269.5	524.0	0.00249	6.50	53-70-3
15	茚并[1, 2, 3-cd]芘	Indeno[1, 2, 3-cd]pyrene	C ₂₂ H ₁₂	276.3	163.6	536.0	0.0019	6.70	193-39-5
16	苯并[g, h, i]芘	Benzo[g, h, i]perylene	C ₂₂ H ₁₂	276.3	278.0	550.0	0.0026	6.63	191-24-2

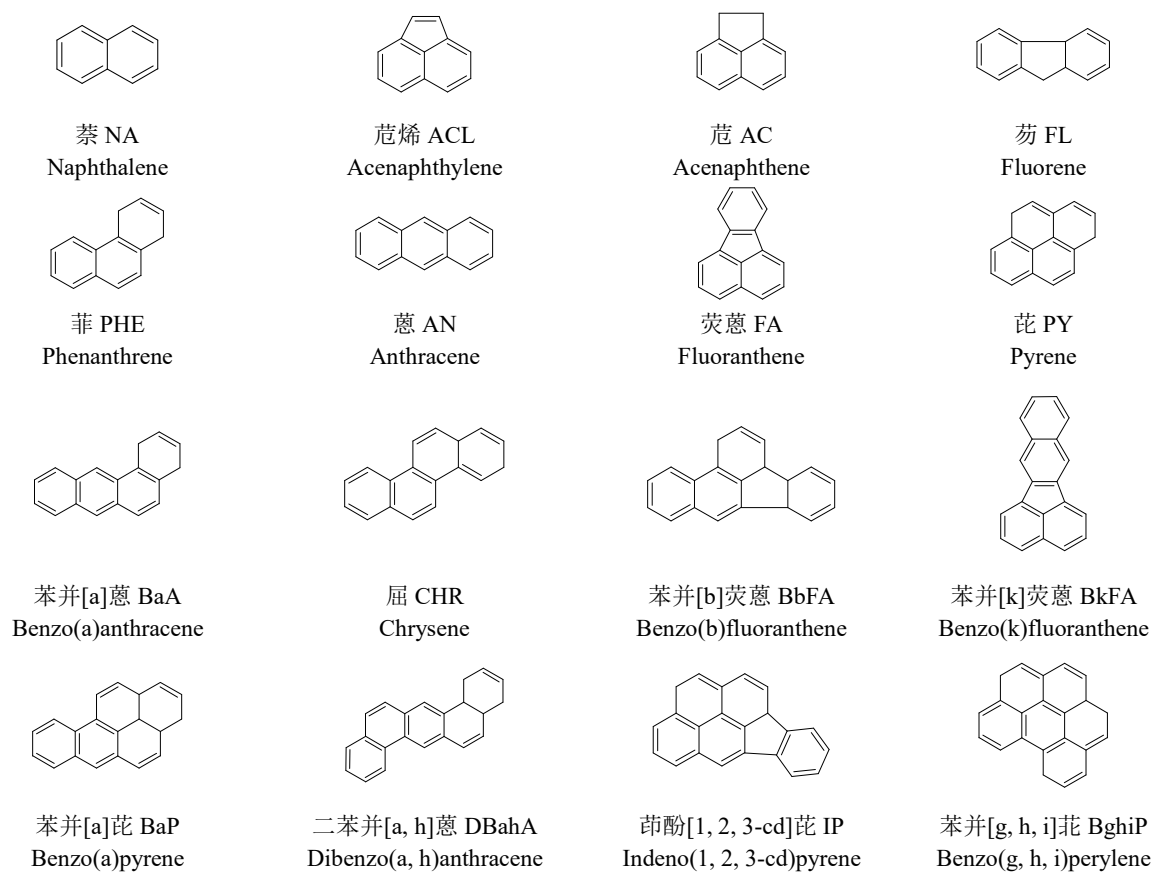


图 A.1 常见多环芳烃的结构式

表 A.2 常见多环芳烃的健康效应特征

中文名称	癌症等级			健康危害类别
	IARC	IRIS	评价结果	
苯	2B	C	阳性	H302、H351
萘	-	D	阴性	H302、H310、H315、H319、H330、H335
苊	3	D	阴性	H319
芴	3	D	阴性	H315、H319、H355
菲	3	D	阴性	H302
蒽	3	D	阴性	H304、H315、H317、H350、H361
荧蒽	3	D	阴性	H302
䓛	3	D	阴性	H315、H319、H335
苯并[a]蒽	2B	B2	阳性	H350
屈	2B	B2	阳性	H341、H350
苯并[b]荧蒽	2B	B2	阳性	H350
苯并[k]荧蒽	2B	B2	阳性	H350
苯并[a]䓛	1	A	阳性	H317、H340、H350、H360
二苯并[a,h]蒽	2A	B2	阳性	H350
茚并[1,2,3-cd]䓛	2B	B2	阳性	H351
苯并[g,h,i]花	3	D	阴性	—

注：IARC 致癌分类说明：1 类指对人具有致癌性(Carcinogenic to humans)；2A 类指对人很可能致癌(Probably carcinogenic to humans)；2B 类指对人可能致癌(Possibly carcinogenic to humans)；3 类指对人的致癌性尚无法分类(Not classifiable as to its carcinogenicity to humans)。IRIS 致癌分类说明：A 类指对人致癌(Carcinogenic to Humans)；B1 类指可能对人致癌(Likely to Be Carcinogenic to Humans)；B2 类指存在可能致癌的证据(Suggestive Evidence of Carcinogenic Potential)；C 类指无充分的证据致癌(Inadequate Information to Assess Carcinogenic Potential)；D 类指不太可能对人致癌(Not Likely to Be Carcinogenic to Humans)。

健康危害类别说明详见表 A.3。

表 A.3 GHS 健康危害分类说明

编码	危害性说明
H300	Fatal if swallowed 吞咽致命
H301	Toxic if swallowed 吞咽会中毒
H302	Harmful if swallowed 吞咽有害
H303	May be harmful if swallowed 吞咽可能有害
H304	May be fatal if swallowed and enters airways 吞咽并进入呼吸道可能致命
H305	May be harmful if swallowed and enters airways 吞咽并进入呼吸道可能有害
H310	Fatal in contact with skin 皮肤接触致命
H311	Toxic in contact with skin 皮肤接触会中毒
H312	Harmful in contact with skin 皮肤接触有害
H313	May be harmful in contact with skin 皮肤接触可能有害
H314	Causes severe skin burns and eye damage 造成严重皮肤灼伤和眼损伤

编码	危害性说明
H315	Causes skin irritation 造成皮肤刺激
H316	Causes mild skin irritation 造成轻微皮肤刺激
H317	May cause an allergic skin reaction 可能导致皮肤过敏反应
H318	Causes serious eye damage 造成严重眼损伤
H319	Causes serious eye irritation 造成严重眼刺激
H320	Causes eye irritation 造成眼刺激
H330	Fatal if inhaled 吸入致命
H331	Toxic if inhaled 吸入会中毒
H332	Harmful if inhaled 吸入有害
H333	May be harmful if inhaled 吸入可能有害
H334	May cause allergy or asthma symptoms or breathing difficulties if inhaled 吸入可能导致过敏或哮喘病症状或呼吸困难
H335	May cause respiratory irritation 可引起呼吸道刺激
H336	May cause drowsiness or dizziness 可引起昏睡或眩晕
H340	May cause genetic defects (state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard) 可能导致遗传性缺陷(说明接触途径—如已确证无其他接触途径造成这一危险)
H341	Suspected of causing genetic defects (state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard) 怀疑会导致遗传性缺陷(说明接触途径—如已确证无其他接触途径造成这一危险)
H350	May cause cancer (state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard) 可能致癌(说明接触途径—如已确证无其他接触途径造成这一危险)
H351	Suspected of causing cancer (state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard) 怀疑会致癌(说明接触途径—如已确证无其他接触途径造成这一危险)
H360	May damage fertility or the unborn child (state specific effect if known)(state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard) 可能对生育能力或胎儿造成伤害(说明已知的具体影响)(说明接触途径—如已确证无其他接触途径造成这一危险)
H361	Suspected of damaging fertility or the unborn child (state specific effect if known)(state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard) 怀疑对生育能力或胎儿造成伤害(说明已知的具体影响)(说明接触途径—如已确证无其他接触途径造成这一危险)
H362	May cause harm to breast-fed children 可能对母乳喂养的儿童造成伤害
H370	Causes damage to organs (or state all organs affected, if known) (state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard)

编码	危害性说明
	对器官造成损害(或说明已知的所有受影响器官)(说明接触途径一如已确证无其他接触途径造成这一危险)
H371	May cause damage to organs (or state all organs affected, if known)(state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard) 可能对器官造成损害(或说明已知的所有受影响器官)(说明接触途径一如已确证无其他接触途径造成这一危险)
H372	Causes damage to organs (state all organs affected, if known) through prolonged or repeated exposure (state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard) 长期或重复接触会对器官造成伤害(说明已知的所有受影响器官)(说明接触途径一如已确证无其他接触途径造成这一危险)
H373	May cause damage to organs (state all organs affected, if known) through prolonged or repeated exposure (state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard) 长期或重复接触可能对器官造成伤害(说明已知的所有受影响器官)(说明接触途径一如已确证无其他接触途径造成这一危险)

附 录 B
(规范性)
暴露评估推荐模型

B.1 一般暴露情景的评估模型

B.1.1 经呼吸道吸入途径

B.1.1.1 吸入室内空气的暴露量

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。吸入室内空气的暴露量 IER_{ca-ia} [$m^3/(kg \cdot d)$] 可通过下式计算：

$$IER_{ca-ia} = \frac{IR_{a-c} \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{IR_{a-a} \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots B.1$$

式中：

a, c—分别代表成人和儿童；

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

EFI —室内暴露频率, $d/year$, 推荐值见附录 C 表 C.1；

ED —暴露周期, $years$, 推荐值见附录 C 表 C.1；

AT_{ca} —致癌效应平均时间, d , 推荐值见附录 C 表 C.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量 IER_{nc-ia} [$m^3/(kg \cdot d)$] 可通过下式计算：

$$IER_{nc-ia} = \frac{IR_{a-c} \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots\dots B.2$$

式中：

AT_{nc} —非致癌效应平均时间, d , 推荐值见附录 C 表 C.1；式中 a、c、 IR 、 EFI 、 ED 、 BW 见公式 B.1。

B.1.1.2 吸入室外空气的暴露量

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。吸入室外空气的暴露量 IER_{ca-oa} [$m^3/(kg \cdot d)$] 可通过下式计算：

$$IER_{ca-oa} = \frac{IR_{a-c} \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{IR_{a-a} \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots B.3$$

式中：

EFO —室外暴露频率, $d/year$, 推荐值见附录 C 表 C.1；式中 IR 、 EFI 、 ED 、 BW 、 AT_{ca} 见公式 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。吸入室外空气的暴露量 IER_{nc-oa} [$m^3/(kg \cdot d)$] 可通过下式计算：

$$IER_{nc-oa} = \frac{IR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots\dots B.4$$

式中： IR 、 ED 、 BW 见公式 B.1； AT_{ca} 、 EFO 见公式 B.2。

B.1.2 经消化道摄入途径

B.1.2.1 经口摄入农畜水产品的暴露量

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。摄入农畜水产品的日均暴露量 OER_{ca-f} [kg/(kg·d)] 可通过下式计算：

$$OER_{ca-f} = \frac{\frac{IR_{f-c} \times FI \times EF_c \times ED_c}{BW_c} + \frac{IR_{f-a} \times FI \times EF_a \times ED_a}{BW_a}}{AT_{ca}} \times 10^{-3} \dots\dots\dots B.5$$

式中：

IR_f —农畜水产品摄入率，g/d；

FI —摄入的农畜水产品来自污染源的比例，推荐值见附录 C 表 C.1；

式中 a、c、 EF 、 ED 、 BW 、 AT_{ca} 见公式 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。摄入农畜水产品的日均暴露量 OER_{nc-f} [kg/(kg·d)] 可通过下式计算：

$$OER_{nc-f} = \frac{IR_{f-c} \times FI \times EF_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-3} \dots\dots\dots B.6$$

式中 a、c、 ED 、 BW 见公式 B.1； AT_{nc} 见公式 B.2； IR_f 、 FI 见公式 B.5。

B.1.2.2 饮用地表（下）水的暴露量

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。摄入地表（下）水污染物的日摄入量 OER_{ca-w} [L/(kg·d)] 通过下式计算：

$$OER_{ca-w} = \frac{IR_{w-c} \times FI \times EF_c \times ED_c}{AT_{ca} \times BW_c} + \frac{IR_{w-a} \times FI \times EF_a \times ED_a}{AT_{ca} \times BW_a} \dots\dots\dots B.7$$

式中：

IR_w —饮水摄入率，L/d，推荐值见附录 C 表 C.1；

a、c、 ED 、 BW 见公式 B.1； AT_{ca} 见公式 B.1； IR_f 、 FI 见公式 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。摄入地表（下）水污染物的日摄入量 OER_{nc-w} [L/(kg·d)] 通过下式计算：

$$OER_{nc-w} = \frac{IR_{w-c} \times FI \times EF_c \times ED_c}{AT_{nc} \times BW_c} \dots\dots\dots B.8$$

式中：

c、 ED 、 BW 见公式 B.1； AT_{nc} 见公式 B.2； FI 见公式 B.5； IR_w 见公式 B.7。

B.1.2.3 经口摄入土壤（尘）的暴露量

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} [kg/(kg·d)] 可通过下式计算：

$$OER_{ca-s} = \frac{(\frac{IR_{s-c} \times FI \times EF_c \times ED_c}{BW_c} + \frac{IR_{s-a} \times FI \times EF_a \times ED_a}{BW_a}) \times ABS_o}{AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots B.9$$

式中：

IR_s —土壤摄入率，mg/d，推荐值见附录 C 表 C.1；

FI —摄入的土壤（尘）来自污染源的比例，无量纲，推荐值见附录 C 表 C.1；

ABS_o —经口摄入吸收效率因子，无量纲，推荐值见附录 C 表 C.1；

a 、 c 、 ED 、 BW 、 AT_{ca} 见公式 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。摄入土壤（尘）中污染物的日均暴露量 OER_{nc-s} [kg/(kg·d)] 可通过下式计算：

$$OER_{nc-s} = \frac{IR_{s-c} \times FI \times EF_c \times ED_c \times ABS_o}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots B.10$$

式中， c 、 ED 、 BW 见公式 B.1； AT_{nc} 见公式 B.2； ABS_o 、 FI 见公式 B.9。

B. 1. 3 经皮肤接触途径

B. 1. 3. 1 经皮肤接触土壤（尘）的暴露量

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} [kg/(kg·d)]：

$$DER_{ca-s} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{AT_{ca} \times BW_c} \times 10^{-6} + \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{AT_{ca} \times BW_a} \times 10^{-6}$$

B.11

式中：

SAE_c/SAE_a ——儿童/成人暴露皮肤表面积， cm^2 ，推荐值见附录 C 表 C.1；

$SSAR_c/SSAR_a$ ——儿童/成人皮肤表面土壤粘附系数， mg/cm^2 ，推荐值见附录 C 表 C.1；

ABS_d ——皮肤接触吸收效率因子，无量纲，推荐值见附录 C 表 C.1；

E_v ——每日皮肤接触事件频率，次/d，推荐值见附录 C 表 C.1；

a 、 c 、 ED 、 BW 、 EF 、 AT_{ca} 见公式 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。皮肤接触土壤（尘）中污染物的日均暴露量 DER_{nc-s} [kg/(kg·d)]：

$$DER_{nc-s} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{AT_{nc} \times BW_c} \times 10^{-6} \dots\dots\dots B.12$$

式中：

c 、 ED 、 BW 、 EF 见公式 B.1； AT_{nc} 见公式 B.2； SAE_c 、 $SSAR_c$ 、 E_v 见公式 B.11。

B. 1. 3. 2 经皮肤接触地表水的暴露量

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。皮肤接触地表水中污染物的日均暴露量 DER_{ca-w} [L/(kg·d)]：

$$DER_{ca-w} = \frac{SA_w \times K_p \times CF \times ET \times EF_c \times ED_c}{AT_{ca} \times BW_c} + \frac{SA_w \times K_p \times CF \times ET \times EF_a \times ED_a}{AT_{ca} \times BW_a} \dots\dots\dots B.13$$

式中： SA_w ——皮肤接触地表水面积， cm^2 ；

K_p ——污染物皮肤渗透系数， cm/h ，参数外推模型见公式 (C.5)；

CF ——体积转换因子， $1 \times 10^{-3} \text{ L/cm}^3$ ；

ET ——每日暴露小时数， h/d ；

a 、 c 、 ED 、 BW 、 EF 、 AT_{ca} 见公式 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。皮肤接触地表水中污染物的日均暴露量 $DER_{nc-w} [\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{d})]$ ：

$$DER_{nc-w} = \frac{SA_w \times K_p \times CF \times ET \times EF_c \times ED_c}{AT_{nc} \times BW_c} \dots\dots\dots \text{B.14}$$

式中， c 、 ED 、 BW 、 EF 见公式 B.1； AT_{nc} 见公式 B.2； SA_w 、 K_p 、 CF 、 ET 见公式 B.13。

B. 2 职业暴露情景的评估模型

B. 2.1 经呼吸道吸入途径

B. 2.1.1 吸入室内空气的暴露量

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害。吸入室内空气的暴露量 $IER_{ca-ia} [\text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{d})]$ 可通过下式计算：

$$IER_{ca-ia} = \frac{IR_{a-a} \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots \text{B.15}$$

式中： a 、 c 、 IR_a 、 EFI 、 ED 、 AT_{ca} 见公式 B.1

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期暴露的危害。吸入室内空气的暴露量 $IER_{nc-ia} [\text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{d})]$ 可通过下式计算：

$$IER_{nc-ia} = \frac{IR_{a-a} \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}} \dots\dots\dots \text{B.16}$$

式中： a 、 c 、 IR_a 、 EFI 、 ED 见公式 B.1； AT_{nc} 见公式 B.2。

B. 2.1.2 吸入室外空气的暴露量

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害。吸入室外空气的暴露量 $IER_{ca-oa} [\text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{d})]$ 可通过下式计算：

$$IER_{ca-oa} = \frac{IR_{a-a} \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots \text{B.17}$$

式中： a 、 EFO 、 IR 、 EFI 、 ED 、 BW 、 AT_{ca} 见公式 B.1。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期暴露的危害。吸入室外空气的暴露量 $IER_{nc-oa} [\text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{d})]$ 可通过下式计算：

$$IER_{nc-oa} = \frac{IR_{a-a} \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}} \dots\dots\dots \text{B.18}$$

式中： a 、 EFO 、 IR 、 EFI 、 ED 、 BW 、见公式 B.1； AT_{nc} 见公式 B.2。

B. 2. 2 经皮肤接触途径

B. 2. 2. 1 经皮肤接触土壤（尘）的暴露量

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在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} [kg/(kg·d)]:

$$DER_{ca-s} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \text{B.19}$$

式中： a 、 c 、 ED 、 BW 、 EF 、 AT_{ca} 见公式 B.1； SAE_a 、 $SSAR_a$ 、 ABS_d 、 E_v 见公式 B.11。

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

$$DER_{nc-s} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \text{B.20}$$

式中： a 、 ED 、 BW 、 EF 、 AT_{ca} 见公式 B.1； SAE_a 、 $SSAR_a$ 、 ABS_d 、 E_v 见公式 B.11。

B. 2. 2. 2 经皮肤接触地表水的暴露量

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害。皮肤接触地表水中污染物的日均暴露量 DER_{ca-w} [L/(kg·d)]:

$$DER_{ca-w} = \frac{SA_w \times K_p \times CF \times ET \times EF_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \quad \text{B.21}$$

式中： a 、 ED 、 BW 、 EF 、 AT_{ca} 见公式 B.1； SA_w 、 K_p 、 CF 、 ET 见公式 B.13。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期暴露的危害。皮肤接触地表水中污染物的日均暴露量 DER_{nc-w} [L/(kg·d)]:

$$DER_{nc-w} = \frac{SA_w \times K_p \times CF \times ET \times EF_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}} \quad \text{B.22}$$

式中： a 、 ED 、 BW 、 EF 见公式 B.1； AT_{nc} 见公式 B.2； SA_w 、 K_p 、 CF 、 ET 见公式 B.13。

附录 C

(规范性)

风险评估模型参数及推荐值

表 C.1 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
BW_a	成人体重	kg	61.8
BW_c	儿童体重	kg	19.2
IR_{a-a}	成人每日空气呼吸量	$m^3 \cdot d^{-1}$	14.5
IR_{a-c}	儿童每日空气呼吸量	$m^3 \cdot d^{-1}$	7.5
IR_{w-a}	成人饮水摄入率	$L \cdot d^{-1}$	1.85
IR_{w-c}	儿童饮水摄入率	$L \cdot d^{-1}$	1.19
IR_{s-a}	成人土壤摄入率	$mg \cdot d^{-1}$	200
IR_{s-c}	儿童土壤摄入率	$mg \cdot d^{-1}$	100
SAE_a	成人暴露皮肤表面积	cm^2	5145
SAE_c	儿童暴露皮肤表面积	cm^2	2670
$SSAR_a$	成人皮肤表面土壤粘附系数	mg/cm^2	0.07
$SSAR_c$	儿童皮肤表面土壤粘附系数	mg/cm^2	0.2
EFI	室内暴露频率	$d \cdot year^{-1}$	假设 75%的时间在室内活动， 即 $0.75 \times 350 = 262.5 d \cdot year^{-1}$
EFO	室外暴露频率	$d \cdot year^{-1}$	假设 25%的时间在室外活动， 即 $0.25 \times 350 = 87.5 d/year$
ED_a	成人暴露周期	year	24
ED_c	儿童暴露周期	year	6
AT_{ca}	致癌效应平均时间	d	$76 year \times 365 d = 27740 d$
AT_{nc}	非致癌效应平均时间	d	
FI	摄入的农畜水产品来自污染源的比例	无量纲	1
ABS_o	经口摄入吸收效率因子	无量纲	1
ABS_d	皮肤接触吸收效率因子	无量纲	BaP 和其他 PAH 单体默认值为 0.13
ABS_{gi}	消化道吸收效率因子	无量纲	1
Ev	每日皮肤接触事件频率	次/d	1
$URF_{inh-BaP}$	BaP 呼吸吸入单位风险因子	$(\mu g/m^3)^{-1}$	6.0×10^{-4}
$SF_{oral-BaP}$	BaP 经口摄入致癌斜率因子	$[mg/(kg \cdot d)]^{-1}$	1

表 C.2 常见多环芳烃的毒性参数

污染物	慢性经口参考剂量 RfD (mg/kg-d)	慢性经呼吸参考浓度 RfC(mg/m ³)	经口致癌斜率因子 SF(mg/kg-d) ⁻¹	经呼吸的单位风险因子 URF($\mu g/m^3$) ⁻¹
-----	---------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	--

萘	2×10^{-2}	3×10^{-3}	1.2×10^{-1}	3.4×10^{-5}
萘烯	—	—	—	—
萘	6×10^{-2}	—	—	—
芴	4×10^{-2}	—	—	—
菲	—	—	—	—
蒽	3×10^{-1}	—	—	—
荧蒽	4×10^{-2}	—	—	—
芘	3×10^{-2}	—	—	—
苯并[a]蒽	—	—	1.0×10^{-1}	6.0×10^{-5}
屈	—	—	1.0×10^{-3}	6.0×10^{-7}
苯并[b]荧蒽	—	—	1.0×10^{-1}	6.0×10^{-5}
苯并[k]荧蒽	—	—	1.0×10^{-2}	6.0×10^{-6}
苯并[a]芘	3.0×10^{-4}	2.0×10^{-6}	1	6.0×10^{-4}
二苯并[a,h]蒽	—	—	1	6.0×10^{-4}
茚并[1,2,3-cd]芘	—	—	1.0×10^{-1}	6.0×10^{-5}
苯并[g,h,i]芘	—	—	—	—

表 C.3 常见多环芳烃的毒性当量因子

污染物	毒性当量因子TEF	污染物	毒性当量因子TEF
萘	0.001	苯并[a]蒽	0.1
萘烯	0.001	屈	0.001
萘	0.001	苯并[b]荧蒽	0.1
芴	0.001	苯并[k]荧蒽	0.01
菲	0.001	苯并[a]芘	1
蒽	0.01	二苯并[a,h]蒽	1
荧蒽	0.001	茚并[1,2,3-cd]芘	0.1
芘	0.001	苯并[g,h,i]芘	0.01

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_{inh-i} ）和呼吸吸入参考剂量（ RfD_{inh-i} ），分别采用公式（C.1）和公式（C.2）计算：

$$SF_{inh-i} = \frac{IUR_i \times BW_a}{IR_{a-a}} \dots\dots\dots C.1$$

$$RfD_{inh-i} = \frac{RfC_i \times IR_{a-a}}{BW_a} \dots\dots\dots C.2$$

公式（C.1）和公式（C.2）中：
 SF_{inh-i} —污染物 i 呼吸吸入致癌斜率因子[$\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]⁻¹；

RfD_{inh-i} —污染物 i 呼吸吸入参考剂量[mg/(kg·d)];

IUR_i —污染物 i 呼吸吸入单位致癌因子($\mu\text{g}/\text{m}^3$) $^{-1}$;

RfC_i —污染物 i 呼吸吸入参考浓度(mg/m 3);

BW_a 、 IR_{a-a} 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:

$$SF_{dermal-i} = \frac{SF_{oral-i}}{ABS_{gi}} \dots\dots\dots C.3$$

$$RfD_{dermal-i} = RfD_{oral-i} \times ABS_{gi} \dots\dots\dots C.4$$

公式 (C.3) 和公式 (C.4) 中:

$SF_{dermal-i}$ —污染物 i 皮肤接触致癌斜率因子[mg/(kg·d)] $^{-1}$;

$RfD_{dermal-i}$ —污染物 i 皮肤接触参考剂量[mg/(kg·d)];

SF_{oral-i} —污染物 i 经口摄入致癌斜率因子[mg/(kg·d)] $^{-1}$;

RfD_{oral-i} —污染物 i 经口摄入参考剂量[mg/(kg·d)];

ABS_{gi} —消化道吸收效率因子, 无量纲。

C. 3 皮肤渗透系数外推模型公式

皮肤渗透系数采用公式 (C.5) 计算:

$$\log K_p = 0.71 \times \log K_{ow} - 0.0061 \times MW - 2.72 \dots\dots\dots C.5$$

公式 (C.5) 中:

K_{ow} —辛醇/水分配系数;

MW —分子量 (g/mol)。