

附件3

地下水污染健康风险评估 工作指南

2019年9月

目 次

第一章 总 则.....	1
1.1 编制目的.....	1
1.2 适用范围.....	1
1.3 编制依据.....	1
1.4 术语与定义.....	2
1.5 指导原则.....	3
1.6 组织编制单位.....	3
第二章 工作内容和流程.....	5
2.1 工作内容.....	5
2.2 工作流程.....	7
第三章 风险评估准备.....	9
3.1 明确启动条件.....	9
3.2 基础资料审核.....	10
3.3 关注污染物识别.....	10
3.4 污染区域分析.....	11
3.5 暴露人群.....	11
第四章 危害识别技术要求.....	12
4.1 收集相关资料.....	12
4.2 确定关注污染物.....	12
第五章 暴露评估技术要求.....	13
5.1 分析暴露情景.....	13
5.2 确定暴露途径.....	14
5.3 计算第一类用地暴露量.....	14
5.4 计算第二类用地暴露量.....	15
第六章 毒性评估技术要求.....	16
6.1 分析污染物毒性效应.....	16
6.2 确定污染物相关参数.....	16

第七章 风险表征技术要求.....	18
7.1 风险表征技术要求.....	18
7.2 计算地下水污染风险.....	18
7.3 风险不确定性分析.....	19
7.4 风险结果表达.....	19
7.5 暴露风险贡献率分析.....	19
第八章 计算风险控制值的技术要求.....	20
8.1 可接受致癌风险和危害商.....	20
8.2 计算地下水风险控制值.....	20
8.3 分析确定地下水风险控制值.....	20
第九章 质控要求.....	22
附录 A（规范性附录） 暴露评估推荐模型	23
附录 B（规范性附录） 污染物性质参数推荐值及外推模型	28
附录 C（规范性附录） 计算致癌风险和危害商的推荐模型	46
附录 D（资料性附录） 不确定性分析推荐模型	48
附录 E（规范性附录） 计算地下水风险控制值的推荐模型	50
附录 F（规范性附录） 污染物扩散迁移推荐模型	53
附录 G（资料性附录） 风险评估模型参数推荐值	60
附录 H（规范性附录） 部分有毒有害指标的饮用水标准	64

地下水污染健康风险评估工作指南

第一章 总 则

1.1 编制目的

为贯彻落实《全国地下水污染防治规划（2011-2020年）》《地下水污染防治实施方案》（环土壤〔2019〕25号），推进我国地下水污染防治工作，规范和指导地下水污染健康风险评估工作，根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》及相关法律、法规、标准，制定《地下水污染健康风险评估工作指南》（以下简称指南）。

1.2 适用范围

本指南适用于污染场地地下水人体健康风险评估和污染场地地下水风险控制值的确定，适用于化学性污染物的健康风险评估，不适用于放射性物质、致病性生物污染的健康风险评估，不考虑地下水饮用水源相关的水厂处理对人群健康风险的影响因素。

1.3 编制依据

本指南引用了下列文件或其中的条款。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

GB 5749 生活饮用水卫生标准

GB 50137 城市用地分类与规划建设用地标准

GB/T 14157 水文地质术语

GB/T 14848 地下水质量标准

HJ 25.3 污染场地风险评估技术导则

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/T 164 地下水环境监测技术规范

中国人群暴露参数手册（成人卷）2013 年版

中国人群暴露参数手册（儿童卷：0-5 岁）2016 年版

中国人群暴露参数手册（儿童卷：6-17 岁）2016 年版

1.4 术语与定义

下列术语与定义适用于本指南。

地下水污染：人为原因导致地下水物理、化学、生物性质改变，使地下水水质恶化的现象。

关注污染物：根据地下水污染特征和利益相关方意见，确定需要进行风险评估的污染物。

健康风险评估：在地下水环境调查的基础上，分析地下水中污染物对人群的主要暴露途径，评估污染物对人体健康的危害概率，计算基于健康风险的地下水风险控制值的过程。

暴露途径：指污染物从源到与暴露受体接触的途径，主要包括污染物的来源，环境归趋和传输，暴露地点，暴露方式（本指南包括经口摄入地下水、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气来自地下水的气态污染物和皮肤接触地下水）以及暴露人群等五部分内容。

危害商：污染物每日摄入剂量与参考剂量的比值，用来表征人体经单一途径暴露于非致癌污染物而受到危害的水平。

致癌风险：人群暴露于致癌效应污染物，诱发致癌性疾病或危害的概率。

可接受风险水平：对暴露人群不会产生不良或有害健康效应的风险水平，包括致癌物的可接受致癌风险水平和非致癌物的可接受危害商。本指南中单一污染物的可接受致癌风险为 10^{-6} ，单一污染物的可接受危害商为 1。

地下水风险控制值：根据本指南规定的用地方式、暴露情景和可接受风险水平，采用本指南规定的风险评估方法和地下水环境调查评价获得相关数据，计算获得的地下水中污染物的浓度限值。

1.5 指导原则

(1) 科学性原则：地下水健康风险评估应根据地下水污染特征和趋势，确定关注污染物和评估区的范围，保证健康风险评估的结果科学可靠。

(2) 针对性原则：根据评估对象的污染特征，选取实际暴露情景及参数，构建有针对性的健康风险暴露评估模型。

(3) 循序渐进原则：地下水污染特征和暴露参数等信息获取阶段性强，随着地下水污染特征、暴露参数获取完备程度的提高，不断完善和更新地下水健康风险评估结果，以便更有效地指导地下水污染防治工作。

1.6 组织编制单位

本指南由生态环境部土壤生态环境司、水生态环境司组织，生态环境部环境规划院、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、中国科学院大学、北京市环境保护科学研究院、生态环境部南京

环境科学研究所、清华大学等单位起草编制。

第二章 工作内容和流程

2.1 工作内容

(1) 风险评估准备

明确启动条件。根据初步、详细阶段的地下水环境调查评价结果，在查清地下水污染源特征、污染羽空间分布和趋势基础上，判断污染物是否为有毒有害物质，然后判断地下水有毒有害物质是否有相关功能标准，启动相应的地下水健康风险评估工作。

基础资料审核。审核监测点和暴露点状况、污染源及污染区域状况。

关注污染物识别。根据地下水环境调查和监测结果，将对人群等敏感受体具有潜在风险且需要进行风险评估的化学类污染物，确定为关注污染物。

污染区域分析。根据地下水污染现状及模拟预测的结果，健康风险评估范围包括地下水污染羽所在区域及受污染羽潜在影响的区域。

受影响人群估算。估算影响人群，包括人口数量、人口分布、人口年龄构成等。

(2) 危害识别

识别关注污染物的危害效应，包括理化性质、毒性效应、人群流行病学、关键效应分析等。

(3) 暴露评估

暴露评估是分析调查关注污染物迁移和危害敏感受体的可能性。根据水文地质条件、土地利用方式及地下水功能等资料，确定评估区（污染区及潜在污染区内）关注污染物的暴露情景、暴

露途径和受体类型，计算各途径暴露浓度和各暴露途径下的总暴露剂量。

科学采用地下水污染静态和动态数据确定暴露浓度。根据地下水环境调查评价的结果，首先采用有代表性的地下水污染现状监测数据计算暴露剂量；依据《地下水污染模拟预测评估工作指南》，利用地下水污染模拟预测的方法，补充地下水污染模拟预测数据为暴露浓度开展动态暴露评估：分析从污染源到暴露点的可能途径和人群暴露方式，建立“污染源-污染物迁移-暴露点-人群暴露方式”的暴露途径概念模型；选取不长于5年作为时间间隔预测一个浓度，预测70年，将各时间节点浓度取均值作为暴露点的暴露浓度。

(4) 毒性评估

在危害识别的工作基础上，确定与关注污染物相关的毒性参数，包括非致癌参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和单位致癌因子等。

(5) 风险表征

风险表征是风险量化和综合评估的过程。目的是初步确定风险控制的目标污染物、关键暴露途径及风险水平。方法是采用风险评估模型计算不同关注污染物在不同暴露途径下的风险值，分析风险的时空分布特征并对评估结果进行主控因素分析和不确定性分析。

(6) 地下水污染健康风险控制值计算

在风险表征的基础上，判断计算得到的风险值是否超过可接受风险水平。如风险值未超过可接受风险水平，则结束风险评估

工作；否则，分别计算关注污染物基于致癌风险和非致癌风险的地下水风险控制值。进行关键参数取值的敏感性分析。

基于致癌风险和非致癌风险的地下水风险控制值，提出关注污染物相应的地下水风险控制值。

2.2 工作流程

健康风险评估工作流程包括风险评估准备、危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和风险控制值计算等步骤。工作流程如下图所示：

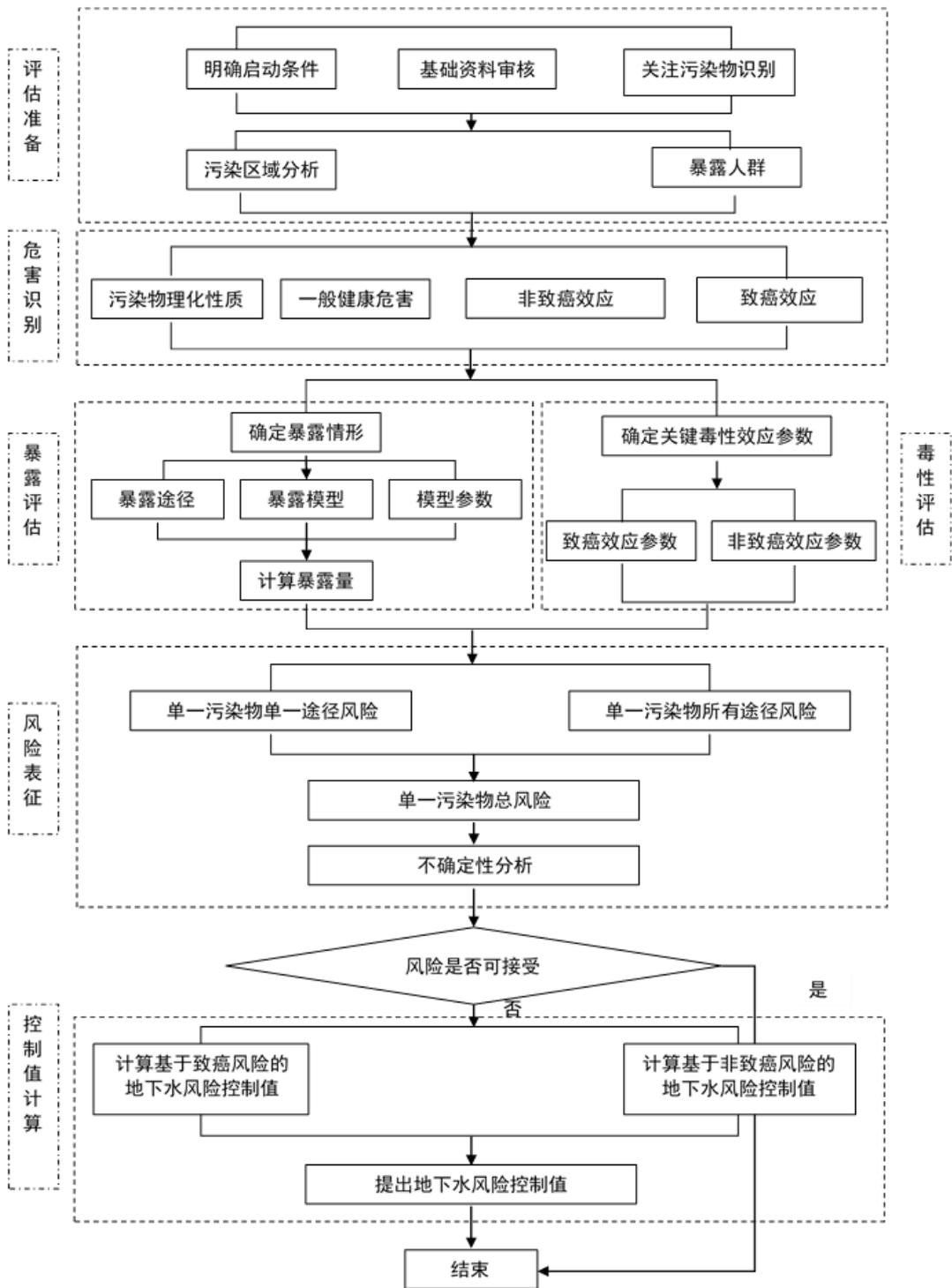


图 1 地下水污染健康风险评估工作程序

第三章 风险评估准备

3.1 明确启动条件

3.1.1 判断检出指标是否有毒有害

根据《地下水环境状况调查评价工作指南》，分析初步、详细阶段的地下水环境调查评价结果，识别地下水污染源特征、污染羽空间分布和趋势，判断地下水检出指标是否属于有毒有害物质（参见附录 H），当地下水有毒有害物质检出时，进一步判断是否有相关标准。有毒有害物质可参见 GB/T 14848 中的毒理学指标、《有毒有害水污染物名录》以及《优先控制化学品名录》等。

3.1.2 判断指标是否在相关标准内

（1）检出有毒有害物质指标在饮用水相关标准内

（a）地下水污染羽涉及地下水饮用水源（在用、备用、应急、规划水源）补给径流区和保护区，地下水有毒有害物质指标超过《地下水质量标准》（GB/T 14848）中的 III 类标准、《生活饮用水卫生标准》（GB 5749）等相关的饮用水标准时，可不开展地下水污染健康风险评估工作，基于标准值开展地下水环境管理工作。地下水有毒有害物质指标检出但未超标时，工作终止。

（b）地下水污染羽不涉及地下水饮用水源（在用、备用、应急、规划水源）补给径流区和保护区，地下水有毒有害物质指标超过《地下水质量标准》（GB/T 14848）中的 IV 类标准、《生活饮用水卫生标准》（GB 5749）等相关的标准时，启动地下水污染健康风险评估工作。

（2）检出有毒有害物质指标不在饮用水相关标准内

标准中未列出的有毒有害物质指标只要检出，即启动地下水

健康风险评估工作。

3.2 基础资料审核

审核初步、详细阶段的地下水环境状况调查评价的基本资料，包括监测点和暴露点状况、污染源及污染区域状况。

(1) 监测点和暴露点状况

确认评估区内监测点个数和分布；

确认评估区内暴露点个数和分布；

确认评估区内地下水水质监测资料；

确认评估区水文地质条件。

(2) 污染源及污染区域状况

识别污染源及其类型；

分析污染历史；

判断污染源排放特征（增加/稳定/减小）；

分析地下水污染现状和趋势。

3.3 关注污染物识别

根据地下水环境调查和监测结果，将对人群等敏感受体具有潜在风险且需要进行风险评估的化学类污染物，确定为关注污染物。关注污染物应为有毒有害物质，具体判定满足以下几点：

(1) 在饮用水标准中所含污染物，超过标准或监测点至少 5 个且检出率 $>5\%$ ，便列为关注污染物；

(2) 饮用水标准中未列出污染组分，只要检出，便列为关注污染物；

(3) 根据地下水污染特征和利益相关方意见，确定需要进行风险评估的污染物。

3.4 污染区域分析

启动地下水污染健康评估后，应识别健康评估区域，明确评估范围和对象。健康风险评估区域包括污染源和潜在污染区域。根据地下水污染现状及模拟预测的结果，健康风险评估区域应包含地下水污染羽及其潜在影响的区域。

3.5 暴露人群

收集评估区敏感人群信息，包括人口数量、人口分布、人口年龄构成；

收集评估区人口流动情况；

收集评估区人群用水类型、地下水用途及占比；

收集评估区规划的人口数量，当相关规划缺少人口材料时，采用该地区相应土地利用类型内平均承载人口情况确定人口数量。

第四章 危害识别技术要求

4.1 收集相关资料

按照调查要求进行污染识别，获得以下信息：

- (1) 较为详尽的调查区相关资料及历史信息；
- (2) 地下水等样品中污染物的浓度数据；
- (3) 土壤的理化性质分析数据；
- (4) 所在地气候、水文、地质特征信息和数据；
- (5) 调查区及周边地区土地利用方式、敏感人群及建筑物等相关信息。

4.2 确定关注污染物

根据环境调查和监测结果，将对人群等敏感受体具有潜在风险且需要进行风险评估的污染物，确定为关注污染物。

4.3 关注污染物毒性效应

分析污染物经不同途径对人体健康的危害效应，包括一般健康损害、非致癌健康效应、致癌健康效应。一般健康损害包括急性、亚慢性和慢性损害等。非致癌健康效应主要包括消化系统功能损伤、心血管系统功能损伤、免疫系统功能损伤、生殖系统损伤等。致癌健康效应主要包括肺癌、消化道癌等人类常见肿瘤。

第五章 暴露评估技术要求

5.1 分析暴露情景

暴露情景是指特定的土地利用方式下，污染物经由不同暴露路径迁移和到达受体人群的情况。根据不同土地利用方式下人群的活动模式，本指南规定了 2 种典型的暴露情景，第一类用地和第二类用地。

(1) 第一类用地方式下，儿童和成人均可能会长时间暴露污染下而产生健康危害。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污染物的终生致癌风险；对于污染物的非致癌效应，儿童体重较轻、暴露量较高，一般根据儿童期暴露来评估污染物的非致癌危害效应。

第一类用地方式包括 GB 50137 规定的城市建设用地中的居住用地 (R)、文化设施用地 (A2)、中小学用地 (A33)、医疗卫生用地 (A5) 和社会福利设施用地 (A6) 中的孤儿院、公园绿地 (G1) 中的社区公园或儿童公园用地等。

(2) 第二类用地方式下，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污染物的致癌风险和非致癌效应。

第二类用地包括 GB 50137 规定的城市建设用地中的工业用地 (M)，物流仓储用地 (W)，商业服务业设施用地 (B)，道路与交通设施用地 (S)，公用设施用地 (U)，公共管理与公共服务用地 (A) (A33、A5、A6 除外)，以及绿地与广场用地 (G) (G1 中的社区公园或儿童公园用地除外) 等。

除本指南以外的 GB 50137 规定的城市建设用地、应分析特定场地人群暴露的可能性、暴露频率和暴露周期等情况，参照第一

类用地或第二类用地情景进行评估或构建适合的特定暴露情景进行风险评估。

5.2 确定暴露途径

(1) 对于第一类用地和第二类用地，本指南规定了经口摄入地下水、皮肤接触地下水、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物主要的暴露途径。

(2) 特定用地方式下的主要暴露途径应根据实际情况分析确定，风险评估模型参数应尽可能根据现场调查获得。

5.3 计算第一类用地暴露量

5.3.1 经口摄入地下水

第一类用地方式下，人群可经口摄入地下水。对于单一污染物的致癌和非致癌效应，计算经口摄入地下水途径对应的地下水暴露量的推荐模式见附录 A 公式 (A.1) 和公式 (A.2)。此部分内容参考 HJ 25.3。

5.3.2 皮肤接触地下水途径

第一类用地方式下，人群可经皮肤直接接触地下水。对于单一污染物的致癌和非致癌效应，计算皮肤接触地下水途径对应的地下水暴露量的推荐模型见附录 A 公式 (A.3) 和公式 (A.8)。

5.3.3 吸入室外空气中气态污染物途径

第一类用地方式下，人群可因吸入室外空气中来自地下水中的气态污染物而暴露于污染地下水。对于单一污染物的致癌和非致癌效应，计算吸入室外空气中气态污染物对应的地下水暴露量的推荐模型见附录 A 公式 (A.9) 和公式 (A.10)。

5.3.4 吸入室内空气 中气态污染物途径

第一类用地方式下，人群吸入室内空气中来自地下水中的气态污染物。对于污染物的致癌和非致癌效应，计算吸入室内空气中气态污染物对应地下水暴露量的推荐模型见附录 A 公式(A.11)和公式(A.12)。

5.4 计算第二类用地暴露量

5.4.1 经口摄入地下水途径

第二类用地方式下，人群可因饮用地下水而暴露于地下水污染物。对于单一污染物致癌和非致癌效应，计算该途径对应的地下水暴露量的推荐模型见附录 A 公式(A.13)和公式(A.14)。

5.4.2 皮肤接触地下水途径

第二类用地方式下，人群可经皮肤直接接触地下水。对于污染物的致癌和非致癌效应，计算皮肤接触地下水途径对应的地下水暴露量的推荐模型见附录 A 公式(A.15)和公式(A.16)。

5.4.3 吸入室外空气中气态污染物途径

第二类用地方式下，人群可经吸入室外空气中来自地下水中的气态污染物途径而暴露于污染地下水。对于污染物的致癌和非致癌效应，计算吸入室外空气中气态污染物途径对应的地下水暴露量的推荐模型见附录 A 公式(A.17)和公式(A.18)。

5.4.4 吸入室内空气 中气态污染物途径

第二类用地方式下，人群可经吸入室内空气中来自地下水中的气态污染物途径而暴露于污染地下水。对于污染物的致癌和非致癌效应，计算吸入室内空气中气态污染物途径对应的地下水暴露量的推荐模型见附录 A 公式(A.19)和公式(A.20)。

第六章 毒性评估技术要求

6.1 分析污染物毒性效应

分析污染物经不同途径对人体健康的危害效应，包括致癌效应、非致癌效应，污染物对人体健康的危害机理以及剂量-效应关系。

6.2 确定污染物相关参数

6.2.1 致癌效应毒性参数

致癌效应毒性参数包括呼吸吸入单位致癌因子（IUR）、呼吸吸入致癌斜率因子（ SF_i ）、经口摄入致癌斜率因子（ SF_o ）和皮肤接触致癌斜率因子（ SF_d ）。部分污染物的致癌效应毒性参数的推荐值见附录 B（表 B.1）。

呼吸吸入致癌斜率因子（ SF_i ），优先根据附录 B 表 B.1 中的呼吸吸入单位致癌因子（IUR）外推计算获得；皮肤接触致癌斜率系数（ SF_d ），优先根据附录 B 表 B.1 中的经口摄入致癌斜率系数（ SF_o ）外推计算获得。用于外推获得 SF_i 和 SF_d 的推荐模式分别见附录 B 公式（B.1）和公式（B.3）。

6.2.2 非致癌效应毒性参数

非致癌效应毒性参数包括呼吸吸入参考浓度（RfC）、呼吸吸入参考剂量（ RfD_i ）、经口摄入参考剂量（ RfD_o ）和皮肤接触参考剂量（ RfD_d ）。部分污染物的非致癌效应毒性参数推荐值见附录 B（表 B.1）。

呼吸吸入参考剂量（ RfD_i ），优先根据表 B.1 中的呼吸吸入参考浓度（RfC）外推计算得到。皮肤接触参考剂量（ RfD_d ），优先根据表 B.1 中的经口摄入参考剂量（ RfD_o ）外推计算获得。

用于外推获得 RfD_i 和 RfD_d 的推荐模式分别见附录 B 公式 (B.2) 和公式 (B.4)。

6.2.3 污染物的理化性质参数

风险评估所需的污染物理化性质参数包括无量纲亨利常数 (H')、空气中扩散系数 (D_a)、水中扩散系数 (D_w)、土壤-有机碳分配系数 (K_{oc})、水中溶解度 (S)。部分污染物的理化性质参数的推荐值见附录 B (表 B.2)。

6.2.4 其他污染物相关参数

其他污染物相关参数包括消化道吸收因子 (ABS_{gi})、皮肤吸收因子 (ABS_d)。部分污染物的推荐参数值见附录 B (表 B.1)。

第七章 风险表征技术要求

7.1 风险表征技术要求

应根据每个采样点样品中关注污染物检测数据，计算致癌风险和危害商。如关注污染物的检测数据呈正态分布，可选择所有采样点污染物浓度数据 95% 置信区间的上限值计算致癌风险和危害商。

风险评估得到的污染物的致癌风险和危害商，可作为确定污染范围的重要依据。计算得到的地下水中单一污染物的致癌风险值超过 10^{-6} 或危害商超过 1 的采样点，其代表的区域应划定为风险不可接受的污染区。

7.2 计算地下水污染风险

7.2.1 地下水中单一污染物致癌风险

对于单一污染物，计算经口摄入地下水、皮肤接触地下水、吸入室外空气中地下水气态污染物和吸入室内空气中地下水气态污染物途径致癌风险的推荐模式，分别见附录 C 公式 (C.1)、(C.2)、(C.3) 和 (C.4)。计算单一地下水污染物经所有暴露途径致癌风险的推荐模式，见附录 C 公式 (C.5)。

7.2.2 地下水中单一污染物危害商

对于单一污染物，计算经口摄入地下水、皮肤接触地下水、吸入室外空气中地下水气态污染物、吸入室内空气中地下水气态污染物途径危害商的推荐模式，分别见附录 C 公式 (C.6)、(C.7)、(C.8) 和 (C.9)。计算单一地下水污染物经所有途径非致癌危害商的推荐模式，见附录 C 公式 (C.10)。

7.3 风险不确定性分析

此部分内容参考 HJ 25.3 中 8.4 的内容。

7.4 风险结果表达

单一污染物基于致癌效应的最大可接受致癌风险为 10^{-6} ；单一污染物基于非致癌效应最大可接受危害商为 1。根据风险可接受水平，划分为风险可接受区域和风险不可接受区域。

7.5 暴露风险贡献率分析

单一污染物经不同暴露途径的致癌风险和危害商贡献率分析推荐模式，分别见附录 D 公式 (D.1) 和公式 (D.2)；不同污染物经所有暴露途径致癌风险和非致癌危害商贡献率分析模式，分别见附录 D 公式 (D.3) 和公式 (D.4)。

根据上述公式计算获得的百分数越大，表示特定暴露途径或特定污染物对于总风险值或危害指数的影响越大，可为制定污染地下水风险管理或治理与修复方案提供重要的信息。

第八章 计算风险控制值的技术要求

8.1 可接受致癌风险和危害商

本指南计算基于致癌效应的地下水风险控制值时，采用单一污染物的可接受致癌风险为 10^{-6} ；计算基于非致癌效应的地下水风险控制值时，采用单一污染物的可接受危害商为 1。

8.2 计算地下水风险控制值

8.2.1 基于致癌风险的地下水风险控制值

对于单一污染物，计算基于经口摄入地下水、皮肤接触地下水、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径致癌风险的地下水风险控制值的推荐模式，分别见附录 E 公式 (E.1)、(E.2)、(E.3) 和 (E.4)。计算单一污染物基于上述所有途径致癌风险的地下水风险控制值的推荐模式，见附录 E 公式 (E.5)。

8.2.2 基于非致癌风险的地下水风险控制值

对于单一污染物，计算基于经口摄入地下水、皮肤接触地下水、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的非致癌风险的地下水风险控制值的推荐模式，分别见附录 E 公式 (E.6)、(E.7)、(E.8) 和 (E.9)。计算单一污染物基于上述所有途径非致癌风险的地下水风险控制值的推荐模式，见附录 E 公式 (E.10)。

8.3 分析确定地下水风险控制值

比较经过上述计算得到的基于致癌风险的地下水风险控制值、基于非致癌风险的地下水风险控制值，选择较小值作为地下

水的风险控制值。

特定污染地下水修复目标值的确定，应综合考虑修复技术、经济、时间等方面的可行性。

第九章 质控要求

地下水污染健康风险评估专业性较强，评估人员需要具备相应的专业技术能力，评估报告需要进行评审后才能用于指导地下水污染防治工作。

(1)地下水污染健康评估人员需要有环境科学、地下水科学、生物学、预防医学等相关学科知识背景，具备环境健康风险识别、评价和管控的实践经验。

(2)地下水污染健康风险评估报告需要通过专家评审，评审专家组需要由具备上述相关专业知识背景的成员组成。

(3)地下水污染健康风险评估的数据质控要求参见《地下水环境状况调查评价工作指南》。

附录 A
(规范性附录)
暴露评估推荐模型

A.1 第一类用地暴露评估模型

A1.1 经口摄入地下水途径

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。饮用场地及周边受影响地下水对应的地下水暴露量，采用公式 (A.1) 计算：

$$CGWER_{ca} = \frac{GWCR_c \times EF_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{GWCR_a \times EF_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \quad (A.1)$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期的暴露危害。饮用场地及周边受影响地下水对应的地下水暴露量，采用公式 (A.2) 计算：

$$CGWER_{nc} = \frac{GWCR_c \times EF_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad (A.2)$$

公式 (A.1) 和公式 (A.2) 中：

$CGWER_{ca}$ 一 饮用受影响地下水对应的地下水的暴露量 (致癌效应)，L 地下水·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

$CGWER_{nc}$ 一 饮用受影响地下水对应的地下水的暴露量 (非致癌效应)，L 地下水·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

$GWCR_c$ 一 儿童每日饮水量，L 地下水·d⁻¹；推荐值见表 G.1；

$GWCR_a$ 一 成人每日饮水量，L 地下水·d⁻¹；推荐值见表 G.1；

ED_c 一 儿童暴露期，a；推荐值见表 G.1；

ED_a 一 成人暴露期，a；推荐值见表 G.1；

EF_c 一 儿童暴露频率，d·a⁻¹；推荐值见表 G.1；

EF_a 一 成人暴露频率，d·a⁻¹；推荐值见表 G.1；

BW_c 一 儿童体重，kg，推荐值见表 G.1；

BW_a 一 成人体重，kg，推荐值见表 G.1；

ABS_o 一 经口摄入吸收效率因子，无量纲；推荐值见附录 G 表 G.1；

AT_{ca} 一 致癌效应平均时间，d；推荐值见表 G.1。

AT_{nc} 一 非致癌效应平均时间，d；推荐值见表 G.1

A1.2 皮肤接触地下水途径

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。用受污染的地下水日常洗澡或清洗，皮肤接触地下水途径对应的地下水暴露剂量 (致癌效应) 采用公式 (A.3)：

$$DGWER_{ca} = \frac{SAE_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times DA_{ec}}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{SAE_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times DA_{ea}}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad (A.3)$$

公式 (A.3) 中：

$DGWER_{ca}$ 一 皮肤接触途径的地下水暴露剂量 (致癌效应)，(mg 污染物 kg⁻¹ 体重 d⁻¹)；

E_v 一每日洗澡、游泳、清洗等事件发生频率（次·d⁻¹），推荐值见表 G.1；

SAE_c 一儿童暴露皮肤表面积，cm²；

SAE_a 一成人暴露皮肤表面积，cm²；

DA_{ec} 一儿童皮肤接触吸收剂量，mg·cm⁻²，无机物根据公式（A.4）计算；

DA_{ea} 一成人皮肤接触吸收剂量，mg·cm⁻²，无机物根据公式（A.5）计算；

公式（A.3）中 EF_c 、 ED_c 、 BW_c 、 AT_{ca} 、 EF_a 、 ED_a 和 BW_a 的参数含义见公式（A.1）， SAE_c 和 SAE_a 的参数值分别采用公式（A.6）和公式（A.7）计算：

无机污染物的吸收剂量 DA_c (mg·cm⁻²) 采用公式（A.4）和公式（A.5）计算：

$$DA_{ec} = K_p \times C_{gw} \times t_c \times 10^{-3} \quad (A.4)$$

$$DA_{ea} = K_p \times C_{gw} \times t_a \times 10^{-3} \quad (A.5)$$

公式（A.4）和（A.5）中：

K_p 一皮肤渗透系数（cm/h），推荐值见表 G.1；

t_c 一儿童次经皮肤接触的时间（h），推荐值见表 G.1；

C_{gw} 一地下水中污染物浓度（mg/l）；

t_a 一成人次经皮肤接触的时间（h），推荐值见表 G.1。

SAE_c 和 SAE_a 的参数值分别采用公式（A.6）和公式（A.7）计算：

$$SAE_c = 239 \times H_c^{0.417} \times BW_c^{0.517} \times SER_c \quad (A.6)$$

$$SAE_a = 239 \times H_a^{0.417} \times BW_a^{0.517} \times SER_a \quad (A.7)$$

公式（A.6）和公式（A.7）中：

H_c 一儿童平均身高，cm，推荐值见表 G.1；

H_a 一成人平均身高，cm；推荐值见表 G.1；

SER_c 一儿童暴露皮肤所占面积比，无量纲，推荐值见表 G.1；

SER_a 一成人暴露皮肤所占面积比，无量纲；推荐值见表 G.1；

公式（A.6）和公式（A.7）中 BW_c 和 BW_a 的参数含义见公式（A.1）。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害。皮肤接触地下水途径对应的地下水暴露剂量采用公式（A.8）计算：

$$DGWER_{nc} = \frac{SAE_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times DA_{ec}}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad (A.8)$$

公式（A.8）中：

$DGWER_{nc}$ 一皮肤接触的地下水暴露剂量（非致癌效应），mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

公式（A.8）中 SAE_c 、 E_v 和 DA_{ec} 的参数含义见公式（A.3）， EF_c 、 ED_c 和 BW_c 的参数含义见公式（A.1）， AT_{nc} 的参数含义见公式（A.2）。

A1.3 吸入室外空气中地下水气态污染物途径

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。吸入室外空气中来自地下水中的气态污染物对应的地下水暴露量，分别采用公式（A.9）计算：

$$IOVER_{ca3} = VF_{gwoa} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad (A.9)$$

公式（A.9）中：

$IOVER_{ca3}$ —吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量（致癌效应），L地下水·kg⁻¹体重·d⁻¹；

VF_{gwoa} —地下水中污染物进入室外空气的挥发因子，L·m⁻³；根据附录 F 公式（F.21）计算。

$DAIR_a$ —成人每日空气呼吸量，m³·d⁻¹；推荐值见表 G.1；

$DAIR_c$ —儿童每日空气呼吸量，m³·d⁻¹；推荐值见表 G.1；

EFO_a —成人的室外暴露频率，d·a⁻¹；推荐值见表 G.1；

EFO_c —儿童的室外暴露频率，d·a⁻¹；推荐值见表 G.1；

ED_c 、 BW_c 、 ED_a 、 BW_a 、 AT_{ca} 的参数含义见公式（A.1）。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害。吸入室外空气中来自地下水中的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式（A.10）计算：

$$IOVER_{nc3} = VF_{gwoa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad (A.10)$$

公式（A.10）中：

$IOVER_{nc3}$ —吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量（非致癌效应），L地下水·kg⁻¹体重·d⁻¹。

公式（A.10）中， VF_{gwoa} 、 $DAIR_c$ 和 EFO_c 的参数含义见公式（A.9）， AT_{nc} 的含义见公式（A.2）， ED_c 和 BW_c 的参数含义见公式（A.1）。

A1.4 吸入室内空气中气态污染物途径

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。吸入室内空气中来自地下水中的气态污染物对应的地下水暴露量，分别采用公式公式（A.11）计算：

$$IIVER_{ca2} = VF_{gwia} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad (A.11)$$

公式（A.11）中：

$IIVER_{ca2}$ —吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量（致癌效应），L地下水·kg⁻¹体重·d⁻¹；

VF_{gwia} —地下水中污染物进入室内空气的挥发因子，L·m⁻³；根据附录 F 公式（F.27）计算。

EFI_a —成人的室内暴露频率，d·a⁻¹；推荐值见附录 G 表 G.1；

EFI_c —儿童的室内暴露频率，d·a⁻¹；推荐值见附录 G 表 G.1。

公式（A.11）中 $DAIR_c$ 和 $DAIR_a$ 的参数含义见公式（A.9）， ED_c 、 BW_c 、 ED_a 、 BW_a 、 AT_{ca} 的参数含义见公式（A.1）。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害。吸入室内空气中来自地下水中的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式（A.12）计算：

$$IIVER_{nc2} = VF_{gwia} \times \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad (A.12)$$

公式（A.12）中：

$IIVER_{nc2}$ —吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量（非致癌效应），L地下水·kg⁻¹体重·d⁻¹。

公式（A.12）中， VF_{gwia} 、 EFI_c 参数含义见公式（A.11）， $DAIR_c$ 的参数含义见公式（A.9）， AT_{nc} 的参数含义见公式（A.2）， ED_c 和 BW_c 的参数含义见公式（A.1）。

A.2 第二类用地暴露评估模型

A2.1 经口摄入地下水途径

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。饮用场地及周边受影响地下水对应的地下水暴露量，采用公式（A.13）计算：

$$CGWER_{ca} = \frac{DWCR_a \times EF_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \quad (A.13)$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害。饮用场地及周边受影响地下水对应的地下水暴露量，采用公式（A.38）计算：

$$CGWER_{nc} = \frac{DWCR_a \times EF_a \times ED_a}{BW_a \times AT_a} \quad (A.14)$$

公式（A.13）和公式（A.14）中， $CGWER_{ca}$ 、 $GWCR_a$ 、 EF_a 、 ED_a 和 BW_a 和 AT_{ca} 的参数含义见公式（A.1）， $CGWER_{nc}$ 、 AT_{nc} 的参数含义见公式（A.2）。

A2.2 皮肤接触地下水途径

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。用受污染的地下水日常洗澡、游泳或清洗，皮肤接触地下水途径对应的地下水暴露剂量（致癌效应）采用公式（A.15）：

$$DGWER_{ca} = \frac{SAE_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times DA_{ea} \times 10^{-6}}{BW_a \times AT_{ca}} \quad (A.15)$$

公式（A.13）中， $DGWER_{ca}$ 、 E_v 、 SAE_a 、 DA_{ea} 的参数含义见公式（A.3）， AT_{ca} 、 EF_a 、 ED_a 和 BW_a 的参数含义见公式（A.1）， DA_{ea} （无机物）和 SAE_a 的参数值分别采用公式（A.5）和（A.7）计算。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期暴露受到的危害。皮肤接触地下水途径对应的地下水暴露剂量采用公式（A.16）计算：

$$DGWER_{nc} = \frac{SAE_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times DA_{ea} \times 10^{-6}}{BW_a \times AT_{nc}} \quad (A.16)$$

公式（A.16）中， $DGWER_{nc}$ 参数含义见公式（A.8）， SAE_a 、 E_v 和 DA_{ea} 的参数含义见公式（A.3）， EF_a 、 ED_a 和 BW_a 的参数含义见公式（A.1）， AT_{nc} 的参数含义见公式（A.2）。

A2.3 吸入室外空气中气态污染物途径

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。吸入室外空气中来自地下水中的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式（A.17）计算：

$$IOVER_{ca3} = VF_{gwoa} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \quad (A.17)$$

公式（A.17）中， $IOVER_{ca3}$ 、 VF_{gwoa} 、 $DAIR_a$ 和 EFO_a 的参数含义见公式（A.9）， BW_a 、 ED_a 和 AT_{ca} 的参数含义见公式（A.1）。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害。吸入室外空气中来自地下水中的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式（A.18）计算：

$$IOVER_{nc3} = VF_{gwoa} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}} \quad (A.18)$$

公式（A.18）中， $IOVER_{nc3}$ 的参数含义见公式（A.10）， VF_{gwoa} 、 $DAIR_a$ 和 EFO_a 的参数含义见公式（A.9）， AT_{nc} 的参数含义见公式（A.2）， BW_a 和 ED_a 的参数含义见公式（A.1）。

A2.4 吸入室内空气中气态污染物途径

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。吸入室内空气中来自地下水中的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式（A.19）计算：

$$IIVER_{ca2} = VF_{gwia} \times \frac{DAIR_a \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \quad (A.19)$$

公式（A.19）中， $IIVER_{ca2}$ 、 VF_{gwia} 、 EFI_a 的参数含义见公式（A.11）， ED_a 、 BW_a 和 AT_{ca} 的参数含义见公式（A.1）。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害。吸入室内空气中来自地下水中的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式（A.20）计算：

$$IIVER_{nc2} = VF_{gwia} \times \frac{DAIR_a \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}} \quad (A.20)$$

公式（A.20）中， $IIVER_{nc2}$ 的参数含义见公式（A.12）， VF_{gwia} 、 EFI_a 的参数含义见公式（A.11）， $DAIR_a$ 的参数含义见公式（A.9）， AT_{nc} 的参数含义见公式（A.2）， BW_a 和 ED_a 的参数含义见公式（A.1）。

附录 B
(规范性附录)
污染物性质参数推荐值及外推模型
表 B.1 部分污染物的毒性参数

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来 源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来 源	RfDo mg/kg-d	数据 来源	RfC mg/m ³	数据来 源	ABSgi 无量 纲	数据来 源	ABSd 无量 纲	数据来 源
一、金属及无机物															
1	锑	Antimony	7440-36-0					4.00E-04	I			0.15	RSL		
2	砷(无机)	Arsenic, inorganic	7440-38-2	1.50E+00	I	4.30E+00	I	3.00E-04	I	1.50E-05	RSLRSL	1	RSL	0.03	RSL
3	铍	Beryllium	7440-41-7			2.40E-03	I	2.00E-03	I	2.00E-05	I	0.007	RSL		
4	镉	Cadmium	7440-43-9			1.80E-03	I	5.00E-04	I	1.00E-05	A	0.05		0.001	RSL
5	铬(三价)	Chromium, III	16065-83-1					1.50E+00	I			0.013	RSL		
6	铬(六价)	Chromium, VI	18540-29-9	5.00E-01	RSL	8.40E+01	RSL	3.00E-03	I	1.00E-04	I	0.025	RSL		
7	钴	Cobalt	7440-48-4			9.00E-03	P	3.00E-04	P	6.00E-06	P	1	RSL		
8	铜	Copper	7440-50-8					4.00E-02	H			1	RSL		
9	汞(无机)	Mercury, inorganic	7487-94-7					3.00E-04	I	3.00E-04	S	0.07	RSL		
10	甲基汞	Methyl Mercury	22967-92-6					1.00E-04	I			1	RSL		
11	镍	Nickel	7440-02-0			2.60E-04	C	2.00E-02	I	9.00E-05	A	0.04	RSL		
12	锡	Tin	7440-31-5					6.00E-01	H			1	RSL		
13	钒	Vanadium	1314-62-1			8.30E-03	P	9.00E-03	I	7.00E-06	P	0.026	RSL		
14	锌	Zinc	7440-66-6					3.00E-01	I			1	RSL		
15	氰化物	Cyanide	57-12-5					6.00E-04	I	8.00E-04	S	1	RSL		
16	氟化物	Fluoride	16984-48-8					4.00E-02	C	1.30E-02	C	1	RSL		
二、挥发性有机物															
17	丙酮	Acetone	67-64-1					9.00E-01	I	3.10E+01	A	1	RSL		

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来 源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来 源	RfDo mg/kg-d	数据 来源	RfC mg/m ³	数据来 源	ABSgi 无量 纲	数据来 源	ABSd 无量 纲	数据来 源
18	苯	Benzene	71-43-2	5.50E-02	I	7.80E-06	I	4.00E-03	I	3.00E-02	I	1	RSL		
19	甲苯	Toluene	108-88-3					8.00E-02	I	5.00E+00	I	1	RSL		
20	乙苯	Ethylbenzene	100-41-4	1.10E-02	C	2.50E-06	C	1.00E-01	I	1.00E+00	I	1	RSL		
21	对二甲苯	Xylene, p-	106-42-3					2.00E-01	S	1.00E-01	S	1	RSL		
22	间二甲苯	Xylene, m-	108-38-3					2.00E-01	S	1.00E-01	S	1	RSL		
23	邻二甲苯	Xylene, o-	95-47-6					2.00E-01	S	1.00E-01	S	1	RSL		
24	二甲苯	Xylenes	1330-20-7					2.00E-01	I	1.00E-01	I	1	RSL		
25	一溴二氯 甲烷	Bromodichloro methane	75-27-4	6.20E-02	I	3.70E-05	C	2.00E-02	I			1	RSL		
26	1,2-二溴 甲烷	Dibromoethane , 1,2-	106-93-4	2.00E+00	I	6.00E-04	I	9.00E-03	I	9.00E-03	I	1	RSL		
27	四氯化碳	Carbon tetrachloride	56-23-5	7.00E-02	I	6.00E-06	I	4.00E-03	I	1.00E-01	I	1	RSL		
28	氯苯	Chlorobenzene	108-90-7					2.00E-02	I	5.00E-02	P	1	RSL		
29	氯仿（三 氯甲烷）	Chloroform	67-66-3	3.10E-02	C	2.30E-05	I	1.00E-02	I	9.80E-02	A	1	RSL		
30	氯甲烷	Chloromethane	74-87-3							9.00E-02	I	1	RSL		
31	二溴氯甲 烷	Dibromochloro methane	124-48-1	8.40E-02	I	2.70E-02	RSL	2.00E-02	I			1	RSL	0.1	RSL
32	1,4-二氯 苯	Dichlorobenzen, 1,4-	106-46-7	5.40E-03	C	1.10E-05	C	7.00E-02	A	8.00E-01	I	1	RSL		
33	1,1-二氯 乙烷	Dichloroethane, 1,1-	75-34-3	5.70E-03	C	1.60E-06	C	2.00E-01	P			1	RSL		
34	1,2-二氯 乙烷	Dichloroethane, 1,2-	107-06-2	9.10E-02	I	2.60E-05	I	6.00E-03	X	7.00E-03	P	1	RSL		

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来源	RfDo mg/kg-d	数据来源	RfC mg/m ³	数据来源	ABSgi 无量纲	数据来源	ABSd 无量纲	数据来源
35	1,1-二氯乙烯	Dichloroethylene, 1,1-	75-35-4					5.00E-02	I	2.00E-01	I	1	RSL		
36	1,2-顺式-二氯乙烯	Dichloroethylene, 1,2-cis-	156-59-2					2.00E-03	I			1	RSL		
37	1,2-反式-二氯乙烯	Dichloroethylene, 1,2-trans-	156-60-5					2.00E-02	I	6.00E-02	P	1	RSL		
38	二氯甲烷	Methylene Chloride	75-09-2	2.00E-03	I	1.00E-08	I	6.00E-03	I	6.00E-01	I	1	RSL		
39	1,2-二氯丙烷	Dichloropropane, 1,2-	78-87-5	3.70E-02	P	3.70E-06	P	4.00E-02	P	4.00E-03	I	1	RSL		
40	硝基苯	Nitrobenzene	98-95-3			4.00E-05	I	2.00E-03	I	9.00E-03	I	1	RSL		
41	苯乙烯	Styrene	100-42-5					2.00E-01	I	1.00E+00	I	1	RSL		
42	1,1,1,2-四氯乙烷	Tetrachloroethane, 1,1,1,2-	630-20-6	2.60E-02	I	7.40E-06	I	3.00E-02	I			1	RSL		
43	1,1,2,2-四氯乙烷	Tetrachloroethane, 1,1,2,2-	79-34-5	2.00E-01	I	5.80E-05	C	2.00E-02	I			1	RSL		
44	四氯乙烯	Tetrachloroethylene	127-18-4	2.10E-03	I	2.60E-07	I	6.00E-03	I	4.00E-02	I	1	RSL		
45	三氯乙烯	Trichloroethylene	79-01-6	4.60E-02	I	4.10E-06	I	5.00E-04	I	2.00E-03	I	1	RSL		
46	氯乙烯	Vinyl chloride	75-01-4	7.20E-01	I	4.40E-06	I	3.00E-03	I	1.00E-01	I	1	RSL		
47	1,1,2-三氯丙烷	Trichloropropane, 1,1,2-	598-77-6					5.00E-03	I			1	RSL		
48	1,2,3-三氯丙烷	Trichloropropane, 1,2,3-	96-18-4	3.00E+01	I			4.00E-03	I	3.00E-04	I	1	RSL		

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来源	RfDo mg/kg-d	数据来源	RfC mg/m ³	数据来源	ABSgi 无量纲	数据来源	ABSd 无量纲	数据来源
49	1,1,1-三氯乙烷	Trichloroethane, 1,1,1-	71-55-6					2.00E+00	I	5.00E+00	I	1	RSL		
50	1,1,2-三氯乙烷	Trichloroethane, 1,1,2-	79-00-5	5.70E-02	I	1.60E-05	I	4.00E-03	I	2.00E-04	X	1	RSL		
三、半挥发性有机物															
51	芘	Acenaphthene	83-32-9					6.00E-02	I			1	RSL	0.13	R369
52	蒽	Anthracene	120-12-7					3.00E-01	I			1	RSL	0.13	R369
53	苯并(a)蒽	Benzo(a)anthracene	56-55-3	1.00E-01	E	6.00E-05	E					1	RSL	0.13	RSL
54	苯并(a)芘	Benzo(a)pyrene	50-32-8	1.00E+00	I	6.00E-04	I	3.00E-04	I	2.00E-06	I	1	RSL	0.13	RSL
55	苯并(b)荧蒽	Benzo(b)fluoranthene	205-99-2	1.00E-01	E	6.00E-05	E					1	RSL	0.13	RSL
56	苯并(k)荧蒽	Benzo(k)fluoranthene	207-08-9	1.00E-02	E	6.00E-06	E					1	RSL	0.13	RSL
57	蒽	Chrysene	218-01-9	1.00E-03	E	6.00E-07	E					1	RSL	0.13	RSL
58	二苯并(a,h)蒽	Dibenzo(a,h)anthracene	53-70-3	1.00E+00	E	6.00E-04	E					1	RSL	0.13	RSL
59	荧蒽	Fluoranthene	206-44-0					4.00E-02	I			1	RSL	0.13	R369
60	芴	Fluorene	86-73-7					4.00E-02	I			1	RSL	0.13	R369
61	茚并(1,2,3-cd)芘	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	193-39-5	1.00E-01	E	6.00E-05	E					1	RSL	0.13	RSL
62	萘	Naphthalene	91-20-3			3.40E-05	C	2.00E-02	I	3.00E-03	I	1	RSL	0.13	RSL
63	芘	Pyrene	129-00-0					3.00E-02	I			1	RSL	0.13	R369
64	艾氏剂	Aldrin	309-00-2	1.70E+01	I	4.90E-03	I	3.00E-05	I			1	RSL	0.1	R369

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来源	RfDo mg/kg-d	数据来源	RfC mg/m ³	数据来源	ABSgi 无量纲	数据来源	ABSd 无量纲	数据来源
65	狄氏剂	Dieldrin	60-57-1	1.60E+01	I	4.60E-03	I	5.00E-05	I			1	RSL	0.1	R369
66	异狄氏剂	Endrin	72-20-8					3.00E-04	I			1	RSL	0.1	R369
67	氯丹	Chlordane	12789-03-6	3.50E-01	I	1.00E-04	I	5.00E-04	I	7.00E-04	I	1	RSL	0.04	RSL
68	p,p'-滴滴滴	p,p'-DDD	72-54-8	2.40E-01	I	6.90E-02	RSL					1	RSL	0.1	RSL
69	p,p'-滴滴伊	p,p'-DDE	72-55-9	3.40E-01	I	9.70E-05	C	3.0E-04	X			1	RSL	0.1	RSL
70	p,p'-滴滴涕	p,p'-DDT	50-29-3	3.40E-01	I	9.70E-05	I	5.00E-04	I			1	RSL	0.03	RSL
71	七氯	Heptachlor	76-44-8	4.50E+00	I	1.30E-03	I	5.00E-04	I			1	RSL	0.1	RSL
72	α-六六六	Hexachloro cyclohexane, α- (α-HCH)	319-84-6	6.30E+00	I	1.80E-03	I	8.00E-03	A			1	RSL	0.1	RSL
73	β-六六六	Hexachloro cyclohexane, β- (β-HCH)	319-85-7	1.80E+00	I	5.30E-04	I					1	RSL	0.1	RSL
74	γ-六六六	Hexachloro cyclohexane, γ- (γ-HCH, Lindane)	58-89-9	1.10E+00	C	3.10E-04	C	3.00E-04	I			1	RSL	0.04	RSL
75	六氯苯	Hexachlorobenz ene	118-74-1	1.60E+00	I	4.60E-04	I	8.00E-04	I			1	RSL	0.1	RSL
76	灭蚊灵	Mirex	2385-85-5	1.80E+01	C	5.10E-03	C	2.00E-04	I			1	RSL	0.1	RSL
77	毒杀芬	Toxaphene	8001-35-2	1.10E+00	I	3.20E-04	I	9.0E-05	P			1	RSL	0.1	R369

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来源	RfDo mg/kg-d	数据来源	RfC mg/m ³	数据来源	ABSgi 无量纲	数据来源	ABSd 无量纲	数据来源
78	多氯联苯 189	Heptachlorobiphenyl, 2,3,3',4,4',5,5'- (PCB 189)	39635-31-9	3.90E+00	W	1.10E-03	W	2.30E-05	W	1.30E-03	W	1	RSL	0.14	R369
79	多氯联苯 167	Hexachlorobiphenyl, 2,3',4,4',5,5'- (PCB 167)	52663-72-6	3.90E+00	W	1.10E-03	W	2.30E-05	W	1.30E-03	W	1	RSL	0.14	R369
80	多氯联苯 157	Hexachlorobiphenyl, 2,3,3',4,4',5'- (PCB 157)	69782-90-7	3.90E+00	W	1.10E-03	W	2.30E-05	W	1.30E-03	W	1	RSL	0.14	R369
81	多氯联苯 156	Hexachlorobiphenyl, 2,3,3',4,4',5'- (PCB 156)	38380-08-4	3.90E+00	W	1.10E-03	W	2.30E-05	W	1.30E-03	W	1	RSL	0.14	R369
82	多氯联苯 169	Hexachlorobiphenyl, 3,3',4,4',5,5'- (PCB 169)	32774-16-6	3.90E+03	W	1.10E+00	W	2.30E-08	W	1.30E-06	W	1	RSL	0.14	RSL
83	多氯联苯 123	Pentachlorobiphenyl, 2',3,4,4',5- (PCB 123)	65510-44-3	3.90E+00	W	1.10E-03	W	2.30E-05	W	1.30E-03	W	1	RSL	0.14	R369

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来源	RfDo mg/kg-d	数据来源	RfC mg/m ³	数据来源	ABSgi 无量纲	数据来源	ABSd 无量纲	数据来源
84	多氯联苯 118	Pentachlorobiphenyl, 2,3',4,4',5- (PCB 118)	31508-00-6	3.90E+00	W	1.10E-03	W	2.30E-05	W	1.30E-03	W	1	RSL	0.14	R369
85	多氯联苯 105	Pentachlorobiphenyl, 2,3,3',4,4'- (PCB 105)	32598-14-4	3.90E+00	W	1.10E-03	W	2.30E-05	W	1.30E-03	W	1	RSL	0.14	R369
86	多氯联苯 114	Pentachlorobiphenyl, 2,3,4,4',5- (PCB 114)	74472-37-0	3.90E+00	W	1.10E-03	W	2.30E-05	W	1.30E-03	W	1	RSL	0.14	R369
87	多氯联苯 126	Pentachlorobiphenyl, 3,3',4,4',5- (PCB 126)	57465-28-8	1.30E+04	W	3.80E+00	W	7.00E-09	W	4.00E-07	W	1	RSL	0.14	RSL
88	多氯联苯 (高风险)	Polychlorinated Biphenyls (high risk)	1336-36-3	2.00E+00	I	5.70E-04	I					1	RSL	0.14	R369
89	多氯联苯 (低风险)	Polychlorinated Biphenyls (low risk)	1336-36-3	4.00E-01	I	1.00E-04	I					1	RSL	0.14	R369
90	多氯联苯 (最低风险)	Polychlorinated Biphenyls (lowest risk)	1336-36-3	7.00E-02	I	2.00E-05	I					1	RSL	0.14	R369

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来源	RfDo mg/kg-d	数据来源	RfC mg/m ³	数据来源	ABSgi 无量纲	数据来源	ABSd 无量纲	数据来源
91	多氯联苯 77	Tetrachlorobiphenyl, 3,3',4,4'-(PCB 77)	32598-13-3	1.30E+01	W	3.80E-03	W	7.00E-06	R369	4.00E-04	W	1	RSL	0.14	R369
92	多氯联苯 81	Tetrachlorobiphenyl, 3,4,4',5-(PCB 81)	70362-50-4	3.90E+01	W	1.10E-02	W	2.30E-06	W	1.30E-04	W	1	RSL	0.14	R369
93	二恶英 (总量)	Hexachlorodibenzo-p-dioxin, Mixture		6.20E+03	I	1.30E+03	I					1	RSL	0.03	R369
94	二恶英 (TCDD23 78)	Dioxins,(TCDD, 2,3,7,8-)	1746-01-6	1.30E+05	C	3.80E+01	C	7.00E-10	I	4.00E-08	C	1	RSL	0.03	RSL
95	多溴联苯	Polybrominated Biphenyls	59536-65-1	3.00E+01	C	8.60E-03	C	7.00E-06	H			1	RSL	0.1	RSL
96	苯胺	Aniline	62-53-3	5.70E-03	I	1.60E-03	R369	7.00E-03	P	1.00E-03	I	1	RSL	0.1	R369
97	溴仿	Bromoform	75-25-2	7.90E-03	I	1.10E-06	I	2.00E-02	I			1	RSL	0.1	RSL
98	2-氯酚	Chlorophenol, 2-	95-57-8					5.00E-03	I			1	RSL		RSL
99	4-甲酚 (对-)	Cresol, 4-, p-	106-44-5					1.00E-01	A	6.00E-01	C	1	RSL	0.1	R369
100	3,3-二氯 联苯胺	Dichlorobenzidine, 3,3-	91-94-1	4.50E-01	I	3.40E-04	C					1	RSL	0.1	RSL
101	2,4-二氯 酚	Dichlorophenol, 2,4-	120-83-2					3.00E-03	I			1	RSL	0.1	RSL
102	2,4-二硝 基酚	Dinitrophenol, 2,4-	51-28-5					2.00E-03	I			1	RSL	0.1	RSL

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来 源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来 源	RfDo mg/kg-d	数据 来源	RfC mg/m ³	数据来 源	ABSgi 无量 纲	数据来 源	ABSd 无量 纲	数据来 源
103	2,4-二硝基甲苯	Dinitrotoluene, 2,4-	121-14-2	3.10E-01	C	8.90E-05	C	2.00E-03	I			1	RSL	0.102	RSL
104	六氯环戊二烯	Hexachlorocyclopentadiene	77-47-4					6.00E-03	I	2.00E-04	I	1	RSL	0.1	RSL
105	五氯酚	Pentachlorophenol	87-86-5	4.00E-01	I	5.10E-06	C	5.00E-03	I			1	RSL	0.25	RSL
106	苯酚	Phenol	108-95-2					3.00E-01	I	2.00E-01	C	1	RSL	0.1	R369
107	2,4,5-三氯酚	Trichlorophenol, 2,4,5-	95-95-4					1.00E-01	I			1	RSL	0.1	R369
108	2,4,6-三氯酚	Trichlorophenol, 2,4,6-	88-06-2	1.10E-02	I	3.10E-06	I	1.00E-03	P			1	RSL	0.1	RSL
109	阿特拉津	Atrazine	1912-24-9	2.30E-01	C			3.50E-02	I			1	RSL	0.1	RSL
110	敌敌畏	Dichlorvos	62-73-7	2.90E-01	I	8.30E-05	C	5.00E-04	I	5.00E-04	I	1	RSL	0.1	RSL
111	乐果	Dimethoate	60-51-5					2.20E-03	O			1	RSL	0.1	RSL
112	硫丹	Endosulfan	115-29-7					6.00E-03	I			1	RSL	0.1	RSL
113	草甘膦	Glyphosate	1071-83-6					1.00E-01	I			1	R369	0.1	R369
114	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	Bis(2-ethylhexyl)phthalate, DEHP	117-81-7	1.40E-02	I	2.40E-06	C	2.00E-02	I			1	RSL	0.1	RSL
115	邻苯二甲酸丁基苯酯	Butyl benzyl phthalate, BBP	85-68-7	1.90E-03	P			2.00E-01	I			1	RSL	0.1	RSL
116	邻苯二甲酸二乙酯	Diethyl phthalate, DEP	84-66-2					8.00E-01	I			1	RSL	0.1	R369
117	邻苯二甲酸二丁酯	Dibutyl phthalate, DBP	84-74-2					1.00E-01	I			1	RSL	0.1	R369

序号	中文名	英文名	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) -1	数据来 源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	数据来 源	RfDo mg/kg-d	数据 来源	RfC mg/m ³	数据来 源	ABSgi 无量 纲	数据来 源	ABSd 无量 纲	数据来 源
118	邻苯二甲 酸二正辛 酯	Di-n-octyl phthalate, DnOP	117-84-0					1.00E-02	P			1	RSL	0.1	RSL

注:

1) SF_o: 经口摄入致癌斜率因子; IUR: 呼吸吸入单位致癌风险; RfD_o: 经口摄入参考剂量; RfC: 呼吸吸入参考浓度; ABS_{gi}: 消化道吸收因子; ABS_d: 皮肤吸收效率因子

2) “I”代表数据来自“美国环保局综合风险信息系统 (USEPA Integrated Risk Information System)”; “P”代表数据来自美国环保局“临时性同行审定毒性数据 (The Provisional Peer Reviewed Toxicity Values)”; “RSL”代表数据来自美国环保局区域办公室“区域筛选值 (Regional Screening Levels)” (2019年4月发布, 以最新的发布为准);

“A”=ATSDR; O=OPP; C=CalEPA; X=APPENDIX PPRTV SCREEN(see FQ#31); H=HEAST; W=see user guide Section 2.3.5; E = see user guide Section 2.3.6

B.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 (B.1) 和公式 (B.2) 计算:

$$SF_i = \frac{IUR \times BW_a}{DAIR_a} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$RfD_i = \frac{RfC \times DAIR_a}{BW_a} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

公式 (B.1) 和公式 (B.2) 中:

SF_i — 呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹;

RfD_i — 呼吸吸入参考剂量, mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

IUR — 呼吸吸入单位致癌因子, m³·mg⁻¹;

RfC — 呼吸吸入参考浓度, mg·m⁻³。

公式 (B.1) 和公式 (B.2) 中, DAIR_a 的参数含义见公式 (A.9), BW_a 的参数含义见公式 (A.1)。

B.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 (B.3) 和公式 (B.4) 计算:

$$SF_d = \frac{SF_o}{ABS_{gi}} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

$$RfD_d = RfD_o \times ABS_{gi} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

公式 (B.3) 和公式 (B.4) 中:

SF_d — 皮肤接触致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹;

SF_o — 经口摄入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹;

RfD_o — 经口摄入参考剂量, mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

RfD_d — 皮肤接触参考剂量, mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

ABS_{gi} — 消化道吸收效率因子, 无量纲。

表 B.2 部分污染物的理化性质参数

序号	中文名	英文名	CAS 编号	H'	数据来源	Da cm ² /s	数据来源	Dw cm ² /s	数据来源	Koc cm ³ /g	数据来源	S mg/L	数据来源
一、金属及无机物													
1	锑	Antimony	7440-36-0										
2	砷（无机）	Arsenic, inorganic	7440-38-2										
3	铍	Beryllium	7440-41-7										
4	镉	Cadmium	7440-43-9										
5	铬（三价）	Chromium, III	16065-83-1										
6	铬（六价）	Chromium, VI	18540-29-9									1.69E+06	RSL
7	钴	Cobalt	7440-48-4										
8	铜	Copper	7440-50-8										
9	汞（无机）	Mercury, inorganic	7487-94-7										
10	甲基汞	Methyl Mercury	22967-92-6										
11	镍	Nickel	7440-02-0										
12	锡	Tin	7440-31-5										
13	钒	Vanadium	1314-62-1									7.00E+02	RSL
14	锌	Zinc	7440-66-6										
15	氰化物	Cyanide	1957-12-5	5.44E-03	EPI	2.11E-01	WATER9	2.46E-05	WATER9			1.00E+06	EPI
16	氟化物	Fluride	7782-41-4									1.69E+00	EPI
二、挥发性有机物													
17	丙酮	Acetone	67-64-1	1.43E-03	EPI	1.06E-01	WATER9	1.15E-05	WATER9	2.36E+00	EPI	1.00E+06	EPI
18	苯	Benzene	71-43-2	2.27E-01	EPI	8.95E-02	WATER9	1.03E-05	WATER9	1.46E+02	EPI	1.79E+03	EPI
19	甲苯	Toluene	108-88-3	2.71E-01	EPI	7.78E-02	WATER9	9.20E-06	WATER9	2.34E+02	EPI	5.26E+02	EPI
20	乙苯	Ethylbenzene	100-41-4	3.22E-01	EPI	6.85E-02	WATER9	8.46E-06	WATER9	4.46E+02	EPI	1.69E+02	EPI
21	对二甲苯	Xylene, p-	106-42-3	2.82E-01	EPI	6.82E-02	WATER9	8.42E-06	WATER9	3.75E+02	EPI	1.62E+02	EPI
22	间二甲苯	Xylene, m-	108-38-3	2.94E-01	EPI	6.84E-02	WATER9	8.44E-06	WATER9	3.75E+02	EPI	1.61E+02	EPI

序号	中文名	英文名	CAS 编号	H'	数据来源	Da cm ² /s	数据来源	Dw cm ² /s	数据来源	Koc cm ³ /g	数据来源	S mg/L	数据来源
23	邻二甲苯	Xylene, o-	95-47-6	2.12E-01	EPI	6.89E-02	WATER9	8.53E-06	WATER9	3.83E+02	EPI	1.78E+02	EPI
24	二甲苯	Xylenes	1330-20-7	2.12E-01	EPI	8.47E-02	WATER9	9.90E-06	WATER9	3.83E+02	EPI	1.06E+02	EPI
25	一溴二氯甲烷	Bromodichloromethane	75-27-4	8.67E-02	EPI	5.63E-02	WATER9	1.07E-05	WATER9	3.18E+01	EPI	3.03E+03	EPI
26	1,2-二溴甲烷	Dibromoethane, 1,2-	106-93-4	2.66E-02	EPI	4.30E-02	WATER9	1.04E-05	WATER9	3.96E+01	EPI	3.91E+03	EPI
27	四氯化碳	Carbon tetrachloride	56-23-5	1.13E+00	EPI	5.71E-02	WATER9	9.78E-06	WATER9	4.39E+01	EPI	7.93E+02	EPI
28	氯苯	Chlorobenzene	108-90-7	1.27E-01	EPI	7.21E-02	WATER9	9.48E-06	WATER9	2.34E+02	EPI	4.98E+02	EPI
29	氯仿 (三氯甲烷)	Chloroform	67-66-3	1.50E-01	EPI	7.69E-02	WATER9	1.09E-05	WATER9	3.18E+01	EPI	7.95E+03	EPI
30	氯甲烷	Chloromethane	74-87-3	3.61E-01	EPI	1.24E-01	WATER9	1.36E-05	WATER9	1.32E+01	EPI	5.32E+03	EPI
31	二溴氯甲烷	Dibromochloromethane	124-48-1	3.20E-02	EPI	3.66E-02	WATER9	1.06E-05	WATER9	3.18E+01	EPI	2.70E+03	EPI
32	1,4-二氯苯	Dichlorobenzen, 1,4-	106-46-7	9.85E-02	EPI	5.50E-02	WATER9	8.68E-06	WATER9	3.75E+02	EPI	8.13E+01	EPI
33	1,1-二氯乙烷	Dichloroethane, 1,1-	75-34-3	2.30E-01	EPI	8.36E-02	WATER9	1.06E-05	WATER9	3.18E+01	EPI	5.04E+03	EPI
34	1,2-二氯乙烷	Dichloroethane, 1,2-	107-06-2	4.82E-02	EPI	8.57E-02	WATER9	1.10E-05	WATER9	3.96E+01	EPI	8.60E+03	EPI
35	1,1-二氯乙烯	Dichloroethylene, 1,1-	75-35-4	1.07E+00	EPI	8.63E-02	WATER9	1.10E-05	WATER9	3.18E+01	EPI	2.42E+03	EPI
36	1,2-顺式-二氯乙烯	Dichloroethylene, 1,2-cis-	156-59-2	1.67E-01	EPI	8.84E-02	WATER9	1.13E-05	WATER9	3.96E+01	EPI	6.41E+03	EPI
37	1,2-反式-二氯乙烯	Dichloroethylene, 1,2-trans-	156-60-5	1.67E-01	EPI	8.76E-02	WATER9	1.12E-05	WATER9	3.96E+01	EPI	4.52E+03	EPI
38	二氯甲烷	Dichloromethane	1975-9-2	1.33E-01	EPI	9.99E-02	WATER9	1.25E-05	WATER9	2.17E+01	EPI	1.30E+04	EPI
39	1,2-二氯丙烷	Dichloropropane, 1,2-	78-87-5	1.15E-01	EPI	7.33E-02	WATER9	9.73E-06	WATER9	6.07E+01	EPI	2.80E+03	EPI
40	硝基苯	Nitrobenzene	98-95-3	9.81E-04	EPI	6.81E-02	WATER9	9.45E-06	WATER9	2.26E+02	EPI	2.09E+03	EPI
41	苯乙烯	Styrene	100-42-5	1.12E-01	EPI	7.11E-02	WATER9	8.78E-06	WATER9	4.46E+02	EPI	3.10E+02	EPI
42	四氯乙烷, 1,1,1,2-	Tetrachloroethane, 1,1,1,2-	630-20-6	1.02E-01	EPI	4.82E-02	WATER9	9.10E-06	WATER9	8.60E+01	EPI	1.07E+03	EPI
43	四氯乙烷, 1,1,2,2-	Tetrachloroethane, 1,1,2,2-	79-34-5	1.50E-02	EPI	4.89E-02	WATER9	9.29E-06	WATER9	9.49E+01	EPI	2.83E+03	EPI
44	四氯乙烯	Tetrachloroethylene	127-18-4	7.24E-01	EPI	5.05E-02	WATER9	9.46E-06	WATER9	9.49E+01	EPI	2.06E+02	EPI
45	三氯乙烯	Trichloroethylene	1979-1-6	4.03E-01	EPI	6.87E-02	WATER9	1.02E-05	WATER9	6.07E+01	EPI	1.28E+03	EPI

序号	中文名	英文名	CAS 编号	H'	数据来源	Da cm ² /s	数据来源	Dw cm ² /s	数据来源	Koc cm ³ /g	数据来源	S mg/L	数据来源
46	氯乙烯	Vinyl chloride	1975-1-4	1.14E+00	EPI	1.07E-01	WATER9	1.20E-05	WATER9	2.17E+01	EPI	8.80E+03	EPI
47	三氯丙烷, 1,1,2-	Trichloropropane, 1,1,2-	598-77-6	1.30E-02	EPI	5.72E-02	WATER9	9.17E-06	WATER9	9.49E+01	EPI	1.90E+03	EPI
48	三氯丙烷, 1,2,3-	Trichloropropane, 1,2,3-	96-18-4	1.40E-02	EPI	5.75E-02	WATER9	9.24E-06	WATER9	1.16E+02	EPI	1.75E+03	EPI
49	三氯乙烷, 1,1,1-	Trichloroethane, 1,1,1-	71-55-6	7.03E-01	EPI	6.48E-02	WATER9	9.60E-06	WATER9	4.39E+01	EPI	1.29E+03	EPI
50	三氯乙烷, 1,1,2-	Trichloroethane, 1,1,2-	79-00-5	3.37E-02	EPI	6.69E-02	WATER9	1.00E-05	WATER9	6.07E+01	EPI	4.59E+03	EPI
三、半挥发性有机物													
51	萘	Acenaphthene	83-32-9	7.52E-03	EPI	5.06E-02	WATER9	8.33E-06	WATER9	5.03E+03	EPI	3.90E+00	EPI
52	蒽	Anthracene	120-12-7	2.27E-03	EPI	3.90E-02	WATER9	7.85E-06	WATER9	1.64E+04	EPI	4.34E-02	EPI
53	苯并(a)蒽	Benzo(a)anthracene	56-55-3	4.91E-04	EPI	5.09E-02	WATER9	5.94E-06	WATER9	1.77E+05	EPI	9.40E-03	EPI
54	苯并(a)芘	Benzo(a)pyrene	50-32-8	1.87E-05	EPI	4.76E-02	WATER9	5.56E-06	WATER9	5.87E+05	EPI	1.62E-03	EPI
55	苯并(b)荧蒽	Benzo(b)fluoranthene	205-99-2	2.69E-05	EPI	4.76E-02	WATER9	5.56E-06	WATER9	5.99E+05	EPI	1.50E-03	EPI
56	苯并(k)荧蒽	Benzo(k)fluoranthene	207-08-9	2.39E-05	EPI	4.76E-02	WATER9	5.56E-06	WATER9	5.87E+05	EPI	8.00E-04	EPI
57	屈	Chrysene	218-01-9	2.14E-04	EPI	2.61E-02	WATER9	6.75E-06	WATER9	1.81E+05	EPI	2.00E-03	EPI
58	二苯并(a, h)蒽	Dibenzo(a, h)anthracene	53-70-3	5.76E-06	EPI	4.46E-02	WATER9	5.21E-06	WATER9	1.91E+06	EPI	2.49E-03	EPI
59	荧蒽	Fluoranthene	206-44-0	3.62E-04	EPI	2.76E-02	WATER9	7.18E-06	WATER9	5.55E+04	EPI	2.60E-01	EPI
60	芴	Fluorene	86-73-7	3.93E-03	EPI	4.40E-02	WATER9	7.89E-06	WATER9	9.16E+03	EPI	1.69E+00	EPI
61	茚并(1,2,3-cd)芘	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	193-39-5	6.56E-05	R369	4.48E-02	WATER9	5.23E-06	WATER9	3.47E+06	R369	2.20E-05	RSL
62	萘	Naphthalene	91-20-3	1.80E-02	EPI	6.05E-02	WATER9	8.38E-06	WATER9	1.54E+03	EPI	3.10E+01	EPI
63	芘	Pyrene	129-00-0	4.87E-04	EPI	2.78E-02	WATER9	7.25E-06	WATER9	5.43E+04	EPI	1.35E-01	EPI
64	艾氏剂	Aldrin	309-00-2	1.80E-03	EPI	3.72E-02	WATER9	4.35E-06	WATER9	8.20E+04	EPI	1.70E-02	EPI
65	狄氏剂	Dieldrin	60-57-1	4.09E-04	EPI	2.33E-02	WATER9	6.01E-06	WATER9	2.01E+04	EPI	1.95E-01	EPI
66	异狄氏剂	Endrin	72-20-8	4.09E-04	EPI	3.62E-02	WATER9	4.22E-06	WATER9	2.01E+04	EPI	2.50E-01	EPI
67	氯丹	Chlorodane	57-74-9	1.99E-03	EPI	3.44E-02	WATER9	4.02E-06	WATER9	3.38E+04	EPI	5.60E-02	EPI
68	滴滴滴	DDD	72-54-8	2.70E-04	EPI	4.06E-02	WATER9	4.74E-06	WATER9	1.18E+05	EPI	9.00E-02	EPI
69	滴滴伊	DDE	72-55-9	1.70E-03	EPI	4.08E-02	WATER9	4.76E-06	WATER9	1.18E+05	EPI	4.00E-02	EPI

序号	中文名	英文名	CAS 编号	H'	数据来源	Da cm ² /s	数据来源	Dw cm ² /s	数据来源	Koc cm ³ /g	数据来源	S mg/L	数据来源
70	滴滴涕	DDT	50-29-3	3.40E-04	EPI	3.79E-02	WATER9	4.43E-06	WATER9	1.69E+05	EPI	5.50E-03	EPI
71	七氯	Heptachlor	76-44-8	1.20E-02	EPI	2.23E-02	WATER9	5.70E-06	WATER9	4.13E+04	EPI	1.80E-01	EPI
72	α-六六六	Hexachloro cyclohexane, α-(α-HCH)	319-84-6	2.10E-04	EPI	4.33E-02	WATER9	5.06E-06	WATER9	2.81E+03	EPI	2.00E+00	EPI
73	β-六六六	Hexachloro cyclohexane, β-(β-HCH)	319-85-7	2.10E-04	EPI	2.77E-02	WATER9	7.40E-06	WATER9	2.81E+03	EPI	2.40E-01	EPI
74	γ-六六六	Hexachloro cyclohexane, γ-(γ-HCH, Lindane)	58-89-9	2.10E-04	EPI	4.33E-02	WATER9	5.06E-06	WATER9	2.81E+03	EPI	7.30E+00	EPI
75	六氯苯	Hexachlorobenzene	118-74-1	6.95E-02	EPI	2.90E-02	WATER9	7.85E-06	WATER9	6.20E+03	EPI	6.20E-03	EPI
76	灭蚁灵	Mirex	2385-85-5	3.32E-02	EPI	2.85E-02	WATER9	3.33E-06	WATER9	3.57E+05	EPI	8.50E-02	EPI
77	毒杀芬	Toxphene	8001-35-2	2.45E-04	EPI	3.42E-02	WATER9	4.00E-06	WATER9	7.72E+04	EPI	7.40E-01	RSL
78	多氯联苯 189	Heptachlorobiphenyl, 2,3,3',4,4',5,5'-(PCB 189)	39635-31-9	5.64E-03	EPI	3.53E-02	WATER9	4.12E-06	WATER9	3.50E+05	EPI	7.53E-04	EPI
79	多氯联苯 167	Hexachlorobiphenyl, 2,3',4,4',5,5'-(PCB 167)	52663-72-6	6.62E-03	EPI	3.75E-02	WATER9	4.38E-06	WATER9	2.09E+05	EPI	2.23E-03	EPI
80	多氯联苯 157	Hexachlorobiphenyl, 2,3,3',4,4',5'-(PCB 157)	69782-90-7	6.62E-03	EPI	3.75E-02	WATER9	4.38E-06	WATER9	2.14E+05	EPI	1.65E-03	EPI
81	多氯联苯 156	Hexachlorobiphenyl, 2,3,3',4,4',5-(PCB 156)	38380-08-4	5.85E-03	EPI	3.75E-02	WATER9	4.38E-06	WATER9	2.14E+05	EPI	5.33E-03	EPI
82	多氯联苯 169	Hexachlorobiphenyl, 3,3',4,4',5,5'-(PCB 169)	32774-16-6	6.62E-03	EPI	3.75E-02	WATER9	4.38E-06	WATER9	2.09E+05	EPI	5.10E-04	EPI
83	多氯联苯 123	Pentachlorobiphenyl, 2',3,4,4',5-(PCB 123)	65510-44-3	7.77E-03	EPI	4.01E-02	WATER9	4.68E-06	WATER9	1.31E+05	EPI	1.60E-02	EPI
84	多氯联苯 118	Pentachlorobiphenyl, 2,3',4,4',5-(PCB 118)	31508-00-6	1.18E-02	EPI	4.01E-02	WATER9	4.68E-06	WATER9	1.28E+05	EPI	1.34E-02	EPI

序号	中文名	英文名	CAS 编号	H'	数据来源	Da cm ² /s	数据来源	Dw cm ² /s	数据来源	Koc cm ³ /g	数据来源	S mg/L	数据来源
85	多氯联苯 105	Pentachlorobiphenyl, 2,3,3',4,4'- (PCB 105)	32598-14-4	1.16E-02	EPI	4.01E-02	WATER9	4.68E-06	WATER9	1.31E+05	EPI	3.40E-03	EPI
86	多氯联苯 114	Pentachlorobiphenyl, 2,3,4,4',5- (PCB 114)	74472-37-0	7.77E-03	EPI	4.01E-02	WATER9	4.68E-06	WATER9	1.31E+05	EPI	1.60E-02	EPI
87	多氯联苯 126	Pentachlorobiphenyl, 3,3',4,4',5- (PCB 126)	57465-28-8	7.77E-03	EPI	4.01E-02	WATER9	4.68E-06	WATER9	1.28E+05	EPI	7.33E-03	EPI
88	多氯联苯 (高风险)	Polychlorinated Biphenyls (high risk)	1336-36-3	7.77E-03	EPI	4.32E-02	WATER9	5.04E-06	WATER9	7.81E+04	EPI	7.00E-01	RSL
89	多氯联苯 (低风险)	Polychlorinated Biphenyls (low risk)	1336-36-3	7.77E-03	EPI	4.32E-02	WATER9	5.04E-06	WATER9	7.81E+04	EPI	7.00E-01	RSL
90	多氯联苯 (最低风险)	Polychlorinated Biphenyls (lowest risk)	1336-36-3	7.77E-03	EPI	4.32E-02	WATER9	5.04E-06	WATER9	7.81E+04	EPI	7.00E-01	RSL
91	多氯联苯 77	Tetrachlorobiphenyl, 3,3',4,4'- (PCB 77)	32598-13-3	3.84E-04	EPI	4.32E-02	WATER9	5.04E-06	WATER9	7.81E+04	EPI	5.69E-04	EPI
92	多氯联苯 81	Tetrachlorobiphenyl, 3,4,4',5- (PCB 81)	70362-50-4	9.12E-03	EPI	4.32E-02	WATER9	5.04E-06	WATER9	7.81E+04	EPI	3.22E-02	EPI
93	二恶英 (总量)	Hexachlorodibenzo-p-dioxin, Mixture		2.33E-04	EPI	4.27E-02	WATER9	4.15E-06	WATER9	6.95E+05	EPI	4.00E-06	EPI
94	二恶英 (TCDD2378)	Tetrachlorodibenzo-p-dioxin, 2,3,7,8-	1746-01-6	2.04E-03	EPI	4.70E-02	WATER9	4.73E-06	WATER9	2.49E+05	EPI	2.00E-04	EPI
95	多溴联苯	Polybrominated Biphenyls	59536-65-1										
96	苯胺	Aniline	62-53-3	8.26E-05	EPI	8.30E-02	WATER9	1.01E-05	WATER9	7.02E+01	EPI	3.60E+04	EPI
97	溴仿	Bromoform	75-25-2	2.19E-02	EPI	3.57E-02	WATER9	1.04E-05	WATER9	3.18E+01	EPI	3.10E+03	EPI
98	2-氯酚	Chlorophenol, 2-	95-57-8	4.58E-04	EPI	6.61E-02	WATER9	9.48E-06	WATER9	3.07E+02	EPI	1.13E+04	EPI
99	4-甲酚 (对-)	Cresol, 4-, p-	106-44-5	4.09E-05	EPI	7.24E-02	WATER9	9.24E-06	WATER9	3.00E+02	EPI	2.15E+04	EPI
100	3,3-二氯联苯胺	Dichlorobenzidine, 3,3-	91-94-1	1.64E-07	R369	4.75E-02	WATER9	5.55E-06	WATER9	3.19E+03	EPI	3.11E+00	EPI

序号	中文名	英文名	CAS 编号	H'	数据来源	Da cm ² /s	数据来源	Dw cm ² /s	数据来源	Koc cm ³ /g	数据来源	S mg/L	数据来源
101	2,4-二氯酚	Dichlorophenol, 2,4-	120-83-2	1.75E-04	EPI	4.86E-02	WATER9	8.68E-06	WATER9	4.92E+02	EPI	4.50E+03	EPI
102	2,4-二硝基酚	Dinitrophenol, 2,4-	51-28-5	3.52E-06	EPI	4.07E-02	WATER9	9.08E-06	WATER9	4.61E+02	EPI	2.79E+03	EPI
103	2,4-二硝基甲苯	Dinitrotoluene, 2,4-	121-14-2	2.21E-06	EPI	3.75E-02	WATER9	7.90E-06	WATER9	5.76E+02	EPI	2.00E+02	EPI
104	六氯环戊二烯	Hexachlorocyclopentadiene	77-47-4	1.11E+00	EPI	2.72E-02	WATER9	7.22E-06	WATER9	1.40E+03	EPI	1.80E+00	EPI
105	五氯酚	Pentachlorophenol	87-86-5	1.00E-06	EPI	2.95E-02	WATER9	8.01E-06	WATER9	4.96E+03	EPI	1.40E+01	EPI
106	苯酚	Phenol	108-95-2	1.36E-05	EPI	8.34E-02	WATER9	1.03E-05	WATER9	1.87E+02	EPI	8.28E+04	EPI
107	2,4,5-三氯酚	Trichlorophenol, 2,4,5-	95-95-4	6.62E-05	EPI	3.14E-02	WATER9	8.09E-06	WATER9	1.78E+03	EPI	1.20E+03	EPI
108	2,4,6-三氯酚	Trichlorophenol, 2,4,6-	1988-6-2	1.06E-04	EPI	3.14E-02	WATER9	8.09E-06	WATER9	1.78E+03	EPI	8.00E+02	EPI
109	阿特拉津	Atrazine	1912-24-9	9.65E-08	EPI	5.28E-02	WATER9	6.17E-06	WATER9	2.25E+02	EPI	3.47E+01	EPI
110	敌敌畏	Dichlorvos	62-73-7	2.30E-05	EPI	2.79E-02	WATER9	7.33E-06	WATER9	5.40E+01	EPI	8.00E+03	EPI
111	乐果	Dimethoate	60-51-5	9.93E-09	EPI	2.61E-02	WATER9	6.74E-06	WATER9	1.28E+01	EPI	2.33E+04	EPI
112	硫丹	Endosulfan	115-29-7	2.66E-03	EPI	2.25E-02	WATER9	5.76E-06	WATER9	6.76E+03	EPI	3.25E-01	EPI
113	草甘膦	Glyphosate	1071-83-6	8.59E-11	EPI	6.21E-02	WATER9	7.26E-06	WATER9	2.10E+03	ARS	1.05E+04	EPI
114	邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯	Bis(2-ethylhexyl)phthalate, DEHP	117-81-7	1.10E-05	EPI	1.73E-02	WATER9	4.18E-06	WATER9	1.20E+05	EPI	2.70E-01	EPI
115	邻苯二甲酸丁苄酯	Butyl benzyl phthalate, BBP	85-68-7	5.15E-05	EPI	2.08E-02	WATER9	5.17E-06	WATER9	7.16E+03	EPI	2.69E+00	EPI
116	邻苯二甲酸二乙酯	Diethyl phthalate, DEP	84-66-2	2.49E-05	EPI	2.61E-02	WATER9	6.72E-06	WATER9	1.05E+02	EPI	1.08E+03	EPI
117	邻苯二甲酸二丁酯	Di-n-butyl phthalate, DnBP	84-74-2	7.40E-05	EPI	2.14E-02	WATER9	5.33E-06	WATER9	1.16E+03	EPI	1.12E+01	EPI
118	邻苯二甲酸二正辛酯	Di-n-octyl phthalate, DNOP	117-84-0	1.05E-04	EPI	3.56E-02	WATER9	4.15E-06	WATER9	1.41E+05	EPI	2.00E-02	EPI

注:

1) H': 无量纲亨利常数; Da: 空气中扩散系数; Dw: 水中扩散系数; Koc: 土壤-有机碳分配系数; S: 水溶解度

2) "EPI"代表美国环保局“化学品性质参数估算工具包 (Estimation Program Interface Suite)”数据; “WATER9”代表美国环保局“废水处理模型 (the wastewater treatment model)”

数据：“RSL”代表数据来自美国环保局“区域筛选值（Regional Screening Levels）总表”污染物理化性质数据（2019年5月发布，以最新的发布为准）

3）表中无量纲亨利常数等理化性质参数为常温条件下的参数值

附录 c
(规范性附录)
计算致癌风险和危害商的推荐模型

C.1 地下水中单一污染物致癌风险

C1.1 经口摄入地下水中单一污染物的致癌风险，采用公式 (C.1) 计算：

$$CR_{cgw} = CGWER_{ca} \times C_{gw} \times SF_0 \quad (C.1)$$

公式 (C.1) 中：

CR_{cgw} 一 经口摄入地下水暴露于单一污染物的致癌风险，无量纲；

C_{gw} 一 地下水中污染物浓度， $mg \cdot L^{-1}$ ；

公式 (C.1) 中， $CGWER_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.1)， SF_0 的参数含义见公式 (B.3)。

C1.2 皮肤接触地下水中单一污染物的致癌风险，采用公式 (C.2) 计算：

$$CR_{dgdw} = DGWER_{ca} \times SF_d \quad (C.2)$$

公式 (C.2) 中：

CR_{dgdw} 一 皮肤接触地下水暴露单一污染地下水的致癌风险，无量纲；

公式 (C.2) 中， $DGWER_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.3)， SF_d 的参数含义见公式 (B.3)。

C1.3 吸入室外空气中来自地下水的单一气态污染物的致癌风险，采用公式 (C.3) 计算：

$$CR_{iov3} = IOVER_{ca3} \times C_{gw} \times SF_i \quad (C.3)$$

公式 (C.3) 中：

CR_{iov3} 一 吸入室外空气来自地下水暴露于单一污染物的致癌风险，无量纲；

公式 (C.3) 中， $IOVER_{ca3}$ 的参数含义见公式 (A.9)， C_{gw} 的参数含义见公式 (C.1)， SF_i 的参数含义见公式 (B.1)。

C1.4 吸入室内空气来自地下水的单一气态污染物的致癌风险，采用公式 (C.4) 计算：

$$CR_{iiv2} = IIVER_{ca2} \times C_{gw} \times SF_i \quad (C.4)$$

公式 (C.4) 中：

CR_{iiv2} 一 吸入室内空气来自地下水暴露于单一污染物的致癌风险，无量纲。

公式 (C.4) 中， $IIVER_{ca2}$ 的参数含义分别见公式 (A.11)， C_{gw} 的参数含义见公式 (C.1)， SF_i 的参数含义见公式 (B.1)。

C1.5 地下水中单一污染物经所有暴露途径的致癌风险，采用公式 (C.5) 计算：

$$CR_n = CR_{cgw} + CR_{dgdw} + CR_{iov3} + CR_{iiv2} \quad (C.5)$$

公式 (C.5) 中：

CR_n 一 经所有暴露途径暴露于单一污染物 (第 n 种) 的致癌风险，无量纲。

公式 (C.5) 中， CR_{ogw} 、 CR_{dgdw} 、 CR_{iov3} 、和 CR_{iiv2} 的参数含义分别见公式 (C.1)、公式 (C.2)、公式 (C.3)、公式 (C.4)。

C.2 地下水中单一污染物非致癌危害商

C2.1 经口摄入污染地下水中单一污染物的非致癌危害商，采用公式 (C.6) 计算：

$$HQ_{cgw} = \frac{CGWER_{nc} \times C_{gw}}{RfD_0 \times WAF} \quad (C.6)$$

公式 (C.6) 中:

HQ_{cgw} 一 经口摄入地下水暴露于单一污染物的非致癌危害商, 无量纲;

WAF 一 暴露于地下水的参考剂量分配系数, 无量纲。

公式 (C.6) 中, $CGWER_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.2), C_{gw} 的参数含义见公式 (C.1), RfD_o 的参数含义见公式 (B.4)。

C2.2 皮肤接触污染的地下水中单一污染物的非致癌危害商, 采用公式 (C.7) 计算:

$$HQ_{d_{gw}} = \frac{DGWER_{nc}}{RfD_d} \quad (C.7)$$

公式 (C.7) 中:

$HQ_{d_{gw}}$ 一 皮肤接触地下水暴露单一污染物的非致癌危害商, 无量纲。

公式 (C.7) 中, $DGWER_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.8), RfD_d 的参数含义见公式 (B.4)。

C2.3 吸入室外空气中来自地下水的单一气态污染物的非致癌危害商, 采用公式 (C.8) 计算:

$$HQ_{iov3} = \frac{IOVER_{nc3} \times C_{gw}}{RfD_i \times WAF} \quad (C.8)$$

公式 (C.8) 中:

HQ_{iov3} 一 吸入室外空气暴露于单一污染物非致癌危害商, 无量纲;

WAF 一 暴露于地下水的参考剂量分配比例, 无量纲。

公式 (C.8) 中, $IOVER_{nc3}$ 的参数含义见公式 (A.10), C_{gw} 的参数含义见 (C.1), RfD_i 的参数含义见公式 (B.2)。

C2.4 吸入室内空气来自地下水的单一气态污染物的非致癌危害商, 采用公式 (C.9) 计算:

$$HQ_{iiv2} = \frac{IIVER_{nc2} \times C_{gw}}{RfD_i \times WAF} \quad (C.9)$$

公式 (C.9) 中:

HQ_{iiv2} 一 吸入室内空气暴露于单一污染物非致癌危害商, 无量纲;

公式 (C.9) 中, $IIVER_{nc2}$ 的参数含义见公式 (A.12), C_{gw} 的参数含义见 (C.1), RfD_i 的参数含义见公式 (B.2), WAF 的参数含义见公式 (C.8)。

C2.5 单一地下水污染物经所有途径的非致癌危害商, 采用公式 (C.10) 计算:

$$HQ_n = HQ_{cgw} + HQ_{d_{gw}} + HQ_{iov3} + HQ_{iiv2} \quad (C.10)$$

公式 (C.10) 中:

HQ_n 一 经所有途径暴露于单一污染物 (第 n 种) 的非致癌危害商, 无量纲。

公式 (C.10) 中, HQ_{cgw} 、 $HQ_{d_{gw}}$ 、 HQ_{iov3} 和 HQ_{iiv2} 的参数含义分别见公式 (C.6)、公式 (C.7)、公式 (C.8)、公式 (C.9)。

附录 D
(资料性附录)
不确定性分析推荐模型

D.1 暴露风险贡献率分析

单一污染物经不同暴露途径致癌和非致癌风险贡献率，分别采用公式 (D.1) 和公式 (D.2) 计算：

$$PCR_j = \frac{CR_j}{CR_n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

$$PHQ_j = \frac{HQ_j}{HQ_n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

公式 (D.1) 和公式 (D.2) 中：

- PCR_j — 单一污染物经某一（第 j 种）暴露途径致癌风险贡献率，无量纲；
- CR_j — 单一污染物经第 j 种暴露途径的致癌风险，无量纲；
- PHQ_j — 单一污染物经单一（第 j 种）暴露途径非致癌风险贡献率，无量纲；
- HQ_j — 单一污染物经单一（第 j 种）暴露途径非致癌危害商，无量纲。

公式 (D.1) 中，CR_n 的参数含义见公式 (C.5)，公式 (D.2) 中，HQ_n 的参数含义见公式 (C.10)。

D.2 模型参数敏感性分析

D2.1 敏感参数确定原则

选定需要进行敏感性分析的参数 (P) 应是对风险计算结果影响较大的参数，包括人群相关参数 (体重、暴露期、暴露频率等)、与暴露途径相关的参数 (每日摄入地下水量、暴露皮肤表面积、每日吸入空气体积、室内地基厚度、室内空间体积与蒸气入渗面积比等)。单一暴露途径风险贡献率超过 20% 时，应进行人群相关参数和与该途径相关的参数的敏感性分析。

D2.2 敏感性分析方法

采用敏感性比例表征模型参数敏感性，即参数取值变动对模型计算风险值的影响程度。参数的敏感性比例越大，表示风险变化程度越大，该参数对风险计算的影响也越大。制定污染地下水风险管理对策时，应该关注对风险影响较大的敏感性参数。

模型参数值变化 (从 P₁ 变化到 P₂) 对致癌风险、危害商、基于致癌和非致癌风险的地下水风险控制值 (X₁ 到 X₂) 的敏感性比例，采用公式 (D.3) 计算：

$$SR = \frac{\frac{X_2 - X_1}{X_1} \times 100\%}{\frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100\%} \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

公式 (D.3) 中：

- SR — 参数敏感性比例，无量纲；
- P₁ — 参数 P 变化前的数值；

P_2 一参数 P 变化后的数值；

X_1 一按 P_1 计算的致癌风险或危害商，无量纲；

X_2 一按 P_2 计算的致癌风险或危害商，无量纲。

选定进行敏感性分析的参数与风险值间不一定为线性相关，进行参数敏感性分析时，应兼顾考虑参数的实际取值范围，进行小范围或大范围参数值变化分析。参数值小范围变化是指将参数值变动 $\pm 5\%$ ；参数值大范围变化是指将参数值变动 $\pm 50\%$ ，也可取该参数的最大与最小可能数值。

附录 E
(规范性附录)
计算地下水风险控制值的推荐模型

E.1 基于致癌效应的地下水风险控制值

E1.1 基于经口摄入地下水途径致癌效应的地下水风险控制值，采用公式 (E.1) 计算：

$$RCVG_{cgw} = \frac{ACR}{CGWER_{ca} \times SF_0} \quad (E.1)$$

公式 (E.1) 中：

$RCVG_{cgw}$ — 基于经口摄入致癌效应的地下水风险控制值， $mg \cdot L^{-1}$ ；

ACR — 可接受致癌风险，无量纲；取值为 10^{-6} 。

公式 (E.1) 中 $CGWER_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.2)， SF_0 的参数含义见公式 (B.3)。

E1.2 基于皮肤接触地下水途径致癌效应的地下水风险控制值，采用公式 (E.2) 计算：

$$RCVG_{dgw} = \frac{ACR}{DGWER_{ca} \times SF_d} \quad (E.2)$$

公式 (E.2) 中：

$RCVG_{dgw}$ — 基于皮肤接触致癌效应的地下水风险控制值， $mg \cdot L^{-1}$ 。

公式 (E.2) 中， ACR 的参数含义见公式 (E.1)， $DGWER_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.3)， SF_d 的参数含义见公式 (B.3)。

E1.3 基于吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径致癌效应的地下水风险控制值，采用公式 (E.3) 计算：

$$RCVG_{iov} = \frac{ACR}{IOVER_{ca3} \times SF_i} \quad (E.3)$$

公式 (E.3) 中：

$RCVG_{iov}$ — 基于吸入室外气态污染物致癌效应的地下水风险控制值， $mg \cdot L^{-1}$ 。

公式 (E.3) 中， ACR 的参数含义见公式 (E.1)， $IOVER_{ca3}$ 的参数含义见公式 (A.9)， SF_i 的参数含义见公式 (B.1)。

E1.4 基于吸入室内空气来自地下水气态污染物途径致癌效应的地下水风险控制值，根据公式 (E.4) 计算：

$$RCVG_{iiv} = \frac{ACR}{IIVER_{ca2} \times SF_i} \quad (E.4)$$

公式 (E.4) 中：

$RCVG_{iiv}$ — 基于吸入室内气态污染物致癌效应的地下水风险控制值， $mg \cdot L^{-1}$ 。

公式 (E.4) 中， ACR 的参数含义见公式 (E.1)， $IIVER_{ca2}$ 的参数含义见公式 (A.11)， SF_i 的参数含义见公式 (B.1)。

E1.5 基于所有暴露途径综合致癌效应的地下水风险控制值，采用公式 (E.5) 计算：

$$RGCV_n = \frac{ACR}{(IOVER_{ca3} + IIVER_{ca2}) \times SF_i + CGWER_{ca} \times SF_o + DGWER_{ca} \times SF_d} \quad (E.5)$$

公式 (E.5) 中:

RGCVn 一基于所有地下水暴露途径综合致癌效应的地下水风险控制值, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

公式 (E.5) 中, ACR 的参数含义见公式 (E.1), IOVER_{ca3} 和 IIVER_{ca2} 的参数含义分别见公式 (A.9) 和公式 (A.11), SF_o 的参数含义见公式 (B.3), SF_i 的参数含义见公式 (B.1), CGWER_{ca} 的参数含义见公式 (A.2), DGWER_{ca} 的参数含义见公式 (A.3), SF_d 的参数含义见公式 (B.3)。

E.2 基于非致癌风险的地下水风险控制值

E2.1 基于经口摄入地下水途径非致癌效应的地下水风险控制值, 采用公式 (E.6) 计算:

$$HCVG_{cgw} = \frac{RfD_o \times WAF \times AHQ}{CGWER_{nc}} \quad (\text{E.6})$$

公式 (E.6) 中:

HCVG_{cgw} 一基于经口摄入非致癌效应的地下水风险控制值, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;

AHQ 一可接受危害商, 无量纲; 取值为 1。

公式 (E.6) 中, RfD_o 的参数含义见公式 (B.4), CGWER_{nc} 的参数含义见公式 (A.2), WAF 的参数含义见公式 (C.8)。

E2.2 基于皮肤接触地下水途径非致癌效应的地下水风险控制值, 采用公式 (E.7) 计算:

$$HCVG_{dgw} = \frac{RfD_d \times AHQ}{DGWER_{nc}} \quad (\text{E.7})$$

公式 (E.7) 中:

HCVG_{dgw} 一基于皮肤接触非致癌效应的地下水风险控制值, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

公式 (E.7) 中, AHQ 的参数含义见公式 (E.6), DGWER_{nc} 的参数含义见公式 (A.8), RfD_d 的参数含义见公式 (B.4)。

E2.3 基于吸入室外空气中来自地下水气态污染物途径非致癌效应的地下水风险控制值, 采用公式 (E.8) 计算:

$$HCVG_{iov} = \frac{RfD_i \times WAF \times AHQ}{IOVER_{nc3}} \quad (\text{E.8})$$

公式 (E.8) 中:

HCVG_{iov} 一基于吸入室外来自地下水气态污染物非致癌效应的地下水风险控制值, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

公式 (E.8) 中, RfD_i 的参数含义见公式 (B.2), AHQ 的参数含义见公式 (E.6), IOVER_{nc3} 的参数含义分别见公式 (A.10), WAF 的参数含义见公式 (C.8)。

E2.4 基于吸入室内空气气态污染物途径非致癌效应的地下水风险控制值, 采用公式 (E.9) 计算:

$$HCVG_{iv} = \frac{RfD_i \times WAF \times AHQ}{IIVER_{nc2}} \quad (\text{E.9})$$

公式 (E.9) 中:

HCVG_{iv} 一基于吸入室内气态污染物非致癌效应的地下水风险控制值, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;

IIVER_{nc2} 一吸入室内空气来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量 (非致癌效应), $\text{L}\cdot\text{地下水}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{体重}\cdot\text{d}^{-1}$;

公式 (E.9) 中, RfD_i 的参数含义见公式 (B.2), AHQ 的参数含义见公式 (E.7)。

E2.5 基于所有暴露途径综合非致癌效应的地下水风险控制值, 采用公式 (E.10) 计算:

$$HGCV_n = \frac{AHO}{\frac{IOVER_{nc3} + IIVER_{nc2}}{RfD_i \times WAF} + \frac{CGWER_{nc}}{RfD_0 \times WAF} + \frac{DGWER_{nc}}{RfD_d}} \quad (E.10)$$

公式 (E.10) 中:

$HGCV_n$ — 基于所有暴露途径综合非致癌效应的土壤风险控制值, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.23) 中, AHQ 的参数含义见公式 (E.6), WAF 的参数含义见公式 (C.8), $IOVER_{nc3}$ 、 $IIVER_{nc2}$ 的参数含义分别见公式 (A.10) 和公式 (A.12), RfD_0 参数含义见公式 (B.4), RfD_i 的参数含义见公式 (B.2), $CGWER_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.2), $DGWER_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.8), RfD_d 的参数含义见公式 (B.4)。

附录 F
(规范性附录)

污染物扩散迁移推荐模型

此部分内容参考《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3),附录 F 的内容。

进入土壤中的污染物可在土壤水相、气相和固相分配并达到平衡。表层、下层土壤及地下水中的污染物可挥发扩散进入室外空气，下层土壤和地下水中污染物可挥发扩散进入室内空气。土壤中的污染物可迁移进入地下水，影响地下水环境质量。以下给出了土壤和地下水中污染物扩散迁移的相关模式。

F.1 气态污染物有效扩散系数计算模式

F1.1 土壤中气态污染物的有效扩散系数，采用公式 (F.1) 计算：

$$D_s^{eff} = D_a \times \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta^2} + D_w \times \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{H_u \times \theta^2} \quad \dots \dots \dots (F.1)$$

公式 (F.1) 中：

- D_s^{eff} 一土壤中气态污染物的有效扩散系数， $cm^2 \cdot s^{-1}$ ；
- D_a 一空气中扩散系数， $cm^2 \cdot s^{-1}$ ；推荐值见表 B.2；
- D_w 一水中扩散系数， $cm^2 \cdot s^{-1}$ ；推荐值见表 B.2；
- H_u 一无量纲亨利常数， $cm^3 \cdot cm^{-3}$ ；推荐值见表 B.2；
- θ 一非饱和土层土壤中总孔隙体积比，无量纲；根据公式 (F.2) 计算；
- θ_{ws} 一非饱和土层土壤中孔隙水体积比，无量纲；根据公式 (F.3) 计算；
- θ_{as} 一非饱和土层土壤中孔隙空气体积比，无量纲；根据公式 (F.4) 计算。

公式 (F.1) 中 θ 、 θ_{ws} 和 θ_{as} ，分别采用公式 (F.2)、公式 (F.3) 和公式 (F.4) 计算：

$$\theta = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad \dots \dots \dots (F.2)$$

$$\theta_{ws} = \frac{\rho_b \times P_{ws}}{\rho_w} \quad \dots \dots \dots (F.3)$$

$$\theta_{as} = \theta - \theta_{ws} \quad \dots \dots \dots (F.4)$$

公式 (F.2)、公式 (F.3) 和公式 (F.4) 中：

- ρ_b 一土壤容重， $kg \cdot cm^{-3}$ ；推荐值见表 G.1；
- ρ_s 一土壤颗粒密度， $kg \cdot cm^{-3}$ ，推荐值见表 G.1。
- P_{ws} 一土壤含水率， $kg \text{ 水} \cdot kg^{-1} \text{ 土壤}$ ；推荐值见表 G.1；
- ρ_w 一水的密度， $1 g \cdot cm^{-3}$ 。

公式 (F.2) 中 θ 、公式 (F.3) 中 θ_{ws} 和公式 (F.4) 中 θ_{as} 的参数含义见公式 (F.1)。

F1.2 气态污染物在地基与墙体裂隙中的有效扩散系数，采用公式 (F.5) 计算：

$$D_{crack}^{eff} = D_a \times \frac{D_{acrack}^{3.33}}{\theta^2} + D_w \times \frac{\theta_{wcrack}^{3.33}}{H_u \times \theta^2} \quad \dots \dots \dots (F.5)$$

公式 (F.5) 中:

D_{crack}^{eff} 一 气态污染物在地基与墙体裂隙中的有效扩散系数, $cm^2 \cdot s^{-1}$;

θ_{acrack} 一 地基裂隙中空气体积比, 无量纲; 推荐值见表 G.1;

θ_{wcrack} 一 地基裂隙中水体积比, 无量纲; 推荐值见表 G.1。

公式 (F.5) 中, D_a 、 D_w 、 θ 和 H_u 的参数含义见公式 (F.1)。

F1.3 毛细管层中气态污染物的有效扩散系数, 采用公式 (F.6) 计算:

$$D_{cap}^{eff} = D_a \times \frac{D_{acap}^{3.33}}{\theta^2} + D_w \times \frac{\theta_{wcap}^{3.33}}{H_u \times \theta^2} \dots \dots \dots (F.6)$$

公式 (F.6) 中:

D_{cap}^{eff} 一 毛细管层中气态污染物的有效扩散系数, $cm^2 \cdot s^{-1}$;

θ_{acap} 一 毛细管层土壤中孔隙空气体积比, 无量纲; 推荐值见表 G.1;

θ_{wcap} 一 毛细管层土壤中孔隙水体积比, 无量纲; 推荐值见表 G.1。

公式 (F.6) 中, D_a 、 D_w 、 θ 和 H_u 的参数含义见公式 (F.1)。

F1.4 气态污染物从地下水到表层土壤的有效扩散系数, 采用公式 (F.7) 计算:

$$D_{gws}^{eff} = \frac{L_{gw}}{\frac{h_{cap}}{D_{cap}^{eff}} + \frac{h_v}{D_s^{eff}}} \dots \dots \dots (F.7)$$

公式 (F.7) 中:

D_{gws}^{eff} 一 地下水到表层土壤的有效扩散系数, $cm^2 \cdot s^{-1}$;

h_{cap} 一 地下水土壤交界处毛细管层厚度, cm ; 推荐值见表 G.1;

h_v 一 非饱和土层厚度, cm ; 优先根据场地调查数据确定, 推荐值见表 G.1;

D_{cap}^{eff} 一 毛细管层中气态污染物的有效扩散系数, $cm^2 \cdot s^{-1}$, 根据公式 (F.6) 计算。

公式 (F.7) 中, D_{cap}^{eff} 的参数含义见公式 (F.6), D_s^{eff} 的参数含义见公式 (F.1)。

F1.5 土壤-水中污染物分配系数, 采用公式 (F.8) 计算:

$$K_{sw} = \frac{\theta_{ws} + (K_d \times \rho_b) + (H_u \times \theta_{as})}{\rho_b} \dots \dots \dots (F.8)$$

公式 (F.8) 中,

K_{sw} 土壤-水中污染物分配系数, $cm^3 \cdot g^{-1}$;

K_d 土壤固相-水中污染物分配系数, $cm^3 \cdot g^{-1}$;

公式 (F.8) 中 θ_{ws} 、 θ_{as} 、 H_u 的参数含义见公式 (F.1), ρ_b 的参数含义见公式 (F.2)。

公式 (F.8) 中的 K_d 和 f_{oc} 分别采用公式 (F.9) 和公式 (F.10) 计算:

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc} \dots \dots \dots (F.9)$$

$$f_{oc} = \frac{f_{om}}{1.7 \times 1000} \dots \dots \dots (F.10)$$

公式 (F.9) 和公式 (F.10) 中:

K_{oc} 一土壤有机碳/土壤孔隙水分配系数, $L \cdot kg^{-1}$; 推荐值见表 B.2。

f_{oc} 一土壤有机碳质量分数, 无量纲, 根据公式 (F.19) 计算;

f_{om} 一土壤有机质含量, $g \cdot kg^{-1}$; 根据场地调查获得参数值;

公式 (F.9) 中 K_d 的参数含义见公式 (F.8)。

F1.6 室外空气中气态污染物扩散因子, 采用公式 (F.11) 计算:

$$DF_{oa} = \frac{U_{air} \times W \times \delta_{air}}{A} \dots\dots\dots (F.11)$$

公式 (F.11) 中:

DF_{oa} 室外空气中气态污染物扩散因子, $(g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}) / (g \cdot cm^{-3})$

U_{air} 混合区大气流速风速, $cm \cdot s^{-1}$

A 污染源区面积, cm^2

W 污染源区宽度, cm^2

δ_{air} 混合区高度, cm

F1.7 室内空气中气态污染物扩散因子采用公式 (F.12) 计算:

$$DF_{ia} = L_B \times ER \times \frac{1}{86400} \dots\dots\dots (F.12)$$

公式 (F.12) 中:

DF_{ia} 室内空气中气态污染物扩散因子, $(g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}) / (g \cdot cm^{-3})$

ER 一室内空气交换速率, $次 \cdot d^{-1}$; 推荐值见表 G.1;

L_B 一室内空间体积与气态污染物入渗面积比, cm ; 推荐值见表 G.1;

86400: 时间单位转换系数, $86400 s \cdot d^{-1}$

F1.8 流经地下室地板裂隙的对流空气流速, 采用公式 (F.13) 和 (F.14) 计算:

$$Q_s = \frac{2 \times \pi \times dP \times K_v \times X_{crack}}{\mu_{air} \times \ln\left(\frac{2 \times Z_{crack}}{R_{crack}}\right)} \dots\dots\dots (F.13)$$

$$R_{crack} = \frac{A_b \times \eta}{X_{crack}} \dots\dots\dots (F.14)$$

公式 (F.13) 和 (F.14) 中:

Q_s 流经地下室地板裂隙的对流空气流速, $cm^3 \cdot s^{-1}$

π 圆周率常数, 3.14159

dP 室内和室外大气压力差, $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-2}$

k_v 土壤透性系数, cm^2

X_{crack} 地下室地板 (裂隙) 周长, cm

μ_{air} 空气粘滞系数, $1.81 \times 10^{-4} g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$

Z_{crack} 地下室地面到地板底部厚度, cm

- R_{crack} 室内裂隙宽度, cm
 A_b 地下室地板面积, cm^2 ;
 η 一地基和墙体裂隙表面积占室内地表面积比例, 无量纲; 推荐值见表 G.1。

F.2 污染物扩散进入室外空气的挥发因子计算模式

F.2.1 表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子, 采用公式 (F.15)、公式 (F.16) 和公式 (F.17) 计算确定:

$$VF_{suroa1} = \frac{\rho_b}{DF_{oa}} \times \sqrt{\frac{4 \times D_s^{eff} \times H_u}{\pi \times \tau \times 31536000 \times K_{sw} \times \rho_b}} \times 10^3 \quad \dots\dots (F.15)$$

$$VF_{suroa2} = \frac{d \times \rho_b}{DF_{oa} \times \tau \times 31536000} \times 10^3 \quad \dots\dots (F.16)$$

$$VF_{suroa} = MIN(VF_{suroa1}, VF_{suroa2}) \quad \dots\dots (F.17)$$

公式 (F.15)、公式 (F.16) 和公式 (F.17) 中:

- VF_{suroa1} 一表层土壤中污染物进入室外空气的挥发因子 (算法一), $kg \cdot m^{-3}$;
 VF_{suroa2} 一表层土壤中污染物进入室外空气的挥发因子 (算法二), $kg \cdot m^{-3}$;
 VF_{suroa} 一表层土壤中污染物进入室外空气的挥发因子 (算法一和算法二中的较小值), $kg \cdot m^{-3}$;
 τ 一 气态污染物入侵持续时间, a; 推荐值见表 G.1;
 d 一 表层污染土壤层厚度, cm; 必须根据场地调查获得参数值。

公式 (F.15)、(F.16) 和公式 (F.17) 中, D_s^{eff} 和 H_u 的参数含义见公式 (F.1), ρ_b 和 K_{sw} 的参数含义见公式 (F.8), DF_{oa} 的参数含义见公式 (F.11)。

F.2.2 下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子, 采用公式 (F.18)、公式 (F.19) 和公式 (F.20) 计算:

$$VF_{suboa1} = \frac{1}{\left(1 + \frac{DF_{oa} \times L_s}{D_s^{eff}}\right) \times \frac{K_{sw}}{H_u}} \times 10^3 \quad \dots\dots (F.18)$$

如下层污染土壤厚度已知, 污染物进入室外空气的挥发因子采用公式 (F.19) 计算:

$$VF_{suboa2} = \frac{d_s \times \rho_b}{DF_{oa} \times \tau \times 31536000} \times 10^3 \quad \dots\dots (F.19)$$

$$VF_{suboa} = MIN(VF_{suboa1}, VF_{suboa2}) \quad \dots\dots (F.20)$$

公式 (F.18)、(F.19) 和 (F.20) 中:

- VF_{suboa1} 一下层土壤中污染物进入室外空气的挥发因子 (算法一), $kg \cdot m^{-3}$;
 VF_{suboa2} 一下层土壤中污染物进入室外空气的挥发因子 (算法二), $kg \cdot m^{-3}$;

VF_{suboa} 一下层土壤中污染物进入室外空气的挥发因子(算法一和算法二中的较小值), $kg \cdot m^{-3}$;

L_s 一下层污染土壤上表面到地表距离, cm ; 必须根据场地调查获得参数值;

d_s 一下层污染土壤厚度, cm

公式 (F.18)、(F.19) 和 (F.20) 中, D_s^{eff} 和 H_u 的参数含义见公式 (F.1), ρ_b 的参数含义见公式 (F.2), K_{sw} 的参数含义见公式 (F.8), DF_{oa} 的参数含义见公式 (F.9), τ 的参数含义见公式 (F.15)。

F2.3 地下水中污染物扩散进入室外空气的挥发因子, 采用公式 (F.21) 计算:

$$VF_{gwoa} = \frac{1}{\left(1 + \frac{DF_{oa} \times L_{gw}}{D_{gws}^{eff}}\right) \times \frac{1}{H_u}} \times 10^3 \quad \dots \dots (F.21)$$

VF_{gwoa} 一下层土壤中污染物进入室外空气的挥发因子, $L \cdot m^{-3}$;

L_{gw} 一下层地下水埋深, cm ; 必须根据场地调查获得参数值;

公式 (F.21) 中, H_u 的参数含义见公式 (F.1), D_{gws}^{eff} 的参数含义见公式 (F.7), DF_{oa} 的参数含义见公式 (F.11)。

F.3 污染物扩散进入室内空气的挥发因子计算模式

F3.1 建筑物下方土壤中污染物进入室内空气的挥发因子, 采用公式 (F.22)、公式 (F.23)、公式 (F.24)、公式 (F.25) 和公式 (F.26) 计算:

$Q_s=0$ (趋于为 0) 时,

$$VF_{subia1} = \frac{1}{\frac{K_{sw}}{H_u} \times \left(1 + \frac{D_s^{eff}}{DF_{ia} \times L_s} + \frac{D_s^{eff} \times L_{crack}}{D_s^{eff} \times L_s \times \eta}\right) \times \frac{DF_{ia}}{D_s^{eff}} \times L_s} \times 10^3 \quad \dots (F.22)$$

$Q_s>0$ 时,

$$VF_{subia1} = \frac{1}{\frac{K_{sw}}{H_u} \times \left(e^\xi + \frac{D_s^{eff}}{DF_{ia} \times L_s} + \frac{D_s^{eff} \times A_b}{Q_s \times L_s} \times (e^\xi - 1)\right) \times \frac{DF_{ia} \times L_s}{D_s^{eff} \times e^\xi}} \times 10^3 \quad \dots (F.23)$$

$$\xi = \frac{Q_s \times L_{crack}}{A_b \times D_{crack}^{eff} \times \eta} \quad \dots (F.24)$$

如下层污染土壤厚度已知, 污染物进入室内空气的挥发因子采用公式 (F.25) 计算:

$$VF_{subia2} = \frac{d_s \times \rho_b}{DF_{ia} \times \tau \times 31536000} \times 10^3 \quad \dots \dots (F.25)$$

$$VF_{subia} = \text{MIN}(VF_{subia1}, VF_{subia2}) \quad \dots \dots (F.26)$$

公式 (F.22)、公式 (F.23)、公式 (F.24)、公式 (F.25) 和公式 (F.26) 中:

VF_{subia1} 一下层土壤中污染物进入室内空气的挥发因子 (算法一), $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

VF_{subia2} 一下层土壤中污染物进入室内空气的挥发因子 (算法二), $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

VF_{subia} 一下层土壤中污染物进入室内空气的挥发因子 (算法一和算法二中的较小值), $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

L_{crack} 一室内地基或墙体厚度, cm ; 推荐值见表 G.1;

ξ 一土壤污染物进入室内挥发因子计算过程参数;

31536000: 时间单位转换系数, $31536000 \text{ s}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

公式 (F.14) 中, H_u 、 D^{eff}_s 的参数含义见公式 (F.1), ρ_b 的参数含义见公式 (F.2), $D^{\text{eff}}_{\text{crack}}$ 的参数含义见公式 (F.5), K_{sw} 的参数含义见公式 (F.8), DF_{ia} 的参数含义见公式 (F.12), Q_s 的参数含义见公式 (F.13), A_b 和 η 的参数含义见公式 (F.14), τ 的参数含义见公式 (F.15), L_s 的参数含义见公式 (F.18), d_s 的参数含义见公式 (F.19)。

F3.2 地下水中污染物进入室内空气的挥发因子采用公式 (F.27) 或公式 (F.28) 和 (F.29) 计算:

$Q_s=0$ 或趋于为 0 时,

$$VF_{g\text{wia}1} = \frac{1}{\frac{1}{H_u} \times \left(1 + \frac{D^{\text{eff}}_{g\text{ws}}}{DF_{\text{ia}} \times L_{g\text{w}}} + \frac{D^{\text{eff}}_{g\text{ws}} \times L_{\text{crack}}}{D^{\text{eff}}_{\text{crack}} \times L_{g\text{w}} \times \eta}\right)} \times \frac{DF_{\text{ia}} \times L_{g\text{w}}}{D^{\text{eff}}_{g\text{ws}}} \times 10^3 \quad \dots \text{ (F.27)}$$

$Q_s>0$ 时,

$$VF_{g\text{wia}1} = \frac{1}{\frac{1}{H_u} \times \left(e^{\xi} + \frac{D^{\text{eff}}_{g\text{ws}}}{DF_{\text{ia}} \times L_{g\text{w}}} + \frac{D^{\text{eff}}_{g\text{ws}} \times A_b}{Q_s \times L_{g\text{w}}} \times (e^{\xi} - 1)\right)} \times \frac{DF_{\text{ia}} \times L_{g\text{w}}}{D^{\text{eff}}_{g\text{ws}} \times e^{\xi}} \times 10^3 \quad \dots \text{ (F.28)}$$

$$VF_{g\text{wia}} = \text{MIN}(VF_{g\text{wia}1}, VF_{g\text{wia}2}) \quad \dots \dots \text{ (F.29)}$$

公式 (F.27)、公式 (F.28) 和公式 (F.29) 中:

$VF_{g\text{wia}1}$ 一地下水中污染物进入室内空气的挥发因子 (算法一), $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

$VF_{g\text{wia}2}$ 一地下水中污染物进入室内空气的挥发因子 (算法二), $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

$VF_{g\text{wia}}$ 一地下水中污染物进入室内空气的挥发因子 (算法一和算法二中的较小值), $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

公式 (F.27)、(F.28) 和 (F.29) 中, H_u 的参数含义见公式 (F.1), $D^{\text{eff}}_{\text{crack}}$ 的参数含义见公式 (F.5), $L_{g\text{w}}$ 和 $D^{\text{eff}}_{g\text{ws}}$ 的参数含义见公式 (F.7), DF_{ia} 的参数含义见公式 (F.12), Q_s 的参数含义见公式 (F.13), A_b 和 η 的参数含义见公式 (F.14), L_{crack} 的参数含义见公式 (F.22), ξ 的参数含义见公式 (F.24)。

F.4 污染物迁移进入地下水的淋溶因子计算模式

土壤中污染物迁移进入地下水的淋溶因子, 采用公式 (F.30)、公式 (F.31)、公式 (F.32) 和公式 (F.33) 计算:

$$LF_{sgw1} = \frac{LF_{spw-gw}}{K_{sw}} \quad \dots\dots\dots (F.30)$$

$$LF_{spw-gw} = \frac{1}{1 + \frac{U_{gw} \times \delta_{gw}}{I \times W}} \quad \dots\dots\dots (F.31)$$

如下层污染土壤厚度已知，污染物迁移进入地下水的淋溶因子采用公式 (F.32) 计算：

$$LF_{sgw2} = \frac{d_s \times \rho_b}{I \times \tau} \quad \dots\dots\dots (F.32)$$

$$LF_{sgw} = \text{MIN}(LF_{sgw1}, LF_{sgw2}) \quad \dots\dots\dots (F.33)$$

公式 (F.30)、公式 (F.31)、公式 (F.32) 和公式 (F.33) 中：

LF_{sgw1} 一土壤中污染物迁移进入地下水的淋溶因子（算法一）， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ；

LF_{spw-gw} 一土壤孔隙水中污染物迁移进入地下水的淋溶因子（土壤孔隙水与地下水中污染物浓度之比），无量纲；

LF_{sgw2} 一土壤中污染物迁移进入地下水的淋溶因子（算法二）， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ；

LF_{sgw} 一土壤中污染物迁移进入地下水的淋溶因子（算法一和算法二中的较小值）， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

U_{gw} 一地下水的达西（Darcy）速率， $\text{cm}\cdot\text{a}^{-1}$ ，推荐值见表 G.1；

δ_{gw} 一地下水混合区厚度，cm，推荐值见表 G.1；

I 一土壤中水的渗透速率， $\text{cm}\cdot\text{a}^{-1}$ ；推荐值见表 G.1；

公式 (F.30)、公式 (F.31)、公式 (F.32) 和公式 (F.33) 中， ρ_b 的参数含义见公式 (F.2)， K_{sw} 的参数含义见公式 (F.8)， W 的参数含义见公式 (F.11)， τ 的参数含义见公式 (F.15)， d_s 的参数含义见公式 (F.19)。

附录 G
(资料性附录)

风险评估模型参数推荐值

此部分内容参考《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3),附录 G 的内容和《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》(试行)(GB 36600-2018)编制说明中的内容。

表 G.1 风险评估模型参数及推荐值

参数符号	参数名称	单位	第一类用地推荐值	第二类用地推荐值
C_{gw}	地下水中污染物浓度 concentrations of contaminants in groundwater	$mg \cdot L^{-1}$	—	—
d	表层污染土壤层厚度 thickness of surficial soils	cm	—	—
L_s	下层污染土壤层埋深 thickness of surficial soils	cm	—	—
d_{sub}	下层污染土壤层厚度 thickness of subsurficial soils	cm	—	—
A	污染源区面积 Source-zone area	cm^2	—	—
L_{gw}	地下水埋深 depth of groundwater	cm	—	—
f_{om}	土壤有机质含量 organic matter content in soils	$g \cdot kg^{-1}$	10	10
ρ_b	土壤容重 soil bulk density	$kg \cdot cm^{-3}$	0.0015	0.0015
P_{ws}	土壤含水率 soil water content	$kg \cdot kg^{-1}$	0.10	0.10
ρ_s	土壤颗粒密度 density of soil particulates	$kg \cdot cm^{-3}$	0.00265	0.00265
PM_{10}	空气中可吸入颗粒物含量 content of inhalable particulates in ambient air	$mg \cdot m^{-3}$	0.119	0.119
U_{air}	混合区大气流速风速 ambient air velocity in mixing zone	$cm \cdot s^{-1}$	200	200
δ_{air}	混合区高度 mixing zone height	cm	200	200
W	污染源区宽度 width of source-zone area	cm	4000	4000
h_{cap}	土壤地下水交界处毛管层厚度 capillary zone thickness	cm	5	5
h_v	非饱和土层厚度 vadose zone thickness	cm	295	295

参数符号	参数名称	单位	第一类用地推荐值	第二类用地推荐值
θ_{acap}	毛细管层孔隙空气体积比 soil air content - capillary fringe region	无量纲	0.038	0.038
θ_{wcap}	毛细管层孔隙水体积比 soil water content - capillary fringe region	无量纲	0.342	0.342
U_{gw}	地下水达西（Darcy）速率 ground water Darcy velocity	$\text{cm}\cdot\text{a}^{-1}$	2500	2500
δ_{gw}	地下水混合区厚度 ground water mixing zone height	cm	200	200
I	土壤中水的入渗速率 water infiltration rate	$\text{cm}\cdot\text{a}^{-1}$	30	30
θ_{acrack}	地基裂隙中空气体积比 soil air content - soil filled foundation cracks	无量纲	0.26	0.26
θ_{wcrack}	地基裂隙中水体积比 soil water content - soil filled foundation cracks	无量纲	0.12	0.12
L_{crack}	室内地基或墙体厚度 enclosed-space foundation or wall thickness	cm	35	35
L_{B}	室内空间体积与气态污染物入渗面积之比 enclosed space volume/infiltration area ratio	cm	220	300
ER	室内空气交换速率 enclosed space air exchange rate	次 $\cdot\text{d}^{-1}$	12	20
η	地基和墙体裂隙表面积所占比例 areal fraction of cracks in foundations/walls	无量纲	0.0005	0.0005
τ	气态污染物入侵持续时间 averaging time for vapor flux	a	30	25
dP	室内室外气压差 indoor/outdoor differential pressure	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$	0	0
K_{v}	土壤透性系数 soil permeability	cm^2	1.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}
Z_{crack}	室内地面到地板底部厚度 depth to bottom of slab	cm	15	15
X_{crack}	室内地板周长 slab perimeter	cm	3400	3400
A_{b}	室内地板面积 slab area	cm^2	700000	700000
EDa	成人暴露期 exposure duration of adults	a	24	25
EDc	儿童暴露期 exposure duration of children	a	6	—

参数符号	参数名称	单位	第一类用地推荐值	第二类用地推荐值
EFa	成人暴露频率 exposure frequency of adults	d·a ⁻¹	350	250
EFc	儿童暴露频率 exposure frequency of children	d·a ⁻¹	350	—
EFIa	成人室内暴露频率 indoor exposure frequency of adults	d·a ⁻¹	262.5	187.5
EFIc	儿童室内暴露频率 indoor exposure frequency of children	d·a ⁻¹	262.5	—
EFOa	成人室外暴露频率 outdoor exposure frequency of adults	d·a ⁻¹	-	62.5
EFOc	儿童室外暴露频率 outdoor exposure frequency of children	d·a ⁻¹	87.5	—
BWa	成人平均体重 average body weight of adults	kg	61.8	61.8
BWc	儿童平均体重 average body weight of children	kg	19.2	19.2
Ha	成人平均身高 average height of adults	cm	161.5	161.5
Hc	儿童平均身高 average height of children	cm	113.15	113.15
DAIRa	成人每日空气呼吸量 daily air inhalation rate of adults	m ³ ·d ⁻¹	14.5	14.5
DAIRc	儿童每日空气呼吸量 daily air inhalation rate of children	m ³ ·d ⁻¹	7.5	—
GWCRa	成人每日饮用水量 daily groundwater consumption rate of adults	L·d ⁻¹	1.8	1.8
GWCRc	儿童每日饮用水量 daily groundwater consumption rate of children	L·d ⁻¹	0.7	0.7
Ev	每日皮肤接触事件频率 daily exposure frequency of dermal contact event	次·d ⁻¹	1	1
Kp	皮肤渗透系数 dermal permeability coefficient	cm/h	注 4	注 4
t _c	儿童次经皮肤接触的时间	h	0.5	0.5
t _a	成人次经皮肤接触的时间	h	0.5	0.5
WAF	经口摄入地下水途径参考剂量分配比例 groundwater allocation factor	无量纲	0.20	0.20
SERa	成人暴露皮肤所占体表面积比 skin exposure ratio of adults	无量纲	0.32	0.18

参数符号	参数名称	单位	第一类用地推荐值	第二类用地推荐值
SERc	儿童暴露皮肤所占体表面积比 skin exposure ratio of children	无量纲	0.36	—
ACR	单一污染物可接受致癌风险 acceptable cancer risk for individual contaminant	无量纲	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
AHQ	可接受危害商 acceptable hazard quotient for individual contaminant	无量纲	1	1
ATca	致癌效应平均时间 average time for carcinogenic effect	d	27740	27740
ATnc	非致癌效应平均时间 average time for non-carcinogenic effect	d	2190	9125

注：

- 1) “—”表明参数值需要结合实际场地确定或该用地方式下参数值不适用
- 2) “应根据场地环境调查实测数据定值的参数”，必须根据场地采样和分析测试数据定值；“优先根据场地环境调查实测数据和资料定值的参数”，应尽可能根据场地调查获得数据或资料进行定值
- 3) 在计算吸入室内和室外空气中来自地下水的气态污染物致癌风险或危害商时，如 C_{gw} 实测浓度超过溶解度，则采用水溶解度进行计算，此时实际污染（致癌、非致癌）风险可能高于模型计算值
- 4) 皮肤渗透系数预测值计算公式为

$$\log K_p = -2.80 + 0.66 \log K_{ow} - 0.0056MW$$

实验值可参考 USEPA, Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment, Office of Emergency and Remedial Response, Washington DC, 2004

附录 H
(资料性附录)

部分有毒有害指标的饮用水标准

序号	指标名称 (单位)	标准
1	锰 (mg/L)	0.1
2	铜 (mg/L)	1
3	锌 (mg/L)	1
4	钼 (mg/L)	0.1
5	钴 (mg/L)	0.05
6	挥发性酚类 (mg/L)	0.002
7	硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	20
8	亚硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	0.02
9	氰化物 (mg/L)	0.05
10	汞 (mg/L)	0.001
11	砷 (mg/L)	0.05
12	硒 (mg/L)	0.01
13	镉 (mg/L)	0.01
14	六价铬 (mg/L)	0.05
15	铅 (mg/L)	0.05
16	铍 (mg/L)	0.0002
17	钡 (mg/L)	1
18	镍 (mg/L)	0.05
19	滴滴涕 (μg/L)	0.000001
20	六六六 (μg/L)	0.000005
21	三氯甲烷 (mg/L)	0.06
22	四氯化碳 (mg/L)	0.002
23	三溴甲烷 (mg/L)	0.1
24	二氯甲烷 (mg/L)	0.02
25	1,2-二氯乙烷 (mg/L)	0.03
26	环氧氯丙烷 (mg/L)	0.004
27	氯乙烯 (mg/L)	0.005
28	1,1-二氯乙烯 (mg/L)	0.03
29	1,2-二氯乙烯 (mg/L)	0.05
30	三氯乙烯 (mg/L)	0.07
31	四氯乙烯 (mg/L)	0.04
32	氯丁二烯 (mg/L)	0.002
33	六氯丁二烯 (mg/L)	0.0006
34	苯乙烯 (mg/L)	0.02
35	甲醛 (mg/L)	0.9
36	乙醛 (mg/L)	0.05
37	丙烯醛 (mg/L)	0.1
38	三氯乙醛 (mg/L)	0.01
39	苯 (mg/L)	0.01

序号	指标名称 (单位)	标准
40	甲苯 (mg/L)	0.7
41	乙苯 (mg/L)	0.3
42	二甲苯 (mg/L)	0.5
43	异丙苯 (mg/L)	0.25
44	氯苯 (mg/L)	0.3
45	1,2-二氯苯 (mg/L)	1
46	1,4-二氯苯 (mg/L)	0.3
47	三氯苯 (mg/L)	0.02
48	四氯苯 (mg/L)	0.02
49	六氯苯 (mg/L)	0.05
50	二硝基苯 (mg/L)	0.017
51	2,4-二硝基苯 (mg/L)	0.5
52	2,4,7 三硝基苯 (mg/L)	0.0003
53	硝基氯苯 (mg/L)	0.5
54	2,4-二硝基氯苯 (mg/L)	0.05
55	2,4-二氯苯酚 (mg/L)	0.5
56	2,4,6-三氯苯酚 (mg/L)	0.093
57	五氯酚 (mg/L)	0.2
58	苯胺 (mg/L)	0.009
59	联苯胺 (mg/L)	0.1
60	丙烯酰胺 (mg/L)	0.0002
61	丙烯腈 (mg/L)	0.0005
62	邻苯二甲酸二丁酯 (mg/L)	0.1
63	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯 (mg/L)	0.003
64	水合肼 (mg/L)	0.008
65	四乙基铅 (mg/L)	0.01
66	吡啶 (mg/L)	0.0001
67	松节油 (mg/L)	0.2
68	苦味酸 (mg/L)	0.2
69	丁基黄原酸 (mg/L)	0.5
70	活性氯 (mg/L)	0.005
71	林丹 (mg/L)	0.002
72	环氧七氯 (mg/L)	0.0002
73	对硫磷 (mg/L)	0.003
74	甲基对硫磷 (mg/L)	0.002
75	马拉硫磷 (mg/L)	0.05
76	乐果 (mg/L)	0.08
77	敌敌畏 (mg/L)	0.05
78	敌百虫 (mg/L)	0.05
79	内吸磷 (mg/L)	0.03
80	百菌清 (mg/L)	0.01
81	甲萘威 (mg/L)	0.05

序号	指标名称 (单位)	标准
82	溴氰菊酯 (mg/L)	0.02
83	阿特拉津 (mg/L)	0.003
84	苯并(a)芘 (μg/L)	0.00001
85	甲基汞 (μg/L)	0.000001
86	多氯联苯 (μg/L)	0.00002
87	硼 (mg/L)	0.5
88	铈 (mg/L)	0.005
89	钒 (mg/L)	0.05
90	钛 (mg/L)	0.1
91	铊 (mg/L)	0.0001
92	银 (mg/L)	0.05
93	1,1,1-三氯乙烷 (μg/L)	2
94	1,1,2-三氯乙烷 (μg/L)	0.005
95	1,2-二氯丙烷 (μg/L)	0.003
96	二氯一溴甲烷 (μg/L)	0.06
97	一氯二溴甲烷 (μg/L)	0.1
98	p,p'-DDE (μg/L)	0.0002
99	p,p'-DDD (μg/L)	0.00028
100	p, p'-DDT (μg/L)	0.0002
101	艾氏剂 (μg/L)	0.00003
102	狄氏剂 (μg/L)	0.00008
103	异狄氏剂 (μg/L)	0.002
104	氯丹 (μg/L)	0.002
105	2,4,6-三氯酚 (μg/L)	0.2
106	2,4-二氯酚 (μg/L)	0.011
107	苯酚 (μg/L)	2.2
108	对硝基酚 (μg/L)	0.05
109	萘 (μg/L)	0.01
110	蒽 (μg/L)	0.037
111	二氢蒽 (μg/L)	0.037
112	芴 (μg/L)	0.024
113	菲 (μg/L)	0.018
114	蒽 (μg/L)	0.18
115	荧蒽 (μg/L)	0.15
116	芘 (μg/L)	0.018
117	苯并(a)蒽 (μg/L)	0.01
118	屈 (μg/L)	0.01
119	苯并(b)荧蒽 (μg/L)	0.01
120	苯并(K) 荧蒽 (μg/L)	0.01
121	茚并(1,2,3)芘 (μg/L)	0.01
122	二苯并(a,h)蒽 (μg/L)	0.01
123	苯并(g,h,i)芘 (μg/L)	0.018

序号	指标名称 (单位)	标准
124	氯化氰 (mg/L)	0.07
125	三卤甲烷 (μg/L)	1
126	灭草松 (μg/L)	0.3
127	呋喃丹 (μg/L)	0.007
128	毒死蜱 (μg/L)	0.03
129	草甘膦 (μg/L)	0.7
130	2,4-D (μg/L)	0.03
131	二氯乙酸 (μg/L)	0.05
132	三氯乙酸 (μg/L)	0.1
133	七氯 (μg/L)	0.0004
134	甲基叔丁基醚 (MTBE) (μg/L)	20
135	1,2,3-三氯苯 (μg/L)	0.02
136	1,3,6 三氯苯 (μg/L)	0.02
137	烷基汞 (μg/L)	0.037