

ICS 10.020.30
Z04

DB33

浙 江 省 地 方 标 准

DB 33/T 892—2013

污染场地风险评估技术导则

Guideline for risk assessment of contaminated sites

2013 - 05 - 17 发布

2013 - 06 - 17 实施

浙江省质量技术监督局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工作程序	2
5 危害识别	4
6 暴露评估	4
7 毒性评估	12
8 风险表征	13
9 确定修复目标值	17
10 标准的实施与监督	20
附录 A（规范性附录） 部分关注污染物的土壤风险评估筛选值	21
附录 B（规范性附录） 暴露评估计算部分参数取值	24
附录 C（规范性附录） 部分污染物的毒性参数	26
附录 D（规范性附录） 部分过程参数的计算	30
附录 E（规范性附录） 部分污染物的理化参数	35

前 言

本标准依据GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由浙江省环境保护厅提出并归口。

本标准主要起草单位：浙江省环境保护科学设计研究院。

标准主要起草人：韦彦斐、顾震宇、裘知、钟重。

本标准为首次发布。

污染场地风险评估技术导则

1 范围

本标准规定了污染场地人体健康风险评估的内容、程序、方法和技术要求。
本标准适用于污染场地人体健康风险评估和污染场地修复建议目标值的确定。
本标准不适用于放射性物质、致病性生物体的污染场地及农业用地污染土壤的风险评估。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14848 地下水质量标准

GB/T 21010 土地利用现状分类

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

场地 site

某一地块范围内一定深度的土壤、地下水、地表水以及地块内所有构筑物、设施和生物的总和。本标准中的场地仅限于某一地块内一定深度的土壤和地下水。

3.2

关注污染物 contaminants of concern

根据场地环境调查结果和场地利益相关方意见，确定为需要进行风险评估的污染物。

3.3

暴露途径 exposure pathways

场地中污染物经一定的方式迁移达到并进入人体的过程。本标准中的暴露途径包括经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自土壤和地下水的污染物蒸气和吸入室内空气中来自土壤和地下水的污染物蒸气。

3.4

污染场地健康风险评估 health risk assessment for contaminated sites

分析污染场地土壤和地下水中污染物通过不同暴露途径，对人体健康产生危害的概率，计算基于人体健康风险土壤修复限值的过程。

3.5

住宅及公共用地 residential and public land

用于生活居住的各类房屋用地及其附属设施用地，以及科教文卫、公共设施等用地。包括普通住宅、公寓、别墅、学校、医院、公园、绿地等，具体用地分类按照GB/T 21010执行。

3.6

商服及工业用地 commercial, service and industrial land

用于商业、服务业和工业的土地。包括商场、超市等各类批发（零售）用地及其附属用地，宾馆、酒店等住宿餐饮用地，办公场所、金融活动等商务用地，洗车场、加油站、展览场馆等其他商服用地，以及工业生产场所、工业生产附属设施用地、物资储备场所、物资中转场所等，具体用地分类按照GB/T 21010执行。

3.7

危害商 hazard quotient

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

3.8

危害指数 hazard index

多种关注污染物对应的危害商之和，用来表征人体经暴露于多种污染物而受到危害的水平。

3.9

可接受风险水平 acceptable risk level

包括可接受致癌风险水平和非致癌效应可接受危害商。对于单一关注污染物，可接受致癌风险水平一般为（小于或等于） 10^{-6} ，具体情况根据技术水平和当地的社会经济状况进行调整；非致癌效应可接受危害商为（小于或等于）1。

3.10

风险评估的筛选值 soil screening level

风险评估的筛选值为开展场地污染风险评价的临界值，即在确定了开发场地土地利用类型的情况下，土壤污染物监测最高浓度低于启动值时，该场地不需风险评估即可直接用于该土地利用类型的再开发利用。

风险评估的筛选值不作为土壤环境污染控制目标。

4 工作程序

污染场地风险评估工作程序包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和确定修复目标值。污染场地健康风险评估程序如图1所示。

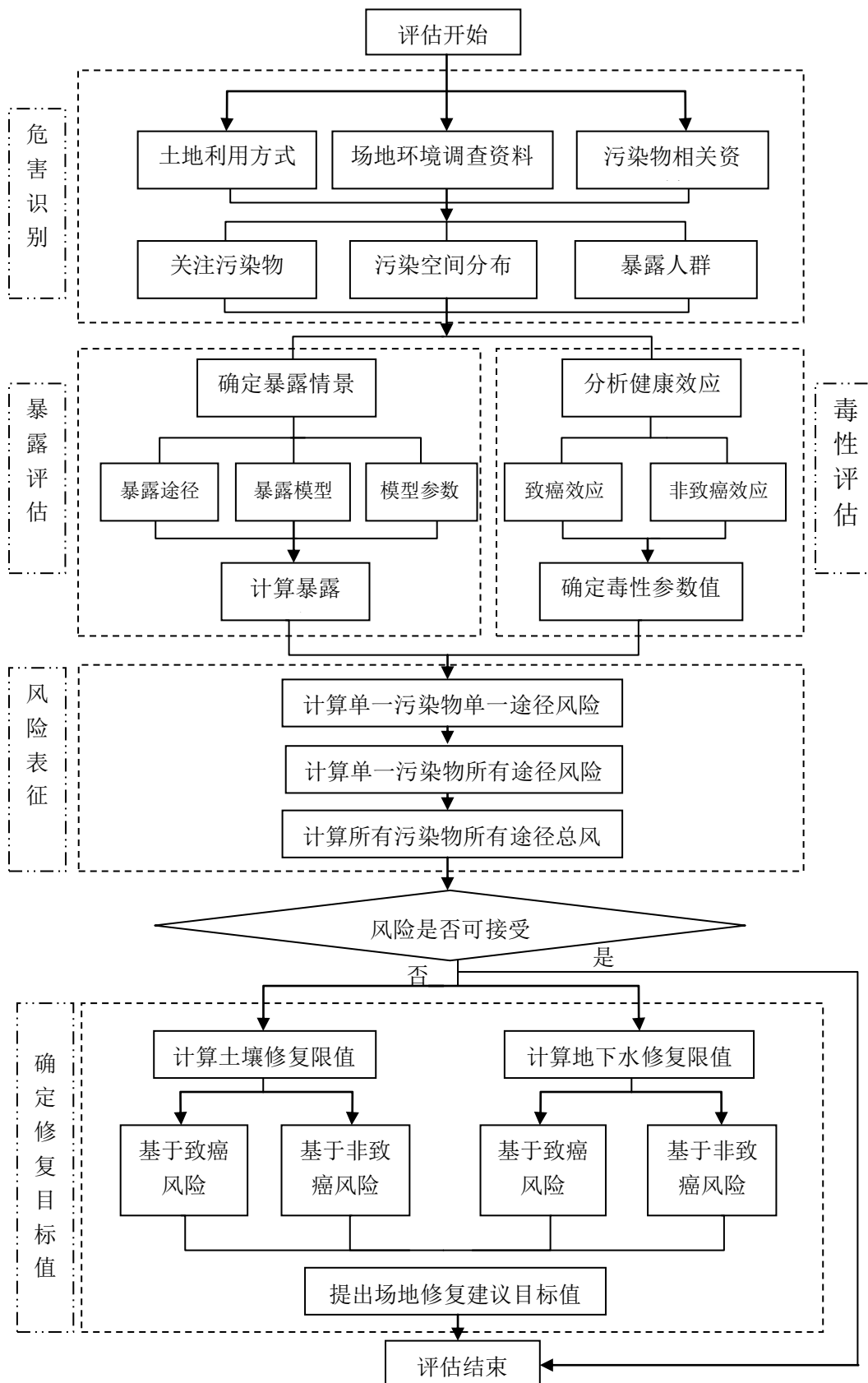


图1 污染场地风险评估程序和内容

5 危害识别

5.1 危害识别工作内容

根据场地环境调查获取的资料，结合场地土地的规划利用方式，确定污染场地的关注污染物、场地内污染物的空间分布和可能的敏感受体，如儿童、成人等，包括三个方面的工作内容：收集场地环境调查资料、确定土地利用方式和关注污染物。

5.2 资料收集

5.2.1 根据场地调查结果和相关资料，对场地进行污染识别，获得场地相关资料信息。

5.2.2 场地相关资料信息包括但不限于：较为详尽的场地相关资料信息，如场地土地使用权及用途变更情况、与污染相关的人为活动、场地（及邻近地区）平面分布测绘图、地表及地下设备设施和构筑物的分布等信息；场地土壤等环境样品中污染物的浓度数据，包括不同深度土壤污染物浓度等；具有代表性的场地土壤样品的理化性质分析数据，如土壤 pH 值、容重、有机碳含量、含水量、质地等；场地（所在地）气候、水文、地质特征信息和数据，如地表年平均风速等；场地及周边地区土地利用方式、人群及建筑物等相关信息。

5.3 确定土地利用方式

5.3.1 根据规划部门或评估委托方提供的信息，确定场地用地方式，并确定该用地方式下相应的敏感人群，如居住人群、从业人员等。

5.3.2 场地及周边地区地下水作为饮用水或农业灌溉水时，应考虑土壤污染对地下水的影响，将地下水视为敏感受体之一。

5.4 确定关注污染物

场地土壤等环境样品中浓度超过附录A 所列土壤风险评估的筛选值的污染物，或污染场地责任人、地方环境保护主管部门、公众等场地利益相关方根据前期的污染场地现场调查，筛选认定的污染物为关注污染物。

6 暴露评估

6.1 暴露评估工作内容

在危害识别的工作基础上，分析场地土壤中关注污染物进入并危害敏感受体的情景，确定场地土壤污染物对敏感人群的暴露途径，确定污染物在环境介质中的迁移模型和敏感人群的暴露模型，确定与场地污染状况、土壤性质、地下水特征、敏感人群和关注污染物性质等相关的模型参数值，根据暴露模型和相应的参数计算敏感人群在不同暴露情景下对应的暴露量。

6.2 暴露情景

6.2.1 暴露情景主要根据三个方面的因素进行确定。三个方面的因素包括：

- a) 场地内污染源的相关信息，包括关注污染物的浓度、毒性及理化性质等；
- b) 污染的迁移模式及场地的特征信息，包括污染物通过空气、水体及土壤迁移的可能性，场地的土地利用方式，场地内土壤及地下水的特征信息等；
- c) 场地内敏感人群的相关信息，包括敏感人群组成、场地内的活动时间及频率等。

6.2.2 当场地面积较大、场地内污染物分布不均匀、场地内曾经有明显区块划分等情况时，应根据实际情况按照不同的暴露情景对场地各区域分别进行暴露评估。

6.2.3 在确定暴露情景后，根据暴露情景的三个因素，确定该暴露情景下存在的所有暴露途径，并对场地进行暴露评估。

6.3 暴露途径

6.3.1 本标准中主要考虑如下暴露途径：

- a) 经口摄入土壤途径：人体可经口摄入土壤，如食用粘附有土壤的食物等；
- b) 皮肤接触土壤途径：人体可经皮肤直接接触、土壤尘附着于皮肤等途径暴露于土壤污染物；
- c) 吸入空气中土壤颗粒物途径：人体可经呼吸吸入室内和室外空气中来自土壤的颗粒物而暴露于土壤污染物；
- d) 吸入室外空气中污染物蒸气途径：人体可经呼吸吸入室外空气中来自场地土壤和地下水中的污染物蒸气而暴露于土壤污染物；
- e) 吸入室内空气中污染物蒸气途径：人体呼吸吸入室内空气中来自下层土壤和地下水中的污染物蒸气，暴露于土壤污染物；
- f) 经口摄入地下水途径：人体可经口摄入含有污染物的地下水等。

6.3.2 根据暴露途径进行暴露量计算的原则包括：

- a) 通过暴露评估计算敏感人群暴露量时，首先根据本标准 6.2 条款规定的原则对暴露情景进行分析和确定；
- b) 当敏感人群包含儿童时，采用本标准 6.4 条款规定的暴露途径计算公式进行暴露量计算；
- c) 当敏感人群不包含儿童时，采用 6.5 节规定的暴露途径计算公式进行暴露量计算；
- d) 本标准 6.4 及 6.5 条款中计算公式使用的参数取值，见本标准附录 B。

6.4 敏感人群包含儿童时的暴露量计算

6.4.1 经口摄入土壤途径

对于致癌污染物，考虑终身健康危害效应，经口摄入土壤暴露量采用公式（1）计算：

$$OIS_{ca} = \frac{\left(\frac{ING(soil)_c \times EF_c \times ED_c}{BW_c} + \frac{ING(soil)_a \times EF_a \times ED_a}{BW_a} \right)}{AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

OIS_{ca} ——经口摄入土壤暴露量（致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)；

$ING(soil)_a$ ——成人每日摄入土壤量，mg/d；

$ING(soil)_c$ ——儿童每日摄入土壤量，mg/d；

BW_a ——成人平均体重，kg；

BW_c ——儿童平均体重，kg；

EF_a ——成人暴露频率，d/yr；

EF_c ——儿童暴露频率，d/yr；

ED_a ——成人暴露周期，yr；

ED_c ——儿童暴露周期，yr；

RAF_o ——经口摄入吸收效率因子，无量纲；

AT_{ca} ——致癌效应的平均时间，d。

对于非致癌污染物，考虑儿童健康危害效应，经口摄入土壤暴露量采用公式（2）计算：

$$OIS_{nc} = \frac{ING(soil)_c \times EF_c \times ED_c \times RAF_o}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

OIS_{nc} ——经口摄入土壤暴露量（非致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)；

AT_{nc} ——非致癌效应的平均时间，d；

其他参数的含义见公式（1）。

6.4.2 皮肤接触土壤途径

对于致癌污染物，考虑终身健康危害效应，皮肤接触土壤途径的土壤暴露量采用公式（3）计算：

$$DCS_{ca} = \frac{SSA(soil)_c \times EF_c \times ED_c \times M_c \times RAF_d}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{SSA(soil)_a \times EF_a \times ED_a \times M_a \times RAF_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中：

DCS_{ca} ——皮肤接触途径的土壤暴露量（致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)；

$SSA(soil)_a$ ——成人暴露皮肤表面积， cm^2 ；

$SSA(soil)_c$ ——儿童暴露皮肤表面积， cm^2 ；

M_a ——成人皮肤表面土壤粘附系数， mg/cm^2 ；

M_c ——儿童皮肤表面土壤粘附系数， mg/cm^2 ；

RAF_d ——皮肤接触吸收效率因子，无量纲。

其他参数含义见公式（1）。

对于非致癌污染物，考虑儿童健康危害效应，皮肤接触土壤途径的土壤暴露量采用公式（4）计算：

$$DCS_{nc} = \frac{SSA(soil)_c \times EF_c \times ED_c \times M_c \times RAF_d}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

DCS_{nc} ——皮肤接触的土壤暴露量（非致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)。

EF_c 、 ED_c 、 BW_c 参数的含义见公式（1）， AT_{nc} 的含义见公式（2）， $SSA(soil)_c$ 、 M_c 和 RAF_d 参数的含义见公式（3）。

6.4.3 吸入空气中土壤颗粒物途径

对于致癌污染物，考虑终身健康危害效应，吸入土壤颗粒物途径的土壤暴露量采用公式（5）计算：

$$PIS_{ca} = \frac{TSP \times INH_c \times ED_c \times PIAF \times (f_{spo} \times EF(out)_c + f_{spi} \times EF(ins)_c)}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{TSP \times INH_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EF(out)_a + f_{spi} \times EF(ins)_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

PIS_{ca} ——吸入土壤颗粒物的土壤暴露量（致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)；

TSP ——空气中总悬浮颗粒物含量， mg^3/m^3 ；

INH_a ——成人每日空气呼吸量， m^3/d ；

INH_c ——儿童每日空气呼吸量， m^3/d ；

$PIAF$ ——吸入土壤颗粒物在体内滞留比例，无量纲；
 f_{spo} ——室外空气中来自土壤颗粒物所占比例，无量纲；
 f_{spi} ——室内空气中来自土壤颗粒物所占比例，无量纲；
 $EF(out)_c$ ——儿童的室外暴露频率，d/yr；
 $EF(out)_a$ ——成人的室外暴露频率，d/yr；
 $EF(ins)_c$ ——儿童的室内暴露频率，d/yr；
 $EF(ins)_a$ ——成人的室内暴露频率，d/yr。
 其他参数含义见公式（1）。

对于非致癌污染物，考虑儿童健康危害效应，吸入土壤颗粒物途径的土壤暴露量采用公式（6）计算：

$$PIS_{nc} = \frac{TSP \times INH_c \times ED_c \times PIAF \times (f_{spo} \times EF(out)_c + f_{spi} \times EF(ins)_c)}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \dots \dots \dots (6)$$

式中：

PIS_{nc} ——室外吸入土壤颗粒物的土壤暴露量（非致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)。

ED_c 、 BW_c 参数的含义见公式（1）， AT_{nc} 的含义见公式（2）， TSP 、 INH_c 、 ED_c 、 $PIAF$ 、 f_{spo} 、 f_{spi} 、 $EF(out)_c$ 和 $EF(ins)_c$ 参数的含义见公式（5）。

6.4.4 吸入室外空气中污染物蒸气途径

对于单一致癌污染物，考虑终身健康危害效应，吸入室外空气中来自场地表层土壤、下层土壤和地下水中的污染物蒸气对应的土壤暴露量，分别采用公式（7）、公式（8）和公式（9）计算：

$$VOS_{ca1} = \frac{INH_c \times ET(out)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{ss}}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{INH_a \times ET(out)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{ss}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots \dots (7)$$

$$VOS_{ca2} = \frac{INH_c \times ET(out)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{s,amb}}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{INH_a \times ET(out)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{s,amb}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots (8)$$

$$VOS_{ca3} = \frac{INH_c \times ET(out)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{gw,amb}}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{INH_a \times ET(out)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{gw,amb}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots \dots \dots (9)$$

（7）、（8）、（9）式中：

VOS_{ca1} ——吸入室外空气中来自表层土壤的污染物蒸气对应的土壤暴露量（致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)；

VOS_{ca2} ——吸入室外空气中来自下层土壤的污染物蒸气对应的土壤暴露量（致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)；

VOS_{ca3} ——吸入室外空气中来自地下水的污染物蒸气对应的土壤暴露量（致癌效应），L地下水/(kg体重·d)；

VF_{ss} ——室外空气中来自表层土壤的污染物蒸气因子，kg/m³；

$VF_{s,amb}$ ——室外空气中来自下层土壤的污染物蒸气因子，kg/m³；

$VF_{gw,amb}$ ——室外空气中来自地下水的污染物蒸气因子，L/m³；

$ET(out)_a$ ——成人每日室外暴露时间，d；

$ET(out)_c$ ——儿童每日室外暴露时间，d。

EF_c 、 ED_c 、 BW_c 、 EF_a 、 ED_a 、 BW_a 、 AT_{ca} 参数的含义见公式（1）， INH_c 和 INH_a 参数的含义见公式（5）。

对于非致癌污染物，考虑儿童健康危害效应，吸入室外空气中来自场地表层土壤、下层土壤和地下水中的污染物蒸气对应的土壤暴露量应分别采用公式（10）、公式（11）和公式（12）计算：

$$VOS_{nc1} = \frac{INH_c \times ET(out)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{ss}}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (10)$$

$$VOS_{nc2} = \frac{INH_c \times ET(out)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{s,amb}}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (11)$$

$$VOS_{nc3} = \frac{INH_c \times ET(out)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{gw,amb}}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (12)$$

（10）、（11）、（12）式中：

VOS_{nc1} ——吸入室外空气中来自表层土壤的污染物蒸气对应的土壤暴露量（非致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)；

VOS_{nc2} ——吸入室外空气中来自下层土壤的污染物蒸气对应的土壤暴露量（非致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)；

VOS_{nc3} ——吸入室外空气中来自表层土壤地下水的污染物蒸气对应的土壤暴露量（非致癌效应），L地下水/(kg体重·d)。

EF_c 、 ED_c 、 BW_c 参数的含义见公式（1）， AT_{nc} 的含义见公式（2）， INH_c 参数的含义见公式（5）， VF_{ss} 、 $VF_{s,amb}$ 、 $VF_{gw,amb}$ 和 $ET(out)_c$ 参数的含义分别见公式（7）、公式（8）和公式（9）。

6.4.5 吸入室内空气污染物蒸气途径

对于致癌污染物，考虑终身健康危害效应，吸入室内空气中来自下层土壤和地下水中的污染物蒸气对应的土壤暴露量可分别采用公式（13）和公式（14）计算：

$$VIS_{ca1} = \frac{INH_c \times ET(ind)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{s,esp}}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{INH_a \times ET(ind)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{s,esp}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots (13)$$

$$VIS_{ca2} = \frac{INH_c \times ET(ind)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{gw,esp}}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{INH_a \times ET(ind)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{gw,esp}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots (14)$$

（13）、（14）式中：

VIS_{ca1} ——吸入室内空气中来自下层土壤的污染物蒸气对应的土壤暴露量（致癌效应），kg土壤/(kg体重·d)；

VIS_{ca2} ——吸入室内空气中来自地下水的污染物蒸气对应的土壤暴露量（致癌效应），L地下水/(kg体重·d)；

$VF_{s,esp}$ ——室内空气中来自下层土壤的污染物蒸气因子，kg/m³；

$VF_{gw,esp}$ ——室内空气中来自地下水的污染物蒸气因子，L/m³；

$ET(ind)_a$ ——成人每日室内暴露时间，d；

$ET(ind)_c$ ——儿童每日室内暴露时间，d。

INH_a 、 INH_c 参数的含义见公式（5）；其他参数含义见公式（1）。

对于非致癌污染物，考虑儿童健康危害效应，吸入室内空气中来自下层土壤和地下水中的污染物蒸气对应的土壤暴露量可分别采用公式（15）和公式（16）计算：

$$VIS_{nc1} = \frac{INH_c \times ET(ind)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{s,esp}}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (15)$$

$$VIS_{nc2} = \frac{INH_c \times ET(ind)_c \times EF_c \times ED_c \times VF_{gw,esp}}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (16)$$

(15)、(16)式中:

VIS_{nc1} ——吸入室内空气中来自下层土壤的污染物蒸气对应的土壤暴露量(非致癌效应), kg土壤/(kg体重·d);

VIS_{nc2} ——吸入室内空气中来自地下水的污染物蒸气对应的地下水暴露量(非致癌效应), L地下水/(kg体重·d)。

EF_c 、 ED_c 、 BW_c 参数的含义见公式(1), AT_{nc} 参数的含义见公式(2), INH_c 参数的含义见公式(5), $ET(ind)_c$ 、 $VF_{s,esp}$ 和 $VF_{gw,esp}$ 参数的含义分别见公式(13)和公式(14)。

6.4.6 经口摄入地下水途径

对于致癌污染物,考虑终身健康危害效应,经口摄入地下水暴露量采用公式(17)计算:

$$OIW_{ca} = \frac{\left(\frac{ING(water)_c \times EF_c \times ED_c}{BW_c} + \frac{ING(water)_a \times EF_a \times ED_a}{BW_a} \right) \times RAF_o}{AT_{ca}} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

OIW_{ca} ——经口摄入地下水暴露量(致癌效应), L地下水/(kg体重·d);

$ING(water)_a$ ——成人每日摄入地下水量, L/d;

$ING(water)_c$ ——儿童每日摄入地下水量, L/d。

其他参数含义见公式(1)。

对于非致癌污染物,考虑儿童健康危害效应,经口摄入地下水暴露量采用公式(18)计算:

$$OIW_{nc} = \frac{ING(water)_c \times EF_c \times ED_c \times RAF_o}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

OIW_{nc} ——经口摄入地下水暴露量(非致癌效应), L地下水/(kg体重·d);

EF_c 、 ED_c 、 RAF_o 、 BW_c 参数的含义见公式(1), AT_{nc} 参数的含义见公式(2), $ING(water)_c$ 参数的含义见公式(17)。

6.5 敏感人群不包含儿童时的暴露量计算

6.5.1 经口摄入土壤途径

对于致癌污染物,考虑成人健康危害效应,经口摄入土壤暴露量采用公式(19)计算:

$$OIS_{ca} = \frac{ING(soil)_a \times EF_a \times ED_a \times RAF_o}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (19)$$

式中:

参数的含义见公式(1)。

对于非致癌污染物，考虑成人健康危害效应，经口摄入土壤暴露量采用公式（20）计算：

$$OIS_{nc} = \frac{ING(soil)_a \times EF_a \times ED_a \times RAF_o}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$ING(soil)_a$ 、 EF_a 、 ED_a 、 BW_a 、 RAF_o 参数的含义见公式（1）， OIS_{nc} 和 AT_{nc} 参数的含义参见公式（2）。

6.5.2 皮肤接触土壤途径

对于致癌污染物，考虑成人健康危害效应，皮肤接触土壤途径的土壤暴露量采用公式（21）计算：

$$DCS_{ca} = \frac{SSA(soil)_a \times EF_a \times ED_a \times M_a \times RAF_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

EF_a 、 ED_a 、 BW_a 、 AT_{ca} 参数的含义见公式（1）， DCS_{ca} 、 $SSA(soil)_a$ 、 M_a 和 RAF_d 参数的含义见公式（3）。

对于非致癌污染物，考虑成人健康危害效应，皮肤接触土壤途径的土壤暴露量采用公式（22）计算：

$$DCS_{nc} = \frac{SSA(soil)_a \times EF_a \times ED_a \times M_a \times RAF_d}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

EF_a 、 ED_a 、 BW_a 参数的含义见公式（1）， AT_{nc} 参数的含义参见公式（2）， $SSA(soil)_a$ 、 M_a 、 RAF_d 参数的含义见公式（3）， DCS_{nc} 参数的含义见公式（4）。

6.5.3 吸入空气中土壤颗粒物途径

对于致癌污染物，考虑成人健康危害效应，吸入土壤颗粒物途径的土壤暴露量采用公式（23）计算：

$$PIS_{ca} = \frac{TSP \times INH_a \times ED_a \times PIAF \times (fspo \times EF(out)_a + fspl \times EF(ins)_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

ED_a 、 BW_a 、 AT_{ca} 参数的含义见公式（1）， PIS_{ca} 、 TSP 、 INH_a 、 $PIAF$ 、 $fspo$ 、 $fspl$ 、 $EF(out)_a$ 和 $EF(ins)_a$ 参数的含义见公式（5）。

对于非致癌污染物，考虑成人健康危害效应，吸入土壤颗粒物途径的土壤暴露量采用公式（24）计算：

$$PIS_{nc} = \frac{TSP \times INH_a \times ED_a \times PIAF \times (fspo \times EF(out)_a + fspl \times EF(ins)_a)}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (24)$$

式中：

ED_a 、 BW_a 参数的含义见公式（1）， AT_{nc} 参数的含义见公式（2）， TSP 、 INH_a 、 $PIAF$ 、 $fspo$ 、 $fspl$ 、 $EF(out)_a$ 和 $EF(ins)_a$ 参数的含义见公式（5）， PIS_{nc} 参数的含义见公式（6）。

6.5.4 吸入室外空气中污染物蒸气途径

对于致癌污染物，考虑成人健康危害效应，吸入室外空气中来自表层土壤、下层土壤和地下水中的污染物蒸气对应的土壤暴露量分别采用公式（25）、公式（26）和公式（27）计算：

$$VOS_{ca1} = \frac{INH_a \times ET(out)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{ss}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots (25)$$

$$VOS_{ca2} = \frac{INH_a \times ET(out)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{s,amb}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots (26)$$

$$VOS_{ca3} = \frac{INH_a \times ET(out)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{gw,amb}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots (27)$$

(25)、(26)、(27)式中：

EF_a 、 ED_a 、 BW_a 、 AT_{ca} 参数的含义见公式(1)， INH_a 参数的含义见公式(5)， VOS_{ca1} 、 VOS_{ca2} 、 VOS_{ca3} 、 VF_{ss} 、 $VF_{s,amb}$ 、 $VF_{gw,amb}$ 和 $ET(out)_a$ 参数的含义分别见公式(7)、公式(8)和公式(9)。

对于非致癌污染物，考虑成人健康危害效应，吸入室外空气中来自表层土壤、下层土壤和地下水口中的污染物蒸气对应的土壤暴露量分别采用公式(28)、公式(29)和公式(30)计算：

$$VOS_{nc1} = \frac{INH_a \times ET(out)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{ss}}{BW_a \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (28)$$

$$VOS_{nc2} = \frac{INH_a \times ET(out)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{s,amb}}{BW_a \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (29)$$

$$VOS_{nc3} = \frac{INH_a \times ET(out)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{gw,amb}}{BW_a \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (30)$$

(28)、(29)、(30)式中：

EF_a 、 ED_a 、 BW_a 参数的含义见公式(1)， AT_{nc} 参数的含义见公式(2)， INH_a 参数的含义见公式(5)， VF_{ss} 、 $VF_{s,amb}$ 、 $VF_{gw,amb}$ 和 $ET(out)_a$ 参数的含义分别见公式(7)、公式(8)和公式(9)， VOS_{nc1} 、 VOS_{nc2} 和 VOS_{nc3} 参数的含义分别见公式(10)、公式(11)和公式(12)。

6.5.5 吸入室内空气污染物蒸气途径

对于致癌污染物，考虑成人健康危害效应，吸入室内空气中来自下层土壤和地下水中的污染物蒸气对应的土壤暴露量分别采用公式(31)和公式(32)计算：

$$VIS_{ca1} = \frac{INH_a \times ET(ind)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{s,esp}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots (31)$$

$$VIS_{ca2} = \frac{INH_a \times ET(ind)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{gw,esp}}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots (32)$$

(31)、(32)式中：

EF_a 、 ED_a 、 BW_a 、 AT_{ca} 参数的含义见公式(1)， INH_a 参数的含义见公式(5)， $ET(ind)_a$ 、 $VF_{s,esp}$ 、 $VF_{gw,esp}$ 、 VIS_{ca1} 和 VIS_{ca2} 的参数含义见公式(13)和公式(14)。

对于非致癌污染物，考虑成人健康危害效应，吸入室内空气中来自下层土壤和地下水中的污染物蒸气对应的土壤暴露量分别采用公式(33)和公式(34)计算：

$$VIS_{nc1} = \frac{INH_a \times ET(ind)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{s,esp}}{BW_a \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (33)$$

$$VIS_{nc2} = \frac{INH_a \times ET(ind)_a \times EF_a \times ED_a \times VF_{gw,esp}}{BW_a \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (34)$$

(33)、(34)式中：

EF_a 、 ED_a 、 BW_a 参数的含义见公式(1)， AT_{nc} 参数的含义见公式(2)， INH_a 参数的含义见公式(5)， $ET(ind)_a$ 、 $VF_{s,esp}$ 、 $VF_{gw,esp}$ 参数的含义分别见公式(13)和公式(14)， VIS_{nc1} 和 VIS_{nc2} 参数的含义分别见公式(15)和公式(16)。

6.5.6 经口摄入地下水途径

对于致癌污染物，考虑成人健康危害效应，经口摄入地下水暴露量采用公式(35)计算：

$$OIW_{ca} = \frac{ING(water)_a \times EF_a \times ED_a \times RAF_o}{BW_a \times AT_{ca}} \dots\dots\dots (35)$$

式中：

EF_a 、 ED_a 、 RAF_o 、 BW_a 、 AT_{ca} 参数的含义见公式(1)， OIW_{ca} 、 $ING(water)_a$ 参数的含义见公式(17)。

对于非致癌污染物，考虑成人健康危害效应，经口摄入地下水暴露量采用公式(36)计算：

$$OIW_{nc} = \frac{ING(water)_a \times EF_a \times ED_a \times RAF_o}{BW_a \times AT_{nc}} \dots\dots\dots (36)$$

式中：

EF_a 、 ED_a 、 RAF_o 、 BW_a 参数的含义见公式(1)， AT_{nc} 参数的含义见公式(2)， $ING(water)_a$ 参数的含义见公式(17)， OIW_{nc} 参数的含义见公式(18)。

7 毒性评估

7.1 毒性评估的工作内容

在危害识别的工作基础上，分析关注污染物对人体健康的危害效应，包括致癌效应和非致癌效应，确定与关注污染物相关的毒性参数，包括参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和单位致癌因子等。

7.2 分析健康效应

关注污染物健康效应分析主要包括关注污染物对人体健康的危害性质（致癌效应和/或非致癌效应），以及关注污染物经不同暴露途径对人体健康的毒性危害及剂量—效应关系。

7.3 确定污染物毒性参数

7.3.1 部分污染物的毒性参数取值见附录C。未收录的污染物毒性参数可参考国外毒理数据库的相关数据，或根据毒性参数计算公式进行计算。国外毒理数据库主要有：

- a) Hazardous Substances Data Bank (HSDB) — 危险物质数据库（美国）；
- b) Chemical Carcinogenesis Research Information System (CCRIS) — 化学物质致癌效应研究信息系统（美国加州）；

- c) Integrated Risk Information System (IRIS) —综合风险信息系统（美国环境保护总署）；
- d) Carcinogenic Potency Database (CPDB) —潜在致癌性物质数据库（美国）；
- e) European Chemical Substances Information System (ESIS) —欧洲化学物质信息系统（欧盟）。

7.3.2 毒性参数计算

7.3.2.1 毒性参数计算公式中的暴露参数取值见附录 B。

7.3.2.2 对于呼吸吸入致癌斜率因子，采用公式（37）计算：

$$SF_i = \frac{URF \times BW_a}{INH_a} \dots\dots\dots (37)$$

式中：

SF_i ——呼吸吸入致癌斜率因子，(kg体重·d) / mg污染物；

URF ——呼吸吸入单位致癌因子， m^3/mg 。

BW_a 参数的含义见公式（1）， INH_a 参数的含义见公式（5）。

7.3.2.3 对于呼吸吸入参考剂量，采用公式（38）计算：

$$RfD_i = \frac{RfC \times INH_a}{BW_a} \dots\dots\dots (38)$$

式中：

RfD_i ——呼吸吸入参考剂量，mg污染物 / (kg体重·d)；

RfC ——呼吸吸入参考浓度， mg/m^3 。

BW_a 参数的含义见公式（1）， INH_a 参数的含义见公式（5）。

对于皮肤接触致癌斜率因子，采用公式（39）计算：

$$SF_d = \frac{SF_o}{RAF_{GI}} \dots\dots\dots (39)$$

式中：

SF_d ——皮肤接触致癌斜率因子，(kg体重·d) / mg污染物；

SF_o ——经口摄入致癌斜率因子，(kg体重·d) / mg污染物；

RAF_{GI} ——消化道吸收效率因子，无量纲。

对于皮肤接触参考剂量，采用公式（40）计算：

$$RfD_d = RfD_o \times RAF_{GI} \dots\dots\dots (40)$$

式中：

RfD_o ——经口摄入参考剂量，mg污染物 / (kg体重·d)；

RfD_d ——皮肤接触参考剂量，mg污染物 / (kg体重·d)。

RAF_{GI} 参数的含义见公式（39）。

8 风险表征

8.1 风险表征的工作内容

在暴露评估和毒性评估的工作基础上，采用风险评估模型计算单一污染物经单一暴露途径的风险值、单一污染物经所有暴露途径的风险值、所有污染物经所有暴露途径的风险值。风险表征计算的风险值包括单一污染物的致癌风险值、所有关注污染物的总致癌风险值、单一污染物的危害商（非致癌风险值）和多个关注污染物的危害指数（非致癌风险值）。

8.2 风险表征的技术要求

关注污染物的健康风险值可根据每个采样点关注污染物的浓度数据进行计算。根据需要，也可根据所有采样点污染物浓度数据95%置信区间的上限值进行计算。

8.3 计算污染物的致癌风险和危害商

8.3.1 单一污染物的致癌风险

8.3.1.1 经口摄入土壤中单一污染物的致癌风险，采用公式（41）计算：

$$CR_{OIS} = OIS_{ca} \times C_{sur} \times SF_o \dots\dots\dots (41)$$

式中：

CR_{OIS} ——经口摄入污染土壤的致癌风险，无量纲；

C_{sur} ——表层土壤中污染物浓度，mg/kg。

OIS_{ca} 参数的含义见公式（1）， SF_o 参数的含义见公式（39）。

8.3.1.2 皮肤接触土壤中单一污染物的致癌风险，采用公式（42）计算：

$$CR_{DCS} = DCS_{ca} \times C_{sur} \times SF_d \dots\dots\dots (42)$$

式中：

CR_{DCS} ——皮肤接触污染土壤的致癌风险，无量纲。

DCS_{ca} 参数的含义见公式（3）， SF_d 参数的含义见公式（39）， C_{sur} 参数的含义见公式（41）。

8.3.1.3 吸入受污染土壤颗粒物中单一污染物的致癌露风险，采用公式（43）计算：

$$CR_{PIS} = PIS_{ca} \times C_{sur} \times SF_i \dots\dots\dots (43)$$

式中：

CR_{PIS} ——吸入受污染土壤颗粒物的致癌风险，无量纲。

PIS_{ca} 参数的含义见公式（5）， SF_i 参数的含义见公式（37）， C_{sur} 参数的含义见公式（41）。

8.3.1.4 吸入室外空气中单一污染物蒸气的致癌风险，采用公式（44）计算：

$$CR_{VOS} = (VOS_{ca1} \times C_{sur} + VOS_{ca2} \times C_{sub} + VOS_{ca3} \times C_{gw}) \times SF_i \dots\dots\dots (44)$$

式中：

CR_{VOS} ——吸入室外空气中来自土壤污染物蒸气的致癌风险，无量纲；

C_{sub} ——下层土壤中污染物浓度，mg/kg；

C_{gw} ——地下水中污染物浓度，mg/L。

VOS_{ca1} 、 VOS_{ca2} 、 VOS_{ca3} 参数的含义分别见公式（7）、公式（8）和公式（9）， SF_i 参数的含义见公式（37）， C_{sur} 参数的含义见公式（41）。

8.3.1.5 吸入室内空气单一污染物蒸气的致癌风险，采用公式（45）计算：

$$CR_{VIS} = (VIS_{ca1} \times C_{sub} + VIS_{ca2} \times C_{gw}) \times SF_i \dots\dots\dots (45)$$

式中:

CR_{VIS} ——吸入室内空气中来自土壤污染物蒸气的致癌风险, 无量纲。

VIS_{ca1} 和 VIS_{ca2} 参数的含义分别见公式(13)和公式(14), SF_o 参数的含义见公式(37), C_{sub} 、 C_{gw} 参数的含义见公式(44)。

8.3.1.6 经口摄入地下水中单一污染物的致癌风险, 采用公式(46)计算:

$$CR_{OIW} = OIW_{ca} \times C_{gw} \times SF_o \dots \dots \dots (46)$$

式中:

CR_{OIW} ——经口摄入地下水中污染物的致癌风险, 无量纲。

OIW_{ca} 参数的含义见公式(17), SF_o 参数的含义见公式(39), C_{gw} 参数的含义见公式(44)。

8.3.1.7 单一场地污染物经所有暴露途径的致癌风险, 采用公式(47)计算:

$$CR_i = CR_{OIS} + CR_{DCS} + CR_{PIS} + CR_{VOS} + CR_{VIS} + CR_{OIW} \dots \dots \dots (47)$$

式中:

CR_i ——第*i*种污染物经所有暴露途径的致癌风险, 无量纲。

CR_{OIS} 、 CR_{DCS} 、 CR_{PIS} 、 CR_{VOS} 、 CR_{VIS} 和 CR_{OIW} 参数的含义分别见公式(41)、公式(42)、公式(43)、公式(44)、公式(45)和公式(46)。

8.3.2 单一污染物的危害商

8.3.2.1 经口摄入污染土壤中单一污染物的危害商, 采用公式(48)计算:

$$HQ_{OIS} = \frac{OIS_{nc} \times C_{sur}}{RfD_o} \dots \dots \dots (48)$$

式中:

HQ_{OIS} ——经口摄入污染土壤的危害商, 无量纲。

OIS_{nc} 参数的含义见公式(2), RfD_o 参数的含义见公式(40), C_{sur} 参数的含义见公式(41)。

8.3.2.2 皮肤接触污染土壤中单一污染物的危害商, 采用公式(49)计算:

$$HQ_{DCS} = \frac{DCS_{nc} \times C_{sur}}{RfD_d} \dots \dots \dots (49)$$

式中:

HQ_{DCS} ——皮肤接触污染土壤的危害商, 无量纲。

DCS_{nc} 参数的含义见公式(4), RfD_d 参数的含义见公式(40), C_{sur} 参数的含义见公式(41)。

8.3.2.3 吸入受污染土壤颗粒物中单一污染物的危害商, 采用公式(50)计算:

$$HQ_{PIS} = \frac{PIS_{nc} \times C_{sur}}{RfD_i} \dots \dots \dots (50)$$

式中:

HQ_{PIS} ——吸入受污染土壤颗粒物的危害商, 无量纲。

PIS_{nc} 参数的含义见公式(4), RfD_i 参数的含义见公式(38), C_{sur} 参数的含义见公式(41)。

8.3.2.4 吸入室外空气中单一污染物蒸气的危害商, 采用公式(51)计算:

$$HQ_{VOS} = \frac{VOS_{nc1} \times C_{sur} + VOS_{nc2} \times C_{sub} + VOS_{nc3} \times C_{gw}}{RfD_i} \dots\dots\dots (51)$$

式中:

HQ_{VOS} ——吸入室外空气中来自土壤污染物蒸气的危害商, 无量纲。

VOS_{nc1} 、 VOS_{nc2} 、 VOS_{nc3} 参数的含义分别见公式(10)、公式(11)和公式(12), RfD_i 参数的含义见公式(38), C_{sur} 参数的含义见公式(41), C_{sub} 、 C_{gw} 参数的含义见公式(44)。

8.3.2.5 吸入室内空气中单一污染物蒸气的危害商, 采用公式(52)计算:

$$HQ_{VIS} = \frac{VIS_{nc1} \times C_{sur} + VIS_{nc2} \times C_{gw}}{RfD_i} \dots\dots\dots (52)$$

式中:

HQ_{VIS} ——吸入室内空气中来自土壤污染物蒸气的危害商, 无量纲。

VIS_{nc1} 和 VIS_{nc2} 参数的含义分别见公式(15)和公式(16), RfD_i 参数的含义见公式(38), C_{sub} 、 C_{gw} 参数的含义见公式(44)。

8.3.2.6 经口摄入地下水中单一污染物的危害商, 采用公式(53)

$$HQ_{OIW} = \frac{OIW_{nc} \times C_{gw}}{RfD_o} \dots\dots\dots (53)$$

式中:

HQ_{OIW} ——经口摄入地下水的污染物的危害商, 无量纲。

OIW_{nc} 参数的含义见公式(18), RfD_o 参数的含义见公式(40), C_{gw} 参数的含义见公式(44)。

8.3.2.7 单一土壤污染物经所有途径的危害商, 采用公式(54)计算:

$$HQ_i = HQ_{OIS} + HQ_{DCS} + HQ_{PIS} + HQ_{VOS} + HQ_{VIS} + HQ_{OIW} \dots\dots\dots (54)$$

式中:

HQ_i ——第*i*种污染物经所有暴露途径的危害商, 无量纲。

HQ_{OIS} 、 HQ_{DCS} 、 HQ_{PIS} 、 HQ_{VOS} 、 HQ_{VIS} 和 HQ_{OIW} 的参数定义分别见公式(48)、公式(49)、公式(50)、公式(51)、公式(52)和公式(53)。

8.3.3 所有污染物的致癌风险和危害指数计算

8.3.3.1 所有关注污染物经所有途径的致癌风险, 采用公式(55)计算:

$$CR_{sum} = \sum_{i=1}^n CR_i \dots\dots\dots (55)$$

式中:

CR_{sum} ——所有*n*种关注污染物的总致癌风险, 无量纲。

CR_i 参数的含义见公式(47)。

8.3.3.2 所有关注污染物经所有暴露途径的危害指数, 采用公式(56)计算:

$$HQ_{sum} = \sum_{i=1}^n HQ_i \dots\dots\dots (56)$$

式中:

HQ_{sum} ——所有n种关注污染物的危害指数，无量纲。

HQ 参数的含义见公式（54）。

9 确定修复目标值

9.1 确定修复目标值的工作内容

9.1.1 通过风险表征，当污染场地风险评估结果未超过可接受风险时，则结束进一步风险评估工作；当污染场地风险评估结果超过可接受风险水平，则计算关注污染物基于致癌风险的修复限值及基于危害商的修复限值。

9.1.2 污染场地修复建议目标值，应根据上述基于致癌风险的土壤修复限值、基于危害商的土壤修复限值、基于致癌风险的地下水修复限值、基于危害商的地下水修复限值以及场地的实际情况和用途确定。

9.1.3 场地修复限值的计算包括：计算单一关注污染物经单一和所有暴露途径致癌风险所推导的土壤修复限值，计算单一关注污染物经单一暴露途径的危害商和基于所有暴露途径的危害商所推导的土壤修复限值，计算单一关注污染物经单一和所有暴露途径致癌风险所推导的地下水修复限值，计算单一关注污染物经单一的危害商和基于所有暴露途径的危害商所推导的地下水修复限值。

9.2 计算单一关注污染物基于致癌风险的土壤修复限值

9.2.1 基于经口摄入土壤途径致癌风险的土壤修复限值，采用公式（57）计算：

$$RBSL_{OIS} = \frac{TR}{OIS_{ca} \times SF_o} \dots\dots\dots (57)$$

式中：

$RBSL_{OIS}$ ——基于经口摄入致癌风险的土壤修复限值，mg/kg；

TR——目标可接受致癌风险，无量纲。

OIS_{ca} 参数的含义见公式（1）， SF_o 参数的含义见公式（39）。

9.2.2 基于皮肤接触土壤途径致癌风险的土壤修复限值，采用公式（58）计算：

$$RBSL_{DCS} = \frac{TR}{DCS_{ca} \times SF_d} \dots\dots\dots (58)$$

式中：

$RBSL_{DCS}$ ——基于皮肤接触致癌风险的土壤修复限值，mg/kg。

DCS_{ca} 参数的含义见公式（3）， SF_d 参数的含义见公式（39）， TR 参数的含义见公式（57）。

9.2.3 基于吸入土壤颗粒物途径致癌风险的土壤修复限值，采用公式（59）计算：

$$RBSL_{PIS} = \frac{TR}{PIS_{ca} \times SF_i} \dots\dots\dots (59)$$

式中：

$RBSL_{PIS}$ ——基于吸入土壤颗粒物致癌风险的土壤修复限值，mg/kg。

PIS_{ca} 参数的含义见公式（5）， SF_i 参数的含义见公式（37）， TR 参数的含义见公式（57）。

9.2.4 基于吸入室外空气中污染物蒸气途径致癌风险的土壤修复限值，采用公式（60）计算：

$$RBSL_{VOS} = \frac{TR}{(VOS_{ca1} + VOS_{ca2}) \times SF_i} \dots\dots\dots (60)$$

式中:

$RBSL_{VOS}$ ——基于吸入室外污染物蒸气致癌风险的土壤修复限值, mg/kg。

VOS_{ca1} 、 VOS_{ca2} 参数的含义分别见公式(7)和公式(8), SF_i 参数的含义见公式(37), TR 参数的含义见公式(57)。

9.2.5 基于吸入室内空气中污染物蒸气途径致癌风险的土壤修复限值, 根据公式(61)计算:

$$RBSL_{VIS1} = \frac{TR}{VIS_{ca1} \times SF_i} \dots\dots\dots (61)$$

式中:

$RBSL_{VIS1}$ ——基于吸入室内污染物蒸气致癌风险的土壤修复限值, mg/kg。

VIS_{ca1} 参数的含义见公式(13), SF_i 参数的含义见公式(37), TR 参数的含义见公式(57)。

9.2.6 基于所有暴露途径总致癌风险的土壤修复限值, 采用公式(62)计算:

$$RBSL_{soil} = \frac{TR}{OIS_{ca} \times SF_o + DCS_{ca} \times SF_d + (PIS_{ca} + VOS_{ca1} + VOS_{ca2} + VIS_{ca1}) \times SF_i} \dots\dots\dots (62)$$

式中:

$RBSL_{soil}$ ——基于所有暴露途径总致癌风险的土壤修复限值, mg/kg。

OIS_{ca} 参数的含义见公式(1), DCS_{ca} 参数的含义见公式(3), PIS_{ca} 参数的含义见公式(5), VOS_{ca1} 、 VOS_{ca2} 参数的含义分别见公式(7)和公式(8), VIS_{ca1} 参数的含义见公式(13), SF_i 参数的含义见公式(37), SF_o 、 SF_d 参数的含义见公式(39), TR 参数的含义见公式(57)。

9.3 计算单一关注污染物基于危害商的土壤修复限值

9.3.1 基于经口摄入土壤途径危害商的土壤修复限值, 采用公式(63)计算:

$$HBSL_{OIS} = \frac{RfD_o \times THQ}{OIS_{nc}} \dots\dots\dots (63)$$

式中:

$HBSL_{OIS}$ ——基于经口摄入危害商的土壤修复限值, mg/kg;

THQ ——目标可接受危害商, 无量纲。

OIS_{nc} 参数的含义见公式(2), RfD_o 参数的含义见公式(40)。

9.3.2 基于皮肤接触土壤途径危害商的土壤修复限值, 采用公式(64)计算:

$$HBSL_{DCS} = \frac{RfD_d \times THQ}{DCS_{nc}} \dots\dots\dots (64)$$

式中:

$HBSL_{DCS}$ ——基于皮肤接触危害商的土壤修复限值, mg/kg;

DCS_{nc} 参数的含义见公式(4), RfD_d 参数的含义见公式(40), THQ 参数的含义见公式(63)。

9.3.3 基于吸入土壤颗粒物途径危害商的土壤修复限值, 采用公式(65)计算:

$$HBSL_{PIS} = \frac{RfD_i \times THQ}{PIS_{nc}} \dots\dots\dots (65)$$

式中:

$HBSL_{PIS}$ ——基于吸入颗粒物危害商的土壤修复限值, mg/kg;

PIS_{nc} 参数的含义见公式(6), RfD_i 参数的含义见公式(38), THQ 参数的含义见公式(63)。

9.3.4 基于吸入室外空气中污染物蒸气途径危害商的土壤修复限值, 采用公式(66)计算:

$$HBSL_{VOS} = \frac{RfD_i \times THQ}{VOS_{nc1} + VOS_{nc2}} \dots \dots \dots (66)$$

式中:

$HBSL_{VOS}$ ——基于吸入室外污染物蒸气危害商的土壤修复限值, mg/kg;

VOS_{nc1} 和 VOS_{nc2} 参数的含义分别见公式(10)和公式(11), RfD_i 参数的含义见公式(38), THQ 参数的含义见公式(63)。

9.3.5 基于吸入室内空气污染物蒸气途径危害商的土壤修复限值, 采用公式(67)计算:

$$HBSL_{VIS} = \frac{RfD_i \times THQ}{VIS_{nc1}} \dots \dots \dots (67)$$

式中:

$HBSL_{VIS}$ ——基于吸入室内污染物蒸气危害商的土壤修复限值, mg/kg;

VIS_{nc1} 参数的含义见公式(15), RfD_i 参数的含义见公式(38), THQ 参数的含义见公式(63)。

9.3.6 基于所有暴露途径总危害商的土壤修复限值, 采用公式(68)计算:

$$HBSL_{soil} = \frac{THQ}{OIS_{nc} / RfD_o + DCS_{nc} / RfD_d + (PIS_{nc} + VOS_{nc1} + VOS_{nc2} + VIS_{nc1}) / RfD_i} \dots \dots \dots (68)$$

式中:

$HBSL_{soil}$ ——基于所有暴露途径总危害商的土壤修复限值, mg/kg;

OIS_{nc} 、 DCS_{nc} 、 PIS_{nc} 、 VOS_{nc1} 、 VOS_{nc2} 、 VIS_{nc1} 参数的含义分别见公式(2)、公式(4)、公式(6)、公式(10)、公式(11)和公式(15), RfD_i 参数的含义见公式(38), RfD_o 和 RfD_d 参数的含义见公式(40), THQ 参数的含义见公式(63)。

9.4 计算单一关注污染物基于总致癌风险的地下水修复限值

计算单一污染物基于所有暴露途径总致癌风险的地下水修复限值, 采用公式(69)

$$RBSL_{GW} = \frac{TR}{OIW_{ca} \times SF_o + (VOS_{ca3} + VIS_{ca2}) \times SF_i} \dots \dots \dots (69)$$

式中:

$RBSL_{GW}$ ——基于所有暴露途径总致癌风险的地下水修复限值, mg/L;

VOS_{ca3} 、 VIS_{ca2} 和 OIW_{ca} 参数的含义分别见公式(9)、公式(14)和公式(17), SF_i 参数的含义见公式(37), SF_o 参数的含义见公式(39), TR 参数的含义见公式(57)。

9.5 计算单一关注污染物基于危害商的地下水修复限值

计算单一污染物基于所有暴露途径总致癌风险的地下水修复限值, 采用公式(70)

$$HBSL_{GW} = \frac{THQ}{OIW_{nc} / RfD_o + (VOS_{nc3} + VIS_{nc2}) / RfD_i} \dots \dots \dots (70)$$

式中：

$HBSL_{GW}$ ——基于所有暴露途径总危害商的地下水修复限值，mg/L；

VOS_{nc3} 、 VIS_{nc2} 和 OIH_{nc} 参数的含义分别见公式（12）、公式（16）和公式（18）， RfD_1 和 RfD_0 参数的含义分别见公式（38）和公式（40）， THQ 参数的含义见公式（63）。

9.6 确定场地修复建议目标值

9.6.1 比较经过上述计算得到的各关注污染物经单一和所有暴露途径致癌风险的土壤修复限值、经单一和所有暴露途径的危害商的土壤修复限值，选择最小值作为污染场地土壤修复建议目标值。

9.6.2 比较经过上述计算得到的各关注污染物经单一和所有暴露途径致癌风险的地下水修复限值、经单一和所有暴露途径的危害商的地下水修复限值及 GB/T 14848 中规定的地下水污染物浓度最大限值，选择最小值作为污染场地地下水修复建议目标值。

10 标准的实施与监督

本标准由浙江省环境保护行政主管部门负责实施和监督。

附 录 A
(规范性附录)

部分关注污染物的土壤风险评估筛选值

当潜在污染场地用于不同类型土地利用开发时，部分关注污染物的土壤风险评估筛选值见表A.1，未列入表A.1中的关注污染物的筛选值应通过风险评价进行确定，土地利用类型的确定见GB/T 21010。

表A.1 部分关注污染物的土壤风险评估筛选值

单位：mg污染物/kg土壤

序号	污染物	住宅及公共用地筛选值	商服及工业用地筛选值
一、无机污染物			
1	砷	20	20
2	铍	4	8
3	镉	8	150
4	铬	250	2500
5	铬(VI)	30	500
6	铜	600	10000
7	铅	400	1200
8	汞	10	14
9	镍	50	300
10	锌	3500	10000
11	锡	3500	10000
12	氰化物	300	6000
13	氟化物	650	2000
14	石棉	7000	10000
二、挥发性有机污染物			
15	二氯甲烷	12	18
16	苯	0.64	1.4
17	甲苯	850	3300
18	乙苯	450	860
19	氯仿	0.22	0.5
20	溴仿	62	220
21	氯苯	41	64
22	四氯化碳	2.0	5.4
23	1,1-二氯乙烷	140	200
24	1,2-二氯乙烷	3.1	9.1
25	1,1,1-三氯乙烷	580	980
26	1,1,2-三氯乙烷	0.5	15
27	1,1,2,2-四氯乙烷	1.6	6.8

表 A.1 部分关注污染物的土壤风险评估筛选值（续）

单位：mg 污染物/kg 土壤

序号	污染物	住宅及公共用地筛选值	商服及工业用地筛选值
28	三氯乙烯	7.5	9.2
29	四氯乙烯	4.6	12
30	二溴乙烯	0.19	1.4
31	苯乙烯	1200	2700
32	二甲苯（总）	74	100
33	氯乙烯	0.25	1.7
34	氯甲烷	12	25
35	1,2-二氯乙烯（顺式）	43	390
36	1,2-二氯乙烯（反式）	150	360
37	1,1-二氯乙烯	43	61
38	1,2-二氯丙烷	5	50
39	1,2,3-三氯丙烷	0.05	0.5
40	二溴氯甲烷	5	50
41	一溴二氯甲烷	6	70
三、半挥发性有机污染物			
42	六氯苯	0.2	1
43	苯胺	4	4
44	硝基苯	7	35
45	苯酚	80	90
46	2,4-二硝基甲苯	0.6	1
47	邻苯二甲酸二丁酯	750	800
48	邻苯二甲酸二辛酯	13	30
49	邻苯二甲酸正辛酯	500	9000
50	萘	50	400
51	菲	5	40
52	蒽	50	400
53	荧蒽	50	400
54	芘	50	400
55	蒎	50	400
56	芴	50	400
57	苯并[b]荧蒽	0.5	4
58	苯并[k]荧蒽	5	40
59	苯并[a]芘	0.2	0.4
60	茚并[1,2,3-cd]芘	0.2	4
61	苯并[g,h,i]芘	5	40
62	苯并[a]蒽	0.5	4
63	二苯并[a,h]蒽	0.05	0.4
64	2-氯酚	80	350

表 A.1 部分关注污染物的土壤风险评估筛选值（续）

单位：mg 污染物/kg 土壤

序号	污染物	住宅及公共用地筛选值	商服及工业用地筛选值
65	2,4-二氯酚	40	400
66	2,4-二硝基酚	25	450
67	2-硝基酚	20	20
68	4-硝基酚	4	4
69	五氯酚	3	10
70	2,4,5-三氯酚	600	700
71	2,4,6-三氯酚	35	50
72	4-甲酚	60	80
四、农药/多氯联苯及其他			
73	多氯联苯	0.2	1
74	二噁英类 (PCDDs/PCDFs)	0.000002	0.00002
75	六六六 α	0.2	0.3
76	六六六 β	0.2	0.7
77	六六六 δ	2	3
78	林丹 (六六六 γ)	0.3	3
79	DDT (包括 o, p' -DDT, p, p' -DDT)	1	11
80	p, p'-DDE	1	11
81	p, p'-DDD	2	15
82	狄氏剂	0.02	0.2
83	艾氏剂	0.02	0.2
84	异狄氏剂	4	11
85	敌敌畏	1	9
86	乐果	2	35
87	总石油烃 (脂肪族): <C16	230	620
88	总石油烃 (脂肪族): >C16	10000	10000

附 录 B
(规范性附录)
暴露评估计算部分参数取值

暴露评估计算过程中，部分参数取值见表B.1。

表B.1 暴露评估计算部分参数取值

参数名称	参数代号	参数单位	住宅及公共用地	商服及工业用地
成人每日土壤摄入量	$ING(soil)_a$	mg/d	100	100
儿童每日土壤摄入量	$ING(soil)_c$	mg/d	200	—
成人体重	BW_a	kg	53.1	53.1
儿童体重	BW_c	kg	14.4	—
成人暴露频率	EF_a	d/yr	365	250
儿童暴露频率	EF_c	d/yr	365	—
成人暴露周期	ED_a	yr	24	25
儿童暴露周期	ED_c	yr	6	—
经口摄入吸收效率因子	RAF_o	无量纲	1	1
致癌效应的平均时间	AT_{ca}	d	26280	26280
非致癌效应的平均时间	AT_{nc}	d	2190	9165
成人暴露皮肤表面积	$SSA(soil)_a$	cm ²	4860	2734
儿童暴露皮肤表面积	$SSA(soil)_c$	cm ²	2291	—
成人皮肤表面土壤粘附系数	M_a	mg/cm ²	0.07	0.2
儿童皮肤表面土壤粘附系数	M_c	mg/cm ²	0.2	—
皮肤接触吸收效率因子	RAF_s	无量纲	不同的污染物取值不同，见附录 C	
空气中总悬浮颗粒物含量	TSP	mg ³ /m ³	0.30	0.30
成人每日空气呼吸量	INH_a	m ³ /d	15	15
儿童每日空气呼吸量	INH_c	m ³ /d	7.5	7.5
吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	$PIAF$	无量纲	0.75	0.75
室外空气中来自土壤颗粒物所占比例	f_{spo}	无量纲	0.8	0.8
室内空气中来自土壤颗粒物所占比例	f_{spi}	无量纲	0.5	0.5
成人的室外暴露频率	$EF(out)_a$	d/yr	91	42
儿童的室外暴露频率	$EF(out)_c$	d/yr	91	—
成人的室内暴露频率	$EF(ins)_a$	d/yr	274	104
儿童的室内暴露频率	$EF(ins)_c$	d/yr	274	—
室外空气中来自表层土壤的污染物蒸气因子	VF_{ss}	kg/m ³	计算方法见附录 D	
室外空气中来自下层土壤的污染物蒸气因子	$VF_{s,amb}$	kg/m ³	计算方法见附录 D	
室外空气中来自地下水的污染物蒸气因子	$VF_{gw,amb}$	L/m ³	计算方法见附录 D	
成人每日室外暴露时间	$ET(out)_a$	d	1/3	1/3
儿童每日室外暴露时间	$ET(out)_c$	d	1/3	—

表 B.1 暴露评估计算部分参数取值（续）

参数名称	参数代号	参数单位	住宅及公共用地	商服及工业用地
室内空气中来自下层土壤的污染物蒸气因子	$VF_{s,esp}$	kg/m ³	计算方法见附录 D	
室内空气中来自地下水的污染物蒸气因子	$VF_{gw,esp}$	L/m ³	计算方法见附录 D	
成人每日室内暴露时间	$ET(ind)_a$	d	1	1/3
儿童每日室内暴露时间	$ET(ind)_c$	d	1	—
成人每日摄入地下水量	$ING(soil)_a$	L/d	2	1
儿童每日摄入地下水量	$ING(soil)_c$	L/d	2	—

附 录 C
(规范性附录)
部分污染物的毒性参数

毒性评估计算过程中，部分污染物的毒性参数见表C.1。

表C.1 部分污染物的毒性参数

污染物	经口摄入吸收 致癌斜率因子	呼吸吸入吸收 致癌斜率因子	皮肤接触吸收 致癌斜率因子	经口摄入吸 收参考剂量	呼吸吸入吸 收参考剂量	皮肤接触吸 收参考剂量	呼吸吸入吸 收参考浓度	呼吸吸入吸收 单位致癌因子	皮肤接触吸 收效率因子	消化道吸收 效率因子
	SF_0	SF_1	SF_2	RfD_0	RfD_1	RfD_2	RfC	URF	RAF_0	ABS_{01}
	(kg体重·d) / mg污染物	(kg体重·d) / mg 污染物	(kg体重·d) / mg污染物	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg/m ³	m ³ /mg	无量纲	无量纲
一、无机污染物										
镉	3.80E-01	-	3.80E-01	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-05	-	1.80E+00	1.00E-03	2.50E-02
汞	-	-	-	3.00E-04	8.57E-05	2.10E-05	-	-	1.00E-03	7.00E-02
砷	1.50E+00	-	1.50E+00	3.00E-04	8.60E-06	1.23E-04	-	4.30E+00	3.00E-02	1.00E+00
总铬	-	-	-	3.00E-03	2.90E-05	1.50E+00	-	1.20E+01	1.00E-03	1.30E-02
六价铬	4.20E+01	-	4.20E+01	3.00E-03	-	3.00E-03	8.00E-06	1.20E+01	1.00E-03	2.50E-02
镍	-	9.01E-01	-	2.00E-02	2.60E-05	5.40E-03	-	2.40E-01	1.00E-03	4.00E-02
锌	-	-	-	3.00E-01	3.00E-01	6.00E-02	-	-	1.00E-03	1.00E+00
硒	-	-	-	5.00E-03	5.70E-05	2.20E-03	-	-	1.00E-03	1.00E+00
钒	-	-	-	7.00E-03	1.40E-05	7.00E-05	-	-	1.00E-03	1.00E+00
铈	-	-	-	4.00E-04	1.40E-05	8.00E-06	-	-	1.00E-03	1.50E-01

表 C.1 部分污染物的毒性参数 (续)

污染物	经口摄入吸收 致癌斜率因子	呼吸吸入吸收 致癌斜率因子	皮肤接触吸收 致癌斜率因子	经口摄入吸 收参考剂量	呼吸吸入吸 收参考剂量	皮肤接触吸 收参考剂量	呼吸吸入吸 收参考浓度	呼吸吸入吸收 单位致癌因子	皮肤接触吸 收效率因子	消化道吸收 效率因子
	SF_o	SF_i	SF_d	RfD	RfD_i	RfD_d	RfC	URF	RAF_d	ABS_{oi}
	(kg体重·d) / mg污染物	(kg体重·d) / mg 污染物	(kg体重·d) / mg污染物	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg/m ³	m ³ /mg	无量纲	无量纲
二、挥发性有机污染物										
丙酮	—	—	—	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01	—	—	1.00E-02	1.00E+00
苯	5.50E-02	2.73E-02	5.67E-02	4.00E-03	—	4.00E-03	3.00E-02	7.80E-03	1.00E-02	1.00E+00
甲苯	—	—	—	8.00E-02	—	8.00E-02	5.00E+00	—	1.00E-02	1.00E+00
乙苯	—	—	—	1.00E-01	—	1.00E-01	1.00E+00	1.10E-03	1.00E-02	1.00E+00
1, 4-二氯苯	2.40E-02	2.20E-02	2.67E-02	2.30E-01	—	2.30E-01	8.00E-01	—	1.00E-02	1.00E+00
氯仿	3.10E-02	—	3.10E-02	1.00E-02	1.40E-02	1.00E-02	—	2.30E-02	1.00E-02	—
四氯化碳	1.30E-01	—	2.00E-01	7.00E-04	1.10E-02	7.00E-02	—	1.50E-02	1.00E-02	—
1, 1-二氯乙烷	5.70E-03	5.60E-03	5.70E-03	1.00E-01	—	1.00E-01	5.00E-01	—	1.00E-02	1.00E+00
1, 2-二氯乙烷	9.10E-02	—	9.10E-02	2.00E-02	1.40E-03	2.00E-02	—	2.60E-02	1.00E-02	1.00E+00
1, 1, 1, 三氯乙烷	—	—	—	2.00E-01	—	1.80E-01	2.20E+00	—	1.00E-02	1.00E+00
1, 1, 2-三氯乙烷	5.70E-02	—	7.04E-02	4.00E-03	4.00E-03	4.00E-03	—	1.60E-02	1.00E-02	1.00E+00
氯乙烯	1.50E+00	—	1.50E+00	3.00E-03	—	3.00E-03	1.00E-01	4.40E-03	1.00E-02	1.00E+00
1, 1-二氯乙烯	—	—	—	5.00E-02	—	5.00E-02	2.00E-01	5.00E-02	1.00E-02	1.00E+00
1, 2-二氯乙烯 (顺)	—	—	—	1.00E-02	1.00E-02	1.00E-02	—	—	1.00E-02	1.00E+00
1, 2-二氯乙烯 (反)	—	—	—	2.00E-02	—	2.00E-02	6.00E-02	—	1.00E-02	1.00E+00
三氯乙烯	4.00E-01	—	2.67E+00	3.00E-04	—	1.70E-01	4.00E-02	1.14E-01	1.00E-02	1.00E+00
四氯乙烯	5.40E-01	—	5.40E-01	1.00E-02	—	1.00E-02	6.00E-01	5.90E-03	1.00E-02	1.00E+00

表 C.1 部分污染物的毒性参数 (续)

污染物	经口摄入吸收 致癌斜率因子	呼吸吸入吸收 致癌斜率因子	皮肤接触吸收 致癌斜率因子	经口摄入吸 收参考剂量	呼吸吸入吸 收参考剂量	皮肤接触吸 收参考剂量	呼吸吸入吸 收参考浓度	呼吸吸入吸收 单位致癌因子	皮肤接触吸 收效率因子	消化道吸收 效率因子
	SF_0	SF_1	SF_2	RfD	RfD	RfD	RfC	URF	RAF_2	ABS_{T1}
	(kg体重·d) / mg污染物	(kg体重·d) / mg 污染物	(kg体重·d) / mg污染物	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg/m ³	m ³ /mg	无量纲	无量纲
三、半挥发性有机污染物										
蒽	7.30E-03	3.90E-02	2.35E-02	2.00E-02	7.00E-05	-	-	-	1.30E-01	1.00E+00
萘	1.20E-01	1.20E-01	1.20E-01	2.00E-02		2.00E-02	3.00E-03	-	1.30E-01	1.00E+00
芘	-	-	-	6.00E-02	6.00E-02	1.86E-02	-	-	1.30E-01	1.00E+00
蒽	-	-	-	3.00E-01	3.00E-01	2.28E-01	-	-	1.30E-01	1.00E+00
荧蒽	-	-	-	4.00E-02	4.00E-02	1.24E-02	-	-	1.30E-01	1.00E+00
芘	-	-	-	4.00E-02	4.00E-02	2.00E-02	-	-	1.30E-01	1.00E+00
芘	-	-	-	3.00E-02	3.00E-02	9.30E-03	-	-	1.30E-01	1.00E+00
苯并(a)芘	7.30E+00	3.90E+00	2.35E+01	2.00E-05	7.00E-08	-	-	-	1.30E-01	1.00E+00
苯并(b)荧蒽	7.30E-01	3.9.E+00	2.35E+00	2.00E-04	7.00E-07	-	-	-	1.30E-01	1.00E+00
苯并(k)荧蒽	7.30E-02	3.90E-01	2.35E-01	2.00E-03	7.00E-06	-	-	-	1.30E-01	1.00E+00
二苯并(a,h)蒽	7.30E+00	4.10E+00	2.35E+01	2.00E-05	7.00E-08	-	-	-	1.30E-01	1.00E+00
茚并(1,2,3-cd)芘	1.20E+00	3.90E-01	2.35E+00	2.00E-04	7.00E-07	-	-	-	1.30E-01	1.00E+00
四、农药/多氯联苯/其他										
氯丹	3.50E-01	3.50E-01	7.00E-01	5.00E-04		5.00E-04	7.00E-04	1.00E-01	4.00E-02	1.00E+00
七氯	4.50E+00	-	6.25E+00	5.00E-04	5.00E-04	5.00E-04	-	1.30E+00	1.00E-01	1.00E+00
毒杀芬	1.10E+00	-	2.20E+00	-	-	-	-	3.20E-01	1.00E-01	1.00E+00
滴滴涕	3.40E-01	-	4.86E-01	5.00E-04	5.00E-04	5.00E-04	-	9.70E-02	1.00E-01	1.00E+00
六氯苯	1.60E+00	-	3.20E+00	8.00E-04	8.00E-04	8.00E-04	-	4.60E-01	1.00E-01	1.00E+00

表 C.1 部分污染物的毒性参数 (续)

污染物	经口摄入吸收 致癌斜率因子	呼吸吸入吸收 致癌斜率因子	皮肤接触吸收 致癌斜率因子	经口摄入吸 收参考剂量	呼吸吸入吸 收参考剂量	皮肤接触吸 收参考剂量	呼吸吸入吸 收参考浓度	呼吸吸入吸收 单位致癌因子	皮肤接触吸 收效率因子	消化道吸收 效率因子
	SF_o	SF_i	SF_d	RfD_o	RfD_i	RfD_d	RfC	URF	RAF_d	ABS_{oi}
	(kg体重·d) / mg污染物	(kg体重·d) / mg 污染物	(kg体重·d) / mg污染物	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg污染物/ (kg体 重·d)	mg/m ³	m ³ /mg	无量纲	无量纲
α -六六六	6.30E+00	-	6.30E+00	5.00E-04	5.00E-04	5.00E-04	-	1.80E+00	1.00E-01	1.00E+00
β -六六六	1.80E+00	-	1.98E+00	2.00E-04	2.00E-04	2.00E-04	-	5.30E-01	1.00E-01	1.00E+00
γ -六六六	1.30E+00	1.80E+00	1.34E+00	3.00E-04	3.00E-04	3.00E-04	-	-	1.00E-01	1.00E+00
邻苯二甲酸二乙酯 (DEP)	-	-	-	8.00E-01	8.00E-01	8.00E-01	-	-	1.00E-01	1.00E+00
邻苯二甲酸二正丁酯 (DnBP)	-	-	-	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01	-	-	1.00E-01	1.00E+00
邻苯二甲酸二正辛酯 (DNOP)	-	-	-	2.00E-02	2.00E-02	2.00E-01	-	-	1.00E-01	1.00E+00
邻苯二甲酸双 2-乙基己 酯 (DEHP)	1.40E-02	1.40E-02	7.37E-02	2.00E-02	2.00E-02	4.00E-02	-	-	1.00E-01	1.00E+00
邻苯二甲酸丁基卡基酯 (BBP)	-	-	-	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	-	-	1.00E-01	1.00E+00
3, 3-二氯联苯胺	4.50E-01	1.20E+00	9.00E-01	-	-	-	-	-	1.00E-01	1.00E+00

附 录 D
(规范性附录)
部分过程参数的计算

D.1 场地特性参数的计算

土壤有机碳质量分数 (F_{oc})、非饱和土层土壤中总孔隙体积比 (θ)、非饱和土层土壤中空气体积比 (θ_{as})、非饱和土层土壤中水体积比 (θ_{ws}) 是影响土壤中有机污染物环境行为的重要土壤理化性质参数。上述参数可根据场地调查土壤有机质含量 (F_{om})、土壤容重 (ρ_b) 和土壤含水率 (P_{ws}) 估算。

D.1.1 土壤有机碳质量分数计算，根据场地调查土壤有机质含量数据估算，采用公式 (D.1) 计算：

$$F_{oc} = \frac{F_{om}}{1.7 \times 1000} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

F_{om} ——土壤有机质含量，g/kg；

1.7——土壤有机质/有机碳含量转换系数。

D.1.2 非饱和土层土壤总孔隙度计算，根据场地调查土壤容重和土壤颗粒密度估算，采用公式 (D.2) 计算：

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

式中：

θ ——非饱和土层土壤中总孔隙度，无量纲；

ρ_b ——土壤容重，kg/dm³；

ρ_s ——土壤颗粒密度，kg/dm³。

D.1.3 非饱和土层土壤中孔隙水体积比计算，根据场地调查土壤容重和土壤含水率数据估算，采用公式 (D.3) 计算：

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

式中：

θ_{ws} ——非饱和土层土壤中孔隙水体积比，无量纲；

P_{ws} ——土壤含水率，kg水/kg土壤；

ρ_w ——水的密度，kg/dm³。

ρ_b 参数的含义见公式 (D.2)。

D.1.4 非饱和土层土壤中孔隙空气体积比计算，采用公式 (D.4) 计算：

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

式中:

θ_{as} ——非饱和土层土壤中孔隙空气体积比, 无量纲。

θ 参数的含义见公式 (D.2), θ_{ws} 参数的含义见公式 (D.3)。

D.2 部分污染物迁移模型参数的计算

D.2.1 土壤中污染物蒸气的有效扩散系数, 采用公式 (D.5) 计算:

$$D_s^{\text{eff}} = D_a \times \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta^2} + D_w \times \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{H \times \theta^2} \dots \dots \dots (D.5)$$

式中:

D_s^{eff} ——土壤中污染物蒸气的有效扩散系数, cm^2/s ;

D_a ——空气中扩散系数, cm^2/s ;

D_w ——水中扩散系数, cm^2/s ;

H ——亨利常数, 无量纲。

θ 参数的含义见公式 (D.2), θ_{ws} 参数的含义见公式 (D.3), θ_{as} 参数的含义见公式 (D.4)。

D.2.2 污染物蒸气在地基与墙体裂隙中的有效扩散系数, 采用公式 (D.6) 计算:

$$D_{\text{crack}}^{\text{eff}} = D_a \times \frac{\theta_{\text{acrack}}^{3.33}}{\theta^2} + D_w \times \frac{\theta_{\text{wcrack}}^{3.33}}{H \times \theta^2} \dots \dots \dots (D.6)$$

式中:

$D_{\text{crack}}^{\text{eff}}$ ——污染物蒸气在地基与墙体裂隙中的有效扩散系数, cm^2/s ;

θ_{acrack} ——地基与墙体裂隙中空气体积比, 无量纲;

θ_{wcrack} ——地基或墙体裂隙中水体积比, 无量纲。

θ 参数的含义见公式 (D.2), D_a 、 D_w 和 H 参数的含义见公式 (D.5)。

D.2.3 毛细管层中污染物蒸气的有效扩散系数, 采用公式 (D.7) 计算:

$$D_{\text{cap}}^{\text{eff}} = D_a \times \frac{\theta_{\text{acap}}^{3.33}}{\theta^2} + D_w \times \frac{\theta_{\text{wcap}}^{3.33}}{H \times \theta^2} \dots \dots \dots (D.7)$$

式中:

$D_{\text{cap}}^{\text{eff}}$ ——毛细管层中污染物蒸气的有效扩散系数, cm^2/s ;

θ_{acap} ——毛细管层土壤中孔隙空气体积比, 无量纲;

θ_{wcap} ——毛细管层土壤中孔隙水体积比, 无量纲。

θ 参数的含义见公式 (D.2), D_a 、 D_w 和 H 参数的含义见公式 (D.5)。

D.2.4 污染物蒸气从地下水到表层土壤的有效扩散系数, 采用公式 (D.8) 计算:

$$D_{gws}^{eff} = \frac{(h_{cap} + h_v)}{(h_{cap} / D_{cap}^{eff} + h_v / D_s^{eff})} \dots\dots\dots (D. 8)$$

式中:

D_{gws}^{eff} ——地下水到表层土壤的有效扩散系数, cm^2/s

h_{cap} ——地下水土壤交界处毛细管层厚度, cm ;

h_v ——非饱和土层厚度, cm ;

D_{cap}^{eff} ——毛细管层中污染物蒸气的有效扩散系数, cm^2/s 。

D_s^{eff} 参数的含义见公式 (D. 5), D_{cap}^{eff} 参数的含义见公式 (D. 7)。

D. 2. 5 表层土壤中污染物挥发对应的室外空气中的土壤含量, 采用公式 (D. 9) 和公式 (D. 10) 计算:

$$VF_{ss} = \frac{2W\rho_s}{U_{air}\delta_{air}} \times \sqrt{\frac{D_s^{eff}H}{\pi(\theta_{as}H + \theta_{ws} + K_{oc}F_{oc}\rho_s)\tau}} \times 10^3 \dots\dots\dots (D. 9)$$

或者

$$VF_{ss} = \frac{W\rho_s d}{U_{air}\delta_{air}\tau} \times 10^3 \dots\dots\dots (D. 10)$$

两者算法结果取较小值。

(5)、(6) 式中:

VF_{ss} ——室外空气中来自表层土壤的污染物蒸气因子, kg/m^3 ;

U_{air} ——土壤污染区近地面年平均风速, cm/s ;

δ_{air} ——土壤污染区上方近地面大气混合层高度, cm ;

W ——沿风向或者地下水流向的平均污染带宽度, cm ;

K_{oc} ——土壤有机碳/土壤孔隙水分配系数, L/kg ;

τ ——污染物蒸气流平均时间, s ;

d ——表层污染土壤下表面到地表距离, cm 。

F_{oc} 参数的含义见公式 (D. 1), ρ_s 参数的含义见公式 (D. 2), θ_{ws} 参数的含义见公式 (D. 3), θ_{as} 参数的含义见公式 (D. 4), D_s^{eff} 和 H 参数的含义见公式 (D. 5)。

D. 2. 6 下层土壤中污染物挥发对应的室外空气中的土壤含量, 采用公式 (D. 11) 计算:

$$VF_{s,amb} = \frac{H\rho_s}{(\theta_{as}H + \theta_{ws} + K_{oc}F_{oc}\rho_s) \times (1 + (U_{air}\delta_{air}L_s) / D_s^{eff}W)} \times 10^3 \dots\dots\dots (D. 11)$$

式中:

$VF_{s,amb}$ ——下层土壤中污染物挥发对应室外空气中的土壤含量, kg/m^3 ;

L_s ——下层污染土壤上表面到地表距离, cm 。

F_{oc} 参数的含义见公式 (D.1), ρ_s 参数的含义见公式 (D.2), θ_{ws} 参数的含义见公式 (D.3), θ_{as} 参数的含义见公式 (D.4), D_s^{eff} 和 H 参数的含义见公式 (D.5), U_{air} 、 δ_{air} 、 η 和 K_{oc} 参数的含义见公式 (D.9)。

D.2.7 地下水中污染物挥发对应的室外空气中的土壤含量, 采用公式 (D.12) 计算:

$$VF_{gw,amb} = \frac{H}{1 + (U_{air} \times \delta_{air} \times L_{gw}) / (D_{gws}^{eff} \times W)} \times 10^3 \dots\dots\dots (D.12)$$

式中:

$VF_{gw,amb}$ ——地下水中污染物挥发对应的室外空气中的地下水含量, L/m^3 ;

L_{gw} ——地下水埋深, cm 。

H 参数的含义见公式 (D.5), D_{gws}^{eff} 参数的含义见公式 (D.8), U_{air} 、 δ_{air} 和 η 参数的含义见公式 (D.9)。

D.2.8 下层土壤中污染物挥发对应的室内空气中的土壤含量, 采用公式 (D.13) 计算:

$$VF_{s,esp} = \frac{[H\rho_s / (\theta_{as}H + \theta_{ws} + K_{oc}F_{oc}\rho_s)] \times [(D_s^{eff} / L_s) / (ER \times L_B)]}{1 + (D_s^{eff} / L_s) / (ER \times L_B) + (D_s^{eff} / L_s) / (D_{crack}^{eff} / L_{crack} \times \eta)} \times 10^3 \dots\dots\dots (D.13)$$

式中:

$VF_{s,esp}$ ——下层土壤中污染物挥发对应的室内空气中的土壤含量, kg/m^3 ;

ER ——室内空气交换速率, 次/h;

L_B ——室内空间体积与蒸气入渗面积比, cm ;

L_{crack} ——室内地基厚度, cm ;

η ——地基和墙体裂隙表面积所占比例, 无量纲。

F_{oc} 参数的含义见公式 (D.1), ρ_s 参数的含义见公式 (D.2), θ_{ws} 参数的含义见公式 (D.3), θ_{as} 参数的含义见公式 (D.4), D_s^{eff} 和 H 参数的含义见公式 (D.5), D_{crack}^{eff} 参数的含义见公式 (D.6), K_{oc} 参数的含义见公式 (D.9), L_s 参数的含义见公式 (D.11)。

D.2.9 地下水中污染物挥发对应的入室内空气中的地下水含量采用公式 (D.14) 计算:

$$VF_{gw,esp} = \frac{H \times [(D_{gws}^{eff} / L_{gw}) / (ER \times L_B)]}{1 + (D_{gws}^{eff} / L_{gw}) / (ER \times L_B) + (D_{gws}^{eff} / L_{gw}) / (D_{crack}^{eff} / L_{crack} \times \eta)} \times 10^3 \dots\dots\dots (D.14)$$

式中:

$VF_{gw,esp}$ ——地下水中污染物挥发进入室内空气对应的地下水浓度, L/m^3 。

D_{crack}^{eff} 参数的含义见公式 (D.6), D_{gws}^{eff} 参数的含义见公式 (D.8), L_{gw} 参数的含义见公式 (D.12),

ER 、 L_B 、 L_{crack} 和 η 的参数定义见公式 (D.13)。

D.3 部分过程参数的取值

部分过程参数的取值见表D.1。

表D.1 部分过程参数的取值

参数名称	参数代号	参数单位	推荐取值	备注
土壤有机质含量	F_{om}	g/kg	—	根据场地调查获得参数值
土壤容重	ρ_b	kg/dm ³	—	根据场地调查获得参数值
土壤颗粒密度	ρ_s	kg/dm ³	—	根据场地调查获得参数值
土壤含水率	P_{ws}	kg水/kg土壤	—	根据场地调查获得参数值
空气中扩散系数	D_a	cm ² /s	—	不同污染物取值不同, 见附录 E
水中扩散系数	D_w	cm ² /s	—	不同污染物取值不同, 见附录 E
亨利常数	H	无量纲	—	不同污染物取值不同, 见附录 E
地基与墙体裂隙中空气体积比	θ_{acrack}	无量纲	0.26	优先根据场地调查获得参数值
地基或墙体裂隙中水体积比	θ_{wcrack}	无量纲	0.12	优先根据场地调查获得参数值
毛细管层土壤中孔隙空气体积比	θ_{acap}	无量纲	0.038	优先根据场地调查获得参数值
毛细管层土壤中孔隙水体积比	θ_{wcap}	无量纲	0.342	优先根据场地调查获得参数值
地下水土壤交界处毛细管层厚度	h_{cap}	cm	5	优先根据场地调查获得参数值
非饱和土层厚度	h_v	cm	295	优先根据场地调查获得参数值
土壤污染区近地面年平均风速	U_{air}	cm/s	200	优先根据场地调查获得参数值
土壤污染区上方近地面大气混合层高度	δ_{air}	cm	200	优先根据场地调查获得参数值
沿风向或者地下水流向的平均污染带宽度	W	cm	1500	优先根据场地调查获得参数值
土壤有机碳/土壤孔隙水分配系数	K_{oc}	L/kg	—	不同污染物取值不同, 见附录 E
住宅用地污染物蒸气流平均时间	τ	s	9.48E+08	优先根据场地调查获得参数值
工业/商服用地污染物蒸气流平均时间	τ	s	7.88E+08	优先根据场地调查获得参数值
表层污染土壤下表面到地表距离	d	cm	100	优先根据场地调查获得参数值
下层污染土壤上表面到地表距离	L_s	cm	—	根据场地调查获得参数值
地下水埋深	L_{gw}	cm	—	根据场地调查获得参数值
住宅用地室内空气交换速率	ER	次/h	0.5	优先根据场地调查获得参数值
工业/商服用地室内空气交换速率	ER	次/h	1	优先根据场地调查获得参数值
住宅用地室内空间体积与蒸气入渗面积比	L_b	cm	200	优先根据场地调查获得参数值
工业/商服用地室内空间体积与蒸气入渗面积比	L_b	cm	300	优先根据场地调查获得参数值
室内地基厚度	L_{crack}	cm	15	优先根据场地调查获得参数值
地基和墙体裂隙表面积所占比例	η	无量纲	0.01	优先根据场地调查获得参数值

附 录 E
(规范性附录)
部分污染物的理化参数

部分污染物的理化参数见表E.1。

表E.1 部分污染物的理化参数

污染物	土壤有机碳/隙水分配系数	空气中扩散系数	水中扩散系数	亨利常数
	K_{oc}	D_a	D_w	H
	cm^3/g	cm^2/s	cm^2/s	无量纲
一、无机污染物 ^a				
镉	1.10E+02	—	—	—
汞	8.20E+01	—	—	—
砷	2.90E+01	—	—	—
六价铬	1.80E+01	—	—	—
镍	8.80E+01	—	—	—
锌	7.50E+01	—	—	—
硒	4.30E+00	—	—	—
二、挥发性有机物				
丙酮	5.57E-01	1.24E-01	1.14E-05	1.59E-03
苯	5.89E+01	8.80E-02	9.80E-06	2.28E-01
甲苯	1.82E+02	8.70E-02	8.60E-06	2.72E-01
乙苯	3.63E+02	7.50E-02	7.80E-06	3.23E-01
1,4-二氯苯	6.17E+02	6.90E-02	7.90E-06	9.96E-02
氯仿	3.98E+01	1.04E-01	1.00E-05	1.50E-01
四氯化碳	1.74E+02	7.80E-02	8.8.E-06	1.25E+00
1,1-二氯乙烷	3.16E+01	7.42E-02	1.05E-05	2.30E-01
1,2-二氯乙烷	1.74E+02	1.04E-01	9.90E-06	4.01E-02
1,1,1,三氯乙烷	1.10E+02	7.80E-02	8.80E-06	7.05E-01
1,1,2-三氯乙烷	5.01E+01	7.80E-02	8.80E-06	3.74E-02
氯乙烯	1.86E+01	1.06E-01	1.23E-05	1.11E+00
1,1-二氯乙烯	5.89E+01	9.00E-02	1.04E-05	1.07E+00
1,2-二氯乙烯(顺)	3.55E+01	7.36E-02	1.13E-05	1.67E-01
1,2-二氯乙烯(反)	5.25E+01	7.07E-02	1.19E-05	3.80E-01
三氯乙烯	1.66E+02	7.90E-02	9.10E-06	4.22E-01
四氯乙烯	1.55E+02	7.20E-02	8.20E-06	7.54E-01
三、半挥发性有机物				
苯并(a)蒽	3.95E+05	5.10E-02	9.00E-06	1.37E-04
苯并(a)芘	1.02E+05	4.30E-02	9.00E-06	4.63E-05

表E.1 部分污染物的理化参数(续)

污染物	土壤有机碳/隙水分配系数	空气中扩散系数	水中扩散系数	亨利常数
	K_{oc}	D_a	D_w	H
	cm^3/g	cm^2/s	cm^2/s	无量纲
三、半挥发性有机物				
苯并(b)荧蒽	1.23E+06	2.26E-02	5.56E-06	4.55E-03
苯并(k)荧蒽	1.23E+06	2.26E-02	5.56E-06	3.40E-05
二苯并(a,h)蒽	3.80E+06	2.02E-02	5.18E-06	6.03E-07
茚并(1,2,3-cd)芘	3.47E+06	1.90E-02	5.66E-06	6.56E-05
蒽	3.98E+05	2.48E-02	6.21E-06	3.88E-03
萘	2.00E+03	5.90E-02	7.50E-06	1.98E-02
芘	7.08E+03	4.21E-02	7.69E-06	6.36E-03
蒽	2.95E+04	3.24E-02	7.74E-06	2.67E-03
荧蒽	1.07E+05	3.02E-02	6.35E-06	6.60E-04
芴	1.38E+04	3.63E-02	7.88E-06	2.61E-03
芘	1.05E+05	2.72E-02	7.24E-06	4.51E-04
四、农药/多氯联苯/其他				
氯丹	1.20E+05	1.18E-02	4.37E-06	1.99E-03
七氯	1.41E+06	1.12E-02	5.69E-06	4.47E-02
毒杀芬	2.57E+05	1.16E-02	4.34E-06	2.46E-04
滴滴涕	2.63E+06	1.37E-02	4.95E-06	3.32E-04
六氯苯	5.50E+04	5.42E-02	5.91E-06	5.41E-02
α -六六六	1.23E+03	1.42E-02	7.34E-06	4.35E-04
β -六六六	1.26E+03	1.42E-02	7.34E-06	3.05E-05
γ -六六六	1.07E+03	1.42E-02	7.34E-06	5.74E-04
邻苯二甲酸二乙酯(DEP)	2.88E+02	2.56E-02	6.35E-06	1.85E-05
邻苯二甲酸二正丁酯(DnBP)	3.39E+04	4.38E-02	7.86E-06	3.85E-08
邻苯二甲酸二正辛酯(DNOP)	1.32E+07	1.51E-02	3.58E-06	2.74E-03
邻苯二甲酸双2-乙基己酯(DEHP)	1.51E+07	3.51E-02	3.66E-06	4.18E-06
邻苯二甲酸丁基卡基酯(BBP)	5.75E+04	1.74E-02	4.83E-06	5.17E-05
3,3-二氯联苯胺	7.24E+02	1.94E-02	6.74E-06	1.64E-07
* 土壤 pH 值为 7.0 时的 K_{oc} 值				