

团 体 标 准

T/CECRPA XXX-20XX

场地土壤污染物人群暴露评估技术指南 概率暴露评估法

Technical guideline for population exposure assessment of site soil
contaminants—Probabilistic exposure assessment method

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国生态文明研究与促进会

目 次

前言.....	II
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 评估原则.....	1
5 工作程序和内容.....	2
6 危害识别.....	3
7 用地功能识别.....	3
8 暴露情景精细化.....	4
9 概率暴露量计算.....	5
10 不确定性分析.....	6
11 报告编制.....	6
附录 A（资料性） 蒙特卡洛模拟流程.....	7

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京师范大学提出。

本文件由中国生态文明研究与促进会归口。

本文件起草单位：北京师范大学、北京科技大学。

本文件主要起草人：程红光、杨凯、龚逸伟、王贝贝、杨铠名、张加文、权蔚慈、吴雨茜、李璐。

场地土壤污染物人群暴露评估技术指南 概率暴露评估法

1 适用范围

本文件提供了开展场地土壤污染物概率暴露评估的评估原则、内容、程序、方法和技术要求。

本文件适用于场地现状土壤环境中化学污染物的概率暴露评估。

本文件不适用于物理性、生物性和放射性污染物的概率暴露评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 27921 风险管理 风险评估技术

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 50137 城市用地分类与规划建设用地标准

HJ 1111 生态环境健康风险评估技术指南 总纲

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

HJ 876 儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法

HJ 877 暴露参数调查技术规范

T/CECRPA XXX 场地土壤污染物人群暴露参数调查技术指南

公告 2017 年 第 63 号 环境与健康横断面调查数据统计分析技术指南

3 术语和定义

HJ 682 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

关注污染物 contaminant of concern

根据地块污染特征、相关标准规范要求和地块利益相关方意见，确定需要进行土壤污染状况调查和土壤污染风险评估的污染物。

[来源：HJ 682，2.2.1]

3.2

暴露情景 exposure scenario

特定土地利用方式下，地块污染物经由不同方式迁移并到达受体的一种假设性场景描述，即关于地块污染暴露如何发生的一系列事实、推定和假设。

[来源：HJ 682，2.4.10]

3.3

暴露量 exposure dose

人体或生态受体经各种途径（如口、呼吸系统和皮肤）摄入污染物的量。

[来源：HJ 682，2.4.15]

3.4

暴露评估模型 exposure assessment model

描述人体对污染物的暴露过程，预测和估算暴露量的概念模型及数学模拟方法。
[来源：HJ 682，2.4.13]

3.5

暴露参数 exposure parameter

与人群行为相关的，用于反映地块污染物人体暴露特点的参数，如敏感人群结构特征（年龄、体重等）和人群通过各种环境介质暴露于污染物的时间、频率、周期等。
[来源：HJ 682，2.4.16]

3.6

暴露响应单元 exposure response parcel

暴露情景相对一致的空间区域。

4 评估原则

4.1 科学性

充分收集已有数据和信息，借鉴国内外成熟可靠的评价技术与方法，充分考虑其理论和方法的科学性，保证评估过程的系统性和评估结论的客观性。

4.2 保守性

风险评估结果应包括在现实最不利情景下，敏感人群或高暴露人群暴露于环境中化学性因素的健康风险。

4.3 透明性

对风险评估的整个过程应进行完整且系统的记录。其中，应特别注意记录评估的制约因素、不确定性和假设及其处理方法、评估中的不同意见和观点、直接影响风险评估结果的重大决策等内容。

5 工作程序和内容

场地土壤污染物概率暴露评估的评估程序见图 1，主要包括危害识别、用地功能识别、暴露情景精细化和概率暴露量计算 4 个方面。

5.1 危害识别

按照 HJ 25.1 中规定的方法对场地土壤污染状况进行调查，收集土壤污染状况调查阶段获得的相关资料和数据，如果污染物浓度超过 GB 36600 中的风险筛选值，则进行场地土壤污染物概率暴露评估。掌握地块土壤中关注污染物的浓度分布，分析可能的敏感人群，如儿童、成人等。

5.2 用地功能识别

获取地块边界内城市设施兴趣点（POI）数据和空间地理数据，使用空间地理数据将地块划分为若干用地单元，使用 POI 数据结合地统计学分析确定各个用地单元内的暴露响应单元核密度，使用核密度比值确定各个用地单元的主导用地功能。

5.3 暴露情景精细化

基于 4.2 识别的用地单元主导功能，将其映射并归为 3 种典型土地利用方式，即以住宅用地为代表的第Ⅰ类用地、以公园绿地为代表的第Ⅱ类用地、以工业用地为代表的第Ⅲ类用地 3 种，结合场地土壤污染物的迁移转化特性，识别不同用地方式下土壤污染物的暴露途径及关键人群暴露参数。

5.4 概率暴露量计算

使用蒙特卡洛模型确定关键人群暴露参数取值和概率预测，结合 HJ 25.3 中土壤暴露量

计算模型，评估地块内各用地单元土壤关注污染物暴露量，进行不确定性分析，完成报告编制工作。

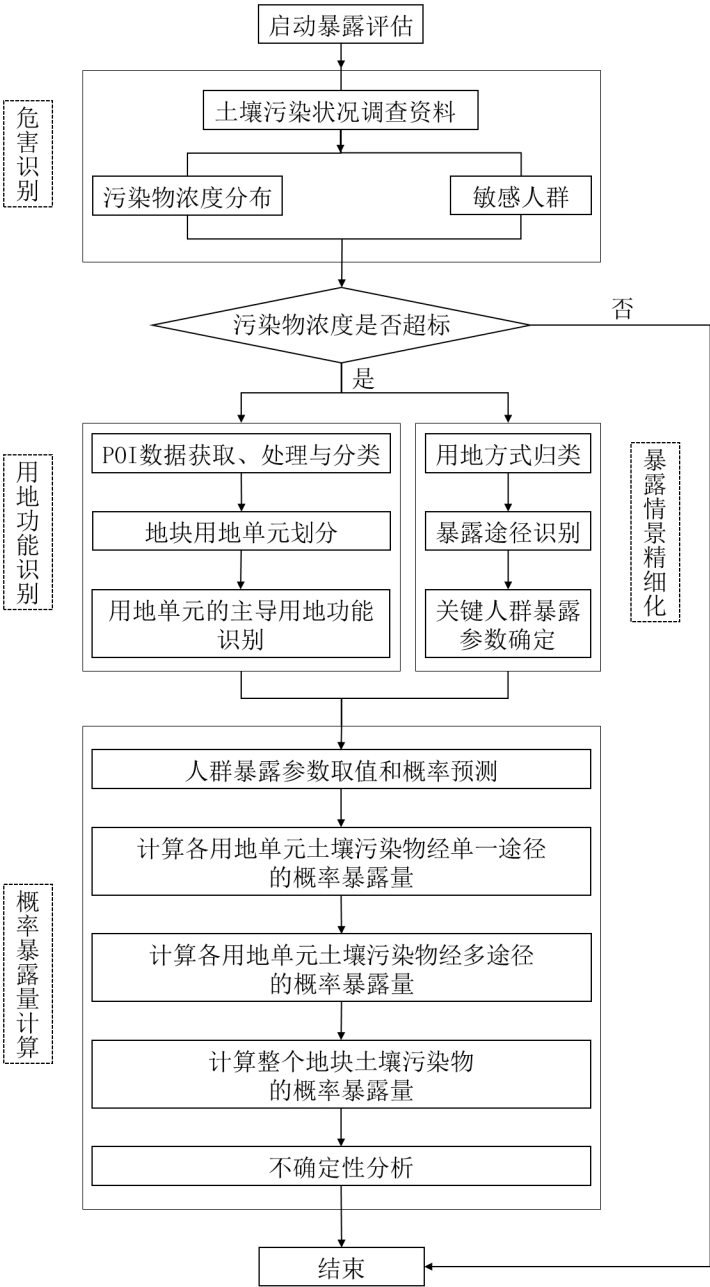


图 1 概率暴露评估程序与内容

6 危害识别

按照 HJ 25.1 中规定的方法对场地土壤污染状况进行调查，掌握地块土壤中关注污染物的浓度分布，确定土壤污染范围，分析可能的敏感人群。敏感人群为儿童，按性别及年龄段（0~<3 岁、3~<6 岁、6~<12 岁、12~<15 岁和 15 岁~<18 岁）进一步分组；敏感人群为成人，按性别及年龄段（18~<45 岁、45~<60 岁和 60 岁及以上）进行分组。

7 用地功能识别

7.1 POI 数据获取、处理与分类

7.1.1 通过电子地图获取场地边界内的 POI 数据，包括经纬度、位置、坐标系、设施名称和

行业类别等。

7.1.2 对 POI 数据进行预处理，剔除重复数据和类别不清晰数据，以及实际设施占地面积小于预先设置的面积阈值的数据。

7.1.3 基于行业类型，对 POI 数据进行分类，得到分类结果。

7.2 地块用地单元划分

7.2.1 通过公开地图网站获取地块的空间地理数据，包括路网数据和地块边界矢量数据。

7.2.2 基于用途和建设标准，对地块的路网数据进行划分，得到不同等级道路数据。基于所述地块边界矢量数据，将不同等级的道路数据与地块的城市道路数据和小区道路数据结合，对地块的各个等级的路网数据进行拓扑、连接、删除冗余、悬挂道路和建立缓冲区，划分得到地块内以道路及其缓冲区为边界的各个用地单元。

7.3 用地单元的主导用地功能识别

基于划分得到的地块内各个用地单元，对已分类的 POI 数据进行核密度分析，完成栅格转点和连接。保证 POI 数据和路网数据的地理坐标系一致，按照地块所处的经纬度选择相应适合的坐标系。最后，得到各个用地单元内各暴露响应单元的核密度比值，进一步确定各个用地单元的主导用地功能。

8 暴露情景精细化

8.1 用地方式归类

8.1.1 将土地利用方式划分为以住宅用地为代表的第Ⅰ类用地、以公园绿地为代表的第Ⅱ类用地、以工业用地为代表的第Ⅲ类用地 3 类。基于 6.3 识别的用地单元主导功能，将其映射并归为上述 3 种典型土地利用方式。

8.1.2 第Ⅰ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）、公共管理与公共服务用地中的中小学用地（A33）、医疗卫生用地（A5）和社会福利设施用地（A6）。第Ⅱ类用地方式包括 GB 50137 规定的公园绿地（G1）中的社区公园或儿童公园用地等。第Ⅲ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。

8.1.3 依据主导用地功能，将各用地单元归为相应的用地方式类别（表 1）。

表 1 主导用地功能与用地方式类别对应关系表

序号	一级主导用地功能	二级主导用地功能	用地方式
1	公共管理与公共服务	行政办公	第Ⅲ类用地方式中的公共管理与公共服务用地（A，A33、A5、A6 除外）
2		文化设施	第Ⅲ类用地方式中的公共管理与公共服务用地（A，A33、A5、A6 除外）
3		教育科研	第Ⅰ类用地方式中的中小学用地（A33）
4		体育设施	第Ⅲ类用地方式中的公共管理与公共服务用地（A，A33、A5、A6 除外）
5		医疗卫生	第Ⅰ类用地方式中的医疗卫生用地（A5）
6		其他公共服务	第Ⅰ类用地方式中的社会福利设施用地（A6）
7	商业服务业	商业设施	第Ⅲ类用地方式中的商业服务业设施用地（B）
8		商务办公	
9		娱乐康体设施	
10		公共设施营业网点	
11		其他服务设施	
12	工业	工业	第Ⅲ类用地方式中的工业用地（M）
13	居住	居住	第Ⅰ类用地方式中的居住用地（R）

14	物流仓储	物流仓储	第Ⅲ类用地方式中的物流仓储用地（W）
15	道路与交通	道路与交通设施	第Ⅲ类用地方式中的道路与交通设施用地（S）
16	公用设施	公用设施	第Ⅲ类用地方式中的公用设施用地（U）
17	绿地与广场	广场	第Ⅲ类用地方式中的绿地与广场用地（G；G1 中的社区公园或儿童公园用地除外）
18		社区和儿童公园	第Ⅱ类用地方式中的公园绿地（G1）中的社区公园或儿童公园用地
19		综合公园	第Ⅲ类用地方式中的绿地与广场用地（G；G1 中的社区公园或儿童公园用地除外）

8.2 暴露途径识别

8.2.1 根据不同用地方式，以及污染物是否具有挥发性，土壤污染物的主要暴露途径分析见表 2。

表 2 不同用地方式下土壤污染物的主要暴露途径

序号	用地方式	污染物	暴露途径
1	第Ⅰ类	重金属和难挥发性有机物	经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物
2		挥发性有机物	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表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物
3	第Ⅱ类	重金属和难挥发性有机物	经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入室外空气中来自土壤的颗粒物
4		挥发性有机物	经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入室外空气中来自土壤的颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物
5	第Ⅲ类	重金属和难挥发性有机物	经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物
6		挥发性有机物	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表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物

8.2.2 除上述用地方式以外，应分析特定地块人群暴露的可能性、暴露频率和暴露期等情况，参照上述用地情景进行评估或构建适合于特定地块的暴露情景进行评估。

8.3 关键人群暴露参数确定

宜参照 HJ 25.3 确定关键人群暴露参数，包括每日摄入土壤量、每日接触土壤时间、每日皮肤接触事件频率、每日接触土壤时间、皮肤表面积、每日空气呼吸量、室内/外活动时间、体重、身高等。

9 概率暴露量计算

9.1 人群暴露参数取值

9.1.1 宜按以下顺序获得人群暴露参数：

- 开展人群暴露参数现场调查。按照 HJ 876 中相关规定开展现场调查获得儿童土壤摄入量；按照 HJ 877 和 T/CECRPA XXX 中相关规定开展现场调查获得其他人群暴露参数。
- 无法开展暴露参数现场调查，则从《中国人群暴露参数手册》（儿童卷：0~5 岁）、

《中国人群暴露参数手册》（儿童卷：6~17岁）和《中国人群暴露参数手册》（成人卷）中取值。

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

9.2 概率暴露量计算

9.2.1 将暴露参数当作一个服从特定分布的变量，使用蒙特卡洛模型确定关键人群暴露参数取值和概率预测，结合 HJ 25.3 中土壤暴露量计算模型，计算各用地单元土壤单一关注污染物经单一途径的暴露量和经多途径的总暴露量的范围和分布，并给出特定条件下的概率值。详见附录 A。

9.2.2 对于单一污染物，计算经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物暴露途径土壤污染物致癌和非致癌效应暴露量的推荐模型见 HJ 25.3 附录 A 和 C。

9.2.3 基于地块内各个用地单元的概率暴露量，评估整个地块土壤单一污染物对敏感人群的概率暴露量。

10 不确定性分析

10.1 应分析造成地块土壤污染物暴露评估结果不确定性的主要来源，包括用地功能识别、模型参数取值等多个方面。不确定性分析按照 HJ 1111 中规定的方法，采用定性和定量分析概率暴露评估过程中的不确定性。其中，定量不确定性分析按照 GB/T 27921 中规定的蒙特卡洛模拟法。

10.2 模型参数敏感性分析按照 HJ 25.3 中规定的方法。

11 报告编制

报告主要包括评估目的、评估范围、数据来源、评估方法、评估结果和不确定性分析、评估结论等部分。

附录 A

(资料性)

蒙特卡洛模拟流程

A.1 概述

本附录规定了利用蒙特卡洛模拟方法进行场地土壤污染物人群概率暴露评估的一般操作流程。评估人员可使用专业统计软件（如 Oracle Crystal Ball）或编程语言（如 Python、R、MATLAB 等）实现。

A.2 操作流程

概率暴露评估通常遵循以下 4 个步骤：模型构建、参数分布拟合、参数相关性设置、模拟运行。

1、构建暴露评估模型：依据 HJ 25.3 中的暴露评估计算公式，在计算软件中建立数学模型。与确定性评估不同，模型中的输入参数不再是单一数值，而是预留给概率分布函数的变量接口。

2、确定输入参数的概率分布：根据现场调查数据或《中国人群暴露参数手册》等资料，通过拟合优度检验确定关键参数的分布类型，包括：

- (1) 正态分布：适用于对称分布参数（需输入均值、标准差）。
- (2) 对数正态分布：适用于污染物浓度、土壤摄入量等右偏分布参数。
- (3) 三角分布：适用于数据较少，仅知最大、最小和最可能值的情况。
- (4) 截断处理：必须设定参数的物理极值。

3、定义参数相关性：防止模拟出现不切实际的参数组合（如极低的体重搭配极大的皮肤面积），应设置参数间的秩相关系数。

4、设置模拟参数并运行：

迭代次数：建议设置为 10000 次，直到统计量收敛（置信度 95%），使模拟结果更接近于实际。

运行：启动模拟，软件将随机抽取参数值代入模型计算，生成暴露量结果。

A.3 结果输出与分析

1、概率分布统计：输出暴露量的直方图和累积概率分布图。

2、敏感性分析：识别对暴露量结果影响最大的输入参数，作为后续降低不确定性的重点关注对象。