

ICS 13.020.10

CCS Z 04

团 体 标 准

T/CSES 54—2022

场地土壤污染概率健康风险评估技术规范

Technical specification for probabilistic health risk assessment of site
soil contamination

2022-07-29 发布

2022-08-01 实施

中国环境科学学会 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 评估程序与内容	2
5 健康风险判定	3
6 概率暴露评估	3
7 概率健康风险表征	4
8 概率风险控制值确定	5
9 报告编制	5
附录 A (资料性) 蒙特卡罗模型	6
附录 B (资料性) 微环境分类表	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。

本文件由生态环境部华南环境科学研究所提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：生态环境部华南环境科学研究所、暨南大学、生态环境部南京环境科学研究所、广州工控环保科技有限公司、广东新创华科环保股份有限公司、中国医科大学、北京工业大学。

本文件主要起草人：于云江、李良忠、马瑞雪、侯森、张国斐、李彦希、于紫玲、于洋、盛媛、田雨、徐晓玲、陈兆佳、范晓芸、朱京海、贺淼、向明灯、虞璐、刘济宁。

场地土壤污染概率健康风险评估技术规范

1 范围

本文件规定了开展场地土壤污染概率健康风险评估的一般性原则、内容、程序、方法和技术要求。本文件适用于场地土壤中化学污染物的概率健康风险评估。本文件不适用于物理性和生物性污染的概率健康风险评估。

2 规范性引用文件

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

GB/T 27921 风险管理 风险评估技术
 GB 50137 城市用地分类与规划建设用地标准
 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 839 环境与健康现场调查技术规范 横断面调查
 HJ 875 环境污染物人群暴露评估技术指南
 HJ 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
 HJ 1111 生态环境健康风险评估技术指南 总纲
 《环境与健康横断面调查数据统计分析技术指南》（环境保护部公告 2017年第63号）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

概率健康风险评估 probabilistic health risk assessment; PHRA

采用蒙特卡罗法等概率方法表征污染物对人群健康的致癌风险和危害商的方法。

3.2

概率暴露评估 probabilistic exposure assessment; PEA

采用蒙特卡罗法等概率方法对暴露参数数据进行概率统计分析，结合暴露量计算模型表征受体暴露量的方法。

3.3

合理最大暴露量 reasonable maximum exposure dose; RMED

在某一暴露情景下合理预计的最大暴露量，通常选择 95%分位值暴露量。

3.4

集中趋势暴露量 central tendency exposure dose; CTED

平均值或 50%分位值的个体暴露量。

3.5

敏感性 sensitivity; SS

当模型响应值受多个因素 i 的影响时，即 $y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，某一因素 X_i 在其取值范围内发生变化，其变化水平影响响应值 y 的大小。

3.6

微环境暴露 microenvironmental exposure; MEE

在人群停留于污染区域或接触环境污染物的时间长度内,经过每一块具有明显空间分割区域接触污染物的暴露。

3.7

精细化暴露情景 refining an exposure assessment scenario; REAS

在细化时间步长描述一个、部分或所有暴露参数在多途径暴露下,环境污染物经由不同方式迁移并到达暴露受体接触面的一种假设性场景描述。

4 评估程序与内容

4.1 评估程序

场地土壤污染概率健康风险评估的评估程序见图 1, 主要包括健康风险判定、概率暴露评估、概率健康风险表征和概率风险控制值确定 4 个方面。

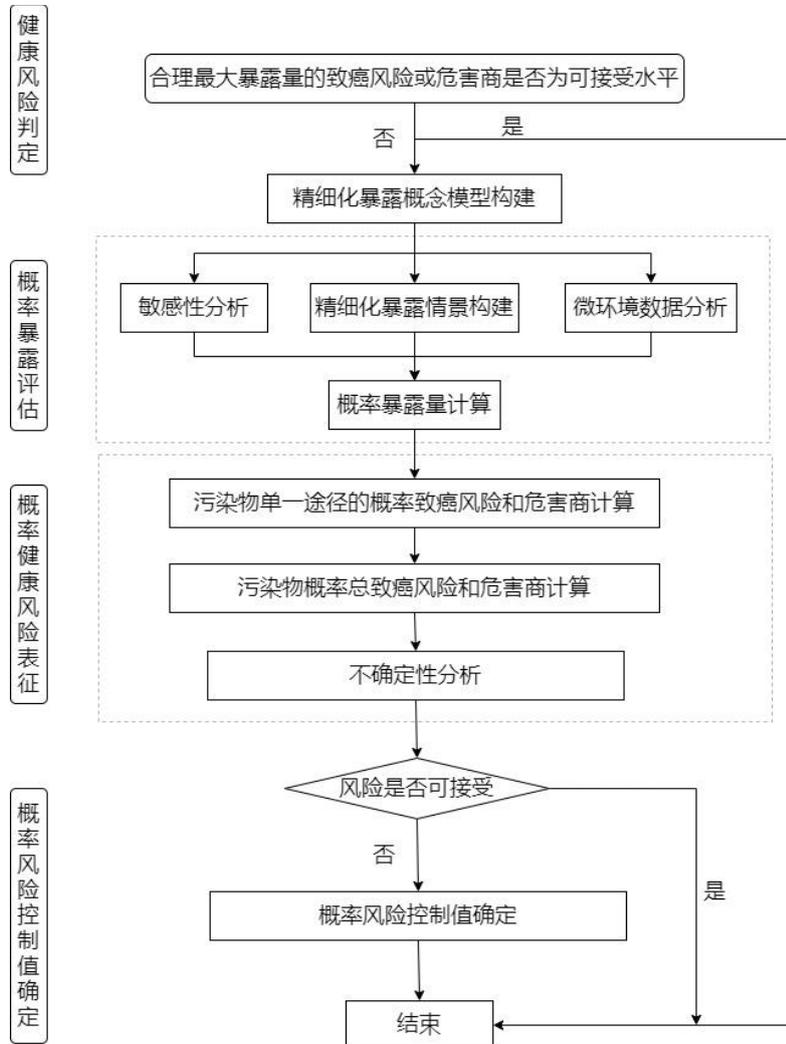


图1 概率健康风险评估程序

4.2 健康风险判定

根据健康风险评估模型, 计算集中趋势暴露量和合理最大暴露量的风险。

4.3 概率暴露评估

收集相关资料和数据，明确微环境暴露情景，掌握区域微环境的基本资料、特征污染物污染水平和范围、人群活动特点和生活方式，分析可能的敏感受体，如儿童等，构建精细化暴露概念模型。结合 HJ 25.3 中的土壤污染暴露计算模型，采用蒙特卡罗法等概率方法确定敏感性最大的暴露参数及评估微环境人群暴露量（蒙特卡罗模型见附录 A）。

4.4 概率健康风险表征

根据概率暴露量以及污染物的毒性参数，按照土壤污染风险计算模型（见 HJ 25.3），表征致癌风险和危害商。

4.5 概率风险控制值确定

在概率健康风险表征的基础上，判断合理最大暴露量的风险水平。如未超过可接受风险水平，则结束风险评估工作；如超过可接受风险水平，按照场地土壤风险控制值计算模型（见 HJ 25.3），采用蒙特卡罗法等概率方法确定土壤中目标污染物的风险控制值。

5 健康风险判定

5.1 根据 HJ 25.3 风险评估模型，采用污染物水平和其他暴露参数的平均值（或 50%分位值）和 95%分位值分别计算集中趋势暴露量和合理最大暴露量及其风险值。单一污染物可接受的致癌风险水平为小于 10^{-6} ，非致癌风险危害商为小于 1。

5.2 如合理最大暴露量的致癌风险和危害商均为可接受水平，则结束风险评估；如集中趋势暴露量的致癌风险和危害商均超过可接受水平，则结束风险评估；如合理最大暴露量的致癌风险或危害商超过可接受水平，则启动概率健康风险评估。

6 概率暴露评估

6.1 敏感性分析

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按照公式（1）和公式（2）计算，对于风险贡献率超过 20% 的单一暴露途径，采用敏感性比值法（见公式（3））计算暴露参数的敏感性，综合考虑参数的变化，确定参数值的取值范围，结合蒙特卡罗法等概率方法进行敏感性分析，识别敏感暴露参数。

$$PCR_i = \frac{CR_i}{CR_n} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

PCR_i ——单一污染物经第 i 种暴露途径的致癌风险贡献率，无量纲；

CR_i ——单一污染物经第 i 种暴露途径的致癌风险，无量纲；

CR_n ——单一污染物总暴露途径的致癌风险，无量纲。

$$PHQ_i = \frac{HQ_i}{HI_n} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

PHQ_i ——单一污染物经第 i 种暴露途径的非致癌风险贡献率，无量纲；

HQ_i ——单一污染物经第 i 种暴露途径的危害商，无量纲；

HI_n ——单一污染物总暴露途径的危害商，无量纲。

$$SR = \frac{\Delta P}{\Delta X} \times \frac{X_1}{P_1} = \frac{X_2 - X_1}{\frac{P_2 - P_1}{P_1}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- SR ——模型参数敏感性比例，无量纲；
- ΔP ——模型参数 P 变化前后的差值；
- ΔX ——模型参数 X 变化前后的差值；
- P_1 ——模型参数 P 变化前的数值；
- P_2 ——模型参数 P 变化后的数值；
- X_1 ——按 P_1 计算的致癌风险或危害商，无量纲；
- X_2 ——按 P_2 计算的致癌风险或危害商，无量纲。

6.2 精细化暴露情景

6.2.1 暴露途径的确定

根据场地的未来规划用途，确定其暴露途径。对于第一类用地、第二类用地和特定用地方式的暴露途径确定参照 HJ 25.3。

6.2.2 微环境暴露分析

6.2.2.1 本文件根据场地的未来规划用途，按照 6.1 的要求，分析微环境暴露情景，选择暴露评估模型。

6.2.2.2 根据 GB 50137 城市用地分类，本文件将微环境分为居住环境、公共管理与公共服务设施环境、商业服务业设施环境、工业环境、物流仓储环境、道路与交通设施环境、公用设施环境、绿地与广场 8 个一级类指标；一、二、三类用地居住环境、行政办公环境等 29 个二级类指标；住宅环境、服务设施环境等 36 个三级类指标，详见附录 B。

6.3 微环境数据分析

6.3.1 暴露参数数据

场地及周边敏感人群的暴露参数按照 HJ 25.1、HJ 839、HJ 875、HJ 876 和 HJ 877 中相关规定开展现场调查获得。若无法开展暴露参数现场调查，则取值优先顺序为国内行政主管部门组织的大规模调查给出的推荐值、基于国内文献综合分析筛选获得的数据、国际权威组织或机构给出的推荐值。

6.3.2 数据评估

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

6.4 概率暴露量计算

采用 HJ 25.3 中土壤暴露量计算模型，按照 6.2 和 6.3 的微环境分析，应用蒙特卡罗法等概率方法计算污染物单一途径暴露量和污染物多途径总暴露量。对于暴露量计算模型中暴露参数的变异性可通过概率密度函数（连续的随机变量）或概率质量函数（离散的随机变量）分析。

7 概率健康风险表征

7.1 技术要求

7.1.1 根据概率暴露量和污染物的毒性参数，结合 HJ 25.3 中土壤污染风险表征模型，对致癌风险和危害商进行表征。

7.1.2 以合理最大暴露量的风险值判定致癌风险和危害商的接受水平。

7.2 不确定分析

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健康风险判定、概率暴露评估和概率健康风险表征过程中的不确定性。其中，定量不确定性分析按照 GB/T 27921 中规定的蒙特卡罗模拟法。

8 概率风险控制值确定

当概率健康风险水平不可接受时，按照 4.5 的要求，采用蒙特卡罗法等概率方法计算污染物的风险控制值。

9 报告编制

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

附录 A
(资料性)
蒙特卡罗模型

蒙特卡罗模拟 (Monte Carlo Simulation) 是采用服从某一分布形式对变量或参数进行大量随机抽样模拟计算获得的分布情况。身高、体重等随机变量的暴露参数 Y 满足:

$$Y = f(X); X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

式中, x_i 为服从某一概率分布的随机变量; $f(X)$ 为函数关系式, 蒙特卡罗模拟通过直接或间接抽样生成每一随机变量的一个样本值, 然后代入上述公式求出函数值 Y , 反复独立模拟计算多次后得到函数 Y 的一组值 Y_1, Y_2, \dots, Y_n 。当模拟的次数足够多时, 就可由此来确定函数 Y 的概率特征。当抽样次数趋于无穷大时, 样本均值收敛于变量概率分布期望值的概率为 1。

附录B
(资料性)
微环境分类表

表B.1给出了微环境分类。

表 B.1 微环境分类表

一级类	二级类	三级类	微环境内容	暴露途径
居住环境	一、二、三类居住用地	住宅	住宅建筑环境及其附属道路、停车场等室内外微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径、经口摄入土壤途径和饮用地下水途径
		服务设施	居住小区及以下的幼托、文化、体育、商业、卫生服务、养老助残、公用设施等（不包括中小学）室内外微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径、经口摄入土壤途径和饮用地下水途径
公共管理与公共服务设施环境	行政办公环境	—	党政机关、社会团体、事业单位等办公机构及其他相关设施等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	文化设施环境	文化活动	综合文化活动中心、文化馆、青少年宫、儿童活动中心、老年活动中心等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	教育科研环境	大中小学	大学、学院、专科学校、研究生院、电视大学、党校、干部学校、技工学校、职业学校、中小学及其附属设施等室内外微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径、经口摄入土壤途径和饮用地下水途径
		科研、特殊教育	科研事业单位室内外，聋、哑、盲人学校及工读学校等室内外微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径、经口摄入土壤途径和饮用地下水途径
体育环境	体育场馆及体育训练	体育馆、游泳场馆、各类球场及其附属的业余体校等以及为体育运动专设的训练基地等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径	

表 B.1 微环境分类表（续）

一级类	二级类	三级类	微环境内容	暴露途径
公共管理与公共服务设施环境	医疗卫生环境	医院环境及其他医疗卫生	综合医院、专科医院、社区卫生服务中心等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径、经口摄入土壤途径和饮用地下水途径
	社会福利环境	—	福利院、养老院、孤儿院等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径、经口摄入土壤途径和饮用地下水途径
	文物古迹环境	—	具有保护价值的古遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺、近代代表性建筑、革命纪念建筑等室内外微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	外事、宗教环境	—	外国驻华使馆、领事馆、国际机构及其生活设施等室内外微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
商业服务业设施环境	商业环境	零售商业、批发市场	以零售功能为主的商铺、商场、超市、市场以及以批发功能为主的市场等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
		餐饮、旅馆	饭店、餐厅、酒吧等室内外微环境	经口摄入土壤途径和饮用地下水途径
	商务环境	金融保险及其他商务	银行、证券期货交易所、保险公司等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径
		艺术传媒	文艺团体、影视制作、广告传媒等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径
	娱乐康体及公用设施环境	—	剧院、音乐厅、电影院、歌舞厅以及绿地率小于65%的大型游乐等设施，赛马场、高尔夫、溜冰场、跳伞场、摩托车场、射击场以及通用航空、水上运动的陆域部分、公用设施营业网点等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
工业环境	一类工业工地	—	对居住和公共环境基本无干扰、污染和安全隐患的工业室内外微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径

表 B.1 微环境分类表（续）

一级类	二级类	三级类	微环境内容	暴露途径
工业环境	二类工业工地	—	对居住和公共环境有一定干扰、污染和安全隐患的工业室内外微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	三类工业工地	—	对居住和公共环境有严重干扰、污染和安全隐患的工业室内外微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
物流仓储环境	一类物流仓储环境	—	对居住和公共环境基本无干扰、污染和安全隐患的物流仓储室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	二类物流仓储环境	—	对居住和公共环境有一定干扰、污染和安全隐患的物流仓储室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	三类物流仓储环境	—	易燃、易爆和剧毒等危险品的专用物流仓储室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
道路与交通设施环境	城市道路环境	—	快速路、主干路、次干路和支路等室内外微环境，包括其交叉口环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	城市轨道交通	—	独立地段的城市轨道交通地面以上部分的线路、站室室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	交通枢纽环境	—	铁路客货运站、公路长途客运站、港口客运码头、交通枢纽及其附属设施室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	交通场站	公共交通场站	城市轨道交通车辆基地及附属设施、公共汽（电）车首末站、停车场（库）、保养场、出租汽车场站设施环境以及轮渡、缆车、索道等的地面部分机器附属设施室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	其他交通设施	—	除以上之外的交通设施，包括教练场等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径

表 B.1 微环境分类表（续）

一级类	二级类	三级类	微环境内容	暴露途径
公用设施环境	供应设施	供水、供电、供燃气、供热设施	城市取水设施、自来水厂、再生水厂、变电所、开闭所、储气站、加气母站、供热锅炉房、热力站等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
		通信及广播电视设施	邮政中心局、邮政支局、邮件处理中心、移动基站、微波站以及广播电视的发射、传输和监测设施室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	环境设施	排水防洪设施	雨水泵站、污水泵站、污水处理厂、防洪堤、防洪枢纽等设施及其附属的构筑物室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
		环卫设施	生活垃圾、医疗垃圾、危险废物处理（置）以及垃圾转运、公厕、车辆清洗、环卫车辆停放修理等设施室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	安全设施	消防设施	消防站、消防通信及指挥训练中心等室内外微环境	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	其他公用设施	—	除以上之外的公用设施室内外微环境，包括施工、养护、维修等设施	吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
绿地与广场	公园广场	社区公园或儿童公园用地	向公众开放，以游憩为主要功能，兼具生态、美化、防灾等作用的室外绿地微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径、经口摄入土壤途径和饮用地下水途径
		其它公园	向公众开放，以游憩为主要功能，兼具生态、美化、防灾等作用的室外绿地微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径
	防护绿地	—	具有卫生、隔离和安全防护功能的室外绿地微环境	皮肤接触土壤途径、吸入土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径