

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20230328003

蒋皓, 吴启堂. 从筛选值和用地方式角度探讨我国污染场地风险筛选标准的潜在问题[J]. 生态毒理学报, 2023, 18(6): 79-90

Jiang H, Wu Q T. Discussion on potential issues of risk controlling standards of contaminated sites in China from perspectives of screening values and land uses [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2023, 18(6): 79-90 (in Chinese)

从筛选值和用地方式角度探讨我国污染场地风险筛选标准的潜在问题

蒋皓^{1,2}, 吴启堂^{1,*}

1. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642

2. 广东省建筑科学研究院集团股份有限公司, 广州 510500

收稿日期: 2023-03-28 录用日期: 2023-09-07

摘要: 近年来我国的城市建设用地土壤污染调查与修复的市场快速增长,但同时产生了单个项目平均价格大幅下降、项目质量难以保证等问题,使得有效且准确的风险筛选和评估成为了贯穿污染场地风险管控全过程的关键。本文概述了我国现行污染场地风险筛选框架,分析“筛选值”和“用地方式”两大核心准则在框架中的关键地位。通过对文献报道、项目报告、地方标准的调研,本文分析了两大核心准则背后的问题,包括筛选值方面的筛选值保守性不明,复杂组分混合物的毒性参数不明,筛选值与检测结果之间缺乏统计学分析;用地方式方面的非居住型敏感用地处理不明,部分敏感用地方式归类模糊,“自上而下”评估方式需要调整等。通过分析现行污染场地风险筛选框架中的潜在问题,有助于制定更合理的污染场地风险筛选及管控框架,平衡保障人体健康安全与降低修复工程成本的两方面要求,为新污染物的筛选评估提供指导。

关键词: 污染场地;筛选值;用地方式;修复目标;健康风险评估

文章编号: 1673-5897(2023)6-079-12 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Discussion on Potential Issues of Risk Controlling Standards of Contaminated Sites in China from Perspectives of Screening Values and Land Uses

Jiang Hao^{1,2}, Wu Qitang^{1,*}

1. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Guangdong Provincial Academy of Building Research Group Co., Ltd., Guangzhou 510500, China

Received 28 March 2023 accepted 7 September 2023

Abstract: In recent years, the market for soil pollution investigation and remediation in urban development has grown rapidly in China. However, this has led to problems such as a significant drop in the average price of individual project and difficulties in ensuring project quality, which makes effective and accurate risk screening and assessment a critical issue throughout the entire process of contaminated site risk management. This paper outlines the risk screening framework for contaminated sites in China and analyzes the critical role of the two core criteria: “screening values” and “land use” in the risk assessment framework. Through research on literature, site projects, and regional standards, this paper analyzes the problems behind the two core criteria, including uncertainty in the

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC3701304);广东省建筑科学研究院集团股份有限公司课题“工业污染场地的污染物空间分布及风险评估研究”(0100RDY2021D0000375)

第一作者:蒋皓(1990—),男,博士,研究方向为污染场地调查及风险评估,E-mail: xpyhydham@gmail.com

* 通信作者(Corresponding author), E-mail: wuqitang@scau.edu.cn

conservativeness of screening values, unknown toxicity parameters for complex mixture components, and lack of statistical analysis between screening values and detection results. In terms of land use, the handling of non-residential sensitive land is unclear, the delineation of sensitive and non-sensitive land is unclear, and the “top-down” evaluation method needs adjustment. By analyzing the potential problems in the current risk screening framework for contaminated sites, this paper helps to develop a more reasonable framework for screening and risk-controlling of contaminated sites, balancing the two requirements of guaranteeing human health safety and reducing the cost of remediation projects, and providing guidance for the screening and evaluation methods of emerging contaminants.

Keywords: contaminated site; screening value; land use; remediation goal; health risk assessment

随着我国城市化进程的加速与原有工业场地的大规模搬迁,城市新建设用地面临的土壤及地下水污染问题愈发突出。2016年以来,《土壤污染防治法》《土壤污染防治行动计划》《污染地块土壤环境管理办法》《地下水管理条例》等国家法律法规集中颁布,相关国家及地方标准相继出台,使得城市建设用地的土壤污染调查与修复工作进入有法可依、稳步发展的快车道,大大提升了相关产业与市场的规模^[1]。

为了避免过度修复造成的浪费,基于风险等级的污染地块分级管控策略逐渐为多数国家认可。为了实现精准的污染土壤修复,需要基于场地土壤的采样检测结果和适当的人体健康风险评估模型,对场地土壤进行多层次的风险筛选和评估,以确定需要进行修复的污染位置、面积、深度及修复的目标^[2]。根据生态环境部环境规划院发布的报告,随着近年来土壤修复市场的快速增长,土壤场地调查等咨询类项目的数量激增,土壤修复工程市场的承载力已不能与之匹配^[3]。场地调查咨询项目利润下降、完成质量下滑、工期紧张乃至弄虚作假现象开始显现^[4]。同时,我国土地开发还存在一定的特殊国情,如土地国有、耕地保护、房地产企业主导等^[4]。由于我国污染场地风险评估框架的法律法规体系形成较晚,近年文献中虽有对相关制度的部分不完备之处的探讨^[2-5],但尚未有在构建整体框架的基础上,围绕制度中核心潜在问题的分析。在土壤修复行业逐渐进入成熟期的阶段,系统解析场地风险筛选及评估框架中的潜在问题,是平衡土壤修复中可见的成本与不可见的长期人体健康风险矛盾的关键一环。另一方面,随着生态环境部发布《新污染物治理行动方案》,开始对新污染物治理工作全面部署,分析现有污染物风险筛选框架中的潜在问题,有助于为新污染物确定更科学的筛选及评估制度。

本文从国内外相关技术导则出发,概括我国法律法规体系下,污染场地风险筛选的完整过程框架,分析“筛选值”和“用地方式”两大核心因素在风险筛选框架中的特殊地位。基于筛选值和用地方式两大核心因素,分析现行污染场地风险评估框架可能存在的问题,探索建立既保障人民群众的身体健康安全,又能提高土地流转效率、提升社会经济效益的土壤污染风险管控机制,并为建立新污染物筛查及评估机制提供理论参考。

1 污染场地风险筛选制度概述 (Summary of risk screening system of contaminated sites)

1.1 美国的污染场地风险筛选制度

本文以美国的立法过程为例,分析发达国家污染场地风险筛选制度的立法实践。美国的土壤污染治理由联邦政府制定的“超级基金”制度主导,全国的潜在污染场地通过危害排序系统评分后,危害性较大的划入由超级基金管理的“国家优先名录”。针对用作住宅用地的超级基金场地,美国环境保护局在1996年颁布的《土壤筛选导则》中给出了标准化的评价“七步法”: (1)建立场地概念模型(conceptual site model); (2)对比场地概念模型与筛选准则(Soil Screening Level Scenario); (3)收集必需土壤数据; (4)采样分析; (5)计算场地特性(site-specific)筛选值; (6)对比污染物浓度与筛选值; (7)划定后续关注范围^[6]。值得注意的是,《土壤筛选导则》提出了以统计学方法处理采样检测数据的“暴露面积”法,即以0.5英亩(2 023 m²)网格内的6处表层采样点为一个对比筛选值的决策单元。

美国环境保护局在2011年颁布了《区域筛选值用户指南》,给出了针对土壤、空气、水的“区域筛选值”(regional screening levels, RSL)和“区域清除管理值”(regional removal management levels, RML),两者基于美国标准场地风险评估模型,分别以“致癌风险 10^{-6} 或非致癌危害商1”及“致癌风险 10^{-4} 或

非致癌危害商3”为基准^[7]。区域筛选值假设了居民、室内工人、室外工人、建筑工人等受体,收录超过1 000项污染物指标,并保持每年更新。美国环境保护局强调RSL与RML均不是污染土壤的清洁标准(cleanup standards),实践中仍需结合场地情况计算特定的筛选值和制定污染场地的初步修复目标。美国环境保护局还在官方网站上提供了区域筛选值计算器,允许用户根据自行设定的场地特征参数推导目标污染物的筛选值。

对于居住用地以外的土地利用类型,美国环境保护局在2002年发布的《土壤筛选水平补充指南》中进行了详细规定。其中,典型居住用地和工商业用地可使用通用或场地特征方法推导筛选值,若场地需要重新建设,还应进一步考虑建筑施工场景,推导保护施工工人和场外居民的筛选值。其他非居住用地应结合实际的暴露参数调查,进行详细的场地特性筛选^[8]。

除美国外,加拿大、澳大利亚、英国等发达国家也相继建立了以污染物的通用筛选值和预先设定的用地方式两大指标为基础,对具体场地进行基于风险的分级管理的污染场地土壤筛选制度。发达国家对污染地块分级管理的立法方向大多借鉴美国超级基金制度的宗旨,即以具体地块的场地概念模型及污染状况评级为主,将通用性的筛选值、用地方式等指标作为污染状况评估的辅助指导,如澳大利亚将广谱污染物健康效应和生态效应的筛查标准均称为“调查值”(investigation levels)^[9],加拿大、英国则将健康效应筛查标准称为“指导值”(guideline values)^[10-11]。发达国家的土壤筛查标准基本会给出“居住用地”和“工商业用地”两大基本用地方式的基准值,部分国家会针对特殊的暴露场景,如社区公园、带花园的住宅等,给出专门的筛查标准。整体上,发达国家污染场地风险筛选立法大多由特定场地的风险筛选出发,再制定筛选值等通用性筛查标准作为辅助。

1.2 我国现行污染场地风险筛选制度概述

我国对建设用地土壤污染基于健康风险的系统性立法工作起步于2010年代初期,在以美国为代表的发达国家污染场地风险评估模型的基础上,北京、上海、浙江等省市先行制定了本地的风险评估技术导则及土壤筛选值,用以指导本地大型工业场地搬迁后的修复工程。随着国家土壤污染防治的法律法规和纲领性文件的颁布,以《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)^[12]和修订后的《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)^[13]为代表的国家标准文件相继发行,初步确立了我国对污染场地风险筛选管理的基本框架。本文结合流程图(图1),参考美国《土壤筛选导则》的“筛选”概念,简述我国制度中现有的污染场地风险筛选规定。

1.2.1 启动筛选——疑似污染场地认定

根据《污染地块土壤环境管理办法》等法律法规规定,我国对疑似污染场地筛查采取强制性启动制度,场地未来用途变更为住宅、公共管理与公共服务用地,或场地历史上曾从事污染性行业生产或原料、废物贮存处置活动,即必须开展污染状况调查,遵循《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1)规定的标准流程^[14]。

1.2.2 一级筛选/二级筛选——筛选值层级

一级筛选和二级筛选分别对应导则(HJ 25.1)中的初步采样调查和详细采样调查,两者皆基于污染物采样调查,通过强制性通用标准筛选值执行污染场地和污染点位的筛选。由图1所示,一级和二级的筛选均需要获取3项核心书面准则:待测污染物指标、用地方式、筛选值,在我国污染场地标准体系中,三者大部分来自书面标准文件的强制性规定。污染物指标方面,国家标准(GB 36600)规定了疑似污染场地应采样检测的45项必测指标(包含重金属和有机污染物),同时应结合场地调查检测相应的特征污染物。用地方式方面,国家标准(GB 36600)要求在调查场地先行由规划部门制定土地规划,调查机构再依照规划方案,将相应区域划为第一类(敏感)用地或第二类(非敏感)用地,如果调查场地无规划方案,则应全部视为第一类用地。筛选值方面,调查机构须对必测指标及特征指标,按确定的第一类用地或第二类用地获取统一的筛选值和管制值,其中污染物浓度超过相应筛选值的点位应进行风险评估,超过管制值则视为存在明显风险;不在国家标准内的指标,一般可参考地方标准或依据国家风险评估导则中的模型推导。按场地调查导则完成现场布点采样环节后,直接比对采样检测结果和筛选值(同时应参考清洁对照组的检测结果),筛选出所有超标离散点位。

根据场地调查导则,初步调查和详细调查适用的筛选标准基本相同,但在行政管理角度上,二者对应不同的政府层级^[15],因而仍适合划分成2个独立

的筛选级别。调查方在初步采样调查报告中认定场地无污染并通过评审后,即可使场地直接投入后续流转。考虑到调查场地最终认定为污染场地的比例约为10%^[16],一级筛选实际具有相当关键的分级管理地位。

1.2.3 三级筛选——风险评估层级

我国土壤污染状况调查系列导则将场地的人体健康风险评估设置为独立于采样检测的环节,须在获取全部土壤及地下水详细采样数据后执行^[13]。根据风险评估导则(HJ 25.3)的规定,风险评估环节需要基于离散的污染物检测数据,通过标准风险评估

计算模型,按“致癌效应 $>10^{-6}$ 或非致癌效应危害商 >1 ”的标准,筛选出风险超标点位,并划定连续的污染风险区域。由风险评估导则(HJ 25.3)的细节可知,风险评估层级筛选的书面准则大体继承筛选值层级(图1),如场地暴露参数的推荐值由与筛选值层级相同的第一类或第二类用地方式确定,只在暴露途径上建议结合场地实际调整。由离散点位至连续风险区域的环节主要由基于场地暴露参数获得的风险控制值,与筛选值、背景对照值比对后,通过插值方式划定场地中的连续修复区域,从而完成全部筛选流程^[17]。

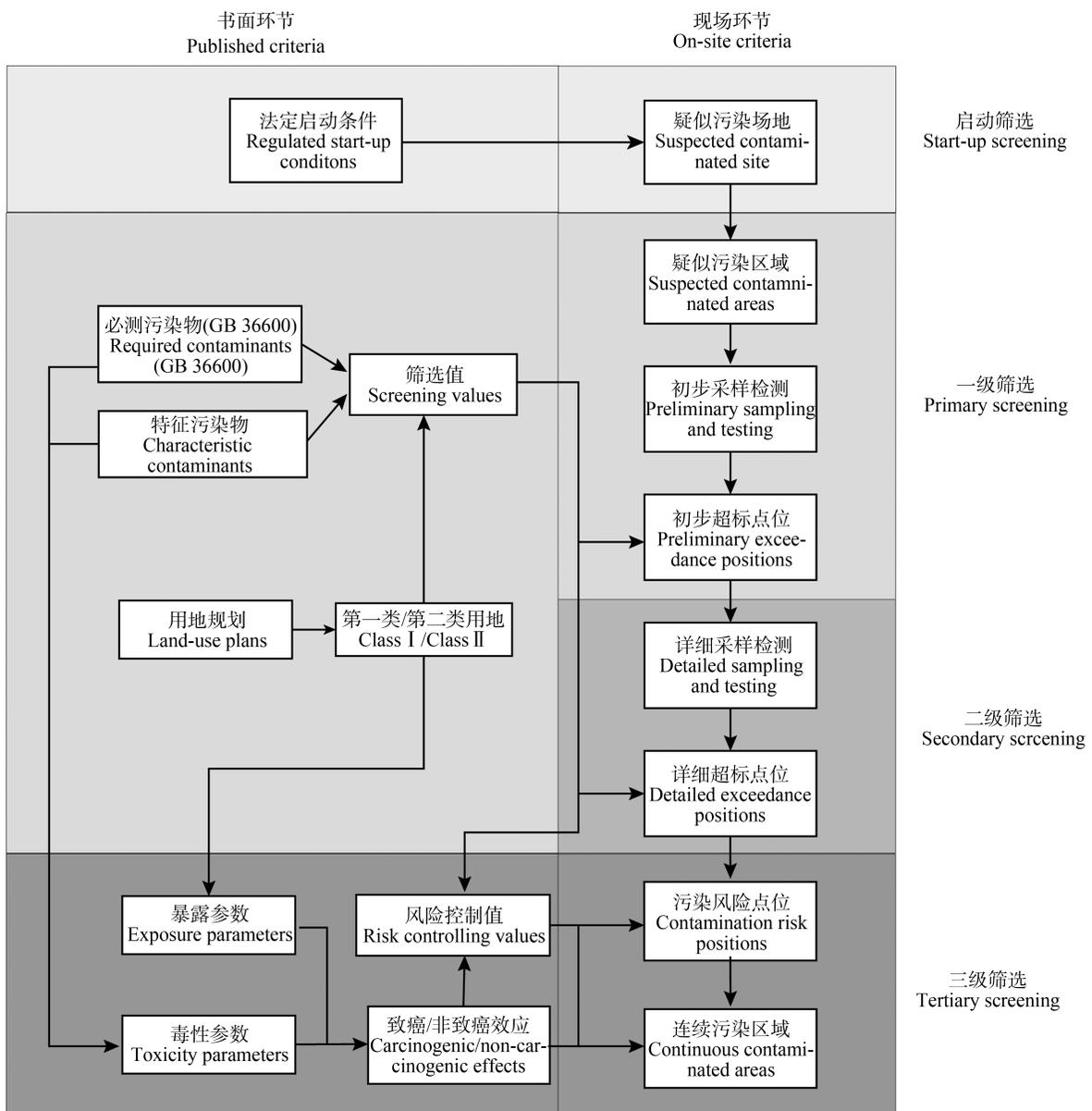


图1 中国污染场地风险筛选框架的过程示意图

Fig. 1 Scheme of the procedure of contaminated site risk screening framework in China

对比我国和发达国家的污染场地风险筛选立法,作为后发国家,我国的初期立法更强调基于强制性统一标准的管理模式,即先由地方标准或国家标准立法制定关键污染物指标的土壤环境质量标准,再逐步过渡到基于具体场地的精细化管理。在我国土地制度和行业短期发展的限制下,初期的污染场地治理标准体系中“筛选值”和“用地方式”等统一性标准具有较大的强制效力。两者在法规体系上存在较多共性:(1)均是由单独的国家标准(GB 36600和GB 50137)规定,与场地调查建立的实际概念模型无关;(2)效力均贯穿风险筛选框架中三级筛选的全过程;(3)均有较大的强制力,在实践中容易成为“一刀切”筛选的制度依据。因而,分析“筛选值”和“用地方式”两大准则在场地风险评估实践中的潜在问题,可以有效把握现行场地风险评估框架的改进方向。

2 我国污染场地风险筛选制度的问题探讨 (Discussion of issues of the risk screening system of contaminated sites in China)

2.1 筛选值问题

经过污染场地治理的多年工程实践,国际上对“筛选值”概念的共识是:筛选值不是特定场地的清洁标准或修复目标,而是污染场地中最坏的人体健康风险条件下的污染物风险限值^[6, 12]。采样点位检测出的污染物浓度超过筛选值,表明该点位需要进行进一步调查。由于土壤污染的空间异质性较高,且实际人体健康风险与场地的暴露条件关系密切,使得相较于水、大气等领域通行的“排放标准”限值,土壤环境质量标准更适合设置成多层次式“筛选”指标,并考虑到指标的保守性和有效性。本部分以我国现行的GB 36600—2018标准及配套编制说明为例,分析现行土壤筛选值制度的潜在问题。

2.1.1 筛选值的定值问题

我国标准筛选值制定的基本思路如图2所示,针对各项指标制定了“筛选值”和“管制值”,并规定

两者之间为“须进行风险评估”区间。参考国家标准(GB 36600)的编制说明,我国污染物指标筛选值的定值整体上基于风险评估导则(HJ 25.3)的相同模型,但对砷、钴、钒3项重金属指标进行了背景值调整^[18]。本文按照现行风险评估导则,基于第一类用地条件下的全部暴露途径默认参数,对选取的3种重金属指标(未经背景值调整)和7种有机物指标,计算了各指标的推算筛选值。如表1所示,10项指标中有6项的推算值实际低于国家标准(GB 36600)的定值,3项二者相同,1项的推算值更高。推算值低于标准筛选值的指标包含重金属(汞)、挥发性有机物(苯、氯甲烷、四氯乙烯)和半挥发性有机物(硝基苯、萘)。在表1中同步给出了美国环境保护局提供的最新区域筛选值。可以看出,我国重金属和挥发性有机物指标的筛选值定值整体皆低于美国的通用区域筛选值,半挥发性有机物指标高于美国筛选值,而各大类污染物皆有通用筛选值高于模型推算值的情况。

在表2中收集了8份2018年以来在互联网上公开的污染场地修复报告或效果评估方案,统计了其中修复目标值等于筛选值的情况(排除已经过背景值调整的砷,另位于北京、浙江的场地在报告发布时使用的是当地较早颁布的筛选值)。经过针对场地的风险评估后,以筛选值作为修复目标值的案例仍较为普遍,如重金属中的镉、汞、铅,多数多环芳烃及石油烃等指标。根据我国生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心对污染场地数据库的调查,全国只有约2%的场地能够采用精细化评估方法确定修复目标值,而绝大部分场地在简单计算风险控制值后,实质仍只是以筛选值作为最终的修复目标值^[9]。综合以上数据,我国的标准筛选值在国际标准和风险评估技术模型之间的保守性尚不明确,但由于筛选值具有法律层面的强制效力,最终后果可能是风险评估环节的技术模型计算流于形式,使得全国性的土壤筛选值实质充当了类似水质标准的普遍性限值。

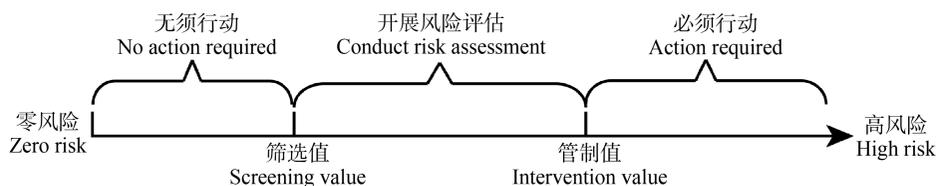


图2 污染土壤筛选的概念示意图

Fig. 2 Conceptual spectrum for the screening of contaminated soils

表1 部分污染物指标的我国国家筛选值、全暴露途径推算值与美国筛选值对比

Table 1 Comparison of the national standard screening values of China, the derived values with all exposure pathways, and the US regional soil screening level (SSL) for selected contaminants

污染物 Contaminant	中国国家筛选值 GB 36600-第一类用地/(mg·kg ⁻¹) National screening values GB 36600- Type I lands in China /(mg·kg ⁻¹)	中国全暴露途径推算值 /(mg·kg ⁻¹) Derived values with all exposure pathways in China /(mg·kg ⁻¹)	美国环境保护局区域 筛选值/(mg·kg ⁻¹) US EPA regional SSL /(mg·kg ⁻¹)	类别 Type
铜 Cu	2 000	2 000	3 100	重金属 Heavy metals
镉 Cd	20	20	71	
汞 Hg	8	4.45	11	
苯 Benzene	1	0.76	1.2	挥发性有机物 (VOCs)
甲苯 Toluene	1 200	1 597	4 900	
氯甲烷 Chloromethane	12	5.10	110	挥发性有机物 compounds (VOCs)
四氯乙烯 Perchloroethene	11	8.72	24	
硝基苯 Nitrobenzene	34	27.85	5.1	半挥发性有机物(SVOCs) Semi-volatile organic compounds (SVOCs)
萘 Naphthalene	25	3.76	2	
苯并(a)芘 Benzo[a]pyrene	0.55	0.55	0.2	

表2 选取污染场地修复方案中修复目标值等于筛选值的情况统计

Table 2 Statistics of records in which target values for remediation equal to screening values in selected contaminated site remediation plans

场地编号 Number	超标重金属指标 Heavy metal exceedance	超标有机物指标 Organic compound exceedance	用地类型 Land-use type	所在位置 Location	报告来源 Resource
1	汞 Hg、铅 Pb	-	敏感 Sensitive	北京 Beijing	[20]
2	-	苯并(a)芘 Benzo[a]pyrene	敏感 Sensitive	上海 Shanghai	[21]
3	镉 Cd、铅 Pb	-	敏感 Sensitive	华东 Eastern China	[22]
4	镉 Cd、铅 Pb	苯并(a)蒽、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、 二苯并(a,h)荧蒽、茚并(1,2,3-cd)芘 Benzo[a]anthracene, benzo[a]pyrene, dibenz[a,h]anthracene, benzo[k]tetrathene, indeno(1,2,3-cd)pyrene	非敏感 Non-sensitive	浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang	[23]
5	-	1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘 1,2,3-trichloropropane, benzo[a]pyrene	敏感 Sensitive	浙江宁波 Ningbo, Zhejiang	[24]
6	-	苯并(a)芘、石油烃 Benzo[a]pyrene, petroleum hydrocarbons	非敏感 Non-sensitive	江苏泰州 Taizhou, Jiangsu	[25]
7	-	苯并(a)芘、石油烃 Benzo[a]pyrene, petroleum hydrocarbons	非敏感 Non-sensitive	广东广州 Guangzhou, Guangdong	[26]
8	-	苯并(a)芘、石油烃 Benzo[a]pyrene, petroleum hydrocarbons	敏感 Sensitive	甘肃庆阳 Qingyang, Gansu	[27]

2.1.2 复杂组分污染物的筛选值和相应毒性评估参数问题

根据编制说明,我国国家标准对部分毒性机制较复杂的污染物指标,如铅、铬、氰化物、多氯联苯、

总石油烃等,先行规定了对应于标准检测方法的筛选值,但不在风险评估导则中给出明确的致癌效应或非致癌效应毒性评估参数。现行场地调查实践中,相比直接适用的筛选值,复杂组分污染物的风险

评估流程仍暂缺标准化的技术指导,实际项目中仍可能倾向于直接使用筛选值。

近年来,复杂组分污染物筛选值与精细化毒性评估的问题得到了学者的关注。如对于多氯联苯,崔勇等^[28]指出我国标准筛选值中的多氯联苯总量指标为12种共平面多氯联苯总和,但现实中多氯联苯不同组分占比的变化幅度较大,国家标准筛选指标较实际风险水平宽松。对于石油烃,我国标准筛选值只取芳香类石油烃C₁₀~C₁₆段的毒性参数计算的数值(参数取自我国香港特别行政区的修复目标值)^[29]。我国上海市在2020年颁布的技术导则中,借鉴美国德克萨斯州提供的石油烃技术参数,给出了一组石油烃分馏分评估的建议,包括原油类、汽油类、柴油类、润滑油类、混合油类五大典型行业,并给出了各行业遗留石油烃混合物中各碳段组分的质量分数,以及每种组分的理化参数和毒性参数^[30]。张若男^[31]对比了GB 36600筛选值与按我国香港特别行政区、美国德克萨斯州、美国环境保护局等的分馏分毒性参数计算的石油烃筛选值,指出我国现行的指示馏分方法规定的筛选值偏保守。由此可见,我国目前对复杂组分污染物的管理思路仍是先行立法制定筛选值,但不明确规定执行风险评估环节的精细化毒性评估参数。未来工作,尤其是在有机农药、溴阻燃剂、全氟磺酸(PFAS)等新污染物的环境质量标准制定中,对筛选值和精细化毒性评估参数的协调处理仍是标准立法的关注焦点。

2.1.3 筛选值与检测结果的统计分析问题

受物质自然迁移和人类活动影响,污染物在土壤中的分布通常具有很大的空间异质性。且现行污染场地调查采用的钻孔取样技术只能提取极小点位处的土壤,采样调查结果与真实污染物分布之间存在较大的不确定性^[32],使得简单对比土壤样品检测结果与单一筛选标准未必能反映场地整体的污染状况,需要关注检测数据的统计学特性。我国的相关标准与导则对土壤污染空间分布的统计学方法规范仍较为简单,如场地调查导则(HJ 25.1)简单提及对比检测结果与环境质量标准时须“经过不确定性分析”^[41],风险评估导则(HJ 25.3)提到评估时可取污染物平均值的置信区间上限等,但没有较系统的统计学方法指导。

发达国家的污染场地实践对筛选值与污染物检测结果的统计分析普遍有较全面的规定,如英国环保署的《土壤污染浓度与临界浓度比较导则》(简称

“CL:AIRE 导则”)对污染场地风险管理决策中筛选值、修复目标值等土壤环境临界指标与场地检测指标的统计分析进行了详细规定^[33]。美国环境保护局《土壤筛选导则》也给出了使用筛选值时的定量不确定性分析方法,对使用多份采样检测结果的最大值、平均值或平均值的95%置信区间上限的场合进行了明确规定^[6]。美国环境保护局还进一步开发了用于污染场地环境数据的统计学分析处理的ProUCL软件,供污染场地管理人员处置相关检测数据^[34]。武文培等^[35]研究了英国CL:AIRE导则和美国ProUCL导则在我国的一处蔡污染场地中的应用,得出虽然该场地的表层和深层土壤均有采样点位检出的蔡超出国家标准筛选值,但经过统计学分析推导的真实平均浓度显示,只有深层土壤的蔡需要进行详细风险评估。我国目前有部分省份,如江西、广东等,在地方性技术导则或调查报告评审规则中补充了简单的检测结果统计学处理事项,包括孤立超标点位、大量接近而未超标点位、轻微超标点位等情况^[36-37]。

2.2 用地方式问题

世界各国在制定土壤筛选值和风险评估导则时,都会通过给出一系列包含参考暴露参数及暴露途径的用地方式,以便快速确定通用筛选值和风险评估模型,加速对污染区域的筛选。发达国家通常以“居住用地”和“工商业用地”为开展风险评定的基准,多数国家也将“公园或娱乐用地”作为参考用地形式^[38]。对我国而言,城市建设用地开发往往是“自上而下”模式,即先由土地规划部门制定控制性详细规划,确定规划用地类型后,再由政府生态环境部门组织开展环境调查与修复。此流程下,公共环境卫生层次的场地风险评估必须依赖上位的土地规划标准。我国早期颁发的地方标准中,北京市^[39]、重庆市^[40]、浙江省^[41]采用了与国外类似的划分法,而上海市在2015年首次参照住房和城乡建设部《城市用地分类与规划建设用地标准》(GB 50137—2011)提出了“敏感用地/非敏感用地”分类方式(现已废止)^[42-43]。2018年颁布的国家标准(GB 36600)采用了上海市的分类方式,并缩小了敏感用地的范围。在近年的场地调查实践中,部分地方政府和从业者逐渐注意到了这一机制的潜在问题,其中主要的关注点如下。

2.2.1 非居住性敏感用地问题

在我国制度体系下,筛选值层级(GB 36600)与

风险评估层级(HJ 25.3)使用同样的用地类型划分。从 HJ 25.3 给出的推荐参数(主要是暴露周期)看,敏感用地(第一类用地)与非敏感用地(第二类用地)在定量暴露模型上的实质仍是居住用地和工商业用地。基于筛选值的普适性和保守性要求,在初步筛选阶段,“敏感用地”的适用标准适合按最严格的居住用地执行。但对于介于“敏感”与“非敏感”之间的部分公共服务用地、公园绿地等情形,由于导则对暴露参数细则的规定有限,以致在风险评估环节仍只能执行居住用地标准,导致得到的风险控制值偏低,提高后续修复成本。Ji 等^[44]根据我国的风险评估导则,计算了 12 种典型有机污染物对应我国国家标准(GB 50137)中各类用地方式的调整风险筛选值,结果显示调整后公共服务用地(包括有儿童受体的敏感用地和只有成人受体的非敏感用地)的筛选值普遍在居住用地的 6 倍~12 倍。Wu 等^[45]基于实际调研数据,通过传统污染场地暴露评估模型(CLEA 模型)推导了适用于北京市公园用地的若干重金属和有机污染物的土壤环境标准,得出对具有“敏感”属性的公园,多数污染物的推算值都高于国家标准第一类用地筛选值,即国家标准筛选值本身偏保守。综合上述研究,如果场地调查方只按居住用地的暴露参数执行风险评估,计算出非居住性敏感用地的风险控制值会明显偏低(低于筛选值),最终仍只能由通用筛选值充当修复目标值,风险评估环节失去实质作用。

2.2.2 敏感性归类模糊问题

我国污染场地相关标准及导则划定敏感用地与非敏感用地的核心依据是“土地上有无儿童暴露”^[12],但划分用地类型的依据全部来自住房及城乡建设部制定的 GB 50137 标准,后者并未按“成人/儿童”确定细分用地类型^[43],导致部分规划中的用地方式的敏感性归类模糊,可能出现有敏感受体的场地按非敏感场地认定或相反的“倒挂”问题。在表 3 中汇总了国家标准的“非居住性敏感用地”(认定为“第一类用地”的非居住用地方式)^[12]和深圳市地方标准增加的部分用地方式^[46]。一方面,国家标准规定的非居住敏感用地中,医疗卫生用地、社会福利设施用地(福利院、养老院)、社区公园等用地类型都不包含长期的儿童暴露情景,按假设存在儿童长期暴露的居住用地评估可能偏严苛。另一方面,深圳市在 2020 年颁布的地方标准中补充了一部分在国家标准中未归入敏感用地,但包含明显的儿童暴

露场景的用地方式,包括:青少年宫、儿童活动中心、中等专业学校,以及带有居住或公共管理服务功能的商业公寓或新型产业用地等^[46]。此外,博物馆、科技馆、体育场馆等用地在现实使用中往往也存在高频率的儿童暴露。由于现行标准对用地方式的“敏感”与“非敏感”采取简单的二分归类,存在明显敏感受体的场地若被归入基于工商业用地的风险评估计算模型,则可能导致污染场地整体无法被正确认定,进而影响场地调查修复过程的整体走向。综合国家与地方的立法实践,土壤环境质量立法可适当借鉴深圳市经验,以地方标准或技术导则的形式弥补用地方式的归类模糊问题。

2.2.3 “自上而下”评估问题

由前述可知,我国“自上而下”的用地规划模式使得城市土地规划与污染场地的环境管理适用不同标准文件,而位于下位的环境管理机构在制度上不易执行更精细化的风险评估规则。近年来已有学者对场地修复实践中细分区域规划对风险评估结果的影响进行了研究。如张丽娜等^[47]研究了北京市某大型苯污染场地,分别计算了采用单一用地规划和考虑多种用地方式的风险水平和修复目标值,结果显示单一用地规划会淡化场地内局部高风险区的风险水平,同时高估低风险区的风险,最终增加场地整体的修复成本。邓一荣等^[48]研究了同一污染场地根据采样检测结果修正不同规划分区后的风险评估结果,发现修正场地分区规划后可在保证消除风险的前提下将修复成本最高降低 38.6%。Ji 等^[49]针对规划为交通场站、城市道路、地铁等非居住用地方式的某制药企业遗留污染场地进行了精细化风险评估,得出常规非敏感用地暴露假设下相关用地方式的苯并芘致癌风险控制值可达实际情景的 189 倍。也有国内学者通过生物可给性和概率评估结合的方式,给出了重金属^[50]和多环芳烃^[51]的场地特性优化修复目标值。考虑到“用地方式”的认定贯穿场地调查与修复全过程,在保证初级筛选的前提下,针对具体场地分析实际暴露途径,精细化终端筛选中的用地形式,是减少污染筛选误差的低成本且有效的方法。

3 结论与展望(Conclusion and perspectives)

综合本文对我国污染土壤筛选制度的构建与分析可知,我国现行的土壤筛选制度建立时间较短,受国情和市场形势影响,筛选制度较大程度依赖于强

制性通用标准。对于污染场地筛选过程中可能产生的误差,相关制度尚未建立明确的分析及规避机制。根据本文分析,我国的土壤污染筛选制度主要存在两大方面的问题:(1)前期筛选值层级缺少保守性评估,而后期风险评估层级与前期分离,使得通用筛选值的效力可能过大,风险评估环节难以发挥效用;(2)用地类型划分的标准分别来自城市规划与生态

环境部门,两者间可能存在不兼容,造成风险评估结果不准确,甚至出现“风险倒挂”问题。应注意“本有污染风险,被筛选过程排除”的情况,尤其是因筛选值的保守性定位存在偏差,导致检出污染风险在初步调查阶段即被通用筛选值排除,以致风险评估环节完全未开展(如存在儿童暴露的场地被划入非敏感用地的情况)。

表3 国家标准与深圳市标准中的非居住型敏感用地划分

Table 3 Classification of non-residential sensitive land-use in the national and Shenzhen municipal standards in China

规划用地类型 GB 50137 Land use type GB 50137	国家标准 GB 36600 National standard GB 36600	深圳市标准 Shenzhen municipal standard
		中小学、医疗卫生、社会福利设施 Middle and primary school, medical and hygiene, social-welfare facility
公共管理与公共服务用地(A) Public administration and public service lands (A)	-	青少年宫、儿童活动中心、老年活动中心 Children's palace, children activity center, senior activity center
	-	高等院校、中等专业学校、特殊教育学校 Higher education, secondary vocational school, special education school
绿地与广场用地(G) Green space and square lands (G)		社区公园、儿童公园 Community park, children park
	-	综合公园、专类公园 Multi-functional park, specified park
商业服务业设施用地(B) Commercial and service facility lands (B)	-	商务公寓 Commercial apartment
工业用地(M) Industrial lands (M)	-	新型产业用地(包含住宅或公共管理与公共服务设施) Novel industry land (containing residence or public administration or service facilities)

总体上,污染筛选过程应尽量遵循“先严格后宽松”的基本准则,即前端筛选环节采用尽量保守的标准,至终端环节引入更多实地性指标。若场地进入修复阶段,可利用修复技术的工程设计余量来消除筛选的误差,这是平衡健康风险和修复成本的较合理策略。“先严格后宽松”的筛选准则也已在近年实践中得到认可,如多处地方导则开始接受了上海市给出的石油烃分碳段评估方法,并在导则中给出的详细的定量指导^[37,52]。近年来,国内报道了多处在筛选值基础上基于生物可给性分析、概率评估等精细化方法获得更合理修复目标值的实际场地案例^[50,53-54]。我国生态环境部也在2022年发布了《建设用地土壤污染修复目标值制定指南(试行)》^[55],说明我国对城市污染场地的管理正朝着精细化、科学化的方向发展。另一方面,随着我国开始重视新污染物治理,现有风险筛选框架中存在的筛

选值保守性不明、混合组分毒性表示不明等问题,也需要在新污染物的立法工作中予以重视。结合发达国家的制度经验,我国污染场地土壤筛选制度的未来发展也势必会更重视“基于风险”“场地特性”等核心原则,更强调以风险因素控制污染筛选全过程,淡化“一刀切”属性。

通信作者简介:吴启堂(1962—),男,博士,教授,研究方向为土壤污染防治、城市污水污泥的处理与利用。

参考文献 (References):

- [1] 孙宁,徐怒潮,李静文,等. 2020年我国土壤修复行业发展概况及“十四五”时期行业发展态势展望[J]. 环境工程学报, 2021, 15(9): 2858-2867
Sun N, Xu N C, Li J W, et al. Development of soil remediation industry in 2020 and outlook for the 14th Five-Year Plan period [J]. Chinese Journal of Environmental

- Engineering, 2021, 15(9): 2858-2867 (in Chinese)
- [2] 袁贝, 杜平, 李艾阳, 等. 污染地块层次化风险评估发展历程与研究进展[J]. 环境科学研究, 2023, 36(1): 19-29
Yuan B, Du P, Li A Y, et al. Development and research progress of tiered risk assessment of contaminated sites [J]. Research of Environmental Sciences, 2023, 36(1): 19-29 (in Chinese)
- [3] 徐怒潮, 范云, 孙宁, 等. 2021年土壤环境修复行业市场分析报告[R]. 北京: 生态环境部环境规划院北京高能时代环境技术股份有限公司, 2022
- [4] 孙宁, 徐怒潮, 丁贞玉, 等. 我国土壤修复行业发展的主要问题与对策建议[R]. 北京: 生态环境部环境规划院生态环境工程咨询中心, 2022
- [5] 孔坤, 张猛, 宁增平, 等. 国内外污染场地环境风险评估框架形成与发展[J]. 生态毒理学报, 2023, 18(1): 124-137
Kong K, Zhang M, Ning Z P, et al. A review of formulation and development of domestic and foreign environmental risk assessment frameworks for contaminated sites [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2023, 18(1): 124-137 (in Chinese)
- [6] United States Environmental Protection Agency (US EPA), Office of Solid Waste and Emergency Response. Soil screening guidance [S]. Washington DC: US EPA, 1996
- [7] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Regional screening levels (RSLs)—User's guide [S]. Washington DC: US EPA, 2022
- [8] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites [S]. Washington DC: US EPA, 2002
- [9] National Environment Protection Council. National environment protection (assessment of site contamination) measure 1999 Volume 2: Schedule B1 guideline on investigation levels for soil and groundwater [S]. Canberra, Australia: National Environment Protection Council, 2013
- [10] Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Guidance manual for environmental site characterization in support of environmental and human health risk assessment volume 1 guidance manual [S]. Winnipeg: CCME, 2016
- [11] UK Environment Agency. A guide to using soil guideline values [S]. London: Environment Agency, 2009
- [12] 中华人民共和国生态环境部, 国家市场监督管理总局. 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 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018
- [13] 中华人民共和国生态环境部. 建设用地土壤污染风险评估技术导则: HJ 25.3—2019 [S]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2019
- [14] 中华人民共和国生态环境部. 建设用地土壤污染状况调查技术导则: HJ 25.1—2019 [S]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2019
- [15] 深圳市生态环境局, 深圳市规划和自然资源局. 深圳市建设用地土壤污染状况调查与风险评估工作指引[R]. 深圳: 深圳市生态环境局, 深圳市规划和自然资源局, 2021
- [16] 吴俭, 邓一荣, 林龙勇, 等. 广州市建设用地土壤污染风险管控和修复现状、问题与对策[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(3): 1-4, 14
Wu J, Deng Y R, Lin L Y, et al. Risk control and soil remediation of construction land in Guangzhou: Current situation, problems and countermeasures [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2021, 33(3): 1-4, 14 (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国生态环境部. 建设用地土壤修复技术导则: HJ 25.4—2019 [S]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2019
- [18] 环境保护部南京环境科学研究所. 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)(征求意见稿)》编制说明[R]. 南京: 环境保护部南京环境科学研究所, 2018
- [19] 熊杰, 周友亚, 张超艳, 等. 场地土壤修复目标值制定方法与政策[J]. 环境工程学报, 2023, 17(1): 197-206
Xiong J, Zhou Y Y, Zhang C Y, et al. A study on methodology and policies for developing soil remediation target value of contaminated sites [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(1): 197-206 (in Chinese)
- [20] 北京首创环境科技有限公司, 北京金隅红树林环保技术有限责任公司. 顺义区高丽营镇 SY02-0200-6002 地块土壤修复项目实施方案[R]. 北京: 北京首创环境科技有限公司, 北京金隅红树林环保技术有限责任公司, 2021
- [21] 董佩瑾. 某多环芳烃污染场地土壤修复方案设计[J]. 山东化工, 2020, 49(8): 278-280
Dong P J. Scheme design of PAHs contaminated site remediation project [J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(8): 278-280 (in Chinese)
- [22] 徐博阳. 华东某市污染场地土壤修复工程方案设计[J]. 广东化工, 2021, 48(4): 244-246, 241
Xu B Y. Design of soil remediation project for a contaminated site in a city in East China [J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(4): 244-246, 241 (in Chinese)
- [23] 生态环境部南京环境科学研究所土壤污染防治研究中心. 杭钢旧址公园 GS1303-12/14 地块土壤修复工程

- 效果评估报告[R]. 南京: 生态环境部南京环境科学研究所土壤污染防治研究中心, 2021
- [24] 韩正平, 张立伟, 杨永健. 垃圾填埋场土壤修复治理方案研究: 以宁波市某垃圾填埋场为例[J]. 环境卫生工程, 2020, 28(1): 74-78
Han Z P, Zhang L W, Yang Y J. Study on rehabilitation and treatment scheme of soil in landfill: A case study on a landfill in Ningbo [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2020, 28(1): 74-78 (in Chinese)
- [25] 吴灏. 姜堰开发区原化工集中区场地环境风险评估及修复方案研究: 以原化肥公司地块为例[D]. 扬州: 扬州大学, 2021: 33
Wu H. Study on site environmental risk assessment and restoration scheme of the original chemical concentration area in Jiangyan development zone [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021: 33 (in Chinese)
- [26] 北京高能时代环境技术股份有限公司. 广东澳联玻璃有限公司地块土壤污染修复方案简本(备案版)[R]. 北京: 北京高能时代环境技术股份有限公司, 2019
- [27] 刘兵昌, 梁凯鹏, 邓伟, 等. 庆阳市某油田废弃井场土壤污染修复效果评估[J]. 低碳世界, 2021, 11(6): 1-4
- [28] 崔勇, 陈果, 宁禹航, 等. 污染地块土壤多氯联苯风险筛选值研究[J]. 环境科学学报, 2021, 41(11): 4676-4685
Cui Y, Chen G, Ning Y H, et al. Study on the soil screening levels for polychlorinated biphenyls of contaminated sites [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, 41 (11): 4676-4685 (in Chinese)
- [29] 杨璐, 石佳奇, 陈樯, 等. 从组分和性质角度谈污染地块中石油烃的人体健康风险评估[J]. 生态毒理学报, 2021, 16(1): 56-65
Yang L, Shi J Q, Chen Q, et al. Human health risk assessment of petroleum hydrocarbons in contaminated sites from the perspective of components and properties [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2021, 16(1): 56-65 (in Chinese)
- [30] 上海市生态环境局. 上海市生态环境局关于印发《上海市建设用地土壤污染状况调查、风险评估、风险管控与修复方案编制、风险管控与修复效果评估工作的补充规定(试行)》的通知[R]. 上海: 上海市生态环境局, 2020
- [31] 张若男. 关于土壤中石油烃风险控制值的探讨[J]. 广东化工, 2020, 47(11): 129-131
Zhang R N. Research on risk control level of total petroleum hydrocarbons in soil [J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(11): 129-131 (in Chinese)
- [32] 姜林, 梁竞, 钟茂生, 等. 复杂污染场地的风险管理挑战及应对[J]. 环境科学研究, 2021, 34(2): 458-467
Jiang L, Liang J, Zhong M S, et al. Challenges and response to risk management of complex contaminated sites [J]. Research of Environmental Sciences, 2021, 34 (2): 458-467 (in Chinese)
- [33] UK Environment Agency. CL:AIRE. Guidance on comparing soil contamination data with a critical concentration [R]. London: UK Environment Agency, 2008
- [34] US Environmental Protection Agency (US EPA). ProUCL Version 5.2.0 technical guide statistical software for environmental applications for data sets with and without non-detect observations [R]. Washington DC: US EPA, 2022
- [35] 武文培, 陈梦舫, 韩璐, 等. 基于统计方法学的焦化类污染场地风险筛选决策研究[J]. 环境科学研究, 2022, 35(12): 2819-2829
Wu W P, Chen M F, Han L, et al. Risk screening decision of coking pollution sites based on statistical methods [J]. Research of Environmental Sciences, 2022, 35(12): 2819-2829 (in Chinese)
- [36] 江西省生态环境厅, 江西省自然资源厅. 江西省建设用地土壤污染状况调查、风险评估、风险管控修复技术方案及效果评估报告技术审查要点(试行)[R]. 南昌: 江西省生态环境厅, 江西省自然资源厅, 2022
- [37] 广东省生态环境厅. 广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)[R]. 广州: 广东省生态环境厅, 2020
- [38] 嵇囡囡. 基于用地类型的土壤风险评估及分级方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2020: 3-16
Ji N N. Research on soil risk assessment and classification method based on land use types [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2020: 3-16 (in Chinese)
- [39] 北京市质量技术监督局. 场地土壤环境风险评价筛选值: DB11/T 811—2011 [S]. 北京: 北京市质量技术监督局, 2011
- [40] 重庆市质量技术监督局. 场地土壤环境风险评估筛选值: DB50/T 723—2016 [S]. 重庆: 重庆市质量技术监督局, 2016
- [41] 浙江省生态环境厅. 污染场地风险评估技术导则[S]. 杭州: 浙江省生态环境厅, 2013
- [42] 上海市环境保护局. 上海市场地土壤环境健康风险评估筛选值(试行)[S]. 上海: 上海市环境保护局, 2015
- [43] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市用地分类与规划建设用地标准: GB 50137—2011 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012
- [44] Ji N N, Zhang Y, Zhang S S, et al. Evaluation on the risk controlling value of urban soil organic pollutants based on land-use planning in China [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2019, 41(6): 2607-2629
- [45] Wu Y H, Zhao W H, Ma J, et al. Human health risk-based soil environmental criteria (SEC) for park soil in

- Beijing, China [J]. *Environmental Research*, 2022, 212: 113384
- [46] 深圳市市场监督管理局. 建设用地土壤污染风险筛选值和管制值: DB4403/T 67—2020 [S]. 深圳: 深圳市市场监督管理局, 2020
- [47] 张丽娜, 姜林, 钟茂生, 等. 基于用地规划的大型污染场地健康风险评估[J]. *环境科学研究*, 2015, 28(5): 788-795
- Zhang L N, Jiang L, Zhong M S, et al. Risk assessment based on planning scenarios for a large-scale contaminated site [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, 28 (5): 788-795 (in Chinese)
- [48] 邓一荣, 刘丽丽, 李韦钰, 等. 基于健康风险评估的棕地再开发利用控规优化研究[J]. *生态经济*, 2019, 35(8): 223-229
- Deng Y R, Liu L L, Li W Y, et al. Optimization for regulatory detailed planning of brownfield redevelopment based on human health risk assessment [J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(8): 223-229 (in Chinese)
- [49] Ji N N, Zhang S S, Zhang Y, et al. Health risk assessment of an abandoned herbicide factory site for transportation use in Dalian, China [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2017, 24(31): 24572-24583
- [50] Zhong M S, Jiang L. Refining health risk assessment by incorporating site-specific background concentration and bioaccessibility data of nickel in soil [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 581-582: 866-873
- [51] Zhang R H, Han D, Jiang L, et al. Derivation of site-specific remediation goals by incorporating the bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons with the probabilistic analysis method [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, 384: 121239
- [52] 浙江省生态环境厅. 建设用地土壤污染风险评估技术导则: DB33/T 892—2022 [S]. 杭州: 浙江省生态环境厅, 2022
- [53] 贾晓洋, 夏天翔, 姜林, 等. PRA 在焦化厂污染土壤修复目标值制定中的应用[J]. *中国环境科学*, 2014, 34(1): 187-194
- Jia X Y, Xia T X, Jiang L, et al. Application of PRA in deriving soil cleanup level for a coking plant site [J]. *China Environmental Science*, 2014, 34(1): 187-194 (in Chinese)
- [54] 马娇阳, 田稳, 王坤, 等. 污染场地土壤重金属的生物可给性及毒性研究[J]. *中国环境科学*, 2021, 41(10): 4885-4893
- Ma J Y, Tian W, Wang K, et al. Bioaccessibility and their toxic effects of heavy metal in field soils from an electronic disassembly plant [J]. *China Environmental Science*, 2021, 41(10): 4885-4893 (in Chinese)
- [55] 中华人民共和国生态环境部. 建设用地土壤污染修复目标值制定指南(试行)[S]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2022
- ◆