

# 我国建设用土壤环境标准体系发展与建议

张 昊<sup>1</sup>, 杜 平<sup>1</sup>, 李艾阳<sup>2</sup>, 陈 娟<sup>1</sup>, 张云慧<sup>1</sup>, 李 敏<sup>2</sup>, 王海燕<sup>2\*</sup>, 张海燕<sup>3\*</sup>

1. 生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心, 北京 100012
2. 中国环境科学研究院环境标准研究所, 北京 100012
3. 张家口市环境科学研究院, 河北 张家口 075000

**摘要:** 我国建设用土壤环境标准体系先后经历了污染控制标准、环境质量标准、环境风险管控标准等发展阶段, 已形成一套具有我国国情特色的成熟标准体系框架。为探究过去 30 余年相关标准的发展与演变特征, 以 200 余项国家、行业、地方及团体标准文件作为研究对象, 对比分析国内外标准制定现状, 重点分析得出现阶段标准制定的领域热点, 提出了适合我国土壤环境标准体系的完善方案和发展方向。结果表明, 目前土壤污染物的检验方法是最主要的土壤环境标准文件类型, 分光光度法是最主要的污染物测试方法。未来发展任务可从开发污染地块精细化和本土化的风险评估模型、健全土壤环境基准研究、完善风险调查检测评估与防治相关技术规范等方面进行, 切实为我国土壤环境标准体系的优化完善提供重要的方法基础, 为深入打好净土保卫战提供坚实的技术支撑。

**关键词:** 土壤环境; 标准; 建设用地; 污染地块; 风险管控; 环境保护

中图分类号: X53

文章编号: 1001-6929(2023)01-0001-08

文献标志码: A

DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2022.11.01

## Development and Suggestion of Soil Environmental Standard System of Construction Land in China

ZHANG Hao<sup>1</sup>, DU Ping<sup>1</sup>, LI Aiyang<sup>2</sup>, CHEN Juan<sup>1</sup>, ZHANG Yunhui<sup>1</sup>, LI Min<sup>2</sup>, WANG Haiyan<sup>2\*</sup>, ZHANG Haiyan<sup>3\*</sup>

1. Technical Centre for Soil, Agriculture and Rural Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China
2. Environmental Standards Institute, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China
3. Zhangjiakou Environmental Science Research Institute, Zhangjiakou 075000, China

**Abstract:** China's construction soil environmental standard system has formed a mature framework with the characteristics of China's conditions, and it has gone through the sequential periods of pollution prevent, environmental quality and risk control. In order to explore the development and evolution characteristics of relevant standards in the past 30 years, more than 200 national, trade, local and group standard documents are chosen and investigated, the current development of domestic and foreign standards is compared and analyzed, and suggestions on the improvement direction of China's soil environment risk control standard system are proposed. It should be noted that the inspection method of soil contaminants is the main type of standards, and spectrophotometry is the main pollutant test method. Future tasks include developing advanced risk assessment models for contaminated sites with refined parameters and localization, enriching soil environmental criteria, improving guidelines for investigation, risk assessment and pollution prevention and control, and effective optimizing and enhancing the soil ecological-environmental standard system as a powerful technical support for the in-depth and successful prevention of soil contamination.

**Keywords:** soil environment; standard; construction land; contaminated site; risk control; environmental protection

收稿日期: 2022-07-10 修订日期: 2022-10-07

作者简介: 张昊(1990-), 男, 辽宁开原人, 博士, 主要从事生态环境污染修复治理研究, [zhanghao@tcare-mee.cn](mailto:zhanghao@tcare-mee.cn).

\* 责任作者: ①王海燕(1976-), 女, 辽宁沈阳人, 研究员, 博士, 主要从事生态环境标准研究, [wanghaiyan@craes.org.cn](mailto:wanghaiyan@craes.org.cn); ②张海燕(1982-), 女, 河北赤城人, 高级工程师, 硕士, 主要从事环境规划研究, [zhy982@126.com](mailto:zhy982@126.com)

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2020YFC1806300)

Supported by National Key Research and Development Program of China (No.2020YFC1806300)

2021年《中国生态环境状况公报》显示,全国土壤环境风险得到基本管控,土壤污染加重趋势得到初步遏制,但全国重点行业企业用地土壤污染风险仍不容忽视<sup>[1]</sup>。土壤污染具有隐蔽性、滞后性等特点,污染治理难度较大,治理工作任务较重<sup>[2]</sup>。近年来,我国针对土壤环境管理和污染防治持续出台政策文件和规划建议<sup>[3]</sup>。2016年,国务院印发的《土壤污染防治行动计划》(简称“《土十条》”)是我国土壤环境保护的重要纲领性文件。《土十条》提出了预防为主、保护优先、风险管控的总体思路,指明了未来的工作方向,对土壤污染防治工作做出了全面的战略部署<sup>[4]</sup>。2016—2018年,生态环境部(原环境保护部)陆续公布和实施三项重要管理办法——《污染地块土壤环境管理办法(试行)》<sup>[5]</sup>《农用地土壤环境管理办法(试行)》<sup>[6]</sup>《工矿用地土壤环境管理办法(试行)》<sup>[7]</sup>,提升不同类别用地环境保护监督管理要求。2019年《中华人民共和国土壤污染防治法》<sup>[8]</sup>正式实施,确立了土壤环境保护法律法规体系框架,填补了土壤污染防治立法的空白,进一步完善了我国生态环境保护、污染防治的法律制度体系<sup>[9]</sup>。按照《中华人民共和国土壤污染防治法》要求,我国实行建设用地和农用地环境分类保护监督管理。建设用地利用土地的非生态利用性质,具有易拓展、空间利用率高、区域选择和再生性强、可逆性差等特质,相较于农用地,建设用地上的人类活动更为频繁,土地流转更迫切,部分区域经济价值更突出,因此建设用地土壤生态环境污染管理的方式明显区别于农用地<sup>[10-12]</sup>。

与发达国家相比,我国建设用地土壤污染防控和污染地块治理的工作起步较晚,研究基础较薄弱,对应的法律法规和标准规范刚开始逐步建立<sup>[13]</sup>。研究者对国内外土壤环境标准进行了具体研究和讨论,并结合发达国家土壤环境管理经验,提出了相关政策和标准体系的完善意见<sup>[14-15]</sup>,对我国土壤环境管理具有重要借鉴意义。目前,多数研究集中于标准文件的阐述和解读,对于标准内容的归纳分析有限,缺少构建标准体系框架的实质性诠释,在聚焦标准发展历程的时间性、关联性、差异性梳理等方面存在短板<sup>[16]</sup>。此外,随着近年来众多法律法规的出台和标准规范的制定,需要对最新的政策和标准文件进行与时俱进的更新和系统性研究<sup>[17]</sup>。因此,该研究结合国内外土壤污染防治现有工作基础,全面梳理我国制定发布的建设用地土壤环境标准文件,分析我国污染地块管理的发展历程和标准制定现状,识别不同类型标准的制定特点,明确未来标准制定的发展方向和方案建议,以期为支

撑我国土壤环境标准精准化制定和高质量发展提供重要理论和借鉴指导。

## 1 建设用地土壤环境标准体系框架和内容分析

### 1.1 体系框架

围绕土壤生态环境保护,我国在不同阶段利用多种环境管理模式,目前已建立以《中华人民共和国土壤污染防治法》和《土十条》为核心政策,围绕保护人体健康的土壤污染风险管控目标,规范性文件形式指导管理流程,技术导则和技术方法规定工作环节和主要技术要求,技术指南(规范性文件形式)指导具体技术执行的标准体系<sup>[18]</sup>。我国已发布的建设用地土壤环境标准体系的框架内容如图1所示。

由图1可见,我国现行基于人体健康保护的建设用地土壤环境标准框架体系已初步形成,并基本覆盖各环境要素规范管理的主要领域,利用土壤筛选值作为调查和风险评估的出发点,采用污染地块概念模型,考虑特定土地利用方式下暴露情景及敏感受体,根据可接受风险水平外推确定风险控制值,形成围绕保护人体健康的土壤污染风险评估体系。依据文件内容类型划分,污染物检测方法类数量占比近70%,远高于指导规范类和标准要求等文件占比,说明检测方法是土壤污染管理标准的重要门类 and 制定基础。建设用地土壤污染风险管控标准主要包括国家标准、地方考虑其区域特点制定的污染地块筛选值以及地方制定的背景值。基于风险管理的技术规范,基本涵盖污染地块调查、风险评估、风险管控和修复技术规范、效果评估和地方监理等全流程工作。土壤污染物测定方法已明确样品采集、保存和流转、现场检测方法以及实验室检测方法等导则规范和标准要求,其中分析检测的行业标准已涵盖常见污染物(重金属元素、挥发性有机物、半挥发性有机物)和特殊污染物(农药类、部分抗生素类)类型<sup>[19]</sup>。

### 1.2 内容分析

对我国已发布的建设用地土壤环境相关国家标准、行业标准、地方标准等文件内容对比分析,结果如图2所示。场地指导规范类别标准文件的统计表明,不同场地指导规范类的标准数量较为平衡,包括调查、监测、评估、风险管控/修复、监理、效果评估、风险管控标准等土壤环境标准文件类型,反映出基于保护人体健康的风险防控标准的管理流程的一致性。对污染物检测类别标准进行分析,结果表明,常见的污染类别为农药类(27.4%),其次为半挥发性有机物(19.4%)和挥发性有机物(18.0%)。常规的土壤污染物测试方

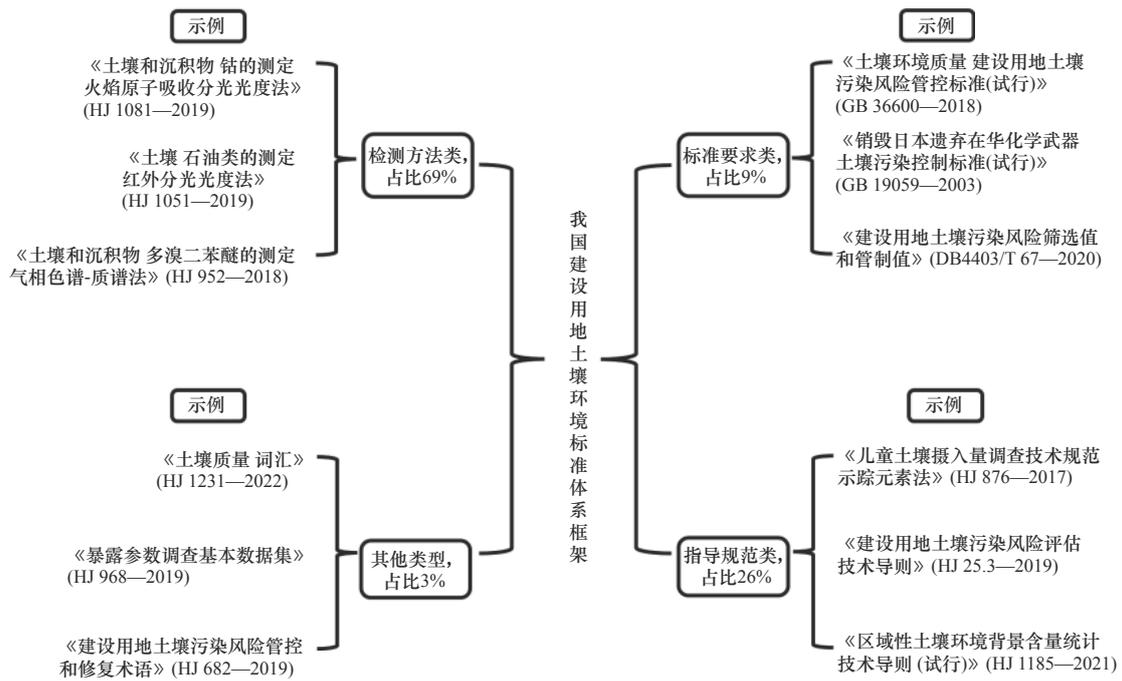


图 1 我国建设用地土壤环境标准体系框架

Fig.1 Framework of soil environment standard system of construction land in China

法中分光光度法占比 (23.7%) 最大, 其次为气相色谱法 (15.3%) 和电感耦合等离子 (ICP) 质谱法/光谱法 (12.7%)。此外, 团体标准是国家较为推荐和鼓励的一种标准体现形式, 针对土壤污染具体问题和复杂情况,

目前研究基础和技术水平不足以支撑国家及地方层面情况, 团体标准作为更灵活和更可能的方式, 为土壤污染质量和环境保护工作发挥了较大的作用, 相关团体标准汇总如表 1 所示。

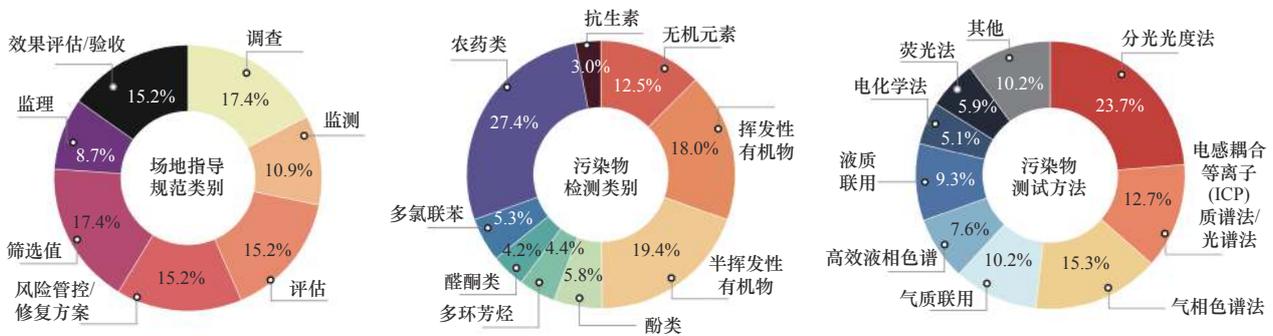


图 2 我国建设用地土壤环境国家标准、行业标准及地方标准文件内容分析

Fig.2 Analysis on the contents of national, trade and local soil environmental standards of construction land in China

表 1 我国建设用地土壤环境相关团体标准

Table 1 Summary of the group standards in soil environment of construction land in China

名称	标准号	团体名称	标准类型
《区域尺度地块土壤环境风险协同管控指南》	T/ACEF 032—2022	中华环保联合会	指导规范
《焦化污染地块修复技术验证评价技术规范》	T/CPCIF 0197—2022	中国石油和化学工业联合会	指导规范
《焦化污染地块风险管控与修复效果评估技术规范》	T/CPCIF 0198—2022	中国石油和化学工业联合会	指导规范
《土壤地下水修复异味控制剂生产制备 技术指南(试行)》	T/GIA 008—2022	中关村中环地下水污染防控与修复产业联盟	指导规范
《农药污染地块土壤异味物质识别技术指南》	T/ACEF 027—2021	中华环保联合会	指导规范
《建设用地土壤重金属污染风险管控评估标准》	T/CGDF 00001—2021	中国生物多样性保护与绿色发展基金会	标准要求
《污染地块绿色可持续修复通则》	T/CAEPI 26—2020	中国环境保护产业协会	指导规范
《污染地块勘探技术指南》	T/CAEPI 14—2018	中国环境保护产业协会	指导规范

## 2 建设用地土壤环境标准发展现状

世界各国为应对土壤环境污染问题付出了不懈努力,陆续建立了以风险评估为核心的土壤污染管控方法体系,为科学制定土壤环境标准奠定了理论基础和技术支撑.美国针对暴露风险的评估过程颁布了《综合环境响应、补偿和责任法案》《土壤筛选指南:用户指南》《基于风险的纠正措施标准指南》《区域筛选值》等基于风险评估的风险筛查导则文件,为促进土壤污染防治、污染场地开发利用、人体健康和生态安全保护提供了重要的法律保障和借鉴参考<sup>[20-22]</sup>.英国针对工业化过程中污染的土地,提出了一系列用于再开发土地的土壤污染物浓度标准,如包括11种污染物的土壤指导值(SGV)<sup>[23]</sup>.加拿大颁布了基于保护人体健康和生态的土壤质量指导值(SQG),取值原则为保护人体健康和生态二者中更为敏感的受体,主要包括101种污染物质<sup>[24]</sup>.澳大利亚通过污染场地评估,制定了基于人体健康的调研值(HILs),包括41种污染物<sup>[25]</sup>.

从国家和地方发展层面,我国已构建较为清晰的建设用地土壤环境标准体系,包含基础的风险管控标准、技术方法、指导要求等类型.针对具体问题及较难突破的技术难点,各协会制定推进了团体标准.尽管我国污染地块土壤保护工作起步晚于西方国家,但随着环保工作力度的不断加强,建设用地土壤生态环境相关标准的制定向着科学化和精准化的发展方向大步迈进<sup>[26-27]</sup>.

### 2.1 国内土壤环境标准发展现状

改革开放以来,随着对土壤环境污染问题的愈加

重视,我国陆续出台了一系列关于土壤环境质量管理 and 检测方法的规范标准,为科学高效地指导土壤污染防治工作提供有力的技术支撑.我国土壤环境标准的制定可大致划分为4个阶段,即起步阶段(1986—1995年)、初步框架阶段(1996—2006年)、快速发展阶段(2007—2018年)及优化完善阶段(2019年至今),各阶段标准发布数量如图3所示.起步阶段始于20世纪80年代末,土壤环境标准管理处于初期,针对土壤保护制定的标准数量有限,文件发布的频率较低.进入21世纪以来,中国城市“退二进三”的政策力度逐渐增加,大批污染型企业外迁,众多污染地块成为遗留问题.在初步建立土壤环境标准框架基础上,土壤环境保护相关标准的制定和发布进入高速发展期,发布频率较20世纪有极大提升,约60%的国家标准、行业标准在该阶段制定,大幅弥补了我国土壤环境标准体系的系统性不足.2019年至今,建设用地土壤环境标准的制定进入优化阶段,标准发布数量和制定频率均保持较高水平.不断完善的土壤环境标准框架体系为落实《土十条》的任务要求提供了有力保障,为土壤环境调查评估、监测评价、风险管控与修复等活动提供了重要依据.

### 2.2 国内土壤环境标准发展历程

我国建设用地土壤环境标准文件内容的侧重点与发展阶段有关<sup>[28-30]</sup>.改革开放初期,我国确立了环境保护的基本国策,环保工作进入正轨,该阶段(1982—1995年)土壤环境标准以支撑土壤污染控制为主,内容涵盖土壤污染物卫生标准、固体废物和工

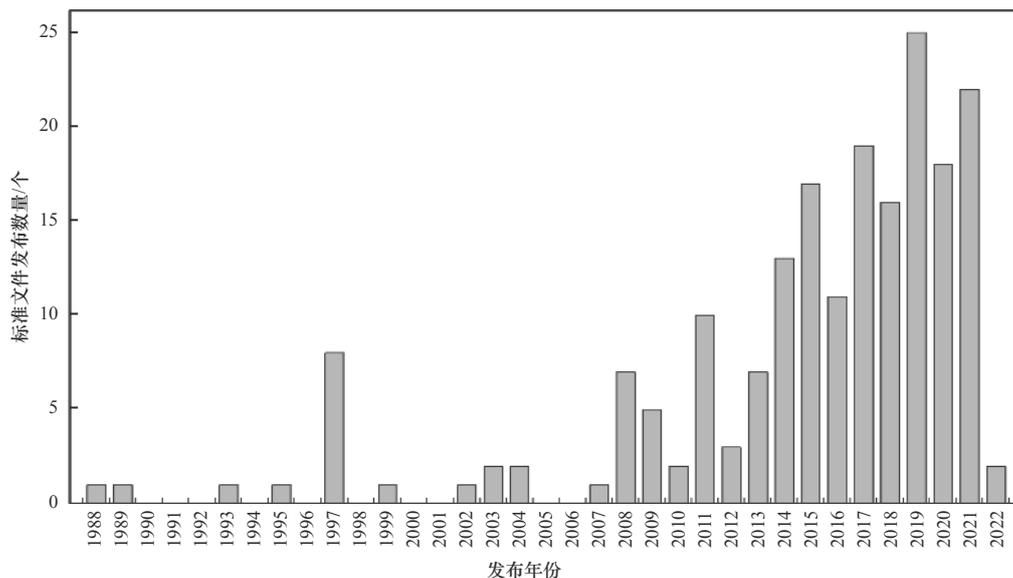


图3 我国建设用地土壤环境国家标准、行业标准、地方标准发布数量

Fig.3 The number in soil environment of construction land of national, trade and local standards in China

业污水对农用地影响以及土壤放射性污染物的测定方法,标准类型主要为土壤污染物测定方法。随着改革开放以及工业化的持续推进,经济高速增长的同时,环境保护事业进入转型期,土壤环境标准形成以表征土壤环境质量为主的阶段<sup>[13]</sup>。1999年,原国家环境保护总局发布了《工业企业土壤环境质量风险评价基准》(HJ/T 25—1999)<sup>[31]</sup>,该标准规定了工业企业土壤环境质量基准限值的计算方法以及89种化学物质的通用土壤和地下水基准值,为土壤污染风险管理提供了重要参考。

2009年起,北京市制定和发布了场地污染修复系列标准,如《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811—2011),该标准筛选值包括88种污染物指标,涵盖3种用地类型(住宅用地、公园与绿地、工业/商服用地),是我国区域层面最早的关于土壤污染风险水平的评价标准,为国家和其他地域制定相关标准提供了理论基础和技术经验。伴随2010年上海世界博览会的举行以及场馆建设过程的土地环境问题,原国家环境保护总局制定了《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》(HJ/T 350—2007)<sup>[32]</sup>,我国土壤环境标准进入风险管理的阶段(2007年至今)<sup>[33]</sup>。土壤环境污染物的检验和测定是污染防治的重要环节,20世纪以来用于检测不同类别土壤化学物质的技术方法类标准制定发布,不断丰富健全的土壤污染物种类以及检测方法和标准,提升了污染物检测结果的准确性,对于土壤污染科学治理措施的制定尤为重要。由于不同地域的自然条件、水文地质、风俗习惯、经济发展等情况各不相同,因此省级标准化行政主管部门根据本地土壤自然环境等特点,主导推动了土壤污染风险防控和环境保护地方标准的制定和发布<sup>[33-36]</sup>。

2018年生态环境部发布了《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)<sup>[37]</sup>。GB 36600—2018侧重加强建设用地土壤环境监管,管控污染地块对人体健康的风险,保障人居环境安全,规定了保护人体健康的建设用地土壤污染风险筛选值和管制值(45项基本项目和40项其他项目),以及监测、实施与监督要求。原环境保护部于2014年发布了污染场地土壤污染环境管理技术导则4项标准,包含调查技术、监测技术、风险评估和修复技术要求,并于2019年对该系列标准进行了替换和修订,并补充了污染地块风险管控和修复效果评估以及地下水修复和风险管控的相关标准。我国在构建土壤污染防控和治理标准体系时采取的风险管控思路,体现了我国坚持以改善生态环境质量为核心,提

升风险防范与管控的关注度,是生态环境管理工作的重大进步<sup>[38]</sup>。

### 3 现行标准体系存在局限和建议意见

#### 3.1 存在问题梳理与分析

经过近40年的不断发展,我国土壤环境标准体系日益健全,发布实施标准的数量稳步增加,内容丰富、结构合理、层次分明,已基本满足防治土壤污染的目的,对保护人体健康和生态安全具有重要意义。而目前的标准体系还存在以下有待完善内容。

##### 3.1.1 风险管控标准所保护的受体类别不足以及用地方式类型覆盖较少

2018年发布的GB 36600—2018规定了保护人体健康的土壤污染风险筛选值和管制值,但未涉及保护生态安全的要求。以保护土壤生态受体或生态功能为目的工作是世界各国关注的热点,我国土壤环境保护工作起步较晚,基础研究数据及相关的导则和指南等文件相对缺乏<sup>[39]</sup>。此外,我国住宅广泛存在居住与商业混杂的情况,难以判断具体的土地用途,目前用地方式分类不适合解决较为复杂的用地方式<sup>[40]</sup>。

##### 3.1.2 风险评估模型及参数需完善

2019年生态环境部发布的5项建设用地土壤污染风险管控系列标准包括《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1—2019)《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2—2019)《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)《建设用地土壤修复技术导则》(HJ 25.4—2019)《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》(HJ 682—2019),规范了建设用地土壤污染状况调查、土壤污染风险评估、风险管控、修复等相关工作<sup>[41-42]</sup>。我国幅员辽阔,自然地质条件千差万别,面临建设用地土壤污染成因较复杂、土壤性质差异大、评估模型参数种类繁多、受体人群暴露途径影响多及未来用地规划不确定性等问题,为风险评估导则实施造成很大的难度<sup>[43]</sup>。风险评估模型参数种类众多,风险表征计算结果与关键参数的选择紧密相关,《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)附录G推荐的模型参数无法满足所有具体场地条件<sup>[44]</sup>。此外,目前GB 36600—2018将建设用地分为两大类,不能覆盖纷繁复杂的用地类型的需求,归类方式需进一步细化。

##### 3.1.3 治理和修复技术待健全

污染地块的治理与修复是土壤污染风险防控工作的难点,其中修复方法的技术规范和要点指南是关键核心<sup>[45]</sup>。土壤修复方法工程量大,不同修复技术细

节千差万别,大型复杂污染场地的存在令现场工程实施难上加难<sup>[46-47]</sup>。目前,框架内对于土壤污染风险管控和修复的具体指导技术指南相对缺乏,如何明确和筛选污染地块修复方法,以及不同类型修复方法的具体技术规范,亟需制定国家管理层面的标准要求和政策规范<sup>[48-51]</sup>。

### 3.1.4 测试技术方法及污染物种类待丰富

土壤污染物的检测方法是现行标准体系中数量占比最大的标准文件类型,基本涵盖了主要污染物类型和测试技术,但对于特殊元素种类和有机污染物类型的检测方法有待完善。分光光度法和 ICP 法基本实现常规重金属和类金属定性定量的测定,但对于污染物有效态的测定方法较为不足<sup>[52]</sup>。2022年5月,国务院印发《新污染物治理行动方案》,对新污染物治理工作进行全面部署,国内外广泛关注的污染物主要有持久性有机污染物、内分泌干扰物、抗生素等类别<sup>[53]</sup>。目前,土壤污染物的检测指标尚未包含新污染物,关于新污染物的调查评估和修复治理的规范指南较为缺乏<sup>[54-55]</sup>。

### 3.2 建议与展望

针对现行建设用地土壤生态环境标准的问题与不足,提出完善标准框架结构的发展任务,设计标准体系的优化方案,具体建议和展望有以下几点。

a) 优化建设用地土壤污染识别和风险筛查标准体系。合理分类建设用地的用地方式,细化满足不同用途需求和用地方式的风险筛查标准;针对我国土壤污染调查现状,适时调整并丰富标准污染物类别和风险管控水平。

b) 健全地块调查和风险评估系列技术规范。基于《中国人群暴露参数手册》等基础支持材料,制定基于风险评估模型的暴露参数使用技术导则,实现基于污染地块尺度的土壤污染风险评估模型以及参数的精细化、本土化,并建立基于中国人群特征化和本土化的毒理数据库。

c) 补充风险管控和治理修复相关规范文件。完善基于自然修复和绿色可持续修复的修复技术指南,补充针对修复后土壤再利用的技术指导文件,制定建设用地土壤污染风险管控和修复过程二次污染防治以及后期管理的规范文件。

d) 完善土壤污染物的检测方法和检测指标。建立污染物调查现场快速测定技术的指导规范,制定农药等异味物质识别的技术指南,建立基于不同新污染物种类的检测方法标准,制定基于新污染物的调查和风险评估技术导则。

## 4 结论

a) 基于已有的科学基础和成熟经验,以土壤污染防治法为重要法律依据,我国的建设用地土壤环境标准体系历经污染控制、质量标准和风险管理为主的发展阶段,土壤污染物的检验方法是最主要的标准文件类型,团体标准在土壤污染治理起到重要的技术指导作用。

b) 围绕基于风险管理的土壤环境质量标准,按照预防为主、保护优先、风险管控的总体思路,我国已基本形成保护人体健康的建设用地土壤污染风险评估标准框架。现行的标准体系制定了高精度的化学物质检测方法,推荐了科学有效的风险管控和治理修复技术方法,实现了对污染源的严格监管,体现了科学发展观统筹人与自然和谐发展以及经济与环境协调发展的指导思想。

c) 建议完善污染地块尺度精细化风险评估全过程技术规范,加强土壤环境基准研究,丰富土壤污染物的检测方法和检测指标。满足适应我国国情和不同发展阶段的土壤生态环境管理需求,实现深入打好污染防治攻坚战、推动绿色发展、建设“美丽中国”的伟大目标。

### 参考文献 (References):

- [1] 生态环境部.中国生态环境状况公报(2021年)[R].北京:生态环境部,2022.
- [2] AMUNDSON R, BERHE A A, HOPMANS J W, et al. Soil and human security in the 21st century[J]. *Science*, 2015, 348(6235): 1261071.
- [3] QU C S, SHI W, GUO J, et al. China's soil pollution control: choices and challenges[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50(24): 13181-13183.
- [4] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知(国发[2016]31号)[R]. 北京: 国务院, 2016.
- [5] 环境保护部. 污染地块土壤环境管理办法(试行)(部令[2016]42号)[R]. 北京: 环境保护部, 2016.
- [6] 环境保护部, 农业部. 农用地土壤环境管理办法(试行)(部令[2017]46号)[R]. 北京: 环境保护部, 2017.
- [7] 生态环境部. 工矿用地土壤环境管理办法(试行)(部令[2018]3号)[R]. 北京: 生态环境部, 2018.
- [8] 全国人大常委会办公厅. 中华人民共和国土壤污染防治法[R]. 北京: 中国民主法制出版社, 2019.
- [9] 龚宇阳. 国际经验综述: 污染场地管理政策与法规框架. 可持续发展-东亚及太平洋地区研究报告[R]. 华盛顿: 世界银行, 2010.
- [10] JENNINGS A A, LI Z J. Worldwide regulatory guidance values applied to direct contact surface soil pesticide contamination. part I: carcinogenic pesticides[J]. *Air, Soil and Water Research*, 2017, 10: 117862211771193.
- [11] PROVOOST J, CORNELIS C, SWARTJES F. Comparison of soil

- clean-up standards for trace elements between countries: why do they differ? [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2006, 6(3): 173-181.
- [12] 刘阳生,李书鹏,邢轶兰,等.2019年土壤修复行业发展评述及展望[J].中国环保产业,2020(3):26-30.  
LIU Y S, LI S P, XING Y L, et al. Review and prospect of the development of soil remediation industry in 2019 [J]. *China Environmental Protection Industry*, 2020(3): 26-30.
- [13] 李敏,李琴,赵丽娜,等.我国土壤环境标准体系优化研究与建议[J].环境科学研究,2016,29(12):1799-1810.  
LI M, LI Q, ZHAO L N, et al. Optimizing the soil environmental protection standard system and suggestions [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, 29(12): 1799-1810.
- [14] 吴颐杭,杨书慧,刘奇缘,等.荷兰人体健康土壤环境基准与标准研究及其对我国的启示[J].环境科学研究,2022,35(1):265-275.  
WU Y H, YANG S H, LIU Q Y, et al. Research on soil environmental criteria and standards for human health in the Netherlands and its enlightenment to China [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, 35(1): 265-275.
- [15] 孙宁,马睿,朱文会,等.我国土壤环境管理政策制度分析及发展趋势[J].中国环境管理,2016,8(5):50-56.  
SUN N, MA R, ZHU W H, et al. Analysis of environmental management policy system for soil pollution prevention and its development trend in China [J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2016, 8(5): 50-56.
- [16] 牛善朋,王育才.我国耕地土壤污染防治立法缺失与法律制度创新[J].陕西农业科学,2017,63(10):82-84.
- [17] 郭紫光.我国土壤环境管理存在的问题及污染防治对策[J].化工管理,2017(34):120.
- [18] 陈卫平,谢天,李笑诺,等.中国土壤污染防治技术体系建设思考[J].土壤学报,2018,55(3):557-568.  
CHEN W P, XIE T, LI X N, et al. Thinking of construction of soil pollution prevention and control technology system in China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(3): 557-568.
- [19] 刘瑞平,宋志晓,崔轩,等.我国土壤环境管理政策进展与展望[J].中国环境管理,2021,13(5):93-100.  
LIU R P, SONG Z X, CUI X, et al. Progress and prospect of soil environmental management policy in China [J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2021, 13(5): 93-100.
- [20] US Environmental Protection Agency. Soil screening guidance: user's guide [R]. Washington DC: US Environmental Protection Agency, 1996.
- [21] International Association for Testing Materials (ASTM International). Standard guide for risk-based corrective action applied at petroleum release sites [S]. West Conshohocken: ASTM International, 2015.
- [22] International Association for Testing Materials (ASTM International). Standard guide for risk-based corrective action [S]. West Conshohocken: ASTM International, 2000.
- [23] CCME. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: dioxins and furans [R]. Winnipeg: CCME, 2002.
- [24] Environmental Agency. Using soil guideline values [R]. Bristol: Environmental Agency, 2009.
- [25] National Environment Protection Council (NEPC). Schedule B1 guideline on investigation levels for soils and groundwater [R]. Canberra: NEPC, 2013.
- [26] 于靖靖,梁田,罗会龙,等.近10年来我国污染场地再利用的案例分析与环境管理意义[J].环境科学研究,2022,35(5):1110-1119.  
YU J J, LIANG T, LUO H L, et al. Case analysis and environmental management significance of contaminated site reuse in China from 2011 to 2021 [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, 35(5): 1110-1119.
- [27] SUN Y M, LI H, GUO G L, et al. Soil contamination in China: current priorities, defining background levels and standards for heavy metals [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 251: 109512.
- [28] 周友亚,姜林,张超艳,等.我国污染场地风险评估发展历程概述[J].环境保护,2019,47(8):34-38.  
ZHOU Y Y, JIANG L, ZHANG C Y, et al. Development of risk assessment of contaminated sites in China [J]. *Environmental Protection*, 2019, 47(8): 34-38.
- [29] 姜林,钟茂生,张丽娜,等.基于风险的中国污染场地管理体系研究[J].环境污染与防治,2014,36(8):1-10.  
JIANG L, ZHONG M S, ZHANG L N, et al. Establishing a risk based framework for contaminated site management in China [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2014, 36(8): 1-10.
- [30] 骆永明,滕应.我国土壤污染的区域差异与分区治理修复策略[J].中国科学院院刊,2018,33(2):145-152.  
LUO Y M, TENG Y. Regional difference in soil pollution and strategy of soil zonal governance and remediation in China [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(2): 145-152.
- [31] 国家环境保护总局.工业企业土壤环境质量风险评价基准:HJ/T 25—1999 [S].北京:中国环境科学出版社,2004.
- [32] 环境保护部.展览会用地土壤环境质量评价标准:HJ/T 350—2007 [S].北京:中国环境科学出版社,2007.
- [33] 张红振,骆永明,夏家淇,等.基于风险的土壤环境质量标准国际比较与启示[J].环境科学,2011,32(3):795-802.  
ZHANG H Z, LUO Y M, XIA J Q, et al. Some thoughts of the comparison of risk based soil environmental standards between different countries [J]. *Environmental Science*, 2011, 32(3): 795-802.
- [34] XU Q Y, SHI Y J, QIAN L, et al. Tiered ecological risk assessment combined with ecological scenarios for soil in abandoned industrial contaminated sites [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 341: 130879.
- [35] 李勛之,姜璐,孙丽,等.不同国家土壤生态筛选值比较与启示[J].环境化学,2022,41(3):1001-1010.  
LI X Z, JIANG R, SUN L, et al. Ecological soil screening values among different countries and implication for China [J]. *Environmental Chemistry*, 2022, 41(3): 1001-1010.
- [36] 贾琳,武雪芳,胡茂桂.制定我国污染场地土壤筛选值的建议[J].土壤,2015,47(4):740-745.

- JIA L, WU X F, HU M G. Proposal on establishing soil screening levels of contaminated sites in China[J]. *Soils*, 2015, 47(4): 740-745.
- [37] 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.
- [38] ZHANG H, LI A Y, WEI Y Q, et al. Development of a new methodology for multifaceted assessment, analysis, and characterization of soil contamination[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, 438: 129542.
- [39] 田一茗, 孟美杉, 孙杰夫. 关于我国土壤环境质量监测的发展历程、思考与建议[J]. *环境与可持续发展*, 2021, 46(6): 75-81.
- TIAN Y M, MENG M S, SUN J F. Development, thoughts and suggestions on soil environmental quality monitoring in China[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2021, 46(6): 75-81.
- [40] 马瑾. 世界主要发达国家土壤环境基准与标准理论方法研究[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [41] 王效举, 赵琦慧, 李法云. 日本土壤污染及其治理对策[J]. *应用技术学报*, 2021, 21(4): 317-325.
- WANG X J, ZHAO Q H, LI F Y. Soil pollution in Japan and its controlling countermeasures[J]. *Journal of Technology*, 2021, 21(4): 317-325.
- [42] 张丽娜, 姜林, 贾晓洋, 等. 地下水修复的技术不可达性及美国管理对策对我国的启示[J]. *环境科学研究*, 2022, 35(5): 1120-1130.
- ZHANG L N, JIANG L, JIA X Y, et al. Technical impracticability of groundwater remediation and management countermeasures in the USA and lessons learned for China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, 35(5): 1120-1130.
- [43] 王超, 李辉林, 胡清, 等. 我国土壤环境的风险评估技术分析与发展[J]. *生态毒理学报*, 2021, 16(1): 28-42.
- WANG C, LI H L, HU Q, et al. Analysis and prospects on soil environmental risk assessment technology in China[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2021, 16(1): 28-42.
- [44] 姜林, 樊艳玲, 钟茂生, 等. 我国污染场地管理技术标准体系探讨[J]. *环境保护*, 2017, 45(9): 38-43.
- JIANG L, FAN Y L, ZHONG M S, et al. Environmental technical standards system for contaminated site management in China[J]. *Environmental Protection*, 2017, 45(9): 38-43.
- [45] 李芸. 上海市污染土壤环境质量评价标准体系构建之探讨[J]. *环境污染与防治*, 2014, 36(7): 92-96.
- LI Y. Discussion of establishment of contaminated urban soil quality evaluation standard system in Shanghai[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2014, 36(7): 92-96.
- [46] 崔轩, 刘瑞平, 季国华, 等. 建设用地土壤污染风险管控和修复名录制度的实践[J]. *环境保护*, 2021, 49(23): 51-56.
- CUI X, LIU R P, JI G H, et al. Practice in the catalogue system for soil pollution risk control and restoration of construction land[J]. *Environmental Protection*, 2021, 49(23): 51-56.
- [47] 姜林, 梁亮, 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.
- [48] 席北斗, 李娟, 汪洋, 等. 京津冀地区地下水污染防治现状、问题及科技发展对策[J]. *环境科学研究*, 2019, 32(1): 1-9.
- XI B D, LI J, WANG Y, et al. Strengthening the innovation capability of groundwater science and technology to support the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei Region: status quo, problems and goals[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2019, 32(1): 1-9.
- [49] 卢军, 伍斌, 谷庆宝. 美国污染场地管理历程及对中国的启示: 基于风险的可持续管理[J]. *环境保护*, 2017, 45(24): 65-70.
- LU J, WU B, GU Q B. Experiences in the management of contaminated sites in the United States and lessons learned for China: risk-based sustainable management[J]. *Environmental Protection*, 2017, 45(24): 65-70.
- [50] 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, JIANG L, ZHONG M, et al. Risk assessment based on planning scenarios for a large-scale contaminated site[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, 28(5): 788-795.
- [51] 吴运金, 周艳, 杨敏, 等. 国内外土壤环境背景值应用现状分析及对策建议[J]. *生态与农村环境学报*, 2021, 37(12): 1524-1531.
- WU Y J, ZHOU Y, YANG M, et al. Analysis of the applies of soil environmental background value at home and abroad and suggestions on countermeasures[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021, 37(12): 1524-1531.
- [52] LI Z J. Regulation of pesticide soil standards for protecting human health based on multiple uses of residential soil[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 297: 113369.
- [53] 中华人民共和国国务院. 国务院办公厅关于印发新污染物治理行动方案的通知(国办发[2022]15号)[R]. 北京: 国务院办公厅, 2022.
- [54] LIU Y F, MA L, YANG Q, et al. Occurrence and spatial distribution of perfluorinated compounds in groundwater receiving reclaimed water through river bank infiltration[J]. *Chemosphere*, 2018, 211: 1203-1211.
- [55] BRUSSEAU M L, ANDERSON R H, GUO B. PFAS concentrations in soils: background levels versus contaminated sites[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 740: 140017.

(责任编辑: 刘 方)