

加拿大污染场地土壤质量指导值对我国建设用地土壤污染风险管控标准制修订的启示

田梓, 伍思扬, 黄国鑫, 宋志晓, 王一鹏, 王夏晖*

(生态环境部环境规划院, 北京 100012)

【摘要】 针对我国建设用地土壤污染风险管控标准存在的保护目标单一、毒理学基础数据库有待完善、缺少因地制宜的地方标准及统一的标准制定规程等问题, 本文研究了加拿大联邦及其省级土壤质量指导值分级制定技术规程, 梳理了加拿大污染场地修复目标值的确定方法。在此基础上, 从保护人体健康与保护生态环境并重、提升建设用地土壤污染风险管控标准的基础研究水平、研究基于地方实际的建设用地土壤污染风险管控标准和出台统一的标准制定规程文件等四个方面提出对策建议, 以期为我国建设用地土壤污染风险管控标准制修订提供参考。

【关键词】 建设用地; 污染场地; 风险管控标准; 指导值; 目标值

【中图分类号】 X53

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-6252 (2022) 03-0060-06

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2022.03.060

引言

随着“退二进三”、城镇人口密集区危险化学品生产企业搬迁改造、长江经济带化工污染整治等有关政策的实施, 大量企业搬迁后遗留的污染场地数量与日俱增, 我国场地污染问题随之日益突出^[1-3]。2004年4月, 原国家环保总局印发《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》, 提出污染场地相关监督管理、恢复土壤使用功能等要求^[4], 标志着我国污染场地管理工作的正式启动^[5]。随后, 我国陆续发布《土壤污染防治行动计划》(国发〔2016〕31号)和《污染地块土壤环境管理办法(试行)》(中华人民共和国环境保护部令〔第42号〕), 初步建立了污染场地风险管控体系^[6]。2018年8月, 我国第一个污染场地风险管控标准——《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600—2018)正式实施, 进一步完善了我国污染场地风险管控体系。但目前我国污染场地风险管控标准制定方法, 仍存在保护目标单一、毒理学基础数据库有待完善、缺少因地制宜的省级标准等问题^[7-9]。与其他发达国家和地区相比, 加拿大环境部长委员会(Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME)发布的《加拿大污染场地环境质量指导值(试行)》(Interim Canadian Environmental Quality Criteria

for Contaminated Sites)和《基于生态环境保护 and 人体健康风险的土壤质量指导值制订规程》(A protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines, 以下简称《规程》)^[10,11]相对完善和成熟, 可为我国污染场地风险管控相关标准的制修订提供指导和借鉴。

1 加拿大土壤质量指导值分级制定方法

土壤质量指导值是指能够保障用地土壤环境质量的参考限值^[11]。加拿大土壤质量指导值(Canadian Soil Quality Guidelines, SQGs)的制定同时考虑了人体健康与生态受体, 取值原则是保护二者之中更为敏感的受体。土壤质量指导值可以评估疑似污染场地是否需要开展进一步调查, 也可以用来识别场地风险等级, 评价场地总体污染状况, 并作为确定场地修复目标值的基础。加拿大土壤质量指导值包括联邦污染场地土壤质量指导值和省级污染场地土壤质量指导值, 其中联邦污染场地土壤质量指导值由CCME于1996年制定和发布^[11], 2006年进行了修订^[12]; 省级污染场地土壤质量指导值由各省级政府根据《规程》进行制定。

1.1 联邦污染场地土壤质量指导值制定方法

《规程》内容包括土壤质量指导值的制定条件与

资助项目: 国家重点研发计划课题“大数据支持的场地污染风险管控技术、策略与应用研究”(2018YFC1800205)。

作者简介: 田梓(1991—), 女, 助理研究员, 研究方向为土壤污染风险管控, E-mail: tianzi@caep.org.cn。

*** 责任作者:** 王夏晖(1975—), 男, 研究员, 研究方向为生态保护修复及土壤污染防治, E-mail: wangxh@caep.org.cn。

场景、加拿大联邦土壤质量指导值制定技术方法及联邦土壤质量指导值的参考值。

1.1.1 制定条件与场景

(1) 土地利用类型。《规程》中，暴露评价场景包括农业用地、居住用地或带有草地的公共场地、商业用地和工业用地四种土地利用类型(表1)。这些土地利用类型虽然可以涵盖大部分评价场景，但像未利用地一类的用地类型并未考虑在内。通常情况下，开展暴露评价工作时，这一类场景可以参考农用地污染物暴露途径进行评价，也可以根据具体的场地特征确定相应的暴露途径。

表1 加拿大土壤质量指导值场地类型

场地名称	定义
农业用地 (Agricultural land)	种植农作物或饲养牲畜的土地。包括片区内居民居住地、野生动物栖息地及植物生长地
居住用地 / 有草地的公用场地 (Residential/Park land)	用于居住或娱乐消遣的土地；公用场地指的是居住区之间的缓冲地带，包括露营场所，但不包括国家及省级公园等野地
商业用地 (Commercial land)	用于进行商业活动(购物等)的土地，不包括居住地和制造加工行业用地，也不包括作物种植地区
工业用地 (Industrial land)	用于进行生产、制造或进行食品加工的场地

(2) 污染物类型。不同污染物具有不同的运移特征和环境归宿，因此在制定土壤质量指导值时，CCME将土壤污染物分为五类，分别为有机物或无机物(Organic or Inorganic)、可解离或不可解离(Dissociating or Non-Dissociating)、挥发或不挥发(Volatile or Non-Volatile)、可溶或不可溶(Soluble or Non-Soluble)、有生物扩散性或无生物扩散性(Biomagnifying or Non-Biomagnifying)。

(3) 土壤类型及深度。污染物的环境归宿与运移特征因土壤深度和类型的不同而变化，因此，为最大限度地减少土壤质量指导值计算过程中因土壤深度和类型引起的不确定性，加拿大联邦土壤质量指导值考虑了两种最常见的土壤类型：砂质土壤(coarse-textured soils，包含砂和砾石)和黏性土壤(fine-textured soils，包含淤泥和黏土)。以中值75 μm 的土壤粒径为分界线，划分两种类型的土壤^[12]。

另外，在制定加拿大联邦土壤质量指导值时，除部分挥发性有机物外，其余污染物主要考虑表层土壤(深度1.5m以上的土层)，因为深层土壤中污染物因

迁移扩散而暴露时，必然通过表层土壤反映。

1.1.2 保护人体健康的土壤质量指导值(SQGH)制定方法

人体健康风险评估值的制定主要分为四个步骤：评估污染物造成的毒理学危害或风险；确定该污染物与所计算污染场地无关的每日摄入量(EDI) (“背景”暴露)；定义不同类型用地中的暴露情景；整合暴露信息和毒理性数据并确定人体健康风险评估值。

计算不同暴露情景下的人体健康风险评估值，比较得到人体健康风险评估值的最低值，并将人体健康风险值最低值反演得到的土壤污染物值作为最终保护人体健康的土壤质量指导值，人体健康风险评估涉及的暴露途径包括直接接触、饮用地下水、吸入室内空气及食物链等途径。

1.1.3 保护环境的土壤质量指导值(SQGE)制定方法

基于生态环境效应的保护环境土壤质量指导值制定，重点关注污染物对陆生生态系统的影响，制订方法主要分为三个步骤：搜集污染物的相关文字资料(包括其物理和化学性质、土壤背景水平、来源及排放、环境中分布、环境归宿和行为、短期和长期毒性、现有的指导值、规范和标准等信息)；计算不同土地利用类型中各暴露途径的土壤质量指导值；将各途径中指导值的最低值作为特定土地利用类型中保护环境的土壤质量指导值。

1.1.4 土壤质量指导值的最终值(SQG_F)

最终确定的土壤质量指导值需统筹兼顾保护环境和人体健康，因此，最终值取SQGE和SQGH中的最低值；同时，考虑土壤中植物可吸收营养素、地球化学背景及管理需求等因素，建立各类用地的一级土壤质量指导值，土壤质量指导值的确定步骤见图1，加拿大联邦土壤质量指导值示例见表2。

1.2 省级污染场地土壤修复指导值制定方法

省级污染场地土壤修复指导值制定包括一级土壤和地下水修复指导值制定规程(Tier1 Soil And Groundwater Remediation Guidelines)及二级土壤和地下水修复指导值制定规程(Tier 2 Soil And Groundwater Remediation Guidelines)。

1.2.1 一级土壤和地下水修复指导值

在联邦土壤质量指导值基础上，根据《规程》中制定方法，结合各省份实际情况对联邦污染场地土壤质量指导值制定方法进行修订，形成一级土壤和地下

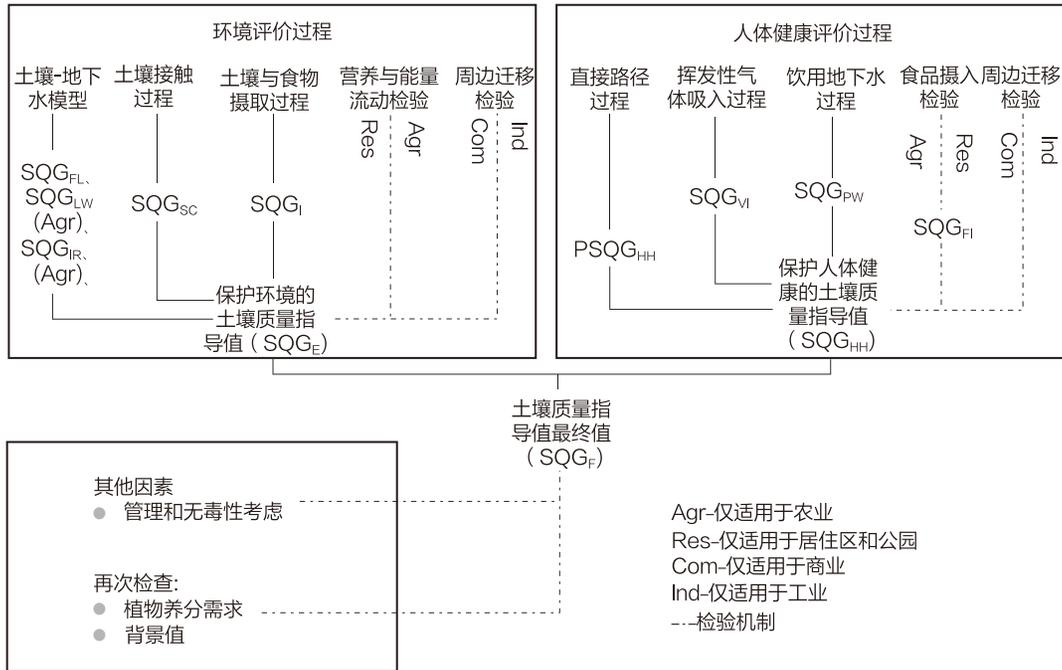


图1 土壤质量指导值的最终值 (SQGF) 的确定步骤

表2 加拿大联邦部分土壤质量指导值示例

物质 (mg/kg)	农业		居住和公园		商业		工业		
	砂土	黏土	砂土	黏土	砂土	黏土	砂土	黏土	
重金属									
砷	12		12		12		12		
汞	6.6		6.6		24		50		
镉	1.4		10		22		22		
铅	70		140		260		600		
挥发性有机物									
四氯化碳	0.1		5		50		50		
苯	表层土	0.03	0.006 8	0.03	0.006 8	0.03	0.006 8	0.03	0.006 8
	深层土	0.03	0.006 8	0.03	0.006 8	0.03	0.006 8	0.03	0.006 8
二甲苯	表层土	11	2.4	11	2.4	11	2.4	11	2.4
	深层土	11	2.4	11	2.4	11	2.4	11	2.4

数据来源: Interim Canadian Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites. A protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines.

水修复指导值 (Tier 1, 以下简称“一级标准”)。该指导值最终值的制定步骤与联邦土壤质量指导值计算流程一致。在数值上, 不同污染物的省级土壤修复指导值不一定要严于加拿大联邦土壤质量指导值, 也可以等于或大于联邦土壤质量指导值。只要是符合省内实际情况, 科学选定暴露途径、受体, 按照国家《规程》中模型和计算方法得到的数值, 经省级环保部门认证和司法程序认定, 即可作为省级土壤修复指导值。加拿大 10 个省和 3 个地区都各自制定了省级土

壤修复指导值, 各省之间的土壤质量指导值因有较多相似之处而可相互参考, 如阿尔伯塔省的石油污染场地标准经常作为其他省或者联邦石油类污染场地土壤质量指导值的参考对象。

1.2.2 二级土壤和地下水修复指导值

二级土壤和地下水修复指导值 (Tier 2, 以下简称“二级标准”) 的修订计算是以一级标准为基础进行的。当实际场地中某些因素 (如暴露情景、暴露途径等) 超过一级标准规定的范围时, 根据《二级土壤

和地下水修复指导值制定规程》中给定的因素参数修改范围，重新设定一级标准中参数值或者除去某些暴露途径，计算得到更符合场地实际的二级土壤修复指导值。

与一级标准比较，制定二级标准时需要更多的场地现场信息，这些附加的场地信息可以更好地帮助评估者制定更符合场地实际的修复目标值。当实际污染场地中有更敏感的特征物或受体时，二级标准将严于一级标准（数值小于一级标准）；反之，则宽于一级标准（数值大于一级标准）。

2 污染场地修复目标值的确定

除联邦直管的土地外，污染场地修复目标值通常以省级标准为优先执行标准，即根据省级一级标准和二级标准确定场地修复目标值。联邦标准除少数联邦所辖地区内实施外，其主要作用是在制定省级一级标准时作为参考标准。

2.1 采用一级标准作为场地修复目标值

一级标准通常是污染场地修复目标值确定的优先参考标准。通过收集污染场地条件、土地用途和水源用途、污染程度等信息，对场地污染物暴露情景、暴露途径、敏感受体等进行评估，评估结果与一级标准指导值的假定条件相同且污染物浓度超过一级标准中修复指导值时，直接将一级标准修复指导值作为场地修复目标值。一般情况下，如果场地内土壤污染物浓

度低于一级标准时，场地不需要修复或者进一步的风险评价。通常情况下，大部分污染场地都可以直接使用一级标准作为场地土壤修复目标值^[13]。尽管如此，仍存在九种不适用的情况（表3），此时需要使用二级标准。

2.2 根据二级标准重新计算场地修复目标值

启动二级标准的条件包括：①场地实际条件不符合一级标准基本条件（表2）；②使用一级标准造成修复量过大；③场地亟须采用风险管控措施。符合上述三种条件中任意一种条件的污染场地，需根据二级标准中给出的可调整参数类型、参数范围、可排除的暴露途径等条件，对一级标准重新计算，得出场地特定的修复目标值，并与业主（委托人）商议，经环保部门审批后，方可确定^[14]。最终的修复目标值可能与一级标准一致，也可能直接采用修正后的计算值，具体制定方法主要有四种（表4）。

2.3 需使用暴露控制措施的场地

场地需考虑使用暴露控制措施的情况包括：①因经济或技术原因暂时不能对大型复杂场地进行全面修复；②充分利用自然降解作用减少场地修复总体成本（需在风险管控方案中明确污染物降解至一级标准所需时间）；③某些可能存在尚未查明的潜在污染源。

暴露控制措施有政策管理、物理工程措施和长期监测（表5）。需要注意的是，使用暴露控制手段对污

表3 省一级标准不适用的条件及原因

序号	一级标准不适用的条件	不适用原因
1	建筑物地基 30cm 内具有挥发性污染源	该距离不适用一级标准中使用的计算模型
2	建筑物结构异常	如直接使用裸土地作为建筑物地板或者建筑物内空气交换速率非常差，二者都不适用于一级标准中的模型假设条件
3	地下水流向无径流排泄水体	由于无径流排泄水体的排泄途径主要为蒸发，将浓缩地下水中污染物，进一步造成污染，因此需要对使用二级标准专门计算浓缩区域的污染物释放浓度
4	地下水水面与地表水体相距小于 10 cm	计算一级标准中使用的地下水模型参数规定地下水体和地表水体相距至少为 10 cm，小于 10 cm 需重新计算
5	场地中存在孔隙非常大可能增大地下水或挥发性物质蒸发的介质	计算一级标准中保护含水层的土壤修复指导值时，将模型中达西流速设置为 3×10^{-7} m/s；粗粒介质的蒸发渗透系数为 6×10^{-8} cm ² ；当实际场地达西流速和蒸发渗透系数超过该值时，需要使用二级标准重新计算
6	无法简化成多孔介质的基岩地层	一级标准中使用的介质类型主要为土壤层，不包括岩层，如果场地出现破碎岩层需要使用二级标准进行计算
7	污染源运移至地下水流的距离超过 10 m	计算一级标准中保护含水层的土壤修复指导值时，假定污染源深度 3 m，宽度 10 m，直接运移至地下水流的距离为 10 m，超过 10 m 的场地需要使用二级标准重新计算
8	在有机质含量高的土壤中存在无机污染物	高有机质含量的土壤可能影响无机污染物的有效态，一级标准计算时没有单独考虑高有机质含量土壤，因此需要使用二级标准重新计算
9	高背景值地区	场地周边背景值高于标准时，启动二级标准

表4 省二级标准制定方法及使用条件

序号	制定方法	使用条件
1	根据二级标准规定,可采用该区域的背景值直接作为场地修复目标值。确定背景值的方法分为三步:第一,在区域内进行布点采样并检测土壤中各元素的含量;第二,去除所有采样点数据中异常点;第三,计算各元素数据序列中第95位百分数,以此作为背景代表值	当场地的实际背景值高于一级标准
2	将该暴露途径下的一级标准中的修复目标值删除,取其余暴露途径下修复目标值的最低值作为场地修复目标值	经过长期观测,确定一级标准中的某些暴露途径在实际场地中不存在
3	使用标准模型和场地特定参数计算场地修复标准或风险管控标准,标准模型主要包括计算一级标准中保护含水层指导值使用的地下水溶质运移标准模型、计算保护人体健康指导值所使用的污染物每日摄入量模型、计算保护生态环境指导值所使用的毒性评估模型等	符合一级指标不适用条件的场地
4	用任意模型和场地特定参数计算场地修复标准或风险管控标准,使用任意模型进行计算得到的场地修复目标值审批时间较长	

表5 暴露控制实施方法

序号	措施类型	实施方法
1	政策管理控制	包括对污染场地的进入进行管制、限制地下水的利用、制定人员健康和安全管理措施、限制建筑物建设、限制人员或生物在场地中的活动等
2	物理工程控制	包括用干净土壤覆盖污染场地(阻断污染源与受体的直接接触)、设置阻隔墙防止污染物迁移、进行水利控制工程防止污染物在地下水中的溶解、建筑物地基层设置阻隔墙等控制污染物挥发、在污染场地周边设置帷幕阻止污染物暴露、固化稳定化技术减少生物利用度和移动性、控制水的用途或者空气的流通等
3	长期监测	监测内容包括污染物在可能的暴露介质中的浓度、场地的地下环境(尤其是那些可能随时间变化的场地)、野外条件下的污染物归宿和场地中使用的暴露模型、需要进行长期修复或者存在自然衰减过程的场地、未来可能需要进行风险管控措施的场地等

染场地进行风险管控时,在风险管控方案中必须提出后期可降低污染物浓度的措施,否则风险管控方案不予批复。另外,使用暴露控制措施进行风险管控的场地不能结案,必须实施长期监测^[14]。

3 对我国污染场地修复标准制修订的启示

加拿大土壤质量指导值已投入实践二十余年,其

制定方法在实施期间也在不断进行修订,目前在国家和省级层面均形成了较为成熟的污染场地土壤质量指导值和场地修复目标值制定方法。并且,加拿大土壤质量指导值计算时用到的保护目标、暴露途径等参数与我国现有污染场地风险管控标准有相似之处,二者均考虑了经口摄入、皮肤接触、吸入土壤颗粒物和通过挥发与受体接触等暴露途径,对应的保护目标均包括人体健康。因此,加拿大土壤质量指导值的制定方法对我国相关风险管控标准的制修订具有较高参考价值。

(1) 注重全面风险管控,在建设用地上壤污染风险管控标准制修订中加入生态环境保护的相关参数。加拿大风险管控标准保护对象包括了生态环境和人体健康,而我国目前的建设用地上壤污染风险管控标准中只提出了基于人体健康风险的标准值,并没有充分考虑保护生态环境的标准值。建议保护目标中增加野生动物、家畜、微生物等生物保护目标,并考虑具有生物富集作用的污染物通过食物链对人体健康的影响。

(2) 夯实数据基础,建立我国建设用地上壤污染风险管控标准基础研究数据库。加拿大土壤质量指导值制定前期积累了大量相关毒理学数据,而我国目前缺乏针对国人的毒理学基础数据库。建议相关部门组织开展商业、居住、工业用地的土壤生态毒理学、人群暴露模型和暴露参数、基于土壤中污染物的作物吸收和转运以及在可食用部分的生物富集规律等方面的科学研究,结合国外成熟的毒理学参数和生物富集相关研究,建立我国建设用地上壤污染风险管控标准的毒理学基础数据库。

(3) 结合国内各省份实际,鼓励地方以国家标准为参照,研究出台基于地方实际的建设用地上壤污染风险管控标准。加拿大除在国家层面由 CCME 制定土壤质量指导值,各省也制定了省级土壤修复指导值,并且省级标准优于国家标准执行。我国地域辽阔,土壤类型、土壤理化性质、种植结构和品种等空间差异巨大,因此建议鼓励地方参照《土壤环境质量建设用地上壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600—2018),制定基于实际的地方性建设用地上壤筛选值和管制值。此外,地方标准不一定严于国家标准,如广西、云南等高背景值地区,可根据当地实际状况计算筛选值和管制值,当标准值大于国家标准时,可向国家有关部门申请并开展专家论证,得到更符合地方实际的建设用地上壤质量标准。

(4) 出台标准制定规程,规范地方各级建设用地上

土壤污染风险管控标准的制定方法和程序。加拿大除出台不同土地利用类型中各污染物的质量标准外,还出台了相应《规程》,指导省级标准的制定,规范省级可进行修改的参数、暴露情景、暴露途径等,提供详细的暴露途径参数及各场景下不同暴露途径的标准值。建议《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600—2018)亦提供相应的制定规程,或者国家有关部门单独出台相应制定规程文件,内容包含暴露情景假设、各情景下使用的计算公式、各情境下的暴露途径及各暴露途径下的参数值等。另外,建议增加各暴露途径的标准值,便于地方根据实际暴露途径确定场地修复目标值。

参考文献

- [1] 谢剑,李发生.中国污染场地修复与再开发[J].环境保护,2012(2-3):15-24.
- [2] 张倩,谷庆宝.工业企业搬迁遗留场地环境风险管理对策[J].环境影响评价,2015,37(1):10-14.
- [3] 王夏晖,刘瑞平.找准重点难点,推进“依法治土”[J].中华环境,2018(12):20-23.
- [4] 国家环保总局办公厅.关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知:环办[2004]47号[EB/OL].(2004-06-01).http://www.mee.gov.cn/gkml/zj/bgt/200910/t20091022_173879.htm.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 张俊丽,臧文超,温雪峰,等.关于建设用地分类管理及污染场地分级管理的建议[J].环境保护科学,2016,42(2):8-12,37-37.
- [9] 陈卫平,谢天,李笑诺,等.欧美发达国家场地土壤污染防治技术体系概述[J].土壤学报,2018,55(3):527-542.
- [10] Canadian Council of Ministers of the Environment. Interim Canadian Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites[R]. Winnipeg: CCME, 1991.
- [11] Canadian Council of Ministers of the Environment. A Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines[R]. Winnipeg: CCME, 1996.
- [12] Canadian Council of Ministers of the Environment. A Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines[R]. Winnipeg: CCME, 2006.
- [13] Alberta Environment. Alberta Tier1 Soil and Groundwater Remediation Guidelines[R]. Alberta: Alberta Environment, 2007.
- [14] Alberta Environment and Parks. Alberta Tier1 Soil and Groundwater Remediation Guidelines[R]. Alberta: Government of Alberta, 2016.

Enlightenment of Soil Quality Guidance Value of Contaminated Sites in Canada to the Formulation and Revision of Soil Pollution Risk Control Standard for Construction Land in China

TIAN Zi, WU Siyang, HUANG Guoxin, SONG Zhixiao, WANG Yipeng, WANG Xiahui*
(Chinese Academy of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China)

Abstract: The technical regulations for the formulation of soil quality guidance values in the federal and provincial levels and the determination method of remediation target values of contaminated sites in Canada were studied, in view of the problems existing in soil pollution risk control standards of construction land in China, such as single protection objectives, incomplete toxicology basic database, lack of local standards and unified standard formulation procedures. On this basis, countermeasures and suggestions were put forward from four aspects: paying equal attention to the protection of human health and ecological environment, improving the basic research level of soil pollution risk management and control standards for construction land, studying the soil pollution risk management and control standards for construction land based on local conditions, and issuing unified standard formulation procedures. The research results were expected to provide reference for the formulation and revision of soil pollution risk control standards for construction land in China.

Keywords: construction land; contaminated site; risk control standards; guidance value; target value