

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

METHOD AND APPLICATION OF
RISK-BASED REGIONALIZATION FOR
SOIL ENVIRONMENT

基于风险的土壤环境 分级分区方法与应用

谷庆宝 张倩 邵超峰 周小勇 黎宁 编著



非外借



科学出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

基于风险的土壤环境分级 分区方法与应用

谷庆宝 张倩 邵超峰 周小勇 黎宁 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要从“污染源—暴露途径—受体”的角度构建基于风险的区域土壤环境分级分区方法。重点介绍了工矿企业环境风险、土壤环境质量与风险以及环境受体脆弱性状况评估的指标体系与风险等级划分方法,开发了对应的信息化管理平台,并对不同风险等级的土壤环境分区提出对应的管理对策,同时将该方法成功运用到我国典型有色金属企业聚集区和石油化工企业聚集区的土壤环境分级分区中。

本书可作为环境科学的科研工作者和环境管理工作者的参考书,也可作为高等院校、科研院所相关专业的研究生课程用书。

图书在版编目(CIP)数据

基于风险的土壤环境分级分区方法与应用 / 谷庆宝等编著. —北京: 科学出版社, 2018.10

(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)

ISBN 978-7-03-058928-6

I. ①基… II. ①谷… III. ①土壤环境-分级 IV. ①X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 218310 号

责任编辑: 朱 丽 宁 倩 / 责任校对: 杜子昂

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 耕者设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 10 月第一次印刷 印张: 20

字数: 4800 000

定价: 148.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

丛书编委会

顾 问：黄润秋

组 长：邹首民

副 组 长：王开宇

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

《基于风险的土壤环境分级分区方法与应用》

编委会

编 著 者 (按姓氏拼音排序):

艾贤军	白亚林	陈同斌	陈宗娟
邓超冰	谷庆宝	鞠美庭	黎 宁
李发生	满 洋	桑义敏	邵超峰
孙文彬	张 朝	张 倩	周小勇

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

序 言

目前,全球性和区域性环境问题不断加剧,已经成为限制各国经济社会发展的主要因素,解决环境问题的需求十分迫切。环境问题也是我国经济社会发展面临的困难之一,特别是在我国快速工业化、城镇化进程中,这个问题变得更加突出。党中央、国务院高度重视环境保护工作,积极推动我国生态文明建设进程。党的十八大以来,按照“五位一体”总体布局、“四个全面”战略布局以及“五大发展”理念,党中央、国务院把生态文明建设和环境保护摆在更加重要的战略地位,先后出台了《环境保护法》《关于加快推进生态文明建设的意见》《生态文明体制改革总体方案》《大气污染防治行动计划》《水污染防治行动计划》《土壤污染防治行动计划》等一批法律法规和政策文件,我国环境治理力度前所未有,环境保护工作和生态文明建设的进程明显加快,环境质量有所改善。

在党中央、国务院的坚强领导下,环境问题全社会共治的局面正在逐步形成,环境管理正在走向系统化、科学化、法治化、精细化和信息化。科技是解决环境问题的利器,科技创新和科技进步是提升环境管理系统化、科学化、法治化、精细化和信息化的基础,必须加快建立持续改善环境质量的科技支撑体系,加快建立科学有效防控人群健康和环境风险的科技基础体系,建立开拓进取、充满活力的环保科技创新体系。

“十一五”以来,中央财政加大对环保科技的投入,先后启动实施水体污染控制与治理科技重大专项、清洁空气研究计划、蓝天科技工程专项等专项,同时设立了环保公益性行业科研专项。根据财政部、科技部的总体部署,环保公益性行业科研专项紧密围绕《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》、《国家创新驱动发展战略纲要》、《国家科技创新规划》和《国家环境保护科技发展规划》,立足环境管理中的科技需求,积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”以来,环境保护部(现生态环境部)组织实施了公益性行业科研专项项目479项,涉及大气、水、生态、土壤、固废、化学品、核与辐射等领域,共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与,逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前,专项取得了重要研究成果,已验收的项目中,共提交各类标准、技术规范997项,各类政策建议与咨询报告535项,授权专利519项,出版专著300余部,专项研究成果在各级环保部门中得到较好的应用,为解决我国环境问题和提升环境管理水平提供了重要的科技支撑。

为广泛共享环保公益性行业科研专项项目研究成果,及时总结项目组织管理经验,环境保护部(现生态环境部)科技标准司组织出版环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果,具有较强的学术性和实用性,是环

境领域不可多得资料文献。丛书组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，不断提高环境治理能力现代化水平，为持续改善我国环境质量提供强有力的科技支撑。

中华人民共和国生态环境部副部长
黄润秋

前 言

由于我国经济发展方式的粗放以及产业结构和布局的相对不合理，工矿企业在生产过程中对土壤环境造成了较大影响，土壤环境污染的问题日渐凸显。我国土壤污染防治科学研究起步相对较晚，经过近几年的探索和实践，在土壤污染防治方面取得了一定的成效。我国于 2016 年颁布了《土壤污染防治行动计划》，对今后一个时期土壤污染防治工作做出了全面部署。与发达国家和地区相比，我国土壤污染防治工作基础较为薄弱，对于土壤方面的研究主要集中在单个污染地块的调查、评估和修复，或污染土壤的治理修复技术开发等方面，尚未形成一套相对完整的土壤污染防治体系，特别是对区域污染土壤的管理相对薄弱。

土壤环境分级评价与分区管理是指根据土地利用方式、土壤污染与风险以及受体脆弱性的不同分级状况，将区域土壤划分成具有不同使用功能和环境管理目标的区块，实现土壤环境风险分区管理，确定土壤环境风险管理的优先顺序，为各分区的区域发展战略、地域用途分工、区域控制措施的制定提供理论依据。土壤环境分级分区是土壤环境功能区划的基础，也是区域土壤环境风险管理的有效手段。

本书的内容是基于生态环境部资助的环保公益性行业科研专项“基于工矿企业风险源监管的土壤环境分级分区管理技术研究”（编号：201309032）的研究成果。首先，从工矿企业的角度对企业环境风险进行等级划分，建立企业环境风险分级的指标体系和风险等级划分方法；其次，介绍了工矿企业周边的土壤环境质量评价、人体健康风险和生态风险评估方法，并建立了基于企业环境风险、土壤环境质量、人体健康风险和生态风险、受体脆弱性的土壤环境综合分级分区方法；同时，开发了土壤环境分级分区管理信息平台，并提出了区域土壤环境风险分级分区管理的对策；最后，将该土壤环境分级分区管理体系分别在石油化工企业及有色金属企业聚集区进行了应用。

本书是集体智慧和劳动的结果，谷庆宝、李发生负责编写第 1 章，张倩负责编写第 2 章和第 6 章，周小勇、陈同斌负责编写第 3 章，谷庆宝负责编写第 4 章，张朝负责编写第 5 章，孙文彬、白亚林、陈宗娟负责编写第 7 章，桑义敏、满洋、艾贤军负责编写第 8 章，邵超峰、鞠美庭负责编写第 9 章，黎宁、邓超冰负责编写第 10 章。由于本书所依托的环保公益性行业科研专项是多个单位共同完成的，因此本书在编写过程中需要反复沟通协调，科学出版社的朱丽老师表现出极大的耐心，并提出详细修改意见和建议。本书在编写过程中也得到了中国环境科学研究院领导的指导和土壤污染与控制学科方向同事的帮助，在此一并感谢。

由于我国土壤环境的污染防治和管理体系还处于发展阶段，作者的认识和水平有限，因此本书难免存在疏漏及不足之处，敬请各位专家学者和读者批评指正。

作 者

2018 年 5 月

目 录

序言 前言

第 1 章 总论	1
1.1 土壤环境分级分区管理的需求	1
1.1.1 土地利用方式多样性的需要	1
1.1.2 未来土壤环境管理的需要	2
1.1.3 土壤环境风险管控的重要支撑	3
1.2 基于风险的土壤环境分级分区研究进展	4
1.2.1 土壤环境风险评估研究进展	4
1.2.2 环境风险区划及管理研究进展	5
1.2.3 土壤环境分级分区研究进展	6
1.3 土壤环境分级分区指标体系构建研究进展	7
1.3.1 基于 DPSIR 模型的土壤环境分级分区指标体系框架	7
1.3.2 土壤环境分级分区评价指标筛选和标准化	9
第 2 章 企业环境风险分级评估	12
2.1 环境风险系统要素	12
2.2 企业环境风险分级评估现状	13
2.2.1 美国企业环境风险分级管理	14
2.2.2 欧盟塞维索指令	14
2.2.3 德国清单法	15
2.3 企业环境风险信息及其调查方法	16
2.3.1 环境风险信息获取与分类	16
2.3.2 企业环境风险调查方法	19
2.4 企业环境风险分级评估方法	21
2.4.1 目标层水平划分	21
2.4.2 企业环境风险等级划分	22
第 3 章 区域土壤环境质量分级评价	24
3.1 土壤环境质量评价标准的内涵	24
3.1.1 国外土壤环境标准概况	24
3.1.2 我国土壤环境标准概况	28
3.1.3 土壤环境标准的主要特征	29
3.2 土壤环境污染监测	31

3.2.1	监测方案制定	31
3.2.2	土壤对照点样品采样	32
3.2.3	农田土壤样品采样	33
3.2.4	污染场地土壤样品采样	35
3.2.5	土壤样品分析	35
3.3	土壤环境质量分级评价方法	37
3.3.1	指数评价法	37
3.3.2	模型指数法	43
第4章	区域土壤污染人体健康风险分级评估	46
4.1	人体健康风险评估现状	46
4.1.1	人体健康风险概论	46
4.1.2	人体健康风险评估的发展历程	46
4.2	人体健康风险评估的模型	51
4.2.1	美国 RBCA 模型	51
4.2.2	英国 CLEA 模型	53
4.2.3	荷兰 CSOIL 模型	54
4.3	人体健康风险分级评估方法	54
4.3.1	危害识别	54
4.3.2	暴露评估	55
4.3.3	毒性评估	60
4.3.4	风险表征	61
4.3.5	不确定分析	62
第5章	区域土壤污染生态风险分级评估	63
5.1	生态风险评估的发展历程	63
5.1.1	美国	64
5.1.2	欧盟	65
5.1.3	澳大利亚	66
5.1.4	中国	67
5.2	生态风险评估的模型	67
5.2.1	土壤-有机污染物变化及迁移暴露模型	67
5.2.2	农药根区模型	68
5.2.3	土壤模型	69
5.2.4	多介质污染物变化、迁移和暴露模型	69
5.3	区域生态风险分级评估方法	70
5.3.1	影响评估	70
5.3.2	暴露评估	72
5.3.3	生态风险计算方法	73

第 6 章 区域土壤环境分级分区	78
6.1 土壤环境分级分区方法体系框架	78
6.2 企业环境风险分级评估	80
6.2.1 企业环境风险分级评估指标体系框架	80
6.2.2 石化企业环境风险分级评估指标体系	82
6.2.3 有色金属企业环境风险分级评估指标体系	91
6.3 土壤环境质量分级评价	101
6.3.1 土壤环境质量评价因子识别	101
6.3.2 土壤环境质量分级评价指标体系框架及指标筛选	103
6.3.3 土壤环境质量分级评价指标权重分配	105
6.3.4 土壤环境质量分级评价指标标准化与赋值	106
6.3.5 土壤环境质量分级评价方法	107
6.4 环境受体脆弱性分级评价	107
6.4.1 环境受体脆弱性分级评价方法	107
6.4.2 环境受体脆弱性分级评价指标构成	109
6.4.3 环境受体脆弱性分级评价指标栅格化	110
6.4.4 环境受体脆弱性分级评价指标标准化	111
6.4.5 环境受体脆弱性分级评价指标权重分配	111
6.4.6 环境受体脆弱性分级评价指标矩阵一致性检查	112
6.5 土壤环境分级分区方法体系	114
6.5.1 工矿企业环境风险分级评估核心指标体系	115
6.5.2 区域土壤环境质量分级评价核心指标体系	120
6.5.3 环境受体脆弱性分级评价核心指标体系	122
6.5.4 基于核心指标体系的土壤环境分级分区方法	123
6.6 土壤环境分级分区方法的应用	124
第 7 章 土壤环境分级分区管理信息平台建设	126
7.1 分级分区管理信息系统的作用	126
7.2 分级分区管理信息系统的开发工具	126
7.2.1 Visual Studio.NET 开发工具	126
7.2.2 ArcGIS Engine 开发工具	127
7.2.3 C#程序设计语言	128
7.2.4 Microsoft SQL Server 2008 数据库	128
7.2.5 ArcSDE 数据库访问技术	129
7.3 分级分区管理信息系统的需求分析	130
7.3.1 系统设计目标	130
7.3.2 功能需求分析	131
7.3.3 性能需求分析	132

7.3.4	数据字典	132
7.3.5	IPO 图	132
7.4	分级分区管理信息系统的概要设计	133
7.4.1	设计原则	133
7.4.2	总体框架设计	134
7.4.3	体系结构设计	135
7.4.4	功能结构设计	136
7.4.5	界面设计	137
7.4.6	数据库设计	139
7.5	分级分区管理信息系统的开发评价模型	140
7.5.1	企业环境风险分级	140
7.5.2	土壤环境质量各要素分级评价	141
7.5.3	土壤环境质量综合分级评价	147
7.5.4	环境受体敏感脆弱性评价	148
7.5.5	土壤环境分级分区评价	149
7.6	分级分区管理信息系统的详细设计	150
7.6.1	企业环境风险分级模块设计	150
7.6.2	土壤环境质量评价模块设计	153
7.6.3	生态风险评估模块设计	153
7.6.4	人体健康风险评估模块设计	154
7.6.5	土壤环境分级分区模块设计	156
7.6.6	数据表设计	156
第 8 章	区域环境风险分级分区管理	161
8.1	区域环境风险管理的工作内容	161
8.1.1	突发性环境污染事故风险管理	161
8.1.2	累积性环境风险管理	164
8.1.3	有毒化学品风险管理	166
8.2	区域环境风险区划	168
8.2.1	风险区划的基本原则	168
8.2.2	风险区划的内容与方法	168
8.3	区域环境风险管理的成本效益分析	169
8.3.1	区域环境效益评估方法	170
8.3.2	区域环境成本效益分析	170
8.3.3	成本效益分析的应用	171
8.4	区域环境风险管理制度的建立	172
8.4.1	环境风险管理制度建立的原则	172
8.4.2	企业环境风险管理制度体系的建立	172

8.4.3 政府环境风险监管的责任	174
8.5 区域环境风险交流	175
8.5.1 开展环境风险交流的意义	175
8.5.2 环境风险交流模型	176
8.5.3 环境风险交流的基本过程	176
第9章 石化企业聚集区土壤环境分级分区案例	178
9.1 石化企业聚集区概况	178
9.1.1 大港化工区北区	180
9.1.2 大港化工区南区	180
9.2 石化企业环境风险分级评估与空间分布	181
9.2.1 突发性环境风险分级评估	181
9.2.2 累积性环境风险分级评估	184
9.2.3 选址敏感性分级评估	186
9.2.4 企业环境风险综合分级评估与空间分布	187
9.3 土壤环境质量分级评价与空间分布	188
9.3.1 土壤样品的采集与测试	188
9.3.2 土壤污染状况分级评价	191
9.3.3 土壤环境质量分级评价与空间分布	203
9.4 土壤污染人体健康风险分级评估与空间分布	212
9.4.1 重金属污染人体健康风险分级评估	212
9.4.2 有机物污染人体健康风险分级评估	213
9.4.3 人体健康风险综合分级评估与空间分布	213
9.5 土壤污染生态风险分级评估与空间分布	215
9.5.1 重金属污染生态风险分级评估	215
9.5.2 有机污染生态风险分级评估	218
9.5.3 生态风险综合分级评估与空间分布	221
9.6 土壤环境分级分区	224
9.6.1 企业风险分级与土壤污染风险分级分区	228
9.6.2 企业风险分级与潜在生态风险分级分区	229
9.6.3 企业风险分级与人体健康风险分级分区	230
9.6.4 土壤环境综合风险分级分区	231
第10章 有色金属企业聚集区土壤环境分级分区案例	234
10.1 有色金属企业聚集区概况	234
10.1.1 有色金属聚集区概述	234
10.1.2 有色金属企业聚集区环境风险概况	235
10.1.3 有色金属企业聚集区土地利用与背景值现状	241
10.2 有色金属企业环境风险分级评价与空间分布	243

10.2.1	企业环境风险分级评价	243
10.2.2	企业环境风险分级与空间分布	249
10.2.3	企业环境风险的影响范围	249
10.3	土壤环境质量分级评价与空间分布	254
10.3.1	土壤污染调查方法	254
10.3.2	土壤环境质量分级评价	258
10.3.3	土壤环境质量分级与空间分布	261
10.4	土壤污染人体健康风险分级评估与空间分布	281
10.4.1	风险评估的暴露途径与暴露参数	281
10.4.2	非致癌人体健康风险分级与空间分布	282
10.4.3	致癌人体健康风险分级与空间分布	283
10.5	土壤污染生态风险分级评估与空间分布	285
10.6	土壤环境分级分区	287
	参考文献	292

第 1 章 总 论

土壤是生态环境不可或缺的组成部分，也是人类生产和生活活动的重要载体。我国是一个拥有数千年农耕历史的文明古国，自李悝治魏，首倡“尽地力”理念，魏国立天下正中而不倒，到商鞅相秦，坏井田，开阡陌，秦始皇因之以成帝业，而后隋唐均田，宋明承制，再到近现代的土地改革，土地自始至终都是中国人赖以生存的根本。20 世纪 80 年代以来，随着经济社会飞速发展，我国对土地资源的开发利用已经接近极限，以污染为主的土壤环境问题也随工业化进程的提速和城市化程度的加深而逐渐显现，并愈演愈烈。

在导致土壤污染的众多来源中，工矿业活动造成的土壤环境问题尤为突出。环境保护部和国土资源部在 2014 年公布的《全国土壤污染状况调查公报》中指出，工矿业活动是造成我国土壤污染的主要原因之一，在调查涉及的 8 种典型地块中，重污染企业用地、工业废弃地、采矿区及周边土壤的点位超标率均在 35.0% 左右，超过全国土壤总点位超标率（16.1%）1 倍有余，工业园区地块的点位超标率也达到了 29.4%。近年来，由于土壤污染对农产品质量、食品安全和人体健康存在显著的威胁和危害，工矿业活动引发的土壤环境问题已经引起了全社会的关注和重视。

1.1 土壤环境分级分区管理的需求

土壤环境分级评价与分区管理是指根据土地利用方式、土壤污染与风险的不同分级状况、土壤污染强度与分布、受体脆弱性和敏感度等各方面各层次因素，将区域土壤划分成具有不同使用功能和环境管理目标的区块，从而对每个分区分别采取有针对性管控措施的一种土壤环境管理方式。土壤环境分级分区管理是土壤环境功能区划的基础，也是区域土壤环境风险管理的主要手段之一，其目的在于客观地揭示区域内及区域之间土壤环境风险分布的相似性和差异性，以区域土壤环境风险分布规律为根据，按照区域自然环境和社会环境的结构、功能及特点，划分成不同等级的区块，确定土壤环境风险管理的优先管理顺序，实现土壤环境风险分区管理，为各分区的区域发展战略、地域用途分工、区域控制措施的制定提供理论依据。

现有的土壤环境功能区划，更多是在土地利用现状的基础上对土壤的功能进行分区，没有将分区与环境风险联系起来。因此，本书以工矿企业聚集区这一区域整体作为研究对象，系统提出工矿企业周边土壤环境风险综合评估及分级分区管理的技术方法，从而实现工矿企业聚集区土壤环境风险的综合管理和土地资源的有效利用。

1.1.1 土地利用方式多样性的需要

工矿业活动主要包括矿产资源的开采、洗选、冶炼及相关工业产品的制造、加工和运

输等。工矿业活动中的采选矿过程、尾矿淋溶、大气污染物的沉降,以及生产过程中的“跑冒滴漏”,均是污染物进入并污染土壤环境的重要途径。因此,工矿企业作为工矿业活动的主要承载者,也是工矿业活动中最主要的土壤污染来源。

我国工矿企业的建设始于新中国成立前,而大规模兴建则可追溯至 20 世纪 50 年代开始的计划经济时期,在当时与苏联一脉相承的发展理念和规划模式指导下,我国以矿山、油田等自然矿藏为依托,兴建了大量工矿企业,形成了工矿企业聚集区的雏形。之后,随着各地工矿业发展水平的提升和规模的扩大,早期的企业群对产业全面发展和产业链完善的需要日趋迫切,而行业政策导向和规划理念的变更,也不断促使工矿企业聚集区吸纳数量更多、产业类型更为丰富的企业,从而使整个区域向多元化和现代化转变,形成产业结构完整、合理的工矿企业聚集区。在大规模兴建工矿企业的同时,为满足企业工人及其家属的居住和日常生活需求,我国修建了大量附属于工矿企业的工人住区。随着工矿企业聚集区人口规模的扩大和经济社会发展水平的提高,原本功能单一的工人居住区也不断向具备居住、娱乐、教育、医疗、金融经贸等功能的居民生活区转变,甚至与周边地区的村落和乡镇相互交融,有研究认为这将推动形成范围更加广阔的生活聚落(苏晓雯, 2010; 骆永明, 2011)。

可以看出,经过长时间的建设和发展,我国已形成了一定数量的典型工矿企业聚集区。在漫长而曲折的发展过程中,这些区域也逐渐显现出一些问题:①区域内各家企业的行业类型、建设时间、生产规模、工艺流程,以及环境管理和污染防控水平均不尽相同,导致了区域内土壤污染源种类繁多且复杂(Guan et al., 2016);②污染物在土壤中的迁移和转化过程较为缓慢,部分污染物,如重金属和难降解有机物等容易在土壤中积累,工矿企业聚集区发展周期较长,且土壤污染源不断变化、增多,不同种类的污染物叠合共存,势必导致区域内土壤污染物的种类和分布日趋复杂,有可能导致该地区形成复合型污染(骆永明, 2015);③在工矿企业聚集区内可能存在城区、村镇、农业用地、工业用地,以及文化娱乐和教育医疗等多种土地利用分区,导致区域内从企业工人、家属到动植物、生态保护区等环境敏感要素的分布错综复杂。

近年来,随着西部大开发战略的实施及我国城市化步伐的提速,在城市“退二进三”等政策指导下,原先分布于东南沿海的众多产业向中西部内陆地区转移,成了我国产业发展的重要趋势。而在“长江经济带”“一带一路”等区域开放开发战略提出后,长江和黄河中上游等重点生态功能区和生态环境脆弱地区在资源保护和区域开发之间的矛盾受到了前所未有的关注。对能源和资源需求更为明显的工矿业也面临着空间的迁移和产业结构的调整,而工矿企业的搬迁、新建,以及工矿企业聚集区的拆除、建立和发展,在形成新的污染场地的同时,也势必给中西部地区本就脆弱的生态环境带来不可忽视的风险。因此,开展基于工矿企业聚集区环境风险的土壤环境分级分区管理,不仅是解决我国目前面临的土壤环境问题的需要,也是保障我国产业转移进程顺利进行,推动我国工业化和现代化步伐的重要需求。

1.1.2 未来土壤环境管理的需要

随着世界工业化的进程,土壤污染已成为各国重大环境问题,一方面需要从技术层面

进行土壤修复,另一方面需要将土壤污染与治理提升至法律的高度。相对于世界其他国家土壤治理来看,我国土壤污染治理起步稍晚,因此有必要向发达国家学习土壤环境管理经验。

土壤污染的自身特点导致土壤污染治理相比大气和水而言,周期更长、难度更大、投入更高、效果更慢。因此,在解决土壤污染问题时,要避免照搬大气、水污染治理思路和技术路径,人类需要饮用水,需要呼吸空气,但可以不消费土壤,因此,对土壤污染的控制不一定要去除土壤中的污染物,也可以通过切断污染土壤暴露于受体的途径来实现。

此外,对土壤污染的防治要采用预防为主、保护优先、风险管控的策略。根据欧美发达国家和地区土壤污染治理经验,污染预防、风险管控、治理修复的投入比例大致为1:10:100,优先保护好优质的土壤是避免后期治理与修复大量投入的关键。由于重金属、持久性有机污染物难以降解,污染物一旦进入土壤环境,与各类成分紧密结合后,对土壤结构、功能的破坏是长期的、持续的,即使采取治理与修复措施,通常也难以完全恢复原有结构和功能。

由于土壤污染的复杂性、土壤中污染物去除的高成本、土地利用方式的多样性等各种因素,纵观世界各国土壤污染防治历程,最终均采用了以风险管理为核心思想的防治策略,并渗透到立法、标准制订、技术措施选取等环节中,同时考虑土地利用类型、污染程度、污染物类别、技术经济条件等因素,将土壤的风险控制至达到特定土地用途,而不是全面去除土壤中的污染物,将土壤修复到可实现各种用途。很多国家如美国、英国、加拿大等,其风险管理的理念贯穿于土壤环境管理,并建立土壤污染的风险评估方法,针对不同污染土壤的不同规划用地方式和功能,制定基于风险管理的土壤环境风险筛选值。美国根据不同用地方式颁布了旨在保护人体健康的《土壤环境风险筛选值》和旨在保护生态受体安全的《土壤生态风险筛选导则》。英国建立了《污染土壤暴露风险评估导则》,考虑不同用地方式,以保护人体健康为原则制定土壤环境质量指导值。加拿大考虑了不同用地方式下人群暴露情景,分别制订了土壤环境质量指导值,以保护人体健康土壤质量指导值和保护生态土壤环境质量指导值两者中的最低值作为最终土壤环境质量指导值。

对土壤环境进行分级分区的方法就是建立在工矿企业的环境风险、土壤污染的人体健康风险和生态风险、敏感受体的脆弱性等因素的分组基础之上,将风险管理的理念贯穿于整个方法体系的建立,这种基于风险的管理将是未来我国土壤环境管理的必然趋势。

1.1.3 土壤环境风险管控的重要支撑

以造成土壤污染的生产生活等活动为依据,可将我国土壤污染划分为:企业搬迁遗留污染土地、污水灌溉和农用化学品土壤污染、石油开采和应用土壤污染、采矿和冶金土壤污染、废物堆存和垃圾填埋土壤污染、电子废弃物拆解土壤污染和其他类型土壤污染。在导致土壤污染的风险源中,工矿企业活动是一个重要来源。据统计,我国受农药、重金属污染土地达上千万公顷,其中矿区污染土壤面积达200万 hm^2 ,石油污染土壤约500万 hm^2 ,固废堆放污染土壤5万 hm^2 ,已对我国生态环境质量和农产品安全造成严重威胁。在我国,目前受到广泛关注的污染物种类为镉、铅、砷、汞等重金属,挥发、半挥发性有机污染物及多环芳烃等难降解有机污染物。近几年我国重金属污染事件频发,由于其污染农田面积