

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

Risk Assessment and Control
of Contaminated Site Remediation

污染场地修复 风险评价与控制

贾建丽 于 妍 薛南冬 等编著

化学工业出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

Risk Assessment and Control
of Contaminated Site Remediation

污染场地修复 风险评价与控制

贾建丽 于 妍 薛南冬 等编著



化学工业出版社

·北京·

本书从污染场地的产生和特点出发,针对污染场地修复技术的特点,对污染场地修复过程的环境风险评价方法体系进行系统论述。全书共分八章,主要介绍了污染场地分类及其危害、污染场地管理体系、污染场地修复技术体系、污染场地修复环境风险、污染场地修复环境风险评价、污染场地修复环境风险可控性以及污染场地修复环境风险控制等内容。

本书可供环境工程、化学工程等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考,也可作为高等学校相关专业的研究生、本科生教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

污染场地修复风险评价与控制/贾建丽,于妍,薛南冬等
编著. —北京:化学工业出版社,2015.4

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

ISBN 978-7-122-23336-3

I. ①污… II. ①贾…②于…③薛… III. ①场地-环境污染-污染防治-风险评价②场地-环境污染-污染防治-风险管理
IV. ①X5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第053731号

责任编辑:刘兴春

装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张13¼ 字数313千字 2015年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

《环保公益性行业科研专项经费项目系列》丛书
编著委员会

顾 问：吴晓青

组 长：赵英民

副组长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制订、修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。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《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，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”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目234项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、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，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间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，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”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，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，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，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011年10月

前言

随着城市化进程的加快、产业结构的调整和现代农业的发展,包括土壤、地下水等在内的污染场地在人类生产、生活等活动的影响下呈快速发展趋势。由于现代土地资源和水资源紧缺、污染场地所处的地理位置、历史功能等多方面的原因,对其开展修复和再开发已成为全球广受关注的热点内容。近年来,世界各国根据各自的场地情况、技术水平和国情等发展起各具特色的污染场地管理、环境评价、修复技术等污染场地修复与管理体系。在此发展过程中,随着绿色修复和可持续修复理念的深入和推广,污染场地修复在对场地功能恢复的同时,其技术和工程实施过程可能带来的风险也受到越来越多的重视,成为绿色可持续修复的重要内涵。基于污染场地修复及其管理体系中污染物的差别、环境毒性水平差异、场地污染历史不同以及修复后场地用途分化等主体和客体的区别,污染场地修复技术及其实施过程可能存在的风险水平差异较大,导致污染场地修复的风险评价手段和过程亦有所不同,进而导致针对不同污染场地修复过程的风险控制也因受体、场地用途、资金投入等的制约分为技术控制、制度控制、管理控制等,需要通过一定的评价与控制选择进行高效、经济的污染场地修复风险控制,以达到绿色、可持续修复的目的。本书即以国内外污染场地修复的大背景为前提,针对目前污染场地修复过程中环境风险评价和控制较为缺乏的现状,结合国内外先进的污染场地修复技术与管理体系特点,以绿色修复和可持续修复为选择目标,从污染场地修复的技术特点出发,评价其修复过程的环境风险,在此基础上论述污染场地修复过程的环境风险控制方法体系。

本书从污染场地的产生过程和不同类型的污染场地特点出发,梳理国内外污染场地的管理体系。在此基础上,针对污染场地修复技术的特点,对污染场地修复过程的环境风险评价方法体系进行系统论述,构建污染场地修复过程中的环境风险可控性指标体系,针对典型污染场地修复技术评价其环境风险可控性,在此基础上从技术与制度控制等角度构建其环境风险管理体系,从而为中国污染场地修复过程降低环境风险、进行科学的风险管理提供依据。本书可供污染场地修复、环境科学与环境工程等相关的环境修复技术人员与环境管理人员作为参考书使用,也可供高等学校环境科学与工程及相关专业的研究生和本科生作教材和参考书使用。

本书主要由贾建丽、于妍、薛南冬、何绪文和王建兵等编著;另外,参加本书编著及整理材料的还有王冰冰、翟宇嘉、翟晓波、林娜娜、吴昱、魏阳、宗爽、赵丽娜、房增强等,在此表示感谢。特别感谢环保公益性行业科研专项(201109017)对本书的资助。

限于编著者水平和编著时间,书中疏漏及不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2015年1月

目 录

第一章 绪论 / 1

第一节 污染场地概述	3
第二节 污染场地的产生及其研究进展	4
一、污染场地的产生	4
二、污染场地研究发展历程	4
三、场地污染源	6

第二章 污染场地分类及其危害 / 13

第一节 污染场地分类	15
一、国外污染场地主要分类方法体系	15
二、中国污染场地分类方法	17
三、中国污染场地主要类型	19
第二节 污染场地特点	20
一、污染场地概述	20
二、石油类污染场地特点	22
三、煤矿工业污染场地特点	23
四、化工类污染场地特点	25
第三节 污染场地的危害	26
一、对土壤和地下水环境的影响	26
二、对动植物及微生物的危害	29
三、对人体健康的危害	31

第三章 污染场地管理体系 / 33

第一节 污染场地管理体系构成	35
----------------------	----

一、概述	35
二、国外污染场地管理体系	35
三、污染场地修复与管理资金来源	42
四、中国污染场地管理体系现状及其发展趋势	44
第二节 污染场地法律法规及标准	47
一、美国污染场地法律法规及标准	47
二、英国污染场地法律法规及标准	49
三、德国污染场地法律法规及标准	50
四、加拿大污染场地法律法规及标准	51
五、中国污染场地法律法规及标准体系	52
第三节 污染场地环境风险管理	55
一、污染场地环境风险管理定义与研究内容	55
二、污染场地修复环境风险管理阶段与影响因素	56
三、污染场地环境风险管理体系构成	57

第四章 污染场地修复技术体系 / 59

第一节 污染场地修复定义及其分类	61
一、污染场地修复定义	61
二、污染场地修复技术分类	61
三、污染场地修复技术特点及其适用性	64
第二节 污染土壤修复技术	65
一、土壤气相抽提技术	65
二、固化/稳定化技术	68
三、水泥窑共处置技术	70
四、化学改良技术	72
五、电动修复技术	74
六、土壤淋洗技术	76
七、微生物修复技术	77
八、植物修复技术	81
九、联合修复技术	85
第三节 地下水修复技术	87
一、抽出-处理技术	88
二、渗透反应墙修复技术	91
三、原位曝气技术	94
四、原位生物修复技术	96
五、原位化学氧化修复技术	97

第五章 污染场地修复环境风险 / 101

第一节 污染场地修复工作流程及修复环境风险 103

 一、污染场地修复工作流程 103

 二、污染场地修复环境风险定义与研究内容 104

 三、污染场地修复环境风险环节 104

第二节 污染场地修复环境风险典型环节 104

 一、污染场地调查阶段环境风险 104

 二、采样及样品分析阶段环境风险 105

 三、样品储存阶段环境风险 105

 四、修复系统运行与维护阶段环境风险 106

 五、修复终止及场地恢复阶段环境风险 106

第三节 污染场地修复过程环境风险环节案例分析 106

第六章 污染场地修复环境风险评价 / 109

第一节 概述 111

 一、污染场地修复环境风险评价定义及其体系 111

 二、美国污染场地修复环境风险评价体系基本构成 113

 三、中国污染场地修复环境风险评价体系框架 114

第二节 美国污染场地修复环境风险评价体系 115

 一、场地信息调查与数据收集 115

 二、暴露评估 115

 三、毒性评估 123

 四、风险表征 128

第三节 中国污染场地修复环境风险评价体系 129

 一、危害识别 129

 二、暴露评估 130

 三、毒性评估 136

 四、风险表征 137

 五、风险控制值计算 138

第四节 污染场地修复工程挖掘过程健康风险评估案例 140

 一、场地概况 140

 二、场地 VOCs 污染水平 140

 三、暴露评估 142

 四、风险表征 144

第五节 某地下气化灰渣人体健康风险评估案例 146

一、场地概况及危害识别	146
二、暴露评估	147
三、风险表征	148
四、风险控制值计算	151

第七章 污染场地修复环境风险可控性 / 155

第一节 污染场地修复过程的环境风险可控性理论基础	157
一、风险可控性理论基础	157
二、污染场地修复过程中的环境风险可控性	158
第二节 污染场地修复过程的环境风险可控性评价方法	159
一、环境风险源项识别	159
二、环境风险源项分析	160
三、场地修复过程中环境风险评估	160
四、场地修复过程中环境风险可控性评价	161
五、污染场地修复环境风险的不确定性分析	162
六、场地修复过程中环境风险控制方法	164
第三节 环境风险可控性案例分析	165
一、环境风险源项识别	165
二、环境风险源项分析	165
三、环境风险评估	166
四、环境风险可控性评价	167
五、环境风险管理	168

第八章 污染场地修复环境风险控制 / 171

第一节 污染场地修复环境风险控制体系	173
一、污染场地修复环境风险控制工作流程及决策框架	173
二、污染场地修复环境风险控制原则	175
三、污染场地修复环境风险控制实施途径	175
四、污染场地修复典型环节环境风险控制	176
第二节 污染场地修复环境风险技术控制	178
一、场地修复过程中污染物的环境风险技术控制方法	178
二、污染场地修复过程环境风险技术控制案例	178
第三节 污染场地修复环境风险非技术控制	181
一、场地修复过程中污染物的环境风险制度控制	181
二、场地修复过程中污染物的环境风险工程控制	183

附录 / 185

附录 1	美国土壤质量标准	185
附录 2	英国土壤质量标准	190
附录 3	加拿大土壤质量标准	192

参考文献 / 202

CHAPTER 1

第一章

绪 论

第一节 污染场地概述

场地 (Site) 是指某一地块范围内的土壤、地下水、地表水以及地块内所有构筑物、设施和生物的总和 (HJ 682—2014, 2014)。

污染场地 (Contaminated Site) 又称“棕地” (Brownfield), 该词于 20 世纪 90 年代初期开始出现在美国联邦政府的官方用语中。迄今为止“棕地”仍没有一个统一的概念。美国环境保护署 (United States Environmental Protection Agency, USEPA) 将污染场地定义为“废弃的、闲置的或没有得到充分利用的土地。在这类土地的再开发和利用过程中, 往往因存在着客观上的或潜在的环境污染而比其他开发过程更为复杂”; 维基百科全书将污染场地定义为“废弃的、闲置的, 或没有充分利用的工业和商业场所, 由于现实的或潜在的环境污染使其扩展和再开发变得较为复杂”。

中国对于污染场地的定义随着对其研究的深入和与国际接轨, 在近年也发生了一些变化。李广贺等将污染场地定义为“因堆积、储存、处理、处置或其他方式 (如迁移) 承载了有害物质的, 对人体健康和环境产生危害或具有潜在风险的空间区域”; 易爱华等将污染场地的概念规定为“污染物的含量超过了土壤污染控制标准, 会对作物和人体造成明显的不利影响, 要加以治理才可重新利用的土地”; 中国 2014 年颁布的《污染场地术语》(HJ 682—2014, 2014 年 7 月 1 日实施) 则将其定义为: “对潜在污染场地进行调查和风险评估后, 确认污染危害超过人体健康或生态环境可接受风险水平的场地, 又称污染地块”。污染场地是工业化和城市化的产物, 概念的界定对污染场地识别及其分类管理有重要意义。

在不同的污染场地定义中, 对污染场地的界定均包含 4 方面的特征: ①特定空间区域, 为地表水、土壤、地下水、空气组成的立体空间区域; ②这一特定空间区域已经被污染, 一般是由人类过去或现在的活动引起, 如矿山开采、化工冶炼、垃圾填埋等; ③对周边人群健康或环境安全造成实际危害或带来潜在威胁, 如地下水污染对饮用水源造成不利影响; ④动态性特征, 污染场地的危害会随污染物的自然降解、人工清除等减轻, 也会随污染物的排放增加而加重。场地污染状况是动态变化的, 当达到可自净或规定的污染物浓度范围, 这块区域就不再是污染场地。

总体来说, 污染场地不仅包含了场地的介质条件, 更强调了其对人体健康和生态环境产生的危害, 其中将潜在风险区域纳入到污染场地的范畴, 有利于对污染场地的控制与治理。从用地性质来说, 污染场地以工业用地居多, 包括废弃的以及还在利用中的旧工业区, 规模大小不等; 此外还有农业用地、市政用地等存在一定程度的污染或潜在环境问题的地块。

▶ 第二节 污染场地的产生及其研究进展

一、污染场地的产生

污染场地主要是人们在生产生活中使用化学品、产生废物等过程中，在没有采取足够的安全保障措施下储存（填埋等方式）、堆放、泄漏、倾倒废弃物或有害物质等所导致。污染场地的产生原因包括城市工业活动、矿区开采冶炼、废弃物堆放储存及农业生产活动等。由于产业结构调整、城市发展等原因，除一些单独的工矿区、农业区外，中国还有很多污染场地位于城市中心区内，使其环境风险评估和修复等一系列管理与控制工作存在很大的困难。

20 世纪 90 年代以来，中国社会经济发展迅速、城市化进程加快、产业结构调整深化，导致土地资源紧缺。随着“退二进三”、“退城进园”和“产业转移”等政策的实施，中国几乎所有的大中城市正面临着重污染工业企业关闭和搬迁问题，城市出现大量工业遗留和遗弃场地，导致城市工业污染场地问题十分突出，中国 2001~2008 年关停、转迁企业数量见图 1-1。这些污染场地的存在带来了双重问题：一方面是环境和健康风险；另一方面则阻碍了城市建设和经济发展。

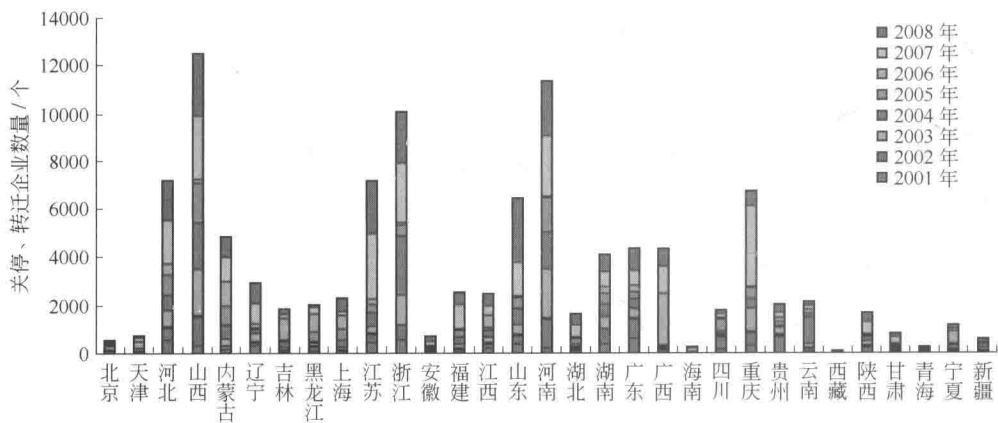


图 1-1 中国 2001~2008 年关停、转迁企业数量

二、污染场地研究发展历程

1. 国外污染场地发展历程

20 世纪 70 年代中期，工业废物对水体、土地和空气造成了广泛的污染，美国乃至全世界爆发了一系列危险废物泄漏危害公众健康和安全的的事件，如纽约州水牛城（Buffalo）的拉夫运河（Love Canal）事件、新泽西州化学公司失火导致有毒气体扩散事件、肯塔基州的卓姆山谷事件等。其中影响最大的莫过于拉夫运河事件，20 世纪 40~50 年代胡克

(Hooker) 化学公司在闲置的拉夫运河倾倒了 21800t 工业废物, 随后, 胡克公司用泥土对存有工业废物桶的拉弗运河进行了填埋覆盖, 后发展为居民区并建有一所学校。到 70 年代中期, 化学废物开始渗入居民住宅的地下室, 并有有毒气体释放出来, 场地污染问题开始成为一个广受关注的重点问题。

20 世纪 80 年代, 美国国会通过了《综合环境反应、补偿和责任法》(Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act), 又称《超级基金法》(The Superfund)。该法案是在危险废物泄漏造成的严重后果引起了全国的广泛关注, 一方面居民强烈要求政府采取行动保护公众的健康和安全; 另一方面政府发现现有的法律无法提供足够的手段以应对危险物质泄漏的紧急状况和大量危险废物处理设施缺乏的整体背景下提出的。《超级基金法》为政府处理环境污染紧急状况和治理重点危险废物设施提供了财政支持, 对危险物质泄漏的紧急反应以及治理危险废物处置设施的行动、责任和补偿问题做出了规定。自 1980 年《超级基金法》颁布以来, 该法历经了数次修订, 包括 1986 年的《超级基金修正及再授权法》, 1992 年的《公众环境应对促进法》, 1996 年的《财产保存、贷方责任及抵押保险保护法》以及 2002 年的《小商业者责任减免及棕色地带复兴法》。

2. 中国污染场地发展历程

20 世纪末至 21 世纪初, 鉴于污染场地数量的增加和场地环境调查、环境风险评估、污染场地修复等工作的陆续开展, 中国政府颁布了一系列规范和标准, 相关标准有 1995 年颁布的《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995), 1993 年颁布的《地下水质量标准》(GB/T 14848—93), 2004 年颁布的《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166—2004), 2007 年颁布的《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》(HJ 350—2007) 等。这些标准有的已经严重滞后于实践, 有的不是专门针对污染场地, 这使中国的场地环境评价和修复工作陷入被动状态。对于测试方法, 也存在两个方面的问题: 一是没有国标方法, 这将导致测试方法在引用和使用上带来的困难和结果的差异; 二是某些测试方法不能满足当前场地评价的要求。

自 2000 年中国高校及研究院所开始配合城市规划进行场地评价工作以来, 经过多年来的实践和总结, 逐渐形成了独立的场地评价标准体系。中国的场地评价已经从借鉴学习阶段进入自主研发和系统化的阶段。2004 年 6 月 1 日中国环境保护部印发了《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), 旨在解决快速城市化和污染土地开发过程中发生的一些严重的污染事件, 其中有些事件经过媒体报道, 引起了公众的广泛关注。例如, 2004 年北京市宋家庄地铁工程施工工人的中毒事件, 成为中国重视工业污染场地的环境修复与再开发的开端。该事件后, 关闭或破产企业在结束原有生产经营活动, 改变原土地使用性质时, 必须对原址土地进行调查监测, 报环保部门审查, 并制定土壤功能修复实施方案。对于已经开发和正在开发的外迁工业区域, 要对施工范围内的污染源进行调查, 确定清理工作计划和土壤功能恢复实施方案, 尽快消除土壤环境污染。改革开放以来, 来华投资的企业大多都采用美国的场地环境调查与评价技术规范, 对其购入的企业或土地进行场地环境调查与评价, 以识别场地环境状况, 规避污染责任。自 2004 年宋家庄地铁事件之后, 中国的环境保护研究机构在各地开始涉足污染场地领域的研究与实践, 并根据污染场地开发利用过程中环境管理和土壤修复的需要, 分别制定出台了相关的地方法规和配套技术标准。