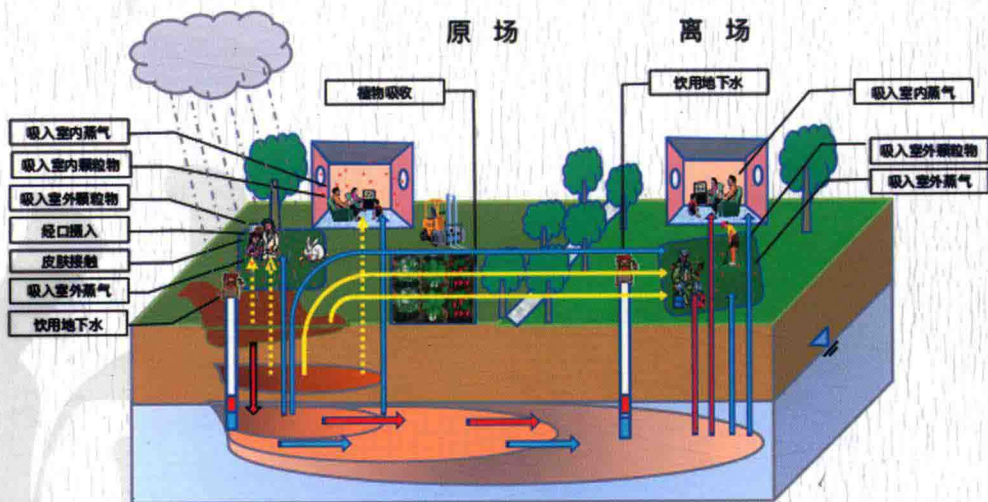


污染场地土壤与地下水 风险评估方法学

陈梦舫 韩璐 罗飞 编著



科学出版社

污染场地土壤与地下水风险 评估方法学

Soil and Groundwater Risk Assessment
Methodologies for Contaminated Sites

陈梦舫 韩璐 罗飞 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书详细介绍了污染物在不同环境介质中的分配、迁移和转化规律,总结了基于“污染源-暴露途径-受体”链的污染场地概念模型构建方法以及污染物理化、毒性、场地特征和暴露等关键参数,系统阐述了国内外不同风险评估导则中污染物迁移和暴露解析模型的背景、公式及场地污染物通用与特定评估基准值的推导方法。本书从污染场地土壤与地下水风险评估技术基础理论出发,全面和系统地介绍了国内外人体健康与水环境风险评估技术方法学,奠定了我国污染场地风险管控与可持续性修复技术的理论基础,具有很高的实用价值。

本书可作为环境修复从业者、环境管理者、研究生或本科生学习或研究风险评估理论的专业参考书籍,也可以作为污染场地风险评估技术人员的培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

污染场地土壤与地下水风险评估方法学/陈梦舫等编著. —北京:科学出版社, 2017.5

(污染场地修复系列专著)

ISBN 978-7-03-052862-9

I. ①污… II. ①陈… III. ①场地-环境污染-土壤污染-风险评价
②场地-环境污染-地下水污染-风险评价 IV. ①X502

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第096520号

责任编辑:周丹 冯钊/责任校对:彭珍珍

责任印制:张倩/封面设计:许瑞

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

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年5月第一版 开本:720×1000 1/16

2017年5月第一次印刷 印张:23 1/4

字数:469 000

定价:129.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介

陈梦舫，中国科学院南京土壤研究所研究员，中国土壤学会土壤修复专业委员会主任，中国科学院“百人计划”入选者（引进海外杰出人才），污染场地安全修复技术国家工程实验室副主任，中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室副主任，国际污染场地可持续修复联盟委员，伦敦地质协会资深地质学家，欧盟 FP7 NANOREM 纳米铁修复

技术应用项目国际顾问，江苏省环境科学学会土壤及地下水修复专业委员会主任。曾任 2012 年英国伦敦奥运会高级环境顾问。主要从事污染场地健康与环境原位修复技术研发、场地土壤与地下水污染风险管控及可持续修复管理框架体系、废弃矿山污染机理及防控技术研究。2012 年开发了我国首套污染场地健康与环境风险评估软件（HERA），有望成为建立我国污染场地环境管理框架体系的重要工具。



韩璐，中国科学院南京土壤研究所环境科学博士，主要研究方向为污染场地风险评估和修复。博士研究课题为生物炭-铁复合材料对氯代有机污染物的去除，以第一作者发表 SCI 论文 4 篇。主要参与项目包括：科学技术部 863 项目、环境保护部公益项目、中国科学院知识创新工程项目、中国科学院科技服务网络计划（STS 计划）、株洲工业园区调查评估项目、苏州化工场地评估及修复项目、江苏无锡化工场地风险评估项目等。作为技术骨干研发了污染场地健康与环境

风险评估软件（HERA），2014 年负责 HERA 软件的升级工作。

罗飞，中国科学院南京土壤研究所环境科学博士，现任深圳市环境科学研究院生态所土壤环境研究方向负责人，擅长污染场地环境调查、健康与环境风险评估、土壤环境可持续管理等相关的研究与咨询工作。作为核心骨干先后参加了环境保护部 863 项目、科技支撑、环保公益、环保履约、中国科学院知识创新工程等多个科研项目，作为技术负责人研发了我国首套污染场地健康与环境风险评估软件（HERA），先后主持了深圳市土壤环境调查、基础研究、制度建设、管理对策等方面的科研项目 8 项，至今发表学术论文 17 篇。



前 言

随着我国经济的快速发展，工业化和城市化进程的加快，场地土壤和地下水的污染问题日益严重，开展工业企业拆迁遗留场地环境调查、风险评估和修复已成为我国环保工作的新热点。为了加强污染场地安全再开发的监督管理，中华人民共和国环境保护部于 2004 年颁布了《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》，2008 年出台了《关于加强土壤污染防治工作的意见》（环发〔2008〕48 号），2012 年，中华人民共和国环境保护部、工业和信息化部、国土资源部、住房和城乡建设部共同颁布的《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发〔2012〕140 号）以及中华人民共和国环境保护部 2014 年颁布的《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》（环发〔2014〕66 号）等文件，要求保障工业企业场地再开发利用的环境安全。2014 年 7 月，中华人民共和国环境保护部正式颁布了《污染场地土壤修复技术导则》（HJ 25.4—2014）、《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3—2014）、《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1—2014）、《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2—2014）四个技术规范，为我国污染场地环境监管工作提供了理论基础与执行依据。2016 年 5 月，中华人民共和国国务院颁布了《土壤污染防治行动计划》（简称“土十条”），为当前和今后一段时期全国土壤污染防治工作指明了方向和奋斗目标。“土十条”在强调改善环境质量的同时，更强调土壤污染风险管控的重要性。因此，基于风险的可持续修复框架体系已成为当前我国污染场地环境管理的研究焦点和亟待解决的重大问题之一。

近年来，我国在污染场地风险管理方面取得了一些进展，但与欧美发达国家相比，我国仍处于起步阶段，缺乏一支对场地土壤与地下水风险进行评估的专业队伍，有待建立基于风险的污染场地环境管理框架体系。因而，作者认为，有必要对场地土壤与地下水污染风险评估技术方法学、暴露概念模型及污染物迁移转化解析模型进行全面和系统的总结，为相关行业的研究人员提供更全面且具有学术研究价值的科学文献资料。本书主要参考了美国《基于风险的矫正行动标准导则》（*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action*, ASTM E2081）、英国《CLEA 模型技术背景更新文件》（*Updated Technical Background to the CLEA Model*）以及我国《污染场地风险评估技术导则》的风险评估基本理论，详细介绍了污染物在不同环境介质中的分配、迁移和归趋模型，总结了基于“污染源-暴露途径-受体”链的污染场地概念模型构建方法以及污染物理化、毒性、场地特征和暴露等关键

参数,系统阐述了国内外不同风险评估导则中污染物迁移和暴露解析模型的背景、公式及场地污染物通用与特定评估基准值的推导方法。

本书是根据作者多年国内外研究与工作经历并在中国土壤学会土壤修复专业委员会组织的五期“污染场地土壤与地下水风险评估技术 HERA 讲座”的基础上编著而成的,参考了大量国内外文献,总结了污染场地风险评估的研究资料和研究成果。本书共分 8 章,总体框架由陈梦舫设计。具体分工如下:第 1 章由陈梦舫撰写,第 2 章由韩璐撰写,第 3 章由钱林波撰写,第 4 章由晏井春撰写,第 5 章由罗飞、韦婧、韩璐、李春平、董敏刚、高卫国撰写,第 6 章由韩璐撰写,第 7 章和第 8 章由陈梦舫撰写。中国科学院南京土壤研究所的研究生陈云、张文影、欧阳达、刘荣琴、苏安琪,科研助理倪浩、李婧以及南京凯业环境科技有限公司的周实际、冉睿予均参与了本书的前期准备、资料整理和校对工作。全书由陈梦舫统稿。

本书在编制过程中得到了中国科学院南京土壤研究所沈仁芳所长,中国科学院科技促进发展局牛栋、周桔处长的关心与悉心指导,在此表示衷心的感谢。感谢英国诺丁汉大学的 Paul Nathanail 教授、布莱顿大学的 Paul Bardos 教授、中国科学院烟台海岸带研究所的骆永明研究员、北京市环境保护科学研究院的姜林研究员、中国环境科学研究院的周友亚研究员、中国地质大学(武汉)的李义连教授、中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室的吴龙华研究员、滕应研究员、宋静副研究员、刘五星副研究员对本书编著给予的大力支持和协助。

由于时间仓促以及水平所限,书中难免存在疏漏和不足,希望广大读者和同仁不吝赐教,以利于本书的进一步完善和改进。



2016 年 12 月 31 日于南京

目 录

前言

第 1 章 简介	1
1.1 背景介绍	1
1.2 国际污染场地环境管理框架的演变	2
1.2.1 完全清除阶段 (1980~1990)	2
1.2.2 基于风险的管理框架阶段 (1991~2004)	3
1.2.3 可持续性修复框架阶段 (2005 至今)	4
1.3 风险评估研究进展	5
1.4 主要内容	6
第 2 章 风险评估基本理论	7
2.1 风险评估的定义	7
2.2 多层次风险评估结构	7
2.2.1 定性风险评估	8
2.2.2 第一阶段定量风险评估	8
2.2.3 第二阶段定量风险评估	9
2.2.4 第三阶段定量风险评估	9
2.3 风险评估基本流程	10
2.3.1 危害识别	10
2.3.2 毒性评估	11
2.3.3 暴露评估	14
2.3.4 风险表征	21
2.3.5 不确定性分析	24
第 3 章 污染物环境迁移归趋	26
3.1 污染物三相分配行为	26
3.1.1 土壤污染物的化学分配行为	27
3.1.2 污染物三相分配计算	29
3.1.3 土壤中的污染物饱和浓度	31
3.1.4 非水相液体	32
3.2 污染物迁移归趋概念模型	32
3.3 案例练习	34

练习答案	35
第 4 章 污染场地概念模型及典型参数	37
4.1 构建场地概念模型基本信息	37
4.1.1 收集现有场地数据	37
4.1.2 分析现有场地数据	38
4.1.3 构建场地概念模型	39
4.2 场地概念模型相关参数	40
4.2.1 用地类型	40
4.2.2 场地特征参数	44
4.2.3 受体特征参数	51
4.2.4 污染物性质参数	59
4.3 案例练习	63
练习答案	63
第 5 章 关键暴露途径及模型	64
5.1 经口摄入土壤/颗粒物	65
5.2 食用农作物	66
5.2.1 预测土壤-植物浓度分配因子	66
5.2.2 计算污染物食用率	69
5.2.3 案例练习	69
练习答案	70
5.3 皮肤接触土壤/颗粒物	70
5.3.1 计算污染物吸收率	70
5.3.2 案例练习	72
练习答案	73
5.4 呼吸吸入颗粒物	73
5.4.1 预测颗粒物释放因子	74
5.4.2 预测侧向空气扩散因子	77
5.4.3 计算污染物吸入率	78
5.4.4 案例练习	79
练习答案	80
5.5 呼吸吸入土壤蒸气	80
5.5.1 预测土壤气污染物浓度	80
5.5.2 土壤气污染物迁移过程	81
5.5.3 预测土壤-室外空气挥发因子	81
5.5.4 预测土壤-室内空气挥发因子	84

5.5.5 计算污染物吸入率	86
5.5.6 案例练习	87
练习答案	88
5.6 土壤淋溶-地下水-侧向迁移	90
5.6.1 预测土壤淋溶因子	90
5.6.2 预测地下水侧向迁移稀释衰减因子	93
5.6.3 计算污染物饮用率	94
5.6.4 案例练习	96
练习答案	97
5.7 呼吸吸入地下水蒸气	98
5.7.1 预测地下水-室外空气挥发因子	99
5.7.2 预测地下水-室内空气挥发因子	100
5.7.3 计算污染物吸入率	101
5.7.4 案例练习	102
练习答案	102
第6章 基于保护健康与水环境的基准值推导	104
6.1 基本原则	104
6.2 基于保护人体健康推导基准值	106
6.2.1 单一暴露途径下推导基准值	106
6.2.2 多暴露途径下推导基准值	107
6.2.3 离场迁移途径下推导基准值	109
6.3 基于保护水环境推导基准值	110
6.3.1 推导土壤基准值	110
6.3.2 推导地下水基准值	111
第7章 常用模型介绍	112
7.1 美国 RBCA 模型	113
7.2 英国 CLEA 模型	114
7.3 中国科学院 HERA 模型	115
7.3.1 HERA 模型的主要特点	116
7.3.2 HERA 模型的主要功能	116
第8章 结语	120
8.1 回顾与总结	120
8.2 主要存在问题	121
参考文献	124
附表	132

附表 A	基本术语表	133
附表 B	HERA 模型默认参数表	142
附表 C	场地概念模型信息总结表	147
附表 D	英国土壤指导值	151
附表 E	荷兰土壤与地下水干预值	152
附表 F	美国国家环境保护局区域筛选值	155
附表 G	美国国家环境保护局推导区域筛选值使用的污染物毒性参数表	208
附表 H	美国国家环境保护局推导区域筛选值使用的污染物理化参数表	281

第1章 简介

1.1 背景介绍

随着我国城市化进程加快、产业结构调整政策的实施,工业企业拆迁遗留场地土壤和地下水的污染问题日益凸显。场地污染的处理结果将显著影响场地再开发后的人居健康安全、生态环境安全及饮用水安全。因此,开展工业企业拆迁遗留场地环境调查、风险评估和修复已成为我国环保工作的新热点。为了加强污染场地的监督管理,中华人民共和国环境保护部于2004年颁布了《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》,2008年出台了《关于加强土壤污染防治工作的意见》(环发〔2008〕48号)。2011年,环境保护部会同发展和改革委员会、国土资源部联合编制了《全国土壤环境保护规划(2011~2015)》,将土壤环境保护工作上升到国家层面,同年12月,国务院正式颁布了《国家环境保护“十二五”规划》,明确要求“开展污染场地再利用的环境风险评估”,并且“禁止未经评估和无害化治理的污染场地进行土地流转和开发利用”。污染场地风险评估被正式纳入我国环境保护工作的范畴。2012年,中华人民共和国环境保护部、工业和信息化部、国土资源部、住房和城乡建设部共同颁布的《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》(环发〔2012〕140号)以及中华人民共和国环境保护部2014年颁布的《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》(环发〔2014〕66号)等文件,要求保障工业企业场地再开发利用的环境安全。2014年7月,中华人民共和国环境保护部正式颁布了《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3—2014)、《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1—2014)、《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2—2014)等技术规范,为我国污染场地环境监管工作提供了理论基础与执行依据。2016年5月,中华人民共和国国务院颁布了《土壤污染防治行动计划》(简称“土十条”),为当前和今后一段时期全国土壤污染防治工作指明了方向和奋斗目标。“土十条”在强调改善环境质量的同时,更强调土壤污染风险管控的重要性。

开展人体健康与水环境定量风险评估是建立我国城市污染场地管理体系不可缺少的技术手段,也是适合我国国情并走向可持续性土壤与地下水修复及综合环境管理的必然发展方向。基于风险的环境评估体系已经被包括美国和英国在内的许多发达国家广泛应用(ASTM, 2000; DEFRA and EA, 2004)。目前,国内对污染场地健康与环境风险评估技术理论缺乏系统的介绍和总结,较多环保从业者、管理者、

研究者和致力于风险评估专业学习的学生对风险评估理论基础缺乏系统的认知和理解,甚至存在一些认识误区,导致不能将风险评估技术切实有效地应用于学习和实际工作中。因此,有必要对风险评估技术基本理论进行全面和系统的总结,为相关行业的研究人员提供更全面并具有学术研究价值的科学文献资料。

1.2 国际污染场地环境管理框架的演变

欧美污染场地修复产业发展了近 40 年,随着对污染场地认识的不断提高以及修复技术的持续发展,污染场地环境管理框架体系发生了阶段性的演变。从美国超级基金发展的历史进程来看,共分为 3 个阶段。

1.2.1 完全清除阶段 (1980 ~ 1990)

美国在 20 世纪 70 年代末期开始关注污染场地,由于当时对污染的危害、迁移机理以及污染介质的复杂性认识不足,因而土壤修复主要采取粗放的基于污染物总量削减的异位修复技术(如填埋),地下水修复主要是抽提技术,并执行严格的通用修复标准(如达到地下水饮用标准或者地表水环境质量标准)(图 1.1)。

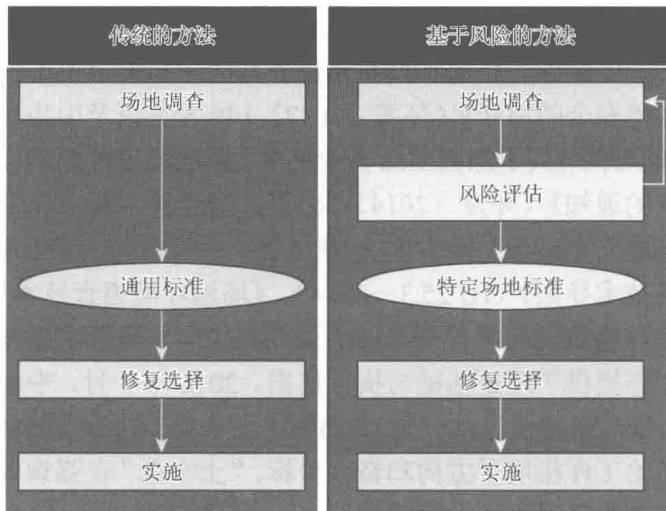


图 1.1 传统的与基于风险的环境管理方法比较

然而,经过 10 多年的实践发现,完全清除理念经济成本大、技术要求高,而在很多情景下无需进行彻底清除。最关键的是对污染介质的非均质性、污染源的鉴定及污染物的迁移转化机制等没有予以足够的考虑与认知,而这些却是影响修复技术选择的关键因子。

1.2.2 基于风险的管理框架阶段 (1991~2004)

当人们认识到传统的彻底清除污染物的管理方法的弊端后, 基于风险的环境管理方法逐渐被采纳和接受。如图 1.1 所示, 基于风险的环境管理方法是在场地调查与修复选择之间增加了风险评估的内容。风险评估一方面可以指导场地调查获取关键场地特征参数, 另一方面可通过风险评估对场地污染物的潜在风险进行量化分析, 并推导出场地土壤与地下水修复的目标值, 从而制定基于风险的污染修复技术方案。此阶段污染场地管理框架以水环境与健康风险为目标, 主要强调污染源-暴露途径-受体 3 个要素的关联性, 要求对场地进行深入的调查、监测与风险分析并关注修复技术的选择与环境效益。从图 1.2 可以看出, 污染源、暴露途径、受体三者必须同时存在才有风险, 否则不需要进行修复 (如有污染源的存在, 但没有环境与健康受体或者无暴露途径将污染物传输到受体位置, 则没有风险存在的可能性)。此阶段需要在国家层面上颁布风险评估技术导则并统一风险评估模型标准, 由此制定相对保守的土壤与地下水筛选值。

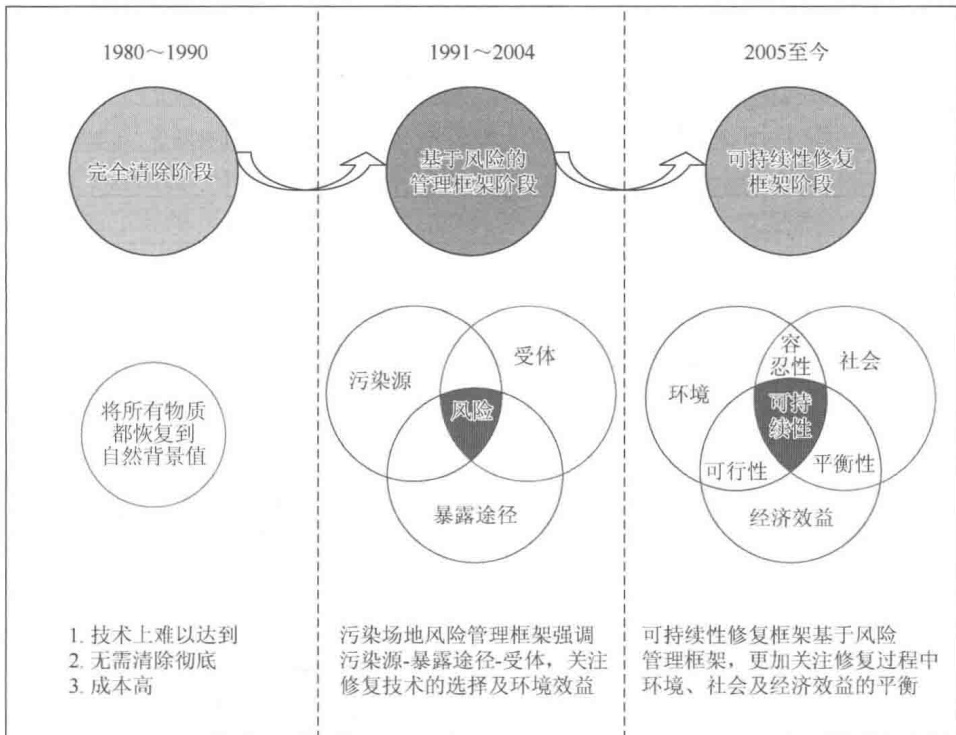


图 1.2 国际污染场地环境管理框架演变阶段

1.2.3 可持续性修复框架阶段（2005 至今）

可持续性修复框架以基于风险的污染场地管理框架为核心，此阶段更加关注修复过程中环境、社会及经济效益的平衡。目前，荷兰、英国、美国、加拿大等国都建立了可持续性修复框架，英国（SuRF-UK）还颁布了可持续性修复框架案例分析（<http://www.claire.uk>）。2016 年 4 月，在加拿大蒙特利尔主办的第四届国际可持续性修复学术会议上成立了国际可持续修复联盟（International Sustainable Remediation Alliance, IASR），定期讨论可持续性修复框架的最新动态。

从美国超级基金地下水修复技术统计数据（1986~2011）来看，自从基于风险的污染场地环境管理框架实施以来（图 1.3），成本昂贵的地下水抽提技术持续减少，而以风险管理为基础的社会制度控制持续上升，原位自然衰减监测技术、生物与物化修复技术已逐步占主导地位。但可持续性修复框架目前正处于讨论阶段，对修复技术的影响还有待观察。

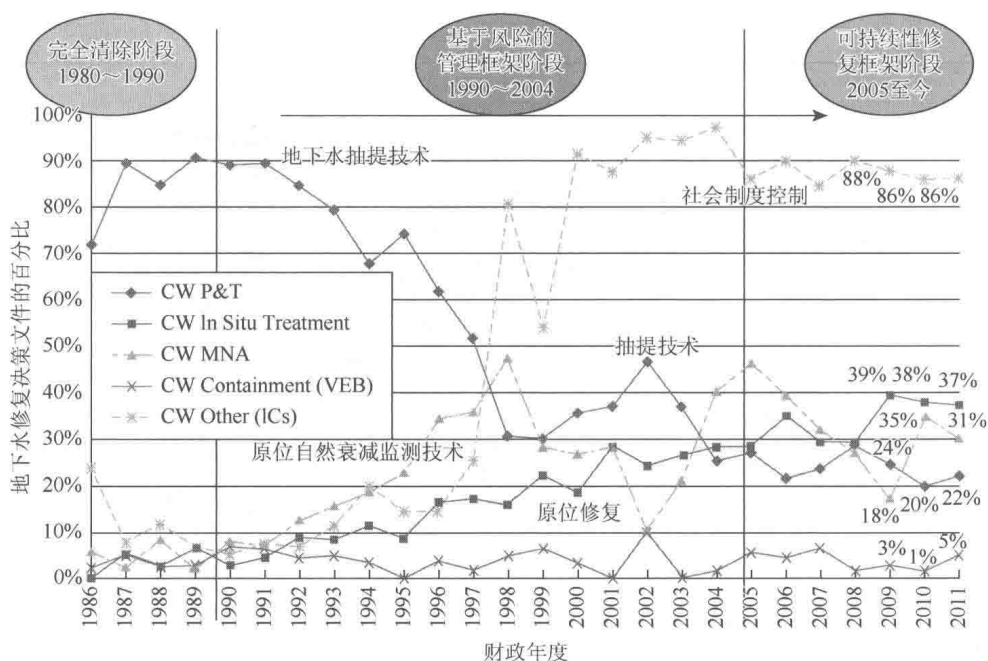


图 1.3 污染场地环境管理框架对地下水修复技术的影响

目前，我国亟需建立基于风险的污染场地环境管理框架体系及可持续性修复框架，从而推动污染场地调查、风险评估及修复工程技术的标准化进程，促进污染场地修复产业链的形成与健康发展。

1.3 风险评估研究进展

1983年,美国国家科学院(National Academy of Science, NAS)提出了健康风险评估的定义与框架,包括危害识别、毒性评估、暴露评估和风险表征四个步骤(NAS, 1983)。这对健康风险评估具有里程碑意义,已被许多国家的健康风险评估导则所采用。美国已有40多年的场地风险管理经验,其中,美国材料测试学会(American Society for Testing Material, ASTM)颁布的RBCA E-2081风险评估技术导则已在美国40多个州成功实施(ASTM, 2000);美国国家环境保护局(United States Environmental Protection Agency, USEPA)颁布了一系列技术性文件、导则和指南,系统介绍了环境与健康风险评估的方法和技术,如《暴露风险评估指南》《暴露因子手册》和《超级基金场地健康风险评估手册》等(EPA, 1988b, 1997b, 2004)。美国有毒物质与疾病登记署(Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR)也提出了健康风险评估方法体系。荷兰、英国等欧洲国家的风险评估体系也相继建立起来。英国1992年开始研究污染场地暴露评估方法学,直到2009年才完善了暴露评估方法学、污染物理化参数及风险评估导则(EA, 2008, 2009a, 2009b),并在此基础上开发了CLEA(contaminated land exposure assessment)模型,到目前为止,英国只公布了11种污染物的土壤指导值(soil guideline values, SGV)。由于土壤指导值过于保守,英国环境、食品及农村区域部(DEFRA)于2013年委托英国污染场地实用组织(Contaminated Land Applications In Real Environments, CL: AIRE)制定了第四等级土壤筛选值(category 4 screening levels, C4SL)(CL: AIRE, 2013)。欧洲环境署(European Environment Agency, EEA)于1999年颁布了环境风险评估的技术性文件,系统介绍了健康风险评估的方法与内容。总体来说,欧美国家已经系统建立了健康与环境风险评估的理论框架与方法,并广泛应用于实际环境污染风险管理工作中。

与发达国家相比,我国对场地风险评估的研究起步较晚,相关技术文件正在逐渐颁布执行且有待完善。2009年,中华人民共和国环境保护部起草了《工业污染场地风险评估技术导则》,并于2014年7月正式颁布实施了《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3—2014),该导则主要参照美国国家环境保护局(EPA, 1996, 2002)、美国材料测试协会(ASTM, 2000)的风险评估导则,适用于制定基于健康风险的场地污染土壤及地下水筛选值,但没有考虑污染物向场外迁移的情景以及基于保护水环境或生态环境的风险评估方法,对建立土壤环境基准的土地规划类型及相关暴露特征、暴露背景值、土壤性质、建筑物及气象因子等缺乏系统性的基础研究,因此,该导则在技术方法和模型考虑上还具有一些局限性。近年来,我国部分省市针对污染场地环境风险评估也颁布了一些地方标准或技术导则,包括北京市《场地环境评价导则》(DB11/T 656—2009)、《场地土壤环境风险评价筛

选值》(DB11/T 811—2011)以及《上海市污染场地风险评估技术规范(试行)》《上海市场地土壤环境健康风险评估筛选值(试行)》《重庆场地环境风险评估技术指南》和《浙江省污染场地风险评估技术导则》(DB33/T 892—2013)等,为各地开展风险评估提供了技术支撑,但这些标准中没有对土壤筛选值的来源或计算方法学予以详细的解释与说明。

此外,美、荷、英等国已经分别开发了定量风险评估软件模型工具,包括RBCA(risk-based corrective action)模型、RISCHUMAN模型及CLEA模型,这些模型在国际范围内已经得到了广泛应用和认可。中国科学院南京土壤研究所在污染场地环境管理方面进行了深入研究(Chen, 2010a, 2010b; Luo et al., 2014; Wei et al., 2015; Han et al., 2016; 陈梦舫等, 2011a, 2011b; 李春平等, 2013; 董敏刚等, 2015),并于2012年研发了我国首套污染场地健康与环境风险评估软件HERA(health and environmental risk assessment software for contaminated sites, version 1.0)(陈梦舫等, 2012),该模型软件与我国污染场地风险评估技术导则中的计算方法相符,为国内从业人员开展污染场地定量化人体健康与水环境风险评估提供了便捷、灵活及个性化操作平台,为众多环境管理决策者提供了可靠的管理工具。

1.4 主要内容

污染物跨介质迁移解析模型与暴露模型融合是风险评估技术的理论基础,本书主要综述了美国《基于风险的矫正行动标准导则》(*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action*, ASTM E-2081, 以下简称ASTM导则)、英国《CLEA模型技术背景更新文件》(*Updated Technical Background to the CLEA Model*, 以下简称CLEA-SR3导则)以及我国《污染场地风险评估技术导则》(*Chinese Risk Assessment Guidelines*, 以下简称C-RAG导则)推荐的风险评估基本理论(第2章),详细介绍了污染物在不同环境介质中的分配、迁移和归趋规律(第3章),总结了基于“污染源-暴露途径-受体”链的污染场地概念模型构建方法以及污染物理化、毒性、场地特征和暴露等风险评估所需的关键参数(第4章),系统阐述了国外不同风险评估导则中建立污染物迁移和暴露解析模型的背景及方法(第5章),进而总结了推导场地污染物筛选值与修复目标的基本计算方法(第6章),最后对国际上几个典型应用模型软件进行了简要介绍(第7章)。本书对风险评估技术理论研究和实际应用均具有较高的参考价值,并为场地土壤与地下水污染风险管控提供了理论基础与科学依据。

第2章 风险评估基本理论

2.1 风险评估的定义

美国《超级基金风险评估导则》(*Risk Assessment Guidance for Superfund, RAGS*)中对健康风险评估的定义为:对暴露于实际存在或潜在污染物可能引起的人体健康风险进行定性和定量评估(EPA, 1989a, 2004)。美国ASTM导则指出,风险评估是为了保护人群健康与环境安全而对场地释放污染物所实施的基于风险的矫正行为(risk-based corrective action, RBCA),该行为包含对污染物释放预测和评估的决策过程(ASM, 2000)。英国CLEA-SR3导则指出,暴露评估是对某种物质的暴露级别、频率和周期,同时伴随对暴露人群数量、特征的预测和量化过程,该导则还特别强调了污染源、暴露途径以及风险评估中的不确定性(EA, 2009b)。我国C-RAG导则对健康风险评估的定义为:在场地环境调查的基础上,分析污染场地土壤和地下水中污染物对人群的主要暴露途径,评估污染物对人体健康的致癌风险或非致癌危害水平(C-RAG, 2014)。

风险评估是一种灵活的、科学的、具有可操作性的、为污染场地环境管理决策提供理论支撑的技术手段,其方法学必须适用于系列场地和污染物的定性和量化评估。风险评估技术框架包括多层次分析框架,其过程必须结合场地特征信息,逐渐增加评估体系的复杂程度,最终利用污染场地特征的修复目标来判断该场地是否受到污染,衡量该场地污染程度并决定污染修复终点。风险评估结论的可靠性取决于场地特征数据、国家政策法规、业主与公众的意见、有效数据的专业判断等多种综合因素,因此,对于任何一个特定场地及未来土地规划来说,基于风险的修复目标可能会截然不同。进行风险评估需要掌握的必要信息包括污染物理化毒性特征、场地数据质量、目标风险及危害水平、土地利用类型、地下水利用类型、自然资源保护对象、相关生态受体及栖息地、业主意见和潜在暴露因素等(EPA, 1989a)。

2.2 多层次风险评估结构

场地风险评估程序是一个多层次定性与定量相结合的评估体系,也是一个将污染物迁移及暴露模型相结合的综合体系。鉴于社会、经济与环境的可持续发展目标,各国制定的风险评估程序一般都分为2~4个层次,风险管理与决策流程都注重将分阶段场地调查与分层次的风险评估相结合,将场地修复和监测纳入风险