

固体废物环境管理丛书
GUTI FEIWU HUANJING GUANLI CONGSHU

污染场地调查与修复

WURAN CHANGDI DIAOCHA YU XIUFU

总主编 陈昆柏 郭春霞
本册主编 金 均



中原出版传媒集团
大地传媒

河南科学技术出版社

固体废物环境管理丛书
GUTI FEIWU HUANJING GUANLI CONGSHU

污染场地调查与修复

WURAN CHANGDI DIAOCHA YU XIUFU

总主编 陈昆柏 郭春霞
本册主编 金 均

河南科学技术出版社
· 郑州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

污染场地调查与修复/金均主编. —郑州: 河南科学技术出版社, 2017.7

(固体废物环境管理丛书 / 陈昆柏, 郭春霞主编)

ISBN 978-7-5349-8457-0

I. ①污… II. ①金… III. ①场地-环境污染-污染调查
②场地-环境污染-污染防治 IV. ①K508

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 274055 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 李肖胜 冯俊杰

责任编辑: 孙春会

责任校对: 马晓灿

封面设计: 张 伟

版式设计: 栾亚平

责任印制: 张艳芳

印 刷: 河南新华印刷集团有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 23.75 字数: 500 千字 彩插: 1

版 次: 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 160.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系并调换。

“固体废物环境管理丛书”

编委会

- 主 任** 储亚平（河南省人大常委会副主任）
- 副主任** 王 群（河南省人大环境与资源保护委员会原主任）
郭豫生（中原大地传媒股份有限公司总经理）
- 编 委** 陈昆柏（浙江博世华环保科技有限公司董事长）
全 浩（中国环境科学学会固体废物分会名誉会长）
耿相新（中原大地传媒股份有限公司总编辑）
赵由才（同济大学教授、博士生导师）
冯建勋（河南省人大环境与资源保护委员会副巡视员）
黄启飞（中国环境科学研究院研究员、博士生导师）
郭春霞（河南省固体废物管理中心副主任）
黄朝雄（中国光大绿色环保有限公司投资发展部总经理）
李顺灵（河南金谷环保工程设备有限公司董事长）
钱云才（中环信环境股份有限公司董事长）
李肖胜（河南科学技术出版社有限公司副总编辑）

总 主 编 陈昆柏 郭春霞

参编人员 （按姓氏笔画排序）

马腾才	王 翌	卢洪波	田 晖
李世义	杨玉飞	杨春平	况 武
张向前	金 均	郝永利	温俊明
薛智勇	魏贵臣		

《污染场地调查与修复》

编委会

主 编 金 均

副 主 编 钟 重 龙於洋 张 弛

编写人员 冯一舰 羊嘉文 沈陈超 许 晶

黄敏锐 赵弋戈

总 序 言

环境污染已成为人类社会面临的重大威胁，为了更好地控制和解决环境污染问题，我国已将环境保护列为基本国策。尤其是党的十八大以来，生态文明建设受到党中央、国务院高度重视，体现了党和政府对新世纪、新阶段我国发展呈现的一系列阶段性特征的科学判断和对人类社会发展规律的深刻把握，是对人类文明发展理论的丰富和完善，是对人与自然和谐发展的深刻洞察，是实现我国全面建成小康社会宏伟目标的基本要求，也是对日益严峻的环境问题国际化主动承担大国责任的庄严承诺。

固体废物是主要的环境污染源。生活垃圾、农业固体废物、工业固体废物特别是危险废物除了直接污染外，还经常以水、大气和土壤为媒介污染环境，并且对人体健康也造成严重危害。为了让更多人了解固体废物环境管理方面的法规政策、工程技术和基本知识，帮助环境管理人员、行业从业人员、大学生、环保爱好者等解决工作、学习、生活之需要，真正实现固体废物的“减量化、资源化、无害化”，变有害为有利，上市文化企业——中原大地传媒股份有限公司的全资子公司河南科学技术出版社有限公司联合全国各地的科研院所、高校和企业界专家编写和出版了“固体废物环境管理丛书”，体现了出版社、行业专家和企业家的社会责任感，这一项目不但填补了国内固体废物环境管理领域的空白，而且对我国今后固体废物环境管理知识普及、科学处理和处置具有指导意义。

该丛书根据固体废物的类型及目前国内最新成熟技术编写，具体分为《固体废物鉴别与管理》《重金属污染项目环境监理》《生活垃圾处理与处置》《建筑垃圾处理与处置》《危险废物处理与处置》《污泥处理与处置》《传染性固体废物处理与处置》《农业固体废物处理与处置》《工业固体废物处理与处置》《电子废物处理与处置》《环境工程项目管理》《污染场地调

查与修复》《火电厂废烟气脱硝催化剂处理与处置》《等离子体技术与固体废物处理》《固体废物环境管理法规汇编》等十五个分册。

这套丛书根据各类固体废物的来源、特性、危害等，详细介绍了如何进行行业管理，如何防控污染，如何把成熟的处理处置技术应用到项目工程上，以最大限度地减少和控制固体废物造成的环境污染。全国近 200 名专家学者和企业家在收集和参考了大量国内外资料的基础上，结合自己的研究成果和实际操作经验，编写了这套具有内容广泛、结构严谨、实用性强、新颖易读等特点的丛书，具有较高的学术水平和环保科普价值，是一套贴近实际、层次清晰、可操作性强的知识性读物，适于从事固体废物管理、固体废物处理施工、技术研发、培训教学等人员阅读参考。相信该丛书的出版对我国固体废物的环境管理、环境教育、污染防治、资源利用、无害化处置等工作会起到一定的促进作用。

全国人大环境与资源保护委员会副主任委员

中国工程院院士 中国环境科学研究院原院长



2016 年 12 月

前言

近些年来，土壤环境污染问题越来越为人们所关注，特别在经济相对发达地区，如长三角、京津冀和珠三角等，随着产业结构的转型升级和土地利用性质的改变，大量地处城市中心区域的高污染、高耗能企业陆续关停并转，并在搬迁后遗留了大量的退役工业场地，其中不乏存在各种潜在污染风险。据 2014 年发布的第二次全国土壤污染状况调查公报显示，在调查的 81 块工业废弃地的 775 个土壤点位中，污染超标率达 34.9%。因此，如何解决这些污染场地再开发利用问题，已经逐渐成为我国环境管理的热点问题之一。

2004 年以来，国家环境保护部门针对工业场地退役过程中的环境污染问题发布了多项政策文件，包括较早的《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》，以及 2012 年发布的《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》等，国家层面正在逐步构建形成我国污染场地的管理框架体系。另外，涵盖调查、监测、风险评估和修复的污染场地系列技术导则也在 2014 年全面出台，我国污染场地调查与治理修复的技术性框架也已逐步形成。

虽然近些年我国在污染场地治理领域发展迅速，但也需要认识到与欧美等发达国家相比，我国的污染场地调查和治理修复工作起步较晚，技术标准规范不完善，管理基础仍然较为薄弱，各地方政府以及民众对场地污染的环境风险防范意识不强，导致了各地“毒地”事件屡有发生，如 2016 年 4 月发生的“常州外国语学校污染事件”就是其中的典型。近几年来，污染场地相关工作越来越受到社会的广泛关注，大量人员进入该行业从事相关的技术工作，但也缺少相应的技术基础和职业培训。因此编者结合目前已开展的污染场地调查与治理修复工作成果和经验，汇编成书，以期向从事该领域工作的技术人员系统地展示该领域基本的工作框架和工作内容，并通过详细讲

解各类技术细节，为广大的土壤环境科技工作者提供一定的参考和指导。

本书在系统介绍我国污染场地管理框架和技术框架的基础上，针对污染场地治理过程中的场地调查与评估、场地修复技术选择、场地修复工程实施、环境监理和修复工程验收等工作进行了较为全面的介绍；从技术框架、技术原理和技术方法等角度对各项场地治理工作进行了系统的阐述，并辅以相关的技术案例。

本书共分为8个章节，第1章介绍了污染场地的基本概念，我国污染场地的管理的现状和基本框架；第2章介绍了污染场地中各环境要素的基本特征以及常见污染在场地中的环境行为；第3、4章详细介绍了污染场地调查与风险评估工作的框架和技术内容；第5章是本书的重点，系统介绍了常见的土壤和地下水修复技术的构成、主要技术参数和技术要点，并提供了相应的应用案例和周期、成本参考；第6章介绍了修复技术的筛选方法以及修复工程的组织、实施与验收；第7章介绍了污染场地治理修复工程的环境监理工作；第8章提供了两个污染场地调查与评估案例，以及两个污染场地修复施工设计案例。

因作者编写时间仓促，学识有限，也许存在部分疏漏和谬误，恳请广大读者提出宝贵意见和建议。

编者

2016年9月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 污染场地的基本概念	(1)
1.1.1 污染场地的形成	(1)
1.1.2 污染场地的主要类型	(2)
1.2 污染场地的潜在危害性	(3)
1.3 我国污染场地概况	(4)
1.4 发达国家污染场地管理的发展	(7)
1.4.1 美国	(7)
1.4.2 英国	(8)
1.4.3 日本	(9)
1.4.4 德国	(9)
1.4.5 加拿大	(10)
1.5 我国污染场地的基本管理框架	(11)
第 2 章 场地中污染物的环境行为	(15)
2.1 土壤和地下水的基本特性	(15)
2.1.1 土壤的基本特性	(15)
2.1.2 地下水的基本特性	(20)
2.2 污染物在场地中的转化与迁移	(25)
2.2.1 场地中污染物的转化与衰减	(25)
2.2.2 地下水中污染物的迁移	(31)
2.2.3 场地中非水相液体的迁移	(34)
2.3 重金属污染物的环境行为	(40)
2.3.1 铬	(40)
2.3.2 铜	(41)
2.3.3 铅	(41)

2.3.4	镍	(42)
2.3.5	汞	(43)
2.3.6	镉	(44)
2.3.7	砷	(45)
2.3.8	锌	(45)
2.4	有机污染物的环境行为	(46)
2.4.1	石油类	(46)
2.4.2	氯代烃类	(48)
2.4.3	多环芳烃	(49)
2.4.4	多氯联苯	(50)
2.4.5	有机杀虫剂	(52)
第3章	污染场地环境调查技术	(54)
3.1	污染场地环境调查的基本原则	(54)
3.2	污染场地环境调查的工作内容	(55)
3.3	资料收集、现场踏勘与人员访谈	(57)
3.3.1	资料收集	(57)
3.3.2	现场踏勘	(62)
3.3.3	人员访谈	(63)
3.4	污染场地采样点位的布设	(64)
3.4.1	采样点位布设的基本原则	(64)
3.4.2	采样布点方案	(65)
3.4.3	环境各介质采样点位布设方法概述	(65)
3.4.4	场地环境调查过程中采样点位的布设方法	(68)
3.5	污染场地环境样品的采集	(72)
3.5.1	现场采样方案	(72)
3.5.2	现场采样前的准备工作	(73)
3.5.3	现场样品采集	(73)
3.5.4	样品的保存与运输	(82)
3.6	污染场地环境样品的检测与分析	(86)
3.6.1	土壤样品分析检测指标及其分析方法	(86)
3.6.2	地下水样品分析检测指标及其分析方法	(89)
3.6.3	地表水样品分析检测指标及其分析方法	(90)
3.6.4	生物毒性测试	(90)

3.7	质量控制	(91)
3.7.1	样品采集质量控制	(91)
3.7.2	样品保存质量控制	(92)
3.7.3	样品制备质量控制	(92)
3.7.4	样品测试质量控制	(92)
3.8	场地环境调查报告编制	(93)
第4章	污染场地健康风险评估	(97)
4.1	污染场地风险评估概述	(97)
4.2	污染场地健康风险评估的工作程序和内容	(99)
4.2.1	工作程序	(99)
4.2.2	工作内容	(99)
4.3	污染场地健康风险评估的方法	(101)
4.3.1	危害识别	(101)
4.3.2	污染概念模型	(102)
4.3.3	暴露评估	(104)
4.3.4	毒性评估	(112)
4.3.5	风险表征	(115)
4.3.6	污染场地风险评估模型	(120)
4.3.7	污染场地健康风险评估筛选值	(127)
4.4	修复目标的制定	(130)
4.4.1	污染土壤修复标准分析	(130)
4.4.2	修复目标制定程序	(132)
4.4.3	基于健康风险的修复目标值计算方法	(135)
4.4.4	修复目标分析和确定	(137)
第5章	污染场地治理修复技术	(139)
5.1	污染场地修复技术概述及发展趋势	(139)
5.1.1	污染场地修复技术概述	(139)
5.1.2	污染场地修复技术发展趋势	(140)
5.2	固化/稳定化技术	(141)
5.2.1	概述	(141)
5.2.2	系统构成和主要设备	(143)
5.2.3	关键技术参数	(144)
5.2.4	常见的异位固化/稳定化技术	(146)

5.2.5	技术应用基础和前期准备	(149)
5.2.6	主要实施过程	(149)
5.2.7	修复周期及参考成本	(149)
5.2.8	国外应用情况	(149)
5.3	化学氧化还原技术	(149)
5.3.1	概述	(149)
5.3.2	氧化剂/还原剂种类	(151)
5.3.3	系统构成和主要设备	(153)
5.3.4	关键技术参数	(155)
5.3.5	技术应用基础和前期准备	(156)
5.3.6	主要实施过程	(156)
5.3.7	运行维护和监测	(157)
5.3.8	修复周期及参考成本	(157)
5.3.9	应用案例	(157)
5.4	热脱附技术	(158)
5.4.1	概述	(158)
5.4.2	系统构成和主要设备	(159)
5.4.3	关键技术参数	(159)
5.4.4	典型热脱附系统	(160)
5.4.5	技术应用基础和前期准备	(162)
5.4.6	运行维护和监测	(163)
5.4.7	修复周期及参考成本	(163)
5.4.8	应用情况	(163)
5.5	洗脱技术	(163)
5.5.1	概述	(163)
5.5.2	系统构成和主要设备	(166)
5.5.3	关键技术参数	(166)
5.5.4	主要实施过程	(168)
5.5.5	修复周期及成本	(170)
5.5.6	应用情况	(170)
5.6	水泥窑协同处置技术	(170)
5.6.1	概述	(170)
5.6.2	系统构成	(171)

5.6.3	关键技术参数	(172)
5.6.4	主要实施过程	(173)
5.6.5	修复周期及参考成本	(174)
5.6.6	应用情况	(174)
5.7	污染土壤阻隔填埋技术	(175)
5.7.1	概述	(175)
5.7.2	影响因素	(178)
5.7.3	主要实施过程与成本	(179)
5.7.4	应用情况	(180)
5.8	污染土壤植物修复技术	(180)
5.8.1	概述	(181)
5.8.2	理论基础	(183)
5.8.3	影响因素	(190)
5.8.4	主要实施过程与成本	(191)
5.8.5	应用情况	(192)
5.9	污染土壤微生物修复技术	(194)
5.9.1	概述	(195)
5.9.2	技术原理及适用范围	(195)
5.9.3	影响因素	(200)
5.9.4	处理工艺	(203)
5.9.5	应用情况	(206)
5.10	地下水抽出处理技术	(208)
5.10.1	概述	(208)
5.10.2	系统构成和主要设备	(209)
5.10.3	关键技术参数	(209)
5.10.4	技术应用基础和前期准备	(210)
5.10.5	主要实施过程	(210)
5.10.6	运行维护和监测	(211)
5.10.7	修复周期及参考成本	(211)
5.10.8	应用情况	(211)
5.11	渗透性反应墙修复技术	(214)
5.11.1	概述	(214)
5.11.2	系统构成和主要设备	(215)

5.11.3	关键技术参数	(216)
5.11.4	技术应用基础和前期准备	(217)
5.11.5	主要实施过程	(217)
5.11.6	运行维护和监测	(218)
5.11.7	修复周期及参考成本	(218)
5.11.8	应用情况	(218)
5.12	地下水监控自然衰减技术	(221)
5.12.1	概述	(221)
5.12.2	系统构成	(221)
5.12.3	关键技术参数	(222)
5.12.4	技术应用基础和前期准备	(223)
5.12.5	主要实施过程	(223)
5.12.6	运行维护和监测	(223)
5.12.7	修复周期及参考成本	(223)
5.12.8	应用情况	(224)
5.13	多相抽提技术	(224)
5.13.1	概述	(224)
5.13.2	系统构成和主要设备	(224)
5.13.3	关键技术参数	(225)
5.13.4	技术应用基础和前期准备	(225)
5.13.5	主要实施过程	(226)
5.13.6	运行维护和监测	(226)
5.13.7	修复周期及参考成本	(226)
5.13.8	应用情况	(226)
5.14	生物通风技术	(227)
5.14.1	概述	(227)
5.14.2	系统构成和主要设备	(227)
5.14.3	关键技术参数	(228)
5.14.4	技术应用基础和前期准备	(229)
5.14.5	主要实施过程	(229)
5.14.6	运行维护和监测	(229)
5.14.7	修复周期及参考成本	(230)
5.14.8	应用情况	(230)

5.15	空气抽提/注射技术	(230)
5.15.1	概述	(230)
5.15.2	空气抽提技术的影响因素	(233)
5.15.3	空气抽提技术的运行与监测	(235)
5.15.4	空气注射技术的影响因素	(236)
第6章	污染场地治理修复工程	(241)
6.1	污染场地修复技术的筛选与决策	(241)
6.1.1	污染场地修复技术选择的各项原则	(241)
6.1.2	污染场地修复技术选择的基本路线	(243)
6.1.3	污染场地修复技术各因素的筛选	(243)
6.1.4	污染场地修复技术的组合	(249)
6.2	污染场地修复方案的制定	(249)
6.2.1	概述	(249)
6.2.2	污染场地修复方案编制的目的和前期工作	(249)
6.2.3	污染场地修复方案编制的工作程序和内容	(250)
6.3	污染场地修复工程的组织与实施	(256)
6.3.1	概述	(256)
6.3.2	前期准备	(257)
6.3.3	施工测量	(258)
6.3.4	土壤挖掘	(259)
6.3.5	修复技术实施	(260)
6.3.6	项目验收	(262)
6.3.7	回填与退场	(262)
6.4	污染场地修复过程二次污染的防控	(264)
6.4.1	概述	(264)
6.4.2	二次污染的防控管理方针	(264)
6.4.3	二次污染的防控措施	(264)
6.5	污染场地修复工程的验收	(270)
6.5.1	目的和工作内容	(270)
6.5.2	总体要求	(270)
6.5.3	采样布点方案的制定	(273)
6.5.4	修复效果评价	(275)
6.5.5	编制验收报告	(275)

6.5.6	场地长期管理	(275)
第7章	污染场地修复环境监理	(277)
7.1	工作程序和内容	(277)
7.1.1	环境监理内容和工作程序	(277)
7.1.2	修复实施方案设计及施工准备阶段环境 监理	(279)
7.1.3	施工阶段环境监理	(280)
7.1.4	竣工验收阶段环境监理	(283)
7.2	工作方法	(283)
7.2.1	核查	(283)
7.2.2	巡查	(284)
7.2.3	旁站	(284)
7.2.4	跟踪巡查	(284)
7.2.5	环境监测	(284)
7.2.6	环境监理会议	(285)
7.2.7	信息反馈	(285)
7.2.8	记录和报告	(285)
7.3	环境监理工作制度	(286)
7.3.1	工作记录制度	(286)
7.3.2	文件审核制度	(286)
7.3.3	例会制度	(287)
7.3.4	报告制度	(287)
7.3.5	函件来往制度	(287)
7.3.6	环境保护培训及宣传教育制度	(287)
7.3.7	工程质量和突发环境事故的报告与处理 制度	(287)
7.3.8	保密制度	(288)
7.3.9	旁站监理制度	(288)
7.3.10	档案管理制度	(288)
7.3.11	质量保证制度	(288)
7.3.12	其他有关工程管理制度	(289)
7.4	环境监理工作要点	(290)
7.4.1	修复实施方案设计及准备阶段监理要点	(290)