

# 场地土壤修复管理与实践

施维林 等著



科学出版社

# 场地土壤修复管理与实践

施维林 等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书简要阐述了国内外土壤污染场地调查、评估、修复与管理的基本方法、途径,重点通过国内若干工业企业污染场地调查、评估、修复方案制定、资金筹措、招投标、修复工程实施与监理、修复工程验收等工作实践,总结出了一整套适用于我国场地修复与管理的流程与方法。

本书在保证满足场地土壤污染修复管理工具用书的前提下,扩大了适用面,增强了伸缩性。可供环保、土地利用部门及企业相关专业科研和工程技术人员参考,也可作为环境科学、环境工程、土壤学等专业本科生和研究生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

场地土壤修复管理与实践/施维林等著. —北京:科学出版社, 2016.12

ISBN 978-7-03-052186-6

I. ①场… II. ①施… III. ①污染土壤改良—研究 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 054607 号

责任编辑:周 丹 冯 钊/责任校对:高明虎

责任印制:张 伟/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

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 12 月第一次印刷 印张:20

字数:470 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



# 《场地土壤修复管理与实践》

## 编辑委员会

主 编：施维林

副 主 编：李 良

编写人员：施维林 李 良 贺志刚 许 伟 张建荣

程媛媛 张一梅 何 跃 朱月芳

## 序

土壤是国家最重要的自然资源之一，是人类赖以生存的物质基础，也是生态环境的主要组成部分。近几十年来，随着我国工业化和现代化进程的加快，大量人为排放的污染物进入土壤和地下水，造成环境危害日益凸显。土壤和地下水污染不仅对人体健康和生态环境构成威胁，也影响到土地资源开发、城镇建设规划、房地产交易、城市环境治理等方方面面，是世界各国共同关注的重大环境问题。

20世纪80年代以来，欧美发达国家逐步推进污染场地修复工作，在土壤和地下水修复方面积累了丰富的经验。我国起步相对较晚，在污染场地环境风险管理和治理方面的基础还比较薄弱。但近年来，国家和政府对污染场地问题高度重视，先后发布了一系列关于加强污染场地环境管理和治理的通知要求与指导意见。2011年2月，国务院批准了第一个“十二五”规划《重金属污染综合防治“十二五”规划》，并且将“土壤与场地污染治理与修复”列入了“十二五”社会发展科技领域国家科技计划项目指南。2011年，《关于加强环境保护重点工作的意见》（国发〔2011〕35号）中明确提出“被污染场地再次进行开发利用的，应进行环境评估和无害化治理”，“继续开展土壤环境调查，进行土壤污染治理与修复试点示范”。2012年，环境保护部等四部委联合发布《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），明确对化工、金属冶炼、农药、电镀和危险化学品生产、储存、使用企业的场地进行场地环境调查和风险评估，掌握场地土壤和地下水污染的基本情况，排查被污染场地（包括潜在被污染场地），管理信息系统并共享信息。2013年，国务院办公厅下发《关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》（国办发〔2013〕7号），要求确定土壤环境保护优先区域，建立相关数据库。2014年，环境保护部颁布了《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），要求充分认识加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的重要性。同时，环境保护部也于2014年2月制订并颁布了《污染场地术语》（HJ 682—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）、《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3—2014）和《污染场地土壤修复技术导则》（HJ 25.4—2014）等技术标准，有力地支撑了我国场地调查、监测、评估和修复工作的开展。2016年5月28日，国务院印发了《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31号），这是当前和今后一个时期全国土壤污染防治工作的行动纲领。

污染场地修复工作可谓任重而道远，但国内真正能指导相关实际工作的图书资料少之又少。施维林教授领导的团队长期从事土壤修复调查、方案制定、管理模式研究与实践工作，积累了不少成果经验。施教授组织编写的《场地土壤修复管理与实践》系统介绍了场地土壤环境调查、修复方案编制、招投标、工程实施、工程环境监理、工程验收、长期监

测、数据库建设等技术思路和方法,对我国从事污染场地环境修复、环境工程实践、环境风险管理和技术咨询服务工作的人员具有很好的参考和借鉴意义,对环境管理人员清晰地把握场地管理各环节并作出正确的判断和决策具有重要的参考价值。



北京市环境保护科学研究院 院长  
国家城市环境污染控制工程技术研究中心 主任

2016年12月27日

# 前 言

污染土壤修复是一个泛化的概念，严格意义上讲，污染土壤修复必须要全面恢复土壤原有的综合功能。从实践工作中的总结来看，污染土壤修复实际上更多地被表述为污染土壤的治理或处置。因此，本书论述的污染土壤修复包含了污染土壤的治理和处置。

从学科分类上讲，土壤污染及修复归属于固体废弃物处置范畴，在专业上更多地归属于环境科学范畴。这种传统分类存在较多不足。更为切合实际地看，将土壤污染及分类单列似乎更为合适，更能体现其研究的广度和深度。目前对于土壤污染与修复的管理在行业管理部门中也没有明确的归属，各地管理部门要么将其归入污染防治部门，要么归入固废管理部门。可喜的是，环境保护部已经将土壤管理单独设立司级建制。

工业企业的污染场地由于其修复后的土地利用性质和潜在价值，其权属往往归属于国土部门或土地储备机构，但业务上还需要环境保护部门承担更多的长期监管的责任。在明确业主或责任人的情况下，需要环境保护管理部门监管其调查、修复和验收。

由于各地土壤性质存在差别，原有的调查、修复导则或标准并不能从根本上获得一致认可，导致土壤污染调查、方案制定、招投标、资金筹措、修复工程实施、验收全过程在各地的执行五花八门，各地均有一套自己的标准或行事准则。我从2011年开始参与土壤污染调查、修复、招投标、验收等工作，在这个过程中发现，政府管理部门几乎需要参与各个环节，深感环境保护管理部门的责任重大和疲于应付。那时我就一直在思考，是否可以通过梳理一些比较成功的方法和经验，为土地所有者（业主）、政府管理部门、调查与修复工程参与机构、管理人员建立一整套可以借鉴的资料，同时为具有一定专业知识和技术水平的人员提供一些参考。之后，我与团队成员进行了多次沟通，同时与国内部分行业专家进行了多次交流，获得了大家的高度认可。2013年，我即着手基本架构的设计。在参与调查项目评估、修复方案制定与评估、修复项目验收，特别是在政府采购招投标方案的设计中，我获得不少灵感，最后，我将工业企业场地污染修复与管理总结为场地调查（包含社会环境调查、初步调查和详细调查，其中包含方案制定、调查采样、样品分析、报告编制等）、修复资金筹措、修复方案编制、招投标、修复工程实施、监理（工程监理和环境保护监理）、修复工程验收、长期监测等几个大的环节。

本书第一章概述由施维林、贺志刚编写，综述了土壤污染的基本概念；第二章国外污染场地管理经验由程媛媛博士编写，简要介绍了美国、西欧、日本等国家和地区土壤污染与修复的管理模式和经验；第三章场地土壤污染修复管理体系由施维林、贺志刚、李良编写，主要是基于前期经验，对污染场地自调查开始到验收做了系统归属，并围绕场地污染修复管理体系，通过若干案例，梳理出了一套可借鉴的管理模式和便携式参考手册；第四章场地土壤环境调查与风险评估由许伟、张建荣、何跃编写；第五章土壤修复方案制定与实施由施维林、贺志刚编写；第六章招投标工作由施维林、李良编写；第七章场地修复项

目污染评估与控制及社会稳定风险评估由施维林、许伟编写；第八章场地土壤污染修复技术与方法由贺志刚编写；第九章场地土壤污染修复工程监理由施维林、许伟编写；第十章土壤修复工程的验收与中长期监测由施维林编写；第十一章区域场地土壤污染源信息管理系统构建由施维林、张一梅、贺志刚编写，主要提出了区域场地土壤污染源信息管理系统构建方法和途径，该部分内容是我在 2013 年就开始构思的环保数据整体信息化管理模式，感谢苏州市环境保护局主要领导和管理人员在《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31 号）（简称“土十条”）颁布前先知先觉的宏观管理意识，并于 2015 年委托我开展了苏州市工业企业土壤环境调查和数据库建设项目，这为环保数据与大数据处理结合并广泛应用给出了一个大致框架，详细的内容我将在后期的研究中另行阐述。

本书在编著过程中得到了苏州市环境科学研究所杨积德研究员、郑家传博士的大力支持，中国科学院城市环境研究所的朱永官研究员、上海交通大学的曹心德教授、华北电力大学的何理教授、中国环境科学院的周友亚研究员、环境保护部南京环境科学研究所的林玉锁研究员和徐健博士、苏州中益世纪生态环境设计研究有限公司的王建军等都给予了本书极大的关心和支持，提出了很多中肯、实用的建议。苏州市土地储备中心的陈久康副主任、苏州市环境保护局的孙丽青副局长，他们是苏州土壤修复与管理领域的主要领导与专家，是我长期工作的合作伙伴，为本书提出了不少管理方面的建议和支持。我的团队成员，苏州科技大学土壤污染与修复创新中心的梁媛博士、张园博士、史广宇博士等对本书提出了诸多合理化建议，也是最早支持我编写本书的人员。苏州市环保科技项目也对本书的编写提供了一定的经费支持。衷心感谢科学出版社的周丹和丁丽丽等编辑为本书的出版所付出的辛勤劳作和奉献。

一本书的好坏，关键是看能对使用者有多大作用，如果有可取的部分、可借鉴的内容，一定是各位合著者、指导者、建议者、支持者的功劳；若有结构缺陷、内容疏漏或不足，一定是我的问题，我将虚心接受所有使用者的批评、指正，以期为我国的土壤修复管理作出力所能及的贡献。

施维林

2016 年 8 月于苏州



# 目 录

序	
前言	
第一章 概述	1
一、土壤	1
二、土壤污染	2
三、场地污染	3
四、场地污染源	3
五、土壤污染修复	5
六、污染土壤修复标准	6
第二章 国外污染场地管理经验	8
第一节 美国场地调查与管理	8
一、《超级基金法》	9
二、美国场地调查步骤	12
三、美国场地风险评估筛选值	13
第二节 西欧场地调查与管理	13
一、污染场地法律体系	14
二、德国场地调查技术规范	18
三、英国与荷兰场地风险评估筛选值对比	18
第三节 日本场地调查与管理	21
一、日本防治面源污染的法规体系	21
二、日本防治面源污染法律体系的特点	22
第三章 场地土壤污染修复管理体系	24
第一节 场地土壤修复管理需求分析	24
第二节 场地土壤修复管理基本流程	26
一、开展区域土壤环境调查	26
二、污染场地分类管理	26
三、场地土壤污染的预防和修复	26
四、场地土壤环境调查	27
五、场地土壤污染风险评估	28
六、管理策略选择	28
七、场地土壤污染修复方案编制	29
八、招投标	31

九、施工组织方案	31
十、场地修复项目污染评估与控制及社会稳定风险评估	32
十一、场地土壤修复环境工程监理	34
十二、场地土壤污染修复工程验收	34
十三、场地土壤污染修复中长期监测	35
第三节 各方责任与权益	35
一、业主	36
二、公众	36
三、政府管理部门	36
四、政府相关工作人员	37
五、评审专家	37
六、调查与修复参与企业	38
七、企业专业技术人员	38
八、施工人员	38
第四节 场地土壤修复工作管理切入点	39
一、开展立法工作	39
二、明确责任业主	40
三、场地土壤修复评审专家库建设	41
四、土壤环境分析方法与标准物质体系	45
五、制定修复目标	46
六、专项资金的筹措	47
七、详细采样方案评审	48
八、场地调查结果验收与评估	48
九、风险评估结果审核	48
十、风险管控	49
十一、修复策略的选择	49
十二、修复技术筛选与评估	50
十三、场地土壤修复方案评估	50
十四、组建招标委员会	50
十五、污染场地信息管理系统	50
第四章 场地土壤环境调查与风险评估	52
第一节 场地土壤环境调查	52
一、调查方案的设计与基本要求	52
二、调查结果验收与评估	70
第二节 场地土壤污染风险评估	70
一、暴露评估	70
二、毒性评估	74
三、风险表征	75

四、风险控制值计算	78
第三节 场地土壤环境调查案例	79
一、概述	79
二、场地概况	80
三、场地环境调查方案	84
四、环境、健康和安全风险控制	88
五、质量保证与质量控制	89
六、现场设备	90
第五章 土壤修复方案制定与实施	92
第一节 基本原则与工作程序	92
一、基本原则	92
二、工作程序	92
第二节 场地土壤污染修复技术筛选	95
一、场地土壤污染修复技术筛选原则	95
二、污染场地修复技术筛选指标	95
三、指标评分方法确定	96
四、基于 topsis 法的污染场地修复技术筛选方法	96
第三节 修复方案的评估	98
一、费用-效益分析	98
二、方案可行性分析	100
第四节 场地土壤修复方案编制案例分析	100
一、相关背景	100
二、场地问题识别	101
三、场地修复模式	103
四、修复技术简介及可行性论证	105
五、修复方案设计	111
六、污染防控措施	114
七、环境管理计划	117
八、成本效益分析	119
九、结论	119
第六章 招投标工作	121
第一节 场地修复项目工程招标的条件与范围	121
一、修复工程招标的条件	121
二、修复项目招标的范围	121
第二节 招投标基本流程	121
一、准备阶段	122
二、发布招标公告或招标邀请书	131
三、资料审查	131

四、资格预审 .....	132
五、组织踏勘现场及标前会议 .....	133
六、投标 .....	134
七、组建评标委员会和开标工作组 .....	137
八、组织评标及定标 .....	138
第三节 场地土壤修复投标技术部分案例 .....	145
一、项目概况 .....	146
二、场地修复工程方案总体设计 .....	146
三、施工现场防止二次污染的技术装备保障措施 .....	150
四、工程施工现场有害物质对周边环境和居民危害防护管理措施 .....	153
五、施工作业人员安排、工期计划及安全防护措施 .....	156
六、井点降水和基坑废水治理及达标排放技术措施 .....	158
七、污染土壤运输方案及运输过程中二次污染防治措施 .....	160
八、外运污染土壤堆放场地安全处理方案 .....	162
九、污染土壤在进入水泥窑协同处置前的技术装备 .....	164
十、原位修复技术装备 .....	165
十一、污染土壤治理修复过程事故风险防范措施、应急方案和措施 .....	168
十二、污染土壤水泥窑协同处置治理方案及质量控制措施 .....	169
第七章 场地修复项目污染评估与控制及社会稳定风险评估 .....	174
第一节 场地修复项目污染评估与控制 .....	174
一、概念 .....	174
二、工作流程 .....	174
三、重点内容 .....	175
四、实施时间 .....	176
第二节 场地修复项目社会稳定风险评估 .....	176
一、概念 .....	176
二、工作流程 .....	177
三、主要内容 .....	177
四、实施时间 .....	177
第八章 场地土壤污染修复技术与方法 .....	178
第一节 污染场地分类 .....	178
一、按场地原用途分类 .....	178
二、按污染物类型分类 .....	178
第二节 污染物特性介绍 .....	178
一、非卤代挥发性有机物 .....	179
二、卤代挥发性有机物 .....	179
三、非卤代半挥发性有机物 .....	179
四、卤代半挥发性有机物 .....	180

五、燃料类	181
六、无机污染物	181
七、爆炸类污染物	182
第三节 污染场地土壤修复技术概述	182
一、物理修复技术	183
二、物理修复技术工艺设计	194
三、化学修复技术	200
四、化学修复技术工艺设计	206
五、生物修复技术	207
六、生物修复技术工艺设计	223
七、地下水修复	224
八、专题技术介绍	227
第四节 污染土壤污染修复发展趋势	232
一、污染场地植物修复	233
二、污染场地微生物修复	233
三、发展联合修复技术	233
第五节 场地土壤修复技术筛选案例分析	233
一、项目概况	234
二、场地调查结论与土壤治理目标	234
三、污染土壤治理技术分析	236
第九章 场地土壤污染修复工程监理	248
第一节 场地土壤污染修复工程监理	248
一、土壤修复工程施工监理工作内容	248
二、土壤修复工程施工监理“两管理”(合同、信息)工作内容	258
第二节 场地土壤污染修复工程环境监理实例	260
一、土壤异位修复工程	260
二、土壤原位修复工程	261
三、地下水修复工程	261
第三节 场地土壤修复环境监理案例分析	262
一、异位修复污染场地土壤项目环境监理	262
二、原位修复污染场地土壤项目环境监理	265
第十章 土壤修复工程的验收与中长期监测	270
第一节 土壤修复工程的验收标准与程序	270
一、土壤修复工程的验收标准	270
二、土壤修复工程的验收程序	270
第二节 土壤修复后的中长期监测	275
一、场地中长期监测对象	275
二、中长期监测内容	275

三、中长期监测时间·····	276
第三节 场地土壤修复工程验收案例分析·····	276
一、概述·····	276
二、验收目的与工作内容·····	278
三、验收程序·····	278
<b>第十一章 区域场地土壤污染源信息管理系统构建</b> ·····	<b>282</b>
第一节 信息管理系统构建的必要性分析·····	282
一、数字环保·····	282
二、区域场地土壤污染源信息管理系统的建立·····	284
第二节 系统建立的关键技术·····	286
一、3S 技术·····	286
二、数学方法·····	287
三、组件式 GIS·····	287
四、空间数据引擎·····	288
五、关系型数据库管理技术·····	288
第三节 系统设计思路·····	290
一、设计原理·····	290
二、设计工具·····	290
三、系统结构·····	291
四、系统平台及开发工具选择·····	292
第四节 空间分析·····	293
一、空间变换·····	293
二、再分类·····	293
三、缓冲区分析·····	293
四、叠加分析·····	294
五、网络分析·····	294
六、空间插值·····	294
七、空间统计分类分析·····	295
第五节 空间数据库设计·····	295
一、数据库外部设计·····	295
二、数据库概念结构设计·····	295
三、数据逻辑结构设计·····	297
四、数据库应用及数据库字典设计·····	298
五、安全保密设计·····	299
<b>参考文献</b> ·····	<b>301</b>

# 第一章 概述

## 一、土壤

土壤是人类及其他生物赖以生存的场所，是人类生存和发展最基本的自然资源。土壤是孕育万物的摇篮，人类文明的基石。人类生活于地球上，每时每刻都与土壤发生着密切的关系。“土壤”一词在世界任何民族的语言中均可找到，但不同学科的科学家对土壤有着不同的认识。工程专家将土壤看作建筑物的基础和工程材料的来源；生态学家从生物地球化学观点出发，认为土壤是地球系统中生物多样性最丰富、能量交换和物质循环最活跃的层面；经典土壤学和农业科学家则强调土壤是植物生长的介质，含有植物生长所必需的营养元素、水分等适宜条件，将土壤定义为“地球陆地表面能生长绿色植物的疏松层，具有不断地、同时地为植物生长提供并协调营养条件和环境条件的能力”；环境科学家认为，土壤是重要的环境要素，是具有吸附、分散、中和、降解环境污染物功能的缓冲带和过滤器。ISO（2005）从土壤组成和发生考虑，认为土壤是“由矿物颗粒、有机质、水分、空气和活的有机体以发生层的形式组成，是经物理、化学以及生物过程共同作用形成的地壳表层”。运用当代土壤圈物质循环的观点，人们对土壤的认识和理解有了不同程度的深化与拓展（周建民和高拯民，2003），对土壤的功能、作用等方面的论述更接近于对土壤本质的反映。如何给出一个更为科学而全面的土壤定义，一直是科学家关注的重点，需综合考虑并全面理解土壤的组成、功能与特性。

对土壤的定义必须充分认识并理解土壤是一个历史自然体，是自然环境要素的中心环节，具有相应的生产力、生命力，同时也具有环境净化能力（陈怀满，2002）。

基于以上认识，考虑到土壤抽象的历史定位（历史自然体）、具体的物质描述（疏松而不均匀的聚积层）以及代表性的功能表征（生产力、生命力、环境净化），可将土壤作如下定义，即“土壤是历史自然体，是位于地球陆地表面和浅水域底部具有生命力、生产力的疏松而不均匀的聚积层，是地球系统的组成部分和调控环境质量的中心要素”（陈怀满，2010）。这是一个相对来说比较综合的定义，较充分地反映了土壤的本质和特征。

土壤是一个以固相为主的非匀质多相体系（陈文新，1990）。土壤固相包括土壤矿物质和土壤有机质；其中矿物质占土壤固体总重的90%以上，土壤有机质占固体总重的1%~10%；土壤液相是指土壤中的水分及其水溶液；土壤气相是指土壤孔隙中存在的多种气体的混合物，典型的土壤约有35%的体积是充满空气的孔隙。此外，土壤中还有数量众多的微生物和土壤动物。

土壤环境未受或者受人类活动（特别是人为污染）影响的原有化学元素组成及其含量

称为土壤环境背景值（国家环境保护局，1993）。土壤环境背景值是代表土壤环境发展的一个历史阶段的相对数值。土壤环境背景值是一个范围值，而不是确定值。这是因为数万年来人类的综合影响，风化、淋溶和沉积等地球物理化学作用和生物小循环及母质成因、地质和有机质含量等影响使地球上不同区域从岩石成分到地理环境和生物群落都有很大的差异，导致土壤的背景含量变化幅度较大。不仅不同类型的土壤之间存在不同，同一类型的土壤之间相差也很大。

土壤中含有大量的无机、有机和无机-有机复合的化学物质及大量的生物和生物活性物质，使土壤具有特殊的吸附性、酸碱性、氧化还原性和生物活性，影响着土壤环境的物理、化学和生物化学的过程、特征和结果。这些性质使土壤环境单元具有一定的自净能力，使之能够承纳一定的污染物质负荷，即土壤的环境容量（国家环境保护局，1993）。土壤的环境自净作用是指在自然因素作用下，通过土壤自身的作用使污染物在土壤环境中的数量、浓度或毒性、活性降低的过程。按照不同的作用机理，可以将土壤自净作用划分为物理净化作用、物理化学净化作用、化学净化作用和生物净化作用四个方面。这四个自净作用是相互交错的，共同完成了土壤环境容量的基础。土壤环境容量是指一定土壤环境单元，在一定范围内遵循环境质量标准，即维持土壤生态系统的正常结构与功能，避免环境系统污染超过土壤环境所能容纳污染物的最大负荷值。尽管土壤环境具有多种自净功能，但净化能力是有限的，人类还要通过多种措施来提高其自净能力。

## 二、土壤污染

土壤污染是指人类活动产生的污染物质通过各种途径输入土壤，其数量和速度超过了土壤净化作用的速度，破坏了自然动态平衡，使污染物质的积累逐渐占据优势，导致土壤正常功能失调，土壤质量下降，从而影响土壤动物、植物、微生物的生长发育。由此可以看出，土壤污染不但要看含量是否增加，还要看后果，即进入土壤的污染物是否对生态系统平衡构成危害（骆永明等，2005）。因此，判定土壤污染时，不仅要考虑土壤的背景值，更要考虑土壤生态的变异，包括土壤微生物区系的变化、土壤酶活性的变化、土壤动植物体内有害物质含量的生物反应和对人体健康的影响等。有时，土壤污染物超过背景值，却未对土壤生态功能造成明显的影响；有时，土壤污染物虽未超过土壤背景值，但某些动植物的富集作用却对生态系统构成明显的影响。因此，判断土壤污染的指标应包括两个方面，一是土壤自净能力，二是动植物直接或间接吸收污染物而受害的情况（骆永明和滕应，2006）。

通过各种途径进入土壤环境的污染物来源十分广泛，种类繁多，并可通过迁移转化污染大气和水体环境，进而可通过食物链最终影响人类健康。根据污染物进入土壤的途径，可将土壤污染源分为污水灌溉、固体废物的土地利用、农药和化肥等农用化学品的施用及大气沉降等几个方面。从污染物的属性考虑，土壤污染源一般可分为有机污染物、无机污染物、生物污染物和放射性污染物四大类。有机污染物主要有合成的有机农药、酚类化合物、石油、芳烃、洗涤剂以及高浓度的可生化性有机物等。有机污染物进入土壤后可危及土壤生物的生存。无机污染物是随人类采矿、冶炼、机械制造、建筑、化工等生产活动和生活垃圾进入土壤的，这些污染物包括重金属、有害元素的氧化物、酸、碱和盐类等。其



中尤以重金属污染最具潜在威胁，一旦污染，就难以彻底消除，其中许多种金属易被植物吸收，通过食物链危及人类健康（骆永明，2008）。生物污染是指一些有害的生物，如各类病原菌、寄生虫卵等从外界环境进入土壤后大量繁殖，从而破坏原有的土壤生态平衡，并对人畜健康造成不良影响。这类污染物主要来源于未经处理的粪便、垃圾、城市生活污水、饲养场和屠宰场的废弃物等，其中传染病医院未经消毒处理的污水和污染物危害最大。

土壤污染具有以下几个特点。隐蔽性：水体和大气污染比较直观，严重时通过人的感官即能发现，而土壤污染则往往通过农作物，包括粮食、蔬菜、水果或牧草以及摄食者的健康状况才能反映出来，从遭受污染到产生恶果有一个相当长的逐步积累过程，具有隐蔽潜伏性；不可逆和长期性：土壤一旦遭受污染，极难恢复，重金属元素对土壤污染是一个不可逆的过程，而许多有机化学物质的污染也需要比较长的时间来降解；后果严重性：土壤污染往往通过食物链危害动物和人体健康，研究表明，土壤和粮食的污染与一些地区居民肝肿大之间有着明显的剂量-反应关系，污灌引起的污染越严重，人群的肝肿大比率越高（陈怀满等，2006）。

### 三、场地污染

场地污染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、堆放、泄漏、倾倒废弃物或有害物质等所导致的。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，除了一些单独的工矿区、农业区外，我国还有很多污染场地位于城市中心，使其环境调查、评估和修复等一系列管理与控制工作存在很大困难。

20世纪90年代以来，我国社会经济迅速发展、城市化进程加速、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，我国几乎所有的大中城市都面临着重污染工业企业关闭和搬迁问题，城市中出现大量的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。这些污染场地的存在带来了双重问题：一方面是环境与健康风险；另一方面是阻碍了城市建设和经济发展。

### 四、场地污染源

随着现代工农业和城市的发展，废水、废气、废渣和生活垃圾的排放，场地污染问题越来越严重。场地污染来源众多、类型复杂，与行业特征、建设时间、生产历史及土地利用类型转变等均有不同的关系。

在现有的污染场地中，有历史遗留的，也有改革开放后新产生的；有国有企业带来的，亦有乡镇企业、合资或私营企业造成的。我国污染场地主要分布在城区，其中一大部分与居住、商业和公共娱乐活动用地相邻，生态敏感区遗留的污染场地不容小觑。纵观近几年频发的污染事件，矿区和污染行业往往是污染场地集中分布地，其他的污染场地有填埋场、