



村镇环境综合整治与生态修复丛书

CUNZHEN CHANGDI WURAN FANGZHI  
YU SHENGTAI HUANJING XIUFU

# 村镇场地污染防治 与生态环境修复

席北斗 侯立安 李鸣晓 姜玉 等编著



化学工业出版社



村镇环境综合整治与生态修复丛书

CUNZHEN CHANGDI WURAN FANGZHI  
YU SHENGTAI HUANJING XIUFU

# 村镇场地污染防治 与生态环境修复

席北斗 侯立安 李鸣晓 姜玉 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以落实《水污染防治行动计划》和《土壤污染防治行动计划》为导向,从“源头防、过程控、重点治、分类管”的角度出发,从村镇场地污染监控与快速识别、场地污染风险防控管理、污染场地阻隔与修复技术、污染场地生态环境治理等方面对我国村镇场地污染现状进行了分析,并梳理了村镇场地污染的问题成因及危害,阐明了我国村镇场地污染防治的需求,介绍了当前国内外村镇场地污染防治技术研究进展,提出了一系列方法、技术及装备,为我国村镇场地污染防治工作提供有力支撑。

本书具有较强的技术性、针对性和可操作性,可供从事污染场地污染监控与识别、污染防治与修复等的工程技术人员、科研人员和管理人员参考,也供高等学校环境科学与工程、生态工程及相关专业的师生参阅。

## 图书在版编目(CIP)数据

村镇场地污染防治与生态环境修复/席北斗等编著. —北京:  
化学工业出版社, 2019. 1  
(村镇环境综合整治与生态修复丛书)  
ISBN 978-7-122-33180-9

I. ①村… II. ①席… III. ①农村生态环境-污染防治-研究-中国②农村生态环境-生态恢复-研究-中国 IV. ①X322. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第236370号

---

责任编辑:刘兴春 卢萌萌 左晨燕  
责任校对:王鹏飞

文字编辑:汲永臻  
装帧设计:王晓宇

---

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 装:北京新华印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张18¼ 彩插3 字数419千字 2019年1月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888

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:86.00元

版权所有 违者必究

# 《村镇环境综合整治与生态修复丛书》 编委会

顾问：刘鸿亮 魏复盛 任阵海 刘文清 杨志峰

主任：侯立安

副主任：席北斗

编委成员：(排名不分先后)：

侯立安	席北斗	张列宇	杨天学	何小松
夏训峰	李瑞	魏自民	李英军	王世平
赵越	汪群慧	李秀金	吴伟祥	李鸣晓
黄彩红	赵颖	李艳平	党秋玲	籍国东
周顺桂	胡晓农	蔡五田	冯传平	郭华明
朱昌雄	王洪臣	范彬	檀文炳	王丽君
马涛	王红强	赵昕宇		

# 《村镇场地污染防治与生态环境修复》 编著人员名单

编著者：席北斗 侯立安 李鸣晓 姜玉 李瑞  
雷抗 宋赛虎 黄彩红 张晓慧 赵颖  
姜永海 侯佳奇 霍守亮 苏婧 孟繁华  
刘军 戴昕 李娟 王雷 张颖  
郝艳 王勇 叶美瀛 陆青 杨昱  
崔东宇 孙源媛 余红 李翔 喻颖  
安达 郇环 吕宁馨 张列宇 何小松  
邓阳 党秋玲 唐军 王丽君 李国文  
夏训峰 朱建超 龚斌 许铮 杨予宁  
高绍博

# 前言

## Preface

2014年中央经济工作会议指出,我国环境承载力已接近上限,科学、准确地认识我国的环境问题也是未来经济发展的必经之路。与此同时,经济社会可持续发展对生态文明建设和生态环境保护提出了更高的要求。2015年中央经济工作会议指出,推进城镇化要更加注重以人为核心;促进区域发展要更加注重人口经济和资源环境空间均衡;保护生态环境要更加注重促进形成绿色生产方式和消费方式。《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)要求,到2020年,全国地下水质量极差的比例控制在15%左右。地下水易受污染地区要优先种植需肥需药量低、环境效益突出的农作物。加强农村饮用水水源保护和水质检测,定期调查评估集中式地下水型饮用水源地等区域环境状况。石化生产存储销售企业和工业园区、矿山开采区、垃圾填埋场等区域应进行必要的防渗处理。公布京津冀等区域内环境风险大、严重影响公众健康的地下水污染场地清单,开展修复试点。《土壤污染防治行动计划》(简称“土十条”)指出土壤是经济社会可持续发展的物质基础,关系人民群众身体健康,关系美丽中国建设,保护好土壤环境是推进生态文明建设和维护国家生态安全的重要内容。2017年中央1号文件将“土十条”中农田土壤污染防治工作内容进一步提升,在土壤污染状况详查的基础上,深入实施“土十条”工作内容,开展重金属污染耕地修复及种植结构调整试点。同年10月,党的十九大报告进一步提出强化土壤污染管控和修复,坚持源头防治,实施重要生态系统保护和修复重大工程,完成生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界三条控制线划定工作。

村镇土壤污染防治切实关系到村镇饮用水水源以及农产品质量的安全问题,是保护生态红线、保障永久基本农田的必要条件,更是打好防范化解重大风险、精准脱贫、污染防治三大攻坚战的重要保障。本书从“源头防、过程控、重点治、分类管”的角度出发,从村镇场地污染监控与快速识别、场地污染风险防控管理、污染场地阻隔与修复技术、污染场地生态环境治理等方面,提出了一系列方法、技术及装备,为我国村镇场地污染防治工作提供有力支撑。

本书以落实《水污染防治行动计划》和《土壤污染防治行动计划》为导向,对我国村镇场地污染现状进行了分析,并梳理了村镇场地污染的问题成因及危害,阐明了我国村镇场地污染防治的需求,介绍了当前国内外村镇场地污染防治技术研究进展。在参阅了当前大量国内外相关研究和应用文献资料的同时,结合编著者及其团队多年的研究成果、体会和实践经验,整合了村镇污染场地修复与生态环境治理技术的原理、工艺方法及工程应用实例,旨在为相关专业人士和广大读者提供一本丰富的村镇污染场地防治技术及其应用实践资料,为《水污染防治行动计划》和《土壤污染防治行动计划》的实施提供技术支撑。

本书由席北斗、侯立安、李鸣晓、姜玉等编著,具体编著分工如下:第1章主要由

侯立安、席北斗、李鸣晓、李瑞编著；第2章主要由李瑞、姜玉、宋赛虎、王勇编著；第3章、第4章主要由安达、李娟、李鸣晓、李瑞、姜玉、雷抗编著；第5章主要由姜永海、赵颖、何小松、侯佳奇、李瑞、姜玉编著；第6章、第7章主要由王雷、戴昕、张晓慧编著。全书最后由席北斗、李瑞、姜玉统稿与定稿。此外，霍守亮、苏婧、孟繁华、刘军、张颖、郝艳、叶美瀛、陆青、杨昱、崔东宇、孙源媛、余红、李翔、喻颖、黄彩红、郇环、吕宁馨、张列宇、邓阳、党秋玲、唐军、王丽君、李国文、夏训峰、朱建超、龚斌、许铮、杨予宁、高绍博等在本书编著过程中给予了诸多帮助，在此表示真挚的谢意。

本书在编著过程中也参考了部分学者的研究结果，每章后面附有参考文献目录，在此向这些作者致以真挚的谢意。

限于编著时间及编著者水平，书中难免存在不足和疏漏之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

编著者

2018年12月

# 目录

## Contents

- 1.1 村镇场地污染的定义 / 001
- 1.2 村镇场地污染的特征 / 001
- 1.3 村镇场地污染的类型 / 003
  - 1.3.1 以污染成因划分 / 003
  - 1.3.2 以污染物类型划分 / 003
- 1.4 我国村镇场地污染现状 / 005
  - 1.4.1 土壤环境质量 / 006
  - 1.4.2 水环境质量 / 014
  - 1.4.3 空气环境质量 / 016
- 1.5 村镇场地污染成因 / 018
  - 1.5.1 生活污染 / 018
  - 1.5.2 农业面源污染 / 019
  - 1.5.3 村镇工业“三废”污染 / 020
  - 1.5.4 东北及黄淮海平原村镇场地环境污染成因分析 / 021
- 1.6 治理的迫切性与需求分析 / 025
- 参考文献 / 026

- 2.1 村镇污染场地风险评价研究进展 / 029
- 2.2 村镇场地环境污染监测方法 / 030
  - 2.2.1 异位监测方法 / 031
  - 2.2.2 原位监测方法 / 031
- 2.3 村镇场地环境污染监测预警技术 / 033
  - 2.3.1 地下水污染监测预警技术 / 033
  - 2.3.2 土壤污染监测预警技术 / 034
- 2.4 村镇污染场地修复技术研究进展 / 035
  - 2.4.1 污染场地地下水治理技术 / 036
  - 2.4.2 污染场地土壤修复技术 / 038
- 2.5 污染场地生态环境恢复 / 044
- 参考文献 / 045

## 第 1 章

### 村镇场地污染概况

001

## 第 2 章

### 村镇污染场地修复及生态环境恢复研究进展

029

# 第3章

## 村镇场地污染风险评估

048

### 3.1 模糊综合风险评估方法 / 048

3.1.1 风险因子 / 048

3.1.2 评估的初始阶段 / 050

3.1.3 模糊综合评价阶段 / 055

### 3.2 集成 ISM 和 ANP 方法的整体风险评估方法 / 059

3.2.1 整体风险评估的基本方法 / 059

3.2.2 集成 ISM 和 ANP 的整体风险评估方法 / 060

3.2.3 评估风险指数 / 065

### 3.3 天津市某村镇坑塘污染场地风险评估 / 066

3.3.1 场地调查 / 066

3.3.2 场地健康风险评价 / 072

3.3.3 风险评估结果 / 077

参考文献 / 079

# 第4章

## 村镇场地环境污染监测预警技术

081

### 4.1 村镇场地土壤污染监测预警技术 / 081

4.1.1 土壤污染监测预警的特点与类型 / 081

4.1.2 基于 C# .NET 平台和 ArcGIS Engine 的土壤污染预警系统 / 083

4.1.3 基于包气带监测系统 (VMS) 的土壤污染监测预警系统 / 084

### 4.2 村镇场地地下水污染监测预警技术 / 085

4.2.1 场地环境调查 / 086

4.2.2 地下水污染监测预警 / 087

### 4.3 基于“互联网+”的场地污染原位在线监测预警系统 / 095

参考文献 / 096



## 5.1 污染场地修复材料 / 098

- 5.1.1 污染土壤修复材料 / 098
- 5.1.2 污染地下水修复材料 / 100

## 5.2 污染场地修复技术 / 150

- 5.2.1 土壤修复技术 / 150
- 5.2.2 地下水修复技术 / 168

### 参考文献 / 197

## 6.1 金属矿山类污染场地生态恢复 / 200

- 6.1.1 矿区环境问题 / 201
- 6.1.2 矿区生态环境恢复技术 / 202
- 6.1.3 矿区废弃土地空间释放及综合利用 / 204

## 6.2 工业废弃物堆积场地生态恢复 / 206

- 6.2.1 工业废弃物堆积场地生态环境问题 / 207
- 6.2.2 工业废弃物堆积场地生态恢复技术选择 / 207
- 6.2.3 工业废弃物堆积场地生态恢复后的综合利用 / 210

## 6.3 生活垃圾填埋场生态恢复 / 210

- 6.3.1 生活垃圾填埋场环境问题 / 212
- 6.3.2 生活垃圾填埋场生态恢复技术 / 213
- 6.3.3 生活垃圾填埋场生态恢复利用模式 / 216

## 6.4 受损湿地生态恢复 / 216

- 6.4.1 湿地生态系统的特点 / 218
- 6.4.2 湿地生态恢复技术 / 219
- 6.4.3 湿地生态恢复方案确定 / 221

### 参考文献 / 221

# 第5章

## 村镇场地污染修复材料与 技术

098

---

# 第6章

## 村镇污染场地生态恢复

199

---

# 第7章

## 村镇污染场地污染防治与生态环境恢复技术案例

223

## 附录: 相关政策及标准

243

索引 / 276

### 7.1 村镇场地污染监测与快速精准识别案例 / 223

7.1.1 天津某简易垃圾填埋场地下水污染监测预警 / 223

7.1.2 安徽某填埋场地下水污染快速识别 / 225

### 7.2 场地污染修复案例 / 226

7.2.1 云南某历史堆存铬渣场污染土壤修复 / 226

7.2.2 华北某化工厂有机氯代溶剂污染地下水修复 / 228

7.2.3 广西某重金属污染场地修复 / 230

7.2.4 南方某村镇化工厂污染土壤修复中试工程 / 233

7.2.5 华北某村镇纳污坑塘污染治理 / 235

### 7.3 村镇污染场地生态恢复案例 / 236

7.3.1 长沙大王山生态旅游开发区棕地景观恢复 / 236

7.3.2 诺德斯特恩废弃矿区生态恢复 / 238

7.3.3 杭州天子岭垃圾填埋场生态恢复 / 239

7.3.4 首尔世界杯公园生态恢复 / 241

7.3.5 加拿大蒙特利尔市圣米歇尔环保中心生态恢复 / 241

附录 1 水污染防治行动计划 / 243

附录 2 土壤污染防治行动计划 / 256

附录 3 地下水质量标准 (GB/T 14848—2017) / 267

附录 4 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准 (GB 15618—2018) / 272

# 第 1 章 村镇场地污染概况

在我国国土面积分配中，大约 90% 面积为村镇区域，村镇人口占我国总人口的约 70%。改革开放以来，我国村镇经济得到了较快发展，随之而产生的环境污染问题也日益严重。村镇场地污染是全面建设社会主义新农村、推进新型城镇化进程中所遭遇的重大环境问题，严重影响着村镇人居环境安全、国民健康和社会稳定。据国家生态环境部最新发布的环境状况公报，我国农村目前仍有 3 亿多人喝不上符合卫生标准的饮用水，每年上亿吨的农村生活垃圾露天堆放，上亿亩农田遭到不同程度的污染，且呈现重金属和有机物复合污染的复杂情况。土壤质量退化、农产品歉收、有毒物质超标的情况屡有发生；食品安全和水安全问题日益突出，村镇场地污染事件频发成为我国环境保护工作中的一个焦点问题，已引起社会各界的关注<sup>[1]</sup>。

## 1.1 村镇场地污染的定义

村镇场地污染，是指农村地区的土壤和地下水受到外界因素的影响，使由自然产生和人类生产生活产生的一系列污染物质进入土壤和地下水之中，这些污染物质的数量和性质都超过了村镇场地容纳和净化的速度与能力，使这些土壤和地下水的自然动态被破坏，相关功能失调、土质恶化，使得植物的数量、种类和质量下降，而且还促使一部分污染物质通过土壤进入水体或大气，使水体和大气环境受到污染，并最终使人类和动物受到伤害。村镇土壤污染最明显的标志就是农业生产力下降。对于村镇场地污染问题，英国的环境污染皇家委员会将场地污染视为一种具有现实危害性的社会现象，并将这种现象以国家法律进行严格限制和规范。

村镇场地污染往往包括两层含义：一是污染发生在特定的村镇区域，区域内往往包括土壤、地下水、地表水、大气等各种污染介质；二是特定的村镇区域已被有害物质污染，并已对村镇居民或自然环境产生了负面影响或者存在潜在负面影响。

## 1.2 村镇场地污染的特征

我国村镇生活污水的主要污染特征是污染面广，难收集，来源多，成分复杂，悬浮

物浓度较高,有机物浓度较低,水质一般呈弱碱性,污水中含有较高的人畜粪尿成分,特别是氮、磷含量较高,故处理时不仅要消减有机物,还要进行脱氮除磷。

我国村镇生活垃圾的主要污染特征是产生量大、成分复杂、资源化再利用率低<sup>[2]</sup>。生活垃圾组成以有机物成分(厨余、果皮等)为主,玻璃、塑料、金属等可回收物质的比例相对不大。当前农村生活垃圾处理方式以填埋为主,垃圾的收集方式为混合收集,一些有害物质如干电池、废油等未经分类直接进入垃圾,无疑增加了无害化处理难度。

农业面源污染是在农业生产活动中,氮素和磷素等营养物质、农药及其他污染物质通过农田的地表径流和农田渗漏而形成的水环境与土壤环境污染。农业面源污染具有分散性、隐蔽性、难以监测、随机性和不确定性等特征;农业面源污染主要来自农业/农产品生产中广泛使用的化肥、农药、农膜等工业产品,以及农作物秸秆、畜禽粪、农村生活污水、生活垃圾等农业或农村废弃物。

矿业开采在我国村镇经济建设中起到的作用不容忽视,但是在矿产资源大规模开发利用的同时,也在改变着矿山生态环境系统的物质循环和能量流动方式,从而产生了一系列链状环境问题。矿山环境问题主要指矿产资源勘查、开采活动对周围环境要素的破坏和污染,包括因不合理的勘查或采矿活动造成的水污染、大气污染。不同的矿业活动和村镇加工行业生产过程会产生不同的毒害污染物,包括无机类、有机类或有机-无机类污染物,并且常常出现与化学品生产或使用、矿山开采尾矿相关的特征污染物。乡镇工矿企业废弃物侵占大量土地,废水严重污染地下水源。乡镇工矿企业生产污染的主要特征是生态破坏严重、资源利用率低、集中收集处理困难、治理成本高。

以上诸多因素导致了我国村镇环境质量的下降,村镇场地环境污染特征主要表现在以下几个方面<sup>[3]</sup>。

#### (1) 隐蔽性和滞后性

通常情况下,村镇场地污染监测的时效性较差,致使村镇场地污染出现隐蔽性和滞后性。污染物一旦进入农用地,经过物理吸附、生物吸收和化学沉淀等过程,就会在村镇场地中不断累积,积累到一定数量之后,就会使村镇场地环境由量变向质变退化。

#### (2) 不可逆性和长期性

在村镇场地污染中,重金属及难降解有机物污染土壤、地下水往往具有不可逆转性。村镇场地污染的长期性主要是指村镇场地在受到污染之后,污染物质的降解需要较长时间,有时甚至需要上百年的时间才能完成自然衰减。

#### (3) 地区差异性

在我国村镇场地污染情况的调研分析发现,村镇场地的污染呈现地区差异性。我国北方、南方、西部、东部地区村镇场地的污染程度、污染物质种类、污染来源都不一样,这些都与区域的工业情况、矿产资源、主要的农作物类型与耕作方式、农民施用化肥农药的习惯等密切相关。

## 1.3 村镇场地污染的类型

### 1.3.1 以污染成因划分

#### (1) 突发事故产生的污染场地

近年来,伴随着经济快速发展、人口剧烈增长与城市快速扩张,我国已经进入环境污染事故高发期,特别是爆炸、泄漏、偷排等重大环境污染事件产生的高强度场地污染,由于具有发生突然、危害性大、后果严重等特点,已经严重危及国家社会、经济的稳定发展以及人民的生命财产安全。据初步统计,1992~2006年平均每年发生1905起环境污染事故,严重环境污染事故频频发生,给区域环境、公众健康、社会稳定、经济发展带来了不可估量的损失。村镇场地污染不同于一般的环境污染,发生时间和地点不确定,没有固定的排放方式和排放途径,污染事故往往发生突然、来势凶猛、扩散迅速,因此,此类污染场地具有污染物种类复杂、污染强度高、危害程度大、环境破坏能力强等特点。

#### (2) 累积产生的污染场地

污染累积主要指人为活动产生的污染物,通过特定的污染途径,逐渐进入土壤并积累到一定程度,引起土壤质量恶化,进而造成农作物中某些指标超过国家标准的现象。

污染物进入土壤的途径主要有以下3种。

① 废气中含有的污染物质,特别是颗粒物,在重力作用下沉降到地面进入土壤。

② 废水中携带大量污染物进入土壤。

③ 固体废物中的污染物直接进入土壤或其渗滤液进入土壤。其中最主要的是污水灌溉带来的土壤污染。

此外,农药、化肥的大量使用,造成土壤有机质含量下降,土壤板结,也是土壤污染的来源之一。

由于污染物在土壤中比在大气和水中更难迁移,使得污染物质在土壤中不容易扩散和稀释,从而不断积累而超标。因此,此类污染场地具有地域性强、主要污染物较为单一等特点。

### 1.3.2 以污染物类型划分

#### (1) 重金属污染场地

化学中一般将密度在 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上的金属称为重金属,是土壤环境中一类极具潜在危害的污染物。土壤重金属污染是指由于人类活动将重金属引入土壤中,致使土壤中的重金属含量明显高于原有含量,并造成生态恶化的现象<sup>[4]</sup>。目前我国土壤受重金属

污染的状况不容乐观。全国受重金属污染的耕地面积近  $2.5 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，每年因土壤污染而损失的粮食产量达  $1.2 \times 10^7 \text{ t}$ ，直接经济损失 100 多亿元人民币。我国常见的重金属污染主要有汞、铜、锌、铬、镍、钴、铅、镉等，汽油中添加的防爆剂四乙基铅随废气排出污染土壤，使行车频率高的公路两侧常形成明显的铅污染带；砷被大量用作杀虫剂、杀菌剂、杀鼠剂和除草剂，硫化矿产的开采、选矿、冶炼也会引起砷对土壤的污染；汞主要来自厂矿排放的含汞废水，土壤组成与汞化合物之间有很强的相互作用，积累在土壤中的汞有单质汞、无机汞、有机络合态或离子吸附态汞，所以，汞能在土壤中长期存在；镉、铅污染主要来自冶炼排放和汽车尾气沉降，磷肥中有时也含有镉。重金属污染具有普遍性、隐蔽性与潜伏性、不可逆性与长期性、复杂性、传递危害性等特点。

### (2) 有机污染场地

土壤中有有机污染物的来源有农药和化肥的施用、污水灌溉和污泥施肥、工业废水废气和废渣的污染、空气中沉降物的污染。其中，农药施用和工业生产中排放的人工合成有机物是土壤有机污染的主要污染源，而大气沉降、污水灌溉、污泥和固体废弃物的土地处置和利用是工业“三废”中的有机物污染土壤的主要方式。例如持久性有机污染物 (POPs) 化学品生产企业的原生产场址或有毒有害 POPs 废物的堆放地点，是潜在的 POPs 污染场地。调查表明，我国的 POPs 生产企业场地存在着严重的污染隐患<sup>[5]</sup>，有些企业已经生产数十年，生产场地的土壤及地下水的污染物含量已严重超标，个别区域达到上万毫克每千克。流通和使用过程中产生的 POPs 污染场地主要是指杀虫剂类 POPs 禁用后的存放地点。POPs 废物封存点的贮存条件往往较为简陋，基本没有防渗设施，大多数封存点也没有设置防雨设施，封存点土壤中的 POPs 物质含量超过自然环境土壤中 POPs 物质含量的 20~100 倍。

### (3) 有机无机复合污染场地

有机无机复合污染是有机污染物和无机污染物在同一环境中同时存在所形成的环境污染现象，目前村镇场地复合污染主要集中在有机螯合剂、农药、芳香类化合物与重金属等污染物的交叉复合。除了化学污染外，有的场地还存在病原性的生物污染和建筑垃圾类的物理污染。村镇场地污染往往是由多种原因共同作用而产生的复合污染，如农业生产中使用含有重金属的有机肥时，为防治病虫害大量使用有机氯类高效高毒农药，从而造成复合污染；又如，由于对垃圾分类没有实施强有力的法律法规等管理措施，人们不论废弃物是否可以回收利用，是否容易随水流失，是否容易在空气中挥发，都将其随意丢弃于垃圾站。因此，废弃物堆放地污染往往更为复杂，对人危害更大。有研究指出固体废物堆放不仅侵占农田，使土壤板结、发酸、聚毒、肥力降低，耕种后影响农作物生长发育，甚至使之减产或绝产，也使树木根部变黑枯死，还在腐烂变质时产生臭气毒气，且粉煤灰、干污泥、垃圾中的尘埃等含有大量细菌病毒、有害有毒元素等，严重威胁人们的身体健康，并随风飞扬，成为传播疾病的重要来源。

### (4) 微生物污染场地

病原菌、病毒、原虫和蠕虫类等致病性生物侵入土壤并大量繁殖，可以破坏土壤生

态平衡,引起土壤质量下降,对地下水、饮用水水源、动植物和人体健康造成不良影响。污水灌溉和垃圾、污泥、粪便的农用,可将大量细菌、病原体和寄生虫卵带入土壤;大气中携带病原体的悬浮物和生物气溶胶等也可以通过沉降进入土壤引起生物性污染;病畜尸体随意掩埋或处理不当,更易引起土壤生物污染并扩大疾病的传播。病原菌在条件适宜时可以土壤为媒介传播,引起人和动物传染病的发生。土壤中已发现多种可能引起人类致病的病毒和植物病毒。

## 1.4 我国村镇场地污染现状

当前我国村镇土壤环境污染形势严峻,主要表现如下。

① 在一些经济快速发展地区耕地土壤中持久性有毒有害物质已经大量积累,部分农田的重金属(镉、汞、砷等)、农药(滴滴涕等)、多环芳烃、多氯联苯、二噁英等持久性有机无机复合污染突出,严重影响粮食生产和农产品质量安全。

② 在快速的城市化和实施退二进三的城市布局改造战略的进程中,污染企业搬迁引发的村镇场地土壤环境污染事故已经影响到人居环境安全健康。

③ 在一些矿区、油田及其周边土壤中重金属和有机污染也相当严重,对周边生态安全和人体健康构成威胁。

④ 一些湿地不仅是生物栖身地和生态敏感区,而且也是污水和废弃物的汇集地,污染严重,影响生物多样性和生态安全。

在高强度的资源和能源利用与污染物排放过程中,我国村镇场地污染的范围在进一步扩大,村镇场地污染物的种类在增多,出现了复合型、混合型的高风险污染土壤区。村镇场地污染呈现出从污灌型向污灌型与大气沉降型并重的转变,城郊向农村延伸,局部向区域蔓延的趋势;从有毒有害污染发展至有毒有害污染与养分过剩、土壤酸化的交叉,形成点源污染与面源污染共存,生活污染、种植养殖业污染和工矿企业排放叠加,各种新旧污染与次生污染相互复合混合的态势,危及粮食生产与质量安全、生态环境安全和人体健康,迫切需要治理和修复。最近20年,随着经济的高速发展,我国进入了环境高风险时期,各种场地污染事件层出不穷,尤其是近10年,场地污染事件的发展规模日趋扩大,后果更加严重,污染类型愈加复杂。据不完全统计,我国1998~2006年共发生环境污染和破坏事件14700余起,平均每年发生1600多起。

环境保护部与国土资源部于2014年4月17日发布《全国土壤污染状况调查公报》<sup>[6]</sup>,披露全国土壤环境状况总体不容乐观,指出工矿业、农业等人为活动以及土壤环境背景值高是造成村镇土壤污染或超标的主要原因。全国村镇土壤总超标率为16.1%,其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为11.2%、2.3%、1.5%和1.1%。工矿业废弃地土壤环境问题突出,南方村镇土壤污染重于北方,长江三角洲、珠江三角洲、东北老工业基地等部分区域村镇土壤污染问题较为突出,西南、中南地区

土壤重金属超标范围较大。从土地利用类型来看,耕地、林地、草地土壤点位超标率分别为 19.4%、10%、10.4%。从污染类型看,以无机型为主,有机型次之,复合型污染比重较小。从污染物超标情况看,镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍 8 种重金属和六六六、滴滴涕、多环芳烃 3 类有机物是主要的污染物。同时耕地村镇土壤污染事关“米袋子”“菜篮子”安全,与人民健康息息相关,要保住“舌尖上的安全”,首先就要保证土壤安全。

国土资源部发布的《2012 国土资源公报》显示,全国 198 个地市级行政区共有 4929 个地下水水质监测点,其中综合评价水质呈较差级的监测点为 1999 个,占 40.6%,水质呈极差级的监测点为 826 个,占 16.8%。主要超标组分为铁、锰、氟化物、“三氮”(亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和氨氮)、总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物等,个别监测点存在重(类)金属超标现象。在这些监测点中,综合评价结果为水质呈优良级的监测点为 580 个,占全部监测点的 11.8%,水质呈良好级的监测点为 1348 个,占 27.3%,水质呈较好级的监测点为 176 个,占 3.6%。据悉,2013 年,有连续监测数据的水质监测点总数为 4677 个,分布在 187 个城市,其中水质综合变化呈稳定趋势的监测点有 2974 个,占 63.6%;呈变好趋势的监测点有 793 个,占 17.0%;呈变差趋势的监测点有 910 个,占 19.5%。村镇地下水是水资源的重要组成部分,是人类生存、生活和生产活动必不可少的自然资源,在保证居民生活用水、社会经济发展和生态环境平衡等方面起到不可估量的作用。近年来由于过度开采、企业恶意偷排,我国村镇地下水污染状况日益严重。地下水由于有承压层的存在处理难度更大,而且在地下交错相连,与土壤接触更为紧密,污染更隐蔽,处理的成本远大于地表水的处理。因此对村镇地下水进行生态安全评估和污染修复已到了刻不容缓的地步。

### 1.4.1 土壤环境质量

2014 年,我国村镇耕地土壤点位超标率为 19.4%,其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为 13.7%、2.8%、1.8%和 1.1%。污染类型以无机型为主,有机型次之,复合型污染比重较小,无机污染物超标点位占全部超标点位的 82.8%。镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍 8 种无机污染物点位超标率分别为 7.0%、1.6%、2.7%、2.1%、1.5%、1.1%、0.9%、4.8%,六六六、滴滴涕、多环芳烃 3 类有机污染物点位超标率分别为 0.5%、1.9%、1.4%。长江三角洲、珠江三角洲、辽河平原、海河平原等部分区域土壤污染问题较为突出,西南、中南地区土壤重金属超标范围较大;镉、汞、砷、铅 4 种无机污染物含量分布呈现从西北到东南、从东北到西南方向逐渐升高的态势。

2015 年,酸雨区面积约 72.9 万平方公里,占国土面积的 7.6%,比 2010 年下降 5.1 个百分点;其中,较重酸雨区和重酸雨区面积占国土面积的比例为 1.2%和 0.1%。酸雨污染主要分布在长江以南、云贵高原以东地区,包括江西大部、湖南中东部、重庆南部等,大幅提升了南方土壤重金属污染风险。



三江平原、松嫩平原、淮北平原村镇场地土壤重金属点位超标率相对较低,分别为1.35%、0.81%、0.62%;海河平原、辽河平原、黄泛平原点位超标率相对较高,分别为4.28%、3.70%、2.10%。东北及黄淮海平原村镇场地主要超标重金属污染物依次为Cd(1.18%)、Hg(0.40%)、Cu(0.17%)、As(0.11%)。北方主要村镇场地重金属超标问题较为突出的区域主要位于辽河平原东部、南部,以及海河平原京津冀交汇区。Cd超标点位集中分布在辽河平原的沈阳市和锦州市,海河平原的天津市,黄泛平原的济源市、新乡市、安阳市;Hg超标点位集中分布在海河平原的天津市、北京市;Cu超标点位集中分布在辽河平原的沈阳市、抚顺市,海河平原的赵县;As超标点位集中分布在海河平原的天津市。Cd尚清洁点位连片分布在辽河平原的沈阳市和锦州市、海河平原的天津市和北京市周边;Ni尚清洁点位在辽河平原的沈阳市、辽阳市、海城市、营口市,海河平原的涿州市、保定市、石家庄市、沙河市,淮北平原的洛阳市、舞阳县、信阳市呈带状分布。海河平原天津市以南,赵县以东区域为土壤环境质量清洁区;黄泛平原北部和西南部为土壤环境质量清洁区;松嫩平原西南部为土壤环境质量清洁区;三江平原除富锦市、宝清县,其他区域均为土壤环境质量清洁区。

三江平原村镇场地环境质量相对较好,As、Cr、Cu、Pb、Zn环境质量等级均为清洁。Cd、Ni超标点位零散分布在双鸭山市宝清县,点位超标率分别为1.90%、5.60%。Hg超标点位仅分布在富锦市,点位超标率为0.40%。三江平原是今日的“北大仓”,境内有52个国有农场和8个森工局,是国家重要的商品粮生产基地,年总产量达 $1.5 \times 10^7$ t,商品率和机械化程度全国第一。为追求产量,农业机械的广泛使用、大量施用化肥和农药很可能引起土壤重金属超标<sup>[7]</sup>。三江平原境内天然沼泽湿地残存分布,有6个国家级湿地自然保护区,3个被列入了国际重要湿地名录。三江平原东北部存在洪河和三江两块国家级重要湿地,环境的保护力度很大,周边农田开垦较晚,农田肥力较高,环境容量的提升与保护应受到重视<sup>[8]</sup>。

松嫩平原村镇农田各土壤监测点位Cu、Hg、Pb环境质量等级均为清洁。Cd、Zn、Ni超标点位主要分布在长春市九台区,点位超标率分别为6.20%、1.00%、0.40%。舒兰市Cd以及龙江县As超标现象也不容忽视,点位超标率分别为2.40%、0.30%。据2002年文献报道,松嫩平原村镇场地污染源主要包括工业“三废”(水、气、渣),沿嫩江分布的化工、制糖、制革等工业污染排放企业约有2800个,每年排放废水 $1.2 \times 10^7$ t;仅齐齐哈尔江段排入嫩江的废水占整个嫩江纳污总量的70%。与“七五”和“六五”期间松嫩平原土壤背景值比较,灌区中大部分有毒元素有增加趋势,部分也有减少<sup>[9]</sup>。导致松嫩平原村镇场地土壤污染的主要原因有农药、化肥的大量施用、残留农膜、畜禽养殖、大气粉尘沉降、固废堆弃等<sup>[10]</sup>。

辽河平原村镇场地土壤Pb环境质量等级均为清洁。Hg、Zn超标点位仅分布在辽阳市,点位超标率分别为12.50%、1.10%。据2011年文献报道,辽阳市人多地少,化肥农药的施用量为东三省用量最大的地区之一。辽阳市化肥年施用量远超过国家设置的安全施用值上限,化肥利用率低、流失量高导致了农田土壤污染。由于环保基础设施缺乏和管理的滞后,辽阳市每年产生的生活垃圾几乎全部露天堆放,每年产生农村生活污水几乎全部直排,使农村聚居点周围的环境质量严重恶化<sup>[11]</sup>。尤其值得注意的是,