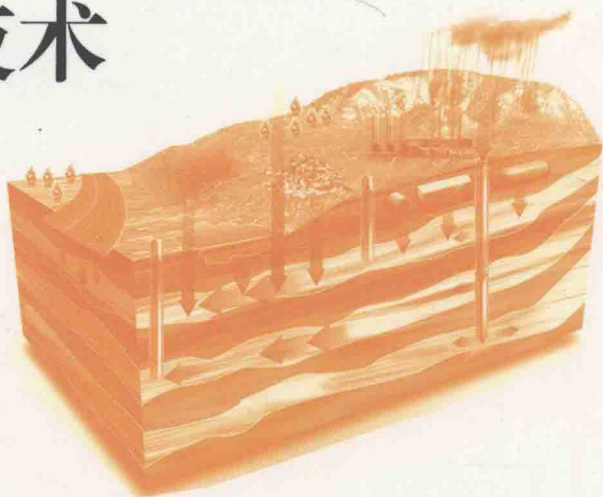


污染土的快速诊断 与土工处置技术

许丽萍 编著



我国土壤和地下水污染情况不容乐观，污染场地的综合治理已成为我国可持续发展必须破解的瓶颈问题之一。要解决好这一问题，需要全社会充分认识土壤和地下水污染对生态环境的危害；在充分借鉴国内外既有经验的基础上，建立和完善我国相关法律、法规与技术标准体系，融合环境工程和岩土工程等多专业的技术优势，借助环境岩土工程这一交叉学科的专业知识，采取科学合理的解决方案。



上海科学技术出版社

污染土的快速诊断与 土工处置技术

许丽萍 编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

污染土的快速诊断与土工处置技术 / 许丽萍编著.

—上海: 上海科学技术出版社, 2015. 12

ISBN 978 - 7 - 5478 - 2962 - 2

I. ①污… II. ①许… III. ①土壤污染—诊断②土壤污染—污染防治 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 318435 号

污染土的快速诊断与土工处置技术

许丽萍 编著

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 19.75

字数 412 千字

2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 2962 - 2/X · 34

定价: 80.00 元

内容提要

我国土壤和地下水污染情况不容乐观,污染场地的综合治理已成为我国可持续发展必须破解的瓶颈问题之一。要解决好这一问题,需要全社会充分认识土壤和地下水污染对生态环境的危害;在充分借鉴国内外既有经验的基础上,建立和完善我国相关法律、法规与技术标准体系,并融合环境工程和岩土工程等多专业的技术优势,借助环境岩土工程这一交叉学科的专业知识,采取科学合理的解决方案。

为了服务上述目的,本书介绍了土壤和地下水污染的基本概念、国内外对该问题认识的历程和立法经验,并从技术角度系统阐述了污染物来源及分类、环境地质条件对污染物迁移转化的影响、污染场地的调查方法、基于综合测试方法的污染场地快速诊断方法、考虑人体健康和建设工程安全的综合评估方法和常用修复治理技术,并重点介绍了隔离法和固化法等土工处置技术及工程应用案例。

本书融汇了作者近十年在环境岩土工程方面系统的调研科研成果和工程实践,既可作为相关专业培养学生的教材,也可作为从业人员或环境保护人士的参考书。

本书编委会

编委会主任

许丽萍

编委会副主任

李 韬 席永慧

陈丽蓉 王 蓉

前言

土壤和地下水污染会危及人体健康和生态环境安全,具有隐蔽性、滞后性、积累性和不可逆转性等特征,其修复治理难度大、费用多、历时长。

目前我国土壤与地下水污染情况较为严重,2014 年环境保护部和国土资源部发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示土壤污染总的超标率为 16.1%,部分地区土壤污染较重。2015 年环境保护部发布的《2014 中国环境状况公报》显示地下水污染情况更不容乐观。土壤和地下水污染已成为制约我国社会经济发展的瓶颈问题之一。

土壤和地下水污染的修复治理属于生态环境保护的重要组成部分,涉及法律、技术、经济等综合类因素。发达国家自 20 世纪 80 年代开始重视这一问题,至今积累了许多成熟的经验。各国的经验均表明:健全的法律体系与严格执法是土壤污染修复治理的根本保障;土壤和地下水污染修复治理不仅需要环境工程学科知识,尚需融合岩土工程学科的知识与技术手段。环境岩土工程新学科也由此诞生。

我国近几年才开始关注并启动土壤和地下水污染治理,面临的主要问题包括:一是人们通常比较关注大气污染、地表水体的污染,对土壤和地下水污染的机理与危害认识程度远不及前两者;二是土壤和地下水污染修复治理处于起步阶段,面临许多待破解的技术难题,相关研究成果和工程实践少;三是国外先进技术与装备的引进、消化、吸收需要开展大量的适用性研究,并根据我国实际情况加以改良;四是环境岩土工程作为新学科知晓度低,环境工程与岩土工程的学者和工程师交流融合不够,岩土工程师不太熟悉环境学科的基本知识与化学生物处置方法,环境工程师也迫切需要了解并借鉴岩土工程特有的手段与方法;五是我国相关法律体系尚不健全,污染违法成本低、源头管控不够。这些问题的解决不仅需要政府与全社会高度关注,还需要环境工程与岩土工程领域的同仁携手同行,攻坚克难。

本人长期从事岩土工程专业工作,自 2004 年起关注土壤污染修复治理技术,并对国内外环境岩土工程学科发展和土壤及地下水污染修复治理技术进行持续调研,分别于 2008 年和 2013 年承担了原上海市城乡建设和交通委员会、上海市科学技术委员会立项的污染土快速诊断与修复治理重点课题,从环境岩土工程学科角度对污染土的调查、评估

和土工处置技术进行系统研究,并结合工程实践取得初步成果。

关于本书章节的构思主要出于以下几点考虑:一是想将长期调研及污染土快速诊断与土工处置技术等相关研究成果及点滴体会融于文稿,为从业人员提供参考;二是考虑我国污染土的修复治理处于起步阶段,本书不仅仅局限于专业领域,还想通过污染土危害的科普和国际先进经验的介绍让更多的人关注和采取积极行动,故第一章写了基本概念、国内外污染土典型事件、社会治理需求等;三是考虑健全的法律体系是污染土与地下水治理的根本保障,发达国家的许多经验值得借鉴,因此设置第二章国内外污染场地修复治理相关法律制度及实施概况;四是污染土的修复治理技术很多,而作者研究内容毕竟有限,为了提高本书的参考价值,在系统调研国内外其他学者文献基础上,增加污染物迁移转化机理、土壤与地下水污染的各类修复治理方法等。

土壤与地下水的污染危害着我们生存的环境,我国可能需花费数十年时间与精力治理。本着“绿色岩土”的理念,我期望本书能为推动依法治理、科学治理土壤和地下水污染,推动我国环境岩土工程学科的技术发展贡献绵薄之力。鉴于本人专业水平有限,相关科研成果还需要不断地在实践中加以验证,书中不足之处希望专业人士不吝指正。

最后,向在科研工作和本书编写过程中给予精心指导与热情帮助的领导、专家以及提供经费资助的上海市科学技术委员会、上海市住房和城乡建设管理委员会及上海市交通委员会表示衷心的感谢,向精诚合作和不懈努力的团队表示衷心的感谢!

作者

2015年12月20日上海

目 录

第一章 土壤和地下水污染的基本概念和修复治理需求 1

- 第一节 基本概念 / 1
- 第二节 国内外土壤和地下水污染的典型事件 / 5
- 第三节 土壤和地下水污染的修复治理需求 / 8
- 第四节 国内外环境岩土工程学科发展概况 / 10

第二章 国内外土壤和地下水污染防治相关法律制度及实施概况 14

- 第一节 美国土壤和地下水污染防治相关法律制度及实施概况 / 14
- 第二节 欧洲土壤和地下水污染防治相关法律制度及实施概况 / 18
- 第三节 日本土壤和地下水污染防治相关法律制度及实施概况 / 23
- 第四节 加拿大和韩国土壤和地下水污染防治相关法律制度概况 / 27
- 第五节 我国土壤和地下水污染防治相关法律制度及实施概况 / 28
- 第六节 国内外情况对比分析 / 36

第三章 土壤和地下水中污染物及其迁移转化规律 39

- 第一节 土壤和地下水中污染物的主要来源 / 39
- 第二节 土壤和地下水中典型污染物及其危害 / 41
- 第三节 环境地质条件对污染物迁移转化的影响 / 46
- 第四节 典型污染物在土壤和地下水中的迁移转化规律 / 54

第四章 污染场地的调查方法 62

- 第一节 场地调查的工作程序 / 62
- 第二节 场地的环境污染识别 / 64

第三节 污染场地调查的快速测试与筛选方法 / 65

第四节 土壤和地下水样品采集方法与设备 / 75

第五章 基于综合测试技术的污染土快速诊断方法

94

第一节 土体性质与电阻率的关系 / 94

第二节 基于电阻率测井法的污染土快速诊断方法 / 100

第三节 基于电阻率静探的污染土快速诊断方法 / 104

第四节 基于高密度电法的污染土快速诊断方法 / 110

第五节 基于电阻率 CT 法的污染土快速诊断方法 / 115

第六节 基于电阻率室内试验的污染土快速诊断方法 / 120

第七节 污染土的快速诊断方法体系 / 131

第八节 案例分析 / 134

第六章 建设场地污染土的综合风险评估方法

144

第一节 基于人体健康的污染场地风险评估方法 / 144

第二节 污染对工程安全的影响评价 / 164

第三节 建设场地污染土的综合评估体系 / 168

第四节 考虑建设工程安全的评估模型 / 175

第五节 案例分析 / 187

第七章 污染场地修复治理技术

197

第一节 污染场地修复治理技术概述 / 197

第二节 污染场地修复治理方案制定与技术筛选 / 200

第三节 物理修复技术 / 202

第四节 化学修复技术 / 210

第五节 生物修复技术 / 221

第六节 土工处置技术 / 231

第八章 重金属污染土的固化处置技术

249

第一节 污染土的固化处置技术概述 / 249

第二节 单一重金属污染土的水泥固化试验 / 257

第九章 土壤和地下水污染的隔离处置技术

275

第一节 隔离屏障中污染物质迁移的机理 / 275

第二节 隔离屏障扩散系数的室内试验研究 / 280

第三节 基于对流-扩散模型的隔离屏障实用设计曲线 / 284

第四节 基于污染物质迁移机理的水泥土隔离屏障设计 / 296

第五节 污染场地隔离屏障研究发展趋势 / 299

第一章

土壤和地下水污染的基本概念和修复治理需求

土壤和地下水是构成生态系统的基本要素,是生物繁衍和生存的空间,也是人类赖以生存的环境和重要自然资源。世界范围内许多国家先后出现了不同程度的土壤和地下水污染问题。因地球的整个生态环境与水土密切相关,故土壤和地下水污染不仅严重影响地表以下的环境质量和土地生产力,还会直接危害人体健康和生态安全。土壤和地下水污染已成为世界范围内制约各国环境保护和社会发展的瓶颈,如果得到有效解决,则不仅可以改善环境,还可以为社会经济建设带来良好的机遇。充分认识土壤和地下水污染问题的严重性,不仅是相关学者与工程师的需求,也已成为全社会环境保护者的迫切需要。同时,污染土壤和地下水的修复与治理,不仅需要环境工程学科的知识与手段,还需要借助环境工程与岩土工程的交叉学科即环境岩土工程学科的知识与手段。为此,本章简要介绍了污染场地相关的基本概念、国内外对这一问题的认识过程、面临的社会需求及相关的学科领域。

第一节 基本概念

充分认识污染土与污染地下水,首先要客观认识土壤和地下水,进而对解决污染土和地下水问题的专业技术门类有基本的认识。故本节将重点介绍土壤、地下水、污染土、污染地下水和环境岩土工程等基本概念。

一、土壤

根据我国国家标准《土壤质量词汇》(GB/T 18834-2002)和环境保护标准《污染场地术语》(HJ 682-2014),土壤(Soil)是指由矿物质、有机质、水、空气及生物有机体组成的地球陆地表面的疏松层,包括固体、液体和气体三种形态的物质。固体物质包括土壤矿物质、有机质和微生物通过光照抑菌灭菌后得到的养料等;液体物质主要指土壤水分;气体是存在于土壤孔隙中的空气。它们构成矛盾的统一体,为作物提供必需的生活条件,是土壤肥力的物质基础。

在岩土工程界,通常采用“土”或土体的概念,并注重其工程应用的性质。根据我国建设部发布的《岩土工程勘察术语标准》(JGJ/T 84-2015),土是矿物和岩石碎屑物构成的松软集合体。

在环境工程界,一般关注能够为生物提供养分或肥力的浅部土壤层;在岩土工程领域则还需要关注更深层的土体及其工程性质。由于两个专业领域的着眼点不同,对土壤或土的性质要求也有所差异。例如,环境工程领域从生态角度认为土壤疏松是有利的,利于孔隙连通,使得土壤具有足够的养分,而在岩土工程领域则更加注重土体充分密实,能够提供足够的承载力,并在外加荷载作用下发生尽可能小的变形。从环境岩土工程学科的角度(环境工程与岩土工程的交叉学科),则不仅涉及土壤的概念还涉及土体的概念。

二、地下水

地下水(Groundwater),是指赋存于地面以下岩土孔隙中的水。在国家标准《水文地质术语》(GB/T 14157-93)中,地下水是指埋藏在地表以下各种形式的重力水。环境保护标准《污染场地术语》(HJ 682-2014)给出的定义是“以各种形式埋藏在地壳空隙中的水,含包气带和饱和带中的水”。

工程建设领域对含水层的定义为能导水的饱和岩土层,对隔水层一般指透水性极弱的岩土层。含水层与隔水层的划分是相对的,并在一定的条件下可以互相转化。如低渗透性的黏土层通常是良好的隔水层,但在较大的水头作用下也可能转化为含水层。

三、污染土

污染土(Contaminated Soil)是指人类活动造成的污染物质的侵入,使成分、结构和物理化学性质发生变化、并影响正常用途,或对生态环境具有一定危害风险的土。污染土一般是通过对照有关环保质量标准或评价标准来确定。由于不同国家和地区的经济水平不同、环境保护重视程度不一,因而评价污染土的质量标准也有差异。

常见污染土中的污染物主要来源于工业生产固体废弃物、生活垃圾、医疗废物、核原料或放射性物质等。污染物质不仅会进入浅部土壤层,还可能进入深层土体。为便于相关专业技术人员理解,本书后文中所提及的“土壤污染”除包括浅部的土壤层污染,还包括污染物质可能涉及或影响到的更深土层污染。

四、污染地下水

污染地下水(Contaminated Groundwater)主要指受人类活动影响导致化学成分、物理性质和生物学特性发生改变而使质量下降的地下水。由于地表以下地层复杂,地下水的污染通常具有过程缓慢、不易发现和难以治理的特点。

常见的地下水中的污染物主要来源于工业废水、生活垃圾渗沥液和农田灌溉污水等。

五、污染场地

(一) 我国关于污染场地的定义

污染场地(Contaminated Site),根据环境保护标准《污染场地术语》,是指“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”^[2]。具体来说,该空间区域中有害物质的承载体包括场地土体、场地地下水、场地地表水、场地环境空气、场地残余废弃污染物如生产设备和建筑物等。污染场地的存在带来双重问题:一方面是环境和健康风险,另一方面是阻碍了城市建设和经济发展。

根据污染物质的类别和来源,我国污染场地大致可分为以下几类:

(1) 重金属污染场地。主要来自钢铁冶炼企业、尾矿,以及化工行业固体废弃物的堆存场,代表性的污染物包括砷(As)、铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)等。

(2) 持久性有机污染物(Persistent Organic Pollutants, POPs)污染场地。我国曾生产和广泛使用过的杀虫剂类 POPs 主要有滴滴涕(DDT)、六氯苯(HCB)、氯丹(Chlorane, $C_{10}H_6Cl_8$)及灭蚁灵(Mirex, $C_{10}Cl_{12}$)等,有些农药尽管已经禁用多年,但土壤中仍有残留。此外,还有其他 POPs 污染场地,如含多氯联苯(Polychlorinated Biphenyls, PCBs)的电力设备的封存和拆解场地等。总体上我国农药类 POPs 场地较多。

(3) 以有机污染为主的石油、化工、焦化等污染场地。污染物以有机溶剂类,如苯系物、卤代烃为代表。也常含有其他污染物,如重金属等。

(4) 电子废弃物污染场地等。粗放式的电子废弃物处置会对人群健康构成威胁。这类场地污染物以重金属和 POPs(主要是溴代阻燃剂和二噁英 Dioxin 剧毒物质)为主要污染物。

(二) 国外对污染场地的定义

世界各国、各地区的环保法律、法规对污染场地有不同的表述。

(1) 在美国污染场地被称为“棕地”(Brownfield)。美国国家环保署(Environmental Protection Agency, EPA)给出了棕地的定义:“棕地是因为已有的或潜在的有害物质、污染物或致污物质而影响到发展、再开发和重新利用的不动产”。

(2) 加拿大政府对污染场地的定义是:“物质浓度高于背景值,对人体健康和环境已经造成或可能造成即时或长期危害的土地,或者是污染物浓度超过了政府法规和政策中规定浓度的土地”。

(3) 英国现行的《环境保护法(1990)》(1995年修订版)第Ⅱ A 部分第 78A 条第(2)款中,对污染场地的法律定义为:“污染场地是当地政府认定由于有害物质污染而处于如下状况的土地:① 引起严重危害或有引起此类危害的可能性。② 已经引起或可能引起水体污染”。

(4) 欧洲经济与棕地更新网络行动组(Coordinated Action on Economic and Brownfield Regeneration Network, CAEBRNET)认为棕地是由于许多地区的工业用地

转型和发展而引起,并给出了定义:“由于本场地或周边土地之前的使用而受到污染,已经被遗弃或正在使用中的场地,属于已开发或部分开发的区域,已现实存在或被认为存在污染问题并且需要采取行动使其恢复使用功能的场地,并具有确定的位置和尺寸”。这一定义限定了棕地应属于城市内受到工业污染或其他污染且将改变使用功能的场地。

(5) 澳大利亚和新西兰环境保护委员会(Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, ANZECC)在 2006 年的澳大利亚环境报告中将“污染场地”定义为:“危险物质的浓度高于背景值的场地,且环境评价显示其已经或可能对人类健康或环境造成即时的或长期的危险”。

(6) 日本针对城市土壤污染问题颁布的《土壤污染对策法》(2009 年修订版)中虽然没有给出明确定义,但规定了当土地内物质浓度超过限值或土壤质量标准后,就把该土地指定为“污染区”。

从国内外关于污染场地的不同定义来看,“污染场地”从广义的理解应包含人类活动带来的各类有害物质和污染物质所导致的已受污染或可能受到污染的土地。

六、环境岩土工程

环境岩土工程(Geo-environmental Engineering 或 Environmental Geotechnical Engineering),顾名思义,与环境工程和岩土工程相关,对我国而言是一个新的学科。要了解环境岩土工程的含义,首先要了解环境工程和岩土工程这两个学科。

环境工程是运用生物学、化学、物理学、工程学和其他有关学科的理论和方法,研究合理保护和利用自然资源,控制和防治环境污染,改善环境质量,促进人类与自然协调发展的学科。

岩土工程是利用勘探、测试等技术手段,获取工程地质和水文地质等信息,运用工程地质学、水文地质学、土力学、岩石力学等学科的理论和方法解决各类工程中关于岩石、土和地下水的工程技术问题、控制工程风险的学科。

土壤与地下水污染的修复与治理不仅需要环境专业知识,也需要岩土工程知识,包括:① 污染场地调查中需要应用岩土工程的取样技术和设备、原位测试技术手段。② 污染物的迁移分析以水文地质和土质学的相关知识为理论基础。③ 修复治理尤其是深层污染的治理,需要借助岩土工程的技术装备。④ 污染场地的修复治理不仅要关注生态环保的因素,还要考虑修复后的土体后续开发利用中的建设工程需要。

国际上在 20 世纪 80 年代由此形成“环境岩土工程”这一独立的新兴交叉学科^[1]。环境岩土工程旨在综合运用岩土工程和环境工程等多专业的技术与手段,解决水土环境污染引发的各种问题的交叉学科。其主要工作内容是结合不同区域的地质特征,侧重运用综合测试手段查明土、水污染分布,侧重从生态环保和建设安全的多角度综合评价污染对土与地下水的影响,侧重运用岩土工程、环境工程等多学科的技术手段综合处置土与地下水污染问题(注:采用岩土工程手段处置污染土与地下水的技术,又称土工处置技术)。

第二节 国内外土壤和地下水污染的典型事件

随着经济的发展和人们不合理的生产生活方式的影响,世界上许多国家都经历过外来污染物对土壤和地下水造成污染的环境危机和污染事件,对人类生命、健康和财产造成严重损害和威胁。20 世纪 60 年代,美国、日本、荷兰等发达国家就发生大量因倾倒化学废弃物而导致严重的土壤污染问题。随着我国城市化进程加快和产业结构调整深化,导致土地资源紧缺,许多城市开始将主城区的工业企业外迁,产生大量待开发的、存在环境风险的场地。由于对土地污染问题认识不足及修复治理工作不到位,也造成一些环境污染事件。

在有记载的污染事件中,最有影响力的包括美国拉夫运河事件、日本“痛痛病”事件、中国台湾 RCA 公司桃园厂污染事件、北京地铁 5 号线宋家庄地铁站污染事件等。这些事件的发生,对相关国家和地区的土壤和地下水污染治理的立法与制度完善及产业发展产生了深远影响。

一、美国拉夫运河事件

1892 年,美国富商威廉·拉夫来到美国纽约州,出资计划修建一条连接尼亚加拉河上下游的拉夫运河(Love Cannel)。然而,由于资金问题,运河修建了 914 m 后被迫中断。起初,荒废的“拉夫运河”是当地儿童戏水的池塘,后来变成市政当局和驻军倾倒废弃物的垃圾场。1942 年,西方石油公司的子公司胡克化学公司购买了这条废弃的运河,将其用于填埋化工垃圾。至 1953 年,这家公司共填埋 200 多种化学废物,总重量高达 2.18 万 t,包括在美国明令禁止使用的杀虫剂(DDT 杀虫剂)、复合溶剂、电路板和重金属,其中含有 Dioxin、苯(Benzene)等 82 种致癌物质。1953 年,胡克化学公司在填满这条运河后进行了土地平整,随后以 1 美元的价格将它卖给了尼加拉大瀑布教育董事会,并附上关于有毒物质的警告说明。

教育董事会没有意识到潜在危险,于 1954 年在运河附近修建了一座小学。20 世纪 50 年代,房地产开发商又在运河周围开发了许多住宅。至 1978 年,这里大约有 800 套单亲家庭住房、240 套低工资族公寓以及在填埋场附近的第 99 街幼儿园和学校上学的 400 多名孩子。

拉夫运河社区一度被美国政府认为是城镇发展的典范,那里风景优美宜人,是富人区中工薪阶层的小天地。然而好景不长,从 1977 年开始,那里的居民不断患上各种怪病,孕妇流产、儿童夭折、婴儿畸形、癫痫、直肠出血等病症也频频发生。在了解事情的真相后,当地居民纷纷起诉胡克化学公司,但因当时尚无相应的法律规定,该公司又在多年前就已将运河转让,诉讼失败。

政府部门随后展开调查发现,1974—1978 年,拉夫运河小区出生的孩子中 56% 有生

理缺陷,住在小区内的妇女与入住前相比,流产发生率增加了 300%。婴儿畸形、孕妇流产的元凶,即是拉夫运河小区的前身——堆满化学废物的大垃圾场的“遗毒”。其中有毒物质渗入地下后,可通过土壤、管道等,缓慢挥发、释放有毒物质,毒性持续可达上百年。

迫于民愤,当时的美国总统卡特颁布了紧急令,允许联邦政府和纽约州政府为尼亚加拉瀑布区的拉夫运河小区近 700 户人家实行暂时性的搬迁。1980 年 12 月 11 日美国国会通过了《综合环境反应、赔偿和责任法》(*Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act*, CERCLA),该法案因其中的环保超级基金而闻名,因此,通常又被称为“超级基金法”。这是有史以来联邦资金第一次被用于清理泄漏的化学物质和有毒垃圾场。其目的是为了建立一个迅速清除因事故性泄漏危险物质和倾倒危险废物的场所泄漏污染的反应机制。“超级基金法”在美国议院通过后,胡克化学公司和纽约政府被认定为加害方,共赔偿受害居民经济损失和健康损失费达 30 亿美元。

二、日本“痛痛病”事件

“痛痛病”是发生在日本中部的富山县神通川流域的公害事件。在富山平原上,一条名叫“神通川”的河流穿行而过,并注入富山湾。它不仅是居住在河流两岸人们世代代的饮用水源,也灌溉着两岸肥沃的土地,是日本主要粮食基地的命脉水源。

在 19 世纪日本明治初期,三井金属矿业公司在神通川上游发现了铅锌矿,于是在那里建造了一个铅锌矿厂。在铅锌矿石中还有一种伴生金属矿物镉(Cd)。自 20 世纪初期开始,人们发现这个地区的水稻普遍生长不良。1931 年,这里又出现了一种怪病,患者病症表现为腰、手、脚等关节疼痛。病症持续几年后,患者全身各部位会发生神经痛、骨痛现象,行动困难,甚至呼吸都会带来难以忍受的痛苦。到了患病后期,患者骨骼软化、萎缩,四肢弯曲,脊柱变形,骨质松脆,就连咳嗽都能引起骨折。患者不能进食,疼痛无比,有人甚至因无法忍受痛苦而自杀。这种病由此得名为“骨癌病”或“痛痛病”(Itai Itai Disease)。截至 1977 年 12 月共导致居民死亡 200 余例。

1946—1960 年,日本医学界从事综合临床、病理、流行病学、动物实验和分析化学的人员经过长期研究发现,神通川两岸骨痛病患者与三井金属矿业公司神冈炼锌厂的废水有关。该公司把炼锌过程中未经处理净化的含镉废水连年累月地排放到神通川中,两岸居民引水灌溉农田,使土地含 Cd 量高达 $7\sim 8\text{ }\mu\text{g/g}$,居民食用的稻米含 Cd 量达 $1\sim 2\text{ }\mu\text{g/g}$ 。当地居民长期饮用受 Cd 污染的河水、食用含 Cd 稻米,致使镉在体内蓄积而中毒致病。Cd 进入人体,主要蓄积于肾脏,对肾脏造成损害,抑制维生素 D 的活性。人体缺乏维生素 D 会妨碍钙、磷等微量元素的正常沉着和储存,最后导致人体骨骼中的钙大量流失,使病人骨质疏松、骨骼萎缩、关节疼痛。

1961 年,富山县成立了“富山县地方特殊病对策委员会”,开始了国家级的调查研究。1967 年研究小组发表联合报告,表明“痛痛病”主要是由重金属尤其是 Cd 中毒引起的。1968 年开始,患者及其家属对金属矿业公司提出民事诉讼,1971 年法院判决原告胜诉。经过漫长的诉讼,受害者及家属与矿产企业在 2013 年底终于达成协议。

后来日本骨痛病患区已远远超过神通川,而扩大到黑川、铅川、二迫川等7条河的流域,其中除富山县的神通川之外,群馬县的碓水川、柳瀬川和富山的黑部川均已发现镉中毒的骨痛病患者。

“痛痛病”事件发生后,农业用地污染问题引起社会各方的广泛重视。为了防止因土壤污染影响居民身体健康,1970年日本国会将“土壤污染”追加为《公害对策基本法》中的典型公害之一,并首次颁布了《农业用地土壤污染防治法》。但是该法仅适用于农村地区,仅限于土壤的表层,对20世纪70年代以后城市地区频繁出现的大量土壤污染事件却无能为力。1975年,大量六价铬(Cr^{6+})污染土壤事件在东京地区频繁爆发,逐渐演化成严重的社会问题,进而引起全社会对“城市型”土壤污染的关注。在此背景下,2002年5月29日,日本公布了针对“城市型”土壤污染的《土壤污染对策法》,并于同年12月26日公布了《土壤污染防治法实施细则》。

三、我国代表性土壤污染事件

(一) 我国大陆代表性土壤污染事件

2004年4月28日,北京宋家庄地铁站施工过程中发生一起工人中毒事件。宋家庄地铁站所在地点原是北京一家农药厂厂址,始建于20世纪70年代。当时工人正进行开挖作业,其中31号坑的工人挖至5m深时,三名工人出现不同程度的不适,其中一人出现恶心、呕吐症状。随后,这三名工人被送到铁营医院接受治疗,其中症状最重的一人接受了高压氧舱治疗。

事发后宋家庄地铁站工地暂时停工并被关闭。北京市环保局随后开展了场地监测。经对提取的样本进行检测,确认事故原因为原农药厂土壤污染所致,其中逸散出的气体为高浓度混合化学物,含有正己烷(C_6H_{14})、正戊烷(C_5H_{12})、正己烯(C_6H_{12})、庚烯(C_7H_{14})和苯(C_6H_6)等成分,具有急性毒性。之后经调查确认的污染土壤被挖出运走做了焚烧处理。

该事件后来被认为是中国开始重视工业污染场地修复的标志,也有人称该事件为中国的“拉夫运河事件”。同年,北京市通过下发规范文件、编制地方标准等方式,初步建立了北京市工业企业场地再开发利用的管理机制。

除了北京之外,我国大陆其他省市也曾陆续出现类似事件。随着各地城市建设的快速发展,大量污染企业搬出城区后,遗留的“污染场地”未经修复即开发为住宅或商业用途。例如:武汉某经适房小区所在土地以前是生产近60年的化工厂,未经调查和修复即用于住宅开发建设,导致很多业主不敢入住已交付一年的新房。2009年3月,中国地质大学(武汉)提供的环评报告显示,该地块多年生产的氟化工产品和电镀添加剂,大多具有毒性或剧毒。这类事件的发生促使政府和公众逐步重视污染场地再开发中环境问题,也使得污染场地的环境修复与再开发提上重要议程。

(二) 我国台湾地区RCA公司桃园厂污染事件

RCA是美国无线电公司(Radio Company of America)的简称,曾经是美国家电第一