

| 水处理科学与技术·典藏版 04 |

地下水污染场地的 控制与修复

赵勇胜 编著



科学出版社

水处理科学与技术·典藏版 04

地下水污染场地的控制与修复

赵勇胜 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了污染场地的控制、修复理论与方法,包括土壤、包气带和含水层中的污染,其中侧重地下水污染的控制与修复。本书内容涵盖了污染场地的调查、风险评价、污染场地风险管理策略、污染的控制与修复方法及应用等,系统地论述了从污染场地的调查到最终的污染修复;重点介绍了地下水污染修复技术原理、工程设计与应用。具体特点有:①全面、系统介绍污染场地风险管理的全过程;②充分结合最新的科研成果,力图具有较强的实用性;③注重理论、方法介绍的同时,更注重修复技术的适用条件、设计和工程应用等方面的分析和论述。全书力求简洁明了,系统全面。

本书可供环境、水资源、生态、国土资源等领域高等院校的师生,以及相关专业的专家学者和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水处理科学与技术:典藏版/曲久辉,任南琪,彭永臻,等编著.—北京:科学出版社,2017.1

ISBN 978-7-03-051235-2

I. ①水… II. ①曲… ②任… ③彭… III. ①水处理 IV. ①TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 305492 号

责任编辑:霍志国/责任校对:赵桂芬

责任印制:徐晓晨/封面设计:铭轩堂

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 1 月第 一 版 开本:720×1000

2017 年 1 月第一次印刷 印张:25 1/2

字数:500 000

定价:3980.00 元(全 25 册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

污染场地(污染的土壤和地下水)已经成为世界范围内普遍关注的环境问题,发达国家十分重视污染场地的控制与治理,已经成为经济社会可持续发展的重要内容之一。发达国家在工业化过程中,带来了许多土壤和地下水污染问题,如美国 10%~30% 的地下储存罐都存在不同程度的泄漏;英国 30% 以上的加油站以及几乎所有的化工厂、炼油厂、化学物质存放点均存在严重的污染。根据近年来中国地质调查局开展的全国地下水污染大调查的结果可知,我国地下水的污染比较严重。废水的排放、工业废渣和城市垃圾填埋场的泄漏,石油和化工原料的传输管线、储存罐的破损,农药和化肥的过量施加等都有可能造成土壤和地下水的污染。开展土壤、地下水污染的调查、风险评价、研究污染的控制与修复的方法和技术是我们面临的重要和艰巨任务。

目前已经有许多地下水污染场地的修复方法和技术,如抽取-处理、原位空气扰动、可渗透反应屏障、原位化学氧化与还原、原位微生物降解、自然衰减等。有些方法在发达国家已有成功的实际场地修复应用,取得了一定的效果。但总体而言,地下水污染场地的修复技术由于受地质条件的复杂性和污染物特性差异的影响,针对具体场地而言,存在着很大的不确定性,修复效果也由于场地条件的不同而差异很大。

根据美国国家研究委员会(NRC)2013 年的研究报告,经过几十年的污染场地修复研究和实践,目前仍面临技术和体制方面的挑战。美国国家环境保护局(US EPA)估计,到 2033 年,美国超过 30 万个场地的土壤和地下水污染修复费用要超过 2000 亿美元(未考虑通货膨胀因素)。其中许多场地主要是地下水污染问题。美国政府非常重视污染场地的修复工作,过去十多年来,有关地下水污染场地修复技术在美国得到了快速的发展,通过污染场地的精细刻画和诊断技术,使污染的修复效率和效果极大地提升。例如,通过污染场地的修复工作,美国 EPA 在 1700 多个国家优先控制修复场地清单中,删除了 360 多个(截至 2012 年 3 月),表明这些场地达到了预定修复目标。尽管如此,专业人士普遍认为,由于有些地下水污染场地的复杂性,如地层介质的非均质性、地下水的复合污染等,有很大一部分地下水污染场地在未来 50~100 年内很难达到预期的修复目标。因此,污染的控制与修复技术需要不断地进步,新的方法和技术需要进行研究和开发,同时也需要有科学、有效的风险管理策略。

目前,我国对污染场地的控制与治理也十分重视,但在污染场地调查、污染

控制与修复理论技术等方面，还与发达国家有一定的差距。特别是在地下水污染的控制与修复领域，无论从认识上还是在方法技术上，都需要学习先进的经验，结合实际情况，研发经济、适用、高效的污染控制与修复技术。

本书总结了作者多年来在地下水污染控制与修复领域的科研工作，包括国家“973”项目子课题“地下水污染的控制与修复”；“863”重大项目课题“重大环境污染事件污染场地净化与修复技术”；国家水体污染控制与治理科技重大专项课题“浅层地下水有毒有机污染物的原位修复技术与示范”；国家自然科学基金项目“污染含水层原位空气扰动修复增强机理研究”等。同时充分参考了国际上地下水污染场地控制与修复研究领域的最新进展。许多室内模拟实验、分析工作都是在教育部“地下水资源与环境重点实验室”中完成。全书由赵勇胜执笔，参加与本书内容相关科研工作的教师和研究生先后有洪梅、董军、张伟红、周睿、秦传玉、白静、张文静、李隋、屈智慧、赵妍、孙威、刘莹莹、樊冬玲、马百文、郑苇、周冰、陈子方、宋兴龙、孙家强、王贺飞等。

从2007年开始，作者每年都为吉林大学环境工程专业的本科生主讲“污染场地的控制与修复”课程，编写了课程讲义，并在随后的教学过程中不断完善，增加了科研项目研究成果，以及国外的先进经验。本书就是在“污染场地的控制与修复”讲义的基础上不断改进而成。希望本书能够为我国地下水污染场地的控制与修复有所助益。

作 者

2015年1月

目 录

前言	
第 1 章 概论	1
1.1 污染场地的现状	1
1.1.1 发达国家污染场地的现状	1
1.1.2 中国污染场地的现状	3
1.2 污染场地的研究及发展趋势	6
第 2 章 污染场地	11
2.1 污染场地的定义	11
2.2 污染场地的特征	12
2.3 污染场地的类型	13
第 3 章 污染场地的调查	17
3.1 污染场地调查阶段与方法	17
3.1.1 污染场地调查的阶段划分	17
3.1.2 发达国家污染场地的调查研究	18
3.1.3 污染场地调查使用的方法	20
3.2 污染场地现场勘探与钻孔设置	21
3.3 土壤、地下水污染的取样分析	22
3.3.1 土壤和包气带的取样	23
3.3.2 地下水的取样	23
3.4 地层介质的刻画与污染源的辨析	27
3.4.1 地层介质的 3D 刻画	27
3.4.2 污染源位置的确定	29
第 4 章 污染场地污染物的迁移转化	31
4.1 污染物在地下环境中的运移	31
4.1.1 污染物在包气带中的运移	31
4.1.2 污染物在含水层中的运移	33
4.1.3 地下水中污染物运移的弥散理论	34
4.1.4 地下水中污染物运移的阻滞作用	37
4.2 污染物作用的水文地球化学原理	39
4.2.1 水文地球化学概述	39

4.2.2	络合作用与氧化还原作用	41
4.2.3	吸附作用与溶解沉淀作用	45
4.2.4	化学反应动力学	49
4.3	污染场地的生物地球化学环境	50
4.3.1	污染场地生物地球化学分带原理	50
4.3.2	顺序氧化还原分带实验	51
4.4	地下环境介质的缓冲能力	56
4.4.1	地下环境介质的氧化还原缓冲能力	56
4.4.2	地下环境介质的 pH 缓冲能力	57
第 5 章	污染物在包气带中的迁移转化实验研究	60
5.1	NAPLs 在包气带中的迁移转化	60
5.1.1	LNAPL 污染物(以石油类为例)	60
5.1.2	DNAPL 污染物	62
5.1.3	包气带不同介质及其含水率对 NAPLs 迁移的影响	63
5.1.4	NAPLs 在包气带不同方向上的迁移规律研究	68
5.2	重金属污染物在包气带中的迁移转化	78
5.2.1	实验材料与方法	78
5.2.2	结果与讨论	79
第 6 章	污染场地的风险评价	81
6.1	污染风险评价概述	81
6.2	污染风险评价模型	82
6.2.1	污染场地健康风险评价	82
6.2.2	几种常用的污染场地风险评价模型	84
6.2.3	其他与污染场地风险评价有关模型	86
6.3	污染场地风险评价的层次递进方法	89
6.4	风险评分和分级模型方法	92
6.4.1	风险评分和筛析方法	92
6.4.2	分级模型方法	96
6.5	地下水污染评价模型	104
6.5.1	地下水污染风险的估算	104
6.5.2	地下水中污染羽扩展的评估	104
6.5.3	地下水污染的数值模拟	105
6.5.4	HSSM 模型	110
6.6	地下水污染的预警	113
6.6.1	预警的概念	113

6.6.2	地下水污染预警系统设计	115
6.6.3	系统开发环境	117
第7章	污染场地污染的控制与修复策略	120
7.1	污染场地概念模型	120
7.2	污染场地风险管理的策略	122
7.3	污染场地修复的标准	125
7.4	污染场地的修复技术	132
第8章	污染场地的控制技术	134
8.1	污染源的控制	134
8.2	污染羽的控制	134
8.2.1	水动力控制	134
8.2.2	地下阻滞、拦截系统	135
第9章	污染场地的异位处理技术	142
9.1	开挖-处理	142
9.1.1	污染土体的开挖	142
9.1.2	固化/稳定化	144
9.1.3	安全填埋	145
9.1.4	焚烧	148
9.2	抽取-处理	150
9.2.1	污染地下水的抽取	151
9.2.2	表面活性剂强化抽取	158
9.2.3	抽取-处理技术的适用条件	158
9.3	两相抽提技术	159
第10章	污染场地的原位冲洗处理	161
10.1	原理	161
10.2	技术特点和适用条件	162
10.3	表面活性剂选择	163
10.3.1	临界胶束浓度	163
10.3.2	表面活性剂的其他特性	164
10.3.3	表面活性剂的选择依据	165
10.3.4	表面活性剂选择实验	166
第11章	污染场地的原位空气扰动技术	167
11.1	土壤气相抽提技术	167
11.1.1	概述	167
11.1.2	技术原理	168

11.1.3	技术应用及优缺点	171
11.1.4	土壤气相抽提修复的设计	172
11.2	地下水原位空气扰动技术	181
11.2.1	概述	181
11.2.2	技术原理	182
11.2.3	技术应用及优缺点	186
11.2.4	AS 修复的设计	189
11.2.5	AS 修复气流影响区域及分布规律实验研究	195
11.2.6	表面活性剂强化 AS 修复机理	206
11.2.7	AS 及 SEAS 修复实验	210
第 12 章	地下水循环井修复技术	217
12.1	GCW 技术的发展	217
12.2	GCW 系统类型和优缺点	218
12.2.1	UVB 系统	218
12.2.2	NoVOCs TM 系统	219
12.2.3	DDC 系统	220
12.2.4	GCW 技术的应用及优缺点	220
12.3	循环井地下水循环实验	222
12.4	循环井地下水污染修复实验	225
第 13 章	地下可渗透反应屏障技术	232
13.1	地下可渗透反应墙	232
13.1.1	概述	232
13.1.2	技术原理	233
13.1.3	技术应用及优缺点	236
13.1.4	PRB 修复的设计	238
13.2	PRB 修复污染地下水实验	243
第 14 章	地下原位反应带修复技术	250
14.1	概述	250
14.2	技术应用及优缺点	251
14.3	原位反应带修复的设计	252
第 15 章	原位化学氧化修复技术	259
15.1	概述	259
15.2	技术原理和过程	260
15.2.1	原位高锰酸盐氧化	260
15.2.2	原位 Fenton 氧化	265

15.2.3 原位臭氧氧化	271
15.2.4 原位过硫酸盐氧化	273
15.3 技术应用的优缺点	277
第 16 章 原位化学还原修复技术	278
16.1 金属还原反应	278
16.2 连二亚硫酸盐还原反应	279
16.3 工业糖浆还原六价铬机理及动力学实验	282
16.3.1 实验方法和过程	282
16.3.2 结果分析和讨论	284
16.4 纳米零价铁原位还原反应修复实验	290
16.4.1 纳米铁的制备	290
16.4.2 淀粉改性纳米铁原位反应模拟实验	291
第 17 章 原位微生物修复技术	297
17.1 概述	297
17.1.1 原位微生物修复	297
17.1.2 原位微生物修复与污水生物处理的差异	299
17.1.3 原位微生物修复的优缺点	301
17.2 地下水污染原位微生物修复技术的应用	301
17.2.1 初步筛选评估	302
17.2.2 适用性的详细评估	303
17.3 地下水污染原位微生物修复设计	307
17.3.1 设计原理	307
17.3.2 系统设计	309
第 18 章 污染场地的监测自然衰减	315
18.1 概述	315
18.2 MNA 适用性初步评估	318
18.3 MNA 效果的详细评价	325
18.4 污染场地运行情况长期监测	340
18.5 应急方案	342
第 19 章 污染场地修复技术的筛选	344
19.1 污染场地修复技术选择流程	344
19.2 修复技术筛选步骤和方法	346
19.3 污染场地修复的组合技术方案	348
19.4 未来需求及研究方向	350
第 20 章 实例研究	354

20.1	污染场地的地质、水文地质条件·····	354
20.2	场地土壤和地下水的污染程度·····	355
20.3	地下水污染数值模拟预报·····	358
20.4	污染场地的风险管理·····	360
20.5	污染地下水的抽取-处理 ·····	362
20.5.1	抽取-处理 ·····	362
20.5.2	抽取-处理-回注 ·····	365
20.5.3	污染地下水抽取的强化技术 ·····	375
20.6	含水层原位空气扰动/循环井修复 ·····	377
参考文献·····		385

第 1 章 概 论

1.1 污染场地的现状

污染场地是因堆积、储存、处理、处置等方式承载有害物质，对人体健康和环境产生危害，或具有潜在危害风险的区域。随着人口的增长、经济的快速发展，人类对资源的需求和利用不断加大，产生的污染物从种类和数量上逐年增加，形成了许多污染场地，如固体废物填埋场、地下储存罐、污水管道等发生泄漏形成的污染场地。污染场地中(土壤、地下水等)的污染物能够长期存在，对人体健康和生态环境带来了严重的威胁。污染场地数量巨大，其污染的控制与修复耗时长、费用巨大、技术要求高。因此，污染场地的研究是我们面临的挑战，开展污染场地的研究工作具有重要的意义。

1.1.1 发达国家污染场地的现状

发达国家在工业化过程中，工业土地污染比例达到 20% 以上，如美国 10%~30% 的地下储存罐都存在不同程度的泄漏；英国 30% 以上的加油站以及几乎所有的化工厂、炼油厂、化学物质存放点均存在严重的污染。调查研究表明，污染场地有害物质能长期存留于土壤或地下水中，其治理和恢复投资巨大，技术要求高。污染场地的形成主要是现代工业以及高消费社会经济的发展所致，许多污染场地是由于废物的不适当处理而引起的。此外，在现代工业中，使用大量的化学物质，在生产过程中很难避免对土壤和地下水的污染。所以，欧洲国家在调查污染场地时主要考虑如下两个方面的污染来源：不适当的废物处理场所、工业泄漏场所(在生产、储存过程中的泄漏、突发事件等)。

污染场地对环境的影响可以不同，但常出现的危害包括：

- (1) 由于污染场地渗漏液的污染，导致地下水或地表水质量的恶化；
- (2) 公众直接与污染土壤接触，或污染土壤对植物生长的影响；
- (3) 垃圾填埋气体的爆炸和燃烧；
- (4) 植物通过土壤吸收污染物，进入食物链；
- (5) 污染场地泄漏液对地下管道和建筑物的侵蚀。

发达国家经过几十年的努力，基本上摸清了其国内场地环境污染的现状，一些国家的污染场地情况如下：

奥地利于 1997 年对 2545 个潜在的污染场地进行了调查，发现其中 94% 的

场地是废物处理场地，大多为市政废物；6%为工业污染场地，主要为商业活动、金属加工和干洗业。

丹麦于1998年确定的污染场地中，33%是以前的废物堆放场地，15%为加油站污染场地。估计有14 000个场地发生了污染，其中3400个场地需要特别引起关注，因为它们对有供水意义地区的地下水带来了污染(2300个场地)，导致供水水源地地下水的污染(200个场地)，或对居民区、学校、公共活动场地带来威胁(900个场地)。有1400多个污染场地被确定必须进行污染的修复。

荷兰于1990年确定全国大约有110 000个污染场地，其中废弃的工业场地80 000个，正在运转的工业场地25 000个，停止使用的加油站6200个，城市废物处理场地3300个。

根据欧洲污染场地管理研究报告(European Environment Agency, 2000)，一些欧洲国家存在大量的污染场地和潜在的污染场地。表1-1为部分欧洲国家污染场地的调查结果。从表中可以看出，所有国家潜在的污染场地数目都很大，有的高达几十万个。这些污染场地的治理需要大量的资金，而且耗时很长。

表 1-1 欧洲部分国家潜在和确定污染场地数目(1999年)

国 家	潜在污染场地		污染场地	
	确定数	估计总数	确定数	估计总数
奥地利	28 000	~80 000	135	~1500
比利时	7728	~14 000	8020	n. i.
丹麦	37 000	~40 000	3673	~14 000
芬兰	10 396	25 000	1200	n. i.
法国	n. i.	700 000~800 000	896	n. i.
德国	202 880	~240 000	n. i.	n. i.
希腊	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
冰岛	n. i.	300~400	2	n. i.
爱尔兰	n. i.	~2000	n. i.	n. i.
意大利	8873	n. i.	1251	n. i.
卢森堡	616	n. i.	175	n. i.
荷兰	n. i.	110 000~120 000	n. i.	n. i.
挪威	2121	n. i.	n. i.	n. i.
葡萄牙	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
西班牙	4902	n. i.	370	n. i.
瑞典	7000	n. i.	2000	n. i.
瑞士	35 000	5000	~3500	n. i.
英国	n. i.	~100 000	n. i.	~10 000

注：n. i. = 无资料

根据美国 EPA 2004 年的报告,美国虽然在过去 20 多年来对污染场地修复尽了很大的努力,但还有大量的污染场地需要在未来修复。在现行的法规框架下,美国需要清理的污染场地总数达 235 000~355 000 个(平均估计 294 000 个),其中 90% 以上的污染场地属于较小规模、相对不太复杂的场地,如地下储存罐泄漏场地等;剩余的污染场地则规模大、条件复杂,由超级基金或美国国防部、能源部出资进行修复。根据现有污染场地的数量,如果按照现有的污染场地修复活动水平(60 亿~80 亿美元/年)估计,还需要 30~35 年的时间才能完成大部分的工作。专业人士普遍认为,由于有些地下水污染场地的复杂性,如地层介质的非均质性、地下水的复合污染等,有很大一部分地下水污染场地在未来 50~100 年内很难达到预期的修复目标。因此,污染的控制与修复技术需要不断地进步,新的方法和技术需要进行研究和开发,同时也需要有科学、有效的风险管理策略。

1.1.2 中国污染场地的现状

我国目前尚没有对地下水污染场地进行全国范围内的系统调查,没有有关地下水污染场地的清单和风险评估结果。但根据近年来中国地质调查局所开展的全国地下水污染大调查的初步结果显示,我国地下水的污染比较严重,特别是浅层地下水的污染尤为突出。我国地下水的主要污染物包括三氮、重金属和有机污染物等。重金属主要包括铅、汞、镉、铬等;有机污染物在地下水中的检出多达 44 种,有卤代烃、单环芳烃、多环芳烃、有机氯农药等。

作者在承担国家“十五”科技攻关计划项目时,对东北和华北地区典型污染场地及污染机制进行了研究,对这些地区的污染场地有了初步的认识。污染场地或潜在污染场地的数目巨大,这些污染场地的类型、规模、危害程度均有所不同。主要的污染场地(潜在污染场地)包括:

(1) 城市垃圾填埋场污染场地

城市垃圾填埋场对土壤、地下水的污染十分普遍。几乎所有的大中城市都存在很多城市垃圾污染场地,这些垃圾场地几乎全部存在着土壤或地下水的污染问题。工业固体废物的堆放,同样造成了土壤和地下水的严重污染。

我国目前已有 2/3 的城市形成了“垃圾包围城市”的严重局面。以前存在的城市垃圾场大多未经科学的设计与防护处理,有的甚至直接露天堆放或简单掩埋,造成了周围树木、植被枯死,土壤干裂,地表水、地下水污染等许多环境问题,严重影响城市环境质量和可持续发展。

根据 2000 年的调查资料,北京市城市垃圾填埋场中,只有 5 个是卫生填埋的,其余 40 多个为直接堆放、简单掩埋,造成了土壤和地下水的严重污染。国内其他城市的状况也是如此,有些地区问题更为严重。

吉林市生活垃圾场位于吉林市江北区,面积约 10 000m²,垃圾进入量为 1000t/d,垃圾场自 2003 年末开始运行,设计服务期为 15 年,垃圾场底部无防渗层。垃圾场西侧为一拦坝,坝高 2~3m。采用渗滤液收集管道抽取渗滤液再回灌到垃圾场内。由于渗滤液的积聚发生了坝体渗漏,而且在雨季渗滤液量大时,渗滤液越过大坝向下游漫延,距坝下游 300m 左右有居民点,村民原使用的地下水由于污染不能使用,发生果树凋零死亡。2004 年进行了现场调查,在垃圾场下游村庄内取地下水样 3 个、蔬菜大棚内取西红柿样 1 个。地下水样分析了其中的 VOCs 和 SVOCs,结果表明苯、甲苯、二甲苯、乙苯、异丙苯、邻苯二甲酸酯类均有检出,其中邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯超标 250 多倍。西红柿中邻苯二甲酸酯类超标严重,重金属镉超标 2 倍。

长春市金钱堡生活垃圾填埋场位于长春市东北新开河河道一侧,形成于 1978 年,在砖场取土坑中填入垃圾。每日倾倒 2500t 城市垃圾,于 2004 年 4 月停止使用。日积月累,垃圾不但填平了大坑,而且高出新开河堤坝 3~4m。由于垃圾场顶部没有任何覆盖层和底侧部的防渗措施,垃圾场散发出恶臭。个别地段甲烷气体发生自燃,产生大量的烟尘。垃圾场基本没有环境保护措施,地下水位埋深较浅,没有稳定的弱透水层分布,垃圾场产生的大量渗滤液可直接渗入浅层地下水中。流经垃圾场的新开河受到了垃圾场渗滤液的严重污染,地下水也已经产生了污染,不能作为生活饮用水。各类蔬菜作物虫害的发生程度明显较长春市其他地方严重,质量明显下降。2004 年取样分析结果显示,地下水中亚硝酸氮、氨氮超标均严重,苯、二甲苯、乙苯、异丙苯、双酚 A 均有检出,邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯超标 522 倍。植物样中菲、邻苯二甲酸正丁酯、双酚 A、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯均有检出,且超标严重,金属离子 Al、Fe、Mn、Cr、Cu、Zn、As、Se、Cd、Hg、Pb 均有不同程度的超标现象。土样分析结果显示土壤污染尤为严重,苯酚、菲、邻苯二甲酸正丁酯、双酚 A、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、苯并[k]蒽、苯并[b]蒽、苯并[a]蒽均严重超标。

可以预见,随着经济的发展,城市固体废物的数量将迅速增加。根据我国的实际情况,卫生填埋仍将是城市垃圾的主要处理方式之一,因此,垃圾卫生填埋场数量巨大,是非常重要的潜在环境污染场地。

(2) 城市污水管网泄漏

在城市和乡镇分布较为普遍,工业、生活污水管道的泄漏,污水渗井、渗坑的存在,导致了土地和地下水的严重污染。据市政给排水部门的估计,我国大多数城市给排水管网的渗漏率保守估计为 10% 以上。此外,有的中小型城市还存在着违规的污水渗坑和渗井,致使土壤和地下水污染严重。

(3) 地下储存罐泄漏

根据国内外经验,数量众多的加油站和各类化工原料或产品的地下储存罐,都不同程度上存在着泄漏问题,特别是运行时间超过20年的地下储存罐,存在着极大的泄漏风险,对土壤和地下水带来了严重的威胁。有调查分析估计,北京市建设10年以上的加油站,约30%的地下储存罐存在泄漏问题。

(4) 工业泄漏场地(包括废弃的和正在运转的场地)

几乎所有的工厂都存在着跑、冒、滴、漏的问题,形成了众多的污染场地。当工厂搬迁,土地使用目的改变时,就存在着污染场地的修复问题。

吉林省某化工厂,由于化学物质的泄漏,导致了厂区土壤和地下水的严重污染。土壤中污染物含量:乙苯 3860mg/kg、二甲苯 4370mg/kg、TPHs 33 000mg/kg、铬 402mg/kg、铅 1000mg/kg、锌 3300mg/kg。地下水有机污染十分严重,出现了饱和非水相液体(LNAPL)有机污染物,浮在地下水水面以上,厚度有数十厘米。另一个化工厂由于污染物泄漏导致地下水的严重污染。地下水受污染的面积约为 640 000m²,地下水中硝基苯的最高浓度达 6000mg/L,苯和苯胺的浓度最高达到 500mg/L 和 200mg/L。

(5) 农业活动导致的地下水污染场地

由于不适当地施用农药、化肥,造成了土壤和地下水的污染问题。如在我国东北粮食主产区,其浅层地下水中的氮污染非常普遍。此外,利用污水灌溉也是造成土壤和地下水污染的重要原因。

农业活动导致了浅层地下水的严重污染。受农业活动的影响,地下水中氮、磷的污染现象比较普遍,高浓度区与农业活动区分布一致。地下水中氮、磷的污染范围和程度与农业施肥和灌溉有密切的关系,过量的施用含氮、磷的化肥以及污水灌溉会导致氮、磷等营养物质淋滤进入地下水中。如在吉林省粮食主产区,地下水中氨的浓度可达 4.3mg/L,磷的浓度达 1mg/L,污染面积大,浓度较高。地下水中农药的检出很多,但含量较低,超标的农药有阿特拉津和 DDT。其中阿特拉津超标可达 10 多倍,DDT 超标 2.8 倍。总体上看,由于农业活动的影响,地下水中发生了 NH_4^+ 、 NO_2^- 、磷和某些农药的污染,地下水的水质总体上随着时间的推移向坏的方向发展。

位于沈阳市东南部的沈抚灌区是我国最大的石油类污灌区之一,已有长达 40 年的污灌历史,污灌面积达 0.87 万 hm^2 ($1\text{hm}^2=10^4\text{m}^2$,后同)。灌区上游地区石油类污染仍然严重,石油类含量均值在 500mg/kg 以上,超过清灌区(对照点)6 倍,而难降解成分(环烃类)则逐年积累,降解缓慢。目前芳烃类在石油类中所占的比例已由 20 年前的 50% 上升到 80%,有的地块已在 85% 以上,多环芳烃物质苯并[a]芘积累严重,超标 5~7 倍。据统计,该地区有 400 多口井受到不同程度的污染。

沈阳市张士灌区用污水灌溉多年后,造成了土壤和地下水的严重污染。到2005年仍然具有污染,根据当年调查取样分析表明,土壤中镉含量范围在 $0.04\sim 0.77\text{mg/kg}$,汞含量范围在 $0\sim 0.423\text{mg/kg}$,六氯苯含量范围为 $1.44\sim 25.49\text{mg/kg}$,六六六、DDT、菲、苯并荧蒽、苯并[a]芘普遍有检出。在地下水含量明显超标的污染物有COD、氯苯、氰化物、氨氮、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等。

(6) 畜禽养殖污染

根据2013年环境保护部发布的《全国畜禽养殖污染防治“十二五”规划》,近年来,我国畜禽养殖业发展迅速,养殖废弃物产生量也大幅增加。畜禽养殖导致的土壤、地下水污染日趋严重,其主要污染包括氮、磷、有机污染、重金属污染(铜、锌、铁等)、病原菌污染、药物等添加剂的污染。特别是药物添加剂的污染,目前已引起高度的关注,如抗生素和激素,属于环境中的新兴污染物,对其在土壤和地下水中的迁移转化和归宿等尚不十分明确。

(7) 矿业污染

石油、固体矿产资源开采带来大量的污染场地,如污水排放、矿渣堆放等。

各种工业固体废物的堆放,造成了土壤和地下水的严重污染。如根据辽宁省有关部门的估计,辽宁省“五大渣山”(钢渣、矿渣、铬渣、煤矸石、粉煤灰)占用大量的良田,并对周围的土壤和地下水带来了威胁。阜新矿区煤矸石占地面积达 28.9km^2 ,总堆积量12.1亿 m^3 ,堆放场地的地下水受到严重污染,水化学类型由原来的重碳酸钙型逐渐改变为硫酸、重碳酸钙型及硫酸钙型。抚顺矿区矸石山溢流水渗入地下含水层,造成其周围地区地下水水质恶化,大部分民井不能饮用,在监测的24个井点中,有80%以上的井水属于硬水,超背景值5.4倍,矿化度超背景值10.4倍。

沈阳市冶炼厂铬渣堆放量达25万t,废渣中含有有机化合物六价铬、三氧化二铬,以及铁、镁、硫等化合物,经降水淋滤,溶解渗入地下,使地下水中六价铬含量达到 87.1mg/L ,超饮用水标准1140倍,形成一个带状长达15km的铬污染区。

锦州市由于铬废渣的堆放,使地下水严重污染,1800口水井由于污染而报废,带来了巨大的损失。

(8) 污染地表水补给导致的地下水污染

地表水被污染后,渗入地下,导致土壤和地下水的污染。排污渠道的渗漏也可形成污染场地。

1.2 污染场地的研究及发展趋势

根据发达国家的实践,污染场地的的工作一般分3个部分:(1)场地筛析和登