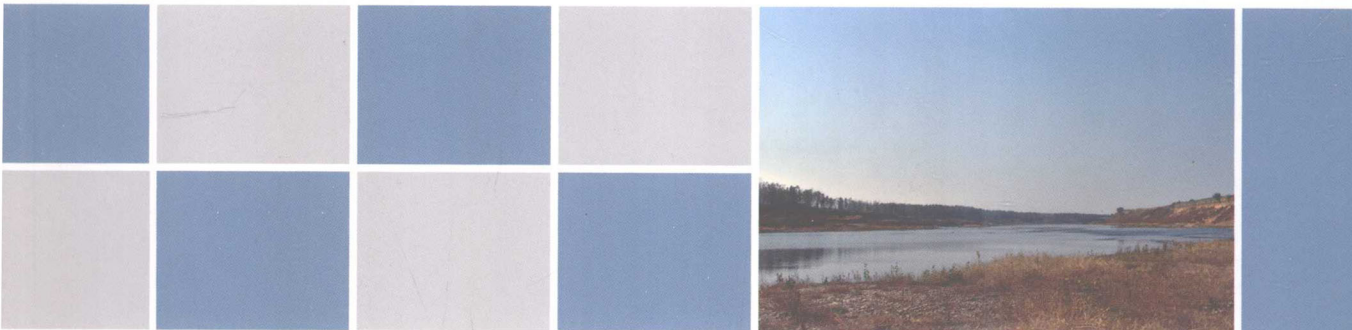


TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL
RISK ASSESSMENT OF REGIONAL GROUNDWATER



区域地下水

环境风险评估技术

滕彦国 左 锐 苏小四 等著

中国环境出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

区域地下水环境风险评估技术

滕彦国 左 锐 苏小四 等著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

区域地下水环境风险评价技术 / 滕彦国等著. —北京: 中国环境出版社, 2015.12

(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)

ISBN 978-7-5111-2655-9

I. ①区… II. ①滕… III. ①地下水污染—风险评价—中国 IV. ①X523

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 304014 号

出版人 王新程
责任编辑 李卫民
责任校对 尹芳
封面设计 宋瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (环评与监察图书分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 12 月第 1 版
印 次 2015 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 10.50
字 数 244 千字
定 价 50.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编委会

顾 问 吴晓青

组 长 刘志全

成 员 禹 军 陈 胜 刘海波

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制/修订工作，初步建成以重点行业污染防治技

术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长



2011 年 10 月

前 言

我国当前地下水污染加剧、污染状况不清，因此区域地下水环境风险控制和污染修复技术亟待突破。2010年，环境保护部设立公益性行业科研专项“区域地下水污染监测系统与风险管理关键技术研究”，专项研究瞄准《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》中的重点领域和优先主题，遵循“地下水污染监测—风险评估—复合污染净化—管理对策”的研究思路，满足地下水环境管理需求，促进地下水环境管理领域的人才培养和发掘。

本书为该项目第二课题“区域地下水环境风险评估指标与技术体系研究”的重要成果，通过区域地下水环境风险评估指标与技术体系的研究与开发，构建了地下水污染风险评估指标体系；通过区域地下水污染风险评价指标、评价方法和技术研究，形成了地下水环境污染风险评估技术体系，为我国地下水环境污染防治提供了必要的科技支撑。区域地下水环境风险评估指标与技术体系研究成果可直接服务于地下水污染治理，为地下水污染场地修复、地下水环境管理提供技术方案，进而为环保、水利、国土、城建、市政等相关部门以及工矿企业等的地下水环境管理与污染防治提供技术支持。区域地下水防污性能和污染敏感性评价指标体系的建立将有助于地下水质量管理，使地下水管理更具科学性和实用性。

本书共5章，分工如下：第1章：滕彦国、左锐、苏小四；第2章：左锐、滕彦国、苏小四、李仙波、苏洁、董维红；第3章：李仙波、左锐、滕彦国、王金生、王宾、李霄；第4章：山丹、苏洁、滕彦国、左锐、王红旗；第5章：苏小四、董维红、张文静、张玉玲、李霄。全书由滕彦国、左锐统稿。

北京师范大学水科学研究院的岳卫峰博士、翟远征博士，博士生王威、郇环、刘姝媛、吴劲，硕士生盖鹏、孔慧敏、郭慧、郭永丽、马啸、谷鹏；吉林大学资源与环境学院万玉玉博士，博士生王田野、周爱霞，硕士生王璜、崔龙玉、杜守营、刘明遥、宋绵、袁文真等参与了课题的研究及本书的部分撰写工作。在课题实施及专著撰写过程中，环境保护部科技标准司和污染防治司、吉林大学、沈阳地质调查中心、沈阳建筑大学、辽宁省环境监测中心站、辽宁省环境科学研究院、辽宁省水文水资源勘查局沈阳分局和沈阳水务集团有限公司的有关领导和同人给予了大力帮助和支持，在此一并致谢。

本书的不妥和不足之处，恳请广大读者批评指正！

作 者

2015年10月

目 录

第 1 章 绪言	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 区域地下水环境风险评价技术进展	3
1.3 当前研究中存在的问题	11
第 2 章 地下水环境风险评价技术体系	13
2.1 地下水环境风险内涵	13
2.2 地下水环境风险分类	16
2.3 地下水环境风险评价内容	17
2.4 地下水环境风险评价技术体系	35
第 3 章 地下水环境相对风险评价	40
3.1 地下水环境相对风险评价技术	40
3.2 下辽河平原地下水环境相对风险评价	52
第 4 章 地下水污染风险评价	73
4.1 地下水污染风险评价技术	74
4.2 浑河冲洪积扇地区地下水污染风险评价	95
第 5 章 地下水健康风险评价	107
5.1 地下水污染健康风险评价技术	108
5.2 地下水有机污染健康风险评价	126
后 记	145
参考文献	147

第1章 绪言

1.1 研究背景及意义

地下水是我国重要的供水水源,尤其在华北、西北等干旱半干旱地区,地下水是主要甚至是唯一的生活以及工农业生产供水水源。据《全国地下水污染防治规划(2011—2020年)》统计数据,到2009年地下水开采总量已达1 098亿 m^3 ,占全国总供水量的18%,较三十年前增长了近1倍。我国北方地区65%的生活用水、50%的工业用水和33%的农业灌溉用水来自地下水;全国655个城市中,61%以地下水为饮用水水源,同时地下水也是我国农村普遍的饮用供水水源。由于地下水开发利用规模大幅度增加,一些地区因地表水资源缺乏或地表水体污染等原因大规模开采地下水,引发了地下水的严重超采。根据2011年《中国水资源公报》数据统计,全国20个省级行政区共统计地下水开采漏斗70个,总面积达6.5万 km^2 。在36个浅层漏斗中,漏斗面积大于500 km^2 的有12个,最大漏斗区达6 660 km^2 ,漏斗中心水位埋深大于20 m的有24个,漏斗最深为132 m。

地下水资源量快速衰减也极大地引发了地下水水质恶化,威胁城乡供水安全。不少城市由于长期过量开采地下水,引起了地下水位的持续下降,造成了开采井涌水量锐减、含水层疏干等不良后果,地下水资源面临枯竭,给供水安全带来了严重影响。根据2000—2002年国土资源部“新一轮全国地下水资源评价”成果,按照《地下水质量标准》(GB/T 14848—93)进行评价,全国地下水资源符合I~III类水质标准的占63%,符合IV~V类水质标准的占37%。南方大部分地区水质较好,符合I~III类水质标准的面积占地下水分布面积的90%以上,但部分平原地区的浅层地下水污染严重,水质较差。北方地区的丘陵山区及山前平原地区水质较好,中部平原区水质较差,滨海地区水质最差。根据对京津冀、长江三角洲、珠江三角洲、淮河流域平原区等地区的地下水有机污染调查结果,主要城市及近郊地区地下水中普遍检测出有毒微量有机污染指标。2009年,经对北京、辽宁、吉林、上海、江苏、海南、宁夏和广东等8个省(区、市)641眼井的水质分析,水质I~II类的占总数的2.3%,水质III类的占23.9%,水质IV~V类的占73.8%,主要污染指标是总硬度、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、铁和锰等。2009年,全国202个城市的地下水水质以中等—较差为主,深层地下水质量普遍优于浅层地下水,开采程度低的地区优于开采程度高的地区,部分城市饮用水水源水质超标因子除常规化学指标外,甚至出现了致癌、致畸、致突变污染指标。

地下水在开发利用过程中产生的一系列的环境地质问题主要源于人类活动使地下水参与的水循环动态平衡被破坏,产生了一系列链式连锁反应,诸如土地盐渍化、沼泽化、大的降落漏斗、海水入侵、矿井突水以及地下水污染等。其中地下水污染问题已经成为制

约地下水功能的主导因素。生活污水的排放,不适当地使用化肥农药,以及工业排放的大量废水废料,正在使许多宝贵的地下水资源因污染而无法利用。由于地下水环境所表现出的隐蔽性和系统复杂性,长期以来对其污染问题缺乏应有的关注。地下水污染所引起的生态环境破坏和对人体健康的危害,成为社会经济可持续发展的重大挑战,使当前我国地下水环境保护面临着巨大压力。

基于上述背景,在大力推进生态文明建设全面部署指导下,要实现“从源头上扭转生态环境恶化趋势,为人民创造良好生产生活环境,为全球生态安全作出贡献”,尤其在地下水污染防治方面,就需要建立体现生态文明要求的目标体系、考核办法、奖惩机制,完善最严格的水资源管理制度,加强环境监管,更加积极地保护生态,以制度促管理,以预防治污染。《全国地下水污染防治规划(2011—2020年)》(以下简称《规划》)对全国地下水污染防治工作做出总体部署,为我国地下水与地表水协同控制的水污染防治格局的建立、实现水环境质量的总体改善奠定了坚实的基础。《规划》强调地下水环境污染以“预防为主”,着眼可持续发展,尊重地下水污染防治规律,提出了两个阶段目标:第一阶段是基本掌握地下水污染状况,初步控制地下水污染源,初步遏制地下水水质恶化趋势,全面建立地下水环境监管体系。第二阶段实现对典型地下水污染源全面监控,重要地下水饮用水水源水质安全得到基本保障,重点地区地下水水质明显改善,地下水环境监管能力全面提高,地下水污染防治体系基本建成。因此,区域地下水污染监控与风险防范管理是《规划》基础工作之一。

近年来,环境保护部致力于我国区域地下水水质管理,坚持保护优先的总体方针,加大对区域地下水污染状况的调查和监管力度,着力解决地下水污染突出问题,切实保障地下水饮用水水源环境安全,逐步建成以防为主的地下水污染防治体系,保障地下水资源可持续利用。2010年,环境保护部设立了重大公益性行业科研专项——区域地下水污染监测系统与风险管理关键技术研究,专项研究瞄准了《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》中的重点领域和优先主题,遵循地下水污染监测—风险评估—复合污染净化—管理对策这一研究思路,可直接为地下水环境管理服务,为培养地下水领域管理的人才提供基础。

“区域地下水污染监测系统与风险管理关键技术研究”项目面向地下水环境污染监测、评价、控制与管理技术领域的国家重大需求,围绕我国地下水环境污染防治与管理急需解决的关键问题,通过对区域地下水污染监测技术和方法的研究与开发,构建区域地下水污染监测系统,提出区域地下水环境优先控制污染物监测方案和技术;通过区域地下水污染风险评价指标、评价方法和技术研究,形成地下水环境污染风险评估技术体系和风险分级分类管理技术;通过对复合地下水污染高效净化技术的筛选与评估,形成复合污染地下水净化与修复的技术;通过对地下水污染监控与环境风险管理技术的集成与对策研究,提出我国区域地下水污染监控技术体系与风险管理技术体系;在此基础上,通过技术集成与综合应用示范,形成了我国区域地下水污染监测与风险管理关键技术体系,为我国地下水环境污染防治提供必要的科技支撑。

本书的研究内容依托该项目第二课题“区域地下水环境风险评估指标与技术体系研究”开展,通过对区域地下水环境风险评估指标与技术体系的研究与开发,构建地下水污

染风险评估指标体系,为我国地下水环境污染防治提供必要的科技支撑。区域地下水环境风险评估指标与技术体系研究成果可直接为地下水污染治理服务,为地下水污染场地修复、地下水环境管理整治提供技术方案,从而为环保、水利、国土、城建、市政等相关部门以及工矿企业等的地下水污染治理提供技术支持。区域地下水防污性能和污染敏感性评价指标体系的建立将方便地下水质量管理部门工作,使地下水管理更具科学性和实践性。

1.2 区域地下水环境风险评价技术进展

1.2.1 发达国家地下水污染管理经验分析

由于对地下水资源缺乏科学评价与管理致使地下水严重超采,引起了一系列不良后果,如地下水水位下降、水质污染、地裂缝、地面沉降和生态退化等(钱家忠等,2003),从而增加了地下水资源开发利用的风险(杜朝阳等,2011)。

根据欧洲环境局(European Environment Agency, EEA)研究报告,一些欧洲国家存在大量的地下水污染场地和潜在的污染场地:法国潜在污染场地为70万~80万个;德国约为24万个;英国约为10万个;荷兰约为11万个,其中废弃的工业场地8万个,正在运转的工业场地2.5万个,停止使用的加油站6000多个,城市废物处理场地3000多个。根据美国环境保护局(Environmental Protection Agency, EPA)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,但还是有大量的污染场地待修复。在现行的法规框架下,美国需要清理的污染场地总数估计为29万多个(赵勇胜,2012)。

开展地下水系统的风险研究,可以辨识地下水系统存在的风险,计算地下水系统风险率及评估风险损失,为决策者提供及时准确的信息以加强地下水供给和需求管理,实现地下水资源的可持续利用(杜朝阳,2011)。

地下水环境风险评价已成功应用于国外很多国家和地区,包括印度(Rahman A, 2008)、日本(Babiker I, et al., 2005)、突尼斯北部(Hamza M, et al., 2007)、巴勒斯坦(Almasri M, et al., 2008)、美国(Wg L, 2005)。地下水环境风险评价可以在一定程度上反映出一个区域的风险状况,但是在实际应用过程中,由于风险评价体系的缺陷及字符指令的不足,常常得出一个与任何专业标准无关的地下水环境风险评价结果(Li Y, et al., 2012)。并且,在区域尺度上必须识别出很多的污染源、压力源、生境、终点等,而且单一的压力源往往是由多个源构成的(Schäfer R, et al., 2011; Liu J, et al., 2011)。如何量化地下水环境风险已经成为近年来的研究焦点(De L, et al., 2010)。本书提出与相对风险模型相关的脆弱性指数,主要解决了地下水环境风险管理过程中区域相对风险的分级问题。在进行研究区、受体、风险源、暴露的界定之后,相对风险模型可用于模拟人类活动和土地利用压力下区域地下水环境风险值的分布规律。相对风险模型已经应用于世界上很多国家,如巴西(Moraes R, et al., 2010)、澳大利亚(Walker R, et al., 2001)。

(1) 美国:体系化风险预防、控制与治理

在管理方面,美国把直接管制和经济手段有机结合,实行了保证金制度(唐朝晖,2013)。美国环保局综合风险信息系统(Integrated Risk Information System, IRIS)建立了

风险物质毒效应数据信息库（任希珍等，2011）。美国哥伦比亚大学环境研究所（2005）建立的风险管理体系则由风险分析、风险评估和风险管理三个层次组成。其中，风险分析从数据获取、编录及确定风险分析目标开始，包括风险识别、危险性评价、易损性评价和风险计算。风险评估（风险评价）是根据风险可接受水平，提出环境问题是否需要采取风险控制措施。最后是风险管理的程序。

美国材料与试验协会（ASTM）针对土壤及地下水污染治理发展出了 RBCA（risk-based corrective action，基于风险的矫正行动）模式，用于健康风险评价（US EPA）。RBCA 模式将土壤及地下水污染治理的健康风险评价分为 3 个等级，分别确定治理目标。

地下水是美国重要的饮用水资源，大约 50% 的饮用水来自地下水。另外地下水也是某些地区的农业灌溉用水。例如，1985—2000 年，美国对地下水的利用总量增长了 14%，西部各州消耗的地下水占美国总利用量的 2/3，这其中 2/3 多的地下水又都用于发展农业。随着地下水利用强度的增大，西部各州都不同程度地出现了地下水问题，诸如地下水水位大幅下降、地面沉降、河岸栖息地消失、水质恶化，以及地表水和地下水用水者之间日益激烈的冲突。与地表水不同，地下水污染清除非常困难和昂贵，而且清除周期长（超过 10 年）。在某些情况下，被污染的地下水将不可能恢复到污染前的水质。正是鉴于地下水资源的宝贵及其特殊性，美国突出了“上下结合、以治带防”的地下水污染控制管理理念。

1) 自下而上、自上而下结合

自上而下的管理方式主要体现在国家通过立法和建立工作技术规范达到：

- 完善污染防治法律体系，明确组织机构分工；
- 开展地下水环境调查，掌控地下水环境状况；
- 利用地下水健康风险评估，判断地下水污染程度；
- 依靠合理的治理方案，依托先进的治理技术对地下水污染进行及时有效的治理与管理。

自下而上的措施则包括诉讼和商业资讯。美国的民众善用诉讼，不但公民习惯于用诉讼来保护自己的权益，而且律师行业也已经形成一股强大的势力来鼓励、支持，甚至诱导潜在的受害者发起诉讼，这在地下水污染控制过程中起到了积极的作用。此外，美国地下水商业咨询行业已经较为发达，对操作诉讼的律师团队提供有效的技术支撑。这种自下而上的污染防治机制在美国社会实施地下水污染防治工作中起到了决定性的作用。

2) 预防为主、以防带治结合

为了获取地下水的准确信息，美国法规中首先要求水源地类的重要供水设施在一定范围内要有足够数量的地下水监测井，而且监测井的位置必须准确选定以避免提供错误数据。另外，法规还明确规定了取样和分析方法、统计方法、记录的保存等细节。在所有监测过程中，第一步被称作检验性监测，即对照该地区地下水的本底值的监测。在这类监测中，每口监测井必须每半年至少取样 4 次。目的是为了检验地下水中是否有超标物质，这实质上就是一个长期监测监控的过程，是预防水质恶化最直接的手段。

例如，对于垃圾填埋场这类对地下水水质危害极大的区域，美国要求必须对填埋场下的地下水进行长期监测。即便填埋场设计和施工都达到了规定的要求，仍然不能绝对保证不会发生渗漏现象。所以，美国《资源保护和回收法》专门作出规定要求所有填埋场必须

设有地下水监测系统。当被监测物超过了正常含量时,说明填埋场有可能出现了渗漏。这时根据法规的要求,填埋场的业主必须在7天内向当地环保局报告,同时必须开始在所有监测井分析超量物质。在90天内,填埋场的业主必须向环保部门呈交一份修改经营许可的申请。在180天内,再呈交一份关于清理地下水污染的可行性计划。当然,如果填埋场可以证明水样中的超量有害物并非来自该处,以往的检验性监测仍然可以继续。

在污染确实发生的区域,美国常见的地下水污染治理技术和手段相对也较先进,主要体现在以下几个方面:

①将污染物隔离,防止其继续从污染源向外迁移。在物理层面,可以使用类似黏土、混凝土、铁板之类的人为工程措施阻止有害物质的迁移;在水力学层面,可以在合适点位打井抽水从而改变地下水流场,使得污染物无法流向敏感目标;在化学层面,可以使用活性物质使污染物实现固化或无害化。

②将污染物从含水层中移除。最常见的移除方式是使用抽水井捕获受污染的地下水,进行处理后将其重新注入地下水,或者排入附近的河流。这种方法被称为地下水抽取处理,虽然这种方法需要较长的时间来治理地下水污染,但对多种污染物(重金属、挥发性有机污染物、杀虫剂等)都非常有效,在很多污染场地都已经取得了较好的效果,使含水层中大部分污染物得到移除。

③将含水层中的污染物固定或无害化。生物修复等修复技术已逐渐被应用实践。生物修复是使用自然界的微生物将地下水污染物转变为弱毒性或无毒的物质。通过向含水层添加营养物或氧气可以人为加速这一进程。此外,一些新技术在经过多年的实验室研究后,已经在市场上广泛使用,比如使用氧化剂来对地下水污染物进行无害化处理。此外,可以在含水层中污染物流经的关键地点建造“反应墙”。

虽然地下水污染治理方法不同,在各污染场地取得的成效也参差不齐,但大多数情况下均需要大量的工程措施。这些工程无论使用何种融资机制,成本最终都由生产企业承担,包括法律诉讼导致的大规模社会成本。因此美国企业普遍非常重视地下水污染问题,自觉自愿地在项目建设、运行过程中关注、管控地下水污染风险。“以治带防”已经成为美国地下水污染防治体系的主要特征。

(2) 德国:长期风险监控、联合水质治理

德国地下水污染管理的主要措施有法律约束、市场调节、与邻国合作三种方式(李晶等,2004)。德国曾经在20世纪的20~30年代花费巨大代价将德国境内的河流改建为运河,依照人为需要改变其流向等自然属性,这种做法极大地破坏了河流本身的生态,效果非常不理想;后来德国又花了更高的代价把这些“运河化”的河流加以复原。从污染到治理,德国共花了20~40年时间,建造从南到北的输水工程和水净化工程。在柏林这样的大城市,有大约40%的循环水,已经是不需要进行特别过滤的干净水源了。

20世纪70年代,德国政府开始重视水环境污染问题。对于莱茵河污染问题,首先从源头上治理污染,关停鲁尔区大多数重污染企业或立法要求企业升级改造排污装置,以达到环保排污标准。鲁尔工业区于80年代初期正式退出重工业区的舞台。同时,德国还通过立法,限制生活污水及农业用水的随意排放,减少非工业原因的水污染问题。除此之外,还专门成立了“环保刑警”,负责环境保护的刑事侦查;同时扩大已有的“水务警察”权

限,即在有权管理水上交通的基础上,同时赋予“水务警察”维护水源生态安全的权力。这是德国政府应对莱茵河污染的主要措施。同时,1986年瑞士巴塞尔化工厂爆炸引发的莱茵河污染问题,也让国际间的水源治理合作受到重视。德国随后与瑞士、法国等国合作,在莱茵河不同区域设立监测点,随时监测水质的变动,同时建立了信息及时共享系统及应急机制,以应对突发污染事件。经过三四十年的治理,莱茵河现在的水质已经相当好,整条河流的生态也重归正常。

德国十分重视地表水、地下水水质监测和水环境联合保护,对影响水质的各种人类活动制定了严格的限制性法律和政策。对水质的监测和保护分两个方面:一是对现有水源的保护,如地下水、泉水区以及河流等;二是对排放污水的限制,即污水治理及排放监测。饮用水水源属地下水或地表泉水的地区,按照法律规定,分为取水区、近区、小区三级加以保护,保护范围逐步扩大,并分别制定相应的政策用于限制该区域的生产活动,确保水质保持在取水标准。为了保护地下水不受污染,德国在农业生产中对使用化肥、农药的法律规定更为严格。不仅对生产化肥、农药的企业制定了严格的生产许可证申报程序,而且对农业施肥、喷药也有相当严格的规定。联邦农林生物研究中心设立专门机构,除中心850名工作人员外,还聘请各大学教授300多名,专门研究农药、化肥对水和土壤的影响,并审批包括杀虫、除草剂、生长调节剂在内的农药生产项目,以减轻施肥对地下水的污染。

(3) 加拿大:风险源头控制高于一切

在进行地下水污染管理工作时,加拿大政府主要采取如下做法:将环境保护纳入审计的重要内容;制定相关政策,通过经济杠杆调动全社会参与环境保护的积极性;建立了具有可操作性的补偿、奖惩机制;政府地下水环境保护投入大、有保障;强化资源开发后生态环境恢复和人工促进自然繁育、更新;注重可回收利用资源的循环利用,促进全社会节约资源、保护环境(苏凤仙,2006)。

加拿大政府通过研究及实践转变了“先污染后治理”的观念,由原来的污染过后再采取补救转变为预防为主的办法。加拿大水资源管理机构对所有污染源制定高标准并实行严格管理,要求废水循环利用或优于标准排放。

加拿大政府鼓励农民改变传统的农业运作模式,采用有利于环境的杀虫剂和肥料、扩大保护性耕作方式的应用面积。同时政府资助、指导开展地区灌溉潜力调查,依据不同土壤类型、不同作物品种的需水情况,确定最佳灌溉模式和方案,通过灌排控制系统来调度、分配和保护灌溉用水。

加拿大采矿协会的34个成员公司中有31个签署了加速减少或消除有毒物质计划,这31个公司的产量占加拿大基础金属产量的85%。由此采矿和冶炼工业已经大大地减少了向水中沉降的这些有毒物质。纸浆和造纸工业在消除污染方面也做出了巨大的努力,使工厂在过去几年排放的污水中的悬浮固体颗粒和生物化学需氧量有下降的趋势。

(4) 挪威:基于污染风险的全域监控

广泛的民众环保参与意识、政府积极的环境保护政策和高起点的环境标准是挪威的环境保护走在世界前列的重要保证(郑光华,2001)。挪威全方位实施环境优先政策(张小青,2004),建立了完善的环境信息公开制度(汪丹丹,2010)。

挪威20世纪90年代初已经完成对全国2452个地下水污染源的调查,并编制成因一过

程图件,以便监控水污染。由于强调对污染源的勘查与监测,适应需要发展起来的各种探测方法日趋成熟,已经成为常规勘查、应急监测以及日常污染源管理的重要手段。

(5) 以色列:基于法治的污染风险管理

以色列是一个水资源十分稀缺的国家,为此,以色列政府运用经济、法律、行政手段对全国水资源进行管理(官松,2011),其主要措施是通过宣传教育、政策鼓励、行政管理、执法检查来推进(吕文斌,1996)。以色列在《水法》里对水资源管理基本理念有如下表述:“国家的水资源为国有财产,受政府控制,以服务于国民需求和国家发展为最终目标”,在法律基础上,以色列的水资源管理包括其地下水管理的本质特点,建立了一个高度集中、高度控制性、高度量化、配额管理和许可管理贯穿其中的管理体系。对于地下水污染管理来说,这几点具有特别的重要性,并非常有助于实现对地下水超采和地下水污染的强有力的控制。在此基础上,以色列在地下水资源管理方面的立法经验大体可以概括为:通过《水法》《水井控制法》和《量水法》等立法工作确立地下水污染管理的基础,通过采用先进的技术手段,如地下水水质模型技术、现代化信息技术、人工回灌技术等,增加地下水水质管理的技术含量,进而提高地下水的管理水平;对难以利用的边际水资源,通过回灌制度与地下水开发利用紧密结合,且将地下水特别突出地作为储备资源加以保护。

(6) 英国:区域地下水综合风险防控

英国的环境保护管理严格科学,它基于一整套执行规范的政策法规,配备后台一系列完整的技术支持队伍,并以先进的环境影响预测技术作为技术支持。英国制定有一套完善的风险事故应急响应体系,由技术委员会组织专业人员对重大风险事故进行风险事故监测及风险事故环境影响预测模拟,在管理上和技术上都能做到实时响应(梁鹏,2012)。

建立地下水水源保护区是英国地下水水质保护政策的重要手段之一。英国国家河流管理局(NRA)将地下水水源保护区分为微生物保护带、外围保护带和汇水带,并在每个保护带内采取不同的措施来保护地下水水质。目前英国环境署在英格兰和威尔士地区已划定近2000个供饮用的地下水水源(井、钻孔和泉)为水源保护区。

英格兰和威尔士1963年根据立法实施地下水取用许可制度。此后,随着对环境问题的重视,英国加强了对地下水水质的保护和管理。英国环境署1992年颁布地下水保护政策,提出风险决策的概念和系列政策措施,这些政策措施包括:控制地下水开采,废弃物管理、污染土地的管理、液体排放物的处理和地下水污染扩散的管理等。1980年,英国完成了泰晤士河口坎威岛石油化工区的风险评价。

此外,英国采取政府组织与非政府组织结合的地下水污染管理体制(李蔚军,2008),实现了良好的监督与互补。

(7) 日本:重在污染风险预防

日本地下水污染管理主要分为四个措施:有效预防污染措施、防止危害措施、净化措施和监控(曹信孚,1992)。在环境治理的过程中,采用“国家协调、地方为主、社会参与、市场激励”的治理模式(卢洪友等,2013)。

在法律保护方面,日本环境保护法律体系从最初的环境卫生领域发展到公害及环境领域再到目前的资源和循环型领域,最初由少数地方先出台条例,国家总结完善颁布法律,地方再对原有条例进行修订(毛欣等,2012)。

源头控制是日本在地下水污染防治方面最突出的手段。20世纪80年代初,日本发现废物垃圾场污染土壤和地下水,为缓解本来就非常紧张的土地和地下水资源,日本政府制订了一套垃圾分类处理系统,尽量回收利用。焚烧的主要是生活垃圾,焚烧的灰烬还要固化之后进行填埋,对渗滤液收集处理直达到标,再定期对填埋场进行监测,保证土壤和地下水不受污染。目前,日本有较为完善的污染防治法律体系,有严格执行的环境政策,有日本特色的环境保护援助机制,有直指污染源头的世界领先的污染防治技术,还有全民参与的环境教育体系(姜雅等,2014)。

(8) 澳大利亚:水环境风险统一管理

澳大利亚政府从1994年起逐步启动了以控制水需求为主的水改革,制定了一系列行之有效的法律、政策等,通过完善的法律体系、多样化的政策机制、配套的组织机构,大大缓解了国内的水资源水环境危机(陈晓婷等,2014)。

澳大利亚政府1996年颁布《地下水的分配与使用——澳大利亚地下水管理国家框架》,把地下水资源与地表水资源作为整体纳入国家统一管理范畴。联邦政府提出水改革计划,实施国家水质管理战略,采取措施保护地下水,并促使各州进行了改革;各州改革供水业管理体制,组建政府控股的供水公司,实行现代企业管理制度,赋予企业和经营者更大的自主权;建立完善的水价体系,将污水处理、水资源许可等费用计入水价,实现了水资源的最佳分配;水质污染源风险管理趋向于更严格地限制排放和更高标准的处理污水,并实行水域的纳污总量控制;拥有更多自主权的农业灌溉和城镇供水企业在追求利润的同时,纷纷提高服务水平,保证优质供水。

(9) 荷兰:环境分区规划管理

荷兰采取环境标准定义城市用地分区的方式,将环境侵入式活动与环境敏感性区域隔离开来。整合环境分区(integrated environmental zoning, IEZ)的方法是基于分区设计以及整合空间与环境政策,以减少和降低环境溢出问题影响为目的,由国家环境政策计划提出。IEZ由分布在荷兰的11个试点项目进行检验包括:①评估噪声空间分布,有毒、恶臭、致癌形式大气污染以及易燃易爆物生产等高危活动;②统一化标准;③指数化区域环境影响,通过对环境影响评分限制土地开发利用。试点项目以实例证实了IEZ在污染形式并不繁多、累积作用并不复杂条件下解决空间与环境冲突的有效性(孙慧洁等,2013)。

从20世纪80年代起,荷兰对石油化工密集区瑞金孟德地区进行了长期的风险评价研究(毛小苓等,2003)。1994年,荷兰公共卫生与环境国家研究院(RIVM)开发了Csoil模式,用风险评价的理念确定污染物介入值,用于土壤及地下水污染的治理工作(Waitz M F W, et al.)。该模式主要针对位于污染区域内居民的原位暴露情况进行风险评价,通过对多个暴露途径的评价,确定整体风险。最初的Csoil模式类似于RBCA模式的一级评价,参数大量采用经验保守值。在随后的研究中,Csoil模式也不断改进,越来越多地应用于实际污染场地的风险评价。Csoil模式中污染物运移模型的前提假定包括:无穷尽的污染源,并且不考虑非水相流体(NAPL)的影响;均质土壤;不考虑吸附作用;忽略降解、侧向输移和淋溶作用(武晓峰等,2012)。

1.2.2 我国地下水污染风险管理工作进展

(1) 行政管理的稳步推进

我国各级政府高度重视地下水管理和保护问题。国家“十一五”规划纲要明确提出，要加强地下水保护，治理地下水超采。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》提出了未来15年我国科学技术发展的战略重点之一是：“把发展能源、水资源和环境保护技术放在优先位置，下决心解决制约经济社会发展的重大瓶颈问题。”《全国地下水污染防治规划》则针对我国地下水环境质量状况的现状，对未来15年我国在地下水环境保护与污染防治、地下水监测体系、地下水预警应急体系、地下水污染防治技术体系及污染防治监管能力上的建设进行了详细规划。

2011年环境保护部会同国土资源部、水利部和财政部，在“十二五”期间启动全国地下水基础状况调查评估工作，并于2011年率先在北京、山东、贵州和海南试点开展地下水调查评估。2012年将地下水调查评估工作扩展到全国。重点调查地下水水源地、垃圾填埋场、危险废物处理场、矿山开采区、石油化工生产销售区、农业污染源、高尔夫球场、重点工业源八类地下水环境状况。

此外，国家环境保护公益性行业科研专项在近年来布置了多个项目，加强开展地下水污染管理研究工作。

2009年设立项目“地下水污染风险源识别与防控区划技术研究”；

2010—2011年设立重大项目“区域地下水污染监测系统与风险管理关键技术”；

2012年设立项目“再生水回灌对地下水污染风险评估及回灌标准体系研究”；

2013年设立项目：“地下水系统中新型污染物监测技术与源解析研究”、“地下水环境污染监测井建井与采样技术及质控体系研究”、“地下水污染源强评价、分类与防控技术研究”、“华北平原典型地区地下水污染防控技术体系研究”和“金属冶炼尾矿库渗漏对地下水污染的生态风险评估与控制研究”；

2014年设立项目：“地下水环境质量基准、标准制定的方法学和关键技术预研究”、“地下水污染监控预警与事故应急技术体系研究”、“西南矿区地下水重金属污染源识别与污染风险评估”、“地下水铬污染风险评估与防控技术研究”和“岩溶地下河型地下水污染源识别与污染防治对策研究”等。

通过设立不同的专项研究，试图对目前我国地下水污染管理过程中亟须解决的难题进行逐一破解。

近年来，国土资源部就华北平原、东北平原、淮河流域、长江三角洲、江汉-洞庭平原、鄂尔多斯盆地等全国各大平原、盆地等单元的地下水资源、地下水污染及其环境问题进行了国土资源大调查项目计划安排，目前这项工作正在进行中。

同时，水利部也会同相关部委，计划在2015年以前，完成地下水污染状况的调查和评估，制定地下水管理条例，同时推进地下水污染修复。

从上述行政主管部门行为可以看出：地下水污染的调查及其风险防范工作正在全国铺开，并形成了稳步推进的趋势，这为我国地下水污染风险防范和治理工作奠定了良好的开端，并有望在一段时间内，从管理技术和治理方法上有实质性的进展。