

# 中国污染场地修复现状及产业前景分析<sup>①</sup>

宋 昕<sup>1</sup>, 林 娜<sup>1,2</sup>, 殷鹏华<sup>3</sup>

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 南京大学现代工程与应用科学学院, 南京 210093)

**摘 要:** 土壤和地下水是人类赖以生存的物质基础, 2014 年发布的《全国土壤污染状况调查公报》以及近年来诸多污染事件的曝光, 都表明我国土壤与地下水污染问题日益突出, 并严重威胁人体健康, 因此, 污染场地土壤与地下水的修复治理刻不容缓。我国污染场地修复起步较晚, 相应的管理体系尚未完全建立, 导致当前污染场地的调查与修复存在相关法律法规和标准不完善、场地修复资金落实困难、污染场地修复技术工程应用经验不足、场地资料整合困难以及地下水修复被忽视等问题。在我国污染场地修复产业发展潜力巨大的背景下, 只有深刻认识到上述问题现状并建立规范的市场秩序才能更好地推动修复产业的健康发展。

**关键词:** 污染场地; 土壤与地下水修复; 产业前景; 环境污染事件

**中图分类号:** X53

近年来, 随着我国经济和社会的快速发展、“退二进三”、“退城进园”政策的进一步落实, 大批污染企业被迫搬迁、改造或关闭停产, 导致城市及其周边地区出现大量遗留、遗弃场地<sup>[1]</sup>。根据国家环保部的不完全统计, 目前我国面积大于 1 万 m<sup>2</sup> 的污染场地超过 50 万块<sup>[2]</sup>, 也有报道指出我国的土壤污染状况比预估的更为严重<sup>[3]</sup>。2014 年发布的《全国土壤污染状况调查公报》也明确指出, 从污染分布来看, 长江三角洲、珠江三角洲和东北老工业基地等部分区域土壤污染问题较为突出<sup>[4]</sup>。这些污染场地对土壤和地下水造成的污染若得不到及时治理, 会对人体健康和生态环境造成严重危害(图 1)。因此, 亟待对这些污染场地开展调查、风险评估和修复治理工作, 以进一步完善我国污染场地的管理体系。

## 1 我国污染场地修复与开发现状

早在 20 世纪 70 年代, 欧美等西方国家就开始污染场地治理, 已形成一套有效的管理体系。而我国直到 2004 年“宋家庄事件”的发生, 污染场地的修复与开发问题才开始引起公众和社会的关注, 目前修复产业仍处于起步阶段。2014 年发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示, 在调查的 81 块工业废弃地的 775 个土壤点位中, 超标点位占 34.9%, 主要污染

物为锌、汞、铅、铬、砷和多环芳烃等, 主要涉及化工、矿业、冶金等行业<sup>[4]</sup>。逐年增加的环境污染事件<sup>[6-8]</sup>, 如前不久发生的兰州自来水苯污染、湖南雄黄矿区砷污染造成的“癌症村”等事件, 在引起社会各界广泛热议的同时, 也为我们敲响了警钟: 污染场地若得不到及时治理, 地下水污染、饮用水安全隐患等诸多问题将接踵而至, 因此, 污染场地的修复治理已刻不容缓。但由于我国污染场地涉及农药、化工、炼焦、钢铁等重污染行业, 且污染场地污染状况复杂、污染物种类繁多, 加之污染场地监管、政策制度及资金筹集等方面存在不足, 使得我国污染场地的修复进程相对缓慢, 实际应用的修复技术也较为粗糙, 只有极少量土地得到修复, 实现再利用的地块更是历历可数。

以江苏为例, 近几年江苏省相继关闭、搬迁污染严重的化工企业 4 000 多家, 大多分布在经济发达、工业化程度高的苏南地区, 如苏州化工厂、南京化工厂、南通姚港化工区、常州化工厂等。据了解, 目前江苏省已完成近 10 项场地修复工程, 包括无锡市胡埭电镀厂重金属污染修复示范工程、溧阳鑫海化工厂 POPs 污染场地修复工程等<sup>[9]</sup>。随着污染企业的搬迁整治, 多个污染场地修复工程还在陆续实施, 如 2013 年南京市投入约 1.5 亿元对原南京化工厂(小南化)场

基金项目: 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-TZ-13)资助。

作者简介: 宋昕(1974—), 女, 山东青岛人, 博士, 研究员, 主要从事土壤和地下水污染修复技术与原理研究。E-mail: xsong@issas.ac.cn

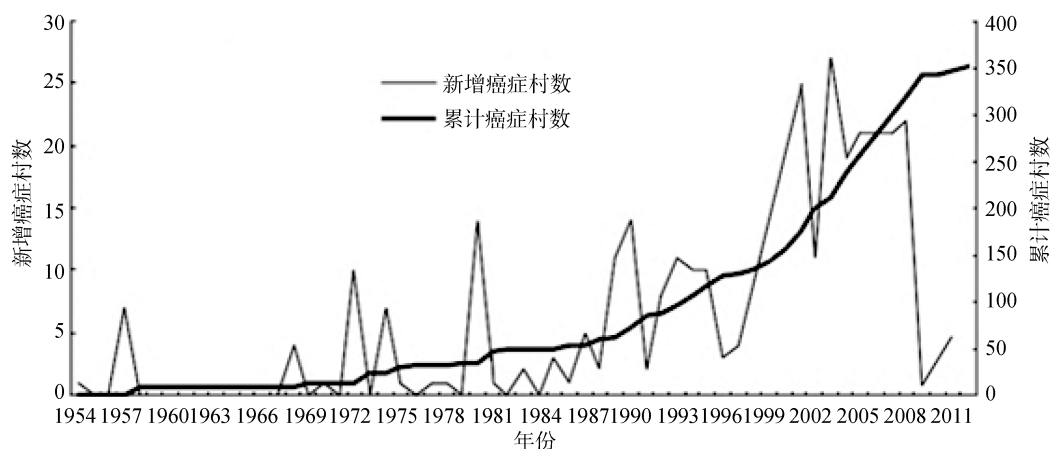


图 1 中国“癌症村”年度新增及累计变化图<sup>[5]</sup>

Fig. 1 Numbers of cancer villages in China (from 1950s to 2010s)

地进行修复<sup>[10]</sup>, 希望由此恢复该场地的商业价值。江苏省作为较早开展场地修复的地区, 虽然近期需要投入大量资金, 但得到治理的污染场地所带来的经济和社会效益将是可观的, 对改善民众健康和生态环境的影响也将是深远的。

## 2 我国污染场地调查和修复存在的问题及对策

### 2.1 相关法律、法规及标准不完善

1976 年, 美国通过了《资源保护和回收法(Resource Conservation and Recovery Act, RCRA)》<sup>[11]</sup>, 此法令的主旨如下: 保护人体健康和自然环境; 减少废弃物的产生, 节约能源并保护自然资源; 尽快减少或消除危险废弃物的产生<sup>[12]</sup>。资源保护和回收法的通过和实施, 对于减少新的污染场地的产生具有重大意义。1980 年, 美国又通过了《综合环境反应、赔偿与责任法(Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act, CERCLA)》, 即“超级基金法案(Superfund)”<sup>[13]</sup>, 其中明确规定对遗弃、遗留污染场地进行修复; 要求责任方负责修复; 减少危险废弃物的产生和泄漏。这一法令的实施为美国污染场地的治理提供了法律依据, 推动了美国污染场地修复产业的发展。

目前, 我国污染场地修复可参考的标准有《土壤环境质量标准》、《地下水质量标准》、《工业企业土壤环境质量风险评价基准》, 但由于近年来我国土壤和地下水污染不断加剧, 完全按照一二十年前制定的“标准”指导当前的场地修复, 将不可避免地存在一些问题<sup>[14-20]</sup>, 如场地修复目标值偏高或偏低导致不完全修复或过度修复。此外, 由于缺乏针对污染场地管理的专门法律法规, 如美国的《资源保护和回收法》

和《超级基金法》, 导致场地监管无法可依, 污染治理责任主体认定困难, 治理修复工作难以落实<sup>[21]</sup>, 并影响污染场地修复行业的发展。显然, 相关法律法规的缺乏已成为国内污染场地修复进程的最大障碍<sup>[22]</sup>。目前急需专门的土壤和地下水污染防治法来界定场地污染, 规范场地管理程序和修复市场, 最后形成系统的污染场地污染法律法规、技术导则和标准体系。

我国也逐渐意识到建立污染场地治理的法律、法规和导则的迫切性, 环保部于 2014 年 2 月 19 日批准发布了《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)、《污染场地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2014)和《污染场地术语》(HJ 682-2014)5 项污染场地国家环境保护标准(下称“五项标准”), 并于 2014 年 7 月 1 日起实施。5 项标准的发布为场地调查、评估和修复提供技术指导和支撑, 但需指出的是, 5 项标准以技术性规定为主, 未规定相关管理要求<sup>[23]</sup>, 也未涉及土壤和地下水修复的质量标准。

2014 年 4 月 24 日, 十二届全国人大常委会第八次会议审议通过环境保护法修订案。修订后的环保法增加了政府和企业的责任, 加大了对违法排污的惩罚力度, 在加大信息公开等方面也取得重要突破<sup>[24-25]</sup>。根据专家解读, 《环境保护法》修订案还把环境污染和生态损害的责任加以合并, 确立了损害者担责原则, 否定了过去只强调污染者担责而忽视生态破坏者责任的做法<sup>[26]</sup>。从一系列新修订和增加的内容<sup>[27]</sup>可以看出我国当前的环保决心, 相信这部法律对于规范企业行为、减免新的污染场地的产生将起到重要作用。

## 2.2 场地修复资金落实困难

污染场地修复主要包括土壤和地下水修复<sup>[28]</sup>, 因土壤和地下水污染的隐蔽性和不确定性, 污染场地修复成本非常昂贵。由于当前法律制度方面的缺陷和我国土地公有的性质, 往往难以明确污染的责任主体; 同时, 一些负有责任的污染企业的破产, 实际操作过程中很难实现“污染者付费”原则, 使得场地修复受到资金来源的困扰。污染场地的环境问题阻碍了土地的再开发<sup>[29]</sup>, 反过来, 从国内众多修复案例来看, 正是污染场地的土地资源再开发利用驱动了场地的修复, 是中国现阶段场地修复的主要动力, 所以政府和开发商是场地修复的主要资金来源。也因此造成一些污染严重、远离城区、开发价值不高的污染场地因难以筹集足够的资金而处于无人问津的状态。

美国《超级基金法》建立了无法确定责任主体或责任主体无力采取反应措施时用于清除污染的“超级基金”。根据我国的污染场地现状, 亟待建立多渠道的资金筹集机制, 可借鉴美国超级基金的经验, 建立政府性污染场地修复基金, 同时完善我国已有的绿色信贷、绿色保险和绿色税收等多项环境经济政策, 形成污染企业、受益者为主体, 政府、社会等为辅助的多元化的场地修复资金来源。

## 2.3 场地修复技术及工程经验不足

污染场地修复产业链如图 2 所示, 主要包括污染场地调查、风险评估、修复技术工程设计和修复工程实施。我国污染场地土壤及地下水修复技术的研发开始于“十一五”期间, 目前在基础研究方面取得了巨大成就, 并处于世界前沿水平, 但在修复技术、设备及规模化应用上与欧美等先进国家相比存在较大差距, 缺少适合我国国情的实用修复技术与工程建设经验<sup>[21]</sup>。使得我国污染场地调查和修复处于落后与先进技术并存的阶段: 一方面, 调查修复过程中仍采用一些非常原始落后的技术和器械进行打井、洗井、土壤和地下水取样; 另一方面, 也在引进欧美等国先进的设备和前沿的技术<sup>[30]</sup>, 但如何将这些技术和设备

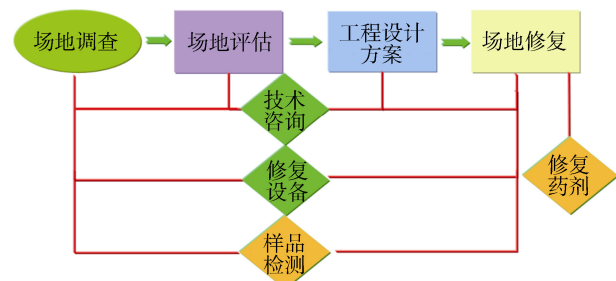


图 2 污染场地修复产业链

Fig. 2 Industry chain of contaminated site remediation

真正科学有效地应用到工程实施中, 这也是我国修复产业需要解决的瓶颈问题。

由于我国污染场地土地资源再开发的迫切性要求场地修复周期非常短, 以及缺少原位修复技术的实施经验, 我国现阶段的场地修复广泛采用的是异位修复技术: 将污染土体挖出或将地下水泵出后再进行异地或原地异位处理, 常用技术包括客土法、异位填埋和水泥窑共处置等。异位修复技术虽快速、高效, 但存在以下缺点: 未实现对场地的完全修复。由于地下水的流动性, 上游被污染地下水会对修复场地造成二次污染; 不可持续性。污染物挖掘后进行异位堆放和处理会加剧我国城市土地资源匮乏的境况; 对环境的破坏大, 对深层土壤及地下水的修复难度大;

在挖掘、运输、堆放和设备使用维护等方面费用较高。相反地, 原位修复技术不需要对污染物进行远程运输, 更为经济, 对土壤的破坏小, 并且可对深层土壤和地下水进行修复, 适合较大规模的场地修复<sup>[31]</sup>。根据国外 30 多年的治理经验, 随着修复技术的不断成熟, 经济、环保的原位修复技术, 如原位化学氧化、原位生物修复和可渗透反应墙等技术将成为未来修复技术的一种发展趋势<sup>[32]</sup>。

近几年来, 我国也相继开始了原位修复技术的示范工程和场地修复的规模化应用。以原位化学氧化修复为例, 由于化学反应的快速性和高反应性, 可以满足我国城市污染场地修复周期短及修复复合污染物的要求, 所以在我国污染场地中开始应用(图 3)。然而, 由于缺乏相关的工程应用经验, 许多工程参数(如注射井的排列、注射速率、注射体积等)还处于摸索阶段, 所以修复效果总体来讲很不理想。传统的原位生物修复技术, 由于修复周期较长, 其应用受到限制。原位强化生物修复技术, 通过注入生物修复试剂, 促进原生微生物的生长来强化生物修复, 从而克服了其修复周期长的缺点, 在欧美等国家已经得到广泛应用(图 4)<sup>[33]</sup>。



图 3 江苏省某场地进行原位化学氧化修复示范工程

Fig. 3 A field-scale pilot test for in-situ chemical oxidation (ISCO) in Jiangsu Province



图 4 原位强化生物修复治理美国某场地三氯乙烯的污染

Fig. 4 An in-situ enhanced bioremediation system for trichloroethylene (TCE) treatment in the United States

鉴于我国污染场地数量多、污染物复杂的国情,要解决我国污染场地修复问题,迫切需要开发多种修复技术。据报道<sup>[34]</sup>,环保部已启动建立土壤修复技术名录工作,对国内外先进的土壤修复技术进行收集、整理和筛选。此外,在引进、借鉴国外先进技术的同时,还应加强科研投入,提高污染场地绿色、可持续修复技术的自主研发能力,建立适合我国国情的、先进的污染场地修复技术与装备体系。

#### 2.4 场地资料整合困难

场地包括某一地块范围内的土壤、地下水、地表水以及地块内所有构筑物、设施和生物的总和<sup>[35]</sup>,如前文述及,地下环境具有隐蔽性和不确定性,使得污染场地修复工作极具挑战。2014 年的《全国土壤污染状况调查公报》初步确定了全国土壤环境质量总体状况、污染类型、程度和区域分布,但并没有针对具体污染场地土壤和地下水的详细调查情况。同时由于我国工业企业早期管理不具系统性,大多数污染场地的运行记录没有备案,使得场地污染源描述、污染羽的迁移转化规律分析等非常困难。最后,了解每个场地所处的区域性水文地质条件是进行场地调查的首要工作。在美国,水文地质学家一般可以在美国地质局的网站上([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov))查找到与场地相关的区域性文献和资料来指导污染场地的调查工作。然而,由于国内尚无信息共享的工作平台,使得负责场地调查和修复的水文地质学家和环境工程师难以获取此类资料,开展工作比较困难。因此,当前我国应借鉴欧美等发达国家经验,逐步建立污染场地档案库,摸清污染物的种类、数量和污染程度,以及污染羽的分布等信息,并注重构建信息的共享平台与机制,为下一步的治理工作奠定基础。

#### 2.5 忽视地下水的修复

污染场地是由土壤和地下水共同构成的统一体,由于土壤和地下水的相互作用,场地土壤受到污染会

“牵连”到地下水,反之亦然。然而,由于地下水污染较为复杂并难以治理<sup>[36]</sup>,且长期以来缺乏相应的技术规范和导则,在实际污染场地调查和修复过程中,为了节省费用,往往只强调土壤污染,而对地下水的重视不足。由于土壤和地下水的一体性,尤其在南方地下水埋深较浅的地区,忽略污染地下水的修复很可能会导致场地的二次污染,将来可能需要进行二次调查和修复。

因此,迫切要加强地下水污染调查、污染物迁移转化和污染修复技术的研究,加强场地监管,增加对地下水修复的关注,防止出现土壤修复后由污染地下水造成的二次污染<sup>[37]</sup>。建立合理的场地验收规范,用长远的眼光对验收后的场地进行定期监测,确保修复效果的持久性。同时也应意识到,由于地下环境的异质性和不确定性,污染场地修复周期一般较长(图 5)。在场地管理过程中,需要科学合理设置修复时间期望值(包括政府人员、业主和工程咨询公司),使污染场地修复从科学技术的角度上具有可操作性,不能急于求成<sup>[38]</sup>。

### 3 我国污染场地修复产业前景分析

我国污染场地修复产业刚起步,还处于萌芽期后半段<sup>[39]</sup>。由于一方面我国政府及社会各界对场地监管和治理越来越重视<sup>[40]</sup>,另一方面我国污染场地数量巨大,可以预见修复产业未来发展潜力颇大。

#### 3.1 污染场地修复纳入国家规划层面

《国家环境保护“十二五”规划》将土壤与地下水污染列为迫切需要解决的危害群众健康的突出环境问题<sup>[41-43]</sup>。《国民经济和社会发展规划“十二五”规划》中也要求加大环境保护力度,开展受污染场地、土壤、水体等污染治理与修复试点示范,并提出健全环境保护法律法规和标准体系,完善环境保护科技和经济政策,加强环境监测、预警和应急能力建设<sup>[44]</sup>。此外,

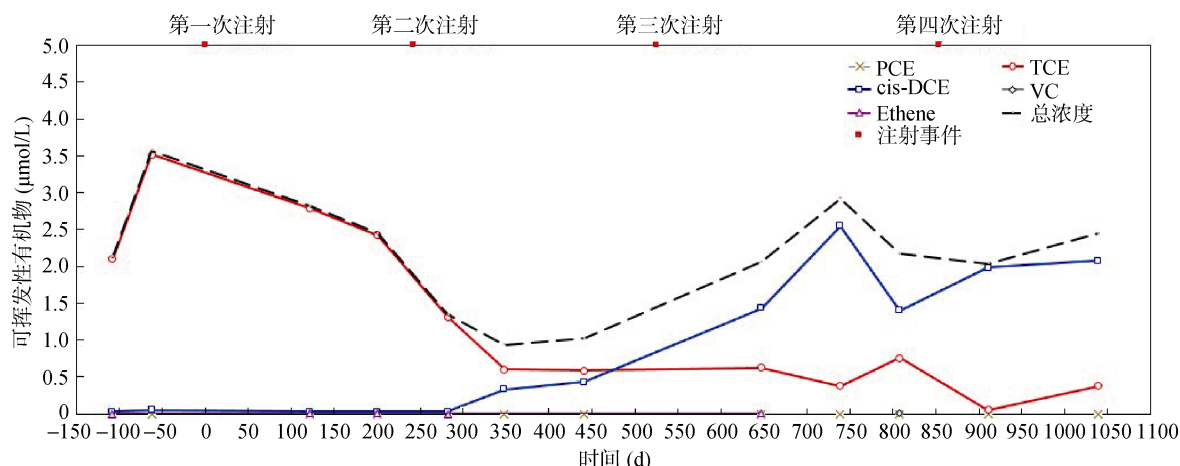


图 5 原位强化生物修复过程中三氯乙烯浓度反弹显示土壤和地下水修复的反复性(美国某场地修复系统性能指标图)  
Fig. 5 TCE rebounds during the process of in-situ enhanced bioremediation (Remediation performance chart at a contaminated site in the United States)

《全国地下水污染防治规划(2011—2020 年)》、《“十二五”节能环保产业发展规划》、《国家环境保护“十二五”科技发展规划》等也对土壤、地下水的修复也进行了规划部署。由此可见,污染场地修复已纳入国家规划层面,这一污染场地修复产业的顶层变化必然会促进我国污染产业的进一步发展。

### 3.2 多样化的产业经营模式

由于受到场地修复资金来源的困扰,参考国外发达国家土壤修复产业发展经验,并结合我国国情及现阶段的修复工程经验,我国污染场地修复可以采用以下经营模式:“谁污染,谁治理”模式;“谁使用,谁治理”模式;“政府出资”模式;垫资修复(Remedy-Transfer, RT)模式:即先由实施修复的工程公司垫资,项目达到污染场地所有者规定的土地使用质量要求后,所有者按合同约定价格及支付条件履约;

修复-开发-移交(Remedy-Operate-Transfer, ROT)模式;修复-开发-拥有(Remedy-Operate-Own, ROO)模式;受让-修复-转让(Transfer-Remedy-Transfer, TRT)模式<sup>[45]</sup>。

### 3.3 多样化的修复设备和技术

目前,我国土壤修复产业的发展受到技术和设备的制约,是否具有行之有效的修复技术和先进的设备是决定产业发展态势的关键因素。从单一修复技术发展多技术联合的原位修复技术,以及从固定式设备发展到移动式原位检测与修复设备将是我国场地修复产业发展过程中的必然趋势<sup>[46]</sup>。为了达到污染场地修复的最佳经济效益性,同一污染场地可根据关注污染物的分布范围及污染程度采用不同修复技术的结合应用(图 6)。

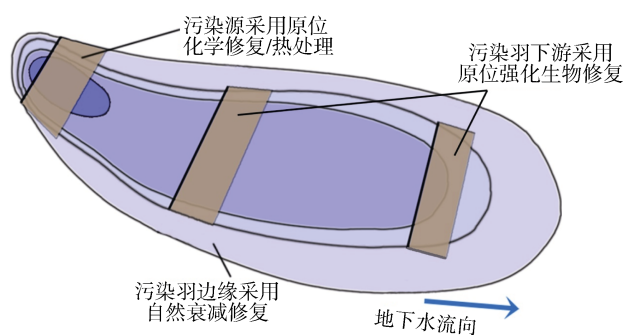


图 6 不同原位修复技术的结合应用  
Fig. 6 Schematic demonstration of the application of combined in-situ remediation techniques

### 3.4 重视地下水的修复

从国外的场地修复经验来看,地下水一旦受到污染,其修复和治理非常困难且费用巨大<sup>[47]</sup>。然而由于土壤和地下水的一体性,地下水是否清洁将决定场地是否真正得到修复,因此发达国家的场地修复中要求地下水也必须达到修复目标。目前我国场地修复过程中往往忽视地下水的修复,但随着业界对于场地修复认识的不断深入,地下水修复的重要性将逐渐凸显出来。

目前,我国污染场地修复存在法律标准体系不完善、修复资金落实困难、修复技术与装备不足等问题,制约着我国污染场地修复的产业化发展。同时,由于污染场地修复行业起步晚,具有场地环境调查、风险评估和修复治理知识以及经验的专业技术人才较少<sup>[21]</sup>,不能满足日益庞大的修复市场。市场不健全和行业标准不严导致产业初期一些不科学甚至颇有危害的修复行为也趁机浑水摸鱼,损害了修复产业社会形象。因此,必须建立修复行业的准入机制,规

范市场秩序和行业规则,建设良性的修复文化<sup>[48]</sup>,防止环境产业的潜规则和项目低价竞争现象,使修复项目真正服务于公众健康和生态环境,使修复产业在产业初期就保持良性发展态势。

### 参考文献:

- [1] Yang H, Huang XJ, Thompson JR, Flower RJ. China's soil pollution: Urban brownfields[J]. Science, 2014, 344(6185): 691-692
- [2] 郭力方. 土壤修复产业化渐入正轨[N]. 中国证券报, 2014-10-25(A10)
- [3] Chen RS, Sherbinin AD, Ye C, Shi GQ. China's soil pollution: Farms on the frontline[J]. Science, 2014, 344(6185): 691-692
- [4] 环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[EB/OL]. [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417\\_270670.htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm). 2014-04-17
- [5] 龚胜生, 张涛. 中国“癌症村”时空分布变迁研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2013(9): 156-164
- [6] 环境保护部. 2011 中国环境状况公报[EB/OL]. [http://www.mep.gov.cn/ztbd/rdzl/xxgk/hbbgb/201207/t20120709\\_233204.htm](http://www.mep.gov.cn/ztbd/rdzl/xxgk/hbbgb/201207/t20120709_233204.htm). 2012-06-05
- [7] 环境保护部. 2012 中国环境状况公报[EB/OL]. <http://www.gov.cn/gzdt/att/att/site1/20130604/001e3741a4d81317cd0101.pdf>. 2013-05-28
- [8] 环境保护部. 2013 中国环境状况公报[EB/OL]. [http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201406/t20140605\\_276496.htm](http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201406/t20140605_276496.htm). 2014-06-05
- [9] 闫艳, 高杰, 李莉. 污染土壤修复有多难? [N]. 中国环境报, 2012-04-27(8)
- [10] 戚阜生. 江苏开建污染场地档案环保部专家: 土壤修复难度堪比雾霾治理[Z/OL]. <http://news.jschina.com.cn/system/2014/04/16/020788497.shtml>. 2014-04-16
- [11] 杨惠文, 王鞠. 美国 RCRA 和《有害废物条例》简介[J]. 环境工程, 1985(01): 60-63
- [12] Glaubinger RS. Guide to the resource conservation and recovery act [J]. Chemical Engineering, 1979, 86(3): 79-81
- [13] US Environmental Protection Agency. Comprehensive environmental response, compensation and liability act [EB/OL]. <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/USCODE-2010-title42/html/USCODE-2010-title42-chap103.htm>. 2014-07-28
- [14] 林良俊, 文冬光, 孙继朝, 李宏慧. 地下水质量标准存在的问题及修订建议[J]. 水文地质工程地质, 2009(1): 63-64
- [15] 袁建新, 王云. 我国《土壤环境质量标准》现存问题与建议[J]. 中国环境监测, 2000(05): 41-44
- [16] 聂静茹, 马友华, 徐露露, 付欢欢, 马铁铮. 我国《土壤环境质量标准》中重金属污染相关问题探讨[J]. 农业资源与环境学报, 2013(6): 44-49
- [17] 刘传平, 李芳柏. 我国土壤环境质量标准存在的问题及探讨[A]//中国环境科学学会. 中国环境保护优秀论文集(2005)(下册)[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005
- [18] 温晓倩, 梁成华, 姜彬慧, 杜立宇, 于昕岩. 我国土壤环境质量标准存在问题及修订建议[J]. 广东农业科学, 2010(3): 89-94
- [19] 高胜达, 张旭辉, 张娟, 申思, 蒲民. 我国土壤环境质量标准修订建议研究[A]//中国环境科学学会环境标准与基准专业委员会, 中国毒理学会环境与生态毒理专业委员会, 中国环境科学研究院. 环境安全与生态学基准/标准国际研讨会、中国环境科学学会环境标准与基准专业委员会 2013 年学术研讨会、中国毒理学会环境与生态毒理专业委员会第三届学术研讨会会议论文集(二)[C]. 北京: 中国环境科学学会环境标准与基准专业委员会, 中国毒理学会环境与生态毒理专业委员会, 中国环境科学研究院, 2013
- [20] 蔡彦明, 刘凤枝, 王跃华, 师荣光, 刘铭, 刘保峰. 我国土壤环境质量标准之探讨[J]. 农业环境科学学报, 2006(S1): 403-406
- [21] 骆永明. 中国污染场地修复的研究进展、问题与展望[J]. 环境监测管理与技术, 2011(3): 1-6
- [22] 高艳丽, 刘世伟, 李书鹏. 城市化引发的污染场地问题详解与分析——看污染场地修复这十年[J]. 世界环境, 2013(02): 40-41
- [23] 郭薇. 污染场地系列环保标准发布[N]. 中国环境报, 2014-02-25 (001)
- [24] 常纪文. 新《环境保护法》: 史上最严但实施最难[J]. 环境保护, 2014(10): 23-28
- [25] 周珂, 陈微. 新修订《环境保护法》向环境污染宣战[J]. 环境保护, 2014(11): 27-31
- [26] 常纪文. 满足各界期待的成功修订[N]. 中国环境报, 2014-04-29 (002)
- [27] 中华人民共和国主席令. 中华人民共和国环境保护法[N]. 人民日报, 2014-07-25(008)
- [28] Khan FI, Husain T, Hejazi R. An overview and analysis of site remediation technologies[J]. Journal of Environmental Management, 2004, 71(2): 95-122
- [29] 谢剑, 李发生. 中国污染场地修复与再开发[J]. 环境保护, 2012(Z1): 15-24
- [30] 宋昕. 铬渣场地修复任重道远美国经验可借鉴[Z/OL]. <http://www.er-china.com/index.php?m=content&c=index&a=lists&catid=63&num=28>. 2014-02-14
- [31] 谷庆宝, 郭观林, 周友亚, 颜增光, 李发生. 污染场地修复技术的分类、应用与筛选方法探讨[J]. 环境科学研究, 2008(2): 197-202
- [32] 杨宾, 李慧颖, 伍斌, 杜平, 李发生. 污染场地中挥发性有机污染工程修复技术及应用[J]. 环境工程技术学报, 2013(1): 78-84
- [33] Ritter WF, Scarborough RW. A review of bioremediation of contaminated soils and groundwater[J]. Journal of Environmental Science and Health, 1995, 30(2): 333-357
- [34] 中国环境修复网编辑. 环保部启动建立土壤修复技术名录工作[Z/OL]. <http://www.hjxf.net/2014/0327/11713.html>. 2014-03-27
- [35] 环境保护部. 污染场地术语(HJ682-2014)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014
- [36] 赵勇胜. 地下水污染场地污染的控制与修复[J]. 长春工业大学学报(自然科学版), 2007(S1): 116-123
- [37] 姜林, 樊艳玲, 李婷婷, 钟茂生. 加利福尼亚州“地下储油罐低风险结案政策”及其对中国的启示[J]. 环境污染与防治, 2013(10): 86-92

- [38] 宋昕, 林娜. 污染场地: 穿着隐身衣的“雾霾”[J]. 科学, 2014(3): 30–34
- [39] 高胜达. 土壤地下水修复或迎来上市“曙光”[N]. 中国经济导报, 2014-05-24(C02)
- [40] Larson C. China gets serious about its pollutant-laden soil[J]. Science, 2014, 343(6178): 1 415–1 416
- [41] 刘伟华, 张宏玉. “十二五”规划视域下的节能环保产业发展[J]. 中国环保产业, 2013(11): 35–37
- [42] 周宏春. 迫切需要解决危害群众健康的突出环境问题——《国家环境保护“十二五”规划》战略重点解读[J]. 环境与可持续发展, 2011(04): 11–15
- [43] 陈有鑑, 殷培红. 推进地下水污染防治, 改善水环境质量——《国家环境保护“十二五”规划》解读[J]. 环境保护, 2012(08): 62–63
- [44] 本书编写组. 国民经济和社会发展规划第十二个五年规划纲要[M]. 北京: 人民出版社, 2011
- [45] 李社锋, 李先旺, 朱文渊, 覃慧, 刘更生. 污染场地土壤修复技术及其产业经营模式分析[J]. 环境工程, 2013, 31(6): 96–103
- [46] 杨勇, 何艳明, 栾景丽, 刘景洋, 郭玉文. 国际污染场地土壤修复技术综合分析[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(10): 92–98
- [47] 赵勇胜. 地下水污染场地污染的控制与修复[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007(2): 303–310
- [48] 高胜达. 土壤地下水修复呼唤文化先行[N]. 中国环境报, 2014-05-27(009)

## Contaminated Site Remediation Industry in China: Current State and Future Trends

SONG Xin<sup>1</sup>, LIN Na<sup>1, 2</sup>, YIN Peng-hua<sup>3</sup>

(1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 College of Engineering and Applied Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** Soil and groundwater are components of the environment that perform functions vital to human activities and ecosystems survival. Unfortunately, the “Report on China’s Soil Contamination Survey (2014)” issued by Ministry of Environmental Protection and Ministry of Land and Resources of the People’s Republic of China, along with numerous contamination incidents reported in the news media, indicate that soil and groundwater contamination has become an increasingly prominent problem in China. Contaminated sites pose a serious threat to human health and ecosystems, and demand immediate attention if effective management and remediation are to be realized. However, the contaminated site remediation industry in China is still in its infancy: lack of relevant laws, regulations and policies, immature funding mechanisms for remediation, lack of experiences in remediation engineering applications, and neglect of groundwater problems in the contaminated site remediation, these are key concerns that must be addressed as a first step in developing the soil and groundwater remediation industry in China.

**Key words:** Contaminated sites; Soil and groundwater remediation; Industrial prospect; Environmental incidents