

# 中国污染场地修复的研究进展、问题与展望

骆永明<sup>1,2</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, 江苏 南京 210008

2 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

**摘要:** 随着城市化和产业转移进程的加快, 我国城镇工业企业搬迁或遗留的污染场地数量与日俱增, 亟须开展污染场地治理与修复工作, 以保障人居环境安全、国民健康和社会稳定。综述了我国污染场地及其产生、状态和风险, 污染场地管理、修复技术及工程实践进展, 污染场地管理和修复的主要问题, 场地污染防治与修复政策、技术和融资机制需求, 旨在推进污染场地环境管理与修复产业化发展。

**关键词:** 污染场地; 土壤修复; 环境管理; 环保产业; 融资机制

中图分类号: X53 文献标识码: C 文章编号: 1006-2009(2011)03-0001-06

## Contaminated Site Remediation in China Progresses, Problems and Prospects

LUO Yongming<sup>1,2</sup>

(1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 2 Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264003, China)

**Abstract** A long with rapid urbanization and industrial transfer in China, quantities of the left contaminated sites have been increasing from relocation of industries and enterprises in the nation. Management and remediation of the sites require urgently for a safe residence, human health and social stability. This paper reviews in general contaminated site occurrences, status and risks, progresses and remained problems in site management, remediation technologies development and engineering applications, and needs for policies, technologies and financing mechanisms in prevention and remediation of the contaminated sites, aiming at a best management practices and remediation industry promotion for contaminated land.

**Key words** Contaminated site; Soil remediation; Environmental management; Environmental protection industry; Financing mechanisms

随着我国城市化进程和产业转移步伐的加快, 经济发达或快速发展地区的工业企业搬迁呈现出普遍的趋势。特别是污染企业的搬迁成为快速改善城市环境和促进企业升级改造, 以及调整经济结构和转变经济增长方式的有效举措。与此同时, 随着工业企业的搬迁或停产、倒闭, 遗留了大量、多种多样、复杂的污染场地, 涉及土壤污染、地下水污染、墙体与设备污染及废弃物污染等诸多十分突出的问题, 成为工业变革与城市扩张的伴随产物<sup>[1]</sup>。如何有效监管、安全处理处置或可持续开发利用受污染的场地, 确保城乡人居环境安全和公众健康,

已成为国家和地方政府应当予以高度重视的监管问题, 也是我国科技界亟须开展科技创新研究与应用实践的重要课题<sup>[2]</sup>。今结合近几年的研究与体会, 主要就我国污染场地修复政策、技术和融资机制研究进展, 以及存在问题与未来需求等方面作综述, 以共同推进污染场地环境管理与修复产业发展。

收稿日期: 2011-04-25

基金项目: 国家环境保护公益性基金资助项目(2010467016)

作者简介: 骆永明(1962-), 男, 浙江义乌人, 研究员, 博士, 主要从事土壤环境和土壤修复研究。

## 1 污染场地及其产生、状态和风险

一般而言,因从事生产、经营、使用、贮存、堆放有毒有害物质,或者处理、处置有毒有害废物,或者因有毒有害物质迁移、突发事件,造成了土壤和地下水污染,并已产生健康、生态风险或危害的地块,称为污染场地。就污染场地环境而言,范围更广,可以包括场地内部环境及周边可能影响到的环境,涉及场地内部的土壤和地下水、车间墙体和设备、各种废弃物、场地周边的土壤、地表水、空气、生物体及居民住地等。在监管和治理搬迁或遗留场地环境时,需要系统性和整体性。

污染场地通常在工矿业活动与发展过程中产生。我国污染场地类型多且复杂,与矿业、行业及其建设时间、生产历史等有关。在现有的污染场地中,有历史(甚至是解放前)遗留的,也有改革开放后新产生的;有的由国有企业带来,有的由乡镇企业造成,也有的来自合资或私营企业。污染场地主要分布在城区,也可以分布在居住、商业和公共娱乐活动用地相邻或附近的乡镇,以及生态敏感区等。矿业活动和行业生产过程是造成场地污染的主要途径。因此,矿区和污染行业往往是污染场地的集中分布地,例如有色金属、黑色金属矿区和化工、石化、冶炼及电镀、制药、机械制造、印染等行业。其他的污染场地有填埋场、金属矿渣堆场、加油站、废旧物资回收加工区或电子垃圾处置场地等。

不同的矿业活动和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、产业过程相关的特征污染物。我国污染场地中主要污染物有重金属(如铬、镉、汞、砷、铅、铜、锌、镍等),农药(如滴滴涕、六六六、三氯杀螨醇等),石油烃,持久性有机污染物(如多氯联苯、灭蚊灵、多环芳烃等),挥发性或溶剂类有机污染物(如三氯乙烯、二氯乙烷、四氯化碳、苯系物等),有机-金属类污染物(如有机砷、有机锡、代森锰锌等)等,有的场地还存在酸污染或碱污染,大部分场地处于复、混合污染状态<sup>[3-4]</sup>。除了化学性污染外,有的场地还存在病原性的生物污染和建筑垃圾类的物理性污染,这给污染场地的治理和修复增加了难度。

多数污染场地的土壤和地下水同步受到污染,这是由于污染物下渗迁移或管道泄漏造成的。在

场地土壤或地下水中污染物含量的空间变异性明显,有的污染区污染物成团连片分布,另外的可能是分散的点状分布,这与企业生产、储存、处理、处置方式方法,以及污染物性质和迁移性等有关。场地污染深度可达 10 多 m,污染程度以中、重度比例较多。例如,焦化厂土壤中强致癌化合物苯并芘、农药厂土壤中持久性有机污染物滴滴涕、铬渣堆放场地土壤铬含量及地下水中六价铬等浓度可以超标上千倍,甚至万余倍<sup>[5]</sup>,这与通常发生在表层轻度污染的农田土壤污染状况有明显不同。另一个特点是由挥发性或溶剂类污染物造成的污染场地,这些污染物的浓度动态变化,迁移性强,容易迁出场外,还会挥发,污染空气,危及健康,因而需要及时阻断控制。

城市化进程和经济增长方式转变使城区污染场地数量凸显。随着国家“退二进三”“退城进园”“产业转移”等政策的实施,全国几乎所有的大中城市正面临着重污染行业的大批企业关闭和搬迁问题,导致城市出现大量遗留、遗弃场地。初步估计,我国各类工业污染场地至少以数十万计,多数分布在经济发达地区和老工业基地<sup>[5]</sup>。

虽然原国家环境保护总局早在 2004 年下发通知,要求企业搬迁后对原有场地变更用地方式时,应对场地污染进行监测和评估,对污染的场地应当治理修复,但是目前我国污染场地处于如下 5 种状态,健康隐患严重。

(1)部分污染场地未经污染风险评估与修复已用作居住地和商业用地开发利用;

(2)随着城市化进程和空间规划调整,部分工业企业搬迁后或已经停产的污染场地正面临再开发利用,或未经过风险评估与修复正在开发利用;

(3)由于企业倒闭、破产等原因,部分企业遗留或搬迁后的污染场地处于无人监管的状态;

(4)部分污染场地仍然处于原来的利用方式;

(5)只有极少量场地经过简单的风险评估和治理后,开发为居住用地。据不完全统计,至 2008 年,在北京、江苏、辽宁、广东、重庆、浙江等地的污染企业搬迁达数千家,已置换约 2 万余  $\text{hm}^2$  工业用地,主要用于房地产开发<sup>[4]</sup>。

污染企业搬迁后遗留场地存在着重金属、农药、挥发性和持久性有机毒害物等污染物的严重污染,触目惊心。与欧美等发达国家遗留遗弃污染场地的环境问题相比,我国的场地土壤复合及混合污

染问题更为复杂。据反映,场地土壤及地下水污染区人群癌症等疾病的发病率和死亡率明显升高,由此引发的环境污染事故、对施工现场人员健康伤害事件,以及影响社会稳定的事件时有发生。例如,2004年北京地铁工程宋家庄建筑工地(原北京市红狮涂料厂)和2006年湖北某房地产建筑工地(原武汉市农药厂)等<sup>[5]</sup>。污染场地已经成为城市土地开发利用中的环境隐患,城市人居环境安全问题令人担忧,亟待开展风险评估与修复治理。

## 2 污染场地管理、修复技术及工程实践进展

### 2.1 国家和地方对污染场地的监管工作

近 5 年,我国污染场地管理工作受到了国务院和环境保护部的重视。原国家环境保护总局于 2004 年下发了《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》于 2005 年制定了《废弃危险化学品污染环境防治办法》2005 年底,在国务院《关于落实科学发展观加强环境保护的决定》中,明确提出对污染企业搬迁后的原址进行土壤监测、风险评估和修复。2008 年环境保护部召开了第一次全国土壤污染防治工作会议,会议要求当前和今后一个时期必须加强城市建设用地和遗弃污染场地环境监管,组织开展搬迁企业原厂址土壤污染风险评估及修复工作,降低土地再利用对人体健康影响的风险,随后环境保护部提出了《关于加强土壤污染防治工作的意见》。2010 年,环境保护部完成了《污染场地土壤环境管理暂行办法》《场地环境调查技术规范》《场地环境监测技术规范》《污染场地风险评估技术导则》《污染场地修复技术导则》等制定工作。2010 年 11 月,环境保护部环境规划院成立了“环境风险与损害鉴定评估研究中心”。2011 年 2 月,国家批准了第一个“十二五”规划——重金属污染防治规划。

5 年来,多个省、市地方政府制定了有关污染场地的管理条例或办法。例如,2006 年浙江省颁布了《浙江省固体废弃物污染环境防治条例》规定了对污染土壤要实现环境风险评估和修复制度;2007 年北京市环保局印发了《场地环境评价导则》规范了在北京市范围从事产地环境调查、评价的工作程序和技术方法;同年,沈阳市环保局、规划和国土资源局联合印发了《沈阳市污染场地环境治理及修复管理办法(试行)》对污染场地的评估与认定作了规定;2008 年,重庆市政府印发了

《关于加强我市工业企业原址污染场地治理修复工作的通知》等。

### 2.2 国家、地方和企业界对场地修复技术的研发工作

自从 2001 年土壤修复技术研发纳入国家“八六三”高新技术研究与发展计划资源环境技术领域以来,我国初步建立了部分重金属、持久性有机污染物、石油烃、农药污染土壤的修复技术体系。2009 年,国家科技部设立了第一个污染场地修复技术研发项目——典型工业场地污染土壤修复技术和示范,其中包括有机氯农药污染场地土壤淋洗和氧化修复技术、挥发性有机污染物污染场地土壤气提修复技术、多氯联苯污染场地土壤热脱附和生物修复技术、铬渣污染场地土壤固化稳定化和淋洗修复技术,这标志着我国工业企业污染场地土壤修复技术研究产业化发展的开始。同期,科技部还资助开展了硝基苯污染场地和冶炼污染场地土壤及地下水污染修复技术研发与示范工作。

在“十一五”期间,环境保护部在全国土壤污染调查与防治专项中开展了“污染土壤修复与综合治理试点”工作,在受重金属、农药、石油烃、多氯联苯、多环芳烃及复合污染土壤治理修复方面取得了创新性和实用性技术研究成果。环境保护部对外经济合作中心(FECO)“POPs 履约办”资助了多氯联苯、三氯杀螨醇、灭蚁灵、二噁英等污染场地调查、风险评估、修复技术研究,有效地支持了 POPs 污染场地的监管与履约工作。

在过去的 5 年内,北京、上海、杭州、宁波、重庆、南京、沈阳、广州、兰州等地方政府开展了土壤修复技术与场地修复工程应用案例工作。例如,北京的染料厂、焦化厂场地修复,上海的世博会场址修复,杭州的铬渣场、炼油厂场地修复,宁波的化工、制药场地修复,江苏的农药场地修复,重庆的化工场地修复,沈阳的冶炼场地修复,兰州的石化场地修复等,发展了焚烧、填埋、固化和稳定化、热脱附、生物降解等修复工程<sup>[5]</sup>,为未来更多、更复杂污染场地的修复和管理提供了技术支撑和实践经验。

### 2.3 管理部门、学术团体和科研机构的建立

在“十一五”期间,环境保护部生态保护司设立了“土壤处”,专门从事土壤环境管理工作。国家和地方环保部门将污染场地土壤治理与修复工作纳入自身的工作职责范围,有力地促进了污染场

地管理工作。近年来,中国土壤学会土壤环境专业委员会(1992年成立,前身为土壤污染防治专业委员会)与中国环境学会土壤和地下水环境专业委员会(2009年成立)多次组织召开国内和国际有关污染场地修复学术研讨会。例如,2008年10月在南京召开的“第三届土壤污染与修复国际会议”,2010年11月在南京召开的“首届污染场地修复:政策、技术与融资机制国际会议”,2011年3月在北京召开的“第二届中美污染场地修复技术高端论坛”等,很好地引领了我国污染场地管理与修复工作<sup>[5-6]</sup>。2008年以来,为了加强土壤环境与修复科技研究、专业人才培养与队伍建设,中国科学院批准成立了“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)”,国家环境保护部在南京环境科学研究所成立了“土壤环境管理与污染控制环境部重点实验室”,北京市、江苏省也成立了有关场地修复战略联盟或环保产业联盟。同时,如北京建工、杭州大地、上海市土壤修复中心、重庆市土壤修复中心等国内修复公司或企业性组织纷纷组建,有力地拓展了土壤修复市场,促进了产业化发展。

### 3 我国污染场地管理和修复的主要问题

当前,我国污染场地监督管理与治理修复面临着场地信息不清、政策法规和标准缺失、治理责任主体不明、实用修复技术与装备缺乏、治理修复资金难以保障、专业人才队伍缺少,以及修复行业文化建设薄弱等突出问题。

#### 3.1 场地信息问题

我国污染场地的基础数据和资料至今仍不详。虽然在全国土壤污染状况调查工作中,开展了重污染工业企业等10类场地的污染调查,但是由于资金与时间限制,受到调查的工业企业场地数量相当有限,基础数据与资料严重不足,尚不能掌握全国主要行业的工业企业场地污染状况,难以提出清单,建立污染场地档案,进行空间分布制图。因此,还需要有计划、分步骤地开展场地污染调查,建立污染场地的数量、种类、污染程度和环境风险等信息档案库。

#### 3.2 支撑场地管理的法律法规和标准问题

虽然国家和地方政府开始重视污染场地管理工作,但是我国缺乏针对污染场地管理整治的专门法律法规,导致监管工作无法可依,场地出让与开

发程序缺乏环保部门监管环节;污染场地治理与修复的责任主体不明,因而治理修复工作难以落实;缺乏有所区别的、场地针对性的污染场地环境质量评价、风险划分和修复评估的标准与技术应用规范;相关法律法规和标准的缺失严重影响了产—学—研—金—管的修复研发模式创新与土壤修复产业发展。

#### 3.3 污染场地环境修复技术与装备问题

土壤修复技术作为我国环境技术领域的一个重要研究方向,始于“十五”初期,对于污染场地土壤及地下水修复技术的研发则在“十一五”期间才开始。虽然技术研发进步明显,但是现有的治理修复措施比较粗放,在修复技术、装备及规模化应用上与欧美等先进国家相比还存在较大差距。目前,国内自主研发的快速、原位修复技术与装备严重不足,缺少适合我国国情的实用修复技术与工程建设经验,缺乏规模化应用及产业化运作的管理技术支撑体系,制约着环境修复产业化发展<sup>[6-7]</sup>。

#### 3.4 污染场地治理修复资金机制问题

我国对污染场地环境修复资金机制不明,难以得到保障。资金是由政府预算拨款,还是由责任主体支付,是需要考虑受益者共同承担,还是允许商业模式运作,以及多元化筹集等机制,尚在探讨与建议之中。虽然一些地方政府部门,如重庆、上海、北京、杭州等地的环保与国土部门,探索了场地治理修复融资机制,起到了良好的效果,但是还缺乏一种可持续的资金机制。

#### 3.5 专业修复人才队伍与行业文化建设问题

虽然近年来土壤环境修复科技与应用研究得到了支持,发展迅速,在场地调研、风险评估和修复工程技术研究与实践中培养了一些专业人才,但是数量还相当有限,远不能满足目前为数不多的环境修复企业的需求。企业更需要专业化风险评估与修复技术研发、咨询和工程施工队伍。虽然在过去的5年内,国内土壤环境修复公司快速增加,国外咨询公司也纷纷落户国内,而且在未来5~15年还将增多,但是国内企业在市场拓展、竞争、经营模式上仍应加强创新、特色、包容、合作的行业文化建设,促进市场化和产业化发展。

### 4 场地污染防治与修复政策、技术和融资机制需求

随着我国城市化进程的加速、产业结构调整

加快及对居住环境质量改善需求的提高,大量工业企业从城区转移搬迁势在必行,所腾出的工业用地成为城市居住、休闲、娱乐用地的重要来源,场地出让再开发利用的进程加速,其污染防治与修复需求日趋紧迫。污染土地再开发利用与可持续管理是关系人民群众身心健康的重大民生问题,亟须加大场地污染的监管和修复工作力度,以控制污染场地的环境风险,保障人居环境安全。污染场地治理与修复需要鼓励、积极的政策,行之有效的技术,以及灵活、多元的资金机制。

#### 4.1 政策需求

从政策的指导思想,我国应以保护人居环境安全与人体健康为宗旨,以土地可持续管理与利用为目的,针对污染场地的特点及污染场地管理上存在的问题,结合我国国情,充分借鉴国外先进管理理念和经验,充分调动政府、责任者、受益者、公众等各方的积极性,从建立或完善相应的监管、融资、技术和宣传教育政策着手,利用宏观调控和市场“两只推手”,先监管,后修复,推动中国污染场地管理逐渐走向科学化、制度化和标准化,提高土壤修复产业化和市场竞争能力。

从政策的总体目标上,应构建和完善我国污染场地的管理、技术和融资政策体系,有效预防、减少和消除污染场地带来的健康、生态和迁移风险,实现场地安全开发利用和可持续管理,保护公众健康,维护生态与环境安全,促进社会可持续发展和环境友好型社会的建设。

在监管政策上,应加强城市遗弃污染场地环境监管,制定与完善土壤污染防治法律法规及不同用地(居住、休闲娱乐、商业、工业用地)标准,建立监管机制与机构,建设监管能力与平台,制定场地监管办法、场地档案与信息系统;鼓励对修复后的场地再开发利用,对污染土壤填埋场封场后的土地再利用和再建设;在融资政策上,应建立资金管理机构、治理与修复基金制度和多渠道的融资机制;在技术政策上,应加强制度和规范建设。组织开展搬迁企业原厂址土壤污染风险评估及修复工作,降低土地再利用对人体健康影响的风险;建立有所区别的、场地针对性的场地土壤和地下水污染制度或工程控制、修复和自然衰减等方法选择体系,建立场地调查、危害识别与档案清单,风险评估与技术方案优化,场地污染控制与修复,修复工程评估验收,以及可能的次生污染防治等全过程的管理和技术

体系,指导污染场地治理与修复工程项目的立项、设计、建设、运行、管理和成本分析,引导污染场地治理与修复产业的发展。在宣教政策上,应加强场地管理知识培训、宣教制度建设与公众参与机制,以及国内外交流与合作。

#### 4.2 场地环境协同监管需求

应建立搬迁场地环境的多部门协同监管体系和多方参与的合作机制。在国家层面上,应建立环保、国土、工信、住建、发改委、农业等参与的多部委协同监管体系;在地方层面上,建立环保、国土、规划等参与的多部门协同监管体系。应推行污染场地调查信息公开,建立多方参与的合作与权衡机制,推动公众广泛参与场地环境管理和建设。污染场地出让、开发利用需要各利益方,包括政府、责任者(原企业)、开发商(或污染治理修复公司)、公众(社区居民),甚至金融贷款机构的共同参与,协商交流,以缓解环境冲突。明确责任归属与补偿,使责任方的场地问题解决,地方经济发展,开发商获得利润,公众健康得以保障,社区就业机会增加。

#### 4.3 技术需求

以节能减排和资源可持续利用为出发点,综合社会效益、经济效益、生态效益和环境保护,研究与发展污染场地土壤和地下水的绿色、可持续修复技术,维护土地可持续利用<sup>[8-9]</sup>。污染场地治理与修复工作技术性强,内容涉及场地调查、风险评估、修复目标值确定、修复技术筛选、可行性报告编制、修复技术方案制定、修复工程实施与建设、修复工程验收等环节。加强研发污染场地污染识别中的快速监测或筛查技术,发展安全、实用、高效、低廉的修复新技术、新产品和新装备,特别是能服务于多种污染物复合或混合污染、复杂特大场地的土壤/地下水一体化修复技术、多技术联合的原位修复技术、综合集成的工程修复技术、支持现场快速修复的固定式或移动式设备,以及修复过程监控与后评估技术等,建立先进、全面的土壤及场地修复技术与装备体系<sup>[8]</sup>,促进我国污染场地环境问题的解决。

国家应当设立场地污染治理与修复科技专项。尽快开展针对不同行业、污染类型、场地类别和利用方式的污染场地土壤及含水层修复工程技术与装备、相关监测及评估技术的研发,推进技术的工程示范与集成应用,发展适用于城区工业企业拆迁或遗留、乡镇矿业污染、毒害废弃物堆放及填埋等

污染场地土壤和含水层的快速修复与资源再利用技术。特别是针对化工、冶金、石化、制造、电子、农药、拆解等重点行业和重点矿业的污染场地, 研究和发 展适合我国国情的高效、实用、低成本的污染场地治理与修复技术及装备。

#### 4.4 融资机制需求

建立多渠道的融资平台和多元化的基金筹集机制。我国的土地属于国家所有, 历史上许多造成场地污染的老工业企业多为国有企业。在这样的国情下, 污染场地修复的融资机制应在“谁污染, 谁治理; 谁投资, 谁受益”的前提下, 灵活运用“污染者付费, 受益者分担, 所有者补偿”的原则, 将利于切实快速推动污染场地治理修复问题的解决。充分利用土地产权交易、社会资金、财政和税费杠杆、国际基金、民营资本等手段, 利用市场机制筹集修复资金, 构建多渠道的融资平台和多元化的融资机制, 建立国家和地方政府的污染场地治理修复专项基金, 成立土壤和地下水修复基金管理委员会, 为污染场地监管、治理、修复和开发利用提供专项资金。同时, 借鉴煤炭工业行业, 建立污染场地可持续管理与修复发展基金, 并考虑向修复企业税收给予优惠政策。

#### 4.5 专业队伍与学科建设需求

专业技术人才的匮乏严重制约着土壤及地下水环境修复科技创新、管理创新和市场运作模式创新。加强大专院校土壤污染防治与修复课程或土壤环境科学与修复技术相关课程的开设或专题讲座, 将是培养专门人才的主要途径; 加强环境修复领域的硕士、博士研究生和博士后的培养, 将是高级专门化人才的重要来源。加强工程、技术和软件系统培训, 例如场地环境风险评估方法与软件系统应用培训, 将是快速传授专门化知识和提高专业人才质量的捷径。加强国内外学术交流与合作、人才引进与流动, 也将促进土壤环境和土壤修复学科的建设与技术应用发展<sup>[7,9]</sup>。

#### 4.6 土壤修复产业发展需求

我国环境修复产业的发展潜力巨大。虽然我国土壤环境修复产业刚刚起步, 但是正在快速增长, 产业链在逐步形成。土壤修复产业的发展, 受

到上述政策、法律、标准、技术、资金、人才、行业文化等因素的制约, 同时也受到商业模式、工程实施与管理规范, 以及工程复杂性和风险性的影响。创新中国式的商业模式, 建立修复行业的准入机制、市场秩序和行业规则, 规范行业竞争, 明确产业化各方责任, 加强产—学—研—金—管的合作与交流, 实现修复产业的各方共赢, 有利于土壤环境修复产业的良性发展。我国区域发展不平衡, 需要区域差别的环境修复产业化推进机制。场地修复是去污染、复质量、再开发、保安康的民生工程, 需要科学、技术、工程和管理的支持<sup>[4,7]</sup>。发展绿色、可持续的场地修复产业, 是我国土壤与地下水环境保护的需要, 也是使我国这一新兴战略环保产业进入国际环境修复市场竞争的需要。创新场地修复技术与装备, 促进土壤修复新兴环保产业发展, 是全面促进土壤环境保护, 保障城市生态建设与经济社会可持续发展的需要。

#### [参考文献]

- [1] 骆永明. 中国土壤环境污染态势及预防、控制和修复策略 [J]. 环境污染与防治, 2009(12): 27-31
- [2] 赵其国, 骆永明, 滕应. 中国土壤保护宏观战略思考 [J]. 土壤学报, 2009(6): 1140-1145.
- [3] 骆永明. 中国主要土壤环境问题与对策 [M]. 南京: 河海大学出版社, 2008
- [4] 骆永明. 中国土壤环境和土壤修复科学技术研究现状与展望 [R] // 中国科技协会. 土壤学学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2011: 134-136
- [5] LUO Y M, CHEN M F, SONG J et al Proceedings of the 1<sup>st</sup> international workshop on site remediation policies technologies and financing mechanism [C]. Nanjing 2010
- [6] LUO Y M, JAPENGA J MCGRAITH S P, et al Proceedings of SoilRem 2008 [C] // The 3<sup>rd</sup> international conference on soil pollution and remediation Nanjing 2008
- [7] 骆永明. 土壤修复学——土壤科学和环境科学的新兴学科 [G] // 浙江大学《纪念朱祥祥院士诞辰 90 周年文集》编辑委员会. 纪念朱祥祥院士诞辰 90 周年文集. 北京: 科学出版社, 2006: 201-208.
- [8] 骆永明. 污染土壤修复技术研究现状与趋势 [J]. 化学进展, 2009, 21: 558-565
- [9] 骆永明, 马奇英, 马建锋, 等. 土壤环境与生态安全 [M]. 北京: 科学出版社, 2009