

国内土壤污染现状、特点和 一些修复浅见

薛祖源

(中国天辰工程有限公司,天津300400)

摘要:介绍了国内土壤污染现状及其特点,以及欧美等国对土壤修复概况,并对各种修复技术方法进行对比。现国内对此刚起步,无成熟经验,先选取几个土壤污染类型修复进行示范,待取得成功经验再推广。

关键词:土壤污染;土壤修复技术;镉米;原地修复;异地修复;有机污染物;美国国家物理实验室;POPs持久性有机污染物
中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-4320(2014)10-0001-06

Present situation, characteristics of soil pollution in China and some suggestions for soil remediation

XUE Zu-yuan

(China Tianchen Engineering Co., Ltd., Tianjin 300400, China)

Abstract: The present situation of soil pollution and its special characteristics in China is introduced. The soil remediation technologies in U. S and Europe are enumerated and compared. For China, the soil remediation is only in the beginning and without any ripe experience up to know. Therefore, only a few of typical demonstrations for soil remediation are introduced. These illustrative examples will be spread after obtaining the successful experiences. In the end, some suggestions for soil remediation are proposed.

Key words: soil pollution; soil remediation technologies; cadmium rice; *in situ* remediation; ectopic remediation; organic pollutants; NPL National Physical Laboratory; permanent organic pollutants

我国经济长期以来一直以较快速度发展,致使造成不少重复建设、产能过剩的局面,资源、能源浪费严重,这是一种消耗高、污染重的粗放型发展模式。并产生大量危害废物污染了土壤及地下水,进而危害人体健康,加之工矿企业生产的不断发展,导致其周围场地污染十分严重。同时由于工业产业结构与城市布局的变化和调整,使不少工业企业如化工、冶金等污染行业纷纷搬迁,且有不少企业出现倒闭,使国内场地土壤污染不断产生^[1-2]。

近据我国环境保护部和国土资源部联合发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示,现全国土壤环境状况不容乐观,部分地区土壤污染严重,全国现有耕地近1/5受到不同程度的污染,不少工业企业废弃场地土壤环境问题十分突出。总的来说,南方土壤污染重于北方,长三角、珠三角、东北老工业基地等部分区域土壤污染问题更为突出,西南、中南地区土壤重金属超标范围较大。全国受有机物污染的农田已达3 600万hm²,受重金属污染土地达2 000万hm²,且其中严重污染土地超过70万hm²,而13万hm²土地因镉含量超标而被迫弃耕。

由于土壤是人类社会生产活动的重要物质基础,是不可缺少且较难再生的自然资源,这些未经处理的污染土壤将是人类生存的定时炸弹,一旦大面积爆发将会对国家可持续发展造成难以估量的损失,所以必须下决心对土壤预防污染和对已污染土壤进行修复。要在深入全面调查的基础上,抓紧编制规则,千方百计由政府、社会、企业共同组织来加强管理并进行修复。现修复的主要方法可通过物理、化学和生物方法使土壤中污染物转移、吸收、降解,如转化土壤中的污染物,使其浓度降低到可接受的水平,或将有毒有害的污染物化为无害物质,再使其得到合理利用。

进行土壤修复必先弄清污染源的情况,并通过有效方法加以修复,以恢复土壤的正常功能。据悉国外已有土壤修复技术达到100多种,而常用的也就10来种。

我国土壤修复工程及技术才刚起步,长期停留在实验室阶段,缺乏经济、有效的土壤修复技术,更缺乏产业化成熟经验。国内现有少数土壤污染场地正进行修复,在这些示范工程项目实施完毕认为有

效,并取得一定经验后再有计划地进行推广。

1 国内土壤污染概况及其特点^[1,3]

据环保部组织调查全国土壤污染环境状况显示,土壤采样总的点位超标率为 16.1%,其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为 11.2%、2.3%、1.5% 和 1.1%。从污染物类型来看,以无机物型为主,有机型次之,复合型污染比较少。

从污染元素超标情况来看,镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铜(Cu)、铅(Pb)、铬(Cr)、锌(Zn)、镍(Ni) 8 种无机污染物点位超标率分别为 7.0%、1.6%、2.7%、2.1%、1.5%、1.1%、0.9%、4.8%。

而农药 666、滴滴涕(DDT)、多环芳烃 3 类有机污染物点位超标率分别为 0.5%、1.9%、1.4%。

从调查的 690 家重污染企业用地及周围土壤点位中,超标点位占 36.3%,主要涉及黑色金属、有色金属、皮革制品、造纸、石油烃类、化工医药、化纤橡塑、矿物制品、金属制品、电力等行业。

调查的 188 处固体废物处置场地中,超标点位占 21.3%,以无机污染物为主,垃圾焚烧和填埋场则是有机污染物,同时重金属镉污染正在加重。

早在 1955 年,日本曾发生了“镉米”事件,是由于日本富山县的农民长期用神通川上游铅锌冶炼厂的污水灌溉稻田,使土壤和稻米中含镉量增加。一般要求每公斤土壤中镉不超过 0.5 mg,当地人们食用了这种稻米造成镉在人体内积累而引起全身性神经痛等疾病,严重时甚至会死亡。

早期我国天津地区的蓟运河畔的农田因引灌被 DDT 污染的河水,三氯乙醛在土壤中积累使其变成三氯乙酸累积,而使小麦受害。

最近电视报导获悉江苏宜兴市一带邻近某企业的农田,因土壤中镉含量超过规定 20 多倍致使该地区果蔬和小麦等农产品受镉污染而减产,而当地民众对这些农产品均不敢食用。

这说明土壤受无机物污染程度较多。另从调查公报中发现有机物污染土壤也不少,亦屡屡可见农药 666、DDT、多环芳烃等有机污染物的身影,而且在工业废弃地、化工园区、垃圾焚烧和填埋场、采油区等典型地块也会受有机物污染。据国家环保部近 5 年间调查数据,随着城市的发展将有近 9 万家企业被关停或搬迁,这些工业用地遗留下来的污染场地全国至少有 30 hm²。

最近国际又提出《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》修正案,新增列了 10 种 POPs,其中

有些品种国内从未生产和使用过,如十氯酮、六溴联苯、六溴二苯醚等 3 类物质,且正式对我国生效。

虽污染类型大都是无机物,但今后有机物对土壤污染程度亦将越来越被重视,并上升到国际层面。

按照《国家环境保护“十二五”科技发展规划》中要求,在“十二五”期间将投入 20 多亿元用于土壤污染治理。土壤的修复技术很多,现还没有哪一种修复技术可以适用所有污染土壤的修复。正是由于土壤污染的复杂性使修复难度大,因此土壤修复工作已成为当今环境科学研究的热点而极具挑战性。而与国外相比较,我国对土壤污染的修复研究则起步较晚。

总之,现国内土壤污染归纳起来有以下一些特点。

(1) 土壤污染具有隐蔽性和滞后性,往往要通过有代表性的土壤样品经系统分析、农作物检测,甚至人畜健康的影响研究才能确定其性质。

(2) 土壤污染与大气、水体相比,污染物更难在土壤中迁移、扩散和稀释,所以在土壤中将不断积累。

(3) 土壤污染具有不均匀性。由于土壤性质差异较大,而且污染物在土壤中迁移慢,导致污染物在土壤中不均匀性。

(4) 重金属污染土壤因其难以降解。导致重金属对土壤的污染基本上是一不可完全逆转的过程,另外土壤中的许多有机污染物也需要较长的时间才能降解。

(5) 土壤污染一旦发生,仅仅依靠切断污染源的方法则难以修复。

2 国外对污染土壤修复方法简介

当今世界上发达国家及地区对环境保护比较重视,如环境产业的土壤修复已占整个环保产业的市场份额高达 30%~50%。

而据网上查询,美国亦存在大量污染场地并早在 20 世纪 80 年代初已进行了土壤修复工程,如在 1982—2005 年期间计有 1 536 个场地已列入国家物理实验所(NPL National Physical Laboratory)实施的修复工程,仅 2007 年已耗费 3.8 亿美元用于土壤修复。据估计美国完成所有污染土壤的修复将需要大量投资(2 089 亿美元以上),且大部分修复需经过 30~35 年。其所实施的土壤修复技术的变化及发展已成为当今世界各国均拟了解的信息。在 2002—2005 年度中约有 60% 污染源处理项目采用

原位修复,是由于它无需挖运土壤,修复费用低,尤其适宜深层污染介质修复,且对施工人员健康影响小等特点。如1982—2005年间977项土壤修复采用原位修复技术就有462次,占项目总数的45%,异位修复技术515项,占项目总数的52%,在所有污染修复项目中26%采用原位蒸发提取,18%采用异位固化/稳定化,11%采用异位离场焚烧。近几年多项萃取和化学处理技术已受到更多关注。而焚烧技术因可能产生二次污染,现越来越少被采用。统计情况详见表1。

表1 1982—2005年977项土壤修复技术采用统计

修复技术	项目数	所占比例/%
原位修复		
土壤蒸发提取	248	27
生物修复	53	5
多相萃取	46	5
固化/稳定化	44	5
化学处理	20	2
冲洗	17	2
热脱附	14	1
其他原位技术	20	2
异位修复		
物理分离	21	3
现场焚烧	42	4
生物修复	60	6
热脱附	71	7
离场焚烧	105	11
固化/稳定化	173	18
其他异位技术	43	4

欧洲根据各国国情,所采用的土壤修复技术存在明显的差异。欧洲运用原位和异位热脱附、原位和异位生物处理、原位和异位物理/化学处理技术修复污染场地的项目占有所有统计项目的69.17%。其中原位热脱附、原位生物处理和原位物理/化学处理修复技术占35.00%,异位热脱附、异位生物处理和异位物理/化学处理修复技术占34.17%,二者比重相当,其他修复技术占30.83%。实际工程实施中,生物处理技术运用得最多,占到总数的35.00%,其中原位生物处理占18.33%,异位生物处理占16.67%。土壤作为废弃物而不作为再生资源处理(包括挖掘处理技术、污染场地管制等)的工程项目在欧洲仍然占有较大比率(37%)。欧洲各国采用

的土壤修复技术概括见表2。

表2 欧洲各国采用的土壤修复技术情况统计

国家及采用技术	所占比例/%	国家及采用技术	所占比例/%
奥地利		意大利	
异位生物处理	3	原位生物处理	16
异位物理/化学处理	16	原位物理/化学处理	19
异位热脱附	32	异位生物处理	22
其他	49	异位物理/化学处理	6
比利时		其他技术	37
原位热脱附	25	西欧德、法等国	
原位生物处理	25	原位生物处理	6
异位生物处理	24	异位生物处理	20
异位物理/化学处理	26	原位物理/化学处理	15
捷克		异位物理/化学处理	20
原位生物处理	35	异位物理/化学	17
原位物理/化学处理	12	异位热脱附	5
异位生物处理	33	其他	17
异位物理/化学处理	5	卢森堡	
异位热脱附	3	原位热脱附	3
其他技术	12	异位生物处理	37
芬兰		异位物理/化学处理	45
原位物理/化学处理	12	异位热脱附	15
其他技术	86	拉脱维亚	
原位热脱附	2	原位生物处理	50
匈牙利		其他技术	50
原位生物处理	12	斯洛伐克	
原位物理/化学处理	22	原位生物处理	16
异位生物处理	4	原位物理/化学处理	7
异位物理/化学处理	18	异位生物处理	55
其他技术	44	异位物理/化学处理	22

3 各种土壤修复技术方法对比分析

从网上查阅得知,土壤修复技术已在世界各国得到重视和应用。国内的土壤污染较复杂,因为污染物往往是混杂的,所以处理难度较大,所需费用较多,处理周期长,而土壤修复工作在我国才刚起步。

近年来土壤修复在政府部门的重视和支持下,正在开展多种类型土壤修复技术和设备开发等工作,同时选择一批修复工程作为示范。

根据国外经验,常用土壤修复技术大体归纳为以下几种,究竟采用哪种修复技术要根据污染土壤

的特点采集代表性样品进行实验后才能确定。

(1)热力学修复技术。利用热传导、热毯等或热辐射、无线电波加热等实现对污染土壤的修复。

(2)热解吸修复技术。以加热方式将受有机物污染的土壤加热至有机物沸点以上,使吸附在土壤中的有机物挥发成气体后再分离处理(如江苏南京燕子矶即原南京化工厂与国外合作采用)。

(3)焚烧法。将污染土壤在焚烧炉中焚烧,使高分子质量的有害物质形成挥发性/半挥发性,分解成小分子的烟气,经过除尘、冷却和净化处理使烟气达到排放标准。

(4)土地填埋法。将废物作为一种泥浆再将其施入土壤,通过施肥、灌溉、添加石灰等方式调节土壤的营养、温度和 pH,保持污染物在土壤上层的好氧降解。

(5)化学淋洗。借助能促进土壤环境中污染物溶解和迁移的化学/生物化学溶剂,在重力作用下或通过水头压力推动淋洗液注入到被污染的土层中。然后再把含有污染物的溶液从土壤中抽提出来,进

行分离和污水处理的技术。

(6)堆肥法。利用传统的堆肥方法,堆积污染土壤,将污染物与有机物、稻草、麦秸、碎木片和树皮、粪便等混合起来,依靠堆肥过程中的微生物作用来降解土壤中难降解的有机污染物。

(7)植物修复。运用农业技术改善土壤对植物生长不利的化学和物理方面的限制条件,使之适用于种植,并通过种植优选的植物及其根际微生物直接或间接吸收、挥发、分解、降解污染物,恢复重建自然生态环境和植被景观。

(8)渗透反应墙。是一种原位处理技术,通过浅层土壤与地下水构筑一个具有渗透性、含有反应材料的墙体,污染水体经过墙体时其中的污染物与墙内反应材料发生物理、化学反应而被净化除去。

(9)生物修复。利用生物,特别是微生物催化降解有机污染物,从而修复被污染环境或消除环境中污染物的一个受控或自发进行的过程。其中微生物修复技术是利用微生物,土著菌、外来菌、基因工程菌对污染物的代谢作用而转化、降解污染物,主要

表 3 各种修复技术的特点及适用的污染类型

类型	修复技术	优点	缺点	适用类型
生物修复	植物修复	成本低、不改变土壤性质、没有二次污染	耗时长,污染程度不能超过修复植物的正常生长范围	重金属、有机物污染等
	原位生物修复	快速、安全、费用低	条件严格,不宜用于治理重金属污染	有机物污染
	异位生物修复	快速、安全、费用低	条件严格,不宜用于治理重金属污染	有机物污染
化学修复	原位化学淋洗	长效性、易操作、费用合理	治理深度受限,可能会造成二次污染	重金属、苯系物、石油、卤代烃、多氯联苯等
	异位化学淋洗	长效性、易操作、深度不受限	费用较高,淋洗液处理问题,二次污染	重金属、苯系物、石油、卤代烃、多氯联苯等
	溶剂浸提技术	效果好、长效性、易操作,治理深度不受限	费用高,需解决溶剂污染问题	多氯联苯等
	原位化学氧化	效果好、易操作、治理深度不受限	适用范围较窄,费用较高,可能存在氧化剂污染	多氯联苯等
	原位化学还原与还原脱氯	效果好、易操作、治理深度不受限	适用范围较窄,费用较高,可能存在氧化剂污染	有机物
	土壤性能改良	成本低、效果好	适用范围窄、稳定性差	重金属
物理修复	蒸汽浸提技术	效率较高	成本高、时间长	VOC
	固化修复技术	效果较好、时间短	成本高、处理后不能再农用	重金属等
	物理分离修复	设备简单、费用低、可持续处理	筛子可能被堵,扬尘污染,突然颗粒组被破坏	重金属等
	玻璃化修复	效率较好	成本高,处理后不能再农用	有机物、重金属等
	热力学修复	效率较好	成本高,处理后不能再农用	有机物、重金属等
	热解吸修复	效率较好	成本高	有机物、重金属等
	电动力学修复	效率较好	成本高	有机物、重金属等,低渗透性土壤
	换土法	效率较好	成本高、污染土还需处理	有机物、重金属等

用于土壤中有有机污染物的降解。通过改变各种环境条件如营养、氧化还原电位、共代谢基质,强化微生物降解作用以达到治理目的。

各种修复技术的特点及适用的污染类型见表3。虽然土壤的修复技术很多,但没有一种修复技术适用于所有污染土壤,相似的污染类型亦会因不同的土壤性质有不同的修复要求。土壤修复后作何用途等因素往往也会限制一些修复技术的使用,但大多修复技术在土壤修复后亦会或多或少带来一些副作用,并且往往因费用高,周期长而受到影响。

4 国内几个土壤污染修复示范工程介绍^[2,4-7]

(1)南京栖霞燕子矶“小南化”(即原南京化工厂等)地区的“病土”修复。

江苏是仅次于山东的化工第二大省,化工企业数量数以百计,而且部分地区中小化工企业居多。由于有毒土壤未经修复则不能使用,形成一边是闹建设用地荒,一边是大量土地资源被闲置。

笔者曾在20世纪50年代到访过,该地区占地700亩,早先主要是生产硝基苯、硝基氯苯、染料中间体及橡胶助剂等有机产品,因此厂区土壤长期受到有机物及酸性污染。据南京环科所专家介绍,化工企业搬走后多种重金属、多环芳烃、氯、苯等有毒有害化学物质残留在土地里,当土壤一旦“中毒”,其毒性释放时间可能达数十年甚至上百年。若不加以修复治理将无法他用。为此江苏省政府下决心要修复该地块,现已从美国引进GTR修复技术,对小南化地区的病土进行修复,然后渐次在全省污染土壤修复中推广。

所引进的GTR技术的原理是首先在土壤适当深处埋入管道,然后进行加热,温度100℃以上,经一定时间后,使土壤中的苯、汞、二噁英等有害物质在较高温度下被蒸发出来并配有真空抽离设施,将逸出的有害气体物质收集起来,再进行最后处理。

目前修复重点就是尽量把土壤的风险解除,将危害性降低到最低,究竟修复技术效果如何,由于目前还没有一个统一标准,但是首要的要求就是治理后的土壤不能影响人们的健康,并符合生态的要求。

(2)绍兴是我国印染业集中的地区,土壤污染情况十分严重,当地政府、民众对于土壤治理要求十

分迫切。绍兴益壤环保科技有限公司针对印染企业污染土壤中既有重金属,也有有机物污染,且面积非常大,开发出了分别针对重金属和有机污染的环境修复药剂,其中一种快速降解硝基苯类化合物的处理药剂配方和一种降低多种重金属浸出浓度的新型环保药剂将予以实施,正在进行绍兴三江斗门和滨海地区土壤污染的筛查工作,随后将展开对相关污染的治理。

(3)湖南湘江流域重金属治理示范试点。

该治理工程由永清环保公司推出离子矿化稳定化修复技术。据悉该技术已属国内领先水平,并与国外RAW公司合作解决铬污染土壤修复技术难题。主要着眼解决湖南湘江流域重金属污染治理。

此外铁汉生态公司以生态修复为着力点,并于2013年11月负责湖南郴州三十六湾西河流域重金属污染治理重点工程。该工程已纳入国务院批复的重金属污染治理试点工程。另据悉国外已采用菜子油进行加压萃取分离重金属锌、镉的技术。

(4)广西龙江河镉污染事件发生后,在上级关怀和当地省政府支持下,已组织由广西大学化学化工学院与有关企业联合对含砷含硫有色金属的污染开展处理技术开发及示范点工作,现已取得突破性成果,日后经鉴定可作为推广经验。

(5)为了防止固体废物污染土壤,上海市化学工业区与南通市合作引进国外苏伊士集团的先进技术,在南通建成年处理30000t危险固体废物工厂,并将严格按照国际安全标准管理及生产,这种利用国外先进技术来解决固体废物不污染土壤的办法值得借鉴。

(6)北京市焦化厂区土壤修复采用国内首套自动吸附处理系统,为避免系统处理过程中产生有害气体的二次污染,在现场修建了5个5000m²膜结构大棚,将污染土壤在密闭车间内进行破碎、分筛等预处理工作,对挥发出来的有毒气体采用活性炭吸附的方法进行深加工,以期确保预处理车间及修复设备排放指标均能达到相关标准,并由各方面进行监测。

5 对国内污染土壤修复工作几点浅见^[1-2,4,6-7]

国内土壤污染源十分复杂,且种类繁多,有化学污染、物理污染和生物污染,其中化学污染最为普遍且严重复杂。当土壤被有毒化学物质污染后,对人

体有间接影响,主要通过农作物、地面水或地下水对人体产生影响,为此提出下列一些有关污染土壤修复工作的浅见。

(1)近日,国家环保部编制出台《土壤环境保护和污染治理行动计划》并启动全国土壤污染详细调查,这是十分必要的。首先弄清污染土壤中的污染物名称、含量、种类、污染面积,并要了解其历史沿革,即形成过程,了解它对植物和地下水的污染情况,该地块一旦经修复后作何用等,以便根据这些污染情况提出下一步修复办法。

例如,生产过磷酸钙的工厂周围,土壤中砷和氟的含量会显著增高,再如铅、锌冶炼厂周围的土壤要受到铅、锌、镉等的严重污染。镉对人体是有害的,当通过食物链进入人体,将引起慢性中毒。铅影响造血系统引起贫血并对神经系统有损害等。被农药等有毒化学物质污染的土壤,如再通过雨水冲刷,将会污染水源并导致农作物减产,甚至有可能引起农产品中污染物超标进而危害人体健康。

总之,污染土壤好比是得了病的土壤,一定要在修复前弄清楚才能对症下药来确定可行的修复方案。

(2)要根据规定(或可参照国外的要求)采集不同点的土壤样品及地下水样品,经过严格分析化验,并且一定要由经权威部门认可的化验单位来分析。如美国有其国家专门的物理化验所(NPL)负责化验。而目前我国有的地方因技术力量及设备仪器不足,尚难来承担这些任务,且根据化验分析结果还要能承担开发研究,提出各种可行修复技术方案,供实施公司或企业承接这一任务。

(3)当前我国要加快土壤环境保护的立法工作使之有章可循,且对污染场地必须严格按照程序来开展工作,决不能粗略估计,一定要对所有污染做历史性调查,了解该场地的水文地质情况,以及污染分布,并认真按规程对土壤及地下水采集具有代表性多点样品进行分析,经承接单位做工程实施探索,并同时经实验室验证和模拟放大实验,然后以此作为下一步工程实施阶段的依据,当修复达到规定时间后,再要经3~5年进行长期跟踪监测以观其效果,方能正式验收合格。近悉全国人大环资委对此环保立法编就初稿,即将交付审议通过。

(4)土壤修复工作往往耗时长且费用大,为此各地有关企业如要进行土壤修复必须解决资金来

源。假设修复土地将用作住房建筑及建设公用设施等,应由土地利用方及当地政府部门来承担相当数目费用;若仍为工业企业使用则所需费用要由企业自负为主。近日武汉市青江一带按市调整规划后出让土地的增值收益,市区政府所得部分返还给企业用于搬迁土壤修复改造等费用。

(5)要严控源头污染,不能等到土壤污染后再来治理,并要全面推行清洁生产,为此应加快企业技术改造,提高企业科技创新能力,并以全面推行清洁生产为重要内容。

(6)由于土壤修复在国内刚起步,缺乏成熟经验,在条件许可的情况下,建议引进国外先进修复技术或与国外公司合作来进行污染土壤的修复工程。

(7)2013年3月国家出台的《“十二五”规划纲要》中明确将节能环保列为七大战略新兴产业之首,其中土壤修复已列入环保产业发展重要内容,并明确提出要强化土壤污染防治监督情况。为此,拟由上级有关部门组织土壤修复监督技术人员培训班来培养一批素质好、水平高的监管技术队伍以适应日后发展需要。

(8)当前土壤修复行业一致看好国内今后市场,为此有较多土壤修复公司或企业纷纷成立涌入市场。据称仅不到15个月内,国内就有上千个这类公司,而这一大批这类公司/企业是否都有成熟可靠的经验值得深思,诚然其中有一批公司是具有较强技术力量及经验的,但绝不能任其一哄而上来骗取利益。建议国家有关部门要对这类公司/企业组织专家评估,经资质论证认可后再准许上市。

参考文献

- [1] 编者. 中国大百科全书——环境科学[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2002: 384-386.
- [2] 罗阿华. 十亿土壤治理市场有望开启修复技术、膜材料检测设备概念股面临机遇[N]. 中国化工报, 2014-02-28(7).
- [3] 王云立. 引进国外先进技术净化“小南化”地块——江苏土壤修复用上“地暖”[N]. 中国化工报, 2014-04-24(6).
- [4] 黄永卓. 防治重金属污染, 亮出“十八般兵器”[N]. 中国化工报, 2014-03-26(5).
- [5] 翁国娟. 做被污染土壤的“医生”——绍兴益壤环保科技有限公司修复污染土壤纪实[N]. 中国化工报, 2014-04-21(2).
- [6] 陈传武. 44年老化企搬出新天地[N]. 中国化工报, 2014-05-13(8).
- [7] 陈丹江. 土壤修复还城市一片净土[N]. 中国化工报, 2014-07-15(6). ■