

国际环境动态

2017 年第 6 期专题

(总第 146 期)

主办：环境保护部国际合作司

承办：环境保护部环境保护对外合作中心

(环境保护部环境公约履约技术中心)

2017 年 8 月 22 日

欧盟土壤污染防治经验与启示

土壤污染已经成为严重的环境问题。污染场地（又称为“棕地”）是土壤污染的典型形式，若得到有效修复和管理，可以为城市发展提供良好的资源；若因法律责任不明晰、资金缺乏等因素而弃之不用，或未被妥善修复，它们不仅将对公众健康和环境构成严重威胁，而且将成为制约地方经济发展的瓶颈。

很多发达国家，诸如美国、加拿大和欧盟及其成员国，均在土壤污染环境管理方面积累了丰富的经验，制定了系统且被实践

证明有效的棕地管理框架。本文总结分析了欧盟及其成员国（英国、荷兰、德国）在土壤环境管理方面有关的政策、法律、法规（表 1），对中国建立土壤环境管理框架有重要的借鉴意义。

表 1 部分欧盟国家颁布的土壤环境管理政策、法律和法规

国家	政策、法律和法规名称	实施时间
丹麦	《土壤污染法》	1983
荷兰	《土壤保护法》	1987
意大利	《土壤保护法》	1989
英国	《环境保护法第 IIA 部分:污染土地》	1990
法国	《国家土壤修复与清洁治理政策》	1993
德国	《联邦土壤保护法》	1999
西班牙	《皇家法令第九部》	2005

一、欧盟及其成员国的土壤污染管理政策与法规

（一）英国

目前，英国污染场地界定是在风险评估基础上确定的。有关污染场地管理的最重要的法规是 1990 年《环境保护法案》第 2A 部分的规定。第 2A 部分在 1995 年《环境法案》纳入《环境保护法案》，并分别于 2000 年 4 月在英格兰、2000 年 7 月在苏格兰、2001 年 7 月在威尔士开始施行。其他涉及污染场地的法律法规包括：《规划政策声明》、《水资源法》和《金融法》等。与美国不同，英国土壤环境管理比较保守，将主要的监测和执法权下放到地方政府，鼓励污染者或者开发商主动修复污染土地，并且规定只有在其他途径无法解决的情况下，才可用国家地块监管框架进行管理。截止至 2014 年，英国受污染地块都是通过规划系统（转变规划用途）驱动或者自愿的方式进行治理与修复。

污染地块修复费用按照“污染者付费”原则由污染者承担，在无法确定污染者的情况下，修复费用由纳税人承担。除政府用税收承担土壤修复成本外，地方授权机构和英国环境署还会获得其他资助，用于土壤调查和污染修复。

（二）德国

1. 土壤环境管理框架

德国政府在 1985 年制定了联邦土壤保护战略，确定了扭转土壤恶化趋势、降低污染程度等土壤保护目标，将土壤保护列为环境保护的重点任务，提出了修改立法、更新技术标准、设立长期监督机制等意见。1998 年，德国通过了专门针对土壤保护的《联邦土壤保护法》，并于 1999 年开始实施《联邦土壤保护和污染地块条例》。目前，德国主要采取 3 种措施治理土壤污染：一是清除污染源，例如挖掘污染土壤进行处理；二是隔离封闭，如把污染物固封起来，避免污染地下水或者空气；三是保护与限制，如限制人群接近受污染土壤。通常情况下，三种措施需综合应用。政府部门为污染治理企业提供治理指南，给予指导。对于没有资金或者不需要马上修复的污染地块，则单独隔离并进行跟踪监测。

2. 土壤环境法律法规

德国为了应对土壤环境问题，已构建了以欧盟相关土壤保护指令和政策为指导，以《联邦土壤保护法》为核心，以《联邦土壤保护与污染场地条例》、《循环经济与废弃物管理法》、《联

邦污染控制法》、《肥料法》和《土壤评价法》等联邦法律为配套，以地方各州土壤保护法为补充的土壤环境保护法律体系。

德国 1999 年实施的《联邦土壤保护法》是联邦层面关于土壤环境保护的专门立法。该法规定每个土地所有者和使用者，或可能致使土壤特性改变的行为人有防止和清除土壤污染的义务。联邦政府有权基于土壤的价值和有关要求颁布相应的行政法规。

根据《联邦土壤保护法》的规定，德国联邦政府于 1999 年 7 月 17 日颁布了《联邦土壤保护与污染场地条例》。该条例主要就可疑场地的调查和评估、土壤不利转变和污染场地的修复、水土流失引起土壤不利转变的预防、土壤不利转变形成的风险预防等内容进行了规定。

（三）荷兰

1. 土壤环境管理框架

由于历史等原因，荷兰《土壤保护法》对 1987 年以前造成的污染进行了特殊区分，1987 年前的称为“历史性污染”，与其后造成的“新污染”区分开来。法律中主体内容主要对该划分日期之后的土壤污染进行了责任认定。对于 1987 年以前的污染，经法庭裁决判定，污染者可免于承担责任，政府将负责修复并承担相关费用。

荷兰防治土壤污染的原则是预防优先，对污染土地根据其严重程度纳入可持续管理或进行污染治理与修复。根据这一原则，荷兰政府采取了一系列措施：加强土壤管理制度建设，不断完善

相关法律及标准，向社会公众开放土壤污染地块数据、土壤修复项目进程，向企业提供土壤修复技术支持等。荷兰大体有两类污染土地：一是大面积污染，但污染不严重；二是小面积污染，但污染非常严重。对于大面积非严重污染区，治理的宗旨是维持现状；对于小面积严重污染区，政府经过多年准备，已经从 1980 年开始逐一彻底治理。根据荷兰中央政府公布的信息，在 2015 年基本完成所有重污染区修复，在 2030 年完成其余轻度污染区修复。

2. 土壤环境法律法规

荷兰是欧盟成员国中最先制定土壤保护专门立法的国家之一，荷兰于 1983 年制定出台《土壤修复临时法》，1987 年荷兰对《土壤修复临时法》进行修订后颁布了《土壤保护法》。荷兰的土壤政策在随后的 20 年里逐渐发展，主要发展进程包括：修复标准的修订；土壤质量目标和风险评估程序的制定；增加地方当局管理污染场地的灵活性；鼓励当地居民参与决策过程；土壤污染在迁移和稳定情况下的区别；以及激励土壤修复的私人融资。2009 年荷兰修订了《土壤保护法》后，首先制定法律标准（即干预值），以此作为规范土壤修复工作的一部分。

（四）欧盟

在过去的二十、三十年时间里，土壤保护政策在欧洲国家（特别是英国、德国和荷兰）和欧盟层面均得到了逐步发展。为防止新的土壤污染的发生，以及修复现有的污染土壤，欧盟计划采取

新的措施，其中包括编制污染场地名录和制定目标值，以确定需要优先进行修复的场地。预计这些计划将对欧盟的土壤管理实践和欧洲国家的土壤政策产生重要影响。

为了加强对欧洲土壤保护，应对日益严重的土壤污染及退化问题，欧盟委员会于 2006 年 9 月 22 日通过了《土壤主题战略》，内容包括：提出土壤保护和可持续利用的立法框架建议，目的是将土壤保护融入到国家层面和欧盟层面的政策之中；宣传有关土壤功能知识；提高公众认识的措施。2007 年 11 月，欧洲议会通过了《土壤框架指令建议书》，指令建议书规定，欧盟成员国在制定共同的原则、目标和行动方案来指导土地使用计划和管理时，可以根据本国的实际情况因地制宜采用相关措施。

这个框架要求成员国采用系统性的方法确认并防止土壤退化，与土壤退化做斗争。成员国也必须将土壤保护融入到其他政策，特别是农业、地区发展、交通等方面的政策之中。成员国必须确认有被侵蚀、有机物质减少、土壤板结、土壤密封、土壤盐碱化和水土流失风险的区域，以及存在上述情况的土壤。在销售潜在的受污染的不动产时，交易中必须有由买家或卖家提供给政府和其他交易主体的土壤环境质量状况报告。成员国必须采取措施来减轻土壤环境风险，列出受污染场地的污染物清单、建立国家土壤修复计划。国家行动方案必须包含为清除闲置无主场地污染和开发棕色地带场地的基金保障机制。2012 年 2 月 13 日欧盟委员会通过了《土壤主题战略的实施报告》，较为详细地汇报了

该土壤主题战略从 2006 年通过以来的实施情况和目前正在进行的
的活动。

二、欧盟土壤污染风险评估技术与标准体系

（一）欧盟土壤污染风险评估的发展历程

早期的土壤污染环境管理主要停留在调查与修复这两个阶段，并且对修复的要求比较苛刻，几乎都要求达到清洁的水平或标准，由此也投入了大量的人力和物力，然而真正能够修复达到清洁标准的场地寥寥可数。1995 年左右，英国、美国等国家相继提出了污染场地风险评估的概念，将风险管理的思想与策略融会到污染土壤（场地）的管理之中，基于风险的场地管理理念日益受到重视，并在许多国家发展和演化为完善的风险评估体系。

国际上基于环境质量的风险管理体系正在不断发展和完善。20 世纪 80 年代末，世界经济合作与发展组织提出了压力-状态-响应框架（PSR）模型；1996 年联合国在此基础上提出了驱动力-状态-响应框架（DSR）模型；2000 年欧盟环境署（EEA）在综合前两者优点的基础上，提出了驱动力-压力-状态-影响-响应体系（DPSIR）的区域土壤环境管理模型，用于预测经济社会发展过程中区域环境质量变化趋势。模型中的“状态”部分就是要了解区域土壤环境质量现状及其变化趋势，而对其影响的研究和采取的响应措施则是风险管理的重要内容。在土壤污染的风险管理方面，美国、英国、荷兰等一些发达国家已经开展了相当长时间的研究，奠定了方法学基础，积累了丰富经验。这些国家均先后

开发了多个具有污染土壤风险评估功能的信息系统或系统模块，例如美国的 RAIS 系统、英国的 CLEA 模型和荷兰的 CSOIL 模型等，并基于这些风险评估模型制定了全国范围的土壤环境标准和污染土壤的修复决策支持系统。

（二）欧盟土壤污染风险评估技术体系

欧盟环境保护工作起步较早，对污染土壤的风险评估做了大量的工作，并取得了很大的成就。世界卫生组织（WHO）于 1980 年成立化学物质安全国际项目（IPCS），综合各国的研究成果，为各国评价因化学物质暴露造成的人体健康和环境危害提供了科学基础。在此基础上西方一些国家分别建立了自己的土壤风险评估体系。欧盟 16 国于 1996 年完成污染场地风险评价协商行动指南，加强欧盟国家污染场地调查和治理的理论指导和技术交流，欧洲环境署于 1999 年颁布了环境风险评估的技术性文件，系统介绍了健康风险评估的方法与内容。欧盟在第 4 和第 5 框架计划下启动了多项针对污染土地和水资源保护的研究项目，其成果形成了多个具有指南性质的技术报告，与风险评价相关的技术文件有《风险评价技术指导文件（共 4 册）》，《污染土地生态风险评价：为特定场地的调查提供决策支持》，《污染场地地下水风险评价指南》等。

英国、荷兰等欧洲国家的风险评估体系也相继建立起来。英国环境署颁布了一系列涉及污染土地健康、生态和地下水风险评价的技术指南和报告，如构建和制定了《污染土地暴露评价》

(Contaminated Land Exposure Assessment, CLEA)模型和一系列的技术支撑文件,制定了《进一步开发 POPPIE 数据库:建立一种地下水污染风险评价方法》,《评价土地污染对生态系统的风险》等;英国建筑工业研究与信息协会(CIRIA)也编写了《污染土地的风险评价:良好实践指南》。挪威污染场地环境管理由挪威污染控制管理局(Norwegian Pollution Control Authority, NPCA)负责,该局制定了《污染场地风险评价指南》;荷兰的综合土壤研究计划报告《特定场地的生态风险评价:土壤污染特定功能评价的一种基本方法》提出了用于特定场地生态损害评估的基本框架。

到 21 世纪,污染土壤健康风险评估更加注重定量化和减少评估过程中的不确定性,许多学者和研究机构对多种混合污染物暴露中的相互作用与风险评估方法进行了研究。随着“3S”技术的发展,大尺度暴露风险的空间分布规律越来越受到关注。例如, Pennington 等建立了多介质归宿与空间分异结合的暴露模型,来研究西欧污染物释放—传输的多介质暴露风险,从而提高了评估的准确度。在生态风险评估方面,一些国家和组织在评估的理论和方法上也取得了一系列的研究成果,并制定了相关的导则和技术文件,用于环境管理和决策支持。欧盟委员会(EC)制定了《风险评估的技术导则文档》;荷兰公共健康与环境研究所(RIVM)建立了一系列的生态毒理学评价方法和模型以及基于生态毒理学评价的有害风险浓度;经济合作与发展组织(OECD)

和国际标准化组织（ISO）在污染土壤生态毒理学测试方法的标准化方面开展了许多研究，已经出版了 20 多种测试土壤污染物毒性的标准化方法；另外，英国环境署、加拿大环境部长委员会（CCME）和澳大利亚国家环保委员会（NEPC）等对污染土壤的生态风险评估制定了一系列技术和方法的规范。经过近十多年的研究和运用，污染土壤生态风险评估的一些基本技术导则和方法体系在部分发达国家已经初步建立。同健康风险评估一样，生态风险评估已受到全世界的关注，相关的研究在不断地深入和拓展。

（三）欧盟土壤污染风险筛选指导值

土壤筛选值或指导值是开展土壤污染风险筛选的基础。许多欧盟国家都制定了基于风险、基于国情的土壤筛选指导值。不同国家对土壤筛选指导值的命名方式各有不同，如土壤筛选值、干预值、指导值等（表 2）。

表 2 部分欧盟国家制订的土壤筛选指导值名称及使用功能

国家	时间	指导值名称	功能	保护目标	污染物项目数
英国	2009	土壤指导值(SGV)	土壤评估	健康	10
荷兰	2000	干涉值	修复、行动或评估	健康和生态	75
挪威	1999	土壤质量指导值	土壤评估	健康和生态	42
德国	1999	启动值	土壤评估	健康	27
	1999	行动值	修复或改变用途	健康	9
	1999	警戒值	土壤持续保护	健康和生态	10
丹麦	1995	土壤质量标准	土壤评估	健康	46
	1995	土壤临界标准	修复目标	健康	10
瑞典	2002	污染土壤指导值	土壤评估	健康和生态	43
瑞士	1998	指导值	采取预防措施	健康和生态	13
	1998	启动值	土壤评估	健康和生态	7
	1998	清洁治理值	土壤修复	健康和生态	8
奥地利	2000	启动值(TV)	土壤评估	健康	16
	2000	干预值(IV)	土壤修复	健康	16
比利时	1999	土壤背景值	背景指示	背景	58

佛兰德	1999	土壤清洁标准值	评估/修复	健康	56
比利时 瓦隆	2005	参考值(RV)	背景指示	背景	24
	2005	启动值(TV)	风险评估	健康和生态	24
	2005	干预值(IV)	修复/风险管理	健康和生态	24
比利时 布鲁塞尔	2004	土壤指导值	风险评估	健康和生态	64
芬兰	1997	阈值	风险评估	健康和生态	50
	1997	低指导值	住宅用地修复	健康和生态	50
	1997	高指导值	工业用地修复	健康和生态	50
法国	2002	土壤资源定义值(VDSS)	评分和分级排序	健康	90
	2002	效应说明值(VCI)	评分和分级排序	健康	90
意大利	1999	土壤阈值	修复/修复目标	健康	93
波兰	2002	土壤质量标准	土壤修复	健康	58
西班牙	2005	通用参考值(GVR)	风险评估	健康和生态	60

大部分国家在制定土壤筛选指导值时还考虑了土地の利用类型，即根据农业用地、住宅用地、娱乐用地、工业和商业用地等不同的土地用途分别制定相应的土壤筛选指导值。荷兰只制定了一套通用的土壤指导值，但其在实施特定场地的风险评估时也会根据场地的未来用途确定暴露情景和风险，并对风险大的场地优先采取修复行动。大多数欧盟国家制定土壤指导值主要是为了保护人体健康，但也有一些国家，如荷兰、瑞典、挪威等还同时考虑了保护生态受体。

从使用功能上，土壤筛选指导值一般用于污染土壤调查与评估过程中目标污染物的筛选与初步风险评估，但也有少数标准可直接作为污染土壤的修复目标值或启动土壤修复的行动值（干预值），也有为保护土壤基本功能和土地可持续发展而制订的标准值，如德国的“土壤预警值”。荷兰和瑞典的指导值可作为判断场地是否需要修复的依据，在荷兰，如果土壤污染水平超过干预值，可直接启动土壤修复；比利时的佛兰德地区（Flemish region）

只对超过土壤指导值的新污染土壤（即 1995 年 10 月 29 日《土壤修复法令》[Soil Remediation Decree]实施后污染的土壤）采取修复行动，而此前（1995 年 10 月 29 日）污染的土壤如超过土壤指导值则是启动进一步的场地调查，或根据需要开展风险评价；德国将土壤指导值分为启动值和行动值，超过启动值需要开展进一步的详细调查，超过行动值则要求采取修复行动。可见，土壤环境标准是针对不同环境管理需求和目标需要（标准的功能定位）而制订的系列标准。

英国环境署与环境、食品与农村事务部（DEFRA）于 2002 年撤销了污染土地再开发委员会颁布的土壤临界浓度值，代之以考虑不同土地利用方式下人体健康风险而制定的土壤质量指导值，为不同土地利用类型的土壤环境风险评估和预警措施提供了科学依据。荷兰环境部采用基于风险的方法建立了标准土壤中污染物的目标值、干预值及部分污染物造成土壤严重污染的指示值，土壤污染物干预值制定要求其能保护与土壤相关的 50% 的物种和 50% 的生物过程，因此，荷兰土壤环境标准中的干预值可用于污染土壤生态风险评估。

三、欧盟土壤污染修复技术体系

（一）修复决策上，从基于污染物总量控制的修复目标向基于规划用途的风险管理修复模式发展

根据这一理念，德国现有的 30 万块需要治理的地块，真正需要进行修复的只占 10% 左右。德国设计了一套指标来评估土壤

风险：分级为绿色的，主要是预防土壤恶化；黄色的，要发出警告；红色的，必须进行污染物清理和治理与修复。而荷兰将污染土地分为：大面积但污染不严重的和小面积但污染严重的两类。对于大面积非严重污染区，维持现状，控制风险；对于小面积严重污染区，政府已从 1980 年开始逐一彻底治理。

（二）总体发展上，重金属污染修复技术逐渐成为热点

纵观国际上场地污染治理技术的总体发展，重金属污染修复的比重逐年增高，目前已超过 60%。一方面是由于欧盟主要发达国家积存的有机污染场地不断减少，另一方面是有机污染物的自然降解使得低浓度污染场地集中治理的必要性减轻。但重金属污染持续加重，新增污染面积扩大，使得重金属修复技术得到大幅度发展和应用。

（三）技术选择上，采取“控源-切断暴露途径-限制受体接触”的治理思路

欧盟主要国家土壤修复的重要经验之一是搞清污染的来源与性质，而后根据具体情况有的放矢地进行防治。污染源可分为人为污染和自然污染。尤其是自然污染，有些地区土壤本身特征污染物的背景值就很高。

二是研究造成污染的途径，这对选择修复技术至关重要。重金属的价态不同，活性与毒性也不同，其形态会随酸碱度和氧化还原条件而转化，这就需要对土壤结构进行识别。干燥土壤中某些重金属元素含量很高，需要将土壤保持一定湿度才能够形成酸

碱平衡；有的时候需要让湿润的土壤保持一定干度才能保持其酸碱平衡，从而降低重金属元素的活性。

三是保护与限制，如限制人群接近污染源。对于没有资金或者不需要马上修复的污染地块，单独隔离出来并进行跟踪监测。

（四）作业方式上，应用原位修复技术的场地数量和比例不断增加

从作业方式来看，原位修复技术应用比例已经高于 50%。异位修复的运输成本与环境风险，以及现有污染场地原位修复的需求，使得原位修复技术的比例不断增加，因此原位修复技术得到了相应的快速发展。

（五）技术应用上，核心技术的耦合集成成为新的发展趋势

场地污染修复技术的研发经历从简单、单项修复技术向复杂、耦合的综合修复发展，从服务于重金属、有机物等单种污染物的修复技术向多种污染物复合污染土壤的组合式修复技术过渡。从单种污染介质的修复发展到土壤、地下水等多介质的综合集成修复，修复模式得到不断创新和发展。

四、对中国土壤污染防治治理的启示

从欧盟国家现状来看，发达国家高度关注污染场地土壤（地下水）的监管，多数发达国家有专门的土壤法律法规构建与管理配套配套的土壤环境标准值体系，并明确了土壤环境标准值的应用功能。

英国、荷兰、德国等国家对受污染场地土壤普遍采取风险管

理的理念，建立受污染土壤的风险评估方法，制定了基于风险的土壤环境标准值，用于初步筛查关注污染物（受污染区域），启动土壤污染调查和评估。

对于特定污染场地，普遍的做法是结合具体场地条件、规划土地利用方式等，开展特定污染土壤的风险评估，确定受污染土壤的修复目标值。在相关法律法规中区分和定义新增和遗留污染土壤，对遗留污染土壤施行基于风险的土壤环境标准值，对新增污染土壤实施严格的土壤环境调查和修复制度，这一做法已在多个发达国家得以实施。

针对发达与发展中国家污染场地管理的政策法规框架的研究显示，世界各国污染场地制度及其相关风险管理方法之间既有相似之处又有差异。现将各管理框架中最相关且有助于中国建立有效的污染场地管理框架的要素总结如下。

（一）为土壤污染防治专门立法

尽管各国的立法背景有所不同，土壤污染管理防治法律也有所差异，但世界上有代表性的国家和地区都经历了从分散立法到专门立法这一过程。由于中国污染场地的复杂性，中国需要一部专门的土壤污染防治法律。

（二）明确利益相关方及其责任分配

中国需要在“污染者付费原则”和执行效率之间找到一个平衡点，以避免冗长和昂贵的诉讼程序。此外，还应建立相应的基金和程序，以处理当污染者无法确定，或其污染者没有能力支付

修复费用时的污染场地修复问题。

（三）区分历史污染，实施不同追责机制

荷兰将 1987 年《土壤保护法》颁布前的土壤污染定义为“历史性污染”，由政府来负责修复和支付相关费用，而 1987 年《土壤保护法》颁布后的土壤污染定义为“新污染”，要求对责任人进行责任认定和承担相应的治理修复义务。我国也可以考虑以《土壤污染防治行动计划》（简称“土十条”）颁布的时间为分割点，在“土十条”颁布前的土壤污染，对责任人实行部分免责，而在“土十条”颁布后的土壤污染，对责任人实行完全责任追究。

（四）构建和完善土壤环境标准及风险评估体系

基于风险的土壤环境管理体系正在不断发展和完善，部分国家已开发了具有污染土壤风险评估功能的信息系统或系统模块，如美国的 RAIS 系统、英国的 CLEA 模型和荷兰的 CSOIL 模型等，并基于这些风险评估模型制定了全国范围的土壤环境标准（如筛选指导值）。土壤环境标准是开展土壤风险评价的基础，建议我国尽快构建或完善土壤环境标准及风险评估技术体系。

（五）制定“风险控制和管理”的保障政策

鉴于资源的有限性和大量场地亟待修复，应将保障重心放在如何控制和管理风险（例如，如何有效封盖阻隔场地污染扩散，改变土地用途），且将其对人类健康的危险或环境风险降至最低，而非对一个场地进行彻底完全的修复。

（六）采纳基于风险管理的修复目标

国际经验表明，全面彻底的场地修复往往过于昂贵，且修复目标的最佳水平受到场地对于其周边环境及人群的风险影响，而这又取决于场地与人居中心邻近程度和场地的规划用途。采纳基于风险管理的修复目标已成为一种良好的实践模式。

（七）建立专项基金，修复无主场地

美国以及部分欧盟国家（如法国、比利时、丹麦等）专门建立了针对污染土壤(场地)的修复基金，以处理污染责任人缺失、无法认定或污染者无力支付修复费用时的污染场地修复问题。我国也应建立稳定的专项基金，用于应对无责任人或责任人无法承担的土壤污染修复。

（八）建立可持续发展的场地修复技术决策支持系统

场地修复技术选择需要考虑相关的经济、社会、政治价值及环境效益等多种因素，优选的技术需严谨、详实，可实施性强。我国修复行业刚刚起步，需要在现有经验的基础上，进行详细的归纳总结，并借鉴国外在修复技术选择方面的经验和教训，建立一套适合我国国情的最佳修复技术的决策支持系统。

（九）开发适合我国国情的重大土壤修复专用装备

土壤修复技术的应用在很大程度上依赖于修复设备的支撑。近年来，我国采用原位热脱附、多相抽提等技术解决和处理难度大的场地修复工程逐渐涌现，同时我国场地修复工程具有工期短、技术难度大的特点，因此，研究开发集约化和模块化的专用设备是大势所趋，各模块可根据污染场地规模、土壤特性、污染物成

分及浓度的不同进行调整和优化组合，可极大降低设备安装时间、占地面积和能量消耗，提高了修复效率。此外，随着地下水修复工程的逐渐涌现，针对深层污染土壤和地下水修复的重大装备具有广阔的应用前景。

（十）研究开发经济高效的环境安全修复材料

随着对修复技术要求的逐渐提高，对环境安全的高效修复材料将会有很大需求。与国外发达国家成熟修复材料制备技术相比，我国差距明显，现阶段，我国具有市场应用价值的修复材料很少，研发与产业化脱节等问题突出，限制了修复材料的研发和市场化。因此，国内亟需定向研发实用性强、环境安全、能耗低的场地修复材料，并形成相关产品，完成产业化。

（中国环境科学研究院郭观林，颜增光，王兴润，马瑾，谷庆宝，杨敏撰写，对外合作中心温源远编辑）

报送：干杰、周英、润秋、翟青、英民、刘华、海英同志；生贤、晓青、周建同志。

分送：机关各司，有关派出机构、直属单位，国际司领导、司内各处。
