

# 《污染场地土壤修复技术导则》(征求意见稿)

## 编制说明

《污染场地土壤修复技术导则》编制组

二〇〇九年十一月

# 目 录

1 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 场地环境保护标准体系.....	1
1.3 工作过程.....	1
2 国内外场地土壤修复概况.....	2
2.1 国外场地土壤修复概况.....	2
2.1.1 美国.....	2
2.1.2 英国.....	2
2.2 国内发展概况.....	3
3 标准制订的必要性分析.....	3
3.1 场地环境管理形势要求.....	3
3.2 国家及环保主管部门的相关要求.....	3
3.3 现有相关标准的不足.....	3
4 污染场地修复过程及修复技术分析.....	3
4.1 污染场地修复过程分析.....	4
4.2 污染场地修复技术分析.....	4
4.2.1 污染场地修复技术分类.....	4
4.2.2 常用修复技术简介.....	4
4.2.3 污染场地修复技术的应用情况.....	5
5 标准主要技术内容及说明.....	6
5.1 标准适用范围.....	6
5.2 术语和定义.....	7
5.3 工作程序.....	7
5.4 评估预修复目标.....	7
5.4.1 确定预修复目标.....	7
5.4.2 技术预评估.....	7
5.5 筛选和评价修复技术.....	7
5.6 制定技术方案.....	8
5.6.1 集成修复技术.....	8
5.6.2 确定修复技术的工艺参数.....	8
5.6.3 制定场地修复的监测计划.....	8
5.6.4 估算场地修复的污染土壤体积.....	8
5.6.5 分析成本—效益.....	8
5.6.6 分析环境影响.....	8
5.6.7 修复工程管理.....	8
6 主要国家、地区和国际组织相关标准研究.....	9
6.1 各国污染场地修复相关标准.....	9
6.2 国外标准特点.....	12
6.3 本标准与国外标准的对比.....	12
7 对实施本标准的建议.....	13
8 参考文献.....	13

# 《污染场地土壤修复技术导则》编制说明

## 1 项目背景

### 1.1 任务来源

为加强场地开发利用过程中的环境管理,保护人体健康和生态环境,规范污染场地土壤修复可行性研究的程序、内容和技术要求,2008年原国家环保总局以《关于开展2008年度国家环境保护标准制修订项目工作的通知》(环办函〔2008〕44号)下达了制定《污染场地土壤修复技术导则》的任务,项目统一编号为364,项目承担单位为上海市环境科学研究院和环境保护部南京环境科学研究所,参加单位有环境保护部环境标准研究所、轻工业环境保护研究所、沈阳环境科学研究所。

### 1.2 场地环境保护标准体系

本标准属于场地环境保护系列标准,场地环境保护系列标准是土壤环境保护标准体系的重要组成部分。目前正在开展的场地环境保护标准制修订项目包括《场地环境质量评价技术规范》(已调整为《场地环境调查技术规范》)、《污染场地监测技术导则》(已调整为《场地环境监测技术导则》)、《场地土壤污染风险评价技术导则》(已调整为《污染场地风险评估技术导则》)、《受污染场地土壤修复技术导则》(已调整为《污染场地土壤修复技术导则》),上述标准构成了场地环境保护标准体系的总体框架。本标准依托《场地环境调查技术规范》、《场地环境监测技术导则》和《污染场地风险评价技术导则》为污染场地修复可行性研究提供技术指导。

### 1.3 工作过程

项目承担单位在接到标准制定任务后,迅速成立了标准编制组。编制组首先调研并系统分析了美国、加拿大、英国、意大利、澳大利亚等国家相关标准,结合国内外相关研究成果及多个实际场地修复案例,于2008年3月形成了《受污染场地土壤修复技术导则》(草案初稿)及编制说明。

2008年5月26日,在上海市环境科学研究院,课题组听取了来自全国各地土壤修复领域专家对《受污染场地土壤修复技术导则》(草案)修改的建议,完善了《受污染场地土壤修复技术导则》(草案)。

2009年,环境保护部科技标准司多次组织召开国家土壤环境保护标准制修订工作会议,这些会议反复研讨了本标准的定位、适用范围、主要内容,编制组按照会议精神进一步完善了标准文本和编制说明。

3月26日—27日,在南京召开的土壤、沉积物、固体废物中有机污染物监测方法标准体系研讨会上讨论了《受污染场地土壤修复技术导则》(草案初稿)等标准,会后编制组根据与会专家意见对本标准进行修改,编写了《受污染场地土壤修复技术导则》(征求意见稿初稿)。

5月7日—8日,在南京举行的土壤环境保护标准制修订工作会议上梳理了土壤环境保护标准体系和《土壤环境质量标准》框架结构,初步确定了场地环境保护标准体系构成,会后编制组根据会议意见完善了《受污染场地土壤修复技术导则》(征求意见稿初稿)及其编制说明。

7月20日,在北京召开的国家土壤环境保护标准制修订工作会议就土壤环境保护标准体系和正在编制的标准展开了深入讨论,协调了标准之间的关系,并建议将《受污染场地土壤修复技术导则》的名称调整为《污染场地土壤修复技术导则》,明确界定了其适用范围和

主要内容,会后本标准编制组按照会议要求赴南京参加了场地环境保护系列标准集中编写工作,在《受污染场地土壤修复技术导则》(征求意见稿初稿)的基础上修改形成了《污染场地土壤修复技术导则》(征求意见稿)及编制说明。

7月28日,在南京召开的国家土壤环境保护标准制修订工作会议对《污染场地土壤修复技术导则》(征求意见稿)等技术要点进行了深入研讨,进一步明确了本标准与其他相关标准的衔接关系。2006年8月26日,编制组赴中国环境科学研究院土壤修复研究基地汇报工作进展并听取研究基地首席专家的修改建议。

9月14日—9月30日,编制组在环境保护部环境标准研究所和《污染场地风险评价技术导则》编制组一起,协调沟通,修改完善了标准文本及编制说明。

10月19日,编制组在北京又一次深入梳理了本标准的适用范围、技术要求等,将标准的主要适用对象框定在污染场地修复项目的可行性方面。

10月29日,环境保护部科技标准司组织召开《污染场地土壤修复技术导则》开题论证会,来自北京、重庆、浙江等地的土壤修复领域专家对标准文本和开题报告进行了充分的论证,本标准编制原则、方法、技术路线可行,并建议进一步与制定中的污染场地管理规章、场地相关标准等衔接,突出技术筛选,补充技术经济成本分析,增加安全防护措施、污染土方量估算等相关内容。

开题论证会后,标准编制组在北京集中精力根据各有关方面的意见进一步完善了本标准的文本和编制说明,最终形成可以公开征求意见的《污染场地土壤修复技术导则》(征求意见稿)及其编制说明。

## 2 国内外场地土壤修复概况

### 2.1 国外场地土壤修复概况

#### 2.1.1 美国

美国政府于1976年颁布《资源保护与回收法》,其中对场地污染预防作了法律规定。1980年又发布了《综合环境响应、补偿和义务法》,其中规定了过去和现在土地的拥有者和使用者必须对土地的污染负责和有清除污染的义务,并批准设立污染场地管理与修复基金(超级基金),因此被称为超级基金制度。超级基金制度授权美国环境保护局(USEPA) 对全国污染场地进行管理,并责令责任者对污染特别严重的场地进行修复;对找不到责任者或责任者没有修复能力的,由超级基金来支付污染场地修复费用;对不愿支付修复费用或当时尚未找到责任者的场地,可由超级基金先支付污染场地修复费用,再由 USEPA 向责任者追讨。

在上述法律框架下,美国已制定了系列的场地修复技术标准和污染场“国家优先名录”,启动了大量场地的调查和修复工作,1982年~2002年间,美国超级基金共对764个场地进行修复或拟修复,其中,已实施或计划实施的修复技术中三分之二是被用于对污染源的控制或处理。原位土壤汽提技术(SVE)是最常用的污染源处理技术(用于25%的污染源控制项目),其次是异位固化/稳定化技术(18%)和集中焚烧技术(12%)。常用的原位修复技术包括 SVE、生物修复、稳定化/固定化,常用的异位修复技术是固定化/稳定化、焚烧、热解吸和生物修复。创新技术的应用在所有污染源控制处理技术中占21%,其中生物修复技术是目前最常用的创新技术。1982年~2002年间,美国超级基金已经修复的场地土壤体积达到约1835万立方米,其中接受原位修复的污染土壤达到3058万立方米,接受异位修复污染土壤达到993万立方米。

#### 2.1.2 英国

英国在《环境保护法1990:污染土地II A部分》明确规定应遵循污染者责任原则,即任何把污染物排放到土壤表面和地下的个人和单位,都有修复土地并支付费用的责任和义务。如果没明确的污染者,该责任将转移给土地当前的所有者和使用者;还规定了场地调查

是由地方政府负责，环保局给地方政府提供技术支持。法律允许当事人提供关于排除和污染有关责任的证据。此外，英国政府还发布了《英国指导潜在污染土地恢复手册》，将化工、煤焦化、木材加工等企业和机构的所在地列为潜在污染场地。

## 2.2 国内发展概况

我国台湾地区发布实施了《土壤及地下水污染整治法》并配套有《场地环境调查和修复技术规范》，但基本上是对美国相关规范的直接转换。香港特别行政区政府根据香港自身经济发展和地域特点，颁布了《受污染土地勘察及整治指引》，主要适用于曾用作加油站、船厂及车辆维修/拆卸工厂场地的调查和修复。

改革开放以来，来华投资的企业大多都采用美国的场地环境调查与评价技术规范，对其购入的企业或土地进行场地环境调查与评价，以识别场地环境状况，规避污染责任。但是这些企业执行自发场地土壤修复的，还比较少。近年来，北京、上海、重庆、宁波、沈阳等城市进行了化工、农药、焦化厂等场地的调查评估和修复工作，污染物主要包括挥发性有机污染物、石油烃、多环芳烃、农药等，目前应用的修复技术主要有焚烧、稳定/固化、挖掘—填埋，正在某些场地试点的技术有生物堆、热处理、生物通风等技术。

## 3 标准制订的必要性分析

### 3.1 场地环境管理形势要求

随着我国城市化进程的不断加快，越来越多的工业企业搬迁，遗留下来大量的可能存在潜在的环境风险的场地，但场地再利用需求量大，场地开发市场规模急剧膨胀。如果这些场地未经环境调查评价或修复，场地的再利用就可能存在健康隐患，甚至引发严重后果，因此必须对这些场地进行环境调查、风险评估及污染修复。目前我国还没有污染场地修复相关标准，难于科学系统地技术指导污染场地修复工作。在国外，曾经因为缺乏规范的场地环境调查和修复制度，发达国家场地开发再利用过程中几乎都曾经多次出现污染事故，尤其是一些污染严重企业遗留下来的场地。国内在土壤修复技术的研究方面已有工作基础，但尚缺乏成规模的应用实例，而且目前为止还没有统一的土壤修复技术规程。基于上述情况，我国场地环境管理工作已经提上日程，虽然还没有出台相关法律，但制定污染场地修复相关技术标准，以技术指导场地修复工作的呼声很，制定《污染场地土壤修复技术导则》是十分必要的。

### 3.2 国家及环保主管部门的相关要求

原国家环保总局印发的《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(环办〔2004〕47号)规定所有产生危险废物的工业企业、实验室、和生产经营危险废物的单位，改变原土地使用性质时，必须对原址土壤和地下水进行监测分析和评价，并据此确定土壤功能修复实施方案。《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》(国发〔2005〕39号)要求对污染企业搬迁后的原址进行土壤风险评估和修复。落实上述规定，需要制定污染场地土壤修复技术导则，指导我国场地土壤修复工作。

### 3.3 现有相关标准的不足

迄今为止，我国已颁布实施的土壤环境保护相关标准已有数十项，包括《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》(HJ350-2007)、《工业企业土壤环境质量风险评价基准》(HJ/T25-1999)、《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ/T332-2007)，以及包括《农用污泥中污染物控制标准》等土壤污染控制相关标准，但是这些标准中均未涉及污染场地土壤修复方面，因此我国污染场地修复标准非常匮乏，迫切需要制定出台。

## 4 污染场地修复过程及修复技术分析

## 4.1 污染场地修复过程分析

完整的污染场地修复过程可分为场地调查、风险评估、场地修复三大部分。场地环境调查的主要目的是通过资料收集、现场踏勘和人员访谈、现场监测确定污染物种类、程度和范围，初步判断场地的污染情况。污染场地风险评估主要是在地环境调查结果的基础上确定场地污染是否存在潜在健康风险及健康风险的大小和分布，通过风险评估，如果确定存在健康风险，污染场地应该进行修复。场地修复包括修复可行性研究、修复工程的初步设计和详细设计、工程实施、施工监理和后评估等过程。作为确定场地污染状况的有力手段场地环境监测工作贯穿污染场地修复的全过程。

污染场地修复可行性研究包括确定预修复目标、技术预评估、筛选评价修复技术、集成修复技术、确定修复技术的工艺参数、制定修复监测计划、估算污染土壤体积，分析经济效益、评价修复工程的环境影响、制定安全防护计划、安排修复进度和编制可行性研究报告等内容。修复工程的初步设计和详细设计、工程实施、施工监理和后评估属于工程分析、工程施工和工程后评估的内容。

## 4.2 污染场地修复技术分析

### 4.2.1 污染场地修复技术分类

污染场地的修复技术可按暴露情景和处置地点分类。

#### 4.2.1.1 按暴露情景分类

可以按“污染源-暴露途径-受体”对修复技术分类。对污染源控制的技术有生物修复、植物修复、生物通风、自然降解、生物堆、化学氧化、土壤淋洗、电动分离、气提技术、热处理、挖掘等；对暴露途径进行阻断的方法有稳定/固化、帽封、垂直/水平阻控系统；降低受体风险的制度控制措施有增加室内通风强度、引入清洁空气、减少室内外扬尘、减少人体与粉尘的接触、对裸土进行覆盖、减少人体与土壤的接触、改变土地或建筑物的使用类型、设立物障、减少污染食品的摄入、工作人员及其他受体转移等。

#### 4.2.1.2 按处置地点分类

可分为原位修复技术和异位修复技术。原位修复技术又可分为原位处理技术和原位控制技术，常用的原位处理技术包括物理、化学和生物方法等。异位修复技术可分为挖掘和异位处理处置技术。

### 4.2.2 常用修复技术简介

常用的污染场地修复技术主要包括挖掘、稳定/固化、化学淋洗、气提、热处理、生物修复等。

#### 4.2.2.1 挖掘

指通过机械、人工等手段，使土壤离开原位置的过程。一般包括挖掘过程和挖掘土壤的后处理、处置和再利用过程。在场地修复的各个阶段和多种修复技术实施过程中都可能采用挖掘技术，如场地环境评估、修复活动中和后评估阶段。作为修复技术，本导则推荐挖掘只能作为修复方案的一部分，不能适用于传统的挖掘填埋技术方案。

#### 4.2.2.2 稳定/固化

指通过固态形式在物理上隔离污染物或者将污染物转化成化学性质不活泼的形态，降低污染物的危害，可分为原位和异位稳定/固化修复技术。原位稳定/固化技术适用于重金属污染土壤的修复，一般不适用于有机污染物污染土壤的修复；异位稳定/固化技术通常适用于处理无机污染物质，不适用于半挥发性有机物和农药杀虫剂污染土壤的修复。

#### 4.2.2.3 化学淋洗

指借助能促进土壤环境中污染物溶解或迁移作用的溶剂，通过水力压头推动清洗液，将其注入被污染土层中，然后再将包含污染物的液体从土层中抽提出来，进行分离和污水处理的技术，可分为原位和异位化学淋洗技术。原位化学淋洗技术适用于水力传导系数大于

$10^{-3}\text{cm/s}$  的多孔隙、易渗透的土壤，如沙土、砂砾土壤、冲积土和滨海土，不适用于红壤、黄壤等质地较细的土壤；异位化学淋洗技术适用于土壤粘粒含量低于 25%、被重金属、放射性核素、石油烃类、挥发性有机物、多氯联苯和多环芳烃等污染的土壤。

#### 4.2.2.4 气提技术

指利用物理方法通过降低土壤孔隙的蒸汽压，把土壤中的污染物转化为蒸汽形式而加以去除的技术，可分为原位土壤气提技术、异位土壤气提技术和多相浸提技术。气提技术适用于地下含水层以上的包气带；多相浸提技术适用于包气带和地下含水层。原位土壤气提技术适用于处理亨利系数大于 0.01 或者蒸汽压大于 66.66Pa 的挥发性有机化合物，如挥发性有机卤代物或非卤代物，也可用于去除土壤中的油类、重金属、多环芳烃或二噁英等污染物；异位土壤气提技术适用于修复含有挥发性有机卤代物和非卤代物的污染土壤；多相浸提技术适用于处理中、低渗透型地层中的挥发性有机物。

#### 4.2.2.5 热处理

指通过直接或间接热交换，将污染介质及其所含的有机污染物加热到足够的温度 (150~540℃)，使有机污染物从污染介质挥发或分离的过程，按温度可分成低温热处理技术(土壤温度为 150~315℃)和高温热处理技术(土壤温度为 315~540℃)。热处理修复技术适用于处理土壤中挥发性有机物、半挥发性有机物、农药、高沸点氯代化合物，不适用于处理土壤中重金属、腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂等。

#### 4.2.2.6 生物修复

生物修复指利用微生物、植物和动物将土壤、地下水中的危险污染物降解、吸收或富集的生物工程技术系统。按处置地点分为原位和异位生物修复。生物修复技术适用于烃类及衍生物，如汽油、燃油、乙醇、酮、乙醚等，不适合处理持久性有机污染物。

### 4.2.3 污染场地修复技术的应用情况

世界发达国家都有污染场地修复的实践经验，其中超级基金场地中采用污染源控制修复技术的工程完成情况见图 1。

从美国污染场地修复技术的应用情况来看，与异位修复相比，原位修复更为经济，不需要建设昂贵的地面环境工程设施和对污染物进行远程运输，就可以使污染物降解和减毒，操作维护起来比较简单。原位修复技术还有一个优点就是可以对深层土壤进行修复，对土壤的破坏小，适合规模较大的土壤修复。但原位修复受场地本身特性的影响较大，低渗透性和地质结构复杂的土壤实施原位修复的难度较大。此外，原位修复时间较长，修复效果难以达到理想状态。相比而言，异位修复技术则在挖掘和设备使用维护等方面费用较高，但修复的周期短，修复效率高，且修复效果好。

从 1982 至 2002 年，超级基金场地修复行动的修复决策记录中涉及污染源控制技术的共有 1781 条，其中 42% 为原位修复技术，58% 为异位修复技术。同时，已完成的污染源控制工程中有 341 项(73.5%)采用的是异位修复技术，123 项(26.5%)采用的原位修复技术，也即大多数已完成的修复工程采用的技术为异位污染源控制技术。在异位污染源控制处理工程中，几乎所有采用焚烧技术的修复工程都能如期完成，将近 70% 采用固化/稳定化(S/S)技术和热脱附技术的修复工程已经完成。在原位污染源控制处理工程中，采用 S/S 技术的修复工程将近 70% 已经完成，而采用 SVE 技术的修复工程只完成了其中的三分之一，这进一步证实了异位修复的成功率要高于原位修复。这主要是因为原位修复技术所处的环境受人为控制的程度相对较小，修复过程难以掌握。

然而，虽然异位修复的工程数量较多，但从已修复污染介质的总体积上来说，原位修复的介质绝对量更大，同时由于原位修复的成本低廉，对于不急于再开发的场地，原位修复仍有较强的竞争力，原位技术正越来越多被采用。

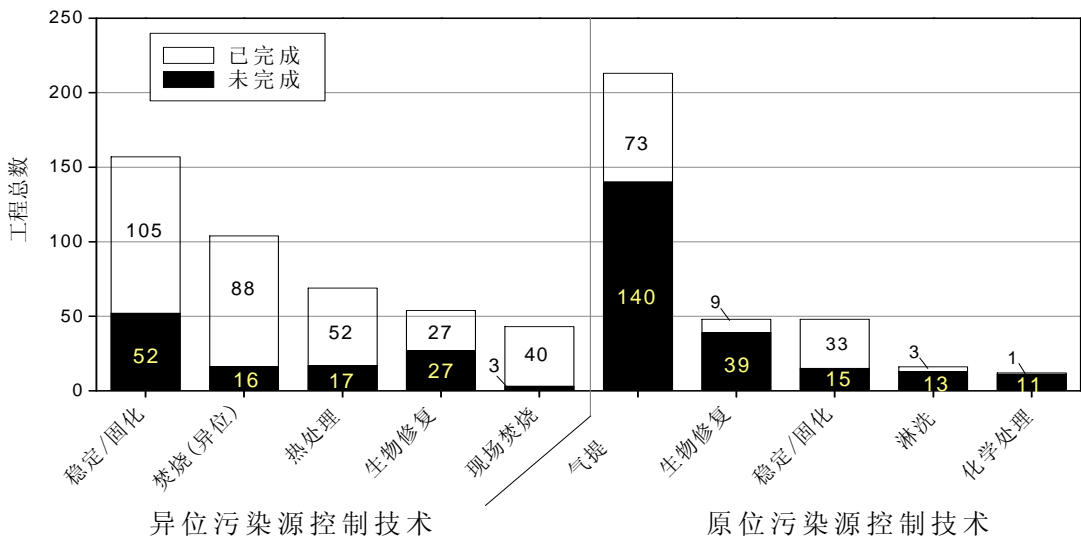


图1 超级基金场地中修复技术按处置地点分类完成情况

同时人们认识到，在一些场地，采用非处理手段，如封装技术和制度控制不失为一种有效而低廉的控制手段。到上世纪九十年代后期，封装技术和制度控制在修复技术中的比例开始逐步提高，见图2。

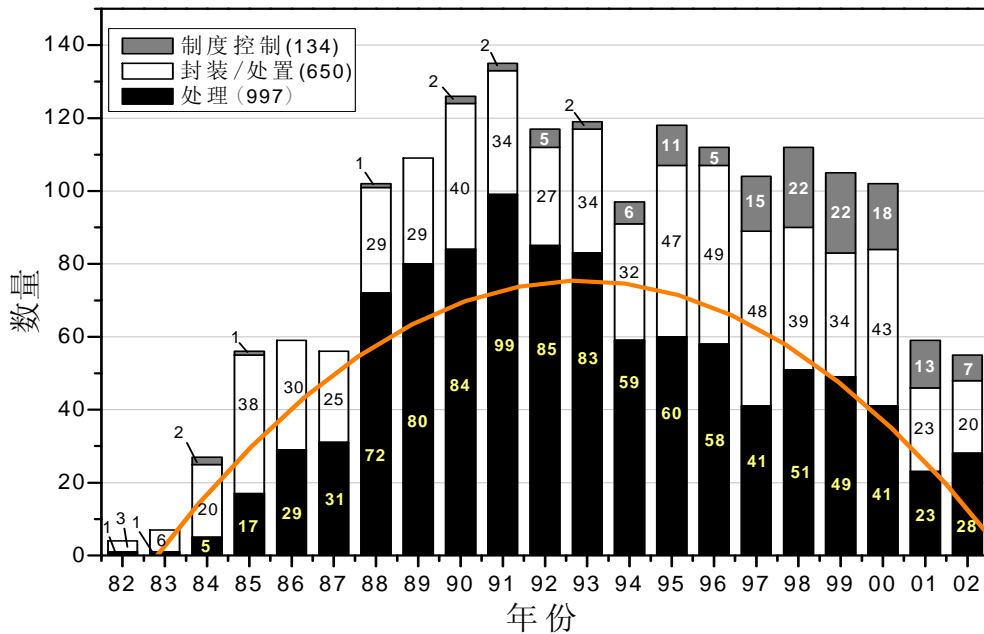


图2 超级基金场地中修复技术按暴露情景分类完成情况

## 5 标准主要技术内容及说明

本标准主要内容包括：术语和定义、评估预修复目标、筛选评价修复技术、制定污染场地修复技术方案、编制可行性研究报告。

### 5.1 标准适用范围



目前已有《场地环境调查技术规范》对场地中土壤和地下水的初步调查、详细调查的原则、内容、程序和技术要求做出规定，已有《污染场地风险评估技术导则》规定了场地污染土壤对人体健康风险评估的原则、内容、程序、方法和技术要求，而修复工程的初步设计、详细设计、工程实施、施工监理和后评估都应在修复工程分析中进行规定，因此本导则仅对污染场地修复的可行性研究过程做出规定，配合其他几个场地标准共同服务于场地修复技术工作。

由于场地中的污染物主要存在于场地土壤中，并可能向地下水中迁移，对周围敏感目标产生危害。鉴于目前中国土壤和地下水修复技术应用现状，以及放射性污染和致病性生物污染场地都已有相应的技术规定。因此本标准的主要修复范围规定了化学性污染场地土壤修复可行性研究的原则、内容、程序和技术要求。

## 5.2 术语和定义

为了使标准内容易于理解，本标准规定了4个重要的术语和定义，分别为：土壤、污染场地、土壤修复、修复技术和修复可行性研究。

## 5.3 工作程序

美国 EPA《CERCLA 修复调查和可行性研究导则》的工作程序是确定工作范围、识别场地、制定和筛选修复方案、进行可行性试验、详细分析方案。制定和筛选修复方案、进行可行性试验两部分内容是可行性研究的核心内容，同时，结合我国实际情况，可行性研究报告是场地修复招投标的依据，故我们增加了制定修复监测计划、估算理论土方量，分析经济-效益、评价修复工程的环境影响、制定安全防护计划、安排修复进度和编制可行性研究报告。综上，本导则规定了污染场地修复可行性研究的工程程序是确定预修复目标、技术预评估、筛选评价修复技术、集成修复技术、确定修复技术的工艺参数、制定修复监测计划、估算理论土方量，分析经济-效益、评价修复工程的环境影响、制定安全防护计划、安排修复进度和编制可行性研究报告。

## 5.4 评估预修复目标

### 5.4.1 确定预修复目标

场地修复目标由规划的土地使用类型、健康风险可接受水平决定。场地在修复前，一般已有《场地环境调查报告》和《场地环境风险评估报告》，通过查阅和分析这两个报告，可知场地的建议修复目标值。从风险管理的角度，修复技术可以处理和污染源，但不仅仅限于这些技术，还可以有一些制度控制措施，虽然没有直接降低污染源的浓度，但是通过切断暴露途径，可以降低污染物对受体的风险。因此，在确定预修复目标时，需要对场地进行暴露情景描述，在此基础上确定预修复目标，预修复目标可以是场地中污染源的控制浓度、也可以是风险可接受水平。

### 5.4.2 技术预评估

采用定性矩阵法、专家评估法或类比法等方法，根据场地特征条件、场地修复要求等，初步定性筛选修复技术。如果初步筛选能够得到修复技术，则判断预修复目标可达。如果初步筛选得不到合适的修复技术，则判断预修复目标不可达，需要调整修复目标或结束可行性研究。在技术预评估的方法中，定性矩阵法比较简单客观，可操作性强，适合于非专业人员开展技术预评估工作。

## 5.5 筛选和评价修复技术

场地土壤修复与大气治理、污水处理有明显区别。由于场地环境介质的复杂性，污染物在场地中的分布不均匀，造成了场地土壤修复工作比较复杂。此外，场地所在地的区域环境特征会影响某些修复技术的选择，如冬天北方不能选择生物修复技术。基于以上原因，对修

复技术的比选和详细分析显得非常重要，必须结合场地的特征条件，从成本、资源需求、安全健康环境、时间等方面，筛选和评价修复技术，找出最佳修复技术。

在筛选和评价方法中，我们推荐评分矩阵法，由场地修复的专业人员对场地进行评分。筛选的指标必须是根据污染物的毒性和迁移性、修复技术的可实施性、修复的短期和长期效果、修复成本、健康与环境安全、政府和公众接受程度等方面筛选的可以量化的指标。

## 5.6 制定技术方案

### 5.6.1 集成修复技术

通过技术预评估和详细分析后，得到针对每一种污染物或每一种暴露联系(污染源—暴露途径—受体)的最佳技术，但大部分场地污染比较复杂，如化工、电镀、冶金场地等，往往不是一种污染物，而且污染浓度较高。这个时候，必须对技术进行集成。在本标准中，规定了技术集成的几个原则。

### 5.6.2 确定修复技术的工艺参数

可行性研究一个重要的方面就是通过可行性试验确定工艺参数。参考美国 EPA 《CERCLA 修复调查和可行性研究导则》中的可行性试验。一般根据技术在本地区应用情况、场地复杂性和修复技术本身，决定可行性试验的次数、层次等。如热处理技术，可进行三个层次的可行性试验。在中国，由于场地修复技术研究与应用起步晚，很多都在实验室研究阶段。从国外引进的新的技术和设备，在工程应用前，应该进行可行性试验，确定工艺运行参数，以节约时间和成本。在可行性研究报告中，要给出可行性试验方案和结果。

### 5.6.3 制定场地修复的监测计划

在本导则中，场地修复的监测计划可以分为修复前的补充监测计划和修复过程监测计划。在导则中给出了制定这两种监测计划的条件分别是地环境调查报告信息不够或者一些特殊的修复技术需要。可以参考 HJ 1116《场地环境调查技术规范》和 HJ 1117《场地环境监测技术导则》，制定包含以下内容的工作计划：布点原则、点位分布、检测项目、监测进度安排、监测的可行性分析、监测的工作步骤。

### 5.6.4 估算场地修复的污染土壤体积

成本—效益分析时，必须基于污染土壤体积算修复工程实施成本。必须说明的时，本导则中的污染土壤的体积是指理论土方量，不能等同于工程土方量。工程土方量一般由施工单位，依据理论土方量，根据场地特征条件、修复技术本身和施工机械等决定。

### 5.6.5 分析成本—效益

成本—效益分析包括污染场地修复工程的修复成本分析和环境效益分析两部分。成本—效益分析必须体现在可行性研究报告中，这是场地用途变更、土地交易、投资决策的重要依据。目前大部分污染场地位于市区，随着产业结构调整和城市规划，这些污染场地开发利用前，必须先得到修复，由于污染场地修复成本比较高，所以对修复工程进行成本—效益分析是非常必需的。

### 5.6.6 分析环境影响

污染场地修复的目的是保护场地和周边人体健康、二次开发利用土地。场地修复必须分析修复工程中的环境影响，分析污水、恶臭气体、扬尘、噪声等的排放特征，提出三废和噪声控制措施。此外，对于某些采取特殊技术的场地，如自然降解，必须分析修复活动结束后，场地的维护及其对周边环境的影响。对于环境影响可能较大的修复工程项目，应进行环境影响评价。

### 5.6.7 修复工程管理

修复工程管理包括场地修复的安全防护计划和施工进度计划等内容，也是可行性研究报告必不可少的一部分。安全防护计划包括施工人员的安全防护和周边居民的安全防护，安全防护既是修复成本的一部分，同时也是控制场地修复工程中环境影响的一部分。

## 5.7 编制污染场地修复工程可行性研究报告

本部分规定了可行性研究报告编制的内容和技术要求,目的是规范可行性研究报告编写过程,使得出的可行性研究内容全面、结论科学客观,便于污染场地所在地环境保护行政主管部门及其相关部分对可行性研究报告审查和备案,也便于施工方据此编写工程施工方案和进行工程实施,也便于第三方参考可行性研究报告进行更加详细的工程分析、监测等相关工作。

# 6 主要国家、地区和国际组织相关标准研究

## 6.1 各国污染场地修复相关标准

目前加拿大、美国、丹麦、新西兰、澳大利亚等发达国家都已发布污染场地相关的标准,具体见表 1。根据表 1,《场地修复技术:参考手册》(Site remediation technologies: a reference manual, 加拿大污染场地管理工作组, 1997)、《污染土壤修复导则》(Guidance Document for the Remediation of Contaminated Soils, 美国新泽西州环境保护局, 1998)、《污染场地修复导则》(Guidelines on Remediation of Contaminated Sites, 丹麦环保局和环境部, 2002)与本标准具有类似,这 3 个技术导则的主要内容见表 2。

表1 各国污染场地修复相关标准

国家	部门	导则名称	版本
英国	环保局 (the Environment Agency)	固定化、稳定化技术处理污染土壤使用导则 (Guidance on the use of stabilisation/solidification for the treatment of contaminated soil)	2004
加拿大	污染场地管理工作组(Contaminated site management working group)	场地修复技术：参考手册(Site remediation technologies: a reference manual)	1997
	加拿大环境部(Canadian council of ministers of the environment)	污染场地国家分类体系(National classification system for contaminated sites)	1992
	新不伦瑞克环境和当地政府部(New Brunswick Department of Environment and Local Government)	污染场地管理导则(Guideline for the management of contaminated sites)	2003(第二版)
	纽芬兰岛和 Labrador 省(Province of Newfoundland and Labrador)	受影响场地管理导则(Guidance document for the management of impacted sites)	2004
	加拿大爱德华王子岛 (Prince Edward Island)	石油污染场地修复技术导则(Petroleum contaminated site remediation guidelines)	1999
	萨斯喀彻温省环境资源管理 (Saskatchewan environment and resource management)	市政废物处置场石油污染土壤的处理和处置导则 (Guidelines for the treatment and disposal of petroleum contaminated soils at municipal waste disposal grounds)	1995
美国	新泽西州环境保护局 (New Jersey Department of Environmental Protection)	污染土壤修复导则(Guidance Document for the Remediation of Contaminated Soils)	1998
	华盛顿州生态毒物清洁项目 (Washington State Department of Ecology Toxics Cleanup Program)	石油污染土壤修复技术导则 (Guidance for Remediation of Petroleum Contaminated Soils)	1995
丹麦	丹麦环保局 (Danish environmental protection agency) 丹麦环境部 (Danish Ministry of the Environment)	污染场地修复导则(Guidelines on Remediation of Contaminated Sites)	2002
新西兰	环境部(Ministry for the Environment)	污染土地管理导则 (Contaminated Land Management Guidelines)	
		1) 新西兰污染场地报告 (Reporting on Contaminated Sites in New Zealand)	2003
		2) 新西兰环境指导限值的分类和应用 (Hierarchy and Application in New Zealand of Environmental Guideline Values)	2003
		3) 风险筛选体系(Risk Screening System)	2004
		4) 分类和信息管理程序(Classification and Information Management Protocols)	2006
		5) 场地调查和土壤分析(Site Investigation and	2004

国家	部门	导则名称	版本
		Analysis of Soils)	
	环境部(Ministry for the Environment)	新西兰煤气厂污染场地评估和管理导则 (Guidelines for Assessing and Managing Contaminated Gasworks Sites in New Zealand)	1997
	环境部(Ministry for the Environment) 卫生部(Ministry of health)	木材处理化学品健康和环境导则(Health and Environmental Guidelines for Selected Timber Treatment Chemicals)	1997
	环境部(Ministry for the Environment)	新西兰石油烃类污染场地评估和管理导则 (Guidelines for Assessing and Managing Petroleum Hydrocarbon Contaminated Sites in New Zealand)	1999
	环境部(Ministry for the Environment)	共同构建新西兰污染土地管理法律框架体系(讨论稿)【Working Towards a Comprehensive Policy Framework for Managing Contaminated Land in New Zealand(A Discussion Paper)】	2006
澳大利亚	南澳 EPA	环保局原地修复环境管理导则(EPA Guidelines for Environmental management of on-site remediation)	2006
	澳大利亚和新西兰环境和保护部 (Australian and New Zealand Environment and Conservation council) 国家医学与健康研究部(National Health and Medical research council)	澳大利亚和新西兰污染场地评估和管理导则 (Australian and Zealand guidelines for the assessment and management of contaminated sites)	1992
	环境部(Departmeng of environment)	昆士兰污染土地评估和管理导则(草稿)Draft guidelines for the assessment and management of contaminated land in Queensland	1998
	南澳环保局(EPA in South Australian)	环保局导则: 土壤生物修复技术(异位)【EPA guidelines: soil bioremediation (ex-situ)】	2005

表 2 国外污染场地修复主要技术导则大纲内容

加拿大	美国	丹麦
<b>1 修复策略</b> 场地和污染类型..1 修复总体策略..6 决策策略..6  <b>2 原位处理土壤和地下水</b> 概述..9 原位修复技术的类型..10 饱和区和土壤修复..11 饱和区土壤和地下水的修复..20 总结..27  <b>3 处理抽提的地下水</b>	<b>1 本导则主要内容</b> 背景..1 强制性要求..1 目的..1 相关法规变化..2  <b>2 责任和免责</b> <b>3 技术要求和在场地修复中的作用</b> 污染场地调查电子数据递交..4 自然修复..4 制度和工程控制..5 历史补充..5 修复行动类型..5 法律法规吻合度..6 修复过程..6 土壤清洁标准和其它污染介质..7 NJDEP 勘漏..8  <b>4 技术总体考虑</b>	<b>1 引言</b> <b>2 策略</b> 过程..9 初始调研..11 调查阶段..11 修复阶段..14 操作和评估阶段..15 信息发布策略..15 <b>3 初始调研</b> 引言..17 先前的和目前的土地利用..17 地表水受体及土壤和地下水状况..20 报告..20 <b>4 场地调查</b> 引言..23 土壤和水取样..23 空气取样..27 分析方法..31 收集有关建筑物的数据..33 地质、水文地质和水文..34 <b>5 风险评估</b>

加拿大	美国	丹麦
概述..29	社区关系..9	定义、程序和数据要求..35
地下水异位修复技术类型..31	地下水..9	土地利用..36
自由产物回收..32	恢复..9	蒸汽(包括填埋场气体)..44
地下水预处理..34	健康和安全隐患..10	地下水..53
地下水中可溶有机污染物处理技术..34		表面水受体..67
地下水中可溶无机污染物处理技术..39		
总结..44		
<b>4 溢出气体处理</b>	<b>5 修复行动 1—挖掘</b>	<b>6 土壤、空气和地下水质量标准</b>
概述..45	引言..13	背景和目标..69
溢出气体处理技术..47	计划..13	土壤质量标准..69
溢出气体处理技术使用注意事项..51	挖掘土壤的管理..17	土壤 CUT-OFF 标准..71
总结..53	装备要求和考虑..21	其它土壤标准..72
	工程和地理技术方面..22	地下水质量标准..73
	参考文献..23	空气质量标准..75
		质量标准的使用和限制..77
<b>5 原位控制土壤和地下水</b>	<b>6 修复行动 2—污染土壤处理技术</b>	<b>7 报告</b>
概述..55	引言..24	初步调查..79
水力阻隔技术..56	分类..24	补充调查..81
物理控制技术..59	处理可行性矩阵—污染物处理技术分组..50	<b>8 设计</b>
控制体系注意事项..62	州际技术调节合作..51	概述..83
总结..62	参考文献..51	项目概述..84
<b>6 异位处理挖掘的材料</b>		项目详细描述..86
概述..65	<b>7 修复行动 3—土壤再利用</b>	调研..87
处置选择..67	引言..53	监管..88
处理选择..70	土壤分类..53	工作和外部环境..89
处理技术分类..73	土壤再利用的选择..53	项目和质量控制..90
处理技术成本分析..80		项目执行..91
总结..83	<b>8 修复行动 4—限制和控制暴露</b>	<b>9 修复措施</b>
<b>7 监测</b>	引言..57	清洁目标..93
项目监测..86	气体控制系统..58	土壤污染修复措施..94
项目后监测或长期监测..87	渗滤液控制系统..58	地下水污染修复方法..102
总结..90	控制系统的设计和建造..59	污染土壤蒸汽修复方法..109
	长期运行、维持和监测..64	填埋场气体修复方法..110
	参考文献..65	建筑物下面残留污染..111
		<b>10 操作和评估</b>
		引言和目标..113
		挖掘法评估..113
		原位土壤污染修复评估..116
		地下水修复评估..119
		土壤蒸汽修复评估..122
		填埋场气体控制措施..122

## 6.2 国外标准特点

由加拿大、美国新泽西州和丹麦的修复技术导则的主要章节可以看出以下特点：

1)加拿大和美国的技术导则主要侧重于对具体修复技术的阐述，而丹麦则侧重于土壤修复过程。加拿大和美国的技术导则主要侧重于阐明具体的修复技术，如加拿大的《场地修复技术：参考手册》花了近 85%的篇幅阐述了原位处理土壤和地下水、处理抽提的地下水、溢出气体处理、原位控制土壤和地下水和异位处理挖掘的材料五类修复技术。美国新泽西州的《污染土壤修复导则》花了近 85%的篇幅阐述了挖掘、污染土壤处理技术、土壤再利用、限制和控制暴露四类修复技术。丹麦的《污染场地修复导则》将关注于土壤修复过程，并将该过程分为初始调研、场地调查、风险评估、土壤、空气和地下水质量标准、报告、设计、修复措施和操作和评估八个阶段，其中对修复措施并没有过多阐明。

2)尽管导则使用的名字略有不同，但是都包括了地下水的修复。如加拿大和丹麦修复的对象是“site”，美国新泽西州的修复的对象是“soils”，但是由于土壤和地下水的密不可分性，这些国家在处理场地土壤修复技术时都考虑了对地下水的修复。

## 6.3 本标准与国外标准的对比

在美国，有州的修复技术导则，有环保局的《CERCLA 修复调查和可行性研究导则》，本导则规定的内容涵盖了修复技术导则和可行性研究导则两类技术内容。首先，本标准污染场地修复可行性研究报告的主要内容包括确定预修复目标、技术预评估、筛选评价修复技术、

集成修复技术、确定修复技术的工艺参数、制定修复监测计划、估算修复的污染土壤体积,分析经济-效益、评价修复工程的环境影响、制定安全防护计划、安排修复进度和编制可行性研究报告,其中筛选评价修复技术和确定修复技术的工艺参数与《CERCLA 修复调查和可行性研究导则》内容一致,而制定修复监测计划、估算修复的污染土壤体积,分析经济-效益、评价修复工程的环境影响、制定安全防护计划、安排修复进度是为了适合我国需要而增加的内容。其次,本标准附录 A 中介绍了污染场地修复技术分类方法和结果,并介绍了常用修复技术,而这些内容则涵盖了部分国外一般常用的污染场地修复技术导则的内容。

## 7 对实施本标准的建议

本标准的实施需要配套管理措施;建议标准发布实施后,根据标准实施情况适时对本标准进行修订;建议开展与本标准实施相关的科学研究,建议制定各种污染场地修复技术应用的技术规范,与本标准配套使用。

## 8 参考文献

- [1] 夏家淇, 骆永明. 关于土壤污染的概念和 3 类评价指标的探讨. 生态与农村环境学报, 2006, 22 (1): 87 - 90
- [2] 土壤质量—词汇(GB/T 18834 - 2002). 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局发布, 2002.
- [3] 土壤环境监测技术规范(HJ/T 166 -2004). 国家环境保护总局发布, 2004.
- [4] 地下水环境监测技术规范(HJ/T 164 -2004). 国家环境保护总局发布, 2004.
- [5] 王国庆, 骆永明、宋静、夏家淇. 土壤环境质量指导值与标准研究 I: 国际动态及中国的修订考虑. 土壤学报, 2005, 42(4): 666-673
- [6] Suter GW, Efronson RA, Sample BE, Jones DS. Ecological Risk Assessment for Contaminated sites. Washington: Lewis Publishers, 2000: 20-35
- [7] Rudland DJ, Jackson SD. Selection of remedial treatments for contaminated land-a guide to good practice. 2004, CIRIA, Classic House, London, UK.
- [8] Guidance Manual for Developing Site-Specific Soil Quality Remediation Objectives for Contaminated Sites in Canada. Canadian Council of Ministers of the Environment, The National Contaminated Sites Remediation Program, March 1996
- [9] Site remediation technologies: a reference manual. Contaminated site management working group, Canada, 1997
- [10] National classification system for contaminated sites. Canadian council of ministers of the environment, Canada, 1992
- [11] Guideline for the management of contaminated sites. New Brunswick Department of Environment and Local Government, Canada, 2003
- [12] Guidance document for the management of impacted sites. Province of Newfoundland and Labrador, Canada, 2004
- [13] Petroleum contaminated site remediation guidelines. Prince Edward Island, Canada, 1999
- [14] Guidelines for the treatment and disposal of petroleum contaminated soils at municipal waste disposal grounds. Saskatchewan environment and resource management, Canada, 1995
- [15] Guidance Document for the Remediation of Contaminated Soils. New Jersey Department of Environmental Protection, 1998
- [16] Guidance for Remediation of Petroleum Contaminated Soils. Washington State Department of Ecology Toxics Cleanup Program, 1995

- [17] Guidelines on Remediation of Contaminated Sites. Danish environmental protection agency, Danish Ministry of the Environment, 2002
- [18] Contaminated Land Management Guidelines No 1: Reporting on Contaminated Sites in New Zealand, Ministry for the Environment, 2003
- [19] Contaminated Land Management Guidelines No 2: Hierarchy and Application in New Zealand of Environmental Guideline Values. Ministry for the Environment, 2003
- [20] Contaminated Land Management Guidelines No 3: Risk Screening System. Ministry for the Environment, 2004
- [21] Contaminated Land Management Guidelines No 4: Classification and Information Management Protocols. Ministry for the Environment, 2006
- [22] Contaminated Land Management Guidelines No 5: Site Investigation and Analysis of Soils. Ministry for the Environment, 2004
- [23] Guidelines for Assessing and Managing Contaminated Gasworks Sites in New Zealand. Ministry for the Environment, 1997
- [24] Health and Environmental Guidelines for Selected Timber Treatment Chemicals. Ministry for the Environment, Ministry of health, 1997
- [25] Guidelines for Assessing and Managing Petroleum Hydrocarbon Contaminated Sites in New Zealand. Ministry for the Environment, 1999
- [26] Working Towards a Comprehensive Policy Framework for Managing Contaminated Land in New Zealand(A Discussion Paper). Ministry for the Environment, 2006
- [27] EPA Guidelines for Environmental management of on-site remediation. South Austration EPA, 2006
- [28] Australian and Zealand guidelines for the assessment and management of contaminated sites. Australian and New Zealand Environment and Conservation council, National Health and Medical research council,1992
- [29] Draft guidelines for the assessment and management of contaminated land in Queensland, Departmeng of environment, 1998
- [30] EPA guidelines: soil bioremediation (ex-situ). EPA in South Australian, 2005
- [31] A federal approach to contaminated sites, Contaminated Sites Management Working Group, 1999.