

附件 2

# 《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范

（征求意见稿）》

编制说明

《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范》编制组

二〇一九年六月

项目名称：异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范

项目统一编号：2016-53

承担单位：中国环境科学研究院，中科鼎实环境工程股份有限公司，中国环境保护产业协会，北京市环境保护科学研究院，杰瑞环保科技有限公司

编制组主要成员：谷庆宝，马福俊，杨勇，刘媛，姚珏君，方基垒，张倩，黄海，司传海，岳勇，冯宇，伍斌，陈美平，张纯

标准所技术管理负责人：姚芝茂

投资处项目经办人：岳子明，吕奔

# 目 次

1 任务来源.....	1
2 标准制定必要性.....	1
3 主要工作过程.....	2
4 国内外相关标准研究.....	3
5 同类工程现状调研.....	4
6 主要技术内容及说明.....	11
7 标准实施的环境效益和经济技术分析.....	18
8 标准实施建议.....	18

## 1 任务来源

根据国家原环境保护部《关于征集 2016 年度国家环境保护标准计划项目承担单位的通知》(环办函[2015]935 号)的要求,由中国环境科学研究院作为项目承担单位、中科鼎实环境工程股份有限公司、中国环境保护产业协会、北京市环境保护科学研究所和杰瑞环保科技有限公司作为项目协作单位,联合承担《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范》(项目统一编号:2016-53)标准项目的编制工作。

## 2 标准制定必要性

### 2.1 地块环境管理形势要求

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,遗留下来大量的具有潜在的环境风险的地块。但我国地块再利用的需求量大,地块开发市场规模急剧膨胀。如果这些地块未经环境调查评价或修复,地块的再利用就可能存在健康隐患,甚至引发严重后果,因此必须对这些地块进行环境调查、风险评估及污染修复。目前我国仅有少量污染土壤修复的相关标准,难于科学系统地指导污染土壤的修复工作。在国外,曾经因为缺乏规范的地块环境调查和修复制度,发达国家地块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地块。国内在异位热解吸技术修复污染土壤的研究方面已有一定的工作基础,也已经有一些成规模的应用实例,但目前为止还没有统一的技术规范。

### 2.2 国家及环保主管部门的相关要求

为有效监管、安全处理处置或可持续开发利用受污染的土壤,2004 年,原国家环境保护总局发布了《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(环办〔2004〕47 号),第一次明确要求搬迁遗留的污染场地必须进行监测和修复后方可再使用。2011 年,国务院发布的《国家环境保护“十二五”规划》中,将污染土壤修复列入“十二五”期间需要切实解决的突出环境问题和重点实施的环境保护重点工程之一;2012 年,环境保护部联合四部委发布了《关于保

障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》(环发〔2012〕140号),要求对全国的污染场地进行排查并控制污染场地的流转;2013年国务院又发布了《近期土壤环境保护和综合利用工作安排》(国办发〔2013〕7号),要求提升土壤环境监管能力并开展土壤污染治理与修复试点示范;2016年,国务院发布了《土壤污染防治行动计划》(国发〔2016〕31号),要求健全土壤污染防治相关标准和技术规范,这将极大地促进土壤污染防治的快速发展。《中华人民共和国土壤污染防治法》第十二条规定国务院生态环境主管部门根据土壤污染状况、公众健康风险、生态风险和科学技术水平,并按照土地用途,制定国家土壤污染风险管控标准,加强土壤污染防治标准体系建设。

### 2.3 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《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)、《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》(HJ350-2007)、《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ/T332-2007)等,2014年,环境保护部批准发布了《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1-2014)、《场地环境监测技术导则》(HJ25.2-2014)、《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)等5项污染场地系列环保标准,迈开了场地环境状况调查、风险评估、修复治理标准体系建设的第一步。但还没有针对具体土壤修复技术的相关标准,污染土壤修复标准依然十分匮乏。

《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范》是我国异位热解吸技术修复污染土壤工程的指导文件之一,是我国土壤修复行业环境保护管理的重要技术支撑。本规范的颁布实施将有利于污染土壤修复工程的标准化建设,使之从设计、运行管理和维护的全过程均能够按照统一的技术标准来控制 and 评价,促使工程运行单位自觉遵守规范的技术要求,也将使得环境保护主管部门拥有监管异位热解吸技术修复污染土壤工程质量和日常运行的技术依据,以保证工程运行的质量,促进环境技术管理的深化。

## 3 主要工作过程

### (1) 编制组成立

根据原环境保护部下发的《关于开展 2016 年度国家环境保护标准项目实施工作的通知》（环办科技函〔2016〕633 号），中国环境科学研究院于 2016 年 4 月成立项目编制组，填报了计划任务书，签订了任务合同书。

## （2）开题论证

编制组首先调研并系统分析了美国、英国、澳大利亚、加拿大等国家的相关标准，结合国内外相关研究成果及多个实际地块的修复案例，于 2016 年 12 月编制完成了《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范》（初稿）和开题报告。

2017 年 3 月 6 日，原环境保护部科技标准司主持召开了《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范》开题论证会。经专家质询、讨论，原则同意通过开题论证，同意编制组按计划开展下阶段工作，并提出以下建议：（1）进一步研究标准的适用范围和污染物的适用类型；（2）细化污染土壤热解吸过程的工艺要求和控制参数；（3）明确土壤污染控制的水平值和其他污染控制的目标值。

## （3）征求意见稿形成

会后，编制组成员根据开题论证会审查意见，经过书面函调、现场调研，于 2017 年 8 月完成《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范（征求意见稿）》及编制说明。编制组于 2017 年 9 月召开内部研讨会，审查初步形成的征求意见稿。会上，编制组一致认为规范“工艺设计、主要工艺设备和材料、运行与维护”章节需重点修改和调整。2019 年 06 月，编制组经过对规范的反复修改，最终形成征求意见稿。

# 4 国内外相关标准研究

## 4.1 国内相关标准研究

《中华人民共和国环境保护法》第三十二条规定，国家加强对大气、水、土壤等的保护，建立和完善相应的调查、监测、评估和修复制度。第五十条规定，各级人民政府应当在财政预算中安排资金，支持农村饮用水水源地保护、生活污水和其他废弃物处理、畜禽养殖和屠宰污染防治、土壤污染防治和农村工矿污染治理等环境保护工作。

《中华人民共和国土壤污染防治法》第十二条规定国务院生态环境主管部门根据土壤污染状况、公众健康风险、生态风险和科学技术水平，并按照土地用途，

制定国家土壤污染风险管控标准，加强土壤污染防治标准体系建设。

基于《污染场地风险评估技术导则》计算出的场地土壤风险控制值，为异位热解吸技术修复污染土壤工程的修复目标提出了要求。国家和地方颁布的大气污染排放标准，对废气中颗粒物、有机污染物、氯化氢和二噁英等的排放限值进行了规定。国家和地方颁布的水污染排放标准，对废水中 COD、BOD、有机污染物等的排放限值进行了规定。

## 4.2 国外相关标准

环境工程技术规范制定工作在国外已经开展了多年，美国、英国和澳大利亚等发达国家已经发布了与热解吸技术修复污染土壤相关的标准规范（表 1）。

表 1 国外发布的热解吸技术修复污染土壤的标准规范

国家	标准规范
美国	《Application Guide for Thermal Desorption Systems》
英国	《Treating waste by thermal desorption》
澳大利亚	《Information Bulletin: thermal Treatment Technologies》

### 4.2.1 美国

1998 年，海军设施工程服务中心发布了《热解吸系统应用指南》，主要为海军工程外勤师、公共工作中心和外勤活动的技术人员提供考虑热解吸技术治理项目时所需的知识和工具，建立实施热解吸技术的流程，该指南假定热解吸技术将主要通过专门安装和运行热解吸系统的供应商签订服务合同来实现。指南内容包括：热解吸系统概述，介绍可用的热解吸系统类型并提供了每种类型的潜在供应商列表；热解吸系统的适用性，描述了何时使用各种类型的系统以及做出决定所需的信息；概述了各种热解吸系统的设计和性能特点；成本数据，讨论了如何实施热解吸技术，总结了政府所有和工业分包的优缺点，包括典型的成本信息，操作和维护问题并且展示了如何估算项目成本；合同策略，提供了实施热解吸的合同选项；法规遵从性问题，进行了可能适用于热解吸修复项目的法规类型的一般性讨论，按州列出了当前的治理需求；案例研究，提供两个具有代表性的热解吸项目作为案例研究。一是涉及石油污染土壤的小型项目，二是涉及含氯有机物污染土壤的大型项目；实施热解吸项目，简要总结了承包地块用于治理和恢复的初步步骤，同时指出应用热解吸技术时需要考虑的关键因素。

### 4.2.2 英国

英国环境局发布了《热解吸法处理废弃物》指南，列明用热解吸技术治理废弃物时期望设备能够达到的一些要求。该指南从加热方法、热源和操作方式等几个方面介绍了几种不同类型的热解吸系统。讲述了热解吸系统的使用条件，适用于处理含有机污染物的固体/半固体废弃物，如土壤、污泥和滤饼。指出了通过热解吸技术处理废物的关键问题，如废弃物特性，废弃及残余物的贮存和处理，热解吸过程测试、监管和控制以及尾气处理。采用热解吸法处理废弃物的过程中，需要对受污染的废弃物进行充分的特征描述，以了解和预测热解吸过程的性能和处理后废弃物的行为。要考虑是否需要以及采用何种预处理，如何设置处理流程如处理温度和停留时间，处理后的物质和收集的残留物如何进行现场处理和贮存，废气的管理和减排要求是什么等。在原材料和能源使用方面应使过程效率最大化，对过程中的潜在危险和相关风险需进行识别、评估和管理。

#### 4.2.3 澳大利亚

2011年，澳大利亚发布了《信息公报 热解吸技术》，概述了目前已投入或即将在维多利亚应用的热处理技术。本公报介绍了热处理技术的工作原理、技术类型、应用优势等。公报提供了热处理技术四种子类的概述，分别是直接和间接燃烧热解吸、强化热导、原位热修复和间接加热热解吸。热处理技术能治理有机污染物包括持久性有机污染物如多氯联苯、有机氯农药和杀虫剂，处理效率高，技术成熟。需要注意的是，热处理技术的建设和运作需要获得环保局的许可。

## 5 同类工程现状调研

### 5.1 热解吸技术修复污染土壤的发展及应用

热解吸修复技术是指通过直接或间接热交换，将污染土壤及其所含的污染物加热到足够的温度，使污染物从污染土壤中得以挥发或分离，然后对挥发出来的污染物进行处理，从而获得干净的土壤。

热解吸技术因修复地点、加热方式及进料方式的不同可分为多种类别：根据修复地点的不同，可分为原位热解吸技术和异位热解吸技术；根据热源与污染土壤接触方式的不同，可分为直接热解吸技术和间接热解吸技术；直接热解吸使用的设备主要为回转窑，间接热解吸使用的设备主要为回转窑或螺旋推进式热解吸炉。

直接热解吸技术目前已发展到第三代（图 1），主要的改进在于热解吸烟气的处理工艺，以增强热解吸系统的适用范围。第一代系统中布袋除尘器直接与热解吸设备相连，如果热解吸烟气的温度较高，可导致布袋除尘器的损坏，因此，该系统一般不能处理高沸点有机污染物污染的土壤；第二代系统将二次燃烧室移到热解吸设备之后，并且在布袋除尘器前加装了冷凝器，可处理高沸点的有机污染物污染土壤，由于不能控制氯化氢气体的排放，该系统不能用于处理含氯有机物；第三代系统在第二代系统的布袋除尘器后增加了洗气塔，从而可用于处理高沸点的含氯有机物污染土壤。

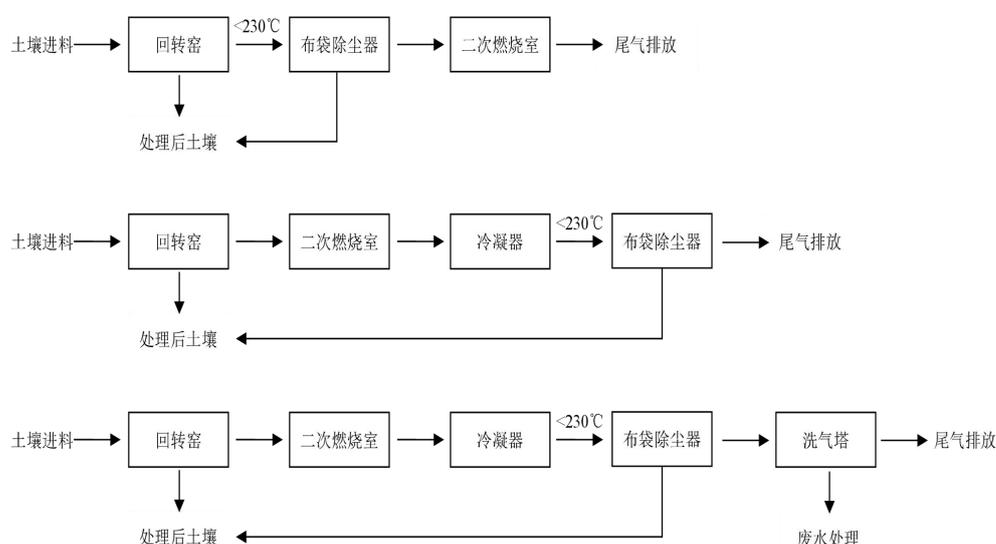


图 1 第一、二、三代直接热解吸工艺流程

典型的间接热解吸技术的工艺流程如图 2 所示，其中热解吸设备一般为夹套式结构（分为外筒和内筒）。由于热源未与污染土壤直接接触，当所用燃料为清洁能源（如天然气、丙烷等）时，外筒的烟气可简单处理后直接排入大气，热解吸烟气处理主要针对内筒含高浓度污染物的烟气。利用冷凝法将污染物从热解吸烟气中分离出来，部分未能冷凝的有机气体再经吸附处理后排入大气。

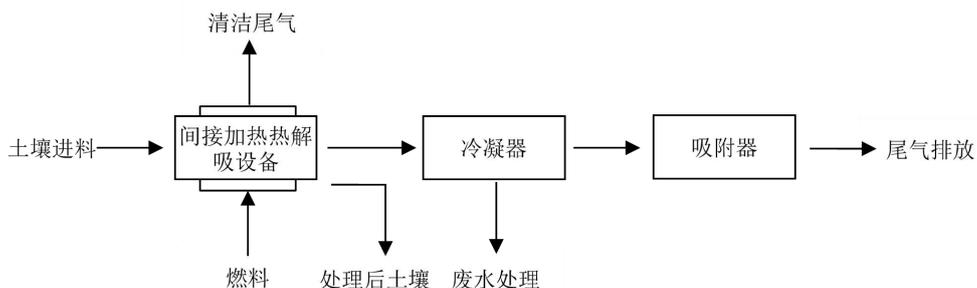


图 2 间接热解吸工艺流程

热解吸技术在国外开展工程化应用已有 30 多年，已经成为污染土壤修复领域的重要技术。根据美国《超级基金修复报告（第 14 版）》中对超级基金污染地块的修复统计（图 3），1982~2011 年超级基金污染地块有 103 个采用了热解吸技术进行修复，其中 31 个采用原位热解吸技术，72 个采用异位热解吸技术，是污染地块修复较常使用的技术之一。

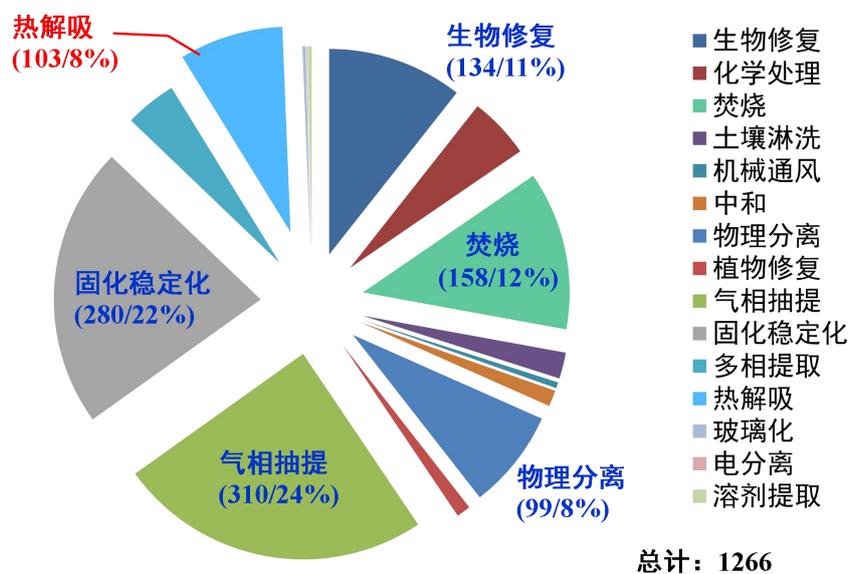


图 3 美国超级基金污染地块土壤修复技术应用统计

表 2 和表 3 总结了异位热解吸系统在美国的一些应用案例。可以看出直接热解吸系统和间接热解吸系统有着广泛的应用，处理的污染物的种类也很多，包括石油烃、有机氯农药、多氯联苯等，处理规模也很大，从几千吨到几十万吨不等。

表 2 直接热解吸应用案例

项目名称	热解吸温度/°C	处理量及污染物种类	土壤中污染物浓度/ (mg/kg)	处理后污染物浓度/(mg/kg)	去除率/%
Old Marsh Aviation Site	400	52,000t 毒杀芬, DDT, DDD, DDE 等	平均 200-500 最大 2500	毒杀芬 1.09 DDT, DDD, DDE=3.52	> 99
TH Agriculture and Nutrition	450-600	有机氯农药	400-500	DDT< 0.13 毒杀芬 <6.8	> 95
S&S Flying/Malone	370	5,500t 毒杀芬	634	< 1.5	> 99
Port of Los Angeles Thermal Desorption	300	石油	30,000	烃< 200 多环芳烃<1	> 97
Ecotechniek	600-610	农药	艾氏剂 44-70 狄氏剂 130-200 异狄氏剂 450-2000	三种污染物均 < 2	> 99
NBM	670	农药	艾氏剂 34 狄氏剂 88 异狄氏剂 710 林丹 1.8	四种污染物均 <0.01	> 99
General Motors (GM) Proving Grounds	320-480	6,727t 二乙苯	380-2,400	< 0.01	> 99
Explorer Pipeline, Spring, TX	320-480	48,737t 苯系物	15,000	< 1	> 99
Niagara Mohawk	320-550	5,000t 苯并 (g, h, i) -花	50,000	< 3	> 99
Kelley Air Force Base, San Antonio, TX	260-550	20,000t 石油烃	5,000	< 10	> 99
Garage in city of Brooklyn Center, MN	260-550	柴油、苯二甲苯	柴油 5,600 苯 < 0.09 二甲苯 0.22	< 0.6 < 0.03 < 0.08	> 99 66 63
Petroleum facility, North Adams, MA	320-550	240,000t 苯系物、石油烃	50-1,000	< 1	90- 99

表3 间接热解吸应用案例

项目名称	热解吸温度/°C	处理量及污染物种类	土壤中污染物浓度/(mg/kg)	处理后污染物浓度/(mg/kg)	去除率/%
Former Spencer Kellog Site	NA	6,500t VOCs	5.42	0.45	> 90
Cannon Bridgewater	NA	11,300t VOCs	5.3	< 0.025	> 99
Ottati and Goss	NA	3440m <sup>3</sup> 1,1,1-三氯乙烷 三氯乙烯 四氯乙烯 甲苯 乙苯 二甲苯	12-470 6.5-460 4.9-1200 > 87-3,000 > 50-440 > 170-1100	< 0.025 < 0.025 < 0.025 < 0.025-0.11 < 0.025 < 0.025-0.14	> 99 > 99 > 99 > 99 > 99 > 99
South Glens Falls Drag Site	450	PCBs	平均 500 最大 5,000	0.012	> 99
Mayport Naval Station	345	2,400t 石油烃	TPRH 838-13,550	< 5	> 99
Dustcoating, Inc.	600	10,000t 煤焦油	3531	0.72	99.9
Tinker AFB, OK	NA	2300m <sup>3</sup> VOCs, SVOCs	0.02 - 37 0.09 - 53	0.0001 - 0.0023 6 - 0.5	> 99
Recovery Specialists, Inc	NA	2#燃油	13,000	330	97.46
Poestine, TX	260	10,000t 柴油	20,000	80	> 99.6
Letterkenny Army Depot	NA	7.5t 苯 三氯乙烯 四氯乙烯 二甲苯 其他 VOCs	590 2,680 1,420 27,200 39	0.73 1.8 1.4 0.55 BDL	> 99 > 99 > 99 > 99 > 99.99
Lionville, PA Laboratory	200	煤焦油 苯 甲苯 二甲苯 乙苯 萘	< 0.15 < 0.15 78 14 1,200	< .005 < 0.005 < 0.005 < 0.005 1.2	> 96.7 > 96.7 > 99.9 > 99.96 99.9
Confidential Springfield, IL	180	2#燃油和汽油	苯 1 甲苯 24 二甲苯 110 乙苯 20 萘 4.9	0.0052 0.0052 < 0.001 0.0048 < 0.330	99.5 99.9 > 99.9 99.9 > 99.3

注：VOCs=挥发性有机化合物；SVOCs=半挥发性有机化合物；PCBs=多氯联苯；TPRH=总可采石油烃；NA=无相关数据；ND=未检出。

我国在污染土壤的修复与治理方面起步较晚，但国内研究人员紧跟国外研究步伐，在热解吸技术的应用研究方面已取得一定成果，目前也已经有一些异位热解吸土壤修复的工程案例（表 4），为《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范》的制定提供了支持。

表 4 国内热解吸技术的工程应用案例

项目名称	热解吸温度/°C	污染物种类	处理前浓度/(mg/kg)	处理后浓度/(mg/kg)	处理量
焦化厂保障性住房地块污染土治理修复项目	200-600	苯	23.01	<0.64	153 万方
		萘	158.51	<50	
		苯并(a)蒽	9.23	<0.5	
		苯并(b)&(k)荧蒽	18.74	<0.5	
		蒽	10.25	<0.2	
		苯并(a)芘	7.76	<0.41	
		茚并(1,2,3-cd)芘	2.29	<0.22	
原北京焦化厂政府储备土地剩余用地污染土治理项目第一标段	500-600	二苯并(a,h)蒽			43 万方
		苯	16.67(最大值)	<0.05	
		萘	1510(最大值)	<39	
		苯并(a)蒽	0.55	<0.5	
		苯并(b)&(k)荧蒽	0.9	<0.5	
		蒽	0.47	<0.2	
		苯并(a)芘	0.35	<0.2	
茚并(1,2,3-cd)芘	0.2	<0.1			
杭州农药污染土壤修复项目	450	二苯并(a,h)蒽			4.5 万方
		DDD	1176.6	0.02	
		DDT	2319	1.71	
		α-六六六	49.6	0.135	
		β-六六六	9.8	0.117	
		多环芳烃	0.6~6.15	NA	
		PCBs	132~808	NA	
VOCs 等	445~37650	NA			
中石化西北油田原油污染土壤修复项目	450	石油烃	平均 60,000	<10,000	5.3 万方
广州白鹤洞土壤修复项目	350	PAHs	平均 24	<2	51 万方
重庆金祥化工污染场地治理	500-600	TPH	50-5500	<1000	5 万方
		萘	0.01-985	<1.17	
		苯并(a)恩	0.01-64	<0.63	

项目	屈	0.01-64	<61.8	
	苯并(b)荧蒽	0.01-47	<6.19	
	苯并(k)荧蒽	0.01-39		
	苯并(a)芘	0.01-56	<0.19	
	茚并(1,2,3-cd)芘	0.01-36	<0.63	
	二苯并(a,h)蒽	0.01-261	<96.7	
	芴	0.01-4131		
	芘	0.01-257		
	荧蒽			
世界银行多氯联苯管理与处置示范项目	500	PCBs	110-322	<0.2 1 万方

## 6 主要技术内容及说明

### 6.1 标准的适用范围

本节规定了本标准的主要内容和适用范围,明确了标准对异位热解吸技术修复污染土壤工程全过程的技术指导作用。本标准适用于污染土壤异位热解吸修复工程,可作为污染土壤异位热解吸修复工程设计、施工与运行管理的参考依据。本标准不适用于含放射性物质的污染土壤的处理。

### 6.2 规范性引用文件

本节列出了规范条文中出现的标准。

### 6.3 术语和定义

本标准规定了异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范涉及到的有关术语及定义,给出了异位热解吸、直接热解吸、间接热解吸、预处理、土壤出料温度、土壤停留时间、黏土 7 个术语的定义。主要参考了《污染场地术语手册》(HJ682-2014)中对相关术语的定义。黏土定义参考了国际质地制的土壤分类方法。

### 6.4 污染物与污染负荷

本节规定了根据异位热解吸工程设计需要,需对污染地块进行全面和深入的调查,收集相关资料。

从设备运行安全性考虑,还对污染土壤中有机污染物含量进行了限制。美国

海军设施工程服务中心（Naval facilities engineering service center）编制的《Application Guide for Thermal Desorption Systems》规定，采用直接热解吸工艺修复污染土壤，进料中土壤的最大有机污染物的含量为 2%~4%，采用间接热解吸工艺修复污染土壤，进料中土壤的最大有机污染物的含量为 50%~60%。结合国内相关工程经验，规定了污染负荷：采用直接热解吸工艺修复污染土壤，进料中有机污染物的浓度不宜超过 2%~4%；采用间接热解吸工艺修复污染土壤，进料中有机污染物的浓度不宜超过 50%~60%。

由于水的比热容约为土壤的 5 倍，根据工程经验，当污染土壤的含水率大于 20%时，加热去除土壤中水分的能耗很高，与节能理念的原则相违背；另外，当土壤中含水率大时，土壤易粘结成块，不利于传热，造成土壤中污染物的去除率下降。因此，规定进入土壤热处理设备的污染土壤含水率应不大于 20%，大于 20%的土壤应进行脱水处理；污染土壤的颗粒大小一般不应大于 5cm~10cm，大于 5cm~10cm 的颗粒应进行破碎处理。

粘土类污染土壤易粘结在设备上，需经特殊预处理（如在土壤中添加调节剂）以降低土壤粘性，处理后土壤应易于破碎至 5cm~10cm 以下，然后才能进入土壤热处理设备。

## 6.5 总体要求

### 6.5.1 一般规定

#### （1）法规政策要求

规定了异位热解吸技术修复污染土壤工程的建设与运营应该遵守国家相关法律法规、产业政策以及各级各类标准的规定，切实做到依法建设、依规运营。

#### （2）环境管理要求

规定了异位热解吸技术修复污染土壤工程在运行过程中所产生的各种二次污染问题所应满足的环境管理要求。包括：处理后的土壤应满足修复目标值的要求；大气污染防治应满足 GB 16297 要求；废水可经处理后回用或经处理后达到相应标准作其它用处；厂界噪声应执行《工业企业厂界噪声标准》（GB 12348）；产生的危险废物，如废弃活性炭等，应按照危险废物进行管理；一般固体废物按一般固体废物进行管理。

### 6.5.2 工程构成

介绍了异位热解吸技术修复污染土壤工程的三大构成：主体工程、辅助工程

和配套设施。

主体工程包括：暂存、预处理、进料、热处理、烟气处理、出料、检测及控制系统等。

辅助工程包括：能源供应、给排水及消防、供配电、通风与空气调节、实验室、库房等。

配套设施包括：办公室、值班室、厂区围挡、道路等。

### **6.5.3 场址选择及总平面布置**

对土壤处理场址选择、管线布置、设备排列总平面布置等方面做出了比较细致和具体的规定。异位热解吸技术修复污染土壤的处理场址污染地块的场区内、水泥窑协同处置厂、固体废物填埋场等其它场所，并尽量远离居民区等敏感点。污染土壤处理场总平面布置应围绕热解吸主体设备布置，其他设施应按污染土壤处理流程合理安排。

处理场的行车道路宜环形设置，路面宽度不宜小于 6m。处理场外应设消防道路，道路的宽度不应小于 3.5m。污染土壤处理场周围应设置围墙或其它防护栅栏，防止家畜和无关人员进入。

## **6.6 工艺设计**

### **6.6.1 一般规定**

本节规定了本标准涉及的工艺应遵循的设计要求，包括暂存、预处理、进料、热处理、出料、烟气处理等工艺环节。

异位热解吸技术工艺设计宜采用节能设计理念，降低系统能耗。节能设计包括：采用保温措施防止热量散失；在雨水充沛的地区做好防雨措施；采用适宜的措施回收系统余热，将回收热量应用于工艺内部或外部。

异位热解吸系统运行过程中应处于负压状态，避免有害气体逸出。

异位热解吸技术工艺宜采用模块化、橇装化设计，满足快速运输及安装的要求。

### **6.6.2 工艺路线**

异位热解吸工艺根据热源与污染土壤接触方式的不同，可分为直接热解吸工艺和间接热解吸工艺，热解吸工艺的选择应根据污染土壤修复方量、修复周期、污染物类型及污染物含量确定。

间接热解吸修复污染土壤工程的工艺流程主要有两种，其差别在于气液分离

后不凝气的处理方式，包括吸附和二次燃烧两种，其中吸附适用于低有机污染物含量的不凝气处理，针对高有机物含量（高有机物污染或石油烃污染土壤等）以及有机污染物种类繁多的时候，吸附很难处理达标排放，且吸附后会产生大量废吸附剂的危险废物，二次燃烧能将不凝气中高浓度的有机污染物彻底分解，产生的热量也可以回用至系统，因此，规定进料中有机污染物的含量高于 4%时，宜采用图 2（b）的工艺流程。

### 6.6.3 工艺设计要求

#### （1）暂存和预处理

污染土壤暂存和预处理车间应根据预测总库存容量、配套设施要求及现有地块条件进行设计和建设。车间内功能区划分可分为污染土壤卸车区、暂存区、预处理区等。

为了防止土壤中挥发的有机污染物污染大气，污染土壤暂存和预处理车间应设置机械通风，车间内排出的空气应经过滤和吸附处理达标后外排或引入运行的烟气处理设施进行处理。

为了防止土壤中污染物渗漏污染暂存和预处理车间下方的土壤和地下水，暂存和预处理车间地面宜作硬化或防渗处理。

污染土壤暂存和预处理车间卸车区和暂存区宜配置电动抓斗、铲车等装卸设备，预处理区宜配置脱水、筛分、破碎、输送等设备。

为了使污染土壤在加热设备中稳定、高效地运行，根据待处理土壤的特性，需要对污染土壤进行一定的预处理，使其满足进入土壤加热设备的要求。

由于所有污染土壤异位修复技术均会涉及污染土壤的挖掘、堆放、包装、运输、贮存等环节，针对这些环节，建议制订统一的技术规范，本标准未对这些环节进行阐述。

土壤预处理后遗留的石块、植物残体、丝物等杂物，也需要进行危害性检测，判断其危害并进行管理。

#### （2）进料

规定了土壤进料的技术要求。根据污染土壤的特性和处理规模的要求，选择适当的进料方式及进料速度；污染土壤进料前应保证热解吸系统工况的稳定；防止给料不均造成进料口堵塞或设备的运转故障。为防止污染物及粉尘污染场区周围环境，进料单元应设置密闭罩，并自动计量投料。

### (3) 热处理

根据加热温度的高低，热解吸技术可分为高温热解吸和低温热解吸，热解吸使用的热源可以为天然气、燃油、电、蒸汽、导热油等。通过调查国内的工程应用案例，直接热解吸的热处理设备通常为回转窑，间接热解吸的热处理设备通常为回转窑或螺旋推进式热解炉。热解吸使用的热源通常为天然气和燃油。根据《环境工程技术规范制订技术导则》，技术规范的编制应以工程实践为基础，并以成熟技术为主体。因此，本技术规范中仅涉及有工程实践且成熟的技术。

为保证热处理设备安全、高效运行，对土壤热处理设备的设计进行了规定，包括转动速率在一定范围内应实现可调，燃料和空气进气量应均可调节，具备耐高温能力，腔内应配置有防板结装置，避免处理过程中物料板结等。

为满足污染土壤处理的要求，需控制热处理设备的温度和物料停留时间。由于土壤的加热温度很难直接测量，实际操作中一般通过控制热处理设备中土壤的出料温度，然后根据工程经验折算成土壤的加热温度。

### (4) 烟气处理

直接热解吸工艺由于烟气风量大，携带的粉尘量较多，需首先进入旋风除尘器内进行除尘以确保烟气的粉尘量满足后续工艺处理的要求。为使烟气中的有机污染物充分燃烧分解，烟气在二次燃烧室 850℃ 以上停留时间大于 2s，如可能产生二噁英，烟气宜在 1100℃ 以上停留时间大于 2s。

由于二噁英生成的温度区间为 230℃~550℃，如烟气中可能产生二噁英，应进行急冷处置，使烟气在 1s 内由 550℃ 降低到 230℃ 以下；如烟气中不产生二噁英，可采用换热器降温处置。

急冷后烟气处理可采用喷入活性炭粉或其他高效的技术去除二噁英等污染物。在喷入活性炭粉之前可选择喷入石灰粉，吸收烟气中的残余酸性物质和过量水分。烟气经布袋除尘后应根据污染物种类选择相应的喷淋液类型且应配备除雾器。

间接热解吸工艺产生的烟气量比直接热解吸工艺少，烟气处理时首先经过冷凝将烟气中的污染物由气相转变为液相，气体冷凝宜采用间接换热方式，可以选择风冷、水冷、冷却液冷却或其他形式的冷凝器，冷凝器可采用一级或多级的形式。冷凝器后应配置气液分离设备，以降低不凝气中的液体含量。气液分离后的烟气吸附工艺宜参照 HJ 2026 的要求进行设计。

对烟气排放的相关设计进行了详细的规定。排气筒的设计应满足 GB16297 中的相关要求并应设有取样口和在线监测装置。间接热解吸设备的热源产生的尾气如满足国家和地方标准的要求，可直接排入大气。如不满足国家和地方标准的要求，应配套建设烟气处理设施处理达标后排放。

#### **(5) 出料与存放**

经过加热处理后的土壤温度高且十分干燥，出料时应做好降温防尘措施。一般采用喷淋法降温抑尘，土壤经喷淋降温抑尘后，应运输至指定堆放区并设置标识牌。

#### **6.6.4 二次污染控制措施**

废水满足回用水要求时宜循环使用，不能循环使用的废水应处理满足国家和地方标准的要求后排放或外运处理。

土壤预处理后遗留的石块、铁块、建筑垃圾、植物残体等杂物，也需要进行危害性检测，判断其危害并进行管理。

工程经验表明，烟气处理可能产生二噁英时，旋风除尘器、急冷塔、及布袋除尘器灰斗的粉尘中二噁英的含量可达《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》中二噁英筛选值的数十倍，因此，这些灰尘应收集后重新投入进料设备。

冷凝、气液分离产生的有机物有回收利用价值时宜进行回收，否则应按危险废物进行管理；废水处理产生的污泥应按危险废物进行管理。

#### **6.7 主要工艺设备及材料**

本节对异位热解吸技术主要工艺设备如回转窑、螺旋推进式热解炉、碱液喷淋装置、活性炭粉和石灰粉喷射装置、引风机、水泵等在选型和选用中应遵循的标准规范提出了具体要求。提出热解吸系统宜选择寿命长、耐温、耐腐蚀、耐磨损的材料。

#### **6.8 检测与过程控制**

本节规定了异位热解吸技术修复污染土壤工程应根据工程规模、工艺参数、处理的污染物类型、运行管理等确定检测和过程控制的内容。

异位热解吸技术修复污染土壤工程的进料、热处理、烟气处理应设置生产控制、运行管理所需热工参数的检测和监测装置。对烟气和处理后的土壤进行检测和监测。进料、热处理和烟气处理宜设置手动及自动系统共同进行控制。

## 6.9 辅助工程

辅助工程是异位热解吸技术修复污染土壤工程的重要组成部分,是实现工艺目标的辅助手段。根据工艺要求,标准规定了配套的能源供应、供配电、给排水和消防、采暖通风等方面的技术要求,规定了应符合的相关标准和规范。

## 6.10 劳动安全与职业卫生

异位热解吸技术修复污染土壤工程在建设、运行过程中会产生各种二次污染及安全隐患,标准要求严格执行国家现行环境保护、劳动安全、职业卫生方面相关标准。

## 6.11 施工与试运行

施工与试运行是异位热解吸技术修复污染土壤工程的重要环节。本章规定了异位热解吸技术修复污染土壤工程的施工应符合国家和行业相应专项工程施工规范、施工程序及管理文件的要求。建筑、安装工程应符合施工设计文件、设备技术文件要求。土壤修复工程性能试验应至少包括以下内容:土壤最大处理量试验、最大处理效率试验、烟气达标排放试验、能源和药剂消耗试验、运行稳定性试验。

## 6.12 运行与维护

运行达标是修复工程的目的,维护和管理是保证系统长期正常运转的关键。本章包括运行管理总则、人员与运行管理、维护保养和事故应急处理措施。

本标准在技术力量配置、上岗人员的技能培训、运行目标、运行维护应达到的技术管理指标等方面进行了明确的规定,要求运行部门或单位应制定一系列操作规程和巡检制度,建立系统运行记录制度。明确应记录的主要内容,规定了记录格式、填写和管理要求。运行人员应按照制度履行好自己的职责,确保系统经济稳定运行。标准同时规定了应建立热解吸技术修复污染土壤工程运行状况、设施维护和生产活动等记录制度。制定热解吸技术修复污染土壤工程事故应急措施,当热解吸技术修复污染土壤工程出现紧急事故时,应立即采取相应措施进行处理,尽可能地降低事故影响,包括对主体工程运行安全、人员伤亡、财产损失和环境破坏等,事故处理时应做好记录、分析原因,防止同类事故重复发生。

## 7 标准实施的环境效益和经济技术分析

该标准实施后,异位热解吸技术修复污染土壤工程实施过程中的废气、废水、噪声及固体废物得到安全处置,修复后土壤中污染物的含量满足国家或地方修复目标值的要求,健康风险和生态风险大大降低,环境效益和经济效益十分明显。

## 8 标准实施建议

本标准通过实地调研和咨询,总结近几年来异位热解吸修复污染土壤的工程设计、施工和运行管理方面的经验,在广泛调研的基础上制订完成本标准。本标准涉及异位热解吸修复污染土壤的工程设计、施工、运行等各方面,涉及面广、技术性强。建议在本标准实施过程中,广泛听取和收集各方面的意见与建议,根据实际应用情况,对本标准进行不断的修订和完善,使其实用性和可操作性与时俱进,不断满足环境管理和环保设施工程建设需要。