

《有机污染土壤微波热解析修复技术规范》 团体标准编制说明

《有机污染土壤微波热解析修复技术规范》编制组

2022年4月

目 录

1 项目背景	1
1.1 有机污染土壤来源.....	1
1.2 有机污染土壤现状.....	2
1.3 有机污染土壤修复技术.....	4
2 任务来源	6
3 主要工作过程	8
4 编制的必要性	8
5 主要工作内容	9
5.1 编制原则.....	9
5.2 工作方法.....	10
5.3 技术路线.....	10
6 标准主要内容	11
7 主要条文及说明	12
7.1 适用范围.....	12
7.2 规范性引用文件.....	12
7.3 术语和定义.....	13
7.4 总体要求.....	15
7.5 预处理技术要求.....	19
7.6 微波热解析修复技术要求.....	21

7.7 污染物排放控制要求.....	25
7.8 监测要求.....	28

1 项目背景

1.1 有机污染土壤来源

污染土壤是指因从事生产、经营、使用、贮存有毒有害物质或处理危险废物等活动，造成土壤有毒有害物质含量达到对人体健康或生态环境产生的不利影响超过可接受风险水平的土壤，而有机污染物含量超标造成的土壤污染称为有机污染土壤。

根据 2005 至 2013 年全国土壤调查结果分析，我国土壤中六六六、滴滴涕、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%，在被调查的 13 个采油区的 494 个土壤点位中，超标点位占 23.6%，主要污染物为石油烃和多环芳烃。环境中有机污染物的来源大部分与人类活动有关，土壤作为人类活动的主要圈层，其有机污染物的来源可以是人类生活的方方面面。如石油开采、加工、储藏及运输等环节的非正常泄漏造成的土壤石油烃污染；在农业生产过程中为了增加产量，大量农药和化肥的使用，造成的土壤有机农药污染；化工企业运行期间，产生的“三废”即废水、废气和废渣排放环境中，造成了严重的土壤和地下水的污染；电器和电子设备拆解也导致一些区域土壤有机物污染；甚至居民日常生活产生的垃圾、废水也会造成土壤有机污染。

造成土壤污染的有机物主要包括挥发性有机污染物、焦化类有机污染物、持久性有机污染物、化学农药以及石油烃、邻苯二甲酸酯类

等其他有机污染物，详见表 1。其中尤以有机氯农药、多环芳烃、多氯联苯等持久性有机污染物为主，此类物质具有高毒性、持久性、生物积累性、远距离迁移性，能长久存在于环境中，并且可通过生物食物链（网）累积，对人类健康有极大危害。

表 1 土壤主要有机污染物物质

污染种类	污染物质
挥发性有机物	甲醛、丙酮、丁酮、苯、甲苯、二甲苯、乙苯、1,4-二氯苯、氯仿、四氯化碳、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烯（顺）、1,2-二氯乙烯（反）、三氯乙烯、四氯乙烯等
多环芳烃类	苯并（a）蒽、苯并（a）芘、苯并（b）荧蒽、苯并（k）荧蒽、二苯并（a,h）蒽、茚并（1,2,3-cd）芘、屈、萘、菲、蒽、葱、荧蒽、芴、芘、苯并（g,h,i）芘、蒽烯（二氢蒽）等
持久性有机物与农药	艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、氯丹、七氯、灭蚁灵、毒杀芬、滴滴涕、六氯苯、多氯联苯、二噁英、六六六、阿特拉津、2,4-二氯苯氧乙酸、西玛津、敌比、草甘膦、二嗪磷、代森锌等
其他	石油烃、邻苯二甲酸酯类、苯酚、2,4-二硝基甲苯、3,3-二氯联苯胺等

1.2 有机污染土壤现状

近年来，我国土壤环境面临的形势日益严峻，部分地区土壤污染严重，在重污染企业或工业密集区、工矿开采区、城市和城郊地区出现了土壤重污染区，也往往是高风险区。从污染类型上看，土壤污染

类型多样，呈现出新老污染物并存、无机有机复合污染的局面。土壤污染途径多，原因复杂，控制难度大；土壤环境监督管理体系不健全，土壤污染防治投入不足，全社会土壤污染防治的意识不强，由土壤污染引发的农产品质量安全问题和群体性事件逐年增多，成为影响群众身体健康和社会稳定的重要因素。据不完全统计，仅在 2011-2016 年，全国就共有近 10 万个工业搬迁场地，许多原有的工业用地被逐步开发为居住用地或商业用地，工业搬迁后遗留废弃用地土壤环境问题突出。我国土壤环境总污染超标率达到了 16.1%。这些污染土壤严重威胁着生态环境和人体健康，成为我国发展道路上急需解决的热点问题。此外，由于煤和石油的燃烧产生的大量多环芳烃通过降水等方式进入土壤，导致全国农产品多环芳烃超标率达 20% 以上。环境保护部和国土资源部根据调查结果在 2014 年联合发布的《全国土壤污染状况调查公报》中明确指出，我国约有总量 10% 以上的耕地受环境污染影响，总面积达到 1.5 亿亩，尤其以经济发达地区更为严重。

近几十年来，化学、能源和工业等部门产生的废物被进行不适当的处理或非法排放活动，在全世界范围内造成了许多令人担忧的环境污染案例。其中由于石油管道泄漏、储罐泄漏、油轮碰撞和其他事故，大量石油烃类或其它有机物进入到生态环境中。有机污染对土壤肥力造成严重威胁，对种子萌发和植物生长造成影响，因为其中存在的高浓度聚芳烃、树脂、石蜡、苯、甲苯、乙苯和二甲苯等物质，导致了很多的生态和社会灾难。为了强化污染土壤的管理与修复，近年来国内相继出台了一系列相关政策，环境保护部于 2014 年发布《关于〈

加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作>的通知》（环发〔2014〕66号）要求“场地治理修复从业单位必须按照相关环保标准规范开展调查、风险评估及治理修复工作。”2016年5月国务院关于印发《土壤污染防治行动计划》，指出开展污染治理与修复，改善区域土壤环境质量；2019年1月1日《土壤污染防治法》实施，要求有风险的地块应进行风险管控和修复；2021年8月山东省印发《山东省“十四五”生态环境保护规划》，强调持续推进土壤污染防治攻坚行动，强化土壤和地下水污染风险管控和修复。

1.3 有机污染土壤修复技术

在目前的污染土壤修复技术中，主要分为物理、化学和生物三大类修复技术。发展较为成熟的修复技术主要有：土壤气相抽提技术、化学修复技术、动植物修复技术、微生物修复技术、传统热解析修复技术、微波热解析修复技术等。

土壤气相抽提技术是利用抽真空或注入空气形成一个压力梯度，使得空气流经污染区域时，解析并携带土壤中的挥发性、半挥发性有机污染物从而达到净化土壤的目的。抽提出的气体要经过进一步净化处理排入大气或重新注入地下循环使用。影响土壤气相抽提修复技术的主要因素有抽气速率、土壤渗透率、污染物饱和蒸汽压等，研究表明土壤气相抽提技术具有设备简单、修复费用低廉、可操作性强、修复时间短和对环境破坏小等优点。但该技术仅适用于渗透性高的土壤，尤其适合砂土，而且抽出的污染气体需进行后续处理。

化学修复技术发展较早，也相对成熟，它是利用土壤污染物的化学特性，通过化学修复剂与污染物发生氧化、还原、吸附、沉淀、聚合、络合等反应，使土壤中污染物发生分离、降解、转化或稳定成低毒或无毒等形式。该技术具有修复周期短、可用于处理多种污染物等优点。但是，化学修复容易引起土壤本身结构破坏，养分流失和生物活性下降等问题。根据修复原理不同，化学修复技术主要包括固化/稳定化技术、氧化还原技术、土壤淋洗技术和电动力修复技术等。

生物修复技术指一切以利用生物为主体的污染土壤修复技术，又可进一步分为植物修复技术、动物修复技术、微生物修复技术三大类。与物理修复技术和化学修复技术相比，生物修复具有成本低，无二次污染等优势，尤其适用于量大面广的污染土壤修复。植物修复技术是指利用可超富集重金属的植物吸收、积累土壤环境中的污染物，并降低其毒害的环保生物技术，其主要途径包括植物萃取、根际过滤、植物挥发和植物固定。动物修复技术是利用土壤中存在的某些特定的动物对有机污染物进行直接吸收从而转化分解掉有机污染物。微生物修复技术是指利用土著微生物或人工培养的功能微生物，在适宜环境条件下，通过自身的代谢作用，将土壤污染物降解成无毒物质或降低其活性的生物修复技术。

传统热解析技术，又叫热脱附技术，是指在真空或通入载气时，以石化燃料为加热能源，直接或间接加热的方式，将土壤中的有机污染物加热至足够高的温度，使其挥发成气态并与土壤分离的过程。研究表明，热脱附技术对多氯联苯，多环芳烃，杀虫剂，石油等挥发性

半挥发性有机污染物以及汞污染土壤有较好的修复效果。相比于其他污染土壤修复技术,热解析技术具有污染物处理范围宽、处理速率高、修复后土壤可再利用等优点。特别是对于多氯联苯这类含氯有机污染物低温热脱附能够显著降低二噁英的生成。但是诸如处理成本过高、燃烧化石燃料引入二次污染、烟气量大、脱附废气处理等问题限制了传统热解析技术在有机污染土壤修复中的应用。

微波热解析技术,是以微波替代化石燃料做为新的能源介质,革新了传统热解析技术的加热方式。它是依靠每秒 30000~300000 万次周期变化的微波透入物料内,与物料的极性分子相互作用,物料中的极性分子(如水分子)吸收微波能后,改变其原有的分子结构,亦以同样的速度作电场极性运动,极性分子彼此间频繁碰撞,产生大量摩擦热,从而使物料内各部分在同一瞬间获得热能而升温。微波加热又称为“体加热”,使加热更快速、均匀,大大改善了加热质量。与传统加热方式相比,微波具有加热速度快、均匀加热、节能高效、易于控制、能够选择性加热并且安全无害。同时只需用电、无需化石燃料、不引入二次污染、能耗低的特点,可解决传统工艺高能耗、二次污染大、资源化处置水平低等问题,充分响应国家“碳达峰、碳中和”的双碳战略目标,推动有机污染土壤修复技术向绿色、低碳方向发展。

2 任务来源

由于土壤污染具有隐蔽性,人类往往意识不到其重要性,不处理而随意倾倒和堆放的城市生活垃圾,工矿企业的废水、废气、废渣,

农药、化肥过度使用的残留等，对土壤造成了越来越严重的污染和破坏，被污染的土壤所承载的有害物质具有潜在的风险性，严重危害人体的健康，破坏生态环境，并导致因土壤污染而引发的诸多食品安全问题，因此，对这些污染土壤实施治理和修复，已成为当下刻不容缓的事情。有机污染土壤微波热解析修复技术，是以微波替代化石燃料做为新的能源介质，革新了传统土壤热解析修复技术的加热方式，与传统加热方式相比，微波具有加热速度快、均匀加热、节能高效、易于控制、能够选择性加热并且安全无害，同时，只需用电、无需化石燃料、不引入二次污染、能耗低的特点，可解决传统工艺高能耗、二次污染大、资源化处置水平低等问题。但是，目前国内相关行业内未有有机污染土壤微波热解析修复技术相关专项技术规范，导致应用该技术进行修复有机污染土壤时难以做到科学有效的实施、严格控制处理效果，造成修复土壤的再利用存在一定的健康隐患，因此，有必要对这一技术进行全面梳理与分析总结，建立行之有效、科学合理、管控结合的处置技术规范。

为改善生态环境质量，满足环境管理需求，突破生态环境标准发展瓶颈，填补有机污染土壤微波热解析修复技术规范的空白，根据2022全国标准化工作要点，深化标准化改革创新，着力提升标准质量效益，加强标准国际化工作，进一步构建推动高质量发展的标准体，依据《中华人民共和国标准化法》和《团体标准管理规定（试行）》的相关规定，山东产研绿洲环境产业技术研究院有限公司决定立项并

联合相关单位制定《有机污染土壤微波热解析修复技术规范》团体标准。

3 主要工作过程

2020年4月-2021年8月，编制组广泛收集、分析了国内外相关资料，以山东产研绿洲环境产业技术研究院有限公司的有机污染土壤微波热解析修复生产线为基础，并深入微波热解装备和应用企业进行了现场调查研究，了解有机污染土壤的产生情况、自建处理设施运行现状和运行参数、处理后土壤控制指标，处理后土壤再利用现状。

2021年9月，山东产研绿洲环境产业技术研究院有限公司牵头组建了标准编制小组。研究组召开内部研讨会，初步拟定了标准编制的工作目标、工作内容，确定了标准技术路线以及任务分工。

2021年10月-2022年4月，编制组汇总并分析调研资料，完成了《有机污染土壤微波热解析修复技术规范》（初稿）。

2022年5月，编制组将《有机污染土壤微波热解析修复技术规范》（初稿）征求了企业代表和有关专家的意见，经过反复修改和完善，形成了《有机污染土壤微波热解析修复技术规范》的征求意见稿及编制说明。

2022年6月，公开征求意见。

4 编制的必要性

微波热解析修复技术已经成为有机污染土壤修复领域的重要技

术之一，随着国家鼓励使用清洁能源供能，该技术应用前景更加广阔，但是相关专项技术规范缺乏也导致了应用该技术进行修复有机污染土壤时难以做到科学有效的实施、严格控制处理效果，造成修复土壤的再利用存在一定的健康隐患。因此，结合我国有机污染土壤现状，将有机污染土壤微波热解析修复技术与工程经验分析总结，制订《有机污染土壤微波热解析修复技术规范》，有利于真正规范和进一步推进我国污染土壤修复技术工作，有利于突破污染土壤再利用发展的环境制约，有利于对污染土壤的有效治理，助力我国有机污染土壤微波热解析修复事业的健康发展，提升有机污染土壤修复水平，对推进我国生态文明建设并且维护国家生态安全有着重要意义。

5 主要工作内容

5.1 编制原则

(1) 按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定编写本标准内容。

(2) 保护环境，控制有机污染土壤微波热解析修复过程可能造成环境污染，包括热解废气污染排放控制、废水污染排放控制、产物环境安全控制。

(3) 保证标准的适用性、先进性；注意标准的统一性和协调性；注意标准的经济性和社会效益。

5.2 工作方法

根据工作计划及大纲，在国内外资料调研的基础上，开展有机污染土壤微波热解析修复技术调研。采取现场调研、专家咨询、文献收集等方式，掌握企业现有土壤修复水平和污染防治水平，在此基础上，编制标准初稿，根据专家意见进一步补充完善标准的内容，编制标准征求意见稿和送审稿，最后形成报批稿。

(1) 综合调研 通过广泛的文献和资料查询，对国内外有机污染土壤微波热解析修复技术现状进行详细的综合调研，把握国内外有机污染土壤微波热解析修复技术和方法，明确有机污染土壤微波热解析修复技术的需求。

(2) 实地调研 在综合调研的基础上，明确有机污染土壤重点产废行业，梳理代表性产废企业及处理、修复单位，前往企业现场进行实地调研工作，为标准的编制提供依据。

(3) 专家咨询 经询涉及土壤修复的相关管理人员及领域内的专家学者、企业的技术人员，听取专家的技术意见，并结合多年来在有机污染土壤微波热解析修复领域的经验，确定标准的框架结构、技术重点、条款内容。组织多学科、多部门的研讨会，对标准进行咨询论证，在充分吸收专家意见的基础上，不断完善文本，为有机污染土壤微波热解析修复提供技术指导。

5.3 技术路线

主要技术路线见下图。

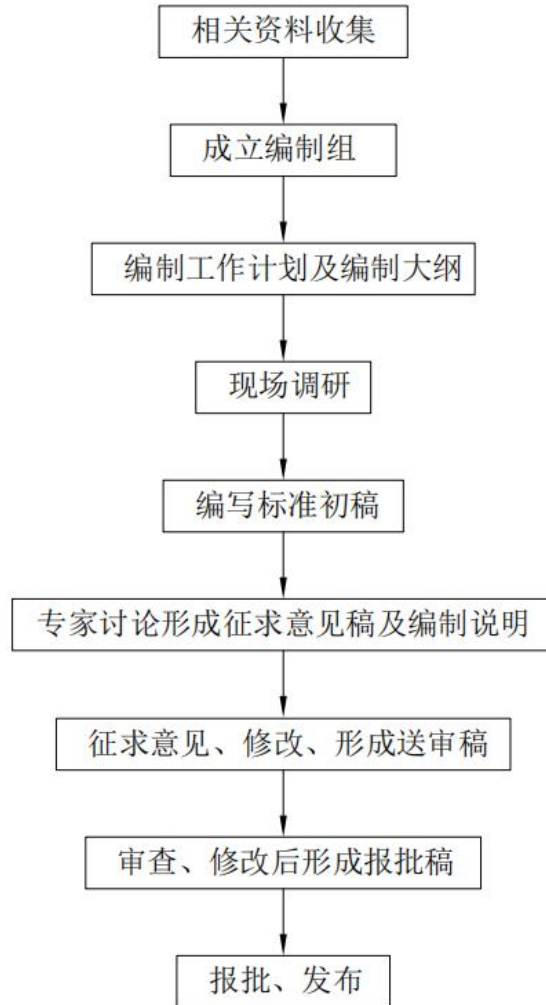


图 1 技术路线

6 标准主要内容

本规范规定了有机污染土壤微波热解析修复过程中相关的术语和定义、总体要求、微波热解析修复技术要求、环境保护要求以及监测要求。

本规范适用于修复受到挥发性有机物、半挥发性有机物、有机农药类、石油烃类及多氯联苯、多溴联苯类等污染的土壤采用微波热解析修复技术处理过程。本标准的主要技术内容及框架如下：

- 1) 适用范围
- 2) 规范性引用文件
- 3) 术语和定义
- 4) 总体要求
- 5) 预处理技术要求
- 6) 微波热解析修复技术要求
- 7) 污染物排放控制要求
- 8) 监测要求

7 主要条文及说明

7.1 适用范围

本规范规定了有机污染土壤微波热解析修复过程中微波热解析的术语和定义、总体要求、预处理技术要求、微波热解析修复技术要求、污染物排放要求、监测要求。

本规范适用于修复受到挥发性有机物、半挥发性有机物、有机农药类、石油烃类及多氯联苯、多溴联苯类等污染的土壤采用微波热解析修复技术处理过程。

7.2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的，凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 2894 安全标志及其使用导则

GB 5959.6 电热装置的安全第六部分：工业微波加热设备的安全规范

GB 8978 污水综合排放标准

GB 11651 个体防护装备选用规范

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB 14554 恶臭污染物排放标准

GB 15630 消防安全标志设置要求

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB 18484 危险废物焚烧污染控制标准

GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准

GB 50140 建筑灭火器配置设计规范

HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

7.3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

标准条款：

7.3.1 有机污染土壤 waste salts from chemical industry

有机污染土壤是指因从事生产、经营、使用、贮存有毒有害物质或处理危险废物等活动，造成土壤中有机污染物含量达到对人体健康或生态环境产生的不利影响超过可接受风险水平的土壤。

7.3.2 预处理 pretreatment

为满足热处理设备进料要求，对待处理土壤预先进行的操作或处理，包括破碎、筛分、调节土壤含水率、混合、搅拌等。

7.3.3 有机污染土壤微波热解析 Microwave thermal analysis of organic contaminated soil

在控温和控氧的条件下，利用微波能加热，使有机污染土壤中有机污染物发生分解、炭化、挥发、分离，从而实现有机污染物从土壤中去除的过程。

7.3.4 土壤微波热解析修复设备 Soil microwave thermal desorption repair equipment

指利用微波热解析修复技术进行有机污染土壤修复的主体设备，包括进料装置、微波热解析装置、除尘装置、冷凝装置、尾气治理装置、出料及产物收集装置、控制系统、报警系统等。

说明：本部分为执行本标准制定的专门的术语和对容易引起歧义的名词进行的定义，预处理的定义引自行业普遍采用的定义，有机污

染土壤的定义参考《污染土壤修复工程技术规范 生物堆》（征求意见稿）中“污染土壤”术语的定义，有机污染土壤微波热解析、土壤微波热解析修复设备的定义参考 SY/T 7300-2016《陆上石油天然气开采含油污泥处理处置及污染控制技术规范》中对“热解”术语的定义引申而来。

7.4 总体要求

7.4.1 一般要求

标准条款：

a) 采用微波热解析修复技术进行有机污染土壤修复前应收集以下资料：

①污染物类型、浓度分布及修复方量，并应依据土壤污染状况调查报告和土壤污染风险评估报告的结果确定；

②土壤含水率、土壤质地等；

③区域气候条件（气温、降雨量、风向、风速）；

④地块的水文地质条件（地层结构、地下水位）；

⑤地块用途（目前及未来规划）；

⑥临水、临电、热源条件；

⑦修复后土壤的去向。

b) 采用微波热解析修复技术进行有机污染土壤修复前，应针对性的进行预处理和微波热解析工艺设定，确保处置过程连续稳定运行。

c) 有机污染土壤微波热解析修复过程中，应采用二次污染少、环境风险低、自动化程度高、安全可靠的微波热解析修复设备以及其他辅助设施。

d) 有机污染土壤微波热解析修复过程中应配备相应的检测设备，对污染物排放进行监测。

说明：根据有机污染土壤微波热解析修复技术工艺的需要，需对污染地块进行全面和深入的调查，收集相关资料，并应依据土壤污染状况调查报告和土壤污染风险评估报告的结果确定。从设备运行安全性、连续性、稳定性考虑，还应针对性的对有机污染土壤进行预处理以满足进入微波热解析修复设备的要求。有机污染土壤微波热解析修复过程中，企业应选取成熟可靠的技术、工艺和设备，应确保其安全、稳定、高效率运行以降低环境风险。根据环境管理要求，有机污染土壤微波热解析修复过程中应配备相应的检测设备，对污染物排放进行监测。

7.4.2 场地要求

标准条款：

- a) 作业场地应为封闭或半封闭空间，且地面应硬化。
- b) 微波热解析修复作业厂区应配备消防设施和器材，灭火器材应按 GB 50140 的规定配备且放置在显眼、易取的位置，根据要求定期检查，确保在有效期内。
- c) 微波热解析修复作业区域应按 GB 15630 的要求设置消防安全标

志，按 GB 2894 的要求设置安全标志。

d) 禁止将易燃易爆物品存放在微波热解析修复作业厂区。

说明：热解析工艺过程可能存在引发火灾等安全事故的情况，因此微波热解析修复作业场地一般设置在封闭式或半封闭式的空间，按 GB 50140《建筑灭火器配置设计规范》的规定配备消防设施和器材，且灭火器材应放置显眼、易取的位置，根据要求定期检查，确保在有效期内。按 GB 15630《消防安全标志设置要求》要求设置消防安全标志，且按 GB 2894《安全标志及其使用导则》要求设置和安全标志。同时，禁止将易燃易爆物品存放在微波热解析修复作业厂区。

7.4.3 人员要求

标准条款：

a) 操作人员应实行培训上岗制度，并定期进行安全操作和应急处理方面的培训。

b) 操作人员在作业过程中应按 GB/T 11651 的要求穿戴和使用防护装备。

c) 操作人员应熟悉微波热解析修复设备运行原理，具备设备设施操作与检修技能。

d) 微波热解析修复设备启动、运行时至少 2 名操作人员进行操作、巡检和监控。

说明：操作人员应实行培训上岗制度，并定期进行安全操作和应急处理方面的培训，并按 GB/T 11651 的要求穿戴和使用防护装备，

需熟悉微波热解析修复设备运行原理，具备设备设施操作与检修技能。微波热解析修复设备启动、运行时应至少 2 名操作人员进行操作、巡检和监控，确保操作人员安全。

7.4.4 作业安全要求

标准条款：

a) 有机污染土壤微波热解析修复作业前，应全面检查设备设施，确定设备设施功能正常后方可操作；每次上料前应确保设备运转正常，必要时先进行预处理。

b) 操作人员应按照规划的路线到达操作平台，根据相关的管理文件进行操作。

c) 设备停机全面检修间隔时长不超过 1 年。检修前确保设备处于完全关闭状态，温度恢复至室温。

d) 微波热解析修复设备操作位置应具备良好的可视性，确保操作人员安全。

说明：有机污染土壤微波热解析修复作业前，应全面检查设备设施，确定设备设施功能正常后方可进行作业，每次上料前要对设备进行检查，确保设备运转正常，还要确保物料中没有混入有机污染土壤外的其他杂物，尤其是易燃易爆的物品，同时，禁止将易燃、易爆物品堆放或暂存在作业厂区，防止引发火灾或爆炸事故。微波热解析修复设备连续作业一段时间后，内部会累积一定的残留物，对设备造成损害，因此需要定期停机进行全面检修。考虑企业的运行成本和设备的使用

寿命，一般规定设备停机全面检修间隔时长应不超过 1 年，为了确保停机检修工作人员的安全，检修前确保设备处于完全关闭状态，温度恢复室温。同时要求，微波热解析修复设备操作位置应具备良好的可视性，确保操作人员安全。

7.5 预处理技术要求

标准条款：

7.5.1 进入微波热解析修复设备的有机污染土壤应满足以下条件：

- a) 土壤中有机污染物的含量不宜超过 60%。
- b) 含水率不宜大于 30%。
- c) 颗粒大小不宜大于 5cm。
- d) pH 不宜小于 4。
- e) 塑性指数宜低于 10。

7.5.2 当有机污染土壤不满足微波热解析修复设备进料要求时应对有机污染土壤进行分选、脱水、破碎、筛分、混合、搅拌等预处理。

7.5.3 暂存和预处理车间应保持密闭和微负压状态，并设置机械通风，车间内排出的废气应经过滤、吸附处理或引入尾气处理设施处理，达标后方可排放。

说明：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。生态环境部编制的 HJ 1164《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范》规定，采用直接热脱附处理土壤中污染物的含量

不宜超过 4%，间接热脱附处理土壤中污染物的含量不宜超过 60%，结合有机污染土壤微波热解析修复技术原理与国内相关工程经验，规定了进入微波热解析修复设备的有机污染土壤中有机污染物的含量不宜超过 60%。当污染土壤的含水率大于 30%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，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，综上为了确保设备连续性、稳定性、节能性运行规定了有机污染土壤含水率不宜大于 30%，颗粒大小不宜大于 5 cm，pH 不宜小于 4，塑性指数宜低于 10。

当有机污染土壤不满足微波热解析修复设备进料要求时应对有机污染土壤进行分选、脱水、破碎、筛分、混合、搅拌等预处理：①采用分选或分拣方式去除污染土壤中砖瓦、石块、木块、铁块等杂质；②高含水率污染土壤可在暂存和预处理车间内采用晾干、添加脱水剂（如生石灰）等预处理方式使土壤含水率降至进料要求；③黏性土可选择加入调理剂（如生石灰）或与低塑性指数土壤混合等方式降低黏性；④采用破碎、筛分降低大颗粒土壤的粒径。

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或引入运行的尾气处理设施处理达标后外排。

7.6 微波热解析修复技术要求

标准条款：

7.6.1 技术原理

有机污染土壤微波热解析修复技术是以连续化阶梯式微波热解析为核心，在控温和控氧条件下，利用微波能量，对有机污染土壤中有机污染物进行分解、炭化、挥发、分离，从而使有机污染土壤中有有机物不断脱除出来，实现有机污染土壤减量化、无害化的处置。

说明：该条款阐明了微波热解析修复技术原理。

7.6.2 技术特点

标准条款：

- a) 只需用电，无需化石燃料。
- b) 不引入二次污染。
- c) 升温迅速，加热均匀。
- d) 尾气产生量少。

说明：有机污染土壤微波热解析修复技术，是以微波替代化石燃料作为新的能源介质，只需用电，无需化石燃料，不产生化石燃料燃烧带来的二次污染；微波热解过程中，物料受到微波辐射后，内部极性粒子得以加速运动，相互之间得以碰撞及摩擦后内部产生高热效应，升温迅速，加热均匀，避免了传统加热方式带来的外焦里嫩的问题。同时，尾气只来源于有机污染土壤热解产生的废气，没有其他烟

气产生，因此尾气产生量少，尾气治理负荷低。

7.6.3 工艺流程

标准条款：

a) 首先对暂存的有机污染土壤进行预处理，预处理过程需符合本标准规定的预处理技术要求，再由物料输送机将有机污染土壤输送至微波热解析修复设备进行处理，处理后的土壤可进行再利用，有机污染土壤微波热解析修复过程产生的尾气经过除尘、冷却、尾气治理后达标排放，冷却回收的液体收集后集中处置，同时，在暂存和预处理阶段挥发的有机废气应收集后经过滤、吸附处理或引入尾气治理设施处理，达标后方可排放。

b) 有机污染土壤微波热解析修复技术工艺流程见图 2。

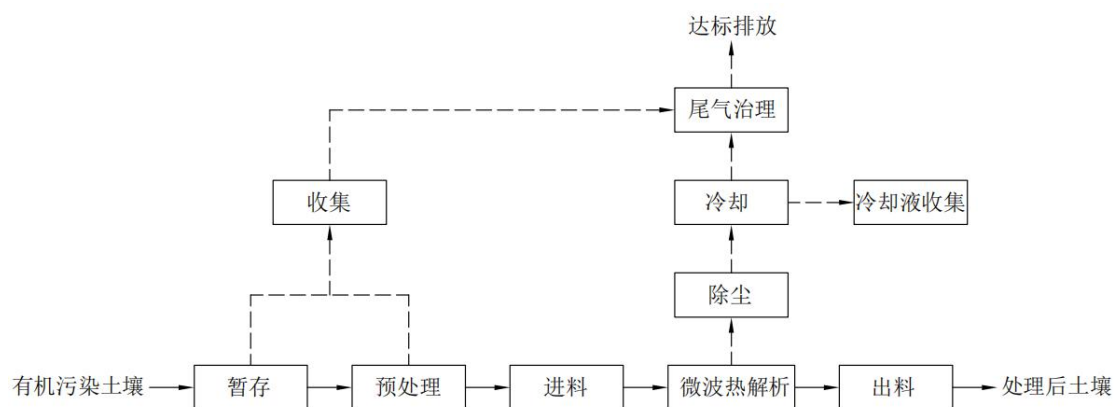


图 2 有机污染土壤微波热解析修复技术工艺流程

说明：该条款阐明了有机污染土壤微波热解析修复技术工艺流程，工艺主要包括有机污染土壤预处理系统、进料装置、微波热解析装置、出料装置、除尘装置、冷凝装置、尾气治理装置、废气收集系统、远程控制系统、在线监测系统等组成。

7.6.4 控制条件

标准条款：

- a) 热解析温度：100°C~700°C。
- b) 热解析时间：0.1 h~1 h。
- c) 微波功率密度：50~400w/kg。

说明：有机污染土壤中一般易于除去的有机物为挥发性有机物，通常需要在100°C~200°C温度下处理10min~20min，难于去除的有机物为持久性有机物与有机农药类，通常需要在300°C~650°C温度下处理20min~60min，结合以上有机物热解析温度和时间规定了微波热解析温度为100°C~700°C，微波热解析时间为0.1 h~1 h。结合处置效果及能耗，微波功率密度一般在50~400w/kg。

7.6.5 主要工艺设备和材料

标准条款：

a) 一般规定

1) 微波热解析修复设备宜优先选择符合国家相关规定，并具备自动化程度高、安全、节能、环保的性能的设备。

2) 采用微波热解析修复工艺的设备应根据防腐要求选择材质。

说明：为了提高生产效率、确保操作人员安全和健康及达到生态环境保护要求，微波热解析修复设备宜优先选择符合国家相关规定，并具备自动化程度高、安全、节能、环保的性能的设备。采用微波热解析修复工艺的设备应根据处理物料特性选择耐酸碱、耐高温材质。

b) 设备

标准条款:

1) 微波热解析修复设备宜采用可实现自动化连续运行控制的设备，设备选型与处理规模相匹配。

2) 微波热解析修复设备应具备耐高温能力，并能在系统设计温度条件下长期连续运行。

3) 微波热解析修复设备应配置微波屏蔽装置或结构，并应配置具有自动报警功能的监测装置，防止微波泄漏对操作人员造成人身伤害。

4) 微波热解析修复设备应具备以下功能:

①应具有废气净化系统，同时配备尾气在线监测功能，尾气排放应满足 GB 16297 的要求。

②具备自动化水平，一键开关机功能及自动报警功能。

③设备集成化、模块化，方便安装与检修。

④设备防板结、耐腐蚀，可连续化稳定运行。

说明: 为了提高有机污染土壤微波热解析修复效率，确保无能源浪费，微波热解析修复设备选型应与处理规模相匹配。同时，微波热解析修复设备应具备长期连续耐高温能力，确保设备运行的稳定性。为防止微波泄露对操作人员造成人身伤害，提出微波热解设备应配置微波屏蔽装置或结构，并应配置具有自动报警功能的监测装置。规定了微波热解析修复设备应具备尾气在线监测、自动化、集成化、撬装化、防板结、耐腐蚀、处置效果达标等功能。

c) 材料

标准条款:

1) 微波热解析修复设备主体应采用具有反射性和吸收性的材料, 热解室内腔应采用耐高温、耐腐蚀的材料制成。

2) 微波热解析修复设备壳体宜采用耐磨材质, 需具备抗卡阻能力, 防止被输送物料存在杂质造成卡死。

3) 微波热解析修复设备的保温材料优先采用无铬耐火材料。

说明:微波作为一种电磁波也具有波粒二象性, 微波的基本性质通常呈现为穿透、反射、吸收三个特性, 基于这种特性, 对微波热解析修复设备材料提出相应的要求。考虑有机污染土壤具有腐蚀性及热解温度较高, 微波热解室内腔应采用耐高温、耐腐蚀的材料制成, 同时, 为了防止被输送物料存在杂质造成卡死, 设备壳体宜采用耐磨材质。含铬耐火材料在高温、碱性和氧化性气氛下, 耐火材料中的 Cr^{3+} 会转化成水溶性 Cr^{6+} , 而 Cr^{6+} 强烈损坏人的皮肤、粘膜, 可以引起丘疹、溃疡、鼻中隔穿孔和呼吸道炎症, 还可引起皮肤癌和肺癌, 因此微波热解设备的保温材料优先采用无铬耐火材料。

7.7 污染物排放控制要求

7.7.1 大气污染控制

标准条款:

a) 暂存、预处理及修复过程中应对产生有组织及无组织废气应按 GB 37822 的要求采取有效收集, 处理后达到相应排放要求。

b) 废气排放应满足 GB 16297、GB 37822、GB 14554 和地方污染物排放标准要求。

说明：有机污染土壤因其本身含有机污染物，所以可能存在有机废气污染问题，因此在有机污染土壤暂存、预处理及修复过程中应对产生有组织及无组织废气应按 GB 37822《挥发性有机物无组织排放控制标准》的要求进行治理，相应指标应达到 GB 16297《大气污染物综合排放标准》、GB 37822《挥发性有机物无组织排放控制标准》、GB 14554《恶臭污染物排放标准》和地方污染物排放标准要求。

7.7.2 废水污染控制

标准条款：

有机污染土壤微波热解析修复过程中回收的冷却液、车间清洗等环节产生的废水收集后应满足 GB 8978 和地方污染物排放标准要求。

说明：该条款规定了废水排放污染控制要求。

7.7.3 固体废物污染控制

标准条款：

a) 除尘器收集的粉尘应转运至出料堆放区，并按出料批次存放。

b) 废水处理产生的污泥应脱水后进行危险废物特性鉴别，并依据其环境管理属性按国家相关规定进行管理。

c) 预处理产生的砖瓦、石块、木块、铁块等固体废物应进行清洗，清洗后可按建筑垃圾处理处置，清洗过程产生的废水应进行收集处理。

说明：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。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。

7.7.4 噪声污染控制

标准条款：

物料输送泵、风机、空压机等机械设备，宜选用低噪音设备，并采用合理的降噪、减噪措施，确保设备运转时厂界噪声符合 GB 12348 的要求。

搬运、车辆运输等非机械噪声产生环节，应采取减少固体振动和碰撞过程噪声产生的管理措施。

说明：为降低企业正常生产过程中产生的噪声对声环境的影响，厂界噪声应严格按照《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348 要求，对于物料输送泵、风机、空压机等机械设备，宜选用低噪音的设备，并采用合理的降噪、减噪措施；对于搬运、车辆运输等非机械噪声产生环节，应采取可减少固体振动和碰撞过程噪声产生的管理措施。

7.7.5 其他污染控制

标准条款：

厂界恶臭污染物限值应按 GB 14554 执行。

说明：为降低企业正常生产过程中产生的恶臭对环境的影响，厂界恶臭污染物应严格按照 GB 14554《恶臭污染物排放标准》执行。

7.8 监测要求

标准条款：

7.8.1 应按照国家有关法律和排污单位自行监测技术指南等规定，建立企业监测制度，制定监测方案，对污染物排放状况及对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并公布监测结果。

7.8.2 应按照修复目标的要求对处理后的土壤进行采样检测，采样检测应符合 HJ 25.5 的要求。

7.8.3 气体污染物监测项目及检验方法参照 GB 18484 执行。

7.8.4 微波辐射监测，微波辐射检测应符合 GB 5959.6 的要求。

说明：依据《固体废物再生利用污染防治技术导则》HJ 1091、《危险废物经营许可证管理办法》、《国家重点监控企业自行监测及信息公开办法（试行）》（环发〔2013〕81号）的相关要求，企业应具备相应的社会责任，对处理后土壤及企业周边的大气、土壤、地表水和地下水以要求的监测频次进行采样监测，并建立企业监测制度，制定监测方案，对污染物排放状况及对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并公布监测结果。应按照修复目标的

要求对处理后的土壤进行采样检测，采样检测应符合 HJ 25.5 的要求。气体污染物监测项目及检验方法参照 GB18484 执行。为防止微波泄露危害操作人员身体健康，微波辐射检测应符合 GB 5959.6 的要求。