

团 体 标 准

T/GDAEPI 15—2023

散乱污电子垃圾拆解场地复合污染土壤异位修复技术规范

Technical specification for ex-situ remediation of composite contaminated soil in the dismantling site of scattered and contaminated electronic waste

2023 - 07 - 17 发布

2023 - 07 - 17 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 适用条件	2
5 材料和药剂的选择与要求	2
6 设备的选择	3
7 工程实施	3
8 监测分析和效果评估	6
附录 A（资料性） 电子废物拆解场地常见有机污染物及其测定方法	7
附录 B（资料性） 电子废物拆解场地常见重金属污染物及其总量测定方法	8
附录 C（资料性） 电子废物拆解场地常见重金属污染物及其浸出浓度测定方法	9
参考文献	10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—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》的规定起草。

本文件由广东省环境保护产业协会提出并归口。

本文件起草单位：广东华南环保产业技术研究院有限公司、航天凯天环保科技股份有限公司、广东智环创新环境科技有限公司、广东环协科技咨询开发中心。

本文件主要起草人：刘志文、彭晓春、杨康华、刘德玲、曾毅夫、何曦、周飞、周玉珍、麦泳诗、时迪迪、李雨、罗坤丽。

散乱污电子垃圾拆解场地复合污染土壤异位修复技术规范

1 范围

本文件规定了散乱污电子垃圾拆解场地复合污染土壤筛分淋洗、微波催化氧化及吸附固载等异位修复技术的适用条件、材料和药剂的选择与要求、设备的选择、工程实施、监测分析和效果评估。

注：本文件中散乱污电子垃圾拆解场地是指以回收利用、贮存或者分类处理为目的，通过人工分解或者机械破碎、分选的方式将电子废物进行拆卸、解体活动的场地，该场地不符合产业政策或当地产业布局规划，相关政府职能部门的审批手续不完善。

本文件适用于散乱污电子垃圾拆解场地复合污染土壤的筛分淋洗、微波催化氧化及吸附固载等异位修复。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则

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/T 415 环保用微生物菌剂环境安全评价导则

NY/T 4159 生物炭

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

复合污染土壤 composite-polluted soil

有机物、重金属均超过相应筛选值的污染土壤。

3.2

异位修复 ex-situ remediation

将受污染的土壤从地块发生污染的原来位置挖掘出来，搬运或转移到其他场所或位置进行治理修复。

[来源：HJ 1231—2022,6.1.7，有修改]

3.3

筛分淋洗技术 sreening and washing technology

利用筛分设备将污染土壤分为粗料和细料，通过添加水或淋洗剂采用物理分离或增效洗脱的手段，将污染物从土壤分离的技术。

3.4

微波催化氧化技术 microwave catalytic oxidation technology

在微波和催化剂协同作用下，快速活化氧化剂降解土壤有机污染物的技术。

3.5

吸附固载技术 adsorption and fixation technology

将微生物菌群直接固定到多孔性的生物炭中，通过吸附作用固定重金属、通过吸附富集和微生物作用降解有机物的修复技术。

3.6

预处理 pretreatment

为满足异位修复处理设备进料要求，对土壤颗粒大小或含水率等进行调整的工序。

4 适用条件

4.1 筛分淋洗技术

用于处理土壤含砂率较高、渗透性较强的高浓度复合污染土壤。

4.2 微波催化氧化技术

用于处理土壤有机质含量较低的复合污染土壤。

4.3 吸附固载技术

用于处理土壤含水率较低的低浓度复合污染土壤。

5 材料和药剂的选择与要求

5.1 一般要求

5.1.1 根据土壤目标污染物种类、污染程度和土壤理化性质等指标确定。

注：本文件中目标污染物是指对人体健康具有实际或潜在不利影响，需要进行修复的关注污染物。

5.1.2 材料和药剂的选择应遵循以下原则：

- 达到设定的污染土壤处理目标；
- 满足污染土壤处置和处理后利用要求；
- 使用过程和使用后产生的环境影响和风险可以接受；
- 用量少、高效、价格适宜。

5.2 筛分淋洗技术药剂的选择

5.2.1 单一淋洗药剂一般采用螯合剂（EDTA）、有机酸（ $C_6H_8O_7$ 、 $C_4H_6O_6$ 、 $H_2C_2O_4$ 、 CH_3COOH ）、表面活性剂（SDS）、无机酸（HCl、 HNO_3 、 H_2SO_4 ）、无机盐（ $FeCl_3$ 、 $CaCl_2$ ）。

5.2.2 组合淋洗药剂一般采用螯合剂—无机盐、有机酸—无机酸、有机酸—有机酸、螯合剂—表面活性剂等多种类型。

5.3 微波催化氧化技术材料与药剂的选择

5.3.1 吸波材料一般采用活性炭、过渡金属氧化物、铁磁性金属及其复合材料等具有微波敏化作用的材料。

5.3.2 氧化剂一般采用过硫酸盐和过氧化氢。

5.4 吸附固载技术材料与药剂的选择

5.4.1 生物炭固载材料的性能指标应符合 NY/T 4159 中的II级要求，所使用的微生物应符合 HJ/T 415

的相关规定。

5.4.2 对铅、镉含量较高的土壤，宜选用含磷酸基基团较多的生物炭，如小麦生物炭和水稻生物炭；对镉、锌含量较高的土壤，宜选用有机质含量较高的生物炭，如甘蔗生物炭。

5.4.3 对含多环芳烃的土壤，微生物宜选用假单胞菌属、分枝杆菌属、戈登氏菌属、鞘脂单胞菌属、黄单胞菌属、嗜血杆菌属、红球菌属、农杆菌属、伯克霍尔德氏菌属、芽孢杆菌属、类芽孢杆菌属。

5.4.4 对含卤代有机物(如多氯联苯、多溴联苯醚)的土壤，宜选用脱卤拟球菌属、脱卤单胞菌属、脱硫杆菌属、脱卤杆菌属、梭菌属、地杆菌属、假单胞菌属、鞘脂单胞菌、红球菌属、不动杆菌属、希瓦氏菌属、伯克霍尔德氏菌属。

6 设备的选择

6.1 一般规定

应遵循适用、先进和可靠的原则，优先选用自动化程度高、能耗低、成本低的专用设备。

6.2 筛分淋洗设备的选择

筛分淋洗设备包括进料系统、筛分系统、淋洗系统、废液处理及回用系统、污泥脱水系统。

6.3 微波催化氧化设备的选择

微波催化氧化设备包括给料机、微波设备冷却系统、旋转滚筒、减速机、微波发生器、控制电柜、尾气处理装置等。

6.4 吸附固载修复设备的选择

6.4.1 吸附固载修复设备包括进料系统、搅拌系统和出料系统。

6.4.2 搅拌混合一般采用大尺寸螺旋搅拌、转筒搅拌，并具备水、液体、浆状物料投加和混合能力的设备。

7 工程实施

7.1 一般规定

7.1.1 修复工艺设计应遵循技术可靠、经济适用、安全节能、操作简便、环境安全的原则。

7.1.2 修复工艺设计参数及实施方案应根据土壤污染特征、修复工程量、现场实施条件、修复目标值、修复周期、能源供应条件等因素确定。

7.1.3 工艺设计内容包括挖运暂存与预处理、筛分淋洗、微波催化氧化、吸附固载和二次污染控制等。

7.2 异位修复技术工艺路线

异位修复技术工艺路线见图1。

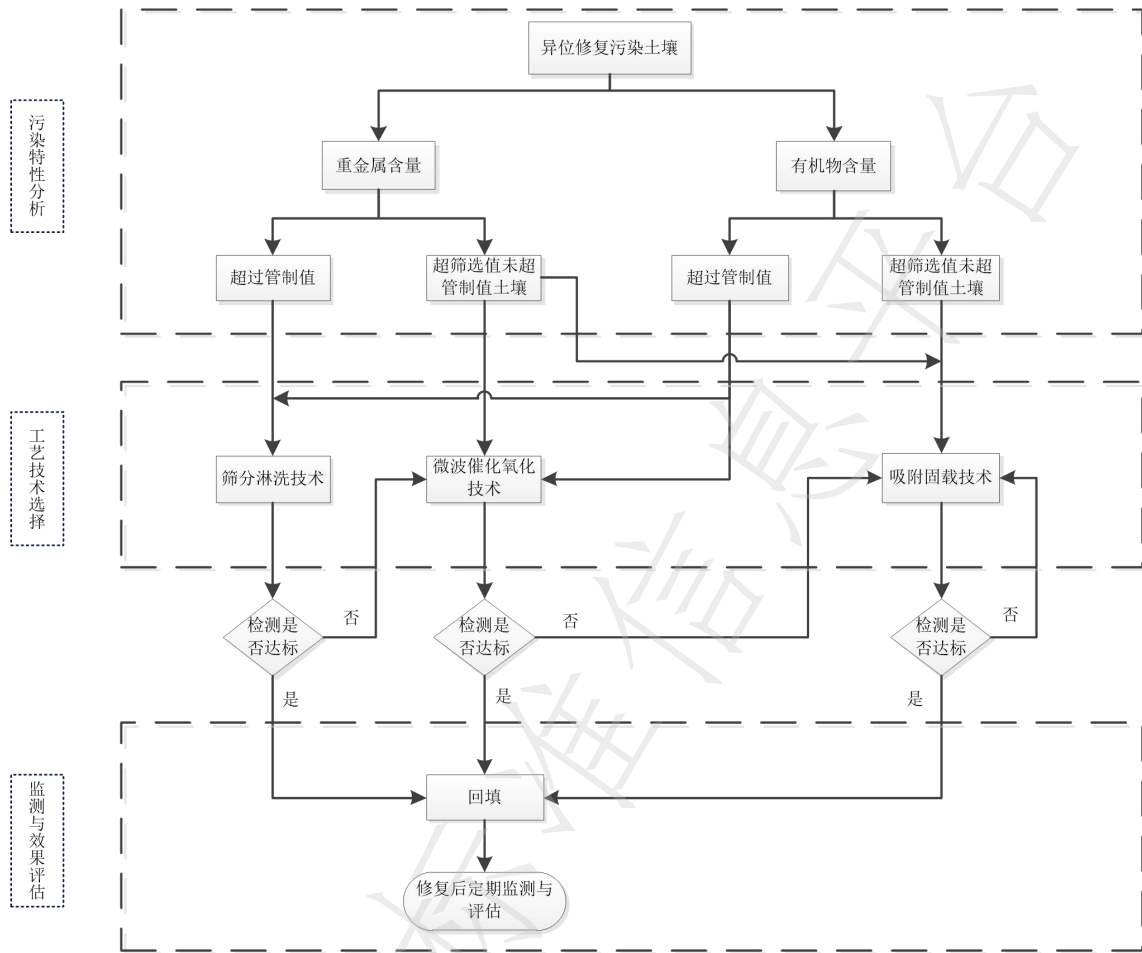


图 1 异位修复技术工艺路线图

7.3 工程实施

7.3.1 施工前准备

7.3.1.1 技术准备

应在全面了解修复工程主要内容，编制和完善施工方案，对施工的程序、进度、材料采购、质量控制、安全保障等方面进行合理的计划和安排，对施工进度、成本、质量、安全可能造成负面影响的因素，提前制定对应措施。

7.3.1.2 组织准备

主要包括组织机构的设置、管理制度的建立、人员配套、相关的培训等工作。施工组织机构的设置应结合实际情况，遵循精简、高效的原则，制定具体可行措施并落实责任人。

7.3.1.3 物资准备

主要包括材料、药剂准备和机械设备准备。应以有效提高施工效率、保证修复质量并节约成本为原则。

7.3.1.4 现场准备

应进行三通一平，完成总平面布置涉及施工围挡、现场办公区、生活区、施工便道、施工操作区、密闭大棚、处置场地等临建设施建设工作。

7.3.2 开挖及预处理

7.3.2.1 场地清表

应将施工区域建筑垃圾、杂草碎石或硬化地面破除等产生的清表土清运至地块其他空置区域集中存放，四周设置排水沟排水，并设立标识，采用防雨布进行覆盖。

7.3.2.2 基坑开挖

采用机械清挖方式，应自上而下分层进行开挖并及时进行效果评估取样检测，效果评估检测合格后进行下一层的测量放线及开挖；上下层之间污染范围相同可考虑合并开挖。

7.3.2.3 污染土场内运输

将清挖的污染土壤运至异位修复区，宜采用全封闭式运输车，车辆底部铺设防水薄膜，防止运输过程产生跑冒滴漏现象。

7.3.2.4 污染土壤预处理

污染土壤预处理包括但不限于：

- a) 筛分过程：宜采用筛分斗对污染土壤进行筛分预处理，获得 ≤ 50 mm 粒径的土壤；
- b) 干化过程：向土壤中拌合生石灰干燥剂，使土壤含水率低于 20%，干燥剂添加比例约为土壤质量的 1%~5%，同时应多次翻动搅拌以确保均匀。

7.3.3 修复工程

7.3.3.1 筛分淋洗修复工程

筛分淋洗修复工程包括但不限于：

- a) 设备集成：筛分淋洗设备见6.2；
- b) 设备安装与调试：设备安装应按修复方案、设计文件和设备安装使用说明书的规定进行；设备安装完成后应对相关计量等设备进行校验，确保各系统运转正常；根据工艺流程进行分项调试和整体调试，分项调试和整体调试技术指标应达到设计要求；
- c) 污染土壤湿法筛分：经预处理后的土壤宜采用双层直线振动脱水筛对颗粒进行双重分级，两层筛上物（1 mm~50 mm和0.1 mm~1 mm）经筛分脱水后，通过螺旋输送机排出系统，检测达标后可以原地回填或用作建筑材料，而小于0.1 mm的粉粒作进一步淋洗处理；
- d) 土壤淋洗处理：在滚筒淋洗机进出料口处及筒壁四周增设高压喷水装置，通过水/药剂冲洗等过程将小于0.1 mm粉粒上粘附的污染物迁移至水或化学溶剂中，粉料与水混合变为泥浆进入泥浆池处理。
- e) 压滤脱水：一般采用板框压滤机对沉积物进行脱水，脱水后的废水进入废水处理设施进行处理，可根据需要返回淋洗反应器辅助淋洗或经检测达标后纳管排放/回用。

7.3.3.2 微波催化氧化修复工程

微波催化氧化修复工程包括但不限于：

- a) 设备集成：微波催化氧化设备见6.3；
- b) 污染土壤本底值检测：对关注污染物本底值进行检测，一般每500 m³土壤采样一个样品；
- c) 微波催化氧化修复处理：按设计用量补充水和粉状药剂进行搅拌，通过泵送方式转移至反应罐内，投加氧化药剂为5%（质量比）过硫酸钠—铁基生物炭（载体）充分反应；

d) 养护待检：将处理后的土壤转运至养护待检区进行养护待后续处理。

7.3.3.3 吸附固载修复工程

吸附固载修复工程包括但不限于：

a) 设备集成：吸附固载修复设备见6.4；

b) 吸附固载修复处理：一般包括进料、搅拌、出料三个环节，采用自控系统控制土壤、吸附固载药剂和水的配加以及双轴搅拌机的吸附固载搅拌作业，其中土壤含水量宜控制在60%~65%范围内；

c) 堆存养护：一般由人工将稳定化药剂均匀撒铺在土壤堆体上，采用筛分斗搅拌均匀，时间不少于20 min，洒水至土壤湿润（含水率为40%）并充分养护，养护天数不宜少于5 d。

7.3.4 二次污染防治措施

7.3.4.1 筛分淋洗修复技术工程运行中产生的二次污染

修复过程中可能存在的二次污染如下：

——废气：污染土壤预处理及进料产生的扬尘、恶臭与臭味等气体；

——废水：筛分后石块清洗废水、泥水分离产生的废水、喷淋废水等；

——固体废物：污染土壤预处理产生的固体废物、泥水分离及喷淋废水处理产生的污泥及更换的活性炭吸附柱等；

——噪声：设备运行过程中产生的噪声等。

7.3.4.2 微波催化氧化修复技术工程运行中产生的二次污染

修复过程中可能存在的二次污染如下：

——废气：污染土壤预处理、进料及催化氧化药剂搅拌产生的扬尘、微波处置过程中产生的尾气；

——废水：修复处置过程中产生的施工废水；

——固体废物：污染土壤预处理产生的固体废物、尾气处理装置中更换的活性炭等；

——噪声：设备运行过程中产生的噪声等。

7.3.4.3 吸附固载修复技术工程运行中产生的二次污染

修复过程中可能存在的二次污染如下：

——废气：污染土壤预处理、人工添加药剂及药剂搅拌产生的扬尘；

——废水：洒水养护产生的废水；

——固体废物：污染土壤预处理产生的固体废物等。

注：其中，微波催化氧化修复技术对土壤的物化性质影响较小。

8 监测分析和效果评估

8.1 以治理单元内土壤有机物含量、重金属含量及浸出浓度为评价指标。电子废物拆解场地常见有机污染物及其测定方法见附录 A，重金属污染物及其总量测定方法见附录 B，重金属污染物及其浸出浓度测定方法见附录 C。

8.2 采样监测分析按 HJ 25.2 执行，效果评估按 HJ 25.5 执行。

附录 A

(资料性)

电子废物拆解场地常见有机污染物及其测定方法

表A.1 给出了电子废物拆解场地常见有机污染物的种类、测定方法、标准编号。

表 A.1 电子废物拆解场地常见有机污染物及其测定方法

编号	有机污染物种类	测定方法	标准编号
1	多环芳烃 单体及总量	土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法	HJ 805
2	多氯联苯 单体及总量	土壤和沉积物 多氯联苯的测定 气相色谱-质谱法	HJ 743
	多溴二苯醚 单体及总量	土壤和沉积物 多溴二苯醚的测定 气相色谱-质谱法	HJ 952
3	二噁英 (总毒性当量)	土壤、沉积物 二噁英类的测定 同位素稀释/高分辨气相色谱-低分辨质谱法	HJ 650
		土壤和沉积物 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法	HJ 77.4
4	挥发性有机物	土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法;	HJ 605
	半挥发性有机物	土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	HJ 834

附录 B

(资料性)

电子废物拆解场地常见重金属污染物及其总量测定方法

表B.1 给出了电子废物拆解场地常见重金属污染物的种类、测定方法、标准编号。

表 B.1 电子废物拆解场地常见重金属污染物及其总量测定方法

编号	重金属种类	测定方法	标准编号
1	镉	土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
2	铜	土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法	HJ 780
		土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 491
3	铅	土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
		土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 491
4	汞	土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法	HJ 680
		土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第1部分：土壤中总汞的测定	GB/T 22105.1
		土壤质量 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17139
5	铬（总量）	土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 491
6	铬（六价）	土壤和沉积物 六价铬的测定 碱溶液提取-火焰原子吸收分光光度法	HJ 1082
7	砷	土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法	HJ 680
		土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第2部分：土壤中总砷的测定	GB/T 22105.2
8	镍	土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 491

附录 C

(资料性)

电子废物拆解场地常见重金属污染物及其浸出浓度测定方法

表C.1 给出了电子废物拆解场地常见重金属污染物及其浸出浓度的种类、测定方法、标准编号。

表 C.1 电子废物拆解场地常见重金属污染物及其浸出浓度测定方法

编号	重金属种类	测定方法	标准编号
1	镉	固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 766
2	铜	固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 766
3	铅	固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 766
4	汞	固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法	HJ 702
5	铬(总量)	固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 766
6	铬(六价)	固体废物 六价铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法	GB/T 15555.4
7	砷	固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法	HJ 702
8	镍	固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 766

参 考 文 献

- [1] GB/T 15555.4 固体废物 六价铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法
- [2] GB/T 17139 土壤质量 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法
- [3] GB/T 17141 土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法
- [4] GB/T 22105.1 土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第1部分：土壤中总汞的测定
- [5] GB/T 22105.2 土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第2部分：土壤中总砷的测定
- [6] HJ 77.4 土壤和沉积物 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法
- [7] HJ 491 土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法
- [8] HJ 605 土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法
- [9] HJ 650 土壤、沉积物 二噁英类的测定 同位素稀释/高分辨气相色谱-低分辨质谱法
- [10] HJ 680 土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法
- [11] HJ 702 固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法
- [12] HJ 743 土壤和沉积物 多氯联苯的测定 气相色谱-质谱法
- [13] HJ 766 固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法
- [14] HJ 780 土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法
- [15] HJ 805 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法
- [16] HJ 834 土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法
- [17] HJ 952 土壤和沉积物 多溴二苯醚的测定 气相色谱-质谱法
- [18] HJ 1082 土壤和沉积物 六价铬的测定 碱溶液提取-火焰原子吸收分光光度法
- [19] HJ 1231 土壤环境 词汇
-