

广州市土壤修复与资源化利用工程中心

可行性研究报告

编制单位：中国科学院地理科学与资源研究所

广东工业大学

2021 年 3 月

目 录

前 言	1
第一章 总 论	3
1.1. 项目概况	3
1.2. 编制依据与原则	3
1.2.1. 编制依据	3
1.2.2. 编制原则	5
1.3. 项目建设的必要性	5
1.4. 土壤修复与资源化利用工程中心概况	6
1.4.1. 建设思路与目标	6
1.4.2. 建设目标	10
1.4.3. 项目选址	10
1.4.4. 建设内容和规模	11
1.5. 总投资及资金来源	13
1.6. 经济及社会效益	13
1.7. 结论与建议	13
第二章 项目建设的必要性	15
2.1. 我国土壤污染与防治现状概述	15
2.1.1. 我国土壤污染现状	15
2.1.2. 我国工业地块污染土壤修复现状与异位集中修复模式	16
2.2. 广州市工业地块现状调研	19
2.2.1. 污染地块特征	19
2.2.2. 土壤污染特征	20
2.2.3. 污染地块/土壤处置现状	22
2.2.4. 广州市工业污染土壤修复产业市场的需求	25
2.3. 产业政策符合性分析	26
2.3.1. 我国土壤污染防治政策	26
2.3.2. 广州市污染场地管理体系及相关政策	27
2.3.3. 污染土壤异地处置相关政策依据	32
2.3.4. 污染土壤修复后处置方法相关政策规定	34
2.4. 项目建设的重要性和迫切性	36
第三章 广州市场地污染土产生量预测及修复中心建设规模	38
3.1. 污染土壤产生量	38
3.2. 修复中心建设规模	39
第四章 土壤修复技术比选与工程建设内容	41
4.1. 污染土壤修复技术比选	41
4.1.1. 国内外污染土壤修复技术应用现状	41
4.1.2. 固化/稳定化技术	44
4.1.3. 化学淋洗技术	47
4.1.4. 化学氧化技术	49
4.1.5. 热脱附技术	52
4.1.6. 生物修复技术	55

4.2. 技术比选结果	58
4.2.1 有机污染土壤处置工艺比选	59
4.2.2 重金属污染土壤处置工艺比选	60
4.2.3 不同类型污染土壤修复技术优缺点比较	62
4.2.4 修复中心污染土壤修复技术选用	63
4.3. 修复中心工程内容	64
第五章 场址比选与土地利用	65
5.1. 场址选择原则	65
5.2.1 一般性原则	65
5.2.2 特殊性要求	65
5.2. 场址选址	66
5.2.1 选址一概况	68
5.2.2 其余选址概况	72
5.3. 选址利弊因素分析	72
5.3.1 选址一	72
5.3.2 其余选址	72
5.4. 选址确定	72
5.5. 场址用地设计方案	73
5.5.1 处置规模	73
5.5.2 总体功能布局	74
5.6. 修复中心平面布置	79
5.6.1 平面布置原则	79
5.6.2 功能单元与平面布置	79
5.7. 服务期限	89
第六章 污染土壤修复与资源化利建设方案	90
6.1. 预处理车间建设方案	90
6.1.1. 工艺概述	90
6.1.2. 建设方案	90
6.1.3. 环保安全措施	92
6.2. 固化/稳定化处理工艺与建设方案	92
6.2.1. 工艺用途和设计规模	92
6.2.2. 工艺流程及说明	93
6.2.3. 设备主要功能单元与技术参数	94
6.2.4. 环保安全措施	97
6.3. 淋洗处理工艺与建设方案	98
6.3.1. 工艺用途与设计规模	98
6.3.2. 工艺流程及说明	98
6.3.3. 设备主要功能单元与技术参数	99
6.3.4. 环保安全措施	102
6.4. 催化氧化处理工艺与建设方案	103
6.4.1. 工艺用途与设计规模	103
6.4.2. 工艺流程及说明	103
6.4.3. 设备主要功能单元与技术参数	104
6.4.4. 环保安全措施	105

6.5. 热脱附处理工艺与建设方案	106
6.5.1. 工艺用途与设计规模	106
6.5.2. 热脱附工艺系统	106
6.5.3. 主要功能单元与技术参数	107
6.5.4. 二次污染治理措施	110
6.5.5. 设备维护措施	110
6.6. 生物修复技术建设方案	111
6.6.1. 工艺用途与设计规模	111
6.6.2. 工艺流程及说明	111
6.6.3. 设备主要功能单元及技术参数	114
6.6.4. 环保安全措施	117
6.6.5. 资源化利用措施	117
第七章 公共配套设施	118
7.1 给排水	118
7.1.1 给水系统	118
7.1.2 排水系统	118
7.2 供配电	118
7.2.1 一期	118
7.2.2 二期	119
7.3 供热	120
7.3.1 一期	错误!未定义书签。
7.3.2 二期地块 1	错误!未定义书签。
7.3.3 二期地块 2	错误!未定义书签。
7.4 消防	121
7.5 过程检测与自动控制	122
7.5.1 设计范围	122
7.5.2 控制方式	122
7.6 土建工程	122
7.6.1 建筑设计	122
7.6.2 结构设计	123
第八章 污染土壤的贮存、运输和处置	124
8.1 场内外土壤动态流转	124
8.1.1 一期工程	124
8.1.2 二期工程	124
8.2 污染土壤的贮存	125
8.3 污染土壤的运输	126
8.3.1 场内运输	126
8.3.2 场外运输	126
8.3.3 土壤运输规范	127
8.4 修复后土壤处置方式与资源化利用	130
8.4.1 修复后土壤处置方法	130
8.4.2 修复后土壤处置案例	133
8.4.3 修复土壤再利用的工作程序	135
第九章 修复中心运营	140

9.1 项目组织机构	140
9.2 生产组织	140
9.3 劳动定员	140
9.4 项目建设计划	143
第十章 环境保护、工业卫生及安全生产	145
10.1 环境保护	145
10.1.1 概述	145
10.1.2 环境保护标准	145
10.1.3 主要污染源及控制措施	145
10.1.4 环境监测	154
10.2 工业卫生及安全生产	158
10.2.1 采用标准	158
10.2.2 安全防火	158
10.2.3 应急事故对策	158
10.2.4 工业卫生及安全保护	159
第十一章 投资估算与资金筹措	160
11.1 估算依据	错误!未定义书签。
11.1.1 建筑安装工程费用	错误!未定义书签。
11.1.2 设备购置费用	错误!未定义书签。
11.1.3 其他费用	错误!未定义书签。
11.2 投资估算	错误!未定义书签。
11.3 资金筹措	错误!未定义书签。
11.4 成本效益分析	错误!未定义书签。
11.4.1 投资成本	错误!未定义书签。
11.4.2 运营成本	错误!未定义书签。
11.4.3 运营收入	错误!未定义书签。
11.4.4 财务评价	错误!未定义书签。
第十二章 效益与风险分析	181
12.1 效益分析	181
12.2 风险分析	181
第十三章 结论与建议	183
13.1 结论	183
13.2 建议	183

前 言

根据广州市污染地块调研资料，广州市自 2008 年开始全面推进“退二进三”工作、2009 年开始“三旧”改造工作，大量工业企业搬离城区，遗留 300 多个疑似污染场地，呈“斑块式”分散于城市中心。2013-2018 年对 91 个地块的环境调查和风险评估结果显示，污染地块数占 1/3 以上，涉及的主要行业为化学原料及化学制品制造业、金属冶炼及压延加工业和农副食品加工业，污染土方量约 140 万 m^3 ，且以有机物-重金属复合污染土壤为主（约 60%）。随着对广州市污染地块的全面调查，还将有更多污染土壤需要安全处置，目前广州市还没有专门的污染土壤处置中心。建设一个规模化专业化的土壤修复与资源化利用工程中心，既可以满足广州市污染地块安全利用的需求，又可以避免重复建设小规模、简易污染土壤处置厂的现象产生，对保障广州市生态环境安全和居民身体健康有重要的意义。

为贯彻落实《中华人民共和国土壤污染防治法》、《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31 号）、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环境保护部令第 42 号）等法律法规和文件精神，破解城区污染场地修复与土地开发突出矛盾，保障污染场地再开发的环境安全，由广州环投环境服务有限公司牵头，筹建广州市土壤修复与资源化利用工程中心（以下简称“修复中心”），对分散型、后续开发紧迫的污染土壤进行异地集中修复和资源化利用。修复中心不同于现有污染土壤修复企业，该模式通过转移待开发污染地块的污染土壤，同时转移其附带的环境风险、修复处理过程、验收检测、资源化利用、长期监测等相关责任，原地块经检测符合相关建设要求的环境标准后即可进行开发建设，不仅为污染地块再开发建设节约时间成本，还可以通过集成应用先进的修复技术和装备实现集约高效修复，降低修复成本。

修复中心建设方案设计充分考虑资源综合利用，即利用兴丰生活垃圾填埋场自有能源资源（沼气、电力）和填埋容量。确定选址位于兴丰生活垃圾填埋场内空地及填埋场东北向兴丰村土地，一期（试点）利用填埋场内 5 块空地（面积约 4.22 万 m^2 ），二期利用兴丰村征地（面积为 19.89 万 m^2 ）；设计处理能力一期 270 m^3 /天、二期 900 m^3 /天，年处理量分别为 9 万 m^3 和 30 万 m^3 ；建设内容：一期包括：污染土壤暂存区、破碎筛分车间、热脱附车间、淋洗车间、固化稳定

化车间、清洁土壤待检区、废水废气处理系统和公共配套设施；二期包括：污染土壤暂存区、破碎筛分车间、固化稳定化车间、化学淋洗车间、催化氧化车间、热脱附车间、生物修复区、清洁土壤待检区、废气收集处理系统、废水收集处理系统、环境监测系统及公共配套设施，建立健全运营管理和后勤支持机构。修复中心运行模式拟采用购置+租赁修复设备组合方式，必要的基础设施和配套设施需购置，根据污染土壤处理量需求可租赁部分修复设备，突破处理规模的限制。一期试点限于场地空间小且分散，可采用小型移动式修复设备，二期可根据土壤修复工艺需求购置大型固定式修复设备。

修复中心的建设将创新构建粤港澳大湾区土壤污染防治新模式，将其打造成为广州应对快速城市更新改造过程中协调解决土壤修复难题的新名片。长期建设目标是以广州为中心，辐射珠三角和广东省，建成我国污染土壤异位高效修复和资源化利用示范基地。

第一章 总 论

1.1. 项目概况

项目名称：广州市土壤修复与资源化利用工程中心（以下简称“修复中心”）

项目地点：广州市兴丰生活垃圾填埋场内及东北角兴丰村土地

项目筹建单位：广州环投环境服务有限公司

编制单位：中国科学院地理科学与资源研究所，广东工业大学

项目法人：杨一清

项目筹建单位简介：广州环投环境服务有限公司（以下简称“广州环境服务公司”）是广州环保投资集团有限公司属下全资子公司，成立于 2010 年 05 月 18 日，注册资本 2.55 亿元，主要投资项目：城市生活垃圾卫生填埋、渗沥液处理、填埋气收集利用及土壤修复等。目前负责广州市兴丰生活垃圾卫生填埋场、花都生活垃圾卫生填埋场、增城棠厦生活垃圾卫生填埋场、从化区城市废弃物综合处理场共四个大、中、小型填埋项目，承担了广州市中心城区 78%、花都区、增城区、从化区大部分生活垃圾的处理重任，在填埋场规范化运营、技术升级改造及填埋场配套渗沥液、填埋气体的收集处理、封场工程及填埋区光伏发电的投资、建设及运营等领域拥有先进的核心技术和丰富的管理经验。

1.2. 编制依据与原则

1.2.1. 编制依据

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》
- (2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》
- (3) 《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31 号）
- (4) 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环境保护部令第 42 号）
- (5) 广东省人民政府关于印发广东省土壤污染防治行动计划实施方案的通知（粤府〔2016〕145 号）
- (6) 广州市人民政府关于印发广州市土壤污染防治行动计划工作方案的通知（穗府〔2017〕13 号）
- (7) 广东省生态环境厅关于印发广东省 2020 年土壤污染防治工作方案的通知（粤环函〔2020〕201 号）

- (8) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1-2019)
- (9) 《建设用地土壤污染风险管控和修复 监测技术导则》 HJ 25.2-2019
- (10) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》 HJ25.3-2019
- (11) 《建设用地土壤修复技术导则》 (HJ 25.4-2019)
- (12) 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》 HJ 25.5
- (13) 《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》 (HJ 25.6-2019)
- (14) 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599- 2001)
- (15) 《大气污染物综合排放标准》 (GB 16297-1996)
- (16) 《污水综合排放标准》 (GB 8978-1996)
- (17) 《建筑施工厂界环境噪声排放标准》 (GB 12523—2011)
- (18) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》 (GB12348-2008)
- (19) 环境空气质量标准 (GB 3095-2012)
- (20) 地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)
- (21) 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)
- (22) 广东省地方标准大气污染物排放限值 (DB44/27—2001)
- (23) 广东省地方标准水污染物排放限值 (DB44/26—2001)
- (24) 《建设用地土壤污染防治第 1 部分：污染状况调查技术规范》
- (25) 《建设用地土壤污染防治第 2 部分：污染修复方案编制技术规范》
- (26) 《建设用地土壤污染防治第 3 部分：土壤重金属监测质量保证与质量控制技术规范》
- (27) 《建设用地土壤污染防治第 4 部分：土壤挥发性有机物监测质量保证与质量控制技术规范》
- (28) 《城市建成区土壤环境监测技术规范》
- (29) 《广州市工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点》
- (30) 《广东省污染地块治理与修复工程环境监理技术指南(征求意见稿)》
- (31) 《广东省污染地块治理与修复效果评估技术指南(征求意见稿)》
- (32) 《广东省污染地块修复后土壤再利用技术指南(征求意见稿)》
- (33) 《污染场地修复后土壤再利用环境评估导则》 (DB11/T 1281-2015)

(34)《广州市加强出让储备用地土壤污染防治工作方案》

1.2.2. 编制原则

(1) **目标导向性原则**：遵循修复中心建设目标编制本可研报告，通过污染土壤的转移和集中处置，把污染地块的污染风险、验收检测和长期监测等相关责任转移到修复中心，为污染地块的再开发利用节约时间成本。

(2) **规范性原则**：本项目从规划、设计到使用管理均应按照国家相关标准规范进行，做好各项环境保护、劳动安全卫生及消防工作。

(3) **安全性原则**：污染土壤来源复杂、污染程度高，应根据土壤污染特征采取适宜的修复技术，如热脱附、氧化、淋洗、固化稳定化等一项或多项技术，对修复合格后的土壤进行安全填埋或再利用。

(4) **资源综合利用原则**：修复中心建设要充分利用选址所在地兴丰填埋场的能源优势和填埋容量，利用填埋场的沼气和沼气发电为修复设备提供能源，利用填埋容量处置部分修复后的重金属污染土壤。

(5) **先进性原则**：本项目所采用修复技术和设备应能体现国内外污染土壤修复处置的先进水平，结合当地资源综合利用需求，建设的修复中心应具备以下特征：工艺体系完整，技术组合灵活，修复设备智能化、集约化，配合快速检测、修复决策支持系统，可以实现修复过程实时监控和污染土壤精准修复。修复过程中可通过“物联网环境监测技术”对本修复中心产生的二次污染物进行实时、智能化监控。

1.3. 项目建设的必要性

遗留工业场地土壤污染问题突出，亟需修复和风险管控。根据全国土壤污染调查结果，我国土壤环境问题突出，重污染企业、工业废弃地块、工业园区等用地土壤污染严重。珠三角等经济发达地区工业污染场地集中分布，大量污染场地遗留在城区，严重危及城市人居环境安全与公众健康，成为经济社会协同发展过程中需要着力解决的重点问题。

广州市土壤污染防治政策需求：2020 年是“土壤污染防治行动计划”考核年，为实现污染地块安全利用率达到 90%，广东省 2020 年土壤污染防治工作方案要求加强污染地块监管，鼓励有条件的地市探索开展污染土壤异地集中处置新模式。广州作为被推荐城市之一，积极尝试建设“土壤修复与资源化利用修复中

心”，以期为广州市污染土壤异地集中处置建立新模式，并以广州为中心，辐射珠三角和广东省，建成我国污染土壤异位高效修复和资源化利用示范基地。

广州污染土壤修复市场需求：广州市关闭搬迁企业数量多，仅是“退二进三”企业就有 300 多家，这些地块分散于城市中心，土壤环境风险隐患突出，再开发环境风险管控薄弱。广州市土壤修复市场企业实力参差不齐，从环保产业发展方向和技术水平考虑，应大力培育综合实力强、技术水平高、规范化和规模化的环保科技企业。目前广州尚无大型的污染土壤异位修复企业，为避免无计划地重复建设小规模、技术服务能力弱的简易污染土壤处置厂，建设一个规模化、技术先进、安全性高的污染土壤修复中心具有重要意义，这也是对原址原位修复方式的有益补充，至少可以满足广州市未来二十年污染土壤修复的需要，同时也为环保产业的发展树立新标杆。

广州城市建设需求：广州城镇化程度高，土地资源紧张，且正处于转型发展期，通过环境综合治理和土地综合整治盘活存量用地是重要供应途径，工业搬迁地块的修复和安全再利用需求迫切。但现有土壤环境管理程序复杂，耗时长，无法满足城市发展要求。污染地块再开发利用前需依次进行土壤污染状况调查、风险评估、修复、修复效果评估，各环节均需相关行政部门对报告、方案进行评审、备案，流程耗时很长，致使供地时间受到制约，严重影响后续开发利用进程。场地修复后可能仍存在潜在风险，需要长期监测，土地利用方式也受到环境污染风险和人体健康风险的限制。通过转移污染地块土壤到修复中心进行异位修复和安全处置，可以在很大程度上解决这个问题，为城市建设进程节约时间成本。

1.4. 土壤修复与资源化利用工程中心概况

1.4.1. 建设思路与目标

通过对国内外污染土壤修复治理技术现状的调查、对广州市工业地块土壤污染现状的调查，明确广州市污染土壤修复中心的工作内容和工程技术需求。调查资料表明广州污染土壤的主要类型为有机-重金属复合污染，可供采用的技术包括催化氧化、化学淋洗、固化/稳定化、热脱附等高效成熟的技术，根据土壤污染特征可采用单一技术或多技术联合强化修复。本修复中心建设从项目选址、建设规模、功能区划、污染防治等四个方面进行总体设计。

(1) **项目选址：**本修复中心处置的对象为场地污染土壤，根据土壤污染特

征，参照国家和地方有关技术标准要求，经前期调研和考察比选，确定选址位于广州市白云区太和镇兴丰生活垃圾填埋场及其相邻的兴丰村土地。填埋场有充足的沼气和电能，可为修复中心提供电热资源，一期试点工程还可以利用填埋场已有废水、废气处置系统，实现资源综合利用，节约建设成本。

鉴于项目选址征地及环评审批程序等待时间较长（预计 2-3 年左右），拟先利用填埋场内空地进行试点（一期）工程建设（运行时间 3-5 年），待二期建好启用后即可停止使用）。

（2）**建设规模：**本修复中心设计处置规模为年处理污染土壤量 30 万 m^3 ，占地面积 19.89 万 m^2 ，包括污染土壤暂存区用地、污染土壤处理区用地、修复后清洁土壤暂存区和公共配套设施用地等。

一期试点工程利用填埋场内空地（4.22 万 m^2 ）开展固化稳定化、化学淋洗和热脱附试点工程建设，年处理规模为 9 万 m^3 。

（3）**功能区划：**根据广州污染场地土壤特征，结合污染土壤采用的异位处理技术和项目选址现场条件，修复中心功能单元和建设内容，一期包括：污染土壤暂存区、破碎筛分车间、热脱附车间、淋洗车间、固化稳定化车间、清洁土壤待检区、废水废气处理系统和公共配套设施；二期包括：污染土壤暂存区、破碎筛分车间、污染土壤修复功能区（包括固化稳定化车间、化学淋洗车间、催化氧化车间、热脱附车间、生物修复区）、清洁土壤暂存区、废气收集处置系统、废水收集处置系统、环境监测系统及公共配套设施。资源化可以利用公司旗下已有企业，修复后土壤作为原材料，实现安全利用。

污染防治：修复中心可能产生的污染主要包括废水、废气、环境噪声和固体废物，主要防治措施如下：

- **废水污染源及处置**

本项目产生的废水包括生产废水和生活污水，生产废水主要来自土壤淋洗废水、土壤热脱附除尘喷淋废水、土壤固化稳定化冲洗废水、污染土壤暂存区渗滤水、场区道路和污染土壤处理工作区初期雨水、运输车辆冲洗废水等，这些废水经收集后排入废水集中处理设备进行处理；办公区生活污水导排至填埋场低浓度污水处理厂进行处理。

- **废气污染源及控制**

项目运行过程中产生的废气主要来源于有机污染土壤挥发、催化氧化废气、破碎筛分和各种搅拌过程产生的尘土，可通过负压构筑物的气体收集系统，进入尾气处理设施，监测达标后排放；热脱附尾气由设备自带处理单元处理达标后排放。

● 环境噪声污染源及控制

运行期，各处理区对污染土壤的处理过程及运输车辆产生的机械噪声拟通过尽量选用低噪声设备、加强设备维护保养、厂房隔声、绿化等措施，并考虑自然衰减后，使厂界噪声基本符合控制标准要求。

● 固体废物污染源及资源化利用

本项目运行期产生的主要固体废物为含重金属的土壤、污泥和筛出物等。有机污染土壤经修复且自检他检合格后，可以作为正常的清洁土壤使用，注意修复后的土壤不得用于水源保护地、农田等环境敏感区域；含重金属的污染土修复后可以有两个去向，分别是资源化（优先考虑，如制砖、陶粒等）和填埋（如生活垃圾填埋场、一般工业固废填埋场、渣土堆场等）；含重金属的污泥和无法清洗干净的筛出物等可经固化稳定化后填埋。

根据修复中心预计的污染土处置规模，一期全部作为兴丰填埋场飞灰覆土，二期可用作（1）资源化利用，如免烧砖、免烧陶粒、水泥等，（2）在非敏感用地区用作道路设施用土、绿地用土、矿山生态修复用土、填埋场填土和覆土等。其余固废，如废水处理系统外排污泥，经稳定化处理后在填埋场内安全填埋。

修复中心建设总体思路和一期工程建设思路见图 1.4-1 和 1.4-2。

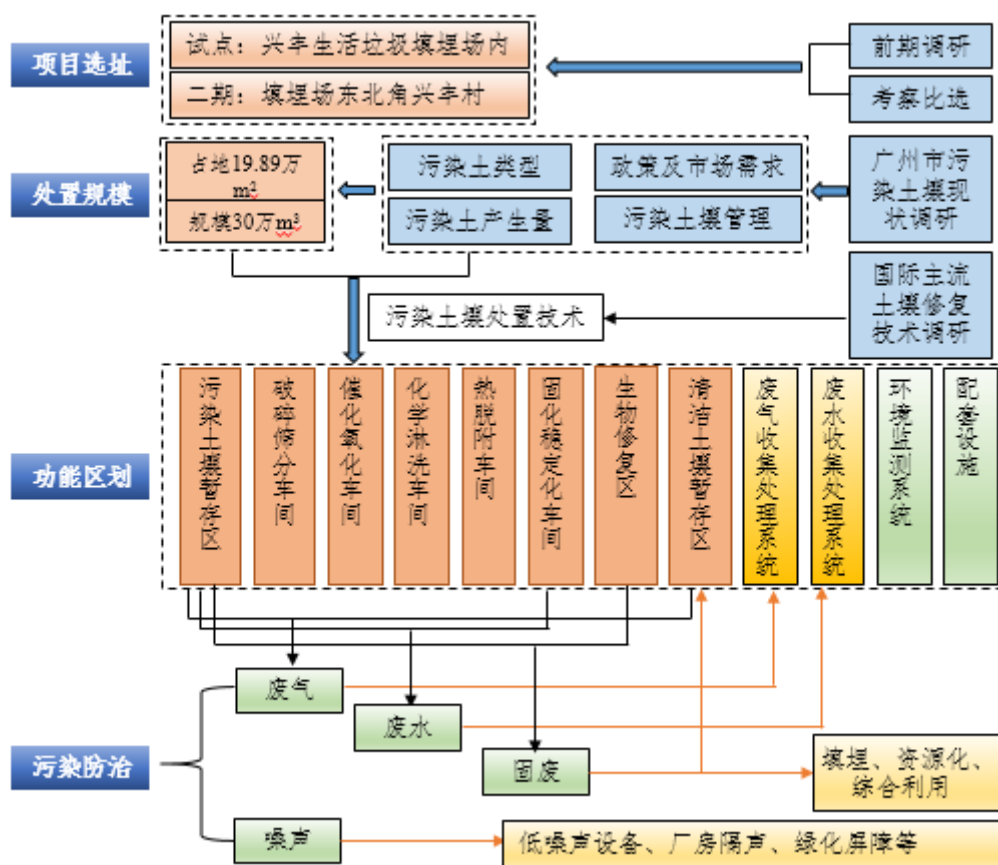


图 1.4-1 修复中心建设总体思路

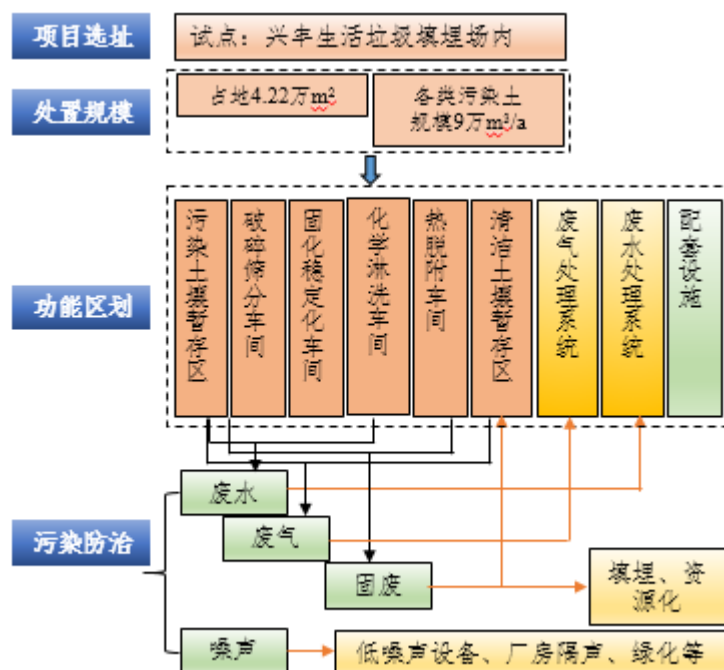


图 1.4-2 一期工程建设思路

1.4.2. 建设目标

广州市污染土壤修复中心的建设，是探索创建集约高效的污染土壤异地处置新模式，将实现如下目标：

（1）节约修复时间，助力城市建设

地块污染土壤挖出即可运至修复中心，大大缩短原位修复或原地异位修复时间，不影响地块开发利用。

（2）降低修复成本，提高修复效率

地块仅需建设土壤开挖相关工程，并承担土壤污染处置费用，污染土壤的集中处理提高了修复效率和设备利用率。

（3）转移管控风险，降低二次污染

土壤集中异地处理可以降低二次污染风险，同时通过污染土壤的转移，相关风险也转移到修复中心，有利于污染风险的高效管控和防治。

（4）提高管理和技术水平，树立行业标杆

开发修复中心作为政策或技术孵化器的功能，实现智能化管理（集 BIM 技术、GIS、物联网技术、人工智能等技术为一体，构建智慧管控平台），构建先进的技术体系，树立环保产业新标杆，带动全省环保产业发展。

修复中心长期建设目标是以广州为中心，辐射珠三角和广东省，建成我国污染土壤异位高效修复和资源化处置示范基地。

1.4.3. 项目选址

通过开展前期调研和现场考察，拟在以下4个地址进行优选：

（1）选址一：兴丰填埋场红线内五块闲置空地，面积约4.22万m²；

（2）选址二：兴丰填埋场东北紧邻兴丰村的租用地，面积约19.89万m²；

（3）选址三：兴丰填埋场正北紧邻兴丰村的租用地，面积约9.33万m²；

（4）选址四：紧邻选址二地块，面积约 35.83 万 m²；

综合考虑地块面积、地块易利用行及对填埋场现有资源的便捷利用，本可行性研究认为：选址一可作为一期试点用地。选址二具备的有利条件多，比较适用于作为修复中心的选址，不仅可以利用到选址一的有利条件，而且满足修复中心建设对地块面积和完整性的需求。选址三和选址四则作为本修复中心的预留用地（如作为后续占地面积大的污染土壤生物修复预留地等）。

1.4.4. 建设内容和规模

修复中心功能单元和建设内容包括：污染土壤暂存区、破碎筛分车间、污染土壤处理区（包括：催化氧化车间、化学淋洗车间、固化/稳定化车间、热脱附车间）、生物修复区、修复后清洁土壤暂存区、废气收集处理系统、废水收集处理系统、环境监测系统及公共配套设施系统等。具体如下：

（1）污染土壤暂存区

将运至修复中心污染土按照单一有机污染、单一重金属污染和有机-重金属复合污染等三类土分区堆放在污染土壤暂存区。

（2）破碎筛分车间

破碎筛分车间设在污染土壤暂存区内，污染土通过传送带送至破碎筛分车间进行筛分与破碎预处理，以满足污染土壤后续处理的相关技术标准，同时粉尘和废气集中收集与处理。

（3）污染土壤处置区

根据污染土壤污染类型将经过筛分、破碎预处置后的污染土壤中进行分类处理，各功能单元处理的污染土壤类型见表 5.5-3 和 5.5-4。

① 催化氧化车间：处理难挥发有机污染土，粉尘和废气集中收集和处理。

② 化学淋洗车间：处理污染土壤中可淋洗态重金属含量高的污染土，淋洗废水部分循环利用，外排废水集中处理后回用。

③ 固化/稳定化车间：处理污染程度相对较轻的重金属污染土，粉尘和废气集中收集和处理；

④ 热脱附车间：处理挥发性和半挥发性有机污染土，设备自带除尘和废气处理装置。

⑤ 生物修复区

优势微生物反应器处理区：包括污染土壤分流暂存间、优势微生物反应器设备车间、输送及转移间。

优势微生物强化处理区：包括污染土壤分流暂存间、耕耘处理车间、输送及转移间。

优势微生物菌根—植物强化处理区：包括污染土壤种植区、植物收割暂存车间、输送及转移间。

以上功能单元，除热脱附车间露天建设外，其余功能单元均建于负压大棚、

负压构筑物或装有作业区域抽气和排气装置的塑料大棚内，对粉尘和废气集中收集与处理。

针对有机物-重金属复合污染土壤，按照先有机物后重金属的顺序，采用多技术联合处理方法。

（4）清洁土壤暂存区

一期处理后清洁土暂存于位于兴丰填埋场堆体之上，经检测达标后作为第三填埋区飞灰填埋层间用土，不达标土返回处理车间二次处理。

二期处理后清洁土存于规划的清洁土壤贮存区，经检测达标后可用作兴丰应急填埋场的飞灰覆土、路基用土、制砖、绿化用土或矿山回填土等，不达标土返回处理车间二次处理。

（5）废气和粉尘收集和处理系统

一期在污染土暂存区设置在负压大棚集中处理废气和粉尘。化学淋洗车间、固化稳定化车间和污染土暂存区安置在常规塑料大棚中，采用通风排气的方式防止粉尘污染。

二期将破碎筛分车间、催化氧化车间、固化/稳定化车间和化学淋洗车间集中安置在负压构筑物中，粉尘和废气集中收集后经滤筒除尘和酸碱废气处理系统处理达标后排放。

（6）废水收集处理系统

① 土壤淋洗废水进行集中收集，并引至配套的废水处理设施处理达标后回用于工艺用水。

② 设备、运输车辆冲洗废水和场区道路初期雨水经混凝沉淀预处理后和办公区生活污水经三级化粪池预处理后等集中收集和铺设管网引流至原兴丰填埋场低浓度污水处理厂处理。填埋场现有低浓度污水处理厂设计进水量为500 t/d，目前处理量约为260 t/d，剩余的污水处理接纳量为240 t/d，完全满足本处置中心二期的经过预处理后的车辆冲洗废水、处置区初期雨水和办公区生活污水的处理（排放量为81.82 t/d）。

（7）公共配套设施

配套物料仓储区存储土壤处理药剂和其他常规物料；办公区用于修复中心工作人员现场办公与管理；检测分析实验室，用于药剂筛选、小试实验及日常

监测分析等；设备维修区用于对土壤修复装备和运输车辆的常规检查和维修。

1.5. 总投资及资金来源

本项目工程总投资估算为：**54070.71** 万元，第一部分工程费用为 30713.00 万元（一期投资 **4259** 万元，二期投资 **26454** 万元）；第二部分工程建设其他费用为 17143.05 万元（含征地费用 13121.00 万元）；第三部分工程预备费用 4785.61 万元；第四部分建设期贷款利息 487.09 万元（仅考虑一期工程投资建设期贷款利息）；第五部分铺底流动资金 941.96 万元。

本项目工程总投资资金来源全部由社会资本投入：其中企业自有资金为 20%，银行贷款为 80%，贷款利率按当期银行中长期的市场贷款利率 4.65% 计。

1.6. 经济及社会效益

本项目为工业场地污染土壤异位处置工程，是一项社会公益事业，没有可供向社会销售的产品，其项目效益主要体现为社会效益和环境效益，因此只能向污染土壤产生单位收取一定的处理费用。遵照“谁污染、谁治理、谁付费”的原则，修复中心向污染土壤产生方收取一定的处理费用是完全合理的。同时，希望政府管理和职能部门配合制定土壤异位集中处置的相关政策，修复中心得以正常运营和发展，在广东省乃至全国才能真正起到示范效应。

经济效益：一期成本为 36864.92 万元（计入修复后土壤填埋费），收入为 17854 万元，二期成本为 7532.34 万元（未计入修复后土壤处置费），收入为 52479 万元。年均利润为 20169.24 万元，全部投资回收期约为 8.18 年。不确定性分析结果表明，只要达到设计能力的 19.17%，企业就可以达到盈亏平衡。敏感性分析结果显示，销售收入是最敏感因素，其次是建设投资。当销售收入下降 10% 时，项目财务内部收益率较低，需提高物流效率，严格控制成本，保证项目收入。本项目内部收益率、投资回收期及借款偿还期等各项指标在合理范围，在经济上是可行的。

社会效益：通过逐步消除广州市污染地块环境风险，对提升广州市投资环境、保障市民身心健康、提高市民生存环境质量等具有重要的意义。

1.7. 结论与建议

广州市为优化城市产业结构和空间布局、破解城区土地资源贫乏瓶颈，将

大量工业企业搬离城区，遗留了很多疑似污染场地，这些场地的污染土壤环境风险隐患突出，成为制约广州市城市与社会发展的一个重要因素。但目前广州市还没有一个专门的污染土壤修复中心，本修复中心的建成既可以满足广州市未来二十年场地污染土壤修复的需要，同时又可以避免重复建设小规模、简易污染土壤处置厂的现象产生，对保障广州市生态环境安全和居民身体健康有重要意义。

本修复中心建设符合国家产业政策和广州市发展规划，项目选址和功能布局合理，技术先进，经济可行，可以充分利用填埋场现有沼气、电能、填埋容量和污染防治设施，实现资源综合利用。综合来看，本修复中心建设项目可行性高。

修复中心作为一个新的污染土壤修复模式，需要政府环境管理部门在政策方面提供更多支持，同时也需要企业自身的科学管理和运营。建议：

- (1) “修复中心”建设和运营建议由专业公司按现代化企业制度经营模式。
- (2) 污染土壤的处置费和修复中心的运营费的定价由市场行为决定。
- (3) 进一步做好全市疑似污染场地数量、种类、性质、成分等普查调研工作，为“修复中心”稳定运行提供条件。
- (4) 政府部门制订系统的政策法规，并严格执法，这是确保污染场地土壤修复与再利用的关键，也是“修复中心”运营的前提条件。
- (5) 考虑污染企业交纳处置费的经济压力，建议项目建设时充分利用国家的税收和贷款优惠政策，合理减少投资和运行费用，从而降低收费标准。

第二章 项目建设的必要性

2.1. 我国土壤污染与防治现状概述

2.1.1. 我国土壤污染现状

2005 -2013 年我国开展了首次全国土壤污染状况调查，调查范围为我国陆地国土，调查点位覆盖全部耕地，部分林地、草地、未利用地和建设用地，实际调查面积约 630 万平方公里，基本掌握了全国土壤环境质量的总体状况。

根据全国土壤污染调查结果，我国耕地土壤环境质量堪忧，**工矿业废弃地土壤环境问题突出**。工矿业、农业等人为活动以及土壤环境背景值高是造成土壤污染或超标的主要原因。在全国被调查土壤中，有 16.1%的点位污染物指标超标。污染类型以无机型（金属污染物）为主（占全部超标点位的 82.8%）；其次为有机污染，调查公报中有机污染物仅选取了三种有代表性的物质，分别是六六六、滴滴涕与多环芳烃，详见表 2.1-1、2.1-2。

表 2.1-1 土壤无机污染物超标情况

污染物类型	点位超标率（%）	不同程度污染点位比例（%）			
		轻微	轻度	中度	重度
镉	7.0	5.2	0.8	0.5	0.5
汞	1.6	1.2	0.2	0.1	0.1
砷	2.7	2.0	0.4	0.2	0.1
铜	2.1	1.6	0.3	0.15	0.05
铅	1.5	1.1	0.2	0.1	0.1
铬	1.1	0.9	0.15	0.04	0.01
锌	0.9	0.75	0.08	0.05	0.02
镍	4.8	3.9	0.5	0.3	0.1

表 2.1-2 土壤有机污染物超标情况

污染物类型	点位超标率（%）	不同程度污染点位比例（%）			
		轻微	轻度	中度	重度
六六六	0.5	0.3	0.1	0.06	0.04
滴滴涕	1.9	1.1	0.3	0.25	0.25
多环芳烃	1.4	0.8	0.2	0.2	0.2

调查的重点监测地块及其周边土壤污染情况如下：

（1）调查的 690 家**重污染企业用地及周边的** 5846 个土壤点位中，超标点位占 36.3%，主要涉及黑色金属、有色金属、皮革制品、造纸、石油煤炭、化工医药、化纤橡塑、矿物制品、金属制品、电力等行业。

（2）调查 81 个**工业废弃地块** 775 个土壤点位中，超标点位占 34.9%，主要污染物为锌、汞、铅、铬、砷和多环芳烃，涉及化工业、矿业、冶金业等行业。

（3）调查的 146 家**工业园区的** 2523 个土壤点位中，超标点位占 29.4%。其中，金属冶炼类工业园区及其周边土壤主要污染物为镉、铅、铜、砷和锌，化工类园区及周边土壤的主要污染物为多环芳烃。

（4）调查的 188 处**固体废物处理处置场地的** 1351 个土壤点位中，超标点位占 21.3%，以无机污染为主，垃圾焚烧和填埋场有机污染严重。

（5）其他典型地块如采油区、采矿区、污水灌溉区及干线公路两侧均检测出了不同程度的污染物，以镉、砷、铅和多环芳烃为主。

由以上数据可知，**重污染企业、工业废弃地块、工业园区等用地土壤污染严重，约 1/3 土壤点位超标，固废处置场地也有 1/5 土壤点位超标。**

自上世纪 90 年代以来，随着我国城市化进程迅速加快以及产业结构调整深入推进，几乎所有大中城市都面临着重污染行业的大批企业关闭和搬迁问题，导致城市中心及周边出现大量遗留、遗弃工业场地。据估计，我国由工业企业搬迁而废弃遗留下来的工业污染场地约 50 万块，多数分布在“长三角”、“珠三角”、“京津冀”等经济发达地区 and 老工业基地，涉及化工、冶金、石油、交通运输等多种行业，致使大量污染场地遗留在城区，严重危及城市人居环境安全与公众健康，成为经济社会协同发展过程中需要着力解决的重点问题。

2.1.2. 我国工业地块污染土壤修复现状与异位集中修复模式

（一）我国工业地块污染土壤修复现状

我国的工业场地修复项目始于 21 世纪初，2007 年后才开始大量出现。据土壤数据库和《2015 中国土壤修复发展白皮书》的不完全统计，从 2007 年到 2015 年全国土壤修复合同签约额从 2.05 亿元上升到 21.28 亿元，资金累计总量约为 99 亿元，十二五期间土壤修复资金累积量约为 80 亿元，在发布项目的数量上，湖南、广西、广东、江苏、浙江、北京各地较为领先，表明长三角、珠三角以及

京津冀等经济发达地区，对污染土壤修复再开发的力度较大。2016 年土十条发布，十三五期间土壤修复市场投入可能达到 849 亿，市场规模最大的四个区域是华东、华南、华北和华中，市场发展较快的重点省份是广东、江苏、上海、北京、浙江、湖南和重庆（《中国土壤修复技术与市场发展研究报告（2016-2020）》）。

目前我国土壤修复市场存在的问题：

管理不严、运行不规范。土壤修复行业相对门槛低，一些技术实力不够、缺乏经验与责任感的土壤修复公司进入市场，会出现工程层层转包、恶意压价和低价中标的现象，造成部分土壤修复工程不达标、简单地污染填埋或转移、甚至造成严重的二次污染等。要实现土壤修复市场的规范化运行，除对市场的管理制度体系完善提出要求外，对于修复企业向高技术水平、规范化和规模化的发展趋势也提出迫切要求。

修复后土壤的安全处置问题亟待解决。一般原位修复的土壤不涉及后续处置问题，主要是异位修复的土壤，如果不符合原址填埋条件，则需要异地处置。近年来我国环境污染修复公司发展迅速，但从事修复后土壤的安全处置与资源化利用的企业相对较少，大型污染修复企业可能有配套的修复后土壤处置工艺和设备，但一般只对企业自身承担的项目提供服务，且采用的工艺相对比较简单。资源化利用技术更多见于科研项目和专利，成功转化推广应用的技术并不多。

（二）高效异位集中修复模式探索

在有条件的城市建立异位集中土壤修复中心的设想，是对原址原位修复方式的有益补充。我国在固废集中处置方面建设项目较多，包括危险废物和一般固废集中修复中心，但在污染土壤集中处置方面刚开始尝试，目前上海、天津、重庆等地的污染土壤处置终端项目已有不同程度的进展，根据建设目标和内容不同，建设模式各异，某些先进模式可供本修复中心参考。

1) 上海桃浦工业区土壤“修复工厂”

桃浦工业区过去是上海“污染大户”，大量化工厂房汇集于此。桃浦603地块，场地面积约9万m²，修复工作量包括21万m³污染土、13万m³污染水。

修复工厂采用多项国内领先技术，引入全国首例全过程数字化智慧管控平台，核心是一台国内最先进的大型高速异位土壤处理设备，处理量400 t/d，修复后的土壤可以达到一类居住用地标准。修复工程的大量监测设备都接入平台，包括恶臭、扬尘、噪音等，通过超标预警和快速反馈降低安全风险。

该项目在运行中综合考虑土壤和地下水污染风险、规划用地功能、区域环境条件及地块开发进程等因素，全过程服务于整个规7划区域的整治开发，对周边区域的污染土壤进行集中修复，实现资源化安全再利用和就地消纳。



图2.1-1 高速异位土壤处理设备

2) 天津土壤终端处置中心

项目位于天津市武清区，是北京建工修复公司开展京津环境修复产业合作的重要项目。处置中心由污染场地安全修复技术国家工程实验室提供技术支持，打造技术领先的标准化土壤处置平台，科学集中开展土壤修复治理。为保护和改善天津乃至京津冀地区生态环境，推动土壤资源永续利用提供系统化解决方案。

正在建设的 TDU（油泥热解吸）为直接加热式热解吸设备（图 3.1-3）。该技术广泛应用于含油废弃物处理、含油污泥处理、油基钻屑处理、污染土壤的修复、有机废弃物处理。



图2.1-2 天津土壤终端处置中心建设

3) 重庆市洛碛污染土壤处置中心项目

2020年3月广西博世科环保科技股份有限公司与重庆固废公司于签署战略合作协议，在土壤修复、固体废物处置、垃圾处置、矿区生态修复等业务领域，实现产业协作配套和优势互补，推进渝桂两地环保产业快速发展。

重庆市洛碛生态谷是经市政府批准，主城9区唯一保留的垃圾填埋场和生态修复基地。园区整体规划为生活垃圾、污染土壤、固废、生态环境修复等综合型项目，修复中心内构建“沼气—污染土壤—污泥（沼渣）—陶粒”资源循环利用体系。

合作项目包括：

（1）洛碛智慧生态谷—生态修复基地项目

处理总规模：污染土壤处置量达到100万m³/a，市政污泥（含沼渣）处置量达520 t/d、资源化陶粒产品生产量达到12~15万t/a。原则上由双方组建合资公司负责投资、建设、运营该项目，合资公司组建前由双方以项目合作方式加快推进。

（2）专题推进项目

① 以洛碛生态智慧谷为基础，为厨余垃圾（沼渣）、矿区生态修复等资源化利用提供系统性解决方案，共同探索推进“环保管家”服务模式，为园区生态环境管理科学决策提供技术支持和咨询引导服务。

② 以合资公司名义对外开展垃圾填埋场封场环境综合治理（如渗滤液、除臭、地下水污染处理等）和污染土壤安全处置业务，推进重点区县城乡环卫垃圾处置项目以及污泥处置项目投资建设或运营。

2.2. 广州市工业地块现状调研

2.2.1. 污染地块特征

（1）工业地块数量

为优化城市产业结构和空间布局，破解城区土地资源贫乏瓶颈，广州市于2008年开始全面推进“退二进三”工作，2009年开始“三旧”改造工作，大量工业企业搬离城区，遗留大量疑似污染场地。据2017年12月发布的《广州市环境保护局关于印发广州市土壤污染治理与修复规划》统计，广州市仅“退二进三”企业就有300多家，这些企业地块呈“斑块式”分散于城市中心，土壤环境风险隐患突出，危害人体健康风险隐患凸显，成为制约城市与社会发展一个重要因素。

(2) 工业地块行业分布

通过对2013~2018年间广州市开展的疑似污染地块场地环境调查和风险评估的统计结果表明，在调查的91个行业地块中，污染地块有31个，占总调查地块的34%，涉及的主要行业包括：化学原料及化学制品制造业、金属冶炼及压延加工业、农副食品加工业、非金属矿物制造业、通用设备制造业、金属表面处理及热加工、交通运输设备制造业、造纸及纸制品业、家具制造业、电力热生产和供应业、纺织业、皮革鞣制加工业、电气机械及器材制造业等13类行业。各行业污染地块在总调查污染地块中所占比例如图2.1-1所示，排前三大类的行业分别为：化学原料及化学制品制造业、金属冶炼及压延加工业和农副食品加工业，占比分别为19.35%、16.12%和12.89%。

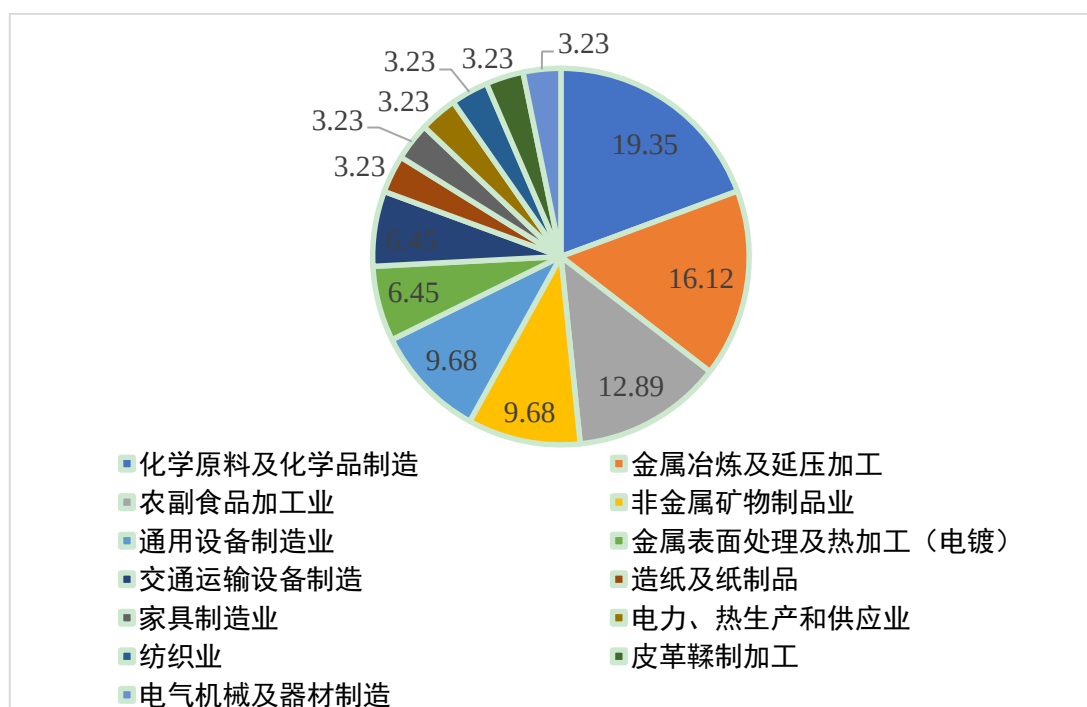


图 2.2-1 广州市污染地块的行业分布

2.2.2. 土壤污染特征

广州市污染地块土壤中的无机特征污染物主要以As、Pb、Ni、Cu、Hg、Cd、Zn、Cr和氰化物为主。其中，As、Pb、Ni出现频率最高，含有这三种重金属的地块分别占调查地块总数的26.27%、21.67%和16.67%。广州市污染地块土壤中有机特征污染物主要为多环芳烃、石油烃和苯系物，占比分别为51.61%、41.94%和22.58%。污染土壤类型以有机物-重金属复合污染为主，占污染场地总土方量的58.91%，单一重金属和有机污染土壤的土方量分别占18.79%和22.30%。

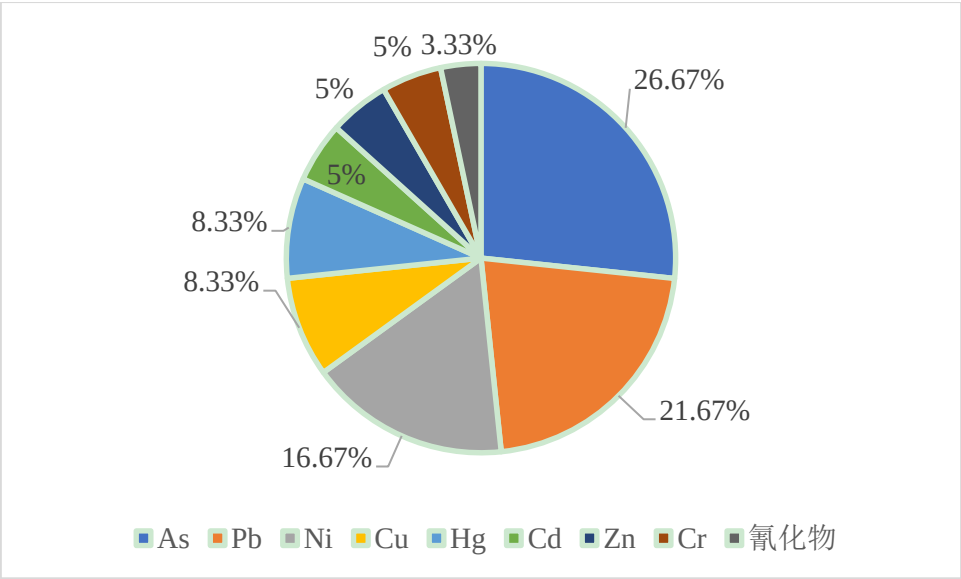


图 2.2-2 广州市污染地块土壤中无机特征污染物检出率

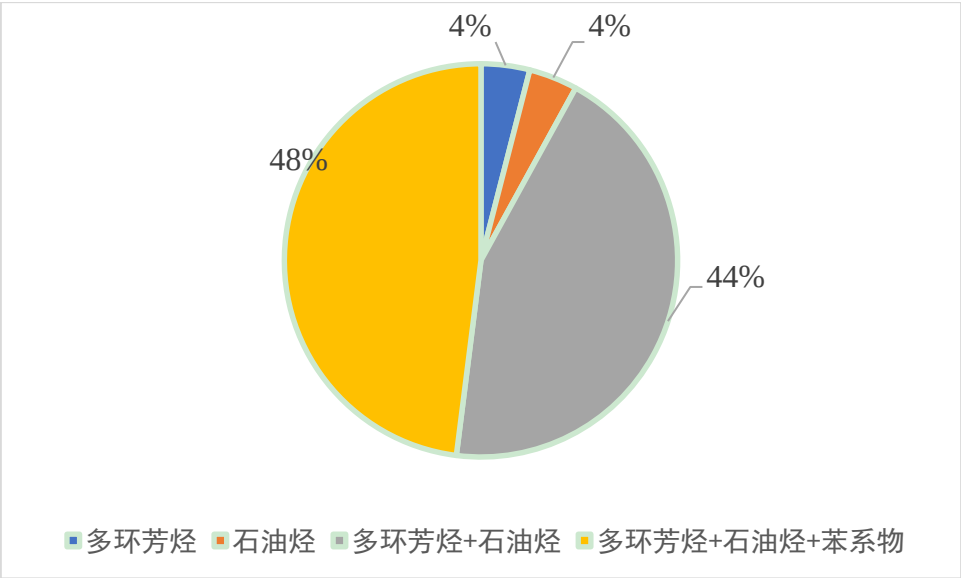


图 2.2-3 广州市污染地块土壤中有机特征污染物检出率

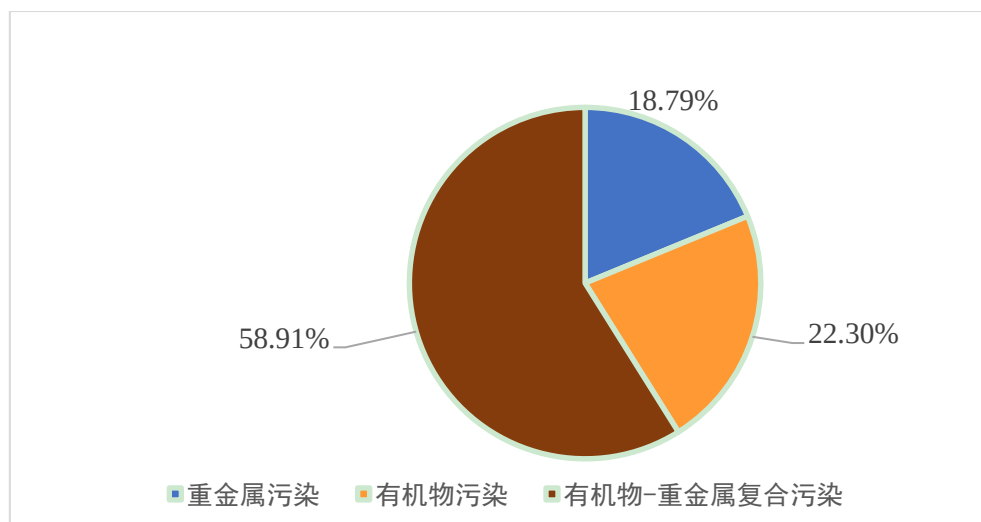


图 2.2-4 广州市不同污染类型地块的土壤土方量占比

2.2.3. 污染地块/土壤处置现状

表 2.1-1 统计了近五年广州市已完成和已中标待修复的工业企业污染土壤修复项目情况。由表可知，近五年共有 17 项工业企业污染场地土壤修复项目，这些工业企业污染场地主要以重金属、苯系物和多环芳烃为主，多为复合污染，处置方式主要为：原地异位固化稳定化、原地异位化学氧化、原地异位热脱附技术，修复后的土壤处理方式主要为回填处理，或水泥窑协同处置资源化。

表 2.2-1 广州市近五年开展的工业企业污染场地土壤修复项目统计

序号	地块名称	污染类型	修复方式	再利用	完成时间
1	广州油墨厂地块场地	石油烃	原地异位化学氧化+高温热脱附	回填	2020（待修复）
2	广州钢管厂地块场地	重金属、有机污染	——	——	2020（待修复）
3	广州市华侨糖厂罗冲围厂区地块场地	重金属	——	——	2020（待修复）
4	广州浪奇化工厂地块	重金属+有机污染	——	——	2020（待修复）
5	广东澳联玻璃有限公司地块	重金属、苯并芘、石油烃	原地异位化学氧化+固化稳定化	回填	2020（待修复）
6	广州红云涂料化工厂地块	苯系物、石油烃	原地异位化学氧化	回填	2019（已完成）
7	广州东风化工旧厂改造地块	苯系物、双酚 A	原地异位化学氧化	回填	2019（已完成）
8	广州制漆厂地块	苯系物、重金属	异位化学氧化+异位固化/稳定化	回填	2018（已完成）
9	广州百花香料股份有限公司地块	苯并芘、邻苯二甲酸双酯、石油烃	异位化学氧化+水泥窑	水泥窑综合利用	2018（已完成）
10	广州市荔湾区鹤洞路 98 号地块	铜、镍、铬和氰化物	——	——	2018（已完成）
11	广州槎头水泥厂地块	石油烃	原地异位化学氧化	回填	2018（已完成）

12	广州黄埔化工地块	重金属+有机污染	原地异位化学氧化+原地异位固化/稳定化	回填	2017（已完成）
13	广州市永大集团公司地块	重金属+苯并芘+多环芳烃	原地异位固化/稳定化+原地异位热脱附	回填	2017（已完成）
14	广州油制气厂地块	重金属+苯系物+石油烃	常温热解析+异位热脱附+原位化学氧化	回填	2017（已完成）
15	广东省畜产进出口集团羽绒厂地块	砷	原地异位稳定化	回填	2017（已完成）
16	广纸海珠地块	砷、铅、锌、铜	原位固化/稳定化	回填	2017（已完成）
17	广钢白鹤洞地块	重金属+多环芳烃+苯并芘+石油烃	异位化学淋洗+原地异位热脱附+原地异位固化/稳定化	回填	2016（已完成）

2.2.4. 广州市工业污染土壤修复产业市场的需求

广州市关闭搬迁企业数量多，仅是“退二进三”企业就有 300 多家，这些地块分散于城市中心，土壤环境风险隐患突出，再开发环境风险管控薄弱。根据广州市土壤污染治理与修复规划（2017-2020），将根据地块调查评估结果，结合城市环境质量提升和发展布局调整，以拟开发建设居住、商业、学校、医疗和养老机构等项目的污染地块为重点，建立广州市治理与修复地块清单，有序开展治理与修复。

土地再开发利用的迫切需求。广州城镇化程度高，土地资源紧张，且正处于转型发展期，地块再开发利用的需求尤为迫切，但现有土壤环境管理程序复杂，耗时长，无法满足城市发展要求。污染地块再开发利用前需依次进行土壤污染状况调查、风险评估、修复、修复效果评估、以及后期监管等，各环节均需相关行政部门对报告、方案进行评审、备案，流程耗时很长，致使供地时间受到制约，严重影响后续开发利用进程。

土壤修复市场运行不规范，企业实力参差不齐。从环保产业发展方向和技术水平考虑，应大力培育有综合实力的环保科技企业，促进产业集聚发展。为避免无计划地重复建设小规模、技术服务能力弱的简易污染土壤处置厂，建设一个规模化、技术先进、安全性高的污染土壤修复中心具有重要意义，至少可以满足广州市未来二十年污染土壤修复的需要，同时也为环保产业的发展树立新标杆。

缺少具有地域特征的土壤修复技术体系。由于自然气候和成土母质的原因，广州市土壤偏酸性，黏粒含量高，对土壤污染物的环境行为有一定影响，如提高重金属的活性、增加有机污染物的吸附能力等，常规的修复技术如淋洗技术的适用条件受限，固化稳定化后土壤中重金属溶出风险增加，需要深度处理和工艺改进。从构建本地适宜的土壤修复技术体系考虑，大型修复企业有能力配备国内外最先进的修复工艺和设备，拥有较强的技术研发能力，可在实践过程中为构建适宜本地土壤的修复技术体系提供经验和支撑。

修复后土壤的安全处置问题亟待解决。近年来我国环境污染修复公司发展迅速，但从事修复后土壤的安全处置与资源化利用的企业相对较少，大型污染修复企业可能有配套的修复后土壤处置工艺和设备，中小型修复公司不具备该条件。一般原位修复的土壤不涉及后续处置问题，主要是异位修复的土壤，如果不符合

原址填埋条件，则需要异地处置。根据《广东省污染地块修复后土壤再利用技术指南》，污染土壤修复后去向主要包括：建筑用地回填、道路路基、绿化用地基质、填埋场覆土，广东省较常见的为前3种再利用途径。建设一个能把异位修复和资源化利用相结合的修复公司，可最大程度保障污染土的高效修复和安全利用。

2.3. 产业政策符合性分析

2.3.1. 我国土壤污染防治政策

频发的土壤污染事件引起国家环保部门的重视，2005-2013年开展了首次全国土壤污染状况调查，结果显示我国土壤污染情况严重。2013年以来我国开始重视土壤污染防治问题，先后出台了一系列相关政策、法规及标准等规范性文件。

2016年发布《土壤污染防治行动计划》，启动土壤污染防治攻坚战。工作目标：到2020年目标，全国土壤污染加重趋势得到初步遏制，土壤环境质量总体保持稳定，农用地和建设用地土壤环境安全得到基本保障，土壤环境风险得到基本管控。主要指标：到2020年，受污染耕地安全利用率达到90%左右，污染地块安全利用率达到90%以上。到2030年，受污染耕地安全利用率达到95%以上，污染地块安全利用率达到95%以上。

2018年发布并于2019年实施的《中华人民共和国土壤污染防治法》，宗旨是保护和改善生态环境，防治土壤污染，保障公众健康，推动土壤资源永续利用，推进生态文明建设，促进经济社会可持续发展。

“土十条”对土壤污染防治产业的支持：多措并举，推动土壤污染防治产业发展。一方面**推动形成土壤污染防治产业链**。通过加大适用技术研发和科技创新力度，可有力推动土壤污染防治产业发展。应放开服务性监测市场，鼓励社会机构参与土壤环境监测评估等活动。通过政策引导，加快构建和完善覆盖土壤环境调查、分析测试、风险评估、治理与修复工程设计和施工等环节的土壤污染防治产业链，形成若干综合实力雄厚的龙头企业，培育一批充满活力的中小型企业。推动有条件的地区建设产业化示范基地。发挥“互联网+”在土壤污染防治全产业链中的作用，推进大众创业、万众创新。另一方面**规范土壤污染防治产业发展**。针对我国土壤污染防治产业发展无序的突出问题，应规范从业单位和人员管理，建立健全监督机制，将技术服务能力弱、运营管理水平低、综合信用差的从业单位名单通过企业信用信息公示系统向社会公开。实行土壤污染治理与修复终身责

任制，出台有关责任追究办法。

2.3.2. 广州市污染场地管理体系及相关政策

（一）污染场地管理体系逐步完善

2014 年，广州市政府出台政策，将污染场地修复要求纳入土地利用政策文件中，要求对**污染场地进行调查评估与治理修复**，使得污染场地管理工作有据可依。2015 年，广州市土地开发中心出台关于加快污染场地修复工作的文件，广州市生态环境局制定污染场地管理办法，尽管上位法缺位导致管理办法搁置，但管理程序并没有改变，生态环境局与土地开发中心建立了联动监管制度，对工业企业地块再开发利用实行“三备案”管理。具体为：①调查评估报告备案，未经备案，不批准项目环评，不办理土地流转；②治理修复方案备案，包括治理修复技术方案、工程实施方案和环境监理方案，未经备案，不得开展治理修复工程施工；③修复效果评估报告备案，未经备案，或效果评估不符合要求的，不得审批其开工建设与治理修复无关的任何项目。2017 年《广州市土壤污染防治行动计划工作方案》（广州“土十条”）发布，将“三备案”制度固化，此后广州市生态环境局陆续出台多份文件，对污染场地各阶段报告审查要点、从业单位资质管理、专家管理等方面进行明确规定（见表 2.3-1）。

在**场地管理能力和技术水平**方面也有明显提升。广州市生态环境局、技术中心通过组织污染场地环境管理和技术培训班，邀请相关专家讲课，加强对区生态环境局和市国土规划委、城市更新局、土地开发中心、场地责任单位、从业单位等有关人员的培训，促使管理部门加深对污染场地相关制度的理解，强化责任单位、从业单位对管理流程和技术细节的认识。目前，广州市正在制定土壤污染风险筛选值，开展污染场地调查、修复实施方案编制、修复工程环境监理、修复工程验收等研究工作，以期形成污染场地管理技术支撑体系。

污染地块再开发利用前需依次进行土壤污染状况调查、土壤污染风险评估、土壤污染修复、修复效果评估，且作为土地出让的前置环节。每个环节均需相关行政部门对报告、方案进行评审、备案。该流程中，部分地块耗时很长，致使供地时间受到制约，严重影响后续开发利用进程。特别是广州城镇化程度高，土地资源紧张，且正处于转型发展期，地块再开发利用的需求尤为大量和迫切，土壤环境管理现状无法满足城市发展要求。2020 年 11 月，广州市生态环境局、规划

和自然资源局、住房和城乡建设局联合印发《**广州市加强出让储备用地土壤污染防治工作方案**》（以下简称“《方案》”）。《方案》提出的“净土开发”是在原“净土出让”基础上增加一个可选项，选择“净土开发”需符合以下情形：（1）地块储备主体承诺在一年内完成修复的，可提前办理出让手续，储备主体在交地前确保土壤已修复完成；（2）经评估一年内可完成修复，且地块规划建设内容与土壤修复工程能通过有效衔接提高建设效率的，可在修复前出让并由受让人承接土壤污染修复责任。力求将土壤污染风险管控和修复活动与供地、再开发活动同步推进，合理设置流程，保障污染地块安全利用的同时，加快储备用地出让和再开发的进度，满足城市发展要求。虽然先行出让、再修复会使监管难度增大，但土壤环境安全要求不会降低。该方案的提出对污染土壤高效快速修复提出要求。

为保障**人居环境安全**，提高建设用地土壤污染状况调查、监测与防治水平，加快地块流转和再开发利用，广东省广州市近年来着力推动相关标准的制定。截止2020年12月，广州《**建设用地土壤污染防治**》系列标准正式发布（见表2.3-2），标准根据广州地方特点做出了具体、细致的规定。《城市建成区土壤环境监测技术规范》填补了我国城市建成区土壤环境监测技术体系的空白。国内外土壤环境监测对象主要是农用地和污染地块等，针对城市建成区的相对较少，相应的技术体系基本处于空白状态，难以满足我国城市建成区土壤环境监测工作的需要。广州市建成区面积位居我国各个城市建成区面积前列，建成区土壤环境安全与风险管控尤为重要。

（二）从业单位管理趋于规范

《土壤污染防治行动计划》（“土十条”）颁布实施后，土壤修复行业迎来了新的发展机遇。但“土十条”仅提出建立从业单位负面清单，未对土壤修复从业单位、人员设置提出资质要求。广州“土十条”发布后，广州市生态环境局设置了准入门槛和资质条件，建立了污染场地再开发利用从业单位名单，避免了场地修复市场的无序和混乱现象。

表 2.3-1 广州市污染场地环境管理相关政策文件

序号	文件名	污染场地管理要点	文件意义
1	《广州市人民政府	对城市工业企业遗留（弃）场址	从政府层面

	办公厅关于土地节约集约利用的实施意见》(穗府办[2014]12号)	改变用途的储备用地，按有关规定开展土壤环境风险评估，并由市、区(县级市)土地储备机构组织对被污染的土壤环境进行治理修复	要求对污染场地进行调查评估
2	《广州市人民政府关于印发广州市申请使用建设用地规则的通知》(穗府[2015]15号)	土地储备机构在确定储备土地范围后，应按生态环境部门要求，对于涉及改变用途或变更使用权人的工业企业遗留场地，应先开展场地环境调查和风险评估，并明确土壤治理修复责任主体，确保土壤环境质量符合再开发利用要求	
3	《广州市土地开发中心关于加快开展土地污染环境调查、污染风险评估和土地污染修复工作的函》(穗土开[2015]115号)	未按规定进行场地环境调查与评估，未明确治理修复主体的，不得进行土地流转；受污染场地未经治理修复验收合格的，不得进行再开发利用	生态环境局与土发中心建立了联动监管制度，对工业企业地块再开发利用实行
4	《关于印发广州市污染地块再开发利用环境管理实施方案(试行)的通知》穗环[2018]26号	系统规定了工业企业场地再开发过程中环境调查、风险评估、治理修复、再开发利用等环节的具体要求，明确了责任主体、部门职责、监督管理关键等内容	“三备案”管理，广州市污染场地管理自此走上规范化
5	《广州市人民政府关于印发广州市土壤污染防治行动计	明确环境保护、国土规划、住房城乡建设等部门管理职责，未进行土地调查评估，或制定修复方	

	划工作方案的通 知》(穗府[2017]13 号)	案的,不批准建设项目环境影响 评价文件,不办理用途改变或土 地使用权流转手续	
6	《广东省建设用 地土壤污染状况 调查、风险评估 及效果评估报告 技术审查要点 (试行)》 (粤环办〔2020〕 67号)	明确对工业企业场地环境调查和 风险评估、修复项目实施、修复 项目环境监理、修复项目效果评 估报告等环节技术审查的要求	明确了各阶 段报告技术 审查要求、 提高全市从 业单位信息 化管理水平
7	《广州市生态环 境局关于启用广 州市污染地块再 开发利用从业单 位及专家库管 理系统的通知》 (穗环〔2020〕 2号)	实现广州市污染地块再开发利用 从业单位网上登 记、年度业绩管 理、综合统计分 析等信息化管 理工作	

表 2.3-2 广州市建设用地环境管理相关标准规范

序号	文件名	要点	意义
1	建设用地土壤污染防 治第1部分:污染状况 调查技术规范	增加了调查启动条件;根据 土壤污染风险情况将工业企 业地块分为重点行业企业用 地和其他用地,分别提出技 术要求;明确了地下水监测 项目技术要求;提出了异常 点位排查技术方法。	形成一套完善的 土壤污染防治技 术体系。有效提 高全市建设用地 土壤污染防治技 术水平和地块再 开发利用效率。
2	建设用地土壤污染防 治第2部分:污染修 复	指导污染修复工作,保障修 复效果	

	复方案编制技术规范		
3	建设用地土壤污染防治第3部分：土壤重金属监测质量保证与质量控制技术规范	根据建设用地土壤监测的特点，创新性提出了全流程的质量保证与质量控制技术要求，重点针对土壤调查监测	
4	建设用地土壤污染防治第4部分：土壤挥发性有机物监测质量保证与质量控制技术规范	的重要指标重金属和挥发性有机物，细化采样、制样、检测等流程的质控措施，切实保障监测数据的真实性、准确性	
5	建设用地土壤污染防治第5部分：半挥发性有机物土壤监测质量保证与质量控制技术规范	计划中	
6	建设用地土壤污染防治第6部分：土壤污染修复工程环境监理技术规范	计划中	
7	城市建成区土壤环境监测技术规范	在确保人居环境安全的前提下，实现生态环境保护与经济社会发展相统一	填补城市建成区土壤环境监测技术体系空白
8	广州市加强出让储备用地土壤污染防治工作方案	适用范围为拟通过出让方式供地的储备建设用地。建设用地可先出让再开展土壤污染修复和管控，修复达标后开发建设。	保障污染地块安全利用的同时，加快储备用地出让和再开发的进度，满足城市发展要求

2.3.3. 污染土壤异地处置相关政策依据

为响应国家和地方对“探索开展污染土壤异地集中处置新模式”的要求，已有一些城市在尝试建设“污染土壤处置终端项目”，且有不同程度的进展。但目前尚无污染土壤集中异位处置的相关规定，如政策法规、技术规范、申请流程、安检、验收、监测及修复后土壤再利用相关流程等，为此相关部门应尽快出台相应政策规定，加强规范和指导。收集整理了现有污染土壤异位修复相关的规定，以供参考。

2.3.3.1. 污染地块土壤异位处置转移相关规定

- 判断异位修复的污染土壤外运是否要进行危废鉴定的有关程序

鉴别是否属于固体废物的主要依据是《固体废物鉴别标准通则》（GB34330-2017）中“4 依据产生来源的固体废物鉴别”和“6 不作为固体废物管理的物质”，有关规定如下：

（1）在污染地块修复、处置过程中，采用下列任何一种方式处置或利用的污染土壤属于固体废物：a）填埋；b）焚烧；c）水泥窑协同处置；d）生产砖、瓦、筑路材料等其他建筑材料。

（2）修复后作为土壤用途使用的污染土壤不作为固体废物管理。

经鉴别属于固体废物的，需要进行危废鉴定。

- 污染土壤外运审批流程

本修复中心仅处理非危废类污染土壤，根据规定，对不属于危险废物的外运污染土壤，根据《中华人民共和国土壤污染防治法》第四十一条规定，修复施工单位转运污染土壤的，应当制定转运计划，将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置措施等，提前报所在地和接收地生态环境主管部门。

以上参考：生态环境部关于污染土壤外运是否需要对其进行危废鉴定问题的回复。

- 《广州市建设用地土壤污染修复现场环保检查要点》对涉及土壤外运的检查规定

(1) 检查是否有土壤外运接收单位的处置合同。

(2) 外运土壤采用填埋、焚烧、水泥窑协同处置或生产砖、瓦、筑路材料等其他建筑材料等方式处置或利用的，应提供不属于危险废物的鉴定材料。

(3) 是否将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置措施等提前报所在地和接收地生态环境主管部门。

(4) 是否交由有资质的单位进行运输。

(5) 是否有合法的接收点或接收单位。

(6) 检查土壤转运台账，判断清挖土方量与堆存外运土方量是否大致平衡。

土壤出场后，按相关环境监管办法执行。

● 其他污染土转运相关规定

《中华人民共和国土壤污染防治法》第十九条规定：“生产、使用、贮存、运输、回收、处置、排放有毒有害物质的单位和个人，应当采取有效措施，防止有毒有害物质渗漏、流失、扬散，避免土壤受到污染。”

对不属于危险废物的外运污染土壤，可参考《国家危险废物名录（2021 年版）》第三条“列入本名录附录《危险废物豁免管理清单》中的危险废物，在所列的豁免环节，且满足相应的豁免条件时，可以按照豁免内容的规定实行豁免管理。”“实施土壤污染风险管控、修复活动中，属于危险废物的污染土壤不按危险废物进行运输。”

《中华人民共和国土壤污染防治法》规定，实施风险管控、修复活动对土壤、周边环境造成新的污染的；转运污染土壤，未将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置措施等提前报所在地和接收地生态环境主管部门的，由地方人民政府生态环境主管部门责令改正，处十万元以上五十万元以下的罚款；情节严重的，处五十万元以上一百万元以下的罚款。

2.3.3.2. 污染土壤异地处置相关规定

现有的污染土壤异位修复一般是作为一种修复方式，相关工作流程均与污染场地紧密联系，基坑与外运污染土的修复效果评估和验收基本同时进行。本修复中心的异位集中处置模式是一种全新的模式，暂时没有专门的技术规定，鉴于本修复中心接收污染土壤的同时也承接了原污染场地相关的风险责任，土壤修复过程和处置方式等均可参考场地修复相关规范，包括土壤转运、二次污染防治、修复效果评估、验收、资源再利用、长期监测等。

2.3.3.3. 污染土壤转移后原基坑修复效果评估、验收相关规定及建议

依据广州市生态环境保护局印发的《广州市工业企业场地环境调查、治理修

复及效果评估技术要点》（以下简称《要点》），需明确外运后污染土壤接收及处置单位是否具有暂存和处置能力，说明暂存场的选取、处理处置方式等相关内容及技术参数。补充处理处置协议作为修复方案的附件。据此，污染土壤转运至土壤修复中心后，原基坑修复效果评估和验收可按异位修复场地管理办法实施。

依据《要点》中场地修复效果评估规定：异位修复的场地，应在污染土壤完成修复之后、回填土回填之前进行效果评估。在实际执行中，污染土壤从原场地全部转移到土壤修复中心，后者有安全处置方案，修复后土壤有确定去向，原场地不存在再次接收污染土壤的风险，经基坑修复效果评估且验收合格，即表明原场地已成为干净场地，进行开发建设不存在风险，可以节约等待污染土壤完成修复的时间，加快场地再开发建设进程。

因此建议：在严格遵照《中华人民共和国土壤污染防治法》和《要点》等的规定条件下，场地污染土壤安全转运至土壤修复中心后，即视为完成了污染土壤处置责任的转移（由土壤修复中心承担污染土壤所有的后续处置、风险管控和长期监测等责任），原场地在完成全部污染土壤外运后即可开展基坑修复效果评估和验收流程，验收合格后即可进行开发建设。这也是土壤修复中心建设意义之一。

2.3.4. 污染土壤修复后处置方法相关政策规定

● 土壤再利用

根据《广东省污染地块修复后土壤再利用技术指南（征求意见稿）》（以下简称《指南》），修复后的土壤在异址再利用和转移的过程中，需要突出对再利用过程的风险管控，确保修复后土壤再利用的环境安全。修复后的土壤可用作道路路基、绿化用地基质、填埋场覆土。做为填埋场覆土时，土壤只要通过了环境可接受性评估就可以做为覆土进行利用。垃圾填埋场远离人体活动范围，主要环境影响关注于填埋废物的气味和渗滤液，对覆土的质量要求较宽松，一般只需要满足生活垃圾填埋场工程技术要求即可。

● 修复后土壤外运需要进行风险评估

依据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018），若修复后土壤外运到其他地块，应根据接收地土壤暴露情景进行风险评估确定评估标准值，或采用接收地土壤背景浓度与 GB36600 中接收用地性质对应筛选值的较高者作为评估标准值，并确保接收地的地下水和环境安全。风险评

估可参照 HJ25.3 执行。

● 土壤处置过程及去向的监理要点

根据《广东省污染地块治理与修复环境监理技术指南》，环境监理机构应跟踪监督治理与修复达标后的土壤的处置过程及去向是否符合修复工程实施方案的要求，并采集、留存影像资料。若治理与修复达标后的土壤在原地块消纳时，应重点检查处置位置和处置方法，涉及土壤回填时，应核查回填地点、回填方式和回填量；若涉及到土壤外运时，应重点监督土壤外运地点、处置方法。

监督修复工程中污染介质的运输过程。环境监理机构应采用巡视的方法监督修复工程中污染土壤的转移与运输（包括场内短驳、运输和外运等）过程，包括车辆运输资质、转移与运输路线，运输车次和运输量等，重点检查每一车次（或其它交通工具或运输机械）的装运介质及其类型和装卸点位置，并采集、留存影像资料。运输过程采用的运输机械的装运介质及其类型和装卸点位置，并采集、留存影像资料。并且明确指出了涉及到异地集中式修复场所的修复工程时，污染土壤应该按相关要求开展主体修复工程环境监理，并且重点关注土壤的运输和分类堆放过程，采集、留存影像资料。

异地集中式修复场所的监理工作。若污染土壤需要运输到异地集中式修复场所进行修复治理，环境监理机构应按上述要求开展主体修复工程环境监理，并重点关注污染土壤的运输和分类堆放过程，采集、留存影像资料。

2.4. 项目建设的重要性和迫切性

遗留工业场地土壤污染问题突出，亟需修复和风险管控。根据全国土壤污染调查结果，我国土壤环境问题突出，重污染企业、工业废弃地块、工业园区等用地土壤污染严重。珠三角等经济发达地区工业污染场地集中分布，大量污染场地遗留在城区，严重危及城市人居环境安全与公众健康，成为经济社会协同发展过程中需要着力解决的重点问题。

广州市土壤污染防治政策需求：2020 年是“土壤污染防治行动计划”考核年，为实现污染地块安全利用率达到 90%，广东省 2020 年土壤污染防治工作方案要求加强污染地块监管，鼓励有条件的地市探索开展污染土壤异地集中处置新模式。广州作为被推荐城市之一，积极尝试建设“土壤修复与资源化利用修复中心”，以期广州市污染土壤异地集中处置建立新模式，并以广州为中心，辐射珠三角和广东省，建成我国污染土壤异位高效修复和资源化利用示范基地。

广州污染土壤修复市场需求：广州市关闭搬迁企业数量多，仅是“退二进三”企业就有 300 多家，这些地块分散于城市中心，土壤环境风险隐患突出，再开发环境风险管控薄弱。广州市土壤修复市场企业实力参差不齐，从环保产业发展方向和技术水平考虑，应大力培育综合实力强、技术水平高、规范化和规模化的环保科技企业。目前广州尚无大型的污染土壤异位修复企业，为避免无计划地重复建设小规模、技术服务能力弱的简易污染土壤处置厂，建设一个规模化、技术先进、安全性高的污染土壤修复中心具有重要意义，这也是对原址原位修复方式的有益补充，至少可以满足广州市未来二十年污染土壤修复的需要，同时也为环保产业的发展树立新标杆。

广州城市建设需求：广州城镇化程度高，土地资源紧张，且正处于转型发展期，通过环境综合治理和土地综合整治盘活存量用地是重要供应途径，工业搬迁地块的修复和安全再利用需求迫切。但现有土壤环境管理程序复杂，耗时长，无法满足城市发展要求。污染地块再开发利用前需依次进行土壤污染状况调查、风险评估、修复、修复效果评估，各环节均需相关行政部门对报告、方案进行评审、备案，流程耗时很长，致使供地时间受到制约，严重影响后续开发利用进程。场地修复后可能仍存在潜在风险，需要长期监测，土地利用方式也受到环境污染风险和人体健康风险的限制。通过转移污染地块土壤到修复中心进行异位修复和安

全处置，可以在很大程度上解决这个问题，为城市建设进程节约时间成本。

第三章 广州市场地污染土产生量预测及修复中心建设规模

3.1. 污染土壤产生量

根据2013-2018调研结果，91个疑似污染地块中已查明31个地块存在污染，总污染土方量为138万m³。按广州市现有疑似污染地块总数为300块计算，已调查数量不足1/3，且其中1/3为污染地块，其余200多块疑似地块中，假定1/3有污染，则仍有70余块污染地块，潜在待修复土方量有可能是目前已知数量的2倍以上。除了这些疑似污染地块，每年都可能产生新的污染地块，受限于数据的可获得性和未知性，目前无法对未来污染土方量做出详细的预测。

现已查明的污染地块中，化学原料及化学制品制造业、金属冶炼及压延加工业和农副食品加工业污染场地的土方量较大，分别占总土方量的59.46 万m³、56.13 万m³和8.97万m³（图2.2-1），与其在行业中所占比例一致。按土壤污染类型所占比例计算，复合污染土81.3万m³、重金属污染土25.9万m³、有机污染土30.8 万m³。

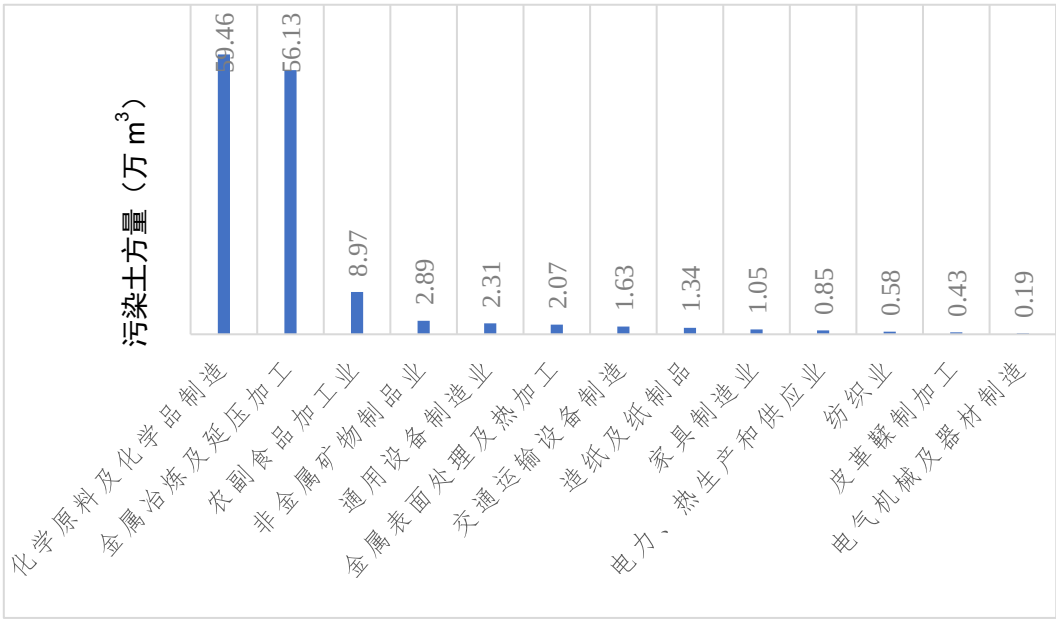


图3.1-1 广州市行业污染地块土方量

从2016-2020年实际修复情况看，据不完全统计（表3.1-1），广州市近五年开展工业企业污染场地土壤修复总量超过130万m³，年均26万m³以上，但年际变化很大，2016和2017年每年修复土方量50万m³左右，2018-2020年年均修复土方量介于10-20万m³。

表 3.1-1 广州市近五年开展的工业企业污染场地土壤修复土方量统计

序号	地块名称	修复量 (m ³)	时间	年修复量 (m ³)
1	广州油墨厂地块场地	578	2020	>14822
2	广州钢管厂地块场地	-	2020	
3	广州市华侨糖厂罗冲围厂区地块场地	-	2020	
4	广州浪奇化工厂地块	-	2020	
5	广东澳联玻璃有限公司地块	14244	2020	
6	广州红云涂料化工厂地块	198900	2019	205470
7	广州东风化工旧厂改造地块	6570	2019	
8	广州制漆厂地块	30505	2018	100899
9	广州百花香料股份有限公司地块	45100	2018	
10	广州市荔湾区鹤洞路 98 号地块	17184	2018	
11	广州槎头水泥厂地块	8100	2018	
12	广州黄埔化工地块	95499	2017	494732
13	广州市永大集团公司地块	13576	2017	
14	广州油制气厂地块	360000	2017	
15	广东省畜产进出口集团羽绒厂地块	11173	2017	
16	广纸海珠地块	14484	2017	
17	广钢白鹤洞地块	520000	2016	520000
18	合计	1335913		
19	年平均	267182.6		

注：数据来自网络数据，包括招标公告，验收公告等；“-”数据未知。

综合考虑广州城市建设用地迫切需求、过往5年内平均修复土方量、现存已查明场地污染土方量、未来20年还可能产生新场地、以及周边临近城市污染土修复需求等因素，预估未来平均每年可用于异位修复的污染土产生量约30万m³，不排除个别年份污染土产生量大量增加或减少的情况。

3.2. 修复中心建设规模

一期（试点）工程：利用填埋场内空地（4.22万m²）开展固化稳定化、淋洗

和热脱附工程建设，限于场地面积，建议规模为年处理土方量9万 m^3 ，试点阶段考虑对3种类型土壤开展修复，其中：重金属污染土壤量2万 m^3 、有机污染土1.5万 m^3 、复合污染土5.5万 m^3 。

二期工程：设计规模为年处理污染土方量 30 万 m^3 ，按广州市污染土壤各类型所占比例计算年处理量，其中：重金属污染土壤量 5.64 万 m^3 、有机污染土 6.69 万 m^3 、复合污染土 17.67 万 m^3 。工程占地面积 19.89 万 m^2 ，包括污染土壤暂存区用地、污染土壤修复区用地、修复后清洁土壤贮存区和公共配套设施用地等。（详见 5.5 节）

第四章 土壤修复技术比选与工程建设内容

4.1. 污染土壤修复技术比选

4.1.1. 国内外污染土壤修复技术应用现状

4.1.1.1 国外工业污染地块土壤处置现状

（一）美国

由美国超级基金项目统计的监测站点中污染物的类型主要有以下几种：金属和类金属、卤化 VOC、多环芳烃、苯系物、多氯联苯等，见图 4.1-1。

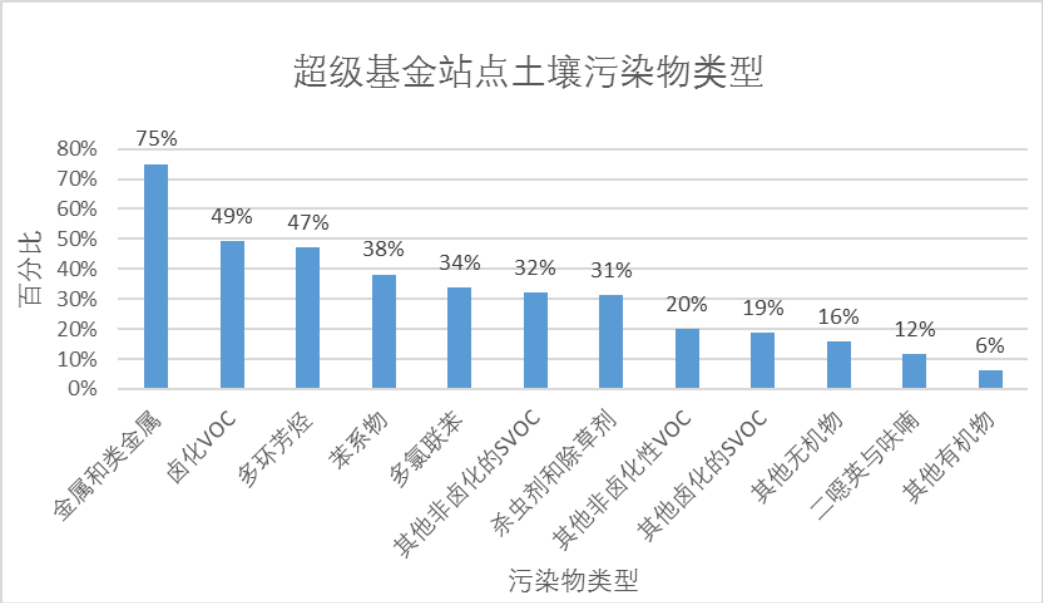


图 4.1-1 超级基金监测站点中土壤污染物类型

在超级基金建立的 1982-2014 年间，总共有 1549 个场地确立了决策文件，其中只有 93 个场地未采取任何措施，有 1196 个场地采取了治理措施，其中 924 个场地治理了土壤的污染。其余场地也采取了一定的补救措施如监测自然恢复状况，污染物的自然衰减，对于那些污染严重而又缺乏治理能力的场地则选择了原位收容或者客土法的方式进行处理。

根据超级基金年度报告的统计数据可知，在 1982 年至 2011 年期间，污染源处理工程项目中原位修复技术中应用最为广泛的有土壤气相抽提技术（241, 24%）、固化/稳定化（53, 5%）、生物修复技术（50, 5%）、多相萃取技术（42, 4%）和化学处理技术（19, 3%）；异位修复中应用最多的涉及固化/稳定化（214, 17%）、焚烧（153, 12%）、物理分离（99, 8%）、热解吸（72, 6%）和生物修复

技术（67, 5%），详见图 4.1-2。

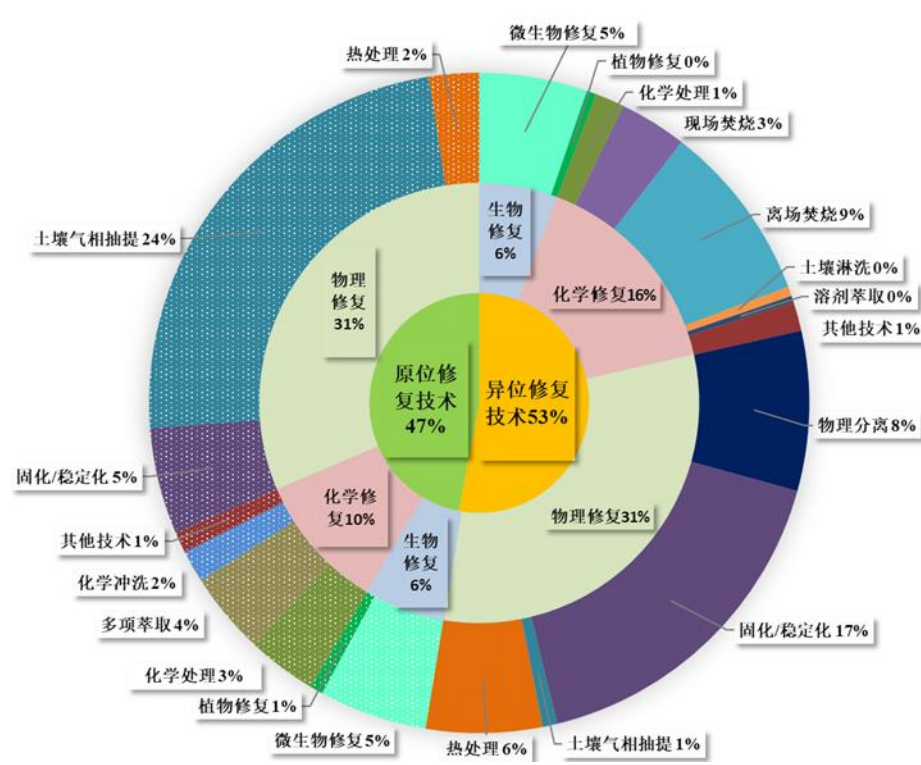


图 4.1-2 1982-2011 年美国超级基金场地土壤修复技术类型与占比

（二）欧洲国家工业污染地块现状及处置方式

在欧洲，调查后发现潜在污染点的数量超过 250 万个，确定的污染点位约有 34.2 万个。其中，城市和工业废物污染了 38%点位的土壤，其次是工商业污染（34%）。矿物油和重金属是造成土壤污染的主要污染物，约占土壤污染物的 60%。在预算方面，受污染场地的治理费用估计每年约为 60 亿欧元。

1975 年-2011 年间，欧洲污染场地土壤修复项目中最常用的修复技术为传统的挖掘异位处置，占比约为 30%；原位修复和异位修复技术的应用比例相当，以生物、物理/化学和热脱附处理技术应用为主。基于上述三种技术开展污染修复的场地项目约占总项目数的 60.37%，其中原位热脱附、原位生物处理和原位物化处理修复技术占 27.38%，异位热脱附、异位生物处理和异位物理化学处理修复技术占 32.99%（EEA，2019）。在实际污染场地修复工程中，除传统的挖掘处置技术外，生物处理技术运用最为广泛（26%），且以异位生物处理应用居多

（19%）。另外，将污染土壤作为废弃物而非可再生资源处理（包括挖掘处置技术、污染场地管制等）的工程项目在欧洲同样占有较大比重，达到 37%。

4.1.1.2 我国工业污染地块土壤处置现状

与欧美等发达国家相比，我国土壤修复起步较晚，修复技术研发相对落后，加之我国区域发展的不均衡性、污染场地特征的变异性和污染类型的复杂性等，我国现阶段的土壤修复工程约 68%采取污染治理措施，32%仅采取污染阻断（阻控填埋）措施（图 4.1-3）。在采取污染治理措施的土壤修复工程中，以物理化学的固化/稳定化修复技术最为常见，应用比例达 34%；其次为化学氧化修复技术（7%）；植物和微生物修复技术应用相当，均为（6%）；物理修复技术应用最少（3%）。

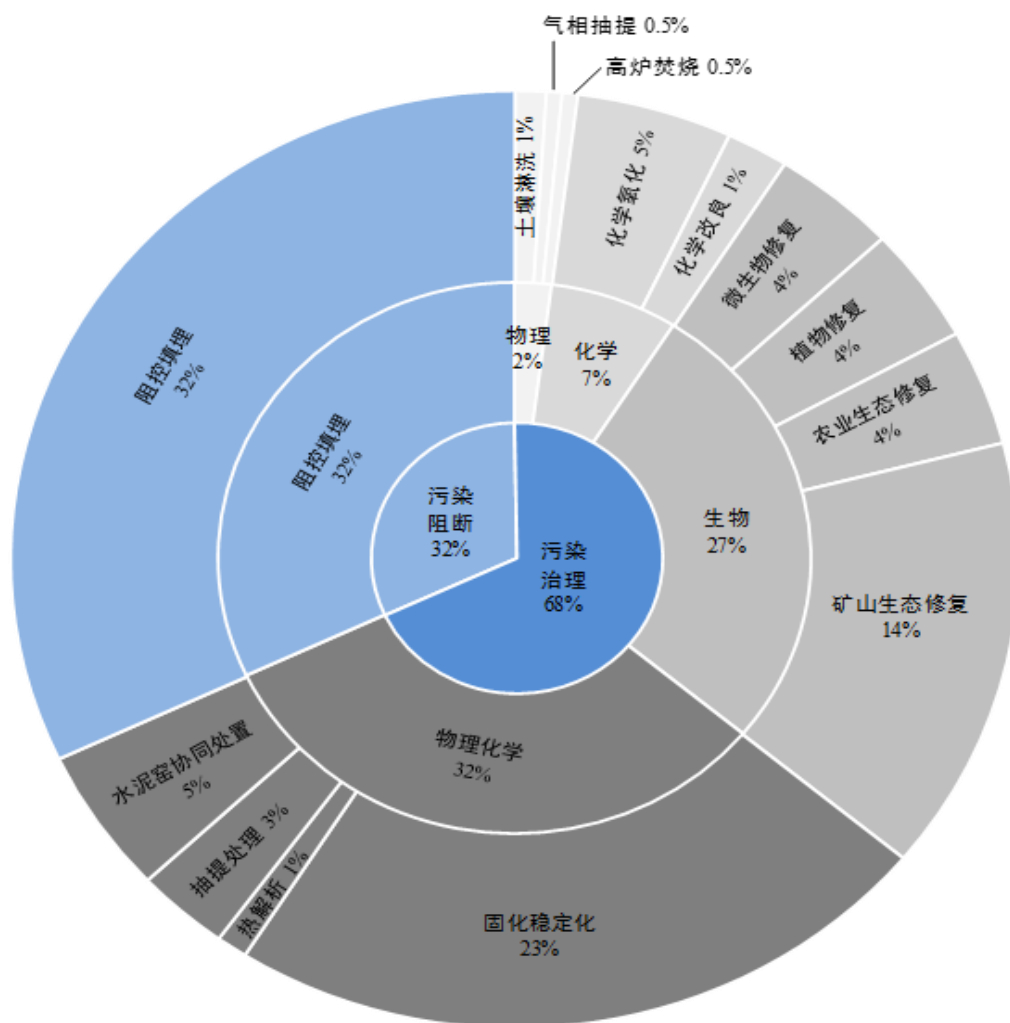


图 4.1-3 2008-2016 年我国土壤修复技术应用现状

4.1.2 固化/稳定化技术

(1) 技术原理与分类

固化/稳定化技术是指运用物理或化学的方法将土壤中的污染物固定起来或者将污染物转化成化学性质不活泼的形态，阻止其在土壤环境中迁移、扩散等过程，从而降低污染物的毒害程度的修复技术。固化/稳定化技术包含固化技术和稳定化技术。其中土壤固化技术主要通过土壤与一种或多种 S/S 材料的机械混合实现，通过吸附、拦截等作用将污染物控制在颗粒固化体内，降低污染物的移动性，降低环境风险；稳定化技术是通过吸附、沉淀或共沉淀、离子交换等作用改变污染物在土壤中的存在形态，将污染物转化为不易溶解、迁移能力或毒性更小的污染物，以降低其溶解迁移性、浸出毒性和生物有效性。

目前，常用的固化/稳定化技术主要包括以下几种类型：（1）水泥、石灰、粉煤灰等无机材料固化；（2）沥青、聚乙烯等热塑性有机材料和脲甲醛、聚酯等热固性有机材料固化；（3）玻璃化技术；（4）硫酸亚铁、磷酸盐、氢氧化钠、高分子有机物等药剂稳定化。由于技术和费用等方面的原因，以水泥、石灰、粉煤灰等无机材料为添加剂的固化/稳定化应用最广泛，占项目数的 94%，在项目中使用无机-有机复合添加剂的占项目数的 3%。

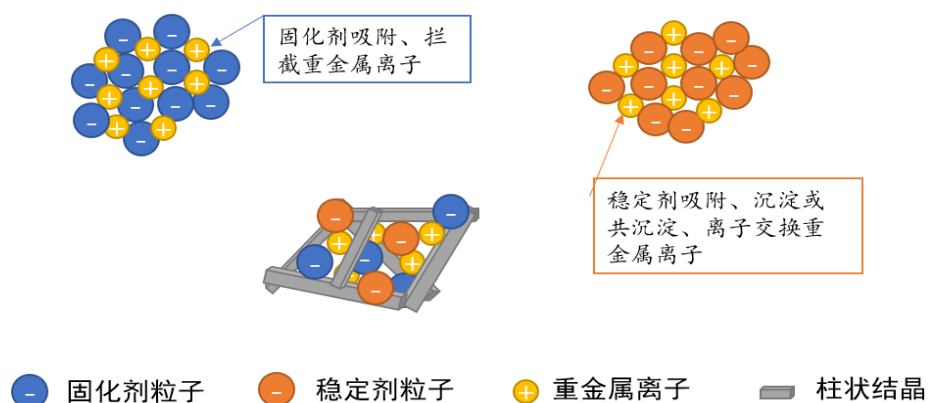


图 4.1-4 固化/稳定化原理图

（2）适用条件

土壤固化/稳定化技术适用于受无机污染物、有机污染物以及复合污染的土壤。目前，该技术在修复含无机污染物土壤方面应用更普遍，其适用的污染物主要有含重金属的底泥、城市生活垃圾焚烧飞灰、重金属开采场地、污灌区等；有机污染物主要有杀虫剂、除草剂、石油、多环芳烃、挥发性有机污染物、多氯联苯和二噁英/呋喃等。

（3）技术优缺点

技术优点

① 应用范围广、修复周期短。固化/稳定化技术对无机、有机污染及复合污染场地均有处理效果，且见效快，平均周期为 1-6 个月，在相对较短的一段时间达到修复目标；

② 修复成本低。水泥、粉煤灰、石灰固化是常用的固化技术，具有材料来源丰富且价廉易得，能量消耗低、设备工艺简单、处理成本低；

③ 修复过程简单、易操作。在修复过程中仅涉及到固化剂、稳定剂与土壤的混合，使用的混合工具简单、易操作。

技术缺点

① 使土壤碱化。修复过程中使用的 5%石灰、水泥等固定剂，会改变土壤的 pH 值，使 pH 大于 12，使土壤性质发生改变，影响日后的土壤利用；

② 修复效果有效性期限不定。固化/稳定化技术没有改变污染物的总量，而是控制其迁移性，从而限制污染物的有效性。因此被固定稳定化的污染物可能会重新回到土壤中去，对环境造成危害。

③ 土壤结构受到破坏。修复过程中大量的固化剂、稳定剂的加入会破坏土壤原有的结构，同时导致土壤增容和后续处理费用增加。

（4）工艺先进性

固化/稳定化技术与其他修复技术相比，有费用低、修复时间短、可处理多种复合重金属污染、易操作、适用范围较广等优势，因此，美国环保署将固化/稳定化技术称为处理有害有毒废物的最佳技术。

基于无机混合材料的重金属污染土壤固化/稳定化技术已纳入由国家生态环境部牵头的多部委组织，并由中国环保产业协会筛选和编制的《土壤污染防治先

进技术装备目录》，主要技术参数与应用效果见表 4.1-1。

表 4.1-1 入选《土壤污染防治先进技术装备目录》的固化/稳定化技术参数

序号	固化剂成份	技术路线	技术指标	修复效果	二次污染防治	费用
1	沸石为主，混合钙镁化合物、铁盐、铝盐及粘土制成	根据重金属污染浓度，经试验确定材料配比和添加量，添加比 1%~10%，将材料与污染土壤充分混匀，保持含水率 25%，自然养护 7 天。	混合材料中污染物含量符合国家相关要求，粒径<1 mm，pH 值 7.5 左右，颗粒含水率 3%~5%，比表面积 30 m ² /g，阳离子交换量 > 140 cmol/kg	处理后土壤重金属浸出率可降低 96%	土壤清挖、运输产生的扬尘采取洒水、覆盖措施控制	材料生产成本 363 元/吨，修复费用 231 元/m ³ ，
2	生物质燃烧灰为主，混合碱性矿物、含磷矿物和有机肥一起造粒	材料中释放的羟基、硅酸盐、磷酸盐等与土壤中重金属发生吸附、沉淀、离子交换、螯合等物理化学作用，实现重金属钝化/稳定化。施用时将材料均匀撒于土壤后深耕混匀搅拌。	材料中污染物含量符合国家相关要求。轻度污染土壤施用量 100~200 kg/亩，中度污染土壤施用量 300~500 kg/亩；每 2~3 年施用 1 次。	土壤中有 效态镉降低 51 ~ 75%，有效态铜降低 52 ~ 95%	土壤清挖、运输产生的扬尘采取洒水、覆盖措施控制	材料生产成本 1989.37 元/吨，修复费用 596.8 元/亩。

固定/稳定化技术在应用中有输送、灌浆、搅拌等多个环节，需要使用泥浆搅拌机、传送管、钻孔机等机器设备，同时固化/稳定化药剂和污染土壤的混合程度会导致修复效果存在很大的差异。混匀的主要目的是保证添加剂和污染物之间充分接触反应，其在固化/稳定化技术中起到很重要的作用。我国现有的设备基本能满足异位固化/稳定化工程的需求，搅拌混合设备有挖掘机、混凝土搅拌站、机械混合斗、土壤改良机和旋耕机等。我国缺乏土壤混合设备及集筛分、破碎、混合和药剂加注一体的固化/稳定化成套设备的制造企业，主要依靠修复企业购买通用筛分和混合设备后进行局部改造，其效率、可靠性、移动性和药剂利用效率均与国外先进装备有一定差距。近年来，我国还从北欧和日本引进了土壤筛分、

破碎和混合机械。目前已出现了筛分、混合设备的租赁公司 and 专业化作业公司。实际使用过程中，国外混合设备具有效率高、可移动、占地小、施工场地适应能力强、不易堵塞和运行稳定可靠等优势。

4.1.3 化学淋洗技术

化学淋洗处理工艺通常适用于修复重金属污染物，且可以处理的污染物浓度很广，技术适用性很强，对广州特征的重金属污染物：砷、铅、镍的淋洗修复也都有很好的效果。因此本修复中心选择淋洗处理工艺来处理重度污染的重金属污染以及复合污染土壤，日处理量达 $131.58 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据广州市的主要重金属污染物类型，选择合适的淋洗剂，同时购置国内的大型异位氧化修复设备做为本修复中心的主要设备。

(1) 技术原理

土壤淋洗修复技术是指将水或萃取剂与污染土壤混合，通过沉淀、离子交换、螯合或吸附等过程将污染物从土壤固相转移到液相，并对渗滤液、淋洗液中的污染物进行进一步分离处理。处理过程中向土壤中注入淋洗液，使土壤中的污染物发生溶解和解析，然后对大量淋洗液进行回收处理。

决定化学淋洗技术修复效果的主要因素在于淋洗剂的筛选、土壤性质的分析、淋洗条件的优化。使用酸性淋洗剂时可以很好的去除土壤中的重金属，但是会严重破坏土壤本身的理化性质，使其难以再利用，并且产生大量的废水。

目前国际上用于萃取和去除土壤中污染物的淋洗剂主要包括强酸/碱溶液、合成螯合剂（如乙二胺四乙酸 EDTA，乙二胺二琥珀酸 EDDS）、有机酸、腐殖质、表面活性剂、环糊精等等。

异位土壤淋洗修复技术的主要工艺流程包括：将污染土壤挖出后转移至特定的修复场合，之后将污染土壤和淋洗剂进行充分的混合搅拌，经过一系列相关的物理化学反应后使污染物从土壤固相转移到液相中去，从而实现修复土壤污染的目的（Anderson et al., 1999）。淋洗过程中产生的淋洗废液要通过吸附、沉淀等方式处理后方可排放，得到的淋洗污泥或固体废物进行集中填埋或固化/稳定化处理（Lim and Kim, 2013）。异位淋洗修复技术较原位淋洗技术而言，其修复装备往往是可运输的，便于搭建、拆卸和改装，其修复方法简单、处理量大、适用于大面积、重度污染土壤的治理，广泛适用于各类污染土壤的快速修复，利于技

术的推广及应用。

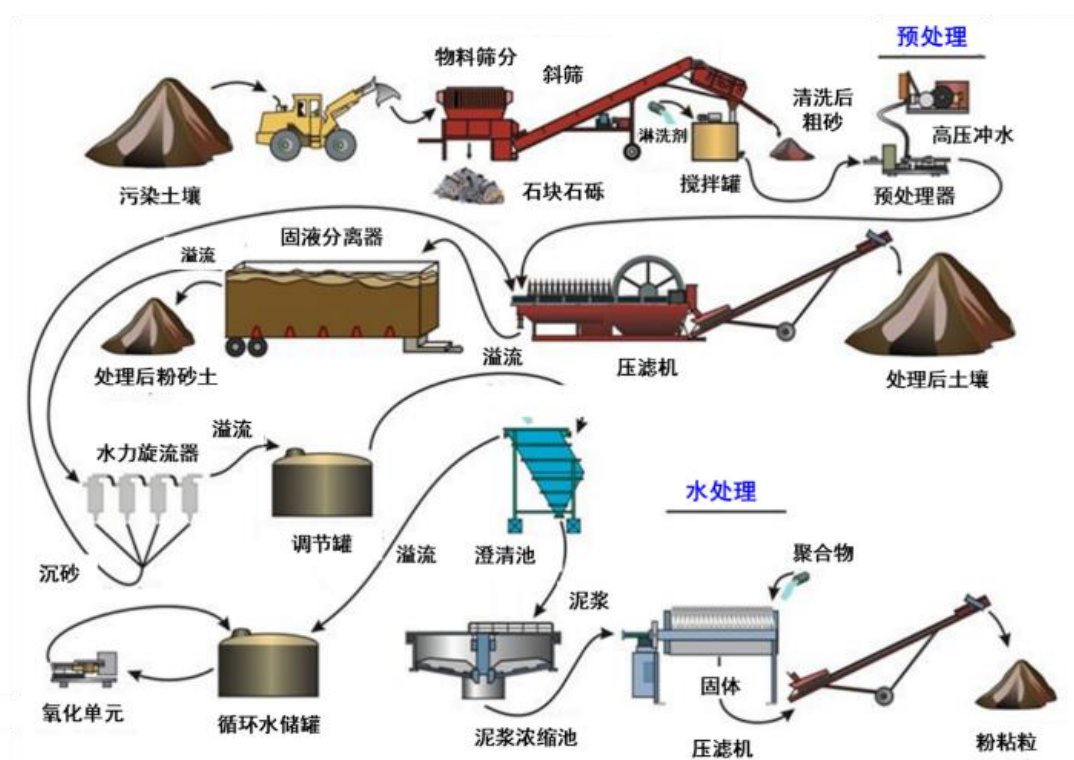


图 4.1-5 异位土壤淋洗修复技术示意图 (Klean Envi. Inc.)

(2) 适用条件

土壤淋洗是一种适用于砂性及黏度较低的污染土壤的修复技术,通常情况下,当黏粒含量 $>30\%$ 时,往往不将淋洗作为污染土壤的最佳修复技术。

污染土壤质地疏松、渗透性良好时,优先考虑采用淋洗修复技术。但当土壤中粉黏粒含量>30%或水力传导系数很低时($K < 1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$),土壤淋洗技术的使用将受到限制。

化学淋洗修复技术在本土壤修复中心主要用于大批量的处理高污染浓度的轻质土和砂质土。通过选择不同的淋洗剂（无机淋洗剂，螯合剂）可以分别洗脱土壤中的重金属或有机污染物。在添加了表面活性剂的情况下对重金属污染土壤的修复效果更佳。

(3) 优缺点

技术优点：（1）修复效率高，能够彻底消除污染物；（2）技术灵活，可以单独使用进行修复，也可作为其余修复技术的前处理方法；（3）点位灵活，可原位修复，也可异位修复；（4）有效限制污染物扩散范围（异位清洗将污染限

制在一定范围；原位淋洗可以利用格栅墙等有效控制污染扩散）。

技术缺点：（1）将污染物与土壤分离后，需要对收集的废液进行二次处理，在处理过程中容易造成二次污染；（2）药剂费用比较昂贵；（3）修复后土壤中淋洗液的残留部分，可能会对土壤性质产生一定的影响，造成二次污染。

4.1.4 化学氧化技术

催化氧化技术广泛适用于各类有机污染物，针对广州区域内的特征有机污染物具有良好的修复效果。本修复中心选用催化氧化工艺处理轻中度有机污染及有机-重金属复合土壤。

（1）技术原理

化学催化氧化修复技术是向污染场地中加入化学氧化药剂，使氧化剂和污染物之间进行各类化学反应，从而将土壤中的有机污染物转化为低毒性或者无毒性物质的一种技术。

催化氧化修复有机物污染土壤是通过催化剂（表面活性剂等）来催化化学氧化剂（过氧化氢、过硫酸盐、高锰酸盐、臭氧）产生自由基与土壤中的有机污染物发生氧化反应，破坏这些污染物，使其浓度降低到修复目标值，或使污染的健康风险降低到可接受的水平，见图 4.1-6。目前常用于土壤修复的氧化修复药剂主要为 Fenton 试剂、高锰酸盐和过硫酸盐等，这几种试剂对石油烃类，卤代烃类以及多环芳烃都有较好的修复效果，其中 Fenton 试剂在修复结束后的副产物可以被自然降解，对修复土壤的后续利用不会产生太大得影响。

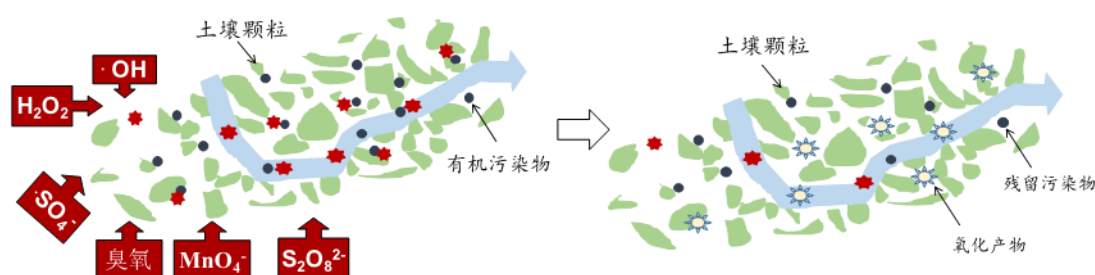


图 4.1-6 催化氧化修复概念图

催化氧化修复技术出现较早，发展和应用都较为成熟，是工业污染场地的主流修复技术之一。本修复中心主要应用的是异位化学催化氧化技术。

异位化学氧化是将受污染的土壤或者地下水转移至别的场地内进行化学氧化处理的技术。修复方式是向受污染的土壤或地下水添加强氧化剂，再利用搅

拌设备对土壤或地下水与氧化剂充分搅拌，从而使得各部分充分混合融合，使污染物降解从而达到修复目的。

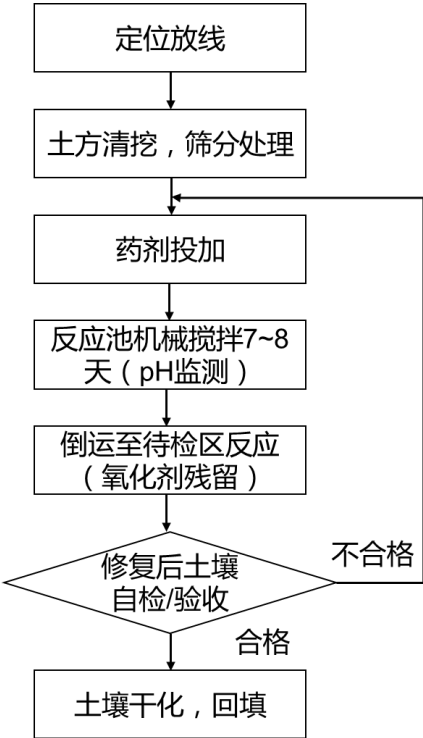


图 4.1-7 异位化学氧化修复流程

（2）适用条件

化学氧化修复技术可用于不同环境条件下污染土壤和地下水中污染物的去除，尤其适用于渗透性高的土壤，在低渗透性土壤中的修复效果较差。一般来说，化学氧化效果受到土壤含水率、粘粒含量、还原性物质的影响，含水率越高氧化效果越差、粘粒含量越高氧化效果越差、还原性物质越多氧化效果越差。

化学氧化修复技术多用于处理石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等有机物。化学氧化效果受到污染物结构的影响，直链烷烃的碳数越多、分子中环状结构越多，氧化效果越差，因此化学氧化修复在修复中低分子量的有机污染物时表现会更好。表 4.1-2 为常用的氧化剂。

表 4.1-2 常用氧化剂

序号	氧化剂	反应自由基	氧化电位 (Eh)	药剂形态	药剂持续性	燃爆危险
1	高锰酸钾	MnO ₄ ⁻	1.7V	粉末	>3 个月	可助燃，具有腐蚀性、

						刺激性，可致人灼伤
2	芬顿试剂	$\cdot\text{OH}$	2.8V	液体	几分钟至数小时	可助燃，具有强烈刺激性
3	臭氧	O_3	2.07V	气体	几分钟至数小时	助燃，具有刺激性
4	过硫酸盐	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ $\cdot\text{SO}_4\cdot$	2.01V 2.5V-2.6V	粉末	2-3 个月	助燃，具有刺激性

(3) 技术优缺点

技术优点：（1）可与其他技术联合使用，提高修复效率和适用范围；（2）化学反应过程中产生的热量，可以促进污染物的降解，提高反应的速率；（3）修复周期短（通常情况下小于六个月），化学反应强度大，修复效率明显。

技术缺点：（1）土壤中天然存在的有机质会消耗掉大量氧化剂，从而影响污染物的去除效率，增加成本；（2）氧化剂在传输过程中可能导致污染物的转移，致使污染范围扩大，处理难度增加；（3）该技术容易受到土壤性质的影响，反应产生的氧化产物也会使土壤的渗透性降低，从而影响后续的修复和土壤利用。

(4) 工艺应用情况

催化氧化修复工艺在本土壤修复中心主要用于轻、中度有机污染土壤的处理与处置，通过催化剂促使氧化剂产生更多的自由基，可以对有机污染物进行深度氧化，并且在一定程度上防止由于反应不彻底引起的污染物浓度反弹。对有机物污染土壤做到彻底的修复。采用表面活性剂，纳米零价铁等催化的过硫酸盐等氧化剂可以氧化目前大部分常见的污染物，如 POP, PAH 等。通过催化氧化技术将这些污染物分解成无毒无害的产物进行下一步的处理。目前，催化氧化技术的代表性技术类芬顿氧化法污染土壤修复技术已纳入由国家生态环境部牵头多部委组织，并由中国环保产业协会筛选和编制的《土壤污染防治先进技术装备目录》。

表 4.1-3 化学氧化修复技术与传统技术对比

技术类型	优点	缺点
催化氧化修复技术	(1) 对 pH 值要求更低 (2) 对反应温度要求更低 (3) 可以降解难降解的有机污染物 (4) 对大多数有机污染物的降解效率很高	(1) 需要寻找合适的催化剂 (2) 成本较高 (3) 残留的药剂可能引起二次污染

氧化修复技术	(1) 技术成熟, 操作流程简便, 成本控制好 (2) 能满足市场上大部分修复场地的要求	(1) 降解有机污染物不完全, 容易有浓度反弹, 需要投加过量的药剂 (2) 对反应的温度, pH 值都很敏感 (3) 残留的药剂可能引起二次污染
--------	---	---

目前, 催化氧化修复工艺在我国还处于起步阶段, 大部分场地选用的仍是传统氧化修复技术, 未能充分利用到催化氧化修复技术的先进性, 目前催化氧化修复技术欠缺在国内大型复杂污染场地的实际应用。

表 4.1-4 化学氧化修复技术应用案例

年份	应用场地	主要污染物	处理量 (t/h)	特点	设备来源	运维单位
2019	上海市普陀区某住宅用地	苯系物; 石油烃	3	氧化性强, 操作易于控制	欧洲进口	上海市雨辰工程技术有限公司
2017	上海市某化工厂污染场地	多环芳烃; 石油烃; 苯系物		氧化效果好, 修复效果完全	自主研发	北京建工环境修复股份有限公司

4.1.5 热脱附技术

(1) 技术原理与分类

热脱附技术是指在真空条件下或通入载气时, 通过直接或间接热交换, 将土壤中的有机污染物加热到足够的温度, 以使有机污染物从污染介质上得以挥发或分离, 进入气体处理系统的过程。热脱附可通过调节加热温度和停留时间等方式有选择地将污染物从某一相转化为另一相, 在修复过程中并不出现对有机污染物的破坏作用。通过控制热脱附系统的温度和污染土壤停留时间有选择的使污染物得以挥发, 并不发生氧化、分解等化学反应。可以有效去除易挥发性的有机物, 也可以有效去除半挥发或难挥发性、高沸点、难分解的有机污染物, 并且对于含有多不同沸点的有机污染物可以一次加热处理以达到修复目标值。

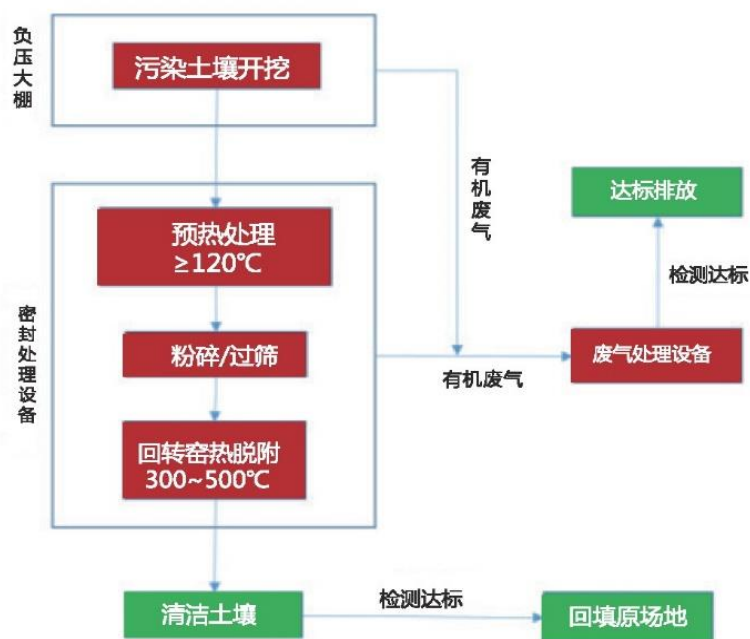


图 4.1-8 污染土壤热脱附修复技术工艺流程图

热脱附技术按照污染土壤的修复位置可分为原位热脱附技术和异位热脱附技术。原位热脱附是指不转移污染土壤，直接对污染土壤进行加热，同时收集挥发性气体并加以处置的方法。异位热脱附则是将污染土壤转移至热脱附处理设备中进行处理处置的一种方法。相比于原位热脱附，异位热脱附修复周期短，修复过程可控性高。按照加热过程中的温度，又可分为高温热脱附（大于 320℃）和低温热脱附（小于 320℃）。高温热脱附是指利用加热毯或加热井对污染土壤进行高温加热，使污染物气化后，用汽提井、鼓风机进行收集后转送至收集系统，再对污染物进行具体处理。低温热脱附是利用蒸汽井加热土壤，蒸发污染物，使非水质液体进入提取井，再利用潜水泵收集流体，真空泵收集气体，送至处理设施进行处理。高温热脱附应用于沸点较高的半挥发性有机污染物，如二恶英、多氯联苯等。低温热脱附应用于沸点较低的挥发性有机污染物，如汽油、苯等。

（2）适用条件

热脱附技术适合重度污染土壤、含 NAPL（非水相流体）相的污染土壤以及污染源区域的土壤修复治理，对多氯联苯（PCBs）和二噁英、农药（敌敌畏、六六六等）、石油以及硝基苯、多环芳烃（PAHs）、多溴二苯醚（PBDEs）、多氯联苯（PCBs）、二恶英和呋喃（PCDD/Fs）等有机污染土壤具有较好的修复效果。

一般不适于含重金属、有机防腐剂、活性氧化剂和还原剂的污染土壤以及污泥、沉淀物、滤渣的修复。

（3）技术优缺点

优点：（1）技术修复周期短：热脱附修复最短可以在一个月之内完成，而其他修复技术修复周期普遍在 3 个月以上。（2）应用范围广：对低渗透性土壤及非均质性土壤均具有较强的适用性，同时适用于各类有机污染物的去除。

缺点：（1）能源消耗大、损耗大：该技术需要将土壤加热至较高的温度，因此技术过程中保温隔热和降低能耗成为该技术的一大难点。（2）原生土壤性质被破坏：对土壤进行高温处理，使土壤物理结构改变以及土壤水分等蒸发。该技术在脱附工艺和设备研发方面需要进行改进。（3）设备组装应用过程复杂：需要现场提供一定面积的设备区域，设备组装调试时间较长，对污染土壤进料含水率及塑性指数要求较高。

（4）工艺先进性

自1985年美国EPA首次将热脱附技术采纳为一项可行的土壤环境修复技术起即被广泛应用于国外处理挥发性和半挥发性有机污染物的土壤、污泥、沉淀物、滤渣等污染场地的修复。另外，热脱附技术对于处理一些突发性的有机污染环境事故，如由于意外泄露、倾倒而发生的突发性土壤污染事故的应急修复也是一种不错的技术方案。

异位热脱附技术是用来处理一些适于开展异位环境修复的区域，将污染土壤提取出来并通过专门的热脱附系统装置处理。作为一种物理修复方法，异位热脱附技术具有污染物处理范围宽、处理速率高、设备可移动、修复后土壤可再利用等优点，特别是对于PCBs类有机污染物，非氧化燃烧的处理方式可以显著减少二噁英的生成。相对于直接热脱附技术，间接热脱附技术更具优势（表6-2）。目前，热脱附技术已纳入国家生态环境部牵头的多部委组织，并由中国环保产业协会筛选和编制的《土壤污染防治先进技术装备目录》。

欧美发达国家对于异位热脱附技术的探索研发已开展了30 余年，也已广泛应用于工程实践。我国对于异位热脱附技术设备的自主研发及应用起步较晚。自2009 年首次引进异位热脱附设备之后，我国相关企业及科研机构纷纷进行探索研发及工程应用。目前，热脱附技术在我国应用已初具规模，但热脱附设备

在单套处理能力方面未大幅提高，国外引进设备仍占据市场的主导，自主研发设备仍存在模块化程度低、稳定性差、实际处理能力低于设计处理量等问题。

4.1.6 生物修复技术

生物修复技术的适用性很强，既适用于修复有机污染同时也适用于无机污染，且对一定污染程度下的有机-重金属复合污染土壤甚至可以实现同步修复，极大地降低的修复的成本。针对本处理中心需要修复的土壤污染类型和程度生物修复对有机污染、重金属污染、有机-重金属复合污染均有较好的修复效果。根据污染物的种类和浓度可以选用植物修复和微生物修复，或将两种技术结合用于修复有机-重金属复合污染土壤。

（1）技术原理与分类

土壤污染生物修复技术是指通过生物吸收、降解和转化土壤中的污染物，使土壤污染物含量降低或将有毒有害物质转化为无害物质。土壤生物修复技术主要包括三类，植物修复技术、微生物修复技术和动物修复技术，并以微生物修复及植物修复研究和应用最为广泛，而土壤微生物修复技术是最具应用和发展前景的生物修复环保技术。

土壤植物修复是利用植物忍耐或者超量吸收某种或某些化学元素的特性，或利用植物及其根际微生物将污染物转化为无毒物质，利用植物在生长过程中对环境中某些污染物的吸收、降解、过滤和固定的特性来净化环境污染。

土壤微生物修复技术是利用土著微生物或者筛选驯化培养的功能微生物，在人为的优化的适宜条件下，促进微生物功能代谢，从而达到降低有毒污染物活性或将其降解为无毒物质。

生物修复技术由于具有低耗、高效、适应性强、环境安全、无二次污染及纯生态过程、运行成本低等显著优势，已成为土壤环境修复优先考虑的主要方法，是最活跃最有前景的土壤修复研究方向。

根据本处置中心所修复土壤的污染情况，生物修复区拟采用三种工艺，分别是优势微生物反应器、优势微生物强化处理技术、优势微生物联合菌根植物技术，可满足不同污染类型和污染程度污染土壤的修复需求。

①优势微生物反应器

向生物反应器中加入污染土壤、水、优势微生物菌剂、营养物质混合使成为

泥浆状，降解过程中控制最佳的充氧量、温度、pH、N、P 等条件，使优势微生物对有机污染物的降解效率达到最快。修复完成后将 20%的泥浆回流，这样可以加速下一批污染土壤的修复效率，剩余部分泥水分离，分离后的泥外运，废水进行集中处理。

②优势微生物强化技术

将污染土壤、优势微生物菌剂、营养物质混匀，通过调控土壤的理化性质以及加入外源的优势微生物强化，提高对有机物的去除效果，堆放在自然条件下进行微生物修复。修复过程中需要对污染土壤进行翻耕、调控水分和氧气等，以促进微生物对有机质的降解。

③优势微生物联合菌根植物技术

将污染土壤、优势微生物、营养物质混匀，铺成 0.25m 高的污染土壤修复层，然后移栽相应的菌根植物，植物可以选取与土壤污染重金属种类相对应的超富集植物，如 As 污染可以选取超富集植物蜈蚣草。利用优势微生物去除复合污染土壤中的有机污染物，利用植物吸收和累积去除复合污染土壤中的重金属。

(2) 适用条件

优势微生物反应器：适用各种类型的中、重度有机污染土壤，对有机物去除效果好、修复效率高、且应用范围广。

优势微生物强化处理技术：适用于各种类型轻、中度有机污染土壤，对粘度较高的有机污染土壤，因土壤的透气性较差、微生物的需氧条件受到限制会造成处理效果降低。该技术可采用封闭场景或开放场景对土壤进行修复，对挥发性/半挥发性的土壤污染物容易扩散到空气中造成二次污染，需采用封闭场景处理。

优势微生物联合菌根植物技术：适用于中、低浓度的有机-无机复合污染土壤，可以同步去除有机和无机两种类型的污染物，但不适用于污染程度较高的土壤，污染程度较高会影响植物的生长，影响修复效果，延长修复时间。

(3) 技术优缺点

技术优点：

① 优势微生物反应器：可以最大程度满足微生物所需的适宜条件，避免复杂不利的自然环境变化，以水相为处理介质，污染物、微生物、溶解氧和营养物质均一分布，传递速度快、处理效果好、处理效率高；可以设计不同构造以满足

不同目标处理物的需要，提供最大程度的控制；该技术在封闭条件下进行，可收集挥发性气体进行集中处理，避免有害气体排入环境。

② 优势微生物强化处理技术：工程简单、修复费用低、能彻底降解污染物不会产生二次污染，相较于土著微生物修复技术，此技术效果更好，效率更高。

③ 优势微生物联合菌根植物技术：可以同步修复有机-无机复合污染土壤、无二次污染、处理费用低，能将重金属从土壤中提取出来，而不只是改变重金属的形态。

技术缺点：

① 优势微生物反应器：前后处理工序要求严格；处理过程中产生废水需要集中处理，如果是挥发性/半挥发性土壤还需对废气进行集中处理。

② 优势微生物强化处理技术：修复效率相较于物理、化学方法较慢，需要较长的修复周期。

③ 优势微生物联合菌根植物技术：占地面积大，修复周期较长、需要对植物进行收割且收割后的植物需要处理。

（4）艺先进性/工艺应用情况

生物修复技术与其他技术相比具有以下先进性。

①安全性高：生物修复的最终产物一般是 CO₂、水和脂肪酸等，不会导致二次污染和污染的转移，能将污染物彻底去除。

②能耗及成本低：生物修复技术建设及运行成本较低，其成本约是焚烧处理 1/3-1/4。

④ 效果好，适应性强。

⑤ 生态环保：生物修复技术符合生态可持续发展的要求。

表 4.1-5 土壤生物修复技术应用案例

年份	应用场地	主要污染物	特点	处理量	技术来源	运营单位
2018	东莞市横沥新城排渠底泥修复	有机物	采用植物和优势微生物相结合的方法，快速去除底泥的黑臭和底泥中的有机物	-	自主研发	广东中微环保生物科技有限公司
2020	陕西省西安长庆油田石	石油烃	采用优势微生物反应器方法，去除效果好，	-	自主研发	广东中微环保生物科技有限公司

	油污染土壤修复		效率高			
2016-2018	云南省怒江州兰坪县耕地土壤污染	Cd、Pb	无二次污染，针对大面积农田重金属污染土壤	-	自主研发	中国科学院南京土壤研究所、云南农业大学
2018	江苏某原油管道泄漏石油污染土壤	石油烃	针对有机污染土壤，成本低	-	自主研发	胜利油田森诺胜利工程有限公司

4.2. 技术比选结果

4.2.1 有机污染土壤处置工艺比选

现有的各有机污染土壤处理工艺特点、修复周期、修复成本和技术成熟度比较见表 4.2-1。

表 4.2-1 适用于有机污染土壤修复的技术对比

修复技术		修复成本	修复周期	适用范围	应用情况
生物 技术	生物堆	300-400 元/m ³	1-6 个月	石油烃等易生物降解的有机物	广泛
	原位生物通风	约为 85-177 元/m ³	6-24 个月	非饱和带污染土壤，可处理挥发性、半挥发性有机物。	中试阶段
物理 技术	异位热解吸/脱附	600-2000 元/吨	几周到几年	多环芳烃、苯系物、有机农药和除草剂、卤代半挥发性有机物、卤代挥发性有机物、多氯联苯	少量工程应用
	热相分离			石油烃类、苯系物等重度有机污染	示范
	阻隔填埋处理	原位：500~800 元/m ³ 异位：300~800 元/m ³ 。	较短	有机物及重金属有机物复合污染	原位：未推广 异位：广泛
	多相抽提	约 400 元/kg	1-24 个月	易挥发、易流动的 NAPL（非水相液体）（如汽油、柴油、有机溶剂等）	少量工程应用
	电动修复	——	——	苯酚、甲苯、己酸、苯、p-硝基酚、三氯乙烯(TCE)、石油类物质(BTEX)、六氯丁二烯、六氯苯和丙酮等	罕见
化学 技术	土壤淋洗	600-3000 元/m ³	3-12 个月	半挥发性有机污染物、难挥发性有机污染物	已有工程应用
	水泥窑焚烧固化	800-1000 元/m ³	与水泥生产线的生产能力及污染土壤添加量有关	有机物	已有工程应用
	异位化学氧化	500~1500 元/m ³	数周到数月	石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、甲基叔丁基醚）含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物	发展较快

	异位化学还原	500~1500 元/m ³	数周到数月	氯代有机物	发展较快
	原位化学氧化	约 800 元/ m ³	3-24 个月	石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物	发展较快
	原位化学还原	约为 800 元/ m ³	3-24 个月	氯代有机物	发展较快
联合技术	异位固化/稳定化	500-1500 元/m ³	日处理能力 100-1200 m ³	石棉、放射性物质、腐蚀性无机物、氰化物以及砷化合物等无机物；农药/除草剂、石油或多环芳烃类、多氯联苯类以及二噁英等有机化合物。	广泛
	原位固化/稳定化	浅层：327-523 元/ m ³ 深层：1275-2158 元/ m ³	3-6 个月	石棉、放射性物质、腐蚀性无机物、氰化物以及砷化合物等无机物；农药/除草剂、石油或多环芳烃类、多氯联苯类以及二噁英等有机化合物。	中试阶段

4.2.2 重金属污染土壤处置工艺比选

现有的各重金属污染土壤处理工艺特点、修复周期、修复成本和技术成熟度比较见表 4.2-2。

表 4.2-2 适用于重金属污染土壤修复的技术对比

修复技术		修复成本	修复周期	适用范围	国内应用情况
生物技术	蜈蚣草	4200 元/公顷·年, 运行成本 4300 元/公顷·年	6 个月	砷污染的各种场地	中试阶段
物理技术	电动修复	——	——	低渗透性、高浓度污染物 土壤中的铜、锌、铅、镉、 镍、砷、汞、锰等 放射性元素(铀)	罕见
	阻隔填埋处理	原位: 500~800 元/m ² 异位: 300~800 元/m ³	较短	重金属、重金属有机物复 合污染	原位: 未推广 异位: 广泛
	异位热解吸/脱附	600-2000 元/吨	几周到几年	汞	少量工程应用
化学技术	土壤淋洗	600-3000 元/ m ³	3-12 个月	重金属	较多
	异位化学还原	500~1500 元/m ³	数周到数月	重金属类 (如六价铬)	发展较快
	原位化学还原	约 804 元/ m ³	3-24 个月	重金属类 (如六价铬)	发展较快
	水泥窑焚烧固化	800-1000 元/m ³	与水泥生产线的生产能力 及污染土壤添加量有关	重金属类	已有工程应用
联合技术	异位固化/稳定化	500-1500 元/m ³	日处理能力通常为 100-1200 立方米	重金属类	发展较快
	原位固化/稳定化	浅层: 327-523 元/ m ³ 深层: 1275-2158 元/ m ³	3-6 个月	重金属类	中试阶段

4.2.3 不同类型污染土壤修复技术优缺点比较

不同类型污染修复土壤修复技术优缺点对比如表 4.2-3 所示。

表 4.2-3 不同类型修复技术优缺点比较

类型	名称	优点	缺点	适用范围
生物修复	植物修复	成本低，不改变土壤性质，没有二次污染	耗时长，污染程度不能超过植物正常生长范围	重金属、有机物污染等
	原位生物修复	快速，安全，成本低	条件严格，不宜治理重金属污染	有机物污染
	异位生物修复	快速，安全，成本低	条件严格，不宜治理重金属污染	有机物污染
化学修复	原位化学淋洗	长效，易操作，费用合理	治理深度受限，可能造成二次污染	重金属、苯系物、石油、卤代烃、多氯联苯等
	异位化学淋洗	长效，易操作，深度不受限	治理深度受限，可能造成二次污染	重金属、苯系物、石油、卤代烃、多氯联苯等
	溶剂浸提	效果好，长效，易操作，深度不受限	费用高，需解决溶剂污染问题	多氯联苯等
	原位化学氧化	效果好，易操作，深度不受限	使用范围较窄，费用较高，可能存在氧化剂污染问题	多氯联苯等
	原位化学还原与还原脱氯	效果好，易操作，深度不受限	使用范围较窄，费用较高，可能存在氧化剂污染问题	有机物
	土壤性能改良	成本低，效果好	使用范围窄，稳定性差	重金属
物理修复	蒸汽浸提	效率较高	成本高，时间长	挥发性有机污染物
	固化	效果较好，时间短	成本高，处理后不能农用	重金属等
	物理分离修复	设备简单，费用低，可持续	筛子可能被堵，有扬尘，颗粒组成被破坏	重金属等

	玻璃化修复	效率较好	成本高，处理后不能农用	有机物、重金属等
	热力学修复	效率较好	成本高，处理后不能农用	有机物、重金属等
	热解吸	效率较好	成本高	有机物、重金属等
	电动力学修复	效率较好	成本高	有机物、重金属等，低渗透性土壤
	换土法	效率较好	成本高，污染土需处理	有机物、重金属等

4.2.4 修复中心污染土壤修复技术选用

综合上述有机污染物土壤和重金属污染土壤各修复技术的优缺点、技术成熟度，结合本修复中心污染土壤的类型、特点和异位处理的要求，优选化学淋洗、固化/稳定化、化学催化氧化和热脱附技术与工艺，各处理技术与工艺应用的土壤类型如表 4.2-4 所示。

表 4.2-4 不同类型污染土壤处理技术分类

序号	污染土壤类型	处理技术与功能单元
1	重金属污染土	固化/稳定化、化学淋洗、植物修复
2	有机污染土	催化氧化、热脱附、微生物修复
3	有机-重金属复合污染土	以上处理技术同时应用

4.3. 修复中心工程内容

一期：

- ① 污染土暂存区
- ② 破碎筛分预处理区
- ③ 重金属污染土壤固化稳定化处理区
- ④ 有机与复合污染土壤热脱附处理区
- ⑤ 重金属污染土壤淋洗区
- ⑥ 清洁土壤暂存区
- ⑦ 废水收集处理系统
- ⑧ 粉尘与废气处理系统
- ⑨ 公共配套设施

二期：

- ① 污染土壤暂存区
- ② 破碎筛分车间
- ③ 催化氧化车间
- ④ 化学淋洗车间
- ⑤ 固化/稳定化车间
- ⑥ 热脱附车间
- ⑦ 清洁土壤暂存区
- ⑧ 生物修复区
- ⑨ 废气收集处理系统
- ⑩ 废水收集处理系统
- ⑪ 环境监测系统
- ⑫ 公共配套设施

详见 5.6.2。

第五章 场址比选与土地利用

5.1. 场址选择原则

本修复中心处置的对象为工业地块污染土壤，而根据污染土壤包含的污染物种类和浓度，又可分为一般工业固体废物和危险废物。本修复中心仅处理一般固体废物，选址应满足《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2001)标准的要求，在进行本修复中心的选址时，应考虑以下原则：

5.1.1. 一般性原则

(1) 节约用地，少占耕地。建设用地应因地制宜，优先考虑利用荒地、劣地、山地和空地，尽可能不占或少占耕地，并力求节约用地；

(2) 减少拆迁和移民。工程选址、选项应着眼于少拆迁、少移民，尽可能不靠近、不穿越人口密集的城镇或居民区；

(3) 有利于场区合理布置和安全运行。场址选择应满足生产工艺要求，场区布置紧凑合理，有利于安全生产运行；

(4) 有利于保护环境和生态，有利于保护风景区和文物古迹；

(5) 所选场地应当较容易解决水源、电源及排水问题。

5.1.2. 特殊性要求

(1) 不允许建设在《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中规定的地表水环境质量 I、II 类功能区和《环境空气质量标准》(GB3095-1996) 中规定的环境空气质量一类功能区，即自然保护区、风景名胜区，人口密集的居住区、商业区、文化区和其它需要特殊保护的地区；

(2) 不应建在受洪水、潮水或内涝威胁的地区；受条件限制，必须建在上述地区时，应具备抵御 100 年一遇洪水的防洪、排涝措施；

(3) 不应选在发生震断层、滑坡、泥石流、沼泽、流砂及采矿隐落区等；

(4) 场址位置要符合城市总体规划和市政规划的要求，场址有发展余地和宽松的环境容量。场地应处于一个相对稳定的区域，不会因自然或人为的因素而受到破坏；

(5) 必须避开自然保护区、风景名胜区、文物(考古)保护区、农业保护区、矿产资源远景储备区,地质断层、地震带、洪泛区;

(6) 距机场、军事基地等距离在3000m以外,距地表水域的距离不应小于150m,距居民区800m以外;

(7) 地质构造相对简单,断裂及裂隙不发育地区,天然地层岩性相对均匀,面积广、厚度大、渗透率低,能充分满足填埋场的基础要求,现场或其附近有充足的粘土资源以满足构筑防渗层的需要;

(8) 交通方便,排污及空气扩散条件较好;

(9) 建厂工程费用节省,投资合理;

(10) 在条件允许的情况下,考虑预留综合利用、污染企业大户集中布点所需的场地。

5.2. 场址选址

依据上述原则,通过开展前期调研和现场考察,拟在以下4个地址进行优选:

(1) 选址一: 兴丰填埋场红线内五块闲置空地,面积约4.22万 m^2 ;

(2) 选址二: 兴丰填埋场东北紧邻兴丰村的租用地,面积约19.89万 m^2 ;

(3) 选址三: 兴丰填埋场正北紧邻兴丰村的租用地,面积约9.33万 m^2 ;

(4) 选址四: 紧邻选址二地块,面积约35.83万 m^2 ;

四个备选地址位置见图5.2-1。



5.2.1 选址一概况

兴丰填埋场位于广州市东北部、白云区太和镇兴丰村，现今兴太三路南侧的山谷中。东接兴丰场西界，西至大岭古山脊，东西向长约1150m；北边自下排山经响水潭、亚妹山脊至狮神地山，南边自高笋石沟口经社背沟口至上地岩，南北向宽度东边约1200m，西边约650m。兴丰填埋场分为：兴丰应急填埋场和原兴丰填埋场两个地块。

原兴丰填埋场占地面积91.7公顷，以卫生填埋方式对生活垃圾进行处理，设计总库容为4217万 m^3 ，服务范围为广州市中心城区（原老八区）。已建设的工程包括：生活垃圾卫生填埋区构建，垃圾挡坝，渗滤液调节池，场底基础工程，场底防渗层铺设，渗滤液及填埋气体导排工程，渗滤液处理工程，沼气回收利用系统，雨水截流、导排系统和辅助工程等。

兴丰应急填埋场毗邻原兴丰生活垃圾卫生填埋场西侧。项目占地面积约为1014亩，设计总库容为1580万 m^3 ，工程总投资14.1亿元，其中环保投资4.5亿元。服务范围主要为广州市中心城区（越秀区、海珠区、荔湾区、天河区、白云区、黄埔区等）的生活垃圾、资源热力电厂飞灰稳定物。兴丰应急填埋区内设置三个填埋区，及配套相关环保措施，但其渗滤液与场区污水仍依托原兴丰填埋场的渗滤液处理厂和低浓度污水处理厂进行处理。

兴丰填埋场平面布置图见图5.2-2。

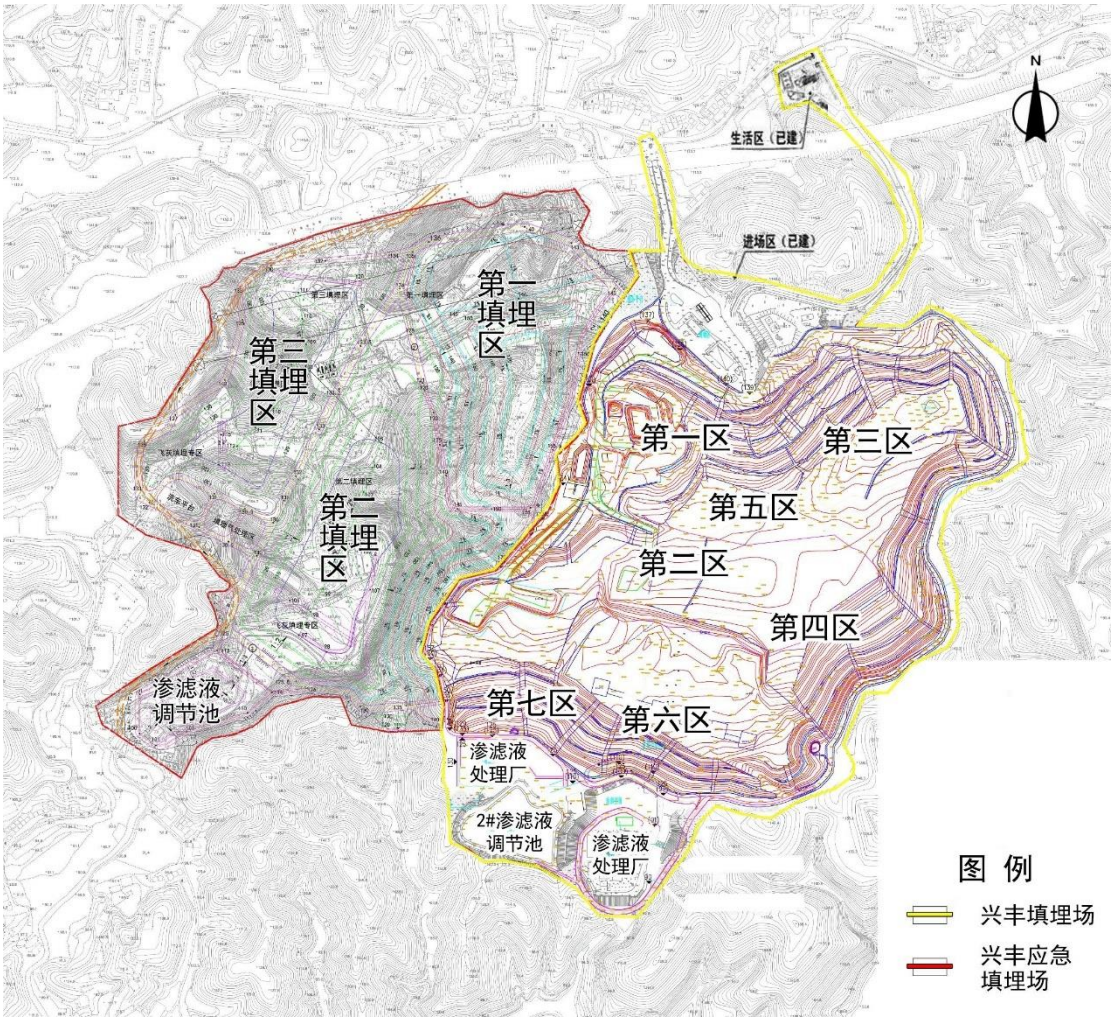


图 5.2-2 广州市兴丰生活垃圾填埋场平面布置图

填埋场所在区域的环境功能属性与适用标准如表5.2-1所示。

表5.2-1 项目所在区域环境功能属性

环境要素	属性
环境空气质量功能区	项目所在区域内涉及帽峰山森林公园大气一类区及其缓冲区，除此外其余区域为大气二类区。一类区和缓冲区环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的一级标准，二类区执行二级标准。
地表水环境功能区及饮用水源保护区	项目选址位于东江二级支流金坑河流上游流域，周边主要水体为兴丰坑、金坑水和金坑水库。兴丰坑、金坑水执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅲ类水质目标，金坑水库执行Ⅱ类水质目标。项目选址周边5km范围内没有饮用水源保护区。
地下水功能区	项目选址位于珠江三角洲广州增城地下水水源涵养区（H074401002T02），区域地下水执行《地下水质量标准》

	(GB/T14848-93) III类水质目标。
声环境功能区	项目选址为环境设施用地，属于广州市兴丰循环经济产业园规划用地，但区域现状以居住、商业、工业混杂区域为主，参照《声环境功能区划分技术规范》(GB/T15190-2014)确定为声环境功能区2类区，声环境质量执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2类标准。
生态敏感性	项目选址范围及评价区内无特殊生态敏感区，不涉及生态保护红线，但评价区内有重要生态敏感区-帽峰山森林公园。

填埋场区域周边环境保护目标详见表5.2-2。

表5.2-2 填埋场所在区域环境保护目标一览表

环境要素	功能区划	所属区	所属村委会	敏感点	与本项目位置关系		
					与项目相对方位	与边界最近距离（m）	与填埋区最近距离（m）
大气环境	一类区及其缓冲区	白云区	兴丰村	兴丰村	N	兴丰村与穗丰村部分居民位于环境防护距离内	
			穗丰村	穗丰村	W		
				穗丰小学	W	1670	1740
			广州技术师范学院		NNW	2220	2300
			帽峰山省级森林公园		N	150	230
	二类区	白云区	广州东华职业学院		SW	740	790
			穗华心素质教育培训基地		SSW	470	510
		黄埔区	黄登村		S	1900	1970
			御湖名邸		ESE	1670	1690
			福山村		ENE	2210	2270
地表水环境	II类	/	金坑水库		SE	/	/
	III类	/	兴丰坑、金坑水		兴丰坑由北向南穿越场区，改道后从场址西侧绕过场址，不在库区范围		
地下水环境	III类	/	/		/		

5.2.2 其余选址概况

其余选址地块均位于填埋场红线外，已通过征地。

5.3. 选址利弊因素分析

5.3.1 选址一

有利条件：

（1）填埋场通过严格的环评论证，具备完善的现场和周边污染防控措施，以及便利的交通和水、电条件；

（2）经本修复中心处理后的清洁土壤近期可用作飞灰层间填土，就地消化。

（3）填埋场沼气可作为修复中心热脱附工艺的热源，沼气发电可为修复中心各设备的运行提供廉价、便利的电源。

不利因素：

场地面积较小，离修复中心建设要求的场地规模相差较大，且地块分散，需要多次污染土转运，难以高效利用。

5.3.2 其余选址

5.3.2.1 有利条件

（1）三个选址地块都面积大且完整，能完全满足修复中心建设规模用地要求；

（2）选址二、选址三紧邻填埋场，可充分利用填埋场的沼气和电能，且距离填埋场进场道路和环场道路较近，便于污染土壤进场和处理后土壤的转运。

5.3.2.2 不利因素

（1）选址三地块内有高压走廊，利用不便；

（2）选址四地块距离填埋场较远，无法便捷利用填埋场现有资源；

（3）三个选址都在填埋场红线外，需经过环评论证。

5.4. 选址确定

根据以上各节的论述，综合考虑地块面积、地块易利用行及对填埋场现有资源的便捷利用，本可行性研究认为：选址一红线内的五块用地可作为前期试点用地。选址二具备的有利条件多，比较适用于作为“广州市污染土壤修复中心”的选址，不仅可以利用到选址一的有利条件，而且满足修复中心建设对地块面积和完整性的需求。选址三和选址四则作为本修复中心的预留用地（如作为后续占地面积大的污染土壤生物修复预留地等）

5.5. 场址用地设计方案

5.5.1 处置规模

一期规模

在填埋场内选定3块区域作为污染土壤处置功能区，分别针对以下三类污染土壤类型进行试点，总处理规模9万m³/a，各类型污染土壤处置量见表5.5-1。

表5.5-1 一期不同类型污染土壤土方量分类统计

序号	污染土壤类型	总土方量（万m ³ /a）	总土方量（m ³ /d）
1	有机污染土壤	1.5	45.45
2	重金属污染土壤	2.0	60.61
3	有机-重金属复合污染土壤	5.5	166.67
4	合计	9.0	272.73

二期规模

根据前期调研广州市污染土壤的年产生量和处置量数据，考虑到广州市未来污染场地的数量变化趋势，设定本修复中心污染土壤的处理能力为30万m³/a，根据广州市污染土壤类型统计数据，对不同类型污染土壤的处理规模进行统计，见表5.5-2。

表5.5-2 不同类型污染土壤土方量分类统计

序号	污染土壤类型	总土方量（万m ³ /a）	总土方量（m ³ /d）	重污染土壤（m ³ /d）	中、轻污染土壤（m ³ /d）
1	重金属污染土壤	5.64	170.82	51.24	119.58
2	有机污染土壤	6.69	202.72	60.82	141.90
3	有机-重金属复合污染土壤	17.67	535.55	160.66	374.89
4	合计	30	909.09	272.72	636.37

备注：土壤的污染程度依据《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018），超过特征污染物管控值1-3倍为轻度污染，超过管控值3-5倍为中度污染，超过管控值5倍以上为重度污染。

5.5.2 总体功能布局

国家工信部于2017年颁布的《工业和信息化部关于加快推进环保装备制造业发展的指导意见》（工信部节〔2017〕250号），将土壤污染修复装备列为“十三五”国家战略性新兴产业发展规划中环保装备制造业的重点技术研发和推动领域，重点推广热脱附、化学淋洗、氧化还原等污染土壤异位修复装备。《广州市土壤污染治理与修复规划（2017-2020）》也明确提出：要结合广州市污染地块行业特点、土壤类型、污染土壤处理处置能力及主要污染因子特征，以石油有机污染地块、重金属污染地块为重点，关注水泥窑焚烧、土壤淋洗等技术。

根据前期对广州市污染场地土壤特征污染物种类、土壤污染类型及不同污染类型土壤的土方量等调研数据，结合当前国内外污染土壤异位修复技术与装备研发与应用情况，同时综合考虑选址面积和兴丰填埋场现有环保措施条件，设置以下功能单元：

一期（试点）：

- ① 污染土壤暂存区
- ② 破碎筛分车间
- ③ 固化/稳定化车间
- ④ 热脱附车间
- ⑤ 淋洗车间
- ⑥ 清洁土壤待检区
- ⑦ 废水收集处理系统
- ⑧ 粉尘与废气处理系统
- ⑨ 公共配套设施

二期：

- ① 污染土壤暂存区
- ② 破碎筛分车间
- ③ 固化/稳定化车间
- ④ 化学淋洗车间
- ⑤ 催化氧化车间
- ⑥ 热脱附车间
- ⑦ 生物修复区

- ⑧ 清洁土壤暂存区
- ⑨ 废气收集处理系统
- ⑩ 废水收集处理系统
- ⑪ 环境监测系统
- ⑫ 公共配套设施

各功能单元介绍如下：

（1）污染土壤暂存区

将运至修复中心污染土按照单一有机污染、单一重金属污染和有机-重金属复合污染等三类土分区堆放在污染土壤暂存区。

（2）破碎筛分车间

破碎筛分车间设在污染土壤暂存区内，污染土通过传送带送至破碎筛分车间进行筛分与破碎预处理，以满足污染土壤后续处理的相关技术标准，同时粉尘和废气集中收集与处理。

（3）污染土壤处置区

根据污染土壤污染类型将经过筛分、破碎预处置后的污染土壤中进行分类处理，各功能单元处理的污染土壤类型见表5.5-3和5.5-4。

① 催化氧化车间：处理难挥发有机污染土，粉尘和废气集中收集和处理。

② 化学淋洗车间：处理污染土壤中可淋洗态重金属含量高的污染土，淋洗废水部分循环利用，外排废水集中处理后回用。

③ 固化/稳定化车间：处理污染程度相对较轻的重金属污染土，粉尘和废气集中收集和处理；

④ 热脱附车间：处理挥发性和半挥发性有机污染土，设备自带除尘和废气处理装置。

⑤ 生物修复区

优势微生物反应器处理区：包括污染土壤分流暂存间、优势微生物反应器设备车间、输送及转移间。

优势微生物强化处理区：包括污染土壤分流暂存间、耕耘处理车间、输送及转移间。

优势微生物菌根—植物强化处理区：包括污染土壤种植区、植物收割暂存车

间、输送及转移间

以上功能单元，除热脱附车间露天建设外，其余功能单元均建于负压大棚、负压构筑物或装有作业区域抽气和排气装置的塑料大棚内，对粉尘和废气集中收集与处理。

针对有机物-重金属复合污染土壤，按照先有机物后重金属的顺序，采用多技术联合处理方法。

表5.5-3 一期试点不同类型污染土壤处理技术分类

序号	污染土壤类型	处理技术与功能单元
1	重金属污染土	化学淋洗、固化稳定化
2	有机物污染土	热脱附
3	有机-重金属复合污染土	热脱附、化学淋洗、固化稳定化

表5.5-4 二期不同类型污染土壤处理技术分类

序号	污染土壤类型	处理技术与功能单元
1	重金属污染土	化学淋洗、固化稳定化、植物修复
2	有机物污染土	催化氧化、热脱附、微生物修复
3	有机-重金属复合污染土	化学淋洗、固化稳定化、植物修复、微生物修复

（4）清洁土壤暂存区

一期处理后清洁土暂存于位于兴丰填埋场堆体之上，经检测达标后作为第三填埋区飞灰填埋层间用土，不达标土返回处理车间二次处理。

二期处理后清洁土存于规划的清洁土壤贮存区，经检测达标后可用作兴丰应急填埋场的飞灰覆土，或用于路基用土、制砖、绿化用土或矿山回填土等，不达标土返回处理车间二次处理。

（5）废气和粉尘收集和处理系统

一期在污染土暂存区和破碎筛分区设置在负压大棚中集中处理废气和粉尘。化学淋洗车间、固化稳定化车间和修复后清洁土暂存区安置在常规塑料大棚中，采用通风排气的方式防止粉尘污染。

二期将污染土暂存区、破碎筛分车间、催化氧化车间、固化/稳定化车间和化学淋洗车间集中安置在负压构筑物中，粉尘和废气集中收集后经滤筒除尘和废气处理系统处理达标后排放。

（6）废水收集处理系统

① 土壤淋洗废水和设备、运输车辆冲洗废水进行集中收集，并引至配套的废水处理设施处理达标后回用于工艺用水。

② 场区道路初期雨水和办公区生活污水等集中收集和铺设管网引流至原兴丰填埋场低浓度污水处理厂处理。

（7）配套设施

一期由于用地面积有限，配套设施尽量依托填埋场现有设施，不另外建设。如土壤检测分析可依托填埋场现有分析检测实验室，补充购买分析测试土壤有机污染物和重金属的相关仪器设备、化学药剂并设置分析测试人员岗位。物料存储和运输车辆清洗直接利用填埋场现有场所。

二期设置配套物料仓储区用于存储土壤处理药剂和其他常规物料；办公区用于修复中心工作人员现场办公、管理和土壤检测分析（实验室，用于药剂筛选、小试实验及日常监测分析等）；设备维修区用于对土壤修复装备和运输车辆的常规检查和维修。

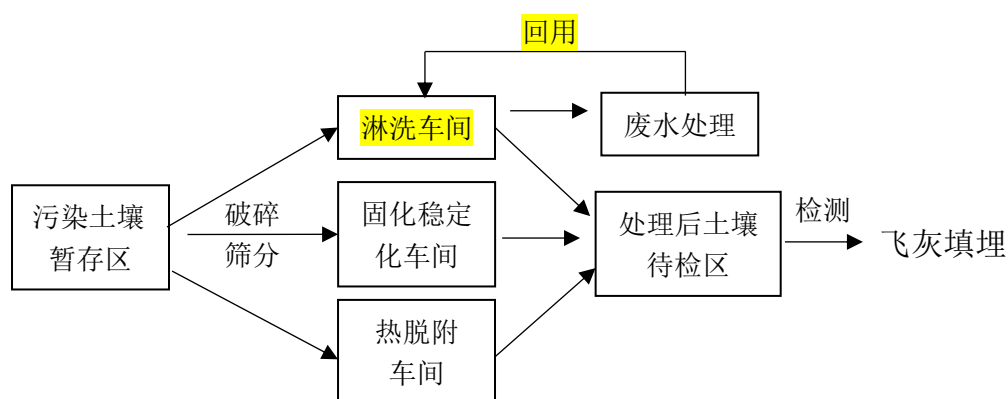
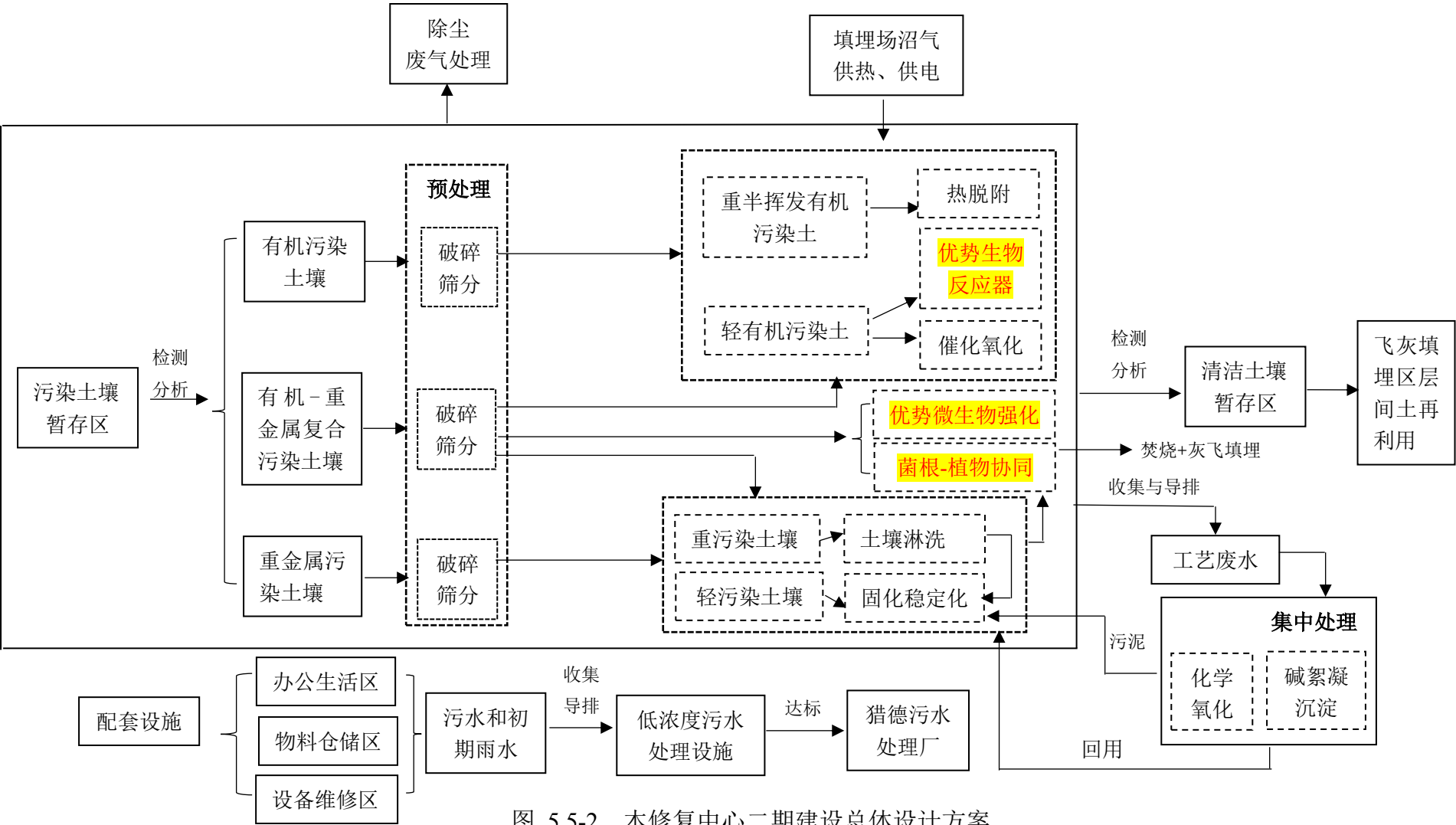


图 5.5-1 本修复中心一期试点设计方案



5.6. 修复中心平面布置

5.6.1 平面布置原则

- (1) 功能分区明确，建筑组合围绕工艺流程展开，结构紧凑，减少占地；
- (2) 充分利用填埋场已有环保措施消纳修复中心排污；
- (3) 交通顺畅，便于施工和运营管理。
- (4) 处理中心工程平面布置除遵循以上原则外，还须根据工艺流程特点、场址地形、地质条件等因素，既考虑流程合理、运营管理方便、经济实用，还应考虑建筑造型及与周围环境相协调等。

5.6.2 功能单元与平面布置

(一) 一期建设

一期在填埋场内五处空地处于填埋场红线内，占地4.22万m²，单元用地功能包括：污染土壤暂存区、淋洗车间、固化稳定化车间、热脱附陈健和处理后土壤待检区，各功能单元配置见图5-3，平面布置见图5.6-1—5.6-8。

(1) **污染土壤暂存区**（选址一的地块1）：位于兴丰应急填埋场北侧，有效面积约0.3万m²，内设0.05万m²的污染土破碎筛分车间，其余空地堆存污染土，堆存高度设置5m（地下3m），暂存土壤能力1.25万m³，45天周转一次，年工作330天，年周转污染土壤9.17万m³。

(2) **污染土处置功能区**（选址一的地块2、地块3和地块4）：集中布置于第三填埋区西南角，总面积约0.72万m²，包括：淋洗车间（0.16万m²，其中0.02万m²放置淋洗废水一体化处理设备）、固化稳定化车间（0.315万m²）、热脱附车间（0.245万m²）。

(3) **清洁土待检区**：位于兴丰填埋场堆体上，一期固化稳定化后的土壤全部作为第三填埋区飞灰填埋层间用土。

(4) **粉尘与废气处理系统**：负压构筑物的废气粉尘处理设施，？m²

(5) **废水收集处理系统**：配套废水处理设施位于淋洗车间，占地200m²。

(6) **公共配套设施**：限于场地面积，一期无建筑规划，办公室、分析检测实验室、仓库、供水、供电、供热、维修、应急设施等均利用兴丰填埋场设施，投资方负责洽谈合作事宜。

上述功能区均需做地面固化和防渗处理。

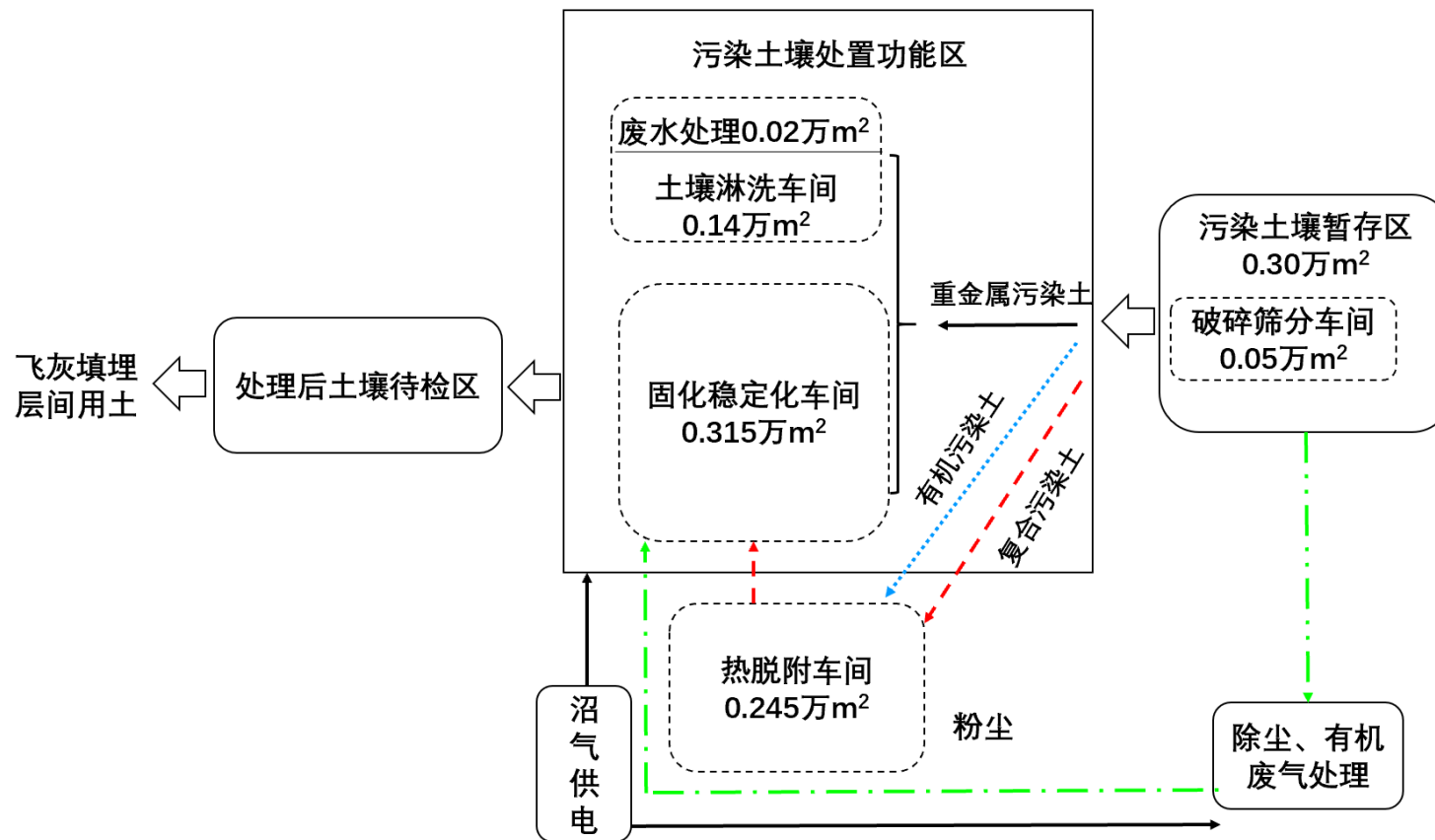


图 5.6-1 一期试点各功能单元组合示意图

（二）二期建设

修复中心二期分两个地块，地块1占地6.67万m²，地块2占地拟占地13.22 万m²，共19.89万m²，用地划分为：污染土壤暂存区用地、污染土壤处理车间用地、废水废气集中处理用地、公共辅助设施用地四类，使用功能如下：

（1）**污染土壤贮存区**：占地面积1.56万m²，污染土堆存高度2.5 m（地下1米），暂存土壤3.90万m³，42天周转一次，年工作330天，年周转污染土30.64万m³。该区又分三个区：有机污染土暂存区（0.42万m²）、重金属污染土暂存区（0.36万m²）和复合污染土暂存区（1.12万m²）。

（2）**污染土壤处置区**：占地面积16.02万m²，包括以下几个部分：

① 破碎筛分车间（0.15万 m²）：破碎筛分设备及操作占地。

② 化学淋洗车间（0.30万m²）：淋洗剂暂存区、污染土壤淋洗装置安置区、淋洗废液收集装置与输送管道（去往废水集中处理厂）。

③ 催化氧化车间（0.25万m²）：氧化药剂暂存占地、污染土壤氧化设备占地和土壤进出料占地等。

④ 固化-稳定化车间（0.25万m²）：固化/稳定化药剂暂存占地、固化/稳定化处理设备占地、土壤进出料占地等。

⑤ 热脱附车间（0.55万m²）：污染土壤热脱附处理设备占地、热脱附尾气处理装置。

⑥ 生物修复区（地块2：13.22 万m²），包括：

- 污染土暂存区（2.0 万m²）；

- 微生物强化处理车间（0.12 万m²，非建设用地 2 万m²）：分为两类，即无挥发性有机污染土和挥发性/半挥发性有机污染土分开处理，并按标准化车间分布，同时还配置翻耕处理设备占地、土壤进出料占地等；

- 微生物菌根—植物处理区（非建设用地 9.22 万m²）：轻度重金属污染土处理。

- 废水处理间（0.1 万m²）

- 废气处理间（0.05 万m²）

- 水电区（0.10 万m²）

- 储物区（0.10 万m²）

(3) **处理后清洁土壤暂存区**：占地面积 2.26万m^2 ，土壤堆存高度 2.0m （地下 0.5m ），暂存土壤能力 4.52万m^3 ，45天周转一次，年工作330天，年周转修复后土壤 33万m^3 。

(4) **废气集中处理系统**：负压构筑物中粉尘和废气处理设施，占地 500m^2 。

(5) **废水集中处理系统**：占地 1000m^2 。

(6) **环境监测系统**：采用“物联网环境监测技术”对本修复中心污染土壤异位修复产生的二次污染物进行实时、智能化监控。污染源监测包括：负压构筑物、热脱附烟气排放口、污废水集中处理排放口、下游地下水等，根据实际需求设置监测点位。

(7) **公共辅助设施区**：占地面积 0.65万m^2 ，包括：办公楼（分析检测实验室）、一般化学品仓库、危化品仓库、供水、供电、供热、维修、应急设施等。

为避免交叉污染、集中处理粉尘和废气和便于传送，进行以下功能布局：

(1) 污染土壤暂存区、污染土壤处置车间和处理后清洁土壤暂存区平行排列，便于传送带输送；

(2) 污染土壤暂存区和破碎筛分车间设在同一负压构筑物内，便于粉尘和废气集中收集处理；

(3) 化学淋洗、催化氧化、固化-稳定化车间和优势微生物强化处理区设在同一负压构筑物中，粉尘和废气集中收集处理，热脱附自带尾气处理系统，独立露天建设。

(4) 上述功能区均需做地面固化和防渗处理。

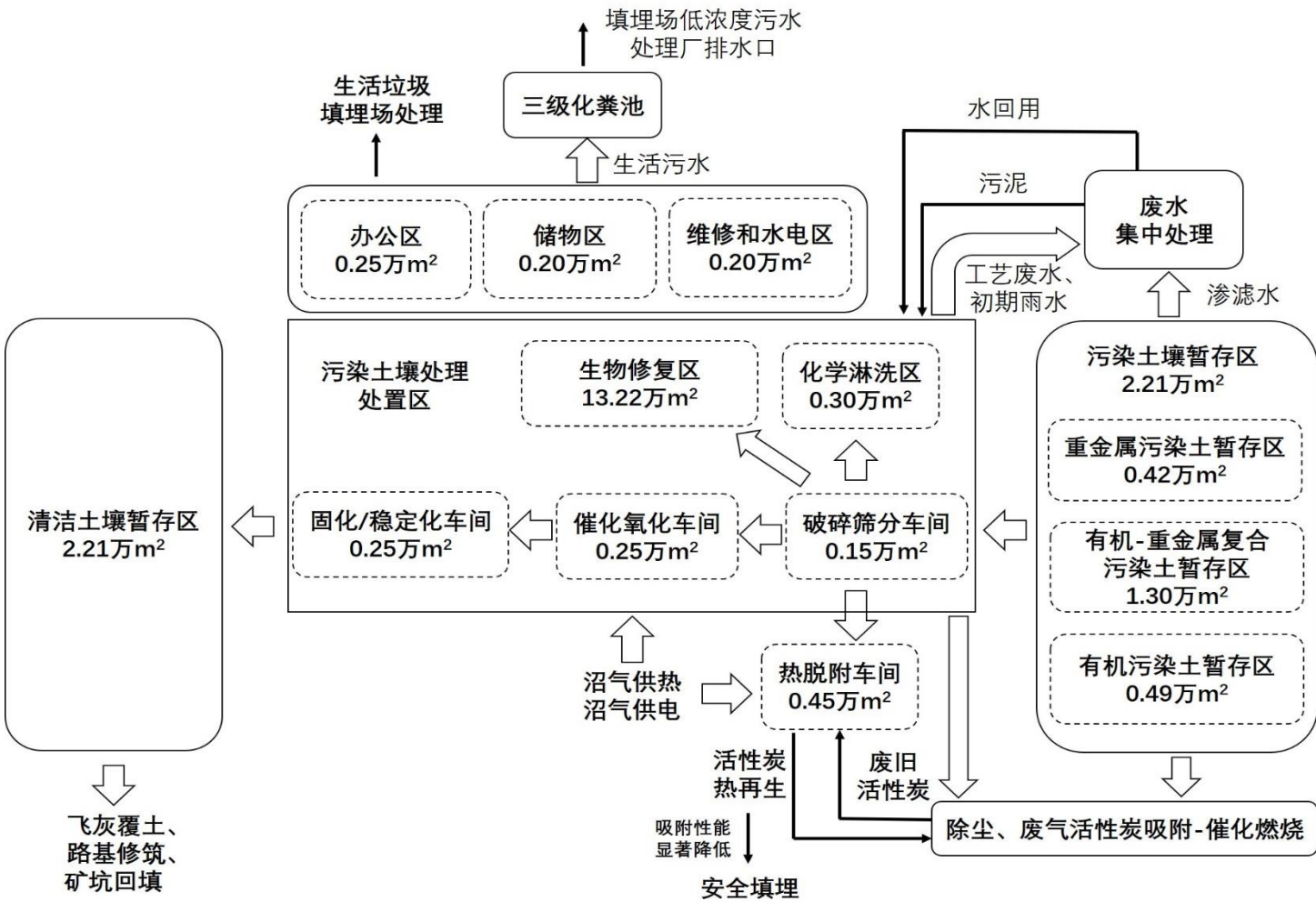




图 5.6-3 一期试点各功能区平面布置和土壤转运图

表5.6-1 一期试点各功能单元处理规模和规划用地分类统计表

用地性质			规模 (万m³/a)	规模 (m³/d)	占地面积 (万m²)	占地比例 (%)
污染土壤暂存区			9.0	272.73	0.30	7.11
其中	有机污染土壤暂区		1.5	30.30	0.042	1.00
	重金属污染土壤暂存区		2.0	30.30	0.056	1.33
	有机污染-重金属复合污染土 暂存区		5.5	90.92	0.152	3.60
	破碎筛分车间		9.0	272.73	0.050	1.18
污染土壤处理功能区及配套						
其中	淋洗	淋洗车间	2.25	68.18	0.140	3.79
		污水一体化处理设备	——	——	0.020	
	固化稳定化车间		7.5	227.27	0.315	7.46
	热脱附车间		7.0	212.12	0.245	5.81
修复后污染土壤待检区			9.0	272.73	3.200	75.83
合计			——	——	4.220	100

备注：淋洗工艺处理的重金属污染土方量按含重金属污染土方总量的30%计



图 5.6-4 修复中心二期平面布置与转运路线图



图 5.6-5 修复中心二期地块 1 平面布置与转运路线图

表5.6-2 修复中心二期地块1各功能单元处理规模和规划用地分类统计表

用地性质		规模 (万m ³ /a)	规模 (m ³ /d)	占地面积 (万m ²)	占地比例 (%)
污染土壤暂存区		30.00	909.09	1.56	23.39
其中	有机污染土壤暂区	6.69	202.73	0.35	5.25
	重金属污染土壤暂存区	5.64	170.91	0.29	4.35
	有机污染物-重金属复合 污染土暂存区	17.67	535.45	0.92	13.79
污染土壤处理区		30.00	909.09	2.05	30.73
其中	破碎筛分车间	30.00	909.09	0.15	2.25
	化学淋洗车间	6.99	131.58	0.35	5.25
	催化氧化车间	12.05	365.15	0.25	3.74
	固化/稳定化车间	23.31	706.36	0.25	3.74
	热脱附车间	7.31	141.15	0.55	8.25
	优势微生物反应器	2.00	60.61	0.50	7.50
处理后清洁土壤暂存区		30.00	909.09	2.26	33.88
二次污染集中处理区		——	——	0.15	2.25
其中	废水处理区	——	——	0.10	1.50
	废气处理区	——	——	0.05	0.75
公共辅助设施		——	——	0.65	9.75
其中	办公区	——	——	0.25	3.75
	储物区	——	——	0.20	3.00
	水电区	——	——	0.20	3.00
合计		——	——	6.67	100.00

表5.6-3 修复中心二期地块2各功能单元处理规模和规划用地分类统计表

用地性质		占地面积（万m ² ）	占地比例（%）
污染土壤暂存区		2.00	15.12
微生物强化处理车间		1.20	9.08
微生物菌根-植物处理区		9.22	69.75
二次污染集中处理区		0.15	1.13
其中	废水处理区	0.10	0.76
	废气处理区	0.05	0.38
公共辅助设施		0.65	4.92
	储物区	0.10	0.76
	水电区	0.10	0.76
合计		13.22	100.00

5.7. 服务期限

一期试点服务期3年。二期考虑到将来广州市污染地块土方量的变化及处理方法的更新，本处置对污染地块土壤的处理、处置工艺的服务期限为20年。

第六章 污染土壤修复与资源化利用建设方案

本章是对修复中心拟采用的土壤修复工艺的建设方案概述,包括污染土壤预处理、固化/稳定化、化学淋洗、催化氧化、热脱附、生物修复等 6 项内容,每项内容均包括工艺的建设条件、处理规模、对象和流程、基本设备、工艺参数、设备维护、环保措施等。

各修复工艺适宜处理的污染土壤类型不同,主要影响因素包括土壤污染类型和土壤理化性质等。污染类型分为重金属污染土、有机污染土、复合污染土。土壤理化性质主要考虑水份含量和粘粒含量,分为砂性土和黏土。

环境标准为一类和二类建设用地土壤污染风险筛选值(《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》GB36600-2018)。

1. 预处理区建设方案

土壤预处理是污染土壤的关键前置步骤,是保证后续修复工艺长期稳定运行不可或缺的部分。处理对象包括有机污染土壤、重金属污染土壤、复合污染土壤;处理工艺包括破碎、初筛、精细筛分等;根据污染土壤类型及土方量,灵活选用不同处理规模的预处理设备。预处理区包括污染土壤暂存区和破碎筛分车间。

设计日处理量:一期为 273m³、二期为 909 m³;前者采用移动处理设备,后者采用固定线或多台大规模处理设备。

6.1.1. 工艺概述

土壤破碎筛分工艺在修复中心的主要作用是对受纳污染土壤进行破碎和筛分,部分预处理工艺还会结合土壤污染情况和处理方案加入土壤改良剂等。主要流程为原始土壤经过摊晒或风干后,首先进行初筛去除原始土壤中的大型建筑垃圾、石块或树根等,然后破碎筛下物使其中的结块土壤散开,再进一步细筛去除其中较小的石块垃圾等,最终得到符合粒径的待修复土壤。破碎筛分工艺可大幅度减少待修复土壤中石料瓦砾含量,同时也可均质化土壤,以提高后续各类修复治理或生物修复等深度清洁过程中的修复效率,达到污染土壤减量、修复效果高效、修复成本降低的效果。

6.1.2. 建设方案

土壤破碎筛分是后续催化氧化、淋洗、固化/稳定化与热脱附技术的前置步骤,所

有新进场的污染土壤都必须经过破碎筛分。破碎筛分车间与污染土壤暂存区置于同一个负压构筑物中，减少转运环节，提高预处理效率，确保处理过程中的挥发性、半挥发性有机物及粉尘得到有效的集中回收处理。

修复中心一期和二期年处理量分别为 9 万 m^3 和 30 万 m^3 ，预处理区占地面积分别为 0.3 万 m^2 和 1.56 万 m^2 ，按工作时间 330 天计算，土壤预处理区设计日处理污染土量为 273 m^3 和 909 m^3 。

工艺流程

土壤预处理一般分为两个步骤，首先将大块的土壤进行破碎，破碎后的土壤达到一定的直径要求后再通过下料口进入到第二步骤，即振动筛分阶段。目前较为常见的振动筛分方式有圆振动筛、直线振动筛和椭圆振动筛，其中直线振动筛适用较小量土壤的处理，椭圆振动筛的筛分范围较广，考虑到场地土壤处理量较大，选用成本相对低、使用寿命长并且处理量大的多层圆振动筛更合理。除此之外，在破碎和筛分的整个过程中还要注意除尘工作。

具体工艺步骤：

(1) **初筛：**对运送到修复场地的污染土壤首先使用筛分斗进行第一轮初筛，目的是除去土壤中大的石块、树根与其它建筑垃圾，筛分出含水率、粒径都比较一致的待处理土壤。

(2) **湿度调节：**对待处理土壤进行湿度调节，一般采用加生石灰或者挖掘机抛翻的方式。针对工期短且后续需要对其运用热脱附方法对土壤污染进行处理的，可以采用添加生石灰的方式控制土壤湿度在 10%-15%；针对后期需要经过土壤淋洗和化学氧化进行处理的污染土壤，则要使用挖掘机抛翻的方式进行自然风干，避免生石灰对淋洗和氧化效果的影响；

(3) **破碎、筛分：**用破碎筛分一体机对结块的土壤进行破碎，将大块土壤破碎并与石块瓦砾等物质分离开，达到一定的直径要求后进入筛分阶段。筛分阶段处理的筛上物中如果还存在大量结块土壤，应重复破碎步骤直到筛上物中没有或只有少量结块土壤；筛分主要针对破碎后的土壤砾石混合物进行多层逐级的筛分，筛孔大小可调节，直到得到要求直径的均匀的土壤颗粒，然后将筛上物砾石和筛下物土壤分离输送到下一步骤。

(4) **除尘：**该步骤利用强负压对破碎和筛分工艺中产生的大量尘土进行抽吸，

避免环境中产生严重的尘土污染威胁工人或居民的身体健康。

(5) **检查：**该步骤针对筛上物进行检查，若存在大量土壤结块，则重复破碎步骤，若只剩下砾石，则分离运输到砾石暂存区冲洗处理，检测合格后进行资源化利用。

(6) **回填或资源化利用：**破碎筛分完成后，将砾石回填或进一步资源化利用。
图 6.1-1 和 6.1-2 为土壤预处理的概念图和流程图。

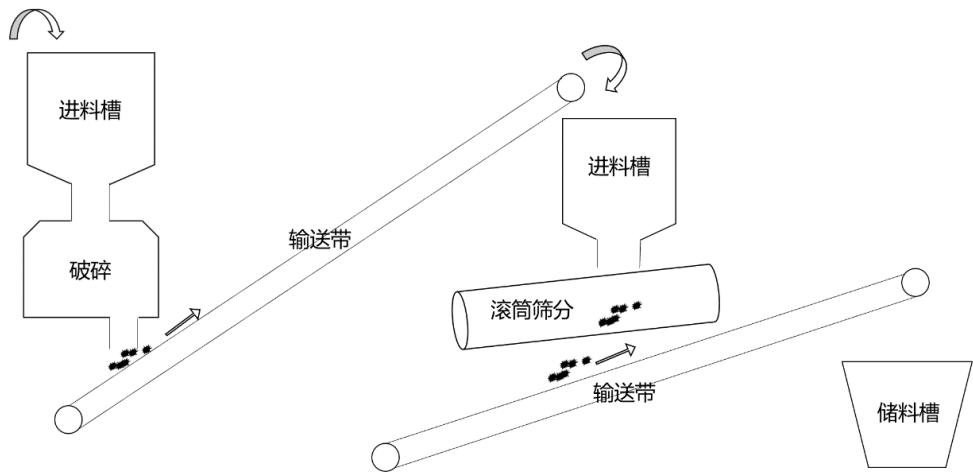


图 6.1-1 土壤预处理概念图

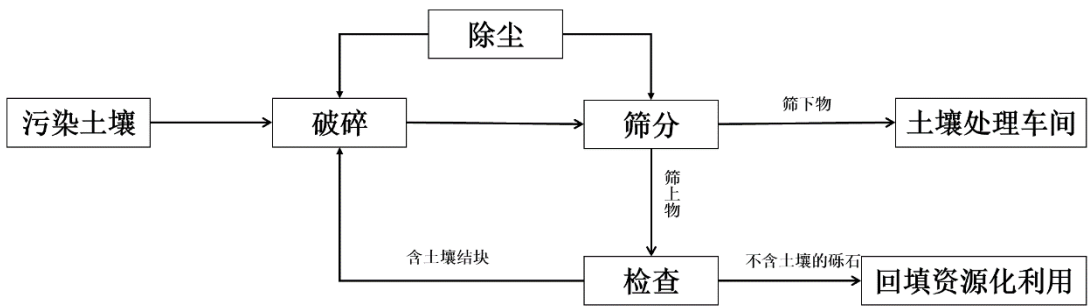


图 6.1-2 土壤预处理工艺流程图

6.1.3. 环保安全措施

预处理区内二次污染主要为挥发性和半挥发性有机物和粉尘，主要通过负压构筑物内的尾气集中处理装置集中处理，详见 11.1。

6.2. 固化/稳定化处理工艺与建设方案

6.2.1. 工艺用途和设计规模

用于处理重金属污染土壤和重金属-有机复合污染土壤。

以固化/稳定化技术作为本修复中心处理单一重金属污染和重金属-有机复合污染土壤的主导工艺，污染土壤（粘粒含量30%以下）经淋洗工艺修复后重金属含量仍不达标，可继续用固化稳定化技术进行处理。

根据前期广州市场地污染土壤调研，重金属污染土壤和重金属-有机复合污染土占污染场地总土方量的77.7%，除淋洗工艺有减量效果外（约30%），其他处理后污染土量无明显变化。重金属无法彻底从土壤中除去，淋洗也无法保证修复效果达标，因此大部分含重金属的土壤最终都需要固化稳定化处理。

依据本修复中心一期含重金属的污染物土设计规模 $7.5 \text{ m}^3/\text{a}$ ，年工作330 d，计算得到固化稳定化技术处置的重金属污染土的量为 $227.27 \text{ m}^3/\text{d}$ 。二期含重金属的污染物土设计规模 $23.31 \text{ 万m}^3/\text{a}$ ，年工作330 d，计算得到固化稳定化技术处置的重金属污染土的量为 $706.36 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

6.2.2. 工艺流程及说明

- ① 将污染土壤从污染地运至污染土壤暂存场，堆场底部做防渗；
- ② 将转运的土壤进行初步筛分，将土壤中粒径大于50 mm的石块和杂质分拣出来，若土壤存在粘土块，应破碎后再过筛。
- ③ 将需固化稳定化处理的污染土壤充分混合，取样分析混合土壤中重金属种类和含量及土壤理化性质，同时将污染土壤、土壤固化剂采样进行试验分析，获取固化剂最佳配比、药剂添加量和最佳土壤含水率等参数；
- ④ 将预处理后的土壤倒入配料机的骨料仓，并经过卸料、计量和输送等过程进入混合搅拌机。固化剂和水等物料按照试验分析确定的最佳比例通过各自的输送系统送入搅拌机，连同污染土壤在混合搅拌槽内进行搅拌，其中固化剂由螺旋输送机输送再秤量后进入固化搅拌机拌合料槽，用水、药剂通过泵计量送入搅拌机料槽。
- ⑤ 经搅拌混合后的土壤由搅拌机排出，转移至土壤堆场进行养护，一般情况下养护5-7天。
- ⑥ 稳定养护后土壤进行采样检测分析，合格土壤直接作为填埋场飞灰覆土，不合格土壤重新返回预处理间经破碎后重新处理。

自动化：能自动进料和出料，能根据预设的参数自动化计量待处理土壤、添加固化稳定化药剂和调节土壤水份。

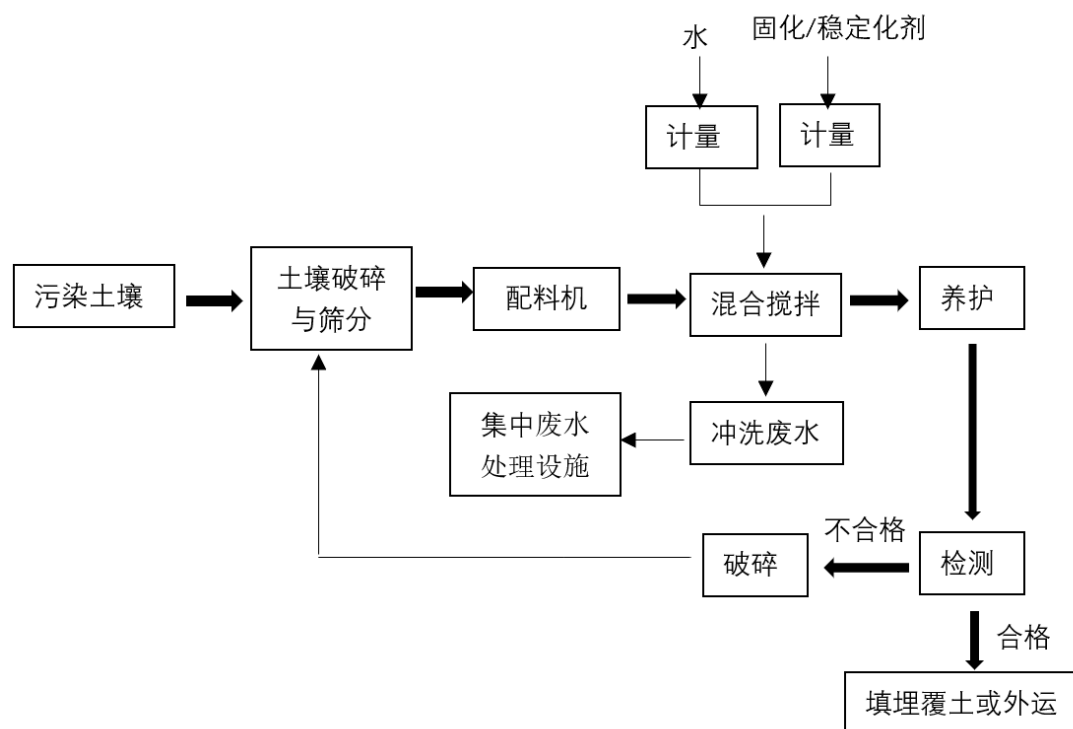


图 6.2-1 土壤固化/稳定化处理工艺流程图

6.2.3. 设备主要功能单元与技术参数

建议采用的污染土壤固化/稳定化装备主要由土壤挖掘与输送设备、土壤水分调节设备、土壤筛分破碎设备、土壤与固化/稳定剂投加设备、土壤混合搅拌设备组成。主要功能单元与技术参数如下：

（1）土壤挖掘与输送设备

土壤挖掘量达到 $910\text{ m}^3/\text{d}$ ，土壤输送装置密闭性好，避免粉尘，能自动准确定量输送污染土壤，土壤称量误差 $\pm 1\%$ ；

（2）土壤水分调节设备

能根据污染土壤处理量和设定的土壤水分调控目标值进行智能准确调节；

（3）土壤筛分破碎设备

破碎筛分设备对污染土壤的处理量一期要 $\geq 273\text{ m}^3/\text{d}$ ，二期要 $\geq 707\text{ m}^3/\text{d}$ ，破碎筛分后土壤粒径 $\leq 30\text{mm}$ 。

（4）固化/稳定剂药剂投加设备

能根据污染土壤的处理量和设定的固化/稳定化药剂添加量进行智能化定量投加，药剂称量误差 $\pm 1\%$ ；

(5) 土壤混合搅拌设备

能保证污染土壤与药剂的充分均匀混合，混合均匀性变异系数 $\leq 5\%$ 。

目前国外相关设备概况参见表6.2-1。

表 6.2-1 国内主要固化搅拌设备生产或应用企业及相关技术参数

申报企业	工艺流程	主要技术参数	二次污染防治	投资费用	运行费用
湖永清机械制造有限公司	将筛分、破碎土壤经土壤输送系统运输至自动计量系统实时自动计量；药剂输送系统根据计量结果从药剂存储系统添加一定比例药剂至药剂计量模块，计量完成后自动落入搅拌混合系统充分搅拌混合，同时自动进行下一批待处理土壤输送和计量。混合后土壤由出料输送系统输送至临时堆放区域。在出料输送系统末端设计有自动加水单元，对混合后土壤根据设计比例喷洒一定量的水，然后由装载设备转场至养护区域进行堆放养护。	处理能力80~120 m ³ /h；搅拌主机最大容量2.25 m ³ ；下料粒径 ≤ 30 mm；混合均匀变异系数 $\leq 5\%$ ；土壤称量误差 $\pm 1\%$ ；药剂称量误差 $\pm 1\%$ ；生产模式：自动和手动；装机容量170 kW；一次处理合格率100%	电力驱动，无发动机尾气；粉尘控制：药剂输送模块采用全程封闭式结构；在粉尘量大的位置进行喷雾除尘；药剂计量斗排尘口接入土壤计量斗	108万元（购置）	10元/m ³
上海环境卫生工程设计院有限公司	污染土壤采用皮带输送输送至进料仓，出口处设有均料辊，负责将土壤摊匀，使传送带上土壤厚度维持在0.2m。传送带下设置有土壤计量装置，控制器将计量结果和进料传送带速率传送到加药仓控制器，按提供的参数控制加药仓底部的螺旋加药机转速来控制加药量，并将药剂添加至传送带上。之后土壤通过传送带进入混合搅拌装置破碎、混合、搅	处理能力>20 m ³ /h；料仓入口高度2.8m；设备宽度2.5m；设备最大高度4.2m；出料辊筒中心距地面高度2.78m（可调）；设备最大长度	电力驱动，无发动机尾气；在膜结构大棚中作业，对氯乙烯等挥发性有机污染物进行集中收集处理，还可以有效控制扬尘等二次污染。	168万元（购置）	86元/m ³

	拌后进入出料传输带，喷淋装置向出料传送带土壤喷液体药剂，最后进入二次搅拌装置，进一步促进药剂与土壤反应	17.58m；底盘高度1.5m；设备集约轻量化设计，行走速度不低于2 km/h。			
上海康恒环境股份有限公司	由破碎筛分机、输送装置、计量装置、搅拌装置、药剂存储装置和控制系统等组成。污染土壤经破碎、筛分、除杂后进行自动计量；依据计量结果定量输送药剂，与土壤在搅拌混合系统中充分混合均匀。	进料量50-150m ³ /h；进料仓1.4 m ³ ；进料带宽0.6m；物料通过能力≤0.2m；药仓3.0m ³ ；加药量6-300kg/m ³ ；出料带0.9×19.46m；最大行走速度3.2km/h；爬坡力25°；起吊力2.63t/1.6m，1.05t/3.5m；起吊高度2.79-6.6m	电力驱动，无发动机尾气；场地进出车辆冲洗，堆土防尘网遮盖，土壤裸露区域撒草籽，控制扬尘；厂界外大气环境及废气处理设备出口、噪声检测，自检情况进行记录，并报备监理；废气处理达标排放	1000万元（购置）	30元/m ³
湖南新九方科技有限公司	污染土壤在进料计量斗内称重计量，药剂和水按相应设计比例分别在固体药剂计量斗、液体药剂计量斗、水计量斗进行计重计量。随后将污染土壤与固体药剂同时进行破碎筛分和混合。初步混合后的污染土壤通过Z形固体物料输送机输送至双卧轴高效强制混合器进行二次混合，同时将液体药剂及水由计量设备泵出，在管道混	进料量150t/h；液体药剂计量200L，水计量200L；固体药剂暂存1m ³ ，固体药剂计量0.5m ³ ；污染土壤/污泥计量1m ³ ；输送系统：固体物料输送20-30t/h，	电力驱动，无发动机尾气；开挖时，对作业面和土堆适当喷水，使其保持一定湿度，减少扬尘量。开挖的泥土和垃圾及时运走，防止长期堆放表面干	46万元（租赁）	2.5万元/年（电费、人工、设备维护费）

	合器内充分混合稀释，经由双卧轴高效强制混合器内的喷淋管道及雾化喷头喷出，与固体物料充分混合。之后由双卧轴高效强制混合器卸料输出。处理后土壤输送至养护区进行养护处理，养护后取样检测，不合格土样重新搅拌混合。	液体物料输送 20m ³ /h；混合系统：强制混合器500L/批次	燥起尘或被雨水冲刷。风速过大时，停止施工作业，并对堆放材料采取遮盖措施。		
--	--	---	--------------------------------------	--	--

6.2.4. 环保安全措施

6.2.4.1. 二次污染治理措施

本修复中心固化/稳定化工艺产生的二次污染物和治理措施如下：

（1）扬尘：主要在污染土壤输送过程产生，可通过喷雾和遮盖的方式降低扬尘的产生。

（2）废水：主要来源于场地的初期雨水和设备的冲洗废水，初期雨水通过收集和导排系统送入原兴丰填埋场低浓度污水处理厂处理，设备冲洗废水通过导排系统送入原兴丰填埋场渗滤液处理厂处理。

6.2.4.2. 设备维护措施

运维期间，要对设备系统建立大修制度，大修周期应按系统设备的实际运行时间确定，一般大修周期不应超过 1 年。必须根据固化/稳定化装置的工艺流程和设备运行状况和特点，制定完善的设备维护和保养制度，并编制相应的维修和保养手册，确保装置的稳定和安全运行。

污染土壤固化/稳定化设备重点维护内容：

（1）搅拌器、集料皮带机、上料皮带机、各配料机、螺旋输送机的轴承和传动链条处，需定期做好润滑，每工作 200 小时拆开检查，换上新的润滑脂。

（2）搅拌器的工作条件恶劣，当叶浆磨损到面积不足原来的 2/3 时，应更换叶浆。

（3）电器设备的日常维护：包括电动机、电器控制柜（包括接触器、继电器及保护装置）和电气线路。

6.3. 淋洗处理工艺与建设方案

6.3.1. 工艺用途与设计规模

以淋洗处理技术作为本修复中心处理重金属污染土壤和复合污染土壤的主导工艺。根据前期广州市场地污染土壤调研，重金属污染土占污染场地总土方量 18.79%，复合污染土壤占污染场地总土方量 58.91%，总占 77.7%，特征重金属污染物主要为砷，铅，镍，分别占总量的 26.27%、21.67%和 16.67%。依据本修复中心污染土壤处置设计规模一期 9 万 m^3 /年和二期 30 万 m^3 /年，按年工作 330 天，计算得到本修复中心化学淋洗工艺处理土壤量分别为 68.2 m^3/d 和 211.9 m^3/d 。污染土壤淋洗废水产生量按经验值水土比为 5: 1，回用率按 50%核算，淋洗废水产生量分别为 170.45 m^3/d 和 529.77 m^3/d 。

6.3.2. 工艺流程及说明

工艺流程如下：

- a) **破碎筛分**：该步骤针对高污染浓度的原始土壤，通过破碎筛分步骤，分离土壤中大颗粒砾石杂物与建筑垃圾等，破碎大颗粒土壤团聚体，均质化土壤。
 - b) **计量传送**：根据工艺设计的处理量将定量的土壤送入反应罐
 - c) **淋洗**：在反应罐内将淋洗药剂洒在污染土壤上，使其中的污染物被分离到淋洗剂中。
 - d) **分离**：将淋洗后的废水与土壤分离开。
 - e) **修复后土壤检测**：检测土壤中污染物浓度是否达标，达标可进行下一步利用，不达标则进行深度修复。
 - f) **废液循环**：将利用后的淋洗废水经过分馏等步骤，一部分进行回收利用，另一部分进行污水处理。
 - g) **污水处理**：将无法被重复利用的废水进行后续的污水处理。
 - h) **回填或资源化利用**：修复完成后，将达标土壤回填或进一步资源化利用。
- 化学淋洗修复概念图和工艺流程如图 6-3-1 和 6-3-22。

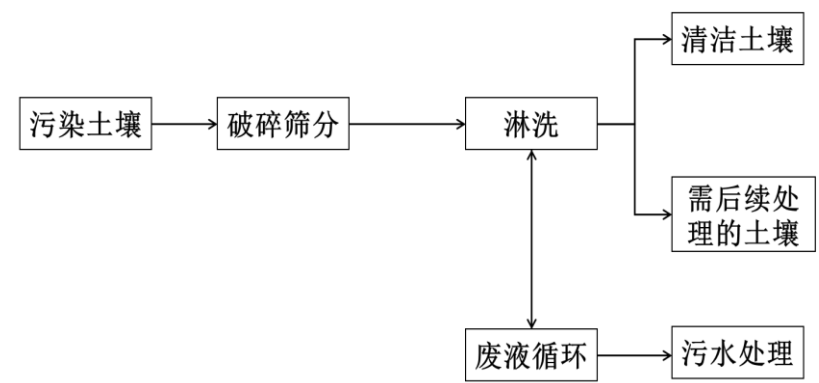


图 6.3-1 化学淋洗修复工艺流程

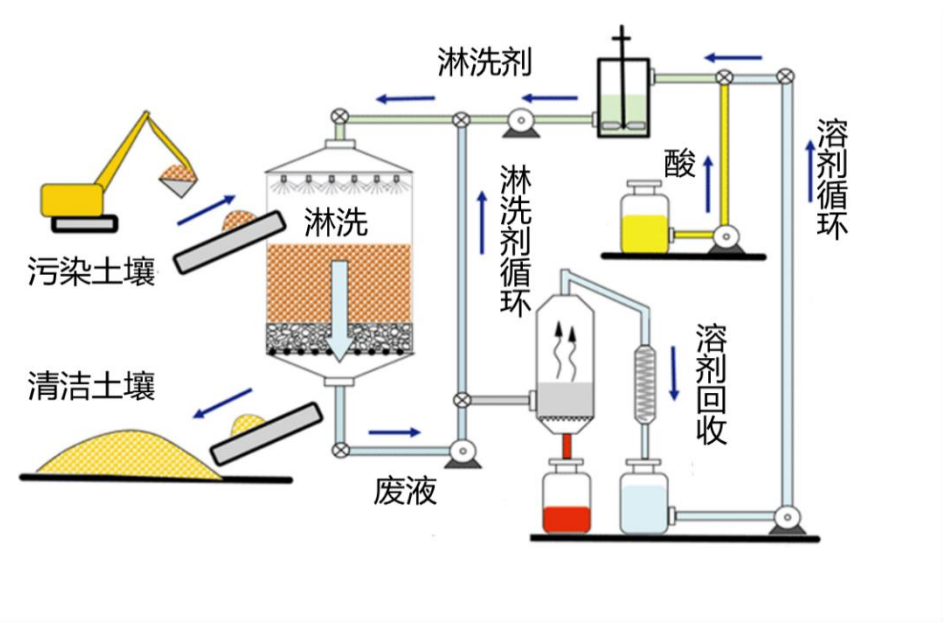


图 6.3-2 化学淋洗修复概念图

6.3.3. 设备主要功能单元与技术参数

(1) 进料筛分系统

- ① 污染土壤经简单晾晒处理以降低土壤含水率，当污染土壤含水率低于30%时采用挖掘机为进料斗上料；
- ② 进料斗带有 50 mm 滑筛及打散机，滑筛可以过滤>50mm 的石块和杂物，滑筛可以自动翻转，排出石块和杂物；打散机可以防止土壤结块或起拱，并将团聚的土块打散，使下料顺畅；
- ③ 皮带配料秤可以控制系统的初始给料量并能记录实时的产量。经由上料皮带机将污染土壤均匀地输送到双层高频振动筛中；

④ 双层高频振动筛，选用轻型上振式直线筛，上层筛网 10x10mm，下层筛网 1x1mm，把土壤分级成三种物料；10-50mm 的颗粒直接排出系统，1-10mm 的颗粒通过溜管进入滚筒淋洗机，<1mm 的颗粒通过螺旋秤计量并进入过渡箱；

⑤ 滚筒淋洗机在进出料口处及筒壁四周设有高压喷水装置，利用旋转的圆筒和内部的刮板，通过水/药剂冲洗、物料自磨等过程将 1-10mm 颗粒上粘附的粉料去除，颗粒物料通过溜管排出系统，粉料与水混合变为泥浆进入泥浆池；

⑥ <1mm 的土壤颗粒由螺旋秤实时计量，通过进料口经叶轮连续螺旋输送至落口，随后进入到过渡箱，同时发信号给自动化控制系统，自动化控制系统控制清水泵按比例输送相应数量的清水（或回用水）到过渡箱混合形成泥浆，由气动隔膜泵把混合后的泥浆通过管道输送到淋洗搅拌罐中。

（2）淋洗搅拌系统

① 药剂罐用于储存高浓度液态淋洗药剂；

② 提前开启搅拌装置防止泥浆沉降。上料筛分系统出料通过气动隔膜泵输送泥浆至搅拌罐，淋洗搅拌罐有上、下液位开关，用以检测液位。初步估算泥浆含水率，当进料土壤质量达到 2 t 时停止气动隔膜泵进料；

③ 根据预设的淋洗剂浓度和液固比计算高浓度淋洗剂及清水的添加量，经由计量泵均匀、定量的输送到两个淋洗搅拌罐中。两个淋洗搅拌罐交替进料，交替工作，以保证整个系统工作的连续性；

④ 设定搅拌时间，通过淋洗搅拌罐内的搅拌桨页将污染土壤与药剂充分搅匀混合，搅拌结束后开启卸料阀将后泥浆排至泥浆池；

⑤ 淋洗搅拌罐内安装有自动清洗装置，工程结束或检修需要清理时，可以自动清洗罐体内部，防止物料残留及药剂对设备腐蚀。

（3）精细筛分系统

① 气动隔膜泵把 1 mm 以下泥浆以一定压力（一般是 0.5~2.5MPa）和流速从泥浆池抽送到旋流器中进行进一步精细筛分。其中，淋洗泥浆沿切线方向旋入圆筒，并以很快的速度沿筒壁旋转而产生离心力，在离心力和重力的作用下，比重大颗粒（>0.075 mm）及小部分水通过旋流器沉砂口排到脱水筛内；而比重小粉粒（<0.075 mm）及大部分水通过旋流器溢流口排到沉淀池内；

② 为保证筛分效率，采用双层直线脱水筛对 $>0.075\text{mm}$ 颗粒进行双重筛分，上下两层筛网分别为 0.5 mm 和 0.1 mm ，其中两层筛上物（ $0.1\text{-}1\text{ mm}$ ）经筛分脱水后，通过螺旋输送机排出系统，而 $<0.1\text{ mm}$ 的粉粒及水排入沉淀池等待进一步处理；

③ 检测沉淀池中细粒土壤中污染物的去除效果，如污染物去除率达标，则直接进入污泥脱水系统；若污染物检测未达标，则进入二级淋洗搅拌罐进行二次淋洗处理，处理步骤同上。

（4）污水处理系统

① 污泥池的上清液及压滤机压滤出水经由泵抽提进入反应池组，池内分为还原、中和、絮凝等区域，各区域设有气动搅拌装置或气提内循环装置各分区间设置 100mm 高度差，通过溢流方式实现污水在区域间流通；

② 絮凝后的污水溢流至斜板沉淀池使污水中的重金属沉淀；

③ 斜板沉淀池溢流水进入填装有石英砂的机械过滤器进行杂质去除、降低原水中悬浮物的含量。机械过滤器过滤介质自动循环，连续清洗，无需停机进行反冲洗；

④ 除杂后的污水通过提升泵以一定流速抽提至填有活性炭、新型吸附材料等物质的多级吸附器进行物理吸附处理，以利于重金属等污染物的有效去除；

⑤ 处理后的液体排至回用水箱进行 pH 等参数调节后进行回用。水处理回用水标准，目标重金属去除率达到 70%，pH 值的要求是 6~8。

（5）污泥脱水系统

① 气动隔膜泵把沉淀池的底泥输送到板框压滤机内；

② 板框压滤机现场做基础架高，压滤出水进污水处理系统，泥饼下排，铲车外运。

目前国内外相关设备概况参见表6.3-1。

表 6.3-1 土壤淋洗修复设备

设备名称	主要工艺参数	二次污染防治	投资费用	运行费用
智能化筛分淋洗系统	15 吨土/小时，每天工作 20 小时，可处理 300 吨土。	采用多级筛分系统，压滤出的液相经多级过滤后进入清水罐，并泵送至各级筛分装置进行喷淋洗涤，实现淋洗液的循环使用。	380 万元	500 元/吨

污染土壤淋洗修复设备	40m ³ /h，每天工作 20h，日处理量 800m ³ 。	不对外排放固体废物、废气；阶段性外排废水，为确保废水达标排放，通过移动式污水处理站对其进行处理，经过处理后，尾水符合《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）；	1000 万元	250-500 元/立方土
淋洗修复设备	20m ³ /h，每天工作 20h，日处理量 400m ³ 。	本设备二次污染主要来源于淋洗用水，淋洗后废水中可能存在污染物，后端配备污水处理系统处理后废水经检测合格后全部回用于淋洗设备淋洗处理系统。	600 万元	650 元/立方土
淋洗成套设备	100t/h，日处理量 2400 m ³ 。	设备采用模块化设计，能够根据国家标准满足废水排放的要求。		
智能修复工作站	15 t/h，日处理量 300m ³ 。	各部块实现撬装化运营，可根据需要引入淋洗废水的处理模块，保证废水达标后再进行回用及排放		500 元/立方土

6.3.4. 环保安全措施

6.3.3.1 二次污染防治措施

淋洗处理会产生废水，为了不对环境造成二次污染，需要对这些废水进行处理。淋洗废水的处理目标主要有：(1)去除原水中的重金属离子；(2)降低原水由于重金属络合物及过量淋洗液导致的高 BOD、COD 值；(3)尽可能再生或回收原废液中的淋洗液，降低土壤淋洗成本；(4)达到废水排放标准。

淋洗废水的处理工艺主要有沉淀法、高级氧化法、吸附法。

本修复中心污染淋洗处理工艺产生的废水，部分循环再利用，其余排入自建废水处理系统处理后排放。

污染土壤淋洗废水产生量按经验值水土比为 5：1，回用率为 50%核算，根据污染土壤淋洗处理量为一期 68.2 m³/d 和二期 211.9m³/d 计算，淋洗废水产生量为分别为 170.45m³/d 和 529.77m³/d。

由于淋洗废水的成分中，本身含有淋洗剂的成分。因此，对于土壤淋洗废水的研究，未来应该从以废治废的方向去研究，达到淋洗液的多次循环利用。

6.3.3.2 设备维护措施

运维期间，要对设备系统建立大修制度，大修周期应按系统设备的实际运行时间确定，一般大修周期不应超过 1 年。必须根据热脱附装置的工艺流程和

设备运行状况和特点，制定完善的设备维护和保养制度，并编制相应的维修和保养手册，确保装置的稳定和安全运行。

污染土壤淋洗处理设备重点维护内容：

- (1) 系统中的主体淋洗罐
- (2) 淋洗剂和废液输运管道
- (3) 淋洗剂再生装置
- (4) 废水处理设施

6.4. 催化氧化处理工艺与建设方案

6.4.1. 工艺用途与设计规模

以催化氧化处理技术作为本修复中心处理轻中度污染的有机污染土和有机-重金属复合污染土壤的主导工艺。根据前期广州市场地污染土壤调研，有机污染土占污染场地总土方量 22.3%，复合污染土壤占污染场地总土方量的 58.9%，总计 81.2%，特征有机污染物主要为苯系物、多环芳烃和石油烃，适用于催化氧化工艺处理。依据本修复中心污染土壤处置设计规模 30 万 m^3 /年（一期无催化氧化工艺），年工作 330 天，两类污染土壤的轻、中度污染土壤占 70%，计算得到本修复中心催化氧化工艺处理土壤量约为 516.7 m^3 /d。

催化氧化修复工艺也可以与其他修复技术联用做为其他类型污染土壤的补充修复技术，如氧化-固化稳定化修复技术联用修复中轻度复合污染土壤，氧化-微生物修复技术联用，修复中轻度有机污染土壤。

6.4.2. 工艺流程及说明

具体工艺流程如下：

①破碎筛分：该步骤主要针对中高污染浓度的原始土壤，通过破碎筛分步骤，分离土壤中大颗粒砾石杂物与建筑垃圾等，破碎大颗粒土壤团聚体，均质化土壤。

②计量传送：根据工艺设计的处理量将定量的土壤送入反应罐

③搅拌反应：在反应罐内将污染土壤与催化氧化修复药剂混合，使有机污染物被氧化分解。

④修复后土壤检测：检测土壤中污染物浓度是否达标，达标可进行下一步利用，不达标则返回重新进行修复。

⑤药剂混合：将催化剂，修复药剂混合后加水调配至适当浓度。

① 回填或资源化利用：修复完成后，将达标土壤回填或进一步资源化利用。

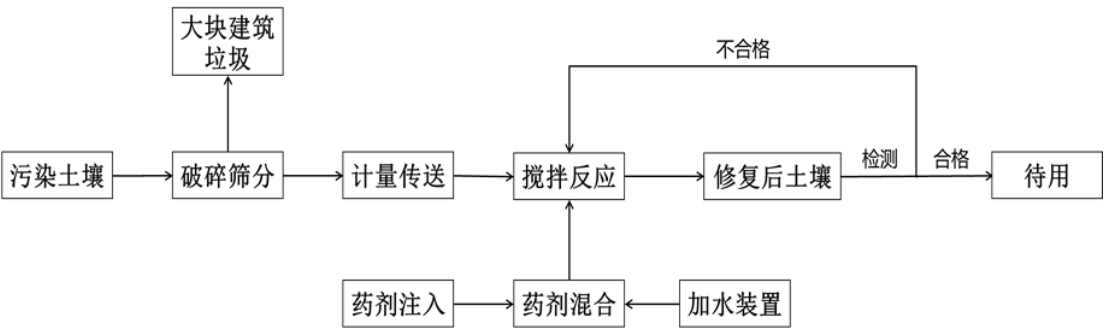


图 6.4-1 催化氧化修复工艺流程

6.4.3. 设备主要功能单元与技术参数

本项目采用污染土壤的催化氧化修复装备应包括土壤水分调节、土壤与催化氧化药剂投加、土壤混合搅拌等模块，主要技术参数如下：

- (1) 土壤水分调节
能根据污染土壤处理量和设定的土壤水分调控目标值进行智能准确调节；
- (2) 催化氧化药剂投加
能根据污染土壤的处理量和设定的催化氧化药剂添加量进行智能化定量投加，药剂称量误差±1%；
- (3) 土壤混合搅拌
能保证污染土壤与药剂的充分均匀混合，混合均匀性变异系数≤5%。
目前国内外相关设备概况参见表6.4-1。

表 6.4-1 化学氧化修复设备

	设备名称	主要工艺参数	二次污染防治	投资费用 (万元)	运行费用 元/方
傲江环保 公司	催化氧化设 备	单套设备可用于 40-100 个点位的注 射，设备加压能力 0.1-1MPa, 流量范 围 1-20L/min;	采用智能化控制 系统控制加药 量，不会引起二 次污染		600
芬兰 allu pmx 公司	催化氧化设 备	日处理土方量约 100-200 方	搅拌头可以将药 剂直接注入土壤 内部，不产生其		300

			他的污染		
中科院地理所	车载式氧化设备	固相制剂最大投加量 50kg/h，投加精度 0.5%，注入流量范围 0-1000L/h，注入精度 0.5%，设备加压能力 0-12MPa；	车载式设备采用了一体化的设计，可以保证修复效果的同时基本不产生新的污染。	800	
中科院地理所	智能超级修复工作站	15t/h	撬装式设备方便移动，自带废水处理设备	1800	500

6.4.4. 环保安全措施

（一）产生二次污染的环节与防护措施

本修复中心污染土壤催化氧化工艺产生的二次污染物及主要治理措施如下：

（1）污染土壤破碎筛分产生的挥发性有机物和粉尘：通过在密闭处理间收集后经滤筒过滤除尘和活性炭吸附处理达标后排放。

（2）污染土壤催化氧产生的尾气：经过催化氧化装置自带除尘、喷淋和二次燃烧处理达标后排放。

（3）催化氧化装置处理后废水：先将处理产生的废水中的催化剂进行回收，再经由集中废水处理设施处理后达标排放。

（二）设备保养

运维期间，要对设备系统建立大修制度，大修周期应按系统设备的实际运行时间确定，一般大修周期不应超过 1 年。必须根据催化氧化装置的工艺流程和设备运行状况和特点，制定完善的设备维护和保养制度，并编制相应的维修和保养手册，确保装置的稳定和安全运行。

污染土壤催化氧化修复设备重点维护内容：

- （1）系统中反应发生的罐体
- （2）药剂和废液输运管道
- （3）催化剂回收装置
- （4）废水处理设施

6.5. 热脱附处理工艺与建设方案

6.5.1. 工艺用途与设计规模

用于处理高浓度有机污染土壤和有机-重金属复合污染土壤，特征污染物为：挥发性有机物（非甲烷碳氢化合物、卤代烃等）和半挥发性有机物（多环芳烃、多氯联苯、有机农药等），污染负荷范围为4%~60%。

以异位直接热脱附技术作为本修复中心处理重污染型的有机污染土壤和有机-重金属复合污染土壤的主导工艺。一期试点单一有机污染土和有机-重金属复合污染土的总土方量为7.0万m³/年，按年工作330天，计算得到一期热脱附工艺处理土壤量约为212.12 m³/d。二期试点按单一有机污染土中30%为重度污染，复合污染土中15%为重度有机污染。依据本修复中心污染土壤处置设计规模30万 m³/年，年工作330天，计算得到二期热脱附处理污染土壤量约为141.15 m³/d。

6.5.2. 热脱附工艺系统

（1）处理流程及说明

① 将运至填埋场的污染土壤送入密闭的污染土壤预处理间进行破碎、筛分，过程产生的挥发气体通过预处理间顶部活性炭装置吸附处理并排放；

② 预处理后土壤经过进料仓和密闭输送带送入直接热脱附炉中进行热脱附处理，填埋场沼气可用作热脱附处理装置的加热源。

③ 热脱附处理后的土壤经检测分析合格后，堆置于清洁土壤暂存区，作为填埋场飞灰覆土，处理后不合格土壤重新返回进料装置进行二次处理；

④ 热脱附产生的烟气经自带废气处理系统处理达标后排放，气液分离后的废水经自带废水处理系统处理达标后排放，污泥作为危废委外处理。

⑤ 如以天然气作为热脱附热源，耗气量约为40-80 m³/t土。

（2）自动化

热脱附装置自动化程度高，在过程实施过程中，一般采用PLC系统（程序逻辑控制系统）对污染土壤进出料和热脱附过程等进行控制，对进料速率、供气流量、加热温度、氧气含量、CO浓度、CO₂ 浓度及停留时间等重要参数进行监控。

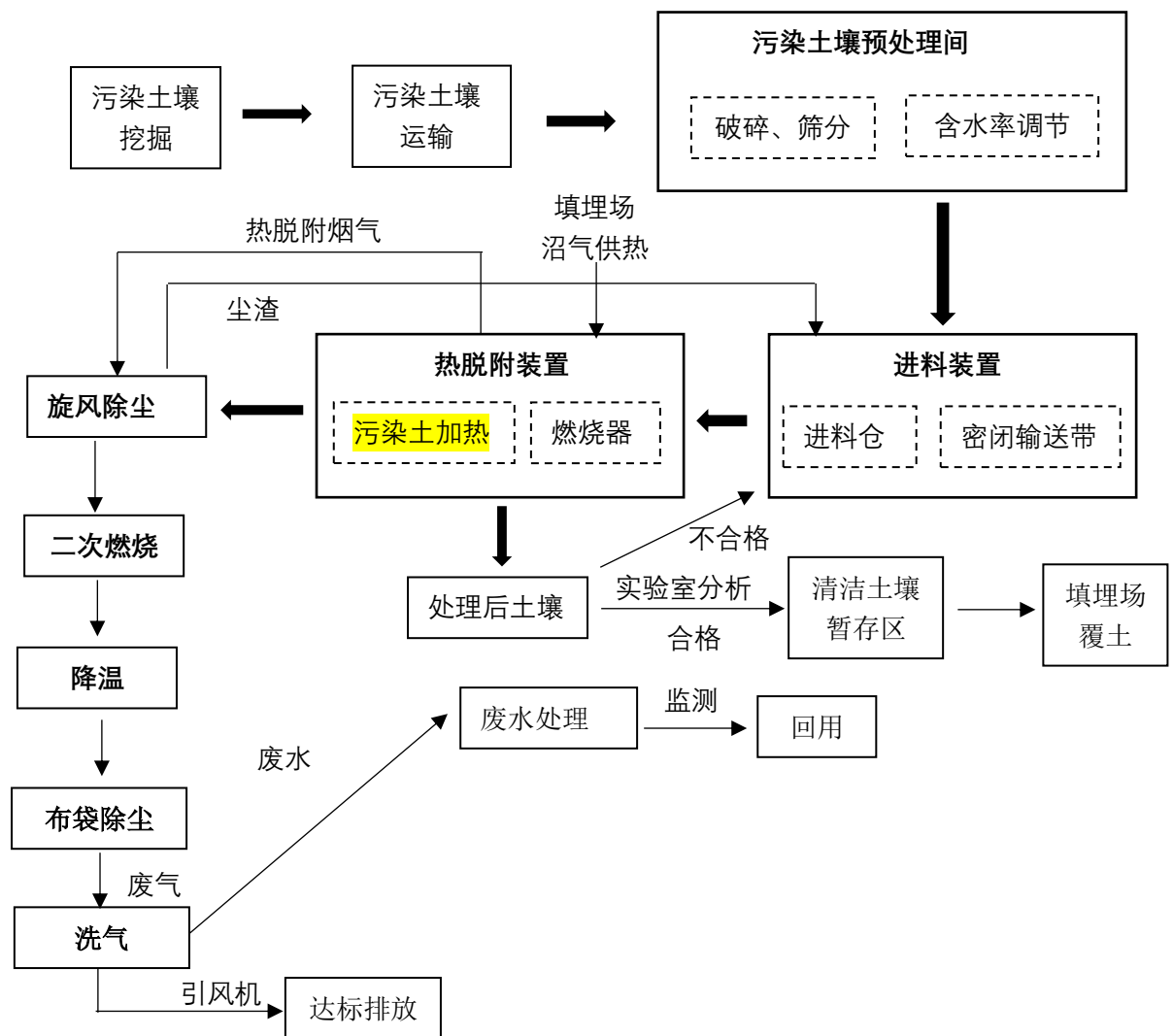


图 6.5-1 本项目拟采用的污染土壤异位直接热脱附处理工艺流程

6.5.3. 主要功能单元与技术参数

依据生态环境部公布的《异位热解吸技术修复污染土壤工程技术规范》（征求意见稿）设定本修复中心异位直接热脱附设备的选型和运行工艺参数。

（1）污染土壤进料系统

为促进有机污染物的高效热脱附，需首先将污染土壤破碎筛分，污染土壤在预处理车间内处理成粒径小于50 mm的土块直接被送入回转窑，超规格的土块经

过破碎后再次返回筛分，但为防止细颗粒土壤随热脱附气流排出，导致气体处理系统超载，需避免超过50%的土壤粒径小于200目。同时，将土壤含水率控制在<20%。具体如下：

① 土壤颗粒

为促进有机污染物的高效热脱附，需首先将污染土壤破碎筛分，污染土壤在预处理车间内处理成粒径小于50 mm的土块直接被送入回转窑，超规格的土块经过破碎后再次返回筛分，但为防止细颗粒土壤随热脱附气流排出，导致气体处理系统超载，需避免超过50%的土壤粒径小于200目。

② 土壤含水率

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。

③ 土壤粘度

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，然后才能进入热脱附加热单元。

④ 污染负荷

从设备运行安全性考虑，同时结合国内相关工程经验，采用直接热脱附工艺修复污染土壤，进料土壤中有机污染物的浓度不宜超过 1%~3%。

（2）热脱附功能单元

热脱附功能单元可采用回转窑或螺旋推进式热解炉。由于广州市污染场地土壤中可以异位处理的特征有机污染物主要为石油烃、多环芳烃，为确保该三类有机污染的高效去除，污染土壤需均匀加热到 350~550℃，并按照设定速率向窑尾输送，保证土壤中有机污染物充分挥发。

（3）尾气处理系统

一般热脱附设备都自带废气和废水处理系统。尾气处理系统包括除尘、喷淋、二次燃烧和冷凝等装置，尾气处理达标后排放，废水需处理后回用。

目前国内相关设备概况参见表6.5-1。

表6.5-1 有机污染土壤异位直接热脱附设备选型参数汇总

序号	参数	范围
1	处理规模	>141.15 m ³ /d
2	土壤有机污染物负荷	<3%
2	污染土进料粒径	<50 mm, 小于200目粒径土<50%
3	土壤含水率	<20%
4	回转窑或螺旋推进式热解炉温度	200~600℃ (可调)
5	停留时间	10-60 min (可调)
6	控制模式	自动化

目前国外相关设备概况参见表6.5-2

表6.5-2 入选《土壤污染防治先进技术装备目录》的间接热脱附设备的相关设备参数

申报企业	主要工艺及设备参数	二次污染防治	投资费用	运行费用
首都钢铁厂	处理能力 25 t/h, 土壤进料粒径<30mm; 土壤含水率<30%, 热脱附温度350~550℃可调, 停留时间10~60 min可调; 燃料类型为天然气; 有机污染物去除率达95%以上	热脱附烟气经沉降室沉降、旋风除尘、二燃室高温燃烧(焚烧温度≥850℃, 烟气停留时间≥2s)、余热回收、急冷、消石灰、活性炭喷射、布袋除尘后达标排放	2000万元	600元/吨土
杰瑞环保科技有限公司	处理能力8 t/h, 土壤进料粒径<30mm; 土壤含水率<30%, 热脱附温度450~650℃可调, 停留时间10~60 min可调; 燃料类型为天然气; 有机污染物去除率达95%以上	系统内配置不凝气处理系统进行除尘、除水净化等处理, 污水经处理后回用, 避免二次污染	2200万元	293元/吨土
北京建工环境修复股份有限公司	处理能力1~20 t/h, 土壤进料粒径<5mm、含水率30~35%, 热脱附温度150~500℃可调, 停留时间10~60 min可调; 燃料类型为柴油/天然气; 有机污染物去除率达95%以上	上料VOCs挥发和扬尘通过除尘和活性炭吸附; 热脱附尾气通过除尘—冷凝—除雾工艺净化; 污染土壤上料在密闭车间内进行, 车间配套尾气处理系统, 尾气经除尘和活性炭吸附后达标排放。物料传输装置均装有密闭防护罩, 以防止物料输送过程中气态污染物的扩散; 冷凝产生废液也经处理后达标排放	350万元	761元/吨土
中节能大地	处理能力1~20 t/h; 土壤含水率<20%; 土壤进料粒径<	有机废气由喷淋单元、除雾单元、冷却单元、吸附单元等组成的废气处理	1200万元	600元/吨土

(杭州)环境修复有限公司	30mm; 热脱附温度550~600℃可调; 停留时间20~30min; 加热形式为间接加热; 有机污染物去除率达95%以上	系统处理, 达到《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)或《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001)等标准要求; 喷淋废水由沉降-氧化-压滤分离-吸附单元等组成的废水处理系统处理达标排放		
浙江宜可欧环保科技有限公司	处理能力100 t/d; 土壤含水率<30%; 土壤进料粒径<30 mm; 热脱附温度150~700℃, 连续控温; 停留时间10~60min可调; 加热形式: 间接加热; 燃料类型为天然气; 有机污染物去除率达95%以上	热脱附气首先进入固、液、气三相分离系统初级处理, 再通过喷淋去除粉尘及部分有机污染成分, 洗脱后气体采用高温无害化及热能回收处理, 处理后产生的高温烟气通过热能回收系统回收后作为热脱附系统热源, 最终换热降温后的烟气进入“活性炭装置+半干式除尘器+喷淋洗涤塔”烟气处理系统净化; 除尘器收集烟尘和喷淋塔底作为危废委外处置	1000万元	475元/吨土

6.5.4. 二次污染治理措施

本修复中心污染土壤热脱附工艺产生的二次污染物及主要治理措施如下:

(1) 热脱附尾气: 经过热脱附装置自带除尘、喷淋和燃烧处理达标后排放。废气排放执行《广东省大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)中第二时段一级标准;

(2) 热脱附装置喷淋废水: 经自带废水处理系统处理达标后循环使用, 不外排。

6.5.5. 设备维护措施

运维期间, 要对设备系统建立大修制度, 大修周期应按系统设备的实际运行时间确定, 一般大修周期不应超过1年。必须根据热脱附装置的工艺流程和设备运行状况和特点, 制定完善的设备维护和保养制度, 并编制相应的维修和保养手册, 确保装置的稳定和安全运行。

污染土壤热脱附设备重点维护内容:

(1) 系统中热脱附的炉体

(2) 燃烧腔体、烟气管道

(3) 急冷和中和装置

(4) 布袋除尘器及引风机等。

6.6. 生物修复技术建设方案

6.6.1. 工艺用途与设计规模

优势微生物反应器：用于轻度有机污染土。优势微生物强化修复技术：用于轻度有机-轻度重金属复合污染土中有机物的去除。优势微生物菌根植物修复技术：用于轻度有机污染土、轻度有机-轻度重金属复合污染土的后处理。

以生物修复方法作为本处置中心部分轻度单一有机污染土和轻度有机-重金属复合污染土的修复方法，其中处理轻度单一有机污染土 2 万 m³/a、轻度有机-轻度重金属复合污染土 3 万 m³/a，共 5 万 m³/a。

6.6.2. 工艺流程及说明

1、工艺流程

(1) 优势微生物反应器

破碎筛分：将转运的土壤经过破碎筛分，分离土壤中大颗粒砾石杂物与建筑垃圾等，破碎大颗粒土壤团聚体，使土壤均质化，土壤粒径 $\leq 0.42\text{mm}$ 。

计量传送：根据工艺设计的处理量将定量的土壤送入生物反应器。

搅拌混匀：优势微生物菌剂、水、营养物质添加到生物反应器中与土壤充分混匀制成泥浆，泥水比为 1:2。

运行调控：修复运行一周，期间调控 pH、温度、营养元素、溶解氧等条件。

回流分离：修复结束后，将 20%泥浆回流到生物反应器，剩余泥浆排入沉淀池进行泥水分离，沉淀后的污泥转移至土壤堆场风干。

修复后土壤检测：土壤风干后进行采样检测分析，合格土壤直接作为填埋场覆盖土或回填及其它资源化利用，不合格土壤重新返回预处理车间经破碎后重新处理。

废气处理：在处理挥发性/半挥发性有机污染土壤时，破碎筛分须得在密闭条件下进行，将挥发性气体收集，同运行时反应器产生的废气一起排入生物滴滤塔处理系统，处理后达标排放。

废水处理：将废水排入污水处理系统，该废水可能残留有少量的有机污染物，采用生物法即可去除，处理后的废水可以回用到生物反应器。

回填或资源化利用：修复完成后，将达标土壤回填、用于填埋场覆盖以及进一步的资源化利用。

自动化：能自动进料和出料，能根据预设的参数自动化计量待处理土壤、调控修复参数如温度、溶解氧、PH 等。

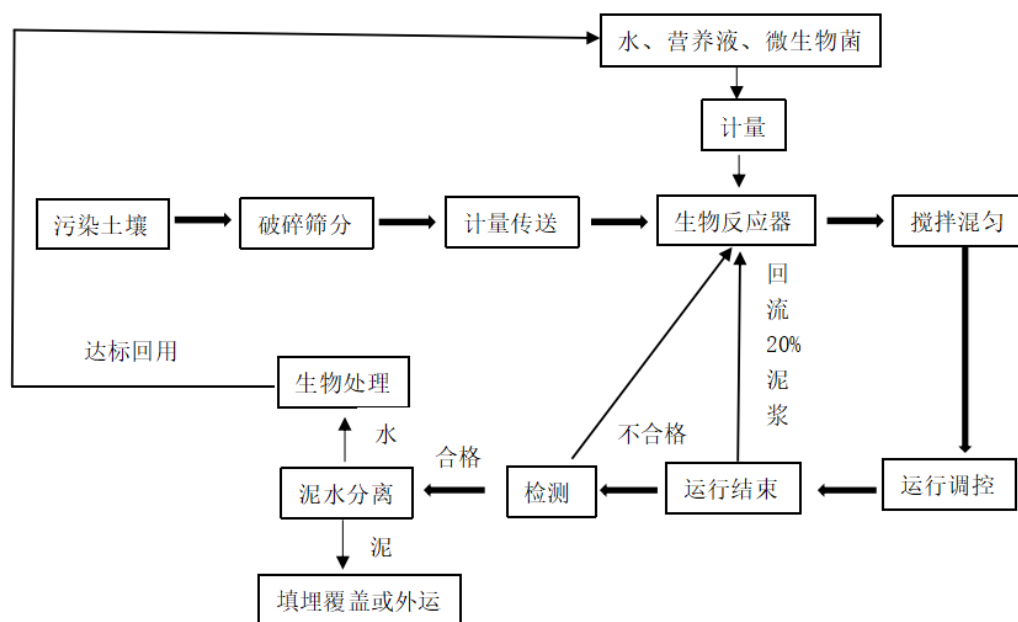


图 6.6-1 优势微生物反应器修复技术工艺流程

（2）优势微生物强化处理技术

破碎筛分：将转运的土壤经过破碎筛分，分离土壤中大颗粒砾石杂物与建筑垃圾等，破碎大颗粒土壤团聚体，使土壤均质化。

混合搅拌：预处理后的土壤经进料仓和密闭输送带送入搅拌设备中，通过加料设备投加微生物菌剂、营养液，然后搅拌混匀。

土壤整理：混匀后的污染土壤由搅拌机排出，转移到优势微生物强化修复场，将其进行整理平铺成层高为 0.25m 的优势微生物修复层。

修复调控：修复周期为一个月，期间用水分调控装置进行水分调控，采用机械设备进行物理翻耕进行氧气调控。

修复后土壤检测：土壤风干后进行采样检测分析，合格土壤直接作为填埋场覆盖土或者其它资源化利用，不合格土壤重新返回预处理车间经破碎后重新处理。

回填或资源化利用：合格土壤可作填埋场覆土或绿化用土或其它用途，不合

格土壤重新返回预处理车间经破碎后重新处理。

自动化：自动进料和出料，定量添加优势微生物菌剂、营养物质。

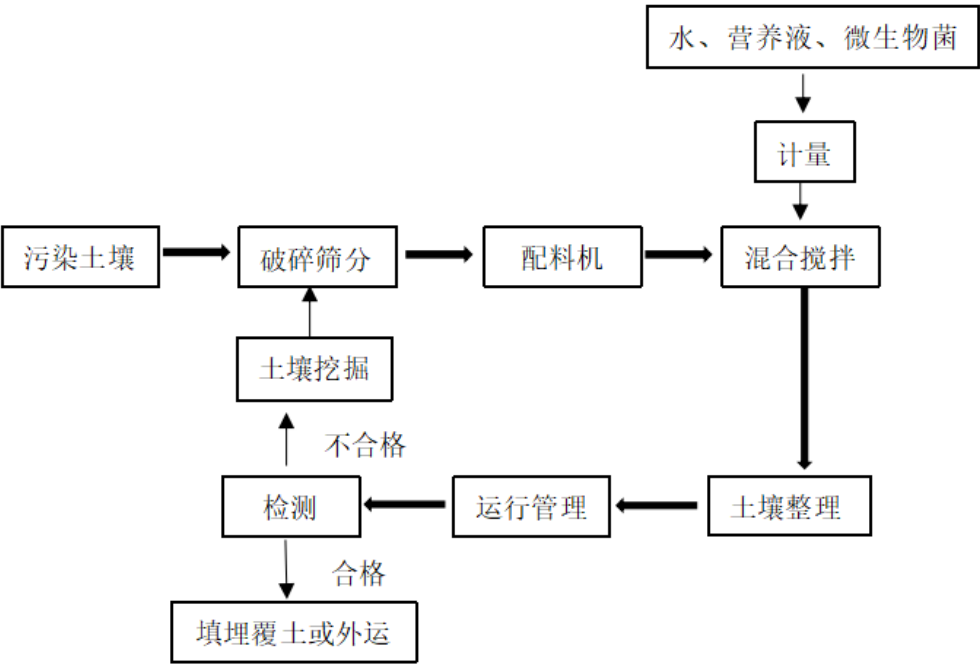


图 6.6-2 优势微生物强化修复技术工艺流程图

（3）优势微生物联合菌根植物技术

破碎筛分：将转运的土壤经过破碎筛分，分离土壤中大颗粒砾石杂物与建筑垃圾等，破碎大颗粒土壤团聚体，使土壤均质化。

设置防渗漏系统：此修复技术是在露天环境进行，降雨会将土壤中的污染物带走，会造成污染物的转移和二次污染，所以需要在修复层底部设置防渗漏层，以及渗漏液收集系统。

加料混匀：预处理后的土壤经进料仓和密闭输送带送入搅拌设备中，通过加料设备投加微生物菌剂、营养液，然后搅拌混匀。

菌根植物培育：为了加快修复进程，菌根植物育苗统一在育苗大棚里进行，土壤整理翻耕，加入营养物质以及调控水分，投加丛枝菌根真菌菌剂，播种需要的植物种子，进行田间管理，培育 30 天备用。

污染土壤整理：混匀后的污染土壤由搅拌机排出，转移到优势微生物联合菌根植物处理场进行修复，平铺成层高为 0.25m 的修复层。

菌根植物移栽：将已经培育好的菌根植物苗移栽到整理好的污染土壤中，每行的间距为 30cm，株距为 15cm。

运行管理：修复期间需进行田间管理包括水、肥、翻耕。每翻耕一次采用设备喷洒一次优势微生物菌剂，一年翻耕三次。

植物收割及处理：植物每三个月收割一次地上部分，采用机械化收割设备，收割的植物将其晾干、破碎，然后外运进行焚烧或者固化填埋。

修复后检测：修复周期为一年，修复结束后采样测定指标，合格土壤外运，不合格土壤将植物铲除，重新翻耕，投加优势微生物，栽种菌根植物，继续进行修复。

废水处理：将渗漏液收集系统收集的废水排入污水处理系统进行集中处理。

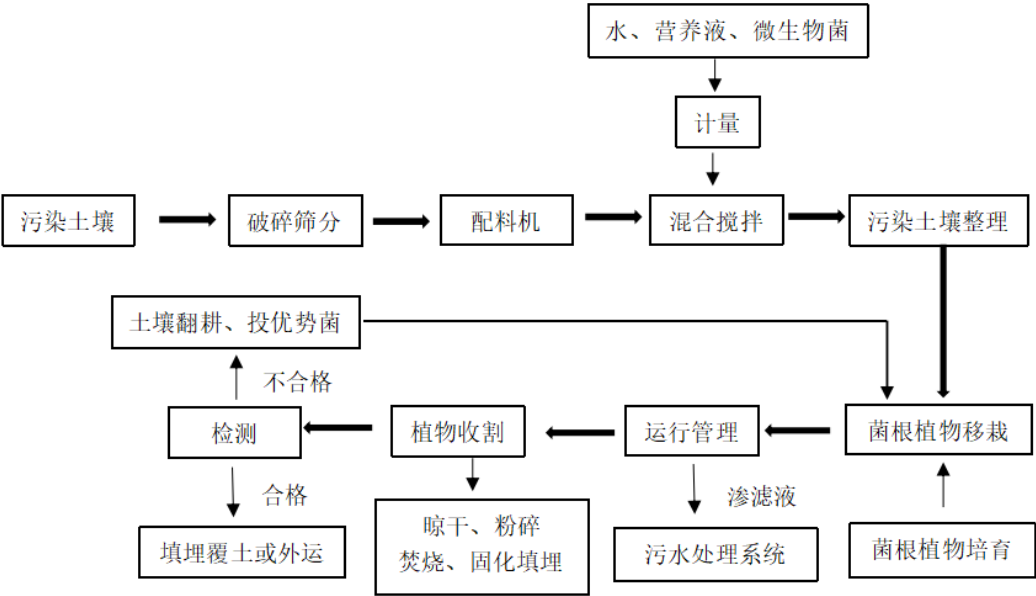


图 6.6-3 优势微生物菌根植物联合修复技术工艺流程图

6.6.3. 设备主要功能单元及技术参数

生物修复三种工艺中所需的土壤挖掘与输送设备、土壤破碎与筛分设备、配料设备、混合搅拌设备，可以设置在一个集中处理中心，三种生物修复工艺共用上述设备，不仅可以节约资金，提高处理效率，还可以更好地做好防尘、除尘等环保处理。

- (1) 优势微生物反应器：
 - 1) 土壤挖掘与输送设备

土壤挖掘量达到 $70\text{m}^3/\text{d}$ ，土壤输送装置密闭性好，避免粉尘，能自动准确的定量输送污染土壤，土壤称量误差 $\pm 1\%$ 。

2) 土壤筛分破碎设备

破碎筛分设备对污染土壤的处理量达到 $70\text{m}^3/\text{d}$ ，破碎筛分后的土壤粒径 $\leq 20\text{mm}$ 。

3) 微生物反应器

该微生物反应器配备控制系统、水分调控系统、加料系统、搅拌系统、以及充氧系统，能够准备的调控在运行过程中的各项参数。

4) 泥水分系统：将修复完成后的泥浆排入沉淀池进行沉淀，将池底的底泥排入污泥压滤板框机进行处理。

5) 废气处理系统

废气处理系统包括喷淋塔和生物滴滤塔，废气处理达标后排放。

6) 废水处理系统

采用生物法对废水进行处理，达标后回用。

(2) 优势微生物强化技术

1) 土壤挖掘与输送设备

土壤挖掘量达到 $60\text{m}^3/\text{d}$ ，土壤输送装置密闭性好，避免粉尘，能自动准确的定量输送污染土壤，土壤称量误差 $\pm 1\%$ 。

2) 土壤筛分破碎设备

破碎筛分设备对污染土壤的处理量要达到 $60\text{m}^3/\text{d}$ ，破碎筛分后的土壤粒径 $\leq 50\text{mm}$ ，但要避免超过 50% 的土壤粒径小于 100 目，因为土壤粒径太小会比较容易粘结，导致透气性变差，不利于微生物的生长繁殖。

3) 加料设备

根据土壤的量按照设定的营养物质、优势微生物菌剂、水将其混匀溶解，然后能进行智能化定量投加到土壤混合设备中，所添加的混合液的误差量 $\pm 1\%$

4) 土壤混合搅拌设备

保证污染土壤、营养物质和优势微生物菌剂的混合液充分混匀，混合均匀性变异系数 $\leq 5\%$ 。

5) 水分调控系统

包含了土壤水分在线监测系统以及喷淋系统，根据土壤的水分含量，根据设定值向土壤喷洒水以维持土壤的含水率，土壤含水率要维持在 45%以上。

(3) 优势微生物联合菌根植物技术

1) 土壤挖掘与输送设备

土壤挖掘量为 $82\text{m}^3/\text{d}$ ，土壤输送装置密闭性好，避免粉尘，能自动准确的定量输送污染土壤，土壤称量误差 $\pm 1\%$ 。

2) 土壤筛分破碎设备

破碎筛分设备对污染土壤的处理量要达到 $82\text{m}^3/\text{d}$ ，破碎筛分后的土壤粒径 $\leq 1\text{cm}$ 。

3) 加料设备

根据土壤的量按照设定的营养物质、优势微生物菌剂、水将其混匀溶解，然后能进行智能化定量投加到土壤混合设备中，向土壤所添加的混合液的误差量为 $\pm 1\%$ 。

4) 土壤混合搅拌设备

保证污染土壤与营养物质和菌剂的混合液充分混匀，混合均匀性变异系数 $\leq 5\%$ 。

5) 育苗大棚

育苗大棚配有排气系统以及喷淋系统用于菌根植物的培育。

6) 喷淋系统

在优势微生物联合菌根植物修复场地中装配喷淋系统，实现自动化浇水和施肥。

7) 防渗漏系统

在修复场地上铺设防渗层，并设置渗漏液收集系统，以免渗漏液渗入土壤和地下水造二次污染，将收集的渗漏液进行集中处理后达标回用。

8) 翻耕机

农用翻耕机，机械化作业，效率高，成本低。

9) 收割机

农用收割机，能够实现机械化收割修复植物，提升效率。

6.6.4. 环保安全措施

本处置中心污染土壤生物修复工艺产生的二次污染及主要治理措施如下：

废气和扬尘：土壤输送和破碎过程中产生的扬尘、土壤破碎和运输过程中产生的挥发性有机废气，经生物修复技术自带喷淋搭、生物滴滤塔处理后达标排放。

废水：包括优势微生物生物反应器产生的废水以及优势微生物强化处理区和优势微生物联合菌根植物处理区中防渗层收集到的废水，排入自带的废水处理系统集中处理，达标后循环使用。

6.6.5. 资源化利用措施

生物修复的方法没有破坏土壤的理化性质，甚至在修复过程中，通过对土壤理化性质的调控、微生物的作用、植物的作用对土壤起到一定的改良作用，所以对其后续应用处理基本不受影响。可以作为路基材料、工程渣土(填土)、绿化用土、填埋场覆土等。

第七章 公共配套设施

7.1 给排水

7.1.1 给水系统

本项目采用生产、生活、消防合并的给水系统，用水由兴丰填埋场现有水源供给。生产、生活以及绿化等总用水量一期约110 m³/d、二期约268 m³/d，一次消防总用水量一期约85 m³/d、二期约210 m³/d。

7.1.2 排水系统

一期、二期排水设计采用雨、污水分流制排水系统。一期、二期的处理区废水经收集后排入各自的废水集中处理设备进行处理，生活污水导排至填埋场低浓度污水处理厂。

7.2 供配电

7.2.1 一期

本中心一期处置地块1 设备安装容量约500 KW， 按需要系数法计算，10 kV 高压侧计算负荷：

- ◆ 有功功率: 375 kW
- ◆ 无功功率: 300 kVAR
- ◆ 视在功率:480 kVA
- ◆ 自然功率因数: 0.78
- ◆ 采用低压无功自动补偿(补偿kVAR)，功率因素达0.94。

目前，填埋场在图7.1下方蓝色方框处有500 KVA箱变可提供一期试点用电。此外，计划在今年内将在图7.1橙色方框处另外新建630KVA配电房为应急填埋场和一期供电。



图7.1 填埋场可为本处置中心一期试点提供的电源位置

7.2.2 二期

(1) 地块1

本中心二期处置地块1 设备安装容量约1085 KW， 按需要系数法计算， 10 kV 高压侧计算负荷:

- ◆ 有功功率: 814 kW
- ◆ 无功功率: 651 kVAR
- ◆ 视在功率: 1042 kVA
- ◆ 自然功率因数: 0.78
- ◆ 采用低压无功自动补偿(补偿360 kVAR)， 功率因素达0.94。

本中心办公区设备安装容量约299 KW， 按需要系数法计算， 10 KV高压侧计算负荷:

- ◆ 有功功率: 186.48 KW
- ◆ 无功功率: 147.63 KW
- ◆ 视在功率: 197.04 KVA
- ◆ 自然功率因数: 0.76
- ◆ 采用低压无功自动补偿(补偿84 KVAR)， 功率因数达0.94。

本中心消防设备安装容量为66 KW。

(2) 地块2

二期地块2生物修复区处置设备安装容量约110KW，按需要系数法计算，10kV 高压侧计算负荷：

- ◆ 有功功率: 80.65 kW
- ◆ 无功功率: 64.71kVAR
- ◆ 视在功率: 103.4 kVA
- ◆ 自然功率因数: 0.78
- ◆ 采用低压无功自动补偿(补偿kVAR)，功率因素达0.94。

7.3 供热

本处置中心供热需求主要为热脱附设备。目前，兴丰填埋场可选择的供热源主要为兴丰填埋场与应急填埋场之间的填埋气燃烧火炬和填埋场东部的液化天然气项目。其中，填埋气燃烧火炬燃气量为7000 m³/h 的填埋气量被火炬燃烧掉，燃烧热值可达500℃以上，填埋气发电机组产生烟气热值和流量见图7.2。

一期试点的污染土壤热脱附处理供沼气量需求约为840万m³/a（用气量按80 m³/t土和天然气燃烧热值的50%计算），连续供气3年。由于一期试点热脱附处理污染土方量较少，运营时间短，且距离填埋气燃烧火炬很近，因此，填埋气燃烧火炬可用于一期试点热脱附的供热源。

二期地块1污染土壤热脱附处理7.71万m³/a，按直接热脱附天然气耗气量约为80 m³/t计算，供气量需约为925.2万m³/a（按天然气燃烧热值计算）。由于填埋场东部的液化天然气项目正好位于二期污染土处置中心所在地附近，因此，可直接作为二期污染土壤热脱附的供热源。二期地块2的污染土壤在冬季生物处理时，优势微生物反应器及优势微生物强化处理区需要少量供热，热源可采用填埋场东部液化天然气燃烧加热，供气量需求约10.68万m³/a（按天然气燃烧热值计算）。

通过对填埋场当前运营情况分析和未来产气量预测，填埋场液化天然气的供气量为 万m³/a？，可持续？年。今后在气源无法满足要求时，可利用填埋场光伏发电项目为热脱附设备提供电力供热。



图7.2 填埋场可为本处置中心热脱附提供的热源和位置

表7.2-1 填埋场填埋气燃烧火炬热值和流量

烟气温度 (°C)	烟气流速 (m/s)	标干烟气流量 (N.m ³ /h)	实测含氧量 (%)	基准氧含量 (%)
509.3	13.5	5060	9.3	15

7.4 消防

一、二期场区内设置消防砂池及运营需配备洒水车1辆，单个砂池尺寸 $A \times B \times H = 2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 1.8\text{ m}$ ，共4个砂池，容积总计 28.8 m^3 。消防用水量根据《建筑设计防火规范》(GB50016-2014) 规定，按同一时间火灾次数为一次、火灾延续时间为2 h，室内、室外一次消防总用水量按 $180\text{ m}^3/\text{s}$ 考虑。综合办公楼内各层拟配备闭式自动喷水灭火设备，变电所配备干粉灭火器。此外，各建筑物的耐火等级、防火间距等符合《建筑设计防火规范》中的有关要求。

7.5 过程检测与自动控制

7.5.1 设计范围

本修复中心过程检测与自动控制设计范围包括:污染土壤暂存区、各工艺处理区、处理后清洁土壤区和废水和废气处理设备等。

7.5.2 控制方式

为确保污染土壤集中处置的效果,改善生产环境、提高处置效率,本修复中心结合污染土壤处理工艺特点及要求,全场除设置了较为完善的过程检测和控制项目外,还采用了以微处理器为核心,部分冗余化的集散型综合控制系统(DCS),完成从污染土壤进场、污染土分类处置、清洁土资源化利用到二次污染防治等过程参数的数据采集、自动控制、参数显示、越限报警和报表打印等功能。设计在办公楼设置计算机房,放置DCS管理站、打印机等相关设备,对分区进行集中监视和集中管理,并在各处理车间及废气、废水处理间设置控制室,放置相关子项监控站及仪表盘,完成对相关子项过程参数监视和操作。

7.6 土建工程

7.6.1 建筑设计

本中心建筑物按功能可分为污染土壤暂存与预处理负压构筑物(一期为负压大棚)、污染土壤处置负压构筑物(一期为负压大棚)、清洁土壤堆场、污染土壤处置附属用房及办公用房。

密封负压构筑物由抽气系统、智能控制系统、环境监测系统、粉尘和尾气收集净化系统、监控及照明系统等组成。大棚采用大空间、大跨度、无泄露的负压抽气结构对污染土作业区进行密闭,可保证修复工程机械的全天候作业,能有效防止挥发气体外逸,防止扬尘。地面采用抗渗混凝土结构,有效防止污染物下渗对土壤及地下水的污染。

办公用房包括办公楼和门卫室。办公楼共四层,一层设会议室、活动室等,二层行政管理办公室,三层设办公室和小会议室,按有关规范设计,满足建筑物的采光、通风、日照间距及防火等要求,确保员工工作环境条件较好。

生产附属用房包括维修间、仓储库、水电房、门卫等,其建筑设计与办公用房相同。

7.6.2 结构设计

办公楼及附属用房采用钢筋砼框架结构，竖向布置采用钢筋砼梁板体系。

污染土壤暂存区、污染土壤处理区和清洁土壤暂存区等，一期采用全密闭PVDF膜材结构负压大棚，二期采用负压构筑物。

建构筑物按地震烈度6度设防。

本选址区尚未进行地质勘探，下一阶段设计前应进行钻孔勘探。设计的基础处理暂按一般人工填土较厚的地段及重要建构筑物采用桩基础，挖方区及低层建构筑物采用天然基础。变配电室、调压站、汽（机修）车间、缓冲库建筑物按“一级”耐火等级要求设计。

第八章 污染土壤的贮存、运输和处置

8.1 场内外土壤动态流转

场内外土壤动态流转主要包括进场污染土量与产生清洁土量动态平衡、场内外消纳清洁土量、各类土壤在场内暂存时间及暂存量等。场内外土壤动态流转详细如下。

8.1.1 一期工程

一期工程设计年处理量 9 万 m^3 ，年工作 330 天，日处理量= 年处理量/工作天数，结果约为 0.0273 万 m^3 ，污染土壤暂存区面积为 0.25 万 m^2 ，暂存土壤能力为 1.25 万 m^3 （设计堆存高度 5 m（地下 3m）），按日处理 0.0273 万 m^3 污染土计算，土壤最大暂存时间=土壤容量/日处理量，计算得出，污染土壤最长暂存时间约为 45 天，年周转污染土壤量 9.17 万 m^3 ，满足年处理量 9 万 m^3 的需求。

清洁土待检区位于兴丰填埋场堆体上，一期固化稳定化后的土壤全部作为第三填埋区飞灰填埋层间用土。场内现有稳定化飞灰填埋区库容 240 万 m^3 ，按飞灰层间土用量约为 20% 计算，共需层间土 48 万 m^3 ，按一期工程年处理量 9 万 m^3 计算，所有固化/稳定化修复后的土壤（7.5 万 m^3 ）热脱附处理后的有机污染土（1.5 万 m^3 ）可通过场内消纳。

在一期工程期间，应积极开展修复后土壤再利用方式探索，以备二期工程大量修复后土壤的安全处置。

综上：

转运进场土量：9 万 m^3 /年，污染土最大暂存量 $\leq$ 1.25 万 m^3 ，最大暂存时间 $\leq$ 45 天；

产生清洁土量 9 万 m^3 /年，清洁土暂存量不受限制，根据飞灰填埋时间逐步消纳。

清洁土消纳：固化稳定化处理后的土壤作为场内飞灰层间土填埋，消纳量 7.5 万 m^3 /年；有机污染土经热脱附处理后可用于覆土或建筑材料，消纳量 1.5 万 m^3 /年。

8.1.2 二期工程

二期工程设计年处理量 30 万 m^3 ，年工作 330 天，日处理量= 年处理量/工作

天数，结果约为 0.091 万 m³，污染土壤暂存区及处理后土壤待检区面积分别为 1.56 万 m²和 2.26 万 m²，土方容纳量分别为 3.9 万 m³和 4.52 万 m³，按日处理 0.091 万 m³污染土计算，土壤最大暂存时间= 土壤容量/日处理量，计算得出，污染土壤最长暂存时间约为 42 天，年周转污染土 30.64 万 m³，满足年处理量 30 万 m³的需求。处理后土壤最长暂存时间约为 50 天。

综上：

转运进场土量：30 万 m³/年，污染土最大暂存量≤3.9 万 m³，最大暂存时间≤42 天，为保证土壤流转效率并控制修复成本，建议土壤暂存时间不超过 30 天；

产生清洁土量：30 万 m³/年，清洁土最大暂存量≤4.52 万 m³，最大暂存时间及修复后待检时间≤50 天，为保证土壤流转效率并控制修复成本，建议土壤暂存及待检时间不超过 40 天；

清洁土消纳量：部分用作飞灰层间土填埋，部分土壤根据一期工程过程中土壤再利用研究结果进行土壤再利用，如制砖、路基、陶粒等；少部分土壤用作非敏感区市政建设（如道路、绿化用土等）项目或其他工程项目用土。总年消纳量 30 万 m³/年。

8.2 污染土壤的贮存

运输至污染土暂存区暂存。暂存有如下几点要求：

① 贮存场地参照《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》

(GB18599- 2001)要求执行。

② 一期工程的污染土贮存场，可建设防雨棚或车间，重金属污染土贮存于防雨棚或车间内，可采用 2 mm 厚高密度聚乙烯对贮存区域基础防渗处理。

③ 二期工程的污染土贮存场建于负压构筑物内，各类型污染土贮存和预处理均在负压构筑物内进行。

④建造径流疏导系统和雨水收集系统。

⑤定期对贮存场地及设施完整性进行检查。

⑥贮存场地按《环境保护图形标志—固体废物贮存（处置）场》（GB15562.2）的规定设置警示标志。

8.3 污染土壤的运输

8.3.1 场内运输

● 场内运输土壤类型

涉及到场内运输的土壤包括以下几类：

(1) 只进行场内倒运的土壤包括待修复污染土壤、预处理后污染土壤和修复后待检土壤。

(2) 场内倒运进行修复后外运的土壤包括修复后检验达标外运的清洁土壤。

● 场内运输流程

土壤场内运输流程如图 8.3-1 所示。

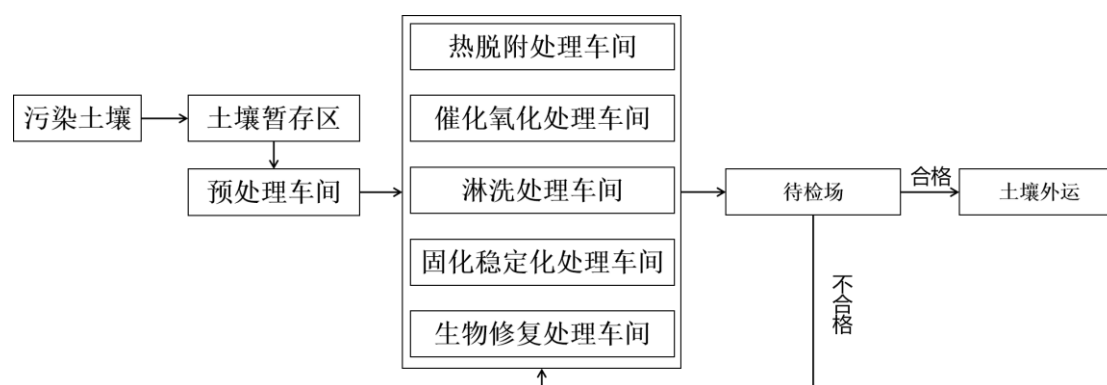


图 8.3-1 土壤场内运输流程

运输过程中车辆注意控制车速，车辆顶棚及时关闭，行车过程注意人员防护安全，若发现遗撒土壤及时安排人工进行清理；运输至暂存区后做好苫盖和密封，避免扬尘污染；每班次运输完成后进行车辆清洗。

8.3.2 场外运输

● 场外运输土壤类型

涉及到场外运输的土壤包括以下几类：

(1) 场外运输至场内的污染土壤。

(2) 场内修复达标外运的清洁土壤。

● 场外运输流程

场外运输流程如图 8.3-2 所示。

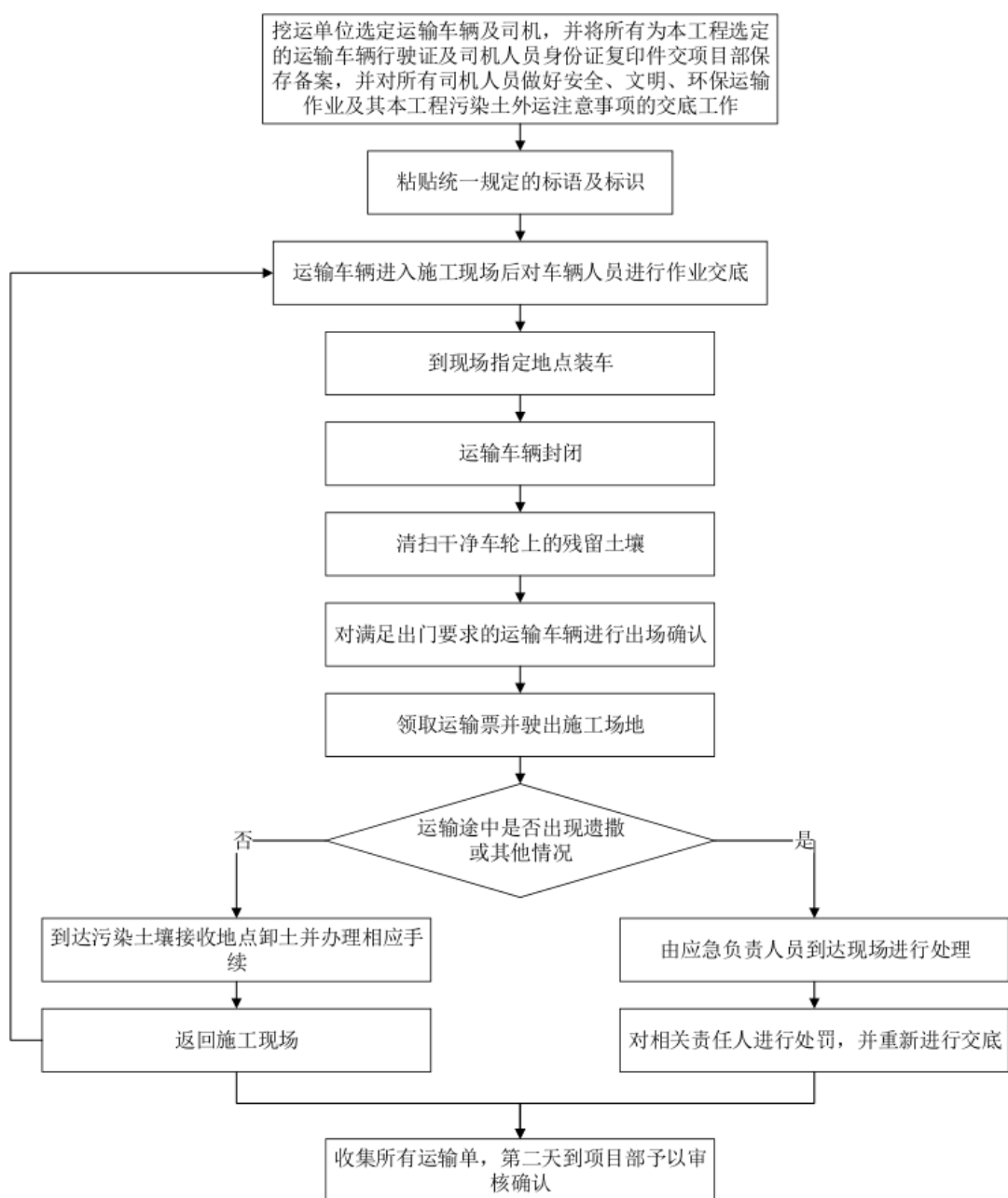


图 8.3-2 土壤场外运输流程

8.3.3 土壤运输规范

● 运输管理要求

(1) 污染土壤运输时要求进行苫盖、密封，防止运输过程中有机气体挥发影响环境空气质量。

(2) 非污染土壤运输时要求进行苫盖，避免运输过程中产生扬尘。

(3) 污染土壤、非污染土壤同时转运时，选派专用车辆进行非污染土壤运输，严禁未经清洗的污染土壤运输车辆直接用于非污染土壤的运输。

(4) 污染土壤运输车辆需配备清理设施和人员防护设备，运输过程中如发生遗撒，应立即安排人员进行清理。

(5) 夜间运输时需减速，注意避开场内道路上的行人和其他车辆，注意观察安全标识。

(6) 雨雪天气时，场内道路清理完成前禁止运输。

(7) 司机及运输随行人员开始运输前，需进行安全文明教育和技术交底，严禁酒后驾驶、疲劳驾驶，严禁运输人员在无防护设备的情况下直接接触污染土。

(8) 场内运输道路等位置定期洒水，避免产生扬尘。

(9) 运输过程中严禁超速行驶，车速控制在 15 km/h 以内。

(10) 污染土壤现挖现装，装载时禁止超载，土壤装载量只能为卡车车厢的 4/5，禁止满载。

(11) 运输道路易发生凹陷情况，应及时组织人员采用渣土或者其他材料进行填充压实，防止运输车辆颠簸及污染土壤散落。

(12) 班前必须对运输车辆进行安全检查，排除安全隐患，并定期的对运输车辆进行维修保养，确保运输车辆能够已正常的工况投入使用。

(14) 运输过程中，用于运输污染土壤的车辆必须有完好的运行工况。用于运输的车厢必须封闭，运输过程中不得有任何泄露或撒落，严禁敞盖车运输污染土壤。

(15) 司机必须积极参加安全文明学习会，进一步落实各项交通安全措施，加强安全行车意识。

(16) 严格遵守交通规则，不能超速、乱抢道等违章行车。运输途中应尽量避免紧急制动，转弯时车辆应减速。通过隧道、涵洞、立交桥时，要注意标高、限速。严禁酒后驾驶，开车时要集中精神，严禁疲劳驾驶。

(17) 运输车辆随车应备有应急包装袋及装卸清扫工具。

(18) 场外运输尽量在夜间进行，降低环境影响。

(19) 污染土壤现挖现装，装载时禁止超载，土壤装载量只能为卡车车厢的 4/5，禁止满载。

(20) 运输车辆必须清理干净上路，特别是车轮清洗，严禁车辆带泥土上路，造成二次污染，破坏市容市貌。

(21) 运输过程中所有严禁车辆恶意鸣笛，严禁一切不文明驾驶行为。

● 溯源机制

(1) 运输污染土壤执行联单管理制度，污染土壤运输车辆由项目部指定专门人员负责管理，车辆统一编号，并发放污染土壤运输单，经监理核实后，运至指定单位的接收地点，具体实施顺序为：发放污染土壤运输单→出场核实→接收场地核实→卸土核实。运输司机、土壤装载方、接收方和监督方都必须填写污染土壤运输单。车辆出发、达到接受监督方的监督和管理，土壤运输单均由监理方参与签发和签收，以严格控制土壤运输流程。

(2) 运输车辆安装 GPS 定位系统，建立监控中心，对运输过程中的每台运输车辆进行实时动态监控和管理，包括车辆的跟踪、调度、监督，行车数据全程记录、安全报警等，同时记录车辆车牌号码、车型、颜色、发动机号、底盘号码、用途等。

(3) 运输车辆必须按指定路线行驶、配合当地居民监督和服从交通管理部门检查与指挥。

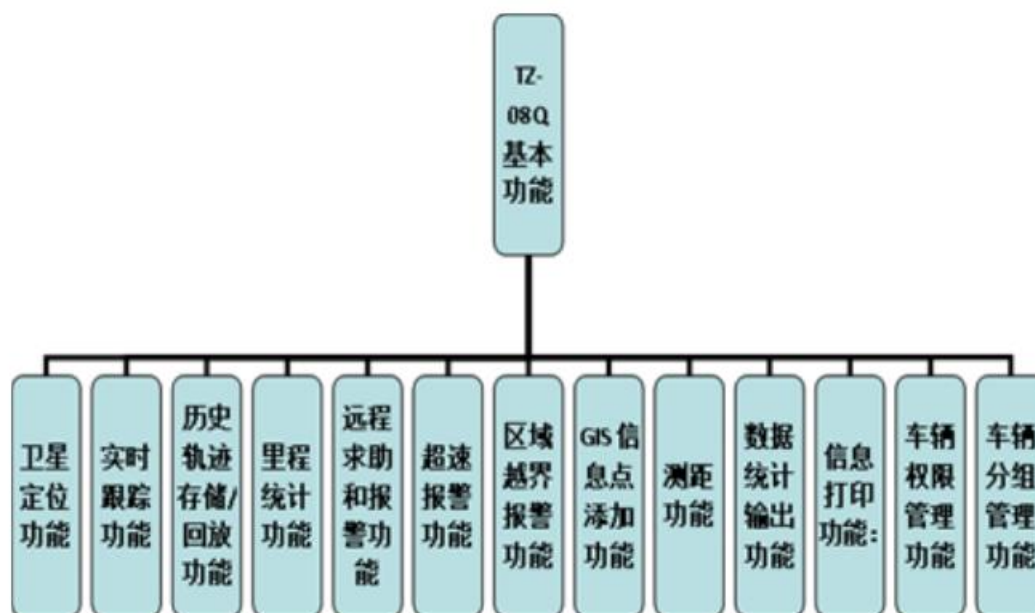


图 8.3-3 GPS 监控设备功能

● 预警机制

(1) 严格执行联单管理制度，重点关注运输车辆在发出场地和接收场地之

间重量差值，一旦重量相差超过 5%，即刻派出专门监督小组，沿车辆运输路线排查，发现遗撒即刻处理，同时检查车辆密封、苫盖状态，及时整改。

(2) 专车监督污染土壤外运途中的遗撒，如发生较大规模遗撒，需立即组织道路应急小组清理。

(3) 运输过程中如发生事故时，驾驶员应立即向项目部报告并同时向当地公安部门报告，并看护好车辆及污染土壤，配合采取一切可能的警示、救援措施。

8.4 修复后土壤处置方式与资源化利用

8.4.1 修复后土壤处置方法

根据《广东省污染地块修复后土壤再利用技术指南（征求意见稿）》、《污染场地修复后土壤再利用环境评估导则》（DB11/T 1281-2015），污染土壤修复后去向主要包括：**建筑用地回填、道路路基、绿化用地基质、填埋场覆土**。广东省较常见的为前 3 种再利用途径。

本修复中心处置对象包括**重金属污染土壤、有机污染土壤和重金属-有机复合污染土壤**三类，修复技术主要包括化学氧化技术、淋洗技术、固化稳定化技术和热脱附技术。

修复后土壤分为两类，去向不同：

一是有机污染土，包括轻、中、重度有机污染土，经热脱附、催化氧化修复达到修复目标，在自检他检合格后，可以作为**正常的清洁土壤使用**，注意修复后的土壤不得用于水源保护地、农田等环境敏感区域。

二是含重金属污染土，包括单一重金属污染和有机-重金属复合污染土，经热脱附、氧化、淋洗及固化稳定化后，有机物去除掉，仅余重金属不能彻底去除，仍然存在浸出毒性风险，该类土壤可以有两个去向，分别是**资源化**（优先考虑，如制砖、陶粒等）和**填埋**（如生活垃圾填埋场、一般工业固废填埋场、渣土堆场等）。

为环境安全和人体健康起见，修复后土壤还需要进行环境可接受性评估之后才能进行再利用。

本修复中心设计中已经考虑了修复后土壤作为填埋场覆土和飞灰层间土等处置途径，根据修复中心预计的污染土处置规模（一期 9 万 m³/年，二期 30 万 m³/年），填埋场剩余容量（240 万 m³，污染土添加比例 20%）可以满足 3-4 年

的处置需求（按一期工程运营 3 年计算）。修复中心服务年限为 20 年（二期），填埋不可能作为唯一的处置方式。

参考上述经验并根据本修复中心的实际情况，本修复中心修复后土壤去向可考虑（1）**资源化利用**，如免烧砖、免烧陶粒、水泥等，（2）在非敏感用地区用作**道路设施用土、绿地用土、矿山生态修复用土、填埋场填土和覆土等**。

区分不同修复工艺的修复土壤用途如下：

（1）**催化氧化**：在自检和他检合格后，可以作为正常的清洁土壤使用。但不得用于水源保护地、农田等环境敏感区域。

（2）**化学淋洗**：适用于砂性土壤，采用表面活性剂、螯合剂、溶剂甚至水等淋洗剂将污染物从土壤中洗脱出来，改修复方法会破坏土壤理化性质，将植物生长所需的营养元素洗脱出来，造成土壤无法再利用，一般再固化后填埋。

（3）**固化/稳定化**：没有从真正意义上去除土壤中的污染物，因此修复后土壤最终处置方式受到了一定程度的限制。

固化处理：适用于低浓度重金属及半挥发性有机物复合污染土。利用水泥或某些胶凝材料，将污染土壤变成“固化块”，从而将污染物“固定”在土壤固体介质中，达到降低污染迁移和风险控制目的。常用的固化处理材料包括：水泥、专利材料、粉煤灰、石灰、沥青等，其中水泥和专利材料使用比例最高。固化处理后，土壤本身功能丧失，处理后土壤的去向或再利用受到很大限制。

稳定化处理：适用于轻、中度重金属及半挥发性有机物复合污染土，且粘土含量较高的土壤。稳定化处理材料包括：碱性材料、含磷材料、含铁化合物、硫化物、粘土等，不同的材料适用的土壤重金属对象不同。稳定化处理后基本保持了土壤本身形状，其后续利用基本不受影响。可以作为路基材料、工程渣土(填土)、绿化用土、填埋场覆土等。

（4）**热脱附**：高温热脱附工艺修复会破坏原有的土壤性质，杀死土壤中土著的微生物，影响了后续土壤的利用。经过热脱附修复后的土壤，主要是回填或者用作路基材料。

修复后土壤在经评估后符合相关标准的前提下，提倡结合实际情况确定土壤资源再利用方式，从风险分析和管控的角度，满足以下任一情形的修复后土壤可允许进行异地转运再利用：土壤中污染物残留浓度低于再利用区用地方式相应的

风险筛选值；再利用区环境可接受性评估表明再利用土壤风险可接受。

根据用途的再利用方式如下：

(1) 道路设施：一般属于第二类用地，修复后土壤作为道路设施用土时，除了满足环境可接受性评估的要求外，再利用区还需满足以下风险管控技术要点：

- ◆ 禁止填方在穿越水源保护区、农田等环境敏感区的道路下方；
- ◆ 穿过填方区的供水管线应做好保护措施，如采用防腐蚀防渗漏套管，填方区附近避免接触排水设施、水量控制设施等；
- ◆ 固化/稳定化体土壤除满足环境质量要求外，需同时满足道路工程要求(参照路基材料相关工程技术指南)，方可再利用。

(2) 路基：分为土方路基和石方路基，含石量在 70%以上的为填石路堤；含石量在 30%~70%为土石路堤。农村公路、乡道、省道、国道一般用土方路基，铁路和高速公路一般用石方路基，土石方路基是为适应特殊要求用到的路基方式。工业废渣用于路堤填筑时，必须符合国家现行环境保护的有关规定，严禁采用含有有害物质的工业废渣作为路堤填料。高炉矿渣、钢渣、煤矸石等可用于路堤填筑的工业废渣，应符合要求：高炉矿渣钢渣应分解稳定，粒径符合规定要求，有足够强度，浸水膨胀率不应大于 2%，压蒸粉化率不应大于 5%

路基回填的费用，包括人工费、材料费、机械费、企业管理费在内，路基回填价格约 50 元/m³，其中天然砂砾石 34 元/m³，综合利润可以达到 5.35%。

以下路基材料不得用于实际施工：

- ◆ 含水量较大的冻土、淤泥土以及沼泽土；
- ◆ 含有丰富易腐蚀物质以及树根等类型的土体；
- ◆ 土壤中有机质含量超过 4%，不得用于路基填料；
- ◆ 塑性指标以及液限指标过大的材料不得用作路基填料。

(3) 绿地用土：修复后土壤作为绿地用土时除了满足环境可接受性评估的要求外，还需满足风险管控技术要点：

- ◆ 修复后的绿地用土回填深度应至少距地面 1 米，上层必须覆盖无污染的厚度至少为 1 米的干净填土；
- ◆ 回填绿地上方不得种植食用作物；
- ◆ 固化/稳定化体土壤的要求同建筑用地回填用土。

该用途土壤价格因地而异，以广州为例，大约为 20 元/m³。

(4) 制造生态水泥：指利用城市垃圾焚烧灰和下水道污泥、修复后土壤等作为主要原料，经过烧成粉磨形成的胶凝材料。生态水泥的基本功能除作为建筑材料的实用性外，还在于维护人体健康、保护环境。生态水泥的制作及其工艺和普通水泥基本相同，由于垃圾灰中的成分不稳定，需要在成分分析后用石灰石粉加以调整，必要时加入适量黏土。一般生产 1t 生态水泥需要垃圾灰 0.5t，下水道污泥（脱水）0.3t，加上石灰石、粘土等原料 0.3t，经匀化成粒后在 1350℃ 下煅烧成熟料，再加入石膏，粉磨制成生态水泥。生态水泥价格与普通水泥相近，约 390 元/吨。

(5) 免烧砖：以粉煤灰、煤渣、煤矸石、尾矿渣、化工渣或者天然砂、海涂泥等一种或数种材料作为主要原料，不经高温煅烧而制造的新型墙体材料。需要考虑土壤的性质、污染物的含量和类型等因素，粘土含量较高、污染物主要为重金属的修复土壤，比较适合焚烧制砖处理。砖瓦厂需要具备对修复后土壤处理或消纳的能力、二次污染防治措施等。

成本价格大约为 2.0~2.5 元/块，售价根据供应条件，大约为 3~3.5 元/块，免烧砖平均利润约为 1 元/块。

(6) 陶粒：以重金属污染土壤：粉煤灰：污泥=75.1：18.7：6.2 的比例，窑预热温度为 350℃，烧成温度 1120℃，烧成温度保持 2 min，从而烧制得到陶粒。

价格因地而异，大约为 100~180 元/m³。

8.4.2 修复后土壤处置案例

根据文献资料调研，选取了国内一些修复后土壤处置或再利用的案例，可供本修复中心参考：

(1) 锰渣及重度污染土壤稳定化后用于道路路基材料

湖南某锰渣工业污染场地的废渣、水池底泥、渣土混合物中，pH、锰、砷等超过《污水综合排放标准》（GB8978-1996）的排放标准限值，为 II 类一般工业固体废物，其中锰渣及重度污染土壤采用稳定化治理，修复总面积达 36037 m²。对稳定化处理后的土壤进行养护，并取样进行浸出毒性检测，检测合格后运送至项目区域做硬化道路的路基材料填埋，应用相关要求如下：

- ◆ 稳定化后锰渣及重度污染土壤强度可满足 30cm 以下路基填方要求；

-
- ◆ 稳定化后锰渣及重度污染土壤渗透系数介于 $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$ ，不易浸出；
 - ◆ 粒径小，液限大于 50%、塑性指数大于 26%，不宜直接作为路基填料，需搭配砂、石后作为路基填料。

(2) 铬污染土稳定化后安全填埋并封场

四川某铬污染场地采用原地异位固化稳定化技术处理污染土壤，用于填埋场填埋（约 14000 m^2 ）。场地建设主要包括基地平整压实、边坡修整、导流层铺设、防渗层铺设和调节池建设等。为进一步管控修复后土壤的风险，将验收合格的土壤分层分区回填到安全填埋场，用推土机摊平后再用压路机压实两遍。修复后土壤全部回填后进行填埋场封场，封场系统由排气层、覆盖层、排水层、植被层组成，以 HDPE 膜为主要覆盖材料，覆盖系统结构自上而下依次为植被营养土层和自然土层。填埋场四周修建截洪沟，封场后在表面增设凉亭、围栏、花岗岩步道、假山，种植花卉、灌木等进行绿化。

(3) 广东某工业污染土壤稳定化后回填

广东省某工业污染场地，重金属污染土修复后经第三方验收合格后，运输至阻隔回填区进行回填处置。阻隔回填区防渗结构采用钢筋混凝土结构，并铺设两布一膜防渗衬层，回填土压实后在其上表面敷设两布一膜和钢筋混凝土盖板，盖板上覆盖清洁土压实至场地原始标高。污染土回填区域可开发为绿化区、广场区、厂房建筑用地或居民活动区等。

(4) 砷污染土壤固化稳定化后填埋+覆土阻隔

河北某化肥厂由于长期生产作业导致厂区存在较严重的砷污染，主要集中在净化车间、铜洗车间及污水处理车间，根据场调报告知：现场最大浓度 4840mg/kg，最大清挖深度为 8.3m。采用固化稳定化技术+覆土阻隔技术（铺设 HDPE，其上覆土 0.5m），污染土壤在与固化稳定化药剂反应 12 小时后，土壤污染物浸出小于 1 mg/L，达到修复目标值。修复土方量 3 万 m^3 ，阻隔铺设量为 1.16 万 m^2 。

(5) 免烧砖和陶粒

免烧砖以黏土为主要原料，添加部分污染土，一般 10%以下。

陶粒可用粉煤灰、煤矸石、污泥与铬污染土混合烧制，在浸出浓度、颗粒强度、表观密度和 1h 吸水率等方面能够达到建材特性品质和环境安全标准。

土壤聚合物，利用偏高岭土、碱激活剂制备，可以得到抗压强度大于 48MPa

的土聚物，对各种重金属离子的固化率达到 90%以上。土壤聚合物是一种类似陶瓷性能的新型材料，拥有许多硅酸盐水泥难以达到的优异性能，抗压、抗酸、经水蚀及辐射作用而不老化，在建筑材料、密封材料、固核固废材料、高强材料和耐高温材料等方面均有应用。

（6）路基填料

水泥与不同稳定剂联用，可以显著降低重金属浸出浓度，使无侧限抗压强度符合要求。有研究表明，铅污染土壤利用水泥固化处理，随水泥添加量和养护时间增加，水泥固化污染土的无侧限抗压强度提高，水泥添加量 7.5%以上时符合路基的强度要求，并且满足浸出标准。

8.4.3 修复土壤再利用的工作程序

根据《广东省污染地块修复后土壤再利用技术指南（征求意见稿）》，修复后土壤再利用工作程序包括：再利用方式确认、调查与资料统计、环境可接受性评估、风险管控技术要点等四个步骤。

8.4.3.1 再利用方式确认

修复中心修复后土壤原址利用即填埋，这里主要针对异址再利用，需进行修复后土壤的采样调查和再利用区的环境调查，通过环境可接受性评估来确定风险。在风险可接受的情况下实施风险管控，进行安全再利用。

从风险分析和管控的角度，允许进行异址转运再利用的条件如下：（1）土壤中污染物残留浓度低于再利用区用地方式相应的风险筛选值；（2）再利用区环境可接受性评估表明再利用土壤风险可接受。

8.4.3.2 调查与资料统计

对于异址再利用的污染土，修复中心的土壤修复目标值应根据拟接收场地的环境质量和用途确定。使用固化/稳定化技术修复的土壤，需要收集浸出浓度检测数据。

对再利用区，要调查用地规划类型和水文地质情况等。当水文地质资料不全时，有必要进行工勘调查和相关的土工试验，收集进行再利用区环境可接受性评估所需的模型参数。

8.4.3.3 环境可接受性评估

包括风险筛选和人体健康风险评估。对固化/稳定化技术修复后的土壤，需

要评估固化/稳定化产物中的污染物浸出对地下水的风险，对比再利用区所在地的地下水保护等级下的污染物浓度限值，污染物浸出浓度未超过地下水水质浓度限值，可在实施相关风险管控措施的前提下进行安全再利用，否则认为其对再利用区地下水存在环境风险，应当考虑进一步修复或重新选择再利用区。

人体健康风险评估方法参考《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014)。

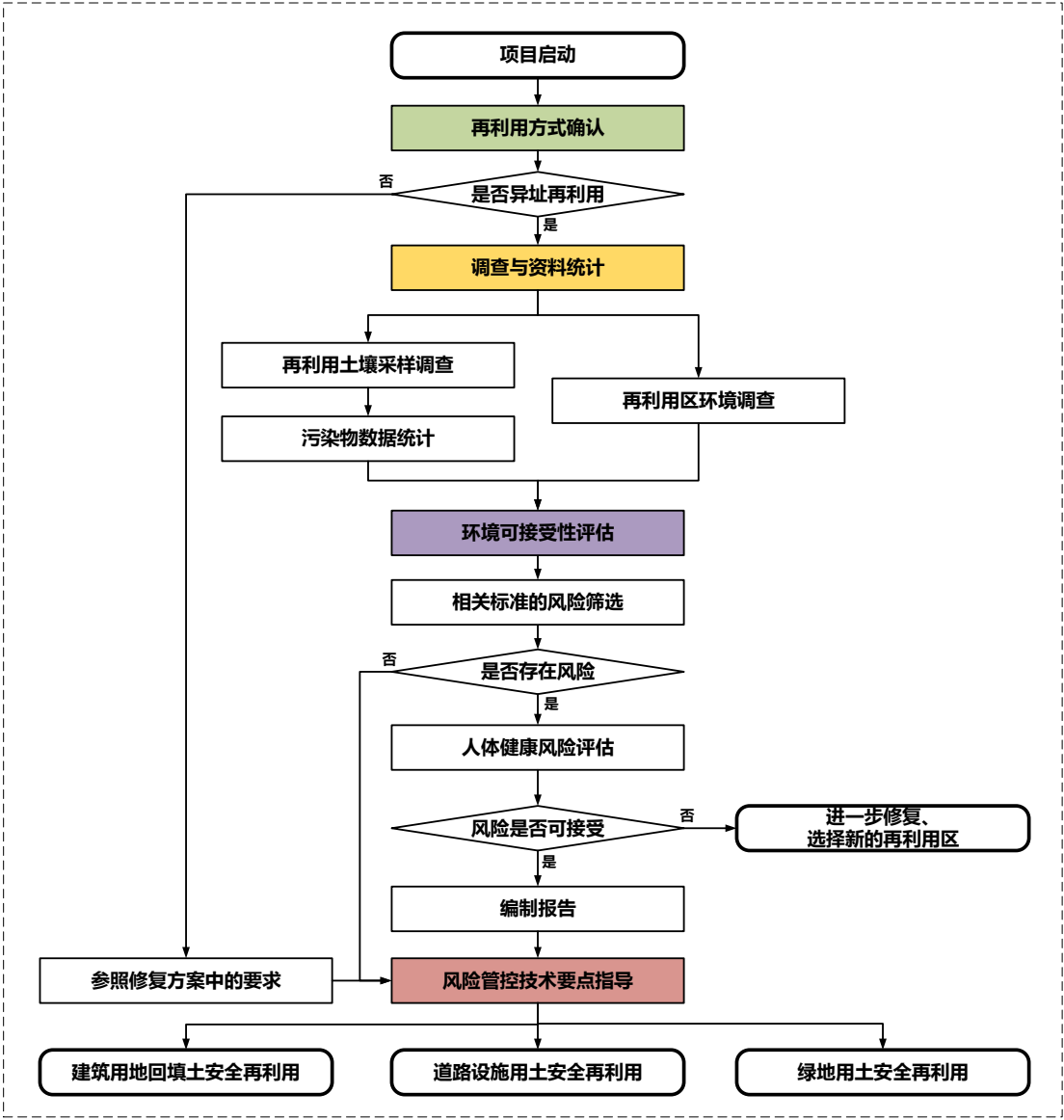


图 8.4-1 修复后土壤再利用工作程序

8.4.3.4 风险管控技术要点

环境可接受性评估合格的再利用土壤，还需针对不同的再利用情景实施相应的风险管控。

(1) 建筑用地回填用土

主要是针对管理盲区较多的固化/稳定化处理土壤风险管控提出补充措施。内容包括规范化工程控制和制度控制措施，以及细化长期监测和维护的内容。

工程控制措施从土壤回填和用土方式两方面对固化/稳定化产物进行风险管控。要求在有连续硬化地面的第一类用地或第二类用地建筑物下再利用，回填深度在当地丰水期地下水最高水位上方至少 1.2 米；回填区底部和顶部铺设警示铁丝网，对区域内的工程活动起到警示作用。

制度控制措施从提高固化/稳定化产物处理区的管理强度进行风险管控。处理区域附近设立告示板，明文规定限制再利用区域地表面的使用方式，还有动工许可和文件存档的要求。

长期监测的要求：再利用期间，监测固化/稳定化产物中污染物的浸出情况，并按照相关环境质量标准的要求，评估污染物浸出对周边环境（尤其是水环境）的影响，以保证在预期时间范围内再利用的环境安全。长期监测的关注重点是固化/稳定化产物对地下水环境的影响。在有充足的证据表明不再需要开展长期监测时，可停止长期监测。

长期维护的要求，见表 8.4-1。

表 8.4-1 长期维护和安全利用注意事项

长期维护计划的主要内容	维护和安全利用措施
根据固化/稳定化产物的处置方式或再利用用途确定维护目标	建设保护系统（如在固化/稳定化产物上方覆土或铺设沥青层），防止固化/稳定产物受到风化的影响
确定固化/稳定化产物的特性	根据特性评估对固化/稳定化产物进行隔离，避免敏感受体与其发生接触
明确保护措施的效果与规范	结合固化/稳定化后期管理的技术要点，制定统一的维护效果评估方法
明确土地使用限制要求	限制土地利用避免对固化/稳定化产物造成破坏（如划定禁止开挖、打钻或种植大根系植物的区域）
明确需要采取维护活动的时	固化/稳定化产物原址用作建筑、路基等工程材

间	料时，根据工程寿命设计维护时间
	固化/稳定化产物原址进行回填处理时，根据污染控制要求确定维护时间
制订数据异常时的处理预案	监测数据异常时的技术要点： a) 开展重复监测分析数据确认监测结果的准确； b) 增加监测频次； c) 采取行动控制污染排放； d) 暂停作业直至影响消除。

(2) 道路设施用土

道路设施一般属于第二类用地，修复后土壤作为道路设施用土时，除了满足环境可接受性评估的要求外，再利用区还需满足以下风险管控技术要点：

- ◆ 禁止填方在穿越水源保护区、农田等环境敏感区的道路下方；
- ◆ 穿过填方区的供水管线应做好保护措施，如采用防腐蚀防渗漏套管，填方区附近避免接触排水设施、水量控制设施等；
- ◆ 固化/稳定化体土壤除满足环境质量要求外，需同时满足道路工程要求（参照路基材料相关工程技术指南），方可再利用。

(3) 绿地用土

修复后土壤作为绿地用土时除了满足环境可接受性评估的要求外，还需满足的风险管控技术要点包括：

- ◆ 修复后的绿地用土回填深度应至少距地面 1 米，上层必须覆盖无污染的厚度至少为 1 米的干净填土；
- ◆ 回填绿地上方不得种植食用作物；
- ◆ 固化/稳定化体土壤的要求同建筑用地回填用土。

建筑用地回填用土、道路设施用土、绿地用土的风险管控技术要点示意图如图 8.4-2。

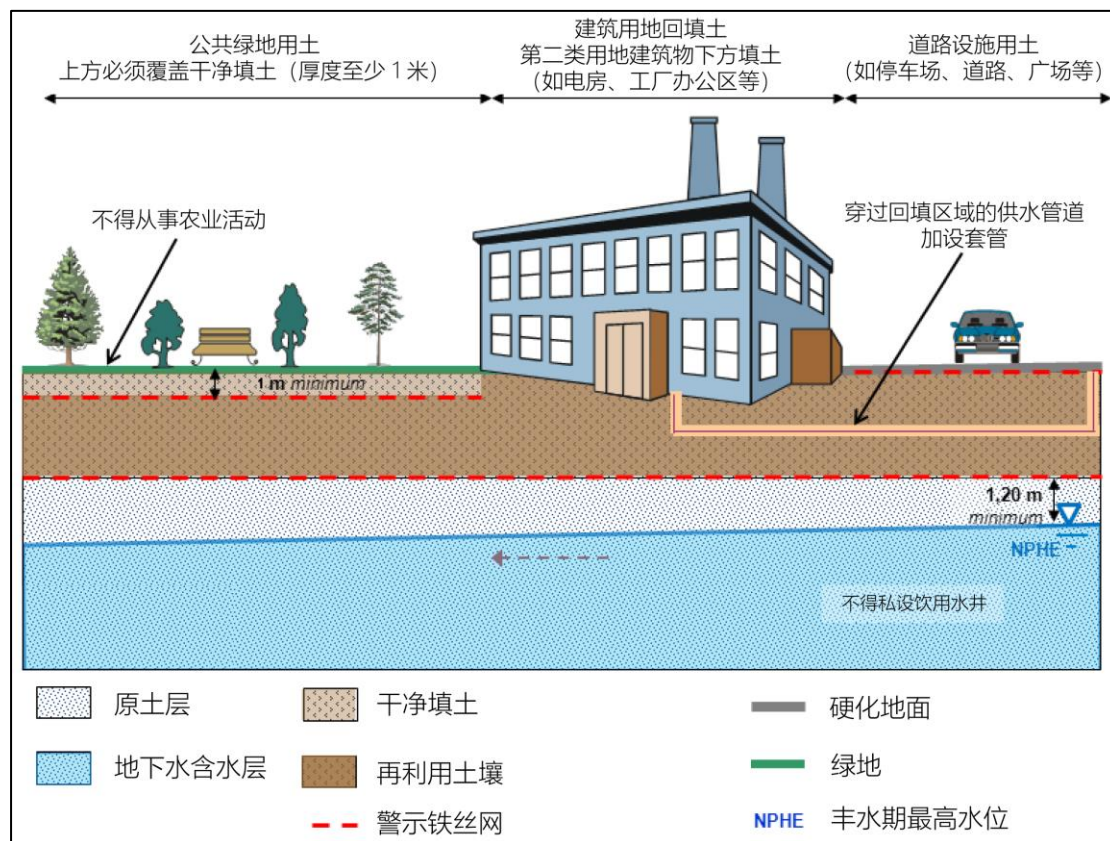


图 8.4-2 风险管控技术要点示意图

(4) 填埋场用土

由于目前还没有填埋场覆土中污染物的浓度限制标准，在环境可接受性评估后的土壤一般都可用作覆土再利用。在大部分情景下垃圾填埋场远离人体活动范围，且其主要环境影响关注点为填埋废物的气味和渗滤液，对覆土的质量要求较宽松，一般只需要满足生活垃圾填埋场工程技术要求即可。

其他未提及的再利用途径，可参考上述相关技术要点，结合实际进行再利用风险管控。

第九章 修复中心运营

9.1 项目组织机构

修复中心是一个独立的运作企业，生产组织及作业机构设置如下：

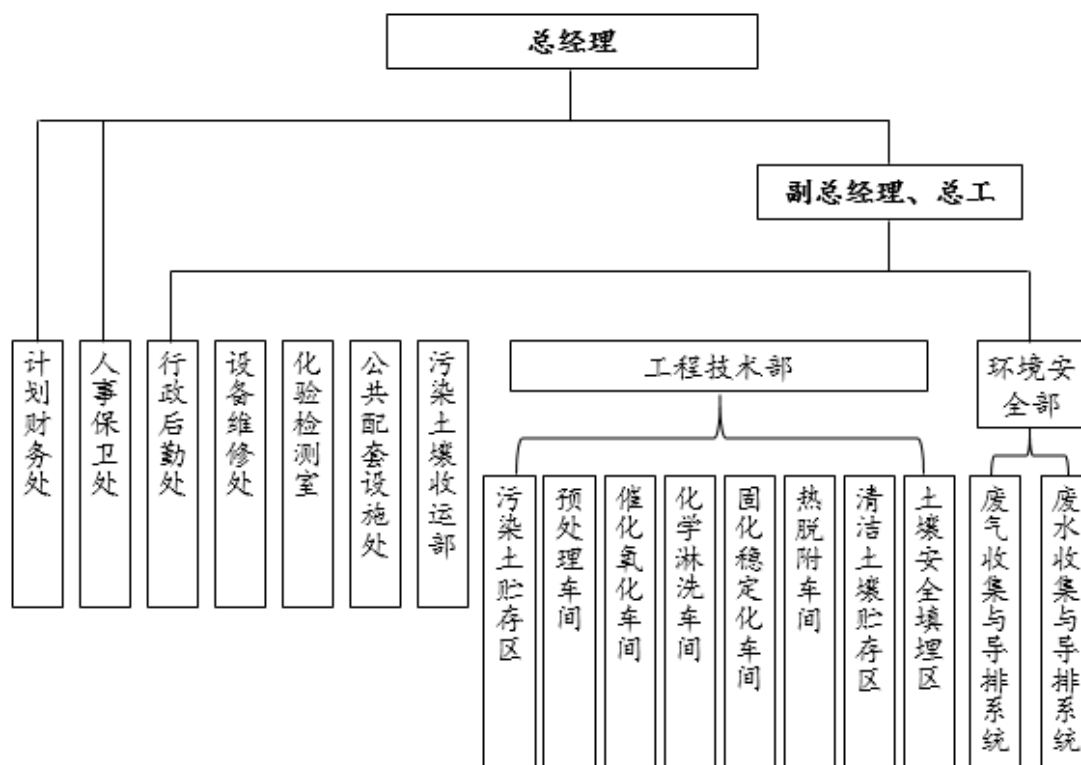


图 9.1-1 生产组织及作业机构

9.2 生产组织

考虑到本项目的实际情况，采用连续工作制，即年工作330天，每天工作1班，每班工作8小时。

9.3 劳动定员

职工定员编制是根据本项目生产工艺的需要，分工种按岗位定员。遵循减员增效的方针进行确定，在充分考虑实际生产需要的情况下，本着精简和提高

效率的原则进行编制。行政管理人员根据需要按修复中心职工总数的比例进行定员。一期和二期建设项目的职工定员明细情况分别如表9.3-1、9.3-2所示。

表9.3-1 修复中心一期职工定员表

部门	岗位	人员数
经营班子		2
管理人员	总经理助理	1
综合管理部	经理/副经理	2
	公共关系岗	3
	行政岗	1
	人事岗	1
	党群岗	1
	纪检监察岗	1
	档案岗	1
	信息岗	1
	司机	1
财务部	经理/副经理	2
	会计岗	2
	出纳	1
经营部	经理/副经理	1
	经营岗	1
	仓库岗	1
工程技术部	经理/副经理	2
	主任工程师	1
	污染土壤收运岗	5
	污染土壤破碎筛分岗	3
	污染土壤淋洗岗	2
	污染土壤固化/稳定化处置岗	4
	污染土壤热脱附岗	3
	粉尘废气处理专责岗	1

	废水收集与处理岗	2
	检验检测室	2
	水电与设备维护	2
	主值班员	5
	副值班员	8
培训部	经理/副经理	1
	培训岗	2
合计		66

表9.3-2 修复中心二期职工定员表

部门	岗位	人员数
经营班子		2
管理人员	总经理助理	1
综合管理部	经理/副经理	2
	公共关系岗	3
	行政岗	1
	人事岗	1
	党群岗	1
	纪检监察岗	1
	档案岗	1
	信息岗	1
	司机	2
财务部	经理/副经理	2
	会计岗	2
	出纳	1
经营部	经理/副经理	1
	经营岗	1
	仓库岗	2
工程技术部	经理/副经理	2

	主任工程师	1
	污染土壤收运岗	15
	污染土壤破碎筛分处置岗	5
	污染土壤热脱附处置岗	8
	污染土壤催化氧化处置岗	6
	污染土壤固化/稳定化处置岗	6
	污染土壤淋洗处置岗	6
	优势微生物处置岗	10
	粉尘废气处理专责岗	6
	水处理专责岗	5
	检验检测室	4
	水电与设备维护	10
	主值班员	20
	副值班员	10
培训部	经理/副经理	1
	培训岗	2
研发部	经理/副经理	1
	研发岗	6
合计		149

9.4 项目建设计划

- 2021.3 完成可研报告；
- 2021.5 获得环评审批；
- 2021.6 编制完成实施方案，召开专家论证会论证；
- 2021.7 绘制完成施工图纸，设备选型与购置；
- 2021.10 完成项目一期工程建设（60 天）；
- 2021.11 设备安装调试与运行；

2024 年 项目二期工程建设（110 天）

（1）土建施工：包括场地整理、公共设施、办公用房、库房、负压构筑物、各工艺处置场、土壤暂存区、废水处理设施等的基础建设 110 天；

（2）设备安装调试 90 天，时间与 1）重叠，确定好设备选型即可开始购置流程，每建好一个处理区即可开始安装调试相应设备；

2024 年 修复中心试运行 60 天，竣工验收 20 天。

第十章 环境保护、工业卫生及安全生产

10.1 环境保护

10.1.1 概述

项目选址于广州市兴丰生活垃圾填埋场及相邻地块，作为工业场地污染土壤修复中心，其本身就属于环境保护工程范畴，具有较高的环境效益和社会效益。由于项目在运行过程中仍将产生不同形式的污染，因此，做好项目的环境保护及安全卫生等方面的工作至关重要，可维持项目良好的环境效益，消除或降低项目运行对环境产生的不良影响。

10.1.2 环境保护标准

(1) 废气排放执行《广东省大气污染物排放限值》(DB44/27-2001) 中第二时段一级标准；

(2) 噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008) 规定的3类功能区厂界环境噪声排放限值。

10.1.3 主要污染源及控制措施

(一) 污染土壤收运过程中可能产生的环境污染及防范措施

当污染土壤收集操作不当，或选择的运输线路和收运时间不合理时，均有可能对环境造成污染，主要有以下几个方面：

(1) 污染土壤收集未按不同污染类型进行分类，或采用的包装物材料、规格、标志不符合要求，将有可能造成运输过程发生流失，污染周围环境；

(2) 污染土壤在运输途中，因包装不当或者由于运输车辆状况不佳、驾驶员违章以及其它的意外事故等将有可能造成污染土壤倾倒、流失等，使环境受到污染或人员受到伤害；

(3) 运送污染土壤的车辆未采用塑料内衬防护和进行帆布盖顶，极易造成污染土壤沿途撒落或淋溶，污染环境。

为防止污染土壤收运过程对环境造成污染，必须采取如下防范措施：

(1) 制定合理、完善的污染土壤收运计划，选择最佳的污染土壤收运时间，运输线路尽量远离城镇及村庄等敏感区域；

(2) 含有不同特征污染物的污染土壤应分开运输，运输污染土壤的车辆必须要有塑料内衬和帆布盖顶；

- (3) 直接从事废物收集、运输的人员，应接收专门培训并经考核合格后方可上岗；
- (4) 运输车辆设置明显标志并经常维护保养，保证车况良好和行车安全；
- (5) 制定必要的突发事故应急处理计划，运输车辆配备必要工器具和联络通讯设备；
- (6) 制定详细的应急预案，以便意外事故发生时及时采取措施，消除或减轻对环境污染危害。

(二) 污染土壤处置过程中的主要污染源及污染控制措施

(1) 废气污染源及控制

(a) 废气种类及处置去向

本项目产生的废气包括：污染土壤暂存区挥发气体、预处理过程产生的废气、热脱附处理产生的废气、土壤化学氧化过程产生的废气、土壤淋洗产生的废气、土壤固化稳定化产生的废气、清洁土壤贮存过程产生的废气等。通过将污染土壤暂存区、破碎筛分车间、化学氧化车间、淋洗车间和固化/稳定化车间置于负压构筑物内，上述废气可通过负压构筑物的气体收集系统，进入尾气处理设施集中处置，实现粉尘和尾气达标排放。各类废气产生和处置去向见表 10.1-1。

表10.1-1 修复中心废气种类和处置去向一览表

序号	废水种类	主要污染物	处置去向
1	污染土壤暂存区挥发气体	粉尘、VOCs、SVOCs	热脱附废气经设备自带废气处理系统处理，其他废气经负压构筑物内的气体收集系统，导入尾气处理设施中集中处置。
2	预处理废气	粉尘、VOCs、SVOCs	
3	热脱附废气	粉尘、VOCs、SVOCs	
4	化学氧化废气	粉尘、VOCs、SVOCs	
5	土壤淋洗废气	粉尘、VOCs、SVOCs	
6	土壤固化稳定化废气	粉尘、VOCs、SVOCs	
7	清洁土壤暂存区废气	粉尘	

(b) 废气收集处置系统建设

本修复中心共建设两个土壤处置负压构筑物。其中，负压构筑物包括污染土壤暂存及破碎筛分处理间，总占地面积2.38万m²；负压构筑物B包括催化氧化车间、固化稳定化车间和化学淋洗车间，总占地面积0.85万m²。

负压构筑物通过将土壤暂存及处理处置过程中产生的废气或粉尘经排风设施排出，进入尾气处理系统处理后达标排入大气中。

负压构筑物出入门系统包括车辆进出通道、人员出入通道和应急出口3类。本处理中心中，负压构筑物设计2个车辆进出通道，规格为15m（长）×5.5m（宽）×5.7m（高）。进出口设置密闭双层自动卷帘门，卷帘门自动一开一闭既保证构筑物的密闭性又方便运输车辆进出，密闭双层门设计图见图 10.1-1。设置1个旋转门作为人员通道，并于大棚四面各设置1个人员应急出口。

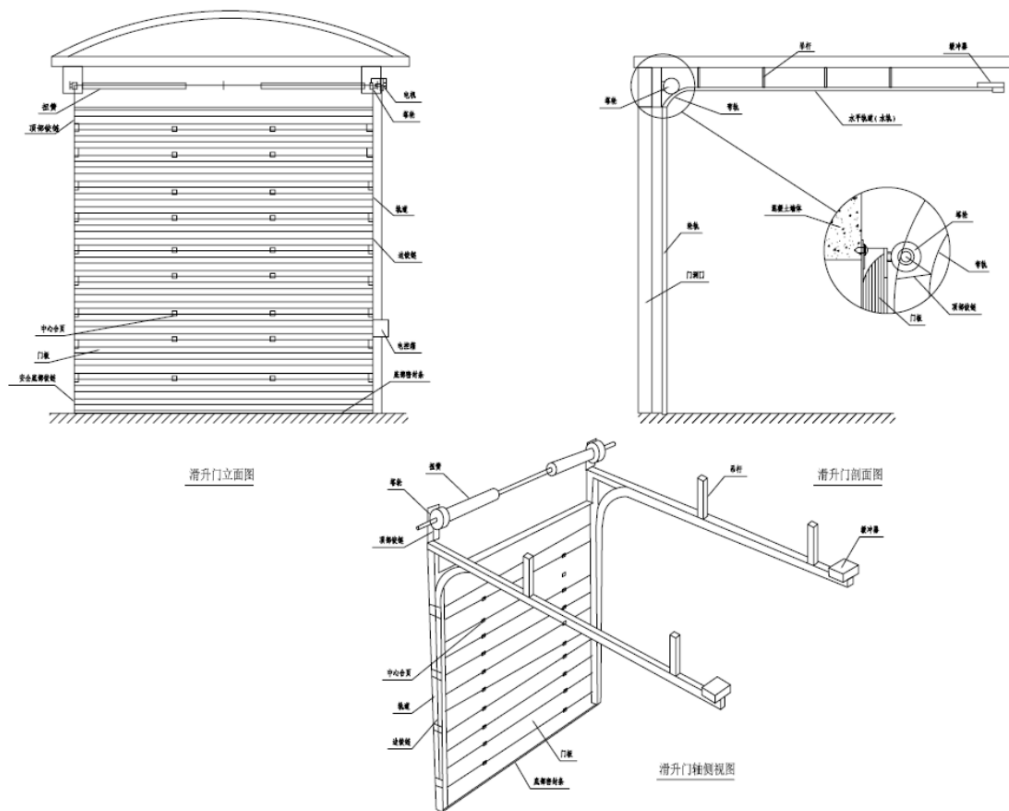


图 10.1-1 密闭双层门设计图

④ 送风系统

送风系统采用自垂式百叶窗自然通风，无能耗、无噪音。正常情况下百叶由于自重而下垂，隔绝大棚内、外空气交换，构筑物内气体不会向外泄露；当构筑物内气压小于外部气压而达到设定值时，外部气流会将百叶吹开，自然地

向构筑物内补充新鲜空气。送风量根据负压构筑物类型和暂存土壤类型设定。

⑤ 尾气净化系统

尾气包括土壤暂存区的挥发气体、各处理方式产生的废气以及清洁土壤暂存区的废气等，具有有毒有害、处理难度大等特点，若不进行及时处理或处理不达标，则会造成二次污染。该场地尾气处理可采用“回收型+破坏型”联合处理，以确保尾气达标排放。

负压大棚内采用滤筒除尘器，对气体中的大颗粒物进行初步过滤，再接入活性炭处理装置，采用活性炭吸附法对气体中细微颗粒物和污染土壤挥发的有毒有害气体进行集中收集、集中处置，最后再采用热催化燃烧的方法，确保尾气达标排放。

除尘+活性炭吸附+热催化燃烧法是负压大棚尾气处理中较为成熟、应用广泛的尾气处理方法。该方法优点在于①技术成熟；②工艺广泛；③净化效率高；④设备简单，操作简便；⑤起燃温度低，能耗小，经济性高。负压大棚依据设计通风量，每数小时换气一次，使用滤筒除尘器和活性炭净化器吸附出中的粉尘、VOCs 和 SVOCs；在催化燃烧中，将烟气氧化脱碳成 H_2O 、 CO_2 等或是采用 Pd、Pt、Ce 多组分 TC79-2H 催化剂处理含烃类污染物和 H_2S 的废气根据大棚内有机污染物的大致浓度范围，计算吸附系统中活性炭的饱和吸附时间，及时更换活性炭。吸附后的活性炭与催化剂等作为危险废物交由有资质的单位进行妥善处理。负压大棚尾气回收处理工艺图如图 10-1.2~图 10-1.6。

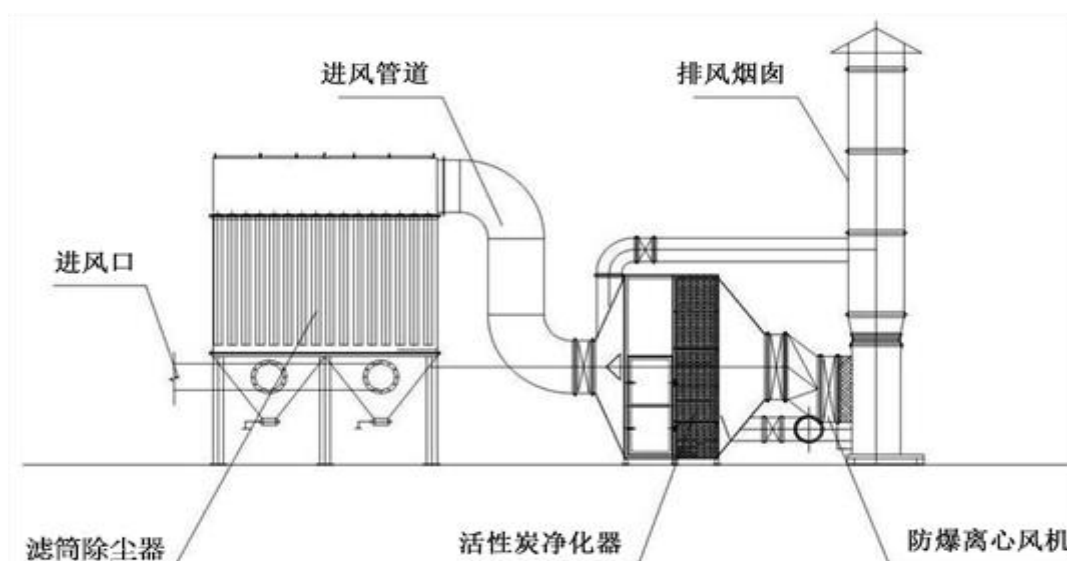


图 10-1.2 负压大棚尾气回收处理工艺图

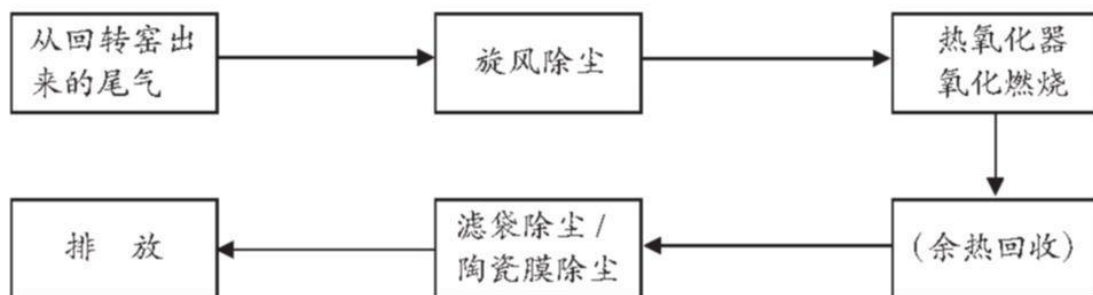


图 10.1-3 除尘+热催化燃烧工艺示意图（脱氯）

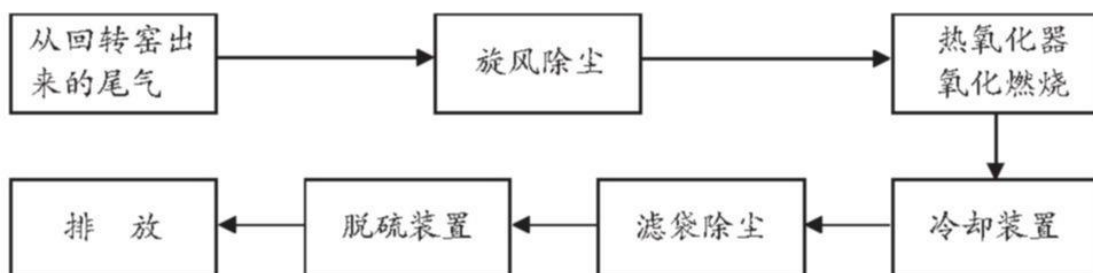


图 10-1.4 除尘+热催化燃烧工艺示意图（脱硫）

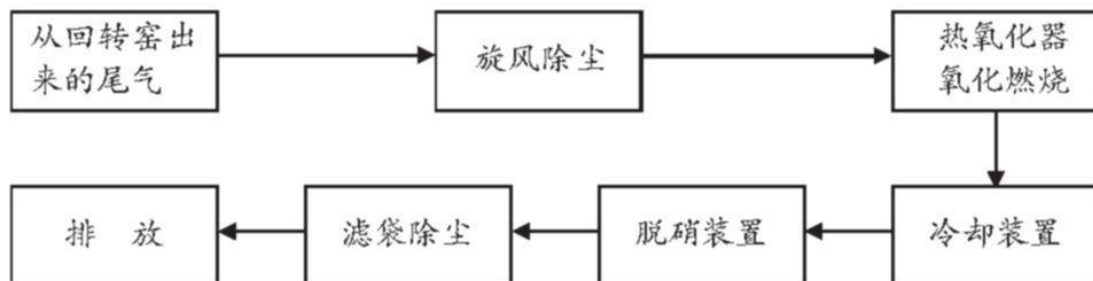


图 10-1.5 除尘+热催化燃烧工艺示意图（脱氮）

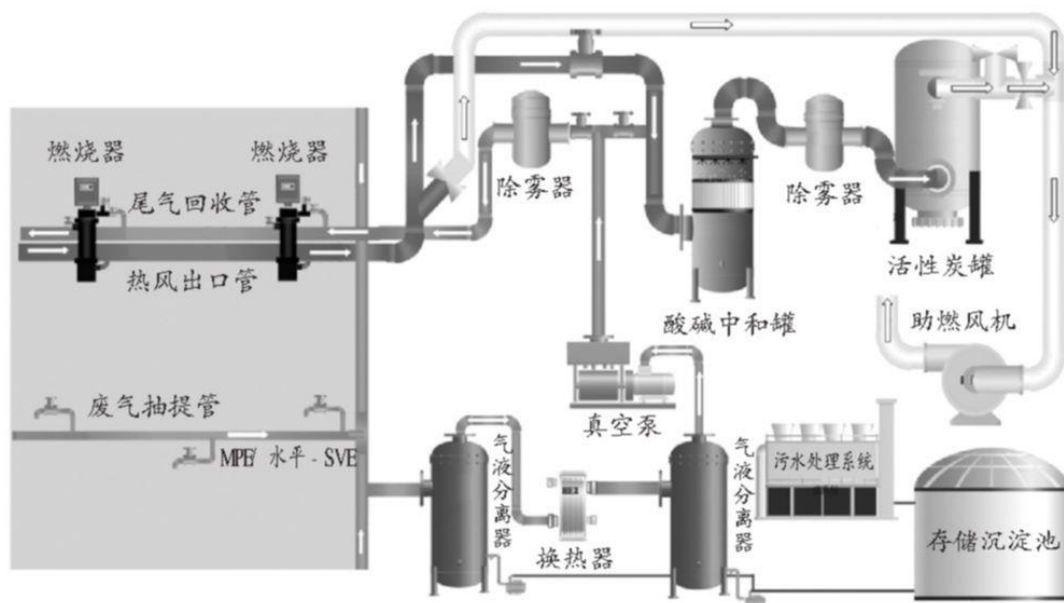


图 10-1.6 除尘+活性炭+热催化燃烧工艺示意图

鉴于本修复中心负压构筑物数量较多、规模较大，为确保各个构筑物尾气处理效率，降低用电成本，尾气处置系统集成于负压构筑物外壁，确保尾气及时、高效处理与处置。

⑥ 安全检测系统

为了保护大棚内作业人员的人身安全，在大棚内设置一套有效的气体监测和控制系统，一旦监测结果超出报警线，智能控制中心会自动完成尾气净化装置与排风风机之间的切换，自动启动活性炭净化装置对废气进行有组织吸附，合格后进行排放。同时，会发声光报警，提示作业人员赶快撤出大棚，保证人身安全。

每个负压构筑物内设计建设环境有毒有害气体在线监控报警仪（检测气体包括：一氧化碳、一氧化氮、苯、乙苯、甲苯、二甲苯等）一套，设备组成包括气体报警控制器和气体探测器，固定安装与气膜内四角。

⑦ 监控、照明系统

监控系统具有全方位、完整、清晰的监控存储功能，通过监控系统对气膜建筑的集中监控，可以在第一时间掌握气膜运行情况的视频画面。从而提高对气膜建筑的有效管理。

照明系统包括室内照明、室外照明、车辆出入通道照明等，作用一是为了满足夜间作业需要，二是为监测系统提供可靠的保障。

⑧ 控制系统

智能管理系统包括：显示屏、监控系统、控制程序、集成式操作台、台式电脑。气膜建筑智能管理系统（即人机界面系统）可以很全面的掌握气膜建筑的运行状态。对不同的气膜结构采用不同的控制界面方案，体现了气膜界面的可编辑性与灵活应用性。智能管理系统能够很好的与传感器、PLC、变频器结合，实现对风压的控制，实现室内空气质量检测、室内温湿度检测、室内压力检测、压力自动调节、实时记录数据、绘制数据变化曲线、工作日志及日志查询、完善的报警功能及灵活的远程监视操作功能。

（2）废水污染源及控制

项目运行期的废水污染源主要包括：

- a) 处理功能单元产生的废水，主要为淋洗废水，其次为热脱附喷淋废水。
- b) 其他污废水：运输车辆冲洗废水，办公区生活污水，场地初期雨水等。

各环节废水产生量核算如下：

（a）污染土壤淋洗废水

污染土壤淋洗废水产生量按经验值水土比为5：1，回用率为50%核算，根据污染土壤淋洗处理量一期为36.36 m³/d，二期为131.58 m³/d计算，最终产生的淋洗废水量分别为90.87 m³/d和328.95 m³/d。

（b）设备、车辆冲洗废水

土壤运输车辆进出场需冲洗，其他处置设备清洁过程也会产生清洗废水。一期和二期的冲洗用水量分别按10 m³/d 和30 m³/d计，排水按用水量80%计，得到一期的冲洗废水产生量为8 m³/d，二期的冲洗废水产生量为24 m³/d。

（c）处理区雨水

广州市常年年平均降雨量为1761 mm，本修复中心二期地块一的面积为6.67万m²，负压构筑物覆盖面积为5.67万m²，裸露地面1万m²，处理区雨水量约为1.76万m³/年。

（d）生活污水

生活污水主要源自办公和处置人员日常生活产生，人员按85人计，生活用水量按150 L/人·d计，则生活用水量为12 m³/d。生活污水的排放量按用水量的80%计，则生活污水的排放量为9.6 m³/d。

为防止水污染，本修复中心拟采取的污（废）水控制和处理措施如下：

(a) 设置污、废水处理系统对以上各部分废水进行相应处理。项目运行期产生的废水和处理区初期雨水全部进入废水处理车间，经处理达标后回用于工艺用水。办公区生活污水经初级处理后导排至填埋场低浓度污水处理厂出水口排至猎德污水处理厂。

(b) 本修复中心场界设置围挡，处理区外围设置排水沟，每间隔一段设置集水坑对雨水进行收集，避免场区内雨水外流导致污染外泄和周边雨水汇入，增加处理区雨水产生量。

(c) 污（废）水处理工艺选择与论证

本处置中心产生的需要集中单独处理的污（废）水主要有：

- 废水：主要为重金属污染土壤淋洗废水、设备和车辆冲洗废水和处置区初期雨水

- 污水：办公区生活污水

特征污染物分析

- 土壤淋洗废水、设备及车辆冲洗废水和土壤处置区初期雨水：特征污染物类型主要有：重金属、有机物、少量持久性有机污染物和残余淋洗剂等。

- 办公区生活污水：主要为易降解溶解性有机物、氮磷等。

- 处理区初期雨水：少量有机物、重金属和氮磷等。

工艺选择与论证

(1) **重金属污染土淋洗废水**：目前处理重金属污染土淋洗废水的方法主要有：沉淀法、高级氧化法和吸附法。各处理方法的技术原理和优缺点见表10.1-2。由于本处置中心采用EDTA作为重金属污染土壤淋洗剂，从节约成本和尽可能增大淋洗剂重复使用次数的角度考虑，可优选沉淀法作为处理本处置中心产生的重金属污染土壤淋洗废水，可在高效沉淀重金属离子的同时不破坏淋洗剂本身的结构，便于淋洗剂的多次重复利用。

(2) **办公区生活污水**：采用成熟的三级化粪池工艺预处理后排至填埋场低浓度污水处理厂，再排入市政污水管网。

(3) **车辆冲洗废水、处置区初期雨水**：含有极少量的土壤有机物和重金属，可经过混凝沉淀预处理后排入填埋场低浓度污水处理厂。

填埋场现有低浓度污水处理厂设计进水量为500 t/d，目前处理量约为260 t/d，剩余的污水处理接纳量为240 t/d，完全满足本处置中心二期的办公区生活污水和经过预处理后的车辆冲洗废水和处置区初期雨水的处理（排放量为81.82 t/d）。

表10.1-2 重金属污染土壤淋洗废水处理技术汇总

处理方法	沉淀法	高级氧化法	吸附法
技术原理	引入某种基团或离子，将原淋洗剂中可溶性络合物置换为难溶性络合物，再通过混凝絮凝或流化床固定的方式分离。主要包括：碱沉淀、硫化物沉淀、铁氧体沉淀、重金属补集剂、离子交换树脂等。	引入氧化性基团，使得重金属络合物中的配位键断裂，从而导致重金属离子与淋洗剂分离。主要包括：铁铝电极、铁碳微电解、Fenton 氧化、光催化氧化、电催化氧化、光电催化氧化等	利用吸附剂对污水中重金属络合物吸附去除，原理为吸附剂表面原子或基团和废水中的某些杂质产生化学键，从而进行分离。常用的吸附剂包括：活性炭、蒙脱石、壳聚糖等。
技术优缺点	优点：可在不破坏淋洗剂化学结果的条件下使重金属与淋洗剂分离，有利于淋洗剂的回收和重复使用。 缺点：需针对特定的重金属选择适合的沉淀剂，并做工艺优化。	优点：重金属破络彻底，便于后续的重金属沉淀去除，适用于成本低廉不考虑淋洗剂回用的有机酸淋洗剂。 缺点：破坏淋洗剂化学结构，不利于淋洗剂的回收和重复使用	优点：络合重金属去除效率高，工艺简单，成本低。 缺点：吸附剂使用寿命短、重金属吸附饱和后再再生困难以及难以回收重金属资源等问题。

10.1-3 修复中心各类废水处置去向一览表

序号	废水种类	主要污染物	产生量 (m ³ /d)	处置方法及去向
2	土壤重金属淋洗废水	高浓度重金属	一期：90.87 二期：328.95	经沉淀法处理后回用于工艺用水
3	设备和车辆冲洗废水	少量重金属和有机物	一期：8 二期：24	经混凝沉淀预处理后排至填埋场低浓度污水处理厂
4	处置区初期雨水	极少量重金属和有机物	二期：48.22	
5	办公区生活污水	COD、BOD、SS、氨氮	二期：9.60	经三级化粪池处理后排至填埋场低浓度污水处理厂出水口排至猎德污水处理厂

(3) 环境噪声污染源及控制

运行期，各处理区对污染土壤的处置过程及运输车辆产生的机械噪声拟通过尽量选用低噪声设备、加强设备维护保养、厂房隔声、绿化等措施，并考虑自然衰减后，使厂界噪声基本符合控制标准要求。

(4) 固体废物污染源及控制

本项目运行期产生的固体废物主要为处理后的清洁土壤，一期设定全部作为兴丰填埋场第三填埋区飞灰填埋层间用土，远期可用作路基用土或矿区回填土。其余固废，如废水处理系统外排污泥返回固化稳定化单元处理。

10.1.4 环境监测

(1) 物联网环境监测

采用“物联网环境监测技术”对本修复中心污染土壤异位修复产生的二次污染物进行实时、智能化监控，如图10.1-7所示。污染源监测包括：密封构筑物、热脱附烟气排放口、污废水集中处理排放口、修复中心下游地下水等。监测项目、监测频率、地下水监测点的布设等将根据有关要求及规范在下阶段设计中明确。

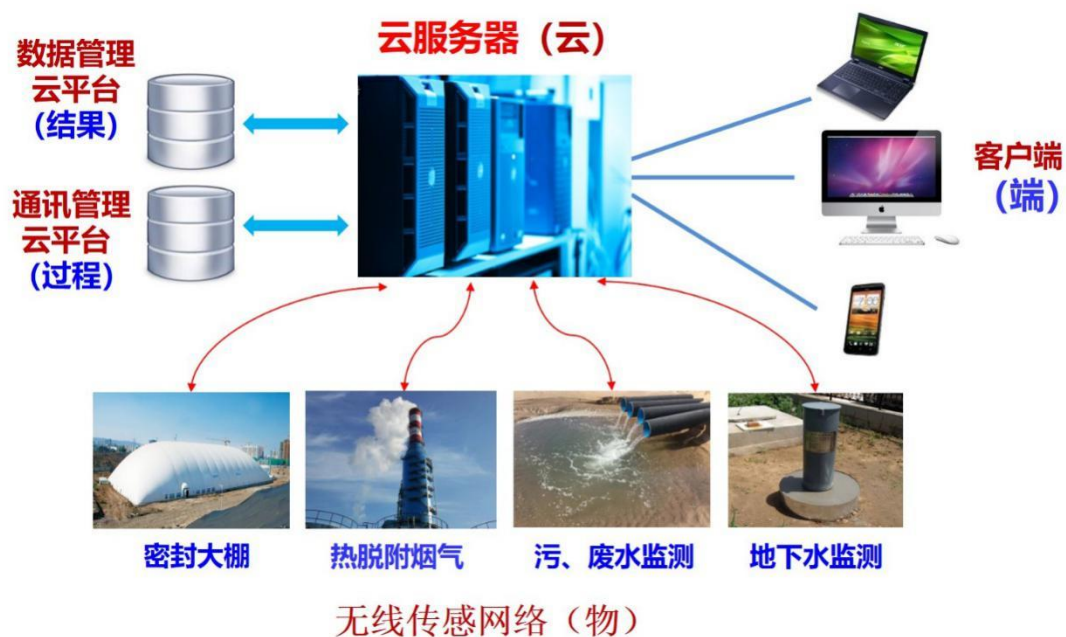


图 10.1-7 修复中心物联网环境监测系统示意图

(2) 监测人员和设备配置

根据本项目的实际情况，环境监测人员按表9.3-1、9.3-2修复中心职工定员表的人数进行配置，相关监测仪器、设备和化验室依托兴丰垃圾填埋场自有化验室和测试条件解决。



图11.1-8 修复中心一期环境监测布点位置图



图11.1-9 修复中心二期物联网环境监测布点位置图

10.2 工业卫生及安全生产

10.2.1 采用标准

为了贯彻国家关于企业安全生产的指导精神，保障职工身体健康，本项目充分考虑了安全生产与工业卫生方面的要求，在设计中严格遵守国家颁布的安全卫生规定和标准，所依据的主要技术文件有：

- (1) 《建设项目(工程)劳动安全卫生监察规定》(劳动部1997.1. 1);
- (2) 《工业企业设计卫生标准》(TJ36-79);
- (3) 《建筑设计防火规范》(GBJ16-87, 2001年局部修订);
- (4) 《构筑物抗震设计规范》(GB50191-93);
- (5) 《工业企业厂内运输安全规定》;
- (6) 《职业性接触毒物危险程度分级》(GB50-44-85);
- (7) 《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》(GB50058-92);
- (8) 《低压配电设计规范》(GB50054-95)。

10.2.2 安全防火

为贯彻“预防为主，防消结合”的方针，防止和减少火灾危害,本修复中心采取的主要消防措施有：

(1) 根据《建筑设计防火规范》(GB50016-2014) 规定，同一时间火灾次数为一次、火灾延续时间为2 h,室内、室外一次消防总用水量按 $180 \text{ m}^3/\text{s}$ 考虑。消防给水与生产、生活给水合用一套供水系统，消防用水与生产、生活用水分开贮存于高位水池中，保证足够的消防水压，并有平时不动用消防用水的措施。

(2) 综合办公楼内各层拟配备闭式自动喷水灭火设备，变电所配备干粉灭火器；

(3)各建筑物的耐火等级、防火间距等符合《建筑设计防火规范》中的有关要求。

10.2.3 应急事故对策

(1) 污染土壤的运输严格执行国家有关危险货物运输管理的规定。对含有不同特征污染物的污染土壤进行分别运输，制定合理、完善的污染土壤收运计划，优化运输线路和收运时间，对运输污染土壤的车辆进行明显标志，并经常维护保养，保证车况良好和行车安全，尽量避免意外事故的发生。

-
- (2) 制定运输过程中突发事故的应急措施和防范措施，及时处理突发事故，减少人员伤亡及财产损失。
 - (3) 污染土壤进入暂存区后，应按特征污染物种类进行分类登记和存放，严禁出现记录不清、记录丢失和污染土壤存储时间过长等现象。
 - (4) 在预处理操作过程中，严格按有关操作规程操作，防止因责任心不强造成意外事故发生，并制定一系列应急处理措施。
 - (5) 配备专职的安全管理人员，工作人员上岗前均应接受安全教育，为操作人员配备安全防护帽、衣物、手套、鞋等个体劳保用品，在处理含有易中毒污染物的土壤时必须配备防毒面具。
 - (6) 设备的裸露转动部分设有安全防护罩、安全围栏或防护挡板；
 - (7) 电器设备考虑防雷与接地措施，低压配电系统的安全严格按《低压配电设计规范》设计。
 - (8) 各建(构)筑物按地震基本烈度6度设防。

10.2.4 工业卫生及安全保护

- (1) 凡接触污染土壤的工作人员，均发给必要的劳动保护用品；
- (2) 各处理区操作室、综合办公楼均设置空调，保证良好的操作、办公、生活条件；
- (3) 各处理区内不设隔墙，可加强通风效果，同时定期洒水降低处理区内粉尘对人体的危害。
- (4) 物料、化学品暂存仓库、机汽修车间设置轴流风机通风，化验分析室设置通风柜进行通风换气；
- (5) 合理进行总图布置，操作室、办公区布置在预处理及处理设施的上风向，避免空气污染源对其产生影响；
- (6) 职工饮食依托兴丰生活垃圾填埋场职工食堂，严格按照《食品卫生法》和有关规范要求设计和管理，确保职工饮食卫生安全。

第十一章投资估算与资金筹措

11.1.编制原则

本工程项目估算编制原则：

- (1) 《建筑工程设计文件编制深度规定（2016）》
- (2) 《市政公用工程设计文件编制深度规定（2013）》

11.2.编制内容

工程项目投资估算编制内容包括：

- (1) 第一部分费用：建筑工程费、设备购置费、安装工程费及其他费用；
- (2) 第二部分费用：工程建设其他费用；
- (3) 第三部分费用：工程预备费用；
- (4) 建设期贷款利息；
- (5) 铺底流动资金。

11.3.投资估算编制依据

（1）定额及计价依据：

- ① 《市政工程投资估算编制办法》（建标（2007）164号文）
- ② 《全国市政工程投资估算指标》（2007版）
- ③ 《广东省房屋建筑与装饰工程综合定额》（2018）
- ④ 《广东省市政工程综合定额》（2018）
- ⑤ 《广东省通用安装工程综合定额》（2018）
- ⑥ 参照同类项目经济指标

（2）2021年03月《深圳市建设工程工程材料指导价格》文件，不足部分参考当地实际情况，按现行市场价计取。

11.4.工程建设其他费用编制依据

- (1) 基本建设项目建设成本管理规定 财建[2016]504号；
- (2) 监理费按国家发改委、建设部发改价格[2007]670号文计算；
- (3) 建设项目的咨询费参考计价格[1999]1283号文计算；
- (4) 设计费参照中设协字[2019]7号计取；
- (5) 施工图审查费按勘察设计费的6.5%计取；

-
- (6) 竣工图编制费按设计费的8%计取;
 - (7) 环境影响咨询服务费参照国家计委、国家环保总局计价格[2002] 125号计算;
 - (8) 招标代理服务费按发改价格[2011]534号文件计算;
 - (9) 基本预备费以工程费用与工程建设其他费用之和为基数, 按10%计取。
 - (10) 其余未注明取费依据参照《市政工程投资估算编制办法》(建标[2007]164号) 计取。

11.5.工程投资

本项目工程总投资估算为54070.71万元, 其中: 第一部分工程费用为30713.00万元(一期工程费用为4259.000万元, 二期工程费用为26454万元), 第二部分工程建设其他费用为17143.05万元(含征地费用13121.00万元), 第三部分工程预备费用4785.61万元, 第四部分建设期贷款利息487.09万元(仅考虑一期工程投资建设期贷款利息), 第五部分铺底流动资金941.96万元。

11.6.资金筹措与投资计划

本项目工程总投资估算为54070.71万元。所需资金来源全部由社会资本投入: 其中企业自有资金为20%, 银行贷款为80%, 贷款利率按当期银行中长期的市场贷款利率4.65%计。

表 11.6-1. 投资估算表

序号	工程和费用名称	估算金额（万元）					占总投资比例	技术经济指标(万元)			备注
		建筑工程	设备购置	安装工程	其他费用	合计		单位	数量	单价	
1	第一部分工程费用	16973.00	12346.00	1394.00		30713.00	56.80%				
1.1	一期工程	1659.00	2352.00	248.00		4259.00	7.88%				
1.1.1	污染土壤运输车		120.00			120.00	0.22%	辆	3	40	
1.1.2	污染土壤暂存区	276.00	279.00	31.00		586.00	1.08%	m²	3000	0.092	地表硬化、负压大棚；气体净化设备、破碎筛分设备；
1.1.3	污染土壤固化稳定化	289.80	333.00	37.00		659.80	1.22%	m²	3150	0.092	地表硬化、负压大棚；气体净化设备、固化稳定化设备；
1.1.4	污染土壤淋洗	128.80	360.00	40.00		528.80	0.98%	m²	1400	0.092	地表硬化、负压大棚；气体净化设备、淋洗设备、淋洗废水处理设备；
1.1.5	污染土壤热脱附	29.40	675.00	75.00		779.40	1.44%	m²	2450	0.012	地表硬化、热脱附设备（自带废气废水处理）；
1.1.6	清洁土壤待检区	160.00				160.00	0.30%	m²	32000	0.005	防雨防渗篷布（堆体之上）
1.1.7	土壤分析检测仪器及配套条件	250.00	585.00	65.00		900.00	1.66%				液相色谱、气相色谱、液相色谱-质谱联用、气相色谱-质谱联用、电感耦合等离子体质谱、原子吸收光谱及配套设备、现有实验室改造等
1.1.8	配套设施建设	525.00				525.00	0.97%				道路修建和维护、管道铺设、热源转接、给排水、接电等
1.2	二期工程	15314.00	9994.00	1146.00		26454.00	48.92%				
	地块 1										

序号	工程和费用名称	估算金额（万元）					总投资比例	技术经济指标(万元)			备注
		建筑工程	设备购置	安装工程	其他费用	合计		单位	数量	单价	
1.2.1	进出场平台	12.00	72.00	8.00		92.00	0.17%	m²	1000	0.012	地表硬化，洗车设备；
1.2.2	污染土壤运输车		400.00			400.00	0.74%	辆	10	40	
1.2.3	污染土壤暂存区	2059.20	1080.00	120.00		3259.20	6.03%	m²	15600	0.132	地表硬化、负压构筑物；气体净化设备、破碎筛分设备；
1.2.4	化学氧化车间	1782.00	765.00	85.00		2632.00	4.87%	m²	13500	0.132	地表硬化、负压构筑物；各处理车间设备费；
1.2.5	固化稳定化车间		702.00	78.00		780.00	1.44%				
1.2.6	淋洗车间		405.00	45.00		450.00	0.83%				
1.2.7	微生物反应器车间		1125.00	125.00		1250.00	2.31%				
1.2.8	热脱附车间	66.00	1080.00	120.00		1266.00	2.34%	m²	5500	0.012	
1.2.9	废水、废气集中处置区	18.00	675.00	75.00		768.00	1.42%	m²	1500	0.012	地表硬化、废水处理设备、废气处理设备；
1.2.10	智能控制管理、环境监测物联网系统	280.00	540.00	60.00		880.00	1.63%				网络平台构建、多点监控等设备
1.2.11	其他配套设施	6500.00	2250.00	250.00		9000.00	16.64%				办公楼（含土壤分析检测室）、储物、水电、道路、管网和消防等
	地块 2										
1.2.12	污染土暂存区	2640.00	112.50	12.50		2765.00	5.11%	m²	20000	0.132	地表硬化、负压构筑物；土壤挖掘设备、气体净化设备；
1.2.13	微生物强化处理车间	158.40	180.00	20.00		358.40	0.66%	m²	1200	0.132	地表硬化、负压构筑物；气体净化设备、生物反应器；
1.2.14	废水、废气处理车间	18.00	315.00	35.00		368.00	0.68%	m²	1500	0.012	地表硬化、废水废气处理设备；

序号	工程和费用名称	估算金额（万元）					总投资比例	技术经济指标(万元)			备注
		建筑工程	设备购置	安装工程	其他费用	合计		单位	数量	单价	
1.2.15	优势微生物菌根植物处理区	1106.40	126.00	14.00		1246.40	2.31%	m²	92200	0.012	地表硬化、翻耕机 4 台；
1.2.16	水电、储物区	24.00	166.50	18.50		209.00	0.39%	m²	2000	0.012	地表硬化、变电和储物设备等；
1.2.17	其他配套设施建设	650.00		80.00		730.00	1.35%				场区道路、绿化、管网、消防等；
2	第二部分工程建设其他费用				17143.05	17143.05	31.70%				
2.1	建设用地费				13121.00	13121.00	24.27%				
2.2	建设单位管理费				561.13	561.13	1.04%				参考财建(2016)504 号文
2.3	建设工程监理费				562.02	562.02	1.04%				参考发改价格[2007]670 号文
2.4	编制项目建议书				26.57	26.57	0.05%				参考计价格[1999]1282 号文
2.5	编制可行性研究报告				53.79	53.79	0.10%				参考计价格[1999]1283 号文
2.6	勘察测量费				245.70	245.70	0.45%				工程直接费的 0.8%计取
2.70	工程设计费				997.48	997.48	1.84%				参考中设协字[2019]7 号
2.8	施工图预算编制费				99.75	99.75	0.18%				按设计费用的 10.0%计取
2.9	竣工图编制费				79.80	79.80	0.15%				按设计费用的 8.0%计取
2.1	施工图审查费				80.81	80.81	0.15%				按勘察设计费用的 6.5%计取
2.11	工程招标代理服务费				40.91	40.91	0.08%				参考计价格[2011]534 号文
2.12	环境影响评价费				27.79	27.79	0.05%				参考计价格[2002]125 号文
2.13	场地准备费及临时设施费				307.13	307.13	0.57%				工程直接费的 1.0%计取
2.14	工程保险费				153.57	153.57	0.28%				工程直接费的 0.5%计取
2.15	生产职工培训费				243.00	243.00	0.45%				按定员 81 人*0.6*年工资福利*0.5

序号	工程和费用名称	估算金额（万元）					总投资比例	技术经济指标(万元)			备注
		建筑工程	设备购置	安装工程	其他费用	合计		单位	数量	单价	
2.16	办公及生活家具购置费				16.20	16.20	0.03%				按定员 81 人计取，人均 2000 元
2.17	联合试运转费				123.46	123.46	0.23%				按设备购置费的 1.0%计取
2.18	检验检测费用				183.67	183.67	0.34%				按建筑安装工程费用的 1.0%计取
2.19	水土保持咨询服务费				175.08	175.08	0.32%				参考水保监[2005]22 号文
2.20	社会稳定风险评估报告				32.09	32.09	0.06%				参考发改投资[2012]2492 号文
2.21	职业病危害预评价费				12.11	12.11	0.02%				参考省安全生产协会
3	第三部分工程预备费用				4785.61	4785.61	8.85%				
3.1	基本预备费				4785.61	4785.61	8.85%				按工程费用与其他费用之和的 10% 计
3.2	材差预备费				0.00	0.00	0.00%				
4	建设项目静态投资（1+至 2+3）				52641.66	52641.66	97.36%				
5	固定资产投资方向调节税				0.00	0.00	0.00%				
6	建设期贷款利息				487.09	487.09	0.90%				
7	铺底流动资金				941.96	941.96	1.74%				
8	建设项目动态投资（4+至 7）	16973.00	12346.00	1394.00	23357.71	54070.71	100%				

11.7.财务分析

11.7.1 编制依据

- (1) 《建设项目经济评价方法与参数》（第三版）国家计委、建设部发布；
- (2) 《市政公用设施建设项目经济评价方法与参数》建标〔2008〕162号；
- (3) 《投资项目经济咨询评估指南》——中国国际工程咨询公司编著；
- (4) 《基础设施和公用事业特许经营管理办法》（2015年第25号令）
- (5) 国家计委、建设部、环保总局计投资〔2002〕1591号文；

11.7.2 编制原则

- (1) 内容和深度应能满足国家对审批项目可行性研究报告的要求，尽可能做出全面、详细、完整的评价。
- (2) 在确定设计规模的基础上，按照推荐方案进行计算编制。
- (3) 方法是对各种经济因素进行调查、研究、预测、计算及论证、应用定量分析和定性分析，宏观效益和微观效益相结合的原则。
- (4) 评价依据国家发改委、建设部2006年7月3日颁发的“建设项目经济评价方法和参数”
- (5) 本经济评价在计算期内各年使用统一价格，财务评价使用行价格。
- (6) 在经济评价中有意识将企业推向市场，尽量以经营销售收入来衡量工程项目的财务盈利。

11.7.3 基础数据

- (1) 项目规模：一期年处理量为25.13万t；二期年处理量为93.14万t。
- (2) 计算期：合作期共21年（含2年建设期和20年生产运营期）；
- (3) 资金筹措：企业自筹(其中企业自有资金为20%，银行贷款为80%，贷款利率按当期银行五年期以上市场贷款利率4.65%计)
- (4) 固定资产折旧：根据《财政部关于印发企业会计准字解释第2号的通知》（财会[2008]11号）：“采用建设运营移交方式（BOT）参与公共基础设施建设业务，企业所建造基础设施不应作为项目公司的固定资产”。结合市政基础设施同类型项目特点和行业惯例，本项目采用综合折旧平均年限法，按固定资产平均折旧年限计。

- (5) 无形资产和其他资产采用平均年限法按10年摊销，不计提残值。
- (6) 城市建设维护费7%，教育附加3%，地方教育附加2%。
- (7) 所得税率：2008年实施的新企业所得税法规定，所得税按25%计算。
- (8) 增值税及附加：参照《财政部、税务总局、海关总署公告2019年第39号<关于深化增值税改革有关政策的公告>》增值税税率按9%计；

11.7.4 成本费用分析

本项目总成本费用主要包括外购原料燃料动力费用，人员工资福利费用，修理维护费用，其他管理费用及折旧、财务费用等。经测算本项目年均运行总成本和年均经营成本如下：

(1) 工资福利费

员工工资及福利：参照当地工资水平，考虑实际工作环境因素，人均含税工资为108000万元/人·年。

(2) 修理维护费

修理维护费是指项目全部固定资产的修理维护费用。大修费用采用预提（或摊销）方式按相应费率在成本中列支，费率按国家发改委、建设部发改投资[2008]162号文《市政公用设施建设项目经济评价方法与参数》为固定资产原值的2.0%。

(3) 年其他管理费用

其他管理费用是指企业为组织和管理项目生产经营所发生的管理费用，包括公司经费（物料消耗、低值易耗品摊销、办公和差旅费用等）、业务招待费、其他税费、研究开发费等，以及不属于以上项目支出的临时工程费等。年其他管理费用按国家发改委、建设部发改投资[2008]162号文《市政公用设施建设项目经济评价方法与参数》取费费率为12%。

(4) 根据各设计专业提供的物料消耗资料；外购原材料、辅助材料、燃料等按现行市场价格计算；

一期经营成本费用如下：

表 11.7-1. 一期经营成本费用表

一期污染土壤转运年处理成本：						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注

1	柴油	t	40.5	8200	33.21	0.45 kg 油/m ³ 土
2	自卸车运输	m ³ ·km	135	15	150.00	3 元/ m ³ 土·km, 场内 5 km
3	水	m ³	2640	4.86	1.28	运输车辆冲洗用水, 按 8 m ³ /d 计
4	电	度	90000	0.85	7.65	土壤传送带用电, 1 度/m ³ 土
5	工资及福利	个	5	108000	54.00	10.8 万元/人
6	小计	——	——	——	246.14	——
一期污染土壤破碎筛分年处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	柴油	t	45	8200	36.90	破碎筛分设备 0.5 kg 油/m ³ 土
2	电	度	23760	0.85	2.02	负压大棚用电, 3 度/h, 年运行 330 天
3	工资及福利	个	3	108000	32.40	10.8 万元/人
4	小计	——	——	——	71.32	——
一期污染土壤固化稳定化年处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	水泥	t	1688	600	101.25	按处理土方量 1.5%计
2	稳定剂	t	1688	2000	337.60	按处理土方量 1.5%计
3	水	m ³	15000	4.86	7.29	按 0.2 m ³ 水/m ³ 土
4	电	Kw·h	37500	0.85	3.19	固化稳定化设备用电, 0.5 度 /m ³ 土
5	工资及福利	个	4	108000	43.20	10.8 万元/人
6	小计	——	——	——	492.53	——
一期污染土壤热脱附处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	沼气	m ³	8400000	0.35	294.00	按 80 m ³ /t 土, 天然气燃烧热值 50%计
3	电	Kw·h	70000	0.85	5.95	热脱附设备用电, 按 1 度/m ³ 土
4	工资及福利	个	3	108000	32.40	10.8 万元/人
5	小计	——	——	——	332.35	——
一期污染土壤淋洗处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注

1	EDTA	t	410.29	1000	41.03	按固液比 1:5 计 EDTA 0.05 mol/L, 循环 4 次
2	水	m ³	28125	4.86	13.67	
3	电	度	11250	0.85	0.96	淋洗设备用电, 按 0.5 度/m ³ 土
4	工资及福利	个	2	108000	21.60	10.8 万元/人
5	小计	——	——	——	77.26	——
一期废水处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	絮凝剂	T	4.89	2000	0.98	按 150g/m ³ 废水
2	助凝剂	T	0.49	8500	0.42	按 15g/m ³ 废水
3	硫化钠 (络合重金属置换剂)	T	25.45	2500	6.36	按 780g/m ³ 废水
4	电	Kw·h	9788.13	0.85	2.27	按 0.3 Kw·h /m ³ 废水
5	工资及福利	个	2	108000	21.60	——
6	小计	——	——	——	31.63	——
一期负压大棚除尘和有机废气处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	活性炭	T	20	6000	12.00	——
2	电	Kw·h	455000	0.85	38.68	——
3	工资及福利	个	3	108000	32.40	——
4	小计	——	——	——	83.08	——
一期重金属污染土用作飞灰填埋层间用土成本:						
序号	项目	单位	使用量	单价	费用 (万元)	备注
一	场内转运				9175.68	
1	道路构建	m	7500	5000	3750	土方、路面结构等
2	柴油费用	t	324	8200	265.68	0.45kg 油/m ³ 重金属土壤
3	自卸车运输	m ³	720000	30	2160	3 元/方·公里, 场内 10km
4	其他	m	10000	3000	3000	护坡、排水等, 场内 10km
二	处置费用				19354.93	
1	填埋区电耗	度	1533600	0.8	122.69	按照商业用电 0.80 元来计算, 1 度/方电耗能耗。
2	柴油	t	1227	8200	1006.04	0.8kg 油/m ³ 重金属土壤

3	作业便道	m	426	1200	51.12	
4	1.0mmHDPE膜	m ²	76680	14.5	111.19	
5	0.3mmHDPE膜	m ²	51120	3.5	17.89	
6	吊车	月	240	80000	7680	4 台, 20 年
7	叉车	月	240	36000	3456	4 台, 20 年
8	其它设备	项	1		750	潜水泵、视频监控等
9	人工薪资	月	20	108000	2160	10 人, 平均工资按 108000 元/年
10	其他	年	20	2000000	4000	臭气管控、清淋溶液处理等
三	管理费用				4000	
1	检测、监测	年	20	1500000	3000	重金属污染土场进场控制, 环境、稳定性监测等
2	其他	年	20	500000	1000	材料编制、信息管理等
四	其他费用				3000	应急工程等
	小计				35530.61	
	合计				36864.92	

表 11.7-2. 二期经营成本费用表

二期污染土壤转运成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价(元)	年成本(万元)	备注
1	柴油	t	135	8200	110.70	0.45 kg 油/m ³ 土
2	自卸车运输	m ³ ·km	450	15	135.00	3 元/ m ³ 土·km, 场内 5 km
3	水	m ³	8250	4.86	4.01	运输车辆冲洗用水, 按 25 m ³ /d 计
4	电	度	300000	0.85	25.50	土壤传送带用电, 1 度/m ³ 土
5	工资及福利	个	15	108000	162.00	10.8 万元/人
6	小计	——	——	——	437.21	——
二期污染土壤破碎筛分成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价(元)	年成本(万元)	备注
1	柴油	T	150	8200	123.00	破碎筛分设备 0.5 kg 油/m ³ 土
2	电	Kw·h	95040	0.85	8.08	负压构筑物用电, 12 Kw·h /h, 年运行 330 天

3	工资及福利	个	5	108000	54.00	10.8 万元/人
4	小计	——	——	——	185.08	——
一期污染土壤热脱附处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	沼气	m ³	8770000	0.35	306.95	按 80 m ³ /t 土, 天然气燃烧热值 50%计
3	电	Kw·h	73100	0.85	6.21	热脱附设备用电, 按 1 度/m ³ 土
4	工资及福利	个	8	108000	86.40	10.8 万元/人
5	小计	——	——	——	399.56	——
污染土壤催化氧化处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	过硫酸钠	T	5422.5	6000	3253.50	按 3%计
2	硫酸亚铁	T	5422.5	600	325.35	按 3%计
3	柠檬酸	T	180.75	5000	90.38	按 0.1%计
2	水	m ³	24100	4.86	11.71	按 0.2 m ³ 水/m ³ 土
	电	Kw·h	60250	0.85	5.12	沼气发电, 按 0.5 度/m ³ 土
5	工资及福利	个	6	108000	64.80	——
6	小计	——	——	——	3750.86	——
二期污染土壤淋洗处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	EDTA	T	1276	1000	127.60	按固液比 1:5 计 EDTA 0.05 mol/L, 循环 4 次
2	水	m ³	87468.75	4.86	42.51	
3	电	度	34950	0.85	2.97	淋洗设备用电, 按 0.5 度/m ³ 土
4	工资及福利	个	6	108000	64.80	10.8 万元/人
5	小计	——	——	——	237.88	——
二期污染土壤固化/稳定化处理成本:						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	水泥	t	5249.68	600	314.98	按处理土方量 1.5%计
2	稳定剂	t	5249.68	2000	1050.00	按处理土方量 1.5%计
3	水	m ³	46650	4.86	22.67	按 0.2 m ³ 水/m ³ 土

4	电	Kw·h	116625	0.85	9.91	固化稳定化设备用电，0.5 度/m ³ 土
5	工资及福利	个	6	108000	64.80	10.8 万元/人
6	小计	——	——	——	1462.36	——
优势微生物处理成本：						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	水	m ³	4000	4.86	1.94	按 0.2 m ³ 水/m ³ 土
2	电	Kw·h	6000	0.85	0.51	0.3 度/m ³ 土
3	DM 微生物	kg	3000	1000	300.00	—
4	营养液	kg	3000	150	45.00	—
5	工资及福利	个	20	108000	216.00	10.8 万元/人
6	小计	——	——	——	563.45	——
二期地块 1 废水处理成本：						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	絮凝剂	T	17.41	2000	3.48	按 150g/m ³ 废水
2	助凝剂	T	1.74	8500	1.48	按 15g/m ³ 废水
3	硫化钠（络合重金属置换剂）	T	90.6	2500	22.65	按 780g/m ³ 废水
4	电	Kw·h	34845.74	0.85	2.96	按 0.3 Kw·h /m ³ 废水
5	工资及福利	个	5	108000	54.00	0.8 万元/人
6	小计	——	——	——	84.57	——
二期地块 1 废气收集和处理成本：						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	活性炭	T	65	6000	39.00	——
2	电	Kw·h	1385500	0.85	177.77	沼气发电
3	工资及福利	个	6	108000	64.80	0.8 万元/人
4	小计	——	——	——	281.57	——
二期地块 2 废气收集及处理成本：						
序号	项目	单位	年耗量	单价 (元)	年成本 (万元)	备注
1	活性炭	T	35.91	6000	21.54	——

2	电	Kw·h	765469	0.85	65.06	沼气发电
3	工资及福利	个	4	108000	43.20	0.8 万元/人—
4	小计	——	——	——	129.80	——
	合计				7532.34	

11.8.经营收入预测

根据项目公益性服务的性质，结合当地污染土壤处理收费情况，设定建议的各类污染土壤处理收费标准及年收入如下：

表 11.8-1. 一期经营收入费用表

序号	项目	处理工艺	收费标准（元/t 土）	年处理量（万 t）	年收入（万元）
1	单一重金属污染土、复合污染土	固化稳定化	600	11.25	6750.00
2		淋洗	800	3.38	2704.00
3	单一有机污染土、复合污染土	热脱附	800	10.50	8400.00
4	小计		710.47	25.13	17854.00

表 11.8-2. 二期经营收入费用表

序号	项目	处理工艺	收费标准（元/t 土）	年处理量（万 t）	年收入（万元）
1	单一重金属污染土、复合污染土	固化稳定化	600	34.97	20982.00
2		淋洗	800	10.49	8392.00
3	单一有机污染土、复合污染土	热脱附	800	10.97	8776.00
4		化学氧化	500	18.08	9040.00
5	轻污染有机污染土	优势微生物反应器	200	3.00	600.00
6	轻污染土或经物化法处理后的土	优势微生物强化处理+优势微生物菌根植物协同处理	300	15.63	4689.00
7	小计		563.44	93.14	52479.00

利润总额及分配

本项目在运营期内全部生产经营活动的最终财务成果。利润与利润分配表反映了项目在计算期内各年的营业收入、总成本费用支出、利润总额、所有税前和税后利润的分配情况，以及项目的投资利润率和资本金利润率等指标。

所得税按“三免三减半”的税收优惠计取。

经测算利润汇总如下表《利润汇总表》所示：

表 11.9-1 利润汇总表（单位：万元/年）

年均利润总额	年均所得税	年均所得税后利润
26892.32	6723.08	20169.24

11.9.盈利能力分析

财务盈利能力分析主要考察投资项目投资的盈利水平，通过编制财务现金流量表、利润及利润分配表的基础上，计算财务内部收益率、财务净现值、项目投资回收期、总投资收益率等经济指标。分析项目计算期内各年的现金收支情况，财务内部收益率反映项目每年的净收益归还投资以后，所获得的最大投资利润率。本项目财务内部收益率，位于行业基准值合理范围内，说明项目有合理的盈利能力和偿还能力。静态投资回收期，小于行业基准值，说明项目投资能够在规定的时间内得到回收，据此判断在财务上是可行的。

(1) 财务内部收益率（FIRR）

财务内部收益率是指项目在整个计算期内各年净现金流量现值累计等于零时的折现率，也就是财务净现值等于零时的折现率（指标值详见附表1《主要经济财务指标》）。

依据公式： $\sum_{t=1}^n (CI - CO)_t \times (1 + FIRR)^{-t} = 0$

FIRR：财务内部收益率

CI：现金流入量

CO：现金流出量

全投资税后内部收益率为**FIRR=17.82%**；项目资本金税后内部收益率为**FIRR=23.21%**；

行业基准收益率设定 $I_c=5\%$ ； $FIRR \geq I_c$ ，其盈利能力已满足最低要求，在财力上是可以考虑接受的。

(2) 财务净现值（FNPV）

财务净现值是指行业的基准收益率为设定的折现率（ I_c ），将项目计算期内各年净现金流量折现到建设期初（项目计算期第一年年初）的现值之和。财务净现值是考察项目在其计算期内盈利能力的主要动态评价指标（指标值详见附表1《主要经济财务指标》）。

依据公式： $FNPV = \sum_{t=1}^n (CI - CO)_t (1 + i_c)^{-t}$

全投资税后财务净现值为 $FNPV=169941.83$ 万元/年； $FNPV \geq 0$ ，财务上是可行。

(3) 投资回收期(P_t)

投资回收期是指以项目每年的净收益抵偿全部投资所需的时间，是考察项目财务上投资回收能力的重要指标。（指标值详见附表1《主要经济财务指标》）。

根据公式： $\sum_{t=1}^{P_t} (CI - CO)_t = 0$

P_t ——投资回收期

CI ——现金流入量

CO ——现金流出量

投资回收期为**8.18年（含建设期1年）**；

(4) 总投资收益率（ ROI ）

总投资利润率是指项目达到设计能力后正常年份的年平均息税前利润（ $EBIT$ ）与项目总投资（ TI ）的比率。总投资利润率是考虑项目单位投资盈利能力的静态指标，投资利润较高，则表明项目投资效果好，盈利能力强，企业清偿债务能力较高。

11.10. 偿债能力分析

还贷资金来源为：未分配利润（税后利润的100%作为未分配利润）、可用于还贷之折旧、摊销费。（详见附表5建设投资借款还本息表）

偿债能力分析指标包括利息备付率（ ICR ）、偿债备付率（ $DSCR$ ）和资产负债率（ $LOAR$ ）。

利息备付率（ ICR ）是指项目在借款偿还期内的息税前利润（ $EBIT$ ）与应付利息（ PI ）的比值，它从付息资金来源的充裕性角度反映项目偿还债务利息的保障程度。利息备付率高，表明利息偿付的保障程度高，风险小。

偿债备付率（ $DSCR$ ）是指项目在借款偿还期内，各年可用于还本付息的资金（ $EBITDA-Tax$ ）与应还本付息金额（ PD ）的比值，它表示可用于还本付息的资金偿还借款本息的保障程度。偿债备付率高，表明可用于还本付息的资金保障程度高。

资产负债率（ $LOAR$ ）是指各期末负债总额（ TL ）同资产总额（ TA ）的比

率。适度的资产负债率，表明企业和债权人的风险小，也表明企业经营安全、稳健，具有较强的筹资能力。

流动比率是反映项目各年偿还流动负债能力的指标。该指标越高，说明偿还流动负债的能力越强。

速动比率是反映项目各年快速偿付流动负债能力的指标。该指标越高，说明偿还流动负债的能力越强。

根据本项目实施计划，依据国家发改委和建设部颁布的《建设项目经济评价方法与参数（第三版）》的规定和要求，按照国家现行的财税制度和有关行业标准，经综合测算，本项目盈利能力及偿债能力良好，详细测算结果见下表：

11. 11-1 偿债能力指标分析表

偿还期	利息备付率 (ICR)	偿债备付率 (DSCR)	资产负债率 (LOAR)	流动比率	速动比率
1	-18	-6	80%	4	1
2	-20	-6	79%	4	1
3	-22	-6	77%	4	1
4	51	12	75%	5	2
5	23	9	74%	5	2
6	25	2	31%	7	4
7	64	3	5%	30	27
8	355	293	4%	67	64
9	355	293	3%	103	100
10	355	293	2%	139	136
11	356	293	2%	176	173
12	356	293	2%	212	209
13	356	293	1%	248	245
14	356	293	1%	285	282
15	356	293	1%	321	318
16	356	293	1%	357	354
17	356	293	1%	394	391
18	356	293	1%	430	427
19	356	293	1%	466	463
20	356	293	1%	503	499

通过以上指标计算可知，本项目长期借款还款期限内，无债务坏账，说明项目公司偿债能力较强，投融资方案可行。

11.11. 财务生存能力分析

财务生存能力分析通过编制财务计划现金流量表的基础上，考察项目计算期内的投资、融资和经营活动所产生的各项现金流入和现金流出，计算净现金流量和累计盈余资金，分析项目是否有足够的净现金流量维持正常运营，以实现财务的可持续性。

通过财务计划现金流量表分析，本项目在计算期内有足够的净现金流量维持正常经营活动。在各年累计盈余资金中没有出现负值情况，表明本项目方案较为合理，可实现财务的可持续性，同时实现自身资金平衡的可能性较大。

（详见附表11财务计划现金流量表）

11.12. 不确定性分析

工程项目经济评价所采用的数据，除来源于现行切合实际的资料外，还存在着一定程度的不确定性，也就是说立足于预测和估算进行项目经济评价的结果有不确定性。为了分析这些不确定因素对财务评价指标的影响程度，需进行盈亏平衡分析和敏感性分析。

（1）盈亏平衡分析

盈亏平衡分析通过计算项目达产年的盈亏平衡点(BEP)，分析成本与收益的平衡关系。盈亏平衡点表明不发生亏损的生产能力的最低限度，盈亏平衡点越低，项目适应产出变化的能力越大，抗风险能力越强。

盈亏平衡点：

计算表明，只要达到设计能力的19.17%，企业就可以达到盈亏平衡。

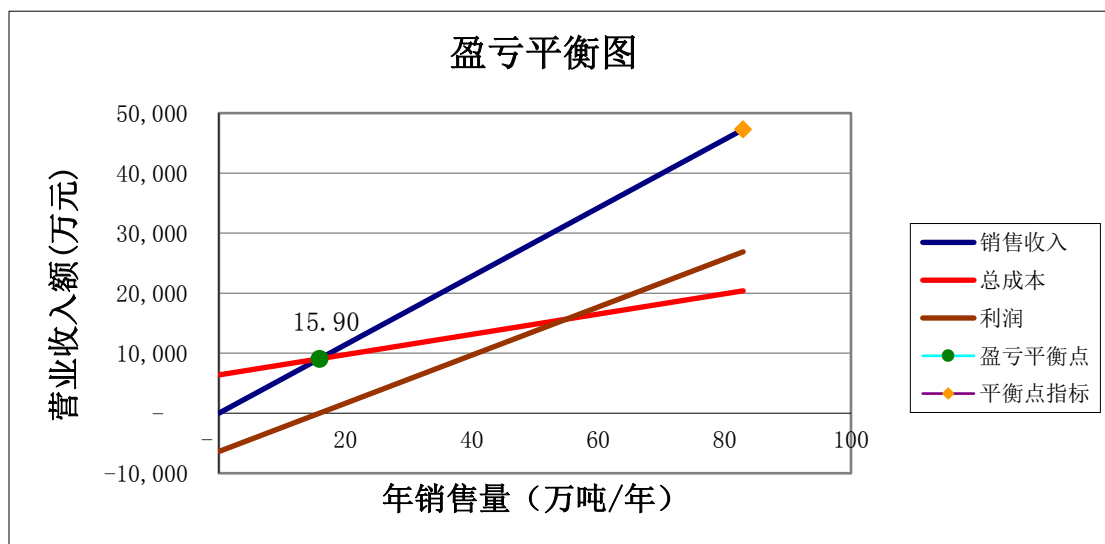


图 11.13-1. 盈亏平衡图

(2) 敏感性分析

敏感性分析的目的就是通过分析不确定性因素发生增减变化时，对财务或经济评价指标的影响，计算敏感度系数和临界点，分析主要敏感因素。

敏感性分析如下：

表 11.13-1 敏感性分析表

变动因素	变动幅度	全投资 FIRR(%)		敏感度系数 S_{AF}	
	(%)	税后	税前	税后	税前
原方案	0	17.82%	22.54%		
投资	20	5.40%	6.41%	-0.035	-0.036
	10	6.26%	7.38%	-0.065	-0.067
	-10	8.43%	9.81%	0.053	0.056
	-20	9.84%	11.36%	0.022	0.025
收入	20	11.76%	13.45%	-0.017	-0.020
	10	9.54%	11.03%	-0.046	-0.051
	-10	4.85%	5.78%	0.073	0.074
	-20	2.22%	2.70%	0.044	0.044
成本	20	4.43%	5.29%	-0.038	-0.038
	10	5.87%	6.94%	-0.067	-0.069
	-10	8.62%	10.02%	0.052	0.056
	-20	9.97%	11.50%	0.022	0.024

变动因素	变动幅度	全投资 FIRR(%)		敏感度系数 S_{AF}	
	(%)	税后	税前	税后	税前
备注： $SAF = \Delta A/A / \Delta F/F$ $\Delta A/A$:评价指标的变动比率，如净现值 FNPV 或内部收益率 FIRR； $\Delta F/F$: 不确定因素的变化率，如建设投资、工期等； $SAF > 0$ 表示评价指标与不确定性因素同方向变化； $SAF < 0$ 表示评价指标与不确定性因素反方向变化； $ SAF $ 越大，表明评价指标 A 对于不确定性因素 F 越敏感；反之则不敏感。					

根据敏感性分析计算表数据可知，对本项目产生影响的主要因素：建设投资、销售价格、经营成本等。

计算结果表明：销售收入最敏感因素，其次是建设投资。当销售收入下降10%项目财务内部收益率较低，需提高物流效率，科学安排生产，严格控制成本，保证项目收入。

11.13. 财务评价与结论

以上各项分析表明，本项目内部收益率、投资回收期及借款偿还期等各项指标在合理范围。由于本项目是以处理生活垃圾为主，综合利用为副的环保工程，社会效益显著，通过政府给予垃圾处理服务费，使生产运转得以维持正常，并有一定的经济效益，所以本项目在经济上是可行的。

第十二章 效益与风险分析

12.1 效益分析

广州市自推行“退二进三”和“三旧”改造工作以来,大量工业企业搬离城区,遗留大量疑似污染场地。然而,目前广州市还没有一个专门的污染土壤修复中心,这与广州市现代化城市的环境保护设施要求是不相称的,也严重制约着经济发展。本修复中心的建成即可以满足广州市未来二十年发展的需要,同时又可以避免重复建设小规模、简易污染土壤处置厂的现象产生,对保障广州市人民群众身心健康,提高广州市民生存环境质量具有重要的意义。

但要指出的是,本项目为工业场地污染土壤异位处置工程,是一项社会公益事业,没有可供向社会销售的产品,其项目效益主要体现为社会效益和环境效益,因此只能向污染土壤产生单位收取一定的处理费用。遵照“谁污染、谁治理、谁付费”的原则,修复中心向污染土壤产生厂家收取一定的处理费用是完全合理的。同时,希望政府管理和职能部门配合制定污染土壤异地集中处置相关政策,修复中心得以正常运营和发展,在广东省乃至全国才能真正能起到示范效应。

12.2 风险分析

(1) 市场风险

本修复中心建设的主要任务是安全处理广州全市的行业场地污染土壤。为了确保修复中心的正常运行,应保证收集到的场地污染土壤能够达到预计的数量,并且在污染土壤处理处置的费用政策上广州市应有相应的保证,否则可能影响修复中心的正常运营。

(2) 投资风险

该项目投资大,建设资金渠道多样,若资金的供应不足或不及时可能会影响该项目的顺利实施。政府专项资金是有保障的,同时,社会资金依靠有经济实力的热衷于环保事业的企业筹措也是有保证的,因此资金风险不大。

(3) 技术风险

由于污染土壤的异位处理采用的是专用技术与设备,因此处理技术与设备的安全可靠性、先进性、适用性和技术经济的可操作性将直接关系到对污染土壤的处置结果是否能满足国家的相应环境标准。在这方面,虽然国内的技术和设备与国外尚存在差距,但经过多年的发展,国内企业通过与国外先进设备生

产商联合研发或独立研发，差距在逐渐缩小，采用当前国内市面上被成功应用和广泛认可的国产设备或进口设备可基本解决相关的技术风险。

（4）二次污染与突发风险

本修复中心各功能单元处理污染土壤时可产生二次污染物，主要为废（污）水、废气和粉尘。废（污）水包括：土壤淋洗废水、土壤热脱附除尘喷淋废水、土壤固化稳定化冲洗废水、污染土壤暂存区渗滤水、场区道路和污染土壤处置工作区初期雨水、运输车辆冲洗废水、办公区生活污水等；废气主要为有机污染土挥发、热脱附工艺产生的尾气；粉尘主要来源于污染土壤的破碎筛分和各工艺的搅拌过程。这些污染物如果防范和处理不当，可能会对项目周边环境敏感点造成污染风险。但通过本修复中心配套的废水导排系统、废气导排系统和利用原兴丰填埋场的垃圾渗滤液处理厂、低浓度污水处理厂和填埋气燃烧处理系统处理后可以消除。

（5）政策风险

污染土壤处置是一项利国利民的公益事业。国家工信部于2017年颁布的《工业和信息化部关于加快推进环保装备制造业发展的指导意见》（工信部节〔2017〕250号），将土壤污染修复装备列为“十三五”国家战略性新兴产业发展规划中环保装备制造业的重点技术研发和推动领域，重点研发土壤生物修复、强化气相抽提、重金属电动分离等技术装备，重点推广热脱附、化学淋洗、氧化还原等污染土壤异位修复装备。广州市政府也颁布了相应的政策法规，如《广州市土壤污染治理与修复规划》（2017-2020年）明确提出，结合广州市污染地块行业特点、土壤类型、污染土壤处理处置能力及主要污染因子特征，关注水泥窑焚烧、土壤淋洗等场地污染土壤异位修复技术，探索开展土壤污染防治适用技术研究，为广州市场地污染土壤防治提供技术支撑。因此，本修复中心的建设在政策层面没有风险。

（6）外部协作条件风险

本修复中心的建设和运营的必要条件交通运输、供水、供电和供气（沼气、天然气）等配套设施的需要得到保证。从修复中心和填埋场的实际情况分析，该场址交通方便，供水、供电和供热均有相应措施解决。另外，本项目也得到了地方政府的支持，外部协作条件较好。

第十三章 结论与建议

13.1 结论

广州市为优化城市产业结构和空间布局、破解城区土地资源贫乏瓶颈而展开的大量工业企业搬离城区，遗留了大量疑似污染场地，这些场地污染土壤环境风险隐患突出，再开发环境风险管控薄弱，成为制约广州市城市与社会发展的一个重要因素。但目前广州市尚无专门的污染土壤修复中心，本修复中心的建成即可以满足广州市未来二十年场地污染土壤修复的需要，是对原址原位修复方式的有益补充，同时又可以避免重复建设小规模、技术服务能力弱的简易污染土壤处置厂的现象产生，对保障广州市生态环境安全和居民身体健康有重要意义，同时也为环保产业的发展树立新标杆。。

本修复中心建设符合国家产业政策和广州市发展规划，项目选址和功能布局合理，技术先进，经济可行，可以充分利用填埋场现有沼气、电能、填埋容量和污染防治设施，实现资源综合利用。综合来看，本修复中心建设项目可行性高。

13.2 建议

修复中心作为一个新的污染土壤修复模式，需要政府环境管理部门在政策方面提供更多支持，同时也需要企业自身的科学管理和运营。建议：

- (1) “修复中心”建设和运营建议由专业公司按现代化企业制度经营模式。
- (2) 污染土壤的处置费和修复中心的运营费的定价由市场行为决定。
- (3) 进一步做好全市疑似污染场地数量、种类、性质、成分等普查调研工作，为“修复中心”稳定运行提供条件。
- (4) 政府部门制订系统的政策法规，并严格执法，这是确保污染场地土壤修复与再利用的关键，也是“修复中心”运营的前提条件。
- (5) 考虑污染企业交纳处置费的经济压力，建议项目建设时充分利用国家的税收和贷款优惠政策，合理减少投资和运行费用，从而尽量降低收费标准。