

团 体 标 准

T/GDSES 9.5—2023

污染地块安全利用保障技术 第 5 部分：复合污染地块修复技术应用指南

Guarantee technologies for contaminated site safe
utilization
Part 5: Guideline of technology application in combined
contamination site remediation

2023-11-17 发布

2023-11-17 实施

广东省环境科学学会标准

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工作程序	2
5 修复方案	4
6 修复工程	6
附录 A（资料性） 常见污染地块修复技术/方法	11
附录 B（资料性） 修复方案编制大纲	25
附录 C（资料性） 污染土壤转移联单（样表）	26
参考文献	27

广东省环境科学学会标准

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求。本文件为第5部分，规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求。

《污染地块安全利用保障技术》系列七项标准已经发布以下部分：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：生态环境部华南环境科学研究所、广东省环境科学研究院、中山大学、南方科技大学、香港科技大学、澳门科技大学、中科鼎实环境工程有限公司、中冶南方都市环保工程技术股份有限公司、广东省环境科学学会。

本文件主要起草人：蔡信德、周建民、刘俊君、卢阳、李霞、吴颖欣、宋清梅、胡伟斌、周静妍、吴文成、董敏刚、章卫华、劳敏慈、陈景豪、李荣、李瑛、王志国、罗明森、黄海、陈桂红、林煜玲、郑迪。

本文件首次制定。

引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》，推动落实《粤港澳大湾区规划纲要》，推进生态文明建设，保护生态环境，保障公众健康，指导污染地块风险管控和修复，引导建设用地修复产业的良性发展，制定本文件。

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求，由七个部分构成：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值。规定了地块土壤和地下水中污染物安全阈值；
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南。规定了污染地块安全等级划分的技术要求，可用于评估污染地块的安全等级；
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准。规定了污染地块安全利用划分标准，用于指导污染地块修复实现安全利用；
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南。规定了复合污染地块高效绿色修复技术集成的技术要求；
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南。规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求；
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范。规定了修复后地块再开发利用土壤环境状况调查的技术要求；
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范。规定了修复后地块再开发利用风险评估的技术要求。

广东省环境科学学会标准

复合污染地块修复技术应用指南

1 范围

本文件规定了复合污染地块修复的工作程序、修复方案和修复工程的技术要求。
本文件适用于粤港澳大湾区复合污染地块修复方案制定和修复工程的实施、修复效果评估。
本文件不适用于放射性物质污染和致病性生物污染的地块修复。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 34330 固体废物鉴别标准 通则
- GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
- GB 50319 建设工程监理规范
- HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则
- HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
- HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则
- HJ 25.4 建设用地土壤修复技术导则
- HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则
- HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则
- HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

复合污染 combined contamination

指2种或2种以上不同种类不同性质的污染物在土壤或地下水中共同作用造成污染的现象。1种污染物在土壤和地下水中同时存在并造成污染的现象，在本文件中也被认为是复合污染。按污染物种类可分为重金属复合污染、重金属—有机污染物复合污染、有机污染物复合污染和重金属—无机污染物（比如氰化物、氟化物）复合污染；按污染物所处的环境介质可分为土壤复合污染、地下水复合污染和土壤—地下水复合污染。

3.2

地块治理修复 site cleanup and remediation

将地块土壤、地下水中污染物移除、削减、固定或将风险控制在可接受水平的活动。

[来源：HJ682—2019，2.3.8，有修改]

3.3

修复目标 remediation goal

由土壤污染状况调查和风险评估确定的目标污染物对人体健康、土壤、地下水和其他生态受体不产生直接或潜在危害，或不具有环境风险的污染修复终点。

[来源：HJ682—2019，2.5.5，有修改]

3.4

修复技术 remediation technology

可以移除、降低、稳定或转化地块土壤和地下水中目标污染物的各种处理、处置技术，包括可改变污染物结构、降低污染物毒性、迁移性或数量与体积的各种物理、化学或生物学技术。

[来源：HJ682—2019，2.5.13，有修改]

3.5

地块概念模型 conceptual site model

用文字、图、表等方式综合描述地块地层特征、地下水埋深与流向、土壤和/或地下水污染物的空间分布与迁移方式、污染迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和可能暴露途径，以及未来建（构）筑物特征等。

[来源：HJ682—2019，2.3.1，有修改]

4 工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 科学性

按照地块实际情况和修复目标，科学、合理选择修复模式和修复技术，使修复目标可达，修复工程切实可行，实现污染地块再开发安全利用。

4.1.2 系统性

采用分区分类分级治理修复策略，统筹土壤和地下水修复，因地制宜制定修复方案和施工方案，开展全过程二次污染监测与防控，协同治理。

4.1.3 安全性

按照相关法律法规、标准要求，确保地块修复工程实施安全，防止对施工人员与周边人群的健康及生态环境产生危害和二次污染。

4.2 工作程序

工作程序包括修复方案编制和修复工程的设计、工程实施、效果评估等，如图 1 所示。

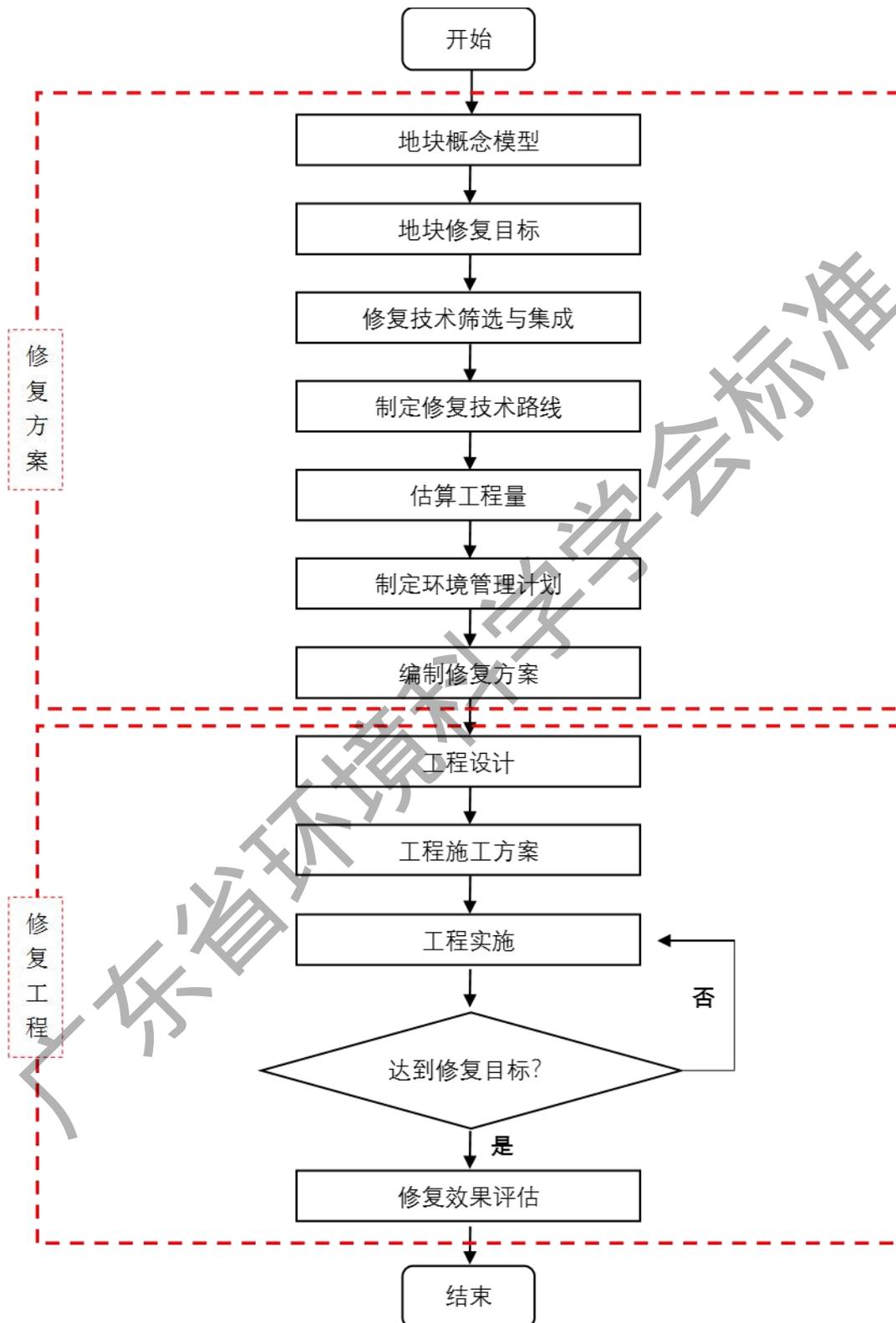


图1 复合污染地块修复工作程序

5 修复方案

5.1 地块概念模型

5.1.1 确认地块条件

5.1.1.1 核实地块相关资料

核实地块土壤污染状况调查报告和风险评估报告等相关资料中有关目标污染物、土壤与地下水污染程度、范围和空间分布、地块水文地质条件、地块规划再利用方式与使用功能布局、环境敏感受体与周边环境情况等的一致性、有效性和完整性。如发现前期地块信息和资料不能满足修复方案编制要求，应补充相关资料；必要时，应结合地块现状开展补充性调查，以满足要求。如地块利用方式或其他重要条件发生变化，而且前期土壤污染状况调查和风险评估工作不足以支撑修复方案编制工作，应重新开展土壤污染状况调查、风险评估。相关技术要求参考 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 25.3、HJ 25.4 和 HJ 25.6。

5.1.1.2 现场踏勘

现场踏勘地块与周边环境现状，特别关注地块在土壤污染状况调查和风险评估后是否发生重大变化，如动土施工、周边敏感目标变化等。现场考察地块修复工程施工条件，特别关注地块用电、用水、用气、施工道路、地下水监测井（如有）、安全保卫等情况。

5.1.2 细化地块概念模型

在前期工作的基础上，进一步结合地块水文地质条件、污染物的理化参数、空间分布及其潜在迁移途径、受体与周边环境等因素，细化地块概念模型，形成修复方案编制阶段的地块概念模型。在修复方案制定的过程中，应根据所制定的修复方案，动态更新地块概念模型，以评估不同修复方案的实施效果。

5.2 地块修复目标

5.2.1 修复目标总体要求

地块修复目标是修复后地块土壤和地下水可以满足其某种用途/使用功能的要求，原则上采用保障人类健康的风险控制值和实现地块安全利用作为修复目标。若涉及其它敏感受体的保护，如重要的生态受体，则需要采用其它适用标准确定修复目标，包括生态保护标准。

5.2.2 修复目标核实

在前期工作的基础上，充分考虑地块所在区域土壤中目标污染物的背景含量及目标污染物形态与迁移转化规律等，依据 HJ 25.3、HJ 25.6、GB 36600 和地方有关标准，分析地块评估提出的修复目标（值）、修复范围和修复工程量的合理性。

5.2.3 修复目标调整

5.2.3.1 修复方案中的目标污染物、修复目标（值）原则上与经评审的土壤污染风险评估报告一致。如果出现 5.1.1.1 中地块利用方式或其他重要条件变化的情形，应重新开展风险评估，确定修复目标、修复范围和修复工程量。

5.2.3.2 下述情形的修复方案中需要明确的修复目标：

- a) 对采用固化/稳定化修复方案的，应增加修复后土壤污染物浸出浓度和/或无侧限抗压强度作为修复目标；
- b) 若修复后土壤外运到其他地块，应根据接收地块的土地利用方式进行风险评估，如有风险需提出修复目标。

5.2.3.3 调整原有修复目标或增加新的修复目标，应在修复方案中详细阐述并附相关支撑文件，重新申请对风险评估报告进行评审，并报生态环境主管部门备案。

5.3 修复技术筛选与集成

5.3.1 修复技术总体要求

根据地块实际和修复目标，修复技术可由一种或多种技术组合形成，总体要求是：

- a) 鼓励采用绿色、低碳的修复技术；
- b) 实施分规划用途、分污染类型、分污染程度和分土质的高效修复技术；
- c) 在原址进行修复，修复后的物料循环再用；若原址修复不可行，可考虑异地处理修复；
- d) 土壤与地下水协同修复，永久性处理修复优先于处置。

5.3.2 修复技术筛选与集成

5.3.2.1 根据地块实际和修复目标，从修复效果、时间、成本、技术成熟度、环境影响、绿色、低碳等方面，采用对比分析、矩阵评分和类比等方法，筛选出潜在可行的修复技术。常见污染地块修复技术见附录 A。

5.3.2.2 复合污染地块涉及多种污染物和不同介质，修复技术可参照以下方法之一获得：

- a) 按照复合污染地块绿色高效修复技术集成指南的要求，形成相应的组合修复技术；
- b) 根据污染分区，采用污染地块治理修复技术评估方法（软件），筛选一种或多种修复技术或组合修复技术。

5.3.2.3 可采用实验室小试、现场中试、模拟分析和相关案例分析等方式进行修复技术可行性评估，小试包括不同工艺组合试验，中试为组合修复技术各工艺集成的现场系统试验；评估方法要符合 HJ 25.4、HJ 25.6 和地方相关标准/规范的要求，根据评估结果确定修复技术（含组合技术）的工艺相关参数。

5.4 制定修复技术路线

根据地块修复目标、修复技术筛选与集成结果，结合地块环境管理要求等制定修复技术路线。修复技术路线应反映地块修复总体思路、方式、工艺流程和具体步骤，以及地块土壤和地下水修复过程中受污染水体、气体、固体废物（含危险废物）和噪声等的处理与处置措施。

5.5 估算工程量

根据修复技术路线估算修复工程量。修复工程量包括但不限于地块内不同区域污染土壤和地下水需要修复的面积、深度等的工程量，还应考虑修复过程中基坑开挖、围挡、回填、办公区建设等工程辅助措施的工程量，以及修复过程中受污染水体/废水、气体/废气、固体废物（含危险废物）、噪声等的处理与处置的工程量。

5.6 制定环境管理计划

5.6.1 制定二次污染防治措施

5.6.1.1 综合分析修复技术的二次污染产生情况以及对施工人员、周边人群健康和生态受体的影响等，制定相关的收集、处理和处置技术方案，提出二次污染防治措施，包括大气污染防治、废水污染防治、固体废物污染防治、噪声污染防治、土壤污染防治、地下水污染防治等措施，分析论证技术可行性、经济合理性、稳定运行和达标排放的可靠性。

5.6.1.2 二次污染防治措施应包括但不限于以下内容：

- a) 废水、废气处理设施应明确处理能力、处理工艺、平面布局、主要工艺（设备）参数及排放去向；
- b) 扬尘污染防治应明确实施位置和施工阶段，喷洒降尘措施应明确频率和持续时间；

- c) 污染土壤临时堆存区等应明确具体位置，说明堆存区的防渗、截流、防尘、防雨和废水处理等措施；
- d) 固体废物储存区、危险废物储存区应明确具体位置，并按照相应标准合理设置；固体废物的处理应符合国家、地方和相关行业规定；
- e) 挥发性有机物污染土壤、汞污染土壤和异味污染土壤的开挖、暂存、处理和处置应在负压的密闭空间内进行，并配套有效的二次污染防治措施。

5.6.1.3 污染土壤离场处置要求：

- a) 应明确离场条件；按 GB 34330 规定要求属于固体废物的外运污染土壤应按固体废物相关法律法规和技术规范进行管理；
- b) 明确外运污染土壤的处理处置方式等相关内容与技术参数及二次污染防控与环境管理措施，附件中应有处理处置协议。

5.6.2 制定环境监测计划

环境监测计划包括工程实施过程的环境监测计划、二次污染监控中的环境监测计划。环境监测计划内容应包括监测介质、监测布点、监测项目、监测方法、监测频次、评价标准、监测的时间节点或工程节点等。相关技术要求参照 HJ 25.2 执行。

5.6.3 制定应急计划

为确保地块修复过程中施工人员与周边居民的健康与环境安全，应制定周密的地块修复工程环境应急安全计划，内容包括健康与安全问题识别、需要实施的预防和控制措施、突发事故应急措施、舆情应急预案、安全防护装备、安全防护培训等。

5.7 编制修复方案

5.7.1 修复方案要全面和准确地反映出全部工作内容，结合地块实际情况，选择附录 B 全部或部分内容进行编制。报告中的文字应简洁和准确，并尽量用图、表和照片等形式描述各种关键技术信息，以利于后续修复工程的设计与施工。

5.7.2 修复方案报生态环境主管部门备案后实施。

6 修复工程

6.1 工程设计

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 工程设计单位应具有国家相应的工程设计资质。

6.1.1.2 工程设计分为初步设计、施工图设计。

6.1.1.3 当已有的资料不能满足工程设计需要时，应开展必要的调查工作。

6.1.2 初步设计

初步设计文件应根据污染地块修复方案进行编制，应满足编制施工图、采购主要设备及控制工程建设投资的需要。初步设计文件宜包括初步设计说明书、初步设计图纸和初步设计概算书，并应符合下列规定：

- a) 初步设计说明书宜包括设计总说明、各专业设计说明、主要设备材料表；
- b) 初步设计图纸宜由总图、工艺、建筑、结构、给排水等专业图纸组成。当工程包含修复车间、仓库等建筑物时，宜开展建筑专业图纸设计；当工程包含修复车间、仓库、地面处理设备、深基坑等建（构）筑物时，宜开展结构专业图纸设计；当工程采用可渗透反应墙、阻隔等技

术时，宜开展岩土工程专业图纸设计；当工程需进行地下水抽出、药剂注入、地面处理设备自动化控制、监测设计时，宜开展自动化专业图纸设计；还需开展给排水、电气采暖通风等的专业图纸设计；

- c) 初步设计概算书包括编制说明、编制依据、工程总概算表、单项工程概算表和其它费用概算表等。

6.1.3 施工图设计

施工图设计文件应根据初步设计文件进行编制，未开展初步设计的根据修复方案进行编制。施工图设计文件应满足编制工程预算、工程施工招标、设备材料采购、非标准设备制造、施工组织计划编制和工程施工的需要。施工图设计文件宜包括施工图设计说明书、施工图设计图纸、工程预算书，并应符合下列规定：

- a) 施工图设计说明书包括各专业设计说明和工程量表；
- b) 施工图设计图纸由总图、工艺、建筑、结构、给排水、采暖通风、电气、自动化等各专业图纸组成，可根据修复工程实际情况增减；
- c) 工程预算书包括编制说明、工程设备材料表、工程总预算书、单项工程预算书、单位工程预算书和需要补充的估价表等。

6.2 工程施工方案

6.2.1 总体要求

6.2.1.1 根据修复方案、工程设计，结合施工条件等编制修复工程施工方案，内容包括：工程管理目标，项目组织机构，主要工程量及施工分区，总体施工顺序，工期安排，施工机械和试验检测仪器配置，用水用电计划，劳动力需求计划，施工准备等。此外还需明确施工质量的控制要点、施工工序与步骤，所需设备型号、设备安装和调试过程等。

6.2.1.2 根据施工现场条件和具体施工工艺，细化施工平面布局（置）（图）；制定详细地块环境管理计划实施方案。

6.2.1.3 涉及成片污染土地分期分批开发的，要优化开发时序，防止污染土壤及其后续修复影响周边拟入住敏感人群，原则上居住、学校、养老机构等用地应在毗邻地块土壤污染修复完成后再投入使用。

6.2.1.4 明确施工进度、施工管理保障体系等相关内容。

6.2.2 施工平面布局

6.2.2.1 依据地块修复技术路线、修复技术与工艺、地块条件及周边环境等情况，综合考虑风向、周边敏感目标和施工任务要求，合理规划平面布局、规范设置排放口。内容包括但不限于拟建的建（构）筑物，临时办公、生活设施，临时用电及临时用水布置，原材料及主要施工设备位置，现场施工道路和运输路线等。

6.2.2.2 根据现场条件、工艺与施工流程、场内运输、施工安全和二次污染防控等的要求，合理布置施工平面：

- a) 含挥发性有机物、半挥发性有机物的复合污染地块，污染土壤暂存区和修复区应远离办公区及周边敏感目标，宜处于敏感目标的下风向；统筹前置处理技术和后置处理技术的衔接，优化处理工艺的平面布局；
- b) 土壤异位修复区，宜处于敏感目标的下风向。

6.2.2.3 应有利于处理后土壤回填，减少运输距离。

6.2.2.4 现场布置应符合施工现场卫生与安全技术要求和防火规范，减少对周边环境的干扰和影响。

6.2.2.5 充分利用现场各种建筑物、构筑物、设施和道路等条件，降低临时设施的费用，满足节能、低碳要求。

6.2.2.6 严格划分污染区域与非污染区域，将污染区域和涉及的相关区域（暂存区，修复区，待验区）设为修复区，非污染区域设为非修复区，利用标识或围挡设施将修复区、非修复区隔离分开。

6.2.2.7 施工区域的划分应符合施工流程要求，尽量减少工程各专业施工与其他项目的干扰，避免交叉污染。明确不同污染类型土壤的堆放区域，并设置分区信息标识牌，公开区域名称及面积、最大储存量、污染物类型、污染防控措施、堆放示意图等。

6.2.2.8 修复现场信息公开和标识应按国家、地方相关规定设置。

6.2.3 施工组织安排计划

6.2.3.1 根据工程规模、修复技术与工艺、修复过程污染防治等相关要求，对施工工程的部署情况进行说明，内容包括但不限于项目管理组织、项目管理目标、工程施工目标、施工进度安排计划等。

6.2.3.2 施工进度计划的内容包括：编制说明，施工进度计划表（图），分期（分批）实施工程的开、竣工日期，工期一览表，关键节点控制措施等；需分阶段开展效果评估的，应在修复工期安排中注明。

6.2.3.3 对修复设施建设完成后需继续运行的修复工程，应制定运行维护计划。

6.3 工程实施

6.3.1 施工准备

施工现场准备包括成立施工管理组织机构、清理地块内杂物及地块平整、测量放线、材料机械准备、地块防渗和导排处理、水电准备、防火准备、技术交底和施工安全与环境保护培训等工作，应特别关注地块的地下管线情况、周边建（构）筑物情况、抽水及排水许可、水电使用接入管线等。

6.3.2 工程实施要点

6.3.2.1 工程施工单位应具有国家相应的工程施工资质。

6.3.2.2 工程施工应符合国家和行业施工程序及管理文件的要求。

6.3.2.3 工程施工应按修复方案、设计文件、施工图纸和设备安装使用说明书的规定进行，工程变更应取得设计单位确认并出具设计变更文件后再进行施工。

6.3.2.4 工程安装、施工完成后应对相关计量等设备进行校验，确保各系统运转正常；根据工艺流程进行分项调试和整体调试，分项调试和整体调试技术指标应达到设计要求。

6.3.2.5 施工应满足铁路、地铁、河道、地下电缆、市政管线、建构物等的安全防护间距，并采取适当的防护措施。

6.3.2.6 修复工程的公告牌和警示标识设置在修复现场出入口或其他显眼位置，公开修复工程基本情况、修复工程方案主要内容、环境影响及其防范措施等。

6.3.2.7 按照 GB 50319 和地方相关规定开展工程监理、环境监理。

6.3.2.8 污染地块修复工程的运行、维护和安全管理的应符合国家、地方现行的有关规定。

6.3.2.9 各工种、岗位应根据工艺特征和具体要求制定相应的安全操作规程和质量管理文件并严格执行。

6.3.2.10 对进场的药剂和材料进行检测、试验、登记，对药剂和材料的储存、使用进行管理。

6.3.2.11 对设备运行进行记录，运行记录应及时、准确、完整，保留必要的现场照片、视频等资料；对工程设施（如阻隔工程等）进行日常维护。

6.3.2.12 对工程设备和二次污染防治设施进行定期检查与维护；设备设施运行不正常时，及时检修、更换，做好相关维护保养记录。

6.3.2.13 对公告牌、标识牌、围挡等进行管理和维护。公告牌、标识牌应保持清晰、完整，围挡应确保无损坏、倾斜与缺失。当发现损坏、颜色污染或有变化等现象，应及时修复和更换。

6.3.2.14 应对修复效果进行监测，如发现修复结果不能达到修复要求，应及时分析原因，并采取相应补救措施。如需进行修复技术路线和工艺调整，应报生态环境主管部门备案。

6.4 环境控制措施

6.4.1 地块清理和土壤清挖

6.4.1.1 车辆、施工机械等离开修复区前进行仔细冲洗，防止对非修复区的污染。

6.4.1.2 修复施工区域非污染建筑废物收集后运至暂存区储存、并进行资源化利用；污染建筑废物收集后运至暂存区储存、分类处理；属于危险废物的，应按危险废物进行处理和处置。

6.4.1.3 复合污染地块土壤、地下水中如果存在挥发性有机物、半挥发性有机物，应在负压密闭大棚内进行清挖施工作业；密闭大棚安装尾气处理装置，废气排放应符合国家、地方和相关行业标准。对于确实无法搭建密闭大棚的污染区域，采取边清挖、边运输、边苫盖、边喷洒泡沫抑制剂的方式进行清挖施工。

6.4.1.4 把可能受污染的土壤与未受污染的土壤分开：

- a) 符合修复目标（值）要求的土壤（清洁土），分区分层清挖，堆存在原有硬化地面上/或具防渗的地面上，设围挡隔离，苫盖防扬尘；
- b) 对污染土层上层 0 m~0.5 m 或 0 m~1 m 的土壤，宜作为疑似污染土，清挖后运送至疑似污染土暂存区单独存放，围挡隔离、苫盖防扬尘。疑似污染土检测符合修复目标的为清洁土，而超过修复目标的为污染土壤，应运送至相应的修复工艺处理处置。

6.4.1.5 污染土壤的清挖采取分区域分层清挖的方式，当复合污染区域与重金属和无机物污染区域或有机污染区域相邻时，宜优先对复合污染区域进行清挖。清挖出来的污染土壤现挖现装，采用封闭式环保运输车运送到相应的修复区域，封装前在土壤表面覆盖薄膜或苫布，防止运输过程中有害气体挥发、扬尘等造成环境污染。封闭运输车禁止超载。

6.4.1.6 露天基坑四周应设置挡水墙或截水沟，开挖过程中应及时覆盖基坑开挖面，尽量减少基坑积水量。对地下水位以下的污染土壤进行开挖时应进行基坑降水后开挖。基坑内收集的雨水、基坑渗积水（涌水）、车辆清洗水处理后应符合国家、地方和相关行业标准回用或排放。

6.4.1.7 严格落实扬尘控制措施，如设置雾化水汽喷射装置、喷洒降尘设施等，无组织监控点扬尘（颗粒物）浓度应符合国家、地方相关标准。

6.4.1.8 实施噪声污染防控措施，施工机械噪声排放和施工区域的噪声环境质量符合国家、地方相关标准的要求。

6.4.1.9 原位修复过程中，如钻井施工、灌注搅拌桩施工等，若空气中污染物浓度异常，应向土壤揭露面直接喷射泡沫抑制剂，控制大气中的污染物浓度；对开挖污染土壤作业面进行苫盖，防止扬尘；在开挖作业面下侧采取措施防止污染土壤随径流扩散。

6.4.2 污染土壤暂存和预处理

6.4.2.1 污染土壤（含挥发性有机物或异味或易挥发的重金属）的暂存和预处理过程应在地面有防渗处理的负压密闭大棚或车间内进行，施工过程对车间进行通风换气，配废气收集与处理装置，废气排放应符合国家、地方和相关行业标准，避免扬尘与挥发造成二次污染，处理尾气的活性炭妥善处理；其它污染土壤苫盖暂存或车间堆放，预处理过程在大棚或车间内进行。

6.4.2.2 堆放地面、负压大棚或车间地面应做硬化和防渗处理，采用浇筑强度不低于 C20 的抗渗混凝土，浇筑厚度不得低于 20 cm。

6.4.2.3 对污染土壤进行破碎，同时分拣、筛分建筑垃圾、大型石块、水泥块等建渣。建渣经清洗检测合格后再运送到固体废物临时存放区存放，鼓励进行资源化利用。

6.4.2.4 污染土壤暂存和预处理区应建设废水、渗滤水收集设施；收集的废水、渗滤水处理达标后回用或排放；收集池污泥运送至污染土壤修复区进行修复，属于危险废物的，则按危险废物相关规定进行管理。

6.4.2.5 实施噪声污染防控措施，施工机械噪声排放和施工区域的噪声环境质量符合国家、地方相关标准的要求。

6.4.2.6 大棚或车间内空气质量应满足职业卫生等相关规范要求。

6.4.3 污染土壤和地下水修复

6.4.3.1 含挥发性有机物、异味、易挥发重金属的污染土壤异位修复在地面有防渗处理的负压密闭大棚内进行,其他污染土壤异位修复在地面有防渗处理的车间或工棚内进行;对污染土壤中挥发的污染物、修复过程排放的污染物等进行收集,根据污染物种类及浓度,选择适宜技术进行处理,废气排放应符合国家、地方和相关行业标准。

6.4.3.2 负压密闭大棚或车间内空气质量应满足职业卫生等相关规范要求。

6.4.3.3 地块及周边严格落实各项扬尘污染防治措施;易飞扬物、细颗粒散体材料等,应在仓库内存放或严密遮盖,运输时要防止遗洒、飞扬,卸运时采取码放措施,减少污染。

6.4.3.4 严格划分地下水污染区域与非污染区域,把可能受污染的地下水与未受污染的部分分开;采用抽提修复含有非水相液体类污染物的地下水时,应先抽取非水相液体污染区域、再抽取全部污染区域;含有挥发性有机物的地下水抽提处理过程中,采用密闭处理设施进行储存及处理,排放水质应符合国家、地方和相关行业标准的排放要求;污染地下水目标污染物应处理达到修复目标值后方可排放或回用。

6.4.3.5 对施工过程产生的废水进行收集、处理和回用,排放水质应符合国家、地方和相关行业标准的排放要求;废水处理污泥应妥善处理、处置,属于危险废物的,则按危险废物相关规定进行管理。

6.4.3.6 充分利用现有建筑物和相关设施,减少原材料使用量,减少固废产生量;施工和运行过程中所产生的固体废物的处理应符合国家、地方和相关行业规定,一般固体废物,尽可能进行资源化利用,减少排放量;经鉴别属于危险废物的,则按危险废物相关规定进行管理。

6.4.3.7 施工和运行过程宜使用低噪声设备,设置噪声隔离措施,合理安排施工时间,噪声排放应符合国家、地方和相关行业标准。

6.4.3.8 疑似污染土壤暂存区、污染土壤的养护区、待验区,地面应硬化,四周设置挡水墙,并采取防扬尘、防冲刷、防渗滤措施。

6.4.3.9 按照修复方案中的环境监测计划,及时对修复效果进行跟踪监测;同时开展修复地块周边土壤、地表水、地下水、环境空气等的监测。

6.4.4 污染土壤异地修复

6.4.4.1 GB 34330 中规定要求属于固体废物的外运污染土壤(如填埋,焚烧,水泥窑协同处置,生产砖、瓦、筑路材料等其他建筑材料),应按固体废物相关法律法规和技术规范进行管理,在转运前应按照标准要求进行固体废物危险特性鉴别。如被鉴定为危险废物,则按危险废物相关规定进行管理。

6.4.4.2 污染土壤转运前应制定转运计划,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的生态环境主管部门。

6.4.4.3 污染土壤使用车辆或驳船运输时,做好防异味、防渗漏、防撒漏等二次污染防治措施,可在土壤上层适量喷水降尘,并覆盖薄膜或苫布。污染土壤产生单位应建立污染土壤转运台账,记录土壤清运与运输日期、方量等信息。污染土壤运输过程中,严格执行联单制度(联单形式见附录 D)。

6.4.4.4 污染土壤接收单位应建立有效的环境管理制度,建立接收、处置污染土壤台账;按照相关标准规范要求,对污染土壤进行处理处置、风险管控、修复或再利用,严格落实二次污染防治,减少对周围环境的影响。如果污染土壤处理处置或利用的工艺、方式等发生重大变更,应报生态环境主管部门备案。

6.5 修复效果评估

6.5.1 通过综合分析地块修复工程实施过程中各介质检测结果后,若判断达到了修复目标,可开展修复效果评估。

6.5.2 修复效果评估总体上满足 HJ 25.5 和 HJ 25.6 的技术要求。

6.5.3 效果评估报告内容应包括修复工程概况、环境保护措施落实情况、效果评估布点与采样、检测结果分析、效果评估结论及后期环境监管建议等内容。

6.5.4 效果评估报告报生态环境主管部门备案;在地块移出建设用地土壤污染风险管控和修复名录前,修复地块禁止开工建设任何与修复无关的项目。

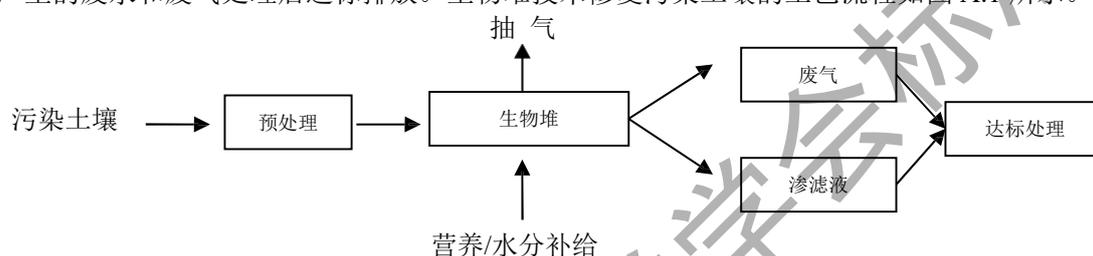
附录 A
(资料性)
常见污染地块修复技术/方法

A1 异位修复技术

A1.1 生物堆

A1.1.1 过程描述

拟修复土壤进行破碎、筛分、调理等预处理后将其堆置成生物堆，通过抽气、调配水分及营养等维持微生物生长所需环境，利用土壤中微生物降解污染物，最终把它们转化成水和二氧化碳。运行过程中，收集产生的废水和废气处理后达标排放。生物堆技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.1 所示。



图A.1 生物堆修复污染土壤的工艺流程

A1.1.2 适用性

主要适用于石油烃类等易生物降解的有机污染物污染土壤；一般不适用于重金属、难降解有机污染物污染土壤。

A1.1.3 优点

二次污染风险小，处理费用较低，不破坏污染土壤的生态功能，污染土壤可二次利用。

A1.1.4 局限性

处理周期长，对存在重金属污染的复合污染土壤处理效果不佳；粘土类、高浓度污染土壤修复效果较差。

A1.2 化学还原/氧化

A1.2.1 过程描述

将污染土壤从原位开挖出来后在地块内指定修复设施内向污染土壤添加氧化剂或还原剂，通过氧化或还原作用，使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。

常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐和臭氧。

异位化学还原/氧化技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.2 所示。

A1.2.2 适用性

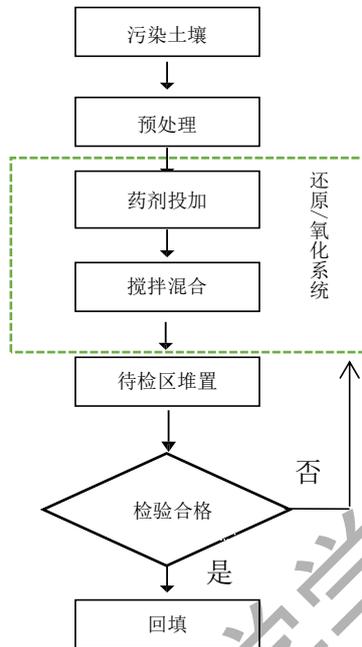
可处理的污染物类型有石油烃、苯系物（苯、甲苯、乙苯、二甲苯等）、酚类、甲基叔丁基醚、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等等，一般不适用于重金属（除六价铬外）污染的土壤修复。

A1.2.3 优点

技术成熟，国内应用较广泛；处理工艺简单；适用污染物范围较广。

A1.2.4 局限性

可能会产生有毒有害的中间产物；需关注药剂残留问题；药剂使用不当可能产生安全问题。



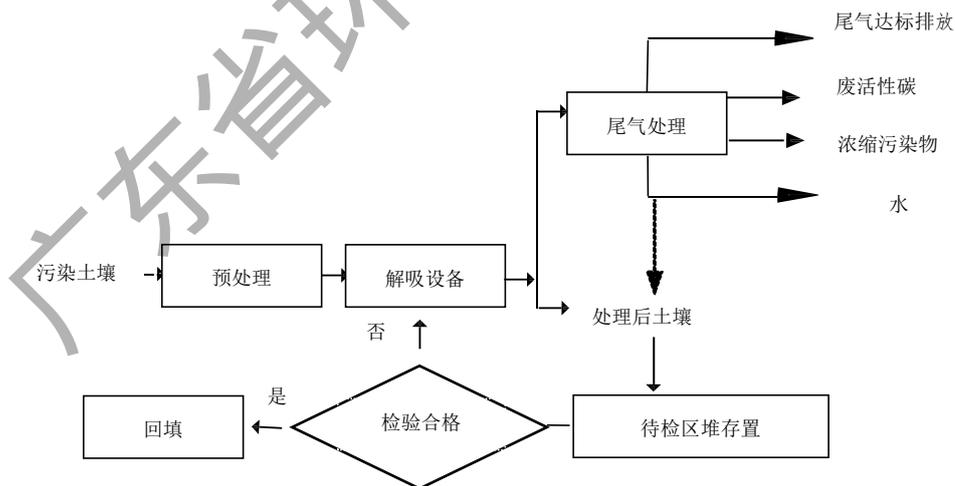
图A.2 异位化学还原/氧化技术修复污染土壤的工艺流程

A1.3 热脱附

A1.3.1 过程描述

将污染土壤输送至热脱附设备，采用热交换的方式，将污染土壤加热，利用热力增加污染物的挥发程度，从而把它从污染土壤中清除/分离的方法。

异位热处理技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.3 所示。



图A.3 异位热脱附技术修复污染土壤的工艺流程

A1.3.2 适用性

可处理的污染物类型有石油烃、挥发性有机物、半挥发性有机物、多氯联苯、呋喃、杀虫剂等，但不适用于腐蚀性有机物、高活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤，亦不适用于含有汞、砷、铅等复合污染土壤。

A1.3.3 优点

处理量大，修复效果好，修复效率高。

A1.3.4 局限性

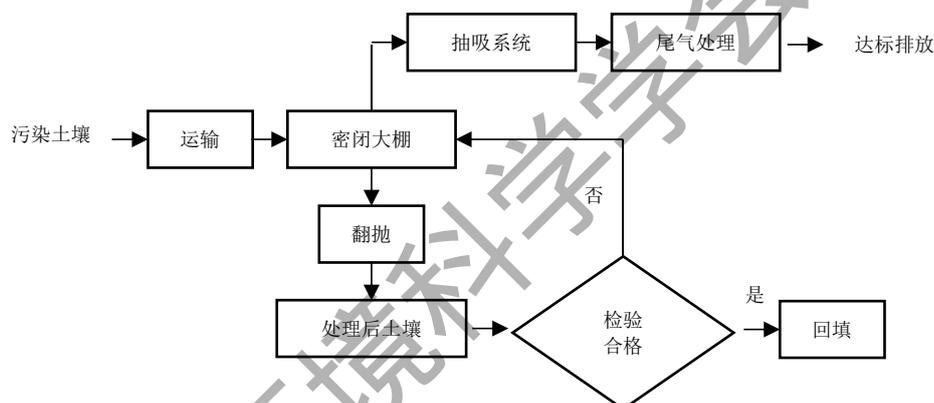
处理效率受土壤性质影响较大，对预处理要求较高；设备耐高温、耐磨损要求高，安装调试时间长，设备设施成本高，能耗高；对小体量污染土壤修复项目技术经济性较差；粘土含量高或含水率较大的土壤需进行预处理，增加处理费用。

A1.4 常温解吸

A1.4.1 过程描述

在密闭系统内，利用翻抛作业设备对堆放的污染土壤进行人为扰动和翻抛，通过增大污染土壤与空气的接触面积增加孔隙度，在良好的通透性条件下，利用抽气系统，使吸附于土壤中的污染物在浓度梯度的驱动下挥发进入土壤气，并被抽气系统收集处理，最终达到污染物减量化的目的。

异位常温解吸修复污染土壤的工艺流程如图 A.4 所示。



图A.4 异位常温解吸修复污染土壤的工艺流程

A1.4.2 适用性

适合处理低浓度、常温易挥发的有机污染物；不适用于常温不易挥发的有机物和重金属等。

A1.4.3 优点

工艺简单，成本较低，能耗低，对土壤理化性质破坏小。

A1.4.4 局限性

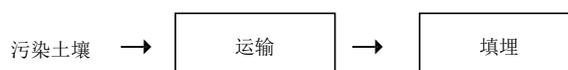
仅限于处理低浓度、常温易挥发的有机污染物；土壤水分含量对修复效率有影响。

A1.5 填埋

A1.5.1 过程描述

通过人工或机械手段，将污染土壤挖掘运到限定的区域内（山间、峡谷、平地 and 废矿坑内）进行填埋，使其发生物理、化学和生物学等变化，最终达到污染物减量化和无害化的目的。

填埋技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.5 所示。



图A.5 填埋技术修复污染土壤的工艺流程

A1.5.2 适用性

可处理重金属、有机物及重金属有机物复合污染土壤，不宜用于污染物水溶性强或渗透率高的污染土壤，不适用于地质活动频繁和地下水水位较高的地区。

A1.5.3 优点

工艺简单，土壤治理修复周期较短。

A1.5.4 局限性

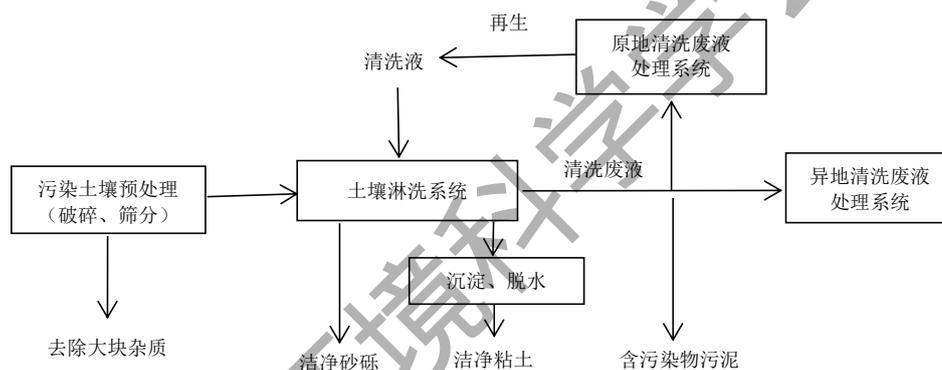
没有对污染物进行处理，潜在风险大等；占用土地资源，设施成本较高，不适用于较大地块。

A1.6 土壤淋洗

A1.6.1 过程描述

通过淋洗药剂/水对污染土壤进行洗涤，将附着在土壤颗粒表面的有机和无机污染物转移至水溶液中，从而达到洗涤和清洁污染土壤的目的。

土壤淋洗技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.6 所示。



图A.6 土壤淋洗技术修复污染土壤的工艺流程

A1.6.2 适用性

主要适用于重金属和部分半挥发性有机物，不适用于含有挥发性有机物或废渣的土壤。

A1.6.3 优点

污染土壤减量化效果明显；可有效降低土壤中污染物总量。

A1.6.4 局限性

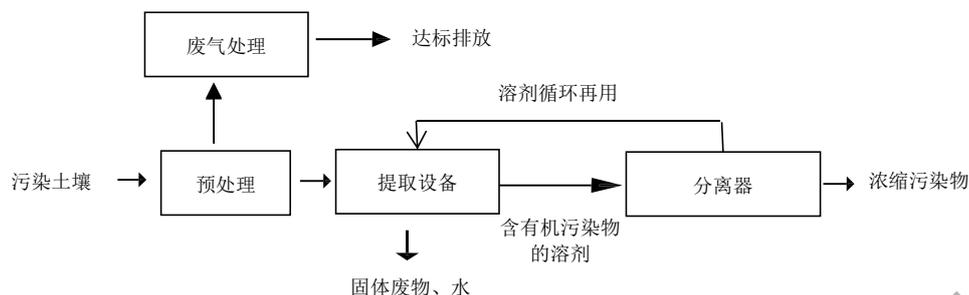
需配合其他技术处理洗脱后剩余的高污染土壤；需处理淋洗废水；对粘性土和有机质含高的土壤修复效果较差。

A1.7 土壤化学萃取

A1.7.1 过程描述

根据土壤溶液中某些物质在水和有机相间的分配比例不同，利用有机溶剂将土壤污染物选择性地转移到有机相进行物质分离或富集，从而达到分离和清洁污染土壤的目的。

土壤化学萃取技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.7 所示。



图A.7 溶剂萃取技术修复污染土壤的工艺流程

A1.7.2 适用性

可处理的污染物类型有：挥发性有机物和半挥发性有机物、卤化或非卤化有机物、多环芳烃、多氯联苯、二噁英、呋喃、除草剂和农药、炸药等。不适合于氰化物、腐蚀性物质、石棉等，黏质土和泥炭土不适合于该技术。

A1.7.3 优点

溶剂萃取效率较高，可回收一部分价值高的污染物，工艺简单。

A1.7.4 局限性

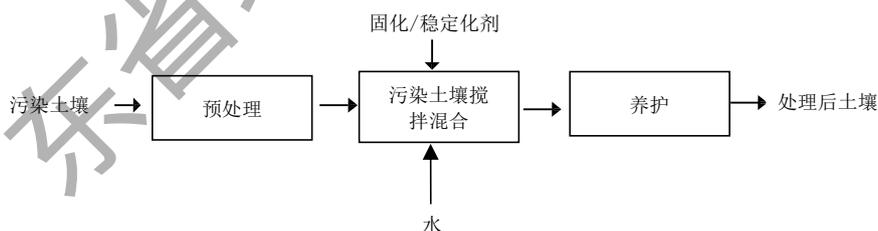
大部分有机溶剂具有一定的毒性，在实际的萃取操作过程中，通常大部分萃取设备的运行都要在密闭条件下进行；处理费用昂贵，对土壤有破坏性。

A1.8 固化/稳定化

A1.8.1 过程描述

通过加入固化/稳定化剂，限制土壤中污染物的溶解度或流动性，阻滞和减缓土壤中污染物的释放，进而达到环境和人体健康可接受的安全水平。即挖掘出受污染的土壤，用机器与固化/稳定化剂混合，再把固化或稳定化后的土壤放于指定地区。

固化/稳定化技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.8 所示。



图A.8 异位固化/稳定化技术修复污染土壤的工艺流程

A1.8.2 适用性

主要适用于重金属及砷化合物等污染物，亦适用于石棉、部分氰化物和有机污染。一般不适用于单质汞、氰化物、挥发性有机物。

A1.8.3 优点

技术成熟、应用广泛、处理时间短。

A1.8.4 局限性

不降低污染物总量，不适用于以总量为验收标准的修复情形；一般需配合阻隔技术使用，并进行长期监控；需根据规划和地块用途协调落实阻隔回填区域，且未来存在被扰动的风险；对于地下基础复杂

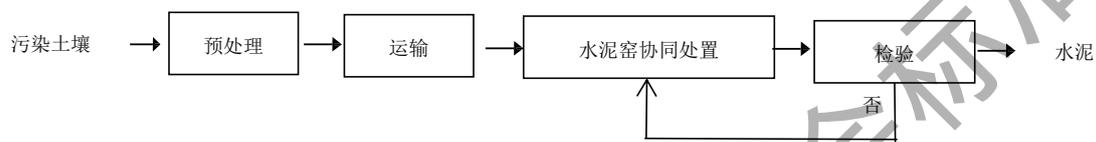
的地块，工程施工成本较高。

A1.9 水泥窑协同处置

A1.9.1 过程描述

是指在水泥生产过程中，将满足或经过预处理后满足入窑要求的污染土壤投入水泥窑，在进行水泥熟料生产的同时，焚烧固化处理污染土壤。有机污染土壤从窑尾烟气室进入水泥回转窑，在高温条件下，污染土壤中的有机污染物转化为无机化合物；重金属污染土壤从生料配料系统进入水泥窑，使重金属固定在水泥熟料中。水泥窑协同处置主要由土壤预处理系统、上料系统、水泥回转窑及配套系统、监测系统组成。

水泥窑协同处置技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.9 所示。



图A.9 水泥窑协同处置技术修复污染土壤的工艺流程

A1.9.2 适用性

主要适用于半挥发性有机物（如石油烃、农药、多环芳烃、多氯联苯等）、重金属和无机物等。

A1.9.3 优点

技术成熟，适用范围较广。

A1.9.4 局限性

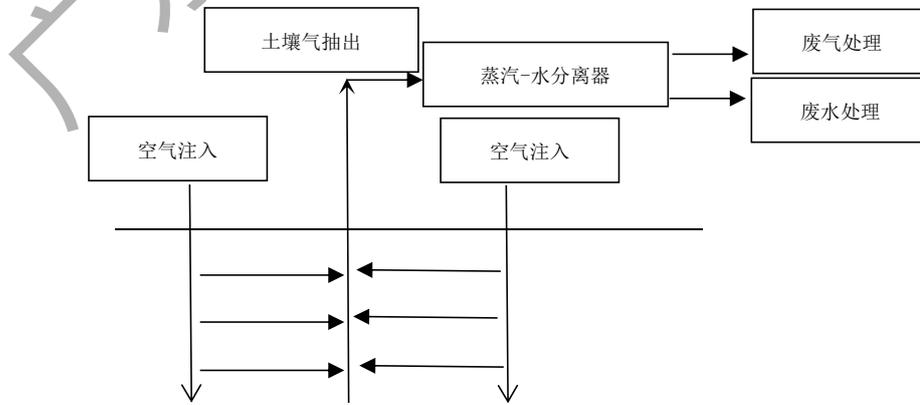
耗能较大。不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤；由于水泥生产对进料中氯、硫等的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土的添加量。

A2 原位修复技术

A2.1 空气吹脱

A2.1.1 过程描述

通过压力将空气注入受污染的地下饱和含水层，使其中的溶解性气体和易挥发的有机污染物的状态转变为气相（挥发）进入包气带（非饱和带）中，抽出土壤气体进行处理，从而达到整治地下水污染的目的。空气吹脱技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.10 所示。



图A.10 空气吹脱/土壤气抽提技术修复污染土壤的工艺流程

A2.1.2 适用性

适用于挥发性有机物和燃油（汽油）污染的土壤，以及饱和区的易挥发、易流动的污染物。对于渗透性低的土壤、有机碳含量高的污染土壤的修复效果较差。一般不适用于重金属和难降解有机物。

A2.1.3 优点

设备简单，易于安装操作；对现场环境破坏小；易于和其他修复技术联合使用；可以在建筑物等下面操作，而不破坏地上建筑物。

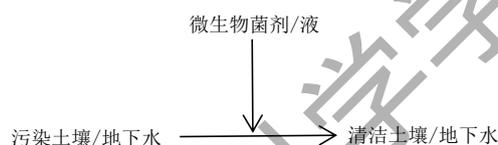
A2.1.4 局限性

对低渗透性土壤和非均质介质的效果不确定；对抽出的污染气体需进行后续处理。

A2.2 生物强化

A2.2.1 过程描述

指向污染土壤中添加高效降解菌剂/微生物菌剂、专用菌剂等提高土壤中污染物的分解与去除作用，使污染物的浓度降低到可接受的水平，从而清除土壤和地下水中的污染物，或是使污染物无害化的过程。生物修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.11 所示。



图A.11 生物修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.2.2 适用性

可处理的污染物类型有挥发性有机物、易于生物降解的有机物和重金属，但不适用于低渗透性土壤，部分地下水环境不适宜微生物生长。

A2.2.3 优点

对能量的消耗较低，可以修复面积较大的污染地块；操作简便、费用低、效果好。

A2.2.4 局限性

受多种因素的影响，且对土壤中的营养等条件要求较高；高浓度污染物可能对微生物有毒；特定微生物只降解特定污染物。

A2.3 生物刺激

A2.3.1 过程描述

指向污染土壤或地下水中注入空气和加入营养，提高土壤或地下水中微生物吸收、降解、转化污染物的能力，使污染物的浓度降低到可接受的水平，或将有毒有害的污染物转化为无毒无害的物质。

生物修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.12 所示。



图A.12 生物修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.3.2 适用性

可处理的污染物类型有挥发性有机物、易于生物降解的有机物和重金属，但不适用于低渗透性土壤，部分地下水环境不适宜微生物生长。

A2.3.3 优点

对能量的消耗较低，可以修复面积较大的污染地块；操作简便、费用低、效果好。

A2.3.4 局限性

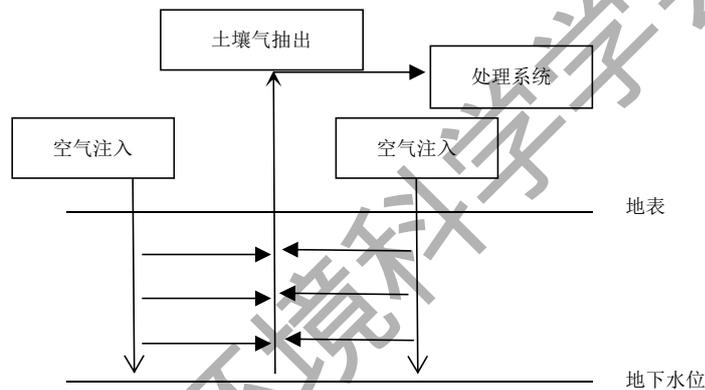
受多种因素的影响，且对土壤中的营养等条件要求较高；特定微生物只降解特定污染物。

A2.4 生物通风

A2.4.1 过程描述

此方法是向污染土壤中提供低流速的空气，土壤中的氧气浓度增加，促进好氧微生物的活性，从而提高土壤中污染物的降解效果，并减少挥发性有机物质挥发进大气中。

生物通风技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.13 所示。



图A.13 空气吹脱/土壤气抽提技术修复污染土壤的工艺流程

A2.4.2 适用性

主要适用于挥发性有机物及半挥发性有机物，一般不适用于重金属和难降解有机物。

A2.4.3 优点

修复成本低、二次污染风险小，无需进行开挖。

A2.4.4 局限性

处理周期长，受多种因素的影响，包括土壤湿度；透气度低的土壤的修复效果较差。

A2.5 热脱附

A2.5.1 过程描述

向地下输入热能，加热提高污染区域的温度，改变污染物的物化性质（蒸汽压及溶解度增加，粘度、表面张力、亨利系数及土水分配系数减小），促进污染物挥发或溶解，增加气相中污染物的浓度，提高气相抽提效率，实现对目标污染物的去除。热处理技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.14 所示。



图A.14 热处理技术修复污染土壤的工艺流程

A2.5.2 适用性

主要适用于石油烃、挥发性有机物及半挥发性有机物、多氯联苯、呋喃、杀虫剂等。不适用于腐蚀性有机物、高活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤；一般不适用于含有汞、砷、铅等的复合污染土壤。

A2.5.3 优点

无需开挖，适合无法实施开挖工程的地块或污染深度较大的地块；大多数污染物在地下环境就被降解，只有一小部分被抽出，而可有效避免二次污染。

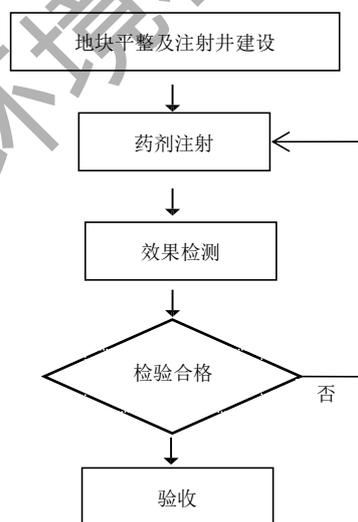
A2.5.4 局限性

修复周期长、成本较高、工艺复杂、运行维护要求较高；修复效果不确定性相对较大，可能出现局部污染区域修复不彻底的问题；粘土含量高或含水率较大的土壤处理效果较差。

A2.6 化学还原氧化技术

A2.6.1 过程描述

向待修复的污染土壤或含水层中注入强氧化剂，使氧化药剂同污染介质充分接触，与有机污染物发生氧化还原反应，使污染物氧化生成无毒或低毒的降解产物，达到修复有机污染土壤和地下水的目的。原位化学还原/氧化技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.15 所示。



图A.15 原位化学还原/氧化技术修复污染土壤的工艺流程

A2.6.2 适用性

主要适用于石油烃、苯系物（苯、甲苯、乙苯、二甲苯等）、酚类、甲基叔丁基醚、含氯有机溶剂等污染物。一般不适用于重金属污染土壤。

A2.6.3 优点

避免了开挖或抽取等附加工程，显著降低修复费用。反应周期短（几个星期到几个月）、工程量相

对较少，通常在处理严重污染地块及地下水方面有成本效益优势，修复过程中不会产生二次污染，且可同时修复受污染的土壤和地下水。

A2.6.4 局限性

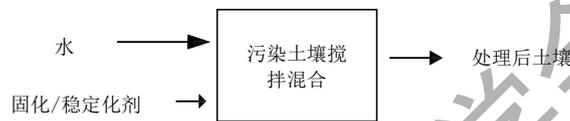
需要对地块水文地质条件、污染范围和程度比较明确；修复效果不确定性相对较大，可能出现污染“反弹”和局部污染区域修复不彻底的问题；可能会产生有毒有害的中间产物；需关注药剂残留问题；对于粘性土壤为主的污染地块，修复效果较差；药剂使用不当可能产生安全问题。

A2.7 固化/稳定化

A2.7.1 过程描述

把固化/稳定化剂注入受污染土壤中，限制土壤中污染物的溶解度或流动性，阻滞和减缓土壤中污染物的释放，进而达到环境和人体健康可接受的安全水平。

固化/稳定化技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.16 所示。



图A.16 原位固化/稳定化技术修复污染土壤的工艺流程

A2.7.2 适用性

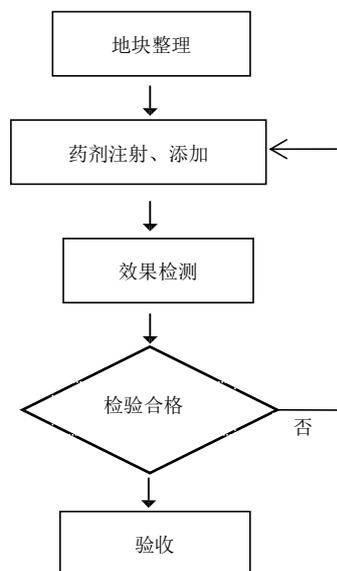
主要适用于重金属及砷化合物等污染物，有时也用于石棉、氰化物及部分有机污染物。一般不适用于单质汞、氰化物、挥发性有机物。

A2.7.3 优点

技术成熟、应用广泛、处理时间短、费用低，无需进行开挖。

A2.7.4 局限性

不降低污染物总量；一般需配合阻隔技术使用，并进行长期监控；修复效果存在一定不确定性；未来存在被扰动的风险，不适用于未来将要开挖或其它扰动的情形。



图A.17 原位纳米修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.8 纳米修复

A2.8.1 过程描述

把纳米材料添加/注入受污染土壤、地下水中，通过纳米材料促进生物和非生物降解，或限制土壤中污染物的流动性、阻滞和减缓土壤中污染物的释放，进而达到环境和人体健康可接受的安全水平。

原位纳米修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.17 所示。

A2.8.2 适用性

主要适用于挥发性有机物、DNAPLs、石油烃、PCBs、农药、Cr(VI)。

A2.8.3 优点

可能有较好的修复效果，处理时间短，无需进行开挖。

A2.8.4 局限性

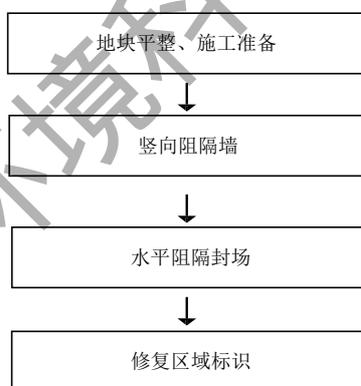
纳米材料在环境中的物理和化学性质不稳定，容易造成凝聚、堵塞，影响修复效果。

A2.9 阻隔技术

A2.9.1 过程描述

采用如添加覆盖物、修建垂直或水平屏障等措施，阻止气体、液体或污染土壤颗粒向周围迁移扩散，阻断土壤污染物暴露途径，消除土壤污染风险。

原位阻隔技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.18 所示。



图A.18 原位阻隔修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.9.2 适用性

主要适用于重金属、有机污染物。用于腐蚀性、挥发性较强的污染物时，环境风险相对较大；适用于地下水埋深较浅的含水层。对于后续开发中有开挖需求或后续对土壤有其他用途需求的污染区域不适用。

A2.9.3 优点

技术成熟、应用广泛、成本较低、实施周期短。

A2.9.4 局限性

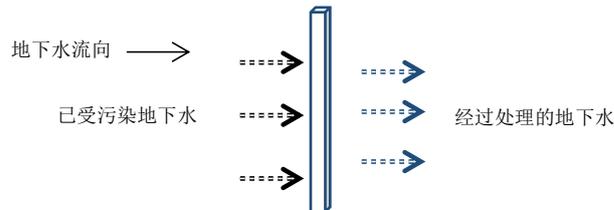
污染物未彻底消除，有潜在渗漏及移动风险，不能排除将来仍需加以处理的可能性；阻隔占用区域将对地块开发利用产生影响。

A2.10 可渗透反应墙

A2.10.1 过程描述

在受污染地下水流经的方向建造由反应介质组成的反应墙，当污染的地下水渗流通过时，污染物与介质发生吸附、沉淀、化学降解或生物降解等作用而被去除。

可渗透反应墙技术修复污染地下水的工艺流程如图 A.19 所示。



图A.19 可渗透反应墙技术修复污染地下水的工艺流程

A2.10.2 适用性

适用于石油烃、氯代烃和重金属，适用于相对较浅的、渗透性较好的含水层。

A2.10.3 优点

技术成熟，构建造简单，对环境影响较小。

A2.10.4 局限性

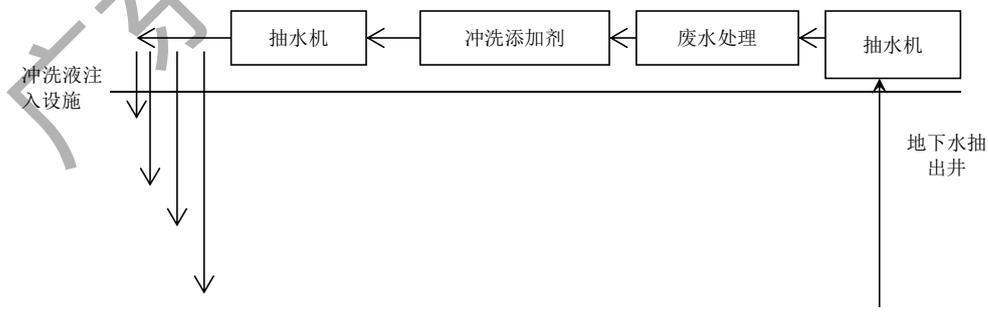
填料需要适时更换；需要对地下水的 pH 等进行控制；易受水文地质情况的季节性变化影响；修复时间可能较长。

A2.11 土壤冲洗

A2.11.1 过程描述

采用注入井、浅层渗沟或地表喷淋装置等方式，将可促进土壤污染物溶解或迁移的化学溶剂（溶液）原位注入受污染土壤中，从而将污染物从土壤中溶解、分离出来，将含有这些污染物的地下水抽出进行处理，最终实现污染土壤的修复。

土壤冲洗修复技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.20 所示。



图A.20 土壤冲洗修复技术修复污染土壤的工艺流程图

A2.11.2 适用性

可修复重金属和有机污染土壤；粘土中污染物较难清洗。

A2.11.3 优点

无需进行挖掘、运输，适用于包气带和饱和带多种污染物去除，适用于组合工艺中。

A2.11.4 局限性

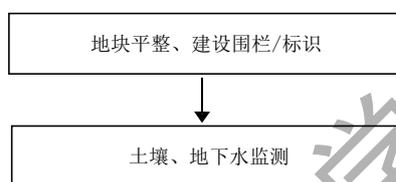
可能会污染地下水；去除效果受制于地块地质情况等。

A2.12 监控自然衰减

A2.12.1 过程描述

通过实施有计划的监控策略，在无人干扰下，利用污染区域自然发生的物理、化学和生物学过程，如吸附、挥发、稀释、扩散、化学反应、生物降解、生物固定和生物分解等，降低污染物的浓度、数量、体积、毒性和移动性，使得土壤和地下水中污染物的暴露风险控制到可接受水平。

监控自然衰减修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.21 所示。



图A.21 原位纳米修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.12.2 适用性

可处理的污染物类型：碳氢化合物(如 BTEX(苯、甲苯、乙苯、二甲苯)、石油烃、多环芳烃、MTBE(甲基叔丁基醚))、氯代烃、硝基芳香烃、重金属类、非金属类(砷)、含氧阴离子等。适用于污染程度较低、污染物自然衰减能力较强的孔隙、裂隙和岩溶含水层。不适用于低渗透性土壤。

A2.12.3 优点

费用低，对环境影响较小。

A2.12.4 局限性

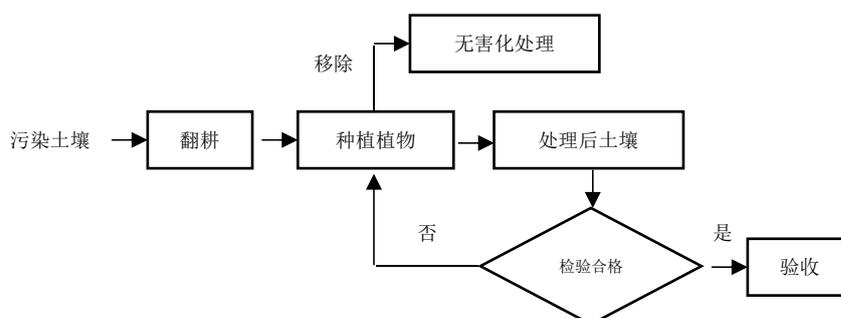
时间较长，需要数年或更长时间。

A2.13 植物修复技术

A2.13.1 过程描述

种植特定植物，通过植物吸收、分解、络合、沉淀等方式，将土壤中的污染物提取、钝化或分解，从而达到降低土壤中污染物的含量或降低其生物有效性及迁移性的目的。

植物修复技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.22 所示。



图A.22 植物修复污染土壤的工艺流程

A2.13.2 适用性

可处理的污染物类型：重金属类、非金属类(砷、硒)、含氧阴离子等；适用于污染程度较低、污染主要在表层的土壤。

A2.13.3 优点

费用低，操作简单，对土壤理化性质影响较小。

A2.13.4 局限性

修复时间较长，需要数年或更长时间；只能修复表层土壤；收获后的植物需要进行安全处理处置。

广东省环境科学学会标准

附录 B
(资料性)
修复方案编制大纲

B.1 总论

- B.1.1 项目背景
- B.1.2 编制依据
- B.1.3 编制原则
- B.1.4 编制内容
- B.1.5 编制技术路线

B.2 地块概况

- B.2.1 区域概况
- B.2.2 地块环境特征
- B.2.3 地块生产历史
- B.2.4 地块现状
- B.2.5 地块周边条件（地块周边土地使用情况、地块周边企业、周边环境敏感点）
- B.2.6 地块未来规划

B.3 地块污染现状及风险评估结论

- B.3.1 地块污染现状
- B.3.2 地块风险评估结论

B.4 地块修复目标

- B.4.1 地块条件
- B.4.2 地块概念模型
- B.4.3 修复目标

B.5 地块修复技术

- B.5.1 修复策略
- B.5.2 修复技术筛选与集成
- B.5.3 修复技术可行性评估

B.6 修复方案设计

- B.6.1 修复技术路线
- B.6.2 修复技术工艺参数
- B.6.3 修复工程量
- B.6.4 修复工程布局与运行

B.7 环境管理计划

- B.7.1 二次污染防治方案
- B.7.2 环境监测计划
- B.7.3 环境应急计划

B.8 结论与建议

附录 C
(资料性)
污染土壤转移联单 (样表)

表 C.1 污染土壤风险管控和修复转移联单 (样表)

记录表编号:

填表日期:

第一部分: 污染土壤产生单位填写				
产生单位				(盖章)
土壤起运地址				
外运目的地				
转运数量 (t 或 m ³)				
污染类型	<input type="checkbox"/> 重金属及无机类污染 <input type="checkbox"/> 有机污染 <input type="checkbox"/> 复合污染 <input type="checkbox"/> 其他			
包装方式				
发运日期	年	月	日	时
经办人	(签字)	联系电话		
第二部分: 污染土壤运输单位填写				
运输单位				(盖章)
车型/船型		牌号		
运输证号		承运数量 (t 或 m ³)		
运抵日期	年	月	日	时
经办人	(签字)	联系电话		
第三部分: 污染土壤接收单位填写				
接收单位				(盖章)
土壤接收地址				
接收数量 (t 或 m ³)				
接收时的包装方式				
接收日期	年	月	日	时
经办人	(签字)	联系电话		
<p>注 1: 污染土壤产生单位每转移一车污染土壤, 应当填写一份联单。</p> <p>注 2: 联单跟随转运流程, 由污染土壤产生单位、运输单位、接收单位依次填写在同一张表格上盖章 (公章、业务专用章或项目专用章)、签字确认。</p> <p>注 3: 联单一式 3 份, 污染土壤产生单位、运输单位、接收单位各保留 1 份。</p> <p>注 4: 记录表编号一般由 4 位数字组成, 宜按土壤出场顺序编号。</p>				

参 考 文 献

- [1] GB 3095 环境空气质量标准
- [2] GB 3838 地表水环境质量标准
- [3] GB 8978 污水综合排放标准
- [4] GB 9078 工业炉窑大气污染物排放标准
- [5] GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- [6] GB 14554 恶臭污染物排放标准
- [7] GB/T 14848 地下水质量标准
- [8] GB 16297 大气污染物综合排放标准
- [9] GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- [10] GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- [11] GB 30485 水泥窑协同处置固体废物污染控制标准
- [12] GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准
- [13] GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素
- [14] HJ/T 299 固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法
- [15] HJ/T 300 固体废物浸出毒性浸出方法 醋酸缓冲溶液法
- [16] HJ 662 水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范
- [17] HJ 2035 固体废物处理处置工程技术导则
- [18] HJ 2042 危险废物处置工程技术导则
- [19] JG/T 111 建筑与市政工程地下水控制技术规范
- [20] DB44/26 水污染物排放限值
- [21] DB44/27 大气污染物排放限值
- [22] DB4401/T 102.2 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
- [23] 《广东省建设用地土壤污染修复工程环境监理技术指南（试行）》（粤环办〔2020〕75号）
- [24] 《按風險釐定的土地污染整治標準的使用指引》
- [25] 《受污染土地勘察及整治實務指南》
- [26] 《受污染土地的評估和整治指引》
- [27] 《化學廢物管制計劃指南》
- [28] 《化學廢物產生者登記指引》
- [29] 《水污染管制條例指南》
- [30] 《許可證制度的守則》
- [31] 《澳門環境質量標準—商住用地、工業用地和公園綠地之土壤管控標準（試行）》
- [32] 《土地污染評估指引（2019年版）》