

ICS 13.080  
CCS Z 10

# DB4401

## 广州市地方标准

DB4401/T 102.2—2021

### 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

Soil pollution prevention and control of land for construction—

Part 2: Technical specifications for remediation scheme of contamination

2021-09-09 发布

2021-10-01 实施

广州市市场监督管理局  
广州市生态环境局

联合发布



## 目 次

前言.....	III
引言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本原则和工作程序.....	2
4.1 基本原则.....	2
4.2 工作程序.....	2
5 选择修复模式.....	3
5.1 确认地块条件.....	3
5.2 细化地块概念模型.....	4
5.3 确认修复目标.....	4
5.4 确定修复模式.....	4
6 筛选修复技术.....	5
6.1 分析比较修复技术适用性.....	5
6.2 修复技术可行性评估.....	5
6.3 确定修复技术.....	5
7 制定修复技术方案.....	6
7.1 制定修复技术路线.....	6
7.2 确定修复技术工艺参数.....	6
7.3 修复技术方案.....	6
7.4 施工平面布局规划.....	7
7.5 施工组织安排.....	7
7.6 异地风险管控和修复要求.....	7
7.7 修复后土壤环境管理要求.....	8
8 制定环境保护方案.....	8
8.1 环境保护方案内容.....	8
8.2 二次污染防治方案.....	8
8.3 环境监测计划.....	9
8.4 环境应急计划.....	9
9 修复方案文本编制.....	9
9.1 形式要求.....	9

9.2 修复方案大纲.....	9
附录 A（资料性） 常见建设用地风险管控和修复技术.....	10
附录 B（资料性） 污染土壤风险管控和修复转移联单（样表） .....	15
附录 C（资料性） 建设用地土壤污染修复方案编制大纲.....	16

## 前言

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

本文件为DB4401/T 102的第2部分。DB4401/T 102拟分为以下部分：

- 第1部分：污染状况调查技术规范
- 第2部分：污染修复方案编制技术规范
- 第3部分：土壤重金属监测质量保证与质量控制技术规范
- 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

……

本文件由广州市生态环境局提出并归口。

本文件起草单位：广州市环境技术中心、广东省广州生态环境监测中心站、生态环境部华南环境科学研究所、广东环境保护工程职业学院。

本文件主要起草人：谭海剑、张静雯、周展锋、胡丹心、吴文成、宋清梅、叶建平、陈泽雄、方皓、符云琳、吴颖欣、黄志坚、周志军、马少杰、吴嘉慧。

## 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》，保护土壤生态环境，保障人居环境安全，加强广州市建设用地土壤环境监督管理，规范广州市土壤污染修复方案的编制工作，制定本文件。

DB4401/T 102计划编制若干部分，第1部分的技术要求是建设用地土壤污染防治技术工作的前期技术性工作，通过使用第1部分规定的技术方法以查明建设用地土壤污染状况，从而判断被调查的建设用地地块土壤环境质量是否满足相应要求。对于不满足要求需要修复的，按第2部分规定的技术要求编制污染修复方案，以指导污染修复工作，保障修复效果；第3部分和第4部分规定了土壤污染防治相关重金属和挥发性有机物监测工作的质量保证和质量控制要求；其他部分均围绕土壤污染防治工作的不同方面提出技术要求。

# 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

## 1 范围

本文件规定了建设用地土壤污染修复方案编制的术语和定义、基本原则和工作程序、选择修复模式、筛选修复技术、制定修复技术方案、制定环境保护方案、编制修复方案等内容。

本文件适用于广州市辖区内建设用地土壤污染修复方案的编制工作。

本文件不适用于放射性污染和致病性生物污染的建设用地土壤修复方案编制工作。

## 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 12523 建筑施工场界环境噪声排放标准
- GB 14554 恶臭污染物排放标准
- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- GB 30485 水泥窑协同处置固体废物污染控制标准
- 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）
- 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 662 水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范
- DB44/ 26 水污染物排放限值
- DB44/ 27 大气污染物排放限值
- DB4401/T 11 建筑废弃物运输车辆标志与监控终端、车厢规格与密闭

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**土壤修复** soil remediation

采用物理、化学或生物的方法固定、转移、吸收、降解或转化地块土壤中的污染物，使其含量降低到可接受水平，或将有毒有害的污染物转化为无害物质的过程。

[来源：HJ 25.4—2019，3.1]

### 3.2

**修复模式** remediation strategy

对地块进行修复的总体思路，包括原地修复、异地修复、异地处置、自然修复、污染阻隔、居民保护和制度控制等，又称修复策略。

[来源：HJ 25.4—2019，3.4]

### 3.3

#### 修复目标 target for remediation

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和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：HJ 25.4—2019，3.2]

### 3.4

#### 污染土壤与地下水协同修复治理模式 collaborative remediation model of contaminated soil and groundwater

在满足一定条件时，将一定区域内的污染土壤（包括含水层土壤）和与其相关联的污染地下水一并进行修复治理，使该区域的污染土壤和地下水可满足相应环境要求的模式。

## 4 基本原则和工作程序

### 4.1 基本原则

#### 4.1.1 科学性

在前期土壤污染状况调查和风险评估的基础上，采用科学的方法，综合考虑污染土壤和地下水修复目标、修复技术的处理效果、修复时间、修复成本、修复工程的环境影响等因素，制定修复方案。

#### 4.1.2 可行性

在前期工作的基础上，针对地块的污染性质、程度、范围以及对人体健康或生态环境造成的危害，合理选择土壤修复技术，因地制宜制定修复方案，使修复目标可达，且修复工程切实可行。

#### 4.1.3 安全性

制定地块修复方案要确保污染地块修复工程实施安全，防止对施工人员、周边人群健康以及生态环境产生危害和二次污染。

### 4.2 工作程序

土壤污染修复方案编制工作分为选择修复模式、筛选修复技术和制定修复方案3个阶段，工作程序应按图1进行。



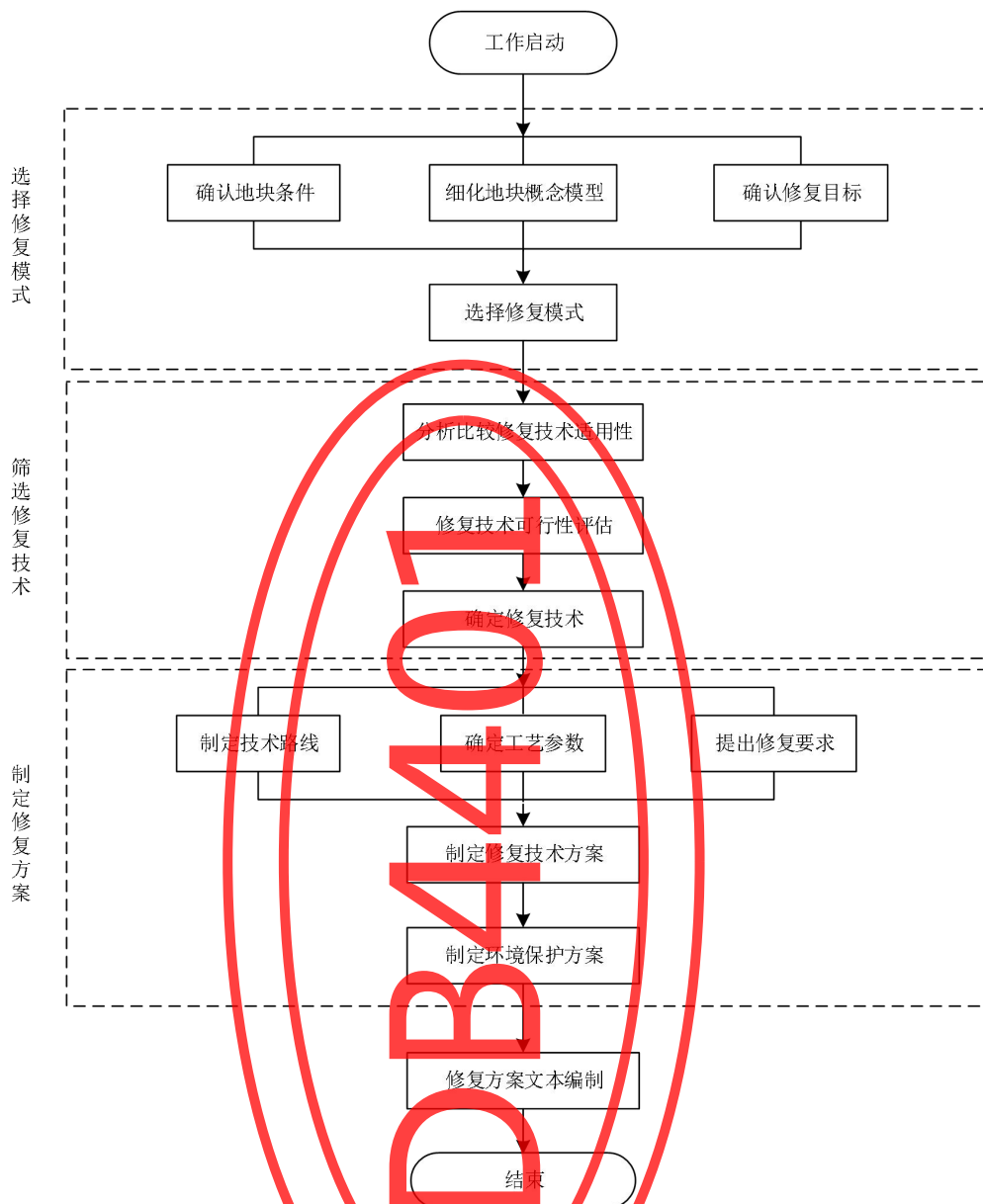


图1 建设用地土壤污染修复方案编制的工作程序

## 5 选择修复模式

### 5.1 确认地块条件

5.1.1 核实前期按照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、污染范围、污染量、地块水文地质条件、用地规划地块利用方式、环境敏感受体、未来建（构）筑物等的一致性、有效性和完整性，如发现已有资料不能满足修复方案编制基础信息要求，应适当补充相关资料；必要时，还可结合地块现状开展补充性调查，以满足修复工程要求。补充资料及补充性调查工作要求参考 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 25.3 和 HJ 25.4。

5.1.2 现场考察地块现状，特别关注相对于前期土壤污染状况调查和风险评估时发生的重大变化，如是否发生动土施工等情况，以及周边环境敏感目标的变化情况。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、安全保卫等情况，为修复方案的工程施工布局提供基础信息。

5.1.3 如地块利用方式或其他重要条件发生变化，可能对修复效果产生重大影响的，前期土壤污染状况调查和风险评估工作不足以支撑修复工作，应重新开展土壤污染状况调查、风险评估。

## 5.2 细化地块概念模型

5.2.1 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和风险评估结果等因素，对概念模型进行细化。

5.2.2 以文字、图、表等形式描述地块地层特征、地下水埋深与流向、污染物的空间分布与迁移方式、污染介质与受体的相对位置、受体的可能暴露途径以及未来建（构）筑物特征等。

5.2.3 在修复方案制定的过程中，应根据所获取的地块基础信息情况动态更新地块概念模型。

## 5.3 确认修复目标

5.3.1 依据 HJ 25.3、GB 36600 等有关标准，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，对前期土壤污染状况调查和风险评估提出的修复目标进行合理性分析。

5.3.2 修复方案中的目标污染物、修复目标值、修复范围（修复边界、拐点坐标、污染深度等）和修复量原则上与经评审的地块土壤污染风险评估报告一致。如出现本文件 5.1.3 情形，应按新的风险评估结果确定修复目标。

5.3.3 对于采用污染土壤与地下水协同修复治理的，应依据接收地地下水用途和 HJ 25.3 中保护地下水的推荐模型计算的土壤风险控制值作为土壤中相应污染物的修复目标值；污染地下水根据处理后的去向确定修复/处理目标；当保护地下水的土壤污染修复目标值小于保护人体健康的土壤污染修复目标值时，应以保护地下水的土壤污染修复值为准。

5.3.4 确需调整原有修复目标值，应报组织评审相应风险评估报告的生态环境行政主管部门确认或重新组织评审，并附相关支撑文件。

5.3.5 根据所采取的修复技术特点，可在风险评估报告确定的修复目标基础上增加修复目标，增加修复目标的情形可包括：

- a) 对采用固化/稳定化风险管控和修复的，应增加污染物浸出浓度作为修复目标，浸出浓度应达到接收地地下水用途对应 GB/T 14848 等标准限值或不会对地下水造成危害。
- b) 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和可能的生态环境影响等进行风险评估并提出修复目标。
- c) 对化学氧化/还原、生物修复处理有机污染土壤等工艺，在小试、中试等表明存在次生有机污染物的，应提出相应修复目标。

## 5.4 确定修复模式

5.4.1 应结合地块环境特征和污染特征，对土壤和地下水存在的污染风险进行综合判定。

5.4.2 在分析前期土壤污染状况调查和风险评估资料的基础上，根据地块特征条件、目标污染物、修复范围、修复量和修复周期、未来开发建设规划、预期经费投入，选择确定地块修复总体思路。永久性处理修复优先于处置，即显著减少污染物数量、毒性和迁移性。鼓励采用绿色、可持续和资源化的修复技术。需将污染土壤转运出原污染地块的，应确定污染土壤量、去向、运输方式、路线和最终处置措施。

5.4.3 对采用污染土壤与地下水协同修复治理模式的，应同时满足以下条件：

- a) 地下水污染区域周边无地下水污染源或污染源已全部清除；
- b) 风险评估报告已按本文件 5.3.3 的方法确定了保护地下水的土壤污染修复目标值和修复范围；

- c) 土壤污染范围已包含地下水修复范围；
- d) 采取异位方式对土壤和地下水进行修复。

## 6 筛选修复技术

### 6.1 分析比较修复技术适用性

6.1.1 应根据地块修复模式、污染特征、土壤和地下水特性、污染物特性，从技术的修复效果、时间、成本、成熟度等方面考虑，筛选出潜在适用可行的修复技术。常见建设用地污染土壤修复技术见附录 A。

6.1.2 应确保所选择的修复技术对污染土壤和地下水的修复效果能满足土地利用方式的要求，在技术可行、时间、经济允许等条件下，选择可以降低污染物含量、毒性、迁移性等较为成熟的修复技术，避免二次污染，保护人体健康与环境安全。

### 6.2 修复技术可行性评估

6.2.1 可采用实验室小试、现场中试和相关案例分析等方式进行修复技术可行性评估。原则上根据实验室小试结果对修复技术进行可行性论证，确定关键工艺参数等。实验室小试应根据污染土壤的污染类型、污染浓度梯度采集有代表性的土壤样品，至少应包括污染较重区域的土壤。在符合前述要求的同时，应结合修复土壤量设置采样单元数量，推荐数量参见表 1，每单元至少采集 3 个样品。小试过程应采用拟选择的工艺组合进行试验，至少重复 3 次，确保试验结果的科学性。

表 1 最少采样单元数量

修复土壤量/m <sup>3</sup>	采样单元数量
≤2000	1
2000~≤10000	2
10000~≤50000	3
>50000	4

6.2.2 如采用原位方式进行修复或对修复技术适用性不确定，原则上开展现场中试，确定关键工艺参数等。中试应根据修复模式、修复技术类型的特点，在现场选择具有代表性的区域（兼顾不同区域、不同深度、不同污染浓度、不同土壤类型、不同修复工艺等情形）开展试验。每项原位修复技术中试面积不宜少于 100 m<sup>2</sup>，修复规模较小的地块，可适当减少中试面积。中试过程应做好二次污染防控措施等。

6.2.3 修复技术的小试及中试修复效果检测由第三方单位实施，并出具检测报告。其中，中试修复效果检测至少布设 3 个点位位置根据污染物分布规律在中试区域内选取，对于修复深度超过 1 米的，不同性质土层至少采集一个土壤样品，每个点位至少采集 2 个不同深度的样品。

6.2.4 若采用化学氧化/还原、生物修复处理有机污染土壤等可能产生降解产物的工艺，其小试、中试还应关注降解过程产生的次生有机污染物，对修复后土壤进行分析检测。

6.2.5 开展了实验室小试或现场中试的，应提供小试/中试工作报告，主要内容应包含实验设计、工艺条件（温度、水土比、土壤粒度、药剂添加量和反应时间等）、数据处理、效果评价和结论等，并附具过程照片。

### 6.3 确定修复技术

基于修复技术优缺点的比较分析和可行性评估结果，可采用列举法对各技术的原理、使用条件、修复效果、时间、成本、可行性、成熟度和环境安全性等方面进行综合分析比较，确定目标地块修复技术。

## 7 制定修复技术方案

### 7.1 制定修复技术路线

应根据地块修复模式、修复目标、修复技术筛选结果，结合地块环境管理要求等因素，采用一种或多种可行的修复技术进行优化组合集成。修复技术路线应反映污染地块修复总体思路和修复方式、修复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、噪声处理及处置等。

### 7.2 确定修复技术工艺参数

7.2.1 修复工艺参数可通过实验室小试、现场中试并参考类似工程案例确定。进行实验室小试时，宜采用不同的工艺参数组合进行试验效果比较，从而确定最佳工艺参数。采用原位修复工艺时宜通过现场中试获得工艺参数。

7.2.2 常见工艺参数如下：

- a) 修复药剂投加量及比例；
- b) 处理条件（温度、物料含水率、粒径大小、水土比、加入方式、加入比例等）；
- c) 处理能力；
- d) 处理时间；
- e) 工艺影响半径；
- f) 设备布置的位置和方式；
- g) 设备面积及作业区范围等；
- h) 注入井或抽提井尺寸、布设点位和布设方式，能耗等；
- i) 其他重要工艺参数。

### 7.3 修复技术方案

7.3.1 结合地块特征和修复目标，从法律法规符合性、长期和短期效果、修复时间及成本、修复工程的环境影响等方面，比较确定修复工程的主要指标，包括：土壤量，地下水范围（量），基坑开挖范围和深度，工艺参数，废水、废气、固体废物无害化处理处置工程量等。

7.3.2 从确定的单一修复技术及多种修复技术组合方案的主要技术指标、工程工期和费用估算、污染防治措施、环境健康安全、周边环境的影响和施工安全等方面进行修复方案的比选，最后确定最佳修复方案。

7.3.3 涉及污染土壤外运进行风险管控和修复的，应明确外运后污染土壤接收单位是否具有相应风险管控和修复能力，说明风险管控和修复方式等内容及技术路线，并提供相应合作证明文件作为修复方案附件。

7.3.4 修复活动及设施、设备、建（构）筑物拆除过程中产生的固体废物，应妥善处置；属于危险废物的，应依照相关法律法规和技术规范的要求进行处置。

7.3.5 对污染土层上、下0 m~0.5 m或0 m~1 m的土壤，如未纳入效果评估监测，在修复开挖过程中宜作为疑似污染土，实施单独存放和检测，对超过修复目标值的土壤采取必要的风险管控或修复措施。

7.3.6 涉及重金属污染土壤修复后阻隔回填的，应结合地块规划和开发利用情况合理设计阻隔回填区。重点如下：

- a) 阻隔回填区容积应根据设计开挖量、污染土壤基坑放坡土壤量、建筑基础和筛上物、药剂添加量、超挖量等因素，并综合考虑开挖过程的松方系数、压实系数等计算。
- b) 分散式的阻隔回填区，其阻隔层由外至内宜采用钢筋混凝土—土工布—HDPE（高密度聚乙烯）膜—土工布—回填土壤的形式。

- c) 阻隔回填区的平面位置和深度的设计应以避免扰动为原则，优先设置在无地下室的绿地范围内，阻隔回填区顶板标高原则上低于绿地地面规划标高不少于2米；确需设置在道路或其他规划功能区域内的，应充分考虑将来市政建设和开发利用需要，在阻隔回填区以上预留足够的空间。
  - d) 提出回填区应设置永久性标识的要求，包括回填区区域标识牌和拐点标识桩，必要时还可在填埋区顶部设置地下标识。标识牌应载有区域名称及回填区面积、深度、顶面和底面高程、边界拐点坐标及示意图、完工后禁止行为等信息，拐点标识桩应与回填区各拐点的具体位置一致。
- 7.3.7 应根据地块现场情况和修复工艺等因素合理规划修复时序安排，提出修复工期安排。确需分阶段开展效果评估的，应在修复方案中提出，并在修复工期安排中体现。

#### 7.4 施工平面布局规划

- 7.4.1 对施工平面布局规划的情况进行说明，内容包括但不限于拟建的建（构）筑物，临时办公、生活设施，临电及临水布置，原材料及主要施工设备位置，现场施工道路等。
- 7.4.2 应根据修复工程的污染特点、修复工艺、场地条件及周边环境等，合理、科学地规划施工现场平面布局和运输路线，避免交叉污染，减少对周边环境敏感点的影响。
- 7.4.3 不同污染类型的土壤应分区堆放，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。
- 7.4.4 办公生活区不宜位于修复工程所在区域的常年主导风向的下风向。涉及噪声、废气排放的修复工区及运输路线尽量远离周边敏感点，废气排放口高度不宜低于15米；集中排放的废气按DB 44/27等要求控制。
- 7.4.5 修复现场信息公开和标识应按国家和地方相关规定设置。

#### 7.5 施工组织安排

- 7.5.1 根据地块修复技术方案、工程建设相关材料和地块调查材料介绍修复工程概况，主要阐述修复工程的基本情况、特征、特点以及有关要求等。
- 7.5.2 根据工程概况、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。部署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。对污染土壤清挖区原则上采取从污染区域向清洁区域开挖的方向。
- 7.5.3 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，工期一览表等。
- 7.5.4 对修复设施建设完成后需继续运行或地块采取风险管控方式的修复工程，应制定运行维护计划。根据地块调查和风险评估结论、修复技术方案和主要施工方案，确定运行维护应关注的信息。运行维护计划包括运行维护内容和方式等。
  - a) 运行维护方式包括日常巡视检查、文件检查、日常操作与维护、记录与报告等。
  - b) 运行维护的情况应及时记录和整理，形成运行维护工作报告。报告中应包含运行与维护的对象、目的、计划、实际运行与维护情况、运行与维护效果。发生意外状况时，还应编制专题报告，对意外状况进行描述、原因分析、记录应对措施、分析应对效果、提出优化意见等。

#### 7.6 异地风险管控和修复要求

- 7.6.1 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，在出场前应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处置。

7.6.2 污染土壤场外运输前，修复施工单位应制定转运计划，将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置利用方式等，提前报所在地和接收地生态环境主管部门。污染土壤运输路线宜避开饮用水源保护区等敏感目标。

7.6.3 污染土壤运输车辆离开污染地块前，由环境监理单位和修复施工单位对运输车辆出场时间、车牌号和土壤总重量进行记录，并对运输车辆的二次污染防治措施进行记录。

7.6.4 运输车辆应采取防尘、防渗、防撒漏措施，相关要求可参考 DB4401/T 11 的规定。污染土壤运输过程中，严格执行联单制度（联单形式见附录 B），修复施工单位、环境监理单位等相关单位应对土壤运输车辆进行定位和实时跟踪，实时监控污染土壤运输去向。

7.6.5 污染土壤运输车辆到达接收地后，由环境监理单位和接收单位对运输车辆到场时间、车牌号和土壤总重量进行记录，并对运输车辆的二次污染防治措施进行记录。

7.6.6 污染土壤卸载后，由环境监理和处置单位工作人员对车辆空载重量、车辆出场时间、车辆冲洗情况进行记录。

7.6.7 应附接收单位出具的同意接收污染土壤的证明文件。污染土壤接收单位应具有相应的污染土壤风险管控、修复或再利用能力，且一般应设有污染土壤暂存场，暂存场应具有充足的暂存容量、完善的防渗、防尘、防雨等二次污染防治处理设施和有效的环境管理制度。固化/稳定化修复后土壤需进行再利用的，应采取安全可控的方式，选择环境受扰动可能性较小、污染物迁移扩散途径受限或可控的场地。

7.6.8 污染土壤接收单位，修复、风险管控和再利用工艺、处置方式等发生变化的，应报告备案相应修复方案的生态环境行政主管部门。

## 7.7 修复后土壤环境管理要求

7.7.1 采用固化/稳定化处理污染土壤且在地块内回填的，应明确具体的回填位置信息（包括回填区面积、深度、顶面和底面高程、边界拐点坐标等）和配套的防渗、防扰动措施，提出防止回填后土壤发生扰动的后续监管要求，将相应要求提交给后续再开发利用单位并以一定的方式形成责任交接约束。

7.7.2 对满足修复目标但超过第一类用地筛选值的需外运土壤，应说明其去向及后续环境管理要求。

## 8 制定环境保护方案

### 8.1 环境保护方案内容

环境保护方案包括修复工程二次污染防治方案、环境监测计划和环境应急计划。

### 8.2 二次污染防治方案

8.2.1 应重点关注修复区域土壤挖掘清理、运输过程、临时堆放、土壤处理过程中产生的废水、废气和固体废物，处理后土壤去向等方面，并提出针对性的污染防治措施。应明确废水、废气处理设施的处理能力、处理工艺、平面布局、主要工艺（设备）参数及排放去向。修复活动中产生的废水、废气和固体废物，应当按规定进行处理、处置，并达到相关环境保护标准。

8.2.2 修复活动中外排的废水执行 DB44/26 等要求；回用水水质应满足相应用途的水质要求，污染地下水应处理达到修复目标值后方可回用。

8.2.3 如涉及挥发性有机物及恶臭等污染土壤开挖、暂存、处理和处置应采取有效的二次污染防治措施；含有高毒性或恶臭污染物的应在负压密闭空间内进行操作，换气量不得小于 2 次/h 且应满足职业卫生等相关规范要求，活性炭添加量、废气有效停留时间、活性炭更换周期等应按相关废气处理技术要求确定。废气排放应满足 DB 44/27、GB 14554 标准等要求，对周边环境产生影响可控。

8.2.4 应明确扬尘污染防治实施位置（重点针对基坑、堆土、施工道路等裸露区域）和施工阶段对应的措施（重点为开挖、运输和露天处置等）。

8.2.5 涉及挥发性及恶臭等污染物的土壤修复，应设置负压密闭车间，并将气态污染物集中引至废气处理设施，处理达标后排放。

8.2.6 尽量减少污染土壤的临时存放，明确污染土壤临时堆存区的具体位置，说明堆放点的防尘、防雨、防渗和废水处理等措施。

8.2.7 涉及基坑施工的修复工程，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。污染土壤基坑积水应集中收集，经处理达标后回用或排放。

8.2.8 修复工程产生的固体废物应分别收集，分类堆放，并明确固体废物储存点的具体位置。涉及危险废物需要委外处置的情况，应交有相应危险废物经营许可证的处置单位处理，提交危险废物转移联单，并按 GB 18597 的相关要求设置专门的危险废物临时贮存区，设置醒目的标志并采取相应环境风险防范措施。

8.2.9 修复工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，修复工程噪声排放应满足 GB 12523 要求。

8.2.10 污染地块修复工程实施过程中，在产生二次污染工序的重点区域宜安装摄像头对相关过程进行监控，具备条件的还应与生态环境主管部门联网。修复过程的影像资料应进行存档，作为效果评估阶段的材料。

### 8.3 环境监测计划

8.3.1 环境监测计划内容应包括监测介质、监测布点、监测项目、监测频次、评价标准、监测的时间节点或工程节点等。

8.3.2 修复施工单位可对污染土壤、污染地下水修复处理后的效果进行监测；如涉及化学氧化/还原、生物修复处理有机污染土壤的，还应关注有机污染物的降解产物。

8.3.3 必要时，修复前可对修复、暂存和处置等修复工程相关区域的土壤和地下水进行监测。

8.3.4 对于超修复目标值的区域，应根据监测结果确定二次清挖的边界，二次清挖后再次进行监测，直至达到相应修复目标值。

### 8.4 环境应急计划

为确保地块修复过程中施工人员与周边居民的环境安全，应制定周密的地块修复工程环境应急计划，内容包括环境安全问题识别、需要采取的预防措施、突发事件时的应急措施、应配备的装备、开展培训等。

## 9 修复方案文本编制

### 9.1 形式要求

9.1.1 修复方案应附具从业人员责任页，明确项目负责人、各分项工作承担者，从业单位应建立内部审核制度，明确报告的审核、审定人员，上述人员均需亲笔签字确认。

9.1.2 修复方案应加盖地块土地使用权人（土壤污染责任人）和修复施工单位的公章。

### 9.2 修复方案大纲

修复方案编制大纲参见附录C。

## 附录 A

(资料性)

## 常见建设用地风险管控和修复技术

常见建设用地风险管控和修复技术见表 A.1。

表 A.1 常见建设用地风险管控和修复技术

序号	技术名称	适用性	修复周期	参考费用	优点及局限性	污染防治重点
1	异位固化/稳定化技术	可处理的污染物类型：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。 应用限制条件：一般不适用于单质汞、挥发性氰化物、挥发性有机污染物。	根据广州市及国内其他地区现有案例，工程修复时间较短。	主要费用组成： 土方工程、修复实施、二次污染防治措施等。 处理成本中等—较高。	优点：技术成熟、应用广泛、处理时间短。 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。	1 固化/稳定化修复作业应在防渗、防雨和防风的空间内进行； 2 阻隔回填区应采用不少于四层的封闭结构，由外至内宜分别为钢筋混凝土、土工布、HDPE膜（厚度一般不低于1.5mm）、土工布； 3 选用环境友好型的固化/稳定化药剂； 4 如采用浸出方式验收，土壤中目标污染物的浸出浓度应达到接收地下水用途对应标准值或不会对地下水造成危害。
2	水泥窑协同处置技术	可处理的污染物类型：主要适用于挥发及半挥发性有机污染物（如石油烃、农药、多环芳烃、多氯联苯等）、重金属等。 应用限制条件：需满足 GB 30485、HJ 662 等相关要求；有机物和挥发半挥发性重金属不得从生料磨投加；对重金属入窑浓度有限制；需考虑污染土壤中氯、氟和硫的含量，以确定污染土壤的添加比例；必要时需对水泥窑进料系统和尾气处理系统进行改造。	受污染土壤添加比例、水泥产能产量及水泥厂协同情况影响较大。 根据广州市及国内其他地区现有案例，工程修复时间中等。	主要费用组成： 土方工程、预处理及转运、水泥厂暂存及协同处置、二次污染防治措施等。 综合单价受水泥厂协同处置费用影响较大，目前处理成本中等—较高。	优点：技术成熟，适用范围较广，对有机污染物处置彻底，有利于重金属污染地块周转，可实现资源化。 局限性：需协调水泥厂进行处置，容易受限于水泥厂协同处置污染土壤的处理能力；耗能较大，对于含水率高、热值低的土壤需要消耗更多能量。	1 在预处理、运输、接收等环节应做好污染防治措施； 2 水泥窑协同处置单位应具备相应处置能力； 3 对有异味的污染土壤，在开挖、转运、暂存、处置等过程中应做好异味控制措施，以符合相关环保要求； 4 应对污染土壤的清挖、场内暂存、预处理、出场、运输、接收等环节进行全过程环境管理。



表 A.1 常见建设用地风险管控和修复技术（续）

序号	技术名称	适用性	修复周期	参考费用	优点及局限性	污染防治重点
3	异位热脱附技术	可处理的污染物类型：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。 应用限制条件：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。	根据广州市及国内其他地区现有案例，设备安装调试时间为3个月左右，工程修复时间较短—中等。	主要费用组成：开挖、运输、预处理、修复实施、二次污染防治措施等。处理成本较高。	优点：处理量大，修复效果好，修复效率高。 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，需协调能源来源；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。	1 清挖、运输、预处理过程中应做好控制，防止扬尘与挥发性有机物污染； 2 土壤修复过程中应采取有效措施防止二噁英的产生； 3 预处理环节应做好密封措施，需对废气进行有效处理；直接热脱附尾气宜采用二次燃烧+冷凝+除尘处理后达标排放。
4	异位化学氧化技术	可处理的污染物类型：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。 应用限制条件：一般不适用于重金属污染的土壤修复。	根据广州市及国内其他地区现有案例，工程修复时间中等。	主要组成费用：开挖、运输、预处理、修复及养护等。处理成本中等。	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。 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。	1 清挖、运输过程中做好控制，防止扬尘与挥发性有机物污染； 2 相较于其它技术，化学氧化技术二次污染较低，但预处理、修复等环节应做好密封措施，防止异味逸散； 3 应选用环境友好型的药剂； 4 需关注降解过程的次生污染物问题。
5	阻隔技术	可处理的污染物类型：主要适用于重金属、有机污染物及复合污染土壤。 应用限制条件：用于腐蚀性、挥发性较强的污染物时，环境风险相对较大。	根据广州市及国内其他地区现有案例，工程修复时间较短。	主要费用组成：阻隔工程建设费（视阻隔工程结构而定，具体以土建定额为准）。处理成本较低—中等。	优点：技术成熟、应用广泛、成本较低、实施周期短。 局限性：存在污染物泄漏风险；阻隔回填所占区域将对地块开发利用产生影响；阻隔回填区应避开地质条件较差的区域。	1 如进行开挖，应做好抑尘等环保措施； 2 应在阻隔区域地下水上下游设置地下水监测井，进行长期监测，监控目标污染物的浓度变化情况，了解阻隔区域对周围环境的影响，及时响应不利状况； 3 需避免对阻隔设施造成扰动。

表 A.1 常见建设用地风险管控和修复技术（续）

序号	技术名称	适用性	修复周期	参考费用	优点及局限性	污染防治重点
6	原位固化/稳定化技术	可处理的污染物类型：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。 应用限制条件：一般不适用于单质汞、挥发性氰化物、挥发性有机污染物。	根据广州市及国内其他地区现有案例，工程修复时间较短。	处理成本中等。	优点：技术成熟、应用广泛、处理时间短、费用低；无需进行开挖。 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；修复效果存在一定不确定性；未来存在被扰动的风险；受当地水文地质条件影响较大；不适用于未来将要开挖或其它扰动的情形。	1 修复区域周边应设置止水帷幕，渗透系数应小于 $10^{-7}$ cm/s，并在顶部采取相应防渗措施； 2 应选用环境友好型的固化/稳定化药剂； 3 如采用浸出方式验收，土壤中目标污染物的浸出浓度应达到接收地下水用途对应标准值或不会对地下水造成危害。
7	土壤洗脱技术	可处理的污染物类型：主要适用于重金属和部分半挥发性有机污染物。 应用限制条件：不适用于含有挥发性有机污染物或废渣的土壤。	根据广州市及国内其他地区现有案例，工程修复时间较短。	主要费用组成：土方工程、筛分、洗脱及二次污染防治等。 处理成本较低—中等。	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； 局限性：需配合其他技术处理洗脱后剩余的高污染土壤；系统构成复杂，占地面积大；需协调落实污水排放去向；对小体量污染土壤项目及细颗粒含量较高的土壤技术经济性较差。	1 洗脱作业场地需进行防渗处理； 2 洗脱废水需处理达标排放或回用。
8	常温解吸技术	可处理的污染物类型：主要适用于易挥发的有机污染物。 应用限制条件：不适用于重金属和挥发性较弱的有机污染物。	根据国内其他地区现有案例，工程修复时间较短。	主要组成费用：修复设备设施建设、土壤开挖、运输、修复处理、二次污染防治等。 处理成本中等。	优点：简单易行，修复费用低，修复周期短。 局限性：存在较大的二次污染风险；适用污染物范围较窄，对于沸点较高、饱和蒸气压低的污染物解吸效率较低；当土质粘度高、含水率大于 25% 时，施工难度较大；当环境温度较低、湿度较大时，处理效率较低，修复时间长；修复作业环境差。	1 常温解吸系统宜采用负压密闭大棚，废气经有效处理后达标排放； 2 需加强废气排放口及修复区域周边大气环境监测。

表 A.1 常见建设用地风险管控和修复技术（续）

序号	技术名称	适用性	修复周期	参考费用	优点及局限性	污染防治重点
9	原位化学氧化技术	可处理的污染物类型：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。 应用限制条件：一般不适用于重金属污染土壤。	根据广州市及国内其他地区现有案例，工程修复时间中等。	主要组成费用：修复药剂费、设备费、过程监控及二次污染防治费用等。 国内修复费用中等—较高。	优点：无需进行开挖，国内多地有一定应用。 局限性：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。	1 需关注降解过程的次生污染物问题； 2 选用环境友好型药剂。
10	原位热解吸技术	可处理的污染物类型：主要适用于石油烃、挥发性及半挥发性有机物、多氯联苯、呋喃、杀虫剂等。 应用限制条件：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。	根据国内其他地区现有案例，工程修复时间中等—较长。	主要费用组成：设备材料费、能源动力费、过程监控及二次污染防治费用等。 处理成本较高。	优点：对地块扰动小，二次污染风险相对较小，无需进行开挖。 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会在处理过程中结块而影响处理效果，增加处理费用。	1 需要确保地面阻隔系统的阻隔效果； 2 对抽提与处理过程中产生的废水、废气应做好二次污染防治。
11	生物堆技术	可处理的污染物类型：主要适用于石油烃类等易生物降解的有机污染物。 应用限制条件：一般不适用于重金属、难降解有机污染物污染土壤。	在广州市内无相关应用，根据国内相关研究，工程修复时间中等—较长。	在广州市内无相关应用，根据国内相关研究，处理成本较低—中等。	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。 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。	1 根据现场情况采取覆膜开挖或其他措施，防止有机污染物挥发产生二次污染； 2 对修复区域采取防渗措施，并设置渗滤液和废气收集处理系统； 3 做好污染物排放口及周边大气环境监测。

表 A.1 常见建设用地风险管控和修复技术（续）

序号	技术名称	适用性	修复周期	参考费用	优点及局限性	污染防治重点
12	原位生物通风技术	可处理的污染物类型：主要适用于挥发及半挥发性有机物。 应用限制条件：一般不适用于重金属和难降解有机物。	广州市及国内未见相关工程应用，根据国外相关资料，工程修复时间中等—较长。	广州市及国内未见相关工程应用，根据国外相关资料，处理成本较低。	优点：修复成本低、二次污染风险小，无需进行开挖。 局限性：处理周期长；不适用土壤渗透系数较小的地块。	处理挥发性有机污染物时，需做好二次污染防治措施。
<p>注1：修复时间&lt;6个月，较短；6个月~1年，中等；&gt;1年，较长；</p> <p>注2：修复费用&lt;500元/m<sup>3</sup>，较低；500~1000元/m<sup>3</sup>，中等；&gt;1000元/m<sup>3</sup>，较高。</p>						

附录 B  
(资料性)

污染土壤风险管控和修复转移联单 (样表)

污染土壤风险管控和修复转移联单的样表见表 B.1。

表 B.1 污染土壤风险管控和修复转移联单 (样表)

项目名称: \_\_\_\_\_

编号: \_\_\_\_\_

第一联 (出场)			
修复施工单位名称	(盖章)		
修复施工单位经办人 (签名)		联系电话	
环境监理单位名称	(盖章)		
环境监理单位经办人 (签名)		联系电话	
土壤污染类别及主要污染物		数量 (吨)	
包装方式			
外运目的	中转贮运 ( ) 再利用 ( ) 风险管控 ( ) 修复 ( ) 其他 _____		
第二联 (运输)			
运输单位名称	(盖章)		
运输单位经办人 (签名)		联系电话	
运输时间	_____年_____月_____日		
运输车型		运输数量 (吨)	
运输起点	_____省_____市_____区(县)_____街道_____		
运输终点	_____省_____市_____区(县)_____街道_____		
运输工具牌照号			
第三联 (接收)			
接收单位名称	(盖章)		
接收单位地址	_____省_____市_____区(县)_____街道_____		
接收单位经办人 (签名)		联系电话	
环境监理单位名称	(盖章)		
环境监理单位经办人 (签名)		联系电话	
接收时间	_____年_____月_____日		
接收数量 (吨)			
土壤处置措施	中转贮运 ( ) 再利用 ( ) 风险管控 ( ) 修复 ( ) 其他 _____		
<p>注 1: 此表由修复施工单位、运输单位、接收单位、环境监理单位 (如有) 填写, 并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 2: 转移联单一式 5 份, 由土地使用权人 (或土壤污染责任人)、修复施工单位、运输单位、接收单位、环境监理单位 (如有) 各执一份。</p> <p>注 3: 污染土壤转移联单保存十年。</p> <p>注 4: 联单编号一般由 4 位数字组成, 宜按土壤出场顺序编号。</p>			

附录 C  
(资料性)  
建设用地土壤污染修复方案编制大纲

- 1 总论
    - 1.1 项目背景
    - 1.2 编制依据
    - 1.3 编制原则
    - 1.4 编制内容
    - 1.5 编制技术路线
  - 2 地块概况
    - 2.1 所在区域概况
    - 2.2 地块环境特征
    - 2.3 地块生产历史
    - 2.4 地块现状
    - 2.5 地块周边条件
    - 2.6 地块未来规划
  - 3 地块污染现状及风险评估结论
    - 3.1 地块污染现状
    - 3.2 地块风险评估结论
  - 4 地块修复模式
    - 4.1 地块修复总体思路
    - 4.2 确认地块条件
    - 4.3 地块修复目标
  - 5 修复技术筛选
    - 5.1 修复技术筛选原则
    - 5.2 修复技术可行性评估
    - 5.3 确定修复技术
  - 6 修复技术方案
    - 6.1 修复技术路线
    - 6.2 修复技术工艺参数
    - 6.3 修复技术方案
    - 6.4 施工平面布局
    - 6.5 修复后土壤环境管理要求
  - 7 环境保护方案
    - 7.1 二次污染防治方案
    - 7.2 修复工程环境监测方案
    - 7.3 环境应急计划
-