

附件 1

建设用地土壤修复方案编制指南

(征求意见稿)

二零二三年七月

目录

1	编制目的	3
2	适用范围	3
3	规范性引用文件	3
4	术语和定义	4
5	基本原则和工作程序	5
5.1	基本原则	5
5.1.1	科学性原则	5
5.1.2	可行性原则	5
5.1.3	安全性原则	5
5.1.4	绿色低碳原则	5
5.2	工作程序	6
6	选择修复模式	7
6.1	构建地块概念模型	7
6.1.1	资料核实	7
6.1.2	现场踏勘	7
6.1.3	补充资料	7
6.1.4	构建地块概念模型	7
6.2	确认修复目标	7
6.2.1	确认目标污染物	8
6.2.2	确认修复目标值	8
6.2.3	确认修复范围	8
6.2.4	确认修复目标	8
6.3	选择修复模式	8
7	筛选修复技术	9
7.1	修复技术选择	9
7.2	修复技术可行性评估	9
7.2.1	实验室小试	9
7.2.2	现场中试	9
7.2.3	应用案例分析	10
7.3	确定修复技术	10
8	制定修复方案	10
8.1	确定修复方案	10
8.1.1	制定备选修复方案	10
8.1.2	修复方案比选	11
8.1.3	确定修复方案	11
8.2	修复方案工程设计	11

8.2.1	修复工艺设计	11
8.2.2	施工平面布局规划	12
8.2.3	施工组织安排	12
8.2.4	运行维护计划	12
8.2.5	运行监测计划	13
8.3	制定环境管理计划	13
8.3.1	环境监理计划	13
8.3.2	二次污染防治措施	13
8.3.3	安全防护措施	14
8.3.4	环境监测计划	14
8.3.5	环境应急计划	15
8.4	修复效果评估计划	15
8.5	成本效益分析	15
8.5.1	修复费用	15
8.5.2	效益分析	15
8.5.3	绿色低碳分析	15
9	修复方案报告编制	15
9.1	总体要求	15
9.2	形式要求	16
9.3	编制大纲	16
附录 A	常见建设用地风险管控和修复技术	17
附录 B	主要修复工艺设计及运行监测指标	22
附录 C	建设用地土壤修复方案编制大纲	24

建设用地土壤修复方案编制指南

1 编制目的

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》等规定，保护土壤生态环境，保障人居环境安全，加强河北省建设用地土壤环境监督管理，规范河北省建设用地土壤修复方案的编制工作，制定本文件。

本文件借鉴国内外相关标准，重点考虑河北省土壤修复特点和管理需求，提出适用于河北省的修复方案编制要求，以指导污染修复工作，保障修复效果。

2 适用范围

本文件规定了建设用地土壤修复方案编制的基本原则、工作程序、内容和要求。

本文件适用于建设用地土壤修复方案的编制。

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。

3 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 5085 危险废物鉴别标准

GB 8978 污水综合排放标准

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 16297 大气污染物综合排放标准

GB 18597 危险废物贮存污染控制标准

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）

GB/T 14848 地下水质量标准

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

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 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则
HJ 91.1 污水监测技术规范
HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范
HJ 164 地下水环境监测技术规范
HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语
HJ 1262 环境空气和废气 臭气的测定 三点比较式臭袋法
HJ/T 55 大气污染物无组织排放监测技术导则
HJ/T 397 固定源废气监测技术规范
DB13/2322 工业企业挥发性有机物排放控制标准
DB13/2934 施工场地扬尘排放标准
DB13/T 5216 建设用地土壤污染风险筛选值

4 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1

建设用地 land for construction

指建造建筑物、构筑物的土地，包括城乡住宅和公共设施用地、工矿用地、交通水利设施用地、旅游用地、军事设施用地等。

[来源：HJ 682—2019，2.1.1]

4.2

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 682—2019，2.5.2]

4.3

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、居民防护和制度控制等，又称修复策略。

[来源：HJ 25.4—2019，3.4]

4.4

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 682—2019，2.5.5]

4.5

目标污染物 target contaminant

在地块环境中其数量或浓度已达到对人体健康具有实际或潜在不利影响的，需要进行修复的关注污染物。

[来源：HJ 682—2019，2.2.2，有修改]。

4.6

地块概念模型 conceptual site model

用文字、图、表等方式来综合描述污染源、污染物迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和接触方式等。

[来源：HJ 682—2019，2.3.1]

5 基本原则和工作程序

5.1 基本原则

5.1.1 科学性原则

在土壤污染状况调查和风险评估的基础上，综合考虑污染土壤修复目标、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，科学制定修复方案。

5.1.2 可行性原则

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。

5.1.3 安全性原则

确保建设用地土壤治理与修复工程实施过程中的施工安全，防止对施工人员、周边人群健康以及生态环境产生危害。

5.1.4 绿色低碳原则

制定地块修复方案除考虑工程的时间与经济成本外，还宜融入减污降碳、绿色可持续理念，在确保达到土壤污染风险管控修复目标的前提下，注重能源资源节约高效利用，减少二次环境影响，提高土壤污染风险管控和修复的绿色化、低碳化水平。

5.2 工作程序

土壤修复方案编制工作包括选择修复模式、筛选修复技术、制定修复方案 3 个阶段。工作程序见图 1。

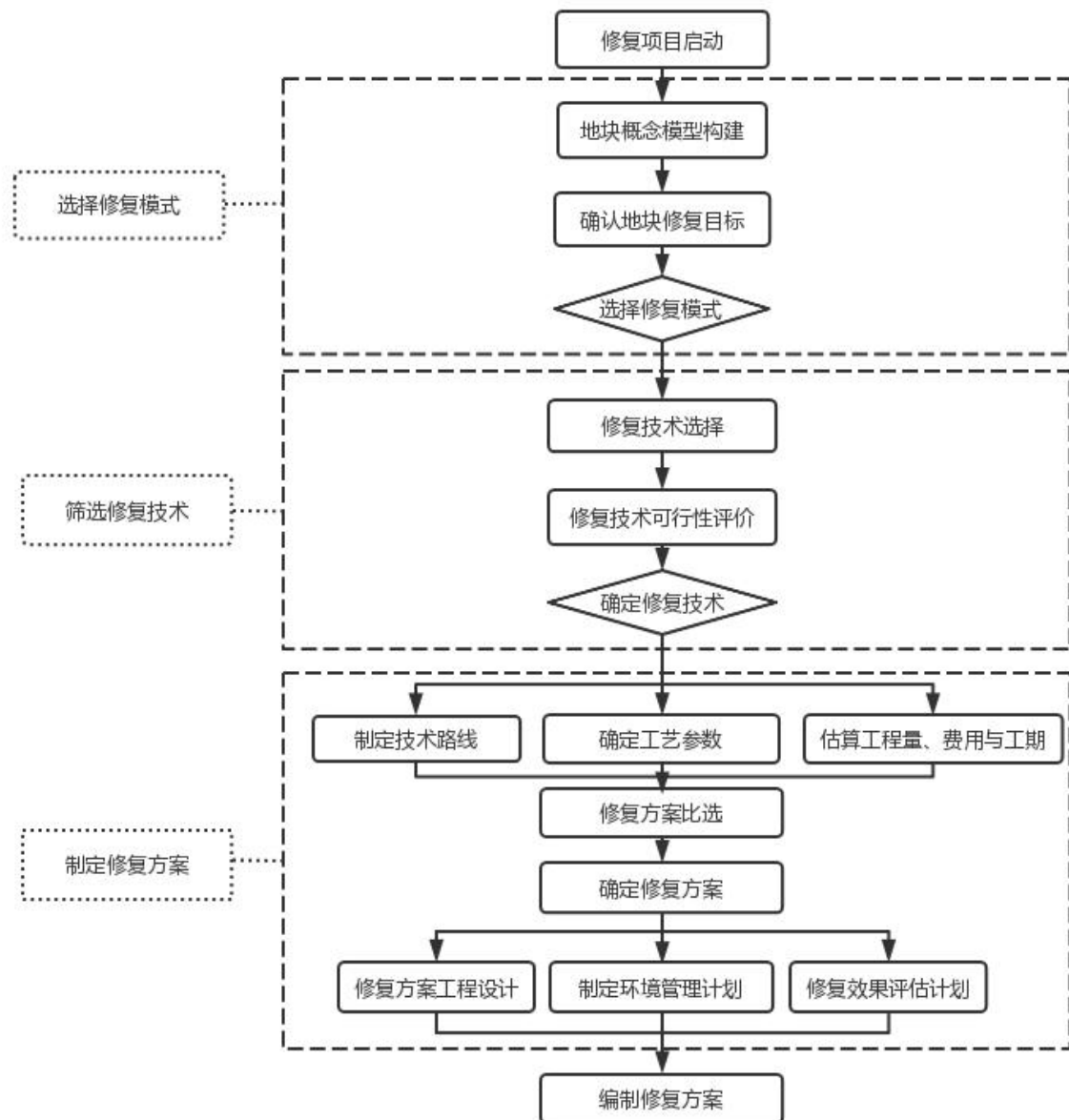


图 1 建设用地土壤修复方案编制工作程序

6 选择修复模式

6.1 构建地块概念模型

依据污染状况调查和风险评估阶段的相关工作成果，结合用地规划与建设要求，构建地块概念模型，识别地块修复实施的重点与难点等要素。

6.1.1 资料核实

收集地块土壤污染状况调查报告和风险评估报告等相关资料，重点核实目标污染物、污染范围、污染量、水文地质条件、用地规划及利用方式、环境敏感受体、未来建（构）筑物等内容的一致性、有效性和完整性。

6.1.2 现场踏勘

在资料核实的基础上，开展现场踏勘，考察地块现状情况，重点核实地块现状与污染状况调查、风险评估报告的变化情况及地块修复工程施工条件。变化情况包括但不限于是否发生动土施工，周边环境保护敏感目标的变化等情况；考察地块修复工程施工条件，如地块用电、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。

6.1.3 补充资料

根据资料核实和现场踏勘，有不满足现行工作要求、不能如实反映地块污染情况以及用地规划调整或其他重要条件发生变化等情况的，应补充相关资料。

土壤污染状况调查和风险评估工作不足以支撑修复工作的，应开展补充调查及风险评估。补充性调查评估工作要求参考 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 25.3 和 HJ 25.4。

修复方案中应说明发现的问题、资料补充情况以及地块开展补充调查、风险评估工作内容、开展情况及结论。

6.1.4 构建地块概念模型

根据资料收集、现场踏勘与补充调查评估结果，总结地块污染特征信息，包括污染物种类、浓度水平、空间分布、污染面积、理化性质等信息，结合地块水文地质条件、土地利用规划及开发利用方案、周边环境现状等因素，建立地块污染分布、迁移转化路径、潜在受体及其暴露途径的逻辑关系，构建地块概念模型，识别地块修复过程客观限制因素及修复重点与难点等要素，支撑修复模式的选择与技术方案的制定。

6.2 确认修复目标

修复方案中应对风险评估确定的土壤和地下水的修复目标进行核实和确认。与地块利益相关方进行沟通，确认预期经费投入、修复时间等修复要求。

6.2.1 确认目标污染物

通过前期资料结合必要的补充调查，依据 HJ 25.3、GB 36600、DB13/T 5216、GB/T 14848 等有关标准，充分考虑地块所在区域土壤和地下水中目标污染物的形态与迁移转化规律等，对风险评估报告提出的修复目标进行确认。

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，如采用固化/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；采用化学氧化/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；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。

6.2.2 确认修复目标值

依据《建设用地土壤污染修复目标值制定指南（试行）》，结合地块所在区域土壤和地下水中目标污染物的背景含量和风险评估确定的风险控制值、补充调查、GB 36600、GB/T 14848、DB13/T 5216 等有关标准中规定的筛选值、管制值和相应标准限值，对目标污染物的修复目标值进行核实和确认。涉及土壤外运、地下水外排的，应结合最终去向，依据有关规定处理并达到相应要求。

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/处理目标值；当保护地下水的土壤修复目标值小于保护人体健康的土壤修复目标值时，应以保护地下水的土壤修复值为准。具体地下水修复目标值可参考 HJ 25.6 相关要求确定。

6.2.3 确认修复范围

修复方案中应对前期调查评估提出的土壤和地下水修复范围、修复方量进行核实和确认，包括修复边界、拐点坐标和污染土层深度分布，特别要关注非连续性等异常分布情况。

6.2.4 确认修复目标

修复方案中的目标污染物、修复目标值、修复范围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。确需调整原有修复目标，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。

6.3 选择修复模式

依据构建的地块概念模型及识别出的客观限制因素以及修复重点与难点等，根据地块特征条件、现场条件、修复目标和修复要求、预期经费投入、未来用地规划、环境安全等，综合考虑可行性、可操作性、客观条件以及成本效益等，确定地块修复总体思路，选择修复模式，明确采用污染源处理技术、切断暴露途径的工程控制技术或限制受体暴露行为的制度控制技术 3 种修复模式中的任意

1 种或其组合。

鼓励采用显著减少污染物数量、毒性和迁移性的永久性处理修复方式。鼓励采用原地或原位治理与修复方式。鼓励采用绿色低碳的、可持续的、资源化的修复模式，从而实现修复行为的净环境效益最大化和碳排放量最小化。

7 筛选修复技术

7.1 修复技术选择

根据地块修复模式、污染特征、水文地质条件，对各修复技术的原理、适用条件、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分析比较，筛选一种或多种潜在适用可行的修复技术。

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、时间和经济条件允许等情况下，优先选择可以降低污染物含量、毒性、迁移性等低碳固碳修复技术，避免二次污染，保护人体健康与环境安全。常见建设用地风险管控和修复技术见附录 A。

7.2 修复技术可行性评估

可采用实验室小试、现场中试或相关案例分析等方式进行修复技术可行性评估。采用原位修复技术的，原则上应开展可行性测试，评估技术在目标地块的适用性；采用化学氧化/还原修复、生物修复处理有机污染土壤等可能产生降解产物的工艺的，需考虑次生污染物；采用固化/稳定化技术的，应明确污染物浸出浓度。

7.2.1 实验室小试

实验室小试应根据土壤的污染类型、污染浓度梯度采集地块有代表性的土壤样品，至少应包括污染较重区域的土壤进行试验，针对修复技术关键环节和关键参数，制定试验方案，试验过程要有质量保证和质量控制措施。小试试验至少需要重复 3 次，确保试验结果的科学性。

修复方案中应明确小试试验过程包括土壤和地下水污染物类型、初始浓度、试验周期、次数、质控内容等、获取的修复技术的关键环节和关键参数如土壤含水率、有机质含量、试验后污染物浓度、药剂比例、反应周期、温度等。

7.2.2 现场中试

采用热脱附、固化/稳定化、化学氧化/还原、化学淋洗等技术的，采用原位方式进行修复的，或对修复技术适用性不确定的，原则上在地块开展现场中试，验证试验修复技术的实际效果。中试过程应做好环境管理和二次污染防控措施等。

中试试验应兼顾地块中不同污染类型区域、不同污染浓度、不同土壤类型、不同修复工艺，获

得土壤修复工程设计所需参数。中试所用设备类型、规格型号应尽量与实际修复拟采用的设备一致。试验过程要有质量保证和质量控制措施，试验规模和周期应根据土壤的污染性质和程度、修复技术的性能与特点、工艺参数需求等确定，原则上至少重复 2~3 次，处理方量不少于 100m³，热脱附需稳定运行 48 小时及以上。

修复方案中应明确中试试验过程、获取的修复技术的关键环节和关键参数，以及较小试结果有变化的内容。

7.2.3 应用案例分析

土壤修复技术可行性评估也可采用相同或类似地块修复技术的应用案例分析进行，要求成功案例与目标项目具有相似的土壤特征以及污染物种类和浓度，通过与类似成功案例的对比，可以确定污染土壤修复目标的可实现性。必要时可现场考察和评估应用案例实际工程。

7.3 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，采用列举法、权重法、矩阵评分法等从技术成熟度、适合的目标污染物和土壤类型、主要技术指标、修复效果、修复成本、资源需求、修复时间周期、对周围环境的影响等方面分析比较各备选技术的经济、技术可行性和环境可接受性，确定最佳修复技术。

鼓励采用绿色低碳、可持续和资源化的修复技术。

8 制定修复方案

根据修复模式及技术筛选结果，结合地块环境管理要求等，单一选择或合理组合各种可行技术，制定备选修复方案，建立比选指标体系开展技术比选，确定最佳修复方案。依据修复方案，更新地块概念模型，开展修复工程设计，制定环境管理计划、修复效果评估计划等。

8.1 确定修复方案

8.1.1 制定备选修复方案

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、场地特征、水文地质条件等因素，对各种可行的修复技术进行优化组合集成，形成若干能够实现修复总体目标、潜在可行的修复技术备选方案。各备选方案应至少包括技术路线、修复工程量、关键工艺参数、实施费用与工期、实施过程环境影响等内容。

修复技术路线应反映地块修复总体思路、修复方式、修复工艺流程和具体步骤，以及修复过程中产生的废水、废气、噪声、固体废物处理处置和二次污染防治措施等。

按照确定的单一修复技术及多种修复技术组合方案估算修复工程量，包括土壤和地下水修复量，

基坑开挖范围和深度、开挖方量、遗留固体废物处置量、以及修复过程中产生的废水、废气和固体废物的处置量。

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。通过小试、中试确定修复技术需采用的工艺参数，包括但不限于以下内容：设备处理能力、处理条件、处理设施数量及规格、药剂投加方式、投加量或比例、能耗、设备占地面积或作业区面积、阻隔材料性能及其他重要工艺参数。

8.1.2 修复方案比选

结合地块特征和修复目标，建立修复方案比选指标体系，从备选方案的主要技术指标、工程费用估算和二次污染防治措施、绿色低碳化设计等方面进行比选。

主要技术指标的合理性从符合法律法规、长期和短期效果、修复时间、成本和修复工程的环境影响等方面比较。根据修复工程量，估算并比较不同修复方案所产生的修复费用，包括直接费用和间接费用。根据土壤和地下水修复工艺和施工过程各环节产生的废水、废气、固体废物、噪声和扬尘等环境影响情况，综合比较不同修复方案二次污染防治措施有效性和可实施性。结合修复模式与修复技术工程特点，从资源能源利用、修复工艺与设备、修复过程、污染物产生、温室气体排放、废物处理与综合利用、环境管理要求等方面开展绿色低碳分析。

8.1.3 确定修复方案

采用对比分析、综合判断或专家评分等方式，综合考虑技术、经济、环境、社会效益等指标，确定最佳修复方案。

鼓励以能源资源节约高效利用为导向，强化工艺设计，优先选择原位修复、生物修复、自然恢复为主的管控修复技术。

8.2 修复方案工程设计

根据修复方案和修复目标，结合地块污染特征和水文地质条件，分析修复技术实施过程中影响因素，进行修复工程设计。

工程设计包括修复工艺设计、施工平面布局规划、施工组织安排、运行维护计划及运行监测计划。工程设计前，应现场踏勘地块与周边环境现状，识别周边敏感目标，评估地块修复工程施工条件。重点关注修复工程实施所需能源资源供给条件（如电力、燃气、水等）以及空间需求等，为修复工程设计提供基础信息。

工程设计应增强风险管控、修复工程应对极端气候事件和灾害等气候变化能力的设计。在守牢底线的前提下，鼓励将风险管控、修复与后续建设项目同步设计，最大程度降低排放、减少能耗，提升修复质效。

8.2.1 修复工艺设计

修复工艺设计应明确修复实施过程系统总体平面布置、修复技术的工艺参数、修复周期等。修复工艺设计应包括系统构成、每个子系统的主要作用和工程量、关键工艺参数和核心设施装置设计，以及主要设备材料选型、对土壤的处理流程和管理措施、污染物的去向、最终污染介质的处置、土壤的再利用等。优先使用绿色低碳修复材料，因地制宜提高可再生和清洁能源消费比重。科学设定并动态调整工艺参数，降低资源消耗水平。

土壤的处理流程包括但不限于清理、清挖、转运、暂存、处置、回填、外运等。明确各实施过程使用的设施设备、数量、施工顺序、场所位置、转运路线、工作计划、人员配置等内容。若地块内有具有使用功能的地下管线、箱涵等，还应明确其保护措施。

涉及污染土壤和地下水外运进行风险管控和修复的，应明确外运污染土壤和地下水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。污染土壤转运前应当制定转运计划，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。属于危险废物的，应当依照法律法规和相关标准的要求进行处置。

8.2.2 施工平面布局规划

按照科学、安全、文明、节约、环保的原则，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进行功能区设计并绘制平面布置图，合理布置修复设施、材料及主要施工设备放置区、现场施工道路、临时办公与生活设施、临电临水设施等功能区。

对施工平面布局规划的合理性和可行性情况进行说明，如功能区规模满足土壤、废水、固体废物等的贮存量、功能区建设材料满足防雨、防渗、防流失、防扬散技术要求等。

修复现场按国家和地方相关规定设置信息公开标识。

8.2.3 施工组织安排

根据地块修复方案、工程建设相关材料和地块调查材料介绍修复工程概况，阐述修复工程的基本情况、特征、特点以及有关要求等。

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。

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，制定工程设计、实施、监测、验收等阶段的时间安排表，必要时制定工期保障措施。需分阶段开展效果评估的，应在修复工期安排中体现。

8.2.4 运行维护计划

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。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。发

生意外状况时，还应编制专题报告。

8.2.5 运行监测计划

运行监测计划应包括修复设施性能监测计划、修复设施运行效率监测计划以及修复进程监测计划等，监测计划应明确监测介质、点位、指标、频率、样品采集与检测方法、数据分析方法等。不同修复技术的运行监测指标可参考附录 B。

通过修复设施性能监测指标的结果分析设施是否达到设计要求，通过修复设施运行效率监测指标的结果分析设施运行效率，通过修复进程监测指标的结果分析修复进程，判别是否具备开展第三方效果评估的条件。可采用图表法进行运行监测数据分析。

分区域、模块化修复的地块，应根据每个修复模块的运行监测数据分析修复设施性能、修复设施运行效率以及修复进程。结合运行监测数据分析结果，及时优化修复设施运行参数及监测计划。

8.3 制定环境管理计划

环境管理计划包括环境监理计划、修复工程二次污染防治和安全防护措施、环境监测计划和环境应急计划。

8.3.1 环境监理计划

环境监理计划内容应包括工作目标与范围、工作程序、工作内容、工作方法和工作制度，明确组织机构及职责、成果提交方式等。

为确保场地土壤修复工程的顺利实施，其施工过程应聘请有资质和经验的监理单位进行监理。环境监理单位以保护生态环境为原则，客观、公正地开展建设用地修复工程环境监理相关工作。

环境监理应对修复工程全过程开展全面监理，工作内容包括修复工程施工内容监理、环保设施监理、二次污染防治监理、生态保护措施监理和环境管理监理等内容。受建设用地修复施工过程中各种因素影响，导致实施方案、施工时序、施工设计发生变更时，应适时调整环境监理相关工作内容。

8.3.2 二次污染防治措施

二次污染防治措施包括保护清洁土壤、地表水、地下水、空气质量和声环境、以及防止污染扩散的所有措施。应强化废水、废气、固废等的收集处理与资源化利用，防止对地下水和周边水体、大气等造成污染。全面分析土壤和地下水风险管控与修复项目二氧化碳产排节点，明确二氧化碳产生、排放情况和排放形式，说明拟采取的二氧化碳源头防控、过程控制、末端治理、回收利用等减排措施状况。

(1) 识别修复工程实施可能产生废水、废气、扬尘、噪声、固体废物二次污染的关键环节，制定相应污染防治措施。应重点关注修复区域土壤清挖、运输、临时堆放、处理处置过程中产生的废水、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 GB 8978、GB 14554、GB 16297、DB13/2322、DB13/2934 等相关环境保护标准要求。

(2) 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；设置负压密闭车间，其换气量、废气有效停留时间、活性炭添加量、活性炭更换周期等应满足相关规范和标准要求，产生的气态污染物经集中废气处理设施，处理达标后排放。

(3) 重点针对基坑、堆土、施工道路等裸露区域和开挖、运输和露天处置等施工阶段，明确扬尘污染防治措施。污染土壤临时存放要明确具体位置，说明堆放点的防尘、防雨、防渗和废水处理等措施。

(4) 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 标准要求。

(5) 修复工程产生的固体废物应分别收集，分类堆放，明确固体废物储存点的具体位置。涉及危险废物需要外委处置的，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。

8.3.3 安全防护措施

安全防护措施包括施工人员职业健康防护措施、对周围居民的警示和安全防护措施、以及对治理与修复范围内建（构）筑物、历史文化遗迹的保护措施等。

应说明污染物的毒性、治理与修复过程中人体与污染物接触的环节、对施工人员的培训和防护设备的配备、采用的劳动安全卫生标准、在实施过程中可能存在的安全隐患和重点部位等。

8.3.4 环境监测计划

结合采取的二次污染防治措施、周边环境敏感目标分布、环境保护要求等，制定环境监测计划。环境监测主要包括治理与修复全过程跟踪监测和效果评估监测。治理与修复后如需长期监测的，应制定长期监测方案。环境监测计划应明确监测范围、监测对象、监测指标、布点数量、监测频次、采样与检测方法、评价标准、监测的时间节点或工程节点等。

(1) 监测关注的环节应包括对项目本身修复效果和修复过程中的污染物排放进行监测。监测对象主要为土壤和地下水，修复过程中有废水、废气和噪声排放的，应对其进行监测；涉及挥发性污染物的，还应对地块及周边环境空气进行监测。

(2) 监测范围应包括风险评估确定的地块修复范围，以及修复实施过程中废水、废气、噪声等的影响范围及其周边环境敏感目标所在区域。污染土壤清挖效果监测时，应对基坑侧壁和坑底进行监测。

(3) 监测项目以修复目标污染物为主，同时还应包括修复实施过程中潜在的二次污染物指标，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。

(4) 监测频率应结合修复技术的具体实施特点设置。不同监测介质的监测技术可参考 HJ/T 55、

HJ/T 397、HJ 91.1、HJ 91.2、HJ 164、HJ 1262、GB 5085、GB 12523、GB 34330 等标准。

8.3.5 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，应分析工程实施过程可能发生的突发环境事件的环节、类型、影响范围、关键节点等，制定周密的地块修复工程环境应急计划。

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、突发事故时的应急机构和人员、应急物资和装备、应急监测、应急措施、应急处置能力培训等。

8.4 修复效果评估计划

修复效果评估计划应明确效果评估初步布点方案，对污染土壤清挖效果、污染土壤修复效果、潜在二次污染区域进行科学、系统地评估，确认土壤和地下水是否达到修复目标、风险管控是否达到规定要求、地块风险是否达到可接受水平等情况。

8.5 成本效益分析

践行绿色低碳修复理念，实现污染场地修复减污降碳和绿色可持续发展。在确保达到土壤污染风险管控、修复目标的前提下，注重能源资源节约高效利用，提升土壤污染防治的环境效益、经济效益和社会效益，提高资源利用率、优化废物处置途径，提出节能、降耗、减碳的改进措施与建议，实现环境净效益最大化和碳排放量最小化，促进高质量发展。

8.5.1 修复费用

对修复方案中土壤和地下水风险管控与修复投资费用进行估算。该费用包括修复工程涉及的前期基础与修复设施建设、修复工程主体设备、材料、工程实施、修复工程监测、工程监理、质量控制、健康安全防护和二次污染防范措施、效果评估等过程的直接费用和间接费用。

8.5.2 效益分析

采取定性定量相结合的方式，分别从环境、经济、社会效益方面进行土壤和地下水风险管控与修复效益分析。

8.5.3 绿色低碳分析

根据二氧化碳产生环节、产生方式和治理措施，采用排放因子法、物料平衡法、实测法等方法，核算修复项目二氧化碳产生和排放量，分析二氧化碳排放水平，量化分析土壤和地下水修复与风险管控项目绿色低碳水平。

9 修复方案报告编制

9.1 总体要求

修复方案要全面、准确地反映出全部工作内容。报告中的文字应简洁、准确，并尽量采用图、表等形式描述各种关键技术信息，以利于后续土壤修复工程的实施。

9.2 形式要求

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。

修复方案应加盖地块土地使用权人（土壤污染责任人）和修复方案编制单位的公章。

9.3 编制大纲

修复方案编制大纲参见附录 C，可根据地块实际情况调整。

附录 A
(资料性附录)

常见建设用地风险管控和修复技术

序号	名称	适用性	原理	修复周期	参考费用	成熟程度
1	异位固化/稳定化技术	适用于污染土壤。可处理金属类、石棉、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。不适用于挥发性有机化合物和以污染物总量为验收目标的项目。	向污染土壤中添加固化剂/稳定化剂，经充分混合，使其与污染介质、污染物发生物理、化学作用，将污染土壤固封为结构完整的具有低渗透系数的固化体，或将污染物转化成化学性质不活泼形态，降低污染物在环境中的迁移和扩散。	污染土壤方量、修复工艺、土壤养护时间、施工设备、修复现场平面布局等均显著影响处理周期。一般而言，水泥基固化修复需要较长的养护时间，稳定化修复需要的养护时间较短。	国外处理成本一般为 90-245 美元/m ³ ； 国内处理成本一般为 200-1500 元/m ³ 。	技术成熟，国内外应用广泛。河北省内有案例应用。
2	异位化学氧化/还原技术	适用于污染土壤。其中，化学氧化可处理石油烃、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、农药等大部分有机物；化学还原可处理重金属类（如六价铬）和氯代有机物等。 异位化学氧化不适用于重金属污染土壤的修复。	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。常见的还原剂包括连二亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、硫酸亚铁、多硫化钙、二价铁、零价铁等。	处理周期与污染物初始浓度、修复药剂与目标污染物反应机理有关。一般化学氧化/还原修复的周期较短，一般可以在数周到数月内完成。	国外处理成本一般为 190-660 美元/m ³ ； 国内处理成本一般为 500-2000 元/m ³ 。	国外已经形成了较完善的技术体系，应用广泛。 国内发展较快，河北省内有案例应用。

序号	名称	适用性	原理	修复周期	参考费用	成熟程度
3	异位热脱附技术	<p>适用于污染土壤。可处理挥发及半挥发性有机污染物（如石油烃、农药、多氯联苯）和汞。</p> <p>不适用于无机物污染土壤（汞除外），也不适用于腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤。</p>	<p>通过直接或间接加热，将污染土壤加热至目标污染物的沸点以上，通过控制系统温度和物料停留时间有选择地促使污染物气化挥发，使目标污染物与土壤颗粒分离、去除。</p>	<p>该技术的处理周期可能为几周到几年。取决因素有：污染土壤的体积、污染土壤及污染物性质、设备的处理能力。</p>	<p>国内处理成本约为 500-2000 元/吨。</p>	<p>国外已广泛应用于工程实践。河北省内有案例应用。</p>
4	土壤洗脱技术	<p>适用于污染土壤。可处理重金属及半挥发性有机污染物、难挥发性有机污染物。</p> <p>不宜用于土壤细粒（粘/粉粒）含量高于 25% 的土壤。</p>	<p>采用物理分离或增效洗脱等手段，通过添加水或合适的增效剂，分离重污染土壤组分或使污染物从土壤相转移到液相，并有效地减少污染土壤的处理量，实现减量化。洗脱系统废水应处理去除污染物后回用或达标排放。</p>	<p>处理周期约为 3-12 个月。</p>	<p>国外处理成本约为 200-400 美元/m³； 国内处理成本约为 500-2000 元/m³。</p>	<p>国外已应用于工程实践。河北省内有案例应用。</p>
5	水泥窑协同处置技术	<p>适用于污染土壤，可处理有机污染物及重金属。</p> <p>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、硫等元素的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土壤的添加量。</p>	<p>利用水泥回转窑内的高温、气体长时间停留、热容量大、热稳定性好、碱性环境、无废渣排放等特点，在生产水泥熟料的同时，焚烧固化处理污染土壤。</p>	<p>处理周期与水泥生产线的生产能力及污染土壤添加量相关。</p>	<p>国内处理成本约为 500-1400 元/m³。</p>	<p>技术成熟，国内外应用广泛。河北省内有案例应用。</p>

序号	名称	适用性	原理	修复周期	参考费用	成熟程度
6	原位固化/稳定化技术	<p>适用于污染土壤，可处理金属类、石棉、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。</p> <p>不宜用于挥发性有机化合物，不适用于以污染物总量为验收目标的项目。</p>	<p>通过一定的机械力在原位向污染介质中添加固化剂/稳定化剂，在充分混合的基础上，使其与污染介质、污染物发生物理、化学作用，将污染土壤固封为结构完整的具有低渗透系数的固化体，或将污染物转化成化学性质不活泼形态，降低污染物在环境中的迁移和扩散。</p>	<p>处理周期一般为3-6个月。</p>	<p>根据美国 EPA 数据显示，应用于浅层污染介质处理成本约为 50-80 美元/m³，应用于深层处理成本约为 195-330 美元/m³。</p> <p>国内处理成本为 500-1500 元/m³。</p>	<p>国外已经形成了较完善的技术体系，应用广泛。河北省内有案例应用。</p>
7	原位化学氧化/还原技术	<p>适用于污染土壤和地下水。其中，化学氧化可处理石油烃、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、农药等大部分有机物；化学还原可处理重金属类(如六价铬)和氯代有机物等。</p> <p>受腐殖酸含量、还原性金属含量、土壤渗透性、pH 值变化影响较大。</p>	<p>通过向土壤或地下水的污染区域注入氧化剂或还原剂，通过氧化或还原作用，使土壤或地下水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。常见的还原剂包括硫化氢、连二亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、硫酸亚铁、多硫化钙、二价铁、零价铁等。</p>	<p>该技术清理污染源的速度相对较快，通常需要几个月-几年时间。修复地下水污染羽区域通常需要更长的时间。可以通过设置抽水井，促进地下水循环以增强混合，有助于快速处理污染范围较大的区域。</p>	<p>国外处理成本约为 123 美元/m³；国内处理成本为 500-2500 元/m³。</p>	<p>国外已经形成了较完善的技术体系，应用广泛。河北省内有案例应用。</p>

序号	名称	适用性	原理	修复周期	参考费用	成熟程度
8	常温解吸技术	<p>适合处理低浓度、易挥发的有机污染物。</p> <p>不适用于重金属及挥发性较弱的有机污染物。</p>	<p>在密闭系统内,利用翻抛作业设备对规则码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,使土壤得以修复。</p>	<p>处理周期一般为1-12个月。</p>	<p>处理成本约为50-330美元/m³。</p>	<p>技术成熟,国内外广泛应用,河北省内有应用案例。</p>
9	土壤阻隔填埋技术	<p>适用于重金属、有机物及重金属-有机物复合污染土壤的阻隔填埋。</p> <p>不宜用于污染物水溶性强或渗透率高的污染土壤,不适用范围地质活动频繁和地下水水位较高的地区。</p>	<p>将污染土壤或经过治理后的土壤置于防渗阻隔填埋场内,或通过敷设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径,使污染土壤与周围环境隔离,避免污染物与人体接触和随土壤、水迁移进而对人体和周围环境造成危害。</p>	<p>处理周期较短。</p>	<p>国内处理成本为300-800元/m³。</p>	<p>国外已经形成了较完善的技术体系,应用广泛。河北省内有案例应用。</p>
10	生物堆技术	<p>适用于污染土壤,可处理石油烃等易生物降解的有机物。</p> <p>不适用于重金属、难降解有机污染物污染土壤的修复,粘土类污染土壤修复效果较差。</p>	<p>对污染土壤堆体采取人工强化措施,促进土壤中具备降解特定污染物能力的土著微生物或外源微生物的生长,降解土壤中的污染物。</p>	<p>处理周期一般为1-6个月。</p>	<p>国外处理成本约为130-260美元/m³;</p> <p>国内处理成本为300-400元/m³。</p>	<p>国外已广泛应用,技术成熟,河北省内目前没有应用案例。</p>
11	地下水抽出处理技术	<p>适用于污染地下水,可处理多种污染物。</p> <p>不宜用于吸附能力较强的污染物,以及渗透性较差或存在 NAPL(非水相液体)的含水层。</p>	<p>根据地下水污染范围,在污染场地布设一定数量的抽水井,通过水泵和水井将污染地下水抽取至地面进行处理。</p>	<p>处理周期一般较长。可能几个月-几年。</p>	<p>国外处理成本约为15-251美元/m³;</p> <p>国内的工程应用成本为150-700元/m³。</p>	<p>国外已经形成了较完善的技术体系,应用广泛。河北省内有案例应用。</p>

序号	名称	适用性	原理	修复周期	参考费用	成熟程度
12	地下水修复可渗透反应墙技术	适用于污染地下水,可处理 BTEX (苯、甲苯、乙苯、二甲苯)、石油烃、氯代烃、金属、非金属等。 不适用于承压含水层,不宜用于含水层深度超过 10m 的非承压含水层,对反应墙中沉淀和反应介质的更换、维护、监测要求较高。	在地下安装透水的活性材料墙体拦截污染物羽状体,当污染羽状体通过反应墙时,污染物在可渗透反应墙内发生沉淀、吸附、氧化还原、生物降解等作用得以去除或转化,从而实现地下水净化的目的。	处理周期较长,一般需几个月-几年时间。	国外处理成本约为 20-150 美元/m ³ ; 国内的工程应用成本为 150-1000 元/m ³ 。	国外应用广泛,河北省内目前没有案例应用。
13	多相抽提技术	适用于污染土壤和地下水,可处理易挥发、易流动的 NAPL (非水相液体) (如汽油、柴油、有机溶剂等)。不宜用于渗透性差或者地下水水位变动较大的场地。	通过真空提取手段,抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和浮油等到地面进行相分离及处理。	清理污染源区域的速度相对较快,通常需要 1-24 个月的时间。	国外处理成本约为 5-255 美元/m ³ ; 国内应用成本为 400 元/m ³ 。	技术成熟,在国外广泛应用,河北省内有应用案例。
14	地下水监控自然衰减技术	适用于污染地下水,可处理石油烃、多环芳烃、BTEX (苯、甲苯、乙苯、二甲苯)、MTBE (甲基叔丁基醚)、氯代烃、硝基芳香烃、重金属类、非金属类 (砷、硒)、含氧阴离子 (如硝酸盐、过氯酸) 等。 在证明具备适当环境条件时才能使用,不适用于对修复时间要求较短的情况,对自然衰减过程中的长期监测、管理要求高。	通过实施有计划的监控策略,依据场地自然发生的物理、化学及生物作用,包含生物降解、扩散、吸附、稀释、挥发、衰减以及化学性或生物性稳定等,使得地下水和土壤中污染物的数量、毒性、移动性降低到风险可接受水平。	处理周期较长,一般需要数年或更长时间。	根据美国实施的 20 个案例统计,单个项目费用为 14-44 万美元。	在美国应用广泛,河北省内目前没有应用案例。

备注: 1. 场地修复周期及成本因土壤类型、污染物类型、修复目标等不同而有较大差异,一般需要通过试验确定。本表中“修复周期、参考费用”为参考内容,数据主要来自于 www.clu-in.org 和国内、省内案例总结。
2. 本表中“成熟程度”参考 Superfund Remedy Report 13th Edition, Sep 2010。

附录 B

(资料性附录)

主要修复工艺设计及运行监测指标

技术方案类型		修复工艺设计	运行监测指标		
			设施性能方面	运行效率方面	修复进程方面
原位修复	化学氧化/还原	应明确系统总体平面布置, 药剂类型、主要成分、投加浓度、投加量、投加速率、投加管网布置, 溶药与混合设备数量与性能参数, 能耗指标, 水耗指标, 药剂临时存放方案及安保措施, 修复周期, 运行监测计划, 药剂注入方式与注药井结构, 注药井间距及平面布置图, 注药井成井工艺, 注药设备数量与性能参数等。	pH、氧化还原电位、溶解氧含量、所用药剂主要成分、反应过程中的主要二次污染物等指标。	药剂注入量、污染物去除量与去除效率等。	目标污染物残留浓度、残留质量、潜在二次污染物浓度等。
	气相抽提/多相抽提/抽出处理	应明确系统总体平面布置, 抽提/注射井间距及平面布置, 井结构与成井工艺, 抽提/注射设备型号与数量, 抽提/注射管网布置、管道直径与材质, 抽提/注射速率及压力与运行模式等关键运行工况参数, 运行监测计划, 修复周期, 能耗指标等。	地下水水位与溶解氧含量、包气带土壤气压力等。	设施运行能耗、污染介质和污染物的抽出速率与抽出质量等, 可在线监测污染介质与污染物抽出速率。	目标污染物残留浓度、残留质量等。
	生物修复	应明确修复周期等。如果采用强化措施, 还应明确具体的强化手段, 如外加工程菌剂类型、微生物营养物类型及添加量、供氧方式与关键工艺参数等。	溶解氧含量、氧化还原电位、电子供/受体含量、主要中间产物含量、微生物数量等。	电子供/受体的投加量、污染物去除量与去除效率等。	目标污染物残留浓度、残留质量、潜在二次污染物浓度等。
	热脱附	应明确加热方式、加热温度、加热时间、加热装置数量与性能参数、加热井平面布置、加热井结构, 热源或能源的接入地点与方式、能耗指标、运行监测计划、修复周期。宜设计余热回收工艺装置, 提高修复过程能源利用效率, 降低温室气体排放。	修复区域温度场和压力场的分布等, 宜实施在线监测。	能源输入量、污染物去除量与去除效率等。	目标污染物残留浓度、残留质量、潜在二次污染物浓度等。

技术方案类型		修复工艺设计	运行监测指标		
			设施性能方面	运行效率方面	修复进程方面
异位修复	化学氧化/还原	应明确系统总体平面布置，药剂类型、主要成分、投加浓度、投加量、投加速率、投加管网布置，溶药与混合设备数量与性能参数，能耗指标，水耗指标，药剂临时存放方案及安保措施，修复周期，运行监测计划等。	pH、氧化还原电位、溶解氧含量、所用药剂主要成分、主要中间产物等指标。	药剂投加量、污染物去除量与去除效率等。	目标污染物残留浓度、潜在二次污染物浓度等。
	热脱附	应明确加热方式、加热温度、加热时间、加热装置数量与性能参数、能耗指标、运行监测计划、修复周期等。	进料速率、炉体温度、土壤出料温度、空气进气量、冷凝器的工作温度、停留时间等。	能源输入量、污染物去除量与去除效率等。	目标污染物残留浓度、潜在二次污染物浓度等。
	水泥窑协同处置	应明确系统总体平面布置，土壤预处理系统、上料系统、水泥回转窑系统以及监测系统的配置参数、污染土壤添加量、能耗指标、修复周期、运行监测计划等。	上料速率、水泥回转窑内部温度、水泥输送速率等。	污染土壤添加量、水泥产量、能源输入量等。	目标污染物残留浓度和残留质量等。

附录 C

(资料性附录)

建设用地土壤修复方案编制大纲

建设用地土壤污染修复方案应根据污染土壤所在地的区域环境特征和污染土壤修复工程的特点选择下列全部或部分内容进行编制。

1 总论

包括项目概要、修复方案的结论、存在问题及建议等内容。

- 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 地块基本信息（生产历史、现状、周边条件、未来规划）
- 2.3 地块环境特征
- 2.4 地块污染特征
- 2.5 土壤污染风险

3 地块修复方案

- 3.1 地块概念模型构建
- 3.2 确认地块修复目标（目标污染物、修复范围、修复目标值）
- 3.3 选择修复模式
- 3.4 技术筛选与评估
- 3.5 确定修复技术
- 3.6 修复方案比选
- 3.7 确定修复方案

4 修复方案工程设计

- 4.1 修复工艺设计

- 4.2 施工平面布局规划
- 4.3 施工组织安排
- 4.4 运行维护计划
- 4.5 运行监测计划
- 5 环境管理计划
 - 5.1 环境监理计划
 - 5.2 二次污染防治
 - 5.3 安全防护措施
 - 5.4 环境监测计划
 - 5.5 环境应急方案
- 6 修复效果评估计划
- 7 成本效益分析
 - 7.1 修复费用
 - 7.2 效益分析
 - 7.3 绿色低碳分析
- 8 结论
 - 8.1 修复方案结论
 - 8.2 问题和建议