

DB11

北 京 市 地 方 标 准

DB11/T 783—2025

代替 DB11/T 783—2011

建设用地土壤修复与风险管控效果评估 技术规范

Technical guidelines for assessment of remediation and risk control
effect of soil contamination of land for construction

2025-09-23 发布

2026-01-01 实施

北京市市场监督管理局

发 布

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 工作内容..... 2

5 土壤和地下水修复效果评估..... 3

6 土壤和地下水风险管控效果评估..... 9

7 效果评估报告编制..... 12

附录 A（资料性） 样本量计算方法 13

附录 B（资料性） 土壤污染风险管控效果评估指标及评估方法 16

附录 C（资料性） 地下水污染风险管控效果评估指标及评估方法 17

附录 D（资料性） 效果评估报告提纲 19

参考文献..... 21

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。

本文件代替DB11/T 783—2011《污染场地修复验收技术规范》，DB11/T 783—2011自本文件实施之日起废止。与DB11/T 783—2011相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了修复极限等术语定义（见第3章）；
- b) 更改了土壤和地下水修复效果评估的工作程序（见第5章5.1，2011年版的第4章4.1）；
- c) 更改了土壤和地下水修复效果评估的布点和采样要求（见第5章5.3.1、5.3.2和5.3.3，2011年版的第6章6.2和6.3）；
- d) 增加了修复潜在影响区域的布点要求（见第5章5.3.4）；
- e) 更改了土壤和地下水修复效果达标判断方法（见第5章5.5，2011年版的第8章）；
- f) 增加了土壤和地下水风险管控效果评估的工作程序及效果评估方法（见第6章）；
- g) 更改了效果评估报告的编制要求（见第7章，2011年版的第9章）。

本文件由北京市生态环境局提出并归口。

本文件由北京市生态环境局组织实施。

本文件起草单位：北京市生态环境保护科学研究院、清华大学、北京市污染源管理事务中心。

本文件主要起草人：张丽娜、李恩贵、夏天翔、侯德义、张丽、杨白驹、侯雷、朱笑盈、贾琳、王亚军、王轶冬、贾晓洋、王世杰。

本文件及其所替代文件的历次版本发布情况为：

——2011年首次发布为DB11/T 783—2011；

——本次为第一次修订。

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》和《北京市土壤污染防治条例》等规定，规范建设用地土壤和地下水修复与风险管控效果评估工作，加强污染地块环境管理，结合北京市实际，制定本文件。

本文件借鉴国内外标准，在充分考虑北京市土壤环境管理需求的基础上，提出建设用地土壤和地下水修复与风险管控效果评估的方法。

建设用地土壤修复与风险管控效果评估技术规范

1 范围

本文件规定了建设用地土壤和地下水修复与风险管控效果评估的地块概念模型更新、点位布设、现场采样与实验室检测、效果达标判断和报告编制等内容。

本文件适用于建设用地土壤和地下水修复与风险管控效果评估。

本文件不适用于放射性污染和致病性生物污染的土壤和地下水修复与风险管控效果评估。

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 3095 环境空气质量标准

GB 14554 恶臭污染物排放标准

GB/T 14848 地下水质量标准

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 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 1019 地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则

HJ 1282 污染土壤修复工程技术规范 固化/稳定化

DB11/T 656 建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则

DB11/T 1281 污染场地修复后土壤再利用环境评估导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

目标污染物 target contaminant

在地块环境中数值或浓度已达到对人体健康和环境具有实际或潜在危害的，需要进行修复与风险管控的污染物。

[来源：HJ 25.5—2018,3.1,有修改]

3.2

修复目标 target for remediation

由地块环境调查和风险评估确定的目标污染物对人体健康和环境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 25.5—2018,3.2]

3.3

风险管控目标 target for risk control

阻断污染暴露途径, 阻止污染扩散, 防止对人体健康和环境产生危害的目标。

3.4

修复效果评估 assessment of remediation effect

通过资料回顾与现场踏勘、布点采样与实验室检测, 综合评估地块修复是否达到规定要求或地块风险是否达到可接受水平。

[来源: HJ 682—2019,2.5.10]

3.5

风险管控效果评估 assessment of risk control effect

通过资料回顾、现场踏勘、现场检测和实验室检测等, 综合评估地块风险管控是否达到规定要求或地块风险是否达到可接受水平。

3.6

潜在影响区域 potential impact area

修复与风险管控过程中的潜在影响区域包括: 污染土壤暂存区、修复设施所在区、固体废物或危险废物堆存区、运输车辆临时道路、待检区、扩散区和废水暂存处理区等区域。

3.7

修复极限 remediation asymptotic condition

修复工程进入拖尾期后, 在现有的技术水平、合理的时间和资金投入条件下, 继续进行修复仍难以达到预期修复目标值的情况。

[来源: HJ 25.6—2019,3.12,有修改]

3.8

残留污染物风险评估 risk assessment of residual contaminant

达到修复极限并实施或优化控制措施的情况下, 基于更新后的地块概念模型评估残留污染物对人体健康和环境产生的风险水平。

4 工作内容

4.1 地块概念模型更新

根据修复与风险管控进度以及所掌握的地块信息对地块概念模型进行实时更新, 为制定效果评估布点方案提供依据。

4.2 效果评估点位布设

根据更新后的地块概念模型确定修复与风险管控效果评估布点方案, 布点方案包括土壤和地下水修复与风险管控效果评估的范围、采样节点、布点数量和位置及检测指标等内容。

4.3 采样与检测

根据布点方案制定采样计划，开展现场采样、现场检测与实验室检测，明确现场和实验室质量保证与质量控制要求。

4.4 效果达标判断

根据检测结果，评估地块修复与风险管控是否达到规定要求或地块风险是否达到可接受水平。

4.5 效果评估报告编制

汇总前述工作内容，编制效果评估报告，报告应当包括地块土壤污染状况调查和风险评估结论、修复或风险管控工程实施情况、环境保护措施落实情况、概念模型更新情况、点位布设、现场采样、现场检测、实验室检测、效果达标判断、结论及建议等内容。

5 土壤和地下水修复效果评估

5.1 修复效果评估工作程序

5.1.1 土壤修复效果评估的工作程序为：在更新地块概念模型的基础上，制定布点方案，确定采样节点，明确评估范围、布点数量与位置、检测指标和效果评估标准，开展现场采样与实验室检测，进行土壤修复效果达标判断。可采用逐一对比或统计分析的方法进行土壤修复效果评估，若未达到修复目标，则开展补充治理修复，直至达到修复目标，编制修复效果评估报告。异位修复的地块可分阶段开展基坑清挖效果和清挖外运土壤修复效果评估。

5.1.2 地下水修复效果评估的工作程序为：在更新地块概念模型的基础上，制定布点方案，确定采样节点，明确评估范围、采样频次和周期、布点数量与位置、检测指标和效果评估标准，开展现场采样与实验室检测，进行地下水修复效果评估。当监测井地下水中目标污染物浓度稳定达到效果评估标准值时，方可认为地块达到修复目标，编制修复效果评估报告；若未达到修复目标应开展补充修复直至达到修复目标；若未达到修复目标但判断达到修复极限，则可在实施或优化控制措施的前提下开展残留污染物风险评估，直至地块残留污染物对人体健康和环境的风险可接受，编制修复效果评估报告。

5.1.3 建设用地土壤和地下水污染修复效果评估工作程序见图 1。

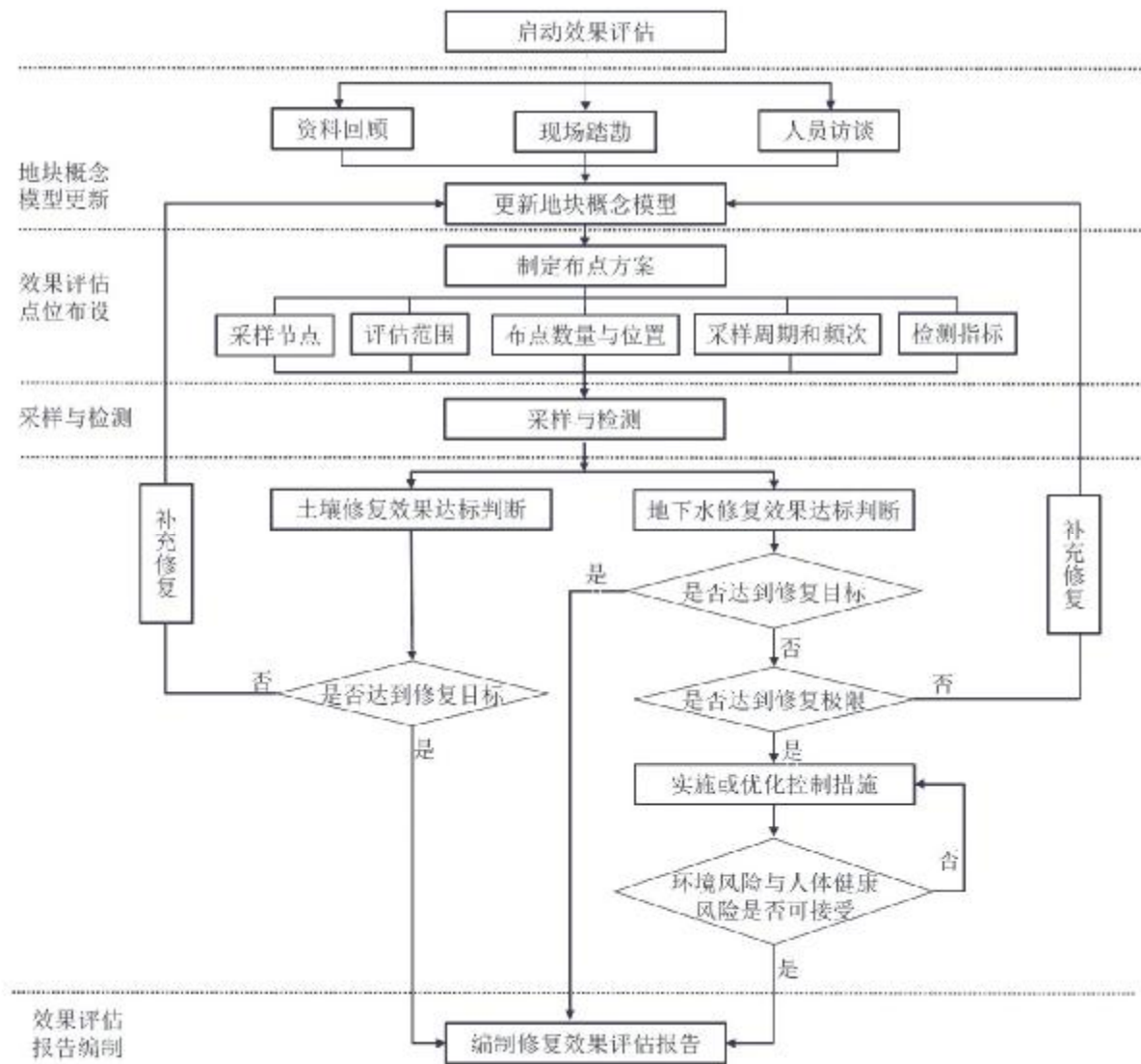


图1 建设用地土壤和地下水污染修复效果评估工作程序

5.2 地块概念模型更新

5.2.1 应收集地块责任人、施工单位和监理单位等提供的地块调查评估和修复施工等前期资料，开展资料回顾、现场踏勘和人员访谈，更新地块概念模型。

5.2.2 资料回顾、现场踏勘、人员访谈和地块概念模型更新按 HJ 25.5 执行。

5.3 修复效果评估点位布设

5.3.1 土壤异位修复效果评估布点

5.3.1.1 评估对象

土壤异位修复效果评估的对象为清挖后的基坑和异位修复后的土壤。

5.3.1.2 采样节点

5.3.1.2.1 基坑清挖效果评估原则上在基坑清理后、回填前进行采样；对于采用基础围护的，可在基

坑清理同时进行基坑侧壁采样或于基础围护实施后，采用钻探取样的方式在围护设施外边缘采样。

5.3.1.2.2 对于异位修复转运的土壤，应对地块责任人、施工单位和监理单位等提供的修复施工过程与监理资料进行审阅和回顾，包括转运土壤的去向、转运过程、暂存和处置等。

5.3.1.2.3 异位修复后的土壤效果评估应在修复完成后、再利用之前采样；按照堆体模式进行异位修复的土壤宜在堆体拆除之前进行采样。

5.3.1.2.4 异位修复后土壤效果评估采样可根据修复进度分批次开展。

5.3.1.3 布点数量与位置

5.3.1.3.1 基坑底部采用系统布点法，根据基坑底部面积确定点位数量，坑底推荐最少点位数量见表1，也可根据地块实际情况计算布点数量，计算方法参见附录A。

5.3.1.3.2 基坑侧壁采用等距离布点法，根据基坑侧壁周长确定点位数量，侧壁水平方向点位数不少于3个，最大间隔不超过40 m。当基坑深度大于1 m时，侧壁应进行垂向分层采样，垂向采样点位应考虑地块土层性质与污染垂向分布特征，包含污染物浓度较高的位置及污染物易富集位置，垂向采样点之间垂向距离原则上不超过3 m，也可参照DB11/T 656。

5.3.1.3.3 基坑坑底和侧壁的样品以去除杂质后的土壤表层样为主；对于挥发性有机物污染的地块应避免仅采集表层样，采样方法可按照HJ 1019执行。

表1 基坑底部推荐最少点位数量

基坑面积/m ²	坑底采样点数量/个
x<100	2
100≤x<1000	3
1000≤x<1500	4
1500≤x<2500	5
2500≤x<5000	6
5000≤x<7500	7
7500≤x<12500	8
x>12500	网格大小不超过 40 m×40 m

5.3.1.3.4 修复后土壤原则上每个采样单元（每个样品代表的土方量）不应超过500 m³；也可根据修复后土壤中污染物浓度分布特征参数计算修复差变系数，根据不同差变系数查询计算对应的推荐采样数量，具体按照HJ 25.5执行。

5.3.1.3.5 对于按批次处理的修复技术，在符合前述要求的同时每批次至少采集1个样品。对于按照堆体模式处理的修复技术，若在堆体拆除前采样，在符合前述要求的同时应结合堆体大小设置采样点。

5.3.1.3.6 修复后土壤效果评估布点一般采用系统布点法，宜在堆体中部采集代表性样品；对于按照堆体模式进行异位修复的还应考虑修复效果空间差异，在修复效果薄弱区增设采样点。

5.3.1.4 检测指标

5.3.1.4.1 基坑土壤的检测指标一般为对应修复范围内土壤中的目标污染物，基坑边界处应同时考虑相邻基坑土壤中的目标污染物。

5.3.1.4.2 异位修复后土壤的检测指标为修复方案中确定的目标污染物。

5.3.1.4.3 化学氧化/还原修复、微生物修复等的检测指标应包括产生的二次污染物，原则上二次污染物指标应根据修复方案中的可行性分析结果确定。

5.3.1.4.4 必要时可增加土壤理化指标和修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

5.3.2 土壤原位修复效果评估布点

5.3.2.1 评估对象

土壤原位修复效果评估的对象为原位修复后的土壤。

5.3.2.2 采样节点

5.3.2.2.1 原位修复后的土壤应在修复完成后进行采样。

5.3.2.2.2 原位修复的土壤可按照修复进度及修复设施划分等情况分区域采样。

5.3.2.3 布点数量与位置

5.3.2.3.1 原位修复后的土壤水平方向上采用系统布点法进行布点,推荐采样数量按照 HJ 25.5 执行。

5.3.2.3.2 原位修复后的土壤垂直方向上采样深度不应小于调查评估确定的污染深度以及修复可能造成污染物迁移的深度。垂向采样点位应考虑地块土层性质与污染垂向分布特征,包含污染物浓度较高的位置和污染物易富集位置,垂向采样点之间距离原则上不超过 3 m,也可参照 DB11/T 656。

5.3.2.3.3 应结合地块污染分布、土壤性质和修复设施设置等,在高浓度污染物聚集区、修复效果薄弱区和修复范围边界处等位置增设采样点。

5.3.2.4 检测指标

5.3.2.4.1 原位修复后土壤的检测指标为修复方案中确定的目标污染物。

5.3.2.4.2 化学氧化/还原修复、微生物修复等的检测指标应包括产生的二次污染物,原则上二次污染物指标应根据修复方案中的可行性分析结果确定。

5.3.2.4.3 必要时可增加土壤理化指标和修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

5.3.3 地下水修复效果评估布点

5.3.3.1 评估范围

地下水修复效果评估的范围包括地下水修复范围上游、内部、下游以及修复可能涉及的潜在影响区域。

5.3.3.2 启动条件

5.3.3.2.1 开展地下水修复效果评估之前,应进行修复达标初判,确定地下水达到稳定状态且地下水中污染物浓度整体达标。判断方法按 HJ 25.6 执行。

5.3.3.2.2 修复达标初判至少需要连续 4 个批次的监测数据,原则上采样间隔为每季度一次,对于地下水流动方向变化大于 30 度或地下水水力梯度增加大于 50%等情形宜适当增加采样频次。

5.3.3.3 采样周期和频次

5.3.3.3.1 地下水修复效果评估阶段的采样周期和频次应根据地下水污染程度、修复方式、地块地质与水文地质条件确定。

5.3.3.3.2 对于拟开发为住宅用地的地块,修复效果评估阶段至少采集 8 个批次样品,采样周期至少为 1 年。其他情景可根据污染源削减情况、效果评估检测结果等情况判断采样周期和频次。

5.3.3.3.3 原则上采样间隔不得少于一个月,应涵盖丰、枯水期;对于地下水流动方向变化大于 30 度或地下水水力梯度增加大于 50%等情形宜适当增加采样频次。

5.3.3.4 布点数量与位置

5.3.3.4.1 原则上修复效果评估范围上游至少设置 1 个采样点、内部至少设置 3 个采样点、下游至少

设置 2 个采样点。

5.3.3.4.2 原则上污染范围内部采样网格不大于 $80\text{ m}\times 80\text{ m}$ ，存在非水相液体区域的采样网格不大于 $40\text{ m}\times 40\text{ m}$ 。

5.3.3.4.3 地下水采样点原则上应优先设置在修复设施运行薄弱区和地质与水文地质条件不利的区域。

5.3.3.4.4 可充分利用地块调查评估与修复实施等阶段设置的监测井，已有监测井应符合修复效果评估采样条件。

5.3.3.5 检测指标

5.3.3.5.1 地下水修复效果评估的检测指标为修复方案中确定的目标污染物。

5.3.3.5.2 化学氧化/还原修复、微生物修复等的检测指标应包括产生的二次污染物，原则上二次污染物指标应根据修复方案中的可行性分析结果确定。

5.3.3.5.3 必要时可增加土壤理化指标、地下水质量常规指标和修复设施运行参数等评估指标作为修复效果评估的依据。

5.3.4 修复潜在影响区域布点

5.3.4.1 采样节点

5.3.4.1.1 潜在影响区域应在修复活动完成、设施设备拆除后进行采样。

5.3.4.1.2 可根据实际情况进行分批次采样。

5.3.4.2 布点数量与位置

5.3.4.2.1 修复潜在影响区域原则上根据修复设施设置及潜在污染来源等资料进行针对性判断布点，也可采用系统布点法布点，采样点数量按照表 1 中的规定执行。

5.3.4.2.2 修复潜在影响区域以采集去除杂质后的土壤表层样为主（ $0\text{ cm}\sim 20\text{ cm}$ ），不排除深层采样。

5.3.4.3 检测指标

修复潜在影响区域土壤的检测指标应包括土壤和地下水修复目标污染物，化学氧化/还原修复、微生物修复等的检测指标还应包括修复过程产生的二次污染物，并考虑中间产物和残留药剂等。

5.4 采样与检测

5.4.1 现场采样与实验室检测按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

5.4.2 土壤原位热脱附修复效果评估样品采集方法可参照。

5.5 修复效果达标判断

5.5.1 土壤修复效果达标判断

5.5.1.1 土壤修复效果评估标准

5.5.1.1.1 基坑土壤评估标准值为土壤中目标污染物的修复目标值。

5.5.1.1.2 异位修复后土壤的评估标准值应根据其最终去向确定：

- a) 若修复后回填到原基坑，评估标准值为土壤中目标污染物的修复目标值；
- b) 若修复后外运到其他地块且明确接收地的，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接收地用地性质对应筛选值的较严者作为评估标准值，并确保不对接收地的地下水环境产生影响。风险评估可按照 HJ 25.3 执行，同时应满足 DB11/T 656 或 DB11/T 1281 的管理要求；

c) 若修复后土壤再利用方式不明确的, 采用 GB 36600 中第一类用地筛选值作为评估标准值。

5.5.1.1.3 原位修复后土壤的评估标准值为土壤中目标污染物的修复目标值。

5.5.1.1.4 化学氧化/还原修复、微生物修复等潜在污染物的评估标准, 原则上应根据修复方案中的可行性分析结果确定, 也可按照 GB 36600 中第一类用地筛选值执行或根据暴露情景进行风险评估确定其评估标准值, 风险评估可按照 HJ 25.3 执行, 同时应满足 DB11/T 656 和 DB11/T 1281 的管理要求。

5.5.1.2 土壤修复效果达标判断方法

5.5.1.2.1 可采用逐一对比或统计分析的方法进行土壤修复效果评估。

5.5.1.2.2 当样品数量少于 8 个时, 须将样品的检测值与评估标准值逐一对比:

a) 若检测值低于或等于评估标准值, 则认为达到修复效果。

b) 若检测值高于评估标准值, 则认为未达到修复效果。

5.5.1.2.3 当样品数量大于等于 8 个时, 可采用统计分析方法进行修复效果评估。原则上统计分析方法应在单个基坑或单个修复范围内分别进行。一般采用样品均值的 95%置信上限与效果评估标准值进行比较, 符合下述条件可认为地块达到修复效果, 否则认为未达到修复效果。

a) 整体均值的 95%置信上限小于等于修复效果评估标准值。

b) 最大值不超过修复效果评估标准值的 2 倍。

5.5.1.2.4 若修复范围到达地块边界而难以继续, 应结合检测数据实际情况论证残留风险, 判断地块是否达到安全利用的要求。

5.5.1.2.5 若修复过程改变了土壤理化性质、水文地质条件等影响风险结果的要素, 应结合更新后的概念模型补充开展残留污染物风险评估, 进行风险表征, 以保证地块安全利用。

5.5.1.3 补充修复

5.5.1.3.1 若地块未达到修复效果, 应对未达标区域开展补充治理修复。

5.5.1.3.2 对于基坑, 若某采样点土壤中污染物浓度未达到修复目标值, 应对污染土壤进行再次清理和效果评估采样; 再次清理范围可根据效果评估采样网格确定, 也可在未达标点局部进行加密采样确定, 原则上不少于超标点位所代表的网格面积。基坑坑底再次清理土壤垂向深度不少于 0.5 m; 基坑侧壁水平和垂直方向上清理范围不少于该采样点所代表的侧壁长度和深度。

5.5.1.3.3 对于分批次修复处理后的土壤, 若某采样点未达到修复效果, 则将对对应土方的污染土再次修复后进行修复效果评估。

5.5.1.3.4 对于堆体方式进行修复的土壤, 若某采样点未达到修复效果, 则应根据修复工程特点再次运行修复设施, 修复后进行修复效果评估。

5.5.2 地下水修复效果达标判断

5.5.2.1 地下水修复效果评估标准值

5.5.2.1.1 修复后地下水的评估标准值为地下水中目标污染物的修复目标值。

5.5.2.1.2 化学氧化/还原修复、微生物修复等潜在二次污染物的评估标准, 原则上应根据修复方案中的可行性分析结果确定, 也可按照 GB/T 14848 中地下水质量分类对应限值执行或根据暴露情景按照 HJ 25.3 进行风险评估确定其评估标准值。

5.5.2.2 地下水修复效果达标判断方法

5.5.2.2.1 原则上监测井中的检测指标均持续稳定达标, 方可认为地下水达到修复效果。稳定达标判断方法按照 HJ 25.6 执行。

5.5.2.2.2 若未达到修复效果，原则上应对未达标区域开展补充修复，也可进行修复极限判断。

5.5.2.2.3 若判断地下水未达到修复极限，应开展补充修复；若判断地下水已达到修复极限，可在实施控制措施的前提下开展残留污染物人体健康和环境风险评估。

a) 若残留污染物对未来受体和环境产生的风险可接受，则认为达到修复效果。

b) 若残留污染物对未来受体和环境产生的风险不可接受，则需对现有控制措施进行优化或调整后
进行修复效果评估。

5.5.2.2.4 修复极限判断和残留污染物风险评估方法按照 HJ 25.6 执行。

6 土壤和地下水风险管控效果评估

6.1 风险管控效果评估工作程序

6.1.1 在更新地块概念模型的基础上，制定布点和采样方案，明确评估对象、评估指标、周期和频次、布点数量与位置，开展现场采样、现场检测和实验室检测，进行风险管控效果达标判断。若工程性能指标和污染物指标均达到效果评估标准，则判断达到风险管控目标，编制风险管控效果评估报告；若未达到评估标准，则判断未达到风险管控目标，应对风险管控措施进行优化或调整。

6.1.2 风险管控效果评估工作程序见图 2。

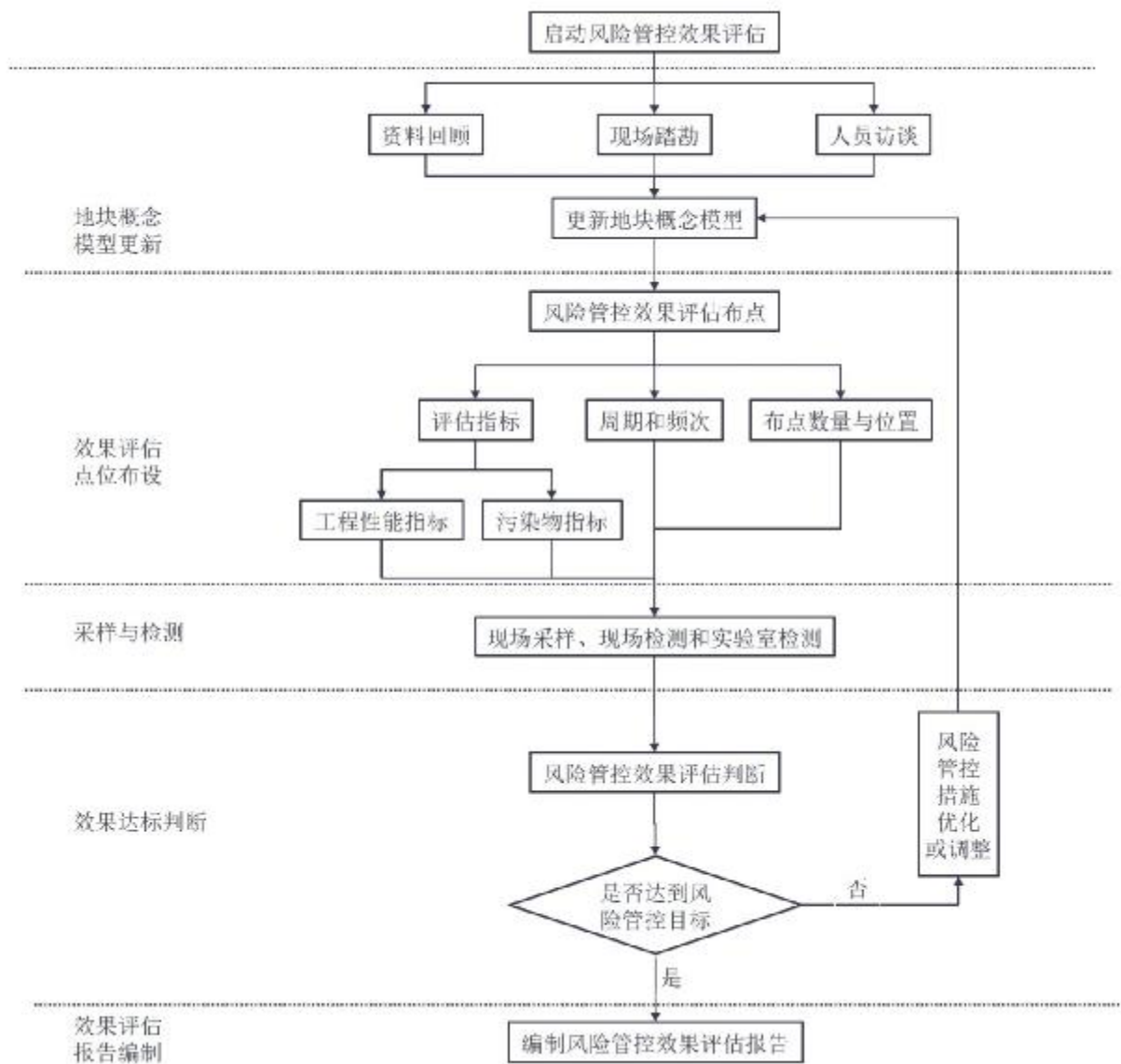


图2 建设用地土壤和地下水风险管控效果评估工作程序

6.2 地块概念模型更新

6.2.1 应收集地块责任人、施工单位、监理单位等提供的地块调查评估和风险管控施工等前期资料，开展资料回顾、现场踏勘、人员访谈，更新地块概念模型。

6.2.2 地块概念模型涉及信息及其作用见 HJ 25.5。

6.3 风险管控效果评估点位布设

6.3.1 土壤风险管控效果评估布点

6.3.1.1 评估指标

6.3.1.1.1 土壤风险管控效果评估指标包括工程性能指标和污染物指标，具体根据工程实施情况确定。

6.3.1.1.2 固化/稳定化主要工程性能指标包括固化体渗透系数、固化体强度和投加物料比等，污染物

指标为土壤中目标污染物浸出浓度。

6.3.1.1.3 阻隔主要工程性能指标包括阻隔系统连续性和完整性、阻隔厚度和深度及阻隔防渗性能等；污染物指标为地下水中目标污染物浓度，涉及挥发性污染物时还应包括环境空气中目标污染物浓度，必要时开展土壤气监测。

6.3.1.2 周期和频次

6.3.1.2.1 工程性能指标评估原则上应在工程完工后 1 年内开展，具体根据工程实施情况确定。

6.3.1.2.2 固化污染物指标评估应在工程完工 1 个月后开展，稳定化污染物指标应在工程完工 1 周后开展，至少开展 1 个批次的监测。

6.3.1.2.3 阻隔污染物指标评估应在工程完工 1 个月后开展，至少连续开展 4 个批次的监测，采样间隔不得少于一个月；地下水监测原则上应涵盖丰、枯水期。

6.3.1.3 布点数量与位置

6.3.1.3.1 固化/稳定化点位布设可参考 HJ 25.2、HJ 25.5 和 HJ 1282，一般 500 m³ 的处理单元或土壤采集 1 个样品。原位固化/稳定化应加强重污染区及单元重叠区等药剂混合薄弱区的采样。

6.3.1.3.2 结合风险管控措施的布置，在风险管控范围上游、下游边界处、两侧边界处以及可能涉及的潜在污染区域设置地下水监测井。上游至少布设 1 个监测井、下游边界处至少布设 3 个监测井、两侧边界处至少各布设 1 个监测井。可充分利用地块调查评估与风险管控实施等阶段设置的监测井，已有监测井应符合风险管控效果评估采样条件。

6.3.1.3.3 环境空气监测点位布设参照 HJ 25.2、HJ 194。

6.3.2 地下水风险管控效果评估

6.3.2.1 评估指标

6.3.2.1.1 地下水风险管控效果评估指标包括工程性能指标和污染物指标，具体根据工程实施情况确定。

6.3.2.1.2 可渗透反应墙主要工程性能指标包括反应墙几何特性（厚度、宽度、深度和连续性）、墙体透水性能和水力截获性能等；污染物指标包括地下水中目标污染物浓度及可能的二次污染物浓度。

6.3.2.1.3 阻隔主要工程性能指标包括阻隔系统连续性和完整性、阻隔厚度和深度及阻隔防渗性能等；污染物指标包括地下水中目标污染物浓度，涉及挥发性污染物时污染物指标还应包括环境空气中目标污染物浓度。

6.3.2.1.4 水力截获主要工程性能指标包括水力梯度控制能力和污染羽截获性能等；污染物指标包括地下水中目标污染物浓度。

6.3.2.1.5 必要时可增加地下水水位、流速和理化参数等作为风险管控效果的辅助判断依据。

6.3.2.2 周期和频次

6.3.2.2.1 工程性能指标评估原则上应在工程设施完工后 1 年内开展，具体根据工程实施情况确定。

6.3.2.2.2 污染物指标采样检测应在工程完工 1 个月后开展，至少连续开展 4 个批次，采样间隔不得少于一个月；地下水监测原则上应涵盖丰、枯水期，对于地下水流动方向变化大于 30 度或地下水水力梯度增加大于 50% 的情形宜适当增加采样频次。

6.3.2.3 布点数量与位置

6.3.2.3.1 结合风险管控措施的布置，在风险管控范围上游、内部、下游边界处、两侧边界处以及可能涉及的潜在污染区域设置地下水监测井。上游至少布设 1 个监测井、下游边界处至少布设 3 个监测

井、两侧边界处至少各布设 1 个监测井以及可能涉及的潜在二次污染区域至少布设 1 个监测井。可充分利用地块调查评估与风险管控实施等阶段设置的监测井，现有监测井须符合风险管控效果评估采样条件。

6.3.2.3.2 环境空气监测点位布设参照 HJ 25.2 和 HJ 194。

6.4 采样与检测

6.4.1 对于工程性能指标的效果评估可采用现场资料复核、测量核验、现场检测或参考附录 B 和附录 C 中方法进行评估。

6.4.2 对于污染物指标的效果评估现场采样与实验室检测可按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

6.5 风险管控效果达标判断

6.5.1 土壤风险管控效果达标判断

6.5.1.1 土壤风险管控工程性能指标应满足设计要求。

6.5.1.2 固化/稳定化后土壤中目标污染物的浸出浓度应达到 GB/T 14848 中接收地所在区域地下水质量分类对应限值。

6.5.1.3 阻隔管控措施下游及两侧边界处地下水中目标污染物浓度保持稳定或持续下降。涉及挥发性污染物时，环境空气中目标污染物浓度满足 GB 3095 中对应环境空气功能区质量要求且不超过基于保护人体健康的允许浓度，臭气浓度满足 GB 14554 中限值要求。

6.5.1.4 若未能达到风险管控效果评估要求，则需对风险管控工程措施进行优化或调整后进行管控效果评估。

6.5.2 地下水风险管控效果达标判断

6.5.2.1 地下水风险管控工程性能指标应满足设计要求。

6.5.2.2 管控措施下游及两侧边界处地下水中目标污染物浓度保持稳定或持续下降。

6.5.2.3 涉及二次污染物时，管控措施下游及两侧边界处地下水中关注二次污染物浓度满足管控目标要求或不超过人体健康和环境风险控制要求。

6.5.2.4 涉及挥发性污染物时，环境空气中目标污染物浓度满足 GB 3095 中对应环境空气功能区质量要求且不超过基于保护人体健康的允许浓度，臭气浓度满足 GB 14554 中限值要求。

6.5.2.5 若未能达到风险管控效果评估要求，则需对风险管控工程措施进行优化或调整后进行管控效果评估。

7 效果评估报告编制

7.1 效果评估报告应当包括地块土壤污染状况调查和风险评估结论、修复或风险管控工程实施情况、环境保护措施落实情况、概念模型更新情况、效果评估点位布设、现场采样与实验室检测、效果达标判断、结论及建议等内容，格式见附录 D。

7.2 效果评估报告检测结果分析中应梳理修复或风险管控实施前后污染物浓度变化情况和分布变化情况，包括但不限于最大值、最小值、平均值和中位数等。

7.3 对需要开展后期管理的地块，效果评估报告应从环境监测计划、运行与维护措施和应急预案等方面提出后期管理计划编制建议。

附录 A
(资料性)
样本量计算方法

A.1 假设检验

假设检验主要用于土壤修复效果的达标检验，土壤修复效果评估样本量的确定是基于土壤中污染物浓度的分布和控制的 α 、 β 错误来确定的。在实际中常通过控制 α 、 β 两类错误来提高样本的准确性。统计检验的两类错误见表A.1。

表A.1 统计检验的两类错误

基于样本数据的决策	实际情况	
	无污染	有污染
无污染	正确 功效 (1- β)	错误 (假阳性) (概率为 α)
有污染	错误 (假阴性) (概率为 β)	正确 确定性为 1- α

A.2 抽样方法

土壤修复效果评估布点方法常见的有简单随机抽样、系统抽样、分层随机抽样和判断抽样等。一般在土壤污染分布较为均匀的情况下可采用系统抽样，样本量随着初始随机样本点选择的不同可能存在差异，但是当样本点增多时样本量的相对变异减小。分层抽样提供了另外一种更全面的抽取地块重要区域样本的抽样方法，分层抽样情况下层间的采样方法可以不同，比如一个可以采用系统抽样，另一个可以采用随机抽样，可用于分层的因素包括：采样深度、污染物浓度、物理化学特性、污染历史和污染源、修复措施等。常见采样方法及选择依据见表A.2。

表A.2 常见抽样方法及选择依据

类别	选择依据
简单随机抽样	样本相互独立，对数据分布无要求
系统抽样	样本分布均匀
分层抽样	采样深度、污染物浓度、物理化学特性、实验室检测技术影响、污染历史和污染源、修复措施等
判断采样	根据调查评估和修复过程资料可判断的修复薄弱点

A.3 统计参数

若土壤中污染物浓度分布均匀且呈正态分布，可采用95%置信水平上限值作为暴露点浓度进行风险计算。95%置信水平上限值的数学含义是污染浓度的真实平均值等于或低于该值的概率为95%，由此来估计土壤污染总体水平。

正态分布条件下，总体均值即土壤污染真实评价值 μ 在置信水平为1- α 下的置信上限可以按照式(A.1)计算：

$$UCL_x = \bar{x} + t_{1-\alpha,n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

(A.1)

式中:

UCL_x ——95%置信上限;

$\bar{x}$ ——样本平均值;

$t_{1-\alpha, n-1}$ —— t 分布函数, 可查统计手册中的 t 分布分位数表;

n ——样本容量;

α ——总体均值大于置信上限的概率, 当置信水平为95%时, α 取0.05;

S ——样本标准差, 可按照式 (A.2) 计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

X ——样品检测值;

$\bar{X}$ ——样本平均值;

n ——样本容量。

土壤修复效果评估的参数主要有基于均值的置信上限、基于百分位数的置信上限、基于比例数的置信上限、超标的数据个数。参数的选择并不是唯一的, 可以同时选择两个或多个统计参数, 其最终样本量依二者中较大数值确定, 参数选择的依据见表A.3。

表A.3 针对长期健康效应的污染物进行统计检验的推荐参数

数据变异程度	低于检出限的数据的比较	
	低 (<50%)	有污染
变异系数较大 ($cv > 0.5$)	均值 (或中位数)	变异系数较大 ($cv > 0.5$)
变异系数较小 ($cv < 0.5$)	均值 (或中位数)	变异系数较小 ($cv < 0.5$)

A.4 样本量

依据具体情况, 选用的统计参数不同, 同一布点方法其所需的样本量也存在差异。样本量的确定是通过控制假设检验的 α 、 β 错误来确定最优的样本量, 根据选用的统计参数分别研究每种抽样方法下的样本量。

a) 基于均值的置信上限。采用简单随机抽样或系统抽样时, 样本量按照式 (A.3) 计算:

$$n_d = \hat{\sigma}^2 \left\{ \frac{Z_{1-\beta} + Z_{1-\alpha}}{CS - \mu_1} \right\}^2 \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$Z_{1-\alpha}$ 、 $Z_{1-\beta}$ ——标准正态分布分位数;

μ_1 ——给定 β 的总体均值;

CS ——修复目标值;

$\hat{\sigma}$ ——估计方差, 可通过先验知识获得。

采用分层随机抽样时, 样本量按照式 (A.4) 计算:

$$n_{hd} = \left\{ \sum_{h=1}^L W_h \sigma_h \sqrt{C_h} \right\} * \left\{ \frac{Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}}{CS - \mu_1} \right\}^2 * \frac{W_h \sigma_h}{\sqrt{C_h}} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

n_{hd} ——第 h 层的期望样本量;

n_h —— h 层的最终样本量;

W_h —— h 层的权重;

σ_h ——每层的估计方差;

C_h —— h 层采样、处理和分析土样的相对成本估计；

L ——层数；

h ——层号。

总的样本量按照式（A.5）计算：

$$n_d = n_{1d} + n_{2d} + \dots + n_{Ld} \dots\dots\dots (A.5)$$

b) 基于比例数或百分位数的置信上限。采用简单随机抽样时，样本量按照式（A.6）计算：

$$n_d = \left\{ \frac{z_{1-\beta} \sqrt{P_1(1-P_1)} + z_{1-\alpha} \sqrt{P_0(1-P_0)}}{P_0 - P_1} \right\}^2 \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

$Z_{1-\alpha}$ ——正态分布下概率 $1-\alpha$ 的关键值；

$Z_{1-\beta}$ ——正态分布下概率 $1-\beta$ 的关键值；

P_0 ——地块设定达标的标准，是一个比例数；

P_1 ——控制 β 地块的平均比例数。

采用分层随机抽样时，样本量按照式（A.7）计算：

$$n_{hd} = P_h(1 - P_h) * \left\{ \sum_{h=1}^L W_h \sqrt{C_h} \right\} * \left\{ \frac{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}}{P_0 - P_1} \right\}^2 * \frac{W_h}{\sqrt{C_h}} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

n_{hd} ——第 h 层的期望样本量；

n_h —— h 层的最终样本量；

W_h —— h 层的权重；

C_h —— h 层采样、处理和分析土样的相对成本估计；

L ——层数；

h ——层号。

c) 基于正态分布或对数正态置信区间的百分位数检验

采用简单随机抽样时，其样本量按照式（A.8）计算：

$$n_d = \left\{ \frac{z_{1-\beta} + z_{1-\alpha}}{z_{1-P_0} + z_{1-P_1}} \right\} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中：

$Z_{1-\alpha}$ ——正态分布下概率 $1-\alpha$ 的关键值；

$Z_{1-\beta}$ ——正态分布下概率 $1-\beta$ 的关键值；

Z_{1-P_0} —— P_0 的正态分布的关键值；

Z_{1-P_1} —— P_1 的正态分布的关键值。

附 录 B
(资料性)
土壤污染风险管控效果评估指标及评估方法

土壤污染风险管控效果评估指标及评估方法见表B.1。

表 B.1 土壤污染风险管控效果评估指标及评估方法

管控技术	评估指标		评估方法	评估目标/标准
固化/稳定化	工程性能指标	固化体渗透系数（仅固化）	采用抗水渗透试验，参照 GB/T 50123	渗透系数一般要求小于 $1\times 10^{-7}\text{cm/s}$ ，最大不超过 $1\times 10^{-6}\text{cm/s}$ ，须满足工程设计要求
		固化体强度（仅固化）	采用无侧限抗压强度试验，参照 GB/T 50123	根据实际处置或利用的要求，满足工程设计要求
		投加物料比	采用对工程过程原始资料进行复核方式，计算材料投加量与总处理土方量的比值	满足固化/稳定化工程设计要求
	污染物指标	土壤中目标污染物浸出浓度	根据固化/稳定化后土壤的处置和利用情景选择相应的浸出方法，参照 HJ 1282	依据具体处置和利用情景一般要求土壤中目标污染物浸出浓度达到接收地地下水用途对应标准要求
阻隔	工程性能指标	阻隔系统连续性和完整性	采用资料回顾、现场检查方式，必要时可结合地质雷达、电阻率成像等地球物理探测技术	阻隔系统无裂缝、无破损或薄弱区域、连续完整
		阻隔厚度和深度	采用资料回顾、现场检查方式	阻隔系统厚度和深度满足设计要求
		阻隔防渗性能	采用资料回顾、现场检查方式，核实阻隔材料防渗系数是否满足设计要求，必要时可结合钻孔取样测试渗透系数方法	阻隔系统防渗系数一般要求小于 $1\times 10^{-7}\text{cm/s}$
	污染物指标	地下水中目标污染物浓度	在管控范围上游、下游边界处、两侧边界处以及可能涉及的潜污染扩散区域布设地下水监测井或利用已有井，监测地下水中目标污染物浓度变化	管控范围下游及两侧边界处地下水中目标污染物浓度保持稳定或持续下降
		环境空气中目标污染物浓度（涉及挥发性污染物时）	在管控范围上部布设环境空气监测点，监测环境空气中目标污染物浓度变化	目标污染物浓度满足 GB 3095 中对应环境空气功能区质量要求且不超过基于保护人体健康的允许浓度，臭气浓度满足 GB 14554 中限值要求

附 录 C

(资料性)

地下水污染风险管控效果评估指标及评估方法

地下水污染风险管控效果评估指标及评估方法见表C.1。

表 C.1 地下水污染风险管控效果评估指标及评估方法

管控技术	评估指标		评估方法	评估目标/标准
可渗透反应墙	工程性能指标	反应墙几何特性（厚度、宽度、深度和连续性）	采用资料回顾、现场检查方式，必要时可结合地质雷达、电阻率成像等物探方法	反应墙几何特性满足设计要求
		墙体透水性能	钻孔取样，采集原状样，测量渗透系数	满足设计要求，且墙体透水性需高于周围含水层，确保地下水能够顺利通过而不偏流或绕流
		水力截获性能	收集监测井水位信息，利用达西定律确定反应介质渗透系数、周围含水层渗透系数等绘制地下水渗流图，评估水力截获性能；必要时可结合三维数值模拟确认污染羽捕获范围	满足设计要求，有效截获地下水污染羽
	污染物指标	地下水中目标污染物浓度	在管控范围上游、内部、下游边界处、两侧边界处以及可能涉及的潜在二次污染区域布设地下水监测井或利用已有井，监测地下水中目标污染物浓度	管控措施下游及两侧边界处地下水中目标污染物浓度保持稳定或持续下降
		地下水中二次污染物浓度	在管控范围上游、内部、下游边界处、两侧边界处以及可能涉及的潜在二次污染区域布设地下水监测井或利用已有井，监测地下水中可能的二次污染物浓度	管控措施下游及两侧边界处地下水中关注二次污染物浓度满足管控目标要求或不超过人体健康和环境风险控制要求
阻隔	工程性能指标	阻隔系统连续性和完整性	采用资料回顾、现场检查方式，必要时可结合地质雷达、电阻率成像等地球物理探测技术	阻隔系统无裂缝、无破损或薄弱区域、连续完整
		阻隔厚度和深度	采用资料回顾、现场检查方式	阻隔系统厚度和深度满足设计要求
		阻隔防渗性能	采用资料回顾、现场检查方式，核实阻隔材料防渗系数是否满足设计要求，必要时可结合钻孔取样测试渗透系数方法	阻隔系统防渗系数一般要求小于 $1\times 10^{-7}\text{cm/s}$

表 C.1 地下水污染风险管控效果评估指标及评估方法（续）

管控技术	评估指标		评估方法	评估目标/标准
	污染物指标	地下水中目标污染物浓度	在管控范围上游、内部、下游边界处、两侧边界处以及可能涉及的潜在二次污染区域布设地下水监测井或利用已有井，监测地下水中目标污染物浓度变化	管控范围下游及两侧边界处地下水中目标污染物浓度保持稳定或持续下降
		环境空气目标污染物浓度（涉及挥发性污染物时）	在管控范围上部布设环境空气监测点，监测环境空气中目标污染物浓度变化	目标污染物浓度满足 GB 3095 中对应环境空气功能区质量要求且不超过基于保护人体健康的允许浓度，臭气浓度满足 GB 14554 中限值要求
水力截获	工程性能指标	水力梯度控制能力	通过监测井水位测量，计算水力梯度，掌握水力梯度变化	水力截获管控边界向内水力梯度不小于 0.001m/m
		污染羽截获性能	观测水力截获措施运行前、后地下水流场，通过抽水试验测量渗透系数，计算水力截获措施运行前、后经由水力截获管控边界向外径流量	水力截获管控边界向外径流量削减 95%以上
	污染物指标	地下水中目标污染物浓度	在管控范围上游、内部、下游边界处、两侧边界处以及可能涉及的潜在二次污染区域布设地下水监测井或利用已有井，监测地下水中目标污染物浓度变化	管控措施下游及两侧边界处地下水中目标污染物浓度保持稳定或持续下降

附 录 D
(资料性)
效果评估报告提纲

1 项目背景

简要描述污染地块基本信息，调查评估及修复的时间节点与概况、相关批复情况等。简明列出以下信息：项目名称、项目地址、业主单位、调查评估单位、施工单位、监理单位、效果评估单位。

2 工作依据

2.1 法律法规

2.2 标准规范

2.3 项目文件

3 地块概况

3.1 自然环境情况

3.2 调查评估情况

3.3 修复或风险管控方案

3.4 修复或风险管控实施情况

3.5 环境保护措施落实情况

4 地块概念模型

4.1 资料回顾

4.2 现场踏勘

4.3 人员访谈

4.4 地块概念模型

5 效果评估点位布设

5.1 土壤修复效果评估布点

5.1.1 评估对象

5.1.2 采样节点

5.1.3 布点数量与位置

5.1.4 检测指标

5.1.5 评估标准

5.2 地下水修复效果评估布点

5.2.1 评估范围

5.2.2 采样节点、周期和频次

5.2.3 布点数量与位置

5.2.4 检测指标

5.2.5 评估标准

5.3 风险管控效果评估布点

5.3.1 评估指标和标准

5.3.2 采样周期和频次

5.3.3 布点数量与位置

6 现场采样与实验室检测

6.1 样品采集

6.1.1 现场采样

6.1.2 样品保存与流转

6.1.3 现场质量控制

6.2 实验室检测

6.2.1 检测方法

6.2.2 实验室质量控制

7 效果达标判断

7.1 检测结果分析

7.2 修复或风险管控效果达标判断

8 结论与建议

8.1 结论

8.2 建议

附件

参 考 文 献

- [1] GB/T 50123 土工试验方法标准
 - [2] HJ 194 环境空气质量手工监测技术规范
 - [3] HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语
 - [4] HJ 1165 污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附
 - [5] EPA .An overview of methods for evaluating the attainment of cleanup standards for soils, solid media, and groundwater, EPA Volumes 1,2, and 3, 1996.
 - [6] EPA .Methods for -Evaluating the Attainment of Cleanup Standards Volume 1: Soils and Solid Media, 1989.
 - [7] EPA .Methods for -Evaluating the Attainment of Cleanup Standards Volume 2: Ground Water, 1992.
 - [8] EPA .Statistical Methods For Evaluating The Attainment Of Cleanup Standards Volume 3: Reference-Based Standards For Soils And Solid Media, 1992.
-