

附件 2



# 中华人民共和国国家环境保护标准

HJ XX—2018

---

## 污染地块风险管控与修复

### 效果评估技术导则

Technical Guideline for Verification of Risk Management, Control and  
Remediation of Contaminated Site

(征求意见稿)

2018 -XX-XX 发布

2019-XX-XX 实施

---

生 态 环 境 部

发 布

## 目 次

前 言.....	ii
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总体工作程序.....	2
5 更新地块概念模型.....	3
6 土壤修复效果评估.....	5
7 地下水修复效果评估.....	11
8 风险管控效果评估.....	15
9 后期环境监管建议.....	16
10 编制效果评估报告.....	17
附录 A （资料性附录） 地块概念模型涉及信息及其作用.....	18
附录 B （资料性附录） 差变系数计算方法与查阅表.....	19
附录 C （资料性附录） $t$ 检验方法与案例.....	20
附录 D （资料性附录） 均值检验和趋势检验案例.....	22
附录 E （资料性附录） 效果评估报告提纲.....	26

## 前 言

根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国土壤污染防治法》，保护生态环境，保障人体健康，加强污染地块环境监督管理，规范污染地块风险管控与修复效果评估工作，制定本标准。

本标准与以下标准同属污染地块系列环境保护标准：

《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1-2014）；

《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2-2014）；

《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3-2014）；

《污染场地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2014）。

本标准规定了污染地块风险管控与修复效果评估的程序、方法和技术要求。

本标准的附录 A~附录 E 为资料性附录。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部土壤环境管理司、科技标准司组织制订。

本标准主要起草单位：北京市环境保护科学研究院、中国环境科学研究院、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、生态环境部环境规划院、沈阳环境科学研究院、南方科技大学工程技术创新中心（北京）。

本标准生态环境部 20□□年□□月□□日批准。

本标准自 20□□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部负责解释。

# 污染地块风险管控与修复效果评估技术导则

## 1 适用范围

本标准规定了污染地块风险管控与修复效果评估的程序、方法和技术要求。

本标准适用于污染地块土壤异位修复和原位修复、地下水抽出处理和原位修复、以及风险管控效果的评估。

本标准不适用于含有放射性物质与致病性生物污染地块治理与修复效果的评估。

## 2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB/T 14848 地下水质量标准

GB/T 18772 生活垃圾卫生填埋场环境检测技术要求

HJ 25.1 污染场地环境调查技术导则

HJ 25.2 污染场地环境监测技术导则

HJ 25.3 污染场地风险评估技术导则

HJ 682 污染场地术语

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**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和环境具有实际或潜在不利影响的，需要进行修复的污染物。

### 3.2

**修复目标 remediation target**

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。

### 3.3

**评估标准 assessment criteria**

评估地块是否达到环境和健康安全的标准或准则，本标准所指评估标准包括目标污染物浓度是否达到修复目标值、二次污染物是否不产生风险、工程性能指标是否达到预期效果等准则。

### 3.4

### 风险管控与修复效果评估 verification of risk management, control and remediation

通过资料回顾与现场踏勘、现场采样和实验室检测，综合评估地块风险管控和修复是否达到预期效果或修复后地块风险是否达到可接受水平。

#### 3.5

##### 修复极限 remediation asymptotic

治理与修复工程进入拖尾期后，继续开展治理与修复、消耗时间和资源，难以达到修复目标或评估标准的情况。

#### 3.6

##### 残留污染物风险评估 residual contaminate risk assessment

达到修复极限后，基于地块概念模型评估残留污染物对人体以及环境产生的风险水平。

## 4 总体工作程序

### 4.1 编制效果评估工作方案

在地块风险管控与修复效果评估工作开展之前，应编制效果评估工作方案，工作方案包括项目背景、工作依据、地块概况、布点方案、采样计划、检测方法、评估方法等内容。原则上效果评估工作方案应与修复实施方案同步编制。

### 4.2 更新地块概念模型

应根据修复进度和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和采样方案提供依据。

### 4.3 布点与采样

在更新地块概念模型的基础上，制定效果评估布点方案，布点方案包括效果评估的对象和范围、采样节点、采样周期和频次、布点数量和位置、检测指标、评估标准值等内容，并说明上述内容确定的依据。

根据布点方案，制定采样计划，确定检测指标和实验室分析方法，开展现场采样与实验室检测，明确现场和实验室质量保证与质量控制要求。

### 4.4 效果评估

根据检测结果，评估地块修复是否达到预期效果或修复后地块风险是否达到可接受水平。

### 4.5 提出后期环境监管建议

根据修复工程实施情况与效果评估结论，提出后期环境监管建议。

### 4.6 编制效果评估报告

汇总前述工作内容，编制效果评估报告，报告应包括风险管控与修复工程概况、环境保护措施落实情况、风险管控与修复效果监测结果、评估结论及后期环境监管建议等内容。

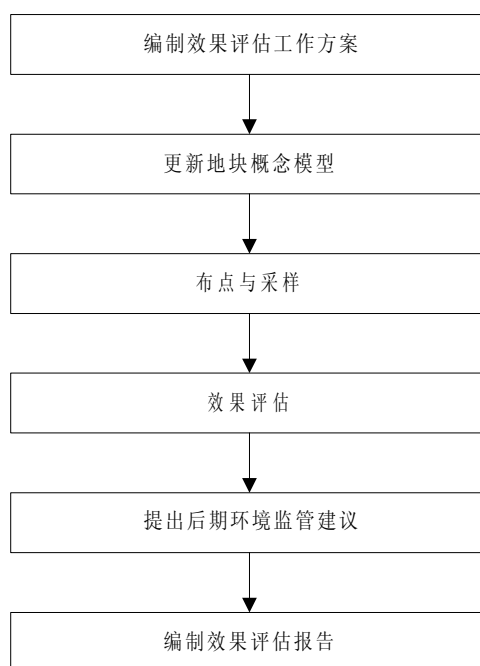


图 1 污染地块风险管控与修复效果评估总体工作程序

## 5 更新地块概念模型

### 5.1 总体要求

效果评估机构应收集与地块污染和地块修复相关的资料，开展现场踏勘工作，并通过与地块责任人、修复施工负责人、监理人员等进行沟通和访谈，了解污染地块调查评估结论、风险管控与修复工程实施情况、环境保护措施落实情况等，掌握地块水文地质条件、污染物空间分布、污染土壤去向、修复设施设置、修复过程监测数据等关键信息，构建风险管控与修复过程中的地块概念模型。

### 5.2 资料回顾

#### 5.2.1 资料回顾清单

在效果评估工作开展之前，应收集污染地块修复相关资料，资料清单主要包括：

- a) 地块环境调查评估报告；
- b) 地块修复技术方案；
- c) 地块修复实施方案；
- d) 修复工程施工与运行过程中检测资料；
- e) 地块修复工程监理数据、资料和报告；
- f) 地块修复环境监理数据、资料和报告；
- g) 相关合同协议，如污染土运输与接收的协议和记录、实施方案变更协议等；
- h) 其它相关文件，如地块施工管理文件等。

#### 5.2.2 资料回顾要点

5.2.2.1 资料回顾要点主要包括风险管控与修复工程概况和环保措施落实情况。

5.2.2.2 风险管控与修复工程概况主要通过修复技术方案、实施方案、以及修复过程中的其他文件，了解修复范围、修复目标、修复工程设计、修复工程施工、修复起始时间、运输记录、运行监测数据等，了解风险管控与修复工程实施的具体情况。

5.2.2.3 环保措施落实情况主要通过对环境监理数据、资料和报告的梳理，了解修复实施过程中废气、废水和废渣等的处理处置措施和处理情况，分析修复过程中的二次污染物排放是否达到相应的环境质量标准或排放标准，环境监理涉及的监督工作是否落实等。

### 5.3 现场踏勘

5.3.1 应开展现场踏勘工作，了解污染地块风险管控与修复情况、环境保护措施落实情况，包括修复设施运行情况、修复工程施工进度、基坑清理情况、污染土暂存和外运情况、地块内临时道路使用情况、修复施工管理情况等。

5.3.2 调查人员可通过照片、视频、录音、文字等方式，记录地块勘察情况。

### 5.4 人员访谈

5.4.1 应开展人员访谈工作，对地块风险管控与修复情况、环境保护措施落实情况进行全面了解。

5.4.2 访谈对象包括地块责任单位、地块调查单位、地块修复方案编制单位、工程监理单位、环境监理单位、修复施工单位等单位的参与人员。

### 5.5 更新地块概念模型

5.5.1 在资料回顾、现场踏勘、人员访谈的基础上，掌握地块风险管控与修复工程情况，结合地块水文地质条件、污染物空间分布、修复技术特点、修复设施布局等，对地块概念模型进行更新，完善地块风险管控与修复实施后的概念模型。

5.5.2 地块概念模型一般包括下列信息：

- a) 地块修复概况：修复起始时间、修复范围、修复目标、修复设施设计参数、修复过程运行监测数据、技术调整和运行优化、修复过程中废水和废气排放数据、药剂添加量等情况；
- b) 关注污染物情况：目标污染物原始浓度、运行过程中的浓度变化、潜在二次污染物和中间产物产生情况、土壤异位修复地块污染源清挖和运输情况、异位/原位修复技术去除率、原位修复地块污染物空间分布特征的变化情况等；
- c) 水文地质情况：关注地块水文地质条件以及修复设施的设置有可能对水文地质条件的改变，包括修复设施运行前后地下水埋深和地下水流场变化、是否存在优先流路径、土壤性质变化情况等；
- d) 潜在受体与周边环境情况：结合地块规划用途和建筑结构设计资料，分析修复工程结束后污染介质与受体的相对位置关系、受体的关键暴露途径等。

5.5.3 地块概念模型可用文字、图、表等方式表达，便于指导污染地块风险管控与修复效果评估范围的确定、采样介入节点、采样位置等关键问题。

5.5.4 地块概念模型涉及信息及其作用见附录 A。

## 6 土壤修复效果评估

### 6.1 土壤修复效果评估工作程序

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，确定采样节点，制定布点和采样方案，明确评估范围、布点数量与位置、检测指标、评估标准值，开展现场采样与实验室检测，进行修复效果达标判断。

可采用逐一对比和统计分析的方法进行土壤修复效果评估，若达到修复效果，则根据情况提出后期环境监管建议并编制修复效果评估报告，若未达到修复效果，则应开展补充治理修复。

土壤修复效果评估工作程序见图 2。

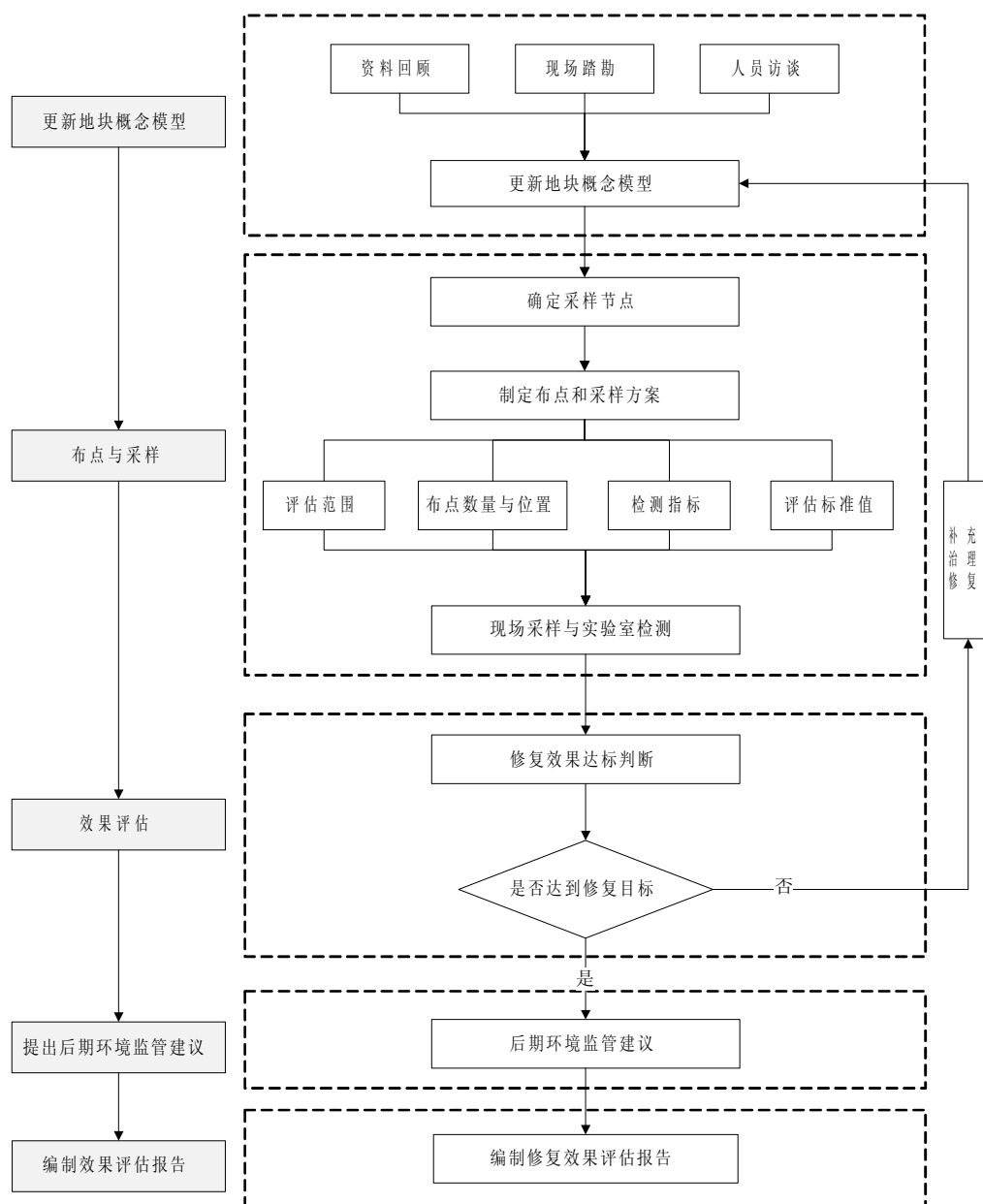


图 2 污染地块土壤修复效果评估工作程序



## 6.2 基坑清理效果评估技术要点

### 6.2.1 评估范围

6.2.1.1 修复效果评估范围一般与地块修复方案中的修复范围一致。

6.2.1.2 若由于地块利用方式变更、污染物毒性参数变化或调整等因素致使修复范围有变，应结合修复工程实际情况与管理要求调整修复效果评估范围。

6.2.1.3 修复效果评估范围应包含潜在二次污染区域，潜在二次污染区域包括但不限于：

- a) 污染土壤暂存区；
- b) 修复设施所在区；
- c) 固体废物或危险废物堆存区；
- d) 运输车辆临时道路；
- e) 其他可能的二次污染区域。

### 6.2.2 采样节点

6.2.2.1 污染土壤清理后遗留的基坑底部与侧壁，应在基坑清理之后、回填之前进行采样。

6.2.2.2 若基坑侧壁采用基础维护，则宜在基坑清理同时开展基坑侧壁采样，或于基础维护实施后在基础外边缘采样。

6.2.2.3 潜在二次污染区域土壤应在此区域开发使用之前进行采样。

6.2.2.4 可根据工程进度对基坑与潜在二次污染区域开展分批次采样。

### 6.2.3 布点数量与位置

6.2.3.1 基坑底部采用系统布点法，推荐采样网格大小见表 1，布点位置参见图 3。

6.2.3.2 基坑侧壁采用等距离布点法，推荐采样间隔见表 2，布点位置参见图 2。当基坑相对深度大于 1m 时，侧壁应进行垂向分层采样，应考虑地块土层性质与污染垂向分布特征，在污染物易富集位置设置采样点，各层采样点之间垂向距离不大于 3m。

6.2.3.3 坑底与侧壁布点数量可采用本导则推荐采样数量（表 1 和表 2），也可根据基坑污染物浓度分布特征参数计算差变系数，根据不同差变系数采用对应的推荐采样网格（见表 3），差变系数计算方法见附录 B。

6.2.3.4 对于潜在二次污染区域土壤，原则上采用判断布点法根据修复设施设置、潜在二次污染来源等资料设置采样点，也可采用系统布点法设置采样点。布点数量参照表 1 推荐网格大小计算。

6.2.3.5 基坑坑底和侧壁、潜在二次污染区域样品，以去除杂质后的土壤表层样为主（0~30cm），不排除深层采样。

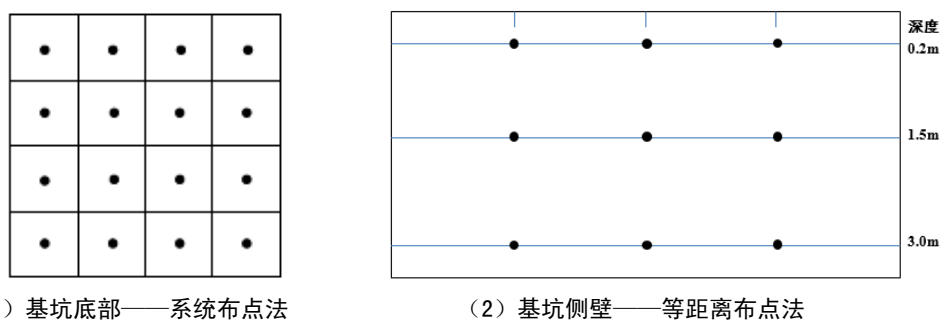


图3 基坑底部与侧壁布点示意图

表1 异位修复遗留基坑底部推荐采样网格

基坑面积 m <sup>2</sup>	网格大小 m
$x < 100$	10×10
$100 \leq x < 1000$	15×15
$1000 \leq x < 2500$	20×20
$2500 \leq x < 5000$	25×25
$5000 \leq x < 10000$	30×30
$10000 \leq x < 25000$	35×35
$25000 \leq x < 50000$	40×40
$\geq 50000$	40×40

表2 异位修复遗留基坑侧壁推荐采样间隔

侧壁长度 m	采样间隔 m
$x < 100$	10
$100 \leq x < 200$	20
$200 \leq x < 300$	30
$300 \leq x < 500$	40
$\geq 500$	40

表3 差变系数推荐采样数量——基坑

差变系数	每个采样点代表的网格大小 m
0.05~0.20	10×10
0.20~0.40	20×20
0.40~0.60	25×25
0.60~0.80	30×30
0.80~1.00	40×40

## 6.2.4 检测指标

6.2.4.1 基坑土壤的检测指标一般为对应修复范围内土壤中目标污染物。

6.2.4.2 相邻基坑目标污染物不同时，基坑交界线两侧 2m 之内应同时检测相邻基坑中目标污染物。

### 6.2.5 评估标准值

6.2.5.1 基坑土壤评估标准值为地块调查评估与修复方案中确定的目标污染物的修复目标值。

6.2.5.2 若土壤暴露情景有变，应根据实际情况调整效果评估标准值。

## 6.3 土壤异位修复效果评估技术要点

### 6.3.1 评估对象

土壤异位修复效果评估的对象为开展异位修复后的土壤堆体。

### 6.3.2 采样节点

6.3.2.1 异位修复后的土壤应在修复完成后、再利用之前采样。

6.3.2.2 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。

6.3.2.3 异位修复后的土壤堆体，可根据修复进度开展分批次采样。

### 6.3.3 布点数量与位置

6.3.3.1 修复后土壤原则上每个样品代表的土壤体积不应超过 500m<sup>3</sup>；对于修复效果比较均匀且去除率较高的技术，例如热脱附技术，在设施运行稳定情况下，原则上每个样品代表的土壤体积不应超过 1000m<sup>3</sup>。

6.3.3.2 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（见表 4），差变系数计算方法见附录 B。

6.3.3.3 对于按批次处理的修复技术，建议符合前述要求的同时，每批次至少采集 1 个样品；对于按照堆体处理的修复技术，若在堆体拆除前采样，建议符合前述要求的同时，结合堆体大小采用推荐采样点数量，推荐数量参见表 5。

6.3.3.4 修复后土壤一般采用系统布点法在堆体内均匀布点，布点位置见图 4；对于修复效果不均匀的技术，应根据修复效果空间差异，在修复效果薄弱区设置采样点。

6.3.3.5 修复后土壤堆体的高度应便于效果评估采样工作的开展。

表 4 差变系数推荐采样数量——修复后土壤

差变系数	每个采样点代表的土方量 (m <sup>3</sup> )
0.05~0.20	100
0.20~0.40	300
0.40~0.60	500
0.60~0.80	800
0.80~1.00	1000

表 5 堆体推荐采样点数量

堆体体积 (m <sup>3</sup> )	采样点数量
<100	1
100-300	2
300-500	3
500-1000	4
每增加 500	增加 1 个

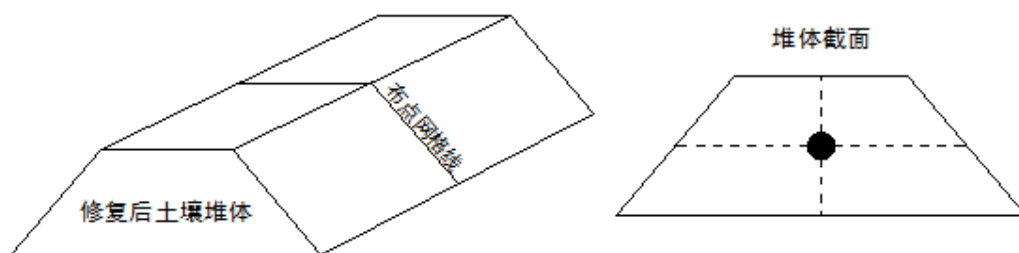


图 4 修复后土壤堆体布点示意图

### 6.3.4 检测指标

6.3.4.1 异位修复后土壤的检测指标为地块修复的目标污染物，若外运到其他地块，还应考虑可能对接收地环境产生不利影响的污染物。

6.3.4.2 化学氧化/还原、微生物修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物。

6.3.4.3 可增加土壤常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

### 6.3.5 评估标准值

6.3.5.1 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，评估标准值为调查评估与修复方案中确定的目标污染物的修复目标值。
- b) 若修复后外运到其他地块，应考虑接收地土壤暴露情景确定评估标准值，可选择接收地土壤背景浓度与接收地用地性质对应筛选值中的较小者作为评估标准值。

6.3.5.2 化学氧化/还原修复、微生物修复潜在二次产物的评估标准值可参照 GB 36600 中一类用地筛选值执行，也可根据暴露情景进行健康风险评估确定其评估标准值。

## 6.4 土壤原位修复效果评估技术要点

### 6.4.1 评估范围

6.4.1.1 修复效果评估范围一般与地块修复方案中的修复范围一致。

6.4.1.2 若由于地块利用方式变更、污染物毒性参数变化或调整等因素致使修复范围有变，应结合修复工程实际情况与管理要求调整修复效果评估范围。

6.4.1.3 修复效果评估范围应包含潜在二次污染区域，潜在污染区域包括但不限于：

- a) 修复设施所在区；

- b) 固体废物或危险废物堆存区；
- c) 修复过程中污染物迁移涉及的区域；
- d) 其他可能的二次污染区域。

#### 6.4.2 采样节点

6.4.2.1 原位修复后的土壤应在修复完成后进行采样。

6.4.2.2 原位修复的土壤可按照修复单元分区域采样。

#### 6.4.3 布点数量与位置

6.4.3.1 原位修复后的土壤横向上一般采用系统布点法，可采用推荐采样数量（表 1）；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（表 3），差变系数计算方法见附录 B。

6.4.3.2 原位修复后的土壤垂向上采用判断布点法，采样深度应覆盖污染深度。

6.4.3.3 应结合地块污染分布、土壤性质、修复设施设置等，在高浓度污染物聚集区、修复效果薄弱区设置采样点。

#### 6.4.4 检测指标

6.4.4.1 原位修复后土壤的检测指标为地块修复的目标污染物。

6.4.4.2 化学氧化/还原修复、微生物修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物。

6.4.4.3 必要时可增加土壤常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

#### 6.4.5 评估标准值

6.4.5.1 原位修复后土壤的评估标准值为地块调查评估与修复方案中确定的目标污染物的修复目标值。

6.4.5.2 化学氧化/还原修复、微生物修复潜在二次产物的评估标准值可参照 GB 36600 中一类用地筛选值执行，也可根据暴露情景进行健康风险评估确定其评估标准值。

### 6.5 现场采样与实验室检测

土壤修复效果评估现场采样与实验室检测按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

### 6.6 土壤修复效果达标判断

6.6.1 可采用逐一对比和统计分析的方法进行土壤修复效果评估。

6.6.2 当样品数量 < 8 个时，应将样品的检测值与评估标准值逐个对比。

- 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。

6.6.3 当样品数量 ≥ 8 个时，可在修复单元内采用统计分析方法进行修复效果评估。一般采用样品均值的 95% 置信上限与修复效果评估标准值进行比较，下述条件全部符合方可认为地块达到修复效果，否则认为未达到修复效果。

- a) 样品均值的 95% 置信上限小于等于修复效果评估标准值；
- b) 样品浓度最大值不超过修复效果评估标准值的 2 倍；

c) 超过评估标准值的样品不集中在某个区域。

6.6.4 若采用逐个对比方法，当同一污染物平行样数量 $\geq 4$ 组时，可结合  $t$  检验方法，分析采样和检测过程中的误差，确定检测值与修复效果评估标准值的差异。 $t$  检验方法见附录 C。

a) 若各样品的检测值显著低于修复效果评估标准值或与修复效果评估标准值差异不显著，则认为该地块达到修复效果；

b) 若某样品的检测结果显著高于修复效果评估标准值，则认为地块未达到修复效果。

6.6.5 对于低于报告限的数据，可用报告限数值进行统计分析。

## 7 地下水修复效果评估

### 7.1 地下水修复效果评估工作程序

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，确定采样节点，制定布点和采样方案，明确评估范围、采样频次和周期、布点数量与位置、检测指标、评估标准值，开展现场采样与实验室检测，进行修复效果评估。

当地下水中目标污染物逐点稳定达到评估标准值时，方可认为地块达到修复效果；若未达到评估标准值但判断达到修复极限，可在实施控制措施的前提下，启动残留污染物风险评估。若地块残留污染物对未来受体和环境的风险可接受，则认为可达到修复效果，应根据情况提出后期环境监管建议并编制修复效果评估报告，若风险不可接受，则需要对控制措施进行优化。

地下水修复效果评估工作程序见图 5。

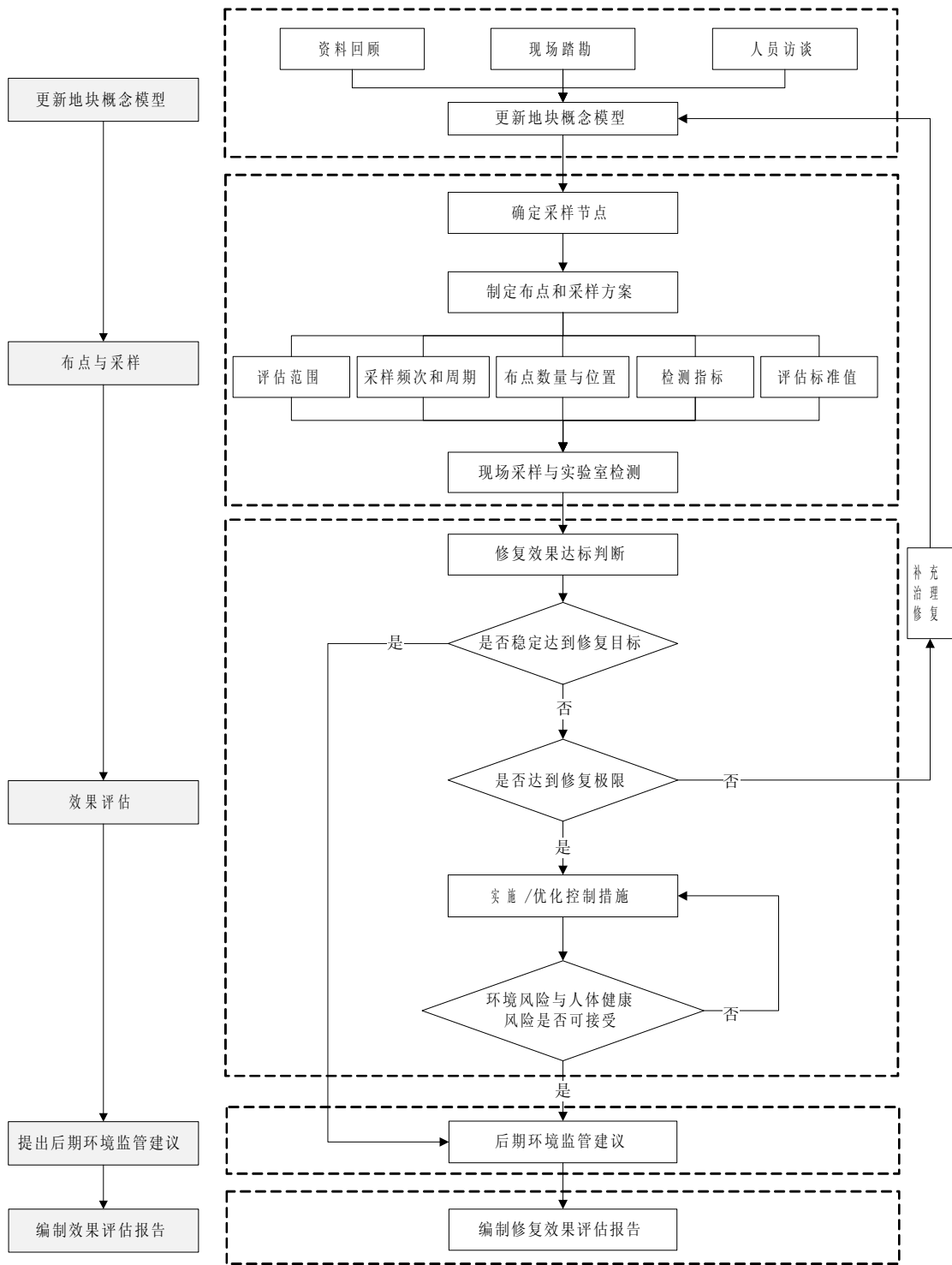


图 5 污染地块地下水修复效果评估工作程序

## 7.2 地下水修复效果评估技术要点

### 7.2.1 评估范围

7.2.1.1 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两侧扩散区域等潜在二次污染区域。

7.2.1.2 若由于地块利用方式变更、污染物毒性参数变化或调整等因素致使修复范围有变，应结合修复工程实际情况与管理要求调整修复效果评估范围。

## 7.2.2 采样节点

7.2.2.1 须初步判断地下水到达修复目标且达到稳定状态时，方可开始修复效果评估阶段采样。修复效果评估采样节点见图 6。

7.2.2.2 地下水达到修复目标且达到稳定状态的判断依据包括：

- a) 地下水流场稳定：若修复过程未改变地下水系统，则地下水水位、流量、季节变化等与修复活动开展前应基本相同；若修复活动改变了地下水系统，则需要达到新的稳定状态。
- b) 污染物浓度稳定：即污染物浓度及其统计特征（均值、标准差）不随时间发生较大的波动，若浓度均为未检出或低于修复目标值，则可初步判断地下水污染物浓度达到修复目标值；若部分浓度高于修复目标值，则应采用均值检验和趋势检验方法分析污染物浓度趋势，判断是否可达到修复目标。均值检验和趋势检验案例见附录 D。

7.2.2.3 建议最少采集 4 个批次样品进行修复达标初判，采样周期应涵盖地下水丰、平、枯水期。

7.2.2.4 建议每个季度采样一次，两个批次之间间隔不得少于一个月。

## 7.2.3 采样周期和频次

7.2.3.1 地下水采样频率和周期应根据地下水修复方式及其地块水文地质条件来确定，如水力梯度、渗透系数、季节变化和其他因素等确定。

7.2.3.2 修复效果评估阶段建议最少采集 8 个批次样品，采样周期应涵盖地下水丰、平、枯水期。

7.2.3.3 建议每个季度采样一次，两个批次之间间隔不得少于一个月。

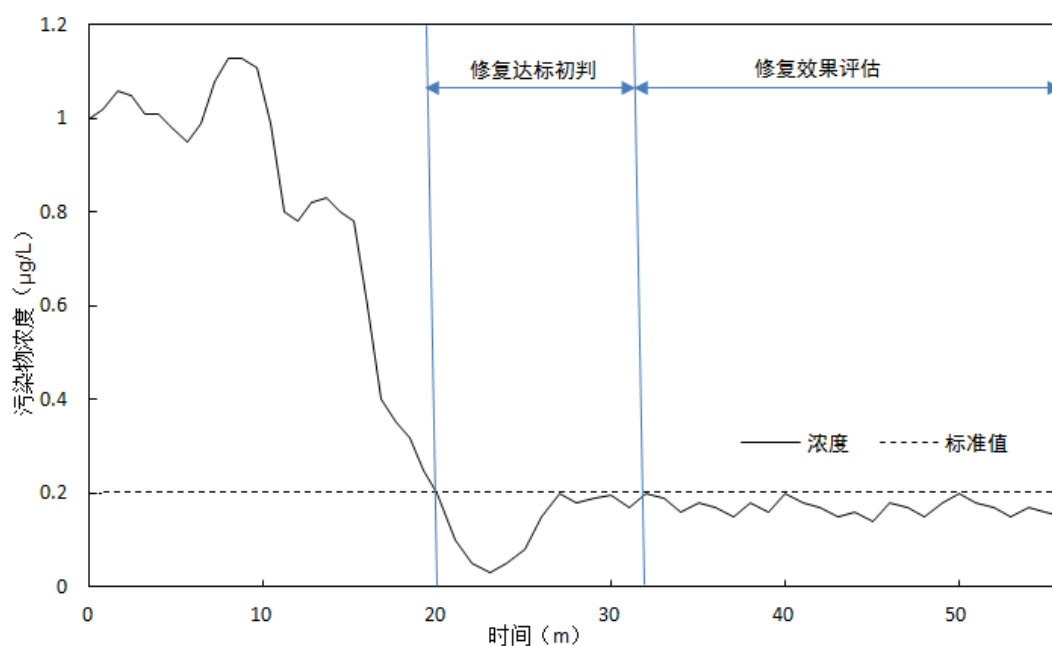


图 6 地下水修复效果评估采样节点示意图



## 7.2.4 布点数量与位置

7.2.4.1 地下水采样点设置在修复范围内部及其上游和下游。

7.2.4.2 地下水采样点原则上应优先设置在修复设施运行薄弱区、污染源浓度高的区域、水文地质条件不利的区域。

7.2.4.3 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，现有监测井应符合修复效果评估采样条件。

## 7.2.5 检测指标

7.2.5.1 地下水的检测指标一般为地下水修复方案中确定的指标。

7.2.5.2 化学氧化/还原、微生物修复后地下水的检测指标应包括产生的二次污染物。

7.2.5.3 可增加地下水常规指标、修复设施运行参数作为修复效果评估的依据。

## 7.2.6 评估标准值

7.2.6.1 修复后地下水的评估标准值为地块调查评估与修复方案中目标污染物的修复目标值。

7.2.6.2 若暴露情景有变，应根据实际情况调整效果评估标准值。

7.2.6.3 化学氧化/还原技术二次产物的评估标准值可参照 GB/T 14848 中的 III 类标准值执行，也可根据暴露情景进行健康风险评估确定其评估标准值。

## 7.3 现场采样与实验室检测

地下水修复效果评估现场采样与实验室检测按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

## 7.4 地下水修复效果达标判断与评估

### 7.4.1 地下水修复效果达标判断

7.4.1.1 原则上每口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。若未达到修复效果，应对未达标区域开展补充治理和修复。

7.4.1.2 持续稳定达标可采用趋势分析法进行判断，在 95% 的置信水平下，趋势线斜率显著大于 0，说明地下水污染物浓度呈现上升趋势；若趋势线斜率显著小于 0，说明地下水污染物浓度呈现下降趋势；若趋势线斜率与 0 没有显著差异，说明地下水污染物浓度呈现稳态。趋势分析案例见附录 D。

- a) 地下水中污染物浓度呈现稳态或者下降趋势，可判断地下水达到修复效果；
- b) 地下水中污染物浓度呈现上升趋势，则判断地下水未达到修复效果。

### 7.4.2 判断修复极限与实施控制措施

7.4.2.1 对于地下水治理和修复，若未达到评估标准，但判断地块地下水已达到修复极限，可在实施控制措施的前提下，对残留污染物进行风险评估。

7.4.2.2 须同时满足下列条件方可判断地下水修复达到极限：

- a) 地块概念模型清晰，地下水修复范围及其周边监测井可充分描述修复实施情况；
- b) 现有修复工程设计合理，并在实施过程中得到有效的操作和足够的维护；
- c) 通过概念模型和监测资料等，可说明现有修复技术继续实施不能达到预期目标；
- d) 通过文献资料和地块特征分析、以及必要时采取实验室和现场测试，证实不存在适用于本地块

的其他修复技术。

7.4.2.3 控制措施包括水力控制、工程阻隔、制度控制等。

### 7.4.3 残留污染物风险评估

7.4.3.1 残留污染物风险评估包括以下工作内容：

- a) 更新地块概念模型：掌握风险管控与修复后地块的水文地质条件、污染物空间分布、潜在暴露途径、受体等，考虑控制措施设置情况，更新地块概念模型，具体参照第 5 章。
- b) 分析残留污染物环境风险：判断地块内 NAPL 等已清除、污染源浓度降低或趋于稳定、污染羽范围逐渐缩减、地下水中污染物存在自然衰减，地下水使用途径暂无改变。
- c) 开展人体健康风险评估：残留物污染物人体健康风险评估可参照 HJ 25.3 执行，相关参数根据地块概念模型取值。对于挥发性污染地块，可设置土壤气监测井采集土壤气样品辅助开展残留污染物风险评估。

7.4.3.2 根据残留污染物风险评估结果，判断地块是否可达到修复效果评估标准：

- 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，则需要对控制措施进行优化并开展残留污染物风险评估，直至可达到修复效果。

## 8 风险管控效果评估

### 8.1 主要内容

本章规定了固化/稳定化、封顶、阻隔填埋、地下水阻隔墙、可渗透反应墙等风险管控措施效果评估的技术要求。

### 8.2 评估指标和标准

8.2.1 风险管控效果评估指标包括工程性能指标和污染物指标。

8.2.2 工程性能指标包括抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施连续性与完整性等，工程性能指标应满足设计要求或不影响预期效果。

8.2.3 污染物指标包括关注污染物的浓度或浸出浓度，风险管控措施下游地下水中污染物浓度应保持稳定，固化/稳定化后土壤中污染物的浸出浓度应达到接收地地下水使用功能对应标准值。

8.2.4 地下水水位、地球化学参数、流速等指标可作为风险管控效果的辅助判断依据。

### 8.3 评估周期和频次

8.3.1 风险管控效果评估的目的是评估工程措施是否有效，一般在工程设施完工 1 年内开展。

8.3.2 工程性能指标应按照工程实施评估周期和频次进行评估。

8.3.3 对于污染物指标，应采集 4 个批次的的数据，建议每个季度采样一次。

### 8.4 布点数量与位置

8.4.1 地下水监测井设置需结合风险管控措施的布置，在地下水水流方向的上游、两侧、下游设置监测点，监测井位置参照 GB/T 18772 第 8.1 节设置。

8.4.2 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，现有监测井须符合修复效果评估采样条件。

### 8.5 现场采样与实验室检测

现场采样与实验室检测按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

### 8.6 风险管控效果评估

8.6.1 若工程性能指标和污染物指标均可达到评估标准，可判断风险管控达到效果；

8.6.2 若工程性能指标或污染物指标未达到评估标准，则判断风险管控未达到效果，须对风险管控措施进行维护、修理或优化。

## 9 后期环境监管建议

### 9.1 后期环境监管要求

9.1.1 下列情景下，应开展后期环境监管：

- a) 修复后土壤或地下水中污染物浓度达到修复效果评估标准值、但未达到地块使用功能对应筛选值或地下水使用功能对应标准值的地块；
- b) 地下水中污染物未达到评估标准、但残留污染物对受体和环境产生的风险不超过可接受水平的地块；
- c) 接收异位修复后土壤的地块；
- d) 实施风险管控的地块。

9.1.2 后期环境监管的方式一般包括长期环境监测与制度控制，两种方式可结合使用。

### 9.2 长期环境监测

9.2.1 上述 b)、c)、d)情景下应开展长期监测。

9.2.2 一般通过设置地下水监测井进行周期性地下水样品采集和检测，也可设置土壤气监测井进行土壤气样品采集和检测，监测井位置应优先考虑修复效果评估阶段污染物浓度高的区域与污染羽下游，可参照 GB/T 18772 第 8.2 节设置。

9.2.3 应充分利用地块内符合采样条件的监测井。

9.2.4 原则上长期监测 3 年开展一次，最长时间间隔不大于 5 年。

### 9.3 制度控制

9.3.1 上述 a)、b)、c)、d)情景下均需开展制度控制。

9.3.2 制度控制包括限制地块使用方式、限制地下水利用方式、通知和公告地块潜在风险、制定限制进入或使用条例等方式，多种制度控制方式可同时使用。

9.3.3 原则上制度控制直至地块土壤与地下水中污染物分别达到 GB 36600 第一类用地筛选值和 GB/T 14848 中的 III 类标准值为止。

## 10 编制效果评估报告

10.1 效果评估报告应当包括风险管控与修复工程概况、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、效果评估结论及后续环境监管建议等内容。

10.2 效果评估报告的格式参见附录 E。

附 录 A  
(资料性附录)

地块概念模型涉及信息及其作用

表 A.1 地块概念模型涉及信息及其作用

地块概念模型涉及信息	在修复效果评估中的作用	来源 (见 5.2.1)
地理位置	了解背景情况	a/b/ c
地块历史	了解背景情况	a/b/ c
地块调查评估活动	了解背景情况	a/b/ c
地块土层分布	确定采样深度	a /b
水位变化情况	采样位置、判断修复影响	a /d
地块水文地质情况	采样点设置	a
污染物分布情况	了解地块污染情况	a/b/ c
目标污染物、修复目标	明确评估指标和标准	a /b/ c
土壤修复范围	确定工作范围	a/ b/ c
地下水污染羽	确定工作范围	a /b/ c
修复方式及工艺	制定效果评估方案	b/ c
修复实施方案有无变更及变更情况	制定效果评估方案	c/ e/ g
施工周期与进度	确定效果评估时间	b /c/ d
异位修复基坑清理范围与深度	采样点设置	b /c/ d
异位修复基坑放坡方式、基坑护壁方式	采样点设置	c /d
修复后土壤土方量及最终去向	采样点设置、采样时间	c /d/ g
修复设施平面布置	采样点设置	c /d
修复系统运行监测计划及已有数据	采样点设置、采样时间	c /d
目标污染物浓度变化情况	采样点设置、采样时间	a/ d
规划用途	残留污染物风险评估	a /e
未来建筑物、道路、绿地等分布情况	残留污染物风险评估	a /e
未来建筑基础结构设计	残留污染物风险评估	a /e
地块内监测井位置及建井结构	判断是否可供修复效果评估采样使用	a /c
二次污染排放记录及监测报告	辅助资料	c/ d
地块修复实施涉及的单位和机构	辅助资料	c/ h

附录 B  
(资料性附录)

差变系数计算方法与查阅表

表 B.1 估计总体均值的样本量

$\tau = \frac{(C_S - \mu)}{\sigma}$	$\beta=0.20$			$\beta=0.10$		
	$\alpha$			$\alpha$		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
0.05	1798	2470	4020	2621	3422	5213
0.10	449	618	1005	655	856	1303
0.15	200	274	447	291	380	579
0.20	112	154	251	164	214	326
0.25	72	99	161	105	137	209
0.30	50	69	112	73	85	145
0.35	37	50	82	53	70	105
0.40	28	39	63	41	53	81
0.45	22	30	50	32	42	64
0.50	18	25	40	26	34	52
0.55	15	20	33	22	28	43
0.60	12	17	28	18	24	36
0.65	11	15	24	16	20	31
0.70	9	13	21	13	17	27
0.75	8	11	18	12	15	23
0.80	7	9	16	10	13	20
0.85	6	8	14	9	12	18
0.90	6	7	12	8	11	16
0.95	5	6	11	7	9	14
1.00	4		10	7	9	13

差变系数指的是“修复后地块污染物平均浓度与修复目标值的差异”与“估计方差”的比值，差异越大、方差越小，则差变系数越大，所需样本量越小。

估计方差根据前期资料和先验知识估计或计算，具体如下：

首先，先验数据最好是简单随机抽样获取的样本，如果不是简单随机样本，样本点应覆盖整个区域、能够代表采样区，在计算估计方差时样本量不少于 20 个；

然后，从修复中试实验获取数据估计方差，该方法在小试和中试处理研究比较有用，①采用之前的采样方法，选择一个随机样本  $n=20$ ，确定这 20 个样本点的浓度；②计算标准差，采用这个数据作为估计方差，计算所需的样本量；③如果样本量低于或等于 20，采用其他的统计分析方法，否则，应进行补充采样；

最后，如果没有现成的数据或者初始研究得到估计方差，可以基于推断和判断确定土壤污染物浓度的可能污染范围来粗略估计方差，估计方差等于变程乘以 6，要求污染物浓度呈正态分布，99% 的数据应落在均值 $\pm 3$ 倍标准差的范围内。但通过估计计算的样本量可能并不能满足所需要的精度，因此这种情况只能在没有其他方法的情况下采用。

附 录 C  
(资料性附录)  
t 检验方法与案例

### C.1 t 检验

t 检验是判定给定的常数是否与变量均值之间存在显著差异的最常用的方法。

假设一组样本，样本数为  $n$ ，样本均值为  $\bar{x}$ ，样本标准差为  $S$ ，利用 t 检验判定某一给定值  $\mu_0$  是否与样本均值  $\bar{x}$  存在显著差异，步骤为：

a) 确定显著水平  $\alpha$ ，常用  $\alpha=0.05$ ， $\alpha=0.01$ ；

b) 计算检验统计量  $t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S/\sqrt{n}}$ ；

c) 根据自由度  $df = n - 1$  和  $\alpha$  查 t 分布临界值表，确定临界值  $C = t_{\frac{\alpha}{2}}(n - 1)$ ，例如  $n=8$ ， $\alpha=0.05$ ，则  $t=2.365$ ；

d) 统计推断：若  $|t| > C$ ，即  $\mu_0 > \bar{x} + C \cdot S/\sqrt{n}$  或  $\mu_0 < \bar{x} - C \cdot S/\sqrt{n}$ ，则与均值存在显著差异，且前者为显著大于均值，后者为显著小于均值；若  $|t| \leq C$ ，即  $\bar{x} - C \cdot S/\sqrt{n} \leq \mu_0 \leq \bar{x} + C \cdot S/\sqrt{n}$ ，则与均值不存在显著差异。下文中将  $C \cdot S/\sqrt{n}$  简记为  $u$ 。

### C.2 案例

假设一组样本数据且平行样数量满足要求，将样本中平行样检测数据列表如表 C.1 所示。

表 C.1 样本检测值

样本	浓度 (mg/kg)		
	砷	铜	铅
A <sub>1</sub>	71	215	183
A <sub>2</sub>	72	206	182
平均值	71.5	210.5	182.5
B <sub>1</sub>	52	180	181
B <sub>2</sub>	59	174	204
平均值	55.5	177	192.5
C <sub>1</sub>	17	43	70.1
C <sub>2</sub>	20	49	73.6
平均值	18.5	46	71.85
D <sub>1</sub>	42	127	84.2
D <sub>2</sub>	48	137	96.1
平均值	45	132	90.15

计算各平行样样本值占均值的百分比以反映测量分析的精度，如表 C.2 所示。

表 C.2 样本精度数据

样本	占均值的比例 (%)		
	砷	铜	铅
A <sub>1</sub>	99.30	102.14	100.27
A <sub>2</sub>	100.70	97.86	99.73
B <sub>1</sub>	93.69	101.69	94.03
B <sub>2</sub>	106.31	98.31	105.97
C <sub>1</sub>	91.89	93.48	97.56
C <sub>2</sub>	108.11	106.52	102.44
D <sub>1</sub>	93.33	96.21	93.40
D <sub>2</sub>	106.67	103.79	106.60
均值 (%)	100	100	100
<i>S</i> (%)	6.6	4.3	4.9
<i>C</i> ( $\alpha=0.05$ )	2.365	2.365	2.365
<i>u</i> (%)	5.5	3.6	4.1
修复目标值 (mg/kg)	30	370	300
显著小于修复目标值 (mg/kg)	<28.4	<356.7	<287
与修复目标值不存在显著差异 (mg/kg)	[28.4, 31.6]	[356.7, 383.8]	[287, 312]
显著大于修复目标值 (mg/kg)	>31.6	>383.8	>312

注：28.4=30×(100%-5.5%)；31.6=30×(100%+5.5%)。

以砷为例进行说明：

- 若某点检测值小于 28.4，则认为该点检测值显著低于修复目标值，达到修复标准；
- 若某点检测值位于 28.4 和 31.6 之间，则认为该点检测值与修复目标无显著差异，达到修复标准；
- 若某点检测值大于 31.6，则认为该点检测值显著大于修复目标值，未达到修复标准。



附录 D  
(资料性附录)  
均值检验和趋势检验案例

案例地块为地下水修复地块，关注污染物为三氯乙烯（TCE）、1,2-二氯乙烯（DCE）和氯乙烯（VC），污染物浓度数据见表 D.1。

表 D.1 地下水中污染物浓度

阶段	TCE		DCE		VC	
	样品编号	浓度 (ug/L)	样品编号	浓度 (ug/L)	样品编号	浓度 (ug/L)
修复达标 初判	1	93	1	30	1	0.15
	2	82	2	37	2	0.21
	3	52	3	49	3	0.41
	4	19	4	52	4	0.82
	5	6.1	5	56	5	1.1
	6	4.2	6	64	6	1.3
	7	2.8	7	60	7	2.1
	8	1.8	8	58	8	1.7
修复效果 评估	9	4.3	9	48	9	1.8
	10	6.1	10	42	10	1.9
	11	4.6	11	28	11	1.8
	12	4.5	12	27	12	1.7
	13	5.3	13	14	13	1.7
	14	3.9	14	12	14	1.6
	15	3.3	15	11	15	1.6
	16	2.1	16	10	16	1
	17	1.4				
	18	0.85				

### (1) 修复达标初判

图 D.1 显示了修复达标初判阶段三种污染物的浓度。

TCE 浓度迅速达到修复目标值，但最后 2 个时间点的浓度高于目标值，图 D.2 运用 TCE 第 5 次~第 8 次数据进行，均值检验与趋势分析结果，可初步判断 TCE 达到了修复目标。

DCE 浓度一直小于修复目标值，因此无需统计分析即可初步判断 DCE 达到修复目标。

VC 浓度在目标值附近波动，在这种情况下，运用均值检验来评估最终是否达标；本案例采用 8 个数据进行计算，VC 浓度均值的  $UCL$  为  $1.36\mu\text{g/L}$ ，低于目标值  $2\mu\text{g/L}$ ，表明 VC 修复达到目标值。

综合上述分析，可以初步判断案例地块地下水中污染物达到修复目标，可进入到修复效果评估阶段。

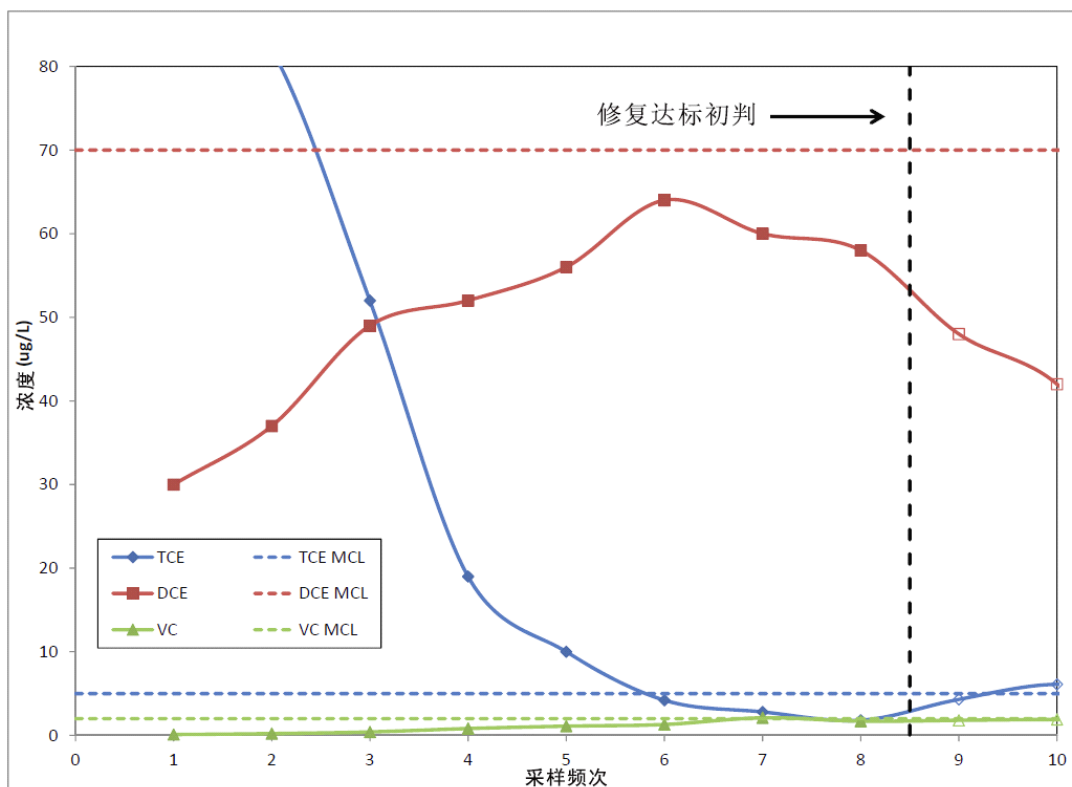


图 D.1 修复达标初判阶段污染物浓度

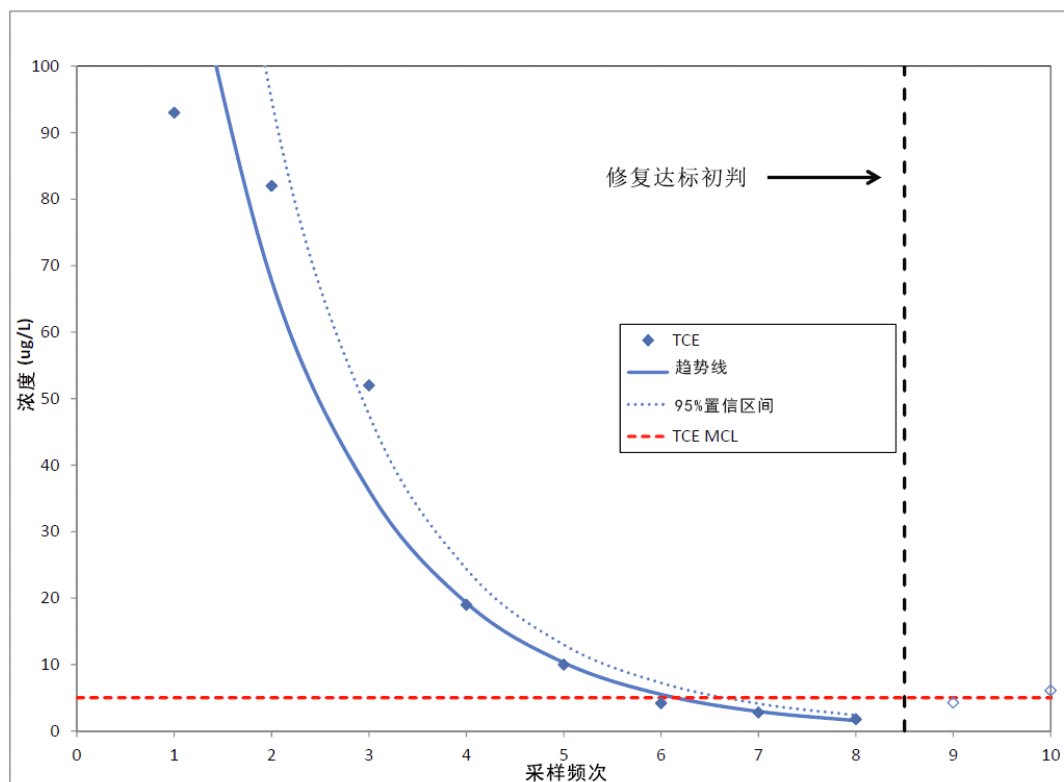


图 D.2 TCE 修复达标初判——趋势分析

## (2) 修复效果评估阶段

图 D.3 显示了修复全过程的数据，可以看出：

TCE：修复效果评估阶段，TCE 浓度中 2 个时间点数据高于目标值  $5\mu\text{g/L}$ ，其他数据均低于目标值（数据 9~18），TCE 浓度均值的 UCL 为  $4.62\mu\text{g/L}$ ，低于修复目标值，图 D.4 趋势分析结果显示趋势线斜率显著小于 0，说明 TCE 浓度呈现下降趋势，因此可判断 TCE 达到修复效果。

DCE：修复效果评估阶段，DCE 的浓度均低于修复目标值，且浓度降低趋势较为明显，因此可判断 DCE 达到修复效果。

VC：修复效果评估阶段，VC 浓度中 8 个时间点数据均低于目标值  $2\mu\text{g/L}$ ，浓度较为稳定。这种情况下，可以运用部分修复达标初判的数据一起分析，本次运用数据 7~14 进行分析，通过均值检验，VC 浓度均值的 UCL 为  $1.89\mu\text{g/L}$ ，低于修复目标值；图 D.5 趋势分析结果显示趋势线斜率显著小于 0，说明 VC 浓度呈现下降趋势，因此可判断 VC 达到修复效果。

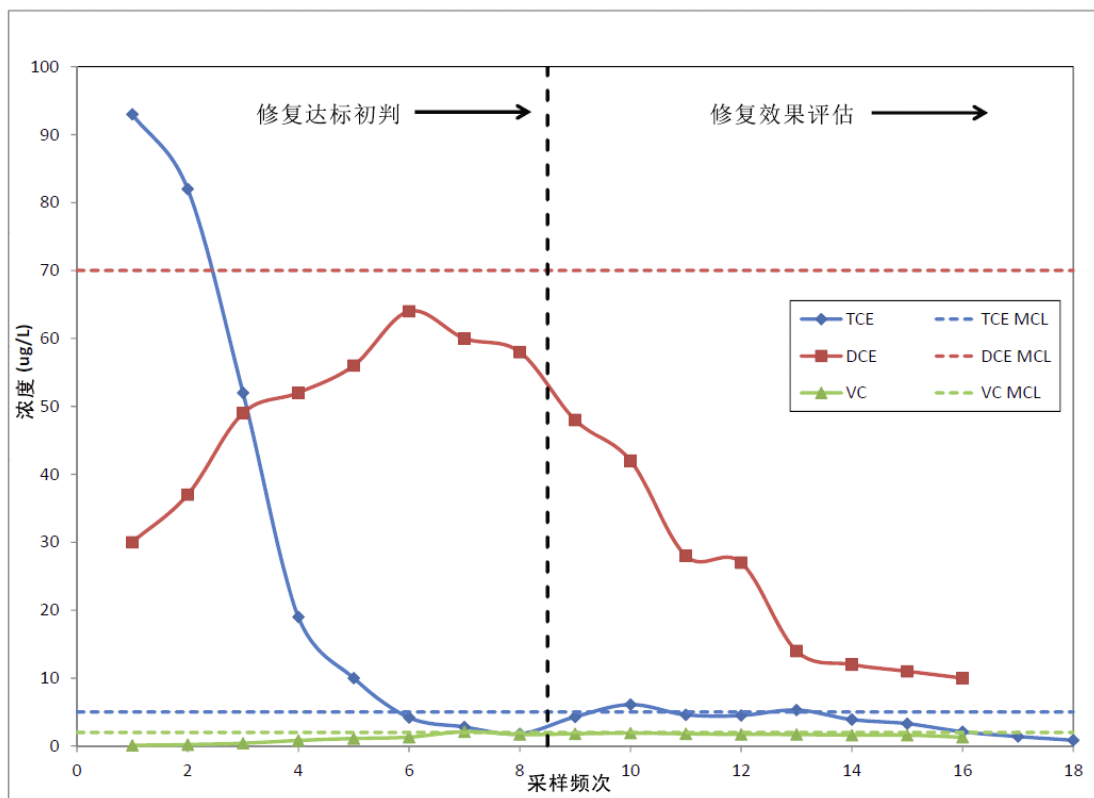


图 D.3 修复过程污染物浓度变化

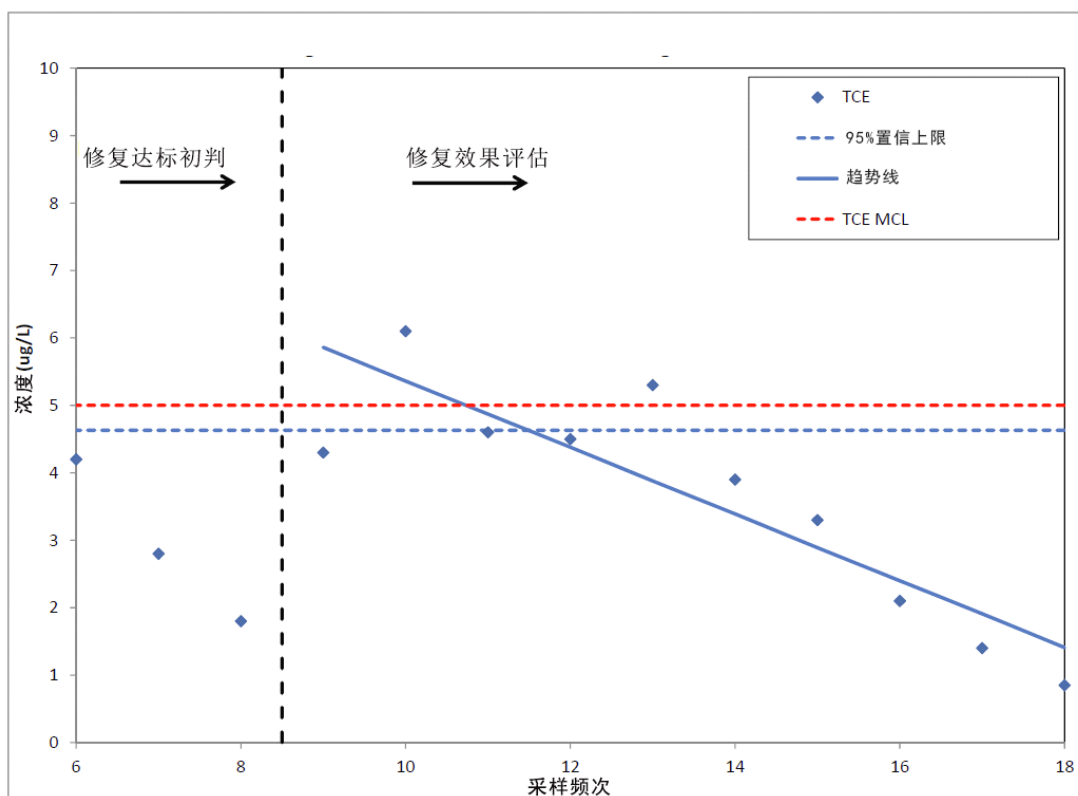


图 D.4 TCE 浓度均值检验与趋势分析

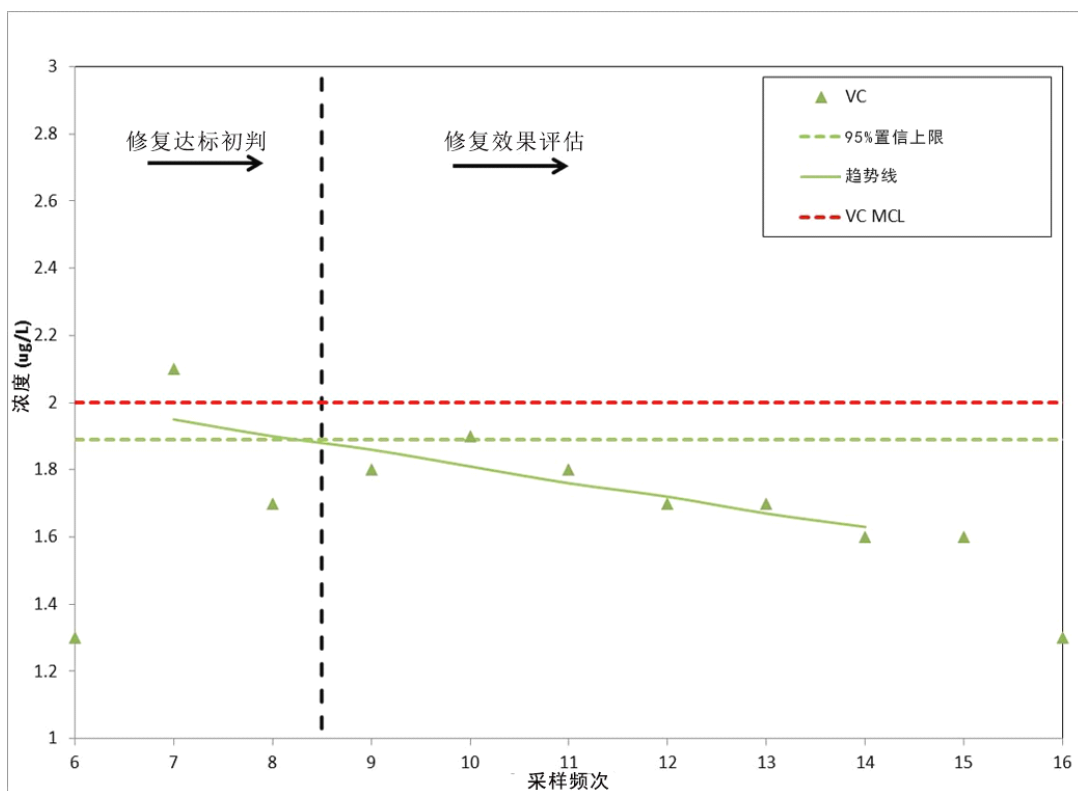


图 D.5 TCE 浓度均值检验与趋势分析

附录 E  
(资料性附录)  
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、修复单位、工程监理单位、环境监理单位、风险管控或修复效果评估单位。

2 工作依据

- 2.1 法律法规
- 2.2 标准规范
- 2.3 项目文件

4 地块概况

- 4.1 地块调查评价结论
- 4.2 地块风险管控或修复方案
- 4.3 风险管控或修复实施情况
- 4.4 环境保护措施落实情况

5 地块概念模型

- 5.1 资料回顾
- 5.2 现场踏勘
- 5.3 人员访谈
- 5.4 地块概念模型

6 布点与采样方案

- 6.1 土壤修复效果评估布点与采样方案
  - 6.1.1 评估范围
  - 6.1.2 采样节点
  - 6.1.3 布点数量与位置
  - 6.1.4 检测指标
  - 6.1.5 评估标准值
- 6.2 地下水修复效果评估布点与采样方案
  - 6.2.1 评估范围
  - 6.2.2 采样节点、周期和频次
  - 6.2.3 布点数量与位置
  - 6.2.4 检测指标
  - 6.2.5 评估标准值
- 6.3 风险管控效果评估布点与采样方案
  - 6.3.1 工程性能指标评估
  - 6.3.2 污染物指标评估

7 现场采样与实验室检测

- 7.1 样品采集
  - 7.1.1 现场采样
  - 7.1.2 样品保存与流转

7.1.3 现场质量控制

7.2 实验室检测

7.2.1 检测方法

7.2.2 实验室质量控制

8 效果评估

8.1 检测结果分析

8.2 风险管控/修复效果评估

9 结论与建议

9.1 结论

9.2 建议

附件

- a) 地块规划图;
- b) 修复范围图;
- c) 水文地质剖面图;
- d) 钻孔结构图;
- e) 岩心箱照片;
- f) 采样记录单;
- g) 建井结构图;
- h) 洗井记录单;
- i) 地下水采样记录单;
- j) 实验室检测报告。