**DB11**

建设用地土壤风险管控与修复

效果评估技术导则

**Soil and Groundwater Remediation and Risk control Verification Guideline of Development Land**

（征求意见稿）

北京市市场监督管理局 发 布

XX XX -XX-XX实施

XX XX -XX-XX发布

ICS XX.XXX.XX

Z XX

备案号：XXXXX-200X

北京市地方标准

DB11/T XX—20XX

|  |
| --- |
|  |

目 次

[1 范围 1](#_Toc178496838)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc178496839)

[3 术语和定义 1](#_Toc178496840)

[4 基本原则与工作内容 2](#_Toc178496841)

[5 更新地块概念模型 3](#_Toc178496842)

[6 土壤修复效果评估 4](#_Toc178496843)

[7 地下水修复效果评估 9](#_Toc178496844)

[8 风险管控效果评估 12](#_Toc178496845)

[9 后期管理建议 13](#_Toc178496846)

[10 编制效果评估报告 14](#_Toc178496847)

[附录A （资料性） 样本量计算方法 15](#_Toc178496848)

[附录B （资料性） 效果评估报告提纲 20](#_Toc178496849)

前 言

本文件按照GB/T1.1-2020《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

本文件主要起草人：

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》《北京市土壤污染防治条例》等规定，规范污染土壤和地下水风险管控及修复效果评估工作，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，提出土壤和地下水风险管控和修复效果评估的方法。

建设用地土壤风险管控与修复效果评估技术导则

# 范围

本文件规定了建设用地土壤风险管控与修复效果评估的基本原则与工作内容、地块概念模型、土壤修复效果评估、地下水修复效果评估、风险管控效果评估、后期管理建议、编制效果评估报告的技术要求。

本文件适用于建设用地土壤和地下水的风险管控及修复效果的评估。

本文件不适用于放射性污染和致病性生物污染地块土壤和地下水风险管控与修复效果的评估。

# 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 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 14554 恶臭污染排放标准

GB/T 14848 地下水质量标准

GB/T 42489 土壤质量 决策单元-多点增量采样法

HJ 164 地下水环境监测技术规范

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 25.5 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 1165 污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附

# 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

## 

目标污染物 target contaminant

在地块环境中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，需要进行风险管控与修复的污染物。

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。

评估标准 [assessment](javascript:;) [criteria](javascript:;)

评估地块是否达到环境和健康安全的标准或准则，本文件所指评估标准包括目标污染物浓度达到修复目标值、二次污染物不产生风险、工程性能指标达到规定要求等准则。

## 

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

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

## 

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修复目标或评估标准的情况。

残留污染物风险评估residual contaminant 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。

# 基本原则与工作内容

## 基本原则

对土壤和地下水修复是否达到修复目标、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进行科学、系统地评估，提出后期管理建议，为污染地块管理提供科学依据。

## 工作内容

### 地块概念模型更新

根据风险管控与修复进度以及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。

### 风险管控与修复效果评估布点

根据更新后的地块概念模型确定风险管控与修复效果评估布点方案，布点方案包括效果评估对象、评估范围、采样节点、布点数量和位置、检测指标等内容。

### 现场采样与实验室检测

根据布点方案制定采样计划，确定实验室分析方法，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。

### 风险管控与修复效果达标判断

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

### 提出后期管理建议

根据风险管控与修复工程实施情况与效果评估结论，提出后期管理建议。

### 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、评估结论及后期管理建议等内容。

# 更新地块概念模型

## 总体要求

收集地块风险管控与修复相关资料，开展现场踏勘工作，并通过与地块责任人、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，掌握地块地质与水文地质条件、污染物空间分布、污染土壤去向、风险管控与修复设施设置、风险管控与修复过程监测数据等关键信息，更新地块概念模型。

## 资料回顾

### 资料回顾清单

#### 在效果评估工作开展之前，收集污染地块风险管控与修复相关资料。

#### 资料清单主要包括地块土壤调查报告、风险评估报告、风险管控与修复方案、工程实施方案、工程设计资料、施工组织设计资料、工程环境影响评价及其批复、施工与运行过程中监测数据、监理报告和相关资料、工程竣工报告、实施方案变更协议、运输与接收的协议和记录、施工管理文件等。

### 资料回顾要点

#### 资料回顾要点主要包括地块调查评估情况、风险管控与修复工程概况和环保措施落实情况。

#### 地块调查评估情况主要通过对地块调查报告、风险评估报告的回顾，了解地块历史用途、污染介质、污染程度、污染分布以及未来用地规划等情况。

#### 风险管控与修复工程概况主要通过梳理风险管控与修复方案、实施方案、以及风险管控与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。

#### 环保措施落实情况主要通过梳理风险管控与修复过程中二次污染防治相关数据、资料和报告，分析风险管控与修复工程可能造成的土壤和地下水二次污染情况等。

## 现场踏勘

### 通过开展现场踏勘工作，了解污染地块风险管控与修复实施情况、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。

### 调查人员可通过照片、视频、录音、文字等方式，记录现场踏勘情况。

## 人员访谈

### 应通过开展人员访谈工作，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。

### 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、监理单位、修复施工单位等单位的参与人员。

## 修复后地块概念模型

### 在资料回顾和现场踏勘的基础上，掌握地块风险管控与修复工程情况，结合地块地质与水文地质条件、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。

### 效果评估阶段的地块概念模型一般包括下列信息：

###### a) 地块风险管控与修复概况：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以及潜在影响区域等情况；

###### c) 地质与水文地质情况：关注地块地质与水文地质条件，以及修复设施的设置有可能对地质与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、土壤理化性质变化情况等；

###### 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。

### 地块概念模型可用文字、图、表等方式表达，作为确定效果评估范围、采样节点、布点位置等的依据。

### 若修复过程改变了土壤理化性质、水文地质条件，必要时应结合更新后的概念模型重新开展风险评估，以保证地块的安全利用。

### 地块概念模型涉及信息及其作用见HJ 25.5。

# 土壤修复效果评估

## 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管理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1。

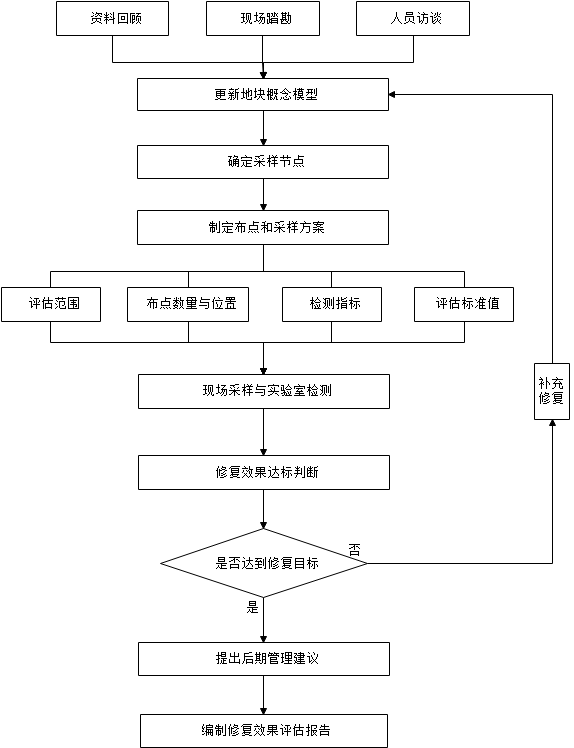


图1 污染地块土壤修复效果评估工作程序

## 土壤异位修复效果评估布点

### 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。

### 采样节点

#### 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，但在基坑清挖效果评估报告中应明确外运土壤的修复实施计划。

#### 基坑清挖效果评估采样原则上在基坑清理后、回填前进行；对于采用基础围护的，基坑侧壁可在基坑清理同时进行采样、或于基础围护实施后在围护设施外边缘采样。

#### 可根据工程进度对基坑进行分批次采样，分批次采样的应在施工完成后开展确认采样，确认采样比例不低于总数量的10%。

#### 采用外来土进行基坑回填的，应在回填之前进行检测，确保符合地块安全利用和区域土壤环境质量要求。

#### 异位修复后的土壤应在修复完成后、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。

#### 异位修复后土壤效果评估采样可根据修复进度进行分批次开展。

### 布点数量与位置

#### 基坑底部采用系统布点法，推荐最少采样点数量见表1，也可根据地块实际情况计算布点数量，参见附录A；基坑侧壁采用等距离布点法，推荐最少采样数量见表2。

#### 当基坑深度大于1 m时，侧壁应进行垂向分层采样，垂向采样点位应结合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、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，具体根据实际情况确定。

#### 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地块必要时应开展深层采样。

#### 目标污染物为重金属和半挥发性有机物的，可在一个采样网格和间隔内采集混合样，采样方法按照HJ 25.2执行。

#### 基坑效果评估采样也可按照GB/T 42489中的方法开展。

表1基坑底部推荐最少采样点数量

|  |  |
| --- | --- |
| 基坑面积/m2 | 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 |

表2 基坑侧壁推荐最少采样点数量

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 基坑周长/m | 侧壁采样点数量/个 | 间隔/m |
| x<100 | 4 | 25 |
| 100≤x<200 | 6 | 16~33 |
| 200≤x<300 | 8 | 25~38 |
| 300≤x<400 | 10 | 30~40 |
| x>500 | 间隔不大于40 m | |

#### 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。

#### 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。

#### 修复后土壤一般采用系统布点法设置采样点；同时应考虑修复效果空间差异，在修复效果薄弱区增设采样点。重金属和半挥发性有机物可在采样单元内采集混合样，采样方法按照HJ 25.2执行。

#### 修复后土壤堆体应便于效果评估采样工作的开展，避免只采集堆体表层的样品。

#### 回填土的采样密度参照异位修复后土壤。

### 检测指标

#### 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，相邻基坑边界处应同时考虑相邻基坑土壤中的目标污染物。

#### 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；若外运到其他地块，还应根据接收地环境要求增加检测指标。

#### 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。

#### 必要时可增加理化指标、常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

#### 回填土的检测指标按照HJ 25.1执行。

## 土壤原位修复效果评估布点

### 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。

### 采样节点

#### 原位修复后的土壤应在修复完成后进行采样。

#### 原位修复的土壤可按照修复进度、修复设施划分等情况分区域采样。

#### 土壤原位热脱附修复效果评估样品采集可采用“热采样-冷取样”方式进行，同时应在恢复至常温后开展部分确认采样。“热采样-冷取样”方法按照HJ 1165执行。

### 布点数量与位置

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

#### 原位修复后的土壤垂直方向上采样深度应要求不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。根据土层性质设置采样点，原则上垂向采样点之间距离不大于3 m。

#### 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、修复范围边界处等位置增设采样点。

### 检测指标

#### 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。

#### 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。

#### 必要时可增加理化指标、常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

## 土壤修复潜在影响区域布点

### 评估范围

#### 地块土壤修复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、土壤或地下水待检区、废水暂存处理区、修复过程中污染物迁移涉及的区域以及其他可能的潜在影响区域。

### 采样节点

#### 潜在影响区域土壤应在修复活动完成、设施设备拆除后开展。

#### 可根据实际情况进行分批次采样。

### 布点数量与位置

#### 潜在影响区域原则上根据修复设施设置、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HJ 25.5。

#### 潜在影响区域以采集去除杂质后的土壤表层样为主（0~20 cm），不排除深层采样。

### 检测指标

#### 修复潜在影响区域土壤的检测指标应包括修复目标污染物，并考虑中间产物和残留药剂等。

## 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。

## 土壤修复效果评估达标判断

### 土壤修复效果评估标准值

#### 基坑土壤评估标准值为地块调查评估或修复方案中确定的目标污染物的清理目标值；相邻基坑规划用地性质不同的，评估标准值应优先满足较低的清理目标值。

#### 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或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GB 36600中接收地用地性质对应筛选值的较高者作为评估标准值，并确保接收地的地下水和环境安全。风险评估可按照HJ 25.3执行。

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

#### 若修复目标值有变，应结合修复工程实际情况与管理要求调整效果评估标准值。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评估结果的要素，应结合更新后的概念模型重新开展风险评估。

#### 化学氧化/还原修复、微生物修复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 36600中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。

### 土壤修复效果达标判断方法

#### 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。

#### 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。

##### 若检测值低于或等于评估标准值，则认为达到修复效果；

##### 若检测值高于评估标准值，则认为未达到修复效果。

#### 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。一般采用样品均值的95%置信上限与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。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。

##### 整体均值的95%置信上限小于等于修复效果评估标准值；

##### 样品浓度最大值不超过修复效果评估标准值的2倍；

##### 超过评估标准值的样品不集中在某个区域。

#### 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：

##### 对于基坑，若某采样点未达到清理效果，则可根据采样网格对局部污染土壤进行再次清理和效果评估采样；也可在采用网格布点方法在局部进行详细采样，确定较为精确的未达标区域，进行再次清理和效果评估采样。

##### 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，则将对应土方的污染土运至处置设施处再次修复，修复后进行修复效果评估。

##### 对于堆体方式处理的土壤或原位修复的土壤，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。

# 地下水修复效果评估

## 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管理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2。

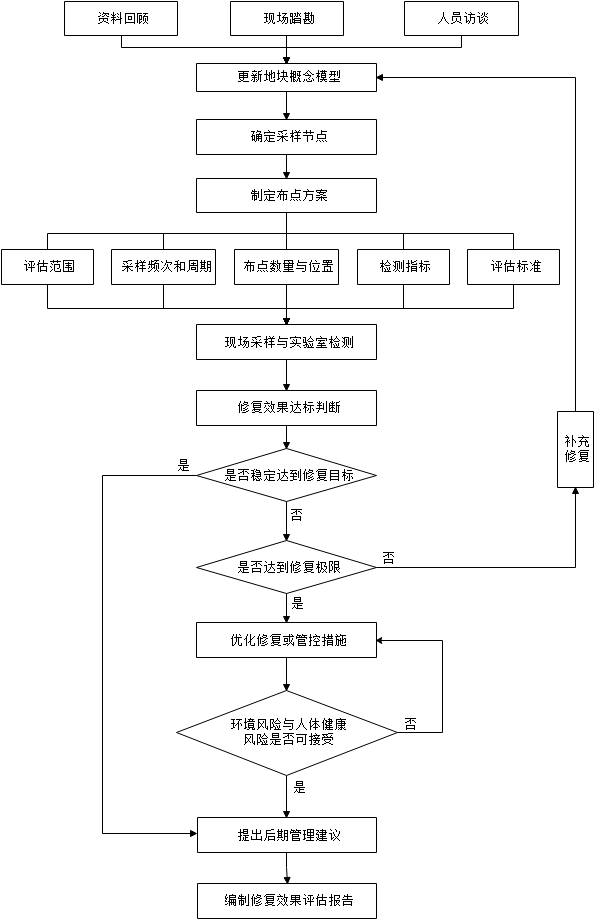


图2 污染地块地下水修复效果评估工作程序

## 地下水修复效果评估布点

### 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。

### 采样节点

#### 须通过修复达标初判，明确地下水中污染物浓度稳定达标且地下水达到稳定状态，方可进入地下水修复效果评估阶段。

#### 地下水达到稳定状态和污染物浓度稳定达标的判断依据包括：

##### 地下水达到稳定状态：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，地下水流场受周边影响较大等情况除外。

##### 污染物浓度稳定达标：即污染物浓度及其统计特征（均值、标准差等）不随时间发生较大的波动。若检测值均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；若部分监测值高于修复目标值，则应采用均值检验或趋势检验方法判断污染物浓度趋势是否达到修复目标值。判断方法按照HJ 25.6执行。

#### 修复达标初判采用修复阶段的监测数据开展，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、最低不得少于一个月。

#### 对于流场变化较大的地块可适当提高采样频次。

### 采样周期和频次

#### 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。

#### 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，采样间隔原则上为每季度一次、最低不得少于一个月，采样周期至少为1年。

#### 对于流场变化较大的地块可适当提高采样频次。

### 布点数量与位置

#### 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。

#### 原则上污染范围内部采样网格不大于80 m×80 m，存在非水相液体区域、污染源浓度高的区域采样网格不大于40 m×40 m。

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

#### 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。

### 检测指标

#### 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。

#### 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。

#### 必要时可增加土壤理化指标、地下水常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

## 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。

## 地下水修复效果达标判断

### 地下水修复效果评估标准值

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

#### 若修复目标值有变，应结合修复工程实际情况与管理要求调整修复效果评估标准值。

#### 化学氧化/还原修复、微生物修复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中地下水使用功能对应标准值执行，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。

### 地下水修复效果达标判断方法

#### 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。稳定达标判断方法按照HJ 25.6执行。

#### 若地下水未能持续稳定达标，可判断是否达到修复极限：

###### a）若判断地下水未达到修复极限，应开展补充修复。

###### b）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，开展残留污染环境风险与人体健康风险评估；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；若不可接受，则需对现有控制措施进行优化或提出新的工程控制措施。

#### 修复极限判断和残留污染风险评估方法按照HJ 25.6执行。

# 风险管控效果评估

本部分适用于控制污染物迁移或阻断污染物暴露途径的风险管控措施的效果评估，包括固化/稳定化、封顶、阻隔填埋、地下水阻隔墙、生物反应墙等。风险管控措施的效果评估包括短期效果评估和长期效果监测。

## 短期效果评估

### 评估指标

#### 风险管控短期效果评估的目的是评估工程措施是否有效，评估指标包括工程性能指标和污染物指标。

#### 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、孔隙率等，可通过回顾施工单位和监理单位的资料开展。

#### 污染物指标包括关注污染物浓度、浸出浓度、土壤气、室内空气等。

#### 可增加地下水水位、地下水流速、地球化学参数等作为风险管控效果的判断依据。

### 周期和频次

#### 工程性能指标评估一般在工程设施完工1年内开展，具体根据工程实施情况确定。

#### 污染物指标评估可作为短期效果评估的判断依据。对于挥发性有机物污染地块，应至少开展2个批次的监测，采样间隔原则上每个季度一次，当发现污染物浓度升高时应增加采样频次。

### 布点数量与位置

#### 地下水监测井设置需结合风险管控措施的布置，在风险管控范围上游、内部、下游，以及可能涉及的潜在影响区域设置监测点。

#### 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。

### 现场采样与实验室检测

风险管控与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。

### 风险管控效果达标判断

#### 风险管控工程性能指标应满足设计要求或不影响预期效果。

#### 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用途对应标准值或不会对地下水造成危害；阻隔系统实施后空气中臭气浓度应达到环境空气质量标准以及GB 14554的要求。

#### 对涉及地下水污染或周边地下水监测的，风险管控措施下游地下水中污染物浓度应保持稳定或持续下降。

#### 若未能达到短期效果，则需对工程措施进行修理或优化；若可达到短期效果，则应对工程措施进行维护，同时开展后期管理。

## 长期效果监测

工程控制措施的长期效果监测参照第9章执行。

# 后期管理建议

## 后期管理要求

### 风险管控、修复活动完成后，需要实施后期管理的，应编制后期管理计划并开展后期管理。

### 后期管理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。

## 制度控制

### 对于已达到本地块修复目标值的地块仅需开展制度控制，保证地块未做其他用途使用。

### 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等方式，多种制度控制方式可同时使用。

### 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中地下水用途对应标准值的为止。

## 长期环境监测

### 实施长期环境监测的地块包括但不限于：实施风险管控的地块、地下水中污染物浓度未达到环境风险控制要求的地块等。

### 长期监测介质包括地下水、土壤气、环境空气等，监测点位置应优先考虑污染物浓度高的区域、敏感点所处位置等，应充分利用地块内符合采样条件的监测井。

### 应对风险管控措施的长期有效性进行定期检查：

###### 若风险管控措施具有完整性与功能性，则表明风险管控措施持续有效。

###### 若风险管控设施不具备完整性，或部分设施失去原设定功能性，但长期监测结果显示污染物浓度未超过修复目标值，地块短期内具有保护性，可适当调整长期管理方案，当出现不利情况时及时调整风险管控措施。

###### 若风险管控设施不具备完整性，或部分设施失去原设定功能性，且长期监测结果显示污染物浓度超过修复目标值，地块不具有保护性，应调整风险管控措施。

### 原则上每1年开展一次长期环境监测、每5年开展1次阶段性评估，监测频次和阶段评估周期可根据地块实际情况和阶段性评估结果实时调整。

### 地块土壤中所有检出物浓度达到GB 36600中一类用地筛选值要求，且地下水满足GB 14848中地下水用途对应标准值的情况下，可结束长期监测和阶段性评估。

### 若存在暴露途径、水文地质条件、受体等变化情况，应更新概念模型，对地块安全利用情况重新进行风险评估并更新长期监测计划。

# 编制效果评估报告

## 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、效果评估结论及后期管理建议等内容。

## 效果评估报告的格式参见附录B。

附录A  
（资料性）  
样本量计算方法

A.1假设检验

假设检验是在对总体参数提出假设的基础上，利用样本信息判断假设是否成立。假设条件为无效假设H0:*ф*≥标准值及备择假设H1:*ф*<标准值，其中*ф*为地块土壤污染物的实测浓度。假设检验主要用于土壤修复达标的检验。

地块修复效果评估样本量的确定是基于地块残留污染的分布和控制的*α、β*错误来确定的。在实际中通过控制*α、β*两类错误来提高样本决策的准确性，而两类错误的控制只有通过提高样本量来实现，这同时也会提高成本和增加时间。同时,在同一样本区针对不同的污染物应确立一致的*α*错误。

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采样方法

地块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、判断抽样和顺序抽样等。在地块分布更为均匀的情况下可采用系统抽样。样本量由于开始的随机样本点的选择的不同可能存在差异，但是当样本点增多的时候，样本数量的相对变异会变小。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，层内可以采用上述的采样方法进行采样，层间的采样方法可以不同，可依据层与层的情况的不同分别采用不同的方法，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/地形、其他污染物的存在影响实验室的分析技术、地块污染历史和污染源、过去的修复措施等。

表A.2 常见采样方法及选择依据

|  |  |
| --- | --- |
| 类别 | 选择依据 |
| 简单随机抽样 | 地块样本点相互独立，对数据分布无要求 |
| 系统抽样 | 地块样本分布均匀 |
| 分层抽样 | 采样深度、污染物浓度、物理化学特性/地形、实验室分析技术影响、污染历史和污染源、过去修复措施等 |
| 判断采样 | 根据调查/修复资料可判断的修复薄弱点 |
| 顺序抽样 | 需结合地块上快速检测的分析技术，目的是为了减少样本量 |

A.3统计参数

如果地块土壤和地下水的样本浓度分布均匀且呈正态分布，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地块污染浓度的真实平均值等于或低于该值的概率为95%，由此来估计地块污染总体风险水平是比较保守和可靠的。

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

*...........................A.1*

式中：

——95%置信上限；

——样本平均值；

——*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；

——总体均值大于置信上限的概率，当置信水平为95%时，取0.05；

s——样本标准差。

标准样本*s*可按照式A.2计算：

*...............................A.2*

式中：

——样品检测值；

——样本平均值；

——样本容量。

地块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，参数选择的依据见下表。

表A.4 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%） | 高（>50%） |
| 变异系数较大（*cv>0.5*） | 均值（或中位数） | 上百分数 |
| 变异系数较小（*cv<0.5*） | 均值（或中位数） | 中位数 |

B.4样本量

依具体地块情况，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，本研究将依据选用的统计参数分别研究每种抽样方法下的样本量。

1. 基于均值的置信上限

采用简单随机抽样/系统抽样时，样本量的计算公式为：

*............................A.3*

式中：

*α*——*1-α*正态分布的关键值；

*β*——*1-β*正态分布的关键值；

——给定*β*的总体均值；

——估计方差，可通过先验知识获得。

采用分层随机抽样时，样本量的计算公式为：

*...................A.4*

式中：

——第*h*层的期望样本量；

——*h*层的最终样本量；

——*h*层的权重；

——每层的估计方差；

——*h*层采样、处理和分析土样的相对成本估计；

*L*——层数；

——*h*层第*i*个样点污染物的浓度；

*h*——层号。

总的样本量为：

*..........................A.5*

1. 基于比例数或百分位数的置信上限

采用简单随机抽样时，样本量的计算公式为：

*......................A.6*

式中：

——正态分布下概率*1-α*的关键值；

——正态分布下概率*1-β*的关键值；

——地块设定达标的标准，是一个比例数；

——控制*β*地块的平均比例数。

采用分层随机抽样时，样本量的计算公式为*A.7*：

*..............A.7*

式中：

——第*h*层的期望样本量；

——*h*层的最终样本量；

——*h*层的权重；

——*h*层采样、处理和分析土样的相对成本估计；

*L*——层数；

*h*——层号。

（3）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，其样本量的计算公式为*A.8*：

*..............................A.8*

式中：

——*α*的正态分布的关键值；

——*β*的正态分布的关键值；

——的正态分布的关键值；

——的正态分布的关键值。

（4）顺序抽样

顺序抽样可以用于样本收集完成或者一小批样品收集完成的情况。因此顺序抽样可以用于确定是否需要确定额外采样或者判断现有样本是否达标。顺序抽样通过假设检验来随时决定是否需要接受和拒绝原假设，适用于污染地块很清洁或者污染很严重的两种情形。其所需的样本量将少于其他几种采样方法。该方法需结合地块上一些快速检测的分析技术，但是需要权衡的是快速检测设备虽然快，而其检测精度比传统的检测技术要低，因此该方法的使用需要慎重。顺序抽样其采用边分析边检验的方法，可以大大的减少所需的样本量和所需的成本，采用顺序抽样，在同样的*α、β、P0、P1*其所需的样本量将以之前的检验方法减少30%-60%，顺序抽样样本量的确定方法如下：

顺序检验参数及拒绝域和接受域的建立方法：*ln(x)*为*x*的自然对数。针对给定的*α、β、P1、P0*，

（1）计算拒绝域和接受域的斜率：

*...............................A.9*

（2）确定拒绝域和接受域的斜率与y轴的交点：

*.......................A.10*

*.......................A.11*

（3）计算其他统计检验所需的样本量：

*...................A.12*

式中：

——修复目标值；

*P*——真实但是未知的高于标准值的污染物比例；

——地块是否受到污染的标准；

——基于备择假设下控制*β*错误的*P*值；

*n*——为样本量。

在污染物浓度与标准差别不大的情况下，顺序抽样可能需要更多的样本直至样本接近其他统计检验所需的样本量，在某些情况下，顺序抽样将获得一个高浓度的样本若其获得样本已达到其他方法样本量的两倍以上，则建议停止采样。

附录B  
（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、修复单位、监理单位、修复修效果评估单位。

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地块调查评价结论

3.2地块风险控制或修复方案

3.3风险控制或修复实施情况

3.4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效果评估布点方案

5.1土壤修复效果评估布点

5.1.1评估范围

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评估标准值

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评估标准值

5.3风险管控效果评估布点

5.3.1检测指标和标准

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效果评估

7.1检测结果分析

7.2风险管控/修复效果评估

8结论与建议

8.1效果评估结论

8.2后期管理建议

附件

1. 地块规划图；
2. 修复范围图；
3. 水文地质剖面图；
4. 钻孔结构图；
5. 岩心箱照片；
6. 采样记录单；
7. 建井结构图；
8. 洗井记录单；
9. 地下水采样记录单；
10. 实验室检测报告。