

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 25.6—2019

污染地块地下水修复和风险管控 技术导则

Technical guideline for groundwater remediation and risk
control of contaminated sites

（发布稿）

本电子版为发布稿。请以中国环境出版集团出版的正式标准文本为准。

2019-06-18 发布

2019-06-18 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 基本原则和工作程序.....	3
5 选择地下水修复和风险管控模式.....	6
6 筛选地下水修复和风险管控技术.....	8
7 制定地下水修复和风险管控技术方案.....	9
8 地下水修复和风险管控工程设计及施工.....	10
9 地下水修复和风险管控工程运行及监测.....	12
10 地下水修复和风险管控效果评估.....	14
11 后期环境监管.....	18
附录 A （资料性附录） 地下水修复和风险管控技术适用性.....	19
附录 B （资料性附录） 地下水修复和风险管控技术方案编制提纲.....	22
附录 C （资料性附录） 地下水修复和风险管控主要涉及的工艺技术参数.....	23
附录 D （资料性附录） 均值检验和趋势检验案例.....	24
附录 E （资料性附录） 地下水修复和风险管控效果评估报告编制提纲.....	27

前 言

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》和《中华人民共和国土壤污染防治法》，为保护生态环境，保障人体健康，加强污染地块环境监督管理，规范污染地块地下水修复和风险管控工作，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）；

《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5-2018）。

本标准规定了污染地块地下水修复和风险管控的基本原则、工作程序和技术要求。

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生态环境司、水生态环境司和法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：生态环境部环境规划院、清华大学、中国科学院地理科学与资源研究所、北京建工环境修复股份有限公司、成都理工大学、北京市环境保护科学研究院和南方科技大学。

本标准生态环境部 2019 年 6 月 18 日批准。

本标准自 2019 年 6 月 18 日起实施。

本标准由生态环境部解释。

污染地块地下水修复和风险管控技术导则

1 适用范围

本标准规定了污染地块地下水修复和风险管控的基本原则、工作程序和技术要求。

本标准适用于污染地块地下水修复和风险管控的技术方案制定、工程设计及施工、工程运行及监测、效果评估和后期环境监管。污染地块土壤修复技术方案制定参照 HJ 25.4 执行。

本标准不适用于放射性污染和致病性生物污染地块的地下水修复和风险管控。

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

HJ 25.1 场地环境调查技术导则

HJ 25.2 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 25.4 污染场地土壤修复技术导则

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 610 环境影响评价技术导则 地下水环境

HJ 2050 环境工程设计文件编制指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

地下水污染羽 groundwater contaminant plume

污染物随地下水移动从污染源向周边移动和扩散时所形成的污染区域。

3.2

地下水修复 groundwater remediation

采用物理、化学或生物的方法，降解、吸附、转移或阻隔地块地下水中的污染物，将有毒有害的污染物转化为无害物质，或使其浓度降低到可接受水平，或阻断其暴露途径，满足相应的地下水环境功能或使用功能的过程。

3.3

地下水风险管控 groundwater risk control

采取修复技术、工程控制和制度控制措施等，阻断地下水污染物暴露途径，阻止地下水污染扩散，防止对周边人体健康和生态受体产生影响的过程。

3.4

地块概念模型 conceptual site model

用文字、图、表等方式综合描述水文地质条件、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。

3.5

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和生态受体具有实际或潜在不利影响的，需要进行修复和风险管控的关注污染物。

3.6

地下水修复目标 groundwater remediation goal

由地块环境调查或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地下水修复终点。

3.7

地下水风险管控目标 groundwater risk control goal

阻断地下水污染物暴露途径，阻止地下水污染扩散，防止对人体健康和生态受体产生影响的阶段目标。

3.8

地下水修复模式 groundwater remediation strategy

以降低地下水污染物浓度，实现地下水修复目标为目的，对污染地块进行地下水修复的总体思路。

3.9

地下水风险管控模式 groundwater risk control strategy

以实现阻断地下水污染物暴露途径，阻止地下水污染扩散为目的，对污染地块进行地下水风险管控的总体思路。

3.10

制度控制 institutional control

通过制定和实施条例、准则、规章或制度，减少或阻止人群对地块污染物的暴露，防范和杜绝地块地下水污染可能带来的风险和危害，利用管理手段控制污染地块潜在风险。

3.11

工程控制 engineering control

采用阻隔、堵截、覆盖等工程措施，控制污染物迁移或阻断污染物暴露途径，降低和消除地块地下水污染对人体健康和生态受体的风险。

3.12

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的情况。

4 基本原则和工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 统筹性原则

污染地块地下水修复和风险管控应兼顾土壤、地下水、地表水和大气，统筹地下水修复和风险管控，防止污染地下水对人体健康和生态受体产生影响。

4.1.2 规范性原则

根据地下水修复和风险管控法律法规要求，采用程序化、系统化方式规范地下水修复和风险管控过程，保证地下水修复和风险管控过程的科学性和客观性。

4.1.3 可行性原则

根据污染地块水文地质条件、地下水使用功能、污染程度和范围以及对人体健康和生态受体造成的危害，合理选择修复和风险管控技术，因地制宜制定修复和风险管控技术方案，使地下水修复和风险管控工程切实可行。

4.1.4 安全性原则

污染地块地下水修复和风险管控技术方案制定、工程设计及施工时，要确保工程实施安全，应防止对施工人员、周边人群健康和生态受体产生危害。

4.2 工作程序

污染地块地下水修复和风险管控的工作程序如图 1 所示。

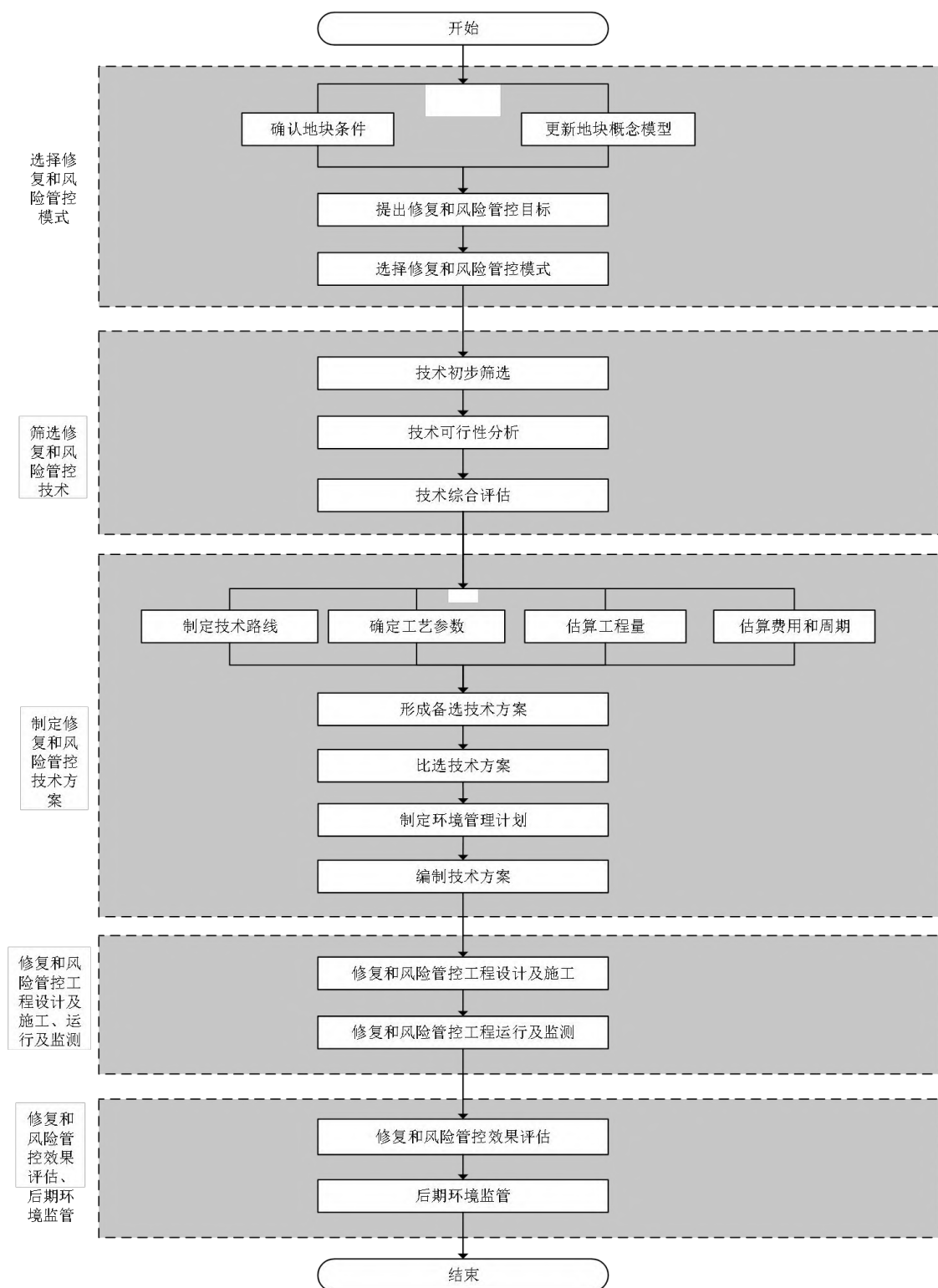


图 1 污染地块地下水修复和风险管控工作程序

4.2.1 选择地下水修复和风险管控模式

确认地块条件，更新地块概念模型。根据地下水使用功能、风险可接受水平，经修复技术经济评估，提出地下水修复和风险管控目标。确认对地下水修复和风险管控的要求，结合地块水文地质条件、污染特征、修复和风险管控目标等，明确污染地块地下水修复和风险管控的总体思路。

4.2.2 筛选地下水修复和风险管控技术

根据污染地块的具体情况，按照确定的修复和风险管控模式，初步筛选地下水修复和风险管控技术。通过实验室小试、现场中试和模拟分析等，从技术成熟度、适用条件、效果、成本、时间和环境风险等方面确定适宜的修复和风险管控技术。

4.2.3 制定地下水修复和风险管控技术方案

根据确定的修复和风险管控技术，采用一种及以上技术进行优化组合集成，制定技术路线，确定地下水修复和风险管控技术工艺参数，估算工程量、费用和周期，形成备选技术方案。从技术指标、工程费用、环境及健康安全等方面比较备选技术方案，确定最优技术方案。

4.2.4 地下水修复和风险管控工程设计及施工

根据确定的修复和风险管控技术方案，开展修复和风险管控工程设计及施工。工程设计根据工作开展阶段划分为初步设计和施工图设计，根据专业划分为工艺和辅助专业设计。工程施工宜包括施工准备、施工过程，施工过程应同时开展环境管理。

4.2.5 地下水修复和风险管控工程运行及监测

地下水修复和风险管控工程施工完成后，开展工程运行维护、运行监测、趋势预测和运行状况分析等。工程运行中应同时开展运行监测，对地下水修复和风险管控工程运行监测数据进行趋势预测。根据地下水监测数据及趋势预测结果开展工程运行状况分析，判断地下水修复和风险管控工程的目标可达性。

4.2.6 地下水修复和风险管控效果评估

制定地下水修复和风险管控效果评估布点和采样方案，评估修复是否达到修复目标，评估风险管控是否达到工程性能指标和污染物指标要求。

对于地下水修复效果，当每口监测井中地下水检测指标持续稳定达标时，可判断达到修复效果。若未达到评估标准但判断地下水已达到修复极限，可在实施风险管控措施的前提下，对残留污染物进行风险评估。若地块残留污染物对受体和环境的风险可接受，则认为达到修复效果；若风险不可接受，需对风险管控措施进行优化或提出新的风险管控措施。

对于风险管控效果，若工程性能指标和污染物指标均达到评估标准，则判断风险管控达到预期效果，可对风险管控措施继续开展运行与维护；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预期效果，应对风险管控措施进行优化或调整。

4.2.7 后期环境监管

根据修复和风险管控工程实施情况与效果评估结论，提出后期环境监管要求。

5 选择地下水修复和风险管控模式

5.1 确认地块条件

5.1.1 核实地块资料

根据前期按 HJ 25.1 和 HJ 25.2 完成的地块环境调查和按 HJ 25.3 完成的污染地块风险评估等资料，重点核实污染地块基本情况、水文地质条件、受体与周边环境情况、土壤与地下水污染特征等。

5.1.2 现场踏勘

考察地块现状，特别关注前期地块环境调查和风险评估后发生的重大变化，以及周边地下水型饮用水源等受体的变化情况。考察地块修复和风险管控工程施工条件，特别关注地块用电、用水、交通、地下水监测井等情况，为修复和风险管控工程施工区布局提供基础信息。

5.1.3 补充技术资料

通过核查地块已有水文地质条件、地下水污染特征等资料和现场踏勘情况，如发现已有资料不能满足地下水修复和风险管控技术方案编制、工程设计要求，应补充相关资料。必要时应补充开展工程地质勘察、水文地质和地块环境调查工作，进行人体健康风险评估与地下水污染模拟预测。进一步明确地下水埋藏和补径排条件，识别地下水污染程度、范围和空间分布状态，界定边界条件，开展参数识别和模型验证等，相关技术要求参照 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 25.3 和 HJ 610 执行。

5.2 更新地块概念模型

结合 5.1 收集的地块资料，分析地块地质与水文地质条件、地下水污染特征、受体与周边环境情况等，对地块环境调查和风险评估阶段构建的地块概念模型进行更新，重点关注地下水污染羽的变化。

地块概念模型宜包括下列信息：

- a) 地质与水文地质条件：地层分布及岩性、地质构造、地下水类型、含水层系统结构、地下水分布条件、地下水流场、地下水动态变化特征、地下水补径排条件等。
- b) 地下水污染特征：污染源、目标污染物浓度、污染范围、污染物迁移途径、非水溶性有机物的分布情况等。
- c) 受体与周边环境情况：结合地块地下水使用功能和地块规划，分析污染地下水与受体的相对位置关系、受体的关键暴露途径等。

地块概念模型可采用文字、图、表等方式，便于指导污染地块地下水修复和风险管控目标提出、方案制定。

5.3 提出地下水修复和风险管控目标

5.3.1 确认目标污染物

确认前期地块环境调查和风险评估提出的地下水修复目标污染物，根据地块及受体特征、规划、地下水使用功能和地质因素等，确定地下水修复和风险管控目标污染物。

5.3.2 提出修复目标值

5.3.2.1 地下水型饮用水源保护区及补给区

污染地块位于集中式地下水型饮用水源（包括已建成的在用、备用、应急水源，在建和规划的水源）保护区及补给区（补给区优先采用已划定的饮用水源准保护区），选择 GB/T 14848 中Ⅲ类限值作为修复目标值。对于 GB/T 14848 未涉及的目标污染物，按照饮用地下水的暴露途径计算地下水风险控制值作为修复目标值，风险控制值按照 HJ 25.3 确定。

当选择 GB/T 14848 中Ⅲ类限值或按照 HJ 25.3 确定的地下水型饮用水源保护区及补给区内污染地块的修复目标值低于地下水环境背景值时，可选择背景值作为修复目标值。

5.3.2.2 其他区域

5.3.2.2.1 具有工业和农业用水等使用功能的地下水污染区域，按照 GB/T 14848 要求，制定修复目标值。对于 GB/T 14848 未涉及的目标污染物，采用风险评估的方法计算风险控制值作为修复目标值，风险控制值按照 HJ 25.3 确定。

5.3.2.2.2 不具有工业和农业用水等使用功能的地下水污染区域，采用风险评估的方法计算风险控制值作为修复目标值，风险控制值按照 HJ 25.3 确定。

5.3.2.2.3 当地下水污染影响或可能影响土壤和地表水体等，根据 GB 36600 和地表水（环境）功能要求，基于污染模拟预测、风险评估结果，同时结合 5.3.2.2.1 或 5.3.2.2.2 情形从严确定地下水修复目标值。

5.3.2.2.4 当选择相关标准或按照 HJ 25.3 确定的其他区域的污染地块修复目标值低于地下水环境背景值时，可选择背景值作为修复目标值。

5.3.3 提出地下水风险管控目标

当污染地块位于集中式地下水型饮用水源（包括已建成的在用、备用、应急水源，在建和规划的水源）保护区及补给区（补给区优先采用已划定的准保护区）时，应同步制定风险管控目标，阻断地下水污染物暴露途径，阻止污染扩散。

经修复技术经济评估，无法达到 5.3.2 提出的地下水修复目标值，应制定地下水风险管控目标作为地下水修复的阶段目标。

在 5.3.2.2 中采用风险评估方法确定修复目标值的污染地块，应制定风险管控目标。

5.3.4 确定地下水修复和风险管控范围

根据 HJ 25.1 确定的地下水污染空间分布，结合地下水修复和风险管控目标，确定地下水的修复和风险管控范围。

5.4 选择地下水修复和风险管控模式

与地块利益相关方进行沟通，确认对地下水修复和风险管控的要求，如土地利用规划、修复周期、预期经费投入等，结合污染地块特征、地下水修复和风险管控目标等，明确总体

思路，选择降低污染物毒性、迁移性、数量与体积的修复技术，阻断暴露途径和阻止地下水污染扩散的工程控制措施，或限制受体暴露行为的制度控制措施中的任意一种或其组合。

当地块地下水与土壤污染区域重叠时，应统筹考虑地下水与土壤修复和风险管控，土壤修复参照 HJ 25.4 执行。

6 筛选地下水修复和风险管控技术

6.1 技术初步筛选

根据污染地块水文地质条件、地下水污染特征和确定的修复和风险管控模式等，从适用的目标污染物、技术成熟度、效率、成本、时间和环境风险等，分析比较现有地下水修复和风险管控技术的优缺点，重点分析各技术工程应用的适用性，常见技术的适用性可参见附录 A。可采用对比分析、矩阵评分和类比等方法，初步筛选一种或多种修复和风险管控技术。

6.2 技术可行性分析

6.2.1 实验室小试

实验室小试应针对初步筛选技术的关键环节和关键参数，制定实验室小试方案，采集污染地下水和含水层介质，按照不同的技术或组合试验效果，确定最佳工艺参数和可能产生的二次污染物，估算成本和周期等。实验过程需有严格的质量保证和控制。

6.2.2 现场中试

现场中试应根据修复和风险管控技术特点，结合地块条件、地质与水文地质条件、污染物类型和空间分布特征等，选择适宜的单元开展中试，获得设计和施工所需要的工程参数，确定现场中试过程中可能产生的二次污染物。可采用相同或类似污染地块修复和风险管控技术的应用案例进行分析，必要时可现场考察和评估应用案例实际工程。现场中试过程中需实施二次污染防治措施。

6.2.3 模拟分析

建立地下水水流模型和溶质运移模型，利用解析法或数值法开展模拟预测，选择目标污染物作为模拟因子，根据不同修复和风险管控技术的设计情景，评估地下水修复和风险管控技术的工程实施效果和修复周期等，优化并获得设计和施工所需的工程参数。常用地下水水流模型和溶质运移模型可参照 HJ 610。

6.3 技术综合评估

基于技术可行性分析结果，采用对比分析或矩阵评分法对初步筛选技术进行综合评估，确定一种或多种可行技术。

7 制定地下水修复和风险管控技术方案

7.1 制定备选技术方案

7.1.1 制定技术路线

根据污染地块地下水修复和风险管控模式，采用技术筛选确定的一种或多种技术优化组合集成，结合地块管理要求等因素，制定技术路线。技术路线应反映地下水修复和风险管控的总体思路、方式、工艺流程等，还应包括工程实施过程中二次污染防治措施、环境监测计划和环境应急安全计划等。

7.1.2 确定工艺参数

地下水修复和风险管控技术的工艺参数通过总结实验室小试、现场中试和模拟分析结果确定，技术的工艺参数包括但不限于地下水抽出或注入的流量、影响半径，修复药剂的投加比、投加方式和浓度，工程控制措施的规模、材料、规格等，地上处理单元的处理量、处理效率等。

7.1.3 估算工程量

根据技术路线，按照确定的单一技术或技术组合的方案，结合工艺流程和参数，估算不同方案的工程量。

7.1.4 估算费用和周期

费用估算应根据污染地块地下水修复和风险管控工程量确定。费用估算包括建设费用、运行费用、监测费用和咨询费用等。

周期估算应根据工程量、工程设计、建设和运行时间、效果评估和后期环境监管要求等确定。

7.1.5 形成备选技术方案

根据水文地质条件、修复和风险管控目标、技术路线、工艺参数、工程量、费用和周期等，制定不少于2套的备选技术方案。

7.2 比选技术方案

对备选技术方案的主要技术指标、工程费用、环境及健康安全等比选，采用对比分析或矩阵评分等方法确定最优方案，比选内容包括：

- a) 主要技术指标：结合地块地下水污染特征、修复和风险管控目标，从符合法律法规、效果、时间、成本和环境影响等方面，比较不同备选技术方案主要技术的可操作性、有效性。
- b) 工程费用：根据地下水修复和风险管控的工程量，估算并比较不同备选技术方案费用，比较不同备选技术方案产生费用的合理性。
- c) 环境及健康安全：综合比较不同备选技术方案的二次污染排放情况以及对施工人员、周边人群健康和生态受体的影响等。

7.3 制定环境管理计划

7.3.1 二次污染防治措施

对施工和运行过程造成的地下水、土壤、地表水、环境空气等二次污染，应制定防治措施，并分析论证技术可行性、经济合理性、稳定运行和达标排放的可靠性。

7.3.2 环境监测计划

环境监测计划包括工程实施过程的环境监理、二次污染监控中的环境监测。应根据确定的技术方案，结合地块污染特征和所处环境条件，有针对性地制定环境监测计划。相关技术要求参照 HJ 25.2 执行。

7.3.3 环境应急安全计划

为确保地块修复和风险管控过程中施工人员与周边人群和生态受体的安全，应根据国家和地方环境应急相关法律法规、标准规范编制环境应急安全计划，内容包括安全问题识别、预防措施、突发事件应急措施、安全防护装备和安全防护培训等。

7.4 编制技术方案

地下水修复和风险管控技术方案要全面反映工作内容，技术方案中的文字应简洁和准确，并尽量采用图、表和照片等形式描述各种关键技术信息，以利于工程设计和施工方案编制。

技术方案应根据污染地块的水文地质条件、地下水污染特征和工程特点，参见附录 B 编制。

当地块涉及土壤污染时，应统筹考虑地下水与土壤修复和风险管控，土壤修复的有关技术要求参照 HJ 25.4 执行。

8 地下水修复和风险管控工程设计及施工

8.1 工程设计

8.1.1 一般要求

地下水修复和风险管控工程设计根据工作开展阶段划分为初步设计、施工图设计，根据专业划分为工艺和辅助专业设计。初步设计和施工图设计根据实际情况，可按单一阶段考虑。对于小型项目，可根据实际情况直接进行施工图设计。地下水修复和风险管控工程设计参照 HJ 2050 执行。

当已有的地质与水文地质资料不能满足工程设计需要时，应开展必要的地质和水文地质调查工作。

8.1.2 初步设计和施工图设计

8.1.2.1 初步设计

初步设计文件应根据地下水修复和风险管控技术方案进行编制，应满足编制施工图、采购主要设备及控制工程建设投资的需要。初步设计文件宜包括初步设计说明书、初步设计图纸和初步设计概算书，并应符合下列规定：

- a) 初步设计说明书宜包括设计总说明、各专业设计说明、主要设备材料表。
- b) 初步设计图纸宜由总图、工艺、建筑、结构、给排水等专业图纸组成，地下水修复和风险管控工程设计应开展总图、工艺专业图纸设计。当工程包含修复车间、仓库等建筑物时，宜开展建筑专业图纸设计；当工程包含修复车间、仓库、地面处理设备而建（构）筑物时，宜开展结构专业图纸设计；当工程包含给排水、消防用水时，宜开展给排水专业图纸设计；当工程需进行地下水抽出、药剂注入、地面处理设备自动化控制、监测设计时，宜开展自动化专业图纸设计；当工程采用可渗透反应墙、阻隔等技术时，宜开展岩土工程专业图纸设计；当工程需进行供电、电气控制时，宜开展电气专业图纸设计；当工程包含采暖、空调、通风等，宜开展采暖通风专业图纸设计。
- c) 初步设计概算书包括编制说明、编制依据、工程总概算表、单项工程概算表和其它费用概算表等。

8.1.2.2 施工图设计

施工图设计文件应根据初步设计文件进行编制，未开展初步设计的根据技术方案进行编制。施工图设计文件应满足编制工程预算、工程施工招标、设备材料采购、非标准设备制造、施工组织计划编制和工程施工的需要。施工图设计文件宜包括施工图设计说明书、施工图设计图纸、工程预算书，并应符合下列规定：

- a) 施工图设计说明书包括各专业设计说明和工程量表。
- b) 施工图设计图纸中各专业图纸组成根据 8.1.2.1 b) 确定。
- c) 工程预算书包括编制说明、工程设备材料表、工程总预算书、单项工程预算书、单位工程预算书和需要补充的估价表等。

8.1.3 工艺和辅助专业设计

8.1.3.1 工艺专业设计

工艺专业设计根据地下水修复和风险管控技术方案确定的工艺技术路线、工艺参数和工程量等进行编制。地下水修复和风险管控技术主要涉及的工艺技术参数可参见附录 C，具体参数取值宜通过试验、计算或根据经验值确定。工艺专业设计宜包括下列内容：

- a) 进行设计计算，绘制工艺流程图，设计计算可采用解析法或数值法求解。
- b) 根据计算结果及工艺流程图细化设计，内容包括各处理单体、井、主要设备及仪表、连接管道等，汇总整理设备、仪表清单和主要材料清单等。
- c) 根据单体设计结果，进行工艺总平面布置设计，将单体设计和工艺总平面设计互相调整完善。
- d) 进行工艺管道设计，合理确定管道的位置、敷设和连接方式等，绘制工艺管道布置图。
- e) 完善设备、仪表清单和主要材料清单等，绘制工艺管道仪表流程图。
- f) 设计图可包括：工艺流程图，设施设备布置图、井点（如抽出井、注入井、加热井、监测井等）的平面布置图和结构图、药剂配制和地面处理设备图、井和设备等的安装图，工艺总平面布置图、修复和风险管控区平面位置图、工艺管道布置图、工艺管道仪表流程图，可根据工程设计内容合理增减。

g) 设计图纸比例设置应使图纸能够清楚表达设计内容，便于装订成册。

8.1.3.2 辅助专业设计

辅助专业设计为工艺专业之外的专业设计，可根据具体地下水修复和风险管控工程设计内容合理增减，辅助专业设计应在工艺专业设计基础上进行，为修复和风险管控工艺专业设计提供支撑。

8.2 工程施工

8.2.1 施工准备

工程施工准备宜包括技术准备、施工现场准备、材料准备、施工机械和施工队伍准备等。根据工程设计图纸，综合考虑现场条件、施工企业情况等，编制施工方案。应特别关注地块的地下管线情况、周边建（构）筑物情况，并根据施工需要关注抽水及排水条件、用水、用电等问题。

8.2.2 施工过程

现场施工过程包括地下水修复和风险管控系统施工安装、调试等，应依据工程设计图纸、施工方案和相关技术规范文件开展。施工过程中做好工程动态控制工作，通过落实安全和质量保证措施、控制工程施工进度和建设安装成本，保证安全、质量、进度、成本等目标的全面实现。施工过程如果出现设计需要变更的情况，经建设、监理单位同意，由设计单位进行设计变更。当地下水修复和风险管控工程施工可能对地下水流场或污染羽造成扰动时，应监测地下水水位、水质，掌握地下水流场和污染羽变化等情况。

8.2.3 环境管理

根据国家和地方环境管理法律法规，结合工程施工工艺特点以及工程周边环境，实施环境管理计划，防范钻探建井、地面处理设备安装、阻隔墙建设等施工过程中造成的地下水、土壤、地表水、环境空气等二次污染。

9 地下水修复和风险管控工程运行及监测

9.1 运行维护

9.1.1 运行维护方案编制

地下水修复和风险管控工程应编制运行维护方案，包括系统运行管理、设备操作、设备维护保养、安全运行管理制度建立、设备检修等内容。当涉及地下水修复药剂、工程控制材料和二次污染物处理药剂及材料等使用时，应包括对药剂和材料进场检测、试验、储存、使用的管理等内容。

9.1.2 运行维护内容

9.1.2.1 对设备设施运行进行记录，包括计量仪器仪表读数、材料使用情况等，记录应及时、准确、完整。

9.1.2.2 对设备设施运行过程中可能产生环境事故的单元进行定期检查。设备设施运行不正常时，及时检修、更换或调整。

9.1.2.3 对设备设施进行维护保养，包括设备清洁、润滑及保养、易损件的更换等。

9.1.2.4 对进场的药剂和材料进行检测、试验、登记，对药剂和材料的储存、使用进行管理。

9.2 运行监测

9.2.1 监测井布设

9.2.1.1 修复监测井布设

9.2.1.1.1 根据地块地质与水文地质条件、地下构筑物情况、地下水污染特征和采用的修复技术，进行修复监测井的布设，设置对照井、内部监测井和控制井，可充分利用地块环境调查设置的监测井。监测井位置、数量应满足污染羽特征刻画、工程运行状况分析的监测要求。

9.2.1.1.2 对照井设置在污染羽地下水流向上游，反映区域地下水质量。内部监测井设置在污染羽内部，反映修复过程中污染羽浓度变化情况，内部监测井可结合污染羽分布情况，按三角形或四边形布设。控制井设置在地下水污染羽边界的位置，设置在污染羽的上游、下游以及垂直于地下水径流方向的污染羽两侧的边界位置。当污染地下水可能影响临近含水层时，应针对该含水层设置监测井，以评估修复工程对该含水层的影响。当周边存在受体时，宜在地下水污染羽边缘和受体之间设置监测井。

9.2.1.1.3 原则上对照井至少设置 1 个，内部监测井至少设置 3~4 个，控制井至少设置 4 个，可根据修复工程特点合理调整。原则上内部监测井设置网格不宜大于 80 m×80 m，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，监测井设置网格不宜大于 40 m×40 m。

9.2.1.1.4 当含水层厚度大于 6 m 时，原则上应分层进行采样，可采用多层监测，根据污染物特征、含水层结构等进行合理调整。对于低密度非水溶性有机物污染，监测点应设置在含水层顶部；对于高密度非水溶性有机物污染，监测点应设置在含水层底部和隔水层顶部。针对不同含水层设置监测井时应分层止水。

9.2.1.2 风险管控监测井布设

根据地块地质与水文地质条件、地下水污染特征和采用的风险管控技术，进行风险管控监测井的布设，充分利用地块环境调查设置的监测井，宜在风险管控范围的上游、内部、下游、两侧，以及可能涉及的二次污染区域、风险管控薄弱位置和周边受体位置设置。监测井位置、数量应满足风险管控工程运行状况分析的监测要求。

9.2.2 监测指标

工程运行期间需对地下水水位、水质、注入药剂特征指标、工程性能指标、二次污染物等进行监测，具体包括：

- a) 地下水水位和水质：包括地下水水位、目标污染物浓度等。
- b) 注入药剂特征指标：包括药剂浓度以及因药剂注入导致地下水水质变化的参数，如 pH、温度、电导率、总硬度、氧化还原电位、溶解氧等。
- c) 工程性能指标：取决于使用的工程控制措施的类型，如阻隔墙技术可通过监测墙体地下水流向上游及下游的地下水水位、目标污染物浓度等判断工程控制运行状况。

- d) 二次污染物：包括施工和运行过程中在地下水、土壤、地表水、环境空气中产生的二次污染物。

9.2.3 监测频次

9.2.3.1 地下水修复工程运行阶段根据目标污染物浓度变化特征分为修复工程运行初期、运行稳定期、运行后期。目标污染物浓度在修复工程运行初期呈变化剧烈或波动情形，在运行稳定期持续下降，在运行后期持续达到或低于修复目标值，或达到修复极限。

9.2.3.2 地下水修复工程的运行初期，宜采用较高的监测频次，运行稳定期及运行后期可适当降低监测频次。工程运行初期原则上监测频次为每半个月一次；运行稳定期原则上监测频次为每月一次；运行后期原则上监测频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于1个月。

9.2.3.3 风险管控工程运行监测频次取决于风险管控措施的类型。采用可渗透反应墙技术时，运行监测频次可参照9.2.3.2确定；采用阻隔技术时，原则上监测频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于1个月。

9.2.3.4 当出现修复或风险管控效果低于预期、局部区域修复和风险管控失效、污染扩散等不利情况时，应适当提高监测频次。

9.3 趋势预测

获取工程运行监测数据后应及时进行趋势预测，可对9.2.2中全部或部分监测指标进行趋势预测，趋势预测可采用图表、数值模拟或统计学等方法。

9.4 运行状况分析

工程运行状况分析应根据地下水监测数据及趋势预测结果开展，应分析地下水修复和风险管控工程运行阶段的有效性、目标可达性、经济可行性等，判断技术方案、工程设计、施工、运行有无调整和优化的必要。

10 地下水修复和风险管控效果评估

10.1 更新地块概念模型

应根据地块修复和风险管控进度以及掌握的地块信息，对地块概念模型进行实时更新，为开展效果评估提供依据。相关技术要求可参照HJ 25.5执行。

10.2 地下水修复效果评估

10.2.1 评估范围

地下水修复效果评估范围应包括地下水修复范围的上游、内部和下游，以及修复可能涉及的二次污染区域。

10.2.2 采样节点

10.2.2.1 需初步判断地下水中污染物浓度稳定达标且地下水流场达到稳定状态时，方可进入地下水修复效果评估阶段。地下水修复效果评估采样节点见图2。

10.2.2.2 原则上采用修复工程运行阶段监测数据进行修复达标初判，至少需要连续 4 个批次的季度监测数据。若地下水中污染物浓度均未检出或低于修复目标值，则初步判断达到修复目标；若部分浓度高于修复目标值，可采用均值检验或趋势检验方法进行修复达标初判，当均值的置信上限（upper confidence limit，简称 UCL）低于修复目标值、浓度稳定或持续降低时，则初步判断达到修复目标。均值检验和趋势检验案例参见附录 D。

10.2.2.3 若修复过程未改变地下水流场，则地下水水位、流量、季节变化等与修复开展前应基本相同；若修复过程改变了地下水流场，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。

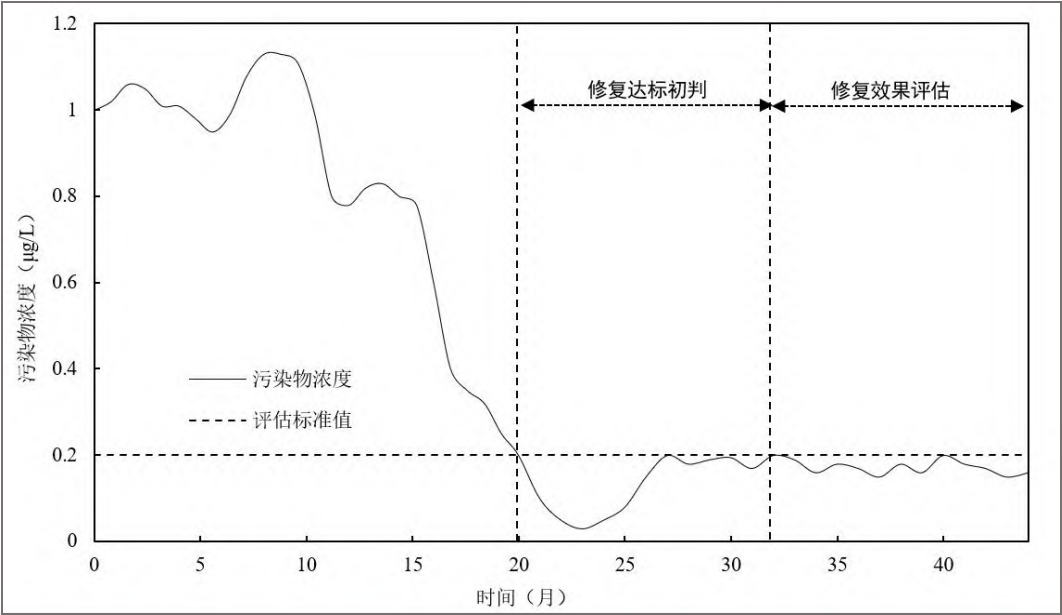


图 2 地下水修复效果评估采样节点示意图

10.2.3 采样持续时间和频次

10.2.3.1 地下水修复效果评估采样频次应根据地块地质与水文地质条件、地下水修复方式确定，如水力梯度、渗透系数、季节变化和其他因素等。

10.2.3.2 修复效果评估阶段应至少采集 8 个批次的样品，采样持续时间至少为 1 年。

10.2.3.3 原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于 1 个月。对于地下水流场变化较大的地块，可适当提高采样频次。

10.2.4 布点数量与位置

10.2.4.1 原则上修复效果评估范围上游应至少设置 1 个监测点，内部应至少设置 3 个监测点，下游应至少设置 2 个监测点。

10.2.4.2 原则上修复效果评估范围内部采样网格不宜大于 $80\text{ m} \times 80\text{ m}$ ，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，采样网格不宜大于 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$ 。

10.2.4.3 地下水采样点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区域等。

10.2.4.4 可充分利用地块环境调查、工程运行阶段设置的监测井，现有监测井应符合地下水修复效果评估采样条件。

10.2.5 检测指标

10.2.5.1 修复后地下水的检测指标为修复技术方案中确定的目标污染物。

10.2.5.2 化学氧化、化学还原、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，原则上二次污染物指标应根据修复技术方案中的可行性分析结果和地下水修复工程运行监测结果确定。

10.2.5.3 必要时可增加地下水常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

10.2.6 现场采样与实验室检测

修复效果评估现场采样与实验室检测参照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 执行。

10.2.7 地下水修复效果评估标准值

10.2.7.1 修复后地下水的评估标准值为地块环境调查或修复技术方案中目标污染物的修复目标值。

10.2.7.2 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。

10.2.7.3 化学氧化、化学还原、微生物修复产生的二次污染物的评估标准，原则上应根据修复技术方案中的可行性分析结果确定，也可参照 GB/T 14848 中地下水使用功能对应标准值执行，或根据暴露情景进行风险评估确定，风险评估可参照 HJ 25.3 执行。

10.2.8 地下水修复效果达标判断

10.2.8.1 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修复。

10.2.8.2 可采用趋势分析进行持续稳定达标判断：

- 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。

10.2.8.3 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。趋势检验案例参见附录 D。

10.2.8.4 同时满足下列条件的情况下，可判断地下水修复达到极限：

- a) 地块概念模型清晰，污染羽及其周边监测井可充分反映地下水修复实施情况和客观评估修复效果。
- b) 至少有 1 年的月度监测数据显示地下水中污染物浓度超过修复目标且保持稳定或无下降趋势。
- c) 通过概念模型和监测数据可说明现有修复技术继续实施不能达到预期目标的主要原因。
- d) 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。
- e) 进一步可行性研究表明不存在适用于本地块的其他修复技术。

10.2.9 残留污染物风险评估

10.2.9.1 对于地下水修复，若目标污染物浓度未达到评估标准，但判断地块地下水已达到修复极限，可在实施风险管控措施的前提下，对残留污染物进行风险评估。

10.2.9.2 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：掌握修复和风险管控后地块的地质与水文地质条件、污染物空间分布、潜在暴露途径、受体等，考虑风险管控措施设置情况，更新地块概念模型，具体参照 HJ 25.5 执行。
- b) 分析残留污染物环境风险：地块内非水溶性有机物等已最大限度地被清除，修复停止后至少 1 年且有 8 个批次的监测数据表明污染羽浓度降低或趋于稳定，污染羽范围逐渐缩减，或地下水中污染物存在自然衰减。
- c) 开展人体健康风险评估：残留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。对于存在挥发性有机污染物的地块，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。

10.2.9.3 若残留污染物对环境和受体产生的风险可接受，则认为达到修复效果；若残留污染物对受体和环境产生的风险不可接受，则需对现有风险管控措施进行优化或提出新的风险管控措施。

10.3 地下水风险管控效果评估

10.3.1 采样频次

10.3.1.1 风险管控效果评估一般在工程设施完工 1 年内开展。

10.3.1.2 污染物指标应至少采集 4 个批次的样品，原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于 1 个月。对于地下水流场变化较大的地块，可适当提高采样频次。

10.3.1.3 工程性能指标应按照工程实施评估周期和频次进行评估。

10.3.2 布点数量与位置

10.3.2.1 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，以及可能涉及的二次污染区域设置监测点。

10.3.2.2 可充分利用地块环境调查、修复和风险管控实施阶段设置的监测井，现有监测井应符合风险管控效果评估采样条件。

10.3.3 检测指标

10.3.3.1 风险管控效果评估检测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等；污染物指标包括地下水、土壤气和室内空气等环境介质中的目标污染物及其他相关指标。

10.3.3.2 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辅助判断依据。

10.3.4 现场采样与实验室检测

风险管控效果评估现场采样与实验室检测参照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 执行。

10.3.5 风险管控效果评估标准

10.3.5.1 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。

10.3.5.2 地块风险管控措施下游地下水中污染物浓度应持续下降，地下水污染扩散得到控制。

10.3.6 评估方法

10.3.6.1 若工程性能指标和污染物指标均达到评估标准，则判断风险管控达到预期效果，可对风险管控措施继续开展运行与维护。

10.3.6.2 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预期效果，应对风险管控措施进行优化或调整。

10.4 效果评估报告编制

效果评估报告应包括地块概况、地下水修复和风险管控实施情况、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环境监管建议等。地下水修复和风险管控效果评估报告可参见附录 E 编制。

11 后期环境监管

11.1 后期环境监管要求

11.1.1 根据修复和风险管控效果评估结论，实施风险管控的地块，原则上应开展后期环境监管。

11.1.2 后期环境监管方式应包括长期环境监测与制度控制。

11.2 长期环境监测

11.2.1 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污染物浓度高的区域、受体所处位置等。

11.2.2 应充分利用地块内符合采样条件的监测井。

11.2.3 长期监测宜 1~2 年开展一次，可根据实际情况进行调整。

11.3 制度控制

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。

附录 A

（资料性附录）

地下水修复和风险管控技术适用性

技术分类	技术名称	优点	缺点	适用的目标污染物	地块适用性	技术成熟度	效率	成本	时间	环境风险
异位修复	抽出处理技术	对于地下水污染物浓度较高、地下水埋深较大的污染地块具有优势；对污染地下水的早期处理见效快；设备简单，施工方便	不适用于渗透性较差的含水层；对修复区域干扰大；能耗大	适用于多种污染物	适用于渗透性较好的孔隙、裂隙和岩溶含水层，污染范围大、地下水埋深较大的污染地块。也可用于采空区积水	国外已广泛应用，国内已有工程应用	初期高，后期低	初期中等，后期高	周期较长，需要数年到数十年	低
原位修复	微生物修复技术	对环境影响较小	部分地下水环境不适宜微生物生长	适用于易生物降解的有机物	适用于孔隙、裂隙、岩溶含水层	国外已广泛应用，国内已有工程应用	中	低	周期较长，需要数年到数十年	中
原位修复	植物修复技术	施工方便，对环境影响较小	效果受地下水埋深、污染物性质和浓度影响较大；需考虑植物的后续处理	适用于重金属和特定的有机物	适用于地下水埋深较浅的污染地块	实际工程应用较少	低	中	周期较长，需要数年到数十年	低
原位修复	地下水曝气技术	对修复地块干扰小；设备简单，施工方便	不适用于非挥发性的污染物；可能导致地下水中污染扩散；气体可能会迁移和释放到地表，造成二次污染	适用于苯系物和氯代烃等	适用于具有较大厚度和埋深的含水层	国外已广泛应用，国内已有工程应用	中	中	周期较短，需要数月到数年	中

续表

技术分类	技术名称	优点	缺点	适用的目标污染物	地块适用性	技术成熟度	效率	成本	时间	环境风险
原位修复	化学氧化技术	反应速度快，修复时间短	地块水文地质条件可能会限制化学物质的传输；受腐殖酸含量、还原性金属含量、土壤渗透性、pH变化影响较大	适用于石油烃、酚类、甲基叔丁基醚、氯代烃、多环芳烃和农药等	适用于渗透性较好的孔隙、裂隙和岩溶含水层	国外已广泛应用，国内已有工程应用	高	高	周期较短，需要数月到数年	高
原位修复	化学还原技术	反应速度快，修复时间短	地块水文地质条件可能会限制化学物质的传输；一些含氯有机污染物的降解产物有一定的毒性；部分污染物的还原效果不稳定	适用于重金属和氯代烃等	适用于渗透性较好的孔隙、裂隙和岩溶含水层	国外已广泛应用，国内已有工程应用	高	高	周期较短，需要数月到数年	高
原位修复	双/多相抽提技术	可处理易挥发、易流动的非水溶性液体	效果受地块水文地质条件和污染物分布影响较大；需要对抽提出的气体和液体进行后续处理	适用于石油烃和氯代烃等	不适用于渗透性差或者地下水水位变动较大的地块	国外已广泛应用，国内已有工程应用	高	高	周期较短，需要数月到数年	中
原位修复	热处理技术	修复时间短、修复效率高	设备及运行成本较高，施工及运行专业化程度要求高	适用于石油烃和氯代烃等	适用于低渗透性的孔隙、裂隙含水层	国外已广泛应用，国内已有工程应用	高	高	周期较短，需要数月到数年	中
原位修复	电动修复技术	对修复地块干扰小	易出现活化极化、电阻极化和浓差极化等情况，降低修复效率	适用于重金属、石油烃和高密度非水溶性有机物等	适用于低渗透性的孔隙含水层	工程应用较少	高	高	周期较短，需要数月到数年	低

续表

技术分类	技术名称	优点	缺点	适用的目标污染物	地块适用性	技术成熟度	效率	成本	时间	环境风险
原位修复	监测自然衰减技术	费用低，对环境影响较小	需要较长监测时间	适用于易降解的有机物	适用于污染程度较低、污染物自然衰减能力较强的孔隙、裂隙和岩溶含水层	国外已广泛应用	低	低	周期较长，需要数年或更长时间	低
风险管控	阻隔技术	施工方便，使用的材料较为普遍，可有效将污染物阻隔在特定区域	阻隔效果受地下水中 pH，污染物类型、活性、分布，墙体的深度、长度、宽度，地块水文地质条件等影响	适用于“三氮”、重金属和持久性有机污染物	适用于地下水埋深较浅的孔隙、岩溶和裂隙含水层	国外已广泛应用，国内已有工程应用	高	低	周期较长，需要数年或更长时间	低
风险管控	制度控制	费用低，环境影响小	存在地下水污染扩散风险；时间较长	适用于多种污染物	适用于需减少或阻止人群对地下水中污染物暴露的地块，孔隙、裂隙和岩溶含水层均适用	国外已广泛应用，国内已有应用	低	低	周期较长，需要数年或更长时间	低
风险管控	可渗透反应墙技术	反应介质消耗较慢，具备几年甚至几十年的处理能力	可渗透反应墙填料需要适时更换；需要对地下水的 pH 等进行控制；可能存在二次污染	适用于石油烃、氯代烃和重金属等	适用于渗透性较好的孔隙、裂隙和岩溶含水层	国外已广泛应用，国内已有工程应用	中	中	周期较长，需要数年到数十年	中

附录 B

（资料性附录）

地下水修复和风险管控技术方案编制提纲

1 总论

1.1 任务由来

1.2 编制依据

1.3 编制内容

2 地块问题识别

2.1 地块基本信息

2.2 地块地下水污染现状

2.3 风险评估

3 地下水修复和风险管控模式选择

3.1 确认地块条件

3.2 更新地块概念模型

3.3 确定地下水修复和风险管控目标

3.4 确定地下水修复和风险管控模式

4 地下水修复和风险管控技术筛选

4.1 技术初步筛选

4.2 技术可行性分析

4.3 技术综合评估

5 地下水修复和风险管控技术方案制定

5.1 技术路线

5.2 工艺参数

5.3 工程量估算

5.4 费用和周期估算

5.5 方案比选

6 环境管理计划

6.1 环境影响分析

6.2 二次污染防治措施

6.3 环境监测计划

6.4 环境应急安全计划

7 成本效益分析

7.1 修复和风险管控费用

7.2 环境效益、经济效益和社会效益

8 施工进度安排

9 结论

附录 C

(资料性附录)

地下水修复和风险管控主要涉及的工艺技术参数

技术分类	技术名称	抽出井结构	注入井/加热井/电极结构	监测井结构	抽出/注入/加热影响半径	修复药剂投加比	抽出水量/水处理量	抽出气量/尾气处理量	抽出负压	注入药剂量	注入气量	注入压力	反应时间/降解速率	活性炭用量	污泥产量	目标温度	系统功率	墙体几何参数	墙体材料配比	墙体渗透性
异位修复	抽出处理技术	√	※	√	√	×	√	×	※	※	×	※	√	※	※	×	※	×	×	×
原位修复	微生物修复技术	×	√	√	√	√	×	×	×	√	※	√	√	×	×	×	×	×	×	×
原位修复	植物修复技术	×	×	√	×	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×	×	×	×	×	×
原位修复	地下水曝气技术	※	√	√	√	×	※	※	※	×	√	√	√	※	※	×	※	×	×	×
原位修复	化学氧化技术	×	√	√	√	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	×	※	×	×	×
原位修复	化学还原技术	×	√	√	√	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	×	※	×	×	×
原位修复	双/多相抽提技术	√	※	√	√	×	√	※	√	×	×	×	√	※	※	×	※	×	×	×
原位修复	热处理技术	√	√	√	√	×	√	√	√	×	×	×	√	※	※	√	√	×	×	×
原位修复	电动修复技术	√	√	√	√	×	√	×	※	×	×	×	√	※	※	×	√	×	×	×
原位修复	监测自然衰减技术	×	×	√	×	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×	×	×	×	×	×
风险管控	阻隔技术	×	×	√	×	×	×	×	×	×	×	×	※	×	×	×	×	√	√	√
风险管控	可渗透反应墙技术	×	×	√	×	※	×	×	×	×	×	×	√	※	×	×	×	√	√	√

注：√ 需要，※ 可能需要，× 不需要。

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，目标污染物为三氯乙烯（TCE）、1,2-二氯乙烯（DCE）和氯乙烯（VC），地下水中污染物浓度数据见表 D.1，修复过程污染物浓度变化见图 D.1。

表 D.1 地下水中污染物浓度

阶段	三氯乙烯（TCE）		1,2-二氯乙烯（DCE）		氯乙烯（VC）	
	样品编号	浓度（ $\mu\text{g/L}$ ）	样品编号	浓度（ $\mu\text{g/L}$ ）	样品编号	浓度（ $\mu\text{g/L}$ ）
修复达标初判	1	30	1	48.15	1	93
	2	37	2	48.21	2	82
	3	49	3	48.41	3	52
	4	52	4	48.82	4	19
	5	56	5	49.1	5	6.1
	6	64	6	49.3	6	4.2
	7	60	7	50.1	7	2.8
	8	58	8	49.7	8	1.8
修复效果评估	9	48	9	49.8	9	4.3
	10	42	10	49.9	10	6.1
	11	28	11	49.8	11	4.6
	12	27	12	49.7	12	4.5
	13	14	13	49.7	13	5.3
	14	12	14	49.6	14	3.9
	15	11	15	49.6	15	3.3
	16	10	16	49	16	2.1
					17	1.4
					18	0.85

（1）修复达标初判

根据图 D.1 中修复达标初判阶段（第 1 次~第 8 次）数据，结果表明：

- 三氯乙烯（TCE）浓度一直小于修复目标值，即可初步判断 TCE 达到修复目标。
- 1,2-二氯乙烯（DCE）浓度在修复目标值附近波动，在这种情况下，运用均值检验来评估最终是否达标；运用第 1 次~第 8 次数据计算得到 DCE 浓度均值的置信上限（UCL）为 $49.45 \mu\text{g/L}$ ，低于目标值 $50 \mu\text{g/L}$ ，表明 DCE 达到修复目标值。
- 氯乙烯（VC）浓度迅速达到修复目标值，最后 3 个时间的数据均小于修复目标值，但是第 9 次数据显示浓度有升高的趋势，因此需要运用趋势分析判断是否达到修复目标。根据图 D.2 运用第 1 次~第 8 次数据分析得到的趋势线，证明 VC 达到修复目标值。

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。

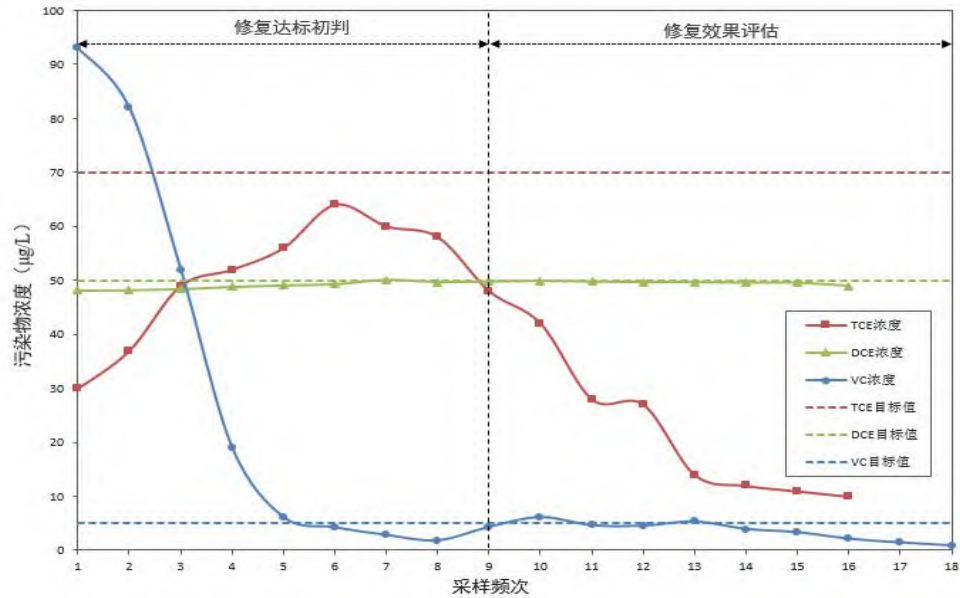


图 D.1 修复过程污染物浓度变化

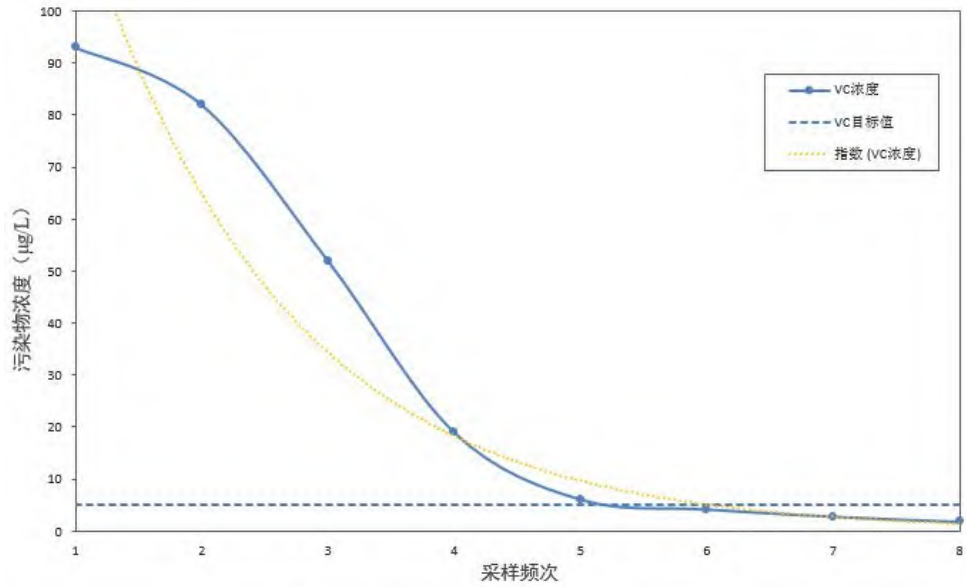


图 D.2 氯乙烯（VC）修复达标初判阶段浓度趋势分析

(2) 修复效果评估阶段

根据图 D.1 中修复效果评估阶段（第 9 次~第 18 次）数据，结果表明：

a) 三氯乙烯（TCE）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 TCE 达到修复目标值。

b) 1,2-二氯乙烯（DCE）浓度中 8 个时间点数据均低于目标值 50 µg/L，浓度较为稳定。运用数据 9~16 进行分析，计算得到 DCE 浓度均值的 UCL 为 49.82 µg/L，低于修复

- 目标值；图 D.3 趋势分析结果显示趋势线斜率显著小于 0，说明 DCE 浓度呈现下降趋势，因此可判断 DCE 达到修复目标值。
- c) 氯乙烯（VC）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，运用数据 9~18 进行分析，计算得到 VC 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 VC 浓度呈现下降趋势，因此可判断 VC 达到修复目标值。

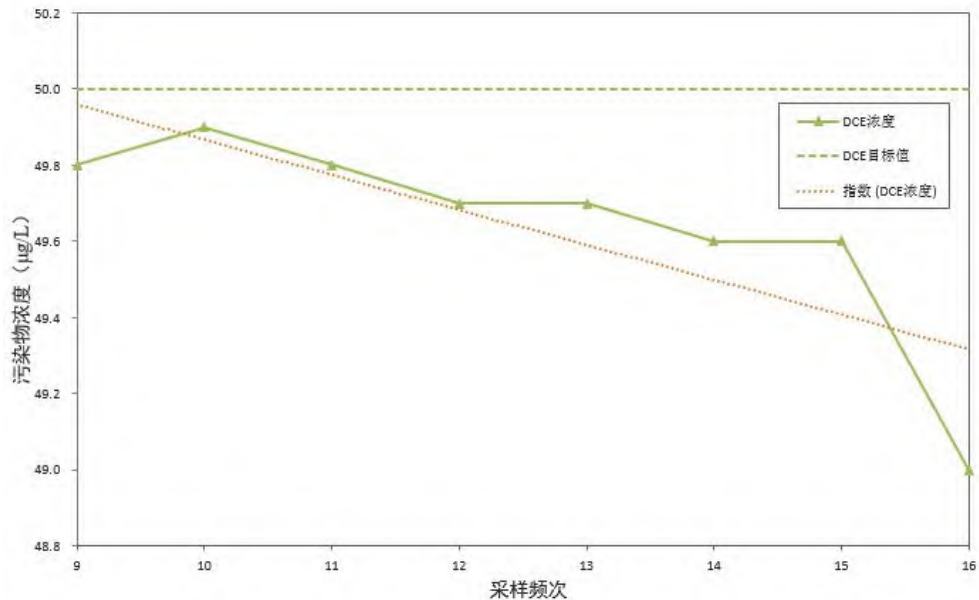


图 D.3 1,2-二氯乙烯（DCE）效果评估阶段浓度趋势分析

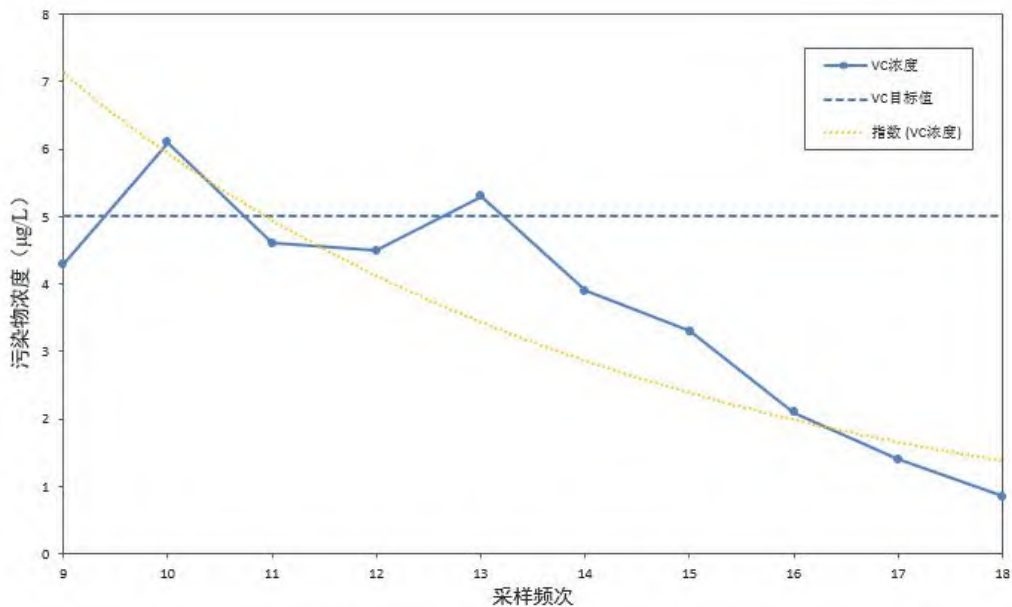


图 D.4 氯乙烯（VC）效果评估阶段浓度趋势分析

附录 E

（资料性附录）

地下水修复和风险管控效果评估报告编制提纲

1 项目背景

简要描述污染地块基本信息，调查评估及修复和风险管控的时间节点与概况、相关批复情况等。

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 修复和风险管控技术方案

3.3 修复和风险管控实施情况

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 布点与采样方案

5.1 评估范围

5.2 采样节点和频次

5.3 布点数量与位置

5.4 检测指标

5.5 评估标准值

6 现场采样与实验室检测

6.1 样品采集

6.2 实验室检测

7 效果评估

7.1 检测结果分析

7.2 修复和风险管控效果评估

8 结论和建议

8.1 效果评估结论

8.2 后期环境监管建议