

附件 5

地下水污染修复（防控）工作指南

（试行）

2014 年 10 月

目 次

第一章 总 则	1
1.1 编制目的	1
1.2 适用范围	1
1.3 编制依据	1
1.4 术语与定义	2
1.5 指导原则	3
1.6 组织编制单位	3
第二章 工作内容和流程	4
2.1 工作内容	4
2.2 工作流程	5
第三章 地下水环境调查	7
3.1 第一、二阶段地下水环境调查	7
3.2 第三阶段地下水环境调查	7
第四章 修复（防控）目标确定	8
4.1 修复（防控）目标确定原则	8
4.2 修复（防控）目标确定方法	8
第五章 修复（防控）技术筛选及方案制定	10
5.1 地下水污染修复（防控）技术筛选	10
5.2 修复（防控）方案确定与比选	13
第六章 修复（防控）工程设计及施工	18
6.1 修复（防控）工程设计与施工要求	18
6.2 修复（防控）工程设计	19
6.3 修复（防控）工程施工	22
第七章 修复（防控）工程运行、维护及监测	25
7.1 运行、维护及监测内容	25
7.2 运行、维护及监测方案	25
7.3 运行、维护及监测实施	29
第八章 修复（防控）终止	32

8.1 修复（防控）工程验收	32
8.2 修复（防控）系统关闭	33
8.3 场地清理	35
8.4 场地恢复	35
8.5 地下水污染修复（防控）工程评估报告编制	35
附录 A(资料性附录)	36
表 A.1 常见地下水污染修复（防控）技术	36
表 A.2 地下水污染修复（防控）技术评价参数表	40
附录 B（资料性附录）t 检验	42
附录 C（资料性附录）地下水污染修复（防控）方案报告大纲	44
附录 D 地下水污染修复（防控）工程评估报告大纲	45

地下水污染修复（防控）工作指南

（试行）

第一章 总 则

1.1编制目的

为贯彻落实《全国地下水污染防治规划（2011-2020年）》，推进我国地下水污染防治工作，增强地下水污染修复（防控）工作的科学性和规范性，依据《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》、《地下水质量标准》（GB/T 14848）及相关法律、法规、标准和文件，编制《地下水污染修复（防控）工作指南（试行）》（以下简称“指南”）。

1.2适用范围

（1）本指南主要适用于因堆积、储存、处理、处置或其他方式造成地下水污染修复（防控）工作。

（2）本指南规定了地下水污染修复（防控）过程中需遵循的指导性原则、程序和技术要求。

1.3编制依据

《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》

《全国地下水污染防治规划》

《关于开展全国地下水基础环境状况调查评估工作的通知》

《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》

GB/T 14848 地下水质量标准

GB 5749 生活饮用水卫生标准

GB 5084 农田灌溉水质标准

GB 8537 饮用天然矿泉水

GB 15618 土壤环境质量标准

GB 3838 地表水环境质量标准

GB 16889 生活垃圾填埋污染控制标准

GB 18598 危险废物填埋污染控制标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

HJ/T 164 地下水环境监测技术规范

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/ 25.4 污染场地土壤修复技术导则

当上述标准和文件被修订时，使用其最新版本。

1.4术语与定义

下列术语和定义适用于本指南。

地下水污染修复（防控）：利用物理、化学或生物等工程或非工程措施与方法，固定、转移、吸收、降解或转化地下水中的污染物，使其含量降低到可接受的水平，或将有毒有害的污染物转化为无害物质的过程。

修复（防控）目标：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（防控）终点。

自然衰减：土壤和地下水环境中自然发生的，能够使污染物数量、浓度、毒性、迁移性、体积降低或减少的作用过程。

制度化控制：通过非工程化的管理措施来限定地下水的使用，限制人群暴露。

工程化控制：采用隔栅或其它固定、覆盖等污染控制措施，确保修复（防控）行动的有效性，消除各种污染介质的潜在暴露途径。

1.5指导原则

（1）规范性原则：采用程序化、系统化方式规范地下水污染修复（防控）过程和行为，恢复地下水使用功能。

（2）可行性原则：针对污染场地环境条件和污染特征，综合考虑地下水使用功能、修复（防控）目标、修复（防控）技术的应用效果、修复（防控）时间、修复（防控）成本、修复（防控）工程的环境影响等因素，合理选择修复（防控）技术，科学制定修复（防控）方案，使修复（防控）工程切实可行。

（3）安全性原则：地下水污染修复（防控）工程的实施应注意施工安全和对周边环境的影响，避免对施工人员、周边人群健康以及生态环境产生危害和二次污染。

1.6组织编制单位

本指南由环境保护部污染防治司组织，环境保护部环境规划院、清华大学、北京建工环境修复股份有限公司、中国科学院地理科学与资源研究所等单位起草编制。

第二章 工作内容和流程

2.1 工作内容

2.1.1 地下水环境调查

地下水环境调查包括第一阶段、第二阶段和第三阶段等三个阶段。通过三个阶段的调查，确定地下水污染范围、程度、特征参数和受体暴露参数等。具体过程参见《地下水环境状况调查评价工作指南》。

地下水污染修复（防控）工作开展的地下水环境调查，为确定地下水污染修复（防控）目标、识别地下水污染修复（防控）的主要参数、制定设计修复（防控）工程方案提供依据。

2.1.2 修复（防控）目标确定

根据地下水环境调查结果，选择适用或适合的技术标准作为修复（防控）目标。对于尚无适用或适合要求的目标污染物及其含量的技术标准，则基于风险制定修复（防控）目标。目标确定需兼顾地下水使用功能和技术经济可行性。

2.1.3 修复（防控）技术比选及方案确定

根据地下水污染修复（防控）目标，分析不同地下水修复（防控）技术的适用性与经济性。利用列表分析法、评分矩阵法等方法，初步筛选地下水污染修复（防控）技术。通过技术可行性评估，确定适宜的修复（防控）技术。针对确定的修复（防控）技术，进行修复（防控）方案比选，确定详细的修复（防控）方案。

2.1.4修复（防控）工程设计及施工

修复（防控）工程设计包括初步设计和施工图设计。初步设计内容包括初步设计说明书、初步设计图纸和工程概算书。施工图设计内容包括设计图纸和工程预算。

工程施工涉及场地准入条件和许可、工程施工服务与监理、工程质量控制管理、施工安全生产与劳动保护等。

2.1.5修复（防控）工程运行及监测

修复（防控）工程设施建成后，需进行长期的运行、监测及维护工作，确保修复（防控）工程的可行性和有效性，主要包括修复（防控）工程的运行和维护、修复（防控）效果的监测与评价、修复（防控）目标可达性评估等内容。

2.1.6修复（防控）终止

通过对修复（防控）工程的监测和效果评估，经环境保护行政主管部门评估审查，关闭和清理修复（防控）系统。

2.1.7修复（防控）过程中的责任分工

地下水污染修复（防控）工作程序中涉及了环境保护主管部门、污染责任方以及第三方实施单位。环境保护主管部门对地下水污染修复（防控）工作实施统一监督管理。污染责任方承担地下水污染修复（防控）的义务，负担有关费用。由于历史原因不能确定地下水污染责任人的，由有关地方人民政府依法负责地下水污染修复（防控），并负担有关费用。受委托开展地下水污染修复（防控）工作的机构应该遵守相关的国家及地方的法律法规。

2.2工作流程

本指南总体工作程序包括地下水环境调查、修复（防控）目

标确定、技术比选及方案确定、工程设计及施工、工程运行及监测、终止等环节。具体工作程序见图 1。

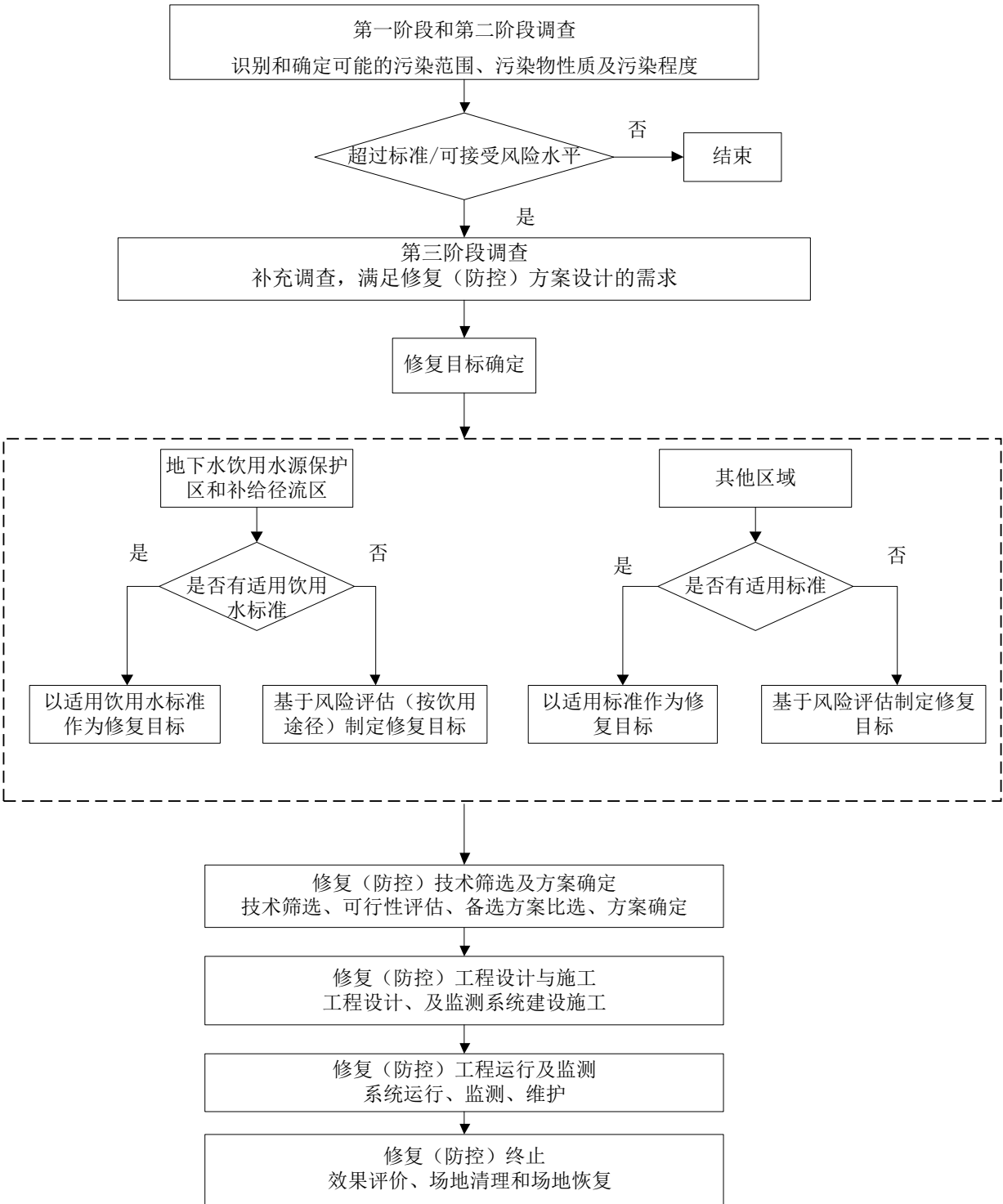


图 1 地下水污染修复（防控）工作程序

第三章 地下水环境调查

3.1 第一、二阶段地下水环境调查

参照《地下水环境调查评价工作指南》。

3.2 第三阶段地下水环境调查

基于第二阶段环境调查结果，针对地下水环境质量超标（由人为污染原因引起的）或风险不可接受的区域，开展第三阶段的地下水环境调查。获得满足识别调查对象及周边区域的特征，界定迁移转化过程，确定受体，提供满足修复技术筛选和工程设计的数据。具体包括：

（1）确定地下水污染的性质和范围，包括污染源、关注污染物、污染羽的范围和体积、污染羽迁移可能性；

（2）调查区地质和水文地质特征：受影响含水层、岩性、深度、含水层类型、地下水流向、地下水排泄位置（如地表水、湿地）；

（3）确认是否存在非水相液体（NAPL）及其位置。

地下水环境调查的具体工作要求参见《地下水环境状况调查评价工作指南》。

第四章 修复（防控）目标确定

4.1修复（防控）目标确定原则

地下水污染修复（防控）目标确定遵循以下原则：

（1）科学合理性原则

综合考虑修复（防控）周期、成本、修复（防控）技术可行性以及对人群健康和环境的影响，科学合理制定地下水污染修复（防控）目标。

（2）功能适宜性原则

考虑不同地下水使用功能制定修复（防控）目标，并考虑用途，包括工业用地、农业用地、居民住宅用地、建筑用地及其他商业用地等。

（3）安全性原则

地下水污染修复（防控）目标的设置应确保修复（防控）后不产生健康和生态环境风险。

4.2修复（防控）目标确定方法

4.2.1地下水饮用水水源保护区和补给径流区

地下水饮用水水源保护区和补给径流区，包括已建成的在用、备用和应急水源，在建或规划的地下水饮用水源地的水源地保护区及其补给径流区等。

选择适用标准作为修复（防控）目标。适用标准选择按照以下优先顺序：

（1）适用标准：《地下水质量标准》（GB/T 14848）中Ⅲ类标准。

(2) 相关适合标准：如果地下水修复（防控）后用于饮用水使用，且《地下水质量标准》（GB/T 14848）中缺乏目标污染物标准时，可参考《生活饮用水卫生标准》（GB 5749），及美国环境保护署（USEPA）或世界卫生组织（WHO）发布的相关饮用水质量标准。

(3) 若无相关标准，按照饮用地下水的暴露途径计算地下水风险控制值。

4.2.2 其他区域

(1) 具有农田灌溉、矿泉水等功能区域地下水，采用相关的标准（《农田灌溉水质标准》、《饮用天然矿泉水标准》）制定修复（防控）目标。地下水污染影响了地表水环境质量，由地表水环境功能要求，采用地下水污染模拟预测结果，计算地下水污染修复（防控）目标。

(2) 不具有饮用、灌溉等地下水使用功能且不影响地表水环境功能的地下水污染修复（防控）区域，采用风险评估方法，确定基于风险的修复（防控）目标。

风险评估模型可采用《场地风险评估导则》和《地下水污染健康风险评估工作指南》中的模型。根据以上所确定的场地参数、污染物毒理学和暴露参数等，由污染物可接受风险水平推算地下水污染修复（防控）目标。推荐单种污染物可接受的非致癌危害商为 1，可接受的致癌风险水平为 10^{-6} 。

第五章 修复（防控）技术筛选及方案制定

5.1地下水污染修复（防控）技术筛选

5.1.1技术筛选原则

地下水污染修复（防控）技术筛选遵循以下原则：

（1）技术有效性原则

选择的修复（防控）技术能够有效降低污染物的毒性、迁移性或污染物浓度。

（2）经济合理性原则

选择的修复（防控）技术应具有合理性，并考虑修复（防控）成本的可承受性。

（3）技术安全性原则

选择的修复（防控）技术符合相关的法律、法规和行业标准；修复（防控）施工不会对施工人员、周边人群健康以及生态环境产生危害。

（4）可实施性原则

选择的修复（防控）技术应具有许可及施工、运行、维护等技术和管理方面的可实施性。

5.1.2技术特性分析

收集现有成熟的地下水污染修复（防控）技术资料，分析各技术优缺点、适用条件和适用范围等内容。部分技术参见附表A.1。

5.1.3 修复（防控）技术筛选

初筛过程主要考虑因素为污染区域的污染特征、环境（土壤和地下水）特性、修复（防控）技术成熟度、有效性、成本和周期等。

根据附表 A.1、A.2 中常见地下水污染修复（防控）技术评价参数，采用列表分析法或评分矩阵法等方法进行比较分析，提出至少 3 种修复（防控）技术，进行下一步可行性评估。

5.1.3.1 列表分析法

根据污染区域的污染特征，结合附表 A.1、A.2，初步筛选修复（防控）技术。列表比较分析各修复（防控）技术适用污染物、适用条件、主要技术经济指标、技术应用的优缺点，确定至少 3 种修复（防控）技术，进行下一步可行性评估。

5.1.3.2 评分矩阵法

表 1 修复（防控）技术矩阵评分法

因子	技术可接受性		成熟度		有效性		修复时间		修复费用		环境影响			
权重														
评分	评分	评述	评分	评述	评分	评述	评分	评述	评分	评述	评分	评述	总分	备注
技术 1														
技术 2														
。 。 。														

表 1 中技术可接受性得分主要考虑调查对象现在的使用功能与国家相关法律法规要求、公众可接受性等。其它各项因子得分可参考附表 A.1 和 A.2，其中修复时间和修复费用可根据实际调查对象的具体情况确定。可以使用技术组合进行技术初筛。

根据地下水污染修复区实际条件，确定表 1 中各指标的权重，权重总值为 1。各指标按 1-5 分赋值。每项技术的总分为将各因子权重与分值乘积加和，总分越高表明该技术越有利于在该修复对象中应用，选择得分较高的至少 3 种修复（防控）技术，进行下一步可行性评估。

5.1.4 修复（防控）技术可行性评估

地下水污染修复（防控）技术可行性评估可采用实验室小试、现场中试和模拟分析评估等方式。

5.1.4.1 实验室小试

模拟污染场地的水文地质条件，制定实验室试验方案。针对初步筛选的技术，开展室内试验，用以评估地下水污染修复（防控）技术的效果，确定地下水污染修复（防控）技术的关键参数。

5.1.4.2 现场中试

若对地下水污染修复（防控）技术适用性不确定，条件允许时，应在污染场地现场开展技术验证的中试试验，验证实际修复（防控）效果，评估技术的适用性，明确工程管理要求和制定二次污染防范措施等。

现场中试应根据修复（防控）模式、修复（防控）技术特点，结合场地条件、污染物类型和空间分布状态，选择至少 3 种的不同修复（防控）单元开展中试，一般要求每个单元面积不低于 1600m²，加油站等地下水污染面积较小的，可以适当减少中试面积。

5.1.4.3 模拟分析评估

基于构建的地下水污染概念模型，选择特征污染物作为模拟

因子,利用确定性模型或数值模拟模型,评估地下水污染修复(防控)技术的有效性,筛选适用的地下水污染修复(防控)技术。

5.1.5确定修复(防控)技术

通过分析比较所筛选的地下水修复技术优势与不足,开展技术可行性评估,选择和确定修复技术,制定修复(防控)方案。

5.2修复(防控)方案确定与比选

5.2.1备选修复(防控)方案内容

根据选择的地下水污染修复(防控)技术,制定地下水修复备选方案。主要包括:

- (1) 修复(防控)技术的工艺参数;
- (2) 修复(防控)工程规模;
- (3) 修复(防控)计划及时间进度安排;
- (4) 目标可达性分析(包括分项目标和总体目标),预期效果评价及风险分析;
- (5) 投资估算与资金筹措、投资-效益分析;
- (6) 安全生产与劳动保护措施;
- (7) 环境影响分析,包括修复(防控)期间对周围居民及生态环境的影响等;
- (8) 二次污染防治措施;
- (9) 场地恢复、场地目前和将来的用途。

5.2.2备选修复(防控)方案内容要点

备选修复(防控)方案内容具体要点包括:修复(防控)方案中的具有详细工艺、修复(防控)规模、时间要求、修复(防控)程度、监测方案、效果评估方案、投资估算及安全生产、劳

动保障、环保措施等。

（1）修复（防控）工艺参数

地下水污染修复（防控）技术的工艺参数应该通过总结实验室小试和现场中试结果确定。工艺参数包括但不限于技术类型与修复流程，修复材料性能指标与用量，装备类型与能力，修复（防控）需要时间、条件、能耗，工程占地面积等。

（2）修复（防控）工程量确定

根据确定的修复（防控）技术或技术组合方案，结合工艺流程和参数，以及污染物种类、污染程度、修复（防控）范围及修复（防控）目标等确定修复（防控）工程量。

估算修复（防控）工程量时，应以每种目标污染物的浓度等值线图为基础，以修复（防控）目标为依据，采用专业软件或估算等方法进行。对于复合型污染，应将每种目标污染物的浓度等值线图进行叠加。

（3）修复（防控）工程设计

修复（防控）工程设计分为初步设计和施工图设计两个阶段。工程施工在修复（防控）工程设计基础上执行。具体内容参考本指南 6.2 节与 6.3 节。

（4）修复（防控）工程运行及监测

地下水污染修复（防控）工程运行及监测目的是确保修复（防控）工程的可行性和有效性。运行及监测的内容、方案及其实施过程参考本指南第七章。

（5）修复（防控）终止

修复（防控）终止前应对修复（防控）效果进行评估，修复

（防控）效果评估原则、目标及方法参考本指南第 8.1 节。修复（防控）系统关闭、场地清理、场地恢复及相关工程评估报告编制等内容参考 8.2-8.5 节。

5.2.3 备选修复（防控）方案比选

基于以下各项内容对修复（防控）方案进行比选，比较各方案的优劣项，确定最佳修复方案。

（1）符合国家、地区和行业的相关法律法规及标准

修复（防控）方案是否符合相关的国家、地区和行业法律、法规和标准。

（2）公众健康与环境保护

修复（防控）方案降低地下水污染对公众健康的风险，提高环境保护水平。

（3）修复（防控）有效性

筛选方案时，应当比选所筛选不同技术的有效性，包括：降解、固定或处置有害物质的数量，降低污染物毒性和活性的程度，污染物降解/分解/转化的不可逆水平，修复（防控）后残存物的类型和数量等。优选能够有效去除有毒污染物、减少污染总量、防止污染物向受体迁移的技术方案。

（4）可实施性

可实施性是指修复（防控）过程获得许可及施工、运行维护等在技术和管理上的可行性。包括技术上和管理上的可实施性。比选技术可实施性，包括修复（防控）过程中，施工和运行是否满足技术规范的要求，以及技术的不确定性、实现目标的可能性、技术问题造成修复（防控）工程延期的可能性和未来增加修复（防

控)行动的可能性。

管理可实施性包括是否获得相关部门的许可,社区的接受程度,施工的各类保障条件(工程服务、设备、材料和人力资源等)。

(5) 工程投资估算

为确保不同技术方案工程投资的可比性,由具有资质的专业投资评估单位负责工程投资估算。参照现行有关规范、规定以及有关工程资料,明确投资估算范围和投资估算依据(包括国家、相关行政主管部门及地方制定的投资估算指标和基价等)。比较不同技术方案所需的工程及投资规模,主要包括:

a) 基建投资

(i) 建筑工程费:包括和项目相关的土建建设、设备购置及配套设施;

(ii) 其它费用:包括和项目相关的无形及递延资产;

(iii) 预备费:即基本预备费。

b) 运行维护费

项目建成后的运行、监测、维护费用。须涵盖资金筹措方式与来源。

(6) 劳动保护与环境影响

比较修复(防控)系统建设或运行过程中对人体健康和环境的可能影响,评价因素包括残存的风险水平和风险来源,同时评价劳动保护措施和风险规避措施的有效性及可靠性等。

(7) 公众接受度

通过不同渠道获得公众对修复(防控)技术方案所关注的要点,以及对不同技术方案的接受程度。

5.2.4修复（防控）方案确定

综合分析和比选不同备选修复（防控）技术方案的优势和劣势，识别不确定因素对技术有效性影响，确定地下水修复（防控）方案。

（1）保护公众健康与环境，符合国家、地区和行业相关法律法规和标准是备选技术方案的必备条件。

（2）修复（防控）有效性、可实施性、工程规模与投资是综合分析的关键，也是决策的核心。

（3）公众的接受度的评价可在公示后进行。在综合分析的基础上，确定最优技术方案。

（4）技术上选择治理效果好，环境效益明显，无二次污染的环境友好技术；在满足技术有效性、目标可达的前提下，选择经济合理的修复（防控）方案。

编制修复（防控）方案报告，修复（防控）方案评估报告编制的主要目的是记录该筛选和评估过程，以便设计人员能够把握选择方案的过程。方案评估报告提供各种方案的全面比较，并推荐最优方案。报告大纲见附录 C。

第六章 修复（防控）工程设计及施工

6.1修复（防控）工程设计与施工要求

6.1.1工程设计与施工从业资格要求

施工企业、勘查单位、设计单位及工程监理单位应当具备下列条件：

- （1）具有中华人民共和国境内注册的独立法人资格；
- （2）具有相应等级的资质证书；
- （3）配备持有相应的执业资格证书的专业技术人员；
- （4）具有从事相关工程所应有的技术装备；
- （5）符合法律、行政法规规定的其他要求。

6.1.2工程设计与施工总体要求

- （1）设计与施工符合国家和地区法律、法规要求；
- （2）施工前，修复（防控）技术方案与工程设计要经地（市）级以上环境主管部门审批通过；
- （3）具备场地准入及施工许可；
- （4）配备污染区域相关图件，详细标注污染空间分布，修复（防控）规模、范围，处理单元的位置，场地修复（防控）设施分布情况，施工完成后运行、监测和维护系统的位置，修复（防控）活动可能影响到的湿地、河流及生物栖息地等；
- （5）制定初步运行、监测和维护计划，并设计监测系统；
- （6）设计应考虑防止修复（防控）工程实施过程中污染物在环境介质之间的转移；

(7) 修复（防控）工程设计与施工须配有详细的记录，以备核查；

(8) 制定保障施工人员与周围居民的健康和安全计划；

(9) 修复（防控）工程可能对其它生物资源产生影响时，应制定详细的环境保护措施。

6.2修复（防控）工程设计

地下水污染修复（防控）工程设计分为初步设计和施工图设计两个阶段。对于突发事件导致的污染场地修复（防控）工程设计，且合同中无初步设计的约定，经环境主管部门同意，可在方案确定后直接进入施工图设计阶段。

各阶段设计文件编制应按如下原则进行：

(1) 初步设计文件应满足编制施工图设计文件的需要；

(2) 施工图设计文件应满足设备材料采购、非标准设备制作和施工的需要，对于将项目分包给几家设计单位或实施设计分包的情况，设计文件相互关联处的内容应当满足各承包或分包单位设计的需要。

此外，工程设计中还应附加与场地地下水修复（防控）相关的工程技术文件，包括安全和健康计划、废物管理计划、质量保证计划、监测取样计划、意外事故应急计划、施工进度规划以及与修复（防控）工程有关的其它要求，可以视具体情况采用不同格式编写。

6.2.1初步设计

初步设计包括总体设计、各专业设计、环境保护措施设计和工程概算，形成初步设计文件，包括设计总说明、各专业设计说

明和设计图纸、工程概算书。

6.2.1.1 设计总说明

设计总说明内容包括工程设计的主要依据、工程建设规模和设计范围。

工程设计的主要依据：（1）国家政策、标准和规范；（2）政府有关主管部门批准的批文、可行性研究报告、立项书、方案文件等。

工程建设规模和设计范围包括工程的设计规模、设计范围与分工。设计所需要的基础资料有：（1）场地所在的区域位置、气候气象、水文地质、地形地貌；（2）污染特性及分布范围；（3）修复（防控）总体目标、分项目标等；（4）周围居民区、学校、公共设施等分布情况，周边运输条件；（5）场地附属建/构筑物；（6）场地当前和未来可能的用途等。

提请在设计审批时需解决或确定的主要问题有：（1）有关规划（城市建设、土地利用、水资源利用等）和能源供应的协作问题；（2）工程规模的校核、总概算（投资）中存在的问题；（3）设计选用标准方面的问题；（4）主要设计基础资料、施工条件落实情况等影响设计进度和设计文件批复时间的因素。

6.2.1.2 各专业设计

包括设计说明书、设计图纸、主要设备表、计算书等。

6.2.1.3 环境保护措施

制定降低地下水污染修复（防控）工程对场地及周围居民和环境影响的防范措施，设计修复（防控）工程设施过程中产生的二次污染、残余废物的处理措施/设施。

6.2.1.4 工程概算

工程概算的编制依据有：（1）国家有关建设和造价管理的法律、法规和方针政策；（2）批准的建设项目设计任务书；（3）初步设计项目一览表；（4）能满足编制设计概算的各专业经过校审并签字的设计图纸（或内部作业草图）、文字说明和主要设备表；（5）当地主管部门的现行建筑工程和专业安装工程的概算定额（或预算定额、综合预算定额）、单位估价表、材料及构配件预算价格、工程费用定额和有关费用规定的文件资料等；（6）现行有关设备原价及运杂费率；（7）现行有关其他费用定额、指标和价格；（8）污染场地自然条件和施工条件；（9）类似工程的预算及技术经济指标。

总概算项目应按费用划分如下几个部分：（1）工程费用；（2）预备费；（3）固定资产投资方向调节税；（4）施工期贷款利息；（5）其他费用。

6.2.2 施工图设计

施工图设计阶段，应绘制合同要求所涉及的所有专业的设计图纸。当合作设计时，应依据主设计方审批的初步设计文件，按所分工内容进行施工图设计。

6.2.2.1 设计图纸、主要设备表和计算书

设计图纸包括处理系统各单元的详细设计，确定工程具体的构筑物尺寸、材料、设备规格和数量、工程量、辅助设施、堆放场规划等，并绘制设计图纸。

主要设备表包括主要设备或仪表名称，处理系统的附件/配件规格、各项技术参数，单位和数量等。

计算书根据初步设计审批意见进行设计计算，视工程繁简程度，按照国家有关规定、规范及本单位设计措施进行计算。采用计算机计算时，应注明软件名称，并附相应简图及输入数据。

6.2.2.2 工程预算

（1）编制依据为国家有关法律、法规、方针政策，现行定额、指标和价格，场地的自然条件和施工条件等。

（2）文件内容包括单位工程预算书，总预算书，工程量清单。编制工程预算时，还应进一步校核污染介质规模，预计可能的不确定性因素的影响。

6.2.3 工程设计检验

工程设计过程中，通常应进行设计检验。设计检验的目的是确保工程设计充分满足各项规范要求，提高设计可信度，并且将不可预料的设计变动减小到最低限度。按工程设计一般要求进行检查，指出修复（防控）工程技术中的不足或缺陷，并提出修改意见。

6.3 修复（防控）工程施工

6.3.1 场地准入条件与许可

项目开工前，应获得施工许可证，申请领取前应当具备下列条件。（1）已经确定工程施工单位；（2）具备满足施工需要的施工图纸及技术资料；（3）具备保证工程质量和安全的具体措施；（4）建设资金已经落实；（5）满足法律、行政法规规定的其他条件。

6.3.2 工程施工服务与监理

修复（防控）工程开始后，应指派现场工程师、投资方代表、

工程监理参与场地修复（防控）工程的实施。现场工程师负责按照施工图组织施工，负责工程质量和进度，解决施工过程中出现的技术与工程问题。投资方代表负责联络、协调投资者和承包方，检查并批准工程承包方所要求的现场设计变更。工程监理主要负责检查相关设计材料（主要是施工图），检查施工进度和质量，对现场作业进行全面监理并指导最后的工程验收。

工程监理单位由投资方委托，应订立书面委托监理合同。依照行政法规及修复（防控）有关的技术标准、设计文件和工程承包合同，工程监理代表投资方对承包单位在施工质量、建设工期和建设资金使用等方面实施监督。工程监理认为工程施工不符合工程设计要求、施工技术标准和合同约定时，有权要求施工企业改正，当工程监理发现工程设计不符合修复（防控）工程质量要求时，应当要求设计单位改正。

6.3.3 工程质量控制管理

施工必须按照工程设计图纸和施工技术标准施工。工程设计的修改由原设计单位负责，施工单位不得擅自修改工程设计。为确保工程质量，所有用于工程有关材料都必须符合国家有关规定要求，具有材质证明或试验证明材料，并于材料使用前报监理工程师同意并备案。对每个进入场地的施工人员，均要求达到一定的技术等级，具有相应的操作技能；特殊工种必须持证上岗，并定期进行复检。

6.3.4 施工安全生产与劳动保护

地下水污染修复（防控）工程施工单位应对设计和施工过程的健康安全问题进行评价，指出与场地污染物及处理过程二次污

染有关的危害。安全生产与劳动保护措施的内容包括工程目标、场地控制、药剂需求、工作危险分析、保护措施和设备、监测策略和行动水平、污染排除以及应急预案等。

应急预案包括日常操作和维护检查过程、意外事故处理过程、预防程序、隔离/保护措施，应详细说明如何识别意外事故或紧急情况，一旦发生紧急意外事故当地政府机构、居民应采取的措施等。

第七章 修复（防控）工程运行、维护及监测

7.1 运行、维护及监测内容

地下水污染修复（防控）工程运行及监测的目的是确保工程的有效性和目标可达性，其主要内容如下：

- （1）运行和维护修复（防控）工程系统；
- （2）定期检查和评估地下水修复（防控）效果；
- （3）确保制度化控制等措施的有效性；
- （4）监测并报告修复（防控）系统运行情况；
- （5）根据修复（防控）系统运行情况调整修复（防控）目标和修复（防控）方案；
- （6）当能够实现预期修复（防控）目标时，预测修复（防控）工期。

7.2 运行、维护及监测方案

污染场地分为应急修复（防控）场地和长期修复（防控）场地。其中长期修复（防控）场地包括以下几种情况：

- （1）修复（防控）中需要工程化控制/制度化控制；
- （2）需要开展监测自然衰减；
- （3）要求监控地下水污染羽流；
- （4）要求定期采样分析，以证实场地介质（地下水、地表水、沉积物、生物或其他）中污染物的削减。

不同类型污染场地所需的运行、监测及维护要求不同。

对于长期修复（防控）场地，需根据场地特点编制专门的运行、维护及监测指导手册，具体包含监测计划、意外事故应急预

案、健康及安全保障计划、记录表、修复（防控）设备操作及维修手册、零部件购买地点、设备编号等。场地条件变化或调整运行、维护及监测方法时，应及时更新指导手册的内容。长期修复（防控）场地的监测计划包括：（1）监测采样井位置及样品数，采样井包括所有的供水井、自备井与其它井等；（2）所有监测井的日常观测记录；（3）采样频率；（4）地下水样品的分析项目和分析方法；（5）质量保证/质量控制措施；（6）监测井的检查及维护要求；（7）监测井的关闭和处置。

应急修复（防控）场地不要求制定详细的监测计划和年度报告，但要求制定应急预案并提交应急响应报告，需要对所有监测井中的污染物进行采样分析，两轮采样间隔不少于6个月；不需要制定运行、维护及监测指导手册，但需要编制设备目录，包括设备名称、用途、操作及维修步骤等。

监测计划包括运行工况监测、有效性监测和趋势监测。基于监测类型、场地位置和特性及修复（防控）行动，制定相应的监测计划。不同类型污染场地的监测计划要求不同。

7.2.1运行工况监测

运行工况监测主要针对工程运行的相关参数，确保工程运行与设计的一致性，主要内容包括：

- （1）监测污染地下水的范围与体积；
- （2）监测地下水水位，确定地下水流通道，评价地下水污染修复（防控）工程的运行状况；
- （3）评价运行工况监测的结果，如果数据显示系统运行不正常，则须对系统进行维修或调整。

7.2.2 有效性监测

有效性监测是指对环境介质定期进行分析，对污染项目、地下水水位、水温、水量及其他相关指标进行监测。监测频率原则上为每月一次，获取系列监测数据，评价修复（防控）目标的可达性。

7.2.2.1 地下水污染修复（防控）工程的有效性监测

（1）布设地下水监测网，以评价修复（防控）区域上、下游地下水污染物的动态变化；

（2）监测网尽可能覆盖重点修复（防控）区域。

7.2.2.2 自然衰减的监测

对于自然衰减，需布设地下水监测系统，以监测修复（防控）过程中污染羽流的污染特性和运移过程，获得校准污染羽流降解评价模型的数据序列，评价自然衰减的有效性。

（1）监测井设置应满足以下要求：a）污染源区至少设置 1 口监测井，用于监测源区的污染羽流；b）污染源区下游的污染羽流内至少设置 1 口监测井；c）地下水污染羽流前缘的下游至少设置 1 口控制井；d）在污染羽流的中心线上至少设置 3 口监测井；

（2）自然衰减的监测井应进行季度采样，完成 8 个季度的采样；

（3）对数据进行分析，在年度报告中评价自然衰减效果。

7.2.2.3 污染羽流监测

无论人工修复（防控）还是自然衰减，都应通过建立监测网，对污染羽流进行监测，并确定监测污染羽流的范围以及与敏感受

体的关系。通常在污染羽流迁移路径上布设监测井，按季度连续采样，采样周期不少于 8 个季度。其监测要求如下：

（1）将地下水污染详细调查的所有监测井作为修复（防控）工程运行的监测井；

（2）根据地下水动态及模型分析，在污染羽流前缘向下游运动 2~3 年的距离上至少布设 1 口控制监测井；

（3）一旦控制监测井中检测到污染物，须增设监测井，按照校核的模型预测结果确定井距；

（4）根据污染羽流趋势分析结果，可以减少上游采样频率；

（5）一旦羽流到达了排泄点，应根据场地特定条件，进一步对监测网进行修正。

根据污染羽流监测结果，及时调整修复（防控）策略。如到达排泄点之前，污染羽流已经稳定，则采用监测自然衰减技术。

7.2.3 趋势监测

如果有足够的定性与定量数据信息，应进行趋势监测，以更好地分析修复（防控）工程对污染控制是否有效，判断修复（防控）目标是否可达。条件允许的情况下，可对地下水污染修复（防控）效果进行模拟预测并结合监测结果进行验证。地下水质量变化趋势分析的监测要求包括：

（1）每个季度监测 1 次，持续八个季度；

（2）若监测值未表现出明显的污染趋势变化，则可减少监测采样频率。

利用图形对趋势进行直观分析，包括污染物水平和垂向浓度等值线图、时间序列图、不同流线上的各监测井与污染物浓度图

等。为了量化直观分析中可能产生的不确定性，可以使用统计学检验来将数值结果转化为概率和可靠性的客观陈述。以下给出了修复（防控）监测中常用的统计学检验方法。

（1）污染物浓度是否有代表性：置信区间计算；

（2）污染物浓度变化是否明显存在随时间变化的趋势：
Mann-Whitney 检验（U 检验）或 Mann-Kendall 检验。如果连续 8 个季度的地下水监测结果的 **Mann-Whitney 检验** 表明污染物没有明显下降趋势，则可能预示需要改变修复（防控）技术方案；

（3）监测数据是否高于修复（防控）目标值：**t 检验**；

如果监测结果显著低于修复（防控）目标值或差异不显著时，则达到验收标准。

7.3 运行、维护及监测实施

7.3.1 检查与评估

每年对修复（防控）工程的例行的检查和评估应不少于 1 次。当场地出现影响修复（防控）工程运行的重大事件时，如气候变化或系统运行故障等事件，应及时进行检查和评估。

（1）为确保系统运行及监测工作持续有效进行，应根据场地特性制定检查方案，包括如下内容：

- a) 检查正在实施的运行、维护及监测系统，确保符合要求；
- b) 评估场地条件，包括场地本身、场地建筑物及处理系统；
- c) 评估指导手册实施情况及进度；
- d) 检查场地记录是否及时、全面；
- e) 检查制度化控制的实施情况；
- f) 进行公众健康及安全检查。

(2) 对检查结果和场地监测数据进行年度评估，应包括如下内容：

- a) 评估场地修复（防控）的目标可达性；
- b) 评估系统运行状况及有效性，识别修复（防控）系统需要维修或调整的单元；
- c) 记录场地修复（防控）和/或监测系统的调整情况；
- d) 在评估基础上提出调整意见或得出新的结论；
- e) 向公众发布场地修复（防控）的相关信息。

7.3.2 运行、维护及监测结果报告

7.3.2.1 阶段性结果报告

阶段性报告分为月报告、季度报告和半年度报告。主要内容及要求包括：

- a) 如果修复（防控）系统含有现场运行设备，应报告该阶段内设备的运行天数、阶段及累计处理量等；
- b) 以图表的形式表示污染物的分析结果，并在相关图件中标注各阶段监测点位和重要数据；
- c) 处理系统污染物削减总量；
- d) 例行维护及检查表；
- e) 系统故障和/或维修记录，并附说明；
- f) 结论、意见和建议。

7.3.2.2 年度结果报告

年度结果报告应包括所有阶段性监测报告及全年监测结果，并给出结论和建议，具体包括：

- a) 区域和场地位置图；

- b) 污染区域的地下水位等值线图、污染物浓度等值线图;
- c) 所采用检测方法的简要说明;
- d) 所有阶段性数据及相关结论和意见;
- e) 利用工程化控制和处理系统进行修复（防控）的场地，
应基于阶段性的报告，给出工程方面的结论、意见和建议。

第八章 修复（防控）终止

8.1 修复（防控）工程验收

地下水污染修复（防控）工程验收应由地（市）以上环保主管部门组织开展。验收前应进行修复（防控）效果评估，判断修复（防控）目标是否实现。

8.1.1 修复（防控）效果评估监测井设置

评估修复（防控）效果的监测井应不低于 6 口。验收监测井应根据地下水的流向进行设置，其中修复（防控）工程所在区域的地下水上游不少于 1 口，修复（防控）工程区内不少于 3 口，修复（防控）工程所在区域的地下水下游不少于 2 口。

验收的监测井可以利用地下水环境调查和修复（防控）工程运行中建设的监测井，但其数量一般不应超过验收监测井总数的 60%，新建监测井布设在地下水环境调查确定的污染最严重的区域，或者根据不同类型的修复（防控）工程进行合理的布设。未通过验收前，应保持地下水验收监测井完好。

8.1.2 修复（防控）效果监测验收方法

地下水污染修复（防控）工程验收时，可采用逐个对比法或 t 检验的方法判断场地是否达到验收要求。

（1）当修复（防控）区域的面积小于或等于 10000 m^2 时，应采用逐个对比法进行评价。当检测值低于目标值时，达到验收要求；当检测值高于或等于目标值时，未达到验收要求。

（2）当修复（防控）区域的面积大于 10000 m^2 时，当低于

检测限的样本数占总样本数的比例较小（<25%）时，应采用 t 检验（见附录 B）的方法进行评价；当低于检测限的样本数占总样本数的比例较大（ $\geq 25\%$ ）时，应采用逐个对比法进行评价。

8.2修复（防控）系统关闭

8.2.1修复（防控）系统关闭条件

经监测与评价，地下水修复（防控）工程出现如下情况之一可关闭修复（防控）系统：

- （1）修复（防控）效果达到验收标准；
- （2）从技术或经济上考虑，继续修复（防控）可行性不大时，即使修复（防控）目标尚未完全实现，环境主管部门可依据场地具体情况，要求关闭系统；
- （3）当自然衰减监测系统、污染羽流监测系统分别满足 8.2.2 和 8.2.3 所述条件时，可关闭系统。

修复（防控）系统关闭前，需报环境主管部门审批；环境主管部门根据修复（防控）工程运行情况，判定是否关闭系统。

8.2.2自然衰减系统

若监测结果表明，自然衰减技术能够完全实现修复（防控）目标，可通过系统的长期监测及其他污染控制手段，确保自然衰减达到修复目标。当达到修复目标后，修复系统还需继续运行一段时间，直至地下水水质稳定达标后关闭。

根据污染物分布状况、污染物本身特性及场地环境条件，通过测定以下指标进行自然衰减系统的效果评估：

- a) 污染物总量，包括自由相、残留相和溶解相；
- b) 地下水溶解氧、硝酸盐、二价铁离子、硫酸盐、甲烷等

含量和氧化还原电位等；

- c) 土壤或地下水中的微生物特性；
- d) 地下水动力学条件（流向、流速、水位）；
- e) 其它必要的资料。

8.2.3 污染羽流监测系统

根据地下水监测结果，辅以数学模型模拟，预测污染羽流的变化趋势。当满足如下条件之一时可终止污染羽流监测：

（1）污染羽流本身满足不需要监测的条件，具体条件如下：

a) 污染羽流最终排泄到地表水体，地表水体具有足够的环境容量，不会对鱼类、野生动植物资源、环境及公众健康造成风险；

b) 通过污染物转化归宿分析及建立迁移模型，论证敏感受体可接受性，结果表明污染羽流对敏感受体的影响降低到可接受的范围。

（2）当出现下列情况时，需实施另一种修复（防控）策略：

a) 现场数据表明敏感受体可能受到威胁；

b) 先前未识别的敏感受体正在受到威胁；

c) 污染物降解产物比原污染物具有更高的迁移特性和更大的危险性。

8.2.4 修复（防控）系统的关闭和后续监控

项目负责人在关闭系统前，需向环境主管部门提交申请，经批准后方可实行。修复（防控）系统关闭后，仍然需要对工程化控制或制度化控制系统进行监控，或实施额外的地下水监测计划来跟踪污染羽流。

8.3场地清理

地下水污染修复（防控）工程完成后，满足下列条件之一时，应对修复（防控）系统进行清理。

- （1）场地修复（防控）系统已关闭；
- （2）制度化控制或工程化控制不再继续实施。

8.4场地恢复

除非经过当地环境主管部门和其他相关部门的同意，否则应将修复（防控）工程区域尽可能恢复到工程实施前的状态，如地形、水文、植被等。

恢复时应考虑：

- （1）用于场地地形恢复的填充材料应满足场地修复（防控）后的环境标准，不含放射性废物或固体废物。填充材料的质量报告（包括采样、分析和检测报告）应一并提交当地环境主管部门；
- （2）未被污染的土壤应回填到场地原来位置或进行合理处置。

8.5地下水污染修复（防控）工程评估报告编制

地下水污染修复（防控）工程完成后，应撰写修复（防控）工程评估报告，报环境主管部门备案。修复（防控）评估报告大纲见附录 D。

附录 A
(资料性附录)

表 A.1 常见地下水污染修复（防控）技术

技术	优点	缺点/适用性	发展历程	技术联用	效率	时间	治理成本	环境风险
监测自然衰减技术	费用低于其他技术；不产生二次污染，对生态环境干扰小	适用于污染程度较低、污染物自然衰减能力较强的区域；实施前需要详细评估地下水自然衰减能力，后期需要较长监测时间	90 年代开始应用，目前应用较为普遍	可与多种原位处理技术联用	低到中	较长	低	低
阻隔技术	泥浆墙施工相对简单，使用的泥浆及回填材料也较为普遍，可有效将污染物阻隔在特定区域中	泥浆墙深度受一定限制，泥浆墙底部须进入到低渗透性土层（比如粘土）足够深度，一般情况下需要与地下水抽出处理系统联用；效果受地下水中酸碱组分、污染物类型、活性、分布、墙体的深度、长度和宽度、场地水文地质条件等影响	80 年代开始应用	可与抽出处理技术联用	较高，可以有效阻隔地下水污染	较长	低到中	低
抽出处理技术	适用范围广；对于污染范围大、污染羽埋藏深的污染场地治理具有优势；系统运行初期的污染物去除率较高；设备简单易于安装	一般仅适用于渗透性较好的含水层；修复周期较长；对修复区干扰大；可能导致地下水资源的浪费；非水相液体难以清除干净；若不去除污染源，停止抽水时，拖尾和反弹现象严重；需要持续的能量供给和系统维护	80 年代开始应用，属于应用最广泛、成熟度最高的技术之一，但目前应用已大幅下降，主要作为污染羽水力控制手段	可与原位微生物修复技术、空气喷射技术、原位热处理技术联用	初期效果较好，后期较差	数年到数十年	初期投资中等，但运行周期长且总运行成本较高	低

技术	优点	缺点/适用性	发展历程	技术联用	效率	时间	治理成本	环境风险
原位微生物修复技术	适用于大面积污染区域的治理；成本较低；对环境影响较低	地下水环境需适宜所需微生物的生长，在非均质性介质中难以覆盖整个污染区	90 年代后期开始应用	可与地下水曝气、抽出处理技术等联用	适合条件下较高	数年到数十年	中到高	中
植物修复技术	施工简单，成本相对较低；不破坏地质结构，生态风险小	效果受地下水埋深、环境因素、污染物性质和浓度影响；修复周期较长；需考虑植物的后续处理	实际应用较少		低	数年到数十年	低到中	低
地下水曝气技术	对修复场地干扰小；设备简单，安装方便；修复（防控）效率高，治理时间短；运行和维护费用较低	对于非挥发性的污染物不适用；不适合在低渗透率或高黏土含量的地区使用；不能应用于承压含水层的污染物治理；控制不当可能导致地下水中污染羽迁移；蒸气可能会迁移和释放到地表，造成二次污染	80 年代中期开始应用，90 年代迅速发展。在 1982~1999 年美国地下水污染“超级基金”治理项目中占 51%	通常与土壤气体抽提技术联用	较高	数月到数年	中	较高
自由产品回收	可在短时间内去除非水相液体中大量污染物，从而加快地下水修复（防控）效率	受场地水文地质条件限制，特定情况下需与表面活性剂联用以提高回收效率；残留污染物需要进一步处理；DNAPL 的回收较为困难		通常与土壤气体抽提、双相抽提、或微生物修复技术联用	一般	数月到数年	中	中

技术	优点	缺点/适用性	发展历程	技术联用	效率	时间	治理成本	环境风险
原位化学氧化技术	反应速度快，清除时间短；反应强度大，对污染物性质和浓度不敏感	在渗透性较差区域（如粘土层中），氧化剂传输速率可能较慢；土壤中存在腐殖酸、还原性金属等，会影响修复效果，由于成本限制通常只应用于污染源或残余污染源的处理	80 年代中期开始应用，90 年代后作为高效修复技术迅速发展	可与监测自然衰减技术联用	较高	数月到数年	中到高	较高
原位化学还原技术	反应速度快，清除时间短；反应强度大	场地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仍有一定的毒性；固定的污染物在某些特定的条件下可能会重新释放出来；一些危险化学品物质的使用可能会引起安全问题	90 年代以来作为高效修复技术之一迅速发展，比如基于零价铁一类的技术	可与监测自然衰减技术联用	较高	数月到数年	中到高	低至中
渗透反应墙技术	工程设施较简单，可一次完成，后期运转及维护费用较低；反应介质消耗较慢，具备几年甚至几十年的处理能力	工程设施投资较大，工程措施较复杂；难以保证拦截所有污染物；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；深度限制在 3-12m；可能存在二次污染	1989 开始研究，1994 年开始商业应用		一般至较高	通常需持续监测 2 年或以上，墙体可持续使用 5-10 年	中	低至中

技术	优点	缺点/适用性	发展历程	技术联用	效率	时间	治理成本	环境风险
双相抽提技术	对于非均质粘土和细砂中污染物的处理效果比单独使用抽出处理或土壤气体抽提高	场地水文地质条件和污染物分布可能会影响修复效率；需要对液相和气相进行后续处理			一般至较高	数年	中	较高
原位热处理技术	通过大幅提升处理区域内地下水及土壤温度以促进挥发性有机污染物的解吸及挥发，在非水相液体存在时还可以增加其迁移性（通过降低其粘度）以便收集	设备及运行成本较高，对系统施工及运行专业化程度要求高	蒸汽注入技术最早于 20 世纪 80 年代开始在荷兰和美国发展；电极加热技术于 1996 年首次被商业应用，目前应用逐渐增多	通常与土壤气体抽提、抽出处理或双相抽提系统联用	高	数月 to 数年	高	中等

表 A.2 地下水污染修复（防控）技术评价参数表

技术	成熟度	处理装置	相对费用和性能					可行性	非氯代 VOCs	氯代 VOCs	非氯代 SVOCs	氯代 SVOCs	油品	无机物	放射性
			运行和维护	成本	可靠和稳定性	相对费用	时间								
1 原位生物处理															
1.1 强化生物修复（防控）	●	●	○	●	●	●	◆	●	●	◆	●	◆	●	◆	○
1.2 监测自然衰减	●	●	○	●	●	●	◆	●	●	●	●	●	●	○	○
1.3 植物修复（防控）	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●	●	●	●	◆	○
2 原位物理/化学处理															
2.1 地下水曝气	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○
2.2 生物漱洗法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
2.3 化学氧化	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○	◆	○
2.4 双相抽提	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○
2.5 热处理	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○
2.6 水力压裂增强	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
2.7 可渗透反应墙	●	●	●	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●	◆	○
3 异位生物处理															
3.1 生物反应器	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	◆	●	○	○
3.2 人工湿地	●	●	●	○	◆	●	◆	○	●	●	●	◆	●	●	○
4 异位物理/化学处理															
4.1 吸附/吸收	●	●	○	●	●	○	○	●	●	●	●	●	○	●	◆
4.2 高级氧化技术	●	●	○	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●	◆	◆
4.3 空气吹脱	●	●	○	●	●	●	○	●	●	●	○	○	○	○	○
4.4 活性炭吸附	●	●	○	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	◆	○
4.5 抽出-处理	●	●	○	○	●	○	○	●	●	●	●	◆	●	●	○

技术	成熟度	处理装置	相对费用和性能					可行性	非氯代 VOCs	氯代 VOCs	非氯代 SVOCs	氯代 SVOCs	油品	无机物	放射性
			运行和维护	成本	可靠和稳定性	相对费用	时间								
4.6 离子交换	●	①	○	○	●	①	○	●	○	○	○	○	○	●	①
4.7 沉淀/凝固/絮凝	●	①	①	○	●	①	○	●	○	○	○	○	○	●	①
4.8 分离	●	①	○	○	●	○	●	●	●	●	●	●	●	◆	◆
5 阻隔															
5.1 物理阻隔	●	●	①	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	
5.2 深井注入	●	●	●	●	①	●	○	●	①	①	①	①	①	①	①

注：1) ●表示中等偏上；①平均水平；○较差；◆取决于特定的污染物和应用/设计，以下同； 2) 成熟度：●多个实际场地被使用；①规模化应用，但还需改进和测试；○未实际使用，正在进行示范、实验室使用；3) 处理装置：●独立的技术；①相对简单；便于理解，广泛使用；○复杂，采用较多的技术，处理更多的介质和产生过量的废物；4) 运行和维护强度：●，①，○，分别表示低、中和高的强度；5) 资本密集程度：●，①，○，分别表示低、中和高的程度； 6) 系统可靠性和可维护性：●，表示高可靠性和低维护性，①，中等可靠性和维护性，○，具有低可靠性和高维护性；7) 相对费用：●费用低，①费用中等，○费用高；8) 花费时间：●低于 3 年，①3-10 年，○高于 10 年；9) 可行性：●超过 4 个供应或销售商；① 2-4 个供应或销售商；○低于 2 个供应或销售商；10) 处理污染物：●在中试或规模化中有效使用，①在中试和规模化应用中效果有限；○未开展有效中试或规模化应用。

附录 B (资料性附录) t 检验

B.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 μ_0 是否与样本均值 $\bar{x}$ 存在显著差异，步骤为：

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

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

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

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 。

B.2 案例分析

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

表 B.1 样本检测值

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

表 B.2 样本精度数据

样本	占均值的比例 (%)		
	砷	铜	铅
A ₁	99.30	102.14	100.27
A ₂	100.70	97.86	99.73
B ₁	93.69	101.69	94.03
B ₂	106.31	98.31	105.97
C ₁	91.89	93.48	97.56
C ₂	108.11	106.52	102.44
D ₁	93.33	96.21	93.40
D ₂	106.67	103.79	106.60
均值 (%)	100	100	100
S (%)	6.6	4.3	4.9
C ($\alpha=0.05$)	2.365	2.365	2.365
u (%)	5.5	3.6	4.1
修复 (防控) 目标值 (mg/kg)	30	370	300
显著小于修复 (防控) 目标值 (mg/kg)	<28.4	<356.7	<287
与修复 (防控) 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 (防控) 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：

a) 若某点检测值小于 28.4，则认为该点检测值明显低于修复 (防控) 目标值，达到验收标准；

b) 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 (防控) 目标无显著差异，达到验收标准；

c) 若某点检测值大于 31.6，则认为该点检测值明显大于修复 (防控) 目标值，未达到验收标准。

附录 C
(资料性附录)
地下水污染修复(防控)方案报告大纲

1 总论

项目名称、执行单位、编制单位、编制依据、原则和范围。

2 场地概况

场地现状及历史简介,包括位置、污染概况、场地周围环境等;修复(防控)调查及风险评价摘要;修复(防控)目标的确定。

3 方案论证

针对 5.2.1 比选内容和 5.2.4 方案确定,对各个方案的详细论证。

4 安全生产与劳动保护

安全生产与劳动保护的设计依据;危害因素及危害程度分析;安全措施方案。

5 环保措施与环境影响分析

工程建成后可能的环境影响分析和缓解措施。

6 投资估算与资金筹措

不同方案的投资估算范围、估算依据、估算结果;资金筹措方式与来源;财务评价等。

7 效益与风险分析

效益分析(包括环境效益、生态效益、经济效益和社会效益),适应性分析、风险分析。

8 评估结论

推荐最优方案。推荐方案总体描述,比选方案描述,给出结论和建议。

附录 D
（资料性附录）
地下水污染修复（防控）工程评估报告大纲

1 场地概况、修复（防控）实施概况

2 修复（防控）行动概述

2.1 修复（防控）过程中遇到的突发问题及解决办法；

2.2 预定修复（防控）方案的变动情况及变动原因；

2.3 去除或处理污染物的总量或浓度减量。

3 修复（防控）目标

简述修复（防控）目标的确定过程，用于本次场地修复（防控）的修复（防控）目标或标准清单。

4 修复（防控）效果评估

修复（防控）效果评估。图表形式列出修复（防控）前后关键污染物指标的变化情况，以表明修复（防控）实施效果及目标完成情况；图表中给出被修复（防控）环境介质的体积。

5 场地恢复

场地恢复情况，包括水文、地形、植被的恢复情况；场地恢复中用于地形恢复的填充土的来源、类型及质量。

6 详细的经费核算报告

核算工程实际投资，与工程设计的投资估算进行对比，分析造成二者差别的原因。

7 场地外转移记录

所有向场地外转移的污染物的数量、种类和处置的详细记录。

8 运行、监测和维护报告

9 工程验收报告

达到修复（防控）目标后，进行工程验收并提交验收报告。

修复（防控）、恢复后整体效果附图，包括但不限于：

9.1 修复（防控）完成后场地保留的任何物理设施，包括（但不限于）覆盖设施、隔墙、某些存留处理设施、管道等；

9.2 场地物理条件发生变化的区域，如开挖移除土壤的区域等；

9.3 当场地内有地下储油罐等设施时，图示所有清除或保留的地下储油罐的具体位置。