

重度污染地块风险管控技术方案

**（征求意见稿）**

编制单位：江苏省环境科学研究院

东南大学

南京大学

二○二二年九月

**目 录**

[前言 IV](#_Toc95983344)

[1 范围 5](#_Toc95983345)

[2 规范性文件 5](#_Toc95983346)

[3 术语与定义 5](#_Toc95983347)

[3.1 重度污染地块 5](#_Toc95983348)

[3.2 目标污染物 6](#_Toc95983349)

[3.3 目标污染迁移特性 6](#_Toc95983350)

[3.4 土壤污染风险管控目标 7](#_Toc95983351)

[3.5 土壤风险管控模式 8](#_Toc95983352)

[3.6 制度控制 8](#_Toc95983353)

[3.7 工程控制 8](#_Toc95983354)

[3.8 植物管理 8](#_Toc95983355)

[4 基本原则和工作程序 8](#_Toc95983356)

[4.1 基本原则 8](#_Toc95983357)

[4.2 工作程序 9](#_Toc95983358)

[5 选择风险管控模式 11](#_Toc95983359)

[5.1 确认地块条件 11](#_Toc95983360)

[5.2 提出风险管控目标 11](#_Toc95983361)

[5.3 确定风险管控范围 12](#_Toc95983362)

[5.4 选择污染地块风险管控模式 12](#_Toc95983363)

[6 筛选风险管控技术 12](#_Toc95983364)

[6.1 技术初步筛选 12](#_Toc95983365)

[6.2 技术可行性分析 12](#_Toc95983366)

[6.3 技术综合评估 13](#_Toc95983367)

[7 制定风险管控技术方案 13](#_Toc95983368)

[7.1 制定备选技术方案 13](#_Toc95983369)

[7.2 比选技术方案 14](#_Toc95983370)

[7.3 制定环境管理计划 14](#_Toc95983371)

[7.4 编制技术方案 15](#_Toc95983372)

[8 水平阻隔污染地块风险管控工程设计 15](#_Toc95983373)

[8.1 一般要求 15](#_Toc95983374)

[8.2 初步设计 15](#_Toc95983375)

[8.3 工艺和辅助专业设计 17](#_Toc95983376)

[9 水平阻隔污染地块风险管控工程施工 18](#_Toc95983377)

[9.1 膨润土防水毯铺设施工 18](#_Toc95983378)

[9.5 环境管理 26](#_Toc95983379)

[9.6 施工监测 27](#_Toc95983380)

[10 固化稳定化工程设计及施工 28](#_Toc95983381)

[10.1 固化稳定化修复工程设计 28](#_Toc95983382)

[10.2 固化稳定化实施 30](#_Toc95983383)

[11 竖向阻隔工程设计 33](#_Toc95983384)

[11.1 一般规定 33](#_Toc95983385)

[11.2 竖向阻隔屏障总体设计 33](#_Toc95983386)

[11.3 竖向阻隔屏障材料 34](#_Toc95983387)

[11.4 击穿判别验算 37](#_Toc95983388)

[11.5 屏障材料的性能测试方法 38](#_Toc95983389)

[12 竖向阻隔工程施工 40](#_Toc95983390)

[12.1 一般规定 40](#_Toc95983391)

[12.2 工艺性试验 42](#_Toc95983392)

[12.3 施工方法 44](#_Toc95983393)

[12.4 施工质量控制 47](#_Toc95983394)

[13 污染地块风险管控工程运维及监测 52](#_Toc95983395)

[13.1 运维维护 52](#_Toc95983396)

[13.2 水平阻隔和固化稳定化运维监测 52](#_Toc95983397)

[13.3 竖向阻隔运维监测 54](#_Toc95983398)

[14 风险管控效果评估 57](#_Toc95983399)

[14.1 风险管控效果评估标准 57](#_Toc95983400)

[14.2 风险管控效果评估方法 57](#_Toc95983401)

[14.3 风险管控效果评估报告编制 57](#_Toc95983402)

[14.4 竖向阻隔工程效果评估一般规定 57](#_Toc95983403)

[14.5 竖向阻隔工程效果评估 58](#_Toc95983404)

[15 提出后期环境监管建议 62](#_Toc95983405)

[15.1 后期环境监管要求 62](#_Toc95983406)

[15.2 长期环境监测 62](#_Toc95983407)

[15.3 制度控制 62](#_Toc95983408)

[附录A 63](#_Toc95983409)

[附录B 64](#_Toc95983410)

[附录C 66](#_Toc95983411)

[附录D 68](#_Toc95983412)

[附录E 70](#_Toc95983413)

[附录F 71](#_Toc95983414)

[附录G 72](#_Toc95983415)

[附录H 74](#_Toc95983416)

[附录I 75](#_Toc95983417)

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，规范沿江化工遗留污染地块中的重度污染地块风险管控工作，制定本方案。

本技术方案拟定了重度污染地块风险管控的基本原则、程序、内容及技术方案。

1 范围

本技术方案适用于沿江化工遗留污染地块中的重度污染地块风险管控工作。2 规范性文件

《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）；

《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019）；

《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）；

《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2019）；

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

《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）；

《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》（GB36600-2018）；

《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)

《固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法》（HJ 557-2010）

《固体废物浸出毒性浸出方法醋酸缓冲溶液法》（HJ/T 300-2007）

《工业建筑防腐蚀设计标准》（GB 50046-2018）

《土工合成材料聚乙烯土工膜》（GB/T 17643-2011）

《钠基膨润土防水毯》（JG/T 193-2006）

《建筑与市政工程地下水控制技术规范》（JGJ 111-2016）

《工业污染场地竖向阻隔技术标准》

3 术语与定义

下列术语和定义仅适用于本风险管控技术方案。

## 3.1 重度污染地块

土壤中污染物含量高于风险管制值；或者高于风险筛选值，未超出管制值，但污染物属于迁移或穿透性强的类型；地下水超过Ⅳ类水标准时，判定为重度污染地块。土壤污染物筛选值与控制值的判定参照GB36600-2018执行。

3.1.1 地下水风险管控值

a) 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/T14848中II类限值作为地下水风险管控值。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地下水风险管控值，风险控制值按照HJ 25.3确定。

当选择GB/T14848中II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地下水风险管控值低于地下水环境背景值时，可选择背景值作为地下水风险管控值。

b) 其他区域

具有工业和农业用水等使用功能的污染区域，按照GB/T 14848要求制定地下水风险管控值。对于GB/T14848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地下水风险管控值，风险控制值按照HJ 25.3确定。

不具有工业和农业用水等使用功能的污染区域，采用风险评估的方法计算风险控制值作为地下水风险管控值，风险控制值按照HJ 25.3确定。

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目标值低于地下水环境背景值时，可选择背景值作为地下水风险管控值。

c) 其他情况

经风险管控技术经济评估，无法达到b)提出的地下水风险管控值时，应当制定地下水风险管控目标作为地下水风险管控的阶段目标值。

## 3.2 目标污染物

在地块环境中其数量或者浓度已达到对人体健康和生态受体具有实际或者潜在不利影响的，需要进行风险管控的关注污染物。

## 3.3 目标污染迁移特性

3.3.1 当污染物具有易挥发（挥发、半挥发有机物和无机物）的特性时可直接判定为易迁移；

3.3.2 当污染物具有不易挥发、不易溶于水的特性时应结合受污染土壤中目标污染物的淋滤实验判定污染物的迁移特性。

3.3.2.1 淋滤实验中淋滤柱中填充的污染土应是风险管控目标地块的原状（以无人为破碎土壤结构为宜）土层（从表层土至潜水层顶层）；淋滤实验以三个及以上平行实验为宜。

3.2.2.2 根据土壤的含水量，称取 20～100 g 样品，于预先干燥恒重的具盖容器中，在 105℃下烘干，恒重至±0.01 g。在取样品测含水率时应按每20 cm为一层（最后一层不足20 cm时应记为一层），最后分别计算各层含水率。

3.2.2.3 当污染物为无机污染物时淋滤剂为试剂水（GB/T 6682，二级）；当污染物为不挥发有机物时淋滤剂为1#（加5.7 ml冰醋酸至500 ml试剂水中，加64.3 ml 1 mol/L 氢氧化钠，稀释至1 L。配置后的溶液pH值应为4.93±0.05。）或2#（用试剂水稀释17.25 ml的冰醋酸至1L。配置后的溶液pH值应为2.64±0.05）。

3.2.2.4 当污染物为不挥发有机物时淋滤剂的选择应当以以下规定为判别方法。土壤pH的测定方法为5.0 g土加入96.5 ml纯水（GB/T 6682，二级），磁力搅拌器猛烈搅拌5 min，然后测定pH。在测定土壤pH时所用的土壤样品应当是所有土层混匀（土层划分参考3.2.2.3）后的土壤。当土壤的pH值小于5.0时用淋滤剂1#。当土壤pH值大于5.0时，加3.5 ml 1 M的盐酸盖上表面皿，加热至50℃，并在此温度下保持10 min；将溶液冷却至室温，测定pH，如果pH值小于5.0时用浸提剂1#；如果pH值大于5.0时用淋滤剂2#。

3.2.2.5 淋滤剂体积的选择应当区分有机物与无机物，并且计算淋滤剂体积时应当去除土壤本身的含水率。有机物的淋滤剂体积与土壤质量的液固比为20:1（L/kg）；无机物的淋滤剂体积与土壤质量的液固比为10:1（L/kg）。

3.2.2.6 淋滤剂在淋滤时宜高出土壤最上层表面5 cm为宜。

### 3.3.3 当淋滤液中目标污染物浓度C<地下水风险管控值，判定为污染物易迁移；当淋滤液中目标污染物浓度C≥地下水风险管控值，判定为污染物易迁移。地下水风险管控值的确定参照3.1.1执行。

### 3.3.4 当污染物具有易溶于水的特性时应结合土壤的淋滤实验判断污染物的迁移特性。具体判定依据参照3.3.2执行。

## 3.4 土壤污染风险管控目标

阻断土壤污染物暴露途径，阻止土壤污染向场地外扩散，保障对人体健康和生态安全，场地内污染总量或者有效态逐渐降低。

## 3.5 土壤风险管控模式

实现土壤风险管控目标的制度控制和工程控制的方法体系。

## 3.6 制度控制

通过制定和实施条例、准则、规章或制度等管理手段控制污染地块潜在风险，减少或者阻止人群对地块污染物的暴露，防范和杜绝土壤污染可能带来的风险和危害。

## 3.7 工程控制

采用工程技术措施，对污染物迁移或者染物暴露途径进行控制，降低和消除地块土壤对人体健康和生态受体的风险。

## 3.8 植物管理

以景观绿化植物的配置为核心，并通过水肥调控等手段，促进土壤污染物总量的消减或生物有效性降低，提升土壤生态服务功能。

4 基本原则和工作程序

## 4.1 基本原则

### 4.1.1 统筹性原则

污染地块土壤风险管控应统筹土壤、空气等介质经口、皮肤、呼吸等多途径暴露对受体产生的影响。

### 4.1.2 规范性原则

根据相关法律法规要求，保证土壤风险管控过程的规范性。

### 4.1.3 可行性原则

根据污染地块水文地质条件、土地使用功能、污染程度和范围以及对人体健康和生态受体造成的危害，因地制宜选择风险管控模式，风险管控措施切实可行。

### 4.1.4 安全性原则

污染地块风险管控技术方案制定、工程设计、工程实施全过程，应充分考虑工程技术本身及实施过程的安全性，防止对施工人员、周边人群和生态受体产生危害。

## 4.2 工作程序

重度污染地块风险管控的工作程序如图1所示。



图1 重度污染地块风险管控的工作程序

### 4.2.1 污染调查及风险评估与重度污染地块的判定

污染调查按照《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1）规定进行；重度污染地块的判定按照3.1的内容进行判定。重度污染地块污染物的风险评估按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3）进行。

### 4.2.2 选择污染地块土壤风险管控模式

确认地块条件，更新地块概念模型。结合地块水文地质条件、污染特征、地块使用功能，明确污染地块风险管控目标，提出风险管控的总体思路。

### 4.2.3 筛选风险管控技术

根据污染地块的具体情况，按照确定的风险管控模式，初步筛选风险管控技术。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、成本、和环境风险等方面确定适宜的风险管控技术。

### 4.2.4 制定风险管控技术方案

根据确定的风险管控技术，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。

### 4.2.5 风险管控工程设计及施工

根据确定的风险管控技术方案，开展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。

### 4.2.6 风险管控工程运维及监测

风险管控工程施工完成后，开展工程运维维护、运维监测，趋势预测和运维状况分析等。工程运维中应同时开展运维监测。对风险管控工程运维监测数据进行趋势预测。根据监测数据及趋势预测结果开展工程运维状况分析，判断风险管控工程的目标可达性。

### 4.2.7 风险管控效果评估

制定风险管控效果评估布点和采样方案，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，可对风险管控措施維续开展运维与维护：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。

### 4.2.8 后期环境监管

根据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。地下水特征等资料和现场踏勘情况。如发现已有资料不能满足风险管控技术方案编制、工程设计要求，应补充相关资料。必要时应适当开展补充监测，甚至进行补充性土壤污染状况调查和风险评估，相关技术要求参考 HJ 25.1、HJ 25.2 和 HJ 25.3。

## 5.2 提出风险管控目标

确认前期地块环境调查和风险评估提出的风险管控目标污染物，根据地块及受体特征、规划、土地使用功能和地项因素等，确定风险管控目标污染物。

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（补给区优先采用己划定的准保护区）时，应同步制定风险管控目标，阻断土壤污染物地下水暴露途径，阻止污染扩散。

## 5.3 确定风险管控范围

根据HJ 25.1确定的污染物空间分布，结合风险管控目标，确定风险管控范围。

## 5.4 选择污染地块风险管控模式

与地块利益相关方进行沟通，确认对污染地块污染风险管控的要求，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、土壤污染风险管控目标等，明确总体思路，选择降低污染物毒性、迁移性的风险管控技术，阻断暴露途径和阻止土壤污染物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。

6 筛选风险管控技术

## 6.1 技术初步筛选

根据污染地块地质条件、土壤污染特征和确定的风险管控模式等，从适用的目标污染物、技术成熟度、成本和环境风险等，分析比较现有土壤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。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风险管控技术。重度污染地块风险管控技术适用性见附录A。

## 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，采集污染土壤，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。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。

## 6.3 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

风险管控技术的工艺参数应通过实验室小试和现场中试获得。工艺参数包括但不限于药剂投加量或比例、施工面积、绿化植物种植密度等。

### 7.1.3 估算工程量

根据技术路线，按照确定的单一风险管控技术或风险管理控技术组合的方案，结合工艺流程和参数，估算每个风险管控方案的工程量。所需的工程量是方案涉及的工程量，还应考虑风险管控过程中受污染水体、气体和固体废物等的无害化处理处置的工程量。

### 7.1.4 估算费用

根据地块风险管控工程量，估算并比较不同风险管控方案所产生的费用，包括直接费用和间接费用。直接费用主要包括风险管控工程材料、工程实施等费用，间接费用包括风险管控工程监测、工程监理、质量控制、健康安全防护和二次污染防范措施等费用。

### 7.1.5 形成备选技术方案

根据水文地质条件、风险管控目标、技术路线、工艺参数、工程量、费用等。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：结合地块污染特征、风险管控目标，从符合法律法规、效果、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：根据风险管控的工程量，估算井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：综合比较不同各选技术方案的二次污染排故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

对施工和运维过程造成的地下水，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、稳定运维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、突发事故应急措施、安全防护装备和安全防护培训等。

## 7.4 编制技术方案

污染地块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沽和准确，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。风险管控方案应根据地块的环境特征和地块风险管控工程的特点选择附录B全部或部分内容进行编制。

8 水平阻隔污染地块风险管控工程设计

## 8.1 一般要求

水平阻隔工程设计应综合考虑场地勘察与污染状况调查成果、风险管控目标、目标污染物、风险控制值、设计使用年限要求，兼顾施工条件与场地修复方案。水平阻隔工程设计方案的内容宜按本规范附录A执行。

用于水平阻隔工程设计的指示污染物应根据下列内容综合确定：

a)增大场地内岩土及屏障材料的渗透系数，扩散系数；

b)难以被场地内岩土及屏障材料吸附的污染物；

c)缺乏相关资料及试验数据时，可采用苯酚作为指示污染物。

d)水平阻隔屏障的设计使用年限应满足场地用途要求。

风险控制值应根据场地污染特征、场地用途、场地周边环境等因素综合
确定，并应符合现行行业标准《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6的相关规定。

## 8.2 初步设计

8.2.1 水平阻隔屏障总体设计

水平阻隔屏障的总体设计内容应包括平面布置、屏障厚度及结构层设计。

水平阻隔屏障的平面布置设计应符合下列规定：

a)应综合风险管控范围、地质条件、污染源—汇关系、场地用途等因素进行设计，宜根据污染范围选用覆盖式平面布置，水平阻隔屏障的设计平面面积应大于污染场地平面面积水平阻隔屏障的设计平面面积应大于污染场地平面面积；

b)对于存在坡度的场地，需要考虑采取排水措施，设置排水层等结构；

c)对属于重点易挥发区的污染场地分区，可采用药剂改良压实黏土层。

水平阻隔屏障的厚度应根据施工条件、场地环境污染现状等因素进行设计，总体厚度不宜小于1.5m。水平阻隔可以分为单层防渗衬垫结构、单层复合沉淀结构和复合衬垫结构三类，防渗衬垫厚度设计应根据场地工程地质与水文地质条件、污染特征等因素综合确定，并应符合下列规定：

a)植被层厚度应根据植物根系深浅确定，厚度不宜小于50cm；

b)保护层厚度不应小于20cm，渗透系数大于1×10-4cm/s；

c)压实粘性土层要求厚度为30cm~60cm，渗透系数小于1×10-7cm/s。若采用HDPE土工膜材料和压实黏土层所构成的复合防渗层，HDPE土工膜材料层厚度不应小于1.0mm，天然材料层厚度不应小于50cm。若采用HDPE土工膜材料、GCL膨润土防水毯和压实黏土层所构成的复合防渗层，HDPE土工膜材料层厚度不应小于1.0mm，天然材料层厚度不应小于30cm；

d)土工膜选择双糙面厚度应大于1.0mm。土工膜渗透系数应小于1×10-11cm/s；

8.2.2水平阻隔屏障材料

屏障材料应根据设计使用年限要求、场地勘察与污染状况调查成果、场地安全再利用要求、设计厚度综合确定。选用程序应依次包括类型适用性判别、原材料选用、屏障材料配合比设计、使用功能判别。

屏障材料及结构类型适用性判别应符合下列规定：

a)有强度和变形控制要求时，应选用刚性及半刚性竖向阻隔屏障；

b)对于污染严重且目标污染物易挥发的地块，和设置控温层。

防渗截污材料应对场地污染物具有防腐蚀性能，应根据现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB50046的腐蚀性等级进行选用，污染物对防渗截污材料的腐蚀性等级不应高于中等。

水平阻隔屏障原材料应符合下列规定：

a)植被层应采用自然土加表层营养土,其中营养土不应小于15cm;

b)保护层由粗砥性坚硬鹅卵石组成;

c)最大颗粒尺寸不应大于50mm，大颗粒需要手动剔除;

d)土工膜选择高宜选用环保用双光面高密度聚乙烯土工膜，技术性能指标应符合现行国家标准《土工合成材料聚乙烯土工膜》GB/T 17643的相关规定，应具有良好的抗拉强度、抗不均匀沉降能力和抗老化性能，使用寿命应大于30年。

钠基膨润土防水毯水平阻隔屏障原材料中的钠基膨润土防水毯除应符合现行行业标准《钠基膨润土防水毯》JG/T 193的相关规定外，尚应符合下列规定：

a)单位面积总质量不应小于4800g/m2，其中单位面积膨润土质量不应小于4500g/m2；

b)污染物作用下膨润土的膨胀指数不宜小于12mL/2g；

c)污染物作用下渗透系数不应大于1×10-7cm/s。

8.2.2 施工图设计

水平阻隔工程施工前，应具备场地勘察及污染状况调查资料、施工所需的设计方案、施工方案、工艺性试验资料、施工原材料的质量检验资料、保障施工人员健康和环境安全的措施等资料。施工方案宜包括施工作业条件资料、测量作业资料、施工组织设计、施工方法与作业流程、施工质量控制方案、对邻近建（构）筑物分布、地下管线及管廊的工程保护措施等资料。施工作业条件资料宜包括工程场地总平面图，宜包括场地建（构）筑物分布、地下管线及管廊分布、施工空间、交通设施、邻近建（构）筑物安全等级、基础形式及埋设深度、施工过程中产生固体废弃物、废液与废气的处置方案、施工场地的平整情况和地基承载力、施工燃料动力供应条件、区域及场地周边的交通条件。

场地工程地质及水文地质条件对施工方法的适用性要求，应符合现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ111-2016的相关规定。施工场地的施工空间、平整情况和地基承载力应满足机械施工要求。工程需要时应提出施工场地的地基处理设计与施工方案。

对影响施工且无法被清除的地下障碍物，应采用合理的施工技术，确保其下部水平阻隔屏障的完整性。竖向阻隔屏障施工过程中出现特殊施工情况时，应采取应急措施。

## 8.3 工艺和辅助专业设计

8.3.1 工艺专业设计

工艺专业设计根据污染地块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。污染地块风险管控技术主要涉及的工艺技术参数取值宜通过试验、计算或根据经验值确定。

工艺性试验应开展下列工作：

a)确定施工所需要的施工工艺参数；

b)核验水平阻隔屏障施工的有效厚度、屏障的完整性；

c)核验屏障材料设计方案的施工和改良效果；

d)核验水平阻隔屏障材料的渗透系数、扩散系数、抗拉强度和收缩率。

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。

c)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、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。

8.3.2 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，为风险管控工艺专业设计提供支撑。

9 水平阻隔污染地块风险管控工程施工

## 9.1 膨润土防水毯铺设施工

工艺流程图2如下所示

合格

不合格

实地尺寸丈量

铺设规划

GCL铺设

接缝处理

检查验收

是否符合要求

铺设记录表

返工整改

检测记录表

上道工序验收合格

验收

图2 GCL工艺流程图

9.1.3 GCL存储、运输及装卸应符合以下规定：

a)GCL在安装展开前要避免受到损坏。储存地点要平整、干燥、排水好、且稳定，禁止一端悬空存放。产品堆高不超过四卷的高度，并能看到卷的识别牌。

b)GCL 卷材应该在包装完好情况下储存。储存地点要远离建设交通要道但要紧邻施工场地便于施工。

c)GCL 通常用集装箱和卡车运输，在运输过程中（包括现场从材料存储地到工作的运输），GCL应避免受到损坏。

d)受到物理损坏GCL必须要修复，受损坏严重的禁止使用。

e)保护材料不受降雨、化学试剂、积水、高温、光照以及人或动物的破坏，如产品遭受破坏，由监理工程师判断是否可以继续使用。

9.1.4 基层处理

a)铺设GCL前，基层必须夯实整平。表面应平整，不应有凸出2cm以上的岩石和其它物体，也不能有明显的空洞、裂缝。表面应基本干燥，不能有明显的水渍和坑洼。

b)对于软弱基础、腐殖土或尖锐物较多基础，应按国家现行有关标准采取相应的处理措施。

c)GCL与建筑物连接需要拐角时，基础层面应设置为斜坡或圆弧面。

9.1.5 GCL的铺设施工应符合以下规定：

****

图3 GCL的铺设施工示意图

a)GCL成品在送到指定区域时应保证原包装完好。在展开之前，应小心移除包装，不能使GCL受到损坏。GCL的展开方向（即它的朝上面）应与工程师的要求保持一致，正常情况下，GCL非织造土工布面应为迎水面。

b)不允许任何可能损坏GCL的设备直接在GCL上行驶。可接受的机械安装方式，如使用向后倒退的机械设备展开GCL，例如前端装载机或推土机。如果设备在地基上产生车辙，地基必须恢复到其最初的可接受状态后方可继续铺设。当GCL在地基上转移时，必须多加小心，尽量减少对路基和GCL底面的损伤。

c)所有GCL应平整铺设在底层表面上，GCL应没有褶皱或折叠，特别是在暴露的边缘处。铺设应平整，贴紧基础面，不宜过度拉紧。搭接缝应紧密服贴、平整，严禁皱折，搭接部位施工应符合设计要求。

d)GCL的铺设应得使接缝方向平行于斜坡，坡面上搭接，应坡上方压坡下方，水流上游侧压下游侧。防水毯应以品字形分布，必须避免十字形叠口出现。

e)基础层良好时，搭接宽度不应小于300mm。在搭接部位的上下两层GCL中间，应均匀撒上0.6kg/m2～1.0kg/m2膨润土粉。斜坡上搭接部位两层GCL中间宜采用膨润土胶泥。

f)GCL的搭接不宜设在拐角处，搭接缝离拐角不应小于500mm。相邻幅面的GCL应错缝铺设，错缝间距不应小于600mm。

g)坡度超7H:1V时斜坡顶端要挖铆固沟，铆固沟表面不能有锐角和锐边且要保持干燥。沟底宽和沟深度均不应小于500mm，钠基膨润土防水毯埋入时应紧贴沟壁和沟底，再回填夯实。

h)GCL的每日最大铺设量应该与覆盖量一致，铺设的GCL应在当天覆盖，严禁在雨天、雪天及大风等恶劣天气施工。

i)如果GCL铺设在土工合成材料上，必须小心铺设设备直接作用在土工合成材料上对其产生破坏。

9.1.6 GCL破损处的修复

铺设过程中应随时检查GCL的外观有无破损、孔洞等缺陷。发现有破损或孔洞等缺陷时，应及时用膨润土密封粉（膏）修补，并在破损部位周边放大300mm以上的GCL进行局部覆盖修补。边缘部位按搭接的要求处理。

9.1.7 施工质量检验：

防水防渗施工通常均为隐蔽工程，因此每道工序完成后必须经质检和监理人员检验合格后再进行下道工序的施工。钠基膨润土防水毯铺设完成后，应及时对其质量进行检验：

1）全部搭接部位是否符合要求。

2）破损修补的部位是否符合要求。

3）前次检验未合格而再次修补的部位是否符合要求。

4）钢钉固定的部位是否符合要求。

5）钠基膨润土防水毯及其搭接部位是否与基层贴实。

6）确认钠基膨润土防水毯没有遇水而发生前期膨胀。

### 9.2 土工膜铺设施工

9.2.1铺设安装前的准备工作：

1. 做好施工前的电源线路检修、畅通；施工机具的检修就位；劳动力安排就绪等一切准备工作。
2. 膜下层工序验收合格后，才能进行膜铺设，未经验收不能铺设HDPE膜。
3. 必须按照已批准的文件和征得项目监理对我方的施工建议方案书面同意后，方可施工。施工中应做好记录，归档备查。
4. 施工设备、机具、HDPE土工膜材料其施工前应进行检查。HDPE土工膜材料合格证应保存备查，并打开包装检查HDPE土工膜外观质量，记录并修补已发现的机械损伤和生产创伤、孔洞、折损等缺陷。受损且修补困难的HDPE土工膜应剪除，HDPE土工膜材质在施工前须经监理工程师认可。

9.2.2 HDPE膜施工工艺流程：



图4 HDPE土工膜施工工艺流程图

9.2.3 HDPE土工膜的铺设安装要求：

1. 铺设时，需对铺设范围予以测量，确定铺设材料的拼接方式，底层GCL施工经项目监理认可后方可铺设；
2. 铺设底层应无渗水、淤泥、集水、有机物残渣和有可能造成环境污染的有害物质，底层拐角处应圆滑。
3. 尽量减少拼接、接缝，尽量减少工地拼接；
4. 拼接工艺应采用电热焊接法。两层拼接宽度在10cm左右，并在拼缝中留1cm左右宽的口子，便于加压检测拼缝的牢固度。
5. HDPE土工膜的大面积焊接宜采用双轨热熔焊机焊接，挤压焊接仅用在修复、覆盖或热熔焊机达不到的地方；
6. 在铺设时应将卷材自上而下滚铺，先边坡后库底，并确保贴底铺平。接缝必须严实不漏，铺好经项目监理验收合格后及时铺上层覆盖物。HDPE土工膜应自然松弛，与支持层贴实，不应拆褶、悬空；
7. 每块HDPE膜应按项目监理认可的编码方式进行编码；
8. HDPE膜展开时不应被损坏、拉伸或折皱；在使用时肉眼检查HDPE膜是否有缺陷，标出有缺陷或值得怀疑的地方以便修补；
9. 应在HDPE膜上放置砂袋以防被风刮起，压块不应损坏HDPE膜；
10. HDPE土工膜室外铺设和焊接施工宜在气温5℃以上，风力4级以下并无雨、无雪天气进行；
11. HDPE土工膜锚固须根据设计进行施工；工程中地形较复杂的地方，施工单位提出采用其它的锚固方式，应争得设计单位和监理单位同意后方可进行；
12. 在HDPE膜上行走的人员不应穿带钉硬底鞋或从事其他会对HDPE膜造成损坏的活动，不得在HDPE膜上丢弃烟蒂。

9.2.4 HDPE膜特殊部位处理

1. 在坡角点交汇处和边坡拐弯处，HDPE膜的铺设、焊接属特殊情况，对此应因地制宜采取相应处理措施，才能使膜片更加紧密地与基底贴在一起。这种情况的施工要点为：在拐弯等不规则范围内的膜片应裁成上宽下小的“倒梯形”，其宽窄比例操作人员根据现场的实际情况和边坡的具体尺寸精确计算。若该比例掌握不准，则会导致边坡上的膜面“起鼓”或“悬空”，在HDPE膜的铺设安装时切忌该现象发生。
2. 在边坡与场底衔接部位的坡脚处，同样需经特殊处理。这种情况的施工要点为：在距坡脚1.5m以外设置水平焊缝，把边坡的HDPE膜顺着坡面铺设再与场底的HDPE膜进行焊接处理。
3. 在渗滤液收集管穿坝处，管与膜的衔接焊接应采用“管穿膜”特殊工艺进行施工。其施工要点为：先用HDPE膜制作一个成喇叭状的管套，小端口径与穿膜管口径一致，大端口径在0.8米左右（具体尺寸安装时再确定）并分成6-8小片，然后把管套按由大到小的先后顺序套进穿坝管，根据现场实际情况调整好管套的位置并用热风筒进行临时稳固，此时应注意不能让管套有悬空的部位，最后分别把套管的大、小端口焊接在排渗连接井垂直壁膜面、渗滤液收集管上，且在HDPE收集管另加不锈钢箍。
4. 在边坡的各级平台以及外围边界平台上，都需设置锚固沟，以减少大面积的HDPE膜因自身的热胀冷缩造成膜面内部受力;
5. 在边坡的HDPE膜焊缝交汇处、或整个施工过程中经取样后的修补部位及无法采用正常焊接施工的地方，需根据现场的实际情况制定因地制宜的施工细节,采用特殊工艺进行施工。如“T型”、“十字型”、双“T型”等焊缝的二次焊接属特殊部位焊接。

9.2.5 HDPE土工膜铺设程序：

1. 在一般边坡和场底，按规定就位膜的位置立即用砂袋进行临时锚固，然后检查膜片的搭接宽度是否符合10㎝-12㎝的要求，需要调整时及时调整，为下道工序作好充分准备。
2. 土工膜放入锚固沟内后，用沙袋压牢（临时），在土工膜焊接完毕，调整合适了，再用夯实粘土把土工膜永久锚固上，在锚固时要离开两处的边部2m，以便下一次容易焊接。锚固与土工膜焊接要交叉进行，不得相互窝工，刚铺完的土工膜不要立即锚固上，调整好了再进行。
3. 边坡土工膜在铺完之后，要迅速的铺底部的土工膜。底部土工膜铺设是在边坡土工膜铺焊完成之后进行，底部土工膜要尽快与坡上土工膜连接上，防止下雨时，雨水倒灌进土工膜成品的下面。
4. 土工膜在铺设时要边铺边焊，当天铺设当天焊完。

9.2.6 焊接准备：

1. 插上电源，双缝热熔焊接机设定焊机温度为380-420℃。单缝挤压焊接机设定焊机温度为200-260℃。
2. 待温度达到设定温度时，等3分钟后方可进行试焊。试焊时，焊机调整好的温度、速度和压力进行正式焊接。
3. 对于双缝热熔焊接机无法工作的部位，采用单缝挤压焊接机进行施工。
4. 单缝挤压焊接机不是自动爬行，而是靠人手使焊机保持均匀朝一定方向前进。焊接时，人要用力往下压挤压焊机，才能保证焊缝质量。所以挤压焊接工程师要专门培训，熟练工人去进行。

9.2.7 HDPE土工膜的试验性焊接要求：

1. 焊接工作开展之前必须进行试焊。试焊应在提供的防渗材料样品上进行，样品长度不小于1米，宽不小于0.2米，每天要做一次试焊。
2. 焊接设备和人员只有成功完成试验性焊接后，才能进行生产性焊接；试验性焊接应当在与生产性焊接相同的膜面和环境条件下进行。试焊过程中试焊及其测试结果应记录。
3. 确保焊接性能，焊接方法，焊接温度等外界条件无误后，征得监理同意下用已调节好工作状态的焊机逐幅进行正式焊接。

9.2.8 焊接程序：

1. 焊接施工前，必须先做试样焊接，试焊合格后，方可开始正式焊接。焊接时，再一次检查膜片的搭接宽度，并保证搭接范围内洁净、无异物，或其它可能会影响焊接的任何东西。
2. 在平面（坑底）焊接时，焊接工程师不用进行安全保护措施直接进行焊接即可。但需要两个工人配合，一人在前边擦拭待焊接的土工膜，擦膜人员不要离焊机太远，保持1m左右的距离为好，另一人提电源线。
3. 边坡上焊接时，焊机自上而下进行，操作手需在安全绳或绳梯的保护下，时刻跟随焊机的运维，及时对焊机的各项技术参数进行微调，调整好焊机的各项技术参数，按照一定的顺序进行焊接。以便使焊机全过程都处于最佳运维状态之中，保证焊缝质量。
4. 焊机在焊接时自动爬行，焊接工程师要注意在焊机行走时的突发事件，所以焊接工程师要时刻跟随着焊接机。
5. 锚固组人员用沙袋把焊完的土工膜在沟内临时压载，防止下滑及大风把土工膜吹起。
6. 在遇到土工膜长度不够时，需要长向拼接，再焊纵缝，横向焊缝相距应大于500mm，成“T”字型，不得成十字交叉。
7. “T”字型处理：已焊接的焊缝应先把焊缝压茬去掉，再用热楔焊机焊接此处，此处修补也叫补强，用直径为30cm圆型补丁修补，也可削边后直接用挤压焊机顺缝“T”字型修补。



图5 HDPE土工膜焊接错开示意图

9.2.9 质量标准：

a)现场测试：如条件允许用电火花法、充气压力法或其它可接受的方法对现场所有焊缝全部长度上进行非破坏性测试，非破坏性测试可在焊接过程中或上层覆盖物施工前进行。充气压力法（适用于双轨热熔焊缝）测试程序：把要测试的焊缝两端封好，把空心针插入空气信道，充气压力至0.25MPa；如果5分钟内压降超过0.01MPa，分段检测出漏气处进行修补；刺穿焊缝的另一端以释放空气，如果存在阻塞，按照规范的方法分段检测直至确认整条焊缝合格；拔掉气针，用挤压焊接法密封针眼。

b)破坏性试验（试焊测试）：

1）测试频率：测试频率为每天早上和中午焊接前，焊接试样进行破坏性试验。

2）测试：取6块2.5厘米宽的试块进行上面所规定的撕裂和抗剪强度（各3块）测试；HDPE膜块应满足抗撕裂和抗剪要求。

c)HDPE膜的焊接质量与电压是否稳定有着密切的关系，焊机对电压的适用范围在220±10V以内，电压越稳定，焊接质量越能保障。在HDPE防渗膜焊接施工时必须采取切实有效的措施保证电压稳定，尽量缩短厂区内电线的距离，一般尽量采用截面积大的电线，长度控制在200米以内。

9.2.10 HDPE土工膜修补

a)点焊：对材料上小于5mm的孔洞及局部焊缝的修补完善，可用挤压熔焊机进行点焊。

b)加盖：对不够厚度或不够严密的挤出焊缝，可用挤压熔焊机补焊一层。

c)补丁：对大的孔洞、刺破处、膜面严重损伤处、取样处、十字缝交叉处以及其它各种因素造成的缺损部位，均可用加盖补丁方法来修补。补丁尺寸：十字缝处为切角的方形300×300mm，或D=300mm。其余情况，一般边长不小于200mm，补丁边距缺陷处不小于80mm。

## 9.5 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。

## 9.6 施工监测

现场施工监测应基于现场中试试验、工后取样检测和大规模工程监测从多尺度角度对污染场地水平阻隔系统的阻隔性能进行效果评估。

9.6.1中试试验

水平阻隔系统施工时应进行中试试验，以评估其施工质量，中试试验内容为：

1. 应包括土壤气监测，在阻隔区域周围设置永久性的主动式土壤气监测井，定期通过PID传感器监测不同深度处的土壤气浓度；
2. 宜包括CCL层温度和含水率监测，通过埋设温度传感器和水分传感器实时监测三天内CCL层的体积含水率和温度变化；
3. 对于CCL层，应通过《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）中双环法现场测试的要求对水平阻隔屏障测试其渗透系数。

9.6.2工后取样检测

水平阻隔系统施工完成后，应进行现场取样并带回试验室进行检测，测试内容如下所示：

1. 当CCL层施工完成时，CCL层的土体气体扩散系数宜通过锤击法制取环刀样后利用土体气体扩散仪测试；
2. CCL层的土体气体渗透率宜通过土壤空气渗透仪测试；
3. CCL层的饱和渗透系数宜通过柔性壁试验测试。

9.6.3大规模工程监测

大型水平阻隔系统示范工程施工完成后，需对其施工与阻隔效果进行监测：

1. 应包括土壤气监测，参考《污染场地中挥发性有机物调查与风险评估技术导则》，采用主动式与被动式相结合的土壤气采集方法进行采样，主动式采样频率设置为每3个月1次，被动式采样频率设置为每6个月1次；
2. 污染场地修复现场种植有植被时，应考虑通过低空无人机航拍监测植被株间距及野生植被入侵情况；
3. 应包括待修复区域中CCL的温度和含水率监测，通过埋设温度传感器和水分传感器实时监测一段时间内CCL层的体积含水率和温度变化；
4. 在不损害水平阻隔系统的阻气效果的前提下，应在合适的地点对CCL层进行取样，通过气体扩散试验、气体渗透试验及柔性壁试验分别测试CCL层的土体气体扩散系数、土体气体渗透率及饱和渗透系数。

10 固化稳定化工程设计及施工

## 10.1 固化稳定化修复工程设计

### 10.1.1 一般规定

设计方案的编制应在全面收集和汇总资料的基础上，结合污染场地特征和修复要求以及类似的工程经验进行。

设计方案应对修复工程的目标、依据、方法、工艺要求、过程控制等进行确定。

设计方案应进行可行性分析，论证其方案的可靠性。

设计方案编制的工作程序应包括资料复核、修复目标和修复范围确定、原地原位固化/稳定化与原地异位固化/稳定化技术方案比选、修复费用和周期估算、方案设计。

### 10.1.2 资料复核

应核实前期场地环境调查与风险评估中有关目标污染物、场地水文地质条件、用地规划等相关资料的有效性，如发现已有资料不能满足修复技术方案编制基础信息要求，应适当补充相关资料，必要时还应开展补充性场地环境调查。

应核查修复方案中的目标污染物、修复目标及修复范围等内容，如发现已经制定的修复方案不能满足目前场地的修复需求，应结合补充调查，对修复方案进行变更。

应核查场地修复工程施工条件，特别关注修复工程的用电、用水、道路等条件，为修复技术方案的工程施工提供基础信息。

应核查场地修复工程施工条件，为修复工程实施提供准确的基础信息，应特别关注场地用电、用水、施工作业区、施工用道路等情况。

应核查污染场地所在地区的气候条件、场地附近及场地中的道路交通条件，如发现存在不利于施工的条件，应采取相应的措施。

应核查修复方案中的环境保护措施和安全保证措施。

### 10.1.3 修复目标和修复范围

对场地环境调查和风险评估资料进行分析，结合必要的补充调查，确认污染场地土壤修复的目标污染物、修复目标值和修复范围。

污染土壤原地固化/稳定化修复目标值的确定应符合以下规定：

a) 固化/稳定化土壤中目标污染物浸出浓度应低于所在地地下水用途对应标准值或不会对地下水造成危害；

b) 应核实固化/稳定化土壤的最终去向、未来再利用场景。当固化/稳定化土壤的最终去向、未来再利用场景明确时，应根据场地利用的需要确定固化/稳定化土壤的饱和渗透系数、无侧限抗压强度的限值要求、试样制备的要求。

 核实场地环境调查和风险评估提出的土壤修复范围，包括污染边界和污染土层深度分布，应分析污染土层异常分布情况。应根据土壤目标污染物的浸出目标值，确定需要修复的土壤方量。

### 10.1.4 技术方案比选

应根据场地特征、污染特征，选用原地原位固化/稳定化或原地异位固化/稳定化修复模式。

应建立涵盖技术、经济、环境、社会的指标体系，可采用对比分析、综合判断或专家评分等方式。

### 10.1.5 修复费用和周期

应根据污染场地修复工程量进行费用估算。费用估算应包括所选择的各种修复技术的基本建设费用、运维费用、后期费用。

应根据污染场地修复工程量、可行技术的修复工期，以及场地平整、设备安装调试、残余风险消除时间等进行周期估算。

### 10.1.6 方案设计

方案设计应根据场地调查和风险评估的结果，确定适合于目标场地的最佳修复技术方案，并制定配套的环境管理计划，作为目标场地的修复工程实施依据，支撑该场地相关的环境管理决策。

设计方案的内容至少应包括所在场地污染现状与风险评估结论概述、修复策略选择、场地修复技术筛选与评估、修复技术方案及设计参数的确定、成本效益分析、施工进度安排、结论与建议。

## 10.2 固化稳定化实施

### 10.2.1 一般规定

原地固化/稳定化修复的工作程序应包括实验室小试、现场中试、修复工程实施。

修复工程实施方案应包括场地信息、施工前准备工作、施工进度安排、施工操作技术要求、施工人员组织、施工质量控制、二次污染防治等。

原地固化/稳定化修复过程中，应进行施工质量控制和二次污染防治，并制定安全保证措施。

### 10.2.2 实验室小试

a) 污染土壤现场采样应符合下列规定：

采样点布设应兼顾到场地区域、目标污染物浓度和土壤地层分布；

采集的土壤样品应能代表场地的污染状况；

土壤样品取样过程中应避免不同点位土壤样品的交叉污染；

采样量应根据试验内容确定；

小试试验前应将污染土壤样品混合均匀。

b) 应对采集的污染土壤进行物理特性、环境安全特性测试，并符合下列规定：

物理特性应包括天然含水率、土的工程分类指标、有机质含量等；

环境安全特性应包括目标污染物全量、目标污染物浸出浓度、酸碱度。

c) 应确定修复药剂类型、掺量，修复药剂和污染土壤的拌合含水率范围参数。参数的确定应符合下列规定：

修复药剂类型、掺量应根据固化/稳定化土壤目标污染物浸出浓度确定。目标污染物浸出浓度应满足修复目标值要求；

拌合含水率范围应根据固化/稳定化土壤目标污染物浸出浓度确定；

目标污染物浸出浓度应满足修复目标值要求；

固化/稳定化土壤样品的养护龄期应满足设计要求；

修复药剂掺量宜采用污染土壤干重质量占比的百分率计量。

d) 原地原位固化/稳定化修复小试时污染土壤的含水率，宜与现场施工时污染土壤的含水率一致。

e) 原地异位固化/稳定化修复小试时污染土壤的含水率，可取污染土壤的最优含水率。

### 10.2.3 现场中试

a) 现场中试地点应根据场地调查结果选取，应代表污染场地的整体污染状况，并宜和小试试验选用污染土壤理化特性参数保持一致。

b) 原地异位固化/稳定化修复，中试试验污染土壤方量应符合下列规定；

挖掘机挖斗拌合时，污染土壤方量不应低于10倍挖掘机铲斗容量；

专用装备拌合时，污染土壤方量不应低于专用拌合装备的0.5小时处理方量。

c) 原地原位固化/稳定化修复，中试污染土壤方量不宜小于单台施工设备的0.5小时处理方量。

d) 原地异位固化/稳定化修复，在和修复药剂拌合前，现场中试污染土壤的处理应符合下列规定：

筛除污染土壤中的建筑垃圾；

挖掘机拌合时，污染土壤的粒径宜≤10 cm；

专用装备拌合时，污染土壤应按所选用设备的工作参数进行筛分作业；

筛分后土壤宜进行预拌合作业。

1. 原地异位固化/稳定化修复，现场中试应验证实验室小试时确定的修复药剂掺量，确定工程施工时修复药剂和污染土壤的拌合含水率及拌合工艺参数，并应符合下列规定：

应检验中试实施的固化/稳定化土壤目标污染物浸出浓度是否满足修复目标值要求、是否便于施工。当采用实验室小试阶段所确定的最低修复药剂掺量在进行中试阶段，不能满足目标污染物浸出浓度要求时，应适当增大修复药剂掺量直至满足要求；

工程施工阶段应确定修复药剂和污染土壤的拌合含水率。拌合含水率的确定，应综合考虑根据现场中试固化/稳定化土壤目标污染物浸出浓度、施工便利性、修复药剂和污染土壤的拌合均匀度综合确定，以及宜在实验室小试阶段确定的拌合含水率范围内；

f) 修复工程施工修复药剂与污染土壤拌合作业工艺参数的确定，应符合下列规定：

挖掘机拌合时，应确定拌合次数、拌合时间、修复药剂添加次数等；

专用装备拌合时，应确定污染土壤及修复药剂的进料速度、拌合速度等。

g) 修复药剂和污染土壤拌合均匀度宜根据拌合后土壤的含水率、拌合后土壤中目标污染物全量、修复药剂中典型元素全量等综合确定。

h) 原地原位固化/稳定化修复，应通过现场中试确定原位施工工艺参数。

i) 原地异位固化/稳定化土壤拟在场地内回填时，宜通过现场中试确定碾压设备、松铺厚度、松铺系数、碾压次数、碾压含水率、压实度等碾压参数。

j) 检验中试实施的固化/稳定化土壤的饱和渗透系数、无侧限抗压强度是否满足设计方案的要求时，应符合下列规定：

原地异位固化/稳定化修复，应在中试阶段、修复药剂和污染土壤拌合均匀后采集检验所需的固化/稳定化土壤样品；

原地异位固化/稳定化修复，采集固化/稳定化土壤样品后，应立即制备饱和渗透系数、无侧限抗压强度的室内试验所需试样，并在实验室内养护至设计规定的龄期后开展相关试验；

原地原位固化稳定化修复，中试后1 d~7 d期间，应在现场取原状试样送实验室内养护至设计规定的龄期后开展相关试验；

饱和渗透系数、无侧限抗压强度的试验方法，可按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123执行。

k) 现场中试应有二次污染防治措施。

### 10.2.4 修复工程实施

按照小试获取的修复药剂类型，中试获取的修复药剂掺量、施工步骤、工艺参数、修复药剂与污染土壤的拌合含水率，以及修复工程实施方案的要求完成施工。

固化/稳定化污染土壤表层应设置覆盖层，原地异位固化/稳定化土壤回填或存放区域的底部宜设置阻隔层。

11 竖向阻隔工程设计

## 11.1 一般规定

11.1.1 应根据场地勘察与污染状况调查成果、风险管控目标、目标污染物、风险控制值、设计使用年限要求，兼顾施工条件与场地修复方案，进行竖向阻隔工程设计。竖向阻隔工程设计方案的内容宜按本标准附录H执行。

11.1.2 用于竖向阻隔工程设计的指示污染物应根据下列内容综合确定：

1. 增大场地内岩土及屏障材料的渗透系数，且影响程度大的污染物；
2. 难以被场地内岩土及屏障材料吸附的污染物；
3. 缺乏相关资料及试验数据时，可采用氯离子作为指示污染物。

11.1.3 竖向阻隔屏障的设计使用年限应满足场地用途要求。

11.1.4 风险控制值应根据场地污染特征、场地用途、场地周边环境等因素综合确定，并应符合现行行业标准《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6的相关规定。

11.1.5 设计中应充分考虑竖向阻隔屏障对岩土层分布、地下水流向、水力梯度等区域水文地质条件的潜在影响。

## 11.2 竖向阻隔屏障总体设计

11.2.1竖向阻隔屏障的总体设计内容应包括平面布置、屏障厚度及屏障深度。

11.2.2竖向阻隔屏障的平面布置设计应符合下列规定：

a）应综合风险管控范围、地质条件、污染源—汇关系、场地用途等因素进行设计，宜根据污染范围选用闭合式平面布置；

b）对属于一般防渗区、简单防渗区的地下水污染防渗分区，当查明污染源—汇关系、地下水污染羽迁移途径、区域水文地质条件时，可采用切断地下水污染羽迁移途径的非闭合式平面布置；

c）对属于重点防渗区的地下水污染防渗分区，可额外地对其设计闭合形式布置的竖向阻隔屏障。

11.2.3 竖向阻隔屏障与邻近建（构）筑物的水平距离不宜小于1.5m。

11.2.4 竖向阻隔屏障的厚度应根据施工条件、场地环境污染现状等因素进行设计；厚度不宜小于0.6m，不宜大于1.5m。

11.2.5 竖向阻隔屏障的深度设计应根据场地工程地质与水文地质条件、污染特征等因素综合确定，并应符合下列规定

a）竖向阻隔屏障的设计深度应大于污染深度；

b）工业污染场地的污染物为轻质非水相有机污染物且污染深度不超过潜水埋藏深度时，可采用悬挂式竖向阻隔屏障，设计深度应达到历史最低地下水位1m以下；

c）除本条第2款所规定情况外，宜采用落底式竖向阻隔屏障，并应进入且不得穿透隔水层：

①隔水层的渗透系数不宜大于10-6cm/s；

②当隔水层厚度大于1m，进入隔水层深度不宜小于0.9m；

③当隔水层厚度小于等于1m，进入隔水层深度不应小于1/2的隔水层厚度。

## 11.3 竖向阻隔屏障材料

1. 屏障材料应根据设计使用年限要求、场地勘察与污染状况调查成果、场地安全再利用要求、设计厚度综合确定。选用程序应依次包括类型适用性判别、原材料选用、屏障材料配合比设计、使用功能判别。
2. 屏障材料及结构类型适用性判别应符合下列规定：
3. 有强度和变形控制要求时，应选用刚性及半刚性竖向阻隔屏障；
4. 对根据本标准4.3.3条确定为重点防渗区，可选用复合竖向阻隔屏障。
5. 防渗截污材料应对场地污染物具有防腐蚀性能，应根据现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046的腐蚀性等级进行选用，污染物对防渗截污材料的腐蚀性等级不应高于中等。
6. 竖向阻隔屏障原材料中的膨润土应符合下列规定：

a）膨润土颗粒粒径小于0.075mm的质量百分比不应小于95%，颗粒粒径小于0.002mm的质量百分比不宜小于35%；

b）污染物作用下膨润土的膨胀指数不宜小于12mL/2 g，试验方法应符合本标准第5.5.4条的规定；

c）污染物作用下膨润土的液限不宜小于200%，试验方法应符合本标准第11.5.3条的规定；

d）不满足本条第2款、第3款时，应选用膨润土外加剂，并应通过室内试验确定外加剂种类和掺入量。

1. 竖向阻隔屏障原材料中的水泥及其外加剂选用应符合相关现行国家标准的相关规定。水泥的强度等级宜达到42.5及以上。
2. 土工膜复合竖向阻隔屏障原材料中的土工膜应符合下列规定：

a）宜选用环保用双光面高密度聚乙烯土工膜，技术性能指标应符合现行国家标准《土工合成材料聚乙烯土工膜》GB/T 17643的相关规定；

b）土工膜渗透系数不应大于10-11cm/s；

c）厚度不宜小于3.0mm；

d）表观应均匀、无缺陷，切口应平整。

1. 钠基膨润土防水毯复合竖向阻隔屏障原材料中的钠基膨润土防水毯除应符合现行行业标准《钠基膨润土防水毯》JG/T 193的相关规定外，尚应符合下列规定：

a）单位面积总质量不应小于4800g/m2，其中单位面积膨润土质量不应小于4500g/m2；

b）污染物作用下膨润土的膨胀指数应符合本标准第5.3.4条的规定；

c）污染物作用下渗透系数不应大于1×10-7cm/s。

1. 单层及复合竖向阻隔屏障中的水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、塑性混凝土、混凝土、原位土-膨润土的材料配合比应符合下列要求：

a）应满足渗透系数设计要求，试验方法应符合本标准第5.5.5条的规定；

b）抗压强度应满足设计要求；

c）竖向阻隔屏障与修复技术协同使用时，宜考虑修复过程对渗透系数、抗压强度的影响；

d）根据场地气候及区域水文地质条件，应满足设计所需的抗干湿、抗冻融等耐久性能。

1. 单层及复合竖向阻隔屏障中的水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、塑性混凝土、混凝土、原位土-膨润土的渗透系数应符合下列规定：

a）未受污染水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、塑性混凝土、混凝土在标准养护28天龄期时的渗透系数不应大于1.0×10-7cm/s；

b）污染物作用下水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、塑性混凝土、混凝土在标准养护28天龄期时的渗透系数不应大于1.0×10-6cm/s

c）污染物作用下原位土-膨润土的渗透系数不应大于10-7cm/s。

1. 单层及复合竖向阻隔屏障中的水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、塑性混凝土、混凝土的强度性能应符合下列规定：

a）水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土在标准养护28天龄期时的无侧限抗压强度不应小于100kPa；

b）塑性混凝土、混凝土在标准养护28天龄期时的抗压强度不宜小于1000kPa；

c）屏障材料的强度性能尚应满足邻近建（构）筑物、地下管线及管廊变形控制要求。

1. 屏障材料的含水率应通过稠度试验进行确定，应符合下列要求：

a）开挖-回填法施工中，膨润土系竖向阻隔屏障材料的坍落度应为100mm~150mm；

b）开挖-回填法施工中，土-水泥-膨润土竖向阻隔屏障材料的坍落度应为100mm~200mm；

c）现浇施工的塑性混凝土竖向阻隔屏障材料、混凝土-钠基膨润土防水毯复合竖向阻隔屏障中的混凝土应符合下列稠度规定：

①入孔坍落度应为180mm~220mm，扩展度应为340mm~400mm；

②坍落度保持150mm以上的时间不应小于1h；

③初凝时间不应小于6h，终凝时间不宜大于24h。

1. 泥浆护壁的新拌制膨润土泥浆的配合比应符合下列规定：

a）配合比应根据泥浆性能要求试配确定，水化24h后泥浆性能要求应符合表11.3.12的规定；

b）配合比设计应充分考虑地层条件。遇极松散、颗粒粒径较大、受污染地层时，应通过外加剂等专门的措施调整。

表1 新拌制膨润土泥浆性能要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **项目** | **性能指标** | **试验方法** |
| 1 | 比重 | 1.03~1.10 | 泥浆比重称 |
| 2 | 黏度 | 36s~50s | 马氏漏斗黏度计测定 |
| 3 | 滤失量 | ＜20mL/30min | 中压滤失仪测定 |

1. 竖向阻隔屏障的原材料中包括受污染原位土时，屏障材料应符合下列规定：

a）防渗截污材料应对原位土中污染物具有防腐蚀性能；

b）应对屏障材料进行浸出毒性试验，目标污染物的浸出浓度不应大于风险控制值；

c）浸出毒性试验方法宜按现行行业标准《固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》HJ/T 299执行。

## 11.4 击穿判别验算

1. 单层水泥系、塑性混凝土、膨润土系竖向阻隔屏障的屏障厚度应进行击穿判别验算，并应符合下列规定：

a）以下式作为本标准竖向阻隔工程设计的击穿判别标准；

b）验算满足击穿判别标准时，屏障厚度可用于施工；验算不满足击穿判别标准时，应合理增加屏障厚度，并重复击穿判别验算；

c）对合理范围内屏障厚度尚未能通过击穿判别验算，则应进行地下水降水设计，减小屏障上下游两侧地下水位差。

  （11.4.1-1）

  （11.4.1-2）

  （11.4.1-3）

式中 *C*e——竖向阻隔屏障下游段渗出液中的目标污染物浓度（mg/L）；

*C*KZ——目标污染物的风险控制值（mg/L）；

*C*0——渗入竖向阻隔屏障的目标污染物浓度（mg/L）；

*C*i——初始状态下竖向阻隔屏障孔隙液中目标污染物浓度（mg/L）；

*L*——屏障厚度（cm）；

*v*s——污染液在屏障孔隙中的实际流速（cm/s）；

*k*——屏障渗透系数（cm/s）；

*i*——屏障中的平均水力梯度；

*n*——屏障孔隙率；

*D*h——目标污染物迁移通过竖向阻隔屏障的水动力弥散系数（cm2/s）；

*R*d——竖向阻隔屏障吸附目标污染物的阻滞因子；

*t*——设计使用年限（s）。

1. 击穿判别验算所需参数应符合下列规定：

a）阻隔性能参数，可采用以目标污染物所开展阻隔性能参数室内试验的实测值；

b）缺乏实测数据时，可采用指示污染物的阻隔性能参数进行击穿判别验算，阻滞因子可取1.0；

c）Ci可取场地勘察与污染状况调查阶段土试样的孔隙液中目标污染物浓度。

## 11.5 屏障材料的性能测试方法

1. 受污染原位土作为屏障材料的原材料时，应选取工业污染场地代表性原位土制备用于性能测试的试样。
2. 污染物作用下单层及复合竖向阻隔屏障中的水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、混凝土、塑性混凝土、原位土-膨润土、钠基膨润土防水毯的性能测试，应选用下列试验用溶液：

a）工业污染场地取样处地下水；

b）工业污染场地内目标污染物种类和浓度相同、化学性质相近的化学溶液。

1. 未受污染单层及复合竖向阻隔屏障中的水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、混凝土、塑性混凝土、原位土-膨润土、钠基膨润土防水毯的性能测试的试验用水，宜采用水质达到现行国家标准《地下水质量标准》GB/T14848所规定III类地下水质量的淡水或自来水。
2. 污染物作用下膨润土的液限测试宜采用现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123所规定的液塑限联合测定法。
3. 污染物作用下膨润土的膨胀指数的试验方法应按照本标准附录I执行。试验用溶液的选用应符合本标准第11.5.2条的规定。
4. 单层及复合竖向阻隔屏障中的水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、混凝土、塑性混凝土、原位土-膨润土的渗透系数测试应符合下列规定：

a）混凝土、塑性混凝土的试验所用主要仪器设备、试样制备、试验步骤应符合现行行业标准《现浇塑性混凝土防渗芯墙施工技术规程》JGJ/T 291的相关规定；

b）水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、原位土-膨润土的试验所用主要仪器设备、试样制备、试验步骤应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123的相关规定；

1. 宜分别测定未受污染试样以及污染物作用下试样的渗透系数；
2. 试验过程中应收集并测定渗出液的体积、pH值、电导率和污染物浓度；
3. 未受污染试样的渗透试验的试验终止条件应符合下列规定：

1）连续4次所测定的渗透渗入量与渗出量的比值应达到0.75~1.25之间；

2）渗透系数大于等于110-8 cm/s时，至少连续4次所测定渗透系数的变化幅度应小于等于25%；渗透系数小于110-8 cm/s时，至少连续4次所测定渗透系数的变化幅度应小于50%；渗透系数随试验时间应无明显单调升高或降低趋势；

5 污染物作用下试样的渗透系数的试验终止条件应符合下列规定：

1. 符合本条第4款的规定；
2. 累积渗出液体积与试样孔隙体积的比值不宜小于2.0；

3）测定渗入液与渗出液pH值、电导率及污染物浓度之间的相对误差小于10%，且渗出液pH值、电导率及污染物浓度随试验时间应无明显单调升高或降低趋势。

1. 复合竖向阻隔屏障的渗透试验应根据各工程材料渗透系数综合确定，并应符合下列规定：
2. 土工膜的渗透系数测定应符合现行国家标准《土工合成材料 防渗性能 第2部分：渗透系数的测定》GB/T 19979.2的相关规定；
3. 钠基膨润土防水毯的渗透系数测定除应符合现行行业标准《钠基膨润土防水毯》JG/T193的相关规定，试验终止的条件应符合本标准第11.5.5条的规定；
4. 土工膜复合竖向阻隔屏障的水平渗透系数可按下式计算：

  （11.5.7-1）

式中 *k*MF—— 土工膜复合竖向阻隔屏障的水平渗透系数（cm/s）；

*k*B—— 土工膜两侧屏障材料的水平渗透系数（cm/s）；

*k*GM—— 土工膜的渗透系数（cm/s）；

*L*B—— 土工膜两侧屏障材料的总厚度（cm）；

*d*GM—— 土工膜的厚度（cm）。

1. 钠基膨润土防水毯复合竖向阻隔屏障的水平渗透系数可按下式计算：

  （11.5.7-2）

式中 *k*TF——复合竖向阻隔屏障的水平渗透系数（cm/s）；

*k*B—— 钠基膨润土防水毯两侧屏障材料的水平渗透系数（cm/s）；

*k*GCL—— 钠基膨润土防水毯的渗透系数（cm/s）；

*L*B—— 钠基膨润土防水毯两侧屏障材料的总厚度（cm）；

*d*GCL——钠基膨润土防水毯的厚度（cm）

11.5.8 确定混凝土抗渗等级的抗水渗透试验应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082的相关规定。

11.5.9 污染物在竖向阻隔屏障中迁移的水动力弥散系数、阻滞因子，可通过恒流速土柱试验测定，恒流速土柱试验方法可按照本标准附录D执行。

12 竖向阻隔工程施工

## 12.1 一般规定

### 12.1.1 竖向阻隔工程施工前，应具备下列资料：

1. 场地勘察及污染状况调查资料；
2. 施工所需的设计方案；
3. 施工方案；
4. 工艺性试验资料；
5. 施工原材料的质量检验资料；
6. 保障施工人员健康和环境安全的措施。
7. 施工方案应宜括下列内容：
8. 施工作业条件资料；
9. 测量作业资料；
10. 施工组织设计；
11. 施工方法与作业流程；
12. 施工质量控制方案；
13. 对邻近建（构）筑物分布、地下管线及管廊的工程保护措施。
14. 施工作业条件资料宜包括以下内容：
15. 工程场地总平面图，宜包括场地建（构）筑物分布、地下管线及管廊分布、施工空间、交通设施；
16. 邻近建（构）筑物安全等级、基础形式及埋设深度；
17. 施工过程中产生固体废弃物、废液与废气的处置方案；
18. 施工场地的平整情况和地基承载力；
19. 水、气及其他施工燃料动力供应条件；
20. 区域及场地周边的交通条件。
21. 场地工程地质及水文地质条件对施工方法的适用性要求，应符合现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111的相关规定。
22. 施工场地的施工空间、平整情况和地基承载力应满足机械施工要求。工程需要时应提出施工场地的地基处理设计与施工方案。
23. 施工场地存在挥发及半挥发有机污染物时，不宜开展开挖施工作业。
24. 竖向阻隔屏障施工的有效厚度应符合下列规定：
25. 施工的有效厚度不应小于屏障厚度设计要求；
26. 对开挖-回填法施工，有效厚度取抓斗宽度；
27. 对压力注浆法施工，有效厚度取值应符合现行行业标准《注浆技术规程》YS/T 5211中对帷幕厚度确定方法的相关规定；
28. 对深层搅拌法、高压喷射注浆法施工，有效厚度取桩间搭接最窄处厚度；
29. 对渠式切割法、铣削深搅法施工，有效厚度取施工机械的有效施工宽度。
30. 竖向阻隔屏障施工应确保交接面的连续、完整。
31. 对影响施工且无法被清除的地下障碍物，应采用合理的施工技术，确保其下部竖向阻隔屏障的完整性。
32. 竖向阻隔屏障施工过程中宜监测地下水位变动、地下水流向和地下水污染羽的变化情况，当影响施工时应采取降水措施。
33. 竖向阻隔屏障施工过程中出现特殊施工情况时，应采取应急措施。
34. 竖向阻隔屏障施工完成后应对屏障顶部进行工程保护，并应符合下列规定：
35. 刚性及半刚性竖向阻隔屏障应在屏障材料的初始凝固后松铺厚度不小于15cm的黏性土，并应在达到屏障设计要求的强度后，施工压实黏性土，压实度不宜小于90%；
36. 柔性竖向阻隔屏障的顶部覆盖层可选用厚度不小于60cm的压实黏性土，压实度不宜小于90%；
37. 根据场地气候条件，可在压实黏性土层下部铺设土工布，压实度不宜小于85%；
38. 单层压实黏性土的压实度不宜小于90%，铺设土工布时压实黏性土的压实度不宜小于85%；

## 12.2 工艺性试验

1. 工艺性试验应开展下列工作：
2. 确定施工所需要的施工工艺参数；
3. 核验竖向阻隔屏障施工的有效厚度、屏障的完整性；
4. 核验屏障材料设计方案的施工和易性；
5. 核验竖向阻隔屏障材料的渗透系数、抗压强度。
6. 工艺性试验的试验点选择应具有代表性，试验长度沿平面布置的线路方向不应小于3m。
7. 开挖-回填法施工水泥系、膨润土系竖向阻隔屏障的工艺性试验应着重确定下列施工工艺：
8. 成槽工艺、沟槽开挖稳定性，并根据试验结果制定槽壁加固方案；
9. 满足屏障材料制备均匀性的工艺参数。
10. 开挖-回填法施工复合竖向阻隔屏障的工艺性试验除应符合本标准第6.2.3条的规定外，尚应验证以下施工工艺：
11. 插入土工膜、钠基膨润土防水毯的施工工艺，应包括输送、下送、固定；
12. 土工膜、钠基膨润土防水毯的搭接方式及搭接宽度。
13. 压力注浆法施工的工艺性试验应着重确定下列施工工艺：
14. 钻孔冲洗工艺，应确保施工不引起二次污染、交叉污染；
15. 灌浆孔密封性；
16. 灌浆压力、注入率；
17. 冒浆、外漏、串浆情况，并根据试验结果制定封堵方案；
18. 灌浆工后的清除、封闭施工工艺。
19. 深层搅拌法施工的工艺性试验应着重确定下列施工工艺：
20. 喷浆搅拌法施工时，确定喷浆量、喷浆压力；
21. 喷粉搅拌法施工时，确定喷粉量，检查设备的密封性、可靠性；
22. 确定钻杆下沉及提升速度、复搅速度、搅拌时间等；
23. 浆液堵管情况，并根据试验结果制定处理方案。
24. 高压喷射注浆法施工的工艺性试验应着重确定下列施工工艺：
25. 确定水液喷射压力、水液流量；
26. 确定浆液喷射压力、浆液流量、喷嘴孔径；
27. 确定空气压力、空气风量；
28. 确定提升速度、转速、搅拌时间；
29. 查明冒浆、漏浆情况，并根据试验结果调整施工工艺。
30. 现浇混凝土施工的工艺性试验应着重确定下列施工工艺：
31. 验证成槽工艺、沟槽开挖稳定性，并根据试验结果制定槽壁加固方案；
32. 核验屏障材料配合比的施工和易性；
33. 浇筑导管检验及试配，检验导管连续浇筑水密性、浇筑均匀性；
34. 确定浇筑的混凝土面上升速度；
35. 检验模板接缝、模板稳定性。
36. 渠式切割法施工的工艺性试验应着重确定下列施工工艺：
37. 根据地层条件确定切割刀具类型；
38. 确定切割液的配合比；
39. 确定切割前进速度，检验刀具切割能力；
40. 检查注浆泵，确定竖向阻隔屏障材料的工作流量；
41. 提出噪音控制措施。
42. 铣削深搅法施工的工艺性试验应着重确定下列施工工艺：
43. 根据地层条件确定铣削刀具类型；
44. 检验刀具切割能力；
45. 确定铣轮钻进速度，检验铣轮密封性；
46. 核验注浆压力、注浆量、水灰比，并调试与之匹配的切削下沉及搅拌提升速度。

## 12.3 施工方法

1. 开挖-回填法施工原位土-膨润土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土竖向阻隔屏障的施工应包括下列步骤：
2. 沿平面布置的线路方向，施工导墙；
3. 开挖沟槽，至设计深度，同时进行泥浆护壁；
4. 按配合比设计制备竖向阻隔屏障材料；
5. 向泥浆护壁的沟槽中回填屏障材料。
6. 开挖-回填法施工原位土-膨润土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土竖向阻隔屏障的泥浆制备应符合下列规定：
7. 不应在拟回填的沟槽中制备泥浆；
8. 宜在5oC~40oC的温度条件下制泥浆制备；
9. 新制膨润土泥浆的贮放时间不应低于24h，施工质量标准按本标准第12.4.4条执行；
10. 新制水泥-膨润土泥浆时，搅拌时间不应超过3h，施工质量标准按本标准第12.4.6条执行；
11. 膨润土泥浆经再生处理，符合浆液施工质量控制要求后可循环使用。
12. 开挖-回填法施工原位土-膨润土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土竖向阻隔屏障的开挖沟槽、泥浆护壁应符合下列规定：
13. 沟槽开挖应连续进行，泥浆护壁时间宜取24h~48h；
14. 不应对未进行泥浆护壁的地层进行开挖作业；
15. 沟槽开挖出现侧壁坍塌时，应立即进行回填；
16. 施工质量标准应按本标准第12.4.9条执行。
17. 开挖-回填法施工原位土-膨润土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土竖向阻隔屏障的屏障材料制备应符合下列规定：
18. 使用挖掘的原位土时，应剔除砾砂、碎石及建筑垃圾等杂物；
19. 应使用沟槽中或新制膨润土泥浆调节原位土-膨润土、原位土-水泥-膨润土竖向阻隔屏障材料的含水率；
20. 施工质量标准应按本标准第12.4.8条执行。
21. 对开挖沟槽进行槽壁加固时，应符合下列规定：
22. 应根据岩土工程勘察资料确定槽壁加固措施；
23. 槽壁加固的深度应超过产生坍塌的土层，且加固深度不宜小于15m。
24. 开挖-回填法施工原位土-膨润土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土竖向阻隔屏障的屏障材料回填作业应符合下列规定：
25. 屏障材料应回填至沟槽中泥浆液面高度以上；
26. 掺入水泥时，应在屏障材料出现硬化前进行回填施工。
27. 开挖-回填法施工复合竖向阻隔屏障的施工应包括下列步骤：
28. 沿平面布置的线路方向，施工导墙；
29. 开挖沟槽，至设计深度，同时进行泥浆护壁；
30. 按配合比设计制备竖向阻隔屏障材料；
31. 土工膜或钠基膨润土防水毯插入作业，并同步回填屏障材料；
32. 土工膜插入与回填材料回填后，应及时施工顶部覆盖层，且土工膜的上端应与顶部覆盖层连接，形成完全封闭的防渗体系；
33. 重复本条第1~5款，直至完成施工。
34. 土工膜插入作业应符合下列规定：
35. 土工膜应进行完整性检测；
36. 对存在局部缺陷的土工膜，修补后方能使用；
37. 插入过程中应预留土工膜的松弛量，并不应使土工膜产生褶皱；
38. 土工膜的幅宽不宜小于4m；
39. 施工质量标准应按本保准第12.4.10条执行。
40. 钠基膨润土防水毯插入作业应符合下列规定：
41. 插入过程中应确保钠基膨润土防水毯平直、受控，并贴合沟槽壁；
42. 插入深度小于15m时，钠基膨润土防水毯
43. 土工膜插入与回填材料回填，应符合下列规定：

1）施工前，应对供膜机械及下膜机械、膜间搭接、膜底配重进行工艺性试验，确定适宜的施工工艺参数；

2）土工膜插入可采用垂直插入法、机械滚筒插入法、振动梁法等，土工膜的幅宽不宜小于7m，插入施工过程中应预留土工膜的松弛量，并不得使土工膜产生褶皱；

3）膜间搭接可采用热熔焊法、锁扣法等；锁扣间止水工艺可采用止水条密封法等；

4）施工过程中应对土工膜厚度、土工膜缺陷、膜间搭接、土工膜插入深度进行施工质量控制，对存在土工膜局部缺陷可采用焊接方式加盖补丁回填过程中不得损伤土工膜；

1. 压力注浆施工工艺除应符合现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111的相关规定外，尚应符合下列规定：
2. 钻孔、裂隙冲洗施工过程中，应记录回水的颜色、pH及电导率等项目，当测试项目与区域内未受污染地下水勘察结果存在明显差异时，应停止施工，判断污染状况；
3. 岩土裂隙中存在污染物时，不宜采用循环式灌浆。
4. 深层搅拌施工工艺除应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004、现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111的相关规定外，尚应符合下列规定：
5. 施工前应沿竖向阻隔屏障平面布置的线路方向开挖导槽，导槽深度可取1.0m~2.0m，沟槽宽度可取竖向阻隔屏障设计厚度的1倍~2倍；
6. 施工宜采用跳槽式、单侧挤压式等重复套打方式；
7. 搭接施工应在搭接处的屏障材料硬凝前完成；
8. 单排深层搅拌施工的搭接宽度不应小于250mm；双排深层搅拌施工的搭接宽度不应小于200mm；
9. 孔位允许偏差应小于50mm，垂直度偏差不应超过1/100；
10. 施工过程中应根据冒浆情况，对喷浆量、搅拌速度和提钻速度进行调整；
11. 施工至污染深度范围时，宜增加搅拌次数及（或）喷浆搅拌时间。
12. 高压喷射注浆施工工艺除应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004、现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111的相关规定外，尚应符合下列规定：
13. 施工前应沿竖向阻隔屏障平面布置的线路方向开挖导槽，导槽深度可取1.0m~2.0m，沟槽宽度可取竖向阻隔屏障设计厚度的1倍~2倍；
14. 施工过程中应根据冒浆情况，调整喷射压力；
15. 高压喷射注浆施工的搭接宽度不应小于350mm；
16. 注浆孔的孔位允许偏差应小于50mm，注浆孔垂直度偏差不应超过1/100；
17. 场地存在邻近建（构）筑物、地下管线及管廊时，应在施工点位外预设测斜管，当施工引起周边土体明显位移时，应降低喷射压力；
18. 施工至污染深度范围时，宜增加注浆流量。
19. 塑性混凝土竖向阻隔屏障、混凝土-钠基膨润土防水毯复合竖向阻隔屏障中混凝土的浇筑施工应符合现行行业标注《现浇塑性混凝土防渗芯墙施工技术规程》JGJ/T 291的相关规定。
20. 渠式切割法施工应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004、现行行业标准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ/T 303的相关规定。
21. 铣削深搅法施工应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004的相关规定。
22. 导墙施工应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004的相关规定。
23. 地下水控制的降水措施应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB51004、行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111的相关规定。

## 12.4 施工质量控制

1. 施工质量控制包括原材料进场质量控制、施工材料质量控制、施工工序质量控制。各阶段施工质量控制应进行准确记录。主控项目的质量控制均应符合质量控制要求。一般项目的质量控制合格率不得低于90%，且不得存在严重缺陷。
2. 原材料进场质量控制应符合设计要求，可根据原材料的质量检测资料进行检查。
3. 施工前应对施工用水进行质量控制，应符合表12.4.3的规定。

表 12.4.3 施工用水质量标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目类别 | 序号 | 检测项目 | 质量控制要求 | 检测频次 | 检测方法 |
| 主控项目 | 1 | pH | 6~9 | 每个来源1次 | 玻璃电极法 |
| 2 | 硬度 | <250mg/L | 每个来源1次 | EDTA容量法、电感耦合等离子体原子发射光谱法、电感耦合等离子体质谱法 |
| 3 | 总固体含量 | <500mg/L | 每个来源1次 | 105oC干燥重量法、180oC干燥重量法 |
| 4 | 硫酸盐 | <1% | 每个来源1次 | 硫酸钡重量法、离子色谱法、EDTA容量法、硫酸钡比浊法 |

1. 开挖-回填法施工过程中用于泥浆护壁的新拌制膨润土泥浆的施工材料质量控制应符合表12.4.4的规定。

表 12.4.4 新拌制膨润土泥浆的施工质量标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目类别 | 序号 | 检测项目 | 质量控制要求 | 检测频次 | 检测方法 |
| 主控项目 | 1 | 膨润土及外加剂掺入量 | 设计要求 | 至少每天1次 | 称重 |
| 2 | 比重 | 1.03~1.10 | 至少每天1次 | 泥浆比重称 |
| 一般项目 | 3 | 黏度 | 36s~50s | 至少每天1次 | 马氏漏斗黏度计 |
| 4 | 滤失量 | <20mL/30min | 至少每天1次 | 中压滤失量测定 |

1. 开挖-回填法施工过程中应对用于泥浆护壁的沟槽内上、中、下部膨润土泥浆进行施工材料质量控制，应符合表12.4.5的规定。

表 12.4.5 沟槽内膨润土泥浆的施工质量标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目类别 | 序号 | 检测项目 | 质量控制要求 | 检测频次 | 检测方法 |
| 主控项目 | 1 | 比重 | 1.05~1.25，且应较回填材料的比重至少低0.24 | 至少每天1次 | 泥浆比重称 |
| 2 | 含砂量 | <5% | 至少每天1次 | 洗砂瓶 |
| 一般项目 | 3 | 黏度 | 36s~50s | 至少每天1次 | 马氏漏斗黏度计 |
| 4 | 滤失量 | <20mL/30min | 至少每天1次 | 中压滤失量测定 |

1. 开挖-回填法施工水泥-膨润土竖向阻隔屏障时应对水泥-膨润土泥浆进行施工材料质量控制，应符合表12.4.6的规定。

表 12.4.6 水泥-膨润土泥浆的施工质量标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目类别 | 序号 | 检测项目 | 质量控制要求 | 检测频次 | 检测方法 |
| 主控项目 | 1 | 水泥、膨润土及外加剂掺入量 | 设计要求 | 至少每天1次 | 称重 |
| 2 | 比重 | >1.12 | 至少每天1次 | 泥浆比重称 |
| 一般项目 | 3 | 泥浆温度 | 5oC~40oC | 宜每天2~3次 | 温度计 |

1. 开挖-回填法施工过程中应对用于单层及复合竖向阻隔屏障材料制备的原位土进行施工材料质量控制，应符合表12.4.7的规定。

表 12.4.7 竖向阻隔屏障材料中原位土的施工质量标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目类别 | 序号 | 检测项目 | 质量控制要求 | 检测频次 | 检测方法 |
| 一般项目 | 1 | 颗粒粒径分析 | <60mm，且细粒组宜超过30% | 每施工1000t ~4000t | 筛分法 |
| 2 | 表观性质 | 无固体废物等杂物、无异味 | 每施工1000t ~4000t | 目测、气味感官 |

1. 开挖-回填法施工过程中用于回填的单层及复合竖向阻隔屏障材料的施工材料质量控制应符合表12.4.8的规定。

表 12.4.8 回填材料的施工质量标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目类别 | 序号 | 检测项目 | 质量控制要求 | 检测频次 | 检测方法 |
| 主控项目 | 1 | 原材料掺入量 | 设计要求 | 每施工50t~100t | 称重 |
| 2 | 落度 | 设计要求 | 每施工50t~100t | 标准坍落度试验 |
| 3 | 制备均匀性 | 均匀 | 每施工50t~100t | 密度抽样、电阻率法 |

1. 开挖-回填法的施工工序质量控制应符合表12.4.9的规定。

表 12.4.9 开挖-回填法的施工工序质量标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目类别 | 序号 | 检测项目 | 质量控制要求 | 检测频次 | 检测方法 |
| 主控项目 | 1 | 开挖点位 | 沿平面布置 | 每天1次 | 全站仪或用钢尺量 |
| 2 | 沟槽深度 | 设计深度 | 开挖后测量 | 用测绳测量、槽验 |
| 3 | 沟槽宽度 | 设计厚度 | 每天1次 | 用测绳测量、超声波法 |
| 4 | 开挖垂直度 | ≤1/100 | 连续检测 | 超声波法 |
| 5 | 沟槽清底 | 清除沉砂、侧壁塌落沉积土 | 每施工50t~100t | 线锤测量 |
| 6 | 泥浆液面高度 | 应高出地下水位0.5m以上，且不应低于地表30cm | 连续检测 | 用钢尺量 |

1. 开挖-回填法施工土工膜复合竖向阻隔屏障的施工工序质量控制除应符合本标准第12.4.7条的相关内容外，土工膜插入的施工工艺质量控制尚应符合表12.4.10的规定。

表 12.4.10 土工膜插入的施工质量标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目类别 | 序号 | 检测项目 | 质量控制要求 | 检测频次 | 检测方法 |
| 主控项目 | 1 | 厚度 | 设计要求 | 每1幅 | 用游标卡尺量 |
| 2 | 外观质量 | 切口平整、无穿孔、无机械划痕、无裂纹、无分层、无气泡和杂质 | 每1幅 | 目测 |
| 3 | 搭接表观 | 膜间搭接无漏接、无烫伤、无褶皱、均匀 | 每1幅 | 目测 |
| 4 | 搭接宽度 | 膜间热熔焊接应≥100mm；挤出焊接应≥75mm | 每1幅 | 用游标卡尺量 |
| 5 | 热熔焊接膜间搭接 | 剪切强度不应小于母材抗拉强度的80%，且试样断裂不得在接缝处 | 沿平面布置每施工应50m | 剪切和剥离试验 |
| 6 | 插入深度 | 设计要求 | 每1幅 | 用测绳测量 |

1. 开挖-回填法施工钠基膨润土防水毯复合竖向阻隔屏障的施工工序质量控制除应符合本标准第12.4.7条的相关内容外，钠基膨润土防水毯插入的施工工艺质量控制尚应符合表12.4.11的规定。

表 12.4.11 钠基膨润土防水毯插入的施工质量标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目类别 | 序号 | 检测项目 | 质量控制要求 | 检测频次 | 检测方法 |
| 主控项目 | 1 | 外观质量 | 表面平整，厚度均匀，无破损、膨润土漏失；针刺类产品的针刺均匀密实，应无残留断针 | 每1幅 | 目测 |
| 2 | 搭接表观 | 平整贴合，无褶皱 | 每1幅 | 目测 |
| 3 | 搭接宽度 | ≥450mm | 每1幅 | 用尺测量 |
| 4 | 插入深度 | 设计要求 | 每1幅 | 用测绳测量 |

1. 槽壁加固的施工工序质量控制应符合下列规定：
2. 垂直度允许偏差不应大于1/200；
3. 28天龄期无侧限抗压强度不宜小于800kPa。
4. 压力注浆法、深层搅拌法、高压喷射注浆法、渠式切割法、铣削深搅法施工的单层竖向阻隔屏障的施工工序质量控制应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、行业标准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ/T 303的相关规定。
5. 施工过程中，对可能受施工影响的邻近建（构）筑物、地上及地下管线、地下管廊、道路、岩土体，应进行监测，并宜参照现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497及行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8的相关规定。

13 污染地块风险管控工程运维及监测

## 13.1 运维维护

### 13.1.1 运维维护方案编制

风险管控工程应编制运维维护方案，包括系统运维管理、设备操作、设备维护保养、安全运维管理制度建立、设备检修等内容。当涉及药剂、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。

### 13.1.2 运维维护内容

13.1.2.1 对设备设施运维进行记录，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。

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

## 13.2 水平阻隔和固化稳定化运维监测

运维监测应结合风险管控目标污染物并按照《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2）规定的方法和内容进行。

### 13.2.1 水平阻隔运维监测

水平阻隔系统建设完成运维5年后，应对其进行回顾性检测评估运维状况，具体包括：

1. 应在修复现场进行原位双环法试验，测试CCL层的渗透系数；
2. 在合适的地点进行开挖，观察水平阻隔系统纵向剖面中各层的工作情况，重点观察CCL层裂隙的发育长度，统计裂隙的数量、长度、宽度和深度；
3. 应对CCL和GCL进行取样，室内测试CCL层的土体气体扩散系数、土体气体渗透率及饱和渗透系数，并通过柔性壁试验测试GCL渗透性能是否发生改变；
4. 应对土工膜进行取样，测试5年后土工膜中的炭黑含量和常温氧化诱导时间（OIT），通过剪切试验和剥离试验测试土工膜的强度变化，采用柔性壁试验测试土工膜渗透系数的变化，并通过电火花法检测其是否发生渗漏。

### 13.2.2 固化稳定化工后监测

监测的工作程序应包括资料收集分析、监测方案编制、监测实施、监测结果评估共四个步骤。

1. 资料收集与分析

进行监测工作前应进行资料收集与分析，确定污染场地信息，包括场地环境调查阶段、修复阶段、工程验收阶段相关资料。

应根据收集的资料，对场地内及周边的污染物迁移条件进行分析，为监测点位布设和监测指标的确定提供基础性信息。

1. 监测方案编制

工后环境监测方案应包括监测对象、监测指标、监测时长与频率、监测点位布设、样品采集、样品分析、质量控制等内容。

工后环境监测对象应包括修复区域上下游地下水，必要时还可检测修复区域地表水。

修复区域地表水、修复区域上下游地下水监测指标应包括目标污染物浓度、pH、电导率、氧化还原电位、实施固化稳定化修复的污染物以及固化/稳定化过程可能引入的其他潜在污染物。

地下水监测点位不应少于3个（上游1个、下游2个）。当固化/稳定化修复导致地下水流向发生改变或地下水本身存在污染时，如场地条件允许，应在关注区域增加地下水监测点位。

1. 监测实施

监测内容应与监测计划相符，产生偏离的应有相关记录和说明，尤其发生以下变动的应征得有关部门同意：

改变或替换原定监测点位；

改变监测频次；

采用新技术代替原定监测技术。

工后环境监测的时间宜为5年。

1. 监测结果评估

监测结果应与相关标准或预先确定的监测目标进行比对分析，明确达标情况。

监测单位应根据监测结果编制监测报告，报告应包括下列内容：

监测目标；

监测设备和人员；

监测结果（包括日期、时间，以及气候、地面状况等其他观测结果）；

监测结果展示（可通过时间序列图、等值线图等展示）；

结果分析（包括与评估标准进行核对）；

监测过程中若存在终止监测、变更监测（如变更监测频次）或采取其他行动等情况，应进行文字说明并解释原因。

## 13.3 竖向阻隔运维监测

1. 应综合原位测试、取样分析、物理测量、视觉与嗅觉感官评价等方法开展工后监测，包括以下工作：
2. 应进行环境监测，应包括地下水质量、土壤环境质量，监测项目应根据场地污染状况调查、场地修复情况综合确定；
3. 宜监测地下水水文情况，可包括地下水流向与流速、地下水位变动情况等
4. 宜监测竖向阻隔屏障变形，宜包括屏障表面沉降量及屏障侧向变形量；
5. 可监测屏障对周边环境的影响，可包括周边区域地表沉降、邻近建（构）筑的变形等。
6. 环境与工程监测期限不宜少于2年，并宜与设计使用年限一致。
7. 环境监测点位布置除应符合现行行业标准《建设用地土壤污染风险管控和修复 监测技术导则》HJ 25.2、《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164的相关规定外，尚应符合下列规定：
8. 用于地下水质量监测的地下水监测井应结合阻隔范围进行布置，并应充分考虑屏障引起的地下水流向变化情况，屏障上游应至少各设置1眼，屏障下游应至少设置2眼；
9. 用于取样的监测点布设应尽可能靠近竖向阻隔屏障下游，距竖向阻隔屏障的最大距离不应超过10m，并宜在未污染区域设置对照监测点；
10. 沿污染羽迁移方向及饮用水源地宜加密设置监测点；
11. 监测深度不应小于场地勘察与污染状况调查阶段的工作深度，并应根据污染深度分布、场地地质条件、场地修复情况综合确定。
12. 土壤质量环境监的监测点位的平面布置宜采用分区布点法，监测取样的工作量可参照现行行业标准《污染场地岩土工程勘察标准》HG/T 20717的相关规定。
13. 环境监测应充分利用场地勘察与污染状况调查、工程效果评估阶段设置的地下水监测井及取样点位。地下水监测井应符合现行行业标准《污染场地岩土工程勘察标准》HG/T 20717的相关规定。
14. 竖向阻隔屏障工后变形与表面沉降、邻近建（构）筑物、地下管线及管廊变形监测的点位布置应最大程度地反映监测对象的实际状态及其变化趋势，并宜参照现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497的相关规定。
15. 监测结果出现异常，应立即实施安全预案，提高监测频率，采取相应的安全防护措施。如遇突发事件应进行非常规检查以核实工程效果。
16. 应根据具体监测项目明确监测方法、监测频次，可按表13.3.8进行。

**表 13.3.8 竖向阻隔工程工后监测方法及监测频次**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 监测项目 | 监测方法 | 监测频次 |
| 1 | 地下水位 | 监测井内直接测量 | 连续监测3个月，每月1次，此后宜每半年/次 |
| 2 | 地下水流速 | 指示剂法、充电法、声呐法 | 连续监测3个月，每月1次，此后宜每1~2年1次 |
| 3 | 阻隔引起地下水流向变化 | 几何法 | 连续监测3个月，每月1次，此后宜每年1次 |
| 4 | 屏障两侧水头 | 监测井内直接测量 | 连续监测3个月，每月1次，此后宜每1~2年1次 |
| 5 | 地下水质量 | 监测井内取样分析 | 连续监测3个月，每月1次，此后宜每1~2年1次 |
| 6 | 竖向阻隔屏障上、下游水质 | 监测井内取样分析 | 每半年/次 |
| 7 | 竖向阻隔屏障侧向变形 | 测斜管测量 | 连续监测3个月 |
| 8 | 竖向阻隔屏障沉降量 | 沉降板测量、水准仪直接测量 | 连续监测3个月，每月1次 |
| 9 | 邻近建（构）筑物变形 | 水准仪、经纬仪、测斜管、裂缝直接测量，裂缝计测量，粘贴安装千分表法 | 连续监测3个月，每月1次 |
| 10 | 地下管线及管廊变形 | 位移杆法，柔性管线可采用间接监测 | 连续监测3个月，每月1次 |

1. 工后监测记录要求，可按本标准附录F执行。

14 风险管控效果评估

## 14.1 风险管控效果评估标准

14.1.1 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。

14.1.2 风险管控措施下游地下水中污染物浓度应持续下降，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。

## 14.2 风险管控效果评估方法

14.2.1 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维与维护。

14.2.2 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，须对风险管控措施进行优化或修理。

14.2.3 固化稳定化

固化/稳定化土壤目标污染物浸出浓度的评估方法，应符合现行行业标准《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的规定。

饱和渗透系数、无侧限抗压强度应达到设计要求，全体样品的达标率不应小于95%。

## 14.3 风险管控效果评估报告编制

14.3.1 固化稳定化

固化稳定胡效果评估报告应包括评估项目名称、评估内容、评估结果、评估结论和建议，其中评估内容应包括修复方案实施情况、评估程序及方法、文件审核与现场踏勘、采样布点方案、现场采样、实验室检测、修复效果评估、监理报告和检测报告以及工后监测方案等。

## 14.4 竖向阻隔工程效果评估一般规定

1. 工程效果评估应包括工程效果评估标准、工程全流程资料、施工质量评估、工程性能指标抽检评估、地下水质量抽检。工程效果评估工作记录宜按本标准附录E执行。工程效果评估报告的内容宜按本标准附录F执行。
2. 开展工程效果评估的时间应符合现行行业标准《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6的相关规定，可在竖向阻隔工程施工完成1年内开展。
3. 工程效果评估应在施工单位自行检验评定合格的基础上进行。
4. 竖向阻隔工程的工后监测应根据工程效果评估结论及建议进行，应包括反映工程效果的环境监测与工程监测，并可根据监测结果、场地用途开展制度控制、工程管理。
5. 工程效果评估及工后监测完成后应立即对工作点位采取保护和复原措施，并应进行标记。钻孔的封孔应符合本标准第7.2.12条的规定。开挖的顶部覆盖层应进行复原。

## 14.5 竖向阻隔工程效果评估

1. 工程效果评估标准应符合下列规定：
2. 工程全流程资料完整、记录准确；
3. 施工过程中检测项目达到施工质量控制要求；
4. 施工质量评估达到工程施工质量要求；
5. 抽检工程性能指标达到设计要求；
6. 抽检地下水质量中目标污染物浓度，确认实现风险管控目标。
7. 工程效果评估的工程全流程资料应包括下列内容：
8. 场地勘察与污染状况调查报告；
9. 竖向阻隔工程设计方案；
10. 施工组织设计资料及工程施工专项方案；
11. 施工原材料的质量检测资料；
12. 施工过程中施工质量控制记录资料；
13. 与设计及施工相关的其他资料。
14. 竖向阻隔屏障的施工质量评估、工程性能指标抽检评估、地下水质量抽检应综合原位测试与取样室内试验进行。
15. 竖向阻隔屏障的施工质量评估应符合本标准表14.5.4的规定。

表 14.5.4 施工质量评估项目要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 评估项目 | 评估方法 | 允许偏差 |
| 1 | 屏障厚度 | 浅部开挖验证、用钢尺量 | 不小于设计值 |
| 2 | 屏障深度 | 钻杆长度测量、钻孔取样评估 | 不小于设计值 |
| 3 | 进入隔水层深度 | 钻杆长度测量、钻孔取样评估 | 不小于设计值 |
| 4 | 线路偏差量 | 浅部开挖验证、水准仪测量 | ±50mm |
| 5 | 屏障完整性 | 钻孔取样表观观测、坑探、工程物探方法、示踪剂法 | - |
| 6 | 顶部覆盖层厚度 | 浅部开挖验证、用钢尺量 | 不小于设计厚度 |

1. 复合竖向阻隔工程的施工质量评估项目宜包括土工膜及钠基膨润土防水毯的插入深度。
2. 屏障完整性应符合下列规定：
3. 钻孔取样表观观测评估时，应进行文字和图片记录，可按表14.5.6评价屏障完整性；
4. 坑探评估时，可通过屏障表面平整度、屏障材料均匀性、土工膜完整性及膜间搭接效果、钠基膨润土防水毯搭接宽度与贴合程度、有无缺陷等综合评价完整性。

表 14.5.6 钻孔取样屏障完整性评估

|  |  |
| --- | --- |
| 完整性描述 | 取样特征 |
| 良好 | 取样连续、完整，材料均匀；刚性及半刚性竖向阻隔屏障的取样坚硬，呈柱状；柔性竖向屏障的取样中膨润土和原位土混合均匀 |
| 一般 | 取样基本完整，材料基本均匀；刚性及半刚性竖向阻隔屏障的取样坚硬，呈柱状、部分呈块状；柔性竖向屏障的取样中膨润土和原位土混合基本均匀 |
| 较差 | 取样存在缺陷，材料出现不均匀；刚性及半刚性竖向阻隔屏障的取样呈柱状、块状、局部松散，胶结一般；柔性竖向屏障的取样中膨润土和原位土混合不均匀 |

1. 竖向阻隔屏障施工质量评估的点位宜随机分布，评估结果应具有代表性。
2. 竖向阻隔屏障施工质量评估的时间应符合下列规定：
3. 浅部开挖验证屏障厚度、线路偏差量、顶部覆盖层厚度的施工质量评估工作可在施工后7d开展；
4. 钻孔取样评估屏障深度、进入隔水层深度、屏障完整性宜在施工后28d开展。
5. 满足工程效果评估标准的工程性能指标应符合下列规定：
6. 抽检屏障的渗透系数应达到设计要求，单个不超过5倍设计要求；
7. 抽检水泥系竖向阻隔屏障的28d龄期无侧限抗压强度不应小于设计值；
8. 抽检塑性混凝土竖向阻隔屏障、混凝土-钠基膨润土防水毯竖向阻隔屏障中混凝土的28d龄期抗压强度不应小于设计值；
9. 抽检的错判概率和漏判概率均不应超过5%。
10. 工程性能指标抽检点位布置和数量应符合下列规定：
11. 工程性能指标抽检点位沿线路方向的间距不宜大于100m，点位数量不宜少于6个，抽检结果应具有代表性；
12. 沿深度方向的抽检点位的间距不宜大于3m，且在各地层深度范围内至少抽检1次。
13. 工程性能指标抽检的取样时间可按以下规定：
14. 可与屏障完整性评估工作同步进行，至施工后28d进行钻孔取样，进行相关试验；
15. 可在施工后28d内进行，并应对取样进行标准养护，直至本标准第5.3.9条、第5.3.10条所规定龄期要求，进行相关试验。
16. 工程效果评估的钻孔取样方法应符合下列规定：
17. 应采用合适的钻孔取样方法，保持取样连续完整，可按以下规定进行：

1）单层及复合竖向阻隔屏障的水泥土、原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、塑性混凝土、混凝土的钻孔宜采用金刚石钻头或硬质合金钻头的回转钻进；取样可采用单动双管、双动三重管取样器，采取率不宜小于80%；

2）单层及复合竖向阻隔屏障的原位土-膨润土的钻孔宜采用干钻的回转钻进，可采用冲击钻进；取样宜采用薄壁取土器或回转取土器，可采用厚壁敞口取土器、螺纹钻头；

1. 钻孔孔位应符合下列规定：

1）单层竖向阻隔屏障的钻孔孔位应位于屏障厚度中部；

2）复合竖向阻隔屏障的钻孔孔位应与土工膜或钠基膨润土防水毯保持合理间距；

3）压力注浆法、深层搅拌法、高压喷射注浆法施工搭接处应布置少量直孔；

4）现浇塑性混凝土和混凝土接头处钻孔孔位应满足现行行业标准《现浇塑性混凝土防渗芯墙施工技术规程》JGJT 291的相关规定；

1. 钻孔垂直度偏差不应大于1/300；
2. 钻孔宜与注水试验等原位渗透测试相结合；
3. 钻孔取样后应对试样及时密封保存，并进行取样信息记录；
4. 钻孔取样后应及时封孔，可采用水泥-膨润土浆液、水泥砂浆等止水材料注浆回灌。
5. 抽检竖向阻隔屏障渗透系数可综合钻孔取样室内试验及原位测试，可参照下列规定：
6. 钻孔取样的室内渗透系数测试可按本标准第5.5.5条的相关规定执行；
7. 膨润土系竖向阻隔屏障的原位测试可包括原位孔压消散试验、原位注水试验；
8. 抗压强度大于3.0MPa的塑性混凝土、混凝土可采用钻孔压水试验，试验压力不应造成屏障破坏。
9. 满足工程效果评估标准的风险管控目标时，抽检屏障下游地下水的目标污染物浓度应符合下列规定：
10. 屏障下游为未受污染区域时，各批次目标污染物浓度的均值的95%置信上限不应大于风险控制值，目标污染物浓度的最大值不应超过风险控制值的2倍；
11. 屏障下游为污染区域时，目标污染物浓度不应高于施工前的浓度值。
12. 工程效果评估的屏障下游地下水质量抽检时，目标污染物应获取不少于4个批次的数据，宜每个季度取样一次，两个批次之间间隔不得少于1个月。
13. 工程效果评估的屏障下游地下水质量抽检点位布置和数量应符合下列规定：
14. 应在尽可能靠近屏障的上游、下游处布置，并应充分考虑竖向阻隔屏障引起的地下水流向改变；
15. 应沿深度对每个抽检点位的地下水质量连续取样抽检，沿深度取样数量不宜少于5个，并宜在污染深度范围加密取样。沿深度的取样间隔尚应符合现行行业标准《污染场地岩土工程勘察标准》HG/T 20717的相关规定；
16. 宜充分利用场地勘察与污染状况调查阶段的监测井。

15 提出后期环境监管建议

## 15.1 后期环境监管要求

15.1.1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。

15.1.2 原则上后期环境监管直至地块土壤中污染物浓度达到GB 36600第一类用地筛选值对应标准值为止。

## 15.2 长期环境监测

15.2.1 实施风险管控的地块应开展长期监测。

15.2.2 一般通过设置地下水监测井进行周期性采样和检测，也可设置土壤监测井进行土壤样品采集和检测，监测井位置应优先考虑污染物浓度高的区域、敏感点所处位置等。

15.2.3 应充分利用地块内符合采样条件的监测井。

15.2.4 原则上长期监测1-2年开展一次，可根据实际情况进行调整。

## 15.3 制度控制

15.3.1 风险管控污染地块需开展制度控制。

15.3.2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。

# 附录A

(资料性附录)

重度污染地块风险管控技术适用性

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 技术名称 | 优点 | 缺点 | 适用的目标污染物 | 技术成熟度 | 成本 | 环境风险 |
| 监测自然衰减技术 | 费用低，对环境影响较小 | 需要长时间监测 | 适用于易降解的有机物 | 国外已广泛应用 | 中 | 低 |
| 阻隔技术 | 施工方便，施用的材料较为普遍，可有效将污染物阻隔在特定区域 | 阻隔效果受污染物类型、活性、分布，墙体的深度、长度、宽度，地块地质条件影响 | 适用于“三氮”重金属、易挥发性有机物和持久性有机污染物 | 国外已广泛应用，国内已有示范工程 | 高 | 低 |
| 制度控制 | 费用低，环境影响小 | 存在向周围土壤扩散风险 | 适用于多种污染物 | 国外已广泛应用，国内已有应用 | 低 | 低 |
| 固化/稳定化技术 | 费用低，施工方便 | 影响土壤的理化性质，不利于土壤生态功能恢复 | 适用于重金属、持久性有机物 | 国内外已广泛应用 | 中 | 低 |
| 植物管理-营养强化技术 | 费用低，施工方便，环境影响小，有利于恢复土壤生态、社会服务功能 | 枯枝落叶处置、处理问题，污染物存在随地表径流向周围扩散的可能性 | 适用于多种污染物 | 国外已广泛应用，国内已有示范工程 | 低 | 低 |
| 植物管理-水分强化技术 |
| 植物管理-生理强化技术 |

注：成本以及环境风险的比较范围仅限于本附录内推荐的技术。

# 附录B

# (资料性附录)

# 重度污染地块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 地块污染现状

2.3 风险评估

3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 确定风险管控目标

3.4 确定风险管控模式

4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 施工进度安拌

9 结论

附录C

(资料性附录)

重度污染地块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 风险管控技术方案

3.3 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 风险管控效果评估

8 结论和议

8.1 效果评估结论

8.2 后期环境监管建议

附录D

(资料性附录)

污染物作用下膨润土的膨胀指数试验

1. 本试验适用于天然膨润土、人工改性膨润土、钠基膨润土防水毯中膨润土。
2. 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：
3. 试验筛：孔径为0.075mm；
4. 试验天平：分度值0.01g；
5. 带塞量筒：容积为100mL，分度值1mL；
6. 其他：烘干烤箱、称重纸、坩埚、烘箱、、化学实验药勺、弯头清洗瓶、试验刮刀、计时器。
7. 本试验应按下列步骤进行：
8. 取风干膨润土粉末，过孔径为0.075mm试验筛，105oC下烘干，并测定含水率；
9. 称取2.00g的烘干膨润土，放入以备使用，并记录膨润土编号；
10. 将烘干膨润土粉末均铺于称重纸；
11. 预备约120mL本标准第5.5.2条所规定的试验用溶液，并将约80mL缓慢倒入带玻璃塞100mL量筒；
12. 采用化学实验药勺将不超过0.10g的膨润土添加入量筒，应将膨润土粉末均匀、缓慢撒在量筒内液面之上；
13. 静置直至膨润土充分湿润、膨胀，并沉淀至量筒底部，且静置时间不宜少于10min；
14. 重复本条第5款的步骤，直至2.00g的烘干膨润土全部添加；
15. 采用弯头清洗瓶将试验用溶液沿量筒侧壁缓慢滴入量筒至100mL，期间可通过试验刮刀仔细刮离粘附于量筒内存的膨润土，并采用弯头清洗瓶将其缓慢冲入量筒；
16. 密封量筒，量筒静置24h；
17. 读取并记录沉淀膨润土与试验用溶液界面处的量筒刻度，作为指定污染物作用下膨润土的膨胀量。
18. 膨胀量测定时不应包括膨润土悬浮体或絮凝状物质。
19. 本试验宜进行三次平行测定，采用膨胀量的算数平均值作为指定污染物作用下膨润土的膨胀指数，记录的单位应采用mL/2 g。
20. 三次测定的算数平均值大于10mL/2 g时，其绝对误差不得大于2mL；三次测定的算数平均值小于或等于10mL/2 g时，其绝对误差不得大于1mL。

附录E

(资料性附录)

工程效果评估工作记录

1. 工程效果评估工作可按表E进行记录。表E可适用于施工单位自行检验工作的记录。

表E 工程效果评估工作记录表

|  |  |
| --- | --- |
| 竖向阻隔工程效果评估工作记录 | 编号： |
| 单位（子单位）工程名称 |  | 分部（子分部）工程名称 |  | 分项工程名称 |  |
| 施工单位 |  | 项目负责人 |  |
| 抽检点位 |  | 抽检批容量 |  |
| 施工依据 |  | 评估依据 |  |
| 取样方法 |  |
| 项目 | 允许偏差及控制要求 | 最小/实际抽检数量 | 评估方法 | 检测记录 | 检测评估 |
| 1 | 屏障厚度 |  |  |  |  |  |
| 2 | 屏障深度 |  |  |  |  |  |
| 3 | 进入隔水层深度 |  |  |  |  |  |
| 4 | 线路偏差量 |  |  |  |  |  |
| 5 | 屏障完整性 |  |  |  |  |  |
| 6 | 顶部覆盖层厚度 |  |  |  |  |  |
| 7 | 渗透系数 |  |  |  |  |  |
| 8 | 抗压强度/无侧限抗压强度 |  |  |  |  |  |
| 9 | 地下水质量 |  |  |  |  |  |
| 评估单位评估结论 | 评估员：年 月 日  |

注：地下水质量记录中应在控制要求中明确目标污染物种类及其风险控制值。

附录F

(资料性附录)

工程效果评估报告

F.0.1 竖向阻隔工程的工程效果评估报告可包括如下内容：

1. 项目背景，可简要描述工业污染场地基本信息，工业污染场地岩土工程勘察及竖向阻隔工程的时间节点与概况、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、工业污染场地岩土工程勘察单位、竖向阻隔工程设计单位、监理单位、监测单位、工程效果评估单位。
2. 工作依据，可包括法律法规、标准规范、项目文件。
3. 场地概况及概念模型，可包括工业污染场地岩土工程勘察结论、竖向阻隔工程设计与施工方案、竖向阻隔工程施工情况、环境保护措施落实情况等。
4. 施工质量控制及监测方案，可包括施工质量控制及监测时间、监测周期及频次、布点数量及位置。
5. 工程效果评估抽检方案，可包括抽检项目、布点数量及位置、抽检数量。
6. 取样与测试方法，可包括施工质量控制、工程效果评估抽检中所涉及的现场取样、原位测试、室内测试与分析方法。
7. 工程效果评估评，可包括工程效果评估标准、抽检分析结论。
8. 结论与建议，可包括工程效果评估结论、后期环境与工程管理建议。
9. 附件，可包括以下内容：
	1. 场地规划图；
	2. 竖向阻隔工程施工图；
	3. 工程地质与水文地质剖面图；
	4. 钻孔结构图；
	5. 竖向阻隔屏障取样记录及照片；
	6. 地下水监测井结构图；
	7. 地下水监测井洗井记录；
	8. 施工质量控制记录资料；
	9. 工程效果评估工作记录资料。

附录G

(资料性附录)

后监测记录

表G 工后监测记录表

|  |  |
| --- | --- |
| 竖向阻隔工程工后监测记录 | 编号： |
| 单位（子单位）工程名称 |  | 分部（子分部）工程名称 |  | 分项工程名称 |  |
| 项目单位 |  | 施工单位 |  | 监测单位 |  |
| 项目负责人 |  | 施工负责人 |  | 监测负责人 |  |
| 监测时间 |  | 监测点位 |  |
| 监测项目 | 监测方法 | 监测结果 | 项目指标变化情况及描述 |
| 环境质量 | 1 | 地下水质量 |  |  |  |
| 2 | 土壤环境质量 |  |  |  |
| 地下水水文情况 | 1 | 地下水温度 |  |  |  |
| 2 | 地下水位 |  |  |  |
| 3 | 地下水流向变化情况 |  |  |  |
| 4 | 屏障两侧水头高度 |  |  |  |
| 屏障变形 | 1 | 屏障表面沉降量 |  |  |  |
| 2 | 屏障侧向变形量 |  |  |  |
| 邻近建筑影响 | 1 | 邻近建（构）筑物竖向位移 |  |  |  |
| 2 | 邻近建（构）筑物倾斜 |  |  |  |
| 3 | 邻近建（构）筑物水平位移 |  |  |  |
| 4 | 邻近建（构）筑物裂缝 |  |  |  |
| 5 | 邻近地下管线、管廊变形 |  |  |  |

注：地下水质量、土壤环境质量记录中应在监测项目中明确目标污染物种类；应项目指标变化情况及描述中明确目标污染物所对应的风险控制值。

附录H

(资料性附录)

竖向阻隔屏障设计方案

**H.0.1** 竖向阻隔工程设计方案应包括如下内容：

1. 工程概况；
2. 设计依据，宜包括场地勘察与污染状况调查成果、场地用途、工程建设目的；
3. 工程目标，宜包括风险管控目标、目标污染物的种类、目标污染物的风险控制值、风险管控范围、竖向阻隔屏障的工程性能、设计使用年限；
4. 总体设计，宜包括竖向阻隔屏障类型筛选、平面布置、屏障厚度、屏障深度、进入隔水层深度；
5. 屏障材料，宜包括原材料筛选、屏障材料配合比、屏障材料性能测试结果、击穿判别验算，可包括工程量估算、费用估算、施工周期估算、屏障材料技术经济比选分析；
6. 施工建议；

7 设计结论。

附录I

(资料性附录)

污染物作用下膨润土的膨胀指数试验

1. 本试验适用于天然膨润土、人工改性膨润土、钠基膨润土防水毯中膨润土。
2. 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：
3. 试验筛：孔径为0.075mm；
4. 试验天平：分度值0.01g；
5. 带塞量筒：容积为100mL，分度值1mL；
6. 其他：烘干烤箱、称重纸、坩埚、烘箱、、化学实验药勺、弯头清洗瓶、试验刮刀、计时器。
7. 本试验应按下列步骤进行：
8. 取风干膨润土粉末，过孔径为0.075mm试验筛，105oC下烘干，并测定含水率；
9. 称取2.00g的烘干膨润土，放入以备使用，并记录膨润土编号；
10. 将烘干膨润土粉末均铺于称重纸；
11. 预备约120mL本标准第5.5.2条所规定的试验用溶液，并将约80mL缓慢倒入带玻璃塞100mL量筒；
12. 采用化学实验药勺将不超过0.10g的膨润土添加入量筒，应将膨润土粉末均匀、缓慢撒在量筒内液面之上；
13. 静置直至膨润土充分湿润、膨胀，并沉淀至量筒底部，且静置时间不宜少于10min；
14. 重复本条第5款的步骤，直至2.00g的烘干膨润土全部添加；
15. 采用弯头清洗瓶将试验用溶液沿量筒侧壁缓慢滴入量筒至100mL，期间可通过试验刮刀仔细刮离粘附于量筒内存的膨润土，并采用弯头清洗瓶将其缓慢冲入量筒；
16. 密封量筒，量筒静置24h；
17. 读取并记录沉淀膨润土与试验用溶液界面处的量筒刻度，作为指定污染物作用下膨润土的膨胀量。
18. 膨胀量测定时不应包括膨润土悬浮体或絮凝状物质。
19. 本试验宜进行三次平行测定，采用膨胀量的算数平均值作为指定污染物作用下膨润土的膨胀指数，记录的单位应采用mL/2 g。
20. 三次测定的算数平均值大于10mL/2 g时，其绝对误差不得大于2mL；三次测定的算数平均值小于或等于10mL/2 g时，其绝对误差不得大于1mL。