

上海市勘察设计行业协会团体标准

## 污染地块原位阻隔技术标准

Technical standards for in-situ barrier of contaminated site

(征求意见稿)

2024 年 上海

## 前 言

本标准根据上海市勘察设计行业协会批准立项的要求,由上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司会同上海环境科学院等业内相关单位,全面分析总结污染地块原位阻隔技术研究成果及实践经验,针对上海市污染地块原位阻隔与长期监控所涉及的技术问题作了细化规定,对规范污染土与地下水风险管控工作,保障生态环境和建设工程安全,具有重要意义。

本标准共分 9 章。内容包括:1 总则;2 术语与符号;3 基本规定;4 勘察要点;5 设计;6 施工;7 施工质量检测与过程监测;8 长期监测与源削减;9 安全防护。

本标准主编单位上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司和相关参编单位承诺对《污染地块原位阻隔技术标准》中的内容、数据的真实性和有效性负责。

本标准涉及到相关专利。本标准的发布机构对专利的真实性、有效性和适用范围无任何立场。该专利持有人已向本标准的发布机构保证,愿意同任何申请人在合理无歧视的条款和条件下,就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已经在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得:

专利持有人:上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司

地址:上海市杨浦区水丰路 38 号

邮编:200093 邮箱:sgidi@sgidi.com

本标准由上海市勘察设计行业协会负责管理,由上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司负责具体内容解释。在执行过程中各单位若有修改意见建议,请反馈至上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司。

主编单位:上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司

参编单位:(排名不分先后)

上海环境科学研究院

上海建工环境科技有限公司

上海大学

华东师范大学

上海城投上境生态修复科技有限公司

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

上海市勘察设计行业协会

2024 年 4 月

# 目 次

1	总则.....	1
2	术语与符号.....	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	3
3	基本规定.....	4
4	勘察要点.....	6
5	设计.....	8
5.1	一般规定.....	8
5.2	材料选型.....	8
5.3	垂直隔离屏障设计.....	9
5.4	水平隔离屏障设计.....	12
6	施工.....	14
6.1	一般规定.....	14
6.2	垂直隔离屏障施工.....	14
6.3	水平隔离屏障施工.....	16
7	施工质量检测与过程监测.....	18
7.1	一般规定.....	18
7.2	施工质量检测.....	18
7.3	施工过程监测.....	19
8	长期监测与源削减.....	21
8.1	一般规定.....	21
8.2	阻隔后长期监测.....	21
8.3	阻隔后源削减措施设计.....	22
9	安全防护.....	25
	本规范用词说明.....	28
	引用标准名录.....	29

# 1 总则

**1.0.1** 为了在污染地块风险管控的原位阻隔工程中贯彻执行国家和上海市有关法律法规，实现生态环保的目标，做到技术先进、因地制宜、经济合理，根据上海地区地质与水文地质条件、地块污染特征和工程治理的技术水平，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于本市对污染地块风险管控中采用隔离屏障的工程设计、施工、施工质量检测、过程监测和阻隔后的长期监测。不适用于放射性污染和致病性生物污染地块的阻隔工程。

**1.0.3** 污染地块阻隔工程和阻隔后长期监测应根据地块的勘察、环境调查、人体健康风险评估、风险管控目标，结合环境保护要求和相关工程经验，科学合理编制设计方案，精心施工，严格检测和监测。

**1.0.4** 污染地块阻隔和长期监测除符合本标准外，尚应符合国家、行业和本市有关现行标准的要求。

## 2 术语与符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 污染地块 **contaminated site**

从事过有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革等行业生产经营活动，以及从事过危险废物贮存、利用、处置活动的用地，且按照国家技术规范确认超过有关土壤环境标准的疑似污染地块。

#### 2.1.2 风险管控 **risk control**

采取工程或制度控制措施等，阻断土壤和地下水污染物的暴露途径，阻止土壤和地下水污染扩散，移除或者限制受体，防止污染物对周边人体健康和生态受体产生影响的过程。

#### 2.1.3 隔离法 **barrier controlling method**

采用阻隔措施控制污染物迁移或阻断污染物暴露途径，使受污染的土和地下水与周围环境隔离的施工方法。

#### 2.1.4 垂直隔离屏障 **vertical barrier**

设置在污染地块的土壤和地下水风险管控区域用于阻止或阻断污染物扩散和暴露途径的垂直阻隔体。

#### 2.1.5 水平隔离屏障 **horizontal barrier**

设置在污染地块的土壤或地下水风险管控区域表部或底部以阻止或阻断污染物的扩散和暴露途径的水平阻隔体。

#### 2.1.6 阻隔后长期监测 **long-term monitoring after barrier**

污染地块阻隔工程完成后，对地块内及周边土壤、地下水、地表水和空气等的环境指标进行长期监测，以确定是否达到环境治理目标和设计要求的过程。

## 2.2 符号

- $C_r$ ——污染物的击穿标准 ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) ;
- $C_0$ ——污染物源位置处浓度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) ;
- $C_l$ ——屏障外侧初始浓度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) ;
- $L$ ——隔离屏障的厚度 ( $\text{m}$ ) ;
- $T$ ——隔离屏障的设计服役期 ( $\text{a}$ ) ;
- $D_h$ ——隔离屏障或土层的水动力弥散系数 ( $\text{m}^2/\text{a}$ ) ;
- $V$ ——隔离屏障中流体的渗流速度 ( $\text{m}/\text{a}$ ) ;
- $R_d$ ——隔离屏障的阻滞因子 (无量纲) ;
- $D_e$ ——隔离屏障或土层的有效扩散系数 ( $\text{m}^2/\text{a}$ ) ;
- $\alpha$ ——隔离屏障或土层的弥散度 ( $\text{m}$ ) ;
- $k$ ——隔离屏障渗透系数 ( $\text{m}/\text{a}$ ) ;
- $i$ ——隔离屏障中的水力梯度 (无量纲) ;
- $\Delta H$ ——隔离屏障两侧水头差 ( $\text{m}$ ) ;
- $n$ ——隔离屏障或土层的孔隙度 (无量纲) 。
- $K_d$ ——分配系数 ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) ;
- $\rho_b$ ——隔离屏障干密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 。

### 3 基本规定

**3.0.1** 污染地块风险管控的原位阻隔可采用垂直隔离屏障或水平隔离屏障，工程需要时可根据实际情况选择与地下水抽提、多相抽提、药剂注入等强化污染修复技术联合使用。

**3.0.2** 进行污染地块隔离屏障设计前，应收集下列资料：

- 1 地块环境调查与风险评估报告及风险管控目标要求。
- 2 地块地形图、地质与水文地质资料。
- 3 查明污染源、污染羽分布，明确隔离范围。
- 4 类似污染地块的原位阻隔与长期风险管控经验。

**3.0.3** 污染地块的隔离屏障设计方案应根据地块的地质与水文地质条件、污染物特征、污染范围、污染程度、风险管控目标和周边环境保护要求等综合确定，并应符合下列要求：

- 1 明确污染地块隔离的要求和范围。
- 2 经技术经济比选，确定适用的隔离屏障类型。
- 3 明确隔离屏障所涉及的各项技术参数。
- 4 评估工程实施对环境的影响，提出二次污染防治措施和安全防护要求。
- 5 提出施工质量检测、施工过程监测与阻隔后长期监测的技术要求。

**3.0.4** 联合使用强化污染修复技术时，采用的药剂宜选用无毒无害或低毒低害、安全可靠，确保对隔离屏障不产生影响，同时方便采购、运输、储存和使用的试剂，制定设计方案前应进行实验室小试。

**3.0.5** 污染地块阻隔工程施工前应进行现场中试试验，检验并优化设计与施工参数。

**3.0.6** 污染地块阻隔工程施工前，应具备以下条件：

- 1 结合项目的需求和特点，制定针对性的施工组织设计，内容包括现场布置、施工技术方案、人员、材料和设备配置、施工保障措施、二次污染防治措施及应急预案。
- 2 平整场地，清除施工范围内的障碍物，落实给水、排水、供电和临建等施工配套条件。
- 3 进场材料及设备满足设计和使用功能要求，并经验收合格。
- 4 对现场施工人员进行技术、安全交底。

**3.0.7** 污染地块阻隔工程应严格按设计方案和施工组织设计进行施工，并符合下列要求：

- 1 现场应安排专人负责质量安全控制，并做好施工记录。

- 2 当施工现场使用药剂时，应对药剂的存放、使用等采取严格的安全防护措施。
  - 3 遇异常情况时，应及时分析原因并根据需要及时调整技术方案和施工工艺。
  - 4 施工完成后，应对遗留物进行清理或无害化处理，并对地块内遗留的坑或孔等采用无毒无害的土工材料进行填充。
- 3.0.8** 污染地块阻隔工程应按设计要求进行施工质量检测，并应在阻隔后进行长期监测。
- 3.0.9** 污染地块阻隔工程施工前、施工过程中及阻隔后，应对周边敏感目标或保护对象实施监测，监测内容宜包括大气、噪声、土或地下水等要素的环境质量，当阻隔区域临近有地表水体时，尚应对地表水进行环境质量监测。监测数据应及时记录并反馈。
- 3.0.10** 污染地块阻隔工程施工和长期监测过程中应采取安全防护和二次污染防治措施，确保工程安全、人体安全和环境安全，并应符合下列要求：
- 1 优先选用绿色低碳、安全环保的材料。
  - 2 现场人员应根据污染情况配备相应的个体防护装备，进入现场前应对个体防护装备的安全可靠性及配戴情况进行检查。

## 4 勘察要点

**4.0.1** 当前期的环境调查或勘察资料不满足污染地块原位阻隔工程设计与施工的要求时，应进行专项勘察。

**4.0.2** 污染地块勘察应查明地块的地形地貌、周边环境、土层分布与特征、不良地质条件、土层物理力学性质，查明地下水埋藏情况、类型、流向、水位、水位变化及与地表水的水力联系，提供相关含水层的水文地质参数。

**4.0.3** 勘察的工作量应在分析利用已有资料的基础上，根据地块的污染物特征、污染地块风险管控的技术要求确定。勘探点的布置应根据污染源、污染羽分布、地块及周边条件确定，并符合《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ 08-2233 相关要求。

**4.0.4** 污染地块的勘察应按照上海市工程建设规范《建设场地污染土勘察规范》DGJ/TJ 08-2233 相关要求进行钻探、现场测试。

**4.0.5** 水文地质参数测试应符合《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ 08-2233 相关要求，并宜根据需要进行水文地质试验测定地下水流向，获取渗透系数、给水度、贮水系数、弥散系数等水文地质参数，重点查明水平向、竖直向渗透系数及差异性。

**4.0.6** 室内试验应满足上海市工程建设规范《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ08-2233 相关要求。

**4.0.7** 污染地块勘察的分析与评价应符合下列要求：

- 1 分析评价土层的工程特性指标、污染土与地下水对隔离屏障材料的腐蚀性等。
- 2 工程需要时，建立污染地块的环境水文地质概念模型并预测污染物迁移趋势。
- 3 针对污染地块风险管控目标，对隔离屏障的设计与施工提出相关建议，并分析不良地质条件的影响。

4 分析阻隔工程施工及阻隔后长期监测过程中对周边环境的影响及二次污染风险，提出防控、监测、检测等建议。

**4.0.8** 勘察成果报告应满足污染地块阻隔工程的需要。成果报告应包括文字、图表和必要的附件，应根据任务要求、工程特点、地块地质和水文地质条件、污染物分布特征，结合当地工程经验，经综合分析评价后编写。

**4.0.9** 勘察成果报告应附下列图表：

- 1 勘探点平面布置图。

- 2 地层特性表。
- 3 土的物理力学参数表。
- 4 污染土和地下水平面分布图。
- 5 工程地质剖面图及污染深度分布图。
- 6 钻孔柱状图。
- 7 室内土工试验成果图表。
- 8 现场测试成果图表。
- 9 其他专项工作成果资料等。

## 5 设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 隔离屏障的设计应明确设计服役期、击穿标准等要求，在目标污染物迁移性强、污染浓度高，或地质条件有利于污染物迁移，以及环境保护要求高时，应适当提高隔离屏障的设计要求。

**5.1.2** 污染地块阻隔可采用垂直隔离屏障或水平隔离屏障。垂直隔离屏障宜采用水泥土、膨润土、塑性混凝土等材料，工程需要时可采用型钢水泥土墙、钢筋混凝土地下墙、土工膜与其他材料组合。水平隔离屏障宜采用压实黏土、土工膜、土工布、钠基膨润土防水毯衬垫与其他材料等的组合。

**5.1.3** 垂直隔离屏障设计内容包括：设计服役期、击穿标准、插入深度、隔离材料、墙体厚度、施工工艺选择等主要内容。

**5.1.4** 水平隔离屏障设计内容包括：设计服役期、击穿标准、隔离材料、阻隔层厚度、施工工艺选择等主要内容。

**5.1.5** 隔离屏障的抗渗性能、吸附性能宜通过小试试验确定，当条件具备时，可通过现场试验确定。

### 5.2 材料选型

**5.2.1** 隔离屏障选型应综合考虑使用功能、地质与水文地质条件、污染物分布及浓度、材料供应、施工技术与设备等因素。

**5.2.2** 隔离屏障的材料应无毒无害，具有良好的抗腐蚀能力、耐久性、环境适应性和抗老化性能，并符合下列要求：

- 1 水泥宜选用强度等级为 P.O 42.5 级及以上普通硅酸盐水泥。
- 2 黏土材料应选用土质均匀、有机质含量小于 5% 的黏性土，塑性指数范围宜为 15~30。
- 3 膨润土宜采用目数为 200 目~400 目的钠基膨润土。
- 4 防渗土工膜宜选用具有良好抗拉强度和韧性的高密度聚乙烯防渗土工膜（HDPE）或线性低密度聚乙烯膜（LLDPE）。

5 钠基膨润土防水毯（GCL）厚度不宜小于 5mm。

6 无纺土工布应具有良好的耐久性，且规格宜不小于 600g/m<sup>2</sup>。

**5.2.3** 隔离屏障宜选用渗透系数及扩散系数小、吸附能力好的材料，屏障渗透系数应不大于 10<sup>-7</sup>cm/s，HDPE 膜类防水材料应不大于 10<sup>-11</sup>cm/s。工程需要时，可掺入提高屏障抗渗性、吸附性的外加剂或掺合剂，且不得产生二次污染。

**5.2.4** 垂直隔离屏障可分为刚性、柔性和组合型等类型。刚性屏障包括钢筋混凝土地下连续墙、钢板桩墙、SMW 工法桩墙、水泥土、水泥土-膨润土搅拌桩屏障、高压喷射注浆屏障、素混凝土屏障等，柔性屏障包括黏土屏障、泥水阻隔屏障、高密度聚乙烯防渗土工膜屏障。当工程需要时，可同时使用刚性或柔性材料形成组合型垂直隔离屏障。

**5.2.5** 水平隔离屏障的可分为刚性、柔性和组合型三种类型。刚性屏障包括混凝土和钢筋混凝土屏障；柔性屏障包括高密度聚乙烯防渗土工膜屏障、压实黏土衬垫或钠基膨润土防水毯衬垫等；当工程需要时，可同时使用刚性或柔性材料形成组合型水平隔离屏障。

### 5.3 垂直隔离屏障设计

**5.3.1** 垂直隔离屏障平面位置应确保屏障外侧目标污染物本底浓度不高于前期风险评估控制值的 70%。在设计服役期内，应确保垂直隔离屏障外侧目标污染物浓度不超过设计击穿标准。设计击穿标准应符合下列要求：

- 1 屏障外侧无污染物检出时，按前期风险评估确定的风险控制值的 10%确定。
- 2 屏障外侧有污染物检出时，按本底浓度与风险控制值的 10%之和确定。

**5.3.2** 垂直隔离屏障的入土深度应大于最大污染深度，并根据隔水层（重力流不能透过的土层或岩层）分布情况进行调整：

1 当污染物分布或可能迁移的垂向范围内有良好隔水层分布时，垂直隔离屏障应嵌入隔水层不小于 1m。

2 当底部已预先设置水平隔离屏障时，垂直隔离屏障应与水平屏障有效连接。

3 当污染物分布或可能迁移的垂向范围内不具备良好的隔水层或隔水层厚度小于 2m，可采用悬挂式隔离屏障，屏障深度应根据服役期内污染物迁移至屏障底部的浓度不大于预设标准确定。

4 当地块内污染以轻质非水相液体（LNAPLs）为主时，垂直隔离屏障可优先选用悬挂式屏障，以重质非水相液体（DNAPLs）为主时，垂直隔离屏障宜优先选用嵌入式屏障，并

宜与水平隔离屏障组合应用。

**5.3.3** 当垂直隔离屏障采用刚性材料时，宜采用对流-弥散模型计算确定屏障有效厚度，并符合下列要求：

- 1 屏障有效厚度不应小于 300mm。
- 2 对流弥散模型计算公式如下：

$$\frac{C_t}{C_0} \geq \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{L R_d - v T}{2 \sqrt{D_h R_d T}} \right) + \frac{1}{2} \exp \left( \frac{v L}{D_h} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{L R_d + v T}{2 \sqrt{D_h R_d T}} \right) \quad (5.3.3-1)$$

式中： $C_t$ 为污染物的击穿标准（ $\text{g}/\text{m}^3$ ）； $C_0$ 为污染物源位置处浓度（ $\text{g}/\text{m}^3$ ）； $L$ 为隔离屏障的厚度（ $\text{m}$ ）； $T$ 为屏障的设计服役期（ $\text{a}$ ）； $D_h$ 为隔离屏障的水动力弥散系数（ $\text{m}^2/\text{a}$ ），由式（5.3.3-2）确定； $v$ 为隔离屏障中流体的渗流速度（ $\text{m}/\text{a}$ ），由式（5.3.3-3）确定； $R_d$ 为隔离屏障的阻滞因子（无量纲），由式（5.3.3-4）确定。

$$D_h = D_e + v \alpha \quad (5.3.3-2)$$

式中： $D_e$ 为隔离屏障的有效扩散系数（ $\text{m}^2/\text{a}$ ）； $\alpha$ 为弥散度（ $\text{m}$ ）。

$$v = \frac{k i}{n} = \frac{k \Delta H}{n L} \quad (5.3.3-3)$$

式中： $k$ 为隔离屏障渗透系数（ $\text{m}/\text{a}$ ）； $i$ 为隔离屏障中的水力梯度（无量纲）； $\Delta H$ 为隔离屏障两侧水头差（ $\text{m}$ ）； $n$ 为隔离屏障孔隙度（无量纲）。

$$R_d = 1 + \frac{\rho_d}{n} K_d \quad (5.3.3-4)$$

式中： $K_d$ 为分配系数（ $\text{m}^3/\text{kg}$ ）； $\rho_d$ 为隔离屏障干密度（ $\text{kg}/\text{m}^3$ ）。

- 3 当隔离屏障内外水头差较小或外侧水位更高时，可采用（5.3.3-5）的简化公式：

$$\frac{C_t}{C_0} \geq \operatorname{erfc} \left( \frac{L R_d}{2 \sqrt{D_e R_d T}} \right) \quad (5.3.3-5)$$

4 水动力弥散系数和阻滞因子等参数宜通过试验手段获得，当不具备条件时可按下表建议取值：

参数	取值范围	备注
$D_h$	$10^{-8} \sim 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$	当隔离屏障两侧存在水头差时，水动力弥散系数由弥散度及流速计算，且不小于 $10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$
$R_d$	1~40	当隔离屏障设计服役期较长时（ $\geq 10$ 年），阻滞因子应取小值。

**5.3.4** 采用搅拌工艺的水泥土垂直隔离屏障的设计应符合下列要求：

1 桩径宜为 350mm~850mm, 有效搭接尺寸宜不小于 100mm; 对污染严重的场地或区域, 宜根据使用功能要求适当加大桩径和搭接尺寸。

2 膨润土掺量宜为水泥掺量的 10%~15%, 黏性土中取小值, 砂土中取大值。

3 当采用双轴水泥搅拌桩时, 水泥掺量应不小于 13%, 水灰比宜为 0.6~0.75; 当采用三轴水泥搅拌桩时, 水泥掺量应不小于 20%, 水灰比宜为 1.5~2.0; 对暗浜或有机质含量高的软弱土层, 水泥掺量宜适当提高。

**5.3.5** 采用高压旋喷注浆工艺的垂直隔离屏障设计应符合下列要求:

1 有效直径不小于 600mm, 相邻桩间搭接长度应不小于桩径的 1/3。

2 水泥浆液的水灰比宜取 1.0~1.5, 水泥掺入量应不少于 25%, 并加入不少于水泥掺量 15%的膨润土。

**5.3.6** 采用塑性混凝土的垂直隔离屏障设计应符合下列要求:

1 屏障有效厚度应不小于 300mm。

2 塑性混凝土中的黏性土在湿掺(泥浆)时的黏粒含量宜大于 50%, 干掺时的黏粒含量宜大于 35%, 含砂量均宜小于 5%。

3 当墙厚不大于 400 mm 时, 粗骨料应选用粒径为 5 mm~20 mm 的连续级配料; 当墙厚大于 400 mm 时, 粗骨料的粒径不宜大于 40 mm, 其中粒径为 20 mm~40 mm 的用量不应大于总用量的 50%。

4 塑性混凝土中的水泥用量不应少于 80 kg/m<sup>3</sup>, 膨润土的用量不应少于 40 kg/m<sup>3</sup>, 胶结材料的总用量不应少于 240 kg/m<sup>3</sup>, 含砂量不应低于 45%, 水胶比宜为 0.85~1.20。

5 塑性混凝土拌合物的密度不应小于 2100 kg/m<sup>3</sup>; 泌水率应小于 3%; 入孔坍落度应为 180mm~220mm, 扩展度应为 340mm~400mm; 坍落度保持 150 mm 以上的时间不应小于 1 h。

6 塑性混凝土 28d 抗压强度应为 0.8 MPa~5.0 MPa。

7 弹性模量宜为隔离屏障周围介质弹性模量的 1~5 倍且不应大于 2000 MPa。

**5.3.7** 土工膜材料用于垂直隔离屏障时, 应与塑性混凝土、黏土或膨润土等组合使用, 并符合下列规定:

1 屏障有效厚度宜不小于 300mm。

2 相邻两幅膜体之间搭接长度应不小于屏障有效厚度的 1/2, 且不小于 20mm。

3 开槽宽度不宜小于 60cm 且不宜大于 150cm。

4 宜嵌入渗透系数不大于  $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$  的隔水层中，嵌入深度不宜小于 2.0 m；当采用悬挂式帷幕时，其深度参照本标准第 5.3.2 条确定。

**5.3.8** 当垂直隔离屏障顶部或临近有附加荷载作用时，设计应考虑相应附加荷载作用的影响。当阻隔后附加荷载超过 30kPa 时，应分析大面积附加荷载对垂直隔离屏障的不利影响。

## 5.4 水平隔离屏障设计

**5.4.1** 水平隔离屏障的设计应符合下列要求：

1 有垂直屏障时，水平屏障应与垂直屏障完整有效搭接；当不设置垂直屏障时，应超出阻隔区域边界不小于 2m。

2 水平隔离屏障设计应根据服役期、场地污染物分布特征、风险控制目标等因素，选用单一或组合材料。

3 必要时应设置地表水、地下水或气体的导排、收集和处理系统。

**5.4.2** 当采用压实黏土层作为水平隔离屏障时，应符合下列要求：

1 压实黏土层厚度不小于 300mm。

2 黏土压实度不小于 0.94。

3 压实黏土层渗透系数不大于  $10^{-7} \text{ cm/s}$ 。

4 黏土防渗层的含砂砾量应小于 10%，砂砾直径不应大于 10 mm；粒径小于 0.075mm 的土粒干重应大于土粒总干重的 25%；粒径大于 5 mm 的土粒干重不宜超过土粒总干重的 20%。

**5.4.3** 当采用抗渗混凝土层作为水平隔离屏障时，应符合下列要求：

1 抗渗混凝土的强度等级不应小于 C20，水灰比不宜大于 0.50。

2 一般污染防治区抗渗混凝土的防渗等级不宜小于 P8，其厚度不宜小于 100 mm；重点污染防治区抗渗混凝土的防渗等级不宜小于 P10，其厚度不宜小于 150 mm。

**5.4.4** 用于水平隔离屏障的土工合成材料应符合下列要求：

1 土工膜和膨润土防水毯应与其他材料组合使用，上表面应采用无纺土工布作为保护层，下设厚度不小于 200mm、压实度不小于 0.9 的压实黏土衬垫层。

2 应合理布局每片材料的位置和摊铺方向，减少接缝数量及其受力，接缝应避开弯角。

3 土工合成材料禁止直接暴露在日光下。

4 高密度聚乙烯土工膜的厚度不宜小于 1.50 mm。

5 高密度聚乙烯土工膜的膜上、膜下应设置保护层，可采用长丝无纺土工布，膜下保护层也可采用不含尖锐颗粒的砂层。

6 钠基膨润土防水毯中膨润土含量不应小于 4500 g/m<sup>2</sup>；抗拉强度不应小于 800 N/100 mm；剥离强度不应小于 60 N/100 mm。

5.4.5 设于地表的水平屏障应按现行国家标准《室外排水设计规范》GB50014 的有关规定作排水设计。

5.4.6 当水平隔离屏障顶部或临近有附加荷载作用时，设计应考虑相应附加荷载作用的影响。当阻隔后附加荷载超过 30kPa 时，应分析大面积附加荷载对水平隔离屏障的不利影响。

## 6 施工

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 隔离屏障的施工应依据设计要求选用相应的施工工艺和设备。隔离屏障施工前应通过现场中试确定和优化施工工艺参数。

**6.1.2** 采用搅拌和旋喷工艺的水泥土垂直隔离屏障，应进行现场工艺性试成桩；采用泥浆护壁成槽工艺施工的黏土墙、塑性混凝土墙等垂直隔离屏障，应进行试成槽，确定合适的成槽机械和施工参数等。

**6.1.3** 用于水平隔离屏障的材料应符合设计要求，且应在施工前对各项性能指标进行质量检测，大面积施工前尚应进行铺装试验。

**6.1.4** 用于水平隔离屏障的压实黏土施工前应通过室内试验测定最大干密度和最优含水量，并通过现场试验确定压实方法、压实次数与压实度的关系。

**6.1.5** 隔离屏障施工过程中，应在前一道工序验收合格后，方能进行下一工序的施工。

### 6.2 垂直隔离屏障施工

**6.2.1** 水泥土墙隔离屏障可采用双轴搅拌、三轴搅拌或旋喷桩等施工工艺；双轴水泥土搅拌桩施工深度不宜大于 14m，三轴水泥土搅拌桩施工深度不宜大于 30m，搅拌桩成桩直径和桩长不应小于设计值。

**6.2.2** 水泥土搅拌桩桩位的偏差应不大于 50mm，成桩直径和桩长不得小于设计值，桩顶标高偏差不超过+100~-50mm，桩底标高偏差不超过+100~-100mm；双轴水泥土搅拌桩垂直度偏差不应大于 1/150；三轴水泥土搅拌桩垂直度偏差不应大于 1/200。

**6.2.3** 水泥土搅拌桩施工机架应安装平稳，不得在倾斜状态施工，以保证桩身的垂直度。施工前做好施工机具的拼装、调试工作，且在试运转正常后方可正式开工；桩间移机时应使用钢尺测量并设置标志物；相邻桩的施工时间间隔不应大于 16h。

**6.2.4** 双轴水泥土搅拌桩应采用两喷三搅工艺，钻头搅拌下沉速度不宜大于 1m/min，钻头喷搅提升速度不宜大于 0.5m/min，钻头每转一圈的提升或下沉量宜为 10mm~15mm。

**6.2.5** 三轴水泥土搅拌桩搅拌下沉速度宜控制在 0.5m/min~1m/min 范围内，提升速度不宜

大于 1m/min, 并保持匀速下沉或提升。施工中因故停浆时, 应将搅拌头下沉至停浆点下 0.5m 处, 待恢复供浆时再喷搅提升; 停机超过 3 小时, 宜先拆卸输浆管路, 并妥加清洗。

**6.2.6** 对受污染程度高、土的渗透性良好、暗浜等不良地质条件, 采用水泥土搅拌工艺应适当增加搅拌次数。如因地下障碍物无法保证搅拌桩有效搭接造成的缺口, 应在相应位置施工压密注浆止水。压密注浆的深度同搅拌桩, 注浆点位间距宜为 0.5m~1.0m。

**6.2.7** 高压旋喷注浆垂直隔离屏障应根据工程需要采用双管法或三管法进行施工, 高压注浆压力宜不小于 20MPa, 气流压力宜取 0.7MPa, 提升速度宜取 0.05 m/min~0.10m/min。

**6.2.8** 高压旋喷注浆钻孔的位置与设计位置的偏差应不大于 50mm, 垂直度偏差应不大于 1/150。

**6.2.9** 高压旋喷注浆管置入钻孔喷嘴达到设计标高时, 方可喷射注浆。在喷射注浆参数达到规定值后方可提升注浆管, 由下向上喷射注浆; 注浆管分段提升的搭接长度宜大于 100mm; 相邻两高压旋喷桩施工间隔时间不应小于 16h, 先后施工的两桩间距不应小于 4m。

**6.2.10** 对受污染程度高、土的渗透性良好、暗浜等不良地质条件, 应根据旋喷施工情况采用复喷措施, 复喷施工应先喷一遍清水再喷一遍或两遍水泥浆。

**6.2.11** 垂直隔离屏障施工使用的水泥浆材料配制称量误差应控制在 1%以内。水泥浆存放时宜控制浆体温度为 5°C~40°C, 当气温在 10°C以下时浆液存放不应超过 4h, 气温在 10°C以上时不应超过 3h。超过存放时间时, 应作弃浆处理。

**6.2.12** 垂直隔离屏障施工使用的水泥均应过筛, 制备好的浆液不得离析, 泵送应连续, 制备水泥浆液的罐数、水泥和外掺剂用量以及泵送浆液的时间等应有专人记录, 喷浆量及搅拌深度等应采用经国家计量部门认证的监测仪器进行自动记录。记录深度误差应不大于 50mm, 时间误差应不大于 5s。

**6.2.13** 塑性混凝土墙和土工膜垂直屏障的施工宜采用成槽并填充材料的方式。成槽施工应设置钢筋混凝土导墙, 导墙施工应符合上海市工程建设规范《基坑工程技术标准》DG/TJ08-61 相关规定。

**6.2.14** 垂直隔离屏障施工采用成槽工艺时, 应采取泥浆护壁措施, 泥浆比重宜保持在 1.05~1.25 之间, 浆液顶面应高出地下水位, 泥浆面应保持在导墙顶面以下 300mm~500mm。成槽垂直度偏差应不大于 1/200, 槽底沉渣厚度不应大于 200mm, 相邻的墙幅的连接宜采用接头管法或切削法施工。

**6.2.15** 成槽过程中应监测沟槽宽度、垂直度和深度。槽段验收合格后应清除槽内的泥浆和

底部沉渣。

**6.2.16** 当成槽后在泥浆下浇筑混凝土应采用直升导管法,导管内径宜为200mm~250mm。

**6.2.17** 施工完成后应在垂直隔离屏障顶部敷设覆盖层以防干裂。

### 6.3 水平隔离屏障施工

**6.3.1** 当水平隔离屏障设计有要求时,水平隔离屏障应与垂直隔离屏障充分搭接,形成整体。

**6.3.2** 用于水平隔离屏障的压实黏土层当位于自然地面上时,应对地面做清表、平整和碾压预处理。当压实黏土层位于土工合成材料上面时,下卧土工合成材料应平展,并应避免黏土压实过程中被施工机械破坏。

**6.3.3** 黏土屏障应按照设计压实密度和平整度分层压实,单层松铺厚度宜为250mm~350mm,压实度应不低于0.90;黏土层平整度应满足每平方米误差不大于2cm。各层土之间应紧密结合,施工前应将前一压实层表面拉毛,拉毛深度宜为25mm,并计入下一层松土厚度。

**6.3.4** 用于水平隔离屏障的土工合成材料铺设前,应对地面做清表、平整和碾压预处理。土工合成材料铺设时应铺设平整、搭接严密、焊接牢固,应以品字形分布,并应及时连接,应预留足够的伸缩量并一次展开到位,展开后不宜再拖动。土工膜分段施工时,铺设后应及时完成上层覆盖。

**6.3.5** 土工膜铺设过程中,应检查膜的外观有无破损、麻点、孔眼等缺陷,发现有缺陷或损伤应及时用新鲜母材修补,补疤每边应超过破损部位10~20cm;土工膜应自然松弛与支持层贴实,且应边铺边压。

**6.3.6** 土工膜各幅间应采用热熔焊接。焊接前应做到土工膜无水,无尘,无垢。平行对齐,搭接宽度宜不小于10cm。焊膜机的行走速度宜为1.5~5m/s,施焊温度宜为180°C~200°C。当出现虚焊、漏焊时,应切开焊缝使用焊接机对切开损伤部位用大于破损直径1倍以上的母材焊接。

**6.3.7** 当在斜坡处施工土工合成材料时,应预先在坡顶锚固再沿斜坡向下铺设,在坡面上宜整卷铺设,不得有水平接缝。

**6.3.8** 对已铺设到位的土工合成材料,车辆、施工机械不得直接碾压或行驶,并严格控制各类设备、器具的使用和放置。

**6.3.9** 对施工中发现的土工膜上的裂缝和孔洞应使用相同规格材料进行修补，修补范围应大于破损处周边 300mm。

**6.3.10** 抗渗混凝土水平隔离屏障的施工可参照《石油化工工程防渗技术规范》GB/T 50934 执行。

## 7 施工质量检测与过程监测

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 本章适用于污染地块阻隔工程施工过程中施工单位开展的施工质量检测和过程监测。

**7.1.2** 污染地块阻隔工程的施工组织设计应对施工质量检测和过程监测提出要求。

**7.1.3** 施工过程监测内容宜包括废水、废气及扬尘、固废、噪声等的监测，地块及影响范围内的土壤与地下水中目标污染物浓度以及地下水位监测，隔离屏障及周边建（构）筑物的变形监测等，必要时可增加土壤理化指标、地球化学参数等，作为风险管控效果的辅助判断依据。

**7.1.4** 污染地块阻隔工程施工质量检测与过程监测除应符合本章要求外，尚应符合相关技术规范 and 设计要求，成果报告宜作为竣工验收资料。

### 7.2 施工质量检测

**7.2.1** 对隔离屏障实施针对性的施工质量检测，并符合下列要求：

- 1 当对回填土有压实要求时，应根据设计要求进行压实度、平整度等检测。
- 2 应检测隔离屏障的抗渗性能、连续性与完整性等。
- 3 当工程需要时，宜对土工膜的屈服强度、断裂强度、断裂伸长率、抗穿刺能力等进行检测。

**7.2.2** 回填土应分层检测压实度，达到设计值后再覆上层土。回填土压实度检测可采用环刀法、贯入法、轻型动力触探等现场试验方法或室内轻型击实试验方法，每 500m<sup>2</sup> 的面积宜布置 1 个检测点，且每个场地应不少于 3 个检测点。

**7.2.3** 水泥石、膨润土或塑性混凝土垂直隔离屏障应按设计材料配比制备试块进行室内抗渗性试验，每种材料配比试块应不少于 3 个。

**7.2.4** 隔离屏障养护期满，应开挖检查屏障的完好性，条件具备时可采用地球物理探测方法进行完整性检测。当工程规模大或对隔离屏障抗渗性要求严格时，可在屏障体内取芯，并进行室内试验，取芯应符合下列要求：

- 1 取样点宜布置在地质条件复杂、施工中易出现异常情况的部位。
- 2 采用搅拌工艺施工的垂直隔离屏障，取芯数量应不少于 3 点，每孔芯样宜不少于 3

件试块。

3 采用成槽灌注工艺施工的垂直隔离屏障，取芯检验点数量应不少于 3 幅，每幅墙宜不少于 3 件试块。

4 钻孔取芯完成后的孔洞应及时采用防渗性能良好的材料填充。

**7.2.5** 水平隔离屏障的施工质量检测应符合下列要求：

1 底部的基础层和压实黏土层宜按 500m<sup>2</sup> 取 1 个点分层检测压实度，分层厚度宜为 20cm~30cm。

2 土工合成材料应无破损和漏接现象，每条接缝或焊缝搭接宽度均应满足设计要求。

3 土工膜材料的焊缝应做渗漏检测；热熔焊接的每条焊缝应进行气压检测，挤压焊接的每条焊缝应进行真空检测。

4 土工膜材料的焊缝宜按每 1000m 取 1 个样品进行强度测试。

5 土工膜焊接质量检测完毕，应立即对检测时所作的充气打压穿孔全部用挤压焊接法补堵，对检测发现不合格的部位应及时用新鲜的母材修补，经再次检测合格方可接续后续施工。

6 土工布和土工复合排水网的接缝宜按每 200m 取 1 个点检测搭接效果。

## 7.3 施工过程监测

**7.3.1** 隔离屏障施工中应监测垂直隔离屏障内外地下水流向上下游的地下水位、施工三废排放、土壤和地下水中目标污染物浓度；当目标污染物具有挥发性时，尚应监测地块及邻近影响范围的环境空气质量。

**7.3.2** 应根据地块地质与水文条件、地下水污染物特征和阻隔形式等，在隔离屏障内外及地块影响范围的代表性位置布设土壤和地下水监测点，且沿屏障周界每 100m 不应少于 1 组，特殊情况下宜加密布置。当水平隔离屏障覆盖区域需要设地下水监测采样井时，应采取必要的防渗措施，可充分利用已设置的环境监测井。

**7.3.3** 当需要监测施工对空气质量的影响时，应在地块内、地块边界及临近敏感目标区域均至少布设 1 个监测点，地块边界的监测点应包括上风向下风向位置，并宜综合采用现场快速检测与采样分析手段。遇有高浓度挥发性有机污染物等情况，监测点应适当加密。

**7.3.4** 土壤、地下水及大气的监测次数应不少于 3 次，且应覆盖施工前、过程中和工后 3 个阶段，施工初期宜为 1 次/2 周。当工程需要时，过程监测频次可适当增加。

**7.3.5** 周边影响范围内的地表变形、建（构）筑物、地下管线与设施的变形监测点位布设和频次应符合上海市工程建设规范《基坑工程技术标准》DG/TJ 08-61 和《基坑工程施工监测规程》DG/TJ 08、《房屋质量检测规程》DGJ 08-79 的要求。

## 8 长期监测与源削减

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 本章适用于污染地块阻隔工程施工结束后，施工单位开展的长期监测以及为了进一步削减污染土和地下水中的有机污染物，开展的阻隔后源削减设计、施工、运行及过程监测。对于长期监测方案的设计，应包括监测频率、监测点布置和评估方法。

**8.1.2** 长期监测内容应符合本章要求外，尚应符合相关技术规范和设计要求。

**8.1.3** 阻隔后源削减措施应重点考虑场内污染物负荷、阻隔服役年限等因素综合设计，采取源削减措施后应确保服役年限满足设计要求。

### 8.2 阻隔后长期监测

**8.2.1** 污染地块风险管控的阻隔工程实施后应制定专项方案，在服役期内开展长期监测并评估阻隔效果。

**8.2.2** 阻隔后的长期监测应对地下水中目标污染物、水位与水质、二次污染物、隔离屏障沉降等进行监测，当工程需要时，可同步监测土壤气。长期监测应满足下列要求：

1 地下水水质监测应包括 pH、温度、电导率、总硬度、氧化还原电位、溶解氧等参数。

2 当联合使用投加药剂等强化措施时，尚应记录药剂浓度，并监测地下水中目标污染物及可能的二次产物浓度变化。

**8.2.3** 地下水长期监测井应根据地块的地质与水文条件、污染物特征和采用的阻隔技术，在代表性位置布设，并满足下列要求：

1 宜沿隔离屏障每 100m 在屏障内外设 1 组，可充分利用施工过程中已有的环境监测井。

2 污染地块内外布设的监测井宜在地块内污染物浓度高的区域、敏感受体所处位置，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、风险管控薄弱部位和周边敏感受体位置设置。

3 监测井深度应不小于所在点位的最大污染深度且应不大于垂直隔离屏障或底部水平隔离屏障顶部所在深度。

4 当阻隔目标污染物具有挥发性时，应定期监测地块内、边界和邻近敏感目标区域的环境空气质量，且每边界至少设 1 个监测点。

**8.2.4** 长期监测总周期应覆盖服役要求，长期监测频次应不少于每年 1 次，两个批次间隔应不少于每季度，当监测数据明显变化时，应适当提高监测频次。

**8.2.5** 长期监测过程中应根据监测数据及趋势预测结果开展隔离屏障服役性能分析和风险评估，评价结果有异常时应采取必要的防控措施，严格遵守应急响应流程。

### 8.3 阻隔后源削减措施设计

**8.3.1** 阻隔后源削减措施应以多相抽提等技术为主，重点针对以下区域开展源削减设计：

- 1 存在自由相 NAPL 的区域；
- 2 污染浓度较高的区域；
- 3 屏障体薄弱区域。

**8.3.2** 当采用多相抽提法进行源削减时，设计内容应包括地下和地上设施的设计，并符合下列要求：

1 地下设施设计应包括抽提井的平面布设、影响半径、深度及井结构，以及井头真空度、流体抽提速率等工艺参数；

2 地上设施设计应包括真空设备的选型、管道系统、相分离系统和电气与控制系统等。

**8.3.3** 多相抽提井的布设应确保源削减区域均被抽提影响范围覆盖，井的数量应根据单井的影响半径确定；多相抽提井的影响半径可在如下范围内选取并结合现场中试试验确定：

- 1 黏性土：1.0m~2.0m；
- 2 粉性土：1.5m~5.0m；
- 3 砂性土：3.0m~8.0m。

**8.3.4** 应通过中试试验确定单井影响半径、井头真空度、流体抽提速率等设计参数，并符合下列要求：

- 1 中试时应安装至少 2 口多相抽提井，当地质条件复杂或污染情况复杂时宜适当增加；
- 2 中试试验持续时间应以各参数均达到稳定状态为准，且不少于 1 天。

**8.3.5** 多相抽提中试试验应在抽提井周围的不同距离、不同方位处的非饱和带与饱和带布设监测点，用于监测土中气压变化，以及地下水水位变化、地下水中污染物浓度变化和非水相液体厚度变化等。

**8.3.6** 多相抽提井管直径宜不小于 80mm，管材可采用聚氯乙烯（PVC）材质；如果井内存在高浓度的自由相有机物，宜采用不锈钢材质井管。

**8.3.7** 工程需要时，应在多相抽提井内设置引流管，引流管外径宜为井管内径的 1/3~2/3，引流管底端设置深度应根据井内地下水位设计降深确定。

**8.3.8** 多相抽提井的滤管段应覆盖源削减深度，宜采用切缝式，并根据地层条件和滤料等级设计切缝大小。

**8.3.9** 多相抽提施加的井头真空度可根据地质与水文地质条件、需要达到的影响半径及井内水位降深确定，宜在 20kPa~60kPa 范围内选取。

**8.3.10** 多相抽提的单井抽提速率包括气体抽提速率和单井液体抽提速率，气体抽提速率可控制在 0.05~10m<sup>3</sup>/min 之间，单井液体抽提速率可控制在 0.001~0.5m<sup>3</sup>/min 之间。

**8.3.11** 多相抽提宜选用液环式真空泵，其规格应满足井头真空度、系统真空度及抽提速率的要求。

**8.3.12** 地上管道系统应符合下列要求：

1 地上管道系统的设计与构建应与地下部分的设计配套，以确保地下设施与地上处理设施的兼容性；

2 单个抽提井顶端以及地面真空泵体进口端宜安装一段透明的聚氯乙烯（PVC）管或透明视窗用于观察抽提的流体状况。

**8.3.13** 地上系统中的相分离单元应包括气液分离器和油水分离器，并符合下列要求：

1 气液分离器宜安装在地面真空泵和抽提井之间，且设计壁厚和材质应能承受真空泵所产生的最大真空度；

2 如抽提混合液中存在自由相的污染物，应在气液分离器后设置油水分离器。

**8.3.14** 多相抽提系统的控制宜包括：井内真空控制、气液流体抽提速率控制、系统液位控制和温度控制等，并符合下列要求：

1 多相抽提系统应使用阀门来调节流量和真空度，阀门应分配唯一的标识号，并配有识别标志。在多井系统中，可通过在井口安装调节阀方式控制井内真空度，平衡和调整各抽提井的抽提速率；

2 应在相分离容器内安装液位计控制系统的启停；

3 通过对废气、真空泵内润滑液或密封液体的温度监测控制系统的启停。

**8.3.15** 当多相抽提井的运行周期超过 1 年时，应进行长效多相抽提井的设计，并满足以下要求：

1 长效抽提井井身结构应根据抽水目的层的岩性、厚度、埋深、富水性、水力性质、上覆地层的特征及钻进工艺进行设计。

2 长效抽提井过滤器结构应根据管井设计出水量、过滤管长度、选用管材的规格、过滤器的有效孔隙率和允许过滤管进水流速等因素确定。过滤器筛孔形式一般为圆孔状和切缝状。对于存在 NAPL 污染物的源削减地块，筛孔形式可设置成斜切缝状，有利于液体通过。

3 长效抽提井可根据需要配置清理井等附属结构，缓解多相抽提过程堵塞。

## 9 安全防护

**9.0.1** 本章适用于阻隔工程施工过程和长期监测期间对污染地块内敏感受体及周边环境的安全防护。

**9.0.2** 污染地块阻隔工程施工应采取安全防护措施，并应符合下列要求：

- 1 施工前应识别潜在风险，编制安全防护专项方案。
- 2 加强日常管理，确保施工用水、用火、用电及用气安全。
- 3 加强对人员、材料和机械设备的安全防护。
- 4 应采取有效措施进行二次污染防控，确保周边环境安全。

**9.0.3** 污染地块阻隔工程施工的安全风险识别应包含以下内容：

- 1 地块内污染源相关风险。
- 2 地块内建（构）筑物和地下障碍物相关风险。
- 3 材料（含药剂）相关风险。
- 4 机械设备相关风险。
- 5 用水、用火、用电、用气相关风险。
- 6 现场人员操作与管理相关风险。

**9.0.4** 应针对中毒、机械伤害、触电、火灾和恶劣天气等风险制定应急预案，应急预案应包括组织机构、应急物资配备和应急处置措施等。长期监测阶段，应制定环境风险应急预案。

**9.0.5** 污染地块阻隔工程施工应加强日常管理，并应符合下列要求：

- 1 施工现场边界应设置连续封闭的围挡，出入门及内侧应悬挂施工现场平面图、工程概况图、管理人员名单及电话牌和安全防护图等。
- 2 施工现场配备个体防护装备和常用急救药品。
- 3 设置安全管理员，并进行安全检查。
- 4 进行安全交底，特种操作工人持证上岗。
- 5 外来人员未经允许不得进入场地内。
- 6 现场人员严禁饮用场地内地表水或地下水。
- 7 现场配备淋浴设备和应急洗眼器。

**9.0.6** 现场作业人员应根据污染物类型、浓度、毒性或致癌性及迁移性等特征采取相应的安全防护措施，并应符合下列要求：

- 1 进入现场应佩戴安全帽、口罩、手套、硬底劳保鞋等。
- 2 当污染物浓度高、或有高致癌性、或具急性毒性、或具有易挥发等强迁移性时，应

佩戴防毒面具、防护眼镜、防护服、防化硬底劳保鞋和防化手套等。

**9.0.7** 对于污染地块阻隔工程施工中使用的材料（含药剂）、机械设备等安全防护，应符合下列要求：

1 采用的主要材料、机械设备应有质量证明文件、技术性能文件和使用说明文件，对于药剂应提供化学成分检测报告和化学品安全技术说明书。

2 应根据施工所使用材料的种类和危险特性，在材料暂存场所设置相应的防渗、防雨等措施，并建立严格的领用、使用和回收制度。

3 施工过程中所采用的机械设备应做好安全防护措施，防止漏油、倒塌或腐蚀等问题发生。

**9.0.8** 施工现场用火、用电安全应符合下列要求：

1 应配置消防设施、器材，设置消防安全标志，保证疏散通道、消防通道畅通。

2 施工现场应设置动火作业区，配备相应的消防器材。

3 各类带电设备须有良好的保护接地接零，做到“一机一闸”、“一箱一漏”，传动部位应有防护罩。

4 现场用电应采用TN-S系统（三相五线制），并配备漏电保护装置。

5 采用移动式照明应使用安全电压。

6 发生电气火灾应自动切断电源，用干砂或干粉灭火器灭火。

**9.0.9** 对于地块及周边环境安全应符合下列要求：

1 施工前应进行地下障碍物的探查并验证。

2 施工前应对地块内及周边重要的建（构）筑物进行专项检测。

3 施工过程中应对周边环境采取相应保护措施，必要时应委托第三方进行监测。

**9.0.10** 施工过程中二次污染防控应符合下列要求：

1 施工过程中应采取遮盖、封闭、喷射水雾或洒水等措施控制扬尘；当涉及挥发性污染物时，尚应采取喷射气味抑制剂等措施控制气体逸散。

2 应采取的措施防止施工造成的污染物扩散或转移。

3 应采取有效降噪措施或采用低噪声的工艺、技术、措施和机械设备。

4 应收集施工过程中产生的污水、泥浆和残渣，并进行妥善处置。

5 用于污染土或地下水暂存和处理的场地，地面应作防渗处理，必要时应设置围堰。

6 现场设置办公（生活）区的，应采用分隔围挡与施工作业区明显分隔；场地内有挥发性有机物的，现场办公（生活）区宜布置在污染区域的上风向。

**9.0.11** 施工现场的一般废弃物和危险废弃物的暂存或处置应符合下列要求：

1 一般废弃物应分类集中暂存，宜回收或资源化利用；

2 现场危险废弃物应做好防扬散、防流失、防渗漏等措施，委托具有资质的单位处置，并符合相关管理要求。

**9.0.12** 施工过程中，应根据原位阻隔的技术要求，对地块内和周边环境进行废水、废气及扬尘、固废、噪声等监测，并关注敏感目标受施工影响的程度。

**9.0.13** 当长期监测涉及采样、局部维修、强化治理、水处理等工作环节时，应采取必要的二次污染防控措施。当长期监测涉及屋面加固、装备检修等高空工作环节时，应采取必要的防护措施。

## 本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应  
照……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《岩土工程勘察规范》 DGJ08-37
- 2 《建设场地污染土勘察规范》 DG/TJ08-2233
- 3 《建设场地污染土与地下水土工处置技术标准》 DG/TJ 08-2295
- 4 《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》 HJ25.6
- 5 《室外排水设计规范》 GB50014
- 6 《基坑工程技术标准》 DG/TJ08-61
- 7 《基坑工程施工监测规程》 DG/TJ08-2001

上海市勘察设计行业协会团体标准

## 污染地块原位阻隔技术标准

(征求意见稿)

### 条文说明

2024年 上海

## 目 次

1	总则.....	1
3	基本规定.....	2
5	设计.....	6
5.1	一般规定.....	6
5.2	材料选型.....	7
5.3	垂直隔离屏障设计.....	8
5.4	水平隔离屏障设计.....	10
6	施工.....	12
6.1	一般规定.....	12
6.2	垂直隔离屏障施工.....	12
6.3	水平隔离屏障施工.....	14
7	施工质量检测与过程监测.....	16
7.1	一般规定.....	16
7.2	施工质量检测.....	16
7.3	施工过程监测.....	18
8	长期监控与源削减.....	20
8.1	一般规定.....	20
8.2	阻隔后长期监测.....	20
8.3	阻隔后源削减措施设计.....	21
9	安全防护.....	25

# 1 总则

**1.0.1** 在我国工业化和城镇化过程中，污染物排放导致大量土壤和地下水污染。根据 2019 年《中国环境状况公报》，逾六成地下水的水质为较差或极差级别。根据 2014 年发布的《全国土壤污染状况调查公报》，我国的土壤总点位超标率为 16.1%。土壤和地下水污染问题已引起国家高度重视和社会广泛关注。2016 年生态环保部出台了《土壤污染防治行动计划》（也被称为“土十条”）。2019 年 1 月 1 日起我国的《土壤污染防治法》正式施行，在填补我国土壤污染防治法律的空白的同时，也提出了更高要求。

上海历史上工业企业集中，土壤和地下水污染问题突出，相关统计表明市区潜在工业污染地块约在 1 万个以上，上海市已将土壤污染治理列入第六轮“环保行动计划”，开展修复治理的社会需求与市场需求极为紧迫。

本市浅部土层含水量高、渗透性低、潜水位高，污染迁移分布具有独特性，水土复合污染较为普遍，导致污染地块修复治理难度大、成本高昂，迫切需要技术支撑。由于采用阻隔技术实施风险管控具有施工周期短、成本低、风险控制效果好、二次污染可控等优点，日益受到业内关注。针对污染地块采用阻隔技术实施风险管控已成为重大技术需求。

根据中华人民共和国《土壤污染防治法》和生态环境部《土壤污染防治行动计划》的有关要求，国家鼓励地方政府对暂不开发利用且暂不具备修复条件的污染地块实施风险管控。然而在实施过程中，从业单位仍缺乏有效的技术标准支撑，行业发展尚欠规范。

现有环境工程领域的《建设用地土壤修复技术导则》等系列文件仅对修复模式、修复技术和修复方案做原则性规定，缺乏可指导具体设计与施工的细化规定。虽然部分修复工程中也借鉴了水泥土搅拌桩隔离等岩土工程技术，但常规的岩土工程技术在污染地块治理中的适用性及操作细则亟待明确。目前从业单位较多借鉴垃圾填埋场的覆盖及封场的相关技术标准，但污染地块中的水文地质条件、污染物特征和具体工况等均与填埋场不同，导致实施中仍欠缺针对性。因此，为进一步规范本市污染地块的风险管控工作，实现土壤和地下水污染的科学治理，特开展了本标准的编制工作。

本条目所指的生态环保目标涵盖了污染阻隔技术的相关要求，即防止污染土壤和地下水扩散，阻止地下水向敏感受体扩散，阻断人体暴露途径。

**1.0.2** 本条规定了隔离法的适用范围，包括采用隔离屏障实施污染地块风险管控的设计、施工、质量检测、施工过程监测以及阻隔后长期监测。本规范所指的隔离屏障适用于地块

污染物的长期阻隔控制，在国内外已有许多应用案例。

### 3 基本规定

**3.0.1** 从工程应用情况看，隔离屏障主要包括垂直屏障和水平屏障两种类型。垂直隔离屏障一般用于隔离土体和地下水中污染物的水平向迁移或阻断地下水渗流；水平隔离屏障则用于阻断污染物的垂直向迁移。工程中可根据需要选择其中一种或两种类型屏障的组合。国内外实践经验表明，当单一阻隔不完全满足风险管控需要时，对污染地块实施阻隔后，可根据需要联合应用强化修复措施，包括地下水抽提、多相抽提、药剂注入等，从而达到减少污染物、控制或降低环境风险的目的，并可降低未来修复成本。

**3.0.2** 本条规定了污染地块隔离屏障设计前应收集的基础性资料：

**1** 根据环保管理要求，地块环境调查报告与风险评估报告需通过专家评审并在所在地环保主管部门备案，作为工程实施的有效依据。

**2** 上海市地下水属于长江三角洲平原水文地质亚区，地下水类型包括潜水和承压水。其中潜水具有水位浅、与地表水体水力联系较密切等特点。上海地区浅部地层成分复杂、各向异性显著，不同区域黏性土、粉性土与砂土的地层组合复杂多样。表部存在各类填土（杂填土、素填土、冲填土等）及暗浜。20m 以浅大部分区域分布有第③、④层淤泥质黏性土，局部浅部有较厚的①<sub>3</sub> 或②<sub>3</sub> 层松散粉性土及砂土层分布，部分区域第③层淤泥质粉质黏土中夹有粉性土或砂土薄层或透镜体，不同地层条件下污染物迁移规律有明显差别。因此，只有充分掌握地块及邻近区域地质与水文地质条件，才能制定针对性的设计方案。

**3** 场地内及周围临近的建（构）筑物、地下管线等设施可能会因施工产生变形、受损，影响正常使用，甚至危及周边社会安全。近年来，各类施工活动损坏建（构）筑物、自来水管、电力管线、燃气管线等，引起经济损失、人身伤害的报道屡见不鲜，因此对于污染地块修复及风险管控治理，收集上述基础信息极为必要。

**4** 地块与周边环境质量信息、敏感目标分布及环境保护要求一般可在经环保主管部门备案的调查与风险评估报告中获取，也可通过进一步现场踏勘、收集资料、人员访谈等途径补充完善。

**5** 我国污染地块风险管控工作起步不久，充分借鉴已有的成功案例经验，是有效开展阻隔与风险管控的重要前提，可通过收集已经备案的设计方案或竣工资料了解相关案例

或经验。

### 3.0.3 本条是关于污染地块块隔离屏障设计的总体要求：

1 对每个具体的污染地块开展阻隔和风险管控，可能有多种技术方法供选择，需要从技术适用性、经济性、工期、社会可接受程度等多方面进行综合比选，确定适用的技术方法。

2 不同地块涉及的技术参数各有差异和侧重，设计方案应结合场地条件、污染特征和选定的隔离屏障方案，针对性地给出相关参数的设计要求。

3 阻隔工程活动可能产生环境影响，需要从工程安全和环境安全的角度提出保护要求。对挥发性有机物污染地块实施阻隔工程时，应对周边环境保护提出二次污染控制措施要求，并结合邻近建（构）筑物保护要求提出可靠的变形控制措施。

4 对施工过程监测要明确监测内容、监测布点方案、监测频率等内容。阻隔后长期监测对于污染地块风险管控非常重要，一方面可验证风险管控的长期效果，另一方面可根据监测数据针对隔离屏障的服役性能做出评价并采取必要的措施。

### 3.0.4 本条是对药剂使用和开展实验室小试的规定。

1) 为了确保使用药剂后不产生新的污染，所以要求采用无毒无害或低毒低害的药剂；

2) 使用药剂时，药剂的供应、运输、储存和使用需要满足相应的管理要求，对易燃、易爆、易致毒等类型的药剂，管控要求较为严格。为确保工程实施安全，一般要求所用的药剂方便采购、运输、储存和使用；

3) 不同类型的污染物、不同污染物浓度、土的成分和结构等因素均会对药剂的作用效果产生不同程度的影响，因此，根据工程实践经验，本规范要求采用药剂的工程应开展小试。

### 3.0.5 本条对中试试验提出了要求。中试前进行过小试的，中试还要根据现场条件充分考虑应用小试成果，中试成果对确定施工工艺参数具有指导作用。

1) 由于地块地质和水文地质条件、污染物特征千差万别，工艺参数必须具有很强的针对性，因此，本规范要求在中试工程实施前开展中试；

2) 中试试验主要验证设计方案的合理性并作优化，确定具体的施工工艺参数。

### 3.0.6 本条规定了污染地块阻隔工程施工前的准备工作要求。

1 上海地区的污染地块表部一般分布填土层，受人类活动影响，旧基础、废弃管线和地下结构物等地下障碍物的分布概率较高。为保障项目顺利实施，通常要在施工前探明并

清除障碍物。

2 为了确保污染地块风险管控效果和施工过程安全，进场材料需要具备出厂合格证、使用说明书及其他必要的证明材料，且满足有效期要求。进场设备需要具备设备检验合格证、检修保养证明文件，确保可正常运行。

3 鉴于现场人员暴露于污染物的风险高，施工前对参与人员进行技术和安全交底极为重要，其中应重点包括施工及运输环节的环境保护和人身安全防护等相关要求，特别是对使用、运输化学试剂，运出废弃物、有害废水等人员进行安全教育，对人员及运输工具进行安全防护检查。交底过程中应做好记录。

**3.0.7** 本条明确了污染土与地下水修复治理施工活动应达到的基本要求。

1 污染地块阻隔工程实施过程中，需要安排专人每天记录所采用的工艺参数、完成的工程量、材料用量，并注明关键监控指标和工艺参数变更或调整等情况，遇到异常情况也应当详细记录。记录可采用文字表格、照片和视频等不同方式。

2 若工程中使用化学药剂，应根据药剂的特性，在存放和使用环节采取相应的安全防护措施，对易于产生化学反应的不同药剂尤其要注意分别存放于独立的空间。药剂进出场、出入库等环节均需要做好台账记录。

3 根据上海地区的经验，阻隔工程施工中要及时把握动态变化情况，结合信息化施工与在线监测手段，若出现污染物浓度反弹、污染羽扩散、屏障阻隔能效不稳定或被击穿、周边环境监测异常等情况时，必须及时做出施工方案的调整 and 响应，以免阻隔失效造成污染扩散。

4 对地块内遗留物（如施工产生的弃土、废水、泥浆、废弃材料、化学品与包装物等）的清理或无害化处理，应结合其特点和物理化学性质，采取针对性的处置方法。当对遗留的坑或孔的回填有防渗要求时，一般可采用黏土球、膨润土等土工材料回填并压实。

**3.0.9** 本条规定了污染地块阻隔工程施工过程中的监测内容。根据上海地区的地质与水文地质条件特征，在隔离屏障施工和服役期内，地块内污染物迁移和地下水渗流路径被阻断，导致屏障内外的地下水位产生差异，并使污染物的迁移得到控制。对受影响范围内的水土相关污染因子、地下水位进行检测，可直观判断隔离屏障的服役状态和阻隔效果。此外，需要关注下列情况，并根据要求开展监测：

1) 在隔离屏障施工过程中，邻近的建构筑物可能会因施工活动造成不均匀变形等不利影响，从而影响其正常使用功能或安全性，故应参考建设工程有关监测要求对保护对象进

行变形监测。

2) 当地块临近范围内有地表水分布时, 应充分考虑污染物迁移对地表水产生污染的可能性。

具体的监测内容应根据工程实际情况确定, 如地块不涉及挥发性或半挥发性有机污染物, 可不进行空气质量监测, 场地周边环境空旷不涉及建(构)筑物可不进行变形监测。

**3.0.10** 本条规定了阻隔施工过程和阻隔后长期监测的安全防护措施。有关安全防护和二次污染防治的要求具体见第 8 章。施工应优先采用低能耗、绿色的工艺。绿色低碳、安全环保的设备与材料是指不会对本场地产生次生污染, 或不因其物质成分与场地内污染物产生化学反应或催化反应, 引起次生污染。

## 5 设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 本条列出了永久性隔离屏障常用的材料或材料组合，其中：

1) 塑性混凝土是一种水泥、膨润土和黏土等材料加水混合搅拌形成的流动性混凝土，其中水泥掺量较低，膨润土和黏土掺量较高，具有低强度、低弹模和大应变等特性，可用于形成防渗性能良好的垂直隔离屏障，在环境治理领域得到较为广泛的应用。

2) 土工膜、钠基膨润土防水毯衬垫等材料可单独用作临时隔离屏障。实际应用中可根据工程需要选用。

3) 工程实践经验表明，单独使用黏土材料作为垂直隔离屏障，防渗性能难以确保，且技术经济性不佳。

4) 由于土工膜易于受尖锐物品刺穿或损伤，保护难度较大，故当土工膜用于永久性水平隔离屏障时应与其他材料组合使用。

**5.1.2** 本条规定了隔离屏障设计的基本原则。不同类型的屏障其使用功能不同，需要进行针对性的设计。为满足设计服役性能要求，隔离屏障需要具备一定的抗渗性能，以及匹配服役年限和该渗透性条件下的厚度。

在以下情况下需要适当提高屏障技术要求：

1) 当目标污染物浓度较高时，污染物由高浓度区域向低浓度区域扩散的潜势也较高，隔离屏障性能需要适当提高；

2) 当目标污染物分布于具有大孔隙通道的杂填土层、粉性土、砂土等渗透性较好的土层中时，污染物易于迁移，周边水土环境受到污染的潜在风险较高，对隔离屏障的隔污和防渗性能要求也相应较高；

3) 当污染地块临近环境对目标污染物影响敏感、保护要求较高时，也需要提高对隔离屏障服役性能的要求；

基于上述情况，设计需要提高要求的程度，本规范难以作出统一规定，项目工程师宜视具体情况确定。

**5.1.3** 鉴于垂直隔离屏障为隐蔽工程，施工工艺对施工质量的影响显著，且屏障的施工质量对实现隔污防渗设计要求尤为重要，故本条规定应通过现场中试确定最终的施工工艺和

设备，并宜根据中试反馈成果对设计方案进行优化。

## 5.2 材料选型

**5.2.1** 本条规定了隔离屏障选型应考虑的因素，如根据使用功能的不同可分为垂直隔离屏障和水平隔离屏障；隔离屏障选型还应满足不同污染物的特征和浓度阻隔的要求。

**5.2.2** 隔离屏障的材料应能保证建成后的屏障具有良好的隔污、防渗性能。综合上海地区在污染地块隔离处置、垃圾填埋场建设等方面的经验，常用的材料主要包括水泥、黏土、膨润土、聚乙烯防渗土工膜（LLDPE，HDPE）和钠基膨润土防水毯（GCL）等。另外，工程中也通常根据实际需要使用土工复合排水网和土工布等辅助材料。其中，

1) 聚乙烯防渗土工膜（LLDPE，HDPE）应符合现行国家标准《非织造复合土工膜》GB/T 17642、《聚乙烯土工膜》GB/T 17643、《土工合成材料应用技术规范》GB 50290 和行业标准《聚乙烯（PE）土工膜防渗工程技术规范》SL/T 231 的相关规定。当隔离处置后膜体受拉变形较大时，可选用拉伸性能更好的 LLDPE 膜；

2) 钠基膨润土防水毯（GCL）材料通常按照现行行业标准《钠基膨润土防水毯》JG/T 193 选用，其单位面积质量不低于 4000g/m<sup>2</sup>，渗透系数小于等于  $5 \times 10^{-9}$ cm/s；

3) 土工布可用作 HDPE 膜、GCL 和土工复合排水网保护层，或作为平面排水通道，一般选用具有良好的耐久、保土、透水和防堵性能的无纺土工布；

4) 土工复合排水网材料可用作地下水导排层、地表水导排层或气体收集导排层，要求具有良好的排水性能和耐久性能。

**5.2.3** 污染物沿迁移路径到达隔离屏障内侧时，在水头差引起的渗流作用和浓度差引起的扩散作用下，向屏障体内迁移。因此，隔离屏障应具备良好的防渗和隔污性能，确保屏障在服役期内不超过控制标准。结合常用的屏障材料类型、前期研究成果和工程经验，本规范提出了屏障渗透系数和污染物有效扩散系数的控制性指标。当遇到屏障内外水头差显著或污染物所在土层渗透性好等情况时，应适当提高屏障的抗渗性。必要时可适当掺入膨润土、减水剂、早强剂等外加剂或掺和剂，改善隔离屏障的抗渗性或强度。所加入的外加剂或掺和剂数量应通过室内配比小试或现场中试确定。当有足够工程经验时，也可按经验确定。

## 5.3 垂直隔离屏障设计

**5.3.1** 本条是对垂直隔离屏障深度的基本要求。根据上海地区地质与水文地质条件及大量污染地块调查的工程实践，土体和地下水污染深度绝大部分在 6m 以浅范围，对于第②层黄色粉质黏土层缺失且分布有第②<sub>3</sub>层或第③<sub>美</sub>层粉性土地层，最大污染深度可达 6~8m，极端情况下可达 15~18m。

上海地区浅部第②层褐黄色粉质黏土层、第④层淤泥质黏土层，第⑤<sub>1</sub>层黏土层，以及中部第⑥层粉质黏土层，均为良好的隔水层，是污染隔离的天然水平屏障。若场地内上述土层分布稳定且厚度大于 2m 时，可作为垂直隔离屏障的嵌入层（第②层土埋藏浅除外）。若场地不具备上述有利条件，设计也可选择悬挂式屏障，屏障插入深度应大于临界插入深度。临界插入深度可通过污染物渗流-扩散分析确定，并考虑适当的安全余量。

**5.3.2** 深度预设标准为迁移深度范围内可接受的最高污染浓度，可由风险控制值或者屏障外击穿标准综合确定。

**5.3.3** 本条规定了垂直隔离屏障厚度的设计要求。根据本地区工程经验，参考行业标准《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJJ 176，永久性隔离屏障的服役期可取 50 年，屏障外侧击穿浓度标准可取屏障内侧污染物浓度的 10%与风险控制值之间的小值。

混凝土墙和塑性混凝土墙一般分别采用混凝土搅拌和成槽灌注等工艺施工，由于施工搭接、垂直度控制和成槽不均匀等因素影响，屏障体的厚度也不均匀，宜以屏障施工后的最小厚度作为有效厚度。

污染物阻隔计算所涉及的阻滞因子一般宜通过试验测定，当无试验参数和条件时，可考行业标准《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJJ 176 重金属污染物的阻滞因子可取 3~40；有机类污染尚无相关规定，由于有机污染物主要的吸附机制依赖于多孔介质中的有机质含量，而隔离屏障中有机质含量一般较低，综合复合污染物特点及相关试验，本条建议按照 1~5 取值。

此外，综合考虑目前施工工艺、屏障服役期等因素，本条规定了垂直屏障的最小有效厚度不能小于 300mm。

**5.3.4** 当采用水泥搅拌工艺时，垂直隔离屏障的防渗性能取决于两个方面，一是构成屏障的桩体拼接处的防渗性能，二是桩体材料本身的渗透性。前者可通过完善桩体搭接设计或施工工艺提高整体性。后者则取决于水泥及膨润土等材料的掺入量以及搅拌后的均匀性。

**1** 搅拌桩搭接尺寸应综合考虑施工设备性能、搅拌桩直径、土性、污染程度等因素确

定，对污染特别严重的，宜根据污染迁移扩散计算结果和服役年限的要求，适当加大桩径和搭接尺寸，必要时可设 2 排或多排搅拌桩墙，相邻两排之间应按规定尺寸搭接。搭接尺寸应满足搭接处屏障的有效厚度不小于屏障设计厚度。综合考虑隔离屏障的服役性能要求，本规范的搭接尺寸要求严于常规的岩土工程隔离帷幕，可按下表建议值选用搭接尺寸，严重污染情况下可取大值。

**表 5.3.4-1 搭接尺寸建议值（单位：mm）**

桩径（mm）			土性		
300	600	700	黏性土	粉性土	砂性土
50-100	100-200	200-300	100-200	150-250	200-300

**2** 添加膨润土控制水泥土的离析、提高抗渗性能和搅拌均匀性。根据上海地区的工程经验，本款对膨润土的目数、不同土层中的掺量作了规定。

**3** 根据上海地区的工程经验，采用水泥土作为隔离屏障材料时，双轴搅拌工艺掺入量一般不低于 13%，三轴搅拌工艺掺入量一般不低于 20%，可满足隔离屏障抗渗性能要求；暗浜区域通常具有含水量高、有机质含量高、成分复杂等特点，水泥土的抗渗性会受到一定影响，故规定施工中宜通过适当提高水泥掺入量和提高搅拌均匀性等措施，保障屏障达到设计要求。

**5.3.5** 由于旋喷施工质量控制难度较大，为确保旋喷注浆工艺形成垂直屏障满足使用功能要求，要求旋喷形成的水泥土桩径一般不小于 600mm。同时考虑屏障有效厚度控制要求，故对搭接长度提出较严格的要求。

当采用旋喷注浆工艺时，垂直隔离屏障的防渗性能也同样与水泥掺量密切相关。由于旋喷过程中注浆压力大、注浆量大，同时为确保旋喷搅拌的均匀性，故适当提高水泥掺量。

**5.3.6** 本条规定了土工膜材料用于长期服役垂直隔离屏障的使用条件。由于土工膜厚度小、易受穿刺损伤，故单独用于长期服役垂直隔离屏障时风险较高。但因其具有良好的抗渗性能和延展性，故与黏土、膨润土或塑性混凝土等材料联合使用有利于提升屏障的隔污、防渗性能，可作为良好的辅助措施。与其他材料联合使用时，仍要求垂直屏障满足最小有效厚度要求。同时，为确保搭接效果，本条又对相邻膜幅搭接提出了要求。

**5.3.8** 本条规定了有附加荷载作用时隔离屏障的设计要求。其中，

1) 垂直隔离屏障顶部承受附加荷载作用时屏障内会产生附加应力，设计应确保在附加应力作用下垂直隔离屏障不会出现强度损坏，且不影响屏障正常服役性能；

2) 上海地区浅部易污染的土层通常具有含水量高、孔隙比大、压缩性高等特点，在大

面积堆土附加荷载作用下，土体压缩变形显著。根据工程经验，当附加荷载作用达到 30kPa 以上时，土体将产生可观的压缩变形，并对地块临近范围造成差异变形等不利影响。为此，针对垂直隔离屏障及以上覆盖层附加荷载大于 30kPa 时，应参照岩土工程领域的设计计算方法，分析大面积附加荷载的不利影响。

## 5.4 水平隔离屏障设计

**5.4.1** 本条规定了水平隔离屏障设计内容和要求。其中在以下情况下需要考虑设置地表水、地下水或气体的导排、收集和处理系统：

1) 在挥发性或半挥发性污染地块的表部设置水平隔离屏障时，尤其是在非饱和带厚度大的情况下，应关注地下水位以上的非饱和带内可能积聚气相污染物及造成环境风险的可能性。水平隔离屏障应考虑必要的气压导排释放和收集处理系统；

2) 当地块设置大面积水平隔离屏障后，需要考虑地表降雨入渗的收集和排放系统；

3) 根据上海地区的地质与水文地质条件，若设置隔离屏障后地表标高抬高，则屏障下的地下水位可能在毛细作用下也相应抬升，会对屏障的正常服役造成不利影响，也需要考虑适当的地下水导排和处理系统。

4) 当水平阻隔屏障靠近地块边界时需结合其他边界封闭措施处理。

**5.4.2** 压实黏土层可单独用作水平屏障，也可与其他材料形成组合屏障。为使压实黏土达到阻断污染物扩散的功能要求，本条规定了黏土材料的主要性能指标和最小厚度。

**5.4.3** 重点污染防治区与一般污染防治区，根据生态环境部《地下水污染源防渗技术指南（试行）》（2020 年）及《环境影响评价与衡量技术导则-地下水环境》（HJ 610）规定，结合污染控制难易程度、天然包气带防污性能以及污染物的危害程度综合确定。存在重金属、持久性有机污染物等有毒有害污染物，且天然包气带防污性能较弱或天然包气带防污性能较强但对地下水环境产生污染后不能及时发现和控制难度较高的区域或部位为重点防治区。

**5.4.4** 根据污染地块的特点及隔离处置工程的目的，结合本规范编制组收集到的工程案例，本条规定了土工合成材料用于水平隔离屏障的设计要求。

**1** 国家标准《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》GB50869、行业标准《生活垃圾卫生填埋场封场技术规程》CJJ 112 中，针对填埋场封场覆盖系统的防渗层规定了单层防渗层和复合防渗层。单层防渗层主要是采用压实黏土，复合防渗层则包括土工膜和压实黏土或土工聚合黏土衬垫（GCL）组成。其中：

1) 复合防渗层的压实黏土厚度应为 20 cm~30cm;

2) 土工膜选用厚度不小于 1mm 的高密度聚乙烯膜 (HDPE) 或线性低密度聚乙烯土工膜 (LLDPE), 渗透系数应小于  $10^{-10}$ cm/s, 土工膜上下表面应设土工布;

3) 土工聚合黏土衬垫 (GCL) 厚度应大于 5mm, 渗透系数应小于  $10^{-10}$ cm/s。

2 土工合成材料的设计需要重点考虑合理布局每片材料的位置、摊铺方向, 错峰搭接并尽可能减少接缝数量, 由于弯角、边坡等部位受力较为集中, 接缝应尽量避免, 特别是在坡度大于 10%的坡面上和坡脚向隔离区域内 1.5m 范围内应避免出现水平接缝, 以防被拉裂。

各种土工合成材料的搭接方式和搭接宽度可参考下表:

表 5.4.4-1 土工合成材料搭接宽度

材料	搭接方式	搭接宽度 (mm)
非织造土工布	缝合连接	75±15
	热粘连接	75±15
土工膜	热熔焊接	200±25
	挤出焊接	100±20
GCL	自然搭接	250±50
土工复合排水网	土工网要求捆扎 上层土工布要求缝合 下层土工布要求搭接	75±15

5.4.5 地块排水系统应满足雨水设计流量排泄的要求。

5.4.6 根据工程经验, 当附加荷载作用达到 30kPa 以上时, 土体将产生可观的压缩变形, 并对地块临近范围造成差异变形等不利影响。为此, 针对新增水平隔离屏障及以上覆盖层附加荷载大于 30kPa 时, 应参照岩土工程领域的设计计算方法, 分析大面积附加荷载的不利影响。

## 6 施工

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 不同类型的屏障（垂直隔离或水平隔离、长期隔离还是临时隔离）其使用功能不同，屏障体的结构、组合、材料等均有差异，为满足不同类型屏障的需求，需要针对性选用相应的施工工艺和设备。

**6.1.2** 鉴于隔离屏障为隐蔽工程施工，施工工艺对施工质量的影响显著，且屏障的施工质量对实现隔污防渗设计要求尤为重要，故本条规定应通过现场中试确定最终的施工工艺和设备，并宜根据中试反馈成果进行优化。

采用搅拌和旋喷工艺进行中试试验时，为保障所选工艺的稳定性 and 参数的合理性，故对工艺性试桩要求不少于 3 根。

**6.1.3** 对于采用泥浆护壁成槽工艺施工的黏土墙、塑性混凝土墙，成槽是影响其施工质量的重要环节，中试阶段应侧重关注。

**6.1.4** 土工合成材料用于水平隔离屏障时，平面上的摊铺或铺装环节对确保屏障服役性能尤为重要，中试阶段也应侧重关注。

**6.1.5** 控制压实黏土层的压实度是保障其抗渗性能的重要手段。室内击实试验可测定黏土压实后的干密度与含水量之间的关系曲线，当压实黏土的干密度达到最大值时所对应的含水量称为最优含水量，以最优含水量为指标可用以指导现场压实施工的工艺要求。

### 6.2 垂直隔离屏障施工

**6.2.2** 根据上海地区工程建设领域的经验，双轴水泥土搅拌桩的最大深度可达 20m。考虑到搅拌桩的深部均匀性和搭接质量难以控制，为保障隔离屏障的防渗性能，故规定双轴搅拌桩隔离屏障最大深度不大于 14m。

**6.2.3** 为确保搅拌桩紧密搭接形成整体，施工应严格控制垂直度、桩位偏差。本条参考岩土工程领域对水泥土搅拌桩垂直度和桩位偏差要求的基础上适当提高要求，其中鉴于双轴和三轴工艺的差异，对垂直度作了差异化的要求。

**6.2.4** 水泥土搅拌后因水泥的水化作用逐渐固化并形成强度，如相邻桩的施工间隔时间太长，后续相邻桩无法有效搭接，形成质量隐患。本条在岩土工程领域水泥土搅拌桩施工间

隔时间不得超过 24h 的基础上，进一步提高了要求。

**6.2.5~6.2.6** 搅拌次数、搅拌头的提升或下沉速度直接决定了屏障体的均匀性。若提升或下沉速度过快，将导致桩体夹泥、喷浆不均等质量问题，难以保障成形的屏障隔污防渗性能。故本条分别结合二轴和三轴搅拌工艺的特点，给出了具体要求。

成桩过程中，由于电压过低或其他原因造成的停机使成桩工艺中断时，应将搅拌头下沉至停浆点以下 0.5m，待恢复供浆时再喷浆提升。凡中途停止输浆 3 小时以上者，将会使浆液在整个输浆管路中凝固，因此宜先拆卸输管路，并妥加清洗。

**6.2.7** 污染物类型、污染程度以及土体渗透性、暗浜等不良地质条件，会影响水泥水化反应，影响水泥土的强度增长，因此对此类条件下应予以慎重考虑。工程实例表明在此类条件下应提高置换率和增加水泥掺入量的角度来保证水土的桩身强度。

**6.2.8** 高压喷射注浆工艺包括旋喷、定喷、摆喷等三种。鉴于上海地区通常采用旋喷工艺，本条主要针对高压旋喷注浆屏障工艺做了具体要求。高压旋喷注浆法利用钻机把带有喷嘴的注浆管钻进至土层的预定位置，以高压设备使浆液或水流形成 20MPa 左右的高压流从旋转钻杆的喷嘴中喷射出来，土体受高压破坏并与浆液混合，形成桩体。因此，施工过程中对注浆压力的控制非常关键。

**6.2.9 ~6.2.10** 与水泥土搅拌工艺类似，旋喷施工工艺也应当重点控制桩位偏差、垂直度、提升速度、相邻桩施工时间间隔等关键参数，以保证加固效果。由于旋喷施工一般采取单次喷浆搅拌成桩，故注浆管的提升速度较水泥土搅拌桩要低一些。当注浆管不能一次提升完成而需分数次卸管时，卸管后喷射的搭接长度不得小于 100mm，以保证固结体的整体性。

**6.2.11** 污染物类型、污染程度以及土体渗透性、暗浜等不良地质条件，会影响浆液反应，影响桩身强度增长，因此对此类条件下应予以慎重考虑。工程实例表明在此类条件下旋喷施工应提高复喷次数来保证水土的桩身强度。

**6.2.13** 通常采用定量泵输送水泥浆，转速大多又是恒定的，因此水泥量取决于搅拌机的提升速度和复搅次数，施工过程中不能随意变更，并应保证水泥浆能定量不间断供应。采用自动化记录是为了最大程度的降低人为干扰施工质量，目前市售的记录仪必须有国家计量部门的认证。

**6.2.14** 导墙的功用不仅是在开挖槽孔时给开挖机具导向，保护泥浆液面处于波动状态槽口的稳定，还承受土压及施工机械荷载，并支撑导管、钢筋等临时荷载，因此施工前要设导墙，导墙应具有一定的强度和刚度，符合相关规定。

**6.2.15** 采用成槽填充工艺施工的塑性混凝土或土工膜垂直屏障时，主要包括成槽、泥浆护壁、材料填充和顶部处理等环节。其中，成槽质量对材料填充和成形后的屏障服役性能有直接影响。因此，本条针对成槽施工工艺做了具体规定。泥浆护壁在成槽过程中起固壁、悬浮、携渣、冷却钻具和润滑的作用，成墙后还可增加墙体的抗渗性能。一般泥浆采用膨润土拌制，泥浆配合比为水 1000kg、膨润土 50kg、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1kg。

**6.2.16** 槽段终孔验收合格后进行清孔，清除槽底的泥渣。

**6.2.17** 导管是泥浆下浇筑混凝土的关键环节，事前应对导管的直径、厚壁、管节长度等认真检查。导管在槽段中的布置应符合设计和规范要求。导管下浇筑混凝土时，让回填料在自重下顺着导管往下流，自底部往上逐渐替换槽内泥浆。超过泥浆液面时，可将后续回填料直接堆填在槽口往下流动，不断进行替换回填。

### 6.3 水平隔离屏障施工

**6.3.1** 水平隔离屏障与垂直隔离屏障的边缘、嵌入位置、结合处保证密封性，充分搭接，形成完整的屏障体，提高管控的效率和效果。

**6.3.2** 压实黏土位于土工合成材料上面时，施工机械行走可能对土工合成材料造成损伤，施工过程中应采取控制措施。

**6.3.3** 为保障黏土压实度达到设计要求且压实均匀，施工过程中应分层压实。

**6.3.4** 本条中土工合成材料主要指聚乙烯土工膜、膨润土防水毯、非织造土工布和土工复合排水网等材料。参考我国关于土工合成材料工程应用情况和垃圾填埋场相关技术标准，不同类型的土工合成材料的施工中应根据材料特性和使用功能要求实施。土工膜和膨润土防水毯材料在进场时应进行相关性能检查，采用一定厚度的压实黏土作为保护层，必要时还应当对保护层采取适当的防水、排水措施。铺设展开后应及时焊接。

**6.3.6** 膜的拼接应采用确定适宜的焊接温度和速度。非织造土工布搭接应采用热粘连接，应使搭接宽度范围内的重叠部分全部粘接。

**6.3.7** 斜坡处土工布施工时，应预先将土工布锚固在坡顶，再沿斜坡向下铺设，土工布不得折叠。



## 7 施工质量检测与过程监测

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 本章则规定了施工方在第三方验收前自行开展的施工质量检测和过程环境监测的要求，其中检测是指，对某种环境、污染源、污染物或工程特性进行的检验和测试。监测是指，间断或连续地测定环境中污染物的浓度，观察、分析其变化和对环境影响的过程。第三方的施工质量检测与必要的监测极为重要，本章的技术要求不能替代第三方检验。

**7.1.2** 施工组织设计应针对施工质量检测和施工过程监测提出明确的工作方案。当工程规模大、情况复杂或检测、监测指标特殊时，一般需要制定专项检测或监测方案。

**7.1.3** 施工过程中废水、废气、废渣土监测的要求：

1) 废水监测一般执行国家标准《污水综合排放标准》GB8978、《污水排入城镇下水道水质标准》GB/T 31962 和上海市《污水综合排放标准》DB31/199 等；

2) 施工过程中的废气主要来自于开挖施工期间的扬尘颗粒物、臭气、挥发性污染物等，通常执行《建筑施工颗粒物控制标准》DB31/964、《恶臭(异味)污染物排放标准》DB31/1025、《大气污染物综合排放标准》GB16297 和上海市《大气污染物综合排放标准》DB31/933 等；

3) 废渣土、废弃泥浆等固体废弃物的监测则可执行《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》GB18599 和《危险废物贮存污染控制标准》GB18597 等。

**7.1.4** 施工单位针对采用的阻隔管控技术开展施工质量检验，除了符合本章的要求之外，还应符合上海市工程建设规范《地基基础设计规范》DGJ08-11和《地基处理技术规范》DG/TJ08-40等的要求。

### 7.2 施工质量检测

**7.2.1** 有厚层覆土（如堆山造景）、坡地上设置阻隔，锚固搭接等薄弱区域容易因荷载、地基不均匀沉降变形及操作设备作用等，使膜体受拉脱开、破损等导致隔离屏障失效，故要求对土工膜的屈服强度、断裂强度、断裂伸长率、抗穿刺能力方面有一定强度和稳定性要求。

**7.2.2** 本条针对回填土压实度的检测方法和检测点布设原则做了规定。压实度的检测方法有：

1) 环刀法适用于粉性土和黏性土，是用确定体积的环刀切削土体，在尽量少的扰动下，使土灌满环刀，从而达到测定压实度的目的。环刀容积 ( $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$ )  $\text{mm}^3$ 、径高比 1:1，取样前测点表面应刮去 30mm~50mm 厚的松砂，环刀内砂样应不包含尺寸大于 10mm 的泥团或石子；

2) 贯入仪法通过检测仪器的贯入度实现压实度快速检测；

3) 轻型动力触探法适用于浅层的素填土、冲填土、黏性土、粉性土和砂土，不会对回填土本体的破坏，也能检测到较深填土的碾压质量；

4) 室内轻型击实试验法是模拟工程实际情况，在室内利用击实仪，将土体按照一定的标准试验方法进行击实，测定土体击实后的干密度与含水量之间的关系，并确定最大干密度及最优含水量，从而在现场通过压实度对压实施工质量进行控制，检验施工过程中压实度是否达到设计要求。

关于检测点的布设，上海市工程建设规范《地基处理技术规范》DG/TJ08-40 根据不同检测方法分别做了规定，检测点的数量严于本规范。本规范综合考虑经济性和数据统计分析的合理性，要求每 500 $\text{m}^2$  的面积布置 1 个检测点，每个场地不少于 3 个检测点。本规范仅针对地块回填土压实情况做初步检测评估，不能替代后续地块建设时的检测。

**7.2.3** 除土工合成材料之外的水泥土、素混凝土等材料构成的垂直隔离屏障，均应制备试块进行室内抗渗性试验。

**7.2.4** 除土工合成材料之外的水泥土、素混凝土等材料构成的垂直隔离屏障，在养护期后开挖检查屏障的完好性。跨孔电阻率法是一种常用作无损探测的地球物理勘探方法，一般通过设置在墙体两侧的钻孔，测试跨墙体的两孔间剖面电阻率分布情况，根据墙体渗漏处电阻率分布异常的现象，结合相关经验，就可间接判断隔离屏障的完整性。

钻芯取样检测垂直隔离屏障的抗渗性能是一种有损检测方法，对屏障存在损伤风险，仅在工程规模大、对隔离屏障抗渗性要求严格或钻芯不影响屏障的整体性时采用。钻取桩芯试验宜采用直径为 110mm 的钻头，钻取搅拌桩施工后 28d 龄期的芯样，钻取的芯样应立即密封并及时进行无侧限抗压强度试验和抗渗性试验。本条所指抗渗性要求严格，是指屏障体的渗透系数为  $10^{-8}\text{cm/s}$  及以下的情况。

**7.2.5** 不同材料的搭接宽度参见条文说明第 5 章的表 5.4.3。土工膜焊缝气压检测和真空检测方法可参照《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术规范》CJJ113-2007 附录 C 的规定。其中，土工膜焊接质量的检测可根据需要分别选用目测、充气检测、真空检测和样品强度检

测等方法：

1) 目测法：已铺设的 HDPE 土工膜外观，焊接质量、T 型焊接、膜底杂物等进行细致的检查。

2) 充气法：双焊缝可采用充气法（充其长度 30-60m）对焊缝进行检测，将待测段两端封死，插入气针，充气至 0.25MPa，静置 5min 后若气压下降小于 20%，表明不漏。

3) 真空法：挤压焊接形成的单轨焊缝应采用真空法检测，用真空检测设备直接对焊缝待检部位施加负压，当真空罩内气压达 25kPa~35kPa 时焊缝无任何泄漏视为合格。

4) 样品强度检测法：每 1000m 焊缝取一组样品试验，若强度不低于母材的 80%，且试样断裂不得在拉缝处，则视为焊缝合格。

表 7.2.5-1 土工膜外观质量

序号	项目	要求
1	切口	平直，无明显锯齿现象
2	穿孔修复点	不允许
3	机械（加工）划痕	无或不明显
4	僵块	每平方米限于10个以内。直径小于或等于2.0mm，截面上不允许有贯穿膜厚度的僵块
5	气泡和杂质	不允许
6	裂纹、分层、接头和断头	不允许
7	糙面膜外观	均匀，不应有结块、缺损等现象

### 7.3 施工过程监测

**7.3.1** 对有半挥发性或挥发性污染物的地块，改善空气质量是隔离处置的重要目的之一，故针对地块内、地块边界及临近范围内的空气质量尤其是目标污染物及其二次产物的实施监测也是必要的。

**7.3.2** 本条规定了设置隔离屏障后对屏障内外土与地下水的监测点布置要求，布点代表性位置包括管控范围上游、内部、下游，以及可能涉及的潜在二次污染区域、风险管控薄弱位置和周边敏感受体位置。每 1 组监测点包括屏障内和屏障外的土与地下水的监测点。需要加密布置监测点的特殊情况包括：

- 1) 局部污染浓度高或存在易于富集污染物的不良地质条件；
- 2) 局部地下水流动性强且屏障内外具有较高的水头差，容易导致污染物的加速迁移。

**7.3.3** 当需要监测施工对空气质量的影响时，应在地块内和每个边界均至少布设 1 个监测点，并宜综合采用现场快速检测与采样化验分析手段。在地块下风向或遇有挥发性污染物

浓度高等情况以及场地下风向，监测点位应适当加密。

**7.3.4** 周边影响范围内的地表变形、建（构）筑物、地下管线与设施的变形监测点位布设和频次应根据所涉监测对象的保护和监测要求针对性确定。

## 8 长期监测与源削减

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 当场地污染浓度较高或者存在 DNAPL 类污染时，既有的隔离屏障体系可能无法完全满足服役年限的要求，须进行一定的污染源削减。

**8.1.3** 源削减设计前通常需要通过数值计算或者解析解计算的方式确定设计隔离屏障是否满足服役年限的要求。同时，若地块内存在 DNAPL 时，须通过计算确定 DNAPL 在预设的服役期内是否会击穿下卧土层，从而确定是否采取源削减措施回收 DNAPL。

### 8.2 阻隔后长期监测

**8.2.1** 本条对长期监测提出了总体要求。阻隔后的长期监测应满足设计的要求，制定专项监测方案。方案中要明确监测周期、监测指标、监测点位布设、监测频率，对风险管控的效果评价提出技术要求，并在所对应的监测周期内严格按专项监测方案实施。

**8.2.2** 污染地块阻隔后，长期监测需要关注地块内土壤、地下水环境质量情况，当涉及到挥发性污染物且水平隔离屏障以上有覆土层时，可以根据需要开展土壤气环境质量的监测。上海地区地下水位浅，浅部地下水易受人类活动污染，且水土同步污染概率高。实践表明，绝大部分需要进行阻隔处置的污染地块存在不同程度的地下水污染问题。因此，在长期监测工作中，通过设置监测井以监测地下水的水质、水位变化就成为不可或缺的重要内容。在所有监测指标中，地下水位是判断垂直隔离屏障阻隔效果的重要指标之一。在垂直隔离屏障服役状态良好的情况下，场地内地下水位应处于相对稳定的状态。通常还会采取降低地块内地下水位的措施，以确保污染物不会向阻隔区域以外扩散。因此，必要时还需采用抽提、多相抽提、水处理等配套设备和工艺，以满足污染地下水或多相物质的抽提、分离和处置。其中，多相抽提分离出的污染物和水处理工艺产生的污泥，也会涉及危险废弃物的处置。

**8.2.3** 本条对长期监测的地下水监测井数量、深度和位置作了规定。为监控垂直隔离屏障的服役状态，判断其是否存在泄漏点，在其内外两侧设置监测井就十分必要，本条结合类似工程经验对其数量提出了沿隔离屏障每 100m 在屏障内外设 1 组的要求。为监测地块及周

边地下水环境质量变化情况，从而判断风险管控范围内污染物是否向外扩散、敏感受体是否受到影响、周边是否存在二次污染，在风险管控范围外的地下水流向上下游和两侧、受体所处位置、潜在二次污染区等设置监测井是十分必要的。此外，由于风险管控范围内不同位置的污染情况往往存在较大差异，故对地块内不同污染物高浓度区域、风险管控的薄弱位置应分别设置监测井。

**8.2.5** 对有半挥发性或挥发性污染物的场地，改善空气质量是隔离处置的重要目的之一，故针对地块内、地块边界及临近范围内的空气质量实施监测也是必要的。

**8.2.6** 长期监测的目是主要是为了评价阻隔的效果是否达到预期目标。因此，就需要针对监测数据参考相应的标准进行评价，并对阻隔后土和地下水中的污染变化趋势进行分析或预测。当发现异常时还要提出可行的处置措施，确保阻隔系统处于正常服役状态。

### 8.3 阻隔后源削减措施设计

**8.3.1** 由于 DNAPL 受重力影响，可能会不断进入下部土层导致污染物深度增加，当下卧隔水层不满足相应的阻隔要求时，应采取源削减措施。

**8.3.2** 多相抽提系统地下部分的设计需确定的工艺参数包括：

1) 抽提井布设：根据污染范围和单井的影响半径确定，准确确定影响半径对修复效果和成本有着重要影响；

2) 抽提井结构：污染区域的深度和厚度决定井管、滤管和沉淀管的长度和深度；

3) 井头真空度：井头真空度和流体抽提率决定地上真空泵的类型和大小；

4) 流体抽提速率：即气、水和 NAPL 分别预期的抽提速率。

**8.3.3** 单个抽提井的水力影响面积可由影响半径（R）计算得到，多相抽提井的数量可用场地污染面积除以单个抽提井的影响面积获得，并根据修复区形状及抽提重叠范围情况进行修正，以确保整个源削减区域均被覆盖到。根据上海地区的实际工程经验，单井影响半径宜根据地块地质与水文地质条件的不同在 0.75m~7.5m 之间选取，黏性土取小值，砂性土取大值；针对黏性土可取 1.0m ~ 2.0m，粉性土取 1.5m ~ 5.0m，砂性土取 3.0m ~ 8.0m。当采取可靠的成井工艺、管壁接头采用丝扣结构和防渗处理、井口侧壁注浆或囊袋挤密等加强密闭措施时，可分别取上述建议值范围的大值。

**8.3.4** 若已有的监测井井管完好，可作为单泵多相抽提中试试验井。在中试过程中需要对抽提的气液抽提流量、流速、真空度以及周边地下水水位和水质变化等进行多次监测，参数均达到稳定状态后，方可停止中试试验。

**8.3.5** 考虑到土的非均质性，在抽提流体过程中，地层中可能会出现气体、液体流动的优先通道，所以要在抽提井为轴心的不同方向安装监测点。

**8.3.6** 根据上海地区的工程经验和水文地质条件，单泵型多相抽提井单井液体抽提流量通常小于  $0.05\text{m}^3/\text{min}$ ，直径不小于  $80\text{mm}$  井管基本可适用。一般情况下 PVC 材质的井管足够达到设计要求，如井内存在高浓度的液体有机物，必须考虑到井管材料和流体是否会发生反应，如果 PVC 材料会被自由相降解，需要采用不锈钢材质，但是在金属高度腐蚀性的环境中应优选 PVC 材质井管。暴露于阳光下的 PVC 管应注意防护或处理，以防紫外线照射后管体变脆。

**8.3.7** 引流管为嵌套在多相抽提井井管内的单独管道，设置目的为精准修复污染区域的地下水和控制地下水位的降深。

**8.3.8** 抽提井的过滤材料宜采用分级的石英砂（不均匀系数在  $1.5\sim 2.0$  之间），根据上海地区含水层土的粒径情况，滤管可采用切缝式，切缝宽度宜选用  $0.2\text{mm}$ ，滤料粒径宜选用  $0.3\text{mm}\sim 0.6\text{mm}$ 。过滤材料使用前应进行冲洗，确保不与污染物接触并防止外部杂质混入。

**8.3.9** 根据上海地区的实际工程经验，多相抽提法施加的井头真空度根据场地地质与水文地质条件的不同宜在  $20\text{kPa}\sim 60\text{kPa}$  之间选取，黏性土取较大值，砂性土取较小值，宜根据现场中试试验确定最佳井头真空度。

**8.3.10** 根据上海地区的工程经验，多相抽提法单井气体抽提速率宜在  $0.05\text{m}^3/\text{min}$  至  $10\text{m}^3/\text{min}$  之间选取，黏性土取较小值，砂性土取较大值；单井液体抽提速率宜在  $0.001\text{m}^3/\text{min}$  至  $0.5\text{m}^3/\text{min}$  之间选取，黏性土取较小值，砂性土取较大值；宜根据现场中试试验确定最佳单井气\液体抽提速率。

**8.3.11** 本条对多相抽提法采用的真空泵规格作了规定。真空泵的选型应考虑以下因素：

1) 根据上海地区水文地质条件和实际工程经验，推荐选用液环式真空泵作为系统中的真空源，并根据确定的井头真空度、抽提气液流量进行选型；

2) 真空泵的选型应使操作在预期 80%的运行时间达到泵的流速特性曲线的最佳效率点(BEP)，同时在最大和最小预期流速时仍可运作，不会损害泵体；

3) 从最远的井计算管道、阀门和管件的摩擦损失,设计合理的安全系数(一般为10%至25%),以应对将来系统的扩展、真空泄漏及其他不可预见的系统损失。

**8.3.12** 本条规定了多相抽提系统地上管道系统的设计要求。

1 地上管道系统包括抽提井内的引流管、相分离系统和处理系统之间的连接管道、取样管、自由相输送管道以及气/水排放管道,真空泵油/水封循环管道等。在设计多相抽提管道系统时要考虑压力和真空限制、材料兼容性等限制因素。

2 引流管将抽提井连接至系统总管,典型的多相抽提引流管系统结构,包括:压力/真空计、温度计、流体控制阀、流量计、取样孔、空气进气阀、止回阀。施加的真空和井中抽提的流量大小可通过进气口处的空气进气阀进行调节。

**8.3.13** 本条对多相抽提系统的地上相分离单元设计要求做了规定。良好的相分离系统,可以减少后续废水\废气处理系统的成本,确保达标排放。单泵系统中,多相流体(气\液\非水相流体)都同时从单一的引流管泵至地面进行分离,以下为常用的各种相分离技术,可根据实际情况进行选用:

1) 气液分离:可采用配有水位控制传感器的重力式气-液分离器,安装在真空泵和抽提井之间,气液分离器的设计必须能承受真空泵产生的最大真空度。分离出的液体直接泵送至废水处理系统,分离出的气体泵送至废气处理系统,如果存在非水相流体,需在气液分离器和水处理系统间布设非水相流体-水分离器;

2) 轻质非水相液体-水分离:最常用的轻质非水相液体-水分离器为聚结板或管式油水分离器,轻质非水相液体和水的比重差异越大,分离越快速有效,轻质非水相液体流出口位于分离器的上部;

3) 重质非水相液体-水分离:重质非水相液体-水分离器的原理与轻质非水相液体-水分离器相同,即利用重质非水相液体和水之间比重的差异,让重质非水相液体在层流条件下进行分离。不同于轻质非水相液体-水分离器,重质非水相液体流出口位于分离器的底部。

**8.3.14** 本条规定了多相抽提系统的控制要求。

1 抽提液体时经常会夹带细颗粒土至地上系统中,长期累积会导致阀门堵塞,需要经常打开清洗或更换。

2 多相抽提系统应配备液位控制传感器和警报器来启停泵系统,以防止容器内液体溢出,液位传感器应安装于适当位置来控制容器的打开和排放,并在水位过高时激活警报器。

3 为安全起见，为了避免管路变形和设备损坏，废气、润滑液或密封液体若超过该温度应立即关停系统，并进行检查。

**8.3.15** 本条规定了长效多相抽提井的设计要求。

2 对于存在 NAPL 污染物的地下水修复场地，抽提汇水过程中由于油水界面张力的影响，液体不易通过，在长时间抽提作用下，筛孔易堵塞。为解决此类抽提井堵塞问题，筛孔形式可设置成斜切缝状，斜切缝结构能有效地破坏污染水的表面张力，有利于液体通过，使得筛孔不易沉积堵塞。

3 对于有清理井等附属结构的长效抽提井，当抽提井由于滤料层堵塞造成抽提效率明显降低时，可使用负压抽提的方式对清理井进行抽提，将滤料层中细颗粒从清理井中吸出，从而达到缓解堵塞的效果。

## 9 安全防护

**9.0.1** 污染地块原位阻隔工程的安全防护包含工程安全、人体安全和环境安全。本章的环境安全主要指地块内及周边范围的二次污染防治。

**9.0.2** 阻隔工程施工需高度重视安全防护，尤其应关注与污染物有关的安全问题。

1 潜在风险包含环境风险和工程风险，其中环境风险包括污染物、药剂及二次污染等；工程风险包括周边建筑物和管线变形开裂等。场地环境调查或污染地块勘察阶段虽已对潜在风险进行了识别，但施工前还应进一步识别施工过程中的潜在风险。安全防护专项方案应包含针对不同风险特点制定安全防护措施和应急处置预案。

2~3 日常管理需要在建立管理制度、配备安全管理专员、投入安全防护专项资金的基础上落实，日常管理工作的具体内容见条文9.0.5条。对人员、材料和机械设备等，应根据地块污染情况、阻隔技术和施工工艺等采取安全防护措施，具体内容见条文9.0.6条和9.0.7条。

4 二次污染包括异味、扬尘、噪音、污染物扩散等，可采取的防控措施包括：对涉及挥发性有机物污染的场地当必要时可建设负压大棚，机动车、机械设备等应在工地内冲洗干净后才能出场，冲洗废水应收集处置，施工过程中发现或产生的废弃物需妥善处置等。具体内容见条文9.0.10条和9.0.11条。

**9.0.3** 本条对污染地块风险管控或阻隔工程施工的安全风险识别内容作了规定。

1 上海地区较为常见的污染地块有重金属污染、半挥发性有机物污染、挥发性有机物污染或混合污染。以含挥发性有机物污染的地块为例，如隔离屏障施工穿过污染区域，则需考虑污染气体逸散的危害。

2 地下管线、电缆、建筑物基础和储罐等地下障碍物的分布可以通过收集资料、物探测试等查明，否则影响施工安全。对于需要保护的地下管线，应按相关要求做好协调、交底、保护和监测等工作。

3 当施工所用的药剂属于危险化学品时，其运输、存储（低温保存等）、使用等均有较大的安全风险，负责药剂作业的工人也存在较大的人身安全风险。

4 施工中使用的大型机械设备存在倒塌和被污染物腐蚀等的风险。

**9.0.4** 鉴于中毒、机械伤害、触电、火灾及恶劣天气等引起的风险事故具有突发性、危害大等特点，工程实施前必须制定针对性的应急预案。

**9.0.5** 本条虽属于管理性要求，但考虑到污染地块阻隔工程施工的特殊性，且目前无专门的管理类标准，故本规范提出了基本要求，具体应根据场地污染程度、施工工艺等进行差异化布置。

**1** 为确保施工不对周边环境造成影响、避免无关人员进入场地，应采取围挡封闭措施。考虑到施工安全防护问题较为复杂，故要求出入门内侧应规范设置工程概况牌、施工现场平面图、管理人员名单及监督电话牌、消防保卫（防火责任）牌、安全生产牌和文明施工牌等。

**3** 现场安全管理员应对进入现场人员的个体防护装备的安全可靠性及佩戴情况、二次污染防控、周边环境保护等进行安全检查；

**4** 施工前需要对各工种人员进行安全交底，交底内容重点包括环境保护和人身安全防护等相关要求。电工、电焊工、气焊工、危险品仓库保管员等特殊性工种作业人员应按照规定经过含有消防内容的专项安全培训，并应获得相应的资格证书持证上岗。

**6** 施工涉及有毒污染物、具有毒性或腐蚀性的药剂等风险，进入现场需两人及以上是为了防止意外事故发生时能够及时发现和处置。

**7** 作业工人容易接触污染土、地下水或药剂等，离开场地前应更衣，条件具备时还应进行沐浴。

**9.0.6** 不同目标污染物、污染浓度具有不同的风险，本条对其安全防护措施作了差别化的规定。根据国家标准《个体防护装备选用规范》GB/T11651，各种防护装备的防护性能如下：

安全帽：防御物体对头部造成冲击、刺穿、挤压等伤害。

防毒面具：使佩戴者呼吸器官与周围大气隔离，由肺部控制或借助机械力通过导气管引入清洁空气供人体呼吸。

口罩：指防尘口罩，防止吸入一般性粉尘，防御颗粒物（如毒烟、毒雾）等危害呼吸系统或眼面部。

防护眼镜：指防腐蚀液护目镜，用于防御酸、碱等有腐蚀性化学液体飞溅对人眼产生的伤害。

防护服：指化学用品防护服，用于防止危险性化学品的飞溅和与人体接触对人体造成的危害。

工装服：指一般防护服，以织物为面料，采用缝制工艺制作的，起一般性防护作用。

防化鞋：用于保护脚或腿防止化学飞溅所带来的伤害。

硬底劳保鞋：指防砸鞋，保护足趾免受冲击或挤压伤害。

防化手套：指防化学品手套，具有防毒性能，防御有毒物质伤害手部。

手套：保护手部免受磨损、切割、刺穿等机械伤害。

**9.0.7** 本条提出施工中使用的材料（含药剂）、机械设备等的安全防护。

**1** 人的不安全行为和物的不安全状态是导致事故的直接原因，合格的材料、机械设备是保证污染地块修复与治理施工安全的前提。“化学成分检测报告”和“化学品安全技术说明书（MSDS）”应提供。

**2** 本款规定施工所用材料和药剂应根据工程实际情况采取安全防护措施：根据药剂的种类和特性，在暂存场所宜设置相应的通风、防晒、调温、防火、防爆、防潮、防雷、防静电、防腐、防泄漏、防雨以及隔离等安全设施；大部分药剂还有一定的毒性或腐蚀性，如带出施工现场，将对人民群众的安全造成影响，故应派专人负责，并建立严格的领用、使用、回收制度。

**3** 由于污染土或地下水、药剂等可能存在腐蚀性，所采用的机械设备需做好相关的安全防护措施，否则易导致设备损坏。机械设备在使用过程中，也应注意自身的安全防护措施，防止设备漏油等二次污染问题以及设备使用或移动过程中倒塌等安全事故的发生。

**9.0.8** 本条主要是为防止火灾、触电等事故的发生所必须要达到的要求，可参考行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46和国家标准《建筑工程施工现场供用电安全规范》GB 50194等相关规范。

**1** 应在施工现场设置符合消防要求的措施，并保持完好的备用状态。在容易发生火灾的区域施工或存储、使用易燃易爆器材时，应当采取特殊的消防安全措施。应设置消防安全标志，保障疏散通道、安全出口、消防通道畅通，保证防火、防烟，分区、防火间距符合消防技术标准。

**3** 保护零线必须采用绝缘线，每台用电设备必须有各自专用的开关箱，严禁同一个开关箱直接控制2台及2台以上用电设备（含插座）。

**4** 施工现场临时用电必须采用三级配电系统、TN-S接零保护系统及二级漏电保护系统。

**9.0.9** 本条规定了地块及周边环境的安全的要求。

**1** 施工前应对地下障碍物进行探查与验证，并到相关管线运行管理单位办理有关手续，召开管线保护安全交底会，管线管理单位应详实介绍管线的路由走向、管线材质及埋深等信息，并明确现场管线监护工作人员，确定双方联系制度。

2 施工中如措施不当易引起本场地或邻近范围的建（构）筑物、地下管线等变形或开裂，故应在施工前进行专项检测工作。一般专项检测工作由业主委托符合资质要求的第三方实施。

3 施工方应根据探查和专项检测结果，编制相应保护方案，提供各权属单位确认，并在施工现场布置明显的警示标志，必要时还应委托有资质的第三方单位进行监测。

**9.0.10** 本条规定了污染地块阻隔工程施工过程中可能出现的二次污染问题的处置措施。

1 土方开挖、运输、堆放过程中易产生扬尘和二次污染问题，含挥发性有机物的污染土还涉及污染气体逸散问题。故应采取相应措施控制扬尘和防止挥发性有机物逸散。对于挥发性有机物污染地块，一般需要采取覆盖、喷洒空气净化剂、气味抑制剂等辅助措施，必要时在施工区域建设密闭大棚及气体处置装置。气味抑制剂具有隔离异味或通过化学反应降低空气污染物浓度的作用。

2 施工涉及的钻孔或隔离桩施工等易导致污染物向下迁移，施工过程中应采取相应隔离措施。

4 施工过程中的渗水以及冲洗建筑垃圾、机械设备、车辆等产生的废水等均应汇入污水收集池，经检测如需要处理，还应进入污水处理池处理。施工过程中产生的泥浆及残渣应进行检测，如不达标，应进行处置；如达标则可按常规泥浆及残渣处置方法处理。

6 为确保人员安全，施工现场的施工区域按上海市文明施工相关管理要求应与办公、生活区域分隔。地块内有挥发性有机物的，应据现场条件确定是否适宜设置现场办公（生活）区，如需要时则应布置在污染区域的上风向，设置专用出入口，定期检测室内空气，并设置防护装备更换场所，以确保人体健康安全。

**9.0.11** 施工现场应设置危险废弃物收集点，发现或产生的危险废弃物如需外运的，应委托市废弃物管理部门认可的单位统一处置。危险废弃物名录按照国家、上海市最新政策要求执行。