

污染地块原位阻隔技术标准

Technical standards for in-situ barrier of contaminated site

2024 年 上海

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 (g/m^3) ;
- C_0 ——污染物源位置处浓度 (g/m^3) ;
- C_l ——屏障外侧初始浓度 (g/m^3) ;
- L ——隔离屏障的厚度 (m) ;
- T ——隔离屏障的设计服役期 (a) ;
- D_h ——隔离屏障或土层的水动力弥散系数 (m^2/a) ;
- V ——隔离屏障中流体的渗流速度 (m/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 (m^2/a) ;
- α ——隔离屏障或土层的弥散度 (m) ;
- k ——隔离屏障渗透系数 (m/a) ;
- i ——隔离屏障中的水力梯度 (无量纲) ;
- ΔH ——隔离屏障两侧水头差 (m) ;
- n ——隔离屏障或土层的孔隙度 (无量纲) 。
- K_d ——分配系数 (m^3/kg) ;
- ρ_b ——隔离屏障干密度 (kg/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/m²。

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 10⁻⁷cm/s，HDPE 膜类防水材料应不大于 10⁻¹¹cm/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：

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

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

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

式中： k 为隔离屏障渗透系数（ m/a ）； i 为隔离屏障中的水力梯度（无量纲）； ΔH 为隔离屏障两侧水头差（ 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（ m^3/kg ）； ρ_d 为隔离屏障干密度（ kg/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（ ≥ 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/m³, 膨润土的用量不应少于 40 kg/m³, 胶结材料的总用量不应少于 240 kg/m³, 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/m³; 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 1.0×10^{-7} 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} 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/m²；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 500m² 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 500m² 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和下风向位置，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 0.05~10m³/min 之间，单井液体抽提速率可控制在 0.001~0.5m³/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。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/517110102012006110>