

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

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上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：

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

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：

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

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,粗骨料的最大粒径不宜大于 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 $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 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} 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。

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/488070056011006070>