

# 污染地块原位阻隔技术标准

## 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 5×10<sup>-9</sup>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。

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/538062011011006070>