

ICS 93.020

CCS E4899

备案号：T/SEDTA 006—2026

团体标准

T/SEDTA 006—2026

污染地块原位阻隔技术标准

Technical standard for in-situ barriers of contaminated sites

2026-03-30 发布

2026-04-30 实施

上海市勘察设计行业协会 发布

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 standard for in-situ barriers of contaminated sites

T/SEDTA 006—2026

主编单位：上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司

批准部门：上海市勘察设计行业协会

施行日期：2026年4月30日

2026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市环境科学研究院等业内相关单位，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。

本标准涉及相关专利。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。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。请各单位及相关人员在标准执行过程中，结合工程实践，认真总结经验，并将意见或建议反馈至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；E-mail：sgidi@sgidi.com），或上海市勘察设计行业协会（地址：上海市陆家浜路 471 号 4 楼，邮编：200011），以供今后修订时参考。

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）

上海市环境科学研究院

上海建工环境科技有限公司

同济大学

上海大学

华东师范大学

上海长凯岩土工程有限公司

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

上海申环环境工程有限公司

主要起草人： 沈婷婷 张峰 杨洁 冯世进 王蓉 沈超 金宗川
谭学军 诸毅 李辉 徐启新 吴育林 高彦斌 相明辉
刘波 王克文 徐伟 沈城 陈窈君 张汝壮 孙勇
王健华 蔡姣 梁颖 张刚 周潇 董泽斌 彭曼

主要审查人： 林匡飞 宋立杰 张长波 陈晖 杨长明

全国团体标准信息平台

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 垂直阻隔屏障设计	9
5.4 水平阻隔屏障设计	13
6 施工	16
6.1 一般规定	16
6.2 垂直阻隔屏障施工	16
6.3 水平阻隔屏障施工	19
7 施工质量检测与过程监测	21
7.1 一般规定	21
7.2 施工质量检测	21
7.3 施工过程监测	22
8 长期监测与源削减	24
8.1 一般规定	24
8.2 阻隔后长期监测	24
8.3 阻隔后协同源削减与抽提井运行维护	25
9 安全防护	29
本标准用词说明	32
引用标准名录	33
条文说明	34

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic requirements	4
4	Investigation essentials	6
5	Design	8
5.1	General	8
5.2	Material selection	8
5.3	Design of vertical barrier	9
5.4	Design of horizontal barrier	13
6	Construction	16
6.1	General	16
6.2	Construction of vertical barrier	16
6.3	Construction of horizontal barrier	19
7	Quality inspection and process monitoring	21
7.1	General	21
7.2	Construction quality inspection	21
7.3	Construction process monitoring	22
8	Long-term monitoring and source reduction	24
8.1	General	24
8.2	Long-term monitoring	24
8.3	Source reduction and pumping well operation & maintenance	25
9	Safety protection	29
	Words explanation of this standard	32
	List of referred standards	33
	Explanation of provisions	34

1 总则

1.0.1 在污染地块风险管控的原位阻隔工程中，为了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，根据上海地区工程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采用阻隔屏障的工程勘察要点、设计、施工、施工质量检测与过程监测、阻隔后的长期监测与源削减、安全防护。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 污染地块阻隔和阻隔后风险管控期间应根据地块的勘察、土壤及地下水污染状况调查与人体健康风险评估成果、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，且按照国家技术规范确认超过有关土壤环境标准的用地。

2.1.2 污染羽 **groundwater contaminant plume**

污染物随地下水移动从污染源向周边移动和扩散时所形成的污染区域。

2.1.3 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。

2.1.4 原位阻隔 **in-situ barrier**

采用阻隔措施控制污染物迁移或阻断污染物暴露途径，使受污染的土壤和地下水与周围环境阻隔的风险管控技术。

2.1.5 击穿判别标准 **breakthrough criteria**

水平阻隔屏障或垂直阻隔屏障外侧含水层浓度的污染控制标准；当屏障外侧浓度超过地下水污染控制标准时，可认为屏障失效或被击穿。

2.1.6 垂直阻隔屏障 **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。

2.1.7 水平阻隔屏障 **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。

2.1.8 源削减 **source reduction**

指通过物理、化学、生物或联合修复技术，直接减少或消除污染源中污染物的质量、浓度、毒性或迁移性，从而降低其对人体健康与生态环境的潜在风险。

2.1.9 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、地表水和空气等环境要素进行长期监测，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_t ——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_1 ——屏障外侧初始浓度, g/m^3 ;

L ——阻隔屏障的厚度, m ;

T ——阻隔屏障的设计服役期, d ;

D_h ——阻隔屏障或土层的水动力弥散系数, m^2/d ;

V ——阻隔屏障中流体的渗流速度, m/d ;

R_d ——阻隔屏障的阻滞因子, 无量纲;

D_e ——阻隔屏障或土层的有效扩散系数, m^2/d ;

α ——阻隔屏障或土层的弥散度, m ;

k ——阻隔屏障渗透系数, m/d ;

i ——阻隔屏障中的水力梯度, 无量纲;

ΔH ——阻隔屏障两侧水头差, m ;

n ——阻隔屏障或土层的有效孔隙度, 无量纲。

K_d ——分配系数, m^3/kg ;

ρ_b ——阻隔屏障干密度, 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阻隔屏障或水平阻隔屏障。阻隔后的风险管控期间，根据实际情况可将地下水抽提、多相抽提、药剂注入等技术作为强化管控措施，或开展必要的污染源削减。

3.0.2 进行污染地块阻隔屏障设计前，应收集下列资料：

- 1 地块土壤及地下水污染状况调查与人体健康风险评估报告。
- 2 地块风险管控目标要求。
- 3 地块地形图、工程地质与水文地质资料。
- 4 污染源、污染羽分布及阻隔范围。
- 5 地块及毗邻地块建（构）筑物和地下管线的分布情况。
- 6 地块与周边环境质量信息、敏感目标分布及环境保护要求。
- 7 类似污染地块的原位阻隔与长期风险管控经验。

3.0.3 污染地块的阻隔屏障设计方案应根据地块的工程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 明确污染地块阻隔的要求和范围。
- 2 经技术经济比选，确定适用的阻隔屏障类型。
- 3 明确阻隔屏障所涉及的各项技术参数。
- 4 评估工程实施对环境及毗邻建（构）筑物和地下管线的影响，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、环境相容性好、安全可靠，确保对阻隔屏障不产生影响，同时方便采购、运输、储存和使用的试剂，并优先选用可降解、无二次污染风险的药剂。确定药剂配比及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，应结合不同污染类型与典型地质分区进行现场中试，检验并优化设计参数、施工参数、施工工艺与设备。

3.0.6 污染地块阻隔施工前，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、供电和临建设施等施工配套条件。

3 进场材料及设备满足设计和使用功能要求，进场前经测试和检验合格。

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，监测内容应包括大气、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、人员人身安全和环境安全，并应符合下列要求：

1 优先选用本质安全型的设备与材料。

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佩戴情况进行检查。

3 采取环境保护措施，防止污染扩散，并采取防控噪声、异味和扬尘等措施。

3.0.11 污染地块原位阻隔后的长期管控阶段，可协同采取污染源削减措施。当采用抽提井开展源削减时，抽提井的设计和施工应满足相应源削减需要的服役年限和源削减运行性能要求；对各抽提井应定期检查和维修，并在必要时采取识堵、通淤及解堵等措施，确保抽提井的长期运行状况满足要求。

4 勘察要点

4.0.1 当前期的土壤及地下水污染状况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、土层结构与性质、含水层分布、地下水补径排及水位变化，评价土的承载力与变形特征、水土污染程度与腐蚀性，为原位阻隔设计提供岩土工程参数。

4.0.3 应根据地块的污染特征、原位阻隔方法等，选用适当的勘察手段，并应符合下列要求：

1 应充分利用已有环境调查与勘察工作量。

2 勘探孔平面布孔范围应大于原位阻隔范围，勘探孔的深度应满足原位阻隔设计及施工工法的要求。

3 勘探孔宜以取土孔和静力触探孔为主。浅层勘探宜采用小螺纹孔，工程需要时，也可采用静力触探孔、探槽和浅层物探等。

4 原位测试孔占总勘探孔数量的比例不宜超过 3/4。

5 当场地存在暗浜、厚层杂填土等不良地质时，勘探孔宜加密。

6 污染范围内的勘探孔应采用跟管钻进方式或其他隔离措施。

4.0.4 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、污染地块原位阻隔的技术要求确定，并应符合下列要求：

1 勘探孔宜沿阻隔体外侧布置，孔距不宜大于 35m。当相邻勘探孔揭露的关键土层或关键污染深度变化影响到阻隔设计和施工方案选择时，宜加密勘探孔。

2 勘探孔深度不应小于阻隔体的深度。

3 除应提供物理指标、固结快剪试验指标、渗透系数外，必要时宜提供弥散系数、分配系数和阻滞因子。

4.0.5 污染地块的勘察应按照现行上海市工程建设规范《岩土工程勘察标准》（DG/TJ 08-37）、《建设场地污染土勘察规范》（DG/TJ 08-2233）、《岩土工程勘察外业操作规程》（DG/TJ 08-1001）相关要求进行了钻探、现场测试和室内试验。

4.0.6 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、污染土与地下水对阻隔屏障材料的腐蚀性等。

2 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，对阻隔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。

4.0.7 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、地块工程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。

4.0.8 勘察成果报告应附下列图表：

- 1 统计表。
- 2 勘探点平面布置图、污染土和地下水平面分布图。
- 3 工程地质剖面图、污染深度分布图。
- 4 钻孔柱状图。
- 5 室内土工试验成果图表。
- 6 现场测试成果图表。
- 7 其他专项工作成果资料等。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 阻隔屏障设计内容应包括设计服役期、击穿标准、材料选型、施工工艺选择等，并根据屏障类型尚应满足以下要求：

1 垂直阻隔屏障设计尚应明确屏障平面布置与入土深度、屏障有效厚度、嵌入条件与加固措施、与水平屏障的搭接构造（当组合应用时）、附加荷载作用下的安全性验算（必要时）。

2 水平阻隔屏障设计尚应明确屏障平面范围与边界搭接、阻隔层厚度与压实度要求、材料组合与铺设构造、导排和收集系统设计（必要时）、地表水、地下水或气体的导排、收集系统设计（必要时）、与垂直屏障的搭接构造（当组合应用时）、附加荷载作用下的张拉强度验算（必要时）。

5.1.2 在目标污染物迁移性强、污染浓度高或存在自由相时，或地质条件有利于污染物迁移，以及环境保护要求高时，应适当提高阻隔屏障的设计要求。

5.1.3 阻隔屏障材料选型应综合考虑使用功能、工程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。

5.1.4 阻隔屏障的抗渗性能、吸附性能宜通过小试确定，当条件具备时，可通过现场试验确定。

5.1.5 当风险管控后采用抽提井协同实施源削减时，尚应根据本标准 8.3 节的规定，在设计阶段应明确抽提井服役时间、平面布设、井管与滤料材料选型、结构设计及工艺参数。

5.1.6 垂直阻隔屏障与毗邻建（构）筑物的水平距离不宜小于 1.5 m。

5.2 材料选型

5.2.1 垂直阻隔屏障宜采用水泥石、膨润土、塑性混凝土等材料，工程需要时可采用土工膜与其他材料组合。水平阻隔屏障宜采用压实黏土、土工膜、抗渗混凝土层、钠基膨润土防水毯衬垫与其他材料的组合等。

5.2.2 阻隔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 水泥及外加剂选用应符合现行国家标准的相关规定，并应通过试验确定种类和掺量。

水泥宜选用强度等级为 P.O 42.5 级及以上。

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 膨润土宜采用优质钠基膨润土，膨润土目数宜为 200~400 目。

4 防渗土工膜宜选用具有良好抗拉强度、韧性和耐有机溶剂侵蚀性能的高密度聚乙烯防渗土工膜（HDPE）或线性低密度聚乙烯膜（LLDPE），厚度不宜小于 3.0 mm。

5 钠基膨润土防水毯（GCL）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，厚度不宜小于 5 mm。

6 无纺土工布应具有良好的耐久性，且规格不宜小于 600 g/m²。

7 阻隔屏障材料中包括原位污染土壤时，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），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。

5.2.3 阻隔屏障宜选用渗透系数及扩散系数小、吸附能力好的材料，屏障渗透系数不应大于 1×10^{-7} cm/s，HDPE 膜类防水材料不应大于 1×10^{-11} cm/s。工程需要时，可掺入提高屏障抗渗性、吸附性、抗腐蚀性的外加剂或掺合剂，且不得产生二次污染。

5.2.4 垂直阻隔屏障可分为刚性、柔性和组合型三种类型。刚性屏障包括钢筋混凝土地下连续墙、钢板桩墙、型钢水泥土搅拌桩墙（SMW 工法桩墙）、水泥土桩（墙）、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阻隔屏障。

5.2.5 水平阻隔屏障可分为刚性、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阻隔屏障。

5.3 垂直阻隔屏障设计

5.3.1 在设计服役期内，应确保垂直阻隔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 当原位阻隔工程有明确风险控制值时，可参照确定的风险控制值设置击穿标准。

2 当原位阻隔工程无明确风险控制值时，可按照阻隔屏障内污染浓度的 10% 作为击穿标准。

5.3.2 垂直阻隔屏障的入土深度应大于最大污染深度，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，并应符合下列规定：

1 当污染物分布或可能迁移的垂向范围内有良好的隔水层（渗透系数小于 1×10^{-6} cm/s）分布时，宜选用嵌入式屏障。当隔水层厚度大于 3 m 时，垂直阻隔屏障应嵌入隔水层不小于 1 m。当隔水层厚度为 1~3 m 时，垂直阻隔屏障应嵌入隔水层不小于 1 m 的同时宜采用高压旋喷桩等形成连续防渗体的工艺进行防渗加固处理，达到设计要求。

2 当底部已预先设置水平阻隔屏障时，垂直阻隔屏障应与水平阻隔屏障有效连接。

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 1 m，宜采用悬挂式阻隔屏障，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。若悬挂式阻隔屏障无法满足要求，可考虑高压旋喷桩等技术延长渗流路径。

4 当地块内污染以轻质非水相液体（LNAPLs）为主时，垂直阻隔屏障宜优先选用悬挂式屏障，设计深度应达到历史最低地下水位 1 m 以下。以重质非水相液体（DNAPLs）为主时，垂直阻隔屏障宜优先选用嵌入式屏障，并宜与水平阻隔屏障组合应用。

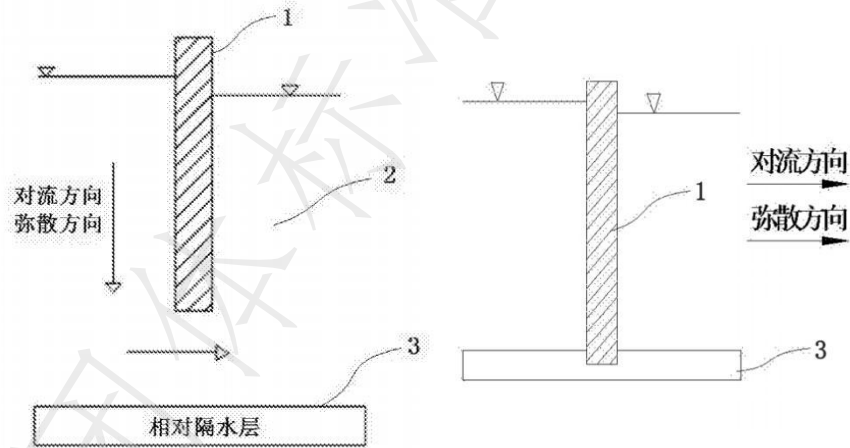


图 5.3-1 悬挂式屏障（左）和嵌入式屏障（右）示意图（1-屏障体；2-透水土层；3-相对隔水层）

5.3.3 当垂直阻隔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 300 mm。

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 ——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 ;

L ——阻隔屏障的厚度, m ;

T ——屏障的设计服役期, d ;

D_h ——阻隔屏障的水动力弥散系数, m^2/d , 由式 (5.3.3-2) 确定;

v ——阻隔屏障中流体的渗流速度, m/d , 由式 (5.3.3-3) 确定;

R_d ——阻隔屏障的阻滞因子, 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 ——阻隔屏障的有效扩散系数, m^2/d ;

α ——弥散度, m 。

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

式中:

k ——阻隔屏障渗透系数, m/d ;

i ——阻隔屏障中的水力梯度, 无量纲;

ΔH ——阻隔屏障两侧水头差, m ; n 为阻隔屏障有效孔隙度, 无量纲。

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

式中:

K_d ——分配系数, m^3/kg ;

ρ_d ——阻隔屏障干密度, kg/m^3 。

3 当阻隔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:

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

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:

表 5.3.1 水动力弥散系数和阻滞因子建议取值

参数	取值范围	备注
D_h	$10^{-8} \sim 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$	当阻隔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, 且不应小于 $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$

R_d	1~40	当阻隔屏障设计服役期较长时 (≥ 10 年) 或无实测数值时, 阻滞因子应取小值。
-------	------	---

5.3.4 采用水泥土搅拌桩垂直阻隔屏障的设计应符合下列要求:

1 桩径宜为 350~850 mm, 有效搭接尺寸不应小于 100 mm; 对污染严重的地块, 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%, 黏性土宜取小值, 砂土宜取大值。

3 膨胀指数、膨润土泥浆制备、膨润土回填料等应符合现行国家标准和地方标准, 水泥强度、比表面积测试应符合相关规定。

4 水泥-膨润土无侧限抗压强度不应小于 100 kPa; 水泥-膨润土材料坍落度宜在 100-150 mm 之间。

5 当采用双轴水泥搅拌桩时, 水泥掺量不应小于 13%, 水灰比宜为 0.6~0.75; 当采用三轴水泥搅拌桩时, 水泥掺量不应小于 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。

6 当垂直阻隔屏障深度大于 30m 时, 宜采用四轴或五轴水泥土搅拌桩, 其桩径、水泥掺量、水灰比等的设计应符合现行本市或行业标准的相关规定。

5.3.5 采用等厚度水泥土搅拌墙的垂直阻隔屏障设计应符合下列要求:

1 渠式切割水泥土搅拌墙 (TRD) 厚度宜为 550~900 mm, 并宜取 50 mm 的模数; 水泥浆液水胶比宜为 1.0~1.8。

2 铣削深搅水泥土搅拌墙 (CSM) 厚度宜为 640~1200 mm, 并按施工设备模数选用, 幅间搭接尺寸不宜小于 300mm; 水泥浆液水胶比宜为 0.8~2.0。

5.3.6 采用局部高压喷射注浆等工艺的阻隔屏障应确保桩体的均匀性与连续性, 设计应符合下列要求:

1 有效直径不宜小于 800 mm, 相邻桩间搭接长度不宜小于 300 mm。

2 水泥浆液的水灰比宜取 1.0~1.5, 水泥掺入量不应小于 450 kg/m³, 并宜加入不少于水泥掺量 15% 的膨润土。

3 工程需要时, 宜采用超高压喷射注浆 (RJP) 或全方位超高压喷射注浆 (MJS) 工艺, 桩径宜为 1.6~3.0 m, 水泥掺入量不宜少于 40%, 水胶比宜为 1.0。

5.3.7 采用成槽回填工艺的塑性混凝土、水泥-膨润土、土-膨润土的垂直阻隔屏障设计应符合下列要求:

1 屏障有效厚度不应小于 300 mm。

2 塑性混凝土中的水泥用量不应少于 80 kg/m^3 ，黏土用量宜为水泥用量的 2~3 倍，膨润土用量宜为 8%~35%，水胶比宜为 0.85~1.20。

3 水泥-膨润土墙中膨润土泥浆质量宜为 70%~85%。

4 土-膨润土墙应采用清洁土料，基土粒径小于 0.25 mm 的颗粒质量宜占总质量的 50% 以上，粒径小于 0.075 mm 的颗粒质量宜占总质量的 15% 以上。

5 宜选用化学相容性较好的材料制备回填料，并应根据场地条件、工程地质与水文地质条件、管控年限、荷载情况等调整回填材料组合及配比。工程需要时，宜与土工膜组成复合阻隔墙。

5.3.8 采用土工膜材料的垂直阻隔屏障设计应符合下列规定：

1 屏障有效厚度不宜小于 300 mm 。

2 相邻两幅膜体之间搭接长度不应小于屏障有效厚度的 $1/2$ ，且不应小于 200 mm 。

3 开槽宽度不宜小于 60 cm 且不宜大于 150 cm 。

4 土工膜材料选取、土工膜厚度、外观质量和技术性能指标等特性应符合《土工合成材料 聚乙烯土工膜》（GB/T 17643）的相关规定。

5.3.9 采用咬合式排桩的垂直阻隔屏障设计应符合下列要求：

1 排桩有效直径不宜小于 800 mm ，桩间咬合宽度不宜小于 200 mm 。

2 当阻隔屏障无挡土功能要求时，可采用无筋桩，桩身混凝土强度等级不宜低于 C15；当阻隔屏障兼作基坑支护结构时，应对排桩间隔配筋，其中有筋桩混凝土强度等级不应低于 C25。无筋桩混凝土强度等级宜与有筋桩相同，且不宜低于 C20。

3 桩身混凝土应满足耐久性要求，并应符合现行行业标准《咬合式排桩技术标准》（JGJ/T 396）的相关规定。

5.3.10 当垂直阻隔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 30 kPa 时，应考虑大面积附加荷载对垂直阻隔屏障的不利影响。

5.4 水平阻隔屏障设计

5.4.1 水平阻隔屏障的设计应符合下列要求：

1 水平阻隔屏障宜与垂直阻隔屏障组合应用。当设置垂直阻隔屏障时，水平阻隔屏障应与垂直阻隔屏障完整有效搭接；当不设置垂直阻隔屏障时，应超出阻隔区域边界不小于 2 m 。

2 水平阻隔屏障分为顶部水平阻隔屏障和底部水平阻隔屏障。应充分利用场地下部天然

存在的连续、稳定的低渗透地层作为天然的底部水平阻隔屏障。

3 水平阻隔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。

4 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。用于阻隔挥发性气体时，水平阻隔屏障下方应设计气体导排收集设施。

5.4.2 当采用压实黏土层作为水平阻隔屏障时，应符合下列要求：

1 压实黏土层厚度不宜小于 300 mm。

2 黏土压实度不应小于 0.90。

3 压实黏土层渗透系数不应大于 1×10^{-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 0.075 mm 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阻隔屏障时，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 抗渗混凝土的防渗等级不宜小于 P8，其厚度不宜小于 100 mm。

5.4.4 用于水平阻隔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宜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，下设厚度不宜小于 200 mm、压实度不应小于 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 5000 g/m²；抗拉强度不应小于 800 N/100 mm；抗剥强度不应小于 65 N/100 mm，渗透系数应小于 5×10^{-11} m/s。

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》（GB 50014）的有关规定作排水设计。

5.4.6 当水平阻隔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 30 kPa 时，应进行屏障材料的张拉强度验算，并评估大面积附加荷载对屏障结构完整性与防渗性能的不利影响。

全国团体标准信息平台

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 垂直阻隔屏障施工前，应根据所选工艺类型进行现场试验，并应符合下列要求：

1 采用搅拌工艺（包括双轴、三轴、四轴、五轴水泥土搅拌桩、等厚度水泥土搅拌墙及咬合式排桩）或高压喷射工艺（包括高压旋喷注浆、超高压喷射注浆 RJP、全方位超高压喷射注浆 MJS）施工的垂直阻隔屏障，应进行现场工艺试成桩。

2 采用成槽回填工艺（包括塑性混凝土墙、土-膨润土墙、水泥-膨润土墙、土工膜复合墙等）施工的垂直阻隔屏障，应进行成槽试验，确定合适的成槽机械及施工参数。

6.1.2 当垂直阻隔屏障施工涉及污染范围时，宜采取干法施工，并应在清除污染土后采用清洁土置换。

6.1.3 用于水平阻隔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，大面积施工前应进行铺装试验。

6.1.4 用于水平阻隔屏障的压实黏土施工前应通过室内试验测定最大干密度（容重）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 在阻隔屏障施工过程中，应在前一道工序验收合格后，方能进行下一道工序的施工。

6.1.6 当风险管控后采用抽提井协同实施源削减时，抽提井的施工及运行尚应符合本标准 8.3 节的规定。

6.2 垂直阻隔屏障施工

6.2.1 水泥土搅拌桩垂直阻隔屏障可采用双轴搅拌、三轴搅拌等施工工艺；双轴水泥土搅拌桩施工深度不宜大于 14 m，三轴水泥土搅拌桩施工深度不宜大于 30 m，四轴或五轴水泥土搅拌桩不宜大于 45m，成桩直径和桩长应符合设计要求。

6.2.2 水泥土搅拌桩桩位的偏差不应大于 50 mm，成桩直径和桩长不应小于设计值，桩顶标高偏差不得超过+100~-50 mm，桩底标高偏差不得超过+100~-50 mm；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。微扰动四轴搅拌桩垂直度偏差不应大于 1/250；五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

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 16 h。

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 1 m/min，钻头喷搅提升速度不宜大于 0.5 m/min，钻头每转一圈的提升或下沉量宜为 10~15 mm。

6.2.5 三轴水泥土搅拌桩搅拌下沉速度宜控制在 0.5~1 m/min 范围内，提升速度不宜大于 1 m/min。施工中因故停浆时，应将搅拌头下沉至停浆点下 0.5 m 处，待恢复供浆时再喷搅提升。停机超过 3 h，宜先拆卸输浆管路，并妥加清洗。

6.2.6 微扰动四轴水泥土搅拌桩搅拌下沉速度不宜大于 1 m/min，搅拌提升速度不宜大于 1.5 m/min；五轴水泥土搅拌桩喷浆搅拌下沉速度不宜大于 1 m/min，搅拌提升速度不宜大于 2.0 m/min，并保持匀速下沉或提升。

6.2.7 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 0.5~1.0 m。

6.2.8 等厚度水泥土搅拌墙施工深度不宜大于 60 m。墙体垂直度偏差不应大于 1/200，中心线偏差不应大于 25 mm。渠式切割水泥土搅拌墙浆液流量应与搅拌推进速度相匹配。成槽完成后，宜在设计墙体位置以外拔出切割箱，并应及时回灌水泥浆液。铣削深搅水泥土搅拌墙施工动力头应通过自重下压、匀速钻进，速度不宜大于 50 cm/min，上提速度不宜大于 40 cm/min。

6.2.9 高压喷射注浆垂直阻隔屏障应根据工程需要采用双管法或三管法进行施工。双管法高压注浆压力不宜小于 20 MPa，气流压力宜取 0.7 MPa，提升速度宜取 0.05~0.10 m/min。三管法高压水压力不宜小于 30 MPa，气流压力宜取 0.7 MPa，水泥浆压力宜取 0.2 MPa~1 MPa。

6.2.10 高压喷射注浆钻孔的位置与设计位置的偏差不应大于 50 mm，垂直度偏差宜大于 1/200。高压喷射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 100 mm；相邻两高压喷射桩施工间隔时间不应小于 16 h，先后施工的两桩间距不应小于 4 m。

6.2.11 超高压喷射注浆包括 RJP 工法、MJS 工法等，应根据工程需求、地层条件、环境保护要求及施工深度等因素综合选用，并应符合下列要求：

1 RJP 工法采用高压水与压缩空气预切削、超高压水泥浆与压缩空气二次切削成桩。高压水压力不宜小于 20 MPa，超高压水泥浆压力不宜小于 40 MPa，气流压力宜为 0.7~1.1 MPa。

主轴旋转速度宜控制在 3~5 r/min，提升步进间距宜为 25 mm。成桩直径宜为 2.0~3.0 m，施工深度不宜大于 70 m。

2 MJS 工法采用超高压水泥浆与压缩空气喷射切削土体，水泥浆压力不宜小于 40 MPa，气流压力宜为 0.7~1.1 MPa。施工设备应配备地内压力监测和强制排泥系统，设备排浆量不应小于 10 m³/h。地内压力控制系数宜取 1.3~1.6，应根据地层条件和环境保护要求通过现场试验确定。MJS 工法可实现水平、倾斜、垂直方向施工，成桩直径宜为 2.0~4.2 m，施工深度不宜大于 70 m。

6.2.12 超高压喷射注浆钻孔的位置与设计位置的偏差不应大于 50 mm，引孔垂直度偏差不应大于 1/200。成桩深度超过 30 m 时应采用套管跟进施工，套管下放深度与设计桩底深度的距离宜为 6~12 m。

6.2.13 对受污染程度高、土的渗透性良好、暗浜等不良地质条件，应根据喷射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。

6.2.14 垂直阻隔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 5~40 ℃，当气温在 10 ℃以下时浆液存放不应超过 4 h，气温在 10 ℃以上时不应超过 3 h。超过存放时间时，应作弃浆处理。

6.2.15 垂直阻隔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 50 mm，时间误差应不大于 5 s。

6.2.16 塑性混凝土墙和土工膜垂直阻隔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/TJ 08-61）相关规定。

6.2.17 垂直阻隔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 g/cm³ 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 300~500 mm。成槽垂直度偏差不应大于 1/200，槽底沉渣厚度不应大于 200 mm，相邻的墙幅的连接宜采用接头管法或切削法施工。土工膜幅间宜使用锁扣搭接等方式，并应做好机械密封。

6.2.18 可通过室内或现场试验测试土工膜锁扣处的渗流量评估锁扣的强度和抗渗性能，并评估密封材料与地下水的相容性。土工膜的安装和固定应符合《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准》（GB/T 51451）的相关规定。

6.2.19 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。

6.2.20 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 200~250 mm。

6.2.21 咬合式排桩垂直度的允许偏差不宜大于 1/300。咬合式排桩硬切割应采用全回转钻机施工，软切割宜采用全套管钻机施工。当在污染区域内 I 序桩采用塑性混凝土时，宜选择全套管跟进等封闭、低扰动工艺。I 序桩和 II 序桩应间隔布置。成孔应连续施工，成孔完成至浇筑混凝土的间隔时间不宜大于 12h。

6.2.22 咬合式排桩软切割施工 I 序桩应采用超缓凝混凝土，缓凝时间不应小于 60h，II 序桩应待相邻 I 序桩混凝土初凝前切割成孔；硬切割施工 I 序桩和 II 序桩均采用普通混凝土，II 序桩应在相邻 I 序桩混凝土终凝后切割成孔。

6.2.23 施工完成后应在垂直阻隔屏障顶部敷设覆盖层以防干裂。

6.3 水平阻隔屏障施工

6.3.1 当水平阻隔屏障设计有要求时，水平阻隔屏障应与垂直阻隔屏障充分搭接，形成整体。

6.3.2 用于水平阻隔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 250~350 mm，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 2 cm。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 25 mm，并计入下一层松土厚度。

6.3.4 用于水平阻隔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 10~20 cm；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 10 cm。焊膜机的行走速度宜为 1.5~5 m/s，施焊温度宜为 180~200℃。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 300 mm。

6.3.10 土工布应铺设平整，不得有石块、土块、水和过多的灰尘进入土工布。土工布的缝合应使用抗紫外和化学腐蚀的聚合物线，并应采用双线缝合。非织造土工布采用热粘连接时，应使搭接宽度范围内的重叠部分全部粘接。

6.3.11 膨润土防水毯贮存应防水、防潮、防暴晒。膨润土防水毯不应在雨雪天气下施工，施工过程应以品字形分布，不得出现十字搭接。

6.3.12 抗渗混凝土水平阻隔屏障的施工可参照《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 施工过程监测内容应包括废水、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，阻隔屏障及周边建（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 对阻隔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 应检测阻隔屏障的抗渗性能、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 500 m² 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阻隔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 阻隔屏障养护期满，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。当工程规模大或对阻隔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，以及屏障搭接、接头薄弱环节。

2 取芯检测数量应根据不同工艺类型分别确定，可按照《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715）、《污染地块竖向阻隔效果评估技术规范》（T/SHDZ 003）等相关要求。当工程规模较大时，检测数量根据实际要求可适当增加。

3 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 水平阻隔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 500 m² 取 1 个点分层检测压实度，分层厚度宜为 20~30 cm。

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 1000 m 取 1 个样品进行强度测试。

5 土工膜焊接质量检测完毕，应立即对检测时所做的充气打压穿孔全部用挤压焊接法封堵，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 200 m 取 1 个点检测搭接效果。

7.3 施工过程监测

7.3.1 阻隔屏障施工中应监测垂直阻隔屏障内外地下水流向上下游的地下水位、土壤和地下水中目标污染物浓度；对目标污染物为挥发性和半挥发性有机物的场地，尚应进行地块内和场界的空气质量监测。

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、周边环境敏感程度及工程风险等级，对施工过程监测进行分级，并确定相应的监测项目、频次、精度及预警值。施工过程监测点的布设应符合下列要求：

1 在阻隔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 100 m 不应少于 1 组，特殊情况下宜加密布置。

2 监测点宜靠近但不得破坏屏障体，监测点与屏障的距离不应超过 10m。

3 当阻隔区域内需要设地下水监测井时，应做好顶部水平屏障与井管间的密封防渗。监测井深度应参照场地勘察、污染状况调查、管控修复设计施工的深度综合确定。

4 监测预警值应根据设计要求、相关环境质量标准、背景值或初始监测值综合确定。当

监测数据达到预警值时，应分析原因、加密监测，并视情况采取必要的风险管控措施。

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。遇有挥发性污染物浓度高等情况以及场地下风向，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、过程中和施工后 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服役期内长期监测专项方案，并通过监测评估阻隔效果。

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、阻隔屏障沉降等进行监测，并应满足下列要求：

1 地下水水质监测应包括 pH 值、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。

3 当工程需要时，可同步监测土壤气。

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 宜在阻隔屏障内外设地下水监测井，其中管控区域内部不应少于 3 口监测井；管控区域上游及垂直于地下水径流方向的两侧各不应少于 1 口监测井，下游不应少于 2 口监测井；当临近地表水时，应在地表水与管控区域边界间设监测井，其他可能涉及的二次污染区域、风险管控薄弱位置和周边敏感受体等位置宜按需加密布设监测井。

2 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阻隔屏障或底部水平阻隔屏障顶部所在深度。

3 当阻隔目标污染物为挥发性或半挥发性物质时，应定期监测场地内和场界的挥发性或半挥发性物质在空气中的含量，监测频率不应少于每季度 1 次，管控区域上风向布设不应少于 1 个监测点，且高浓度污染区、管控区域主导下风向与阻隔屏障的每边界各布设不应少于 1 个监测点，必要时也可对建（构）筑物室内空气或者土壤气进行监测。

8.2.4 长期监测总周期应覆盖服役要求，长期监测频次每季度不宜少于 1 次，水位监测频率每月不宜少于 1 次。当发现地下水水质或水位异常时，应加大采样频率。

8.2.5 长期监测过程中应根据监测数据及变化趋势开展阻隔屏障服役性能分析和风险评估，有异常时应采取必要的应急响应与防控措施。

8.3 阻隔后协同源削减与抽提井运行维护

8.3.1 阻隔后的源削减可针对存在自由相 NAPL 的区域、污染浓度较高的区域、屏障体薄弱区域等重点区域协同实施。

8.3.2 抽提井设计应明确平面布设、抽提井的服役年限、影响半径、深度及井结构等参数，明确井头真空度、流体抽提速率等工艺参数。

8.3.3 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；应通过中试试验确定单井影响半径、井头真空度、流体抽提速率等参数。

8.3.4 抽提井管直径应根据抽提工艺、设计流量、井深及污染物类型综合确定。井管可采用聚氯乙烯（PVC）材质或不锈钢材质；当井内存在自由相有机物时，宜采用不锈钢材质井管。抽提井的滤管段应覆盖源削减深度段，宜采用切缝式，并根据地层条件和滤料等级设计切缝大小。

8.3.5 当需要采用分层抽提设计时，可按不同层位分别设抽提井，也可采用可分层抽提的单一抽提井，并可据实际情况在单一抽提井管内对不同层位分层设泵、多泵抽提。

8.3.6 当抽提井的设计服役时间超过 1 年时，设计宜采用防堵塞性能良好的长效抽提井，并满足以下要求：

1 滤管段优先采用对自由相汇入有利的斜切缝等结构形式。

2 井管周围的过滤层采用按滤料粒径分级、径向多层填充设计，多层滤料结构可设置为 3 层，沿汇水方向滤料粒径由细到粗。

3 可根据需要配置 4~6 个附属清理井以备过滤层堵塞后的通淤解堵，材质应与抽提井

相同，应采用条缝状筛孔，附属清理井的布置如图 8.3-1 所示。

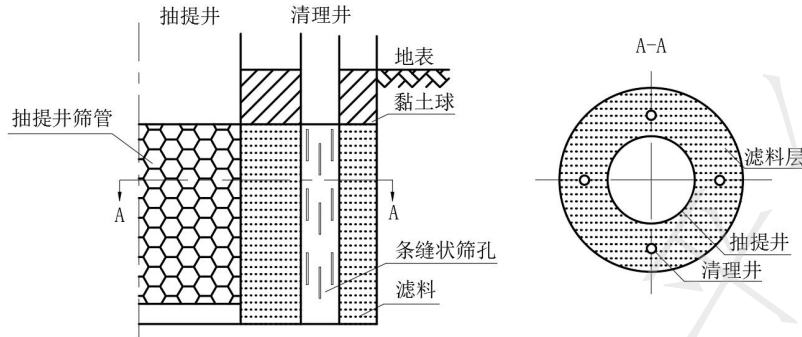


图 8.3-1 附属清理井结构示意图

8.3.7 防堵塞长效抽提井宜采用粒径级配良好、含杂质少、有机质含量低的清洁石英砂滤料。滤料粒径应根据目的含水层颗粒筛分数据确定，并可参照表 8.3-1 确定；滤料层厚度应根据含水层类型，按表 8.3-2 确定。

表 8.3-1 滤料粒径

含水层类型	砂性含水层		碎土类含水层	
	$Cu_1 < 10$	$d_{20} < 2mm$	$d_{20} \geq 2mm$	
粒径尺寸	$D_{50} = (6 \sim 8)d_{50}$	$D_{50} = (6 \sim 8)d_{20}$	$D = 10 \sim 20mm$	
滤料不均匀系数 Cu_2	$Cu_2 < 10$			

注：表中 Cu_1 、 Cu_2 分别为含水层和滤料的不均匀系数； d_{20} 、 d_{50} 和 D_{20} 、 D_{50} 分别为含水层试样和滤料试样，在筛分中过筛质量累计为 20% 和 50% 时的颗粒直径。

表 8.3-2 滤料厚度

含水层类型	粗砂、砾石含水层	中、细、粉砂含水层
滤料层厚度/mm	75~100	100~150

8.3.8 防堵塞长效抽提井的径向多级滤料填充应借助如图 8.3-2 所示的填料仓结构。填料仓顶部及底部应由 2 个相同尺寸的法兰盘组成，单个滤料仓高度宜为 1 m。

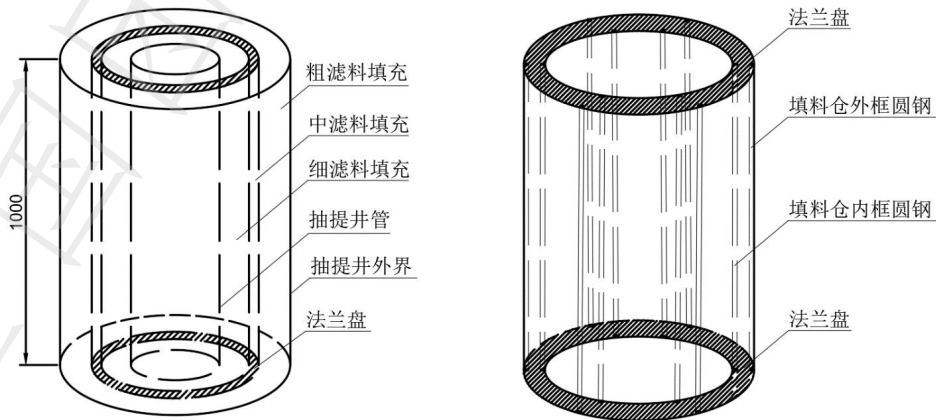


图 8.3-2 多级滤料填充结构示意图

8.3.9 抽提井的成孔深度不应小于抽提井的设计深度，成孔施工应根据抽提井的类型选择工艺及设备，并宜优先采用套管旋挖成孔工艺；若地层易塌孔、缩孔，可采用长螺旋钻孔法，必要时可加套管钻进。当采用冲洗介质护壁成孔时，应将冲洗介质专门收集及合理处置。

8.3.10 井管安装应根据管材强度、下置深度和起重设备能力等因素选定施工工艺，井管自重或浮重小于井管允许抗拉力和额定起重量时宜采用提吊下管，反之宜采用托盘或浮板辅助下管；当井管下置深度过大时宜采用分段多级下管。长效防堵塞抽提井的附属清理井应在主井管下放完成后下放，下放方式应与主井管相同。

8.3.11 在井管安装后应立即进行洗井，并应从上部开始逐渐加深，洗井效果应符合下列规定：

- 1 井水中不应含有泥浆等抽提井施工物质；
- 2 出水量应接近设计要求或单位出水量不再增加；
- 3 在 24 h 的连续洗井过程中，井水含砂量应趋于稳定。

8.3.12 对按分层多泵设计的抽提井，应根据不同泵型或工艺的组合要求实施安装，对不同目标层位之间尚应采取必要的防交叉污染阻隔措施。

8.3.13 源削减运行期内，当采取分层抽提时，可针对不同层位组合运用单个或多个潜水泵、真空泵等多种泵型，并可采用单一抽提或抽提联合底部注气浮托等工艺；并宜加强抽提运行阶段的多井、多泵的及时控制，条件具备时宜优先采用自动化或智能化的监控手段。

8.3.14 源削减抽提运行过程中，屏障内地下水水位宜通过抽提控制在设计水位以下，以形成向内水力梯度，防止污染物外迁。水位降深应根据屏障稳定性、周边环境敏感性和地层条件综合确定，且不应引起屏障或周边地层的不利变形。

8.3.15 源削减抽提运行过程中，应对各抽提井定期检查和维修，进行运行效能监测，通过数据分析及时识别堵塞迹象。当出现以下情况之一时，应视为堵塞预警，必要时采取通淤及解堵等措施：

- 1 在恒定抽提真空度或泵频下，抽提液流量持续下降超过 20%；
- 2 为维持设计流量，所需真空度或功率持续显著增加；
- 3 抽提液中悬浮物含量异常升高或水质成分发生显著变化。

8.3.16 针对不同类型的堵塞，应采取相应的解堵措施并满足下列要求：

- 1 当井管外侧滤料层受细颗粒物填充堵塞时，采取反冲洗、空压机注气等物理清淤及

解堵措施；

2 当井管及滤料层受生物或化学沉淀物堵塞时，采取反冲洗结合酸洗等综合性解堵措施。

8.3.17 针对物理堵塞可采用空压通淤、活塞冲洗、二氧化碳通淤等措施。其中岩性主要为粉细砂的第四系松散层含水层宜采用空压通淤或活塞冲洗；岩性为具有一定抗压强度的基岩宜采用二氧化碳通淤。

8.3.18 针对生化堵塞可采用化学试剂冲洗、盐酸酸洗等措施。

9 安全防护

9.0.1 本章适用于阻隔屏障施工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，应急预案应包括应急程序、组织机构、应急设备与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。
- 6 现场配备淋浴设备和应急洗眼器。
- 7 现场人员严禁饮用场地内地表水或地下水，禁止在污染地块饮食。

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、或具有急性毒性、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。条件允许时泥浆宜优先资源化利用。尤其当特殊情况下，需在污染区域开展垂直屏障施工时，应采取措施（如尽量干法施工、分层施工等）避免屏障体施工带来的污染扩散。

5 用于污染土或地下水暂存和处理的场地，地面应做防渗处理，必要时应设置围堰。用于地下水暂存的蓄水池等设施的防渗要求应当不低于地面的防渗要求，并设置防漫流设施。

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，应根据相关规范、规程、导则要求，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。

9.0.14 长期监测期间，可采取预防措施，如在阻隔墙顶部周围安装防护栏杆、设置警示标志等减少阻隔墙受到损害的可能性。对于已产生的垂直阻隔墙表面破损和裂缝，可使用密封盖和环氧树脂对阻隔墙表面开裂或破损处进行修补。

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 《岩土工程勘察标准》（DG/TJ 08-37）
- 2 《建设场地污染土勘察规范》（DG/TJ 08-2233）
- 3 《岩土工程勘察外业操作规程》（DG/TJ 08-1001）
- 4 《钠基膨润土防水毯》（JG/T 193）
- 5 《固体废物浸出毒性浸出方法硫酸硝酸法》（HJ/T 299）
- 6 《土工合成材料 聚乙烯土工膜》（GB/T 17643）
- 7 《咬合式排桩技术标准》（JGJ/T 396）
- 8 《室外排水设计规范》（GB50014）
- 9 《基坑工程技术标准》（DG/TJ08-61）
- 10 《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准》（GB/T 51451）
- 11 《石油化工工程防渗技术规范》（GB/T 50934）
- 12 《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715）
- 13 《污染地块竖向阻隔效果评估技术规范》（T/SHDZ 003）
- 14 《基坑工程施工监测规程》（DG/TJ 08）
- 15 《房屋质量检测规程》（DGJ 08-79）

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

T/ SEDTA 006—2026

条文说明

2026年 上海

目 次

1 总则	37
3 基本规定	39
5 设计	43
5.1 一般规定	45
5.2 材料选型	45
5.3 垂直阻隔屏障设计	49
5.4 水平阻隔屏障设计	54
6 施工	57
6.1 一般规定	57
6.2 垂直阻隔屏障施工	57
6.3 水平阻隔屏障施工	60
7 施工质量检测与过程监测	62
7.1 一般规定	62
7.2 施工质量检测	62
7.3 施工过程监测	64
8 长期监控与源削减	66
8.1 一般规定	66
8.2 阻隔后长期监测	66
8.3 阻隔后源削减措施设计	67
9 安全防护	71

Contents

1	General provisions	37
3	Basic requirements	39
5	Design	43
5.1	General	45
5.2	Material selection	45
5.3	Design of vertical barrier	49
5.4	Design of horizontal barrier	54
6	Construction	57
6.1	General	57
6.2	Construction of vertical barrier	57
6.3	Construction of horizontal barrier	60
7	Quality inspection and process monitoring	62
7.1	General	62
7.2	Construction quality inspection	62
7.3	Construction process monitoring	64
8	Long-term monitoring and source reduction	66
8.1	General	66
8.2	Long-term monitoring	66
8.3	Source reduction and pumping well operation & maintenance	67
9	Safety protection	71

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 年生态环境部出台了《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。《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》提出对工业污染地块的环境修复需综合考虑环境修复、风险管控、开发建设、水土协同等因素，探索考虑后续建设工程需要的科学治污模式。在坚守城市建设安全和生态环保底线的基础上，响应国家绿色低碳发展新要求，有效控制污染土和地下水造成的健康及生态风险，节约资源，实现工业用地的安全再利用。

2025 年生态环境部发布《关于规范建设用地“环境修复+开发建设”工作的通知（试行）》并公开征求意见，以规范建设用地“环境修复+开发建设”工作。在保障建设用地安全利用的基础上，鼓励选择“环境修复+”模式，优先风险管控减少盲目修复、合理利用减少地块闲置、治用协同减少重复投入，提升土壤环境管理现代化水平。

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阻隔等岩土工程技术，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 本条规定了阻隔法的适用范围，包括采用阻隔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。本规范所指的阻隔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。不适用于放射性污染场地和致病性生物污染场地的阻隔。

1.0.3 本条规定了污染地块阻隔工程和阻隔后风险管控应遵循的基本原则。掌握场地工程地质与水文地质条件、污染情况是开展设计与施工的前提，阻隔施工应对周边的环境敏感目标、场地内外建（构）筑物加以保护。土壤污染状况调查和风险评估的对象既包括土壤，也包括地下水。阻隔需要根据既定的风险管控目标实施。依据土壤法第三十七条，“土壤污染风险评估报告”内容包括主要污染物状况、土壤及地下水污染范围、农产品质量安全风险、公众健康风险或者生态风险和风险管控、修复的目标和基本要求等。

1.0.4 本标准属于环境岩土工程交叉学科范畴，因此需要与环保、工程建设等多专业领域的技术规范相协调，其中重点协调的相关规范包括：

1) 环保领域的治理修复相关技术规范：《建设用地土壤修复技术导则》HJ 25.4、《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》HJ 25.5、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6、《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准试行》GB 36600、《地下水质量标准》GB/T 14848。

2) 环保领域的场地环境监测相关技术规范：《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》HJ25.2、上海市生态环境局 2020 年《上海市建设用地土壤污染状况调查、风险评估、风险管控与修复方案编制、风险管控与修复效果评估工作的补充规定（试行）》。

3) 工程建设领域的相关技术规范：上海市工程建设规范《基坑工程技术标准》DG/TJ 08-61、《基坑工程施工监测规程》DG/TJ 08-2001 和行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111 等。

3 基本规定

3.0.1 从工程应用情况看，阻隔屏障主要包括垂直屏障和水平屏障两种类型。垂直阻隔屏障一般用于阻隔土体和地下水中污染物的水平向迁移或阻断地下水渗流；水平阻隔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阻隔屏障设计前应收集的基础性资料：

1 根据环保管理要求，地块土壤污染状况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 地块风险管控目标是确定阻隔工程功能与性能要求的直接依据，需符合环保管理要求，并结合地块未来用途综合确定。

3 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。20 m 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①₃或②₃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。

4 明确污染源、污染羽分布及阻隔范围，是确定阻隔屏障平面布置与深度的基础，直接关系到工程的实效性与经济性。

5 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。

6 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。

7 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、竣工资料或工程案例简况报告等了解相关案例或经验。

3.0.3 本条是关于污染地块阻隔屏障设计的总体要求：

2 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、碳排放量等多方面进行综合比选，确定适用的技术方法。

3 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、污染特征和选定的阻隔屏障方案，针对性地给出相关参数的设计要求。

4 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。

5 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对阻隔屏障的服役性能作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。除安全性能外，考虑后期建设及使用功能，所使用的修复药剂还应符合低毒、低腐蚀性、可降解、无二次污染风险和低碳排放等绿色发展的新要求。

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，并针对性地设计实验方案。

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 由于地块工程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，本规范要求阻隔工程实施前开展中试；现场中试需提前确认地块条件，

选择合适的位置进行。中试范围应覆盖场地内不同污染类型与地质条件的典型区域。

2 中试试验主要验证设计方案的合理性并做优化，确定具体的设计参数、施工参数、施工工艺和施工设备等，以便于更好地指导后续施工，并识别和规避潜在的风险。

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。

2 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。临建设施包括临时建筑或临时设施。

3 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。

4 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阻隔工程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和响应，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，在阻隔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。对受影响范围内的土水相关污染因子、地下水位进行检测，可直观判断阻隔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 在阻隔屏障施工过程中，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。本质安全型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，引起次生污染与感官不适等不利影响。

3.0.11 随着国家大力倡导低碳绿色发展，阻隔与源削减措施联用成为重要发展趋势。在风险管控期内，对目标范围协同采取绿色、低成本的污染源削减措施，降低污染物含量甚至达标，已逐步成为行业共识。若通过抽提井协同开展源削减，就要求抽提井在足够长的时间里具有良好的通透性。由于土体中细颗粒物堵塞、化学或生物沉淀物附着等因素，极易导致抽提井的通透性在较短时间内大幅度退化，不能满足长期服役的需要。因此抽提井的设计和施工应满足相应源削减需要的服役年限和源削减运行性能要求；对各抽提井应定期检查和维护，并在必要时采取识堵、通淤及解堵等措施。

4 勘察要点

4.0.2 对上海地区而言，污染物主要存在于浅部的土层和地下水中，填土和暗浜、浅部砂土及粉性土分布是专项勘察的重点。研究与工程实践表明，严重污染会造成土物理力学性质的变化，故土的承载力与变形特征的评价包含原状土和污染土，除评价土水环境指标的超标情况外，还需要评价土水对建筑材料的腐蚀性。岩土设计参数应结合采用的原位阻隔技术针对性提供。

4.0.3 本条是选择勘察方法和确定勘察工作量的基本原则：

1 前期勘察资料可用于了解场地土层分布、土性参数，环境调查资料可用于了解污染分布特征，满足平面布置和孔深要求的勘探孔、调查孔均可利用。

2 本款规定了勘探孔的平面控制范围和孔深确定的原则。勘探孔孔深要满足设计的要求，尚需考虑具体的施工工法要求。

3 参照现行上海市工程建设规范《岩土工程勘察标准》DG/TJ 08-37，本标准所指的浅层勘探孔一般采用小螺纹钻孔，当浅部杂填土厚度较大、填料杂，无法进行小螺纹钻具施工时，也可通过静力触探、开挖探槽或浅层物探等手段查明浅部填土的分布特征。静力触探试验在上海地区应用广泛，施工扰动小，尤其是在污染区域内勘探时，其二次污染防治性能相较于钻探作业具有优势。

4 静力触探等原位测试不但能有效鉴别土性，划分土层，而且能获得力学性质参数，且污染场地专项勘察应尽可能降低勘探作业对污染物分布的影响，原位测试孔的比例与上海市工程建设规范《岩土工程勘察标准》DG/TJ 08-37 相统一。

5 当场地分布暗浜、厚层填土或浅部土层性质变化大的部位，宜适当增加勘探采样点，以探明其变化特征及分布边界。对于暗浜边界，一般采用常规勘察手段（如小螺纹钻孔），控制其边界的孔距通常为 2m~3m。

6 为防止二次污染，污染范围内的勘探孔应采用相关措施避免将污染物带入下部土水中。

4.0.4 本条是原位阻隔工程勘察工作量的具体布置要求：

1 为保障阻隔体的质量，勘探孔应布置在阻隔体的外侧。若勘探孔揭露的土层或污染深度情况对阻隔设计或施工方案产生了影响，如相对隔水层顶埋深、厚度或关键污染物修复深度变化较大的区段，应加密布设勘探孔，探明具体土层和污染情况。

2 为揭示阻隔深度范围内地层及其底部相对隔水层分布特征，勘探孔深度不应小于阻隔体深度，但也不宜击穿设计阻隔土层，以免造成污染下迁影响深部土壤与地下水。

3 弥散参数包括弥散系数和弥散度。弥散系数是反映渗流系统弥散特征的一个综合参数，忽略分子扩散时，它是含水层弥散度和孔隙流速的函数。弥散度是含水层的内在参数，不依赖于流场，其大小仅与含水层本身性质有关，如含水层的物质成分、孔隙度、颗粒的大小和不均匀系数等。对于一定的含水层结构而言，弥散度为常量，故在弥散参数实际测量工作中，往往是获取含水层的弥散度为主。

吸附参数通常包括阻滞因子和分配系数。阻滞因子是反映污染物在含水层中迁移滞后程度的一个综合参数，它体现了污染物运移速率相对于地下水渗流速度的减缓效应，是含水层介质分配系数和孔隙度的函数。分配系数是描述污染物在固相（含水层介质）与液相（地下水）之间平衡分配比例的内在特性参数，其大小主要取决于含水层介质的矿物组成、有机质含量、表面性质以及污染物自身的物理化学特性。对于特定的含水层介质和污染物组合而言，分配系数可视为一个相对稳定的特征值。一般来说，不同污染物的阻滞因子或者分配系数宜通过试验获得。

4.0.8 本条对勘察报告应提供的附图表作出规定：

1 统计表包括土层特征表、土的物理力学性质参数表、孔位坐标及水位等，以及勘察阶段按需补充的土水环境指标检测结果汇总表。

2 勘探点平面布置图可与污染土和地下水平面分布图分开或者叠加展示，便于直观判断与分析。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.2 本条规定了阻隔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，阻隔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，阻隔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（如有机污染物，尤其是存在自由相时），周边水土环境受到污染的潜在风险较高，对阻隔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，也需要提高对阻隔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。

5.1.4 鉴于垂直阻隔屏障为隐蔽工程，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，故本条规定应通过小试初步确定材料配比与性能，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。

5.1.6 为减少施工对毗邻建（构）筑物基础的影响，并预留必要的施工操作与检测空间，规定垂直阻隔屏障与毗邻建（构）筑物的水平净距不宜小于 1.5m。当地条件受限时，需采取专项保护措施并进行评估。

5.2 材料选型

5.2.1 本条列出了阻隔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阻隔屏障，在环境治理领域得到较为广泛的应用。

2 土工膜、抗渗混凝土层、钠基膨润土防水毯衬垫等材料可单独用作水平阻隔屏障。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阻隔屏障，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阻隔屏障时应与其他材料组合使用。

5.2.2 污染场地阻隔屏障的主要功能为截断污染物通过地下水或空气介质的迁移扩散途径，阻隔有效期内防止污染物穿透屏障后外泄，阻隔屏障的材料应能保证建成后的阻隔屏障具有良好的隔污、防渗性能，对于兼做基坑围护结构的屏障要有可靠的抗变形能力，服役期较长的永久性阻隔屏障材料对抗化学腐蚀、耐久性等能力要求较高。综合上海地区在污染地块阻隔处置、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 所选水泥种类应能抵抗污染物的侵蚀，并按需添加耐酸腐蚀、抗硫酸盐腐蚀、耐有机溶剂侵蚀等性能的外加剂。质量控制应考虑阻隔墙在强酸、强碱、强盐溶液作用下的防渗性和化学相容性。

4 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。当阻隔处置后膜体受拉变形较大时，可选用拉伸性能更好的 LLDPE 膜。

5 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 4000 g/m²，渗透系数小于等于 5×10⁻⁹ cm/s。

6 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；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，要求具有良好排水性能和耐久性能。

7 当利用污染土作为屏障材料组成部分时，需按《固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》（HJ/T 299）进行浸出毒性测试，确保浸出液中目标污染物浓度不高于地块风险控制值，避免造成二次污染。

5.2.3 污染物沿迁移路径到达阻隔屏障内侧时，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，阻隔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，改善阻隔屏障的抗渗性、抗腐蚀性或强度。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。

5.2.4 本条规定了垂直阻隔屏障类型，旨在引导根据污染地块的具体条件（工程地质、水文地质、污染物特性、周边环境、成本与工期）和技术目标，系统性地选择合适的垂直阻隔屏障类型。

1 刚性垂直阻隔屏障，指以水泥基材料、钢材或混凝土为主要构成，成型后具有较高强度和刚度，兼具隔水与一定挡土功能的屏障体，其抗变形能力较强。包括：

钢筋混凝土地下连续墙：通过专用设备开挖槽段并放置钢筋笼、浇筑混凝土形成。墙体连续、整体性好、抗渗性高、刚度大，适用于污染深度大、周边环境敏感、需严格控制变形的项目，但造价较高。

钢板桩墙：将带有锁口的型钢或钢板桩打入地层并相互咬合形成连续墙体。施工快捷、可回收，但整体抗渗性相对较低，锁口处易成为渗漏薄弱点，多用于临时阻隔或对防渗要求不高的辅助性工程。

型钢水泥土搅拌桩墙（SMW 工法桩墙）：在三轴水泥土搅拌桩中插入型钢形成的复合墙体。兼具止水与挡土功能，型钢可回收，经济性较好，是基坑工程中常用的支护兼阻隔形式。

水泥土、水泥土-膨润土搅拌桩屏障：通过深层搅拌工艺将原位土与水泥浆（及膨润土）强制拌和形成连续墙体。技术成熟、经济性好、抗渗性满足常规要求，是污染地块垂直阻隔最常用的工艺之一。

高压喷射注浆屏障：通过高压射流切割、搅拌地层并注入浆液形成桩体，桩间搭接成墙。适用于复杂地层、狭小空间，可形成大直径桩体，但垂直度控制和桩体均匀性要求高。

素混凝土屏障：通常指通过铣削、切割或排桩工艺形成的无筋混凝土连续墙，具有可靠的抗渗性和耐久性。

2 柔性垂直阻隔屏障，指以黏性土、膨润土或高分子聚合物膜为主要材料，成型后具有一定柔性和变形适应能力的屏障体。包括：

黏土屏障：采用低渗透性黏土通过成槽、分层回填压实形成。材料天然、环境相容性好，但施工质量（如压实度、连续性）控制要求高，单纯黏土屏障在上海软土地区单独应

用较少。

水泥阻隔屏障：主要指以膨润土泥浆护壁、成槽后回填土-膨润土混合料的墙体，或水泥-膨润土。柔性好，抗渗性能优异，对地基变形适应性强。

高密度聚乙烯防渗土工膜屏障：将 HDPE 土工膜垂直植入预先开挖的槽中并回填保护材料形成。防渗性能极佳（渗透系数可达 1×10^{-11} cm/s 量级），但安装工艺复杂，需确保锁扣连接或焊接的密封可靠性，且单独成墙时需考虑其抗刺破和长期稳定问题。

3 组合型垂直阻隔屏障

当单一材料屏障难以满足复杂地质条件、高风险污染物或超长服役期要求时，可采用刚性材料与柔性材料组合的形式，形成性能互补的复合墙体。例如：

刚性桩体+柔性防渗芯材：如在水泥土搅拌桩中插入 HDPE 土工膜，形成“刚柔并济”的防渗体系，既利用了搅拌桩的支撑和初阻作用，又依靠土工膜提供超高防渗保证。

多排不同工艺组合：根据污染羽迁移的主控路径和风险等级，在不同区域采用不同工艺或排数的组合设计。

上海地区因软土层深厚、地下水位高，水泥土搅拌桩及其复合工艺应用广泛；当面临有机溶剂（如 LNAPL/DNAPL）污染或极高防渗要求时，宜优先考虑柔性或组合型屏障。

5.2.5 本条规定了水平阻隔屏障类型，应根据设置位置（顶部覆盖或底部封底）、荷载条件、污染物相态（是否涉及气体收集）及长期稳定性要求进行选型与组合设计。

1 刚性水平阻隔屏障，指主要依靠混凝土类材料的低渗透性和自身结构强度起阻隔作用的屏障。包括：

混凝土和钢筋混凝土屏障：在现场浇筑或预制铺设抗渗混凝土层形成。强度高、耐久性好、抗植物根系穿刺和机械荷载能力强，常作为最终覆盖层或场地硬化层，兼具阻隔与承载功能。需重视施工缝、伸缩缝的防渗处理。

2 柔性水平阻隔屏障，指以高分子聚合物膜或压实黏性土为主要阻隔材料，具有一定变形协调能力的屏障。包括：

高密度聚乙烯防渗土工膜屏障：HDPE 膜是水平阻隔的核心材料，防渗性能卓越。通常铺设于压实黏土垫层之上，其上下需设保护层（如无纺土工布），防止施工损伤和长期使用中的刺穿。

压实黏土衬垫：采用低渗透性黏土（通常要求渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s）分层压实达到设计厚度形成。材料成本低、环境友好，但厚度较大、施工质量控制（如含水率、压实度）

要求严格，且长期干湿循环下可能产生裂缝。

钠基膨润土防水毯衬垫：GCL 是预制好的卷材，由两层土工布夹封钠基膨润土颗粒制成。铺设便捷，遇水膨胀后可自愈合微小损伤，防渗性能好。常作为土工膜的补充或替代材料，尤其适用于不平整基面或修复工程。

3 复合型水平阻隔屏障

为达到更高可靠性，常将多种材料分层组合使用，形成多道防渗防线。这是污染地块和固体废物填埋场封顶/底部防渗系统的通用做法。典型组合如下：

“土工膜+GCL+压实黏土”复合衬垫：利用各材料优势，GCL 可弥补土工膜局部缺陷，压实黏土提供次级防渗和支撑。

“排水层+阻隔层+保护层”系统：在阻隔层上下设置土工复合排水网和过滤土工布，实现渗沥液/气体的有效导排与阻隔层保护。

与垃圾填埋场相比，污染地块水平阻隔更需关注与污染介质的化学相容性、可能存在的局部不均匀沉降影响，以及与垂直屏障的可靠连接，形成完整的立体阻隔系统。复合型屏障通过冗余设计，大幅提升了系统的长期服役可靠性，是高风险地块的推荐选择。

5.3 垂直阻隔屏障设计

5.3.1 本条规定了垂直阻隔屏障“击穿标准”的确定原则与方法。击穿标准是评价阻隔屏障在其设计服役期内是否失效的核心技术指标，即屏障外侧（下游）目标污染物浓度所允许达到的最高限值。

1 有明确风险控制值的情况

当污染地块已通过土壤污染状况调查与风险评估，并依法确定了土壤和/或地下水中特定污染物的风险控制值时，该风险控制值应作为确定击穿标准的首要依据。

风险控制值是基于特定用地方式和暴露情景，通过健康风险评估模型计算得出，具有法定效力和明确的环境保护目标。以此作为击穿标准，能直接保障阻隔工程实现地块的风险管控目标，防止污染物扩散对受体产生不可接受的风险。

2 无明确风险控制值的情况

在实际工程中，可能遇到污染地块未完成法定风险评估程序，或因污染物特殊、资料缺乏等原因暂时无法确定风险控制值的情况。

为此，本条提供了一个普遍接受且相对保守的工程经验值：以阻隔屏障内侧（上游）污染物源位置处浓度（ C_0 ）的 10% 作为击穿标准（ C_x ）。这一比例（10%）是基于大量污

染物迁移模拟、工程经验以及国内外相关指南的综合考量。当屏障外侧浓度达到内侧源强的十分之一时，即认为屏障的防渗隔污功能已显著衰退，存在失效风险，需启动预警或采取补救措施。

击穿标准的确定是动态设计过程的一部分，应与屏障的设计服役期、厚度、材料性能（渗透系数、阻滞因子）等参数进行耦合分析与校核。本条规定为设计提供了取值路径，但强调设计人员的专业判断至关重要，尤其应评估其对特定污染物和场地条件的适用性，必要时可通过专项数值模拟或风险评估进行论证和调整。

5.3.2 本条是对垂直阻隔屏障深度的基本要求。根据上海地区工程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 6 m 以浅范围，对于第②层褐黄色粉质黏土层缺失且分布有第②₃层或第③_夹层粉性土地层，最大污染深度可达 6~8 m，极端情况下可达 15~20 m 甚至更深。

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⑤₁层黏土层，以及中部第⑥层粉质黏土层，均为良好的隔水层，是污染阻隔的天然水平阻隔屏障。若场地内上述土层分布稳定且厚度大于 1 m 时，可作为垂直阻隔屏障的嵌入层（第②层土埋藏浅除外）。

非水相流体（NAPL）为有机污染物，物理与化学性质特殊，微溶于水，具有流动性，此外地层各向异性突出，故其在土壤及地下水中的迁移过程复杂。其中，LNAPL 密度小于水，主要迁移至浅部包气带及其毛细上升区，并滞留在地下水水位面与水位波动深度段的地层中；DNAPL 因密度大于水，当渗入地表以下时，会垂向迁移至含水层底板不透水层顶部滞留聚集，并向地下水中持续释放污染物，成为监管难题，其迁移和修复比 LNAPL 更复杂。

因 NAPL 类污染物，迁移性强、毒性大，垂直阻隔墙深度设计应尽量采用嵌入式阻隔墙（亦称为落底式阻隔墙）。LNAPL 污染场地，污染深度不超过潜水埋藏深度时，或隔水层埋深大、场地不具备良好隔水层等条件时，可在安全可控的前提下设计悬挂式垂直阻隔屏障，屏障深度下限不小于历史最低地下水位以下 1m。其余情况，屏障深度应大于临界插入深度并考虑适当的安全余量。

临界插入深度为污染物在对流-弥散或者两相流击穿浅部垂直阻隔屏障对应的时间内，从屏障顶部向下竖向移动所能达到的最大深度。一般可采用一维对流-弥散模型或考虑吸附降解反应等作用的更复杂迁移模型进行模拟预测。对于复杂地块或当验算不能满足时，按需设计相应的强化管控措施或开展必要的污染源削减。

5.3.3 本条规定了垂直阻隔屏障厚度的设计要求。根据本地区工程经验，参考《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准》（GB/T 51451），永久性阻隔屏障的服役期可取 50 年，击穿判别验算参考近年来上海地区阻隔法研究成果及现行行业标准《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715 第 5.4 条的相关规定。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。此外便于指导设计，考虑垂直阻隔屏障两侧有无水头差，简化屏障有效厚度设计的计算公式。

当场地污染物种类复杂多样、污染物浓度高、污染面积广、工程项目重要性等级高等情况时，厚度计算公式中的参数（如墙体材料中的扩散系数、阻滞因子等）一般通过试验测定。当无试验参数和条件时，可考行业标准《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准》（GB/T 51451），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，而阻隔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 300 mm。

5.3.4 当采用水泥搅拌工艺时，垂直阻隔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。综合考虑阻隔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阻隔帷幕，可按下表建议值选用搭接尺寸，严重污染情况下可取最大值。

表 5.3-1 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

2~4 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、材料性能测试和控制性指标等作了规定。

5 根据上海地区的工程经验，采用水泥土作为阻隔屏障材料时，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%，可满足阻隔屏障抗渗性能要求；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。

6 上海地区工程建设领域的经验，双轴水泥土搅拌桩的施工最大入土深度约 18m，三轴水泥土搅拌桩的施工最大深度约 30m，而四轴与五轴可达 40~45m。结合工程需求与工艺发展现状，增加多轴（四轴与五轴）搅拌工艺的相关规定，以满足较深阻隔屏障的应用需求。相关技术规定可参照现行上海市工程建设规范《五轴水泥土搅拌桩（墙）技术标准》DG/TJ 08-2277、上海市土木工程学会标准《微扰动四轴搅拌桩技术标准》T/SSCE 0002 等执行。

微扰动四轴搅拌桩设备采用了大功率的动力头及 7 层叶片搅拌钻头，施工过程中可充分切削和搅拌土体，同时四根三通道异形钻杆均能喷射水泥浆液和空气，空气的喷射可以有效减小切削阻力，进一步提高水泥土的搅拌均匀性，从而能够达到减小水泥掺量的目的。以黏性土为主的地区，微扰动四轴搅拌桩可采用 13%~15% 的水泥掺比，以及 1.00~1.15 的平均水胶比，并直接通过现场试成桩试验进行验证。

五轴水泥搅拌桩分为置换式和强制式搅拌两种。置换式五轴水泥土搅拌桩是沿用三轴水泥土搅拌桩的成桩机理及工艺参数，采用大水灰比（取值 1.5~2.0）及较高水泥掺量（约 20%）的施工工艺，是在原有三轴水泥土搅拌机械设备的基础上发展而来，增加了 2 根钻杆，施工的功率大幅提高。但置换土较多，置换量通常是加固量的 35%~60%。强制搅拌式五轴水泥土搅拌桩是将双轴水泥土搅拌桩强制搅拌式成桩的机理与三轴水泥土搅拌桩结合的工艺，置换土少，约为总加固量的 5%。故水泥掺量也沿用了双轴水泥土搅拌桩的用量，即 13% 左右，水灰比根据工程实践，一般为传统双轴搅拌和三轴搅拌桩的中间值 0.8~1.2。

5.3.5 结合污染地块风险管控工程需求，考虑到搅拌桩的均匀性和搭接质量难以控制，本次增加等厚度水泥土搅拌墙工艺的相关规定，墙体设计主要参考现行上海市工程建设规范《基坑工程技术标准》DG/TJ08-61-2018 第 9.4.4 条、第 9.4.5 条，《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ T 303 的相关技术要求。

渠式切割水泥土搅拌墙又称 TRD 工法（Trench cutting Re-mixing Deep wall method），

兼有自行掘削和混合搅拌的功能，由该技术构建的墙体水泥石搅拌均匀、连续无缝，且墙身范围内水泥石完整性、均一性、强度和隔水性能更好，墙体渗透系数在砂土中达 $10^{-7}\text{cm/s}\sim 10^{-8}\text{cm/s}$ 量级，在黏性土中可达 10^{-7}cm/s 。

铣削深搅水泥石搅拌墙又称 CSM 工法 (Cutter Soil Mixing)，使用两组铣轮深入地层沿水平轴旋转掘削与破坏土体时，注入水泥浆液，强制性搅拌混合已破碎的土体，形成矩形槽段的改良水泥石搅拌体，并通过连续作业将一幅幅相互铣削搭接的水泥石槽段构筑成等厚度水泥石搅拌墙，墙体渗透系数可达到 10^{-7}cm/s 量级。

5.3.6 当屏障外侧场地很小或要求的阻隔屏障入土较深，现有搅拌桩机械无法施工时，可采用高压喷射注浆法。但因施工质量控制难度较大，不宜大面积采用。参考现行上海市工程建设规范《基坑工程技术标准》DG/TJ08-61-2018 第 9.3.9 条要求，高压喷射注浆形成的水泥石桩径一般不小于 800mm，同时考虑屏障有效厚度控制，故对搭接长度提出较严格的要求。

结合工程需求与工艺发展现状，对于周边环境条件特别复杂（如紧邻变形敏感建构筑物时），环境保护等级要求高，施工条件受限或存在地下障碍物时，超高压喷射注浆 (RJP)、全方位超高压喷射注浆 (MJS) 工艺施工改良土体桩径大、强度高、质量可靠。

超高压旋喷注浆工法是利用超高压喷流体所拥有的动能破坏地基的组织构成后，混合搅拌被破坏的土粒和硬化材料，从而形成大口径的改良体。由于喷射的时候呈 $90^\circ\sim 270^\circ$ 角度范围，故改良体可以喷射成扇柱状，是一种优越且经济的施工方式。

全方位超高压喷射注浆是一种 360° 全方位的地基加固改良施工工法，能进行水平、垂直、倾斜施工，对周边环境及地基扰动影响微小，常用于周边环境保护要求高的工程项目。

基于上述工艺实现高喷流切削能力、良好可泵送性与桩体强度之间平衡的水胶比经验值宜为 1.0。水胶比是指搅拌水泥浆液时，水与胶凝材料（包括水泥及任何外掺的粉状掺合料，如膨润土、粉煤灰等）的总质量之比。水胶比过低会导致浆液黏度增大，可泵送性变差，易堵塞喷嘴，且不利于与土体充分搅拌混合；水胶比过高则会显著降低桩体强度、增大收缩性，影响屏障的防渗性能和长期耐久性。在实际工程中，宜通过室内配比试验与现场工艺试桩，根据土性、地下水状况及污染物特性（如 pH 值、有机物含量）对水胶比进行调整，以确保形成均匀、连续、满足设计强度和抗渗性能要求的阻隔桩体。

5.3.7 污染场地垂直阻隔屏障除了搅拌法和喷射法成桩/墙外，也常用成槽回填防渗材料的方式构筑阻隔墙，包括土-膨润土阻隔墙、水泥-膨润土阻隔墙、塑性混凝土阻隔墙等。当场

地污染严重，对阻隔材料抗酸、碱、盐等污染物侵蚀性能要求高时，可选用可靠性高、渗透性低的土工膜复合阻隔墙。

5.3.8 本条规定了土工膜材料用于长期服役垂直阻隔屏障的使用条件。土工膜选取与设计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。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阻隔屏障时风险较高。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，仍要求垂直阻隔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。

5.3.9 污染场地治理修复施工中，当需要垂直阻隔屏障兼具挡土与防渗隔污性能，并可达成大深度施工与污染区域内干法作业时，可选择咬合式排桩屏障型式。其设计施工的相关技术要求参照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 及行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、《咬合式排桩技术标准》JGJ/T 396 中的相关规定。

当咬合式排桩除了防渗隔污以外，还兼作基坑支护结构时，桩体须具备承受开挖期间土水侧向压力的能力，并符合安全与变形控制设计要求，故选择“一荤一素”有筋桩与无筋桩结合的桩型，且桩身混凝土强度等级要求较高，具体参考《咬合式排桩技术标准》JGJ/T 396-2018 第 4.1.2 条执行。当无挡土功能要求时，桩身可不配筋，无筋桩的混凝土强度等级要求可适当降低。咬合式排桩设计和施工前根据地质、水文条件、地下障碍物情况及周边环境特点，选用切割工艺。

5.3.10 本条规定了有附加荷载作用时阻隔屏障的设计要求。其中，

1 垂直阻隔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阻隔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 30 kPa 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，针对垂直阻隔屏障及以上覆盖层附加荷载大于 30 kPa 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 水平阻隔屏障设计

5.4.1 为防止污染扩散等潜在不利影响，并兼顾阻隔后地块运维与景观等需求，风险管控场地垂直阻隔与顶部水平阻隔措施通常联合使用。本条规定了水平阻隔屏障设计内容和要

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、收集和處理系統：

1 在揮發性或半揮發性污染地塊的表部設置水平阻隔屏障時，尤其是在非飽和帶厚度大的情況下，應關注地下水位以上的非飽和帶內可能積聚氣相污染物及造成環境風險的可能性。水平阻隔屏障應考慮必要的气压导排釋放和收集處理系統；

2 當地塊設置大面積水平阻隔屏障後，需要考慮地表降雨入滲的收集和排放系統；

3 根據上海地區的地質與水文地質條件，若設置阻隔屏障後地表標高抬高，則屏障下的地下水位可能在毛細作用下也相應抬升，會對屏障的正常服役造成不利影響，也需要考慮適當的地下水導排和處理系統。當水平阻隔屏障靠近地塊邊界時需結合其他邊界封閉措施處理。

4 當需設置底部水平阻隔屏障時，考慮經濟高效且可實施的設計原則，優先詳細勘察場地下部是否存在連續、穩定、厚度足夠的低滲透性地層（如上海地區的第④層、第⑤層、第⑥層黏性土層）。若其滲透系數滿足阻隔要求且分布連續穩定，可將其作為天然的底部水平阻隔屏障。

5.4.2 壓實黏土層可單獨用作水平屏障，也可與其他材料形成組合屏障。為使壓實黏土達到阻斷污染物擴散的功能要求，本條規定了黏土材料的主要性能指標和最小厚度。

5.4.3 本條規定了採用抗滲混凝土作為水平阻隔屏障時，應滿足的材料性能與構造要求。抗滲混凝土屏障屬於刚性水平屏障，其特點是强度高、整體性好、抗機械損傷及抗植物根系穿刺能力強，適用於有地面承載需求、需要高度結構穩定性或作為最終硬化封蓋層的污染地塊。

5.4.4 根據污染地塊的特點及阻隔處置工程的目的，結合本規範編制組收集到的工程案例，本條規定了土工合成材料用於水平阻隔屏障的設計要求。

1 國家標準《生活垃圾衛生填埋處理技術規範》（GB50869）、行業標準《生活垃圾衛生填埋場封場技術規程》（CJJ 112）中，針對填埋場封場覆蓋系統的防滲層規定了單層防滲層和複合防滲層。單層防滲層主要採用壓實黏土，複合防滲層則包括土工膜和壓實黏土或土工聚合黏土襯墊（GCL）組成。其中：

1) 複合防滲層的壓實黏土厚度應為 20~30 cm；

2) 土工膜選用厚度不小於 1 mm 的高密度聚乙烯膜（HDPE）或线性低密度聚乙烯土工膜（LLDPE），滲透系數應小於 1×10^{-10} cm/s，土工膜上下表面應設土工布；

3) 土工聚合黏土襯墊（GCL）厚度應大於 5 mm，滲透系數應小於 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，错缝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%的坡面上和坡脚向阻隔区域内 1.5 m 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 5.4-1 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	75±15
	下层土工布要求搭接	

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 30 kPa 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，针对新增水平阻隔屏障及以上覆盖层附加荷载大于 30 kPa 时，应参照岩土工程领域的设计计算方法，应验算土工膜、土工布等柔性材料的抗拉强度与延伸率，确保其在设计服役期内不发生撕裂或过度变形。验算时应考虑荷载分布、支承条件、材料老化及接缝强度等因素。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 不同类型的屏障其使用功能不同，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。鉴于阻隔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及参数的合理性，故对工艺性试桩要求不少于 3 根。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。

6.1.2 当施工场地条件限制，阻隔屏障位置无法避让污染土壤与地下水分布区域时，须采用干法施工清除污染土，防止污染扩散与交叉污染。

6.1.3 土工合成材料用于水平阻隔屏障时，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。

6.1.4 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。

6.1.5 阻隔屏障施工是多工序、隐蔽性强的作业。为控制实施过程质量、确保最终成墙质量连续可靠，必须建立严格的工序验收制度，即前一道工序（如导墙施工、成槽、清孔、材料铺设、焊接等）经自检和监理验收合格后，方能进行下一道工序。

6.1.6 如果风险管控方案中包含了“阻隔+源削减”的组合技术，且在阻隔后需立即或同步运行抽提井进行源削减，则抽提井的施工必须与阻隔屏障的施工在时序、空间位置和工艺上做好协调。抽提井的施工及后续运行维护，必须符合本标准的专门规定，确保其结构可靠、功能有效，能满足长期协同运行的要求。

6.2 垂直阻隔屏障施工

6.2.1 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，为保障阻隔屏障的防渗性能，故规定双轴搅

拌桩阻隔屏障最大深度不大于 14m。当采用多轴水泥土搅拌桩时，设备在施工过程中不接钻杆的情况下，可成桩的最大深度为 45m。

6.2.2 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，其中鉴于不同工艺的差垂直度要求存在差异，对双轴、三轴、四轴和五轴的垂直度作了差异化的要求。

6.2.3 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 24 h 的基础上，进一步提高了要求。

6.2.4~6.2.6 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。故本条分别结合双轴、三轴、四轴和五轴搅拌工艺的特点，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 0.5 m，待恢复供浆时再喷浆提升。凡中途停止输浆 3 h 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 目前工程应用中，渠式切割水泥土搅拌墙最大成墙深度在 60m 左右，部分工程成墙深度达到 65m；铣削深搅水泥土搅拌墙国产导杆式设备最大施工深度在 60m 左右，德国进口悬吊绳索式设备设计最大施工深度可达 80m。具体成墙深度尚需根据工程地质情况、设备性能通过现场试成墙试验确定，本次综合确定等厚度水泥土搅拌墙施工深度不宜大于 60m。渠式切割水泥土搅拌墙浆液流动度，稳定液混合泥浆流动度一般控制在 135mm~240mm 之间，水泥浆液混合泥浆流动度一般控制在 150mm~280mm 之间。

6.2.9~6.2.12 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 20 MPa 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。此外，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、相邻桩施工间隔时间等关键参数。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 100 mm，以保证固结体的整体性。

6.2.13 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。

6.2.14 为保障浆液性能均一、稳定，进而确保最终屏障质量，本条规定了垂直阻隔屏障施工中，用于制备水泥浆液的材料在配制精度与存放时效方面的具体要求。

6.2.15 通常采用定量泵输送水泥浆，转速大多是恒定的，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限度地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。

6.2.16 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。

6.2.17 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 1000 kg、膨润土 50 kg、 Na_2CO_3 1 kg。

6.2.18 土工膜膜片间的搭接宜采用水膨型止水锁扣、灌浆型锁扣及焊接型锁扣等搭接方式，并使用水膨型密封剂或锁扣腔室内的灌浆产生机械密封。施工过程会对锁扣产生压力，故需评估锁扣的强度和抗渗性能是否可靠。

6.2.19 槽段终孔验收合格后进行清孔，清除槽底的泥渣。

6.2.20 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。

6.2.21~6.2.22 咬合式排桩通常是采用有筋桩（钢筋混凝土桩）和无筋桩（素混凝土桩）

相互搭接，由配有钢筋的桩承受土压力荷载，素混凝土桩只用于截水；当无挡土受力要求时，可采用全素混凝土式排桩。当施工质量能够得到保证时，咬合式排桩截水效果是良好的。本条对咬合式排桩的施工提出了具体要求。

1 由于需要达到截水的效果，对咬合排桩的施工垂直度就有严格的要求，否则，当桩与桩之间产生间隙，将会影响截水效果。

2 在污染场地内施工阻隔屏障时，全套管全回转钻机等封闭式咬合工艺，低噪音、无振动，对周边土体扰动小，成桩施工中套管全程跟进能有效隔离周边土体，防止污染物随地下水或泥浆串流，有效避免采用常规冲击钻机、潜孔锤等高频冲击强扰动，可能导致的交叉污染和二次污染风险。成桩施工时在钢套管相互垂直的两个竖向平面上进行垂直度控制，以确保桩间咬合严密，形成连续、完整的阻隔屏障。

咬合式排桩中 I 序桩为先行间隔施工的被咬合的混凝土灌注桩，II 序桩为后续施工并与相邻 I 序桩咬合的混凝土灌注桩。I 序桩和 II 序桩为间隔布置，如图 10.3.7 所示，按图中编号，I 序桩为奇数，II 序桩为偶数桩，图中咬合桩施工的顺序应按 1→3→2→5→4→7→6→……的顺序施工。

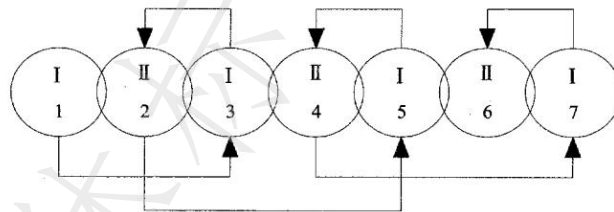


图 6.2-1 咬合桩施工顺序图

成孔时钢套管应正反扭动加压下切，抓斗在套管内取土，抓土面在套管底面以上的高度应始终大于 1.0m。孔内虚土和沉渣应清除干净；灌注混凝土时，套管应随混凝土浇筑逐段提拔；套管应垂直提拔，阻力过大时应转动套管同时缓慢提拔。

3 咬合式排桩设计和施工前应根据地质、水文条件、地下障碍物情况及周边环境特点，选用硬切割或软切割工艺。有筋桩和无筋桩间隔布置时，相邻咬合桩应按先施工无筋桩、后施工有筋桩的顺序进行；有筋桩应在无筋桩初凝前，通过成孔时切割部分素混凝土桩身形成与素混凝土桩的互相咬合，但应避免过早切割。

6.3 水平阻隔屏障施工

6.3.1 水平阻隔屏障与垂直阻隔屏障的边缘、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。

6.3.8 本条规定了土工合成材料铺设后的成品保护要求，旨在防止其在上覆保护层施工前被意外损伤。

6.3.9 本条规定了土工膜在施工过程中被意外发现破损（裂缝和孔洞）时的修补方法。

6.3.10 本条规定了土工布作为保护层或过滤层时的铺设与连接要求。

6.3.11 本条规定了钠基膨润土防水毯（GCL）这种特殊材料的贮存与施工环境要求。

6.3.12 本条规定了抗渗混凝土水平阻隔屏障的施工执行标准。除符合本标准的一般规定外，其具体的混凝土工程操作和质量控制，应直接遵循 GB/T 50934 的相应条款。

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。施工材料按进场批次，每批次按5%抽检。

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》（GB 8978）、《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》（DB 31/199）等；

2 施工过程中的废气主要来自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》（DB 31/964）、《恶臭（异味）污染物排放标准》（DB 31/1025）、《大气污染物综合排放标准》（GB 16297）和上海市《大气污染物综合排放标准》（DB 31/933）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》（GB 18599）和《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597）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》（DGJ 08-11）和《地基处理技术规范》（DG/TJ 08-40）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、破损等导致阻隔屏障失效，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 30~50 mm 厚的松砂，环刀内砂样应不包含尺寸大于 10 mm 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 m² 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石、素混凝土等材料构成的垂直阻隔屏障，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石、素混凝土等材料构成的垂直阻隔屏障，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，就可间接判断阻隔屏障的完整性。

钻芯取样检测垂直阻隔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、对阻隔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 110 mm 的钻头，钻取搅拌桩施工后 28 d 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 $1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 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 5.4-1。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）附录 C 的规定。

其中，土工膜焊接质量的检测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（充气长度 30~60 m）对焊缝进行检测，将待测段两端封死，插入气针，充气至 0.25 MPa，静置 5 min 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 25~35 kPa 时焊缝无任何泄漏视为合格。

4 样品强度检测法：每 1000 m 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 7.2-1 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，改善空气质量是阻隔处置的重要目的之一，故对地块内、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 本条规定了设置阻隔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 本条规定了污染地块阻隔工程施工过程中，对周边土壤、地下水及大气环境开展过程监测的最低频次要求与基本原则。通过有代表性、分阶段的监测数据，系统地评估施工活动对地块及周边环境的影响，并为及时采取风险管控措施提供依据。

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，既有的阻隔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阻隔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，当涉及挥发性污染物且水平阻隔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阻隔屏障阻隔效果的重要指标之一。在垂直阻隔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。为监控垂直阻隔屏障的服役状态，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及技术规范提出了管控区域内部不应少于 3 口监测井；管控区域上游及垂直于地下水径流方向的两侧各不应少于 1 口监测井，下游不应少于 2 口监测井的要求。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。对有半挥发性或挥发性污染物的场地，改善空气质量是阻隔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。

8.2.4 为验证阻隔屏障的长期服役性能，动态评估风险管控效果，需建立一个系统、持续、有效的监测体系。本条规定了污染地块阻隔工程实施后，在长期风险管控阶段开展环境监测的总周期和基本监测频次。

8.2.5 长期监测的目的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，并对阻隔后土壤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 阻隔后协同源削减与抽提井运行维护

8.3.1 NAPL 污染的分布与地质条件密切相关。抽提时宜针对 NAPL 赋存区域重点开展，通过分层抽提可促使污染源的高效去除，降低污染拖尾反弹的概率。

8.3.2 平面布设、抽提井的服役年限、深度及井结构等参数是源削减设计的关键参数，一般宜通过现场中试试验确定。

8.3.4 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。

8.3.6 本条规定了防堵塞多相抽提井的设计要求。

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。

8.3.7 本条规定了防堵塞长效抽提井材料的要求，主要是滤料。为保证透水及防堵塞效果，滤料应选用洁净的石英砂，要求不含泥土、云母和有机杂质。

8.3.8 多级滤料的设置可增加整个滤料的孔隙度，有效地提高堵塞行为的冗余度，延后发生堵塞的时间，延长抽提管的服役时间。

8.3.9 本条对抽提井成孔施工做了规定。常规成孔施工一般采用水冲法或冲洗介质护壁钻孔法，均会产生大量泥浆，造成二次污染或交叉污染，因此要求优先采用套管旋挖成孔工艺。

8.3.11 施工完毕后井孔内剩余一定量的泥浆，若不及时抽水或洗井，可能造成淤堵，影响后期出水量，因此，本条提出完成后立即洗井。对于多相抽提井，宜使用空气压缩机进行洗井，将风管混合器下入至过滤管中部，并专人控制供气阀门。洗井时，将气压整至设备额定最高值时，突然开放供气阀门，使压缩空气以最大的速度和压力在过滤管部位进行有效的震荡洗井。每隔一定时间整压一次，至洗好为止。在进行排渣洗井时，空压机出水管下至过滤管的下部，出水管的外径与井管内径差一般应大于 30 mm，供气管沉没比不小于 50%，以最大的降深和最大的水量抽水洗井。

8.3.12 分层井须采用阻隔措施确保实现井中分层，不同层位之间的阻隔措施可确保真空度的集中，一般可包括井外阻隔（滤料层）和井内阻隔（井管内）措施。井外阻隔措施可通过分层设置滤料，采用黏土材料等作为阻隔层，使得分层抽提井实现井外阻隔分层；井中可采用充气气囊等方式实现局部闭气止水。

8.3.13 智能化监测的主要因子通常包括地下水水位、水质、pH、TVOC 等，用于辅助判断源削减效果及工程实施效果。

8.3.15~8.3.16 条文中规定了抽提运行过程中的识堵、解堵策略，一般风险管控场地（阻隔后场地）的服役周期在数年甚至数十年，其涉及的源削减（多相抽提）行为普遍会存在堵塞行为。因此，阻隔后源削减的污染场地也应定期检查并系统采取识堵、通淤及解堵等措施，确保抽提井的运行状况满足要求。

8.3.17 空气压缩机通淤宜满足以下要求：

1 应根据不同的井深选择合适的空气压缩机型号。

2 通淤过程中应测得水位变化值。

3 空气压缩机风管沉没比应大于 50%。

4 混合器应导正于出水管的中心，下入位置应由风管沉没比来确定，且应比过滤管的顶端高 3~5 m。不应直接对准过滤管的工作部分。

5 出水管、风管、井管的口径应匹配。

活塞冲洗宜满足以下要求：

1 制作活塞的胶皮材料应具有一定的耐磨性及柔韧性，当活塞胶皮直径小于井管内径时，应及时更换。

2 活塞应平稳下降，匀速提升，提升速度宜控制在 0.6~1.6 m/s。

3 冲洗顺序宜从上至下逐段进行。

二氧化碳冲洗宜满足以下要求：

1 在加工冲洗设备时，所有与气瓶连接的设备应与气瓶压力相适应，宜由耐高压材料制成。设备在使用前，应进行耐高压检验，合格后方可使用。

2 下入井内的钻具直径应与汇管的直径相近，宜采用外径为 50 mm 钻杆。钻杆接头处应确保密封。

3 在运输气瓶时，应避免暴晒。冲洗结束拆卸气瓶、管路时，应先关闭二氧化碳气瓶阀门，再放完管路中余气，最后进行拆卸工作。

4 不应在高压线下、变压器旁等危险区域进行冲洗作业。同时应根据冲洗时的风向，对可能波及的地方进行防护处理。

8.3.18 化学试剂冲洗宜满足以下要求：

1 含水层为松散层的地下水监测井宜选用该方法进行冲洗。

2 化学试剂宜用 30 ℃左右的温水浸泡，使其充分溶化。

3 采用人工倒入时，每两次倒入的时间间隔宜为 10 min 左右；采用设备泵入时，泵入过程中应不断提升钻具，使冲洗溶液泵入至不同的过滤管位置。

4 化学试剂的浸泡时间主要与工作地气温有关，宜控制 1~7 d，一般情况下 3 d 即可。

盐酸酸洗宜满足以下要求：

1 含水层为碳酸岩类的地层时，宜选用该方法进行冲洗。

2 注入盐酸的浓度与含水层岩性有关。含水层岩性以白云岩或白云质灰岩为主时，注入的盐酸浓度宜为 15~20%；含水层岩性以泥质灰岩或泥质白云质灰岩为主时，注入的盐酸浓度宜为 20~31%；含水层岩性以钙质胶接的砂岩为主时，注入的盐酸浓度宜为 4~8%。盐酸的配置应由专业人员进行操作，不应在现场进行稀释作业。

3 使用高浓度盐酸（31%）时，应在盐酸中加入甲醛、丁炔二醇、碘化钾或碘化钠等防腐剂，用量应为盐酸总体积的 2~4%。

4 注酸过程中，作业人员应全程佩戴防护用品并时刻注意风向变化，在上风头开展作业，其他人员应远离工作区域。

5 注酸完成后，应立即用清水对钻杆进行冲洗，并提出井口或静水位以上。

6 盐酸在井内反应时间宜为 24~48 h。

7 在酸化阶段，作业人员应远离井口。

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、噪声、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，如阻隔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 施工中使用的机械设备存在倒塌和被污染物腐蚀等风险。

5 其余安全风险识别内容可参考《上海市建筑施工风险管控与隐患排查实施导则》（TB/JS AQ 001）

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工种作业人员应按照有关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 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。

7 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。

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阻隔，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、防雨以及阻隔等安全设施；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安全要求。

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。气味抑制剂具有阻隔异味或通过化学反应降低空气污染物浓度的作用。

2 施工涉及的钻孔或阻隔桩施工等易导致污染物向下迁移，施工过程中应采取相应阻隔措施。

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，应根据现场条件确定是否适宜设置现场办公（生活）区，如需要时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。

9.0.14 针对已完成并进入长期监测阶段的垂直阻隔屏障提出专项物理保护与维护要求，预防屏障在服役期内遭受意外的人为或自然损害，并在损害发生时能够及时、有效地进行修复，从而保障阻隔系统的长期完整性，防止因墙体局部破损导致污染物泄漏失效。