附件 1

污染地块风险管控技术指南
—阻隔技术（试行）

（征求意见稿）

二〇一七年十一月

概 要

阻隔技术是指通过铺设阻隔层阻断土壤介质中污染物迁移扩散的途径，使污染介质与周围环境隔离，避免污染物与人体接触和随降水或地下水迁移进而对人体和周围环境造成危害的技术。阻隔系统主要有几方面的功能：⑴）阻断污染土壤与人体的直接接触；⑵）阻止受污染地下水迁移扩散；⑶）阻断污染土壤或污染地下水挥发出的气体扩散。阻隔仅能切断暴露路径，限制污染羽迁移，但不能彻底去除污染物质或降低污染地块上的污染物浓度，不是真正的修复技术，因此，阻隔技术尽管可以单独用于污染地块的风险管控，也经常需要与其他修复技术结合使用才能达到修复目标。

阻隔技术包括水平阻隔和垂直阻隔两大类，水平阻隔相对简单，垂直阻隔可分成取代法、挖掘法、注射法等基本类型。对于阻隔技术的应用，应基于污染地块风险三要素的分析，以及设定的风险管控目标，判断其适用性，同时还要考虑其与其他技术经济成本的比较情况。阻隔技术实施的工作程序包括设计、施工和监测维护等内容。设计阶段需考虑工程建设、阻隔材料选择、主要暴露途径和使用寿命等因素；施工阶段的质量非常重要，直接关系到阻隔措施的效果，因此应做好质量控制与质量保证，确保阻隔措施完全按照设计说明实施；同时，阻隔措施需要开展常规监测，证明阻隔系统达到设计目标的最初性能，并确保在地块开发后阻隔效果得以持续；此外，阻隔措施需要进行长期维护，如果定期监测结果表明阻隔措施未能达到预期效果，应及时进行修理或更换。

本指南分别对阻隔技术的主要技术环节提出了一般性的原则和要求，即设计、施工、监测与维护。同时，针对阻隔技术常用的三种情形：⑴）阻断表层土壤的直接接触；⑵）阻止受污染地下水迁移扩散；⑶）阻断周围或室内空气暴露。分别对每种情形下阻隔技术的设计、施工、监测与维护等主要技术环节提出了进一步的细化要求。

目 录

前言 6
1 适用范围 6
2 术语和定义 6
3 规范性引用文件 7
4 阻隔技术概况 8
4.1 阻隔技术的原理与优缺点 8
4.2 阻隔技术的主要类型及适用性 8
5 阻隔措施设计的总体要求 9
5.1 技术准备 9
5.2 阻隔技术设计要点及注意事项 10
5.3 切断暴露途径 10
5.4 设计寿命 12
5.5 设计说明 12
6 阻隔措施的施工 13
7 阻隔措施的监测与维护 13
7.1 监测要求 13
7.2 定期监测 13
7.3 维护 13
7.4 阻隔效果的评价 14
8 针对污染土壤阻隔的设计施工及维护 14
8.1 简介 14
8.2 风险管控目标及现有技术 14
8.3 设计与建设注意事项 14
8.4 性能监测 19
8.5 维护和操作事项 20
9 针对地下水污染阻隔的设计施工及维护 21
9.1 简介 21
9.2 风险管控目标及现有技术 21
9.3 设计与建设注意事项 22
9.4 性能监测和维护 28
10 对土壤或地下水室内蒸汽入侵阻隔的设计施工及维护 29
10.1 简介 29
10.2 风险管控目标及现有技术 29

10.3 设计与建设注意事项.....30
10.4 性能监测.....34
10.5 维护和操作事项.....35
11 制度控制（活动和使用限制）.....36
11.1 活动和使用限制的必要性.....36
11.2 活动和使用限制的目的.....36
11.3 活动和使用限制的类型.....36
12 二次污染防治技术要求与措施.....36
附录 1.....38

前 言

为贯彻落实《土壤污染防治行动计划》和《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环境保护部令第 42 号），指导和规范阻隔技术在污染地块风险管控中的应用，制定本指南。

1 适用范围

阻隔技术主要有几方面的功能：⑴）阻断污染土壤与受体的直接接触；⑵）阻止受污染地下水迁移扩散；⑶）阻断污染土壤或污染地下水挥发出的气体扩散。阻隔技术适用于以下情形：

（1）污染地块土壤、地下水或其他环境介质中关注污染物的浓度超过相关标准或风险水平超过可接受水平；

（2）地块上存在关注污染物的潜在完整暴露途径；

（3）与其他措施相比，阻隔技术适用且更经济有效。

阻隔仅能切断暴露路径，限制污染羽迁移，但不能彻底去除污染物质或降低地块上的污染物浓度，不是真正的修复技术。因此，阻隔技术尽管可以单独用于污染地块风险管控，也经常需要与其他修复技术结合使用才能达到修复目标。

2 术语和定义

2.1 疑似污染地块

指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。

2.2 污染地块

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，称为污染地块。

2.3 阻隔技术

采用阻隔、堵截、覆盖等工程措施，控制污染物迁移或阻断污染物暴露途径，使污染介质与周围环境隔离，避免污染物与人体接触和随降水或地下水迁移进而对人体和周围环境造成危害，降低和消除地块污染物对人体健康和环境的风险的技术。

2.4 垂直阻隔技术

阻隔层采用竖向布置的形式，阻断污染介质向周边环境的迁移输送的阻隔技术。包括土-膨润土隔离墙、高压喷射灌浆墙、搅拌桩墙、搅喷桩墙、水泥帷幕灌注浆墙、土工膜墙、渗透反应墙等技术。

2.5 水平隔离层技术

阻隔层采用水平敷设布置的形式，阻断污染介质向周边环境的迁移输送的阻隔技术。包括混凝土水平阻隔、粘土水平阻隔、柔性水平阻隔等技术。

2.6 受体

一般指地块及其周边环境中可能受到污染物影响的人群或生物类群，也可泛指地块周边受影响的功能水体（如地表水、地下水等）和自然及人文景观（区域）等（如居民区、商业区、学校、医院、引用水源保护区等公共场所）。

2.7 暴露途径

地块土壤和浅层地下水中污染物迁移到达和暴露于人体的方式，如经口摄入、皮肤接触、呼吸吸入等。

2.8 蒸汽入侵

表层以下污染土壤和地下水中的挥发性化学污染物经建筑物地基的开口处（例如裂缝或地下室）迁移至上方所覆盖建筑物的室内空气环境中。

2.9 制度控制

也称作活动和使用限制。是指限制人类活动类型或活动区域，减少或阻止人群对地块污染物的暴露，杜绝和防范污染地块可能带来的风险和危害，从而达到利用管理手段对污染地块的潜在风险进行控制的目的。

3 规范性引用文件

本指南引用下列文件或其中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

GB15618　　土壤环境质量标准

GB 3838　　地表水环境质量标准

GB 18599	一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
HJ 25.1	场地环境调查技术导则

HJ/25.2　　场地环境监测技术导则

HJ/25.4　　污染场地土壤修复技术导则

4 阻隔技术概况

4.1 阻隔技术的原理与优缺点

阻隔为施工于污染介质周围的地下沟渠、地墙或地膜所组成的垂直阻隔系统，有时也与地面生态覆盖系统结合。阻隔系统主要有几方面的功能：⑴）阻断污染土壤与人体的直接接触；⑵）阻止受污染地下水迁移扩散；⑶）阻断污染土壤或污染地下水挥发出的气体扩散。早期阻隔技术主要用于防止建设工程外侧土壤坍塌或外围地下水渗入基坑，钢板桩是世界各地普遍采用的阻隔技术。

表 1　阻隔技术的优缺点

优点	缺点
1. 可防止污染物横向或侧向移动扩散。 2. 可改变局部的地下水流模式。 3. 阻止及避免污染土壤与地下水相互接触。 4. 可阻隔污染并保护邻近区域。 5. 常用于出水量大或污染来源复杂的地区。 6. 降低水力传导系数。 7. 可有效缩短治理修复周期。	1. 非处理方式。 2. 设置费用高。 3. 适用于小地块。 4. 有潜在渗漏及移动风险。

4.2 阻隔技术的主要类型及适用性

阻隔技术包括水平阻隔和垂直阻隔两大类。水平阻隔相对简单，这里不再分类。垂直阻隔可分成取代法、挖掘法、注射法等基本类型。各类型特点及适用性见表 2。

1. 取代法：把阻隔系统施工于地下而地面不受大的干扰。其中，钢板桩(steel sheet piling) 是最常用的一种方法。

2. 挖掘法：将土壤挖出，然后用阻隔材料代替原有土壤，即建置一低渗透性的垂直阻隔系统，将其插入土壤甚至更深的不透水层。例如，交叉桩法(secant piling) 是由一系列连锁相邻的桩构成完整的墙；浅层截水墙(shallow cut-off wall) 的建造过程是先用切割机挖出一个足够深的狭槽，然后插入地膜，再用压实的黏

土填充；泥浆沟渠(slurry trench) 的建造过程是先挖一条沟渠，然后用不同材质 混合的泥浆（如皂土－水泥混合，有时还加入挖出的土壤进行混合）进行填充， 形成不同形式的泥浆沟渠，如黏土阻隔系统、皂土－水泥阻隔系统、膜阻隔系统

和混凝土横隔墙等。

3. 注射法：向土壤中注入一定的材料，填充土壤的空隙、孔隙和裂隙，以降低土壤渗透性的过程。注射法形成的垂直阻隔系统包括化学灌浆阻隔、深层土壤混合（通常是皂土和水泥混合）技术、喷射灌浆和喷射混合灌浆等。

4. 其他方法：包括电动力学阻隔技术、地面冰冻、化学阻隔和生物阻隔等。其中，电动力学阻隔技术是指通过控制电荷形成对污染物迁移进行阻隔的系统。地面冰冻也可以形成垂直阻隔系统，用于控制土壤中污染物的迁移。目前，生物阻隔方法也在发展当中。

表 2 不同类型垂直阻隔系统的特点及适用性

类型	举例	适用性	特征
取代法	钢板桩 震动波墙 膜墙	大多数土壤类型，但大石头、岩石或大量废弃物存在或许会影响施工	低 pH 土壤一般对苯和甲苯等污染物具有抗性；钢板桩的地方也需要结构上或机械上的支持
挖掘法	横切堆积墙 浅层切断墙 喷射灌浆 泥浆沟渠 混凝土横隔墙	大多数土壤和岩石类型	应用广泛；需要对阻隔系统的损坏进行处置
注射法	水泥或化学灌浆 喷射灌浆 喷射混合	最好是粒状土壤或破碎的岩石，而黏土或废弃物效果较差	/
其他	地面冰冻 电动力学 生物阻隔 化学阻隔	地面冰冻只在一定颗粒大小的土壤（主要是砂土）上有过成功的实例	在国外受到广泛重视

5 阻隔措施设计的总体要求

5.1 技术准备

首先应通过地块地调查，查明受污染环境介质的性质、程度和范围，确定当前或未来土地用途下潜在的完整暴露途径。

5.1.1 受污染的环境介质

为评价阻隔技术在项目地块上的可行性，应当充分表征受污染环境介质的特征及范围，明确污染物迁移途径及敏感受体，建立地块概念模型。对受污染的环

境介质的描述，除了对污染状况的描述外，还应包括包气带土壤及含水层土壤的性质（如土壤类型、粒径）、地下水单元的特征（例如水力传导率、含水层厚度、孔隙度）等。

5.1.2 潜在的完整暴露途径

通过建立地块概念模型，确定项目地块的潜在的完整暴露途径。包括：⑴划定受污染环境介质的区域；⑵明确污染物迁移的机理和过程；⑶确定潜在的人类受体及风险特征。

5.1.3 确定风险管控目标

阻隔技术的主要原理是切断暴露途径，因此风险管控的目标应基于地块污染状况及暴露途径的分析而确定。

5.2 阻隔技术设计要点及注意事项

设计垂直阻隔系统时应考虑：⑴施工所需的深度；⑵可接受的完整性程度（如初始有效性）；⑶拟安装的阻隔系统与当地环境的兼容性。阻隔系统的类型选取主要应基于既定的风险管控目标和需要切断的暴露途径，确定选用垂直阻隔系统、水平阻隔系统（如地面覆盖系统）等。

垂直阻隔系统主体设计指标主要取决于希望达到的阻止污染物迁移的能力与稳定性，因此需要考虑以下因素：⑴污染物迁移的驱动力和潜势；⑵阻止污染物迁移扩散的能力；⑶系统的设计寿命。其中，驱动污染物迁移的潜势包括：⑴流体静力学作用，即因水压差异产生的迁移；⑵电动力学作用，即由电动势差引起的污染物迁移；⑶化学作用，即由污染物浓度或其他物质浓度不同引起的污染物迁移；⑷热力学作用，即由水温梯度引起的污染物迁移；⑸渗透作用，即由渗透压差异引起的污染物迁移。阻隔成效与以上作用密切相关。

阻隔材料的选择，关键指标是其渗透性。大多数情况下，阻隔材料或阻隔系统与当地环境介质之间需要存在渗透性差异。其次，阻隔材料或阻隔系统的吸附性能也是一个关键的因素。此外，在水分变化引起土壤变干或土壤再饱和条件下阻隔系统的自我修复特性也相当重要。

5.3 切断暴露途径

阻隔措施的目的在于通过切断暴露途径，消除或降低关注污染物的暴露水

平。通过实施阻隔，可以达到：⑴）阻止与受污染环境介质的直接接触（例如皮肤接触）；⑵）阻止关注污染物从受污染环境介质向暴露点的不同位置、不同环境介质或者二者兼有的迁移（例如，从土壤向空气挥发的化学气体）。根据选用的阻隔系统类型不同，一种阻隔措施可以切断一个或多个暴露途径。

本指南重点介绍了切断三种主要暴露途径的阻隔措施：⑴）阻断表层土壤的直接接触；⑵）防止受污染地下水迁移扩散；⑶）阻断深层土壤或地下水中挥发性有机污染物进入周围或室内空气。

5.3.1 阻断表层土壤的直接接触

如果表层土壤受到污染，人类可能通过偶然的摄入、皮肤直接接触或吸入颗粒物的方式接触污染土壤。受污染土壤颗粒可能通过风蚀、园林绿化的浅层开挖、施工或维护活动释放到空气中。主要途径有：⑴）直接接触受污染土壤；⑵）风力驱使土壤颗粒进入空气。阻断直接接触表层受污染土壤的技术案例包括以下几种情形：沥青路面、混凝土路面、柔性膜衬垫、清洁土壤覆盖、植被覆盖和石子覆盖等。

5.3.2 阻止受污染地下水迁移扩散

在地下水受到污染的地块，实施阻隔可以阻止受污染地下水的迁移扩散。在有已有建筑物存在的地块，还可以阻止受污染地下水对地下建筑或设施造成破坏。防止受污染地下水迁移扩散的阻隔措施包括：渗流屏障、拦截井或沟渠、泥浆墙和可渗透性反应墙。阻止受污染地下水对地下建筑或设施造成破坏的阻隔措施包括密封设施线、基础或设施接缝等。

5.3.3 阻断深层土壤或地下水中挥发性有机污染物进入周围或室内空气

污染地块如开发成居住用地，深层土壤或地下水中挥发性有机污染物挥发产生有毒有害蒸汽进入周围或室内空气，人体可能会通过呼吸暴露途径吸入从土壤或地下水中挥发出来的污染物。通过实施阻隔措施，设置气体屏障可以阻断环境或室内空气中的污染物暴露。气体屏障能够阻止：⑴）气体从受污染土壤或地下水中迁移到周围空气中；⑵）气体从地下室、地基、坑、地下管线、地下走廊等路径进入室内空气。用于控制吸入周围或室内空气的措施包括：封闭气体进入路

径、设置被动气体屏障、建立增压系统和主动土壤减压措施等。

5.4 设计寿命

阻隔系统设计的运行和维护时间应不小于：⑴）预测的不可接受风险的持续时间；⑵）预计的地块或特定土地利用结构的持续时间。决定设计寿命的其他因素还有建筑材料性能、成本效益分析和政策相关要求等。

5.5 设计说明

设计说明应明确设计、施工、监测和维护的一般标准，应提供足够的细节以确保阻隔措施达到既定的性能标准。

（1）设计的基本资料

设计说明应提供地块现状及未来土地利用的基本信息。

（2）有效范围和边界确定

应说明阻隔措施的物理边界。标记边界的材料可以使用土工织物、水平塑料栅栏、水平金属网、网格状的警示胶带或其他惰性材料。也可以在边界处张贴标记，记录阻隔措施施工位置和施工细节，必要时可提供图纸作为参考。

（3）设计组件

应当对阻隔措施的所有组成部分进行详细说明，包括每个部件的设计、施工、运行和维护说明等。

（4）尺寸和材料规格

应当说明每个设计部件的尺寸规格、材料强度、耐久性、耐腐性和化学相容性等。

（5）处理系统

如果阻隔系统涉及主动的处理措施，如土壤气体或地下水处理系统，设计说明中应明确相关设计、设备和操作流程。如果处理系统在污染地块开发或再开发前已经存在，除非可以证明阻隔措施能更有效地阻止受污染环境介质的暴露。否则应当继续保持土壤气体或地下水处理系统的运行，确定不用后再行拆除。

（6）施工说明

阻隔措施的施工说明应指定安装方法和安装过程中的质量控制或质量保证措施。安装前应当对准备安装阻隔系统的相应区域进行清理，如地表覆盖物的清除和平整等。

（7）资料准备

施工过程中应做好与施工情况一致的图纸或其他书面记录，以记录阻隔措施实施的详细情况。

（8）监测与维护

设计说明中应当说明阻隔措施的运行与维护要求、监测方法和监测频次，以确保达到最佳的阻隔效果。应包括：①整个阻隔措施运行期间监测频次的变化；②在监测与维护期间获得的数据或信息的基础上，对监测频次进行评价和必要调整，如遇突发事件（例如洪水和地震）应进行非常规检查以核实系统性能。

6 阻隔措施的施工

阻隔措施的施工质量非常重要，直接关系到阻隔措施的效果。施工过程应提出质量控制与质量保证计划，落实各个环节的质量控制与质量保证措施，确保阻隔措施完全按照设计说明实施。

7 阻隔措施的监测与维护

7.1 监测要求

阻隔系统需要长期运行，因此需要开展跟踪监测，证明阻隔系统达到设计目标的最初性能，并确保阻隔系统在污染地块开发后效果得以持续。

7.2 定期监测

为了评估阻隔措施的运行状况和主要性能，需制定定期监测计划，包括：视觉检查、物理测量、采样和测试。监测的种类与频次取决于阻隔系统的类型。有些情况下，主动控制可能会比被动控制措施需要更频繁的监测和详细检查。阻隔效果监测要求如表 3。

表 3 阻隔效果监测要求

项目	标准
地下水水质	地下水下游至少设置 3 口监测井
地下水水位	阻隔系统内外设置水压计

7.3 维护

阻隔系统需要长期运行，因此需要对系统进行长期维护。如果定期监测结果表明阻隔措施未能达到预期效果，就需要进行修理或更换，如更换表层土壤、密封沥青裂缝、植被类型和表层覆盖材料等。

7.4 阻隔效果的评价

阻隔措施的效果应当在定期监测结果的基础上进行评价。如果阻隔措施未能达到预期效果，需要调整风险管控技术，或调整风险管控目标及地块开发计划。

8 针对污染土壤阻隔的设计施工及维护

8.1 简介

阻隔措施可以减少或消除表层、深层土壤中关注污染物暴露产生的环境风险。针对污染土壤的阻隔主要阻断皮肤直接接触、偶然摄入污染土壤或吸入污染土壤颗粒物等暴露途径，目的在于控制表层土壤扬尘和控制残留污染物向地下水迁移。

8.2 风险管控目标及现有技术

对于污染土壤来说，阻隔措施主要通过阻断以下暴露途径降低或消除人体健康风险：⑴）防止人体与污染土壤的直接接触；⑵）防止污染土壤的偶然摄入；（3）防止土壤颗粒物以扬尘形式进入空气。典型的阻隔措施应具备结构要素或厚度要素，或二者同时具备。结构要素主要依赖其固有的物理强度使人体与污染土壤的直接接触最小化，其类型有沥青路面、混凝土路面、建筑板及其他地基类型。厚度要素主要依赖材料的厚度、深度或体积特征减少人体与污染土壤的直接接触，主要类型有压实的粘土、绿化措施及清洁土壤等。目前相关文献中提到的污染土壤阻隔措施也称之为工程屏障、工程覆盖等，其中工程屏障指沥青、混凝土等结构元素，工程覆盖指厚度元素。

8.3 设计与建设注意事项

8.3.1 简介

除了阻隔系统设计与建设的一般技术要求，污染土壤阻隔措施的设计与建设还应考虑土地的最终利用类型如污染地块再开发利用为停车场、公园、道路等情形，阻隔系统应与开发建设合理衔接。

8.3.2 设计的基础信息

阻隔措施的设计首先需要对污染地块的表层土进行特征描述。设计所需的基础信息包括地块特征（如土壤类型、现有建筑物、地形地貌等）及土壤关注污染

物的浓度与性质等。地块调查应该描述土壤污染的水平及垂直分布范围。需考虑阻隔材料与关注污染物的化学相容性，选择合适的阻隔措施材料类型，确保控制措施安装后不易发生降解或不良反应。

8.3.3 有效区域与边界定义

地表阻隔措施的范围应当完全覆盖关注污染物浓度超过可接受风险值水平的区域。在边界确定时要考虑取样点的数量、数据变化性以及需要实施风险管控的范围。

8.3.4 设计组成

表层污染土壤的阻隔措施在某种程度上是一种建筑物。与建筑物的物理要素一样，阻隔措施的设计主要需考虑：①结构完整性的最小化；②合理的设计寿命；③适度维护。在设计过程中可能使用多种阻隔措施阻止多个暴露途径。比如某污染地块中暴露途径除了皮肤直接接触土壤外，还存在土壤扬尘的吸入，就需要混凝土地板、弹性膜衬层、地下气体收集系统或者土壤覆盖层结合使用以减少或消除两条暴露途径带来的风险。常见的阻隔措施如下。

（1）沥青路面、沥青屏障或沥青混凝土

沥青是成层铺设并利用专门建筑设备进行混合的分级砂卵石与液体沥青的混合物。沥青可分厚层（大于 5cm）和薄层（2.5-5cm）。厚层沥青可直接铺设在自然地面上。薄层沥青一般需铺设在更为粗糙的粒料层之上。

（2）混凝土路面

混凝土是分级砂卵石与水泥液体的混合物。混凝土通常用于建造水泥板或道路，一般铺设在厚度为几厘米的砂子或碎石层上。通常加入铁丝网、钢筋或其他掺合料防止初期固化及后期塑性收缩、干燥收缩、热裂解等造成的裂缝。表面混凝土板应加入空气吸附添加剂以减少严寒及霜冻天气造成的表面腐蚀。

（3）弹性膜衬层（FML）

FML 是一种渗透性较差、厚度较小的可阻止气体和液体迁移的人工合成膜。FML 可以从加工材料的卷轴上直接铺设或喷洒在半柔性层上以达到固化目的。FML 以碳氢化合物为基础、具有广泛的化学兼容性。广泛应用的 FML 包括 PVC(聚氯乙烯)、PCE(聚乙烯)，HDPE(高密度聚乙烯)等。FML 卷轴式铺设需要特殊的缝合设备来密封边缘，而喷洒式 FML 能形成无缝膜衬层。FLM 卷轴式铺

设的厚度较为一致，任何一种铺设方式都需要经验丰富的施工人员进行操作。由于 FML 本身无结构强度，通常与一种结构元素联合使用。另外在 FML 上还应铺设一层能抵抗紫外线辐射的覆盖层。

（4）清洁土覆盖层

清洁土覆盖层由高渗透性的砂砾石与低渗透性的粘土组成。在阻隔措施设计阶段应该进行渗透性评估。覆盖层厚度主要取决于阻隔措施的预期目的，如果风险管控目的主要是减少皮肤接触或直接摄入土壤污染物，覆盖层的厚度应该达到业主、孩子、园丁等很难进行手挖的程度，土层材料不必进行分级。通常在阻隔措施的顶层增加可减少腐蚀的覆盖层，此层的土壤称之为顶层土，顶层土中应富含可促进植物生长的天然有机质。

（5）石头覆盖

石头覆盖是一种由小型石料或回用混凝土组成的隔离皮肤直接接触污染土壤的被动控制方式。这种方式适用于干旱条件下阻止污染物的暴露和腐蚀。

8.3.5 规模和材料规格

表层阻隔可以设置厚度为 0.6-0.9m 的土层，或者设置一种结构元素（沥青或混凝）。另外，阻隔措施不能存在过多的开口或非均质性物质。

（1）规模

表 4 介绍了表层土壤阻隔措施的规模要求及一般设计注意事项。

（2）土壤性质

采用的土壤性质需考虑土地再开发利用计划。用于景观美化的顶层土能提供有利于植物生长的覆盖层，若覆盖层成分为未分类的干净土及石头，则该覆盖层可维持阻隔结构的稳定性并限制污染接触。

（3）土壤层厚

与污染土壤接触的土层厚度一般设定为 91.4cm，这是因为与沥青或混凝土相比，土壤相对容易移动或穿透。对于石油类碳氢化合物来说，小于 91.4cm 厚度的土壤层就能有效减少土壤蒸汽的挥发。部分管理机构认为小于等于 76.2cm 的土壤厚度也可以接受。设计元素的最小结构完整性必须加以考虑，比如 5cm 厚的混凝板能有效减少直接接触带来的风险，但如果作为结构单元来考虑就不能保证其有效性。因此在考虑预期使用、设计寿命及有效维护时，要求混凝土厚度

至少为 7.6cm。

（4）其他注意事项

在选择阻隔措施时需要考虑的其他事项包括：下覆层（垃圾堆、软土）带来的控制层沉降、地震条件、冰冻深度、径流和腐蚀控制、坡度较大（大于 1/3）、与有毒下覆材料的兼容性和下覆材料散发的气体管理。

表 4 受污染土壤阻隔措施的一般设计注意事项

阻隔措施	暴露途径			达到控制目标需要的厚度 B	备注
	直接接触	蒸汽吸入	由土壤向地下水渗透		
1.沥青	P	S	S	2.5-6.7cm 沥青层，下层为 10-15cm 的基底层；或 10-15cm 全深度沥青	需要充足的底基层
2.混凝土	P	S	S	7.6-10cm 混凝土层，下层为 10-15cm 基底层	需要充足的基层
3.弹性膜衬层 FLM	S	P	P	FML 衬层与结构单元结合	必须与结构单元结合
4.土壤覆盖层					
粘土	P	P	P	45.7-91.4cm	低渗透性（小于等于 1E-06cm/s）
未分级干净土	P	S	—	45.7-91.4cm	土壤由粘土-砂土组成（渗透性 1E-03~ 1E-06cm/s）
未分级干净土	P	P	S	91.5-152.4cm	土壤由粘土-砂土组成（渗透性 1E-03~ 1E-06cm/s）
植物生长层	P	S	—	45.7-91.4cm	土壤可能含有机表层土
植物生长层	P	P	S	91.4-152.4cm	土壤可能含有机表层土
石头覆盖层	P	—	—	45.7-91.4cm	一般孔隙度较大，渗透性较好的材料（<1E-03cm/s）

注：P 表示主要控制目标，S 表示次要控制目标，—表示无合适的控制措施；B 所列数值表示在设计、规范限制前提下的规模。

8.3.6 处理系统

部分阻隔措施如植物修复或湿地处理系统可用来处理残留污染组分，这些处理系统需要进行专门的设计。

8.3.7 施工规范

施工规范可直接指导地表及地下工程控制措施建设，建设的的工业标准可以验证其结构质量。影响阻隔措施有效性的关键因素包括路基预备、两种不同屏障或覆盖层间的连接。

（1）路基预备要求

阻隔措施等级必须能够支持设计元素。在进行阻隔措施前，要进行地块清理及植物清除。路基面要划分到建设要求的等级界限内，等级划分时要考虑是否存在污染土壤以避免污染扩散，对于软、湿路基来说要加强路基强度，并注意监测凹陷现象；如果软、湿路基凹陷现象严重，则需要移除、替代或压实湿软部分。

（2）两种不同控制措施的联合使用

为保证两个元素间的充分衔接，必须充分考虑两种不同控制措施的连接问题。例如，在某污染地块沥青和混凝土控制措施相邻区域，为保证沥青形成一个稳定的、直线特征，必须首先铺设混凝土层；为减少潜在腐蚀性及维护事项，要增加土壤覆盖层或者土壤屏障；播种、铺草皮或其他种植都有助于减少表面侵蚀以及维护活动。阻隔区域与相邻区域间的逐步过渡要纳入建设过程，如超过阻隔覆盖区域的地表要逐步回降至原高程。

8.3.8 文件材料

用户需要提交竣工图或者与建设记录相符的图件。文件包括：阻隔措施建设前后的地面坡度、阻隔措施照片、沥青和混凝土物理性质试验、阻隔措施的位置与面积等。在未来土地使用权发生变化时，污染地块阻隔措施的建设与维护相关情况应当同时通知新的土地使用者。

8.4 性能监测

在控制措施设计寿命的整个阶段都要维护其完整性，因此需要定期进行监测与维护，并将其作为土壤阻隔设施性能评价的重要资料。

8.5 维护和操作事项

土壤阻隔措施的例行检查是常规维护计划的重要内容。例如，阻隔措施交接处容易产生较大裂缝或缺口，使得其预期性能大打折扣，这种情况下就需要对阻隔系统进行维护，如使用与阻隔措施相容的联合封口机来修复裂缝或缺口。弹性膜衬层的完整性是保证控制措施性能的重要因素，因此破损的弹性膜衬层要及时更换。

土壤阻隔措施维护活动要遵守职业安全与健康管理部门及相关地块风险管理要求。地块巡视员和建设工人是安全维护工作的重点。表 5 总结了监测频率及典型维护活动。

表 s 污染土壤阻隔措施的性能监测与维护

覆盖层类型	典型设计寿命 A	监测频率 B	纠偏限度	典型维护活动
1．沥青	10-15 年	一年一次	宽裂缝或广泛的裂纹分布	裂缝闭合修复
2．混凝土	20-30 年	两年一次	宽裂缝；结合处裂开	更换密封剂、水泥浆或裂缝修补
3.弹性膜衬层 FLM	50-100 年 C	一年一次	FML 上层土壤扰动；结构元素分级沉降	更换土壤、破损 FML；纠正引起等级沉降的条件
4．土壤覆盖层				
粘土	20 年 D	半年一次	腐蚀严重	修复裂缝或腐蚀凹槽
未分级干净土	20 年 D	半年一次	腐蚀严重	修复裂缝或腐蚀凹槽
未分级干净土	20 年 D	半年一次	腐蚀严重	修复裂缝或腐蚀凹槽
植物生长土	20 年 D	半年一次	腐蚀严重，植物生长缓慢	修复裂缝或腐蚀凹槽；重新评估植物类型并重植
石头覆盖层	15 年 D	半年一次	沉降造成裂口或部分地方覆盖层稀疏或下覆土层分级沉降	添加填充物质

注：A 典型设计寿命包括例行常规检查及维护活动；实际设计寿命要大于此值。

B 监测频率、纠偏限度要与实际地点、气候、土地后续利用及土地未来使用程度相关。

CFML 的设定寿命为 30 年，因此可预计最少 50 年的设计寿命。

D 尽管石头覆盖层的设计周期为 50 年，但其维护寿命大约为 15 年。

9 针对地下水污染阻隔的设计施工及维护

9.1 简介

受污染地下水如果不采取风险管控措施，污染物会逐渐迁移、扩散。当水位上升或者地下水通过地基渗入时，受污染地下水还会对土地、现有建筑、新建筑产生影响。如果地下水位持续较高，建筑开挖活动可能也会接触污染地下水。当地下水进入地下结构、雨水滞留池或其他设施中，污染地下水可能被人接触到如偶然摄入或直接接触。受污染地下水还会造成财产损失（如地下水污染物造成光缆线路破坏）。本章将介绍几种有效减缓污染地下水迁移扩散以及对地下建筑及设施造成影响的技术。

9.2 风险管控目标及现有技术

9.2.1 预期目标

采取有效的阻隔措施可避免受污染地下水迁移扩散或进入地下结构、雨水滞留池或其他设施中。

9.2.2 现有技术

可用技术包括：①在建筑物或其他设施中设置屏障或密封；②在地下水含水层中设置拦截器或截留系统。本章重点介绍的阻隔措施包括渗流屏障、密封公用线路、拦截墙或沟渠、泥浆墙以及可渗透反应墙（PRB）。

（1）渗漏屏障

非渗透幕墙或土工或粘土衬垫 GCL 可以防止污染地下水渗滤到地基中。无论是否受到污染，地下水或雨水径流通过地基墙的渗漏对建筑物地基会造成很大的影响，渗漏原因包括：坡度、高梯度滞水、持续洪水。

（2）密封公用线路

使用不同的液体或膜密封剂封闭可导出污染地下水、雨水等的公用线路、沟渠或拱顶室。公用线路如路基电线及通信线路（电缆、电话、网络等）一般密封在金属或混凝土拱顶室中，以防止土壤、地下水渗透；电力拱顶室如路基变压器拱顶室一般都是浇筑混凝土地板、钢筋混凝土或混凝土砌块墙、混凝土或钢筋天花板并至少有一个出口的封闭房子。在长期降雨、土壤腐蚀或污染物（降解线路或拱顶室）作用下，上述建筑可能发生倒塌，甚至会将污染地下水或雨水导向附

近建筑或地下拱顶室中。

（3）拦截墙或沟渠

在潜在风险受体的上游设置永久地下水修复井或沟渠，对污染地下水进行截留。地下水修复井是利用抽水法截留关注污染物，而沟渠法是将污染地下水导流到无风险受体的区域。

（4）泥浆墙

泥浆墙是指在污染羽周围挖掘后回填后，由惰性、渗透性较差物质构成的深、窄墙体。泥浆墙作为拦截屏障，限制污染地下水迁移或将污染地下水流途径偏离建筑物地基。通常情况下泥浆墙开挖至非渗透基岩层中，泥浆一般是在中心工厂混合，然后通过水泥搅拌车运到地块，或者在现场混合。

（5）可渗透反应墙（PRB）

PRB 是一种被动的原位污染地下水修复技术，可以转移或容纳污染地下水。通过开挖回填具有生物或有机反应性的渗透或半渗透反应介质，使得 PRB 中的微生物、氧化性或还原性物质能降解地下水中的有机污染物。另外，添加其他介质或添加剂也可提高 PRB 效率。

9.3 设计与建设注意事项

9.3.1 设计基本信息

为评估可用的污染地下水控制技术，首先需要了解地块特征、环境介质中关注污染物浓度及其性质等基本信息。地块特征可采用适当的修复调查方法进行描述。选择及设计污染地下水风险控制措施需要的信息如下：

（1）场区浅层地层

首先要详细调查地块土壤、地下水含水单元情况等，包括土壤剖面、基岩地质分析、土壤渗透性试验、水力传导系数及地下水水位波动情况（监测降雨或潮汐对地下水水位标高及水流的影响）。地块的地理物理特征会影响渗滤屏障的类型及有效性。

（2）关注目标污染物

需要调查土壤或地下水中关注污染物类型及其浓度，保证建设材料不会发生降解或不良反应。地块调查应该描述地下水或土壤中污染物分布情况。

（3）中试试验

中试试验有助于渗滤墙或其他技术设计，以保证建设材料能达到预期目的，并对控制措施性能加以评估。另外如果必要的话，中试试验结束后装置可以全部去除以恢复初始地块条件。

9.3.2 设计概况

对目前可用技术（如渗滤墙、封闭公用线路、截留墙及沟渠、泥浆墙和PRB）进行阐述，并介绍了每种技术的可用性及与污染地下水风险控制措施相关信息。

9.3.3 渗滤屏障

（1）有效区域及边界定义

渗滤屏障可以接触建筑物低于水准面的部分及其他潜在风险受体，污染地下水在通过屏障截面时才发挥其控制效率。竣工图、建设相关的图纸、渗滤屏障位置及建设相关的描述记录都有助于定义有效边界，同时需要标记地块下存在泥浆墙。

（2）设计组成、规模、材料及安装要求

渗滤屏障由非渗透墙或膜组成，将污染地下水导流绕过建筑物水准面下部。考虑到天气原因或潮汐对地下水流影响，渗透屏障通常低于建筑物地基。渗透屏障还可以与前面提到的技术结合使用以提高控制效率，如果根据 ASTM 或其他工程标准安装，渗滤屏障至少可运行十年；同样还可以结合排水沟、沟渠等其他技术加快污染地下水导流。渗滤屏障类型（安装方法、结构组成及屏障规模）因地而异。 目前可用的渗滤屏障包括：

a）幕墙—幕墙包括各种固体、填埋材料，如耐腐蚀钢板或预制混粘土/膨润土平板。反应屏障也可以幕墙的方式进行原位浇筑，这种类型的反应屏障只能沿直线安装，并且距建筑物要足够远且无建筑施工活动。

b）膜—单层防水膜的安装需要一层非渗透膜的粘附以防止污染地下水入侵。这层膜类似于用于控制垃圾填埋场渗滤液的土工合成膜衬层（丁基合成橡胶、乙烯丙烯二烃 EPDM），用强力防水胶水将这层膜一般粘附在地基墙的外面，其运行时间可达几十年。

（3）处理系统

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/935344104123011241