

**《重金属污染地块土壤阻隔技术规范》
(征求意见稿)**

编制说明

标准编制组

二〇二四年十月

目 录

1 工作简况	1
1.1 任务来源	1
1.2 编制必要性	1
1.3 主要工作过程	2
1.4 标准主要起草人和起草单位	3
1.5 国内外相关标准研究	3
2 标准编制原则和确定主要内容的论据	5
2.1 标准编制原则	5
2.2 标准参考资料	5
3 确定标准主要内容	6
3.1 标准的主要内容	6
3.2 标准的适用范围	6
3.3 标准的内容框架	6
4 标准条款说明	7
4.1 范围	7
4.2 规范性引用文件	7
4.3 术语和定义	8
4.4 工作流程	10
4.5 阻隔技术设计	11
5 阻隔技术设计	11
5.1 资料分析与现场踏勘	11
5.2 阻隔技术的应用条件	11
5.3 阻隔措施的设计要点	14
4.6 阻隔技术实施	17
6.1 阻隔技术施工要点	17
6.2 阻隔施工质量控制	17
4.7 阻隔监测与维护	18
7.1 监测原则	18
7.2 定期监测	18
7.3 维护要求	20
4.8 阻隔效果评估	21
8.1 阻隔效果分析	21
8.2 评估报告编制	21
5 标准推广应用的建议及预期效果	23
5.1 推广应用的建议	23
5.2 预期效果	23
6 其他应说明的事项	23
7 参考文献	23

《重金属污染地块土壤阻隔技术规范》

编制说明

1 工作简况

1.1 任务来源

为贯彻落实《中华人民共和国土壤污染防治法》，切实做好土壤污染风险管控和修复管理工作，保障人居环境安全，根据《中华人民共和国环境保护法》、《国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知》（国发〔2016〕31号）、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（原环境保护部令第42号）、《辽宁省建设用地土壤污染风险管控和修复管理办法（试行）》、《污染地块环境管理办法（试行）》等有关法律法规和标准通知的规定，在“东北遗留场地重金属污染防治与安全利用技术体系构建（2020YFC1806404）”研究基础上，结合辽宁省重金属污染地块的治理需求，中国科学院沈阳应用生态研究所承担了《重金属污染地块土壤阻隔技术规范》标准的编制工作。

本标准规定了重金属污染地块阻隔技术的应用对象、基本原则、工作程序及要求。

1.2 编制必要性

随着城市化进程加快和产业结构调整政策的实施，我国由工业企业搬迁而废弃遗留下来的“棕地”超过 50 多万块，成为许多大中城市土地资源安全再利用的限制因素。由于长期以来粗放的环境安全管理模式、无序的工业废水排放或泄漏及金属渣的堆放导致了大量的重金属污染场地，场区内及周边土壤与地下水污染严重，已对食品安全、饮用水安全、区域生态环境、人居环境健康、经济社会可持续发展甚至社会稳定构成了严重威胁与挑战，场地汞、铬、镉、铅和砷等重金属污染情况日益严重^[1]。

20 世纪以来，重金属污染已遍布全球各个国家及地区，对全球经济的综合影响预估每年超过 100 亿美元。在全球 1000 万个土壤污染点中，50%为重金属污染，超 2000 万公顷的土地受到 As、Cd、Cr、Hg、Pb、Cu、Ni、Zn 等污染，且高溶解性的重金属易在土壤、水体等多介质中迁移转化，造成大面积的土壤和地

下水污染^[2]。自 2016 年国务院发布了《土壤污染防治行动计划》以来，我国各省市已开展重金属污染地块超修复超过 1000 个^[3]。

东北老工业基地的发展历程造就了现有特定的经济、社会和自然环境条件，制约了污染地块治理与修复的进一步发展。特定条件具体表现为：（1）经济条件低迷，老工业基地整体经济发展失速，财政状况堪忧，难以支持大规模的土壤修复工作；（2）开发需求不迫切，由于人口外流严重，房地产开发带动的污染地块治理也日渐式微，导致土壤污染治理的驱动力不足；（3）气候条件制约，全年可用于土壤污染治理的有效时长较短，导致修复费用相对较高。在现有特定条件下，以地块风险可控为目的，以风险管控措施为手段，尤其是阻隔技术，是切实解决东北污染地块治理与开发利用的关键。

污染地块常规治理中，普遍采用地块内污染土壤彻底清除或达到修复目标。但是，现阶段东北地区经济社会难以支撑大规模的地块污染土壤修复，从而导致大量规模较大的污染地块搁置，未进行治理和后续开发利用。如何通过准确把握地块的污染程度，科学分析风险暴露途径，选择适宜阻隔技术，包括阻隔方式、阻隔材料、施工设计与验收要求，从而形成东北重金属污染地块风险管控的阻隔技术规范，是弥补当前历史阶段的污染地块治理空白，促进污染地块后续开发的重要支撑。

1.3 主要工作过程

（1）编制组成立与前期调研

2020 年至 2024 年，中国科学院沈阳应用生态研究所承担了国家重点研发计划“东北遗留场地重金属污染防治与安全利用技术体系构建（2020YFC1806404）”课题，在此基础上，结合辽宁省重金属污染地块治理需求，确定了标准目标和内容，成立了标准编制组。

（2）标准立项

预期 2024 年 4 月，向辽宁省环境科学学会申请立项。

（3）中期审查

2024年9月，召开《重金属污染地块土壤阻隔技术规范》团体标准中期技术评审会。

(4) 终期审查

2024年10月，召开《重金属污染地块土壤阻隔技术规范》团体标准终期技术评审会，形成征求意见稿。

1.4 标准主要起草人和起草单位

本标准起草单位：中国科学院沈阳应用生态研究所。

本标准主要起草人：吴波、程凤莲、张猛、张玲妍。

1.5 国内外相关标准研究

1.5.1 国外相关标准研究

针对污染地块/土壤的治理，20世纪80年代，美国国会通过了《环境应对、赔偿和责任综合法案》（俗称“超级基金法案”），总结修复工程经验，形成一套完整的场地调查、环境监测、健康风险评估和场地修复标准管理体系。国际上其他国家多数是针对污染场地或污染土壤的管理，发布了相关的管理要求或技术导则较多，具体技术标准或规范相对较少。以加拿大、美国和丹麦为例，说明一下污染土壤修复技术导则的重点。

(1) 美国的技术导则主要侧重于对具体修复技术的阐述。美国新泽西州的《污染土壤修复导则》（Guidance Document for the Remediation of Contaminated Soils, 1998年）将土壤修复技术分为四类，即挖掘、污染土壤处理技术、土壤再利用、限制和控制暴露，分别阐述了每一类修复技术的引言、亚分类、关键技术、参考文献等。

(2) 加拿大的技术导则也是侧重于对具体修复技术的阐述。加拿大的《场地修复技术：参考手册》（Site remediation technologies: a reference manual, 1997年）将场地修复技术分成五大类，即原位处理土壤和地下水、处理抽提的地下水、溢出气体处理、原位控制土壤和地下水及异位处理挖掘的材料，分别阐述每一类修复技术的亚分类、注意事项、成本分析等。

(3) 丹麦的技术导则侧重于土壤修复的过程。丹麦的《污染场地修复导则》（Guidelines on Remediation of Contaminated Sites, 2002年）主要关注土壤修复

过程，并将该过程分为初始调研、场地调查、风险评估、土壤、空气和地下水质量标准、报告、设计、修复措施及操作和评估 8 个阶段。

1.5.2 国内相关标准研究

阻隔是污染地块风险管控的常用技术之一，是通过铺设阻隔层阻断土壤介质中污染物的迁移扩散的途径，使污染介质与周围环境隔离，避免污染物随自然环境变化与人体接触进而造成危害。该技术并不能彻底去除污染物，而是对污染物可能产生潜在风险的管控措施。

2017 年，生态环境部为规范阻隔技术，曾发布了《污染地块风险管控技术指南—阻隔技术（试行）（征求意见稿）》（环办土壤函〔2017〕1787 号），规定了阻隔设计、施工、运维等普适性的技术要求。2022 年，广东省环境保护产业协会的团体标准《重金属污染风险管控地块安全利用物理阻隔技术指南》（T/GDAEPI 09—2022）正式发布，从物理阻隔层的构成角度出发，其他引入了混凝土阻隔层、黏土阻隔层、碎石阻隔层及土工膜复合阻隔层等物理阻隔层，给出了以上物理阻隔工程在设计、衔接、实施过程的相关参数及工程验收、后期管理的建议。

由于阻隔是一项长期的工程措施，其安全性十分重要。上述标准中提到的阻隔虽然可以从物理空间上隔离重金属，但物理阻隔层渗透系数的稳定性直接影响了长期阻隔效果。对于高浓度重金属污染土壤，为了确保阻隔效果和地块的后期风险可控，国内研究团队研发了物理-化学复合的阻隔技术，支撑了阻隔技术适用性、工程参数、后期监管等要点的进一步规范化。

2 标准编制原则和确定主要内容的论据

2.1 标准编制原则

本文件编制过程遵循下列基本原则：

（1）本标准制定应符合《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写规则》（GB/T1.1-2020）中相关要求和规定。

（2）以规范重金属污染地块阻隔措施的设计、实施、监测、维护与效果评估，并促进污染地块的风险管控；以国家现行的相关法律、法规、政策以及技术标准、规范、导则和指南为依据，避免冲突；通过制定和实施标准，促进社会效益与环境效益的相统一。

（3）结合我国具体国情，编制完成本文件。

2.2 标准参考资料

本文件规定的内容均符合国家相关政策和法律法规。本标准引用的文件为现行有效的国家标准、建设用地系列土壤生态环境标准及相关环境行业标准。其中，《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2）、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3）、《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6）、《地下水环境监测技术规范》（HJ 164）、《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）、《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ 194）是本标准编制的重要参考依据。

重金属污染地块污染阻隔的研究成果，主要是针对地块中不同种类重金属、污染浓度、水文地质条件与未来开发利用场景，基于不同应用场景暴露模型和风险评估结果，根据不同类型（垂直/水平、物理/化学/物理-化学）阻隔技术的适用范围，以风险控制为目标，开展阻隔措施的设计、阻隔技术实施、阻隔监测与维护、阻隔效果评估。

3 确定标准主要内容

3.1 标准的主要内容

本标准主要是针对地块中不同种类重金属、污染浓度、水文地质条件与未来开发利用场景，基于不同应用场景暴露模型和风险评估结果，根据不同类型（垂直/水平、物理/化学/物理-化学）阻隔技术的适用范围，以风险控制为目标，开展阻隔措施的设计、阻隔技术实施、阻隔监测与维护、阻隔效果评估。

阻隔措施的设计包括前期技术准备、设计要点和设计寿命要求。阻隔监测与维护是在阻隔建设完成后，根据监测原则，进行监测布点，明确监测指标，并开展后期维护。在监测基础上，通过阻隔效果分析，编制效果评估报告，并制定管理对策。

3.2 标准的适用范围

标准拟定之处即明确，《重金属污染地块土壤阻隔技术规范》按团体标准制定。本文件适用于污染地块原位修复工程或风险管控工程中重金属污染土壤的阻隔。污染地块原位修复工程或风险管控工程中重金属污染土壤的阻隔可根据工程设计要求参考执行。本文件不适用于挥发性或半挥发性有机污染与重金属复合污染土壤、放射性污染土壤和致病性生物污染土壤。

3.3 标准的内容框架

在《重金属污染地块土壤阻隔技术规范》拟定初期，经研讨，认为本标准应基于阻隔类型和方式的差异性和适用性，针对污染地块土壤中重金属污染程度和水文地质条件组成的多样应用情景，以阻隔设计要求、阻隔监测维护、阻隔效果评估为等内容为规范重点，以突出本标准的实用性和先进性。本标准文件主要包括范围、规范性引用文件、术语和定义、工作流程、阻隔技术设计、阻隔技术实施、阻隔监测与维护、阻隔效果评估共8章内容，以及附录A。

4 标准条款说明

4.1 范围

【文本内容】

1 范围

本文件规定了重金属污染地块阻隔技术的工作流程、阻隔技术设计、阻隔技术实施、阻隔监测与维护、阻隔效果评估。

本文件适用于污染地块原位修复工程或风险管控工程中重金属污染土壤的阻隔。污染地块原位修复工程或风险管控工程中重金属污染土壤的阻隔可根据工程设计要求参考执行。

本文件不适用于挥发性或半挥发性有机污染与重金属复合污染土壤、放射性污染土壤和致病性生物污染土壤。

【编制说明】

基于上述，主要从重金属污染地块的风险控制角度出发，详细规定了重金属污染地块阻隔技术的应用对象、基本原则、工作程序及要求。明确了本标准的适用范围，即适用于污染地块原位修复工程或风险管控工程中重金属污染土壤的阻隔。污染地块原位修复工程或风险管控工程中重金属污染土壤的阻隔可根据工程设计要求参考执行。本文件不适用于挥发性或半挥发性有机污染与重金属复合污染土壤、放射性污染土壤和致病性生物污染土壤。

4.2 规范性引用文件

【文本内容】

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 36600	土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
HJ 25.2	建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
HJ 25.3	建设用地土壤污染风险评估技术导则
HJ 25.5	污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）
HJ 25.6	污染地块地下水修复和风险管控技术导则
HJ 164	地下水环境监测技术规范
HJ/T166	土壤环境监测技术规范
HJ 194	环境空气质量手工监测技术规范

【编制说明】

本标准引用的文件为现行有效的国家标准、建设用地系列土壤生态环境标准及相关环境行业标准。本标准文件主要参考了《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2）、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3）、《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6）、《地下水环境监测技术规范》（HJ 164）、《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）、《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ 194）。

4.3 术语和定义

【文本内容】

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

重金属 Heavy Metals

本文件中的重金属主要包括铅、镉、锌、铬、铜、镍等非挥发性重金属及类金属砷，重金属污染是指上述单一重金属或者多种重金属共存的污染。

3.2

重金属污染地块 Heavy Metal Contaminated Sites

按照国家技术规范确认土壤中重金属超过有关土壤环境标准或风险超过可接受水平的

建设用地地块。

3.3

阻隔技术 Barrier Technology

采用阻隔、覆盖、堵截等工程措施，控制重金属迁移或阻断重金属暴露途径，使重金属污染介质与周围环境隔离，避免重金属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，降低和消除地块重金属对人体健康和环境的风险的技术。

3.4

物理阻隔 Physical Barrier

采用物理材料构建阻隔层，控制重金属迁移或阻断重金属暴露途径，使重金属污染介质与周围环境隔离，阻碍重金属的迁移扩散。物理材料包括但不限于水泥、粘土、人工复合材料等，并不与重金属发生化学反应。

3.5

化学阻隔 Chemical Barrier

采用化学材料构建阻隔层，控制重金属迁移或阻断重金属暴露途径，使重金属污染介质与周围环境隔离，化学材料包括但不限于可以通过吸附作用或化学反应捕获重金属的材料，降低重金属在土壤介质中移动性和浸出性，且化学材料的选择不能引起二次污染。

3.6

物理-化学复合阻隔 Physical & Chemical Composite Barrier

采用物理和化学材料分别构建阻隔层，或共同构建阻隔层，形成物理-化学复合阻隔层，控制重金属迁移或阻断重金属暴露途径，使重金属污染介质与周围环境隔离。

3.7

水平方向阻隔 Horizontal Barrier

阻隔层采用水平布置的形式，阻断污染物向地表环境迁移的技术。包括混凝土阻隔层、粘土阻隔层、人工复合材料阻隔层、化学材料掺混阻隔层等。

3.8

垂直方向阻隔 Vertical Barrier

阻隔层采用竖向布置的形式，阻断污染物向周边环境迁移的技术。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、化学材料掺混阻隔墙等。

3.9

浸出测试 Leaching Test

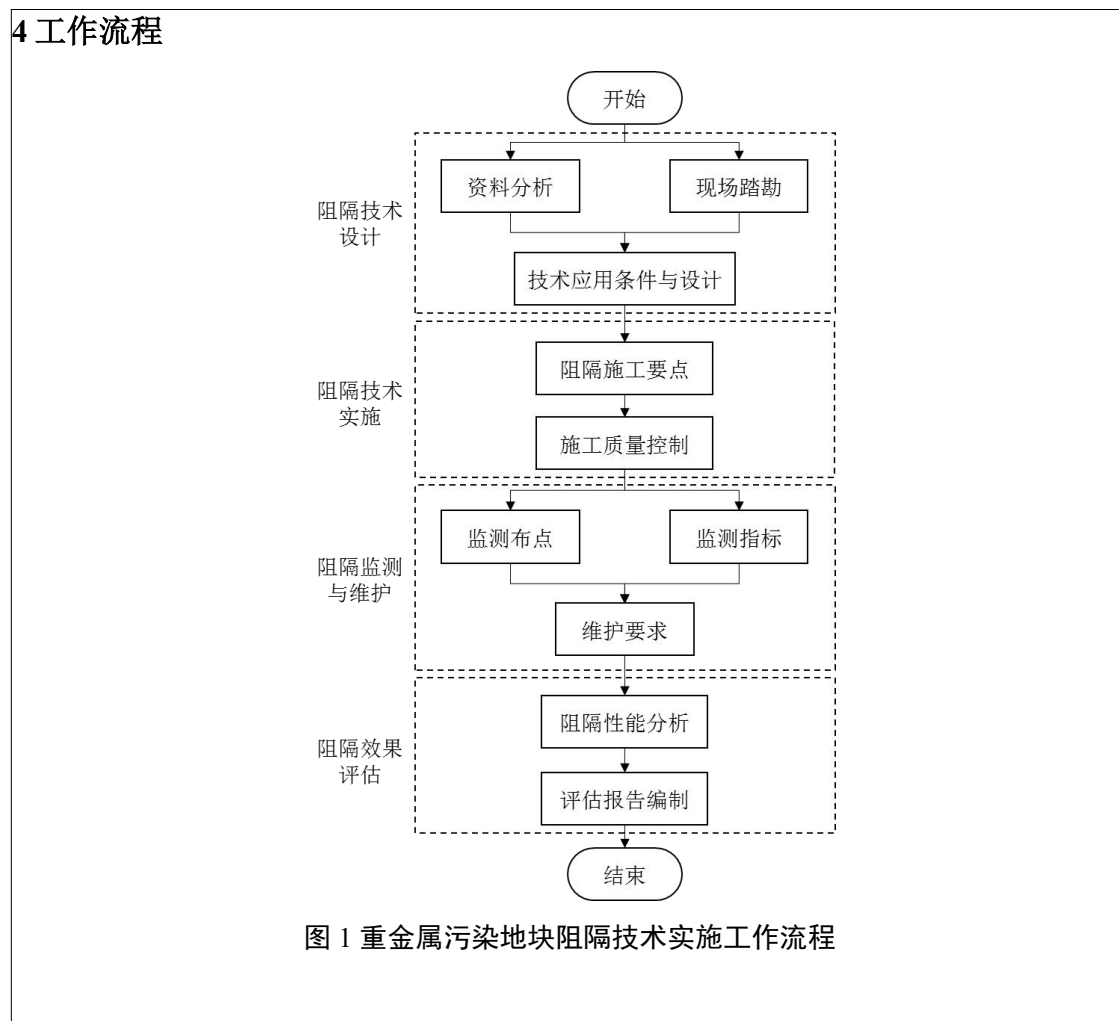
按照规定的浸出程序和方法,采用液态物质对土壤进行浸取,并测定浸出液中污染物浓度或浸出总量的过程。

【编制说明】

本文件规定及收录了 9 个重要的术语和定义，具体包括：重金属、重金属污染地块、阻隔技术、物理阻隔、化学阻隔、物理-化学复合阻隔、垂直方向阻隔、水平方向阻隔、浸出测试。

4.4 工作流程

【文本内容】



【编制说明】

本章节明确了规范了阻隔技术实施的工作流程，具体包括阻隔技术设计、阻隔技术实施、阻隔监测与维护、阻隔效果评估等部分。阻隔设计包括资料分析与现场踏勘、阻隔技术类型与适用性、阻隔措施的设计要点。阻隔技术实施包括施工要点、质量控制。阻隔监测与维护包括监测原则、定期监测、维护要求。阻隔效果评估包括阻隔效果分析、评估报告编制要求。

4.5 阻隔技术设计

【文本内容】

5 阻隔技术设计

5.1 资料分析与现场踏勘

对重金属污染地块的相关资料进行收集、汇总与分析。资料包括但不限于地块污染调查、风险评估、水文地质资料、后续地块开发利用方式，以及相关管理批复文件。重点关注风险暴露途径，以及阻隔措施与污染地块修复或风险管控工程的衔接情况。

阻隔设计单位应组织人员于阻隔工程实施前开展现场踏勘，核实地块的地形地貌、水文地质、周边敏感对象等地块资料，重点关注地块内构筑物 and 地下管线等施工障碍因素，确认阻隔工程的施工条件。

5.2 阻隔技术的应用条件

阻隔是修复和风险管控的常用技术之一，应用广泛，适用于大多数重金属污染地块，但也存在潜在渗漏等风险。从阻隔方向可分为水平方向阻隔和垂直方向阻隔，从阻隔原理可分为物理阻隔和化学阻隔。阻隔措施分类见表 1。

表 1 阻隔技术类型

原理 方向	物理阻隔	化学阻隔
水平方向 阻隔	混凝土阻隔层、粘土阻隔层、人工复合材料阻隔层	化学材料掺混阻隔层
垂直方向 阻隔	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	化学材料掺混阻隔墙

不同污染和水文地质条件下，阻隔措施的应用条件见表 2 和表 3。

表 2 水平方向阻隔技术的应用条件

技术应用条件		阻隔措施 ^c	阻隔效果
土壤重金属含量 ^a	是否受地下水影响 ^b		
筛选值-风险管控值	否	物理阻隔	风险达到 可接受水平
	是	物理-化学阻隔	
风险管控值-管制值	否	物理阻隔	
	是	物理-化学阻隔	
> 管制值	否	物理阻隔	
	是	物理-化学阻隔	

a 重金属含量分类依据应参考《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600）中一类用地和二类用地对应筛选值和管制值，风险管控值是根据 HJ 25.3 计算得到；

b 根据地块水平标高与年均地下水位变化，判定阻隔范围内土壤中重金属是否受地下水影响，存在垂直向地块地表迁移扩散；

c 化学阻隔中掺混的材料可根据 HJ1282 设计，化学阻隔材料的选择不能引起二次污染；掺混量应遵从保守原则，根据地块土壤中重金属最大含量设计；通过小试实验确定重金属浸出量达到工程设计要求。

表 3 垂直方向阻隔技术的应用条件

技术应用条件		阻隔措施 ^c	阻隔效果
土壤重金属含量 ^a	是否受地下水影响 ^b		
筛选值-风险管控值	否	物理阻隔	风险达到 可接受水平
	是	物理或化学阻隔	
风险管控值-管制值	否	物理阻隔	
	是	物理或化学阻隔	
> 管制值	否	物理阻隔	
	是	物理-化学阻隔	

a 重金属含量分类依据应参考《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600）中一类用地和二类用地对应筛选值和管制值，风险管控值是根据 HJ 25.3 计算得到；

b 根据地块所处地势和地下水流向，判定阻隔范围内土壤中重金属是否受地下水影响，向下游或阻隔工程外迁移扩散；

c 化学阻隔中掺混的材料可根据 HJ1282 设计，化学阻隔材料的选择不能引起二次污染；掺混量应遵从保守原则，根据地块土壤中重金属最大含量设计；通过小试实验确定重金属浸出量达到工程设计要求。

【编制说明】

本章节规定了阻隔技术与实施前的资料分析与现场踏勘、阻隔技术应用条件。

重金属污染地块的阻隔贯彻了适度治理的理念。相比于彻底清挖后异位修复，阻隔是一种既能控制风险便于土地利用，又能降低治理费用的方法，在国内多个大型场地已经开始推广应用。目前，针对原位阻隔技术制定的《污染地块风险管控技术指南—阻隔技术（试行）》（征求意见稿），依据技术原理将阻隔技术大体分为物理阻隔、化学阻隔和生物阻隔（针对有机物）三大类。其中，物理阻隔技术较为成熟、应用最为广泛，而生物阻隔方法仍处于发展当中。“指南”的核心内容也是围绕物理阻隔在不同应用情景（阻断表层土壤的直接接触、阻止受污染地下水迁移扩散、阻断周围或室内空气暴露）下的设计、施工、监测与维护等主要技术环节提出了细化要求。

物理阻隔主要是通过清洁黏土、沥青混合物、混凝土屏障、弹性膜衬层（两布一膜）等措施，以阻隔层较低的渗透性切断污染物的直接接触、迁移扩散或挥发等暴露途径，从而在较长时间内实现污染土壤或地下水的风险控制。但是，物理阻隔的缺点也较为明显，如刚性物理阻隔（清洁黏土、沥青、混凝土阻隔层）的低渗透性往往需要较高的层厚，无疑会显著提高风险管控措施成本。同时，老化开裂等风险较高，难以保证长时间的风险管控效果；柔性物理阻隔，如 HDPE 膜+土工膜（两布一膜）所构筑的弹性膜衬层具有高柔韧性、不易开裂、渗透性低等优势，但其主要以焊接形式进行粘连组合，焊缝较多且拼接处易老化受损，一旦发生损坏破裂将彻底失去阻隔作用，导致其风险管控效果的不确定性较高。

化学阻隔是通过吸附、反应型功能试剂与黏土等骨架材料混合，可以通过物理吸附、化学与生物反应，实现污染物的吸附、稳定化、化学氧化还原或生物降解，阻止其迁移、扩散，进而阻断暴露途径。与物理阻隔相比，化学阻隔具有如下优点：1）有效避免柔性物理阻隔层敷设面积较大时焊缝较多易老化、破损渗漏风险；2）弥补物理阻隔层无污染物削减功能缺陷，可有效管控场地污染土壤和地下水中普遍存在的复合污染物，切实保障修复工程的可靠性与后续开发建设过程的安全性；3）有效避免后续建设施工过程由于物理阻隔层破损带来的突发人体健康与环境风险，风险管控效果好。但是，化学阻隔若兼顾反应与扩散控制双重功效，阻隔厚度通常要求不低于 500 mm，远大于柔性物理阻隔的厚度。

因此，若物理阻隔无法达到风险控制要求，而污染地块在垂向清挖深度仅需满足规划利用需求的情境下，化学阻隔层厚度将与土地利用垂向空间产生矛盾。因此，如何利用物理阻隔和化学阻隔的优势，研发少占垂向空间且满足风险控制要求的原位阻隔方法，可以为城市范围内工业场地复合污染土壤的低成本绿色治理与土地开发利用提供新的解决思路。

【文本内容】

5.3 阻隔措施的设计要点

5.3.1 阻隔技术比选与可行性分析

通过资料收集与现场踏勘，查明地块土壤重金属种类、污染程度和水文地质条件，确定当前或未来土地用途下潜在的完整暴露途径，建立地块概念模型，以风险水平是否达到可接受水平为目标，评价不同阻隔技术在重金属污染地块上应用的可行性。

5.3.2 阻隔措施设计说明

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) 设计基本资料

设计说明应提供地块污染现状、水文地质条件及未来土地利用的基本信息，明确阻隔措施的物理边界。

对于水平方向阻隔，针对原位顶部阻隔，重点关注修复或风险管控的水平范围。

对于垂直方向阻隔，除了确定水平控制范围或阻隔墙长度外，还应根据不透水层深度，确定垂直方向阻隔层建设深度。

2) 设计组件的说明

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、运行和维护等。

3) 阻隔材料和规格说明

根据施工的地质条件，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。

对于污染阻隔效果，除了参考已有工程外，必要时应通过试验，确定添加材料种类和数量，评价阻隔层的渗透系数是否达到预期目标，确保其对重金属迁移的阻隔效果。

阻隔系统设计的运行和维护时间应不小于：

a) 预测的不可接受风险持续时间；

b) 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。

不同阻隔技术对污染地块中重金属阻隔参数要求和设计寿命见表 4。

表 4 阻隔技术的参数要求和设计寿命

阻隔措施		具体技术	阻隔参数 ^a	设计寿命
水平阻隔	物理阻隔	混凝土阻隔层、粘土阻隔层、人工复合材料阻隔层	渗透系数 $10^{-3} \text{ cm/s} - 10^{-6} \text{ cm/s}$	10 年-50 年 ^b
	化学阻隔	化学材料掺混阻隔层	重金属截留率可保证阻隔层上层土壤中重金属含量不显著增加	根据工程设计要求和中试结果确定寿命 ^d
垂直阻隔	物理阻隔	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	渗透系数 $> 10^{-6} \text{ cm/s}$	20 年-50 年 ^c
	化学阻隔	化学材料掺混阻隔墙	重金属截留率可保证污染地块下游地下水中重金属含量不显著增加	根据工程设计要求和中试结果确定寿命

a 不同阻隔技术的渗透系数或重金属截留率不同，可根据修复或风险管控目标及技术和经济条件，选择适宜的阻隔技术；

b 具体设计寿命：混凝土阻隔层 20 年-30 年、粘土阻隔层 15 年-20 年、人工复合材料阻隔层 30 年-50 年；

c 具体设计寿命：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、灌注浆墙均 20 年-30 年、土工膜墙 30 年-50 年。

d 综合考虑修复工程或风险管控工程与后续地块利用方式，设计化学阻隔一次性寿命，应且可通过更换掺混或填充材料延长寿命。

4) 阻隔施工说明与记录

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的相应区域进行清理，如地表覆盖物的清除和平整等。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。

5) 制定应急预案

制定并实施应对突发事件的应急预案，如地下水位异常、墙体坍塌等。

6) 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、监测频次和应急措施，以确保阻隔效果的稳定性。

【编制说明】

本章节规定了阻隔技术设计要点，包括阻隔技术比选与可行性分析、阻隔措施设计说明、阻隔措施设计寿命。

(1) 阻隔方式

① 对于水平布置的阻隔层，其缓冲层及反应层设计要求同建设于地下水位之上的隔层，同时还要避免由于水头压差或水力传导率差异导致的阻隔层冲刷破损，以及地下水涌时水流绕过阻隔层而污染上层土壤；可通过截留墙及沟渠进行地下水导流，使地下水绕过位于含水层的化学阻隔层，如需对流经地下水进行修复则可将水流导向修复系统（如可渗透性反应墙、栅、井等）。

② 对于垂直布置的阻隔层，还需考虑地下水流场的改变及污染物随地下水的迁移。因此，应结合场地地层岩性及水文地质特性（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等，此外还应监测降雨或潮汐等对地下水水位标高及水流的影响）进行针对性设计，其渗透性应与所布设土层的渗透性相一致。

(2) 阻隔材料

阻隔材料的选取是阻隔效果的关键，从物理阻隔层和化学阻隔层的主要填充材料来看，阻隔材料可分为物理吸附类和化学反应类。

① 物理吸附类阻隔材料

化学阻隔物料中原位土壤占比达50%~95%，吸附功能型黏土矿物占比约5%~50%。其中，黏土矿物由蒙脱土、伊利土、海泡石、膨润土、凹凸棒土等的一种或几种构成。黏土矿物组成及配比根据设计渗透系数，依照混合物料组成与渗透系数间的函数关系进行确定。

② 化学反应类阻隔材料

重金属稳定化功能材料主要由铁盐、磷酸盐、硫化物、铁锰氧化物等的一种或几种构成，掺混比为化学阻隔物料总量的5%~15%，具体掺混比将依据设计年限内待管控土壤和地下水中具有潜在解吸、迁移风险的重金属离子的种类、理化特性、含量进行确定。

(3) 阻隔设计参数

阻隔措施	具体技术	阻隔参数 ^a	设计寿命
水 物理阻隔	混凝土阻隔层、粘土阻隔	渗透系数 10^{-3} cm/s - 10^{-7}	10年-50年 ^b

平 阻 隔		层、人工复合材料阻隔层	10^{-6} cm/s	
	化学阻隔	化学材料掺混阻隔层	重金属截留率可保证阻隔层上层土壤中重金属含量不显著增加	根据工程设计和中试结果确定寿命 ^d
垂 直 阻 隔	物理阻隔	土-膨润土隔离墙、高压喷射灌浆墙、搅拌桩墙、搅拌桩墙、水泥帷幕、灌注浆墙、土工膜墙	渗透系数 $> 10^{-6}$ cm/s	20年-50年 ^e
	化学阻隔	化学材料掺混阻隔墙	重金属截留率可保证污染地块下游地下水中重金属含量不显著增加	根据工程设计和中试结果确定寿命

4.6 阻隔技术实施

【文本内容】

6.1 阻隔技术施工要点

阻隔施工应在工程设计的基础上，有序施工，保障工程的阻隔效果。施工过程中应重点关注以下几个方面：

- 1) 关注水平方向阻隔层或垂直方向阻隔墙连续性和完整性，若出现断裂或裂隙，记录并及时补救；
- 2) 关注与修复或风险管控其他工程内容的衔接，若出现后续工程对水平方向阻隔层或垂直方向阻隔墙的损毁，记录并及时补救；
- 3) 关注施工过程中污染地块重金属的迁移扩散，做好环境监测工作。

6.2 阻隔施工质量控制

阻隔施工属于隐蔽性工程，因此，工程质量控制是保障阻隔效果的重要措施。施工过程质量控制应关注以下几个方面：

- 1) 核查阻隔范围，包括阻隔的水平边界和垂直深度；
- 2) 核查阻隔材料和阻隔厚度，两者均是保证阻隔效果的关键参数；
- 3) 核查化学阻隔中材料的掺混种类和掺混量，以确保阻隔效果；
- 4) 测定垂直方向阻隔墙体的形变，避免阻隔墙体破损；
- 5) 测定阻隔效果，包括但不限于渗透系数。

【编制说明】

本章节规定了阻隔技术施工要点和质量控制，从而保障阻隔后的风险可控。

施工要点重点关注水平方向阻隔层或垂直方向阻隔墙连续性和完整性、与修复或风险管控其他工程内容的衔接、施工过程中污染地块重金属的迁移扩散，做好环境监测工作。

施工质量控制重点关注阻隔范围、阻隔材料和阻隔厚度、化学阻隔中材料的掺混种类和掺混量、垂直方向阻隔墙体的形变、阻隔效果。

4.7 阻隔监测与维护

【文本内容】

7.1 监测原则			
阻隔措施具有长期性，因此需要开展长期监测，监测阻隔效果是否满足设计目标。			
7.2 定期监测			
为了评估阻隔措施的运行状况和主要性能，应由土地使用权人制定定期监测计划并执行，由当地生态环境主管部门监督执行。定期监测计划包括：明确监测对象和指标、设计监测布点、确定监测频次、开展采样和检测。			
1) 监测对象和指标			
监测对象主要是阻隔范围内及周边的土壤、地下水、环境空气等。监测对象和指标的确定与阻隔措施类型有关（表5）。			
表5 定期监测的监测对象和指标			
阻隔措施	监测对象	监测范围	监测指标
水平方向阻隔	环境空气	地块外	重金属 ^a
	地下水	地块内	重金属、水位 ^b
	阻隔层	/	破损程度 ^c
垂直方向阻隔	土壤	地块内	重金属
	地下水	地块内、地块外	重金属、水位
	阻隔层	/	破损程度
a 阻隔风险的目标重金属；			
b 地下水水位可通过监测井直接测量；			
c 主要针对物理阻隔的监测，水平方向阻隔破损主要是目测为主，垂直方向阻隔倾斜或变形采用测斜仪测定。			

a) 土壤

土壤是指地块内土壤，土壤的监测深度和具体深度划分，应根据地块土壤污染状况调查阶段检测结果和修复工程效果评估更新模型的定性结论确定。

b) 地下水

地下水主要为地块边界内的地下水或经地块地下径流到下游汇集区的浅层地下水。

c) 环境空气

环境空气是指地块污染地块中心的空气和地块下风向主要环境敏感点的空气。

d) 阻隔层

阻隔层是指为控制风险达到可接受水平的阻隔措施。

2) 监测布点

a) 对于水平方向阻隔，重点监测重金属向地表和周边的扩散情况，监测的扩散途径主要是环境空气和地下水扰动。

空气质量监测点位应包括污染地块中心点、地块下风向主要环境敏感点、地块上风向对照点。上述监测点至少各布 1 个点位。

地下水监测点位应包括污染地块中心点、地块边界内地下径流的上游和下游。上述监测点至少各布 1 个点位。

b) 对于垂直方向阻隔，重点监测土壤中重金属在地下水扰动情况下，向周边的迁移扩散情况，监测对象主要是土壤和地下水。

土壤监测点应包括重金属污染引起风险的区域，各区域点至少各布 1 个监测点位。

地下水监测点位应包括污染地块中心点、地块边界内地下径流的上游和下游、地块边界外地下径流的上游和下游，上述监测点至少各布 1 个点位。此外，在污染较重且地质结构有利于污染物向下层土壤迁移的区域，则对深层地下水进行监测。

c) 监测点位的布设方法和工作单元面积要求，应参照 HJ 25.2 和工程设计要求从严布点。

3) 监测频次

监测频次应根据不同阻隔措施类型，设定不同的监测频次。若污染地块所在地下水变化频繁或剧烈，应考虑适当增加监测频次（表6）。

表6 阻隔措施性能的监测频次要求

阻隔措施		监测对象	监测频次
水平方向阻隔	物理阻隔	环境空气	至少每季度一次
		地下水	全年丰水期和枯水期各一次
		阻隔层	至少每年一次
	化学阻隔	环境空气	至少每季度一次
		地下水	至少每季度一次
		阻隔层	至少半年一次
	物理-化学阻隔	环境空气	至少每季度一次
		地下水	全年丰水期和枯水期各一次
		阻隔层	至少半年一次
垂直方向阻隔	物理阻隔	土壤	至少每年一次
		地下水	全年丰水期和枯水期各一次
		阻隔层	至少每年一次
	化学阻隔	土壤	至少每年一次
		地下水	至少每季度一次
		阻隔层	至少半年一次
	物理-化学阻隔	土壤	至少每年一次
		地下水	全年丰水期和枯水期各一次
		阻隔层	至少半年一次

4) 采样检测

样品采集、保存与流转应按照 HJ 25.2 的要求执行。

7.3 维护要求

根据对阻隔效果的长期监测，对阻隔措施采取长期跟踪维护。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。

1) 对于物理阻隔，主要采取裂缝闭合修复、裂缝修补、凹槽修补、材料缺失填充等。

2) 对于化学阻隔，主要采取化学填充材料补充或替换。

【编制说明】

本章节规定了阻隔措施的监测原则，定期监测的布点、监测因子等要求，并对监测过程中发现的阻隔层破损或性能丧失等情况，制定了维修要求。

重点是监测布点，对于水平阻隔和垂直阻隔的布点要求不同。

(1) 对于水平阻隔，重点是在设计管控年限内，监测阻隔层上层和下层清洁土的重金属含量变化，以及地下水中监测因子的含量变化；

(2) 对于垂直阻隔，重点是在设计管控过年限内，考虑阻隔污染扩散的效果，即在污染地块地下水流场的上、下游，及可能出现污染扩散的区域，布设监测点位，监测地下水中监测因子的含量变化。

4.8 阻隔效果评估

【文本内容】

8.1 阻隔效果分析

1) 根据长期监测数据结果，重点从阻隔层破损、阻隔区及周边地下水、环境空气质量变化、地块内污染土壤等方面，对阻隔效果进行分析，评估阻隔效果的稳定性。

2) 监测数据的处理应参照 HJ 164、HJ/T 166、HJ 194、HJ 25.5、HJ 25.6 中的相关要求进行的。

8.2 评估报告编制

1) 报告应全面和准确反映重金属污染地块阻隔的目标、监测结果和性能效果等工作内容。报告中的文字应简洁准确，并尽量采用图、表和照片等形式描述。

2) 报告应包括但不限于以下内容：报告名称、任务来源、编制目的及依据、工作范围、阻隔设计方案概述、阻隔施工概述、监测布点、监测频次、监测指标、采样与检测、质量控制、阻隔层破损情况、阻隔区及周边监测数据分析、阻隔效果分析、阻隔措施的维护方案。同时还应包括实验室名称、报告编号、报告每页和总页数，采样者，分析者，报告编制、复核、审核和签发者及时间等相关信息。评估报告的内容框架见附录 A。

【编制说明】

本节规定阻隔效果分析重点，即从阻隔层物理破损、填充材料有效性、阻隔区及周边地下水污染物变化等方面，评估阻隔效果的稳定性。同时，为全面和准确反映重金属污染地块阻隔的目标、监测结果和性能效果等工作内容，还需编制《重金属污染地块阻隔效果评估报告》。同时，还在附录中给出了《重金属污染地块阻隔效果评估报告》大纲。

5 标准推广应用的建议及预期效果

5.1 推广应用的建议

本标准为指导性技术文件，首次制定；建议在实施过程先试行，然后广泛听取和收集土壤修复行业领域各方面的意见与建议，根据反馈的问题和技术进展情况进一步对本标准进行修订与完善，使其实用性和可操作性与时俱进，最终形成实用的、先进的行业重金属污染土壤风险管控规范性技术管理文件。

5.2 预期效果

本标准具有针对性和科学性，有利于指导一线人员从事重金属污染地块的阻隔涉及的技术文件编制、效果评估、施工管理等工作。本标准还将进一步规范重金属污染地块阻隔技术，实现污染地块的风险管控，保障利用后地块内人群健康；促进东北地区重金属污染场地修复产业发展，支撑土地开发和再利用，拓展修复市场和房地产市场，直接和间接经济效益十分显著。

6 其他应说明的事项

无。

7 参考文献

[1] 陈梦舫. 我国工业污染场地土壤与地下水重金属修复技术综述. 中国科学院院刊, 2014, 29 (3): 327-335.

[2] 王劲楠, 吴玉锋, 李良忠, 虞璐, 杨梦传, 李彬, 郭连杰. 场地重金属复合污染阻隔技术研究进展. 环境工程, 2022, 40 (4): 244-253.

[3] 2020年土壤修复行业发展评述及2021年发展展望；建设用地土壤环境信息公开平台 (spers.cn)