

污染地块风险管控技术导则

Technical directives for risk control of contaminated sites

2023 - 08 - 03 发布

2023 - 09 - 03 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本原则和工作程序	3
4.1 基本原则	3
4.2 工作程序	3
5 风险管控技术要求	9
5.1 风险管控技术分类	9
5.2 制度控制技术要求	9
5.3 工程控制技术要求	10
附录 A（资料性） 污染地块风险管控技术适用性	14
参考文献	16

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省生态环境厅提出并组织实施。

本文件由山东省环保标准化技术委员会归口。

污染地块风险管控技术导则

1 范围

本文件规定了污染地块风险管控的基本原则、工作程序和技术要求。

本文件适用于污染地块风险管控的方案制定、工程设计及施工、效果评估、后期运行及环境监管。
本文件不适用于在产企业以及放射性污染和致病性生物污染地块的风险管控。

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 3838 地表水环境质量标准

GB/T 14848 地下水质量标准

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风险管控 risk control

采取工程控制或/和制度控制等措施，阻断污染物暴露途径，阻止污染物扩散，防止对周边人体健康和生态受体产生不利影响的行为。

3.2

风险管控目标 risk control target

阻断地块污染物暴露途径，阻止污染物扩散，防止对人体健康和生态受体产生不利影响的阶段目标。

[来源：HJ 25.6—2019，3.7，有修改]

3.3

风险管控模式 risk control strategy

以实现阻断污染物暴露途径、阻止污染扩散为目的，对污染地块进行风险管控的总体思路。

[来源：HJ 25.6—2019，3.9，有修改]

3.4

敏感受体 sensitive receptor

受地块污染物影响的潜在生物类群中，在生物学上对污染物反应最敏感的群体（如人群或某些特定类群的生态受体）、某些特定年龄的群体（如老年人）或处于某些特定发育阶段的人群（如0~6岁的儿童）。

[来源：HJ 682—2019，2.4.8]

3.5

暴露途径 exposure pathway

指建设用地土壤和地下水中污染物迁移到达和暴露于人体的方式。

[来源：HJ 682—2019，2.4.11]

3.6

地下水污染羽 groundwater 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。

[来源：HJ 682—2019，2.2.22]

3.7

地块概念模型 conceptual site model

用文字、图、表等方式来综合描述污染源、污染物迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和接触方式等。

[来源：HJ 682—2019，2.3.1]

3.8

制度控制 institutional control

通过制定和实施各项条例、准则、规章或制度，防止或减少人群对地块污染物的暴露，从制度上杜绝和防范地块污染可能带来的风险和危害，从而达到利用管理手段对地块的潜在风险进行控制的目的。

[来源：HJ 682—2019，2.5.11]

3.9

工程控制 engineering control

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，降低或消除地块污染物对人体健康和环境的风险。

[来源：HJ 682—2019，2.5.12]

3.10

阻隔技术 isolation technology

阻止气体、液体或固体污染物质从其产生地点向周围迁移扩散的一系列控制措施，如添加覆盖物、修建垂直或水平屏障。

[来源：HJ 1231—2022，6.2.1]

3.11

固化/稳定化 solidification/stabilization

固化是通过添加固结材料将土壤或固体废物封闭在高度结构完整性的整体固体中，从而对土壤或固体废物中的有害成分加以束缚降低其移动性和物理有效性。稳定化是通过添加稳定性材料将土壤或固体废物中的有害成分进行化学改性或将其导入某种稳定的晶格结构中，从而降低污染物的移动性和化学有效性。

3.12

监控自然衰减 monitored natural attenuation

通过实施有计划的监控策略，依据场地自然发生的物理、化学及生物作用，包含生物降解、扩散、吸附、稀释、挥发以及化学性或生物性稳定等，使得地下水和土壤中污染物的数量、毒性、移动性降低到风险可接受水平。

3.13

水动力控制 hydraulic control

利用单井或井群控制系统，通过人工抽取地下水或向含水层内注水的方式，人为地改变地下水原来的水力梯度及流向，实现控制地下水污染迁移扩散的目的。

3.14

可渗透反应墙 permeable reactive barrier, PRB

通过在受污染地下水流经的方向建造由反应材料组成的具有渗透性的墙体，通过反应材料的吸附、沉淀、化学分解或生物降解等作用去除地下水中的污染物。

4 基本原则和工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 统筹性原则

污染地块风险管控应根据地块的污染特征统筹考虑污染土壤、地下水、地表水、大气和填埋物等的暴露途径及相互作用，合理选用制度控制或工程控制或其组合，实施协同管控。

4.1.2 可行性原则

根据污染地块的污染状况、受体特征、暴露途径等，合理确定风险管控目标。考虑经济成本，科学选择适宜的风险管控技术，使污染地块风险管控方案切实可行，目标可达。

4.1.3 安全性原则

风险管控目标、模式、技术等应以污染地块风险可控、安全为终极目的，既要保证地块风险控制上的安全，又要确保管控措施实施及运行监管过程中的生产及人员健康安全。

4.1.4 长效性原则

管控措施在管控期限内须长期有效，技术的筛选应充分论证技术实施后确保管控效果的技术可行性，并实施完善的监测监管与应对措施。

4.2 工作程序

污染地块风险管控工作程序如图1所示。

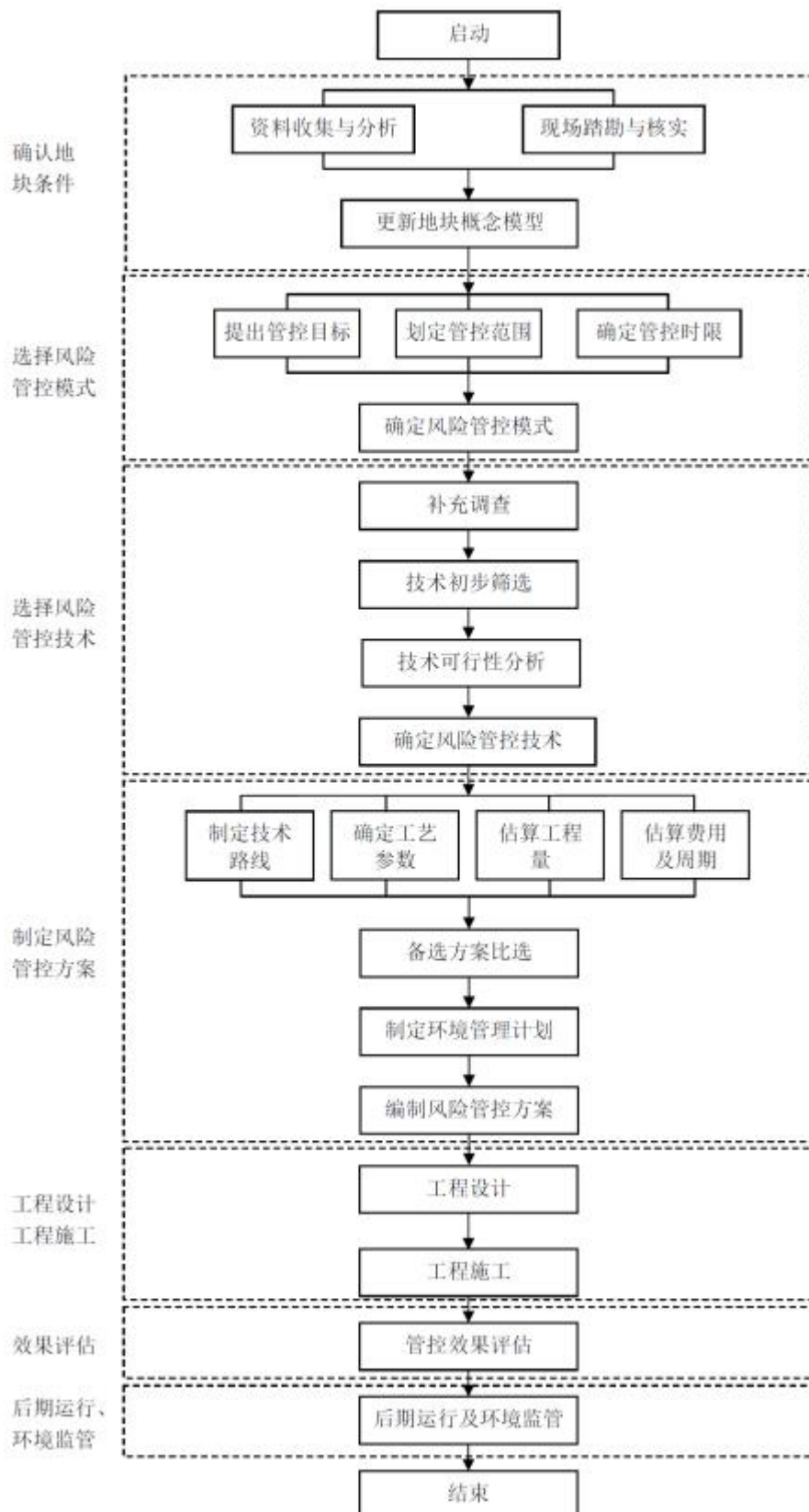


图1 污染地块风险管控工作程序

4.2.1 确认地块条件

4.2.1.1 资料收集与分析

应根据管控目标、范围及管控工程所处时段，合理确定地块资料收集范围。

- a) 污染地块资料收集范围应能够满足确定风险管控目标和划定管控范围的要求，应包括按照 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 25.3 进行的土壤污染状况调查报告与风险评估报告等资料，重点核实资料信息是否反映地块当前实际情况。
- b) 针对修复前的风险管控工程，地块资料收集还应包括土地利用规划、地块的开发利用计划以及修复或管控方案（如果有）等，明确地块规划用途及后续开发利用的时限要求，为确定风险管控时限及制定管控方案提供依据。
- c) 针对修复过程中的风险管控工程，地块资料收集还应包括土地利用规划、地块的开发利用计划、修复方案、施工方案、施工监理方案等。

4.2.1.2 现场踏勘与核实

现场踏勘的目的是对所收集资料进行核实或补充，重点应关注地块与敏感受体、周边地下水使用情况等在前期环境状况调查与评估后发生的变化。应考察是否具备地块风险管控工程的施工条件，如用电、用水、用气、交通、安全保卫等情况。

4.2.1.3 更新地块概念模型

根据资料收集、现场踏勘及补充调查结果，明确地块水文地质条件、污染源与污染介质类型及空间分布、污染状态、迁移路径、暴露途径、受体等，以文字、图、表等方式，对地块污染状况调查和风险评估阶段构建的地块概念模型进行更新，为实施风险管控提供支持。

4.2.2 选择风险管控模式

4.2.2.1 提出风险管控目标

在更新地块概念模型的基础上，根据目标污染物及污染源的性质与特征、水文地质条件、暴露途径与风险可接受水平，提出以防止污染迁移扩散和限制受体接触为主要目的的风险管控目标。对于后期将要实施修复的污染地块，必要时，风险管控目标可结合其后续修复需求合理确定。

4.2.2.2 确定风险管控时限

4.2.2.2.1 根据城市总体规划、土地利用规划、土地利用计划及地块权属等情况，考虑管控目标可达性及效果，合理确定地块的风险管控时限。多种管控技术共用时，管控时限以最长的为准。

4.2.2.2.2 分以下几种情景综合确定风险管控时限：

- a) 修复实施前的风险管控工程，管控时限应在修复工程启动之前；
- b) 修复过程中的风险管控工程，管控时限应贯穿整个修复过程；
- c) 暂不开发利用的污染地块，应进行长期管控。

4.2.2.3 划定风险管控范围

基于土壤污染状况调查与风险评估报告中确定的地块边界及污染范围，结合地块污染物特征、受污染介质类型、污染物暴露途径及敏感受体分布、水文地质条件、污染物迁移扩散趋势及4.2.2.1提出的风险管控目标，合理划定地块的风险管控范围。

4.2.2.4 确定风险管控模式

4.2.2.4.1 根据地块风险特征、地块条件、风险管控目标、管控时限及管控范围等，结合经费投入、地块利益相关方需求等，明确地块风险管控要求，确定地块风险管控模式。

4.2.2.4.2 对于暂不开发利用污染地块，宜优先选用制度控制，必要时辅以工程控制措施。

4.2.2.4.3 对于拟开发利用污染地块，分以下几种情形确定相应的管控模式。

a) 实施修复的地块。

1) 修复启动之前，可以制度控制为主。对于已经出现污染扩散的地块，宜结合修复方案要求，采取必要的工程控制措施，防止污染物进一步扩散，管控时限与修复启动相衔接。

2) 修复过程中，应以控制修复行为导致的污染介质迁移扩散以及便于实施修复措施为目的，实施以工程控制为主的管控措施。

b) 实施风险管控的地块，应以制度控制为主。

4.2.3 选择风险管控技术

4.2.3.1 补充调查

地块现有资料不能满足风险识别、风险管控方案编制及工程设计的需要时，应开展调查评估工作，包括地块污染状况补充调查、水文地质及工程地质勘察、人体健康风险评估，必要时进行生态风险评估及污染模拟预测等，相关技术要求参照HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 25.3和HJ 610执行。

4.2.3.2 技术初步筛选

根据地块污染特征、污染物扩散途径、受体暴露情景以及选择的风险管控模式，从风险管控技术原理、适用条件、技术指标、经济指标和应用效果等方面进行分析，初步筛选几种适用性技术进行下一步技术可行性分析。常见风险管控技术的适用性见附录A。

4.2.3.3 技术可行性分析

针对初步筛选出的风险管控技术，可采用类似案例分析、实验室小试或现场中试进行技术可行性评估，综合分析评价风险管控效果、技术复杂性、能源与材料消耗及二次污染产生等。实验室小试条件应模拟现场实际情况；中试试验应基于小试试验结果。

4.2.3.4 确定风险管控技术

在技术筛选和可行性分析的基础上，从适用条件、技术成熟度、风险管控效果、经济成本、时间和环境安全等方面对备选技术进行综合比较，选择确定适用的风险管控技术或技术组合，进行下一步风险管控方案的制定。

4.2.4 制定风险管控方案

4.2.4.1 制定技术路线

根据地块风险管控要求，合理制定风险管控技术路线。技术路线应体现风险管控的总体思路、方法与技术流程，还应包括工程实施过程中的二次污染防治、环境监测及应急安全等环境管理的技术内容。

4.2.4.2 确定工艺参数

通过总结实验室小试、现场中试和模拟分析结果及相关案例分析，同时考虑工程运行和环境安全等因素，确定技术的工艺参数。

4.2.4.3 估算工程量

根据管控目标、范围及技术路线和工艺，估算管控方案的工程量，工程量的估算应覆盖全部工程内容。

4.2.4.4 估算费用及周期

应根据4.2.4.3估算的工程量进行费用投资估算。除直接工程费用以外，还应包括场地准备费用、环境管理费用、人员安全防护费用、后期效果评估及后期环境监管费用等。

应根据工程量、工程设计、建设、运行时间、效果评估和后期环境监管要求等进行工程周期估算。

4.2.4.5 备选方案比选

必要时，可制定不少于2种备选技术方案，从技术指标、经济指标、环境及健康安全、社会因素等方面进行比选确定。

4.2.4.6 制定环境管理计划

4.2.4.6.1 环境监测计划

根据制定的技术路线，结合地块污染特征和周边环境条件，针对工程实施过程中的二次污染排放情况，制定环境监测计划。环境监测对象、监测项目及频次、监测点位布设、样品采集与分析等要求参照HJ 25.2中地块治理修复监测的要求执行。

4.2.4.6.2 二次污染防治计划

针对工程建设和运行过程中对土壤、地下水、地表水及环境空气等造成的二次污染，应制定防治措施，并分析论证措施的可行性、经济合理性、稳定可靠性等。

4.2.4.6.3 环境应急计划

应根据相关法律法规与标准规范要求，编制环境应急计划，确保管控工程实施过程中人群和生态受体的安全。环境应急计划应包括安全问题识别、预防措施、突发事故应急措施、安全防护装备和安全防护培训等内容。

必要时，还应编制地块风险应急预案，结合运行监测及长期监测明确预案启动条件，提升风险管控实施效果。应急响应应包括现场污染处置、转移安置人员、医学救援、应急监测等。

4.2.4.7 编制风险管控方案

应根据污染地块的地质与环境水文地质条件、地块污染特征和工程特点编制风险管控方案。方案要求文字简洁、准确，尽量采用图、表和照片等形式描述各种关键技术信息，能够全面和准确的反映管控工程内容，满足工程设计与施工方案编制要求。污染地块风险管控方案编制大纲可参考HJ 25.6。

4.2.5 工程设计及施工

4.2.5.1 工程设计

根据编制的风险管控方案，组织开展风险管控工程设计。风险管控工程设计可参考HJ 2050执行。按照所处时段，工程设计分为初步设计和施工图设计，对于技术简单的小型项目，可直接进行施工图设计。

- a) 初步设计文件宜包括初步设计说明书、初步设计图纸和初步设计概算书，能够满足编制施工图、采购主要设备及控制工程建设投资的需要。

- b) 施工图设计文件宜包括施工图设计说明书、施工图设计图纸、工程预算书等，应能够满足工程预算编制、工程施工招标、设备材料采购、非标设备制作、施工组织计划编制和工程施工的需要。

4.2.5.2 工程施工

工程施工包括施工准备和施工过程，施工过程中应同时开展环境管理。施工准备一般包括施工技术、人员、物资（机械与材料）及现场施工条件的准备；施工过程一般包括工程施工、环境监理、工程监理、工程竣工验收等。工程应按照设计规范及其他质量控制、工程变更等相关要求施工。施工过程中应遵循安全生产管理的相关要求，制定安全应急措施；存在有毒有害物质风险的，应编制施工现场生产安全事故应急预案。

4.2.5.3 施工过程监测

施工过程中，应结合施工及环境监理要求开展环境监测。监测方案应包括监测点位布设、监测对象、监测指标和监测频次等，其中监测指标应根据地块风险特征和技术属性合理确定，至少包括目标污染物、二次污染物指标、工程性能指标及水文地质条件指标等。相关监测技术要求可参考HJ 25.2、HJ 25.6及T/CAEPI 22执行。

4.2.6 风险管控效果评估

4.2.6.1 评估标准与要求

根据地块风险管控目标及要求，明确风险管控效果评估标准，确定工程性能评估指标、污染物评估指标及其它任何能证明管控技术效果的指标，制定风险管控效果监测方案，然后根据监测结果开展风险管控效果评估。地块土壤风险管控效果评估相关技术要求，参照5.3及HJ 25.5执行；地块地下水风险管控效果评估相关技术要求参照5.3及HJ 25.6执行。

4.2.6.2 评估方法

若工程性能指标和污染物指标及其他指标均达到评估标准，则判断风险管控达到预期效果，可对风险管控措施继续开展运行与维护；若上述指标存在一项及以上未达到评估标准，则判断风险管控未达到预期效果，应对风险管控措施进行优化或调整。

4.2.6.3 编制效果评估报告

风险管控效果评估报告应包括风险管控场地概况、风险管控实施情况、环境保护措施落实情况、效果评估布点与采样、检测结果分析、效果评估结论及后期环境监管建议等内容。风险管控效果评估报告大纲可部分参考HJ 25.5和HJ 25.6。

4.2.7 后期运行及环境监管

4.2.7.1 工程施工完成后，应实施后期运行及环境监管，一般应包括运行维护、长期环境监测和制度控制等内容。必要时，还应对地块周边敏感目标及毗邻水体等进行环境监测。

4.2.7.2 工程运行维护方案一般应包括系统运行管理、设备操作、设备与材料的维护保养、安全运行管理等。

4.2.7.3 可根据风险管控目标要求对土壤、地下水、土壤气、空气等进行长期环境监测，对风险管控工程运行监测数据进行阶段性回顾和趋势预测。监测方案应包括监测点位布设、监测对象、监测指标和监测频次等，其中监测指标应至少包括目标污染物、中间产物及工程性能指标等。相关监测技术要求还应参考HJ 25.2和HJ 25.6。

5 风险管控技术要求

5.1 风险管控技术分类

本文件将污染地块风险管控技术分为制度控制技术和工程控制技术。制度控制技术包括但不限于限制地块用途、限制土壤及地下水利用、限制人员进入及活动、污染源监控、环境监测及应急、公开地块环境信息、地块资料管理、地块管控人员及职业卫生防护等，一般可与工程控制技术组合联用。工程控制技术包括但不限于阻隔技术、固化/稳定化技术、监控自然衰减技术、水动力控制技术及可渗透反应墙技术等。

5.2 制度控制技术要求

5.2.1 限制地块用途

污染地块在实施风险管控期间，不应开发建设和用于临时性的居住、办公、商业、娱乐休闲等。

5.2.2 限制土壤及地下水利用

污染地块在实施风险管控期间，不应使用管控范围内的土壤种植农作物，土壤不应外运或限制土壤外运的去向，不应在管控范围内开采地下水。

5.2.3 限制人员进入及活动

5.2.3.1 污染地块实施风险管控期间，无关人员不应进入管控区域。

5.2.3.2 应在 4.2.2.3 确定的污染地块管控范围边界设置围挡，并根据风险管控要求对围挡进行专门设计。采用砌体或彩钢板围挡的可参照 JGJ/T 188 的要求执行。应在围挡上设置警示标志。

5.2.3.3 对于风险高、人员密集或往来频繁及社会关注度高的典型污染地块，应设置视频探头、扬声器、无人机等进行地块影像监控及事件报警，影像资料应长期保存，定期排查安全隐患。

5.2.4 污染源监控

5.2.4.1 管控范围内，存在人员及环境安全隐患的污染源（堆存、储藏、处置、放置有毒有害物质的设施、设备、建筑物/构筑物及区域），应根据其空间分布特征设立隔离设施、警示标志及监控探头等。

5.2.4.2 有必要清除污染源的地块，应根据相关规定采取措施移除污染源。清除过程中应防止污染扩散及由此造成的风险管控范围变化。

5.2.4.3 污染源清除过程中涉及危险废物的，应按照危险废物管理规定进行处置。

5.2.5 环境监测及应急

5.2.5.1 实施制度控制措施的地块，应编制环境监测计划，定期对土壤、地下水、地表水及环境空气进行监测，评估污染物的迁移扩散趋势。

5.2.5.2 监测过程中发现污染扩散的，应及时采取污染物隔离、阻断等应急措施，确保土壤及地下水环境安全。

5.2.6 公开地块环境信息

宜通过设置信息公告牌对污染地块及其管控信息进行公布，公布内容应满足公众知情需求，导向明确，无歧义，至少包含地块名称及管控范围、管控要求及禁令、监督与管理联系方式等内容。信息公告牌应结合管控范围及地形特征，充分考虑管控区域周围人群聚集情况，设立在公众便于观看的醒目位置。公告牌设立后不应遮挡、随意挪动、擅自拆除。

5.2.7 地块资料管理

风险管控期间，应对污染地块相关资料（包括但不限于管控方案报告、施工报告、监理报告、监测报告、效果评估报告等）进行整理、归纳、建档，由土地使用权人负责保存。地块档案资料的提取、查阅及补充，应经土地使用权人和相关管理部门同意后方可进行，同时由档案负责专员实时记录档案的任何变动情况。

5.2.8 地块管控人员

应配备值守或巡查人员对地块进行日常管理，可根据地块面积、风险管控难度确定管控人员数量，明确管理责任。若地块为社会关注度高或已开展工程控制的污染地块，还应增加统筹负责、技术维护及沟通联络人员等。

5.2.9 职业卫生防护

现场施工、监测及日常管理人员须经职业健康培训后方可上岗。地块风险管控期间，现场作业人员应满足相关职业卫生防护要求。

5.3 工程控制技术要求

5.3.1 阻隔技术

5.3.1.1 应根据地块污染特征、管控目标、管控时限、水文地质及工程地质条件、材料与装备要求及供应情况、工程造价等因素，综合比选确定工程阻隔技术类型及方案。

5.3.1.2 采用表层覆盖阻隔技术时，根据气体迁移及集聚特征，必要时配套建设气体收集处理系统。

5.3.1.3 垂直阻隔系统的厚度及深入至隔污层的深度需根据污染物性质、水文地质条件、管控目标等进行模拟计算，阻隔系统应具有整体连续性，无渗漏、无绕流，系统整体渗透系数一般应 $\leq 10 \text{ cm/s} \sim 6 \text{ cm/s}$ 。采用的阻隔材料应具有抗腐蚀性、抗老化性、无毒害性。

5.3.1.4 阻隔系统的设计寿命须大于地块风险管控时限。对垂直阻隔管控年限超过5年的，宜开展阻隔系统的可行性及使用寿命专项论证，确保满足管控要求。

5.3.1.5 应采取有效措施对工程实施过程中产生的二次污染进行防治。

a) 应充分考虑气态污染物性质及排放特征，制定相应防治措施，废气排放须符合国家及山东省相关标准要求。

b) 对工程施工过程中产生的施工废水等，应配置相应的水处理设施，确保达标排放。

c) 对系统产生的残渣、泥浆和回填料，应根据固废类别，按相应标准妥善处理处置。

5.3.1.6 阻隔系统施工完成后，应开展风险管控效果评估，评价指标应包括工程性能指标、污染物指标以及阻隔系统整体连续性、使用寿命、绕流渗漏性能等，相应内容可参照 HJ 25.6 执行。

5.3.1.7 阻隔系统运行时需开展监测，地下水检测指标一般包括目标污染物浓度以及地下水水位、pH 值、电导率、氧化还原电位、溶解氧、流向、流速等；挥发性污染物除了目标污染物外还应监测臭气浓度指标，可参照 GB 14554 及 HJ 25.6、HJ 905 执行。地下水监测应包括工程实施后3年内至少一个连续水文年的枯、平、丰水期的动态监测资料。

5.3.2 固化/稳定化技术

5.3.2.1 制定固化/稳定化技术方案时，应开展中试试验确定关键工艺及参数，试验条件应与实际工程施工条件保持一致。试验土壤或固废样品要能代表实际污染土壤或固废，污染物浓度差异大时，中试试验应包含不同情况的试验组。采用原地异位处理的，中试工程量不宜小于 100 m^3 ；采用原位处理的，中试面积不宜小于 25 m^2 。

5.3.2.2 固化/稳定化药剂的选用宜遵循长效、经济、绿色原则，固化/稳定化后土壤增容不宜超过 15%；固化/稳定化处理前，应对土壤进行破碎筛分，统计学意义上一般要求土壤颗粒不宜大于 2 cm，其他固体杂块不宜大于 5 cm。药剂与土壤统计学混合均匀度应大于 90%，宜采用保证混合精度的设施设备；土壤稳定化效果应满足地块的风险管控时限要求。

5.3.2.3 原地异位处理土壤清挖属于深基坑的，应编制基坑支护专项技术与施工方案，并组织召开专家论证会；固化/稳定化工程施工过程中，应做好安全防护及二次污染防治。

5.3.2.4 固化/稳定化效果评价应根据处理后土壤的不同处置情景选用不同的方法。

a) 固化/稳定体的评估标准一般采用 GB/T 14848 中 IV 类标准；若管控地块边界半径 2 000 m 范围内存在饮用水水源地、集中地下水开采区、涉水风景名胜区和自然保护区等水环境敏感点，则应根据固化/稳定体对地下水和地表水的影响情况，分别或同时满足 GB/T 14848 和 GB 3838 中的 III 类水质标准。固化/稳定体的浸出毒性分析方法可参照 HJ/T 299 执行。

b) 采用异位回填的，宜铺设隔离层。原则上不允许固化/稳定体直接裸露和种植。如在地块内用作造景用土，需要满足 a) 的要求，并在固化/稳定体上面覆盖种植土，种植土的厚度应满足种植要求，种植作业、维护及植物根系生长不应影响固化/稳定化后的土壤。

c) 固化/稳定化后土壤用作地块内路基材料时，须做好阻隔防渗措施；并参照 CJJ 1 中其他等级道路，满足抗压强度等要求。

5.3.2.5 实施固化/稳定化管控技术，同时应编制并实施后期监测与监管方案。

a) 应对固化/稳定化后的土壤、地下水开展监测，土壤监测应包括污染物的总量、浸出毒性、有效态等。固化/稳定化后土壤处置时应预留采样点位，土壤采样应具有代表性，地下水水位之上和之下的土壤均需采样。应在填埋区或原位作业区地下水主流向（单向流的分别在上游、管控区及下游）及两侧设置监测井，监测井设置数量以及与填埋区或原位作业区边界的距离应根据地块实际条件合理确定。固化/稳定化后的土壤作为原地块路基材料时，应根据道路分布及地下水流向情况，在垂直及平行于道路方向布设监测点，并在地下水流上游设置对照点，下游设置监测点。此外，监测井的布设还应符合 HJ 25.6 的相关要求。

b) 监测指标主要为地块调查与风险评估确定的目标污染物，必要时也应包括加入固化/稳定剂之后导致产生的二次污染物；地下水除了上述检测指标外，还可包括水位、水温、氧化还原电位、溶解氧、浊度、电导率、色度、嗅和味等辅助指标，必要时参照 GB/T 14848 确定监测指标。

c) 地下水监测井深度设置，应综合考虑地块水文地质条件及固化/稳定化后土壤放置的空间位置合理确定完整井或分层井，监测井的结构可参照 HJ 164 执行，必要时可根据实际情况进行调整。

d) 在工程实施及结束后开展地下水监测，每年应不少于 2 次（枯水期、丰水期各一次），当发现地下水污染物浓度有升高趋势时，需增加采样频次，可每季度采集 1~2 次。

e) 对监测结果进行分析评估，在管控时限内监测结果均应满足 5.3.2.5 所述要求，如发现超标或地下水污染现象，需要报备生态环境管理部门，提出应对方案并经专家评审后组织实施。

f) 在风险管控期间内，实施制度管控，不对处置的固化/稳定化土壤进行扰动、开挖、搬运、利用以及任何其它不利于保护固化/稳定体的行为。

5.3.3 监控自然衰减技术

5.3.3.1 应根据地块污染物性质、水文地质条件、地球化学特征等对地块目标污染物自然衰减潜能进行评估分析，明确采用监控自然衰减技术的可行性。必要时须根据自然衰减技术评估要求，进行补充监测。

5.3.3.2 应根据地块环境水文地质条件、地下水污染羽时空分布等合理设置监测井的结构、位置及数量。监测井系统的设置还应满足以下要求：

- a) 能够确定地下水中污染物在纵向和垂向的分布范围；
- b) 能够确定污染羽是否呈现稳定、缩小或扩大状态；
- c) 能够确定污染物自然衰减速率；
- d) 能够满足统计分析上可信度要求所需要的数量。

5.3.3.3 污染物监测分析项目至少应包括目标污染物及其降解产物。监测频率宜根据污染物随时间的变化趋势确定，并随污染物迁移时间及地块其它特性做实时调整。一般在开始阶段，监测频率保证不低于每季度1次，每两次监测的时间间隔不少于1个月。后期根据衰减速率可调整至半年到一年1次。

5.3.3.4 视下游敏感目标情况，可设置自动监测系统对水位、pH值、电导率及氧化还原电位等进行动态监控，自动监测项目应尽可能包括目标污染物及其降解产物。

5.3.3.5 应根据监测数据，对污染物自然衰减性能进行评估，判断：

- a) 污染羽（浓度、通量、空间形态等）是否正持续衰减，与自然衰减技术方案预测是否一致，是否可预期实现风险管控目标；
- b) 衰减过程中是否新产生具有毒性或迁移性的降解产物，且可能会影响到风险管控的效果；
- c) 管控范围内的环境状况是否发生重要变化，是否会显著影响自然衰减效果。根据实测数据，如果分析预测即将会对下游潜在受体造成不利影响，则应启动应急预案。

5.3.4 水动力控制技术

5.3.4.1 水动力控制技术适用于地下水流速较快、目标污染物通量较大且难以去除的沟谷地带污染地块或堆场的风险管控。

5.3.4.2 需对地块进行精细的水文地质勘察和环境调查，须在现场开展水文地质试验，确保水文地质参数的代表性，准确掌握水文地质特征与污染特征，精准程度应满足水动力控制设计的要求。

5.3.4.3 应根据准确的水文地质条件与地下水污染迁移路径及特征，采用数值模拟及其他手段合理设计水平及垂直截获带，一般采用抽出井、注入井、抽水沟或与其他物理阻隔技术相结合进行水动力控制，抽出井、注入井或抽水沟布设的位置、数量、结构、降深以及控制条件需满足有效截获污染羽、控制污染物迁移扩散的要求。

5.3.4.4 水动力控制系统中应设置观测井。一般在污染羽的上游、截获带和下游均应设置观测井，观测井的数量、类型、结构应基于污染羽的范围尺寸以及能准确评估控制范围内流场及污染的时空变化为准。

5.3.4.5 抽出井、注入井、抽水沟及观测井的材质宜选用非腐蚀性、无二次污染材料，构建质量应满足长期运行和观测的要求，采用分层井时应确保不发生越层污染。监测井的设计，可参考但不限于HJ 25.2和HJ 164的要求。

5.3.4.6 抽出系统宜采用自动控制系统。系统运行过程中，应进行规范的运行维护，并持续开展长期观测与水动力控制效果的持续评估。

5.3.4.7 如系统运行过程中出现异常或运行效果不能满足控制目标要求，需采取有效的应对措施。

5.3.5 可渗透反应墙技术

5.3.5.1 应在精确掌握地块污染特征、地形地貌、地质与水文地质条件、地球化学与生物地球化学特征、污染羽迁移扩散机制的基础上，合理确定可渗透反应墙的类型及结构（如连续墙式、漏斗-导门式、墙帘式、注入式、虹吸式及其它新型渗透性反应墙等）；根据地块污染复杂程度，可以采用单一或组合技术。采用漏斗-导门式可渗透反应墙的，隔离墙的技术要求参见5.3.1部分。

- 5.3.5.2 可渗透反应墙反应介质的选择，宜综合考虑污染物的去除机理以及材料的有效性、稳定性、物理强度、环境友好性、水力性能、使用寿命、经济性等因素，可采用实验室批试、柱式、箱式实验及类似案例分析确定。
- 5.3.5.3 反应材料的配置应基于材料的种类、粒径、级配、使用过程中孔隙变化等因素，地层渗透性差距较大时，应保持与反应墙渗透性的对应性，渗透系数应确保设计寿命年限内的最大过水能力；对单渗透墙一般宜为含水层渗透系数的 2 倍以上，对于漏斗-导水门结构应根据汇水量和过水断面进行调整，一般宜在 10 倍以上。
- 5.3.5.4 渗透性反应墙的位置和走向，一般应在地下水流向的前端并垂直于地块地下水的多年主流方向，地下水的多年主流方向可根据地块长期水文地质资料或地块不同时期的实测资料确定。对于地下水流向变化幅度较大的地块，可构建多段相互连接的反应墙体或采用导门结构优化汇水面积及过水断面。
- 5.3.5.5 反应墙长度应根据污染羽的最大宽度确定，确保反应墙两端不产生污染羽绕流。对于污染羽断面尺寸比较明确的，经验上可按污染羽最大宽度的 1.2~1.5 倍；对于污染羽断面不容易确定的，可采用漏斗-导水门式结构进行控制，渗透墙的长度取决于隔水漏斗与导水门的比率及导水门的数量。可渗透反应墙的底端应适度嵌入不透水层，避免污染地下水从底部渗漏，嵌入深度应根据污染介质的性质进行计算，对于存在重非水相污染物的，宜开展穿透小试实验确定关键计算参数。反应墙的顶端需高于设计寿命内地下水的最高水位。
- 5.3.5.6 应结合实验室小试、现场测试、数值模拟及其它先进手段，合理确定可渗透反应墙的厚度、停留时间、地下水通量等关键参数；参数的确定需要考虑运行期间墙体内部性能的动态变化，确保设计达到预期目标。
- 5.3.5.7 可渗透反应墙的结构设计应考虑介质取样、地下水采样检测以及材料更换等的可行性和便捷性。
- 5.3.5.8 应对可渗透反应墙进行稳定性评估，避免发生较大的沉降影响运行及处理效果。系统运行过程中，需定期检测地下水污染物、反应介质物化与生物相变化、空隙性及渗透性变化以及地球化学特性等，为反应器性能评估提供依据。
- 5.3.5.9 运行过程中应对地下水开展持续监测，一般在地下水主流向及垂直于主流向的两侧布设长期监测井。在污染源明确的地块，可在污染源的上游设置至少 1 口对照监测井。在反应墙的下游地下水主流向不同距离处至少设置 3 口监测井，并在对应断面的两侧各布设至少 1 口监测井。对于地块污染情况及地下水流场复杂的地块，可根据实际情况设置更多的监测井。监测井的结构一般为完整井，地层结构复杂的地块可配合设置分层井。
- 5.3.5.10 运行期间监测频率应结合污染物变化趋势确定，一般不应少于每季度 1 次，监测结果用于指导确定反应材料的更换频次。监测指标为目标污染物、反应中间产物、地球化学指标等。
- 5.3.5.11 运行过程中，对可渗透反应墙的处理能力实施动态评估，如处理效果不满足设计目标要求或发生其它意外情况，需要启动应急预案，可参照 HJ 25.6 执行。

5.3.6 其它技术

本文件所列以外的其它风险管控技术，应在可行性分析的基础上，经充分论证确认具有相应的管控效果后合理选择使用。

附 录 A
(资料性)
污染地块风险管控技术适用性

表A.1给出了污染地块风险管控技术的适用性。

表 A.1 污染地块风险管控技术适用性

技术名称	适用地质类型	适用污染物类型	适用管控时限	技术优缺点	
制度控制技术	各类岩土地层	重金属、有机污染物	长期管控	优点：成本低；便于实施；环境影响小。 缺点：管控效果欠佳，存在扩散风险，耗时长。	
垂直阻隔技术	水泥搅拌桩阻隔技术	除碎石土外的各种地层	重金属、非挥发性有机污染物	临时阻隔、应急阻隔	优点：造价低廉，效率高，适用性强。 缺点：作业深度浅；不能保证长期防渗效果。
	水泥帷幕灌(注)浆墙技术	裂隙岩体、透水性较好的砂卵石层、碎石土层等	重金属、有机物污染	长期阻隔	优点：适用于复杂地层。 缺点：钻孔作业难度大，造价高；防渗效果受地质条件影响较大。
	HDPE 土工膜阻隔技术	各类岩土地层	重金属、有机物污染	长期阻隔	优点：防渗性能好，渗透系数可达 10^{-12} cm/s；抗腐蚀性强；使用寿命长。 缺点：作业深度有限；土工膜底端难以嵌固；地下水水位上升容易造成土工膜气胀，需做好排水排气。
	高压喷射灌浆墙技术	素填土、粉土、黏土等地层	重金属、非挥发性有机污染物	临时阻隔、应急阻隔	优点：钻探作业难度低，效率高。 缺点：施工期间产生大量废浆；难以保证长期防渗效果。
	水泥-膨润土阻隔技术	各类岩土地层	重金属、有机污染物	长期阻隔	优点：防渗性能好，渗透系数可达 10^{-7} cm/s；墙体材料强度高，压缩性低。 缺点：受地块限制，一般用于平地。
	土-膨润土隔离墙技术	各类岩土地层	重金属、有机污染物	长期阻隔	优点：防渗性能好，渗透系数可达 10^{-7} cm/s；软塑性墙体材料与两侧岩土体无缝接触；工程造价低；施工简便，工艺成熟；施工深度可达 30 m 以上。 缺点：墙体材料软弱，承载力小；地块地表坡度需小于 1:10。
	钢板桩阻隔技术	适用于多水的软土地层	重金属、非挥发性有机污染物	临时阻隔、应急阻隔	优点：施工简单；钢板桩可循环利用；适用于小规模阻隔工程。 缺点：作业深度较浅；长期阻隔效果较差；施工对土体扰动较大；抗腐蚀性差。
	钢筋混凝土阻隔技术	适用于多水的软土地层	重金属、非挥发性有机污染物	长期阻隔、临时阻隔	优点：系统强度高；取材方便；施工简单；适用于小规模阻隔工程。 缺点：作业深度较浅；成本高；抗腐蚀性差。

表 A.1 污染地块风险管控技术适用性（续）

技术名称		适用地质类型	适用污染物类型	适用管控时限	技术优缺点
水平阻隔技术	混凝土水平阻隔技术	各类岩土地层	重金属、非挥发性有机污染物	临时阻隔	优点：施工简单，技术成熟。 缺点：抗腐蚀性差。
	黏土水平阻隔技术	各类岩土地层	重金属、非挥发性有机污染物	长期阻隔	优点：对地基基础要求较低，适应性强。 缺点：对黏土的使用量较大。
	柔性水平阻隔技术	各类岩土地层	重金属、非挥发性有机污染物	长期阻隔	优点：工艺成熟，适应性强。 缺点：土工合成材料存在老化问题。
覆盖阻隔技术	挥发性有毒有害气体阻隔技术	—	挥发性有机物污染	临时阻隔、应急阻隔	优点：适用于挥发性有机物污染地块。 缺点：不宜用于渗透性差或者地下水位变动较大的地块。
	堆场（水）污染覆盖阻隔技术	—	重金属、有机污染物	临时阻隔、应急阻隔	优点：施工技术成熟。 缺点：不能保证长期阻隔效果。
固化/稳定化技术		黏土层、砂土层	重金属、部分有机污染物	临时管控、长期管控	优点：实施周期短，易见效；成本低。 缺点：污染物不能彻底去除，难以预见污染物的长期行为，需要长期监测与维护；增加污染土壤的体积；适用深度有限。
监控自然衰减技术		各类岩土地层	重金属、有机物污染	长期管控	优点：无须人为介入，对周围环境无破坏性；费用较低。 缺点：需开展长期监测；受水文地质条件变化及人为因素影响。
水动力控制技术		粉砂至卵砾石不同介质类型	重金属、有机物污染	临时管控	优点：设备简单，成本低；污染初期防污染扩散效果好。 缺点：受地块水文地质条件限制；对比重大于水的污染物效果较差。
可渗透反应墙技术		各类岩体、砂卵砾石层、砂土层、碎石土层	重金属、有机物污染	长期管控	优点：对污染物同时具有去除效果；对地下水流场扰动较小。 缺点：需定期更换反应介质；对高浓度污染物效果差。

参 考 文 献

- [1] GB 14554 恶臭污染物排放标准
 - [2] CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范
 - [3] HJ 164 地下水环境监测技术规范
 - [4] HJ/T 299 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法
 - [5] HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境
 - [6] HJ 905 恶臭污染环境监测技术规范
 - [7] HJ 2050 环境工程设计文件编制指南
 - [8] JGJ/T 188 施工现场临时建筑物技术规范
 - [9] T/CAEPI 22 污染地块修复工程环境监理技术指南
-