

典型暂不开发化工污染地块风险管控工程探索与实践

王福友, 孙 尧, 李晓雪, 瞿 哲, 卫诚成

安徽省通源环境节能股份有限公司, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年4月25日; 录用日期: 2025年6月20日; 发布日期: 2025年6月30日

摘 要

本地块为沿江1公里区域内化工企业关闭污染地块, 根据前期调查及风险评估结果, 本地块污染风险不可接受。为保护周边敏感受体, 基于地块暂不开发利用、环境风险特征、工程技术等因素, 采用水平阻隔等措施进行地块风险管控。通过严密的设计及精细化施工后经风险管控效果评估, 结果表明, 达到既定的风险管控目标。本地块的工程实践为类似暂不开发污染地块风险管控的实施提供了良好的经验和参考案例。

关键词

污染地块, 暂不开发, 风险管控, 水平阻隔

Exploration and Practice of Risk Control Engineering for Typical Chemical Polluted Plots Not Yet Developed

Fuyou Wang, Yao Sun, Xiaoxue Li, Zhe Qu, Chengcheng Wei

Anhui Tongyuan Environmental Energy Saving Co., Ltd., Hefei Anhui

Received: Apr. 25th, 2025; accepted: Jun. 20th, 2025; published: Jun. 30th, 2025

Abstract

This plot is a polluted plot of chemical enterprises closed in 1 kilometer along the river. According to the results of previous investigations and risk assessment, the pollution risk of this plot is unacceptable. In order to protect surrounding sensitive receptors, horizontal barriers and other measures are adopted to control the plot risk based on factors such as the development and utilization of the plot not yet developed, environmental risk characteristics, engineering and technology. The results of

文章引用: 王福友, 孙尧, 李晓雪, 瞿哲, 卫诚成. 典型暂不开发化工污染地块风险管控工程探索与实践[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(6): 926-933. DOI: 10.12677/aep.2025.156104

the risk control effect assessment after rigorous design and refined construction show that the established risk control objectives have been achieved. The engineering practice of this plot provides good experience and reference cases for the implementation of risk control of polluted plots that are not yet developed.

Keywords

Polluted Plots, Not Yet Developed, Risk Control, Horizontal Barriers

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

当前,随着我国“退二进三”、“退城进园”、“开展沿江 1 公里化工腾退地块土壤污染专项治理行动”等政策的实施,我国大部分大中城市正面临着工业企业关闭和搬迁问题,城市因污染企业的关停搬迁而产生大量的遗留污染地块[1]。这些污染地块具有总体数量多、占地面积大、历史生产情况复杂的特点,退役工业地块修复总体上受制于土地开发利用速度和规模影响,大部分开发建设需求不急迫暂无再开发利用计划[2] [3]。

风险管控技术通过切断污染物的传播途径来控制、减轻或预防污染风险的有效技术。相较于修复措施,风险管控既能有效控制污染物暴露及扩散,缓解污染土壤环境问题,又能更大程度兼顾经济可行性[4]。近年来,随着绿色可持续修复理念在污染地块治理领域的深入,综合绿色、可持续、经济性等因素,风险管控技术逐步得到应用并且发展迅速,已经成为我国工业污染地块治理的发展趋势[5]。污染地块风险管控技术包括工程控制技术及制度控制技术。工程控制技术具有单位成本相对较低、建设周期短、对不同类型污染风险管控效果好等优点,在国内外污染场地风险管控中已有大量的工程应用[6]。

本文以安徽省某化工企业关闭污染地块为例,探讨了暂不开发利用污染地块的风险管控技术路线。研究针对沿江化工企业关闭后遗留的污染地块,探索了在暂不开发利用情境下的风险管控方案,对于类似污染地块的环境管理具有借鉴意义,有助于推动“退二进三”、“退城进园”等政策的落地实施,保障周边环境和人群健康。

2. 污染地块概况

2.1. 地块基本信息

本地块原生产区有磷肥生产区、硫酸生产区、亚硫酸铵生产区、氟硅酸钾生产区等,区域总面积约为 152843.0 m²。历史地块使用初期 90 年代前因生产年代久远,环保要求不严,生产粗放,未建废水治理设施,因而废水为直排,90 年代后建设有污水处理设施。为落实《土壤污染源头防控行动计划》,企业自 2018 年起启动全面关停及拆除工作。管控工程施工前现场大部分生产车间、设备、储罐、办公楼等构筑物已拆除完毕,处于闲置状态。

2.2. 地块未来规划

本项目地块内地块规划用地性质主要包括居住用地、文化设施用地、防护绿地、公园绿地以及供电、排水用地等。

2.3. 地块污染及风险状况

2.3.1. 地块土壤污染及风险状况

根据初步调查土壤污染物评价结果、详细土壤污染物评价结果,本地块内土壤样品重金属(铜、镍、铅、镉、砷、汞、六价铬、钴、铊)和氟化物以及苯、乙苯、石油烃($C_{10}\sim C_{40}$)、甲醛、萘、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽超出第一类用地筛选值,砷、钴超过了红壤背景值。

根据地块风险评估报告,本地块土壤中 20 种污染物: VOCs(苯、乙苯、甲醛)、SVOCs(萘、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽)、石油烃($C_{10}\sim C_{40}$)、表层土壤(0~9 m)重金属(铜、镍、铅、镉、砷、汞、六价铬、钴、铊)及无机物(氟化物)单一污染物的致癌风险值超过 10^{-6} 或危害商超过 1, 风险不可接受;下层土壤重(9~13 m)金属(铜、镍、镉、砷、汞、六价铬、钴、铊)和无机物(氟化物)由于缺少吸入室内外空气中来自下层土壤的气态污染物相关暴露途径,无暴露风险,表明下层土壤样品风险可接受。

2.3.2. 地块地下水污染及风险状况

地下水评价标准参考《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中 IV 类标准值和《上海市建设用地下水污染风险管控筛选值补充指标》(沪环土[2020] 62 号)中第一类用地筛选值。根据评价结果,超标污染物共计 16 种,分别为:氨氮、硝酸盐氮、挥发酚、硫酸盐、氟化物、氯化物、铜、锰、镍、锌、铅、镉、铊、砷、钴、汞。

根据地块风险评估报告,氨氮和汞单一污染物的致癌风险值小于 10^{-6} 或危害商小于 1, 风险可接受。地下水重金属(铜、镍、铅、镉、砷、钴、铊、锰、锌)和无机物(硝酸盐氮、挥发酚、硫酸盐)等由于缺少污染物从地下水发挥至室内外的空气中暴露途径,无暴露风险,在不饮用的前提下,通过挥发进入室内外的暴露途径对人体的危害有限,风险可接受。综上所述,地下水中风险均可接受。

3. 地块风险控制策略及技术路线

3.1. 污染地块风险管控总体思路

由于该地块暂不开发利用,属于暂不开发利用地块,按照风险管控思路对地块实施管控工程。地块污染管控的总体思路是以环境健康风险管理和降低对周边环境的影响为主线,通过工程措施有效阻断地块土壤和地下水污染物暴露途径,阻隔污染物迁移扩散,建立相应的监测及预警体系,有效地控制地块污染。

3.2. 风险管控目标

本工程风险管控按照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》(HJ 25.5-2018)和《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》(HJ 25.6-2019)确定地块土壤和地下水风险管控目标。

1) 通过实施一定的阻隔等措施,切断土壤目标污染物挥发并垂直向上迁移进入地表大气的途径(即工程控制);

2) 通过实施阻隔措施,防止地表污染土壤中的污染物随地表降雨径流扩散迁移(即工程控制);

3) 同时通过实施相应的措施限制人群进入局部的污染区域(即制度控制),进一步切断人体暴露途径,保护人体健康。由于地下水污染物不存在人体健康风险,因而对其采取长期监测措施,并及时采取应急管控措施。

3.3. 风险管控范围

依据土壤和地下水污染浓度、风险评估结果,对于污染土壤,凡是浓度大于或等于风险控制值的污染土壤,均需纳入风险管控区域;对于污染地下水,虽风险可接受,但是根据地下水预测结果,存在向地块外部迁移扩散的风险,需控制风险。

根据土壤污染风险不可接受范围及地下水污染超标范围结论，土壤和地下水污染物风险范围覆盖了整个地块，故需要对全地块进行风险管控。

3.4. 总体技术路线

考虑项目所在地地形地貌特征、现状污染物的分布情况、地质构造及规划条件等情况，工程控制措施确定采用水平阻隔 + 跟踪监测的方式。

开展对管控范围内围挡及公告牌建设；开展场区内水泥硬化路面建设及地表水导排包括雨水导排系统、挡水墙的建设；开展场地内建筑垃圾、石块筛分工作；开展对场地内构筑物的拆除清理工作；对风险管控范围进行水平阻隔并覆土使用草皮和喷播草籽进行等。本地块风险管控工程总体技术路线见图 1。

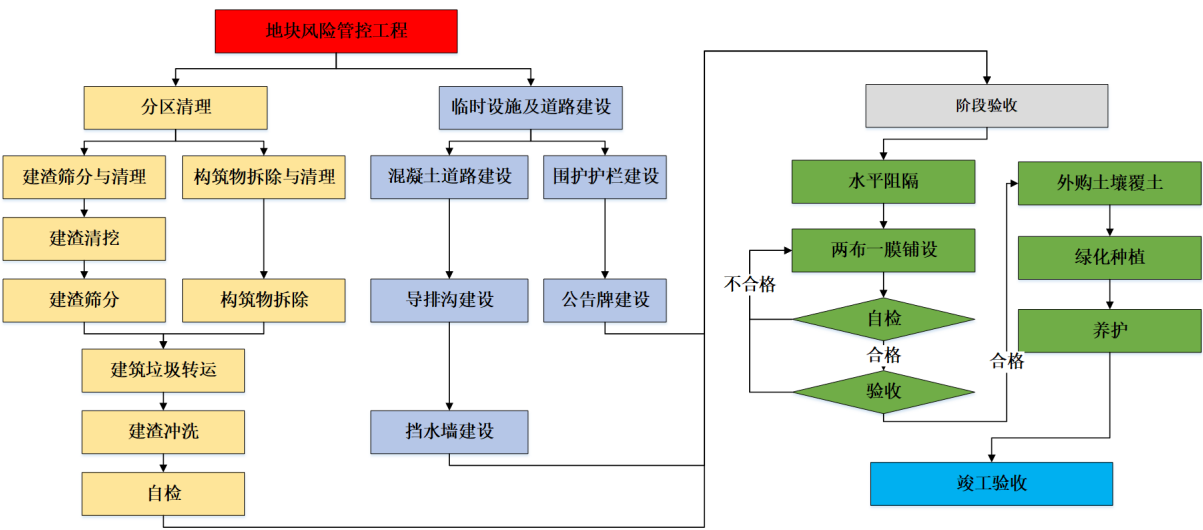


Figure 1. General technical route for plot risk control
图 1. 地块风险管控总技术路线

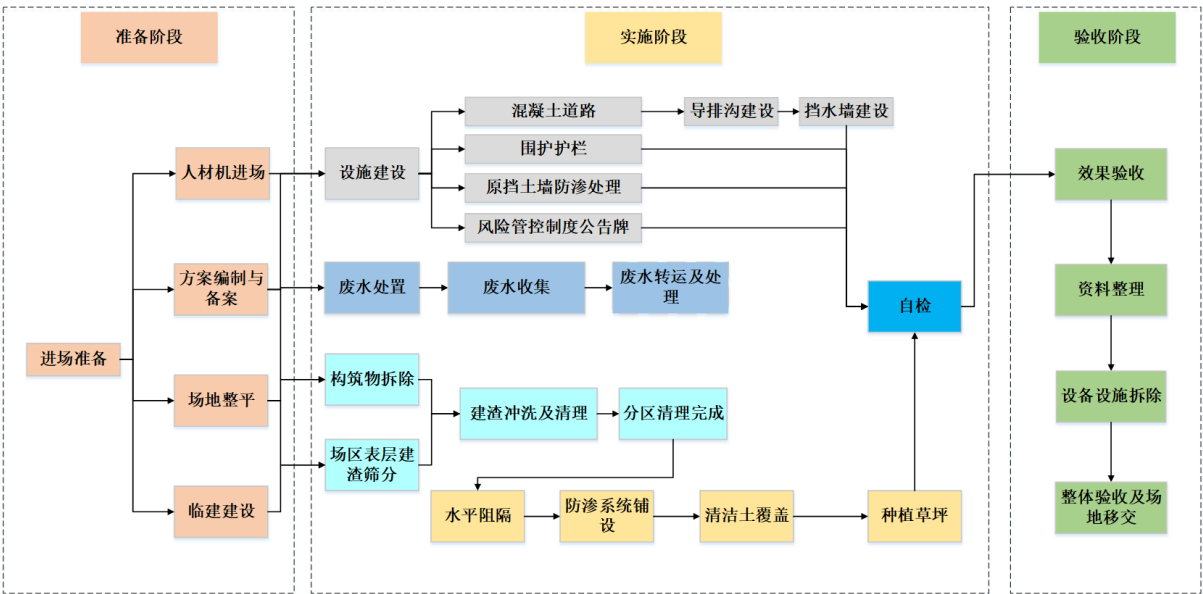


Figure 2. Overall implementation order of land risk control
图 2. 地块风险管控总体实施顺序

4. 地块风险管控实施

本地块风险管控总体实施顺序见图 2，项目总体施工顺序分为准备阶段、实施阶段、验收阶段。

4.1. 地块内建筑垃圾清理

考虑到 HDPE 膜的使用条件，需在 HDPE 膜铺设前进行地块平整，本地块内存在较大的建筑垃圾、石块等，如平整后仍可能会对 HDPE 膜造成损伤，影响防渗效果，需在铺膜前对其进行筛分处理。

筛分清洗后的建筑垃圾碎石一部分统一运送至本地块内东北侧地势低洼处，用于抬高该处地势便于雨水导排沟施工；另一部分进行冲洗后进行资源化利用。筛分的建筑垃圾和石块表层附着部分污染土壤，确需出场资源化利用的采用高压冲洗水枪进行冲洗，石块与水 1:1 进行冲洗。收集冲洗废水统一处理。在对石块进行检测后，方可出场利用。

4.2. 防渗混凝土道路建设

为便于管控施工工程完成后，后期地块管理人员视察地块内管控情况及地下水监测取样，计划在地块内覆土上铺设混凝土道路。道路采用防渗混凝土结构，直接在地块原有道路的基础上铺设抗渗混凝土，无需覆膜，再用 C35 商用混凝土硬化形成厚 20 cm 的路面，宽度 6 m。

4.3. 雨水导排系统建设

在表面水平阻隔的状态下，降雨将在水平阻隔层表面形成径流。为有效导排阻隔层表面径流，必须在风险管控区域四周建设雨水导排系统将雨水导排出，导排出的雨水因未与本地块污染土壤相接触，因而可直接排入市政雨水管网。

雨水导排系统根据地面的高程情况进行合理布设。本地块东侧地势较高，为防止雨水经地表径流流入本地块，考虑在地块东侧布设挡水墙，挡水墙设计高度应高于 20 cm，除东侧外，其他边界外均建设排水沟。地块雨水导排系统结构大样图如图 3 所示，挡水墙采用砖砌挡水墙 20 × 10 cm，M5.0 水泥砂浆抹面；排水沟采用砖砌 50 × 50 cm，M5.0 水泥砂浆抹面。

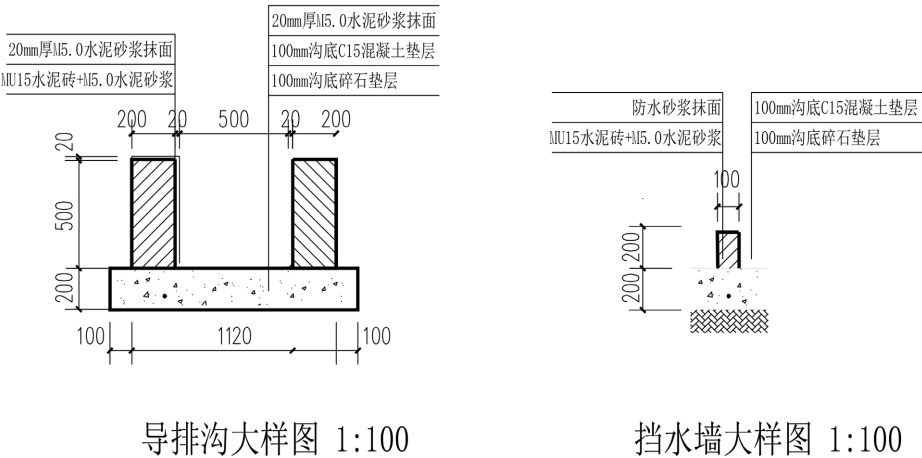


Figure 3. Structure diagram of the rainwater drainage system of plot
图 3. 地块雨水导排系统结构大样图

4.4. 水平阻隔工程建设

水平阻隔也称水平覆盖层或表层阻隔，由 6 个基本层组成，包括表层、保护层、排水层、阻隔层、

气体收集层和基础层，层数与场地特征有关[7]。水平阻隔在工矿用地封场管控中应用广泛，以高密度聚乙烯(HDPE)土工膜为主材料[8] [9]。

本项目须对整个地块进行水平阻隔防渗处理，其原理是在底层铺设由高密度聚乙烯膜(HDPE 膜)、土工布等防渗阻隔材料组成的防渗阻隔，用于减少地块污染物的挥发，切断污染物对人体的暴露途径，防止地表径流等造成污染扩散。

本项目水平阻隔施工具体工艺流程：基面修整压实→铺设膜下保护层土工布→铺设高密度聚乙烯膜(HDPE 膜)→铺设膜上保护层土工布→膜上覆土。

本项目地块水平阻隔采用单层防渗的衬层结构，水平阻隔防渗系统大样图如图 4 所示。

1) 基底及边坡防渗结构(依次由下至上)

基础层：整平压实基础，压实度 > 93%。

膜下保护层：600 g/m² 长丝无纺土工布。

HDPE 膜防渗层：HDPE 光面土工膜，厚度 1.5 mm。

膜上保护层：600 g/m² 长丝无纺土工布。

绿化土层：200 mm 绿化种植土。

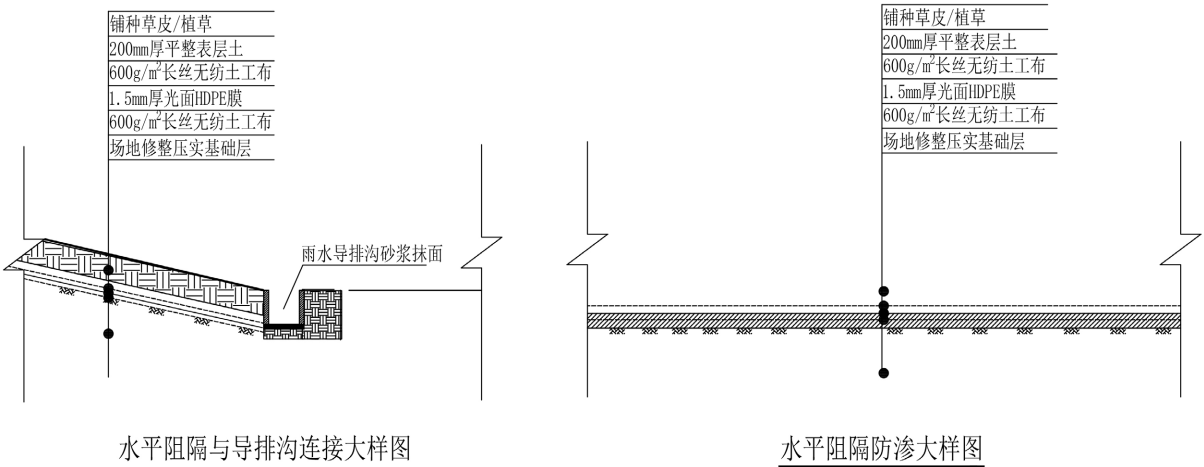


Figure 4. Large sample picture of horizontal barrier anti-seepage system
图 4. 水平阻隔防渗系统大样图

2) 防渗材料锚固要求

防渗系统的 HDPE 膜应与下垫层构成一个整体，其外缘应拉出进行锚固。

防渗材料锚固方法：采用 0.8 m × 0.8 m 矩形锚固沟，锚固沟距边坡坡顶线外边缘 0.8 m。

4.5. 制度控制建设

制度控制的优点是尽可能减少工程技术活动，与工程技术活动配合使用可以降低过程的成本和风险[10]。

1) 设置围挡

设置管控区域边界围挡的目的是明确风险管控范围，限制无关人员进入。围挡应挺直、整齐划一、清洁美观。围挡的稳固度满足安全稳定要求，围挡外侧与道路衔接处应采用绿化或者硬化铺装措施。

围挡采用装配式成品围网(镀锌铁丝围网)，高 2000，框架管材使用热镀锌防护层，全方位抗锈；立杆直接 50 mm，壁厚不小于 3 mm；立柱间距为 3 m，采用预埋式，预埋深度不小于 400 mm；表面绿色

调和漆。

2) 设置标识牌

地块标识牌设置在地块出入口等醒目位置, 面向地块外, 满足公众知情需求, 且方便社会监督。当地块风险管控目标及要求发生变化时, 应及时更新公告内容。根据《建设用地土壤污染风险管控和修复名录及修复施工相关信息公开工作指南》: “风险管控施工信息公告牌”应规格统一、位置合理、字迹端正、线条清晰、标识明确。

3) 配备管控人员

本项目风险管控期间配备 1 名值守或巡查人员进行日常管理, 值守或巡查人员主要职责应包括: 根据“方案”逐条核查本地块风险管控措施是否完善、有效; 确保地块出入口闭锁; 陪同来访人员、车辆出入地块, 并记录相关信息; 工作期间不得擅自离岗、怠岗; 工作期间做好文字记录与影像资料留存并存档; 若地块不具备派驻值守人员条件, 巡查人员应保证至少每日 1 次的巡查频率。

4.6. 跟踪监测

本地块建立地下水长期监测井, 监测地下水水质, 地下水检测指标应包括但不限于 pH、氨氮、硝酸盐氮、挥发酚、硫酸盐、氟化物、氯化物、铜、锰、镍、锌、铅、镉、铊、砷、钴、汞等, 同时应增加地下水水位、地下水流速等作为辅助判断依据。地下水监测过程中, 如果发现有污染加重和向下游迁移的情况, 应查找地下水水质恶化原因, 并在地块地下水流出处修筑拦截墙, 拦截地下水污染向下游的迁移。

根据地块地下水流向进行监测点位布设, 原则上地下水上游至少设置 1 个点位, 地下水下游至少设置 2 个点位, 风险管控范围两侧边界至少各设置 1 个点位。本项目风险管控区共设置 6 个地下水监测井, 第一年频次按每季度监测一次, 之后按照每半年开展 1 次(雨季、旱季各采集 1 次)。

5. 工程效果评估与结论

1) 根据自检报验材料、第三方检测中心出具的《HDPE 膜质量检测报告》和《长丝土工布检测报告》、项目工程监理方提供的《工程监理报告》以及水平阻隔施工过程多方见证记录等材料, 并按照《风险管控方案》确定的通过资料核验和现场复查确认水平阻隔工程质量性能的评估方法, 水平阻隔工程质量基本达到设计要求。

2) 根据自检报验材料、工程材料质检报告, 主要采用文件审核以及现场复查的方法对混凝土道路、导排沟、导排口、挡水墙工程开展核验工作。经过核验, 工程质量符合要求。

3) 本风险管控工程按照要求建立围挡以及标识牌, 同时组建了本地块风险管控指挥部, 指挥部承担本工程制度控制管理工作。

4) 建渣中各污染因子含量均不超过《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中 IV 类标准值。建筑垃圾清洗检测合格后运送到园区内暂存, 后期拟用于园区道路基层的铺设。

5) 本地块在管控施工前、管控施工过程中及管控施工后分别进行一次地下水监测。针对三次监测结果进行综合分析, 三次监测结果基本呈下降趋势。

通过本次风险管控工程切断了对人体健康有危害的途径, 同时通过管控制度的实施减少了人群暴露的风险。管控工程实施过程未对周边环境产生影响, 地下水各检出污染物污染与分布基本一致, 污染羽未有扩大的趋势。总体上, 本次风险管控工程达到了阶段性的管控效果。

在污染地块暂无开发利用计划的情况下, 采取风险管控措施可有效控制污染物扩散并对周边环境及敏感受体起到有效保护。本地块的工程实践为类似暂不开发污染地块风险管控的实施提供了良好的经验。

参考文献

- [1] 马妍, 王盾, 徐竹, 等. 北京市工业污染场地修复现状、问题及对策[J]. 环境工程, 2017, 35(10): 120-124.
- [2] 朱月琪, 李国健, 蔡宗平, 等. 暂不开发利用污染地块风险管控实例研究[J]. 环境科学与管理, 2022, 47(11): 5-9+30.
- [3] 孙宁, 徐怒潮, 李静文, 等. 2020 年我国土壤修复行业发展概况及“十四五”时期行业发展态势展望[J]. 环境工程学报, 2021, 15(9): 2858-2867.
- [4] 臧常娟, 孙玉超, 刘志阳, 等. 原位水平阻隔风险管控技术在某退役工业污染场地治理中的应用[J]. 环境工程技术学报, 2023, 13(4): 1497-1505.
- [5] 李静, 王琳. 我国工业污染场地风险管控技术应用现状与展望[J]. 现代化工, 2023, 43(5): 14-19.
- [6] 刘安富, 张修磊, 乔雄彪, 等. 原位阻隔技术在遗留污染场地治理中的应用[J]. 有色冶金节能, 2021, 37(3): 51-55.
- [7] 郑胜全, 陈增丰. 水平防渗系统卫生填埋场的填埋作业工艺[J]. 环境卫生工程, 2005(6): 27-29.
- [8] 郑阳, 余湛, 胡佳晨, 等. 浙江省某退役工业场地修复治理及风险管控工程实例[J]. 广东化工, 2019, 46(10): 115-117+135.
- [9] 吴亮亮, 王琼, 周连碧. 污染场地阻隔技术应用现状概述[C]//中国环境科学学会. 2017 中国环境科学学会科学与技术年会论文集(第二卷). 北京: 北京矿冶研究总院环境工程研究设计所, 2017: 411-415.
- [10] 王艳霞, 焦永杰, 刘畅, 等. 暂不开发利用污染地块风险管控对策研究——以天津市为例[J]. 环境科学与管理, 2024, 49(1): 5-10.