

上海市虹口区某地块土壤修复技术方案实例

薛 诚

上海百硕环保科技有限公司, 上海

收稿日期: 2024年4月12日; 录用日期: 2024年5月13日; 发布日期: 2024年6月25日

摘 要

目的: 为上海市虹口区某铅、总石油烃污染地块的土壤修复提供技术方案。方法: 通过铅、石油烃污染常见修复技术比选并结合地块实际情况, 选择合适的修复技术路线: 总石油烃污染选择高级氧化技术, 铅污染选择化学淋洗技术。结果: 项目组通过小试试验, 确定了药剂的种类和投加浓度、投加量, 并通过监测结果确认选择的修复技术路线可以达到修复目标。结论: 根据本地块前期的土壤污染状况初步调查、详细调查和风险评估报告, 确定了该地块的污染物种类、污染点位信息、修复目标以及修复范围。本案例可为类似污染地块的修复技术路线提供参考。

关键词

土壤修复, 铅, 石油烃

Example of Soil Remediation Technology Programme for a Site in Hongkou District, Shanghai

Cheng Xue

Shanghai Baishuo Environmental Protection Technology, Shanghai

Received: Apr. 12th, 2024; accepted: May 13th, 2024; published: Jun. 25th, 2024

Abstract

Objective: To provide technical solutions for soil remediation of a lead and total petroleum hydrocarbon contaminated site in Hongkou District, Shanghai. **Methods:** By comparing the common remediation technologies for lead and petroleum hydrocarbon pollution and combining them with the actual situation of the site, a suitable remediation technology route was selected: advanced oxidation technology for total petroleum hydrocarbon pollution, and chemical drenching tech-

nology for lead pollution. Results: The project team determined the types of chemicals and the concentration and dosage of chemicals through small pilot tests, and confirmed that the selected remediation technology route could achieve the remediation objectives through the monitoring results. Conclusion: Based on the preliminary investigation, detailed investigation and risk assessment report of the soil contamination status in the early stage of this site, the types of pollutants, and information of contaminated sites, remediation objectives and remediation scope of this site were determined. This case can provide a reference for the remediation technology route of similar polluted plots.

Keywords

Soil Remediation, Lead, Petroleum Hydrocarbons

Copyright © 2024 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

近些年, 全国工业企业迅速发展的同时, 带给土壤的污染也越来越多。为了让受到污染的土壤恢复正常的功能, 土壤修复势在必行。土壤修复是利用物理、化学和生物的方法转移、吸收、降解和转移土壤中的污染物, 使得土壤中的污染物浓度降低至可接受的水平, 或将土壤中的有毒有害物质转化为无毒无害的物质[1]。

目前, 国内外的土壤修复技术可分为三类: 物理修复、化学修复和生物修复。其中, 化学修复技术因具有针对性强, 修复见效快, 处理效率高的特点, 经常作为污染面积不大、工期紧的污染场地的修复技术。针对不同的污染物种类在选用化学修复作为修复方式时, 存在的问题在于如何确定修复药剂以及投加药剂的比例和浓度。

本文选用上海市虹口区某铅、总石油烃污染场地的修复技术方案作为案例。目前, 该地块已完成土壤修复工程, 并通过验收后按照规划作为公共绿地开发利用。本技术方案主要包括: 确定修复目标、选择修复技术路线、确定药剂种类和药剂的投加量, 并通过小试试验证明技术方案的可行性, 为后期修复工程的实施提供基础。本项目的成功实施可以为其他类似污染地块修复技术方案提供参考。

2. 地块概况及前期调查

本地块位于上海市虹口区北外滩街道, 面积约 5843.6 m²。地块拆迁前的近几年一直作为居民棚户区使用, 但根据项目组的资料搜集及人员访谈, 本地块在 2016 年前曾作为工厂使用, 工厂内曾涉及某五金加工厂、某金属材料店、某钢管金属材料公司等。根据规划文件, 本地块后期将规划为公共绿地 G1。

地块前期的初步调查报告显示: 本地块土壤中铅、镉、苯并(a)蒽、TPH (C > 16) 的检出浓度超过《上海市场地土壤环境健康风险评估筛选值(试行)》敏感用地限值, 需要进一步的详细调查和风险评估。土壤详细调查以 20 m × 20 m 的网格在初步调查超标点位 W1 和 W2 的附近布设土壤监测点。详细调查加密采集的土壤样品不存在超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)第一类用地的筛选值的现象。

经过风险评估模型计算, 初步调查中点位 W1-1 (0.5 m) 和 W2-1 (0.2 m) 土壤中总石油烃对居民的非致癌

风险超过可接受水平; W1-1 (0.5 m)土壤中总石油烃对建筑工人的非致癌风险超过可接受水平; W2-1 (0.2 m)的铅对儿童的健康风险超过可接受水平。对于超风险的污染土壤,须进一步采取治理修复措施,降低或消除场地污染对人体的健康风险[2]。

3. 污染修复技术方案确定

3.1. 地块污染状况

根据前期调查,本地块污染物为:铅和总石油烃。具体超标情况表 1 所示,超标点位分布情况如图 1 所示。

Table 1. Statistics on contamination at the site

表 1. 场地内污染统计表

超标因子	筛选值 (mg/kg)	最高污染浓度 (mg/kg)	超标倍数	超标样品 数量	污染深度 (m)	污染点位 数	超标面积 (m ²)
铅	400	417	0.0425	1	0.5	1	55
总石油烃	826	5071	5.14	2	0.2	2	774

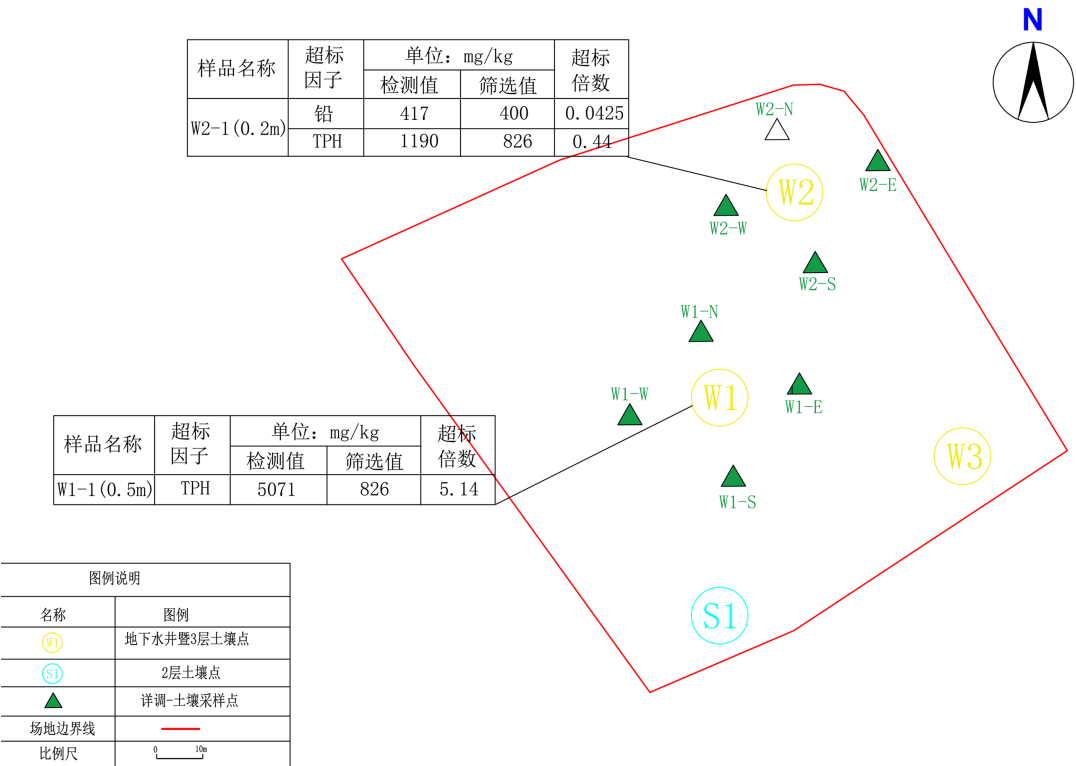


Figure 1. Schematic distribution of contamination on the plot

图 1. 地块污染分布示意图

3.2. 地块修复范围

场地内一共分布有 2 个污染区域,截弯取直之后形成 2 个拟开挖基坑(如图 2 所示),调查污染区域的深度为 0.2~0.5 m。

土壤挖掘方量如表 2 所示。2 个挖掘区域共需要挖掘污染土壤 611.3 m³ (考虑截弯取直加 5%量合计约 642 m³)，土壤容重以 1.9 t/m³ 计，共 1220 t。

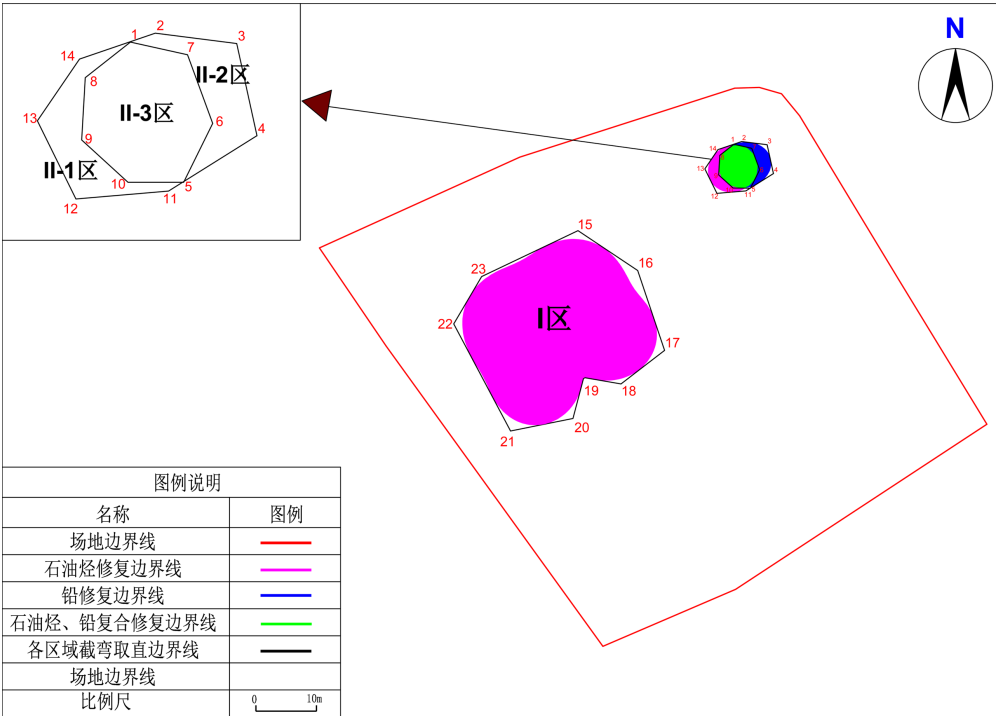


Figure 2. Map of the excavated pit area within the site
图 2. 场地内开挖基坑区域图

Table 2. Summary of soil excavation volumes
表 2. 土壤挖掘方量汇总

地块	关注污染物	面积 m ²	深度 m	方量 m ³	5%量 m ³	方量小计 m ³
I 区	TPH	721	0~0.8	576.8	28.8	605.6
II-1 区	TPH	14	0~0.5	7	0.4	7.4
II-2 区	铅	16	0~0.5	8	0.4	8.4
II-3 区	铅、TPH	39	0~0.5	19.5	1.0	20.5

3.3. 修复目标

根据规划设计，该地块主要用于公共绿地，结合考虑场地用地类型和我国目前现行相关土壤环境质量标准，确定以《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600-2018)第一类用地的筛选值和风险管控值取较小值作为该地块的污染土壤的治理标准，即：铅修复目标为 400 mg/kg；总石油烃修复目标为 826 mg/kg。

3.4. 修复方案确定

本项目地块处于上海市中心城区，不适宜大规模开挖外运，综合考虑修复效果以及经济技术等方面，对地块内铅污染土壤采用异位化学淋洗修复技术，对总石油烃污染土壤采用高级氧化修复技术，对于复

合污染区域采用先化学淋洗后高级氧化技术，具体如表 3 所示。

Table 3. Treatment technologies for contaminated soils in different regions
表 3. 不同区域污染土壤的处理技术

污染土类型	关注污染物	污染深度 m	方量 m ³	修复技术
I 区	单一 TPH 污染	0~0.8	576.8	高级氧化
II -1 区	单一 TPH 污染	0~0.5	7	高级氧化
II -2 区	单一铅污染	0~0.5	8	化学淋洗
II -3 区	TPH、铅复合污染	0~0.5	19.5	先化学淋洗后高级氧化

3.5. 修复方案小试

修复技术路线确定后，小试试验挖掘了地块内的原始污染土壤进行实验，目的是为了更加有效的确定药剂种类、投加的配比以及去除效果[3]。

石油烃化学氧化：先添加 3%氧化钙，在加入 0.8%、1.2%、1.6%、2.0%比例的过硫酸钠溶液，养护后送第三方检测单位检测。结果如表 4 显示：在满足修复目标的前提下，添加 3%CaO 和 0.8%过硫酸钠为最优投加量。

Table 4. Results of advanced oxidation of TPHs contaminated soil (Unit: mg/kg)
表 4. TPHs 污染土壤高级氧化处理结果(单位：mg/kg)

污染类型	药剂添加比例	修复后土壤 TPHs 浓度	修复目标
TPHs 污染	初始浓度	2600 mg/kg	826 mg/kg
	3% CaO 和 0.8%过硫酸钠	537 mg/kg	
	3% CaO 和 1.2%过硫酸钠	512 mg/kg	
	3% CaO 和 1.6%过硫酸钠	500 mg/kg	
	3% CaO 和 2.0%过硫酸钠	431 mg/kg	

铅化学淋洗：通过洗涤不同时长，添加不同浓度的洗脱剂，养护后送第三方检测单位。结果如表 5、表 6 显示：在满足修复目标的前提下，添加洗脱剂选择聚天冬氨酸，洗涤 4 小时再添加浓度 0.88 mmol/L 的洗脱剂，为最优投加量。

Table 5. Results of elution/washing tests with different concentrations of eluents
表 5. 不同浓度洗脱剂的洗脱/洗涤试验结果

编号	聚天冬氨酸(mmol/L)	修复后土壤 Pb 浓度	修复目标
1	初始浓度	859 mg/kg	400 mg/kg
2	0.22	775 mg/kg	
3	0.44	636 mg/kg	
4	0.88	46.5 mg/kg	
5	2.2	42.8 mg/kg	

Table 6. Results of elution/washing tests with different elution times
表 6. 不同洗脱时间的洗脱/洗涤试验结果

编号	时间(h)	修复后土壤 Pb 浓度	修复目标
1	初始浓度	859 mg/kg	400 mg/kg
2	1	666 mg/kg	
3	2	681 mg/kg	
4	4	45.5 mg/kg	
5	6	41.6 mg/kg	

3.6. 修复工程施工方案

场地内平面布局如图 3 所示：

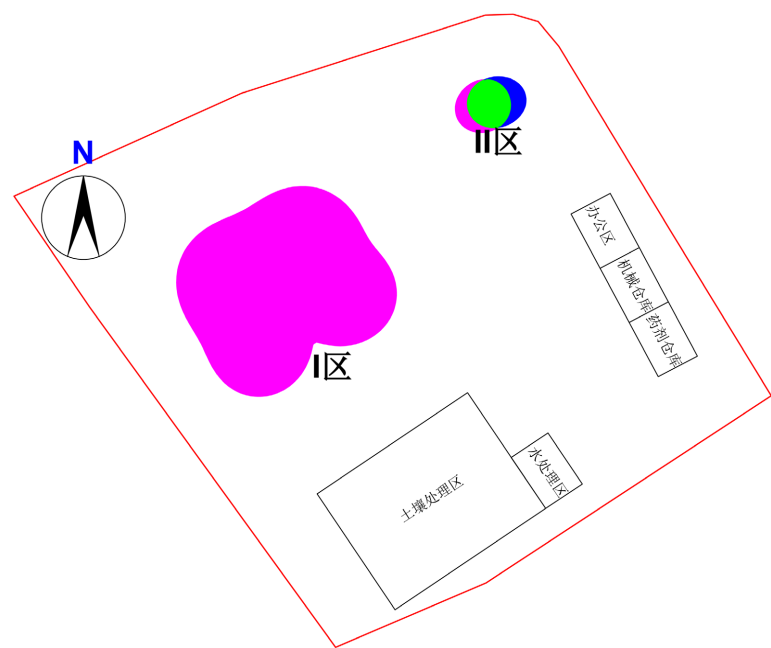


Figure 3. Rehabilitation site layout
图 3. 修复工程场地平面布置图

- 1) 土壤挖掘：利用专业的挖掘机对土壤进行挖掘，挖掘出的土壤根据污染土壤类别，由污染土壤运输车短驳至污染土壤暂存区域相应的区域。
- 2) 土壤筛分与破碎：采用专业的土壤筛分设备对污染土壤进行筛分，将石块和杂物筛出。然后利用专业的土壤破碎设备对土壤进行破碎 3~5 次(根据破碎效果确定次数)，以保证后续药剂处理的效果。一般情况下，较干燥的土壤经破碎处理后，其 80%体积百分比)以上的土壤粒径需小于 2 cm，并不能有大块团状土壤(粒径大于 15 cm)出现，如有，需要用人工或机械再次破碎处理。
- 3) 高级氧化药剂添加：针对石油烃污染的土壤，采用人工和机械设备相结合的方式，先将土壤与氧化钙药剂混合后，将配置好的过硫酸钠溶液均匀的喷洒在污染土壤的表面。
- 4) 化学淋洗药剂添加：铅污染土壤的土壤采用化学淋洗法处理，淋洗药剂与土壤的固液比大约为 5:1。破碎后的污染土壤需要进行进一步的筛分，土壤在振动筛上分级的同时，将淋洗液喷洒在污染土壤

上。振动筛上的土壤经过淋洗药剂的处理即可进行存放养护，养护时间大约为 10 天，养护结束后土壤经监测合格可以回填。

5) 淋洗废液的处理：化学淋洗的淋洗液可以重复利用，但经过一段时间的淋洗后，无法再次利用的淋洗液收集后进入废水处理装置，采用调节 pH 值 + 絮凝沉淀法去除废水中的重金属铅及其他污染物，经检测合格后纳管排放，进入市政管网[4]。

3.7. 修复效果评估

根据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则(试行)》(HJ25.5-2018)的要求，对基坑进行采样。根据修复匡算的土方量，土壤共 3 个批次，(1) 总石油烃污染土壤，Ⅰ区和Ⅱ-1 区土方量为 735 m³，需要采集样品 4 个，监测指标：总石油烃；(2) 重金属铅土壤，Ⅱ-2 区土方量为 16 m³，需要采集样品 1 个，监测指标：铅；(3) 总石油烃和重金属铅复合污染土壤，Ⅱ-3 区土方量为 39 m³，需要采集样品 1 个，监测指标：总石油烃、铅。

4. 结论

本方案确定了场地修复目标，根据修复目标确定场地修复土方量约 611.3 m³。本方案建议对重金属铅污染土壤采用化学淋洗技术进行修复，对总石油烃污染土壤采用高级氧化的技术进行修复，复合污染采用先化学淋洗后高级氧化的技术进行修复。

在本次修复技术和工程方案编制中，我司对地块内土壤进行了采样分析及小试实验，铅污染土壤的起始浓度为 856 mg/kg，远远超过初调、详调过程中的检测浓度最大值 426 mg/kg。因此在实际修复施工过程中，可能会出现土壤样品浓度远低于或者远高于初调、详调报告中的检测值，造成污染范围缩小或者扩大。若污染范围扩大，则应扩大修复范围，直至基坑的坑壁及坑底的土壤检测合格。若污染范围缩小，应相应缩小药剂用量，防止因药剂投加过程造成土壤和地下水的二次污染[5]。

参考文献

- [1] 骆永明. 污染土壤修复技术研究现状与趋势[J]. 化学进展, 2009, 21(2): 558-565.
- [2] 崔德杰, 张玉龙. 土壤重金属污染现状与修复技术研究进展[J]. 土壤通报, 2004, 35(3): 366-370.
- [3] 张欣欣. 重金属镉污染土壤修复工程应用实例[J]. 环境科技, 2023, 36(5): 40-45.
- [4] 沈曙华. 大型污染场地土壤修复技术应用实践及优化设计——以上海某污染场地修复工程为例[J]. 上海化工, 2023, 48(2): 38-41.
- [5] 牛杏杏. 略谈工业污染场地土壤修复常用技术[J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(4): 100-102.