

某废弃工业场地土壤修复研究

余雪琴

上海申环环境工程有限公司, 上海

收稿日期: 2022年6月5日; 录用日期: 2022年7月6日; 发布日期: 2022年7月13日

摘要

上海某废弃工业场地因早期环境保护意识的缺失, 场地内表层土受到了4种多环芳烃污染, 包括苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a, h)蒽。结合场地的工程条件与环境状况, 采取浅层土壤开挖硫酸钠药剂原位氧化修复技术。土壤污染区域开挖清理后, 坑底和坑壁土壤验收样品的目标污染物浓度达到修复目标值要求。污染土壤经氧化处理后, 目标污染物浓度达到的修复目标值要求。本次工程应用表明, 对于土壤的多环芳烃污染, 氧化修复技术高效可行。

关键词

工业场地, 原位氧化修复, 过硫酸钠, 多环芳烃

A Study on Soil Remediation of an Abandoned Industrial Site

Xueqin Yu

Shanghai Shenhuan Environmental Engineering Co., Ltd., Shanghai

Received: Jun. 5th, 2022; accepted: Jul. 6th, 2022; published: Jul. 13th, 2022

Abstract

Due to the lack of environmental protection awareness in the early days, the topsoil of an abandoned industrial site in Shanghai was polluted by 4 kinds of polycyclic aromatic hydrocarbons, including benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(a)pyrene and dibenzo(a, h)anthracene. Taking into consideration of engineering and environmental conditions, *ex-situ* chemical oxidation (ESCO) technology was applied using a sodium sulfate agent. After the excavation and cleaning of the contaminated area, the target pollutant concentration in the pit bottom and pit wall soil is lower than the remediation target value. After oxidation treatment of contaminated soil, the concentration of target pollutants is lower than the corresponding remediation target value. The

engineering application shows that the oxidation remediation technology is efficient and feasible for soil polycyclic aromatic hydrocarbon pollution.

Keywords

Industrial Site, *Ex-Situ* Chemical Oxidation (ESCO), Sodium Persulfate, Polycyclic Aromatic

Copyright © 2022 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

随着我国经济结构的调整, 城区内大批化工、冶金企业迁出。污染企业搬迁或关闭后, 原场址土壤和地下水均可能会受到不同程度的污染[1] [2]。

本文选取上海某废弃工业场地修复工程为研究对象, 通过对修复方案、工程实施过程、效果评估等方面的研究, 为受多环芳烃污染场地的修复施工提供可行性参考。多环芳烃具有“三致”效应, 属于我国优先控制的 68 种污染物之一, 可使用物理、化学及生物等方法进行修复。其中物理修复技术以加热、萃取和抽提为主, 成本较高。生物修复技术成本较低, 环境扰动小, 但是时间成本高且降解效果受环境条件制约较大[3]。化学修复技术主要有化学氧化、光催化氧化等, 修复周期短且成本相对较低。

2. 场地基本信息

2.1. 场地历史信息

本场地历史上经过多次变迁, 曾作为塑胶厂、针织厂、工艺品厂, 生产工艺涵盖 PVC 生产、印染等。根据 GB36600-2018 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》, 后期本场地拟规划为第一类用地。

2.2. 场地环境污染调查情况

2.2.1. 场地水文地质

本场地前期场地环境调查钻探的最大深度为地面以下 6 米。场地内大部分区域覆盖有 0.3~1.5 m 不等的覆土层。地面以下 6 米内(除去覆土层)的底层基本由 3 层构成: 填土层: 深度从地面至地下 0.4~1.5 米不等, 呈杂色, 夹带石块和建筑垃圾。粉质粘土层: 深度从地下 0.4~3.0 米不等, 主要是粉质粘土。粘质粉土夹砂层: 深度从地下 3.0 米左右至 6 米, 主要是粉质粘土。

场地浅层土壤的水力渗透系数 K_h 值在 3.88×10^{-9} ~ 2.95×10^{-9} m/s, 平均值为 1.34×10^{-8} m/s; K_v 值在 3.02×10^{-9} ~ 3.42×10^{-8} m/s 之间, 平均值为 1.17×10^{-8} m/s。

2.2.2. 场地污染情况

根据场地环境调查和风险评估的结果, 场地中的表层土受到了苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a, h)蒽这 4 种多环芳烃的污染, 污染土壤的超标深度分别为地面下 0.4 m 和 0.6 m, 均位于填土层, 填土层厚度约为 1.0 m。

土壤中污染物修复目标值主要参考 GB 36600-2018 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》中第一类用地筛选值。

3. 修复方案

化学氧化/还原技术(Chemical Oxidation/Reduction)可用于修复石油烃、VOCs、SVOCs 等大部分有机物,该技术可原位或异位实施[4]。异位实施即将污染土/地下水挖出/抽出后与氧化剂或还原剂搅拌混合,随后将修复达标的土/地下水回填/回灌或转运至其他地方,该工艺适合处理浅层土壤/地下水,且污染量不大的情况。原位实施可通过药剂注入井向土壤或地下水的污染区域注入氧化剂或还原剂,在不需要开挖/抽取土壤/地下水的情况下即可完成污染区域的修复,该种工艺在处理深层土壤/地下水的修复,且污染量较大的情况时,仍能取得较好的效果,且修复成本相对较低[5] [6] [7]。在国外,该技术发展已经形成了较完善的体系,有丰富的工程应用案例。国内发展较快,已较多地应用于修复工程中[8] [9]。

本场地修复后的土壤计划采用永久性处理修复技术进行处置,污染土壤采用原地异位处置模式,待处理达标、验收后用于原场地回填。对于轻微多环芳烃污染的土壤,实施异位化学氧化进行处理,可有效降解土壤所含的有机污染物质。处理后土壤经验收检测符合修复目标值后,可回填于场地内。

4. 修复施工

4.1. 土壤异位处理场地建设

为防止污染土壤处理可能造成的二次污染,对土壤异位处理场地进行防渗处理,土壤异位处理场地选址于南侧土壤污染区域相邻区域,该区域原为素填土,现场经平整压实后铺设 HDPE 膜防渗(1.5 mm),处理场地面积约为 720 m²。

此外,现场建设临时水池,容积约为 2.4 m × 2.8 m,深度约为 1.2 m,容积约为 8 m³,采用 HDPE 膜防渗。在本项目中主要用于配置低浓度氧化药剂溶液冲洗少量建筑垃圾,为了使氧化药剂充分反应,药剂溶液在经冲洗后进入待处理土壤持续反应。

4.2. 污染土壤开挖与转移

由于处理场地与各开挖区域距离较近,因而直接采用挖机倒土转移。

4.3. 污染土壤预处理

污染土壤预处理包括两步,首先是将土壤在防渗处理区域铺设成薄土层(约 40 cm 厚),使其在自然条件下晒干,雨天覆盖雨布防止淋湿;其次是土壤初步破碎与筛分,主要采用 ALLU 混合筛分斗设备进行施工。

4.4. 污染土壤氧化处理

按照 20 千克/吨的比例,首先采用 ALLU 混合斗,混合搅拌投加 50%粉状过硫酸钠药剂。另外的 50%,在现场配制浓度为 20%左右的雾状药剂溶液,在 ALLU 混合斗混合添加粉状药剂的同时,使用水枪喷洒该溶液。添加化学氧化药剂完成后,再次将土壤在处理区域铺设成薄土层(约 40 cm 厚),并实施养护处理。

4.5. 污染土壤处理养护

污染土壤养护主要采用土壤拌合机对薄土层进行翻土养护,且定期补充活化药剂(FeSO₄·7H₂O),在养护期间,土壤含水率保持在 30%左右,pH 值在 5 左右,以使所添加的化学氧化药剂充分反应,并于验收监测前使用 Ca(OH)₂ 将经化学氧化处理后的土壤 pH 调节至中性左右。

4.6. 建筑垃圾清洗

对于建筑垃圾,使用浓度较低的药剂进行冲洗。大致流程包括:建筑垃圾→ALLU 斗装填→药剂调

配→高压冲洗→废水落入处理土壤堆，使得冲洗溶液中的药剂与土壤充分反应，经冲洗后的建筑垃圾集中堆放在处理场地的西南角。

5. 修复效果评估

基于验收监测报告以及过程中送样检测的结果，结论汇总如下：

- 1) 土壤污染区域开挖清理后，坑底和坑壁土壤的验收样品，目标污染物浓度均低于修复目标值；
- 2) 污染土壤经氧化处理后的验收样品，其目标污染物浓度均低于相应的修复目标值。根据二次污染监测数据，修复过程中没有造成二次污染。

6. 工程要点分析

6.1. 土壤小试数据支撑

为了评估修复方案中的土壤处理方式的有效性，实施土壤修复工程前，在原超标点位的 0.4~0.8 m 深度采集了 10 kg 污染土壤用于小试，试验时在 10 kg 土壤中添加了 200 g PST-II 化学氧化药剂以及 15 g 铁盐活化药剂，充分混合后维持含水率 25% 左右，反应一星期左右送实验室检测多环芳烃有机物的浓度，结果显示小试土壤样品(O27S-T01)中的目标污染物均至未检出。

6.2. 二次污染控制情况

本场地的修复主要采用了化学氧化工艺，在现场施工时需要监测排放的废气，由于不存在固定排放点源，本工程在土壤处理区域采集无组织排放空气样品，检测因子为颗粒物、苯并(a)芘和非甲烷总烃，并且在场地边界处采集一个对照空气样品。

处理过程中的用水主要为自来水，同时包含部分建筑垃圾冲洗用水。对于筛分出的建筑垃圾，采用浓度较低的药剂溶液进行高压冲洗，冲洗产生的药剂溶液回用至土壤化学氧化处理。在此过程中，采集了 1 个冲洗废水，送实验室分析了 11 项半挥发性有机物，其中包含了场地目标污染物在内的多环芳烃有机物。结果表明，所有检测因子在冲洗废水中的浓度均低于报告限。

为了进一步确认处理场地所在区域在污染土壤处理期间是否存在土壤和地下水二次污染，在 HDPE 覆膜区域采集 1 个土壤与 1 个地下水进行监测，由验收监测单位带回实验室进行分析测试。分析参数为 GB 36600-2018《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》建设用地土壤污染物基本项目参数。结果表明，所有检测因子浓度均低于报告限。

7. 结论

本场地表层土受到了苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a, h)蒽等 4 种多环芳烃的污染，本项目采取过硫酸钠药剂，对污染土壤采用原地异位处置模式，待处理达标、验收后用于原场地回填。对于轻微多环芳烃污染的土壤，实施异位化学氧化进行处理，处理后土壤经验收检测符合修复目标值后，回填于场地内。所有验收监测土壤样品均低于修复目标值，且修复施工过程中没有对场地造成二次污染。本次工程应用表明，对于土壤的多环芳烃污染，氧化修复技术高效可行。

基金项目

基于迁移调控的过氧化钙原位修复石油烃效能及强化机制研究(21YF1432500)。

参考文献

- [1] 邱月峰. 上海某工业场地地下水有机物复合污染修复技术应用[J]. 净水技术, 2018, 37(s1): 235-238.

- [2] 张亚娇. 某化工厂旧址污染土壤和地下水修复工程分析[J]. 工程建设与设计, 2020(10): 132-133.
- [3] 吕莹, 胡学武, 陈素素, 等. 多环芳烃污染土壤的微生物修复技术研究进展[J]. 化工进展, 2022, 41(6): 3249-3262.
- [4] Jakisch, L., Garaleh, M., Schfer, M., *et al.* (2018) Synthesis and Structural NMR Characterization of Novel PPG/PCL Conetworks Based upon Heterocomplementary Coupling Reactions. *Macromolecular Chemistry & Physics*, **219**, Article ID: 1700327. <https://doi.org/10.1002/macp.201700327>
- [5] 吴昊, 孙丽娜, 王晓旭. 活化过硫酸钠原位修复石油类污染土壤研究进展[J]. 环境化学, 2015, 34(11): 2085-2095.
- [6] 刘红梅, 褚华强, 陈家斌, 等. 过硫酸盐在地下水和土壤修复中的应用[J]. 现代化工, 2015, 35(4): 42-46.
- [7] 李社锋, 王文坦, 邵雁, 等. 活化过硫酸盐高级氧化技术的研究进展及工程应用[J]. 环境工程, 2016, 34(9): 171-174.
- [8] 杨世迎, 陈友媛, 胥慧真, 等. 过硫酸盐活化高级氧化新技术[J]. 化学进展, 2009, 20(9): 1433-1438.
- [9] Liang, C., Wang, Z.S. and Bruell, C.J. (2007) Influence of pH on Persulfate Oxidation of TCE at Ambient Temperatures. *Chemosphere*, **66**, 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.05.026>