

# Case Analysis of Soil Pollution Treatment of a Construction Land in East China

Yana Huang, Xingbing Fang, Yi Chen, Yi Zhu

Shanghai Environment Ecological Remediation Technology Co., Ltd., Shanghai  
Email: thhyn3274@qq.com

Received: Jun. 25<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 17<sup>th</sup>, 2020; published: Jul. 24<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

This article takes the project of environmental governance of a construction land in East China as an example. Through the overview of the contaminated site, the overall remediation goals, the remediation technology and effects, the purpose is to illustrate the importance of the *in situ* chemical oxidation process in the remediation of semi-volatile organic polluted sites. This case provides ideas for the environmental governance of similar polluted sites in East China and even the whole country.

---

## Keywords

Semi-Volatile Organic Compound Pollution, Ex-Site Chemical Oxidation, Soil Remediation

---

# 华东地区某建设用地土壤污染治理 案例分析

黄雅楠, 方兴斌, 陈 奕, 诸 毅

上海环境绿色生态修复科技有限公司, 上海  
Email: thhyn3274@qq.com

收稿日期: 2020年6月25日; 录用日期: 2020年7月17日; 发布日期: 2020年7月24日

---

## 摘要

本文以华东地区某建设用地环境治理项目为例, 通过污染场地概况、总体修复目标、修复技术工艺、修复效果, 旨在说明原地异位化学氧化工艺在半挥发性有机物污染场地修复中的重要作用。该案例为华东地区乃至全国相似污染类型场地地块的环境治理提供治理思路。

**文章引用:** 黄雅楠, 方兴斌, 陈奕, 诸毅. 华东地区某建设用地土壤污染治理案例分析[J]. 可持续发展, 2020, 10(3): 466-472. DOI: 10.12677/sd.2020.103058

## 关键词

半挥发性有机物污染, 异位化学氧化工艺, 土壤修复

Copyright © 2020 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

随着中国城市化进程的加快, 大量工业企业从城区向城市外围搬迁, 形成大量工业遗留污染场地。场地中的污染物会对周围居民的身体健康产生潜在危害, 同时污染物浓度超标会影响土地的再利用、再开发。因此, 迫切需要采取快速高效的修复措施加以治理。

化学氧化技术是美国超级基金中推荐的一种常用处置技术, 在国外有机污染场地的治理修复工程中应用较多。该技术常被用来修复被油类、有机溶剂、多氯联苯等污染物污染的土壤和地下水[1]。这些污染物往往长期存在于土壤和地下水中, 且很难被生物降解[2]。与其他修复技术相比, 化学氧化技术修复速度快, 效果明显, 且可用于被多种有机物污染的土壤和地下水[3] [4] [5]。

原地异位化学氧化修复工艺即将清挖后的有机污染土壤在场地内利用搅拌设备将氧化药剂与污染土壤进行搅拌混匀修复, 使土壤中的有机污染物与修复药剂充分混合反应, 起到降解去除有机污染物的效果, 以此达到修复污染土壤的目的[6] [7] [8]。该修复技术具有成本低、修复速度快、对环境二次风险低等优势[9] [10]。本研究结合华东地区某建设用地修复治理的实际案例, 旨在说明原地异位化学氧化工艺在修复半挥发性有机物污染场地中的可行性与适用性。

## 2. 污染地块概况

该地块位于华东地区, 占地面积为 33,806 m<sup>2</sup>, 历史为工业用地, 未来规划为住宅用地; 根据地块土壤污染状况初步调查、详细调查和风险评估工作, 确定地块部分土壤中苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘和茚并(1,2,3-c,d)芘健康风险处于不可接受水平, 须对其进行修复治理。通过对污染范围进行匡算, 得出场地内土壤污染面积为 10,936 m<sup>2</sup>, 修复深度分别为为 0~0.5 m、0.5~1.5 m 和 0~1.5 m, 需要修复的土方量为 10,191.5 m<sup>3</sup>, 综合校正因子取 1.1, 理论施工方量为 11,210.65 m<sup>3</sup>。

## 3. 修复目标的确定

地块范围内受污染土壤经修复后, 各类污染物验收检测指标需达到招标文件中相应修复目标限值要求, 并满足场地后续土地利用规划中关于住宅用地的相关使用需求。通过将计算出风险控制值与评价标准进行对比, 选择较小值作为修复目标值。各目标污染物修复目标值如表 1 所示, 最终确定场地修复目标值为: 场地修复目标值: 即本项目场地经过治理修复后土壤中污染因子含量须满足苯并(a)蒽低于 0.722 mg/kg, 苯并(b)荧蒽低于 0.724 mg/kg, 苯并(a)芘低于 0.400 mg/kg。

## 4. 工程修复实施过程

### 4.1. 污染土壤修复主要流程

本项目主要针对场地有机混合土壤污染地块进行修复, 施工流程为: 施工准备→技术准备→设备进

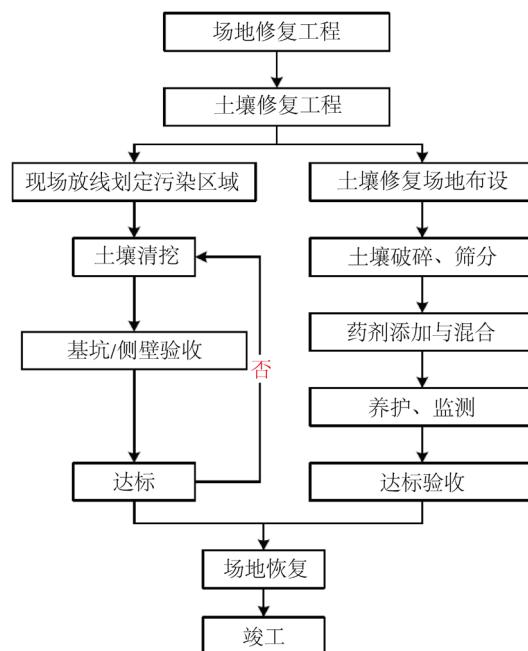
场安装调试→土壤开挖修复、回填→过程自检测→不合格区域补充修复→竣工验收, 以及场地移交。本工程施工内容包括: 污染土壤清挖、污染土壤运输、污染土壤筛分破碎、污染土壤异位氧化修复处置、修复后土壤自检测验收、合格土回填。如下图1所示:

**Table 1.** Target values of pollutant remediation (unit: mg/kg)

**表 1.** 污染物修复目标值(单位: mg/kg)

介质	关注污染物	最高检出浓度	计算风险控制值	评价标准	污染土壤修复目标值
土壤	苯并(a)蒽	3.500	0.722	0.200	0.722
	苯并(b)荧蒽	2.900	0.724	0.400	0.724
	苯并(a)芘	2.800	0.400	0.400	0.400
	茚并(1,2,3-c,d)芘	2.200	0.724	0.700	0.724

注: 评价标准为《上海市场地土壤环境健康风险评估筛选值(试行)》(2015)敏感用地筛选值。



**Figure 1.** General process flow chart of repair  
**图 1.** 修复总工艺流程图

## 4.2. 异位修复场地建设

### (1) 修复施工场地选址原则

1) 应选在工业区和居民集中区主导风向的下风向, 远离居民集中区和河流; 2) 应选在满足承载力要求的地基上, 以避免地基下沉的影响, 尤其是不均匀或局部下沉的影响; 3) 禁止选在江河、湖泊、水库最高水位线以下的滩地和洪泛区; 4) 应避开地下水主要补给区和饮用水源含水层; 5) 应选在防渗性能好的地基上, 天然基础层地表距地下水位的距离不得小于 1.500 m; 6) 根据污染土方量、修复工程所需面积以及场地实际情况, 设计堆放污染土壤的位置和库容量。

### (2) 修复施工场地区域建设

1) 场地平整: 将场地上的建筑垃圾等杂物清理, 进行平整; 2) 基坑、渗沥液及径流雨水收集池建设:

为了防止污染土壤堆积后的渗沥液以及径流雨水向外围扩散，在堆放待修复土壤的场地清洁土壤堆砌一个围护堰，高度 50 cm，并且在堆放场地东侧低洼一侧设置引导沟，将堆土产生的渗沥液及径流雨水收集至渗沥液收集池。渗沥液收集池是在场地低洼侧，尺寸为 5 m(长) \* 3 m(宽) \* 1.500 m(深)的基坑；3) 修复区防渗：对于堆放在污染土壤的基坑场地在使用前用压路机压平，并且铺设 1.5 mm HDPE 膜用于防渗，膜两侧再铺设 200 g/m<sup>2</sup> 的土工布。同时为防治修复过程中修复设备对防渗膜的破坏，在防渗膜上铺 30 cm 干净土，压实。

### 4.3. 土壤修复药剂选择及检测

此次采用的修复药剂主要包括：氧化药剂 K (主要成分为过硫酸钠)、硫酸亚铁和生石灰。在修复前通过进行小试试验，优化药剂的用量，为后续场地修复施工过程提供数据支持。

对于污染土壤拟采用两种修复药剂进行试验：活化药剂 K1 (主要成分为过硫酸钠和硫酸亚铁)和活化药剂 K2 (主要成分为过硫酸钠和石灰)作为修复药剂，具体实验步骤如下：对于编号为 1~8 的烧杯中土壤按照活化药剂 K1 的投加比例为 0.500%、1.000%、2.000%、2.500%、3.000%、4.000%、4.500% 和 5.000% (质量比，以过硫酸钠计)进行投加；通过搅拌使土壤混合均匀，并进行养护。对于编号为 I-VIII 的烧杯中土壤按照活化药剂 K2 的投加比例为 0.500%、1.000%、2.000%、2.500%、3.000%、4.000%、4.500% 和 5.000% (质量比，以过硫酸钠计)进行投加；用玻璃棒搅拌均匀，然后再加入适量的蒸馏水，混合均匀后，进行养护。

从表 2 可知，随着活化药剂 K1 (主要成分为过硫酸钠和硫酸亚铁)的投加比例增加时，污染物浓度均呈现不同下降趋势，当 K1 的投加量大于 2.500% 时(以过硫酸钠计)，各污染物的浓度均低于修复目标值；当活化药剂 K2 (主要成分为过硫酸钠和石灰)的投加比例为大于 4% (质量比，以过硫酸钠计)时，污染物的浓度均低于修复目标值。由于 K1 药剂中含有硫酸亚铁，修复后的土壤 pH 较低，因此，需对修复后的土壤 pH 进行调节。从经济成本以及施工可行性考虑，在修复施工过程中采用投加量为 2.500% (以过硫酸钠计)的活化药剂 K1 对污染土壤进行修复治理，并对修复后的土壤 pH 进行调节。具体药剂选型与投加比设计如表 3。

**Table 2.** Results of small scale experiment  
**表 2. 小试实验结果**

编号	苯并(a)蒽/mg/kg	苯并(b)荧蒽/mg/kg	苯并(a)芘/mg/kg	茚并(1,2,3-c,d)芘/mg/kg
原土	3.500	2.400	2.800	2.000
1	3.120	2.210	2.470	1.910
2	1.870	1.910	1.320	1.530
3	0.830	0.890	0.670	1.040
4	0.470	0.590	0.390	0.710
5	0.370	0.480	0.210	0.640
6	0.110	0.290	ND	0.530
7	ND	0.080	ND	0.370
8	ND	ND	ND	0.220
I	3.390	2.380	2.70	1.970
II	2.970	2.010	2.210	1.830

**Continued**

III	2.110	1.790	1.170	1.680
IV	0.840	0.830	0.560	1.130
V	0.480	0.540	0.410	0.780
VI	0.170	0.320	ND	0.570
VII	0.090	0.190	ND	0.440
VIII	ND	0.150	ND	0.310
修复目标值	0.722	0.724	0.400	0.724

**Table 3.** Reagent selection and dosing ratio design**表 3. 药剂选型与投加比设计**

序号	药剂名称	药剂成分	药剂规格	反应机理	用途	投加配比
1	氧化药剂 k	过硫酸盐	合格品，含量 99%以上	经激活剂活化后形成过硫酸根和羟基自由基，氧化污染物	用于土壤异位化学氧化修复	2.500%
2	激活剂	硫酸亚铁	固体	催化氧化药剂降解污染物	用于土壤异位化学氧化修复	2.500%
3	生石灰	氧化钙	固体	吸收水分、降低土壤含水率；释放 OH <sup>-</sup> 、调节土壤 pH 值	土壤预处理及修复 土壤 pH 调节	1%

#### 4.4. 修复土堆置

SVOCs 污染土壤经化学氧化修复后，暂存在处置区堆置待验，由于受场地大小影响，处理场地堆土区面积较小，修复后的土在堆置过程中经过压实以控制堆置堆高，最后堆土高度为 2.000~2.500 m 左右。堆置期间用防尘网铺盖，后面进行自检与验收采样。修复达标后的土壤回填至基坑并进行平整及压实，防止水土流失。

#### 4.5. 异位处置场地覆土处理

异位处置场地建设过程中使用干净土作为防渗膜的保护层，干净土铺设厚度为 30 cm。验收合格土回填完毕后，将防渗膜上的土收集起来集中在场地中，收集土壤方量约为 1400 方。

### 5. 修复效果

#### 5.1. 基坑检测结果

根据相关场地环境监测技术规范，对基坑侧壁和坑底进行检测。将基坑四周侧壁以每段 40 m 长度等分，在每段均匀采集 9 个表层土壤样品制成 1 个混合样，侧壁长度少于 40 m 的，取一个样。半挥发性有机物污染土壤基坑，应在每个侧壁中点或表观最严重的区域取一个表层土壤样品，此外，对侧壁进行分层取样，每一米取一个样。将基坑底部按 20 m × 20 m 均分成块，在每个地块中均匀采集 9 个表层土壤样品制成 1 个混合样，送至有资质的第三方检测单位进行检测，检测结果均低于修复目标确定值。如表 4 所示：

#### 5.2. 修复土壤检测结果

按照实施方案要求，污染土壤经异位化学氧化修复后进行检测。每 500 m<sup>3</sup> 土壤采集一个样品送检，本项目实际修复 SVOCs 污染土方量为 14,260 m<sup>3</sup>，共采集 30 个土壤样品(其中 50 m<sup>3</sup> 超挖土方取样 1 个)，

送至有资质的第三方检测单位进行检测, 监测指标为苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘和茚并(1,2,3-c,d)芘, 检测结果均低于修复目标确定值。如表 5 所示:

**Table 4.** Test results of foundation pit samples (unit: mg/kg)

**表 4.** 基坑样品检测结果(单位: mg/kg)

区域	污染物	苯并(a)蒽	苯并(b)荧蒽	苯并(a)芘	茚并(1,2,3-c,d)芘
A	ND-0.184	ND	ND	ND-0.146	
A2	ND-0.146	ND	ND	ND-0.233	
B1	ND-0.534	ND-0.310	ND-0.180	ND-0.533	
B2	ND-0.266	ND-0.206	ND	ND-0.513	
B4	ND-0.480	ND	ND	ND	
B3、A3、A4、C	ND-0.500	ND-0.330	ND-0.280	ND-0.460	

注: “ND”表示未检出。

**Table 5.** Test results of ectopic chemical oxidation remediation soil (unit: mg/kg)

**表 5.** 异位化学氧化修复土壤检测结果(单位: mg/kg)

区域	污染物	苯并(a)蒽	苯并(b)荧蒽	苯并(a)芘	茚并(1,2,3-c,d)芘
A1/A2/B1/B2/B4	ND-0.190	ND	ND	ND	
A3/B4/C	ND-0.250	0.140~0.310	0.100~0.210	ND-0.210	
C	ND-0.300	0.170~0.400	0.120~0.330	0.120~0.350	
C/B3/A4	0.140~0.450	0.120~0.430	0.090~0.330	ND-0.530	
C 基坑侧壁超挖 50 m <sup>3</sup> 土	0.130	ND	ND	ND	

### 5.3. 基坑渗水及堆土渗滤液检测结果

对场地内可能存在的基坑渗水、堆土渗沥液及径流雨水收集处理的工程设计主要包括水体收集和处理; 收集后的水体集中处理达标后用于土壤修复所需用水。表 6 中列出了水自检过程中污染物的浓度情况, 均未检出。

**Table 6.** Test results of water seepage and leachate (unit: mg/kg)

**表 6.** 渗水及渗滤液检测结果(单位: mg/kg)

样品号	污染物	苯并(a)蒽	苯并(b)荧蒽	苯并(a)芘	茚并(1,2,3-c,d)芘
A-1	ND	ND	ND	ND	
A-2	ND	ND	ND	ND	
A-3	ND	ND	ND	ND	

### 5.4. 小结

通过原地异位化学氧化修复工艺共修复土方量为 14,260 m<sup>3</sup>, 污染土壤经修复后达到修复目标值, 修复后合格土壤进行原位回填处置。

## 6. 结论

通过原地异位化学氧化工艺对华东地区某建设用地进行土壤修复。修复结果表明,超标的 SVOCs(苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘和茚并(1,2,3-c,d)芘)等各类污染物经检测后均达到相应修复目标限值要求,可满足场地后续土地利用规划中关于住宅用地的相关使用需求。该案例证明了原地异位化学氧化工艺在土壤修复中的可行性与适用性,且为华东地区乃至全国相似污染类型场地地块的环境治理提供治理思路。

## 参考文献

- [1] 童玲, 陈伟胜, 郑西来, 等. 石油污染土壤修复技术的进展[J]. 化工环保, 2012(4): 19-23.
- [2] 徐楠. 原位化学氧化修复技术——过硫酸盐氧化的研究[J]. 科技致富向导, 2013(18): 157-158.
- [3] 相欣奕. 氧化技术降解典型有机污染物研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2013.
- [4] 赵丹. 焦化工业场地有机污染土壤的化学氧化修复技术[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [5] 周启星, 宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 龙安华, 雷洋, 张晖. 活化过硫酸盐原位化学氧化修复有机污染土壤和地下水[J]. 化学进展, 2014, 26(5): 898-908.
- [7] 桂时乔, 马烈, 张芝兰, 等. 石油烃类污染地下水的汽提和原位化学氧化修复[J]. 环境科技, 2013, 26(3): 48-50.
- [8] 可欣, 张毓, 李延吉, 等. Cr 污染土壤原位固定化修复技术研究进展[J]. 沈阳航空工业学院学报, 2010(2): 75-78.
- [9] 黄冠焱, 陈家桂, 张卿川. 国内土壤修复现状与发展[C]//四川省环境科学学会二〇一一年学术年会论文集. 2011.
- [10] 龙安华, 雷洋, 张晖. 活化过硫酸盐原位化学氧化修复有机污染土壤和地下水[J]. 化学进展, 2014, 26(5): 898-908.