**上海市某工业地块土壤重金属砷铅复合污染修复效果评估**

李文润

（上海利元环保检测技术有限公司，上海 201206）

**摘要：**经场地调查和人体健康评估表明上海市某工业地块受铅砷复合污染，污染物浓度超过了人体健康风险可接受水平需要修复，修复技术采用原地异位稳定化技术，修复药剂为磷酸盐/亚铁盐复配粘土矿物稳定剂，实际修复方量为2710 m3，依据《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）对整个修复过程进行评估、现场采样监测，土壤监测结果符合评价标准，修复工程效果评估合格。

**关键词：**土壤铅砷复合污染；稳定化技术；污染修复；效果评估

**中图分类号：X53**  **文献标识码：A**

**Remediation Effectiveness Evaluation of Heavy Metal Lead and Arsenic in Soil for A Contaminated Site in Shanghai**

Li Wenrun *(Shanghai Liyuan Environmental Testing co. LTD*

*, Shanghai 200120, China)*

**Abstract:** An industrial site in Shanghai was contaminated with lead and arsenic and the concentrations of contaminants showed to exceed acceptable levels of human health risk by environmental site investigation and human health risk assessment. Ex-situ solidification/stabilization technology was adopted to repair the contaminated soil, phosphate/ferrous salt compound clay mineral stabilizer was used as a remediation agent. The actual amount of repair of this project was 2710 m3. The remediation process was evaluated and monitored according to the technical guidelines for risk control and soil remediation effect assessment of contaminated plots (HJ 25.5-2018). The test results conform to the remediation target value, the practice indicates the contaminated soil remediation has good effect and reaches the remediation goals.

**Keywords**: Compound contamination of soil with lead and arsenic; Stabilization technology; Pollution remediation; evaluation

依据上海市沪环保防[2014]188号的相关规定[1]，按照“谁污染、谁治理”的原则，原土地用途为工业用地的场地再开发利用为经营性用地，应按照规定进行土壤和地下水环境调查和评估，经认定存在污染并且需要治理修复的，场地责任方应承担土壤或地下水环境修复的责任和费用，将污染场地治理修复达到环保要求，方可进行再开发利用。

1场地概况

本场地位于上海市城区，历史为工业用地，存在金属制品加工厂、机械加工厂、设备生产厂，场地规划用作商业用地，属于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）中划分的第一类用地，场地总面积10000 m2，污染区域面积为830 m2。

* 1. 地块调查阶段结论

1.1.1地块调查主要结论

前期地块调查阶段所得场地内四个点位土壤重金属铅浓度、砷浓度超过（GB 36600-2018）第一类用地筛选值，砷浓度范围：21.6 mg/kg-38.3 mg/kg，铅浓度范围525 mg/kg-1460mg/kg。

1.1.2土壤人体健康评估主要结论

依据HJ 25.5-2018对地块关注污染物铅、砷进行人体暴露健康风险评估。地块上超标点位铅、砷均超风险，经计算土壤中超风险污染物风险控制值为：砷20 mg/kg、铅400 mg/kg。

1.2土壤修复方案

1.2.1修复范围与理论修复工程量

场地内受铅、砷污染区域的面积为830 m2，按照0-2.9 m的不同深度分成两个区域。理论修复工程量见表1。

**表1 理论修复工程量**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **污染区域** | **污染因子** | **清挖深度/m** | **清挖方量/m3** |
| I | 铅、砷 | 0.0-1.3 | 480 |
| II | 0.0-2.9 | 2200 |
| 合计修复量 |  | | 2680 |

1.2.2修复目标值

清挖后基坑清理值采用GB 36600-2018中第一类用地筛选值；稳定化修复后土壤依据规范，采用硫酸硝酸混合配制的浸提剂，浸出液浓度满足《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) IV类标准限值。

**表2 修复目标值**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **目标污染物** | **修复目标值** | |
| **基坑清理 mg/kg** | **稳定化修复后土壤** |
| **浸出浓度μg/L** |
| 铅 | 400 | 100 |
| 砷 | 20 | 50 |

1.2.3修复技术路线

本项目土壤铅、砷采用原地异位稳定化技术进行修复，污染土壤经过挖掘，短驳至本场地土壤暂存处，加入修复药剂后利用挖机对其进行筛分破碎等预处理；利用机械和人工结合方式布撒设计比例的修复药剂，利用挖机进行混合搅拌并雾炮喷水调节湿度，药剂混合完成的土壤养护7天完成修复。

2修复施工过程

2.1修复实施过程

修复施工过程首先进行施工场地的平面布置，然后在污染范围边界通过高精度RTK进行现场放样，修复区域四周设置围挡。进行土壤异位修复的区域地面铺设1.5mm的土工布以及HDPE防渗膜。依据控制边界进行基坑清挖，经污染土壤清挖至异位修复区域。采用Allu斗作为土壤破碎筛分设备对项目污染土壤进行筛分破碎以及混合预处理；随后再次利用挖机将亚铁盐与复配稳定剂均匀布撒并与污染土壤预混；药剂混合设备选用Allu斗对污染土壤进行修复处理，保证药剂对重金属铅、砷的固定效果；药剂混合完成的污染土壤保持25%的湿度养护一周，修复完成后形成待检测验收堆土。验收合格后的土壤外运运作上海市某区道路一级公路的中层覆土。

2.2修复过程二次污染防控

修复过程中采用了多项措施对施工过程引起的二次污染进行防控，施工场地每日进行洒水降低扬尘；基坑开挖后覆盖防尘网；施工过程对基坑降水、建筑垃圾冲洗水、车辆冲洗水进行收集回用；土壤暂存和修复区域的底部铺设防HDPE防渗膜，避免表层土壤和浅层地下水受到土壤渗滤液的污染。施工过程中对场界无组织废气和场界噪声进行了多次监测，本项目整个修复过程中无环境污染事故发生。

3效果评估布点方案

3.1评估范围

本修复工程验收监测的范围包括： 1）污染土壤清理效果的验收监测：基坑侧壁和底部土壤；2）测经过异地修复后的污染土壤；3）二次污染：包括土壤暂存区、修复设施所在区、建筑垃圾堆放区、短驳道路等区域的土壤和浅层地下水。

3.2布点原则与方案

依据HJ 25.5-2018进行布设，基坑底部面积范围在100 m2-1000 m2时，底坑布点数量不少于3个，基坑侧壁的最少采样数量为5个，基坑深度大于1m时，考虑分层采样。修复后土壤依据堆体体积确定采样单元，堆土体积为500 m3-1000 m3时，需布设不少于4个的采样点位，每增加500 m3，相应增设1点位。

本项目基坑内根据不同污染深度分成I，II两个区域，验收时I区域底部布设4个采样单元，II区域底部布设5个采样单元，基坑侧壁布设5个采样单元，基坑内部I，II两个区域高差形成的侧壁布设1个采样单元，因基坑深度大于1m，侧壁均分两层采样，采样深度为0.2 m和1.2 m。实际修复工程量为2710 m3，共布设12个采样单元。采样布点见图1和图2。

|  |
| --- |
| https://ss0.bdstatic.com/70cFuHSh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=2800038805,1499321125&fm=26&gp=0.jpg  **图例**  基坑底部采样点位  基坑侧壁采样点位 |
| **图1 基坑采样布点图** |
| https://ss0.bdstatic.com/70cFuHSh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=2800038805,1499321125&fm=26&gp=0.jpg  **图例**  基堆土采样点位 |
| **图2 堆土采样布点图** |

3.3检测指标与评估标准值

本项目基坑验收指标为铅、砷，修复后土壤验收检测指标为pH、浸出液铅、浸出液砷，潜在二次污染区域指标为铅、砷，评估标准值同修复目标值。

4质量控制与实验室检测

4.1质量控制

本项目现场采取完善的质量措施确保样品的采集、存放、转运、交样等过程建立完整的管理程序，防止采样交叉感染，采样过程中按10%的比例采集平行样。实验室质控与质保程序覆盖样品分析的整个过程，包括确认供应商提供的试验材料、实验仪器的检定、样品的保存和管理、分析方法、实验环境条件的控制等。实验室分析每批土壤样品分析时按10%的比例测定实验室平行样，加标回收样比例为样品总数的10%~20%。

4.2实验室检测方法

土壤及浸出液的分析方法按照GB36600-2018里规定，见表3、表4。

**表 3 土壤测试方法**

| **序号** | **项目** | **分析方法** | **检出限**  **（mg/kg）** | **评估标准值**  **（mg/kg）** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | pH值 | 玻璃电极法NY/T 1377-2007 | / | / |
| 2 | 铅 | 石墨炉原子吸收分光光度法 GB/T 17141-1997 | 0.1 | 400 |
| 3 | 砷 | 原子荧光法HJ 680-2013 | 0.01 | 20 |

**表 4 土壤浸出分测试方法**

| **序号** | **项目** | **分析方法** | **检出限**  **（mg/kg）** | **评估标准值**  **（mg/kg）** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 铅 | HJ/T 299-2007/HJ 781-2016 | 0.01 | 0.1 |
| 2 | 砷 | HJ/T 299-2007/HJ 702-2014 | 1×10-4 | 0.05 |

5检测结果

本次验收效果评估采用逐一对比的方法进行土壤修复效果评估：a）若检测值低于或等于修标准值，达到修复效果；b）检测值高于评估标准值，未达到修复效果。

本项目共采集坑底、侧壁、堆土样品分别为9、12、12个。基坑清挖后坑底监测结果见图3、图4，坑底土壤铅、砷均达到验收标准。基坑清挖后侧壁验收结果见图5、图6，侧壁土壤铅、砷除两个单元外，其余达到验收标准，对铅超标单元进行二次扩挖内扩0.5m共30 m3土壤，扩挖后二次验收合格。修复后堆土砷铅浸出液监测结果汇总见表5，结果均低于验收标准值。

标准值

标准值

**表 5 修复后堆土砷铅浸出监测结果汇总**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **样品数量** | **监测指标** | **监测结果** | **标准值** | **单位** | **结果**  **评定** |
| 1 | 12 | pH | 8.59 - 9.20 | / | 无量纲 | - |
| 铅（浸出） | ND - 0.06 | 0.1 | mg/L | 合格 |
| 砷（浸出） | 2.4E-3-6.2E-3 | 0.05 | mg/L | 合格 |

5.3潜在二次污染监测结果

二次污染效果评估在污染土壤暂存区、建筑垃圾堆放区、短驳道路、基坑降水暂存区共布设4个点位，采集去除杂质后的土壤0~20cm表层样、浅层地下水。检测结果汇总见表6，表层土壤和浅层地下水中铅、砷均未超过评价标准，表明修复区域土壤和地下水未受修复过程影响。

**表6 二次污染区域验收评估**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **功能区名称** | | **验收介质** | | **铅** | | **砷** | | **单位** | **结果**  **评价** |
| **检测值** | **标准值** | **检测值** | **标准值** |
|  | 土壤修复过程二次污染 | 污染土壤暂存区 | | 土壤（0-20cm） | 237 | 400 | 15 | 20 | mg/kg | **合格** |
|  | 建筑垃圾堆放区 | | 267 | 16.8 | **合格** |
|  | 基坑降水暂存区 | | 58.8 | 6.03 | **合格** |
|  | 短驳道路 | | 49.1 | 7.53 | **合格** |
|  | 污染土壤暂存区 | | 地下水（水面下0.5m） | ND | ≤0.1 | 3.0E-3 | ≤0.05 | mg/L | **合格** |
|  | 建筑垃圾堆放区 | | ND | 4.0E-3 | **合格** |
|  | 基坑降水暂存区 | | 5.2E-3 | 4.0E-3 | **合格** |
|  | 短驳道路 | | ND | 3.0E-3 | **合格** |

6土壤修复效果评估

实验室检测分析结果显示，基坑土壤及异位修复土壤修复效果评估监测污染物浓度值均低于效果评估标准值，土壤修复效果评估合格。修复过程未对土壤和地下水造成二次污染。

7结果与讨论

1）本工程实际修复方量为2710 m3，修复技术采用原地异位稳定化技术，修复药剂为磷酸盐/亚铁盐复配粘土矿物稳定剂，修复前调查得土壤砷浓度范围：21.6 mg/kg-38.3 mg/kg，铅浓度范围525 mg/kg-1460 mg/kg，修复后监测得基坑土壤砷低于20 mg/kg，铅低于400 mg/kg，修复后土壤浸出液铅砷浓度低于GB/T 14848-2017 IV类标准限值，修复达标。

2）修复效果验收主要依据HJ 25.5-2018布点，不合格单元二次清挖二次验收后合格。

3）修复过程环境大气及噪声二次污染监测结果、修复完成后潜在二次污染区域土壤及地下水监测结果表明修复过程的环保措施得到有效落实，未对环境造成不良影响。

4）本工程修复技术属于风险管控技术，建议外运土壤依据验收规范进行风险管控。

[参考文献]

[1] 《关于保障工业企业及市政场地再开发利用环境安全的管理办法》（沪环保防[2014]188号）

[2] 李肇铸，章生卫，魏鸿辉等.某污染场地土壤重金属砷修复效果评估[J]广东化工，2017,44（12）:213-215  
[3]赵述华，陈志良，张太平等．重金属污染土壤的固化/稳定化处理技术研究进展[J]．农业环境科学学报，2013，03：409-417．

[4]宋云，李培中，郝润琴．我国土壤固化/稳定化技术应用现状及建议[J]．环境保护，2015(15)：28-33．

作者简介：李文润（1987年-），女，硕士研究生，工程师，从事场地污染调查与监测工作。