

# EDTA 淋洗修复重金属复合污染土壤的修复应用实例

## Case Study of Remediation of Contaminated Soil with Multi-Heavy Metals by Soil Washing Technology with EDTA

李明 徐子茜

Ming Li Ziqian Xu

上海城投上境生态修复科技有限公司 中国·上海 200237

Shanghai Chengtou Shangjing Environment Ecological Restoration Technology Co., Ltd., Shanghai, 200237, China

**摘要:** 以中国上海市某地块重金属复合污染土壤修复工程为实例, 通过实验室小试和现场中试确定了淋洗药剂用量、淋洗固液比和淋洗时间等工艺参数。实验结果表明, EDTA 浓度为 1mmol/L, 固液比为 1 : 4, 淋洗时间为 30min 时, 能够有效去除土壤中的铅和汞。在工程中应用该工艺参数开展现场施工, 修复后土壤监测结果符合效果评估要求, 该应用案例对重金属污染土壤的修复施工具有实践指导意义。

**Abstract:** In this paper, taking the real case of multi-heavy metals contaminated soil remediation project in shanghai, China as an example, the process parameters such as the dosage of leaching agent, solid-liquid ratio, and reaction time have been determined through lab experiment and pilot scale test. The experimental results show that two target contaminates (including Pb and Hg ) can be removed efficiently when the concentration of EDTA is 1 mmol/L, the solid-liquid ratio is 1 : 4, and reaction time is 30 min. The process parameters were applied in the project to carry out on-site construction, and the soil monitoring results after the restoration met the effect evaluation requirements, this application case has practical guiding significance for the restoration of heavy metal contaminated soil.

**关键词:** 土壤淋洗; 淋洗剂; 铅; 汞

**Keywords:** soil washing; leaching agent; Pb; Hg

**DOI:** 10.12346/etr.v3i11.4641

## 1 引言

重金属污染问题是中国城市土地中常见的土壤污染问题, 主要由于电镀、冶金和化工等工业搬迁遗留所致<sup>[1]</sup>, 其潜在的生态环境和人体健康风险阻碍了城市土地资源的在开发利用, 因此重金属污染地块的管控和修复是土壤修复治理行业的关注热点之一<sup>[2]</sup>。化学淋洗法是利用化学淋洗剂对土壤中重金属污染物的解吸、螯合、固定等化学作用, 将重金属转移到淋洗液中, 从而根除土壤中的重金属, 具有施工简单、修复彻底稳定等优点, 且适用于高浓度污染土壤<sup>[3]</sup>, 近年来被广泛地应用于实际修复工程中<sup>[4]</sup>。常用的淋洗剂主要有无机酸、螯合剂、天然有机酸、表面活性剂等, 其中

FeCl<sub>3</sub>、柠檬酸和乙二胺四乙酸二钠 (EDTA) 是施工中常用的三种淋洗剂, FeCl<sub>3</sub> 可通过离子交换、酸解和络合作用破坏土壤对重金属离子的吸附作用, 将重金属离子解吸到淋洗液中<sup>[5]</sup>。柠檬酸可与重金属离子形成可溶性的络合物, 提高金属离子的活动性, 从而促进金属离子的解吸<sup>[6]</sup>。EDTA 分子中含有氨基以及羧基, 对大部分重金属均具有良好的络合能力<sup>[7]</sup>。

本研究以中国上海市某地块重金属复合污染土壤修复工程为实例, 选取 FeCl<sub>3</sub>、柠檬酸和乙二胺四乙酸二钠 (EDTA) 作为淋洗剂, 通过实验室小试确定适合本项目污染土壤的淋洗工艺参数, 并经现场中试试验验证该工艺参数的有效性,

【作者简介】李明 (1993-), 男, 中国山西吕梁人, 硕士, 技术工程师, 从事土壤和地下水修复研究。

并应用于实际修复工程中。

## 2 污染地块概况

本应用案例位于中国上海市, 污染地块历史上为工业用地, 后续规划为教育科研用地和住宅用地, 根据调查和风险评估资料, 该地块存在重金属污染, 污染因子为铅和汞, 污染面积约 5149.2m<sup>2</sup>, 污染深度 0~2m, 污染方量约 9356.7m<sup>3</sup>, 铅和汞最高检出浓度分别为 606mg/kg 和 178mg/kg, 修复目标值分别为 140mg/kg 和 4.95mg/kg。

## 3 实验室小试

现场采集污染区域内的土壤为 20kg。经测试土壤样品中重金属铅和汞的平均初始浓度分别为 178mg/kg 和 7.7mg/kg, pH 值为 8.26, 含水率为 28%。利用该土壤分别进行粒径分析实验、淋洗药剂筛选实验、最佳淋洗剂浓度实验、最佳搅拌时间实验、最佳固液比实验。

### 3.1 粒径分析

在烧杯中称取 200g 的污染土, 加入 400mL 清水, 用玻璃棒搅拌至泥浆状; 在电动振筛机放置四种孔径的筛网 (2mm、0.9mm、0.3mm 和 0.075mm), 对泥浆状的污染土壤进行振动筛分; 然后将各级筛上物风干并称重, 计算供试土壤中不同粒径颗粒质量占比。

### 3.2 筛选淋洗药剂

在烧杯中各称取 200g 污染土 (粒径小于 0.3mm), 分别加入 800mL 浓度为 5mmol/L 的 EDTA、氯化铁、柠檬酸和清水, 机械搅拌 30min 后抽滤, 抽滤后的土壤风干后分析检测。

### 3.3 确定最佳淋洗剂浓度

选用筛选实验中筛选出的最佳淋洗药剂作为土壤淋洗药剂。在 4 个烧杯中各称取 200g 污染土 (粒径小于 0.3mm), 分别加入 800mL 浓度为 1mmol/L、5mmol/L、10mmol/L、20mmol/L 的 EDTA, 机械搅拌 30min 后抽滤, 抽滤后的土壤风干后分析检测。

### 3.4 确定最佳固液比

在 3 个烧杯中各称取 200g 污染土 (粒径小于 0.3mm), 各加入 400mL、800mL、1200mL 浓度为 1mmol/L 的 EDTA, 机械搅拌 30min 后抽滤, 抽滤后的土壤风干后分析检测。

### 3.5 实验主要结论

①粒径分析实验: 通过四级震动筛分后, 经计算得出供试土壤回收率为 96.6%, 土壤减少的质量为筛网上的土壤残留与土壤中可溶解物, 土壤中粒径大于 2mm、0.9~2mm、0.3~0.9 mm、0.3~0.075 mm、小于 0.075mm 的颗粒质量占比分别为 15.1%、10.8%、16.7%、8.9%、45.1%, 0.3mm 以下

小粒径土壤颗粒由于比表面积大, 可吸附更多重金属, 污染物浓度较高, 因此为提高实验的有效性, 后续实验中均使用粒径小于 0.3mm 的土壤作为供试土壤。

②淋洗药剂筛选实验结果表明: 清水、EDTA、三氯化铁与柠檬酸均可去除土壤中的铅与汞, 但相同浓度下 EDTA 对铅和汞的去除效果最好, 因此确定 EDTA 为最佳淋洗药剂。

③最佳淋洗剂浓度实验结果表明: 浓度 1mmol/L、5mmol/L、10mmol/L 和 20mmol/L 的 EDTA 对供试土壤中的铅和汞均具有去除效果, 且去除率随 EDTA 浓度升高而增大, 但 EDTA 浓度为 1mmol/L 时即可达到土壤修复目标值, 因此确定 EDTA 的最佳浓度为 1mmol/L。如图 1 所示。

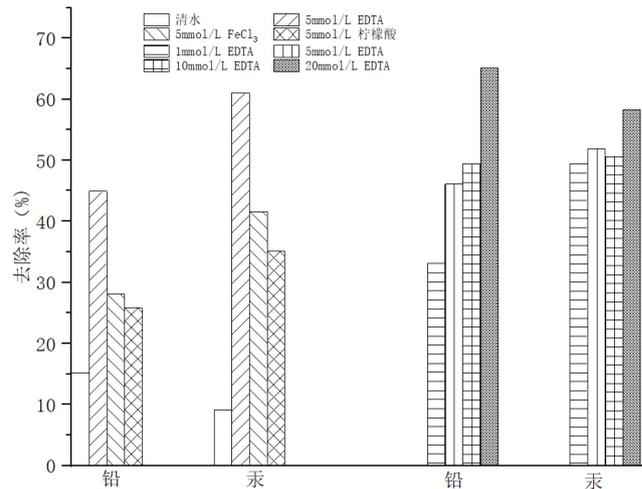


图 1 淋洗剂种类和淋洗剂浓度对重金属去除率的影响

④最佳固液比实验结果表明: 提高固液比可提高重金属去除率, 但固液比为 1 : 4 即可达到较高的去除率, 继续提高固液比重金属去除率提高不明显, 因此确定淋洗的最佳液固比为 1 : 4。如图 2 所示。

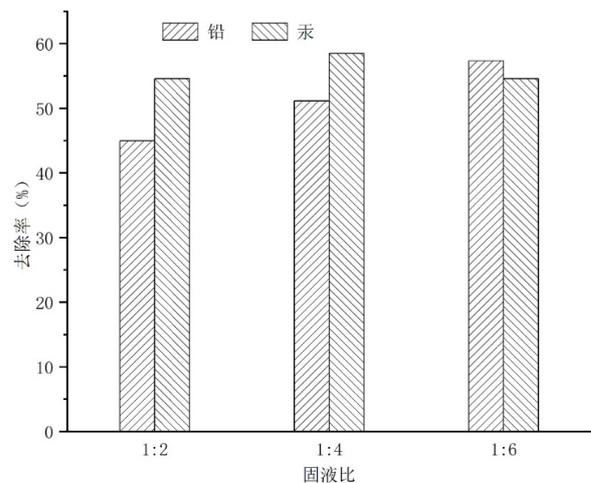


图 2 固液比对重金属去除率的影响

## 4 现场中试应用

工程应用前现场开展中试试验,验证上述工艺参数的可行性。现场中试试验采用成套淋洗设备,主要包括进料单元、淋洗单元、脱水单元和水处理单元。工艺参数如下:淋洗剂为EDTA,浓度设定为1mmol/L,固液比设定为1:4,淋洗时间设定为30min。

中试流程:污染土壤开挖后,采用土壤破碎筛分设备进行预处理,筛除大颗粒的建渣后,通过挖机送入预处理泥浆池进行调制;调制完成的污染土壤转移至滚筒筛,在滚筒筛分机入口注入淋洗液,在滚筒筛分机进行内淋洗与分级,颗粒大于2mm的砂石经滚筒筛分机的出料端口排出,颗粒小于2mm的沙土随泥浆混合物经筛网进入一级泥浆池,并在搅拌机作用下与淋洗液混合。一级泥浆池中的泥浆泵入水力旋流器进行二次粒径分级,粒径小于0.3mm的颗粒随泥浆进入二级泥浆池继续搅拌,0.3~2mm粒径的沙土泵入震动筛脱水,脱水产生的沙土暂存至待检区;二级泥浆池中泥浆充分搅拌后泵入板框压滤机进行脱水干化处理,脱水后的泥饼暂存至待检区,淋洗废水进入水处理系统进行处理,处理工艺为混凝沉淀。淋洗废水在中间水池经均质均量调节,泵至混凝沉淀池,依次投加重金属捕捉剂、PAC和PAM,沉淀废水中的重金属离子,经该过程,淋洗剂得以释放,处理后的废水现场循环使用,产生的污泥脱水后作为危险废物外运处置。中试结果显示,该工艺参数下污染土壤经淋洗修复后,铅和汞浓度低于修复目标值。

## 5 工程实施

现场将污染区域内的污染土壤开挖转运至修复区域,采用ALLU筛分斗对土壤进行预处理,筛除大块的建筑垃圾。预处理后的污染土壤通过挖掘机送入淋洗设备进料口进行淋洗修复,淋洗修复产生的石块、土壤、细砂等转运至待检区分类暂存。施工期间开展环境监测和实施二次污染防治措施,产生的固体废物和危险废物交由有资质的单位处置。

修复施工完成后,效果评估单位对开挖基坑和修复后的土壤按照HJ 25.5—2018《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》进行验收,效果评估结果显示,开挖基坑和修复后的土壤样品中铅和汞的浓度均低于修复目标值。修复合格后的土壤现场回填。

## 6 结论

论文针对上海市某污染地块的重金属Pb、Hg复合污染问题,通过淋洗优化实验,从FeCl<sub>3</sub>、柠檬酸和EDTA三种淋洗剂中,筛选出EDTA是最适合本工程的淋洗剂,并确定了最佳淋洗药剂浓度(1mmol/L)、淋洗固液比(1:4)、淋洗时间(30min)等施工工艺参数,并以该工艺参数开展了现场施工,修复后污染土壤中Pb、Hg浓度显著降低,满足本工程的修复目标值。本研究通过优化淋洗反应条件并成功应用于实际修复工程中,对重金属污染土壤的修复施工具有实践指导意义。

## 参考文献

- [1] 欧国良,吴刚.我国城镇化与工业化进程中的土地污染问题[J].社会科学家,2015(2):73-78.
- [2] 王慧,江海燕,肖荣波,等.城市棕地环境修复与再开发规划的国际经验[J].规划师,2017,33(3):19-24.
- [3] 张振.重金属污染土壤修复技术研究[J].科技风,2021(15):136-138.
- [4] 胡永丰,酆和生,秦会敏.重金属污染土壤淋洗优化技术进展[J].化工环保,2019,39(5):506-509.
- [5] 李婷,蔡莞缤,方圣琼,等.FeCl<sub>3</sub>淋洗修复重金属Pb污染土壤技术研究[J].能源与环境,2020(4):62-65.
- [6] 戴竹青,彭文文,王明新,等.盐酸羟胺强化柠檬酸淋洗修复重金属污染土壤[J].生态与农村环境学报,2020,36(9):1218-1225.
- [7] 王海娟,宁平,曾向东,等.淋洗剂对土壤铅淋洗效率及养分损失的研究[J].武汉理工大学学报,2010,32(5):101-104.