

# 土壤重金属污染的工程危害及修复方法

张帆<sup>1</sup>, 蒋宁俊<sup>2</sup>

(1 东南大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210096 2 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 分析了重金属污染对地基土和地下结构物的危害, 比较了电动修复、土壤冲刷、原位土壤淋洗、化学固化修复土壤的优缺点, 重点介绍固化/稳定化技术在修复重金属污染土壤中的应用。

**关键词:** 重金属污染; 土壤修复方法; 固化/稳定化修复

中图分类号: X53 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2010)04-0058-03

## Review of Hazards Induced by Soil Contamination of Heavy Metals and Remediation Techniques

ZHANG Fan<sup>1</sup>, JIANG Ning-jun<sup>2</sup>

(1 Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096 China;

2 Transportation College, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096 China)

**Abstract** The impacts of heavy metals on foundation soil and underground constructive structures were analyzed. The advantage and disadvantage of remediation methods such as electrokinetic remediation, soil washing, soil flushing and chemosealing were compared. The solidification/stabilization technology in remediation of heavy metal polluting soils was mainly introduced.

**Key words** Heavy metal pollution; Soil remediation method; Solidification and stabilization remediation

我国土壤污染十分严重<sup>[1-3]</sup>。重金属污染改变原有地基土特性, 影响地下结构物的安全使用。研究污染土壤的工程危害和修复方法, 对于提高治污水平具有重要意义。

### 1 重金属污染的工程危害

#### 1.1 重金属污染对地基土影响

20 世纪 60 年代, 化工部南京勘察公司老房地基土污染导致土质改变, 造成建筑物破坏<sup>[4]</sup>; 1994 年广西柳州某公司电解锌车间的红黏土地基, 因 ZnSO<sub>4</sub> 污染强度明显降低, 导致车间停产<sup>[5]</sup>。傅世法等<sup>[6]</sup>对同一地区已被污染和未被污染的原状土样压缩和直剪试验的结果表明, 土被污染后压缩性和凝聚力增加, 摩擦角减小。

#### 1.2 重金属污染对地下结构物影响

污染物影响地基土的力学特性, 对建筑地下结构造成破坏。地下结构多为钢筋混凝土结构, 污染物对混凝土及钢筋产生影响。贾尚星等<sup>[7]</sup>以河南

开封炼锌厂为例, 根据场地环境类别系统评价了污染水、污染土对拟建工程混凝土结构、混凝土结构中钢筋及钢结构的腐蚀等级, 发现场地的腐蚀等级为严重腐蚀时, 对地下结构造成严重危害。

Cr、Cu、Zn、As、Ce、Hg 和 Pb 等重金属氧化物与水泥浆发生反应, 影响水泥水化初期的硬化和强度<sup>[8]</sup>。Mn、Co、Ni、Cu 和 Zn 等金属氯化物与水泥中的硅酸盐和铝酸盐反应, 形成会影响强度发展的复合物<sup>[9]</sup>。Cu、Pb、Zn 油脂、油、NaOH 增加含粉煤灰胶结材料的凝结速度和 28 d 强度, 降低 Portland 水泥浆的 28 d 强度<sup>[10]</sup>。在 PbO 存在下, 常见水化物在 C<sub>3</sub>A 的水化过程中也能形成, 但 C<sub>3</sub>A 的抗压强度显著下降<sup>[11]</sup>。添加 PbO 的水泥试样无侧限抗压强度变化较小; 添加了 5% 硝酸铅试样无侧限抗压强度最多可获得 18% 的增长<sup>[12]</sup>。

收稿日期: 2010-04-08 修订日期: 2010-06-10

作者简介: 张帆 (1985-), 男, 江苏海门人, 硕士生, 从事环境岩土研究。

重金属存在和浓度大小对水泥浆的强度有显著影响。在重金属污染场地水泥或混凝土地下结构物的施工时, 重金属污染改变水泥或混凝土浆的强度发展, 致使结构物的工程寿命受到影响。在重金属污染场地中, 重金属的长期运动迁移, 将改变地下水和土壤孔隙水成分和酸碱环境, 增强土壤导电性, 腐蚀水泥和混凝土地下结构物, 造成其强度和耐久性降低。

## 2 重金属污染场地修复方法

重金属污染土的处理有多种方法, 若不考虑经济性, 化学固化法比其他方法更具优势, 尤其用固化剂处理污染土不仅可以固化污染土中的重金属离子, 避免渗流对地下水的影响, 还能够提高污染土的强度, 满足某些工程需要。该项技术在我国应用较多, 如香港青衣北部填海工程即采用此项技术<sup>[13]</sup>。不同处理方法<sup>[14-16]</sup>的比较见表 1。

表 1 处理污染土各种方法的比较

Table 1 Comparison of contaminated soil treatment methods

处理方法	基本原理	适用类型	局限性及缺点
电动修复	在电场作用下, 可控制重金属离子流动方向, 使其通过电渗透、电迁移向电极移动	土粒缺乏强吸附和缓冲能力	对非饱和土处理效果不理想; 操作设备复杂
土壤冲刷	活性剂使污染物脱离土颗粒, 利用冲刷流体把污染物冲刷去除	去除原位土水溶性的无机污染物, 当污染物达地下水水位时	低渗透性的土壤很难处理, 冲刷溶液必须回收处理, 并长期检测
原位土壤淋洗	通过逆转反应机制, 把土壤中固相金属转成液相, 并与提取剂混合、分离, 用淋洗法去除残留液, 可回收金属	具备一定高渗透能力的粗粒土, 不适用于黏(质)土和泥炭土	操作复杂, 成本高, 不成熟, 不易推广
化学固化	运用固化剂改变土壤理化性质, 使有毒金属固定, 减少向深层和地下水迁移	不适用于有机污染物、氰化物及爆炸性物质	重金属仍滞留土壤内, 但形态已改变, 较稳定

## 3 固化/稳定化处理重金属污染场地

固化/稳定化 (solidification/stabilization, 简称 S/S 技术) 是一种快速而经济的污染土地基处理方法, 包括原位处理和非原位处理技术。原位 S/S 技术处理法利用搅拌机械使水泥等固化剂与污染土搅拌, 通过固化剂与污染土发生一系列化学反应, 使污染物质固化在加固土体中, 减少污染物质向周边环境迁移, 同时有效提高地基的强度, 使污染场地重新被利用。非原位处理技术利用机械将开挖后的污染土与水泥等固化剂搅拌混合, 增强地基的强度。

美国确认 S/S 技术可有效处理资源保护与恢复法案 (RCRA) 中所罗列的 57 个有害废弃物, 已成功应用该技术到约 24% 的专项基金投资的污染场地修复工程中<sup>[17]</sup>。法国用 S/S 技术固化废弃物填埋场中的工业废料<sup>[16]</sup>。英国用该方法修复受重金属污染的淤泥<sup>[18-19]</sup>。日本选择该技术作为 21 世纪岩土工程学科优先和重点研究的课题<sup>[20]</sup>。

国外采用 S/S 法修复重金属污染土的实例, 见表 2。

表 2 S/S 技术修复重金属污染土工程实例

Table 2 Examples of heavy metal soil remediation using S/S technology

国家	重金属名称	污染场地	参考文献
美国	Cd, Cr, Pb, Zn	化工厂	[21-23]
瑞典	Hg	亮度厂	[24]
芬兰	不明	港口	[25]
英国	Cu, Zn	工厂	[24]

## 4 结语

我国对污染土的研究集中于酸碱物质对土壤力学性质的影响, 对污染机理及治理方法涉及较少。S/S 技术相对成本较低, 施工方便, 处理后的地基土强度高。S/S 技术在发达国家的应用, 为我国重金属污染土壤的工程修复提供了范例。

### [参考文献]

- [1] 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
- [2] 冯艳红, 林玉锁, 张孝飞, 等. 苏南地区农村河塘底泥中重金属污染调查与评价 [J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(5): 19-22
- [3] 史贵涛, 陈振楼, 李海雯, 等. 城市土壤重金属污染研究现状与趋势 [J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(6): 9-12

- [ 4 ] 陈先华, 唐辉明. 污染土的研究现状及展望 [ J ]. 地质与勘探, 2003 39(1): 77-80.
- [ 5 ] 蓝俊康. 柳州市红粘土对  $Zn^{2+}$  的吸附平衡实验 [ J ]. 桂林工学院学报, 1995, 15(3): 265-268
- [ 6 ] 傅世法, 林颂恩. 污染土的岩土工程问题 [ J ]. 工程勘察, 1989 17(3): 14-16.
- [ 7 ] 贾尚星, 付强, 陈少茹. 开封炼锌厂污染地基的腐蚀性评价及防护措施 [ J ]. 土工基础, 2003, 17(4): 16-18
- [ 8 ] TASHIRO C, OBA J AKAWA K. The effects of several heavy metal oxides in formation of ettringite and the microstructure of hardened ettringite [ J ]. Cem. Concr Res 1979(9): 303
- [ 9 ] SFEPAANOVA IN. Hardening of cement pastes in presence of chloride of 3d elements [ J ]. Chem, 1981 (54): 885.
- [ 10 ] BRICKA RM, JONES N J. An evaluation of factors affecting stabilization/ solidification of heavy metal sludge [ R ]. Vicksburg U S Army Engineer Waterways Experiment Station, 1993.
- [ 11 ] TASHIRO C, OBA J. The effects of  $C_2O_3$ ,  $Cu(OH)_2$ ,  $ZnO$  and  $PbO$  on the compressive strength and the hydrates of the hardened  $C_3A$  paste [ J ]. Cem. Concr Res 1979 (9): 253-258
- [ 12 ] ORTEGO JD, JACKSON S, YU G S, et al. A TGA and FTIR study of Portland cement containing metal nitrates [ J ]. Environ Sci Health, 1989 24 (6): 589-602.
- [ 13 ] 环境保护运动委员会. 2004 香港环保企业荣誉金奖和金奖得奖机构环保心得 [ EB/OL ]. (2005-12-01) [2010-1-13] [http://www.ecc.org.hk/sc\\_chi/archive/archive\\_detail.php?id=119](http://www.ecc.org.hk/sc_chi/archive/archive_detail.php?id=119)
- [ 14 ] 孙毅, 李光荣. 污染土固化处理技术在治理深圳河工程中的应用 [ J ]. 水利水电快报, 2007 28(11): 24-26
- [ 15 ] 许丽萍, 李韬, 陈辉. 第二届全国岩土与工程学术大会论文集 [ C ]. 北京: 中国岩石力学与工程学会, 2006.
- [ 16 ] 周启星. 污染土壤修复技术再造与展望 [ J ]. 环境污染治理技术与设备, 2002 3(8): 36-40
- [ 17 ] EPA. Treatment technologies for site cleanup [ R ]. Washington DC: U S U S EPA, 2004.
- [ 18 ] United Kingdom Environment Agency. Review of scientific literature on the use of stabilisation/solidification for the treatment of contaminant soil, solid waste and sludges [ R ]. Bristol UK: UK Environment Agency, 2004.
- [ 19 ] A4TABBA A. Stabilisation /Solidification of contaminated materials with wet deep soil mixing [ J ]. Land Contamination & Reclamation 2003 11 (1): 697-731.
- [ 20 ] 日本学术会议 - 地盤環境工学専門委員会. 地盤環境工学の展開と連携に向けて [ C ]. 东京: 地盤環境工学, 2005
- [ 21 ] DAY SR, ZARLINSKI S, JACOBSON P. Stabilization of cadmium-in-pacted soil using jet-grouting technique [ R ]. New Orleans Louisiana USA: ASCE Special Publication, 1355-1357.
- [ 22 ] RAHMAN K SM, MURTHY M AV. Stabilization of chromium by reductase enzyme treatment [ R ]. Cambridge UK: Cambridge University, 2005
- [ 23 ] PENSART S. The remediation of the acid tar lagoons Rime Belgium. Stabilisation/solidification treatment and remediation advanced in S/S for Waste and Contamination Land April 2005 [ C ]. Cambridge UK: Cambridge University, 2005.
- [ 24 ] HOLM G. R, BERGLUND C. Stabilisation and solidification of contaminated ground-A preliminary study. Deep Mixing 05 International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances Stockholm, Sweden, May 23-25 2005 [ C ]. Stockholm Sweden: Swedish Deep Stabilization Research Centre, 2005
- [ 25 ] JELISIC N, LEPPANEN M. Remediation of contaminated land of Somainen, Helsinki by using the mass stabilization. Deep Mixing '05. International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances Stockholm, Sweden, May 23-25, 2005 [ C ]. Stockholm Sweden: Swedish Deep Stabilization Research Centre, 2005

(上接第 57 页)

(4) 应用遥感手段可弥补巢湖蓝藻人工观测手段费时、费力的不足, 有利于研究蓝藻发展变化的规律, 掌握巢湖蓝藻的时空变化, 为政府管理部门决策提供技术支持。

#### [参考文献]

- [ 1 ] 李旭文. Landsat-7 SLC-OFF ETM 遥感数据下载及在太湖蓝藻水华监测中的应用 [ J ]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(3): 54-57
- [ 2 ] 张琪, 牛志春. 环境遥感监测软件系统在太湖流域的应用 [ J ]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(6): 44-46
- [ 3 ] 梅安新, 彭望琼, 秦其明, 等. 遥感导论 [ M ]. 北京: 高等教育出版社, 2001
- [ 4 ] 李国斌, 张仲元. MODIS 影像的大气校正及在太湖蓝藻监测中的应用 [ J ]. 湖泊科学, 2008 20(2): 160-166
- [ 5 ] 元雪勇, 田庆久. 光学遥感大气校正研究进展 [ J ]. 国土资源遥感, 2005 66(4): 1-6
- [ 6 ] 唐军武, 田国良, 江小勇. 水体光谱测量与分析 I: 水面以上测量法 [ J ]. 遥感学报, 2004, 8(1): 37-44
- [ 7 ] 疏小舟, 尹球, 匡定波. 内陆水体藻类叶绿素浓度与反射率光谱特征的关系 [ J ]. 遥感学报, 2000 4(1): 41-45
- [ 8 ] 王桥, 杨一鹏, 黄家柱, 等. 环境遥感 [ M ]. 北京: 科学出版社, 2005
- [ 9 ] 吴传庆, 王桥, 杨志峰, 等. 太湖水华的遥感分析 [ J ]. 中国环境监测, 2007 23(3): 52-56