

文章编号 :1003- 8701(2010)01- 0057- 04

在不同浸出条件下铅离子污染土的固化试验研究

席永慧 ,吴晓峰

(同济大学建筑工程系 ,上海 200092)

摘要 :利用水泥来固化 / 稳定污染土中的重金属离子是一种常用的处置方法。着重讨论了添加蒙脱土后的复合固化剂对铅离子的固化效果。设计了不同蒙脱土和水泥掺量的 12 组固化剂 ,通过污染土制备、压实成型、强度测试和溶出试验 4 个步骤来获得试验数据。其中在溶出试验过程中 ,设定了 4 种不同的溶出条件以进行对比分析。结果表明 :即使已经远远满足 TCLP 条件的固化产物 ,但在更加恶劣的试验条件下 ,浸出液的浓度非常高 ,远远达不到标准 ,所以在固化应用于实际工程时 ,根据条件不同 ,要考虑到更加恶劣的条件。

关键词 :铅 ;污染土 ;固化 ;稳定化 ;蒙脱土 ;浸出条件

中图分类号 :X53

文献标识码 :A

An Experimental Study of Solidification of Pb-Contaminated Soil in Different Leaching Conditions

XI Yong- hui, WU Xiao- feng

(Department of Construction Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Using cement to solidify/stabilize the heavy metal contaminated soil is a common method of disposal. This article focused on the effects of solidification of Pb- contaminated soil which is disposed by composite curing agent added montmorillonite. The experiment adopted design of 12 groups curing agent with different content of montmorillonite and cement. There were four steps to obtain experimental data, i.e., preparation of contaminated soil, compaction molding, strength test and dissolution test. Four different leaching conditions were analyzed in the leaching test. The results showed that even though solidification product met the standards of the TCLP, but the concentration of leaching solution was very high in the worse conditions, far below the standards. So according to different conditions, it is necessary to consider to worse conditions in the actual projects.

Keywords: Lead; Contaminated soil; Solidification; Stabilization; Montmorillonite; Leaching conditions

随着经济的发展 ,特别是工业走“先污染 ,后治理”的不合理的发展道路 ,土壤污染越来越严重 ,日益受到人们的关注。而其中重金属污染对人们的日常生活影响最大 ,所以解决这一环境问题迫在眉睫。而污染物固化 / 安定化处理技术作为一种高效经济的土壤重金属污染处理技术越来越受到人们的关注。

收稿日期 :2009- 09- 23

基金项目 :上海市城乡建设和交通委员会项目“上海城市污染(受损图)处置与修复关键技术研究”(重科 :2008- 006)

作者简介 :席永慧(1965—),女 ,博士 ,副教授 ,从事环境岩土工程研究。

固化 / 稳定化(Solidification/Stabilization ,简称 S/S) 技术于 1970 年左右开始应用于污染物的处理 ,现已被一些发达国家广泛用于危害废物的处理和污染土的修复工作。该技术不仅能将有害污染物变成低溶解性、低毒性和低移动性的物质 ,而且处理后所形成的固化体(称 S/S 产物) 还可被建筑行业所采用(路基、地基、建筑材料)。目前处于研究中的土壤重金属污染的固化方法主要有基于水泥的固化技术、基于石灰的固化技术、矿物吸附技术、热塑技术、热固树脂技术、玻璃化技术 6 大类^[1]。其中如何评价固化技术的优劣也是

一个关键问题,但是国内的评价体系并不完善,刘锋等人做了对中国、美国和欧盟用于危险废物鉴别的浸出方法进行了比对实验研究^[2],但对于我国现行的浸出标准如《固体废物浸出毒性浸出方法醋酸缓冲溶液法》^[3]以及更加恶劣的浸出条件并未做研究。所以本次试验的研究思路集中在:以水泥为主要基本材料,满足基本的强度要求,同时添加具有良好吸附性能的蒙脱土固定/稳定在恶

劣条件下的污染土,并以美国标准 TCLP 浸出条件为基础,研究在不同浸出条件下固化产物的稳定性。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验设备

试验所涉及的主要分析仪器及设备见表 1。

表 1 主要试验仪器及设备

序号	主要功能	仪器设备	生产厂商
1	强度	DY208-A20 全自动压力试验机	无锡东仪制造科技有限公司
2	pH	全自动电化学分析仪	赛多利斯科学仪器(北京)
3	浸出	ZRS-8G 智能溶出试验仪	天津天大天发科技有限公司
4	提取纯净浸出液	H1650 高速台式离心机	长沙湘仪离心机仪器有限公司
5	重金属含量测定	3510 型原子吸收光谱仪	安捷伦科技上海有限公司

1.1.2 土样

本次试验所用土样取自上海某工地的未受污

染的天然原状土,为上海第 2①层粉质粘土,其物理指标见表 2。

表 2 试验用土的物理指标

层号	土层名称	含水率 W(%)	重度(kN/m ³)	孔隙比 e ₀	三轴固结不排水			
					粘聚力 c	内摩擦角 φ	粘聚力 c'	内摩擦角 φ'
2①	粉质粘土	35.1	17.9	1.02	22.0	23.0	0	32.5

1.1.3 外加剂

本次固化试验所添加的外加剂见表 3。

为 1 000 mg/kg。

1.3 试验方案

1.3.1 试块制作

人工污染土按一定比例加入外加剂(水泥、蒙脱土),再加水至指定含水率后,搅拌均匀,并在 7.07 cm×7.07 cm×7.07 cm 模子中分层压实成型^[4]。以 C 代表水泥, M 代表蒙脱土,各组试块水泥、蒙脱土和水的含量见表 4。

1.3.2 强度试验

试块在恒温恒湿条件下养护 2 d 后脱模,并标准养护 28 d 后测试其无侧限抗压强度。

表 3 试验所用的添加剂

编号	外加剂	生产厂商	目数
1	425 普通硅酸盐水泥	安徽海螺水泥股份有限公司	180
2	蒙脱土	浙江丰虹粘土化工有限公司	200

1.2 土样制备

首先,将土自然风干,敲碎并过 5 mm 筛备用。其次,配制 Pb²⁺ 浓度为 5 000 mg/L 的 Pb(NO₃)₂ 溶液;最后,将原状土与溶液混合,并放置 24 h 以使污染物均匀分布。人工配置的污染土中 Pb²⁺ 含量

表 4 每组试块的掺量

编号	C5M0	C5M2	C10M0	C10M2	C10M4	C10M6	C15M0	C15M2	C15M4	C15M6	C20M4	C20M6
水泥	5%	5%	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	20%	20%
蒙脱土	0%	2%	0%	2%	4%	6%	0%	2%	4%	6%	4%	6%
水	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
单块试样重度(g/cm ³)	1.66	1.90	2.00	2.00	1.95	1.95	2.00	2.04	2.04	1.98	1.91	1.90

1.3.3 污染物浸出试验

取压碎后的试块一部分磨细,并过 0.6 mm 筛备用。取磨细的粉末 50 g 和 1 000 mL 浸提液混

合,利用溶出试验仪搅拌 18 h。在浸出过程中,取 4 种不同的浸出条件,以进行横向对比。这 4 种浸出条件见表 5。浸出试验完毕后,由于溶液很浑

表 5 不同的浸出条件

浸出条件编号	浸出条件
条件 1	用醋酸调节混合溶液的 pH 值使其稳定在 5.0 左右。其间,每隔 2 h 测一次 pH 值,同时进行校正
条件 2	用盐酸调节混合溶液的 pH 值使其稳定在 3.0 左右。其间,每隔 2 h 测一次 pH 值,同时进行校正
条件 3	按照 TCLP 标准配制浸提剂,加 5.7 mL 冰醋酸至 500 mL 试剂水中,加 64.3 mL 1 mol/L 氢氧化钠,稀释至 1L。配制后溶液的 pH 值应为 4.93±0.05
条件 4	用去离子水作为浸提剂

浊,故利用离心机提取得纯净的浸出液^[5]。

2 结果与讨论

2.1 无侧限抗压强度

试块经过 28 d 标准养护后,进行无侧限抗压强度测试,测试结果见表 6。

表 6 无侧限抗压强度结果

编号	C5M0	C5M2	C10M0	C10M2	C10M4	C10M6	C15M0	C15M2	C15M4	C15M6	C20M4	C20M6
强度(Mpa)	0.45	0.43	1.28	1.24	1.21	1.55	2.52	2.41	2.15	2.13	2.5	2.67

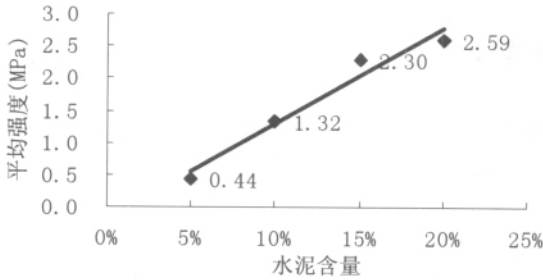


图 1 不同水泥含量下的平均强度

试验结果显示,水泥含量在试块强度中起了控制作用。水泥含量是 5%时,两组试块的平均强度是 0.44 Mpa;当水泥含量增加到 10%,四组试块的平均强度也随之上升到 1.32 Mpa;当水泥含量进一步上升至 15%,强度达到了 2.30 Mpa;最后水泥含量达到 20%时,试块强度为 2.59 Mpa(见图 1)。

强度试验结果可以得到在同一水泥含量下,不同蒙脱土掺量对强度的影响,总体趋势是随蒙脱土掺量的增加,试块强度略微降低(见图 2、图 3)。

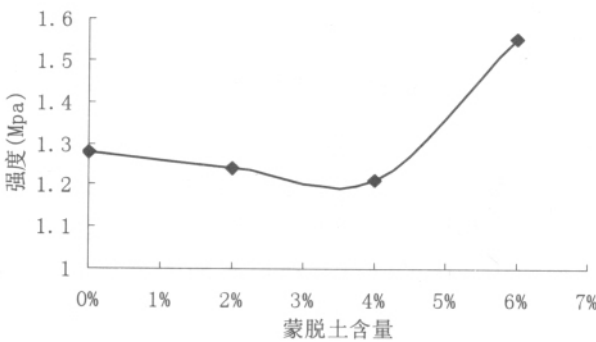


图 2 水泥含量为 10%时的试块强度

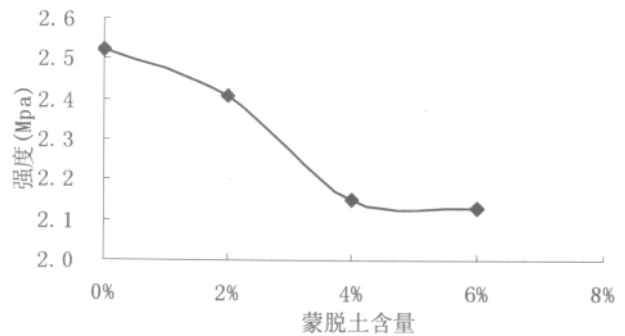


图 3 水泥含量为 15%时的试块强度

2.2 浸出试验

在浸出过程中发现在条件 1 和条件 2 下,混合溶液的 pH 值在前 4 h 变化较快,后来渐趋稳定。并且 pH 总是变大,说明固化产物是呈现碱性的。

在浸出条件 3 和条件 4 下,测得浸出液的最终 pH 值见表 7。

土样的浸出试验结果见表 8 及图 4、图 5。TCLP 对铅的浸出法定阈值(regulatory levels)的规

表 7 在 TCLP 和去离子水的浸出条件下浸出液的 pH 值

编号	C5M0	C5M2	C10M0	C10M2	C10M4	C10M6	C15M0	C15M2	C15M4	C15M6	C20M4	C20M6
醋酸	7.21	7.52	8.32	8.35	8.45	8.50	10.13	9.18	8.62	8.76	10.66	10.69
去离子水	11.71	11.26	12.28	12.23	11.97	12.22	12.59	12.45	12.40	12.35	12.53	12.57

表 8 浸出试验结果

编号	C5M0	C5M2	C10M0	C10M2	C10M4	C10M6	C15M0	C15M2	C15M4	C15M6	C20M4	C20M6
条件 1	24.66	26.02	22.66	22.34	20.50	21.94	19.06	20.66	18.02	21.14	21.14	17.46
条件 2	26.34	29.94	4.18	7.30	4.74	0.34	0.18	0.50	0.10	0.00	0.18	0.82
条件 3	0.51	0.27	0.20	0.33	0.16	0.02	0.25	0.20	0.29	0.20	0.29	0.23
条件 4	0.00	0.23	0.02	0.02	0.14	0.18	0.16	0.04	0.00	0.08	0.88	0.00

定为 5 mg/L^[6]。

由图 4 可以看出在浸出条件 1 下,也就是用醋酸调节 pH 并稳定 pH=5.0 的情况下,浸出液铅离子浓度远远大于 TCLP 的浸出法定阈值,最小的也有 17.46 mg/L;并且随着水泥掺量的增大,对铅离子的固化效果并没有很大的提升。用盐酸调节 pH 并稳定 pH=3.0 的条件下,当水泥掺量为

5%时,浸出液浓度远远大于 5 mg/L;当水泥掺量进一步增至 10%时,浸出浓度大幅下降,并且除了 C10M2 不满足浸出阈值外,其他均满足要求,同时随着蒙脱土掺量的增大,浸出液浓度存在下降趋势(见图 6);而当水泥掺量继续增大后,浸出液铅离子浓度均小于 1 mg/L。

由图 5 可以明显看出,在标准 TCLP 浸出条件

下,所有的浸出液铅离子浓度都远远小于 5 mg/L,完全满足要求。同时用去离子水做浸出液时,也全部满足要求,并且从图上来看,大部分浸出液铅离子

浓度都小于 TCLP 浸出条件下的浸出浓度。

在不同浸出条件下,浸出液的铅离子浓度有很大的差异,如 C10M0 和 C10M2 见图 7、图 8。

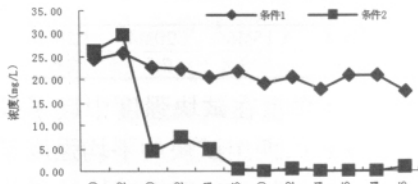


图 4 浸出条件 1 和 2 下的浸出结果

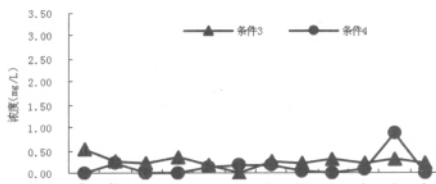


图 5 浸出条件 3 和 4 下的浸出结果

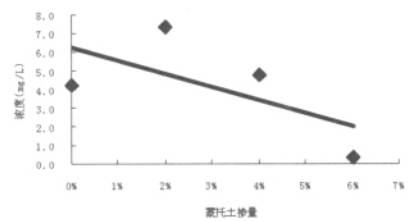


图 6 蒙脱土掺量对抗压强度的影响

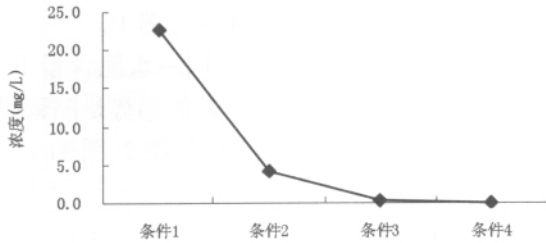


图 7 C10M0 试块在不同浸出条件下的浓度

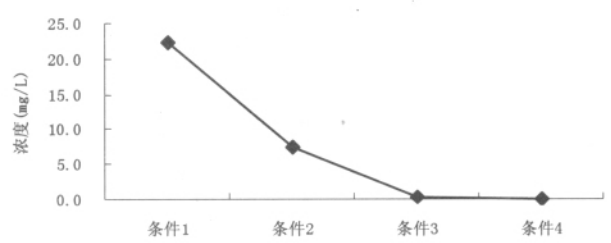


图 8 C10M2 试块在不同浸出条件下的浓度

2.3 不同浸出条件的讨论

目前国际上关于污染物浸出的常用方法有:美国环境保护局(USEPA)方法 1311(TCLP)及方法 1312(SP LP)和欧盟的 EN12457-3 方法等^[2]。

其中 TCLP 是用得普遍的方法,它的建立是基于管理不善假设,即废物在填埋场中与活跃的腐烂分解的城市生活垃圾(MSW)共处置。在共处置的环境下,渗透的雨水与 MSW 经过生物降解后产生的水溶性物质混合作为浸提剂。选择醋酸是因为它是在 MSW 渗滤液中普遍存在的酸^[2]。而本试验从理论上证明了醋酸的浸出效果要远远好于盐酸,更能模拟现实中的恶劣条件。

但是本试验也用浸出条件 1 模拟了更加恶劣的条件,同时这样的条件在现实中也很有见,也就是渗透的雨水与 MSW 经过生物降解后产生的水溶性物质混合作为浸提剂是一种 pH 比较稳定的酸液,并不会因为固化产物的加入而使 pH 显著上升,因为在现实环境中,酸液会源源不断产生并补充进来。而且发现即使已经远远满足 TCLP 条件的固化产物,在这一更加恶劣的试验条件下,浸出液的浓度非常高,远远达不到标准。所以在固化应用于实际工程时,根据条件不同,要考虑到更加恶劣的条件。

3 小结与展望

3.1 在本次固化试验中,强度与水泥掺量大致呈正比关系。如果单从固化产物重新利用的角度来看,水泥含量 10%就已经满足固化产物作为路基填料使用所需的强度。所以水泥的掺量取多少还取决于浸出试验的结果,同时要充分考虑经济效益。

3.2 通过此次试验验证了 TCLP 标准中用醋酸来模拟实际条件的科学性,但在特定情况下还是需要考虑更加恶劣的浸出条件。

3.3 在 TCLP 条件下,1 000 mg/kg 的铅离子浓度太低,测得的浸出液铅离子浓度都很低,不能很好地观察出蒙脱土与水泥的相互作用后的固化效果,所以在后续试验中应加大污染物的含量。

参考文献:

- [1] 蓝俊康. 污染物的固化/安定化处理的种类和研究应用现状[J]. 地质灾害与环境保护, 2005(3): 60-65.
- [2] 刘锋, 孙思修, 王鲁昕, 等. 对于危险废物鉴别的几种浸出方法比对研究[J]. 环境科学研究, 2005, S1: 25-28.
- [3] 国家环保总局. 中华人民共和国环境保护行业标准 HJ/T 300-2007. 2007.4.
- [4] 杨医博, 梁松, 莫海鸿, 等. 水泥土强度室内试验方法探讨[J]. 土工基础, 2007(1): 67-69.
- [5] 薛永杰, 朱书景, 侯浩波, 等. 石灰粉煤灰固化重金属污染土壤的试验研究[J]. 粉煤灰, 2007(3): 32-34.
- [6] 王炳华, 赵明. 固体废物浸出毒性特性及美国 EPA 的实验室测定[J]. A rid Environment Monitoring, 2001, 12(4).