

碱渣-粉煤灰液相吹填混合料试验研究*

寇海磊^{1,2}, 俞峰³, 张明义⁴, 郭燕文⁴

(1 潍坊学院建筑工程学院, 潍坊 261061; 2 新加坡南洋理工大学土木与环境工程学院, 新加坡 639798; 3 浙江理工大学建筑工程学院, 杭州 310018; 4 青岛理工大学土木工程学院, 青岛 266033)

[摘要] 碱渣与粉煤灰固体拌合制成工程土可用作道路基础或大面积填垫材料,通过原位试验将碱渣与粉煤灰液相混合后进行吹填。研究表明,碱渣与粉煤灰固体含量最优配比为7:3,此时碱渣土最优含水量与最大干密度分别为63.5%和0.88g/cm³,渗透性较低,养护7d后无侧限抗压强度约为纯碱渣的6.5倍。现场液相吹填的碱渣土混合较好,沉淀层厚度约为80cm。经5个月自然晾晒后,碱渣土含水量介于160%~180%,深度方向轻型动力触探击数介于1~5,具有一定强度。相比固体拌合碱渣土,液相吹填碱渣土工艺简单,能够大批量、低成本利用碱渣,后期强度可通过真空预压等排水固结措施满足工程需要。

[关键词] 碱渣;粉煤灰;液相混合;试验;野外吹填

中图分类号:TU 442 文献标识码:A 文章编号:1002-848X(2016)02-0096-04

Experimental study on the liquid-pumping filling mixture with soda waste and fly ash

Kou Hailei^{1,2}, Yu Feng³, Zhang Mingyi⁴, Guo Yanwen⁴

(1 School of Civil Engineering and Architecture, Weifang University, Weifang 261061, China;

2 School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University, Singapore 639798, Singapore;

3 School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

4 School of Civil Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

Abstract: The mixture of soda waste and fly ash is likely to serve as engineering soil for road foundation and large area filling material. By in-situ test, the soda waste and fly ash were mixed in form of liquid mixture and conducted pumping filling. The study indicates that the optimum mixing ratio of solid volume of soda waste versus fly ash is 7:3, corresponding to the optimum water content and the maximum dry density to be respectively 63.5% and 0.88g/cm³ for soda waste. The prepared mixture has low permeability and its unconfined compressive strength is about 6.5 times the original strength after 7-day curing period. The pumping filling soda waste was mixed well in field with the deposited layer of about 80 cm. After 5-month sun-cure, the water content of the mixture ranges between 160% ~ 180% and the blow number of light dynamic penetration test ranges between 1 ~ 5, showing fairly good strength. Compared with the solid-mixing method for soda waste, the liquid-pumping filling method for soda waste is simple in operation and is able to dispose a large amount of soda waste with low cost. The strength of the mixture may be further increased to reach engineering need through some drainage consolidation methods such as vacuum preloading.

Keywords: soda waste; fly ash; liquid mixture; test; pumping filling in field

0 前言

碱渣是氨碱法生产纯碱过程中产生的一种工业废料,其或经一定措施简单处理排入大海,或通过管道将废液排到特定区域进行堆积,但无论以何种形式进行处理均会对当地经济、居住及生态环境造成不利影响。

碱渣与粉煤灰固体拌合制成工程土可用作道路基础或大面积填垫材料。20世纪90年代,日本首次将碱渣与粉煤灰拌合制成的工程土应用于填海造路;张明义^[1]将碱渣与粉煤灰拌合后制成工程土进行了填垫试验;闫澍旺^[2]、严驰^[3]将纯碱废渣压滤或晾晒脱水粉碎后与粉煤灰拌合制成工程土进行低

洼地区的填垫,效果较好;田学伟^[4,5]对碱渣废料制作工程土进行了研究;徐玉龙^[6]利用碱渣回填地下废弃盐腔,并进行了室内试验研究。综上所述,把碱渣用作工程土可消耗较大的碱渣,减少碱渣存放的压力。

但碱渣中含有大量的氯离子、硫酸根离子等物质,很容易渗透到周围土层中,可能对地下水和环境造成严重污染,因此将碱渣用作工程土加以利用时必须解决其产生的环境污染问题。天津塘沽区碱渣

* 国家自然科学基金项目(51408439),山东省住房和城乡建设厅科学技术项目(KY048),浙江理工大学521人才培养计划。
作者简介:寇海磊,博士后,讲师,Email: kou123321@126.com。

山治理经验^[7]表明,碱渣土对建筑物、建筑材料及制品、包括地下管道等设施的腐蚀作用与当地盐碱地等同。碱渣中金属元素含量均低于国家相关标准中控制标准,对填垫地区的原土质和水质没有影响,除不适用于水源地、可耕地及环境敏感地区的洪积、冲积平原外,在采取必要的地下措施的情况下,碱渣可制成工程土进行废弃盐池的填垫并可进行绿化。

山东海化碱厂渣池已储存 2000 多万吨纯碱的蒸氨废渣和废盐泥,总固体废料约 4 000 多万立方米,渣场高度已达 14m,占地约 4 000 000m²,渣场的大量堆积对当地生态及经济环境造成了一定影响。借鉴文献[7]中的治理经验,在采取必要地下措施的情况下,可将碱渣废料制成工程土进行废弃盐池的填垫,变废为宝。

传统的碱渣工程土填垫方式需要对碱渣废液进行脱水处理,费时费力。如果能以初始的碱渣废液为原料直接进行工程吹填处理,不但能解决碱渣废液的污染问题,还能有效扩大当地的土地资源,节约费用。本文在室内试验基础上,针对山东海化碱厂碱渣现状,提出在碱渣废液排放过程中将其与固体粉煤灰(液-固)或液体粉煤灰(液-液)混合,直接用于工程填垫的方法,即液相吹填法。该方法处理碱渣废液不需要压滤或晾晒脱水,节省时间,符合低成本、大批量处理碱渣废液的原则。

1 碱渣土室内试验

1.1 碱渣土的击实特性

试验所用碱渣与粉煤灰均取自山东海化碱厂,经烘干、碾细后,碱渣与粉煤灰按照固体重量比 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 这几种配比拌合配制碱渣土,然后进行室内击实试验,拌合后不同配比碱渣土的击实曲线(即干密度随实测含水量变化曲线)如图 1 所示。由此,可确定不同配比碱渣土的最大干密度和最优含水量见表 1。

由表 1 可以看出,随着掺入粉煤灰量的增加,碱

渣土最优含水量降低,最大干密度略有增加。其主要原因在于纯碱渣天然含水量较高(试验用纯碱渣的含水量约为 171%),加入粉煤灰后其水化作用可导致碱渣土需水量增加、干密度变化。尽管如此,不同配比碱渣土最优含水量介于 60%~70% 之间,相差不大。碱渣土最优含水量区间范围内,5:5 及 7:3 两种配比碱渣土最大干密度分别为 0.92, 0.88 g/cm³, 优于 6:4 及 8:2 两种配比的碱渣土,说明土样密实,击实效果较好。

不同配比碱渣土的最大干密度和最优含水量 表 1

碱渣土配比	最优含水量/%	最大干密度/(g/cm ³)
5:5	61.5	0.92
6:4	62.2	0.83
7:3	63.5	0.88
8:2	66.7	0.83

为进一步检验击实后碱渣土密实程度,利用 WY-4 型土壤贯入仪对击实后土样进行贯入试验,记录贯入 10cm 时锤击数,如图 2 所示。图 3 为不同配比碱渣土含水量与贯入击数关系曲线。可见,对于同一配比碱渣土而言,贯入击数随含水量呈现出先增大后减小的趋势;对于不同配比碱渣土,7:3 配比碱渣土贯入击数明显高于其他三种配比碱渣土,其贯入 10cm 锤击数约为 62。说明 7:3 配比碱渣土贯入时土层阻力较大,土体强度较高。结合不同配比碱渣土击实试验及贯入试验,以最大限度利用碱渣废料为基本原则,可确定碱渣与粉煤灰固体含量比例为 7:3 是碱渣土的最优配比。

1.2 最优配比碱渣土物理力学性状

采用室内试验确定的碱渣与粉煤灰固体含量最优配比 7:3 对碱渣与粉煤灰进行拌合,并按照最优含水量 63.5% 配制碱渣土。对最优配比碱渣土物理力学指标进行测试,如表 2 所示。

由表 2 计算可知,最优配比碱渣土塑性指数约为 15,接近于粉质黏土;压缩系数略高于 0.1MPa⁻¹,

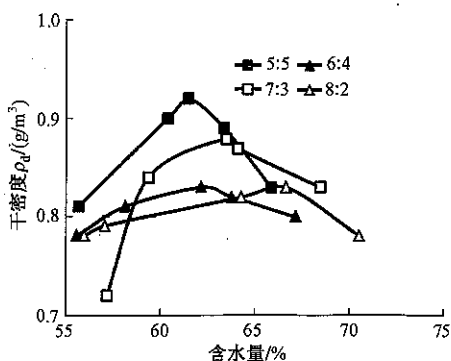


图 1 不同配比碱渣土的击实曲线

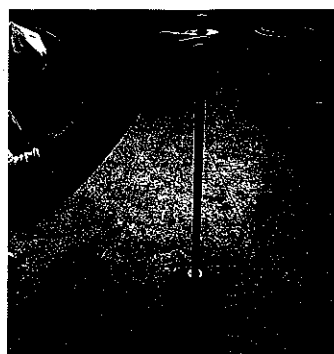


图 2 不同配比碱渣土的贯入试验

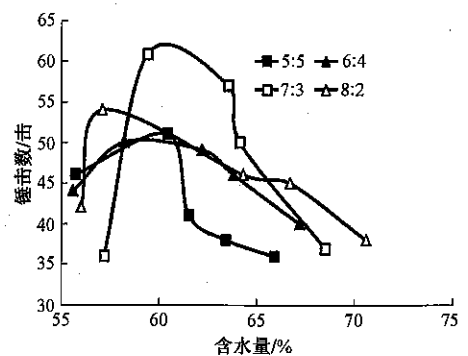


图 3 不同配比碱渣土的贯入击数

可判定为中低压缩性土;渗透系数约为 0.92×10^{-6} cm/s,渗透性较差,与黏性土类似;养护 7d 后碱渣土无侧限抗压强度约为 0.26MPa,为纯碱渣无侧限抗压强度(约为 0.04MPa)的 6.5 倍。可见,掺入粉煤灰后,碱渣土抗剪强度较纯碱渣有较大幅度的提高,亦明显高于普通黏性土,其物理力学性能改善明显。这为碱渣土在工程中的应用提供了技术支持。

最优配比碱渣土物理力学指标 表 2

粘聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /°	液限 W_L /%	塑限 W_P /%	压缩系数 α_{1-2} /MPa ⁻¹	压缩模量 $E_{s(1-2)}$ /MPa	无侧限抗压强度 /MPa	渗透系数 /($\times 10^{-6}$ cm/s)
50	34.5	80.4	65.4	0.13	16.85	0.26	0.92

2 碱渣土野外吹填试验

2.1 试验方案与过程

野外吹填试验场区位于山东海化碱厂碱渣堆放场附近的废旧盐池。为尽可能多地消耗碱渣废液,结合室内试验结果,选取碱渣与粉煤灰固体含量比例为 7:3 及 8:2 两种配比的碱渣土进行野外吹填试验,具体试验方案见图 4。3 个沉淀池尺寸均为 10m(长)×10m(宽)×2m(深),四周铺砖并衬塑料薄膜防渗,底部铺砖但不设防渗膜,以模拟吹填碱渣土的一维竖向固结。其中 1#沉淀池为固体含量 7:3 碱渣废液与粉煤灰水混合(液-液混合);2#沉淀池为固体含量 8:2 碱渣废液与粉煤灰水混合(液-液混合);3#沉淀池为固体含量 7:3 碱渣废液与干粉煤灰混合(液-固混合)。粉煤灰池尺寸为 1.5m(长)×2.0m(宽)×

2.5m(深),混合池直径为 1.5m,深度为 2.5 m。

吹填开始前,首先在粉煤灰池中加入 1.5m 深的水,然后人工注入经过筛选后的粉煤灰,经泵回流,充分搅拌制取 1#,2#沉淀池吹填所需粉煤灰水,见图 5。碱渣废液经管道输送至试验场地,并与事先配制好的粉煤灰水一同注入混合池充分混合,碱渣废液与粉煤灰水的比例通过流量计来控制,见图 6。待混合均匀后,通过料浆泵将混合均匀的液体直接注入沉淀池中,见图 7。3#沉淀池碱渣和粉煤灰固体含量配比为 7:3,但混合形式为液-固混合,即将一定浓度的碱渣废液注入粉煤灰池,一边搅拌一边注入一定量的干粉煤灰,然后直接抽送至 3#沉淀池,其余步骤与 1#,2#沉淀池相同。待 3 个沉淀池注满料液后,沉淀 3~4h,将上部废清液抽出排掉,然后继续注入料液,反复几次,直至沉淀层厚度达到 1m 左右停止注入,将沉淀池中的上清液排出后晾晒。

2.2 试验结果与分析

吹填结束经过 5 个月自然晾晒后,碱渣土表面可以承受一定重量,见图 8,表明经一段时间晾晒后碱渣土具有一定强度。在每个沉淀池表面取 5 个测试点分别进行碱渣土的贯入试验、轻型动力触探试验以探明不同深度处碱渣土的强度,并在测试点附近取土样进行含水量及密度测试。测点分布如图 9 所示。

采用 WY-4 型土壤贯入仪对碱渣土表面强度情况进行分析,记录贯入 10cm 击数,结果见图 10。碱

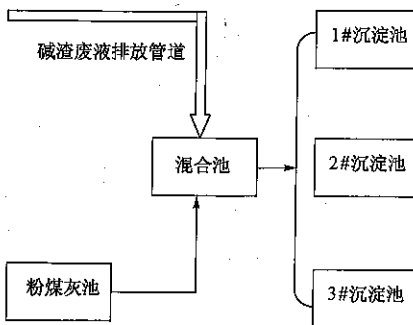


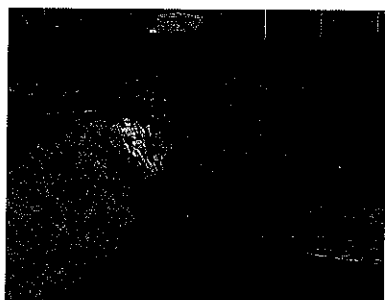
图 4 野外吹填试验方案



图 5 粉煤灰水的配制



图 6 碱渣废液与粉煤灰水混合



(a) 吹填初期



(b) 吹填结束后

图 7 碱渣土现场吹填



图 8 晾晒 5 个月后碱渣土情况

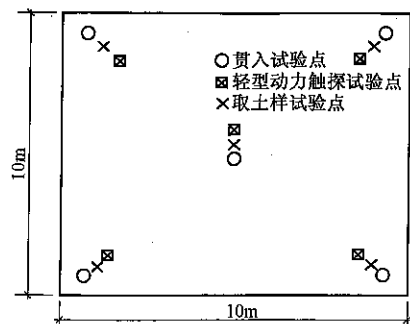


图9 试验测点分布示意图

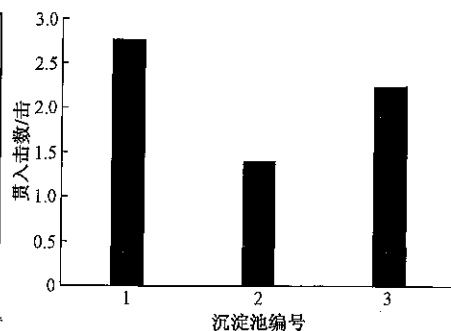


图10 碱渣土贯入击数

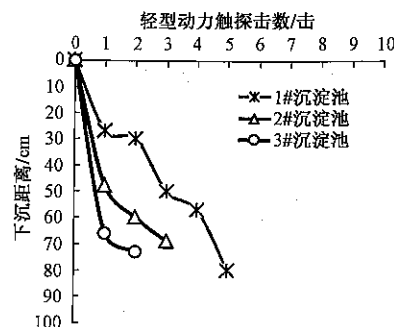


图11 贯入击数与深度关系曲线

渣土表面10cm贯入击数介于1.4~2.7之间,远小于室内试验结果,说明经5个月自然晾晒后碱渣土强度较低,经更长时间晾晒或其他排水固结措施后可以达到更好的强度^[8,9]。对比各沉淀池碱渣土表层贯入击数可知,吹填结束自然晾晒5个月后,1#沉淀池碱渣土表面强度要高于2#,3#沉淀池,即碱渣和粉煤灰按照7:3液-液混合的效果要优于其他2组,说明碱渣与粉煤灰液相混合吹填效果较好。

图11表示各沉淀池碱渣土轻型动力触探曲线。分析可知,各沉淀池碱渣土沉淀厚度约为70~80cm,较最初沉淀厚度1.0m有所降低,降低幅度约为20%~30%。与碱渣土表层10cm贯入击数类似,1#,2#,3#沉淀池碱渣土不同深度处触探击数均较小,均小于5.0,说明表层10cm以下碱渣土强度同样较低,固结不完全。比较各沉淀池碱渣土不同深度处触探击数可知,7:3液相混合吹填碱渣土强度高于8:2液相混合吹填碱渣土强度及7:3液固混合吹填土强度,同样说明液相混合吹填土方法可行。

取不同测试点处土样对吹填结束自然晾晒5个月后的碱渣土密度及含水量进行测试,结果见表3。一段时间晾晒后,碱渣土含水量介于160%~210%之间,含水量仍较高,进一步降低的空间较大。相同条件下,1#,3#沉淀池碱渣土含水量分别为178.5%,165.5%,相比2#沉淀池碱渣土含水量(208.9%)降幅约为14.6%,20.8%,说明相同条件下,粉煤灰的水化作用可以加速碱渣土含水量的降低。

表3 吹填碱渣土含水量与密度

沉淀池编号	含水量/%	湿密度/(g/cm ³)	干密度/(g/cm ³)
1#	178.5	1.36	0.49
2#	208.9	1.37	0.44
3#	165.5	1.30	0.49

3 结论

(1)碱渣自身与粉煤灰拌合后可形成碱渣土。碱渣土具有含水量高、液限高、塑限高、渗透性低、压缩性低等特点。

(2)室内试验表明,碱渣与粉煤灰固体含量最优配比为7:3。最优配比碱渣土养护7d后无侧限抗压强度约为0.26MPa,为纯碱渣的6.5倍,力学性能改善明显,为碱渣土的工程应用提供了技术支持。

(3)现场液相吹填碱渣土混合均匀,沉淀效果较好。经过一段时间自然晾晒后,碱渣土具有一定强度,能够满足特定工程需求,说明液相吹填碱渣土方法可行,后期碱渣土体强度可通过真空预压等其他排水固结措施进一步提高。

(4)液相吹填碱渣土工艺简单,能够大批量、低成本地利用碱渣。通过现场试验总结出的液相混合碱渣土吹填工艺,对改进现有碱渣工程土的配制工艺及其工程应用具有重要的参考价值。

(5)碱渣作为工程土应用必须解决其产生的环境污染问题,后期必须根据实际情况对碱渣对环境的影响进行实时监测。

参 考 文 献

- [1] 张明义,韩凤芹,孙德庆,等. 碱渣土的击实试验[J]. 青岛建筑工程学院学报,2003,24(4):5-7.
- [2] 闫澍旺,侯晋芳,刘润. 碱渣与粉煤灰拌合物的岩土工程及环境特性研究[J]. 岩土力学,2006,27(12):2305-2308.
- [3] 严驰,宋旭坤,朱平,等. 高含水率碱渣的强度特性试验[J]. 岩土工程学报,2007,29(11):1683-1688.
- [4] 田学伟. 唐山碱厂碱渣制工程土的强度特性及工程应用研究[D]. 北京:中国建筑科学研究院,2008.
- [5] 田学伟,李显忠. 唐山碱渣土的工程利用研究[J]. 建筑科学,2009,25(7):77-79.
- [6] 徐玉龙,杨春和,陈锋,等. 碱渣回填地下废弃盐腔室内一维沉降试验研究[J]. 岩土工程学报,2014,36(3):589-596.
- [7] 李显忠. 天津碱厂碱渣土的工程利用研究[M]. 青岛:海洋出版社,2013.
- [8] 房春光,朱忠伟,莫海鸿,等. 碱渣土的振动排水固结特性试验研究[J]. 岩土力学,2008,29(1):43-47.
- [9] 陈运涛,尚德志,刘宝发. 真空预压加固碱渣地基的应用与效果分析[J]. 河北工业大学学报,2012,41(1):85-88.