

掺砂对于湖区路基黏土工程性质的影响研究

龙滔, 石婧

(湖南省交通科学研究院有限公司, 湖南 长沙 410015)

摘要: 湖南省洞庭湖地区广泛分布着高压缩性的黏土, 通常被视为路基不良填料, 为了获取该类填料物理改良的依据, 该文选取了洞庭湖地区具有代表性的两种黏土, 分别对其掺入了5%~15%的细砂、中砂和粗砂而形成了多组改良土, 随后对改良土进行了界限含水率试验、击实试验以及加州承载比试验, 并根据工程性质的变化和经济成本, 得出了适应于该地区黏土的改良方案。研究表明: 掺砂可以有效降低黏土的液限和塑性指数, 但掺砂量和掺砂种类对上述两项指标影响不大; 此外, 掺细砂对承载比提高的效果最为明显, 而且相应的细砂改良土最优含水率较高, 意味着进行压实前的翻晒周期相对较短。

关键词: 路基; 湖区黏土; 物理改良; 砂土; 加州承载比

近年来, 公路交通运输的快速发展对公路基础设施提出了更高的要求。作为公路结构的重要组成部分, 路基质量对公路安全运营有重要的影响, 选择合适的路基填料成为路基长期质量保证的必要前提。湖南省洞庭湖区广泛分布有高压缩性黏土, 对于公路路基而言属于不良填料范畴, 如果简单地把该类土作弃方处理, 不仅会带来路基填料不足, 还会增加长距离运土带来的工程费用, 在当前节能环保要求不断提高和工

程建设成本控制的要求下, 有必要在改善该类土工程性质的基础上对其进行充分利用。目前, 中国国内学者已经开展了一些通过添加不同的替代材料(砂、石等)来改善不良填料工程性质的研究, 主要思路为探讨添加量和添加材料类型对强度特征、击实特性、水稳性等的影 响, 然而受母岩性质、气候条件和风化程度的影响, 各种改良方案具有明显的地域差异性, 而针对洞庭湖区黏土的改良研究报道较少, 因此, 该文以该地区两

- [6] 赵明华, 顾美湘, 张玲, 等. 竖向土工包裹体对碎石桩承载变形影响的模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2014(9).
- [7] Yoo C. Performance of Geosynthetic - Encased Stone Columns in Embankment Construction: Numerical Investigation[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2010, 136(8): 1148-1160.
- [8] 陈建峰, 童振涓, 柳军修, 等. 竖向荷载下加筋碎石桩复合地基数值分析[J]. 岩土力学, 2013(增2).
- [9] Kaliakin M, Kaliakin V N, Meehan C L. Numerical Study of the Effect of Geosynthetic Encasement on the Behaviour of Granular Columns[J]. Geosynthetics International, 2010, 17(3): 132-143.
- [10] 陈建峰, 王波, 魏静, 等. 加筋碎石桩复合地基路堤模型试验[J]. 中国公路学报, 2015(9).
- [11] 张玲, 陈哲, 赵明华. 筋箍碎石桩复合地基桩土应力比的计算与分析[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2017(1).
- [12] Murugesan S, Rajagopal K. Study on the Behavior of Single and Group of Geosynthetic Encased Stone Columns[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2010, 136(1): 129-139.
- [13] Ali K, Shahu J T, Sharma K G. Model Tests on Geosynthetic - Reinforced Stone Columns: A Comparative Study[J]. Geosynthetics International, 2012, 19(4): 292-305.
- [14] Afshar J N, Ghazavi M. Experiment Study on Bearing Capacity of Geosynthetic Reinforced Stone Columns[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2014, 39(3): 1559-1571.
- [15] Chen J F, Li L Y, Xue J F, et al. Failure Mechanism of Geosynthetic - Encased Stone Columns in Soft Soils under Embankment[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2015, 43(5): 424-437.
- [16] 李良勇, 陈建峰, 徐超, 等. 土工织物散体桩路堤土工效应研究[J]. 长江科学院院报, 2017(2).

收稿日期: 2018-05-17

作者简介: 龙滔, 大学本科, 工程师, E-mail: 13999824@qq.com

种典型黏土为研究对象,通过分析不同掺砂量和掺砂类型对黏土液塑限、最大干密度、最优含水率、CBR 值等的影响规律,结合经济成本,得出不同路基层填料掺砂改良的建议方案。

1 试验材料

试验用 I 号、II 号黏土取自洞庭湖周边黏土分布地区的公路建设现场(地表硬壳层),相应的基本物理

力学性质见表 1,级配曲线如图 1 所示,根据界限含水率及塑性图,两种黏土分别为低液限黏土(CL)和高液限黏土(CH),天然含水率分别高出最优含水率 5.2%、6.7%,土体难压实。为改善上述黏土的工程性质,参照 JTG E40—2007《公路土工试验规程》对于砂土的分类,分别选取了细砂、中砂、粗砂作为掺入土,这 3 类砂均可以在当地市场购买,相应的级配曲线见图 2,密度分别为 2.66、2.58 和 2.51 g/cm³。

表 1 湖区黏土的基本物理力学性质

土种类	最大干密度/ (g·cm ⁻³)	最优含 水率/%	天然含 水率/%	比重	CBR 值/%		液限/ %	塑限/ %
					未浸水	浸水		
I 号土	1.72	18.5	23.7	2.63	3.97	2.15	46.2	27.1
II 号土	1.88	17.9	24.6	2.58	4.52	2.65	53.5	29.0

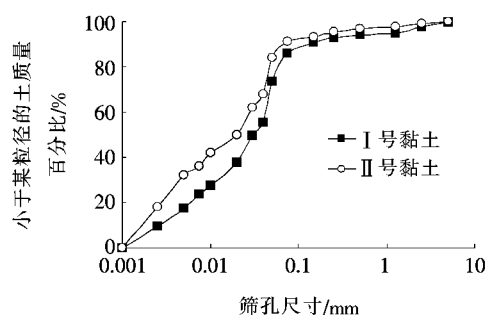


图 1 两种黏土的级配曲线

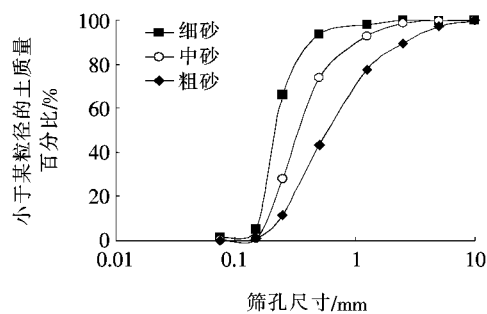


图 2 3 种砂土的级配曲线

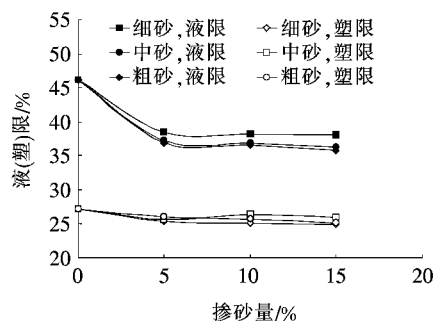
2 试验方案

研究中,将两种黏土分别与 3 种砂土进行混合形成改良土,其中 3 种砂土掺入量分别为 0%、5%、10%、15%。随后对改良土开展界限含水率试验、击实试验和承载比(CBR)试验,具体试验过程参照 JTG E40—2007《公路土工试验规程》。其中进行液塑性试验时,先将改良土通过 0.5 mm 筛孔进行过滤。

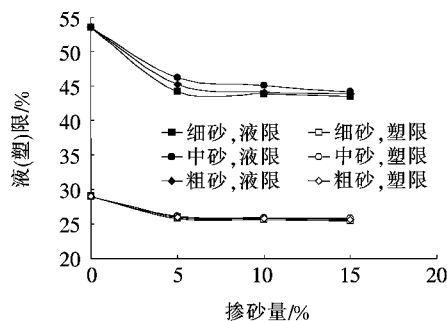
3 试验结果分析

3.1 液塑限指标分析

掺砂量对液塑限的影响如图 3 所示。



(a) I 号黏土



(b) II 号黏土

图 3 掺砂量对黏土液塑限的影响

由图 3 可以看出: I 号、II 号黏土的液、塑限变化规律相似。当掺砂 5% 时,两类土的液限分别下降至

38%和 44%左右,而塑限均下降至 25%左右,继续增加掺砂量则对液限、塑限的影响不明显。此外,液限、塑限基本不受掺砂种类的影响,这是由于进行液塑限试验前改良土均通过 0.5 mm 筛孔,因此掺砂类型对改良土的级配影响不明显。塑性指数的变化趋势(表 2)与液限变化趋势基本一致。根据 JTG D30—2015《公路路基设计规范》可知:在掺砂 5%以上的条件下,两种黏土的液限均降至 50%以内,且塑性指数小于 26,均符合路基填料液塑限指标的要求。

表 2 不同掺砂量下的塑性指数

掺砂量/ %	I 号黏土			II 号黏土		
	掺细砂	掺中砂	掺粗砂	掺细砂	掺中砂	掺粗砂
0	19.04	19.04	19.04	24.53	24.53	24.53
5	13.11	11.63	10.91	18.41	20.13	19.24
10	13.11	10.46	10.89	18.22	19.24	18.35
15	13.13	10.36	10.66	18.00	18.44	18.21

3.2 压实指标分析

不同掺砂量对最大干密度的影响如图 4 所示。由

图 4 可知:当 I 号土掺细砂量从 0%增加至 15%时,最大干密度从 1.72 增加至 1.80 g/cm³,添加中砂时,最大干密度增加至 1.82 g/cm³,添加粗砂时,最大干密度增加至 1.85 g/cm³;对于 II 号土,干密度增加的趋势更加明显。总体来看,掺砂量的影响要大于掺砂种类的影响。

不同掺砂量对最优含水率的影响如图 5 所示。由图 5 可以看出:随着掺砂量的增加,最优含水率逐渐减小,其中添加细砂时最优含水率减幅最小。根据路基现场勘察,该地区黏土的天然含水率普遍大于最优含水率 5%~6%,因此在路基压实施工前,需要将填料翻晒至最优含水率附近以便于压实。掺砂后改良土的天然含水率和最优含水率均会下降,若忽略粒径影响和砂粒填充孔隙时的排水作用,掺砂 5%、10%、15%时, I 号黏土的天然含水率将下降 22.5%、21.5%、20.6%, II 号黏土的天然含水率将下降 23.4%、22.3%、21.4%,而根据图 5 可知:天然含水率仍高于最优含水率,但最优含水率在掺细砂时降幅最小,与天然含水率最为接近,改良土进行压实所需的翻晒周期更短。

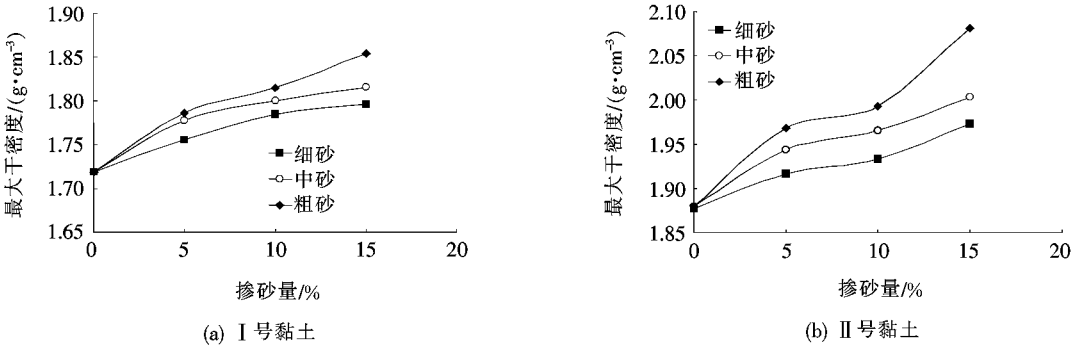


图 4 掺砂量对最大干密度的影响

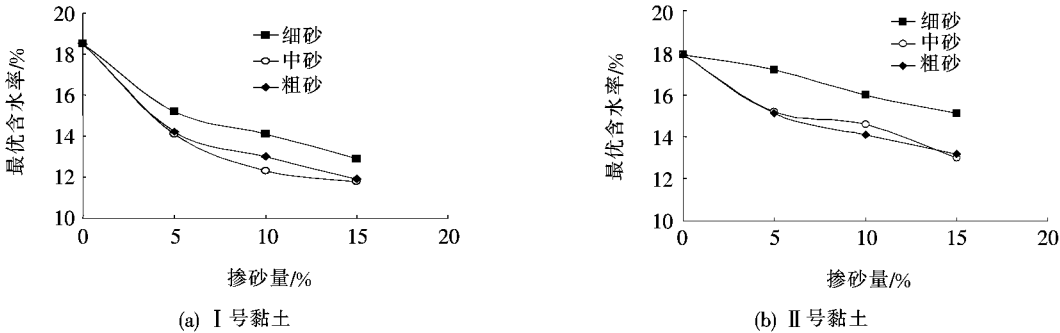


图 5 掺砂量对最优含水率的影响

3.3 承载比指标分析

不同掺砂量对加州承载比(最优含水率条件)的影响如图 6 所示,图 6 中水平虚线为 JTG D30—2015《公

路路基设计规范》中对于不同路基层位最小承载比的要求值。由图 6 可以看出:在未掺砂时, I、II 类土的 CBR 仅符合上路堤填筑要求,而随着掺砂量的增加,

CBR 值有了明显的上升。其中掺细砂对于 CBR 值的提升作用最大,掺细砂 5% 时两类改良土的 CBR 值分别为 6.04% 和 7.06%, 达到了下路床填料的要求, 掺细砂 10% 时两类改良土的 CBR 值分别为 7.93% 和 8.15%, 接近或达到了上路床填筑的要求。掺中砂和粗砂的改良效果相对较弱, 但掺砂量达到 15% 时改良土的 CBR 值分别为 8.51% 和 8.08%, 达到了上路床填筑的要求。

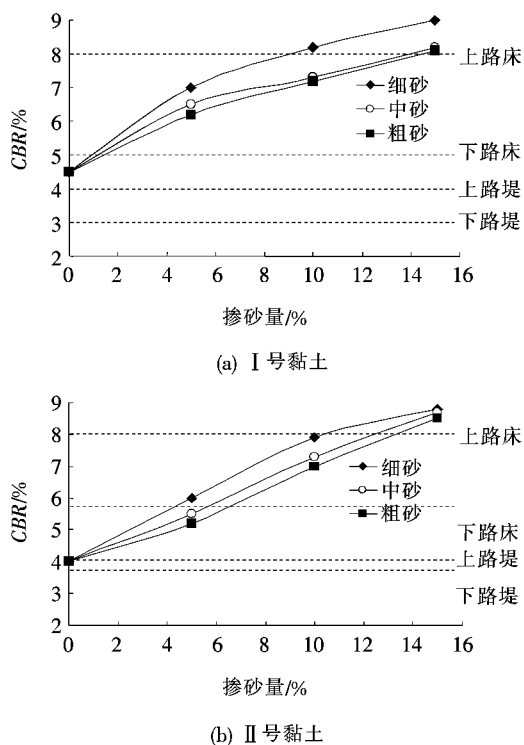


图 6 掺砂量对 CBR 值的影响

3.4 综合分析

通过对上述两种典型黏土的分析, 并结合经济成本, 得出该地区黏土的掺砂改良方案如表 3 所示。

表 3 掺砂改良建议方案

项目	首选方案	备选方案
路堤	掺细砂 5%	掺中砂或粗砂 5%
下路床	掺细砂 5%	掺中砂或粗砂 5%
上路床	掺细砂 10%	掺中砂或粗砂 15%

4 结论

(1) 掺砂可以有效降低两种典型黏土的液限、塑限和塑性指数, 使上述指标达到路基填料的要求范围, 但掺砂量 (5%~15%) 对指标降低的影响不大。

(2) 在压实特性方面, 最大干密度随着掺砂量的增大而增加, 而掺砂种类对最大干密度增加的影响为粗砂>中砂>细砂; 而掺砂后改良土的天然含水率 and 最优含水率均会下降, 在掺砂量相同的条件下, 掺细砂时天然含水率与最优含水率的差别最小, 因此掺细砂改良土在压实前的翻晒周期相对较短。

(3) CBR 值随着掺砂量的增大而明显增加, 其中掺细砂对于 CBR 值的提升作用最大, 掺细砂 5% 时两类改良土的 CBR 值达到了下路床填料的要求, 掺细砂 10% 时两类改良土的 CBR 值接近或达到了上路床填筑的要求。

(4) 结合改良土工程性质和经济成本, 建议该地区黏土掺砂改良的首选方案为: 路堤掺细砂 5%、下路床掺细砂 5%、上路床掺细砂 10%。

参考文献:

- [1] 周泽汉, 施权君. 高速公路大修工程路基病害分析与处治[J]. 中外公路, 2017(2).
- [2] 罗志刚. 路基与粒料层动态模量参数研究[D]. 同济大学博士学位论文, 2007.
- [3] 程涛, 洪宝宁, 程江涛. 云罗高速公路沿线高液限土承载力影响因素分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2013(5).
- [4] 邓天天, 吴斌, 屈畅姿, 等. 花岗岩全风化物及其改良土的击实试验分析[J]. 铁道建筑, 2009(4).
- [5] 刘刚, 刘建华. 全风化花岗岩路基处治对比分析[J]. 公路, 2012(11).
- [6] JTG E40—2007 公路土工试验规程[S].
- [7] JTG D30—2015 公路路基设计规范[S].
- [8] 勾丽杰, 胡甜, 吴亮. 干湿循环对路基不同液限黏土强度影响研究[J]. 中外公路, 2013(1).
- [9] 卢博, 陈群, 陈秀强, 等. 压实度对高液限黏土路堤稳定性的影响[J]. 中外公路, 2018(1).