

高液限土改良应用路床施工研究

陈健捷

(广东冠粤路桥有限公司, 广东 广州 511400)

摘要: 在部分路床填料资源缺乏、高液限土等特殊土质分布较为广泛的地区, 可通过对高液限土质进行改良以满足路床填筑要求。以湛徐高速公路乌石支线 TJ1 合同段路基工程为实际案例, 从液限、塑限、CBR 值、弯沉值等指标以及经济性等多个方面对高液限土多种改良方案进行对比分析, 最终确定体积比为 3:7 的碎石加高液限土的方案。该改良方案以路拌法施工工艺搅拌混合料, 碾压后以两布一膜加石屑进行封顶, 全断面封闭高液限土路基顶层。通过各项数据分析, 验证高液限土路床改良的可操作性和经济性, 为类似工程设计和施工提供借鉴和参考。

关键词: 高液限土改良; 对比分析; 路拌法工艺; 经济效益

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Study on the Roadbed Construction of High Liquid Limit Soil Improvement Application

CHEN Jianjie

(Guangdong Guanyue Highway & Bridge Co., Ltd., Guangzhou 511400, Guangdong, China)

Abstract: In some areas where the roadbed filling resources are scarce and special soil such as high liquid limit soil is widely distributed, the high liquid limit soil is improved to meet the requirements of roadbed filling. Taking the contract TJ1 roadbed engineering of Wushi County Branch of Zhanjiang-Xuzhou Expressway as a practical example, this paper compares and analyzes several improvement projects of high liquid limit soil, considering economic efficiency and some indexes such as liquid limit, plastic limit, CBR value, and deflection value, and finalizes the project that the volume ratio between the breakstone and the high liquid limit soil is 3 to 7. Moreover, in this project, the mixture is mixed by means of the road-mixing method, ground and sealed the top by using two kinds of non-woven fabrics, one kind of plastic membrane and stone chips, causing full-section seal of roadbed top of high liquid limit soil. Through various data analysis, operability and economic efficiency of reforming roadbed of high liquid limit soil are verified, thus providing reference for similar engineering design and construction.

Key words: improvement of high liquid limit soil; comparative analysis; craft of road-mixing method; economic benefit

路基工程作为高速公路建设的控制性工程, 保证其在施工过程中安全稳定尤为重要。在粤西雷州半岛地区, 高液限土分布广泛, 合格的路床填料极其稀缺。高液限土一般不直接作为路堤填料, 确需利用其作为路堤填料时, 应进行技术性处理^[1]。目前常用的高液限土改良方法主要有两

种^[2], 一种是物理改良, 通过掺砂、碎石等材料降低塑性指标, 增加水稳性, 减小膨胀和收缩变形的能力, 进而改变土的物理力学特性指标; 另一种是化学改良, 通过在土中掺水泥、石灰、固化剂等, 使土与添加剂发生化学反应后改变高液限土微观结构, 提高改良土的抗剪强度、承载力

收稿日期: 2024-04-01

作者简介: 陈健捷, 工程师, 本科, 研究方向为路桥施工

特征值以及压缩模量,减小路面的永久积变形。国内外学者对在高液限土中掺砂^[3]、水泥^[4]、石灰^[5]、固化剂^[6]等做了大量研究,并取得了很好的研究成果^[7]。在一些工程中有大量石方弃置,比起掺砂、石灰、水泥等方法,利用加工后的碎石能获得更高的经济效益,而对于掺碎石改良高液限土填筑路床的研究案例较少。本文以湛徐高速公路乌石支线 TJ1 合同段路基工程为依托,对既有资源进行综合利用,利用弃石方加工成碎石,对高液限土掺碎石进行改良并应用于路床填筑,以满足路床填筑要求。

1 工程背景

1.1 工程概况

湛徐高速公路乌石支线工程路线均位于湛江雷州市境内,起点接沈海高速湛徐段,终点对接乌石港规划路网,路线自东向西先后经过雷州市龙门镇、覃斗镇、乌石镇三个镇区,路线全长 22.309 km,共分为高速公路主线和一级公路连接线两段。其中,高速公路主线长度 16.583 km,一级公路连接线长度 5.726 km。地形类别为低丘台地区。技术标准:主线采用双向四车道高速公路标准,设计速度 120 km/h,整体式路基宽 26.5 m;乌石港连接线采用双向四车道一级公路标准,设计速度 80 km/h,整体式路基宽 24.5 m。

1.2 工程地质

本区地貌主要为剥蚀残丘、低缓丘陵地貌,地层岩性主要为喜山期玄武岩,覆盖于湛江组地层之上。本区主要的工程地质问题是孤石、高液限性土或膨胀土问题,以及浅部全强风化层遇水易软化崩解、隐伏断层发育等不良地质现象。区内总体工程地质条件一般,路基工程地质条件尚好,但断层对段内边坡施工影响极大,使得岩面的埋深、起伏极大,岩性变化多样,岩体的完整性差。本项目沿线主要为低缓丘陵地带,地形较为平坦,路基借方量大。项目的试验结果表明,玄武岩地区残积土为高液限土,不可直接用作高速公路路堤填土,若要利用,则应加以改路后方可使用。

1.3 高液限土路床填筑要求

《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)规定:“液限大于 50、塑性指数大于 26 的细粒土,不得直接作为路堤填料。”“为防治高液限土路基病害,高液限土用于路基填料时,需采取一定的

工程措施,以保证其长期性能的稳定。常用的工程措施包括物理措施和化学处治措施。物理措施包括设置排水隔离垫层、包边封闭层,以及外掺砂砾、粉煤灰、碎石等;化学处治措施主要是外掺石灰、水泥等无机结合料进行改良处治。”^[1]根据设计文件及《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)的路床填筑要求:上路床填料最小加州承载比(CBR)为 8%,填料最大粒径为 10 cm;下路床填料最小 CBR 为 5%,填料最大粒径为 10 cm;为确保路床施工质量,对改良后填筑材料以最小 CBR 为 8% 进行控制。路床的压实度不得小于 96%,采用贝克曼梁弯沉仪测定的路基顶弯沉允许值为 292.5 (0.01 mm)。

2 高液限土工程特性

湛徐高速乌石支线高液限土分布较广,通过现场取样进行室内试验,现场土样如图 1 所示。对现场具有代表性的高液限土进行物理力学性能试验,试验参数包括液塑限指标、击实参数、颗粒级配特征等,试验结果如表 1 所示。从表中可以看出,现场高液限土液限高达 61.1%,塑性指数达到 26.6;根据土的工程分类标准以及室内试验结果,塑性指数 $I_p = 6.6 > 0.73$ ($\omega_L - 20$) 且 $I_p = 26.6 > 10$,液限 $\omega_L = 61.1\% > 50\%$,可知试验土样为高液限黏土,代号为 CH^[8]。从图 2 中的级配曲线可知,土体颗粒分布特征以细颗粒为主,黏粒含量达到 55.2%。



图 1 试验段取土场(左)与试验用土(右)

表 1 高液限土基本物理力学指标

天然含 水率/%	液限/%	塑限/%	塑性 指数	黏粒含 量/%	最佳含 水率/%	最大干密 度/(g/cm ³)
33.4%	61.1	34.5	26.6	55.2	29.4	1.55

对现场取回的天然高液限土进行标准击实试验,根据击实筒与无侧限试模的体积比换算质量后,制备 $\varnothing 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的圆柱形试样并开展浸水崩解试验^[7]。试验结果如图 3 所示,从试验结果可看出,浸水 24 h 后,高液限土体发生了明显的软化崩解现象,随着土体内部气泡不断逸

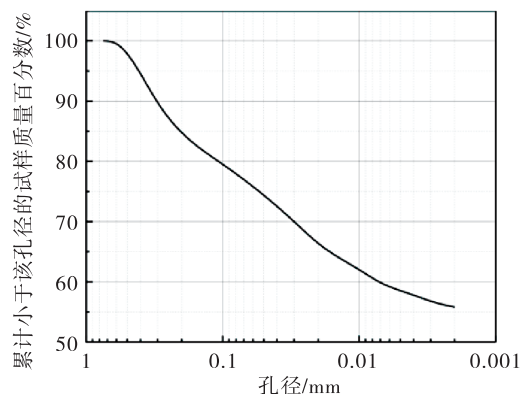
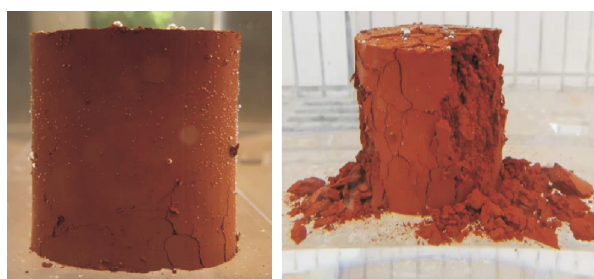


图2 高液限土级配曲线

出,裂缝由内到外逐渐发展,表面土体不断剥落,直至土体完全失去强度。试验结果表明现场高液限土水稳定性较差。



(a) 初始状态

(b) 浸水 24 h

图3 高液限土浸水崩解试验

CBR 是公路路基承载能力的一种重要指标,是能否作为路基填料的重要指标之一^[9],本文选用三个土样试验分析高液限土 CBR 值,在压实度为 96%、试件贯入量为 2.5 mm 的条件下,其 CBR 分别为 4.3%、3.9% 和 4.1%,无法达到控制值为 8% 的要求,进一步论证高液限土无法直接用于路床填料。

3 高液限土改良方案试验分析

综合考虑土源、地材等客观因素,需利用高液限土作为路床填料,鉴于高液限土无法直接用作路床填筑,须对高液限土进行技术措施处理。由于项目需弃置的石方较多,对高液限土改良方案进一步调研与筛选后,决定采用掺碎石改良高液限土。国内不少学者对掺砂改良高液限土做了比较详细的试验研究,其中杨俊等对不同比例掺砂后高液限土的抗剪强度、CBR 值、回弹模量以及无侧限抗压强度进行分析,确定最佳掺砂比例为 30%^[3]。在此基础上,本文按照 25%、30%、35% 的掺碎石比例进行试验分析。

通过对不同掺碎石比例进行试验,得到掺碎

石率与液限、塑性指数的关系,从而确定填料是否满足填筑要求。在不同掺碎石率下,掺碎石率与液限、塑性指数的关系曲线如图 4、图 5 所示。从图 4、图 5 可知:掺碎石率为 25% 的改良高液限土的塑性指数 $I_p = 20.4 < 26$,液限 $\omega_L = 51.5\% > 50\%$,根据《公路路基设计规范》(JTG D30—2015),该改良后的土无法直接用于路床填料。掺碎石率为 30% 和 35% 的塑性指数 I_p 分别为 19.7 和 19.4,均小于 26;液限 ω_L 分别为 49.3% 和 48.1%,均小于 50%。从液限、塑性指数两个指标分析可知,随着掺碎石量增加,液限的降低幅度稍大于塑性指数,在高液限土中掺 30% 及以上的碎石时,可以满足路床填筑要求。

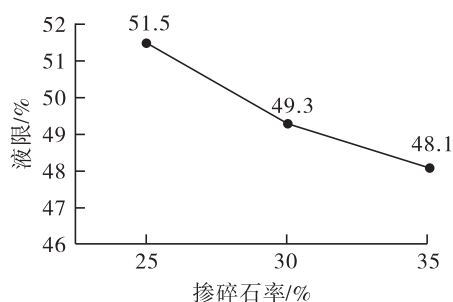


图4 掺碎石率与液限关系曲线

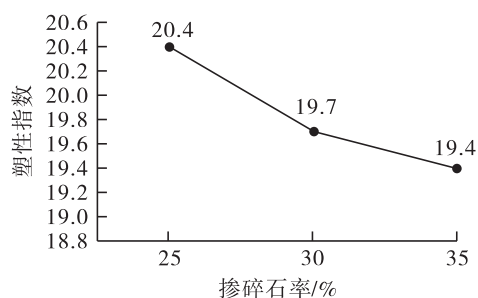


图5 掺碎石率与塑性指数关系曲线

对三种掺碎石比例不同的高液限土进行击实试验后,进行 CBR 试验,试验结果见图 6。从图 6 可知,除掺 25% 碎石改良高液限土的 CBR 为 6.4%,不满足路床 8% 的控制要求,其余两种掺碎石比例的 CBR 分别为 8.2% 和 9.1%,均满足要求。随着掺碎石比例提高,CBR 值增大,尤其是掺碎石率从 25% ~ 30% 的增幅较为明显,相较于掺 30% 碎石改良高液限土,掺 35% 碎石改良高液限土的 CBR 有较大的富余。

4 路拌法施工工艺

4.1 施工工艺

确定高液限土改良方案后,在施工现场进行试验段施工。在高液限土中,按 30% 的比例掺入

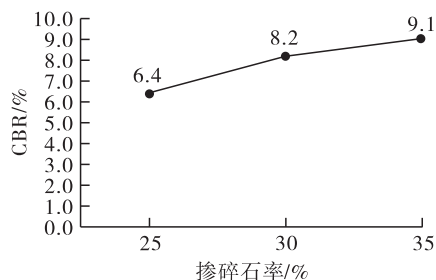


图6 掺碎石率与 CBR 关系曲线

碎石,经现场路拌形成的混合料具体的施工工艺:自卸汽车先将高液限土堆放在试验段作业区范围内,根据路基两侧控制松铺厚度标杆的标高,采用推土机将土进行粗平(见图7)。用推土机将土推2~3遍至大致平整后,接着用平地机进行精平。同时在推土机后配备3~5人、一辆手推车,用以填缝补平,或搬掉不符合要求的块料,使填料摊铺保持平整、均匀。

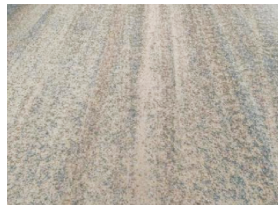


图7 土料粗平



图8 土料精平

在填土表面用石灰画出掺碎石方格网,以确定每车掺料的卸料位置,由自卸式汽车将掺料卸在指定位置,采用推土机将掺料进行粗平,推土机推2~3遍至大致平整后,接着用平地机进行精平(见图8)。掺料精平完成并具备拌合条件后,采用再生冷料路拌机对填料进行粉碎拌合,拌合遍数为1遍,使掺碎石料均匀分布到填土中(见图9)。最后对混合料进行碾压、整平(见图10)。

图9 再生冷料路拌机
对混合料拌合图10 改良后路基
表面状况

4.1 现场试验检测分析

高液限土改良施工完成后,通过灌砂法检测路基的压实度、贝克曼梁弯沉检测法检测路基的弯沉值,试验检测结果见图11、图12。从检测结果可以看出:改良后的高液限土在精心策划的施

工工艺下,路基压实度最小值为96.4%,大于路床压实度96%的最低要求;通过贝克曼梁弯沉仪检测的最大弯沉值为291(0.01 mm),小于设计文件要求的292.5(0.01 mm)的要求,再次证明掺30%的碎石改良高液限土满足路床填筑的要求。

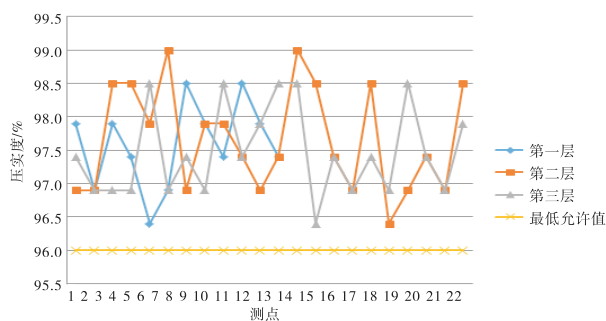


图11 压实度检测结果

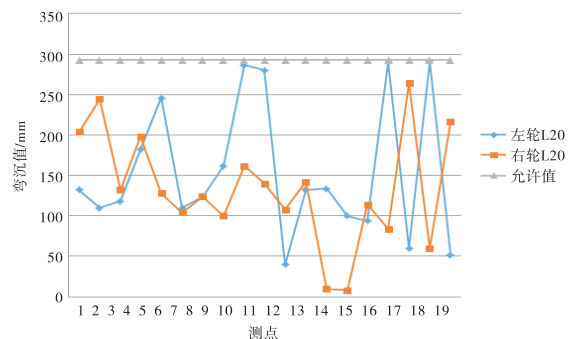


图12 弯沉值检测结果

5 结语

基于湛徐高速公路乌石支线 TJ1 合同施工项目,本文详细介绍了高液限土改良掺碎石方案的室内试验、路拌法施工工艺及现场试验,并对施工过程中的常见控制指标进行分析,系统研究了高液限土改良不同比例掺碎石各项填料指标,最终结合项目特性确定采取掺30%的碎石改良高液限土进行施工,为有较多石方弃置、含较多洞渣弃置的隧道等类似工程提供一定的工程经验。

参考文献:

- [1] 中交第二公路勘察设计院有限公司. 公路路基设计规范: JTG D30—2015 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [2] 朱万宇. 改良高液限土在拓宽填方路基中的应用研究 [D]. 北京: 北方工业大学, 2023.
- [3] 杨俊, 黎新春, 童磊. 风化砂改良高液限红粘土强度特性试验研究 [J]. 南京理工大学学报, 2015 (4): 181-186.

- [4]李秉宜,宣剑裕,郑文斌,等.改良高液限粘土水稳定性试验研究[J].四川大学学报(工程科学版),2016,48(4):64-69.
- [5]杨和平,李宏泉.石灰改良处治高液限土的路用特性试验研究[J].公路工程,2013,38(4):227-229,268.
- [6]甘先永.“康奈”土壤稳定剂处治高液限土施工工艺[J].中外公路,2005(4):171-173.
- [7]李成龙.掺隧道洞渣改良高液限土路用特性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2020.
- [8]中华人民共和国建设部.土的工程分类标准:GB/T 50145—2007[S],北京:人民交通出版社,2007.
- [9]刘鑫,洪宝宇.高液限土工程特性与路堤填筑方案[J].河海大学学报,2011(4):436-443.

(上接第17页)

测维护可以明显地降低桥梁可靠性能退化速率,但检测维护次数会明显增加。

4 结论

本文针对钢筋混凝土桥梁在运营周期内的检测维护策略优化问题进行研究,提出了一种改进的NSGA-II算法进行桥梁维护策略优化分析,克服原有算法的缺陷,提高其在桥梁检测与维护策略优化中的应用效能。以桥梁可靠度指标、检测维护成本为优化目标,建立桥梁检测维护策略优化模型,依托国内某钢筋混凝土桥梁,求解得到了最优维护策略方案,主要结论如下:①基于改进NSGA-II算法对桥梁检测维护策略优化问题进行求解,结果表明算法在300代以后最优解集分布较为规律,桥梁结构可靠度指标与检测维护费用之间基本呈现正相关,维护费用成本越高,桥梁的可靠度指标越大。②在桥梁运营周期内实施实质性检测维护可以较为明显地提高桥梁结构的可靠度指标,使其安全性能得到保障,但同时维护成本也会增加。③在桥梁运营周期内只进行预防检测维护,会使维护周期缩短,维护次数增加,维护成本减少,且预防性检测维护可以明显降低桥梁可靠性能退化速率,但在桥梁运营周期内,桥梁的整体可靠性概率有所降低。

参考文献:

- [1]周浩,黄天立,任伟新,等.基于概率的锈蚀钢筋混凝土桥梁检测维护策略优化[J].中南大学学报(自然科学

版),2014,45(12):4292-4299.

- [2]FEREYDOON S, DASHTI H N, JAVAD M A T. Developing a fuzzy bi-objective programming and MCDM model for bridge maintenance strategy optimization[J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 13336-13356.
- [3]SHILUN C, DA C, LE L, et al. Optimized Bridge Maintenance Strategies: A System Reliability - Based Approach to Enhancing Road Network Performance[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2024, 150(3): 1-12.
- [4]马亚飞,彭叶辉,彭安银,等.气候变化背景下桥梁全生命周期可持续维护策略优化[J/OL]. 工程力学, 1-12 [2024-07-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2595.O3.20240221.1657.014.html>.
- [5]戴丹斌.基于蚁群算法的桥梁维护策略优化[J].湖南交通科技,2022,48(3):114-118.
- [6]彭建新,邵旭东,张建仁.基于粒子群算法的劣化桥面铺装多目标组合维护策略优化研究[J].工程力学, 2011, 28(2): 205-211.
- [7]程健,黎恩华.基于粒子群算法的桥梁多目标维护决策优化[J].工程与建设,2020,34(4):767-769.
- [8]李扬海,鲍卫刚,郭修武.公路桥梁结构可靠度与概率极限状态设计[M].北京:人民交通出版社,1997.
- [9]全明研.老化和损伤的钢筋混凝土构件的性能[J].工业建筑,1990,4(2):15-19.
- [10]杨伟军,梁兴文,张建仁.服役桥梁评估荷载分析[J].中南公路工程,2002,27(3):31-33.
- [11]陈冠.考虑冲刷作用的桥梁网络维护决策优化[J].湖南交通科技,2022,48(3):108-113.