

# 高液限土作为路堤填料的改良方案研究

连渊<sup>1,2</sup>, 龙森<sup>3</sup>

(1. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 南京 210098; 2. 河海大学岩土工程科学研究所, 南京 210098; 3. 贵州省交通规划勘察设计研究院, 贵阳 550001)

E-mail: [lianyuanfeel@126.com](mailto:lianyuanfeel@126.com)

**摘要:**在我国很多地区,特别是降雨较多的南方,广泛分布着不能直接用于路堤填料的高液限土。高液限土性质特殊并且有很强的区域特征,对不同区域的土难以做到处治方式相同,本文依托广梧高速公路(河口至平台段)不良土研究课题,在不满足直接控制指标的土类中,选取性质最差的土体进行改良方案研究。拟在对掺料改良前后土体含水率、CBR值、压缩性和无侧限抗压强度性质对比分析基础上,结合改良方案的技术适用性和经济适用性,重点进行高液限土改良方案影响因素和改良方案的选择研究,并为研究区内高液限土改良提出了初步的建议。

**关键词:**高液限土; 性质; 改良; 方案

**中图分类号:** TD353.6

## 1. 概况

广梧高速公路河口至平台段工程中,高液限土成片区分布,土方量达150万方之多。这就意味着大量线路将从高液限土地区通过,而附近适合做路堤填料的土体又非常缺乏。由于高液限土具有液限高、塑性指数大、天然含水率高、细颗粒含量大等特征,因而表现出CBR强度低,可压实性差,变形持续时间长,水稳定性欠佳等不良性质。若处治不当,将会对工程造成难以估量的危害,加之高液限土具有很强的区域特征,不同区域甚至同一区域的高液限土性质差异都很大,因此,如何合理处治和利用高液限土将成为工程建设成功与否的关键因素之一。本文重点对广梧高速公路(河口至平台段)云浮地区高液限土路堤填料改良技术进行研究,并按照最不利原则,选取高液限土进行改良方案研究。

## 2. 高液限土改良材料的性质

工程所在地云浮地区为广东省主要的石材产地,盛产砂、石灰、水泥等建筑原料,而且西江横穿该地区,运输方便。如采用上述作为改良材料在理论上可行的话,则可以因地制宜,就地取材地进行高液限土改良,试验所用砂、石灰、水泥的性质见表1~3。

表1: 实验用砂各粒组含量表

粒径(mm)	2	0.5	0.25	0.074	
小于该粒径的土粒含量(%)	94	58	24	12	
粗、中、细砂粒组含量(%)	8	36	34	12	12

表2: 石灰基本指标测定结果

名称	产地	CaO含量(%)	MgO含量(%)	等级	质量评定
生石灰	广东云浮	87.3	4.2	优质钙质石灰	符合要求
熟石灰	广东云浮	68.1	3.6	优质钙质石灰	符合要求

表 3: 试验使用的水泥性质测定结果

水泥名称	产地	凝结时间(h)		安定性	抗折强度(MPa)		抗压强度(MPa)	
		7d	28d		7d	28d		
325#普通硅酸盐水泥	广东云浮	4.8	6.1	合格	4.7	6.5	21.2	33.8

### 3. 高液限土改良方案选择影响因素分析

由高液限土性质分析可知,高液限土作为路堤填料需要解决以下几个方面的问题:首先,高天然含水率、高液限和高塑性指数的问题;其次,低强度、高压缩性和低渗透性问题;其三,高液限土细颗粒含量过多,颗粒级配差的问题;最后,水稳定性和压实性能不佳的问题。所以,对高液限土改良方案的选择,要围绕着解决这几个问题着手。在满足技术适用性的前提下,综合考虑经济适用性决定高液限土改良方案。

#### 3.1 技术适用性分析

按最不利原则选择改良试验土料为K121+460 断面土料,试验过程中试样制作、养护及实验过程严格按照规程<sup>[1~2]</sup>进行。

##### 3.1.1 理论可行性

###### 1. 改善含水率方面

图 1 和图 2 分别为生石灰改良土和熟石灰改良土含水率与掺灰率关系,石灰改良土含水率均随着掺灰率增大而减小。从生石灰改良土的含水率与时间关系来看,土体含水率并不总是随着时间增长而降低,而是存在一个最佳值。当时间超过最佳值时,土体含水率将有所回升,本文试验得到的时间最佳值为 72 小时左右。熟石灰对降低含水率的效果明显不如生石灰。如,掺灰率为 5%时,生石灰改良土,72h 后土体含水率可以降低 9%以上;而熟石灰改良土,含水率降低仅为 2.7%。所以,就降低高液限土含水率而言,生石灰的效果远比熟石灰要好。

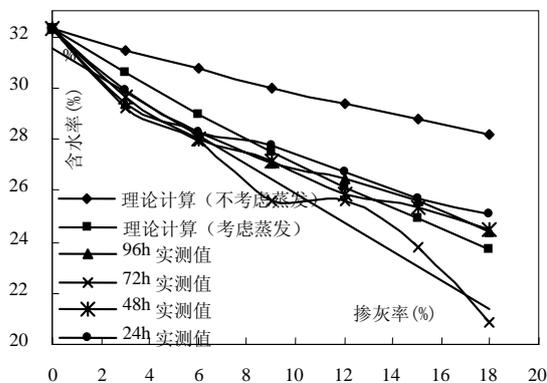


图 1: 掺生石灰含水率与掺灰率关系

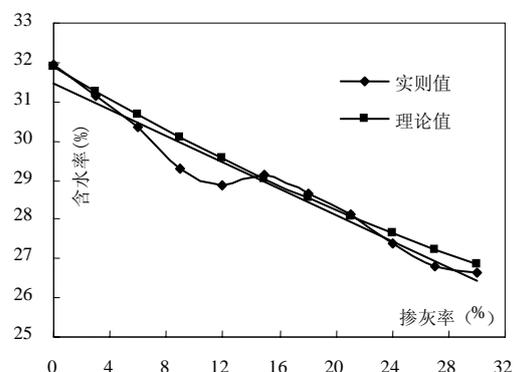


图 2: 掺熟石灰含水率与掺灰率关系

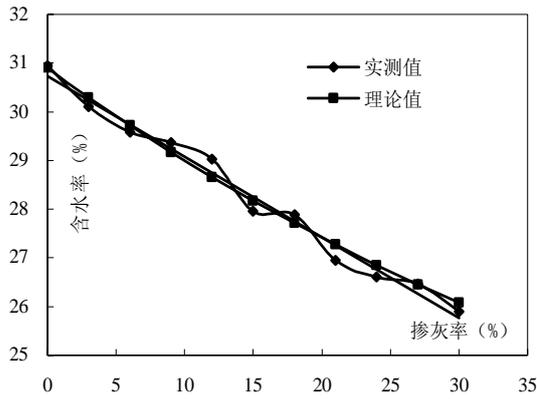


图 3: 掺水泥含水率与掺灰率关系

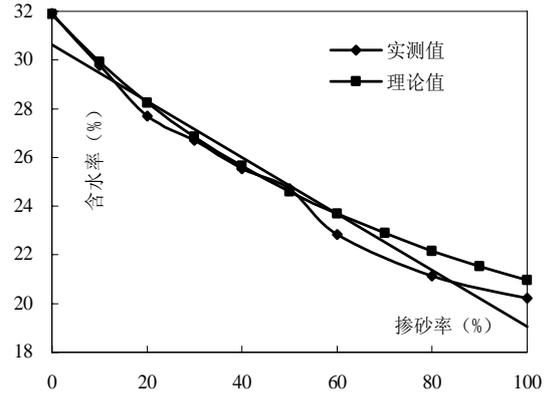


图 4: 掺砂含水率与掺砂率关系

图 3 和图 4 为水泥改良土和砂改良土含水率与掺料率变化曲线,从曲线的变化来看,改良土土体含水率随着掺料率增加而降低,但降低土体含水率的效果不明显。当水泥掺灰率为 10%时,含水率降低 5.5%;当掺砂率为 10%时,土体含水率仅能降低 3.9%;掺砂对降低高液限土体含水率效果同样不好。在相同掺料率情况下,掺砂对降低含水率的效果还不如掺水泥的情况。但由于掺砂率一般比较大,而且随着土体含砂量增大,土体渗透性提高,有利于水分排出。因而,对降低高液限土含水率而言,掺砂的效果要比掺水泥好。

## 2. CBR 值

图 5 为 CBR 值与掺料率的关系曲线。图上直观的反映了生石灰与熟石灰两种改良土的 CBR 值随掺灰率变化的情况,掺灰率为 3%时,两种改良土的 CBR 值相差无几,但是掺灰率超过 3%以后,生石灰改良土的 CBR 值仍随着掺灰率的增大而明显增大,而熟石灰改良土 CBR 值与掺灰率的曲线变得很平缓,随着掺灰率增大, CBR 值并没有明显的提升。所以,在相同的掺灰率条件下,生石灰改良土 CBR 值明显比熟石灰改良土 CBR 值要大。

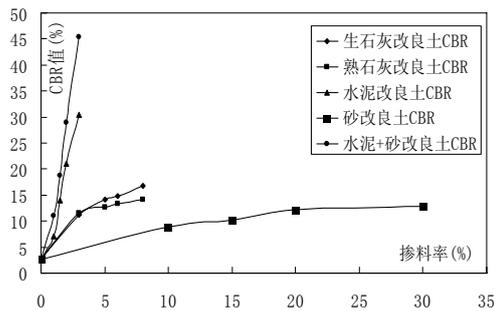


图 5: CBR 值与掺料率的关系曲线

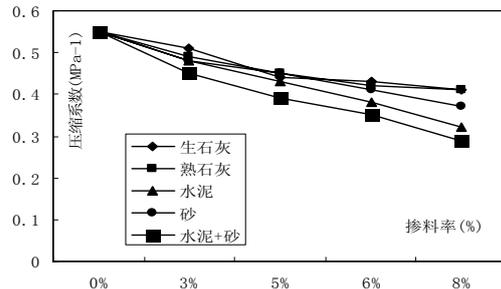


图 6: 改良土压缩系数与掺料率的关系

掺水泥对增大 CBR 值的效果显著,水泥改良土 CBR 值随着水泥掺灰率增大呈直线上升;而掺砂对增大 CBR 值的效果并不是十分明显,掺砂率为 10%时,改良土的 CBR 值为 8.8%,已经能满足高速公路路堤对填料的要求,但是当掺砂率为 30%时, CBR 值也仅为 12.8%,说明随着掺砂率的增大,土体的 CBR 值增幅很小。而随着随着水泥与砂掺料增加, CBR 值随之呈

线性比例增大,当水泥与砂混合料掺料率为 (1+10)%时, CBR 值已经达到 11.0%, 相比素土增大了约三倍, 已经能满足路堤顶层填料 CBR 强度要求。随着水泥和砂掺量增多, CBR 值呈线性增长。当水泥与砂掺料率为 (3+30)%时, CBR 值已经达到 45.4%, 改良土 CBR 强度得到大幅度提升。

### 3. 压缩性

在素土状态下, 土体压缩系数  $a_v = 0.55(MPa^{-1})$ , 压缩性比较高, 属于高压缩性土层, 是造成路基开裂、下沉、翻浆、冒泥等病害的重要原因之一。图 6 为改良土压缩系数与掺料率的关系, 从图中可看出, 当在高液限土中加入一定量的生石灰、熟石灰、水泥、砂以及水泥与砂混合料以后, 压缩系数呈明显下降趋势。经掺料改良后土体由高压缩性土变为中压缩性土。改良土压缩性降低, 刚度增加, 利于路基的稳定。

### 4. 无侧限抗压强度

图 7 为两种石灰改良土无侧限强度与掺灰率的关系曲线, 直观反应了无侧限强度与掺灰率的变化规律。素土的无侧限抗压强度为 0.05MPa, 当掺灰率为 3%时, 生石灰改良土的 7d 无侧限抗压强度为 0.33MPa, 熟石灰 7d 无侧限抗压强度为 0.37MPa, 养护 28 天以后, 无侧限强度分别达到 0.67MPa 和 0.63MPa。结果表明, 石灰改良土强度增长受龄期和养护环境影响很大。土中掺入石灰后, 石灰土因吸收大量水分后强度增长较慢, 随着时间推移, 随着石灰水化作用进行, 石灰土可以得到较高的强度。从生石灰改良土和熟石灰改良土无侧限抗压强度的对比来看, 熟石灰改良土早期强度稍比生石灰改良土大, 但是经过较长时间反应后, 生石灰改良土强度得到较大的增长, 从相同掺灰率条件下 28d 的无侧限抗压强度来看, 生石灰改良土比熟石灰改良土稍大。说明掺熟石灰改良时, 土体可以得到较高的早期强度, 但总强度而言, 生石灰改良土的效果要比熟石灰改良土好。

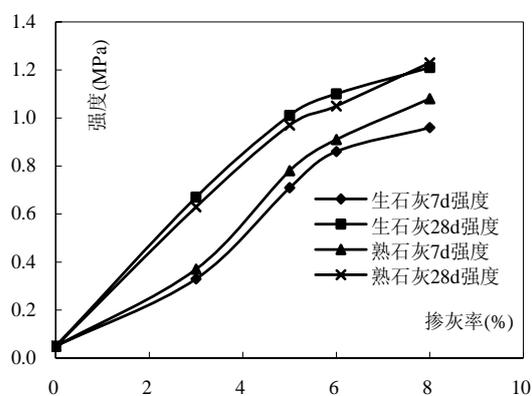


图 7: 无侧限强度与石灰掺灰率的关系

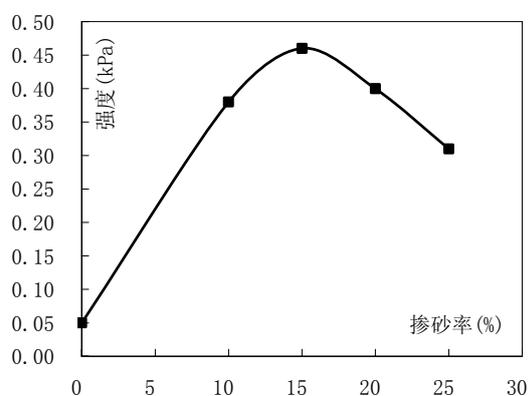


图 8: 无侧限强度与砂掺料率关系

图 8 和 9 为砂改良土和水泥改良土无侧限强度与掺灰率的关系曲线。从图 8 中结果来看, 随着掺砂率增大, 无侧限强度值先增后减。当掺砂率为 15%时, 强度值由素土的 0.05MPa 增

大为 0.46MPa, 但是掺砂率为 20%时, 无侧限抗压强度降低为 0.40MPa, 当掺砂率为 30%时降低到 0.31MPa, 出现这样现象的主要原因可能是由于砂粒掺入时, 在掺量较少时, 砂粒在土体中起到骨架支撑作用, 使土体强度和稳定性提高。但随着土中砂粒增多, 土体间粘结作用降低, 土体抗压能力下降; 对于水泥改良土而言, 随着掺灰率增大, 无侧线抗压强度也相应递增。从水泥改良土 7d 和 28d 无侧限抗压强度对比来看, 7d 无侧限抗压强度已经达到 28 天抗压强度的六成左右。

图 10 为无侧限抗压强度与水泥和砂掺料率的关系曲线, 从图中可知, 随着水泥和砂掺料率增大, 无侧限抗压强度与之呈正相关关系增大, 当掺料率为 (1.5+15)%时, 7d 强度为 0.73MPa, 28d 无侧限抗压强度已达到 0.91Mpa, 无侧限抗压强度增幅比较大, 而在其后曲线明显变缓, 即强度增幅减小。7d 强度曲线和 28d 强度曲线均表现出相同的规律。由此可以看出, (1.5+15)%水泥与砂混合料为较关键的掺料率。

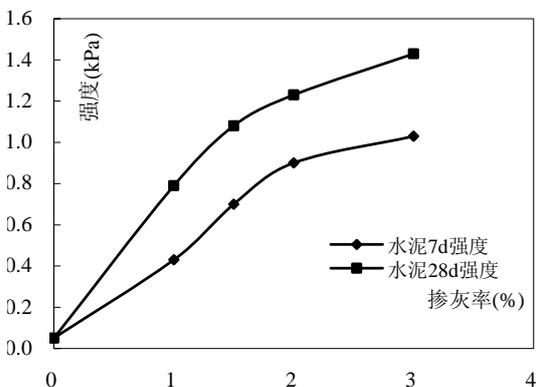


图 9: 无侧限强度与水泥掺灰率的关系图

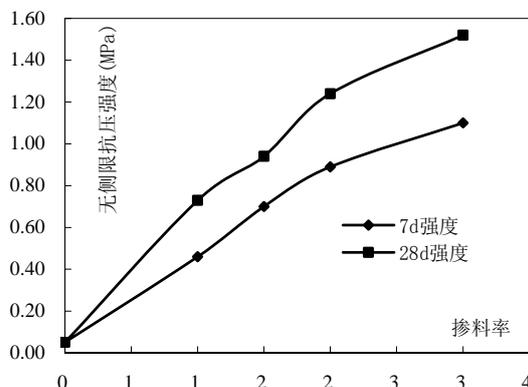


图 10 无侧限强度跟水泥与砂掺料率关系

### 3.1.2 实际可操作性

选择改良土材料的实际可操作性通过表 4 得出:

表 4 改良土实际可操作性

改良土	实际可操作性
石灰改良土	施工工艺比较成熟, 石灰密度比较小, 单位质量内石灰的体积比较大。所以, 拌和施工较为容易, 一般拌和两遍, 石灰土已经较为均匀。熟石灰是生石灰消解的后产物, 相对与生石灰改良土而言, 少去了闷灰消解的过程。石灰改良土施工过程中, 熟石灰改良土可操作性较好。
水泥改良土	水泥改良土的掺灰率一般较小, 加上水泥密度比较大, 单位质量水泥的体积很小, 在水泥土拌和过程中很难以保证其均匀性。从现场以往水泥土施工来看, 拌和四遍仍见素土带, 水泥土的可操作性较差。
砂改良土	高液限土含水率较高, 细颗粒含量较大, 平时一般呈快状, 而砂为相对较大的粗颗粒, 在拌和过程中砂粒下沉, 随着拌和遍数增多, 这种现象愈明显。所以, 掺砂改良土很难拌和均匀, 施工可操作性差。
水泥与砂改良土	从理论可行性分析来看, 水泥与砂改良土的效果比较好。但是, 通过对砂改良土和水泥改良土可操作性分析来看, 水泥改良土和砂改良土的可操作性很差。水泥与砂改良土增加了二次掺料过程, 相对于单独掺水泥与掺砂更增大了施工难度。所以, 从可操作性角度来看, 水泥与砂改良土的可操作性最差。

### 3.2 经济适用性

高液限土改良方案的经济适用性分析涉及方面很广，要考虑因素很多，为了便于比较，本文仅在相同地质条件及环境条件下分析高液限土改良费用，最大干密度和最优含水率取值按击实试验所得结果，压实度按 93%进行计算。下面为几种改良土填料每施工 100m 所需费用估算分析，费用中不包括施工费、技术设备费、计划利润及税金等。图 11 为生石灰、熟石灰、水泥及砂改良土工程费用分析图，从对水泥改良土和砂改良土的经济适用性分析来看，两种费用均比较低。经过计算，采用水泥与砂改良的方案，当水泥与砂混合料的掺料率为 (1.5+15)%时，百米路段总费用为 115375 元，当水泥与砂混合料的掺料率为 (2+20)%和 (3+30)%时，费用相应增加了 30%和 83%，也具有较好的经济适用性。

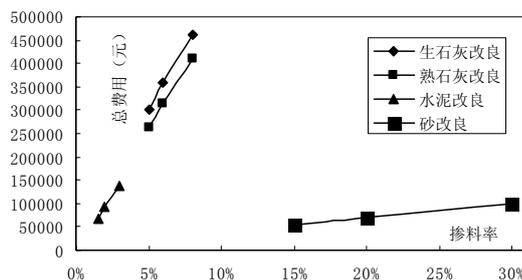


图 11: 改良土工程费用分析图

### 3.3 方案选择定量分析

按照 3.1 的讨论，掺砂 20%、掺水泥 2%、掺水泥与砂(1.5+15)%、掺熟石灰 5%和掺生石灰 5%均能有较好的改良效果，改良方案采用层次分析法<sup>[3~5]</sup>，分别计算其权重结果，如表 5 所示：

表 5 改良方案组合权重计算结果

$$w_{组} = \begin{vmatrix} 0.079 & 0.094 & 0.358 & 0.461 \\ 0.079 & 0.094 & 0.265 & 0.187 \\ 0.362 & 0.052 & 0.227 & 0.173 \\ 0.083 & 0.351 & 0.080 & 0.108 \\ 0.396 & 0.409 & 0.070 & 0.072 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.122 \\ 0.609 \\ 0.188 \\ 0.081 \end{vmatrix} = \left| 0.171, 0.132, 0.133, 0.248, 0.316 \right|$$

由计算结果可知，掺砂 20%、掺水泥 2%、掺水泥与砂(1.5+15)%、掺熟石灰 5%和掺生石灰 5%对应的权重分别为 0.171、0.132、0.133、0.248 和 0.316，掺 5%生石灰改良为最优方案，因而，最终选择掺 5%生石灰作为最优改良方案进行了试验路现场填筑试验工作。

## 4. 结论

(1) 通过改良方案技术适用性分析，5%生石灰改良土，5%熟石灰改良土、20%砂改良土、2%水泥改良土和 (1.5+15)%水泥与砂改良土已能够满足高速公路路堤填料要求。

(2) 改良方案的实际可操作性方面，熟石灰改良土最好，其次为生石灰改良土；水泥改良土和砂改良土的可操作性均不好，其中水泥与砂改良土的可操作性最差。

(3) 改良方案经济适用性方面, 掺砂和掺水泥改良经济性效果最好, 采用水泥与砂混合料改良也有较高经济适用性, 采用石灰改良费用较高。

(4) 通过理论分析和层次分析法确定出最优改良方案为掺 5%生石灰改良。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准(JTJ-051-93).《公路土工试验规程》[S]. 北京:交通部公路科学研究所, 1993
- [2] 中华人民共和国行业标准(JTJ-057-94).《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》[S]. 北京:交通部公路科学研究所, 1994.
- [3] 宣家骥. 多目标决策[M]. 长沙:湖南科学技术出版社, 1993.
- [4] 刘文龙等. 经济决策分析[M]. 北京:军事谊文出版社, 1993.
- [5] 刘焕成等. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京:北京师范大学出版社, 1986.

## Research of Improvement Schemes on Embankment of High Liquid Limit Soil

Lian Yuan<sup>1,2</sup>, Long Sen<sup>3</sup>

(1.Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing210098,China; 2.Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing210098,China; 3.Guizhou Communication Planning Survey & Design Academy, Guiyang550001,China)

**ABSTRACT:** Many areas in China, especially in the rain more widely distributed in the South the high liquid limit soil can not be directly used for embankment fill. The properties of this soil are different from other soils and behave diversely in different places, so we can't always use the same scheme. This essay unifies the adverse soil studies of Guang-Wu Expressway (Hekou to Pingtai section),focusing on the improvement scheme research of the worst properties of the soil, such as water content, CBR value, compressibility and unconfined compressive strength. Combination with technological and economical applicability, the aim is to study the influencing factors and the choice for the improvement scheme based on the comparison of the properties after spiking and give some suggestions for the researched region.

**Key word :** High liquid limit soil; property; improvement; scheme

作者简介: 连渊, 男, 1984年生, 硕士研究生, 主要研究方向为软土地基处理及地下工程。