

改良花岗岩残积土的路用性能试验研究

伍贤熙¹, 孔增增², 严为光³

(1. 江西省港航建设投资集团有限公司, 江西 南昌 330008; 2. 杭州交投建设工程有限公司;
3. 中国水利水电第八工程局有限公司科研设计院)

摘要:为了改善花岗岩残积土的路用性能,该文以江西省抚州地区典型花岗岩残积土为研究对象,首先测定其基本化学成分和物理性能,然后采用石灰和纤维两种方法对土样进行改良,并利用正交试验法通过界限含水率、击实性能和 CBR 强度等试验结果对改良效果进行评价。试验结果表明:土样的天然含水率远高于最佳含水率,两者差值为 12.5%,在进行花岗岩残积土路堤填筑施工时,应当采取一定的措施(如翻晒等方法)以降低其施工含水率;单轴压实和 CBR 试验结果表明,其中存在一个最佳的掺配比例,该试验土样的掺入量以 8% 的生石灰和 0.3% 的纤维为宜;在实际施工中,应当注意施工拌和时的水分变化和压实工序,确保石灰得到充分反应,从而加强改良土体的强度;现场试验段测试结果表明:采用该文改良方法得到的路基填料满足施工和设计要求,能应用于实际工程。

关键词:花岗岩残积土;路用性能;纤维改良;石灰改良;正交试验

随着中国经济建设的蓬勃发展,中国高速公路总里程已位居世界第一位,但由于中国地域辽阔,气候地质条件复杂,在路基工程中广泛存在的特殊土强度低且难以治理的工程问题制约了中国高速公路建设的进一步发展。花岗岩残积土在中国南方地区分布广泛,其特殊性表现为高液限、高孔隙比、卸荷崩解、遇水软化等特征,由于受湿热气候影响,花岗岩残积土修筑的路基结构易受扰动而发生强度衰减。由于花岗岩残积土的路用性能较差,一般不能直接应用于路基填筑,目前常用的特殊土路基处置方法有换填和改良等。

在花岗岩残积土路段对路基进行修筑,由于受山区道路线形限制,所需的土石方工程量较大,从经济和

环保等方面出发,对花岗岩残积土进行改良成为了实际工程的首选方法。胡焕校等针对粗细颗粒含量相近的花岗岩残积土进行了石灰改良,发现其最佳掺灰量为 5%~6%;杜伟飞等将聚丙烯纤维掺入到黄土中,研究发现适量的纤维能够改善基质土的力学性能,抑制裂缝发育。基于此,该文以江西省抚州地区典型花岗岩残积土为研究对象,首先测定其土样的基本化学成分和物理性能,然后采用掺入石灰和聚丙烯纤维两种方法对土样进行改良,并利用正交试验法通过界限含水率、击实性能和 CBR 强度等试验结果对改良效果进行评价,并最终确定最佳的改良掺量配比,为花岗岩残积土特殊路基施工与应用提供试验支撑。

[6] 张宜洛,王涛,张轲.改进肯塔堡飞散试验沥青混合料松散性能研究[J].中外公路,2016(5).

[7] Zhang Y. Extending the Lifepan of Porous Asphalt Concrete[D]. Delft University of Technology,2015.

[8] 许斌.排水沥青路面预防性养护技术研究[D].大连理工大学博士学位论文,2016.

[9] 徐斌.排水性沥青路面理论与实践[M].北京:人民交通出版社,2011.

[10] 交通运输部公路科学研究院.排水沥青路面设计与施工技术细则(报批稿)[Z],2017.

[11] EN 12697-19:2012 Bituminous Mixtures—Test Methods for Hot Mix Asphalt—Part 19: Permeability of Specimen[S].

[12] 日本道路协会. Method for Measuring Surface Friction Properties《铺装试验法便览》[Z],1999.

[13] 林志栋.国道高速公路排水性铺面材料设计影响因素及成效之研究[D].国立中央大学硕士学位论文,2005.

[14] 日本道路协会.排水路面铺装技术指南[M].东京:丸善株式会社,1996.

[15] 矫芳芳.排水沥青混合料性能影响因素研究[D].长安大学硕士学位论文,2010.

1 材料性能与方法

1.1 材料的基本性质

试验土样采用江西省抚州地区典型花岗岩残积土,采用 X 射线荧光光谱法测定其主要化学成分(表 1)。由表 1 可知:土样中硅氧化物和铝氧化物含量最多,两者占土样化学成分的 80% 以上,其他氧化物相对较少。根据地质勘探资料可知,该地区的花岗岩残积土母岩一般为加里东期中细粒黑云母花岗岩,分布和风化程度不均匀,颜色呈红褐色,以长石和云母等黏土矿物为主,粗粒成分相对较少,结构空隙较多,持水能力良好。

表 2 花岗岩残积土的基本物理性能

塑限/ %	液限/ %	塑性 指数	最佳含 水率/%	天然含 水率/%	最大干密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	颗粒筛分/%	
						>2 mm	>0.075 mm
24.7	38.5	13.8	14.3	26.8	1.712	18.3	86.4

由表 2 可知:土样的最大干密度为 1.712 g/cm^3 ,最佳含水率为 14.3%,而其天然含水率远高于最佳含水率,两者差值为 12.5%,这说明在进行花岗岩残积土路堤填筑施工时,应当采取一定的措施(如翻晒等方法)以降低其施工含水率;土样颗粒主要由砂粒(0.075~2 mm)组成,约占 68.1%,而粒径大于 2 mm 的砾粒占 18.3%,其余细粒含量为 13.6%,呈现“中间多、两边少”的分布现象。

改良试验采用江西产石灰及聚丙烯纤维,其主要物理性能如表 3、4 所示。

表 3 生石灰主要物理性能

含量/ %	体积密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	BET 比表面 积/($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	气孔 率/%	莫氏 硬度	抗压强 度/MPa
>90	1.5~1.8	>1.2~3.5	53.5	2	9.8

表 4 聚丙烯纤维基本性能

密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	直径/ μm	长度/ mm	抗拉强 度/MPa	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	耐酸 碱性
0.91	18~48	12	>450	>165	极强

1.2 改良方法与作用机理

目前,对特殊土的力学性能进行改良的方法可分为两类:物理改良和化学改良。其中,物理改良方法主要通过向土体中掺入碎石类材料改变土体颗粒或掺入纤维直接改善土体抗拉强度;化学改良方法则主要采

表 1 花岗岩残积土的主要化学成分

化学成分	含量/%	化学成分	含量/%
SiO_2	61.33	Fe_2O_3	2.63
Al_2O_3	20.41	CaO	2.41
K_2O	6.15	Na_2O	1.60
MgO	4.56	TiO_2	0.91

花岗岩残积土受气候环境影响较大,且沿着厚度和水平方向的不同土样风化程度存在差异,因此需要首先确定土样的物理力学性质。按照 JTG E40-2007《公路土工试验规程》的试验要求,对土样进行筛分试验、液塑限试验和击实试验,其基本物理性能如表 2 所示。

用石灰、粉煤灰或其他固化剂等进行处置,从而改变土体的化学成分。该文结合花岗岩残积土的工程特性,采用掺入纤维和石灰两种方法对土样进行改良。

(1) 纤维改良作用机理

在纤维改良土中,细长的纤维均匀、无序地交织在填土中,其微细观作用可以用弯曲机理和交织机理来表征。弯曲机理指土体中嵌入的纤维沿着长度方向呈弯曲状态,当土体受力时弯曲的纤维将约束土颗粒的移动从而限制侧向拉伸作用;交织机理指由于土体中纤维形成网状结构,存在多个交织点,当纤维受到外力作用时交织处的其他方向纤维将阻碍受力方向的移动从而分散应力的影响,将包裹的土体形成一个整体。

(2) 石灰改良作用机理

通常花岗岩残积土含有大量的亲水性黏性矿物,这一类矿物晶格结构不稳定,易吸附水分。通过将生石灰掺入到土体中,发生一系列复杂的物理和化学变化,其中生石灰水解反应生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Ca^{2+} 与土体中的低价阳离子(Na^+ 和 K^+ 等)发生离子交换作用,从而降低土颗粒吸附水的能力,形成稳定的土体团粒。石灰改良土样随着时间的延长,将缓慢发生火山灰作用和碳化作用等,从而改变颗粒组成和化学成分,并最终对土体的工程性能进行改善。

1.3 正交试验方案设计

通过对改良土的前期调研,确定土样中纤维的掺

量为0.1%~0.5%,而石灰的掺量通常为4%~12%,因此试验采用两因素四水平正交试验方案,共16组试验,每组试验土样的纤维和石灰掺量见表5。其中,掺入纤维的土样采用F表示,掺入生石灰的土样采用L表示,对应的掺量采用数字表示。

表5 正交试验中改良土样的掺配比例

土样编号	纤维掺量/%	石灰掺量/%	土样编号	纤维掺量/%	石灰掺量/%
F0L0	0	0	F3L0	3	0
F0L4	0	4	F3L4	3	4
F0L8	0	8	F3L8	3	8
F0L12	0	12	F3L12	3	12
F1L0	1	0	F5L0	5	0
F1L4	1	4	F5L4	5	4
F1L8	1	8	F5L8	5	8
F1L12	1	12	F5L12	5	12

2 改良土路用性能试验及结果分析

2.1 对界限含水率的影响

对改良花岗岩残积土进行液塑限试验,石灰掺量对试验结果的影响如图1所示。

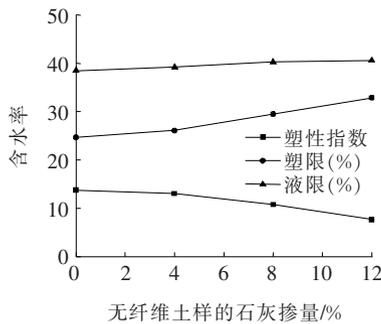


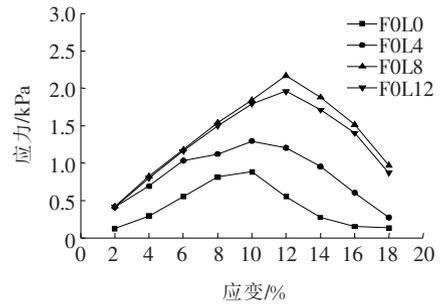
图1 石灰掺量对界限含水率的影响

从图1可知:石灰改良花岗岩残积土,导致其液塑限结果发生显著改变,这是由于石灰经过一系列物理化学反应,改变了土体的化学组成和结构。其中,塑限和塑性指数呈现明显增大或减小的趋势,说明改良土样达到可塑状态需要更多的水分,而对液限的变化影响较小,这是由于土体中粗颗粒不似细颗粒变化明显,受石灰的影响相对较弱。

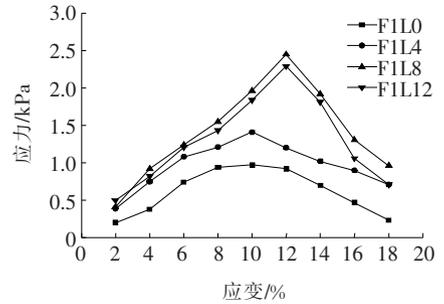
2.2 对单轴压缩强度的影响

单轴压缩强度与纤维掺量和石灰掺量的关系如图

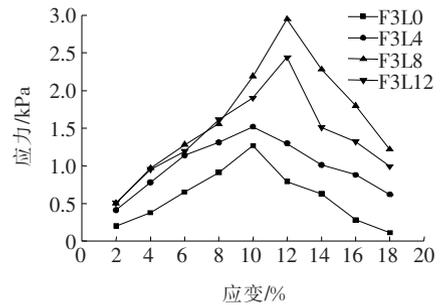
2所示。



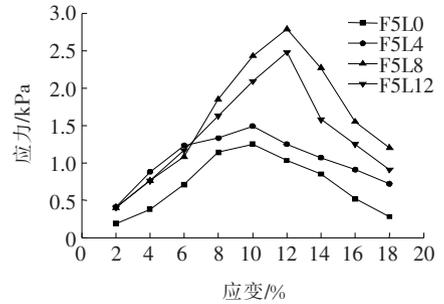
(a) 纤维掺量为0



(b) 纤维掺量为0.1%



(c) 纤维掺量为0.3%



(d) 纤维掺量为0.5%

图2 土样单轴压缩应力-应变曲线图

从图2可知:不同石灰和纤维掺量的改良花岗岩残积土的加载曲线先增大后减小,其峰值均出现在变形量为10%~12%的范围内,即在峰值轴向应力附近试件发生破坏;以石灰掺量为例,在其他条件不变的情况下,试件抗压强度的排序为8%掺量>12%掺量>4%掺量>0%掺量,因此掺入石灰对花岗岩残积土的强度有明显的影 响,但并不是掺量越多越好,其中存在

一个最佳的掺配比例,使得花岗岩残积土性能最佳;而就纤维掺量而言,在石灰掺量为 0~8%时,其结果存在一个最佳的掺入量(0.3%),但在石灰掺量为 12%条件下,是随着纤维掺量的增加,试件的强度一直增加。

通过正交试验方法,对改良花岗岩残积土抗压强度的均值响应进行分析,分别得到两种影响因素的主效应图,如图 3 所示。

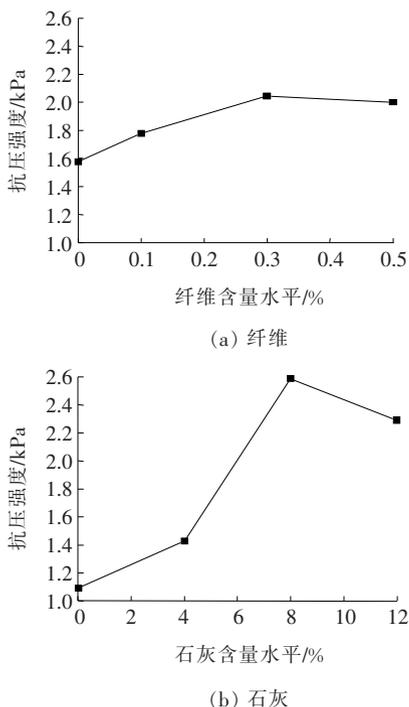


图 3 抗压强度的影响因素主效应图

从图 3 可以看到更加清晰的试验变化规律,当纤维掺量达到 0.3%左右时,其掺量对强度的增长贡献减小,继续增加纤维含量甚至会导致改良土的强度降低;而对于石灰掺量而言,也存在相似的规律,但石灰对试件强度的变化影响幅度更大,在掺量为 8%附近改良土的抗压强度达到最大值。

2.3 对 CBR 的影响

为了进一步验证上述石灰和纤维的最佳掺量,开展 CBR 试验分析,按照标准重锤 98 击进行,先对土样进行风干处理,降低其含水率,然后掺入石灰或纤维,焖料成样,并分别对未泡水和泡水 4 d 后的改良土试样进行测试。改良土的 CBR 试验结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出:未改良花岗岩残积土(F0L0)的 CBR 标准值为 4.7%小于 8%,不满足规范对上路床填料 CBR 的要求,不能直接用于路堤填筑,因此需要采用纤维和石灰对素土进行改良。

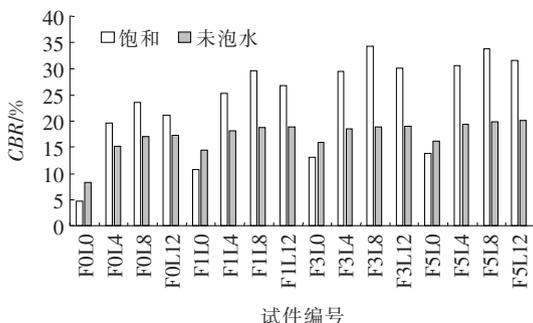


图 4 有无泡水条件下 CBR 试验结果

通过对比石灰掺量变化对试样 CBR 值的影响,从中可知,石灰的掺入对花岗岩残积土的改善作用明显,且在饱和条件下,石灰掺量的最优值为 8%,单因素影响下能够提升 CBR 值 4~5 倍,最优掺量与单轴抗压强度试验一致;纤维掺量变化的对比结果,同样存在一个最优的掺配比例,当纤维掺入量为 0.3%时,其 CBR 值最大。同时,在未泡水条件下,改良土的 CBR 值随石灰和纤维掺入量的变化幅度较低,而饱和状态下 CBR 值变化较大,这是由于在改良土中掺入生石灰后,在未泡水条件下土中水分含量较少,无法使石灰充分发生反应,且石灰材料被外层土壤紧密包裹,限制了其从周围吸收水分,同时由于水化反应,土体的含水率发生变化,降低了土体自身的强度;而在经过 4 d 的泡水饱和后,改良土充分发生反应,生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 进一步生成水合晶体,对土体的黏结能力得到增强,从而有效地提高了改良土的抗剪强度。因此,可以确定该研究的改良花岗岩残积土的最佳掺配比例为 8% 的生石灰和 0.3% 的纤维,但是在开展实际施工时,应当注意施工拌和时的水分变化和压实工序,确保石灰得到充分反应,从而加强改良土体的强度。

3 在建花岗岩残积土路段现场检测

以江西省抚州地区某高速公路三标段为例,采用改良花岗岩残积土进行路基填筑。在施工过程中,采用现场拌和的方式,按照试验测得的最优掺量进行路拌。将需要被改良的花岗岩残积土运输至路床之上并摊铺,使其均匀摊开且厚度达到要求,再将改良的石灰和纤维均匀铺在改良土体上,利用拌和机进行充分拌和,再压实,保证压实度和平整度满足规范要求。

在土体进行改良和压实工序后,在试验路段选取特征断面进行现场测试。对压实完成后的改良土填筑路基进行压实度和弯沉检测,通过现场取样和贝克曼

梁法得到试验结果如表6所示。

表6 压实度和弯沉值检测结果

桩号	测点数/ 个	平均压 实度/%	平均弯沉值/ (0.01 mm)
K24+500~K24+600	6	96.1	132.2
K24+600~K24+700	5	96.0	130.5
K24+700~K24+800	6	96.2	131.4
K24+800~K24+900	5	95.9	125.4
K25+000~K25+100	6	96.2	131.2
K25+100~K25+200	6	96.2	128.8
平均值	—	96.1	129.9

由表6可知:路基压实结果基本符合路基顶96区的压实标准,弯沉结果小于设计文件对弯沉的要求,因此研究采用的优化石灰和纤维改良方法能够用于路基施工。同时,在试验段沿线设置长期沉降观测点,定期对施工期填土路基沉降进行观测,路基弯沉在140d左右达到稳定,平均沉降量为19.8mm,小于路基允许工后沉降量30cm的要求,也说明该试验填筑路基满足施工和设计要求。

4 结论

通过对江西某高速公路试验段典型花岗岩残积土的物理性能和改良方法进行试验和调研,采用正交试验方法对改良土的界限含水率、击实性能和CBR等试验结果进行评价,得到如下结论:

(1) 由土样的物理性能试验结果可知,其天然含水率远高于最佳含水率,两者差值为12.5%,在进行花岗岩残积土路堤填筑施工时,应当采取一定的措施(如翻晒等方法)以降低其施工含水率;土样颗粒主要由砂粒(0.075~2mm)组成,约占68.1%,而粒径大于2mm的砾粒占18.3%,其余细粒含量为13.6%,呈现“中间多,两边少”的分布现象。

(2) 不同石灰和纤维掺量的改良花岗岩残积土的加载曲线先增大后减小,其峰值均出现在变形量为10%~12%的范围内,即在峰值轴向应力附近试件发生破坏;试件的强度随石灰和纤维掺量的增加并非单调上升,存在一个最佳的掺配比例,使得花岗岩残积土性能最佳,通过单轴压实和CBR试验可知,掺入量以

8%的生石灰和0.3%的纤维为宜。

(3) 在未泡水条件下,改良土的CBR值随石灰和纤维掺入量改变的变化幅度较低,而饱和状态下的CBR值变化较大,这是由于在改良土中掺入生石灰后,在未泡水条件下土中水分含量较少,无法使石灰充分发生反应,且石灰材料被外层土壤紧密包裹,限制了其从周围吸收水分,同时由于水化反应,土体的含水率发生变化,降低了土体自身的强度,因此在开展实际施工时,应当注意施工拌和时的水分变化和压实工序,确保石灰得到充分反应,从而加强改良土体的强度。

(4) 在江西抚州地区某高速公路试验段开展现场研究,应用石灰和纤维混合改良方式,对该地区花岗岩残积土填料进行现场拌和和压实,并对施工后路基的压实度、弯沉值和长期沉降量进行测试,结果表明该文改良方法得到的路基填料满足施工和设计要求。

参考文献:

- [1] 阮志新,蓝日彦,陈宏飞.石灰改良膨胀土填筑路基的施工工艺及质量控制[J].中外公路,2012(2).
- [2] 魏建国,刘庭,张军辉,等.石灰改良含砂低液限土在高速公路拓宽路基中的应用研究[J].中外公路,2016(1).
- [3] 张军辉.不同软基处理方式下高速公路加宽工程变形特性分析[J].岩土力学,2011(4).
- [4] 徐立红,费伦林,钱劲松.江西花岗岩残积土分布及路用性能研究[J].公路,2017(3).
- [5] 张莹莹,程志豪,周沛延,等.电石渣改良土的无侧限抗压强度预测方法[J].中外公路,2017(3).
- [6] 胡焕校,沈俊喆,孙端阳.花岗岩残积土路用性能石灰改良试验研究[J].湖南城市学院学报(自然科学版),2017(2).
- [7] 杜伟飞,刘争宏,沈云霞,等.聚丙烯纤维优化黄土改良土力学性能研究[J].工程勘察,2014(11).
- [8] 庄心善,游鹏,余晓彦,等.粉煤灰-玄武岩纤维改良膨胀土试验研究[J].公路工程,2016(3).
- [9] 胡达,璩继立.纤维素纤维加筋土的力学特性[J].公路交通科技,2018(1).
- [10] 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(4).
- [11] 庄心善,彭伟珂,吴镜泊.石灰改良膨胀土强度试验研究[J].公路工程,2017(5).
- [12] 朱文旺,张文慧,姜冲,等.石灰和水玻璃共同改良粉土试验研究[J].长江科学院院报,2017(10).