

## 高液限土石灰改良处治技术试验及工后沉降分析

曹海利<sup>1</sup>, 付丽红<sup>2</sup>

(1.徐州市交通规划设计研究院, 江苏 徐州 221000; 2.中国矿业大学, 江苏 徐州 221116)

**摘要:** 结合江苏 344 省道邳州段高液限土的基本特征, 通过石灰改良掺比试验(掺量为 4%、5%、6%), 得到路基不同分区最佳含水率和最大干密度控制指标, 并进行试验段铺筑, 分析不同石灰掺量改良土体的沉降效果。结果表明, 高液限土的击实试验干密度随着含水率的增加而减小, 并未出现峰值, 其承载比 CBR 无法满足规范要求; 掺 4% 石灰, 以最佳含水率 14.89%、最大干密度 1.64 g/cm<sup>3</sup> 作为控制指标可用于 93、94 区路基填筑; 掺 5% 石灰, 以最佳含水率 14.88%、最大干密度 1.69 g/cm<sup>3</sup> 作为控制指标可用于 96 区下路床及以下各区路基填筑; 掺 6% 石灰, 以最佳含水率 14.69%、最大干密度 1.71 g/cm<sup>3</sup> 作为控制指标可用于 96 区下路床及以下各区路基填筑; 石灰改良处治后土体工后沉降在 60 d 后基本趋于稳定, 最终沉降值显著小于正常土质路基沉降值。

**关键词:** 公路; 高液限土; 石灰改良; 工后沉降

**中图分类号:** U416.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2021)04-0083-04

高液限土的物理及力学性能均较差, 需改良后才能运用。目前, 国内重点研究了高液限土处治方法, 如杨和平等对浏酃(浏阳—酃陵)高速公路路床高液限土掺石灰进行改良试验, 研究不同石灰掺量对改良土壤的影响程度, 结果表明石灰掺量为 4%~6% 的高液限处治土可作为路床用土; 段凯对衡邵(衡阳—邵阳)高速公路高液限土进行石灰、水泥、砂砾改良, 结果表明 3 种方法均具有较好的改良效果, 改良后高液限土的含水率、压实度等满足设计要求。江苏 344 省道邳州段是徐州市主要东西向干线公路, 所在地区 40% 以上区域为高液限土, 透水性较差, 具有较弱的膨胀性, 不适合采用翻晒来减水, 但可通过改良处治改善其物理及力学性能。为此, 采用石灰改良技术对该路段高液限土进行处治, 通过试验分析确定最佳石灰掺量。

## 1 高液限土强度试验

江苏 344 省道邳州段东起京杭运河, 向西止于邳州与铜山区分界, 全长约 37 km。该路段存在大量高液限土, 其化学成分见表 1。该路段高液限土样矿物由钾长石和石英、高岭石、白云母构成, 其中钾长石占比高达 45.6%, 对土样水稳性影响较大。粒径低于 0.075 mm 的颗粒比例为 60% 左右, 低于 0.5 mm 的颗粒比例超过 80%, 即细颗粒含量较高, 由黏粒的性质可知该土样的可塑性较强, 但透水性较差, 很难压实。

**表 1 江苏 344 省道邳州段高液限土的化学成分**

化学成分	含量/%	化学成分	含量/%
SiO <sub>2</sub>	55.93	Na <sub>2</sub> O	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.91	K <sub>2</sub> O	0.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.54	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08
MgO	0.26	TiO <sub>2</sub>	0.87
CaO	0.35		

以 K2+200、K5+200 处高液限土为研究对象, 掺入石灰进行试验, 确定该路段高液限土最佳含水率及最大干密度。高液限土路基填料的选取主要由压实度、承载比 CBR 控制, 故进行高液限土击实及 CBR 试验。

(1) 击实试验。以湿土法制作 K2+200、K5+200 处高液限土样进行重型击实试验, 测定所取湿土的含水率, 设置合适的含水率梯度, 采用风干方法制备 6 个试样。

(2) CBR 试验。采用湿土法制作试验土样, 以重型击实法对土样进行击实, 测量其质量, 并用百分比记录初始数据, 后置于水槽中浸泡 4 d, 保持水面高于试件顶部 25 mm。先预压试件, 随后进行贯入试验, 以 1 mm/min 的速率压入, 并记录百分表读数。记录贯入量为 2.5、5 mm 时的单位压力与标准压力之比, 若 CBR<sub>2.5</sub> 小于 CBR<sub>5</sub> 则重新进行试验; 若结果依然不变, 可采用 CBR<sub>5</sub> 作为 CBR 值。计算式为:

$$CBR_{2.5} = p \times 100 / 7\ 000 \quad (1)$$

$$CBR_5 = p \times 100 / 10\ 500 \quad (2)$$

式中: $CBR_{2.5}$ 为贯入量为 2.5 mm 时的承载比(%),精确至 0.1; $p$  为单位压力(kPa); $CBR_5$  为贯入量为 5 mm 时的承载比(%),精确至 0.1。

## 2 石灰改良处治技术方案

对该路段高液限土进行掺生石灰(主要成分为 CaO,掺量为 4%、5%、6%)试验研究,以高液限土满足路基填料要求为目标。根据 JTG E51—2009《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》,经过石灰改良后的高液限土仍具有一定崩解可能性,可采用 CBR 值来确定石灰改良处治后的强度性能。通过击实试验确定改良后高液限土的最佳含水率、最大密实度,再检验其 CBR 值是否满足规范要求。

(1) 击实试验。以干土法制作 14%、16%、18%、20%、22% 含水率土样,以 5 kg 为一份打包,焖至少 36 h;将焖好的样本分别掺入 4%、5%、6% 生石灰进行击实试验,得出不同含水率下最佳含水

率及最大干密度。

(2) CBR 试验。采用干土法制作含水率约为最佳含水率的土样,焖不少于 36 h;将焖好的样本分别掺入 4%、5%、6% 生石灰,采用路面材料强度试验仪器对样本进行承载比试验,得到不同样本的 CBR 强度指标。

掺入石灰后应立即进行压实试验,因为石灰会降低高液限土的最大密实度,若间隔一段时间再压实,土体的塑性会发生很大变化。另外,为节约时间,采用干土法制作不同含水率的样本。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 高液限土的试验结果与分析

#### 3.1.1 击实试验结果与分析

对 K2+200、K5+200 处高液限土进行击实试验,击实方式为重型 II 法 II.2,每层击数为 98 次,试验结果见表 2。

表 2 高液限土击实试验结果

样本号	湿密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		平均含水率/%		干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	
	K2+200	K5+200	K2+200	K5+200	K2+200	K5+200
1	1.72	1.81	10.6	10.8	1.53	1.62
2	1.74	1.83	16.9	17.1	1.46	1.57
3	1.75	1.85	19.6	19.8	1.43	1.53
4	1.73	1.83	23.3	23.5	1.36	1.47
5	1.77	1.86	27.2	27.4	1.35	1.45
6	1.68	1.79	29.9	30.1	1.24	1.34

由表 2 可知:高液限土的干密度随着含水率的增加而减小,并未出现峰值,即两路段土样的最佳含水率处于较低水平。由于该区域降雨较频繁,土体中细颗粒比例较高,天然含水率与最佳含水率差值较大,无法通过晒干的方式降低含水率,同时施工时土体压实度难以满足,需进行改良处治。

#### 3.1.2 CBR 试验结果与分析

两路段高液限土的 CBR 试验结果见图 1、图 2。

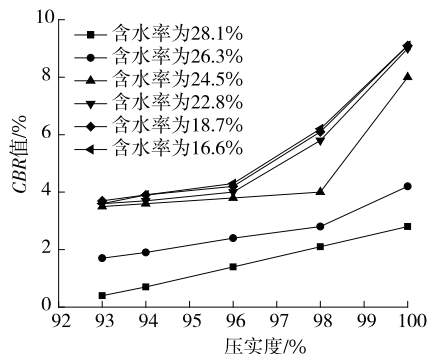


图 1 K2+200 处土样不同含水率和压实度下 CBR 值

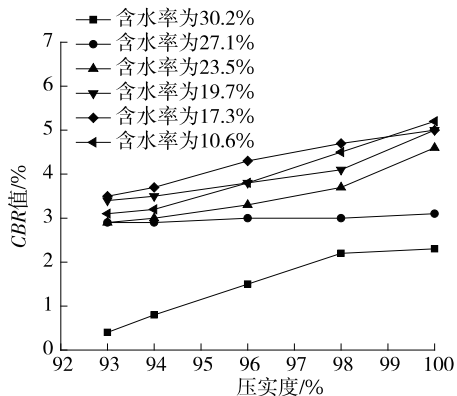


图 2 K5+200 处土样不同含水率和压实度下 CBR 值

由图 1、图 2 可知:1) 同一含水率时,高液限土的 CBR 值随着密实度的降低而降低,这是由于击实功减小,吸水量、膨胀量增加,湿密度与干密度降低。2) 同一压实度时,高液限土的 CBR 值随着含水率的降低而增大,但 K2+200 处高液限土样在含水率降至 22.8%、K5+200 处高液限土样在含水率

降至 19.7%后,CBR 值增大幅度明显减小。3) K2+200、K5+200 处土样的天然含水率较高,分别为 22.8%、23.2%,在该状态下即使密实度达到 100%,其 CBR 值也无法满足规范要求,需进行改良处治。

3.2 石灰改良处治试验结果与分析

3.2.1 击实试验结果与分析

分别掺入 4%、5%、6%生石灰对该路段高液限土进行改良。以改良后 K2+200 处高液限土为样本进行击实试验,击实方法为重型 II 法 II.2,每层击数 98 次,筒容积为 2 150 cm<sup>3</sup>,试验结果见图 3~5。根据不同石灰掺量下含水率与干密度的关系,得到不同石灰掺量下改良土的最佳含水率和最大干密度(见表 3)。

由表 3 可知:掺入 4%、5%、6%石灰后,土样最佳含水率均在 14.7%左右,最大干密度分别为 1.64、

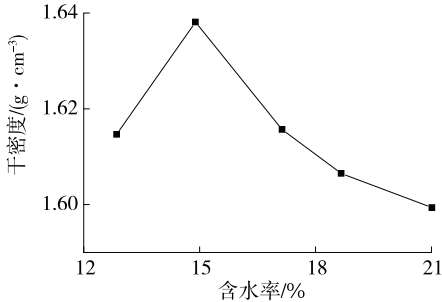


图 3 掺 4%石灰改良土的含水率与干密度

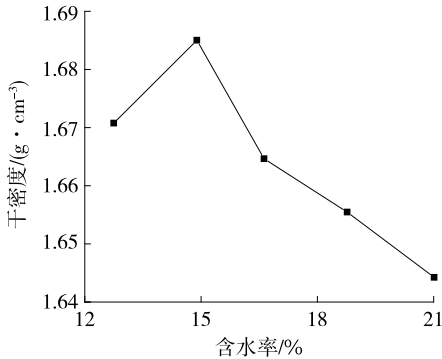


图 4 掺 5%石灰改良土的含水率与干密度

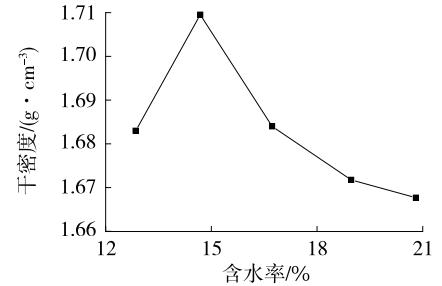


图 5 掺 6%石灰改良土的含水率与干密度

表 3 不同石灰掺量下改良土的最佳含水率和最大干密度

石灰掺量/%	最佳含水率/%	最大干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
4	14.89	1.64
5	14.88	1.69
6	14.69	1.71

1.69、1.71 g/cm<sup>3</sup>,可为 CBR 试验提供土样压实度制备依据。

3.2.2 CBR 试验结果与分析

以改良后 K2+200 处高液限土为样本进行 CBR 试验,含水率为 28%,试验结果见图 6~8。根据不同石灰掺量下 CBR 值与干密度的关系,得到不同石灰掺量、不同压实度下 CBR 值(见表 4)。

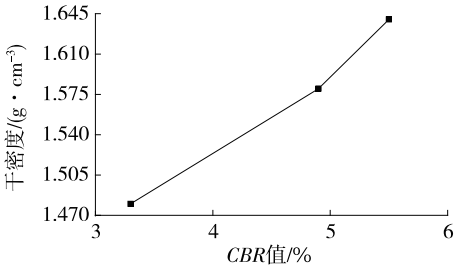


图 6 掺 4%石灰改良土的 CBR 值与干密度

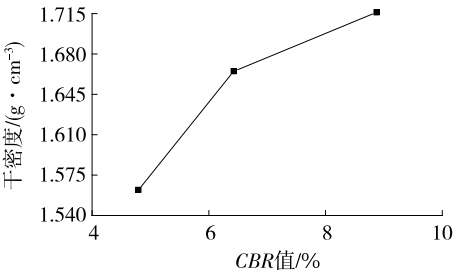


图 7 掺 5%石灰改良土的 CBR 值与干密度

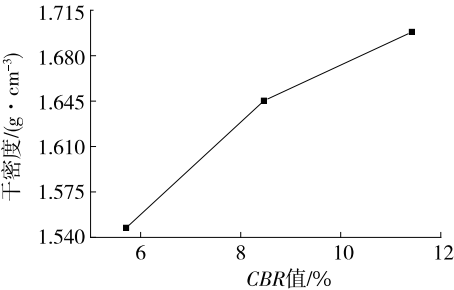


图 8 掺 6%石灰改良土的 CBR 值与干密度

由表 4 可知:93、94 区路基填筑可采用掺 4%石灰改良的高液限土;96 区下路床及以下各区路基填筑可采用掺 5%石灰改良的高液限土;96 区下路床及以下各区路基填筑可采用掺 6%石灰改良的高液限土(见表 5)。

表4 不同石灰掺量和压实度下改良土的 CBR 值

压实度/%	不同石灰掺量(%)下 CBR 值/%		
	4	5	6
100	5.6	9.1	11.9
98	5.2	7.4	10.0
96	4.8	6.2	8.3
94	4.2	5.7	7.3
93	4.0	5.4	6.9

表5 不同石灰掺量下改良土的最佳含水率、最大干密度及适用范围

石灰掺量/%	最佳含水率/%	最大干密度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	适用范围
4	14.89	1.64	93、94 区路基填筑
5	14.88	1.69	96 区下路床及以下各区路基填筑
6	14.69	1.71	96 区下路床及以下各区路基填筑

#### 4 试验段工后沉降分析

选择 K6+400—K7+600 段路床进行石灰改良处治试验,石灰掺量分别为 4%、5%、6%,比较不同掺量的改良效果。试验路段厚 80 cm,宽 12 m。设置沉降观测点,选取路线中点、边点进行处治后试验段工后沉降分析。图 9 为不同石灰掺量下路线中点的平均沉降。

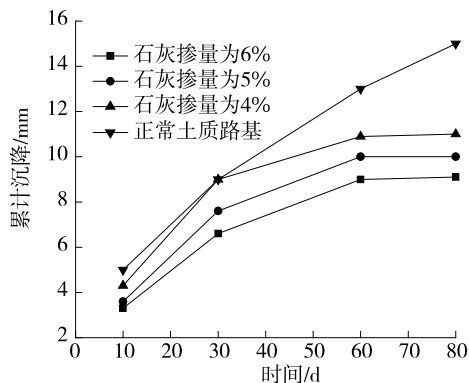


图9 不同石灰掺量改良土的累计沉降

由图9可知:相对于正常土质路基,石灰改良处治后路基沉降值明显偏小,且 60 d 后趋于稳定;随着石灰掺量的增大,改良土体趋于稳定的累计沉降值逐渐变小,显著小于未改良高液限土的累计沉降值,采用石灰处治技术获得的效果较理想;3 种石灰掺量改良土体工后沉降均具有适应性,结合试验段的其他检测参数,确定 6% 为最佳石灰掺量。

#### 5 结论

(1) 高液限土的击实试验干密度随着含水率的增加而减小,并未出现峰值,土的最佳含水率处于较低水平;同一含水率下 CBR 值随着密实度的降低而降低,同一压实度下 CBR 值随着含水率的降低而增大,但 K2+200 处高液限土样在含水率降低至 22.8%、K5+200 处高液限土样在含水率降低至 19.7% 后 CBR 值增大幅度明显减小,土样的天然含水率较高,其 CBR 值无法满足规范要求。

(2) 掺 4% 石灰,以最佳含水率 14.89%、最大干密度  $1.64 \text{ g/cm}^3$  作为控制指标,改良高液限土可用于 93、94 区路基填筑;掺 5% 石灰,以最佳含水率 14.88%、最大干密度  $1.69 \text{ g/cm}^3$  作为控制指标,改良高液限土可用于 96 区下路床及以下各区路基填筑;掺 6% 石灰,以最佳含水率 14.69%、最大干密度  $1.71 \text{ g/cm}^3$  作为控制指标,改良高液限土可用于 96 区下路床及以下各区路基填筑。

(3) 随着石灰掺量的增大,改良土体趋于稳定的累计沉降值逐渐变小,显著小于未改良高液限土的累计沉降值。石灰最佳掺量为 6%。

#### 参考文献:

- [1] 赵明纲.石灰改良高液限土机理分析[D].长沙:长沙理工大学,2014.
- [2] 刘俊瑞.石灰改良高液限土物理力学特性分析[J].山西交通科技,2019(6):37-39.
- [3] 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.
- [4] 段凯.高液限黏土的工程性质及其填筑技术研究[D].长沙:湖南大学,2013.
- [5] 黄远亮,余辉.赣南山区高液限土水泥改良技术及工程应用试验分析[J].公路与汽运,2017(1):121-124.
- [6] 戴良军,朱大勇.高液限土路基填筑技术研究[J].长安大学学报(自然科学版),2016,36(1):44-50.
- [7] 刘旭.高液限粉土的路用特性及其路堤处治技术研究[D].长沙:中南大学,2012.
- [8] 王月春,雅成宏,雷军伟,等.干湿循环下吸附结合水对高液限土抗剪强度的影响[J].公路与汽运,2020(4):70-74.
- [9] 李友云,李懿,张军,等.高液限黏土改扩建路基安全性能数值模拟分析[J].公路与汽运,2020(3):97-100.