

水泥和石灰改良路基填料对比试验研究

汪海洋¹, 李粮纲¹, 余雷²

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 中铁第四勘察设计院, 湖北 武汉 430063)

摘要: 路基工程中经常采用向路基填料中掺入水泥、石灰(包括生石灰、熟石灰)等改良剂的方法来改良填料的性质以满足工程要求. 由于水泥和石灰的物理化学性质不同, 其作用效果也会有所差异. 在分析水泥和石灰掺入路基填料后的作用机理的基础上, 通过室内物理力学常规试验及室内重型击实试验, 对比分析了这两种改良剂对路基填料的改良效果, 并提出了合理的工程建议.

关键词: 路基填料; 改良剂; 水泥; 石灰

中图分类号: TU411:U214

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2010)02-0114-05

路基工程中采用的路基填料, 经常存在很多缺陷, 如水稳性差、黏性较高、膨胀率较大, 以及填筑压实后路基的无侧限抗压强度不满足工程要求等. 因此, 常采用掺入改良剂的方法来改良填料. 路基工程中常用的改良剂有水泥、石灰(包括生石灰、熟石灰)等. 由于水泥和石灰的物理化学性质的不同, 这两种改良剂的作用效果也会有所差异. 本文在分析水泥和石灰掺入路基填料后的反应过程及作用机理的基础上, 通过室内试验, 从影响路基质量的各个方面, 对比分析这两种改良剂对路基填料的改良效果, 并提出合理的工程建议.

1 对改良路基填料的基本要求

路基工程中, 改良后的填料应满足以下要求: 改变原填料的结构和颗粒组成, 降低塑性指数; 改变填料的胀缩性指标, 减小膨胀率; 填筑压实后的路基力学强度应符合要求, 无侧限抗压强度及饱和无侧限抗压强度等应有所提高; 水稳性明显改善; 改变填料的 ρ_{dmax} 及 w_{opt} , 便于施工过程中控制填料的含水量, 改善压实效果.

2 作用机理

2.1 水泥改良作用机理

在水泥改良填料中, 水泥、土和水之间发生了多种复杂的物理化学反应, 其主要的机理有:

(1) 离子交换作用. 水泥与水反应后的胶体中, 存在着大量 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及 Ca^{2+} 、 OH^- , 其中 Ca^{2+} 及 OH^- 与土粒表面吸附的金属离子进行吸附交换, 使大量的土颗粒形成较大的土团, 土团进一步结合成链条状结构的水泥土, 水泥土封闭了土团间的空隙, 使其更加坚固, 从而使改良填土具有较高的强度.

(2) 硬凝反应. 养生过程中, 水化反应不断深入, 溶液中析出大量的 Ca^{2+} , 当 Ca^{2+} 达到一定数量时, 就在碱性环境中与填料中的 SiO_2 和 Al_2O_3 进一步发生化学反应, 生成不溶于水的稳定的结晶矿物, 进一步提高了改良土的强度.

(3) 碳酸化作用. 混合料水化物中游离的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 不断地吸收水中的 HCO_3^- 并和空气中的 CO_2 作用, 生成 CaCO_3 , 使土固结, 进一步提高土的强度^[1].

收稿日期: 2009-04-15

作者简介: 汪海洋(1985-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要从事勘察设计与基础工程研究.

E-mail: why851024@126.com

2.2 石灰改良作用机理

石灰改良填料中,石灰、土和水之间发生了多种非常复杂的作用,其主要的机理有:

(1) 阳离子交换作用. 石灰中的 Ca^{2+} 与土颗粒表面的 Na^+ 、 H^+ 及 K^+ 等阳离子发生置换作用,使土颗粒间结合力增强,土体强度提高.

(2) 水化作用(胶凝作用). 石灰中的 CaO 与土中的 SiO_2 、 Al_2O_3 发生反应,生成复杂的化合物,产生较强的黏结作用,使改良土的强度提高.

(3) 碳酸化作用. 石灰与空气中的 CO_2 发生反应,生成 CaCO_3 ,使土硬化,起到了固化土体的作用.

(4) 吸水作用. 生石灰在熟化过程中发生吸水、发热、膨胀,降低了土体含水量,促进了土体的固结,有助于土体强度的提高^[2].

3 水泥、石灰改良填料的室内对比试验

3.1 填料来源及工程特性

试验采用新长铁路海安-藕塘段附近峭歧村砖瓦厂为试验集中取土场. 该取土场的土属第四系(Q1-2)黏土,褐黄色,硬塑,厚度大于 15 m. 对该土进行了矿物成分、物理力学特性、胀缩特性等多项室内试验,具体物理力学指标见表 1. 通过磨蚀 pH 值曲线分析:该土由多种黏土矿物组成,其中以拜来石、伊利石为主. 分析试验取得的物理力学指标,原土强度高,无侧限抗压强度 779 kPa,压缩性低,属低压缩性土;土的水稳性差,重夯制样在浸水饱和后自动崩解. 湿化试验也显示原状土浸水 1 h 崩解约为 35%,浸水 24 h 崩解约为 70%. 按照塑、液限指标,定为“亚黏土”.

表 1 物理力学指标试验结果
Tab. 1 Physical and mechanical indexes

试验项目	试验数值		试验项目	试验数值	
	一般值	平均值		一般值	平均值
天然含水量(%)	19.79~22.06	20.93	无荷膨胀量(%)		15.0
天然密度($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.94~2.06	2.00	体缩量(%)		9.7
天然孔隙比	0.504~0.691	0.598	缩限(%)		9.9
液限(%)	35.8~41.0	38.4	压缩系数(MPa^{-1})	0.02~0.1	0.06
塑限(%)	16.1~18.3	17.2	压缩模量(MPa)	15.51~79.05	47.28
塑性指数	18.8~22.7	21.3	无侧限抗压强度(kPa)	766~786	779
自由膨胀率(%)	14.0~29.0	21.5	饱和无侧限抗压强度(kPa)	-	-

3.2 室内对比试验

3.2.1 改良填料室内物理力学指标常规对比试验 将填料与不同改良剂组合,进行多组对比试验. 试验的类型有:水泥改良填料,水泥与土的掺和质量比分别为 3% 和 5%;生石灰、熟石灰改良填料中,石灰与土的掺和质量比分别为 3%、5% 和 7%. 主要测试物理性质指标、强度指标、胀缩性质指标、湿化试验及改良剂材料性能指标等.

改良填料主要物理力学指标见表 2. 从表中可以看出:

(1) 原填料经改良后,黏粒含量均明显减少. 石灰改良土,粉粒含量略有减少,而砂粒含量明显增加;水泥改良土,则粉粒、砂粒均有一定增加.

(2) 水泥改良土塑性指数略有减小;石灰改良土塑性指数减小幅度较大.

(3) 胀缩性指标明显改善,水泥改良填料自由膨胀率由 28% 降至 14% 左右,无荷膨胀量由 15% 降至 1% 左右;而石灰改良填料自由膨胀率下降更加明显,由 28% 降至 10% 左右,无荷膨胀量由 15% 降至 1% 左右,其中熟石灰对无荷膨胀量及自由膨胀率的改良效果要好于生石灰.

(4) 力学强度均有一定的提高,水稳性明显改善. 水泥改良土无侧限抗压强度提高 60% 以上;石灰改良

土无侧限抗压强度提高 10% 以上,其中生石灰改良土提高幅度稍大. 饱和无侧限抗压强度一般在 300 kPa 以上. 从湿化试验结果看,改良土夯实制样浸水 7 d 均无明显的崩解现象.

表 2 改良填料室内对比试验结果

Tab.2 Laboratory test results of improved soils

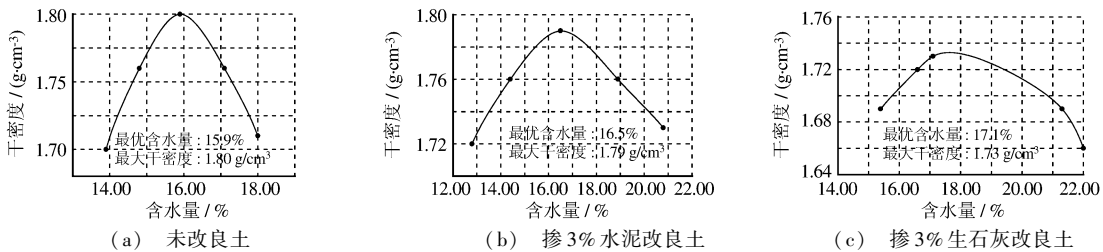
改良剂	掺和比 干土:料	颗粒级配/ %			塑性 指数	击实试验		无侧限 抗压强 度/ kPa	饱和和无侧 限抗压强 度/ kPa	无荷 膨胀 量/ %	自由 膨胀 率/ %
		≥0.05 mm	0.05 ~ 0.005 mm	≤0.005 mm		最大干密度/ (g·cm ⁻³)	最优含 水量/ %				
未掺料		14.1	52.0	33.9	19.8	1.80	15.9	779	破坏	15.00	28
水泥	100:3	18.6	64.5	16.9	17.9	1.79	16.5	1 247	464	1.05	15
水泥	100:5	18.6	64.5	16.9	17.4	1.78	17.4	1 562	969	0.32	14
生石灰	100:3				17.5	1.73	17.1	840	457		8
生石灰	100:5	36.7	51.3	12.0	17.3	1.69	18.7	879	521	0.33	9
生石灰	100:7	49.2	44.0	9.8	15.5	1.73	16.2	955	562	1.52	10
熟石灰	100:3				16.2	1.73	17.1	814	340		12
熟石灰	100:5	46.2	44.0	9.8	14.4	1.73	17.8	859	703	0.04	8
熟石灰	100:7	49.4	18.1	32.5	9.5	1.67	19.7	921	748	0.12	8

综上所述,该填料经水泥改良处理后,颗粒组成和土体强度的改善效果十分明显,塑性指数的改善效果不甚明显,胀缩性的改良效果较理想;经石灰改良处理后,颗粒组成有一定改善,塑性指数的改良效果较好,胀缩性的改良效果十分明显,土体强度也有一定程度提高,生石灰与熟石灰的改良效果在胀缩性等方面有所差异.

3.2.2 改良填料室内重型击实对比试验 本试验采用灰土破碎机和稳定土拌和机两种方法粉碎填料,将已粉碎好的填料与改良剂集中场地拌和(简称:厂拌). 拌和设备为 YWCB-200A 型稳定土厂拌设备,拌和质量采用 EDTA 剂量滴定分析方法进行检验. 在拌和过程中发现,填料的含水量对拌和均匀性有很大影响,含水量过高,黏性土填料易结团而影响拌和均匀性.

水泥改良土的初期强度增长速率很快,强度峰值出现在制样后约 12 h. 因此,水泥改良土的击实试验在拌和完成后立刻进行,一般从开始拌和至击实的时间间隔不超过 6 h;而石灰改良土因强度形成时间较长,初始强度随着时间的增长较慢,但间隔时间也没有超过 24 h.

填料的含水量是影响路堤压实质量的主要因素. 按上述不同组合进行室内重型击实试验,确定原填料、不同类型改良剂及不同配比组成的改良土的最优含水量和最大干密度. 图 1 为原填料、水泥、生石灰、熟石灰改良土的室内重型击实试验曲线.



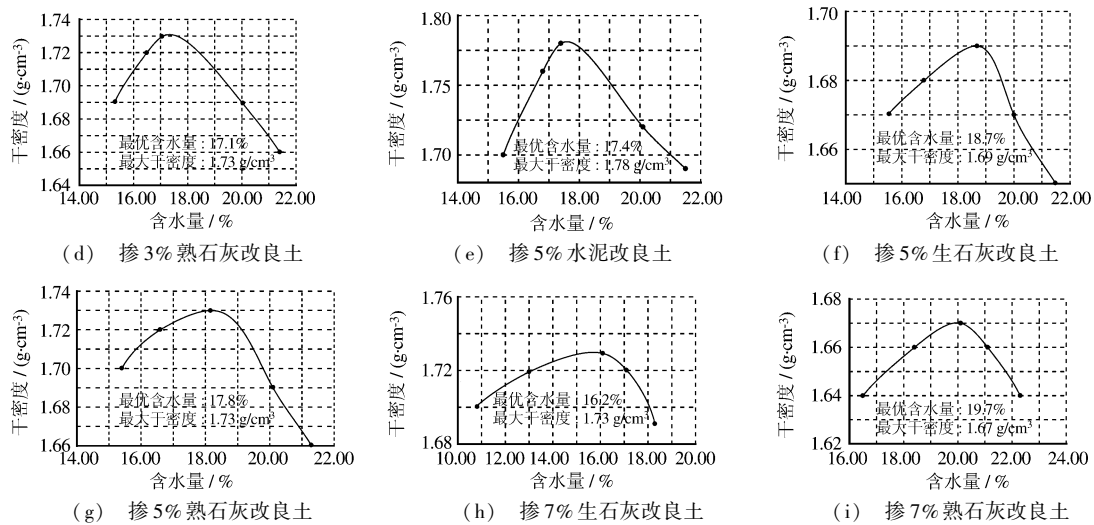


图1 各种改良土击实曲线

Fig. 1 Compaction curves of the improved soils

由图1可见:

- (1) 不同类型改良填料的干密度-含水量曲线不同,最优含水量与最大干密度也不同。
- (2) 未改良土的干密度基本是以最优含水量为对称轴的抛物线曲线类型。
- (3) 改良土击实曲线斜率比未改良土击实曲线斜率小,即改良土的干密度随含水量的变化速率比未改良土慢。
- (4) 改良土的最优含水量大于未改良土,最大干密度小于未改良土,石灰改良填料的规律更明显。
- (5) 改良土的击实曲线最优含水量前的曲线斜率小于最优含水量后的曲线斜率,这一规律石灰改良土比水泥改良土明显,石灰掺入剂量大的比掺入剂量小的明显。

因此,路堤填筑压实施工中,填料含水量控制范围可根据实际击实曲线估算出的满足压实系数标准的最小干密度的含水量来确定。

4 结 语

- (1) 采用水泥与石灰改良填料均能有效改善填料的颗粒结构、塑性指标、胀缩性、含水量、密度及土体强度等;
- (2) 与石灰改良填料相比,水泥改良填料在改善土体颗粒组成、土体强度等方面的作用更为明显;
- (3) 与水泥改良填料相比,石灰改良填料在改善土体塑性指标、胀缩性、含水量、密度及击实曲线斜率等方面的作用更为明显;
- (4) 建议实际工程中,根据原填料的物理力学性质及工程要求,合理选择改良剂的类别,也可考虑多种改良剂的综合使用。

参 考 文 献:

- [1] 资建民, 龚文惠. 路基路面工程[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002. (ZI Jian-min, GONG Wen-hui. Subgrade pavement engineering[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2002. (in Chinese))
- [2] 王玉军. 石灰改良膨胀土路基施工技术[J]. 山西科技, 2008(6): 132-133. (WANG Yu-jun. The technology of improving expansive by lime[J]. Shanxi Science and Technology, 2008(6): 132-133. (in Chinese))
- [3] 冯守中. 公路软基处理新技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008. (FENG Shou-zhong. The new technology of soft

- foundation treatment[M]. Beijing: People's Communications Publishing House, 2008. (in Chinese))
- [4] 符芳, 张亚梅, 孙道胜. 土木工程材料[M]. 南京: 东南大学出版社, 2005. (FU Fang, ZHANG Ya-mei, SUN Dao-sheng. Civil engineering materials[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2005. (in Chinese))
- [5] 华建兵, 施养杭. 生石灰在高速公路路基填料改良中的应用[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2004, 25(2): 220-222. (HUA Jian-bing, SHI Yang-hang. Application of lime during improving subgrade soil of expressway[J]. Journal of Huaqiao University (Natural Science), 2004, 25(2): 220-222. (in Chinese))
- [6] 侯建常, 魏玉红, 雷进生. 高含水量土的改良填筑施工[J]. 土工基础, 2007, 21(3): 31-33. (HOU Jian-chang, WEI Yu-hong, LEI Jin-sheng. The proving and filling of subgrade soil of high water content[J]. Soil Engineering and Foundation, 2007, 21(3): 31-33. (in Chinese))
- [7] 王保田, 武良金, 何文俊, 等. 改良膨胀土筑堤技术研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(1): 87-90. (WANG Bao-tian, WU Liang-jin, HE Wen-jun, et al. The research of the technology of embankment constructing by improved expansive soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(1): 87-90. (in Chinese))
- [8] TB10001-2005, 铁路路基设计规范[S]. (TB10001-2005, Code for design on subgrade of railway[S]. (in Chinese))
- [9] TB10077-2001, 铁路工程岩土分类标准[S]. (TB10077-2001, Code for rock and soil classification of railway engineering[S]. (in Chinese))
- [10] 宗军良, 宫全美, 王炳龙, 等. 石灰改良填料填筑高速铁路路堤的应用研究[J]. 路基工程, 2003(3): 28-30. (ZONG Jun-liang, GONG Quan-mei, WANG Bin-long, et al. Applied research on filling subgrade of high-speed railway by lime-improved soil[J]. Subgrade Engineering, 2003(3): 28-30. (in Chinese))
- [11] 胡安华, 蒋关鲁, 王智猛, 等. 高速铁路路基红层泥岩填料力学特性试验研究[J]. 铁道工程学报, 2008(2): 21-25. (HU An-hua, JIANG Guan-lu, WANG Zhi-meng, et al. Experimental research on mechanical characteristics of red rock filling for subgrade of high-speed railway[J]. Journal of Railway Engineering, 2008(2): 21-25. (in Chinese))
- [12] 赵少强, 别大华, 邓剑辰. 粉煤灰改良黄土填料的试验研究[J]. 铁道建筑技术, 2006(3): 47-50. (ZHAO Shao-qiang, BIE Da-hu, DENG Jian-chen, et al. A study on fly ash improved loess filling material[J]. Railway Construction Technology, 2006(3): 47-50. (in Chinese))
- [13] 肖凯成. 考虑水稳定性影响的膨胀土路基填料承载比特性[J]. 交通标准化, 2008(11): 14-17. (XIAO Kai-cheng. The CBR of expansive soil embankment considering the influencing of hydration[J]. Communications Standardization, 2008(11): 14-17. (in Chinese))

Experimental studies on improving subgrade soil with cement and lime

WANG Hai-yang¹, LI Liang-gang¹, YU Lei²

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: Ameliorants, such as cement and lime, including quicklime and hydrated lime, are always used in the subgrade project to improve subgrade soil so as to meet project requirements. Because of their different physical and chemical properties, the effect of cement and lime will vary as well. This article, based on the analysis of the reaction process and mechanism of cement and lime after being added into subgrade filler, through indoor conventional physical and mechanical tests and indoor heavy compaction tests, comparatively analyzes the improvement results of these two kinds of subgrade filler, and then proposes reasonable project recommendations.

Key words: subgrade soil; ameliorants; cement; lime