

# 车辆段大面积石灰改良土路基 填料质量控制研究

李 聪

(中铁十六局集团北京轨道交通工程建设有限公司, 北京 101100)

**摘 要:**以杭州某车辆段的大面积石灰改良土路基填料工程为例,阐述了石灰土作为路基替代填料的优缺点;并分析了含水量、石灰剂量等对于改良水灰土强度的影响规律,确定了相应技术参数。研究表明在淤泥质土质情况下最优石灰掺量比为8%,能达到较好加固效果的同时也比较经济。石灰土压实最佳含水量为17.0%,随着石灰土拌和次数的增加,其含水量不断减少,施工时含水量应稍高于其最佳含水量,杭州地区因水系丰富且气候潮湿,拌和含水量高1%。施工完成后,在饱水情况下石灰土含水量在1d内达到饱和,且其强度减少近56%,石灰土路基防水工作对保证路基服役性能至关重要。本文研究成果可为类似工程的质量控制提供借鉴。

**关键词:**地铁车辆段;石灰土填料;含水量;质量控制

中图分类号: TU472

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2021)01-0034-05

## Filling quality control of large area lime improved soil roadbed in depot

LI Cong

(China Railway 16th Bureau Group Beijing Metro Engineering Construction Co., Ltd., Beijing 101100, China)

**Abstract:** Taking a large-area lime-improved soil roadbed filling project in a vehicle depot in Hangzhou as an example, the advantages and disadvantages of lime-soil as substitute filling for roadbed are expounded. The influence of water content, and lime dosage on the strength of improved water-lime soil are analyzed, and the corresponding technical parameters are determined. The study shows that the optimal lime content ratio is 8% in the case of silty soil, which can be the most beneficial and economical lime content. The optimal water content for the lime-treated soil is 17%, and the water content decreases with the mixing times. Thus, the water content in lime-treated soil is chosen as 1% higher than the optimum water content considering the rich water system and humid climate in Hangzhou area. Experimental results show that the strength of the lime-treated road base would be reduced by nearly 56% once saturated by water. Thus, the water-proof for the lime-treated road base would be crucial for its long-term behavior. The research results of this paper can supply guidelines for the quality control of lime-treated road base fillings in similar projects.

**Key words:** metro depot; lime soil filling; water content; quality control

## 0 引 言

随着地铁建设的发展,大面积的车辆段开始广泛出现于各个城市。而滨海地区土质基本为软土,质量好的路基填料匮乏,故改良土很早就出现在了沿海城市施工工程中。关于石灰土在工程中的表现特性,学者做了大量研究。高国瑞<sup>[1]</sup>,周欣等<sup>[2]</sup>借助微观机理研究了石灰土强度形成机理,认为石灰

土强度增强的原因是石灰中的氧化钙和土中游离硅酸钙液体形成了纤维状胶凝物质。曹自强等<sup>[3]</sup>通过室内实验发现石灰改良土初期强度形成速率慢,需要充足时间进行拌和压实。王昊<sup>[4]</sup>、朱浩稳<sup>[5]</sup>制备了2:8灰土发现石灰土浸水后强度会降低,但随着浸水次数增加其强度会趋于稳定。钱国飞<sup>[6]</sup>结合石灰土处理路基实际工程探讨分析了石灰土强度形成机理。麻绍林<sup>[7]</sup>分析了石灰细度、灰剂量、

收稿日期: 2020-11-17

作者简介: 李聪 (1986—), 男, 汉族, 本科, 中级工程师, 现任中铁十六局集团有限公司杭州地铁10号线一期工程仁和路车量段施工SG10-5-1标段项目总工程师, 从事岩土方向研究。E-mail: 630280145@qq.com。

含水量等对于石灰土的影响。唐山平等<sup>[8]</sup>对石灰稳定土配合比进行了研究,作为石灰稳定土基层掺入土中的石灰较少会导致稳定土发生不同程度的膨胀和干缩。杨广庆等<sup>[9]</sup>、宗军良等<sup>[10]</sup>、陈宝等<sup>[11]</sup>探讨了石灰土的动力特性,研究表明一定配比的石灰改良土可作为高速铁路路基填料。

以往关于石灰土的研究较多,但石灰的剂量都较大,如二八灰土(石灰掺量 20%)和三七灰土(石灰掺量 30%),而对于改善路基承载性能时,常采用低剂量(<8%)石灰土进行路基填筑,目前关于低剂量的石灰土特性研究较少。如何确保工程中采用低剂量的石灰改良土填料进行大面积铺筑的路基具有较好的质量具有重要的意义。本文以该车辆段石灰土路基工程为例,从石灰土的优缺点和施工工艺出发,提出相应的质量控制措施,为今后类似工程提供借鉴。

## 1 项目概况

### 1.1 项目介绍

该项目车辆段位于余杭区良渚街道内,车辆段占地面积为  $37.82 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。车辆段区域整体呈长条形,大体为东西走向,主要为农田和农居。场区内的三条既有河道从车辆段东部、中部、西部横穿车辆段,河道需局部改移(见图 1)。杭州某车辆段的路基填料主要有三个来源:一部分为小和山的弃砭、一部分为良渚街道调运高含水量黏土。取土方中两个试样进行试验,两个试样的土质特性参数如表 1 所示。

按照铁路路基设计规范<sup>[12]</sup>,其  $I_p > 17, W_L > 40\%$ ,该土方为 D 组填料,需进行土体改良方能用于路

基中。

表 1 土方物理参数表

Table 1 Table of earthwork physical parameters

序号	液限/%	塑限/%	塑性指数	水溶性盐含量/%	有机质含量/%
1	48.1	25.5	22.0	0.23	1.010
2	46.8	25.0	21.2	0.21	0.968

### 1.2 地形地貌

本车辆段位于冲湖积平原区,场地整体地势平坦,未发现滑坡、泥石流、崩塌及地面沉降等不良地质作用。本工点内不良地质主要为可能存在的浅层沼气和区域地面沉降。特殊岩土主要为填土、软土、风化基岩。

### 1.3 土层情况

该车辆段工程地质土层如下:①<sub>1</sub>层杂填土、①<sub>2</sub>层素填土、①<sub>5</sub>层暗塘土、②<sub>2</sub>层粉质黏土、④<sub>1</sub>层淤泥质粉质黏土、④<sub>2</sub>层淤泥质粉质黏土、⑤<sub>1</sub>层粉质黏土、⑤<sub>2</sub>层粉质黏土夹粉土、⑥<sub>1</sub>层淤泥质粉质黏土、⑥<sub>2</sub>层粉质黏土、⑦<sub>1</sub>层粉质黏土、⑧<sub>2</sub>层粉质黏土、⑧<sub>3</sub>层粉细砂、⑩<sub>2</sub>层粉质黏土、⑫<sub>3</sub>层含砾中粗砂、⑬<sub>1</sub>层含砾粉质黏土、⑬<sub>1-1</sub>层细砂。场地有深厚的软土地层。

### 1.4 水文情况

孔隙潜水主要赋存于场区表部填土层和浅部黏性土层内,地下水分布连续,水量小,透水性低,孔隙潜水受大气降水竖向入渗补给,迳流缓慢,以蒸发方式为主,与场地内河流有一定的水力联系。勘察期间完成的钻孔实测地下水位埋深为 0.2~1.4 m,水位标高 0.98~3.01 m,地下水位埋深受地形变及大气降水的影响,水位年变幅 1.5 m 左右。

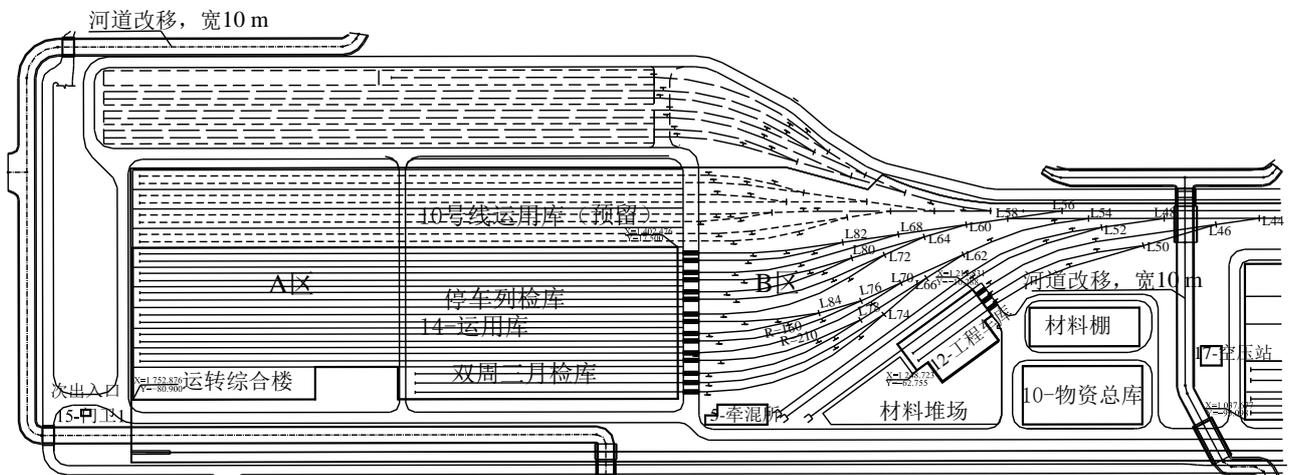


图 1 车辆段平面布置图

Fig. 1 Floor plan of the depot

## 2 石灰改良土应用中面临的问题

因为车辆段需要经受列车荷载,其路基强度和稳定性要求比一般公路高。车辆段石灰土路基填筑的难点是如何保证该路基填料的稳定性,通过怎样的施工工艺确保技术措施落实,保障石灰改良土质量。石灰土也因受收集方式限制,土质材料复杂,导致改良的土性质也稍有差异。如设计施工不当,长期积水浸泡路堤,会对路堤稳定构成威胁,目前一些已完成的石灰土路基沉降很大。

故本文对影响石灰改良土质量的含水量、灰剂量进行了理论与试验分析,确定低剂量石灰土填料在路基工程中使用控制参数,保障该车辆段路基填料施工质量,为类似工程提供借鉴。

## 3 石灰土路基填料控制措施

本文土方掺入 8% II 级石灰后形成的石灰土填料其液限为 35%、塑性指数约为 14,满足铁路路基 C 组填料的要求。可用于铁路路基的路堤填筑。但在填筑过程中注意填筑质量控制。

### 3.1 原材料质量控制

石灰虽然能够适应多种土质进行改良,但石灰改良土的效果很大程度上取决于原材料的性质,所以需要原材料进行控制。原材料控制包括两个方面,分别是土的控制和石灰的控制。取土过程中要了解取土的土质,对土场土质进行检测确保其能达到标准才能采用。石灰在进场之前必须对其进行相应的质量检测,确保石灰的质量。石灰土在进场以后,要按标准和要求进行储存,做好防水、防潮等工作。在进行石灰改良土拌和施工之前,也需要对原材料的质量进行相应的抽查检测,确保其符合施工质量需求。石灰在施工前 20 d 必须对其进行消解,否则会导致出现鼓包现象,甚至造成路面开裂。

### 3.2 石灰改良土含水量控制

#### (1) 施工前含水量控制

石灰改良土经水浸泡后,不同的土质拌和生成的石灰改良土有其对应的最佳含水量。并且石灰改良土水化完成后,会有降温过程。在降温时其体积会急速收缩,故必须保证水土成型时,含水量接近最佳含水量,才能保证石灰改良土的施工质量。

经试验,该部分土方改良后的石灰土压实最佳含水量为 17.0%,但在石灰改良土的控制过程中,受外界因素如气温、风力等影响,石灰改良土中的

含水量会降低。石灰改良土在填筑过程中含水量要求高,降低后无法进行下道工序。在铺筑前,设立试验段,经过多次试验和观察,形成了该车辆段石灰改良土拌和次数和含水量之间对应关系。具体拌和次数和含水量关系如表 2 所示。

表 2 拌和次数和含水量关系

Table 2 Relationship between mixing times and water content

项目	试验内容及结果				
拌和次数	0	1	2	3	4
含水量/%	20.9	19.2	17.9	16.9	16.1

控制其他条件相同时,拌和一遍含水量为 19.1%,拌和第二遍时,含水量下降为 17.9%,当进行第三遍拌和时,石灰复合土含水量为 16.9%。随着石灰土拌和次数的增加,其含水量不断减少,故施工时含水量应稍高于其最佳含水量,但又考虑到为杭州地区,水系丰富且气候比较潮湿,故可控制在+1%左右。从试验中看出,现场施工条件下,原状土拌和到第二遍时含水量较为适宜。在施工时如遇下雨,需做好防水工作。

#### (2) 施工后防水

石灰土因其本身对水要求较高,故不仅在施工时做好防水,施工后也应做好防水工作。图 2 为不同饱水时间下的 7 d 和 28 d 龄期的石灰土抗压强度。图 3 为不同饱水时间下 7 d 和 28 d 龄期的石灰土含水量图。

由图 2 可知,随着饱水时间的增加,石灰土的抗压强度先迅速减少,再趋于稳定。在 1 d 时,7 d 龄期的石灰土抗压强度就下降了 56%,而 28 d 龄期的则下降了 58.33%。但石灰土强度 28 d 龄期的明显大于 7 d 龄期的。强度下降快的原因主要是饱水 1 d 时,石灰土就完成了含水量的突变过程,其含水

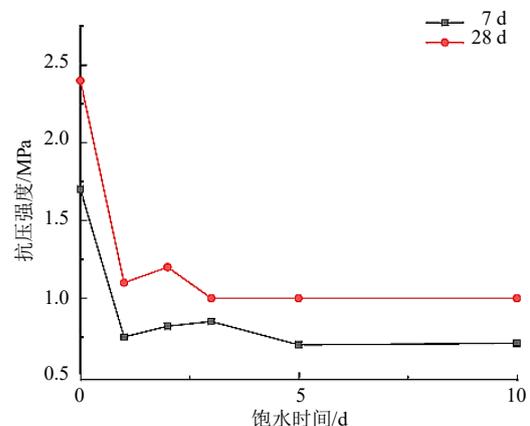


图 2 抗压强度随饱水时间变化图

Fig. 2 Diagram of the variation of compressive strength with time of saturation

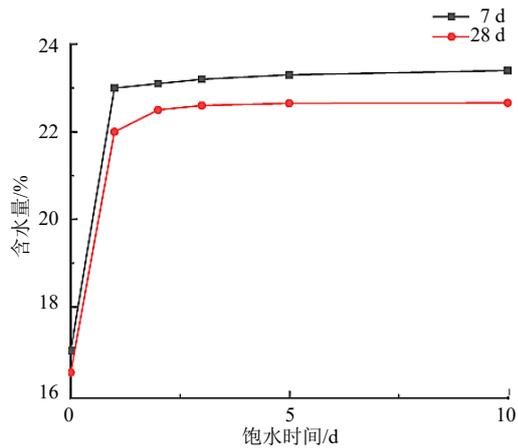


图3 含水量随饱水时间变化图

Fig. 3 Diagram of water content changing with time of saturation

量已经接近其稳定值。28 d 时含水量上升较少的原因是其内部反应充分, 结构相对于 7 d 时更紧密, 吸水能力下降。

所以施工后要做好防水工作, 做好车辆段的排水工程, 确保车辆段内的水能及时流出, 路基段不出现积水时间较长情况, 保证施工质量。

### 3.3 石灰改良土灰剂量

灰剂量采用的是石灰质量占全部被改造土干质量的百分率表示。

本文对 4%、6%、8%、10% 灰剂量下的石灰土的抗压强度进行了研究。图 4 为不同灰剂量下石灰土的抗压强度。

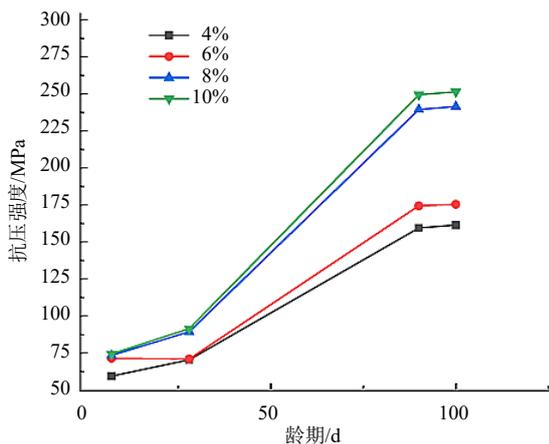


图4 不同灰剂量下石灰土的抗压强度

Fig. 4 Compressive strength of lime soil at different ash dosage

由图 4 可知, 低剂量范围内, 灰剂量的增加会使石灰土的强度增加, 但其存在一个最优掺量。在所选取的四个灰剂量中, 8% 掺量时, 石灰土的强度突变明显, 并且随着石灰再掺入, 其强度变化较小, 从经济性上考虑, 选取 8% 掺量的石灰土应用于此

工程中是合适的。

灰剂量又与压实度存在相互关联, 当灰剂量越大时, 最大干密度越小<sup>[13]</sup>。这会导致实施工程中存在压实度不真, 灰剂量不满足设计强度要求的现象。同时灰剂量存在快速衰减的现象, 而目前没有衰减规律的计算公式, 故仅能通过经验判断。从各方经验看, 灰剂量在第二天时就明显衰减, 所以对厂区的石灰改良土压实度和灰剂量检测必须在 24 h 内完成。由于施工过程中存在石灰损耗现象, 实际掺入灰剂量应稍大, 才能保证灰剂量满足要求。

在路基中均匀性很重要, 不均匀沉降对路基的伤害很大, 而石灰改良土由石灰掺土现场机械办理, 其灰剂量很难控制相同, 需要对现场拌和效果进行试拌控制。故单独分出一个试验段。在试验段路基铺筑以 5 m 为间距划分填筑区域, 确定各方格中石灰量。根据设计要求石灰含量为 8%, 施工中石灰损耗量按 0.5% 计算, 在施工时石灰掺入量宜大于设计 0.5% 计算用灰量。铺上等厚石灰, 每进行一次拌和, 即对测点进行一次取样, 进行灰剂量检测。经过实验表明, 在拌和三遍时, 试验段同测点的含灰量基本相同, 故在进行车辆段石灰改良土铺筑时都采用三遍拌和。三遍拌和后, 场地的平均灰剂量检测满足设计标准 8% (现场拌合情况见图 5、图 6)。



图5 铺开石灰

Fig. 5 Spreading



图6 石灰土拌和

Fig. 6 Mixing lime soil

## 4 结 论

随着沿海地区经济发展的需要,道路工程需求还是较大,因为优质路基填料短缺,石灰改良土应用于公路路基、高速路基以及停车段等是不可避免的。石灰改良土有优点也有缺点,要根据场地和工程现状合理选用。根据以上质量控制研究可以得出如下结论:

(1) 石灰土存在最优石灰掺量,本工程高含水量黏土下 8%的掺量能达到较好加固效果同时也比较经济;并需拌和三遍,才能保证灰剂量的均匀性。

(2) 石灰土压实最佳含水量为 17.0%,随着石灰土拌和次数的增加,其含水量不断减少,施工时含水量应稍高于其最佳含水量,杭州地区因水系丰富且气候潮湿,拌和含水量高 1%。

(3) 施工完石灰土需要做好防水工作,饱水后石灰土含水率在 1 d 内达到饱和,且其强度减少近 56%。

### 参考文献

- [1] 高国瑞. 灰土增强机理探讨[J]. 岩土工程学报, 1982, 4(1): 111-115.  
GAO Guo-rui. Study on strengthening mechanism of lime soil[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1982, 4(1): 111-115.
- [2] 周欣, 徐永福. 石灰土的微观结构和强度特性[J]. 低温建筑技术, 2018, 40(7): 99-102.  
ZHOU Xin, XU Yong-fu. The mechanical properties of lime-stabilized soils[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2018, 40(7): 99-102.
- [3] 曹自强, 肖永贵, 阙建荣. 全风化花岗岩路基采取石灰改良土处理[J]. 湖南交通科技, 2001, 27(4): 21-23.  
CAO Zhi-qiang, XIAO Yong-gui, QUE Jian-rong. The completely weathered granite roadbed is treated with lime improved soil[J]. Hunan Communication Science and Technology, 2001, 27(4): 21-23.
- [4] 王昊. 2:8灰土的残余强度、浸水强度及损伤模型试验研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2009.  
WANG Hao. Experimental study on residual strength, immersion strength and damage model of 2:8 lime soil[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2009.
- [5] 朱浩稳. 二八灰土强度变化规律分析及其本构关系的研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2009.  
ZHU Hao-wen. Study on the variation law of 2:8 lime soil strength and its constitutive relation[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2009.
- [6] 钱国飞. 石灰土路基强度形成机理[J]. 上海公路, 2002(3): 14-16.  
QIAN Guo-fei. Strength formation mechanism of lime soil subgrade[J]. Shanghai High ways, 2002(3): 14-16.
- [7] 麻绍林. 如何提高石灰稳定土路面基层的强度[J]. 山西建筑, 2004, 30(4): 110-111.  
MA Shao-lin. Measures to strengthen lime-stabilized soil base course[J]. Shanxi Architecture, 2004, 30(4): 110-111.
- [8] 唐山平, 孙志恒, 陈莲芳. 石灰稳定土在道路工程中的应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(4): 314-318.  
TANG Shan-ping, SUN Zhi-heng, CHEN Lian-fang. Application of lime stabilized soil to highway construction[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2010, 8(4): 314-318.
- [9] 杨广庆, 管振祥. 高速铁路路基改良填料的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(6): 682-685.  
YANG Guang-qing, GUAN Zhen-xiang. Experimental study on improved soil for high-speed railway subgrade[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(6): 682-685.
- [10] 宗军良, 宫全美, 王炳龙. 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 Bing-long. Study on application of lime modified filling to high speed railway embankment[J]. Subgrade Engineering, 2003(3): 28-30.
- [11] 陈宝, 郭家兴, 李池龙. 交通荷载下石灰改良软土路基的动力特性试验研究[J]. 路基工程, 2014(5): 103-109.  
CHEN Bao, GUO Jia-xing, LI Chi-long. Test study on dynamic characteristics of lime stabilized soft soil subgrade under traffic loading[J]. Subgrade Engineering, 2014(5): 103-109.
- [12] 国家铁路局. 铁路路基设计规范: TB10001—2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [13] 刘顺. 压实状态下石灰土灰剂量衰减特性的研究[J]. 上海公路, 2019(2): 91-93.  
LIU Shun. Study on the attenuation characteristics of lime soil ash dose under compaction[J]. Shanghai Highways, 2019(2): 91-93.