

文章编号: 1673-9469 (2017) 02-0017-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2017.02.004

有轨电车一般路段软土地基处理技术研究

杨国涛¹, 庄妍^{2,3}

(1. 南京河西新城区开发建设管理委员会, 江苏南京 210019; 2 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏南京 210098; 3. 江苏省岩土工程技术工程研究中心, 江苏南京 210098)

摘要: 结合南京河西新城现代有轨电车工程, 对线路一般路段软土地基所采用的三种不同的地基处理方法: 挖除换填法、真空预压法和真空预压联合水泥土搅拌桩法的加固方式和施工工艺进行详细介绍。根据现场监测数据, 分析了采用上述三种地基处理方法加固软基后工后沉降随时间的变化情况, 结果表明: 三种方法处理软基后的工后累积沉降值分别为 15.8、13.2 和 8.6 mm, 远小于设计允许工后沉降警戒值 100 mm, 可以看出, 上述三种处理方法均有效加固了有轨电车一般路段软土地基, 其中水泥土搅拌桩联合真空预压法的加固效果要优于另外两种方法。

关键词: 有轨电车; 软土地基理; 换填法; 真空预压法; 真空预压联合水泥土搅拌桩法
中图分类号: U41 **文献标志码:** A

Study on the soft soil improvement technologies of Rapid-Transit Tram

YANG Guotao¹, ZHUANG Yan^{2,3}

(1. The Development and Construction Management Committee of Nanjing Hexi New City District, Nanjing 210019, China; 2. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Jiangsu Province's Geotechnical Research Center, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the Rapid-Transit Tram Project in Nanjing, three soft soil improvement methods including replacement method, vacuum preloading method, as well as vacuum preloading combined with cement-soil mixing pile method were introduced in this paper. The reinforcement method and the construction technology were reported in detail for the three methods. The post-construction settlement of the soft soil foundation reinforced by the three methods was investigated. It can be found that the post-construction settlements were 15.8 mm, 13.2 mm and 8.6 mm for replacement method, vacuum preloading method, and vacuum preloading combined with cement-soil mixing pile method respectively, which were much less than the cumulative alarm value of 100 mm. It can be concluded that these three improvement methods reinforced the soft soil foundation effectively, whereas the reinforcement effect of the vacuum preloading combined with cement-soil mixing pile method is better than the other two methods.

Key words: Rapid-Transit Tram; soft soil foundation improvement; replacement method; Vacuum preloading method; Vacuum preloading combined with cement-soil mixing pile

在我国东南沿海地区分布着较为广泛的软土^[1], 在软土地区修建铁路和公路时, 若不对软土地基进行很好的加固处理, 路基易产生较大的沉降, 从而造成铁轨的变形和路面的开裂损坏, 影响铁路

和公路的正常使用^[2]。目前, 我国出现了许多地基处理技术^[3-4]。在高速公路和高速铁路工程中, 对软土地基处理时常采用的方法有排水固结法, 置换法, 强夯法, 深层搅拌法, 高压喷射注浆法, 振密、挤

收稿日期: 2017-03-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51478166); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2016B04414, 2016B20614, 2015B17814, 2015B25914); “青蓝工程”资助; 教育部留学回国人员科研启动基金

作者简介: 杨国涛, (1968-), 男, 江苏金坛人, 高级工程师, 主要从事城市道路与软土地基处理方面的研究。

真空预压法地基处理方式，基础采用筏板基础。设置排水板间距为 1.2 m，按梅花形布置，排水板宽度为 0.1 m，厚度为 4.5 mm，长度为 16 m。真空预压法加固新建路段一般路基软土地基如图 2 所示。

真空预压法利用真空应力和竖向排水体加速软土固结^[9]，在施工过程中应注意：设置竖向排水系统前，应先整平场地，设置排水通道，在软基表面铺设砂垫层，设置抽空装置及膜内外管道。砂垫层中水平分布滤管的埋设，采用条形或鱼刺形，铺设距离要适当，为了使真空分布均匀，管上部应覆盖 200 mm 后砂层。密封膜的施工是真空预压地基加固的关键，砂垫层上密封薄膜，一般采用 3 层聚氯乙烯薄膜，应按先后顺序同时铺设，并在加固区四周，在离清基线外缘 2 m 开挖深 0.8~0.9 m 的沟槽，将薄膜的周边放入沟槽内，用粘土或粉质粘土回填压实，为保证气密性好，密封不漏气，采用膜上全

面覆水封闭。当面积较大，宜分区预压，区与区间隔距离 2~6 m。在真空预压过程中，要做好真空度、地面沉降量、深层沉降、水平位移、孔隙水压力和地下水的现场监测工作，掌握变化情况，发现异常，应及时采取措施处理。真空预压法的具体施工工艺流程是：地质勘查→排水体设计→排水砂垫层施工→打设竖向排水体→埋设观测设备→埋设真空分布管→铺设密封膜→真空泵安装、管路连接→抽真空、观测→效果检验。

2.3 水泥土搅拌桩联合真空预压法

新建路段一般路段软土厚度在 10~18 m，采用水泥搅拌桩联合真空预压法地基处理方式，基础采用筏板基础。真空预压施工期为 3 个月，当真空膜压达到 80 kPa 时，设置宽 0.1 m，厚 4.5 mm 的排水板，排水板长度设置原则为距离透水层顶面大于

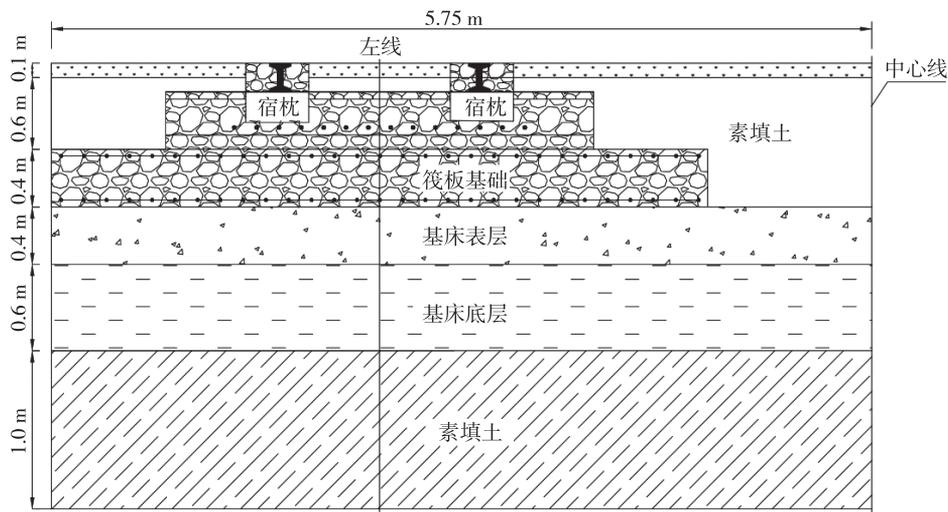


图 1 挖除换填法加固软土地基横断面图

Fig.1 The cross-section of soft soil foundation reinforced by replacement method

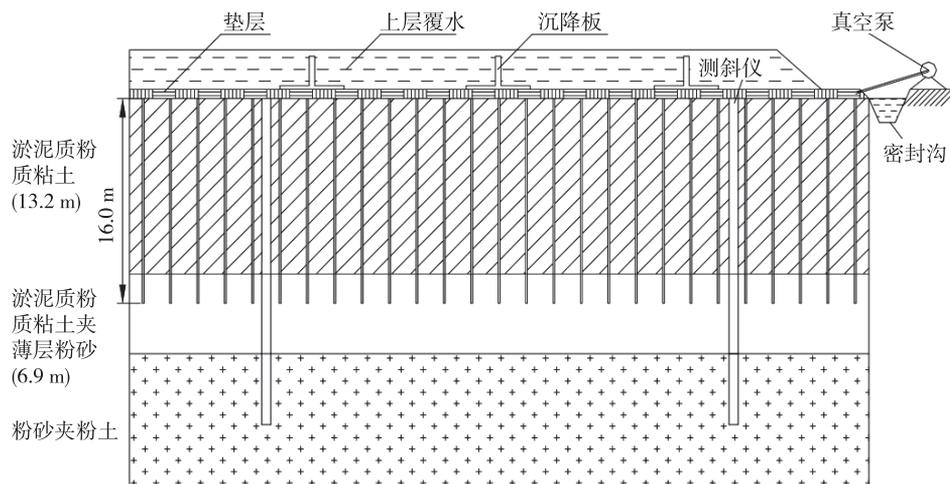


图 2 真空预压法加固软土地基横断面图

Fig.2 The cross-section of soft soil foundation reinforced by vacuum preloading method

2 m。排水板设置间距为 1.5 m，正方形布置，顶部设置 0.2 m 中粗砂+3 层聚氯乙烯薄膜保证其真空度。设计搅拌桩桩径为 0.5 m，桩间距为 1.4 m，桩长 16 m，呈梅花形布置。桩顶铺 0.6 m 砂垫层，垫层内铺设一层双向高强土工格栅，其抗拉强度不小于 110 kN/m，铺设土工格栅时，两端回折不少于 3.0 m。水泥土搅拌桩联合真空预压法加固新建路段特殊路基软土地基如图 3 所示。

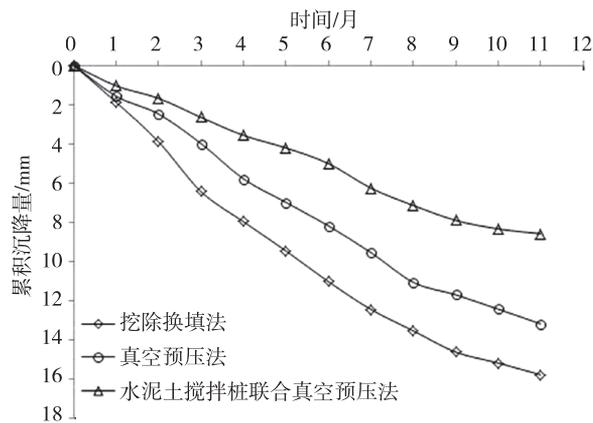


图 3 水泥土搅拌管桩+真空预压加固软土地基横断面图
Fig.3 The cross-section of soft soil foundation reinforced by vacuum preloading combined with cement-soil mixing piles method

水泥土搅拌桩利用水泥与软土之间发生的一系列物理化学反应，提高软土的物理力学性质^[10]。水泥搅拌桩在施工过程中应注意：搅拌桩一般采用 PO42.5 级普通硅酸盐水泥，掺入量不小于 15%，具体应该通过室内配方试验确定。施工前应该通过工艺性试桩，掌握对该场地的成桩经验及各种操作技术参数，要求各工点试验桩不少于 3 根。搅拌桩施工时全桩上下应该重复复搅不少于一次，当桩周土为成层状地层时，应该对相对软弱的土层增加复搅次数，并增加水泥掺入量。施工时应定时检查机械的成桩直径及搅拌均匀程度，对使用的钻头应定期复核检查，其直径磨耗量不得大于 20 mm。施工时应控制钻机下钻深度、喷粉（浆）高程及停灰面，确保桩长。在成桩过程中遇有故障而停止喷粉（浆）时，第二次喷粉（浆）时，其重叠长度不得少于 1.0 m（浆体喷射搅拌桩为不小于 0.5 m），接桩间隔时间不大于 24 h，否则应重打该桩。施工时要随时检查加固料量、桩长、复搅长度以及注意是否存在异常情况。水泥土搅拌桩具体施工工艺流程是：平整场地→施工放线、设备进场→定桩位→桩机就位调平→预搅下沉、浆液配制→提升喷浆搅拌→重

复上下搅拌→清洗→移位。

3 监测结果分析

本次现场监测是对有轨电车运营期工后沉降的监测，监测时间为 2015 年 6 月—2016 年 5 月，每月监测一次，共监测 12 个月。由于筏板沉降变化规律是反映工后沉降的重要指标，所以本次监测的内容主要是筏板沉降观测，通过连续观测筏板-钢管结构中钢管的沉降量获得不同阶段的沉降量。监测按国家二等水准测量技术要求进行，仪器采用 DS22 型精密自动安平水准仪，配备测微器，配备精密钢瓦钢尺及专用尺垫（5 kg），其标称精度为 0.5 mm/km，观测点的基准点布置在轨行区影响范围之外。

图 4 为运营期 12 个月内工后沉降与时间关系曲线图。从图中可以看出，采用上述三种方法对软基处理后，地基的工后沉降速率较为稳定。监测期内的工后累积沉降量分别为 15.8、13.2 和 8.6 mm，远小于设计允许工后沉降警戒值 100 mm，由此表明，三种方法处理软土地基均起到了明显的加固效果。相比于挖除换填法和真空预压法，水泥土搅拌桩联合真空预压法处理软土后的工后沉降速率最为稳定，工后累积沉降量也最小，分别是另外两种方法工后累积沉降量的 54% 和 65%，说明水泥土联合真空预压法处理软土地基效果要优于另外两种地基处理方法。

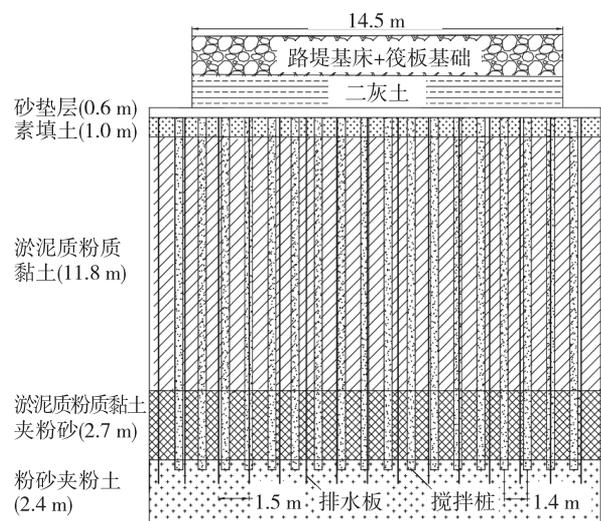


图 4 运营期 12 个月内工后累积沉降与时间关系图
Fig.4 The post-construction settlement of the soft soil foundations reinforced by the three improvement methods

4 结论

1) 在监测期内, 采用上述三种处理方法对软土地基加固后, 路基的工后累积沉降值分别为 15.8、13.2 和 8.6 mm, 远小于设计允许工后沉降警戒值 100 mm。说明采用这三种方法均起到了良好的地基加固效果。

2) 从监测结果可以看出, 水泥搅拌桩联合真空预压法处理软土地基工后累积沉降值分别是挖除换填法和真空预压工后累积沉降值的 54% 和 65%, 表明其加固软土地基效果要优于另外两种地基处理方法。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 地基处理手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 张乐. 道路工程施工中软土路基的有效处理措施 [J]. 四川水泥, 2015(9): 313-314.

- [3] 郑刚, 龚晓南, 谢永利, 等. 地基处理技术发展综述 [J]. 土木工程学报, 2012, 45(2): 127-146.
- [4] 刘汉龙, 赵明华. 地基处理研究进展 [J]. 土木工程学报, 2016, 49(1): 96-115.
- [5] 潘瑞春, 黄瑞章, 周新年, 等. 道路工程软土地基处理方案选择研究进展 [J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2012(10): 23-26.
- [6] 叶如军, 徐 赜. 试论公路施工中软土地基处理技术的应用 [J]. 城市道桥与防洪, 2013(4): 136-138.
- [7] 娄炎. 真空排水预压法加固软土技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [8] 王煜华. 水泥搅拌桩在公路软土地基中的施工应用 [J]. 施工技术, 2007(36): 123-125.
- [9] 贺亚飞, 杨芳. 真空预压法加固机理及设计要点 [J]. 四川水泥, 2015(8): 115-115.
- [10] 李蓉, 侯天顺. 水泥土搅拌桩及其在软土地基加固中的应用 [J]. 建筑科学, 2008, 24(5): 88-90.
- (责任编辑 王利君)

(上接第 10 页)

改良土的无侧限抗压强度明显高于素土的无侧限抗压强度, 改良剂对粉土起到一定的“维稳”效果, 改良剂掺量才是决定无侧限抗压强度的关键因素。

参考文献:

- [1] 彭月英. 基于现行规范的粉土定名分析与探讨 [J]. 地质科技情报, 2006(4): 92-94.
- [2] 商庆森. 石灰稳定黄河冲积粉土的研究 [J]. 华东公路,

- 1996(1): 25-27.
- [3] 张西海. 水泥及水泥粉煤灰改良粉土填料性能试验研究 [J]. 路基工程, 2007(2): 75-76.
- [4] 关文学, 高新学. 二灰稳定黄河粉砂土的强度影响因素 [J]. 山东交通科技, 2008(1): 35-38.
- [5] 姚占勇. 黄河冲(淤)积粉质二灰土的压实特性研究 [J]. 岩土工程学报, 2007(5): 664-670.
- [6] 商庆森, 刘树堂. 影响石灰与二灰稳定细粒土强度因素的分析 [J]. 公路交通科技, 2000(6): 26-29.
- (责任编辑 王利君)