

有轨电车轨道路基快速建造技术研究*

王浩然^{1,2} 程 樱^{1,2} 秦晓光^{1,2} 张海波^{1,2}

(1. 上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司, 200125, 上海;

2. 上海有轨电车工程技术研究中心, 200125, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘 要 针对有轨电车轨道路基快速建造需求, 围绕嵌入式连续支撑轨道、轨道路基一体化结构和装配式轨道与路基结构等有轨电车轨道路基的新技术进行介绍, 展现近年来有轨电车轨道路基在快速性施工、绿色环保建造等方面的研究进展。

关键词 有轨电车; 轨道; 路基; 建造技术

中图分类号 U213.1; U482.1

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2022.09.049

Research on Rapid Construction Technology of Tram Track Subgrade

WANG Haoran, CHENG Ying, QIN Xiaoguang, ZHANG Haibo

Abstract According to the demand of rapid construction of tram track subgrade, the new technologies of tram track and subgrade such as embedded continuous support track, track subgrade integrated structure and prefabricated track and subgrade structure are introduced. Research and progress in rapid construction and green construction of tram track subgrade in recent years are displayed.

Key words tram; track; subgrade; construction technology

Author's address Shanghai Urban Construction Design & Research Institute (Group) Co., Ltd., 200125, Shanghai, China

有轨电车具有工程造价相对较低、运行安全可靠性较好、乘客舒适度良好、运输能力相对较大、能耗低、环境无污染等优点, 已成为当今城市公共交通系统的重要组成部分^[1-3]。一般而言, 有轨电车作为城市的主、次骨干公交系统或特色公交, 往往修建于城市主、次干道的路中或路侧, 其钢轨扣件需埋入道路铺装层内, 并需要在道路交叉口区域无条件进行频繁养护维修。出于城市景观的要求, 有轨电车的正线区间段轨道结构多采用埋入式无砟

轨道形式。同时, 有轨电车轨道路基是承受结构和电车荷载的基础, 也是有轨电车工程的重要组成部分, 其质量的好坏将直接影响乘客的乘坐舒适度以及行车安全。

目前, 有轨电车线路大都敷设于既有道路上, 其路基和轨道结构主要采用传统的现浇混凝土方式进行设计, 并开展施工建设。该方式的主要缺点有现场搭设大量模板、绑扎钢筋、人工耗费量大、施工时间长、效率低下、对周围环境及道路交通影响较大等。为了缓解施工期间的交通压力, 降低施工对居民日常生活的影响, 快速施工、绿色施工正成为有轨电车建设面临的迫切需求。

近年来, 广大工程师和学者们围绕有轨电车轨道路基绿色快速施工的需求展开研究, 并取得了一定的成果, 如嵌入式连续支撑轨道、轨道路基一体化结构和装配式轨道路基结构等。这些技术均已在实际工程中获得了成功的应用且效果显著。本文旨在通过介绍这些新技术, 展现有轨电车轨道路基在快速施工、绿色建造等方面的研究进展, 为丰富有轨电车工程轨道路基建造技术及指导现场实践提供基础。

1 嵌入式连续支撑轨道

1.1 技术方案

嵌入式连续支撑轨道是采用高分子材料锁固钢轨的一种无扣件轨道结构, 钢轨完全由凹槽内的高分子弹性材料和轨下弹性垫板连续固定和支撑。典型的嵌入式轨道构造如图 1 所示。

1.2 技术特点

嵌入式连续支撑轨道的主要技术参数: 竖向刚度为 40 ~ 55 (kN/mm)/m; 横向刚度不小于 30 (kN/mm)/m; 纵向刚度不小于 15 (kN/mm)/m; 抗

* 上海市青年科技启明星计划项目 (20QB1404600)

拔刚度不小于 $40\text{ (kN/mm)}/\text{m}$,且在垂向 80 kN 加载力下可持续 3 min ;经过 300 万次疲劳试验后,轨距变化量不应大于 3 mm ,横向及竖向刚度变化率不应大于 15% 。

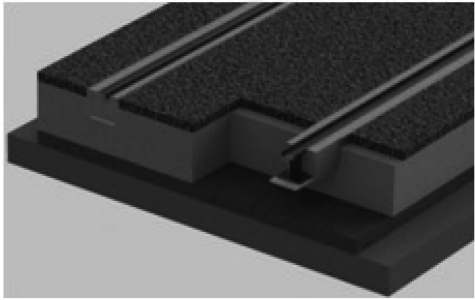


图 1 典型嵌入式轨道构造图

Fig. 1 Schematic diagram of embedded track structure

嵌入式连续支撑轨道的主要优点为:

- 1) 结构简单,轨旁与沥青路面结合处刚度均匀且无多余部件,连续支撑有助于提升平顺性,进而改善钢轨受力。
- 2) 沥青铺装层与轨道之间采用钢槽进行硬隔离,钢轨的横向变形能够在钢槽内的高分子材料间缓冲消耗,钢轨与沥青面层间互不干扰。国内多个项目的有轨电车运营经验表明,轨旁沥青路面良好,无出现开裂剥离现象。
- 3) 后期换轨维护时,可直接从钢槽中取出钢轨进行更换而不破坏沥青面层,有利于快速恢复线路及周边道路。
- 4) 减振性能良好,能够满足中等或高等减振需求。
- 5) 采用钢轨全隔离的形式能够减少杂散电流,进而减小钢轨腐蚀。

1.3 实施效果

嵌入式连续支撑轨道目前已成功应用于成都 有轨电车蓉 2 号线,其结构实施效果如图 2 所示。相较于普通的埋入式道床,嵌入式设计在路口承压、道路衔接、绝缘防腐、减振降噪等方面均有一定的优势。

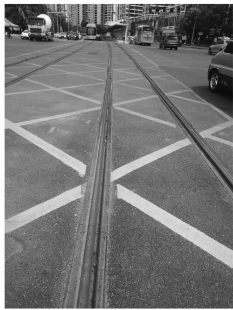
2 轨道路基一体化结构

2.1 技术方案

在深厚软土地区,有轨电车轨下基础设计方案通常以沉降控制为主要评价指标。在实际工程中,不同地基的处理方法有所不同,且路基工程地基土的工程性质沿线路纵向有所变化,导致路基沿线路



a) 独立路权段



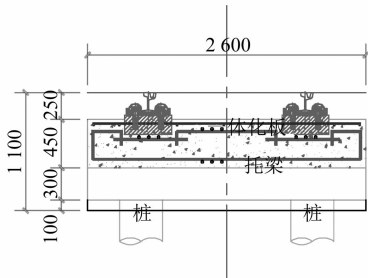
b) 交叉路口段

图 2 嵌入式轨道结构的实施效果

Fig. 2 Implementation of embedded track structure

纵向的沉降变形不可能是均匀的,因此有轨电车路基一般需采用换填、复合地基、桩板结构等处理方式^[4]。

轨道路基一体化结构是一种新型的路基形式,其结构主要由钢筋混凝土桩基、桩周土体和钢筋混凝土承载板等组成,如图 3 所示^[5]。其主要作用机理为:通过承载板将上部荷载传到桩体,桩体把荷载扩散到桩间土及下卧硬层,进而达到稳定和控制路基沉降变形的目的。



尺寸单位: mm

图 3 结构一体化路基横断面图^[5]

Fig. 3 Drawing of integrated structural subgrade cross-section^[5]

2.2 技术特点

常规方案中,轨道与路基结构的受力是分开考虑的,上部道床板与下部支撑板通常采用两层钢筋混凝土结构叠合在一起,结构总高度不小于 900 mm 。而实际工程中,上部道床板与下部支撑板的层间作用介于滑动和固结之间,故常规方案中的计算模型偏于保守,钢轨下方结构物总厚度较大。

而轨道路基一体化结构考虑轨道与路基结构一体受力,将轨道扣件埋入路基承载板中一次浇筑完成。这种方法可有效减少结构厚度,在同等条件下减少混凝土用量约 30%,减少钢筋用量约 20%。同时,对于市中心地下管线密集区域,轨道路基一体化结构总厚度小、路基开挖深度小、受影响的管线减少,因此可减少管线搬迁量,大幅降低工程费用并节约工期。

- 轨道路基一体化结构的优点主要有以下几点:
- 1) 在有轨电车轨道基础沉降控制方面明显优于传统的换填处理以及复合地基方案;
 - 2) 在管线迁改、施工周期、后期维修养护和经济性方面更具优势;
 - 3) 可有效减少轨道与路基结构的总厚度,在降低造价的同时加快工期。

2.3 实施效果

轨道路基一体化结构已成功应用于上海松江有轨电车 T1 线工程。该线正式通车运营近 3 年,路基沉降控制良好,不均匀沉降满足运营要求。

3 装配式轨道与路基结构

3.1 技术方案

有轨电车装配式轨道与路基结构主要分为基础结构、上部结构和连接构件 3 个部分,如图 4 所示^[6]。基础结构主要采用预应力高强混凝土(PHC)管桩。上部结构为预制轨道梁,如图 5 所示。该结构由矩形结构板优化而成,在结构满足强度和变形的要求下,减少了结构总质量,从而便于预制吊装。

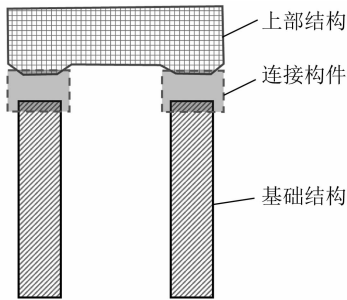


图 4 装配式轨道与路基结构示意图^[6]

Fig. 4 Schematic diagram of prefabricated track and subgrade structure^[6]

对于连接构件,由于铺轨的铺设精度要求,其构造及设置至关重要。首先,由于预制桩平面和标高施工误差远大于增强道床板的铺设精度要求,连

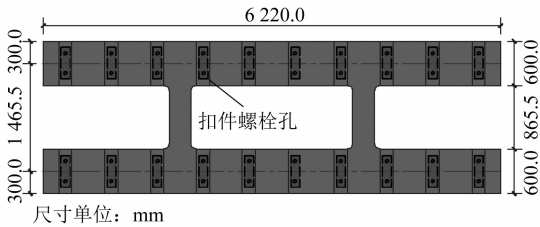


图 5 预制轨道梁示意图

Fig. 5 Schematic diagram of prefabricated track beam

接构件需具有一定的平面位置及标高调节能力。同时,连接构件的节点强度与刚度耐久性也需满足列车动载及振动作用的长期运营要求。目前,连接构件采用的是可调节连接装置,如图 6 所示。该装置由焊接板、桩顶连接钢棒、调节套管和锁定螺母组成。连接装置下方通过螺母与预制桩内的钢筋相连接,通过调节套管调整焊接板的标高,通过焊接板与预制轨道梁底的预埋件焊接连接完成预制桩与预制轨道梁的连接。

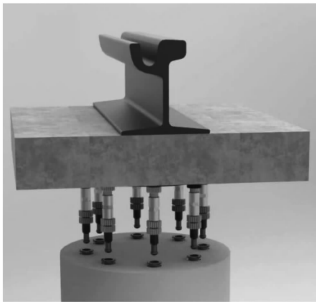


图 6 可调节连接装置

Fig. 6 Adjustable connection devices

3.2 技术特点

装配式轨道与路基结构的优点主要有以下几点:

- 1) 可进行多线生产和统一装配,大大提升了生产效率,节省大量资源;
- 2) 最大限度降低施工对交通车道的挤占,显著降低对周围正常交通的影响;
- 3) 便于产品的质量控制,减少现场现浇对周围环境的影响;
- 4) 施工机械成本和预制生产成本可获得充分摊销,有利于推进有轨电车的绿色施工,实现节能减排的基本目标。

3.3 实施效果

装配式轨道与路基结构已成功应用于嘉兴有轨电车一期工程,运行至今整体效果良好,无论是

(下转第 251 页)