

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.04.011

基于上部结构体系转换法的桥梁 桩基托换技术分析

季国富

(福州轨道交通设计院有限公司, 福建 福州 350000)

摘要: 传统的桥梁桩基托换方法是从桥梁下部结构进行体系转换,主要施工均在地面以下进行,施工技术难度大、风险高、费用高,因此,提出了从上部结构体系转换入手进行桥梁桩基托换的新方法;通过福州地铁五里亭立交桥桩基托换实际工程,介绍了采用上部结构体系转换新方法的设计与关键控制参数分析,并进行了施工监控。研究表明:上部结构体系转换法利用新建临时支架对桥梁上部结构进行体系转换,然后对原桩基进行托换处理,将桩基托换的主要工作从地下转移到地上,可克服传统桩基托换存在的诸多缺点,采用该方法可以节约工程造价,缩短施工工期,降低施工难度和风险;桩基托换过程施工监控表明墩顶处主梁实际顶升量与理论顶升量的差值均在7%以内,验证了本文提出的体系转换时顶升量计算方法的正确性。通过施工监控确认了设计计算的正确性。

关键词: 桥梁工程;桩基托换;上部结构体系转换法

中图分类号: U442.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)04-0052-05

Analysis of Pile Foundation Underpinning Technology Based on Superstructure System Transformation Method

Ji Guofu

(Fuzhou Rail Transit Design Institute Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350000, China)

Abstract: The traditional bridge pile underpinning technology is system transformation of bridge substructure, and the main construction is carried out underground, which is difficult, highly risky and high cost. In this paper a new construction method for bridge pile underpinning technology is proposed based on system transformation of bridge superstructure. Taking an underpinning pile foundation in the actual project of Fuzhou Wuliting Viaduct as an example, the design and typical parametric analysis on the new method of system transformation of bridge superstructure is introduced. The results indicate that bridge pile underpinning technology based on system transformation of bridge superstructure which uses the temporary support to transfer the superstructure of the bridge, and then underpins original pile foundation, the main work for underpinning pile foundation will be finished underground. This method overcomes the shortcomings of the traditional pile foundation underpinning. Furthermore, good economics, shortening construction period and reducing the construction difficulty can be achieved by adopting the new method. The construction monitoring of underpinning pile shows that the difference between measured and calculated jacking displacement is within 7%, and the design and calculation are validated correctly.

Keywords: bridge engineering; pile foundation underpinning; system transformation of bridge superstructure

目前我国地铁建设正处于快速发展阶段,地铁盾构区间有时难以避免会与既有桥梁桩基发生空间位置冲突,此时所采用的处理方式一般分为两种:一

种为拆桥重建,将新桥的桩基避开盾构区间布置;另一种为保留桥梁,仅对发生空间冲突的桥梁桩基进行托换^[1-3]。通常拆桥重建方案投资大、周期长,特

别是对周边交通影响大。因此桩基托换往往成为首选方案^[4-5]。

现有关于桩基托换的研究中,王方宇等^[6]介绍了多跨连续梁桥桩基托换的方案和难点,结果发现桩基托换能够使力的传递路径变得简单、施工变得简便,同时对地铁盾构开挖影响小。李文等^[7]通过对地铁车站高架桥墩下的桩基托换过程进行监测发现,桩基托换过程埋置监测点能够有效提高工程的安全度,同时能够通过现场监测数据的回归分析结果,了解整个施工过程的危险位置。李琳等^[8]以西安地铁二号线桩基为研究对象,通过开展缩尺渐进式重复静力加载模型试验得到,托换大梁具有很高的承载能力且延性较好。李洪庆^[9]分析了某盾构隧道穿越桥梁的桩基托换过程,系统地介绍了桩基托换的施工工艺、顶升技术和监测等方法。

从现有国内资料来看,传统的桩基托换都是仅针对桥梁下部结构进行体系转换,主要施工均在地面以下进行^[10-16],存在基坑开挖大、施工风险高、施工难度大、工程费用高、旧桩基无法拔除等一系列问题,使得桩基托换成为一种高风险的施工作业。

针对上述问题,笔者对桩基托换进行了研究,提出了一种新的桩基托换方法,能够全面解决传统托换方法中存在的问题。经工程实践检验,效果良好。

1 桩基托换方法介绍

1.1 传统桥梁桩基托换方法

传统桩基托换是从下部结构体系转换进行桩基托换,即采用新建桩基(布置在盾构区间外)和新建承台顶托原桥承台,然后割断旧桩基,将旧桩基的荷载转移到新桩基上,实现桩基托换。以福州地铁2号线五里亭立交为例,如图1所示,具体步骤为:(1)施做新桩基①;(2)施做围护桩及围护内地基加固②,开挖基坑;(3)在新桩顶施做顶升平台③;(4)施做新承台④;(5)在顶升平台上顶升原桥⑤,将原桩基荷载转换到新桩基上;(6)切断原桥桩基⑥;(7)浇筑固接顶升平台与新承台间的区域⑦;(8)回填基坑⑧,托换施工结束;(9)盾构通过。

从图1还可以看出,传统桩基托换施工全部都在地面以下进行,使得传统桩基托换方法存在以下主要问题:

(1) 基坑围护及开挖工作量大。新建承台要布置在原承台之下,顶升平台要布置在新承台之下,使得基坑开挖深度较大。对于地下水较浅且表层多为软土的地区,需要设置较强的围护结构、围护防渗漏

水措施和围护内地基加固措施。

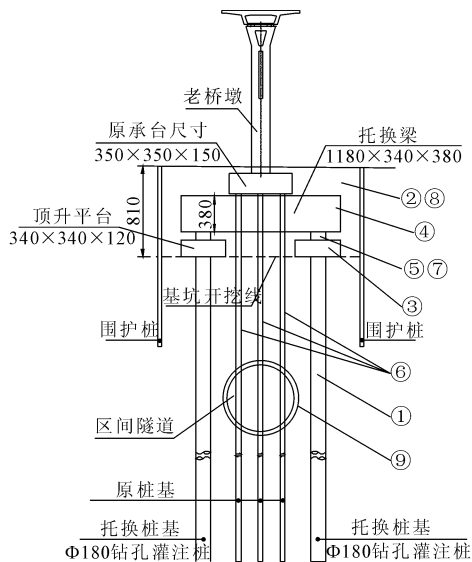


图1 传统桩基托换方法步骤图(单位:cm)

(2) 基坑开挖对原桥基础受力影响大。由于基坑开挖较深,原桥桩基暴露较多,桩基摩擦力和侧向约束都有一定损失。

(3) 新承台施做困难。新承台局部在原承台下面,且要穿过原桥桩基,实施难度非常大。在承台穿越旧桩基的地方,承台钢筋无法贯通,承台的有效截面受到很大削弱。

(4) 顶升施工难度大。顶升操作位于新承台下面,空间局促,且为克服上部恒载、桥墩和新承台恒载、原桥桩基摩擦力等因素需要较大的顶升吨位较大,从而使得顶升施工难度较大。

(5) 顶升稳定性差。顶升力要通过新旧承台和桥墩才能传到梁底,传力长度大使得顶升稳定性差。

(6) 顶升对原桥的保护不易控制。由于顶升力受原桥桩基负摩阻影响,原桥梁底位移和顶升力之间无法预先建立明确的对应关系,较难对原桥进行保护。

(7) 切断和破除原桥桩基施工难度大。在新承台下施工,操作空间局促。如果不能彻底破除原桥桩基,盾构通过时需刀盘切断这些被托换的旧桩基,造成盾构施工难度大、风险高。

1.2 上部结构体系转换进行桥梁桩基托换新方法

1.2.1 新方法施工步骤

在对传统桩基托换方法进行深入研究的基础上,笔者及设计团队提出了从上部结构体系转换入手进行桥梁桩基托换的方法。

如图2所示,利用临时支架替换需要处理的桥墩托住梁体,将旧桥墩、承台、桩基清除,施做新承台

和桥墩,实现体系转换。此方法与更换桥梁支座类似,具体步骤为:(1)盾构区外施做新桩基①(与传统方法一致);(2)施做围护结构,开挖基坑,施做承台②;(3)利用承台②搭设临时支架③;(4)利用临时支架顶升梁体,采用临时支座(放在临时支架上)替换永久支座,将上部结构箱梁永久支座反力④通过临时支座和支架传递给新桩基;(5)拆除原桥墩及承台⑤;(6)拔除原桩基⑥;(7)开挖基坑,连接承台 1 为一个整体承台⑦,此承台像一根扁担梁;(8)浇筑新桥墩⑧;(9)再次顶升⑨,采用位于新桥墩上的永久支座代替临时支座,实现桥梁上部反力由临时支架转至新桥墩;(10)拆除临时支架,恢复场地,托换施工结束;(11)盾构通过。

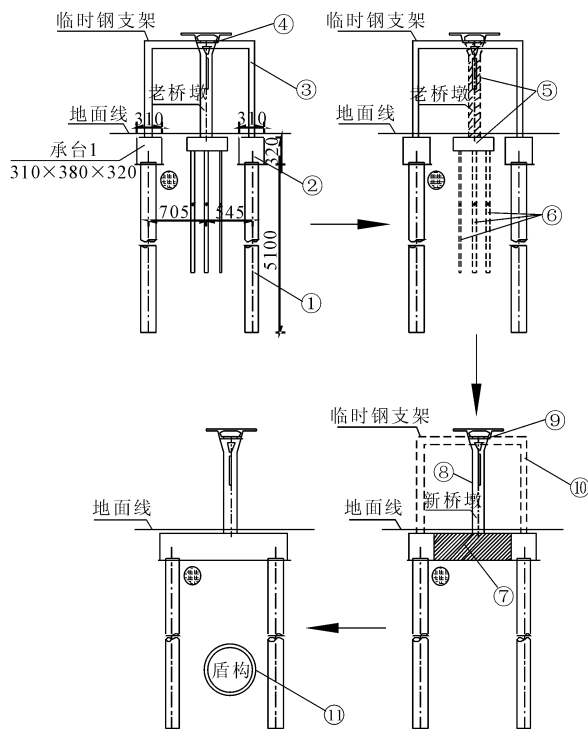


图 2 上部结构体系转换法桥梁桩基托换步骤图

从图 2 还可以看出,新方法与传统方法解决问题的思路不同。传统方法思路简洁,采用“地下的问题地下处理”的思路。新方法采用迂回策略,采用“把地下的问题转移到地上处理”的思路,将主要施工集中在地面以上。新方法的巧妙之处在于,充分利用新建桩基搭设临时支架,既保证支架基础的稳定,又在第一次顶升时对新桩基进行了实际荷载的检验。

两种方法主要工序优缺点对比见表 1。可以看出,尽管传统方法存在施工工序略少等优点,但在施工难度、施工风险、施工可控程度等方面不如新方法。新方法虽然施工步骤略多,但施工难度和费用

大幅度降低。

表 1 新方法与传统方法主要工序对比表

内容	传统方法	新方法
主要施工操作位置	地下	地上
地面搭设支架	不需要	需要
拆除旧桥墩及承台	不需要	需要
新承台二次连接	不需要	需要
顶升次数	1	2
施工难度	大	小
(1) 基坑围护及开挖工作量	大	小
(2) 顶升工作环境	差	好
(3) 顶升传力长度	长	短
(4) 顶升控制难度	大	小
(5) 清除旧桩基	困难,或无法清除	简单
(6) 施工安全风险	高	低

1.2.2 体系转换时顶升量计算

采用上部结构体系转换法进行桥梁桩基托换的设计时,关键控制参数为体系转换时的顶升量。

上部结构体系转换法有两次顶升施工:第一次要将旧桥墩上的永久支座用临时支架上的临时支座替换下来;待下部桩基拔除且新桥墩做好后,进行第二次顶升,放回永久支座并把临时支座撤出。这两次顶升,既要把支座顺利替换,又要避免因顶升过高对主梁产生损伤,因此对顶升量的计算和控制至关重要。需要说明的是下面的顶升量是指以顶升前的位置为基准墩顶位置梁体绝对位移量。

第一次顶升时的顶升量为:

$$\delta_1 = \delta_{\text{旧支座}} + \delta_{\text{施工}} \quad (1)$$

式中: $\delta_{\text{旧支座}}$ 为旧支座恒载压缩量; $\delta_{\text{施工}}$ 为施工不平整导致的竖向偏差。

第二次顶升时的顶升量为:

$$\delta_2 = \delta_{\text{新支座}} + \delta_{\text{施工}} + \delta_{\text{承台}} + \delta_{\text{墩顶修正}} \quad (2)$$

式中: $\delta_{\text{新支座}}$ 为新永久支座恒载压缩量; $\delta_{\text{承台}}$ 为新建承台在上部恒载及 1/2 静活载作用下的挠曲变形及后期徐变量; $\delta_{\text{墩顶修正}}$ 为新桥墩支座垫石顶面高程 + 新支座高度 - (原桥墩垫石顶面高程 + 旧支座高度)。

2 上部结构体系转换进行桥梁桩基托换的实桥设计计算

本节通过五里亭立交桥这一具体工程实例进一步阐述说明上部结构体系转换进行桥梁桩基托换新方法。

2.1 工程概况

福州轨道交通 2 号线紫阳站—五里亭站区间,

地铁线路经过反复调整,区间盾构仍会碰到五里亭立交 2 个匝道的 3 个桥墩桩基,平面布置见图 3。且场区周边为市场、办公楼、住宅区等繁华地段,各类管线特别密集,施工条件局促。

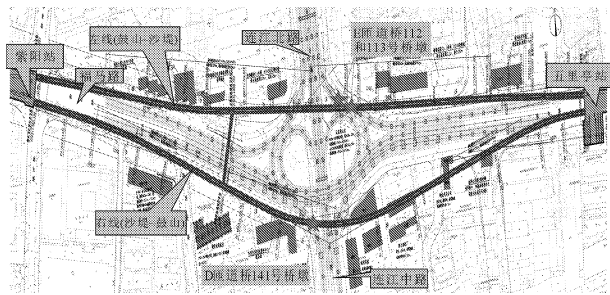


图 3 五里亭立交平面布置图

五里亭立交桥建成于 1993 年。以盾构干扰的 D 匝道为例,该匝道上部结构为 3 m × 15.75 m 钢筋混凝土连续箱梁,下部结构为薄壁墩配预制方桩群桩基础。受干扰的 141 号桥墩墩高 11.5 m,墩顶承受约 240 t 的主梁恒载,承台 3.5 m × 3.5 m × 1.5 m,桥梁桩基为预制方桩,共 9 根,桩基截面 40 cm × 40 cm,桩长 32 m。具体断面及地质情况如图 4 所示。

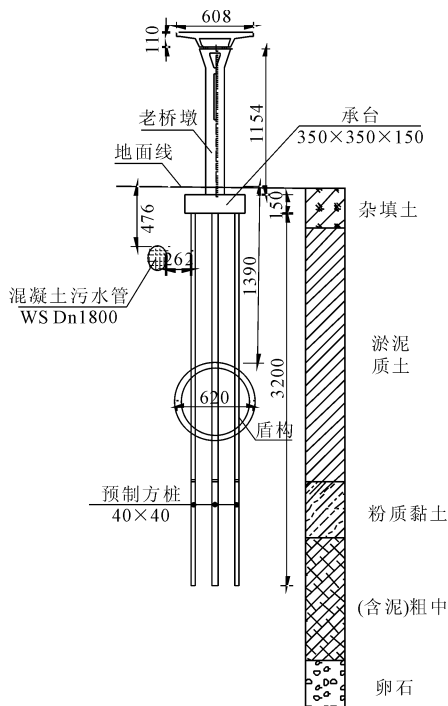


图 4 141 号桥墩位置立面图(单位:cm)

经初步测算,若拆除两个匝道桥并重新建设,工程费用约 1 200 万元,施工工期约 7 个月。特别是拆除重建桥梁需搭设大面积现浇支架,要借用周边非机动车道,交通组织压力大。

2.2 传统桥梁桩基托换方法与新方法的比较分析

以五里亭立交桥 141 号桥墩桩基托换为例,将

上部结构体系转换新方法与传统桥梁桩基托换方法进行对比分析。

该工程的最大难点是,如图 4 所示,地下约 5 m 处有一根 DN1800 的污水干管并连接污水井,迁改难度非常大。如果按照传统方法必须对在基坑深度范围内污水干管及污水井进行迁改,直接费用约 80 万元,迁改工期约 2 个月。采用上部结构体系转换新方法,由于基坑开挖浅,不会触及污水干管及污水井,使得不需要对其迁改。

此外,传统方法的另一大问题是旧桩基的清除问题。按工序要在新承台做好并顶升结束后才能割断旧桩,使得几乎没有操作空间清除旧桩基。后续的盾构通过需采用刀盘磨桩、开仓清障等手段,施工费用和 risk 将显著增加。上部结构体系转换新方法在工序安排上可以在地面以上拔除旧桩基,从而避免后期盾构通过产生的 risk。

因此,141 号桥墩桩基托换设计方案对比表示见表 2。由表 2 可以看出,新方法在施工难度、施工 risk、工程造价等方面都优于传统方法。

表 2 141 号桥墩桩基托换设计方案对比表

内容	数值	
	传统方法	新方法
基坑开挖深度/m	8.1	3.5
基坑围闭及止水施工/万元	140	26
D1800 污水管迁改/万元	104	避让
周边环境影响	大	小
顶升总吨位/t	约 500	约 240
顶升传力长度/m	17	0
清除旧桩基	无法清除	90 万元/2.5 个月
盾构通过时增加费用(换刀、加固、开仓等)/万元	220	0
盾构通过 risk	高	无
拆除及新建桩基、桥墩及承台、支座更换	—	137 万元/1.5 个月
新建桩基、承台及顶升/万元	120	
地面破复、交通疏解/万元	48	33
工程造价/万元	632	286
工期/月	6	4

2.3 体系转换时顶升量计算

根据五里亭立交桥上部结构支座反力和支座型号,按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[17](JTG D62—2004)的相关规定计算得到橡胶支座竖向变形为: $\delta_{旧支座} = 1.6 \text{ mm}$; $\delta_{新支座} = 1.8 \text{ mm}$,根据经验取 $\delta_{施工} = 2 \text{ mm}$ 。

因此,第一次顶升时的顶升量为:

$$\delta_1 = 3.6 \text{ mm} \quad (3)$$

由于新建承台在受力上更像一根倒置的扁担梁,必须考虑混凝土收缩徐变产生的变形。徐变系数按规范^[17]相关计算得到: $\delta_{\text{承台}} = 0.61 \text{ mm}$,其中恒载作用下的变形量为 0.38 mm 。结合实桥测量,确定 $\delta_{\text{墩顶修正}} = 1.5 \text{ mm}$ 。

因此,第二次顶升时的顶升量为:

$$\delta_2 = 5.91 \text{ mm} \quad (4)$$

2.4 关键控制参数的监控

在五里亭立交桥匝道桩基托换时,进行了桥梁监控,得到了采用上部结构体系转换法托换桥梁桩基的关键控制参数实测值。表 3 和图 5 表示了 141 号桥墩墩顶处梁底位移实测值。可以看出,实际顶升量与理论顶升量的差值均在 7% 以内。

表 3 141 号桥墩桩基托换时墩顶处梁底位移实测值

梁底状态	梁底高程 /m	垫石顶高 /m	支座高 /mm	承台下挠值 /mm	实际顶升量 /mm	理论顶升量 /mm
托换前	17.438	17.368	70	—	—	—
第一次顶升	17.442	17.368	70	—	3.85	3.60
第二次顶升	17.440	17.335	105	0.39	6.27	5.91

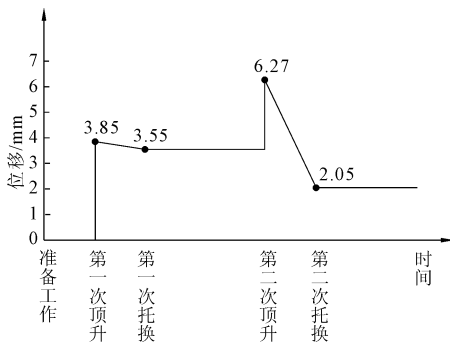


图 5 141 号桥墩桩基托换时墩顶处梁底位移图

3 结 语

本文提出了从上部结构体系转换入手进行桥梁桩基托换的新方法。该方法利用新建桩基搭设临时支架,通过两次上部结构的体系转换,把桥梁桩基托换转变为类似于桥梁支座更换,把桩基托换的主要工作从地下转移到地上,可克服传统桩基托换中存在的诸多缺点。

参考文献:

- [1] 吕建英. 我国地铁工程建筑物基础托换技术综述[J]. 施工技术, 2010, 39(9): 8-12.
- [2] 王 博, 张保圆. 地铁施工中既有桥梁的桩基托换技术[J]. 铁道建筑, 2011(4): 47-48.
- [3] Xu Q W, Zhu H H, Ma X F, et al. A case history of shield tunnel crossing through group pile foundation of a road bridge with pile underpinning technologies in shanghai[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2015, 45: 20-33.
- [4] 黄思勇, 罗昊冲, 熊 刚. 复杂主动托换结构方案设计[J]. 铁道建筑, 2010(5): 82-84.
- [5] 李洪庆. 桩基托换技术在广州地铁工程中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(8): 62-66.
- [6] 王方宇, 姚直书. 某地铁隧道桥梁桩基托换技术应用研究[J]. 低温建筑技术, 2015, 37(10): 110-112.
- [7] 李 文, 蒋双南, 左 敏, 等. 地铁车站高架桥墩下桩基托换施工监测技术[J]. 土木建筑工程信息技术, 2016, 8(1): 95-99, 113.
- [8] 李 琳, 李青宁, 张 立, 等. 咸阳国际机场大轴力桥梁桩基托换技术试验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2015, 37(S2): 159-163.
- [9] 李洪庆. 桩基托换技术在广州地铁工程中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(8): 62-66.
- [10] Zhang X D. Research and application of mini-sized steel pipe pile technology in limited space[J]. Procedia Engineering, 2014, 73(14): 16-22.
- [11] 黄 希, 陈 行, 晏启祥. 地铁区间隧道下穿既有桥梁的桩基托换研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(12): 89-93.
- [12] 黄银钉. 地铁区间隧道下穿既有桥梁的桩基托换[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(2): 100-103, 107.
- [13] 刘 恒, 徐世达, 周 凯. 地铁下穿创业立交桥桩基托换施工技术研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2014, 27(2): 23-26, 32.
- [14] 许 东. 成都地铁 3 号线衣冠庙立交桥桩基托换设计[J]. 隧道建设, 2015, 35(8): 821-827.
- [15] 吴二军, 张芬芬, 杨 勇, 等. 定轴旋转移位工程托换结构影响因素的分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(5): 56-61.
- [16] 李素娟, 任宇涛, 席亚军, 等. 导坑式人工挖孔托换桩技术[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(3): 173-176.
- [17] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG D62—2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.