

咸阳国际机场大轴力桥梁桩基托换技术试验研究

李琳, 李青宁, 张立, 岳克峰

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 西安 710055)

摘要:西安地铁二号线下穿隧道穿越咸阳国际机场主线桥桩基, 须进行桩基主动托换处理。笔者结合实际工程设计, 采用连接面凿毛+钻孔植筋+界面胶+张拉预应力的新型接头形式, 将托换大梁与既有墩柱-承台-桩基相连接, 制作了托换大梁体系(大梁-墩柱-承台-桩基)1:6整体模型, 进行了渐进式重复静力加载试验, 进行了受力性能和可靠性分析论证。结果表明:托换大梁体系的强度、刚度满足要求, 试件的极限荷载在对应实际尺寸托换大梁中可达9 900 t, 托换大梁具有很高的承载能力, 试件的延性较好, 安全性高, 在上部大轴力桥梁荷载下变形协调, 没有相对滑移, 新型接头形式合理、可靠, 便于施工。

关键词:桩基托换; 模型试验; 接头型式; 挠度分析

中图分类号: U231.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2015)S1-0159-05

Xianyang international airport large axial force bridge pile foundation underpinning technology test

Li Lin, Li Qingning, Zhang Li, Yue Kefeng

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

Abstract: Tunnel under the Xi'an Subway Line crosses the main bridge pile of Xianyang International Airport, and thus active underpinning pile foundation treatment has to be used. Based on the combination of design engineering, we made underpinning beam (Beam-Pier-cap-pile connector) 1:6 overall model, selected connecting surface of the joint type form of chiseling + drill anchorage + interface gel + prestressed, and underpinned the structure of the force performance and reliability of the analysis and demonstration. The results show that underpinning beam strength and stiffness can meet the requirements, the limit load of the specimen on its corresponding original underpinning girder is up to 9 900 t, and underpinning beam has a high load carrying capacity, ductility of the specimen is good and safe. Deformation coordination is under the upper large axial force bridge load, and the connection of chiseling + drill anchorage + interface gel + prestressed has the desired effect.

Key words: pile foundation underpinning; model test; connector type; deflection analysis

随着中国经济的持续快速增长, 城市人口及车辆的增多, 仅仅依靠地面交通建设已在很多大中型城市里难以满足人们对便捷出行的要求。为解决城市交通困难问题, 地铁建设已经成为各大城市解决

交通拥挤的首选方案^[1]。尽管地下交通线路的布置在原则上尽量避免对地上建筑物的影响, 但实际上总会有部分隧道要从现有建筑物如桥梁下面或相邻通过, 很难避免对其的影响。这种现象在全球许多

收稿日期: 2015-11-10

基金项目: 国家自然科学基金(51078306); 国家青年基金(51408453); 高等学校博士学科点专项科研基金(20106120110004); 陕西省自然科学基金基础研究计划(2013JQ7007)

作者简介: 李琳(1989-), 女, 硕士生, 主要从事桥梁结构抗震分析及研究, (E-mail) 1271816844@qq.com。

李青宁(通信作者), 男, 博士生导师, (E-mail) lqn952@163.com。

城市出现并成为地铁施工中比较棘手的问题。而解决地铁与既有建筑物的空间冲突这一问题的有效、可行的办法一般是采用桩基托换技术^[2]。

1 工程概况

西安地铁二号线新建工程隧道穿越咸阳国际机场 T3A 航站楼主线桥 22 号桥墩桩基, 必须对空间位置冲突的桩基进行桩基主动托换处理。西安北至机场城际轨道项目下穿的主线桥部分为异形钢筋混凝土变宽连续梁结构, 桥梁宽度由 15.25 m 变宽至 35 m, 桥墩为花瓶 T 形墩, 墩身截面 1.3 m × 2.5 m, 墩身高度 10 m, 墩柱下设 2 m 厚承台, 承台下设 4 根 $\phi 1.5$ m 桩基, 桩长 35 m。区间隧道为单洞双线马蹄形断面, 宽度 11.88~13.08 m, 高度 9.81 m, 双线间距 4.8 m, 隧道为暗挖施工。在既有桥墩下施筑托换梁(托换梁长 20.3 m, 宽 8.7 m, 高 3.5 m), 把原有的桥墩、承台及桩与托换梁连接起来, 使上部的荷载转换到托换梁上, 再通过托换梁传递到托换桩上, 以替代原来的桩承受上部的荷载。该桥墩在恒载和活载下设计轴力近 16 500 kN, 托换荷载巨大, 托换梁跨度较大, 工程复杂, 其综合跨度和托换吨位在国内居于首位, 其可靠性和可实施性无先例可循, 对此桩基托换的关键技术进行试验研究意义重大。22 号桥墩桩基托换剖面图如图 1 所示。

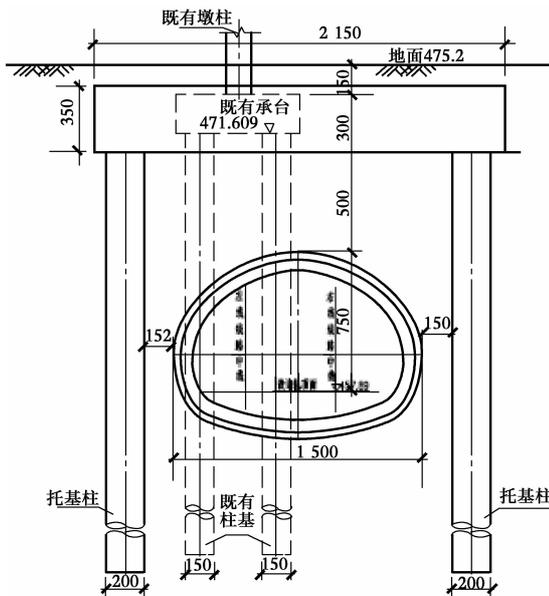


图 1 22 号桥墩桩基托换剖面图

2 试验设计

2.1 试验目的及方案

在结合工程设计的基础上, 主要研究托换体系整体的受力及梁-墩接头的可靠性。试验共包括托换大

梁(梁-墩-承台-桩基接头)1:6整体模型 1 个、托换梁与既有承台连接区域 1:1 节点模型 3 个, 重点对 1:6 整体模型试验进行介绍, 并进行深入研究。

设计并制作(包含梁-墩-承台-桩基接头的)托换大梁 1:6 整体模型, 进行渐进式重复加载静力试验。

1) 模拟实际托换过程; 2) 测试、分析和检验梁-墩-承台接头在实际托换荷载下的抗剪能力、抗弯能力和抗滑移能力, 托换大梁的极限承载力, 验证托换大梁与托换桩连接的可靠性; 3) 测试和分析托换大梁结构的强度、刚度和抗裂性, 为制定正确合理的托换工艺提供科学依据。

模型试验按照相似理论进行设计, 应力及应变的相似比为 1, 尺寸相似比为 1:6, 力的相似比为 1:36, 在保证配筋率相等的前提下, 钢筋面积的相似比为 1:36^[3]。由于该托换体系尺寸巨大, 缩尺后模型外观也较庞大, 故该组试验共一个试件, 编号为 1-6ZT-1。

按相似比进行模型制作, 选定梁-墩-承台-桩基的接头型式, 连接面采用凿毛+钻孔植筋+界面胶+张拉预应力的形式。钢筋混凝土桥墩及承台先预制, 待强度和弹性模量达到要求后进行凿毛并钻孔, 如图 2 所示, 清洗孔洞后采用法施达建筑植筋胶进行植入锚筋。随后进行后张法预应力托换梁的制作, 钢筋绑扎中注意预留预应力孔道的位置。待混凝土强度达到 90% 时方可张拉预应力。试件长 338 cm, 宽 145 cm, 高 58.3 cm; 墩柱长 41.7 cm, 宽 21.7 cm, 高 25 cm; 被托换桩(4 根)直径为 25 cm, 托换桩(4 根)直径为 33.3 cm。



图 2 凿毛并钻孔后承台外观



图 3 模型整体外观(侧立)

试件所用材料及其性能如表 1 所示。

表 1 钢筋及混凝土的力学性能指标

材料类别	位置	试验项目		
		屈服强度/MPa	极限抗拉强度/MPa	延伸率
钢筋	承台及墩柱钢筋、托换梁(拉压主筋除外)	346	463	6.1
	托换梁主筋	396.33	548.33	6.5
	预应力筋		1 877	1.75
混凝土	承台及墩柱(第一次浇筑)		37.10	
	托换梁(第二次浇筑)		53.41	

2.2 试验装置及测试系统

试验装置由钢架柱、反力梁、加载装置和量测装置四部分组成,如图 4 所示。反力梁用丝杆个钢套筒固定在钢架柱上,其高度可通过丝杆调整^[3]。钢架柱设计荷载 450 t。加载系统由 500 t 液压千斤顶和滚轴系统组成,荷载通过 500 t 压力传感器来精确量测并经数据采集系统采集、记录,如图 5 所示。采用加载-卸载-再加载重复循环模式进行静力试验。加载步骤为:进行 100 kN 预加载反复荷载试验两次,以 150 kN 为一级施加反复荷载至 1 850 kN,然后以 100 kN 一级施加荷载至试件达到极限荷载,每加完一级荷载后,为了让荷载数值达到稳定,有 2 min 的试验持荷时间。测点布置:梁体和承台的钢筋、植筋的应变情况由电阻应变片测定,共在主要受力面处布置 58 个;试件侧面、梁底共使用 9 个百分表测定;梁底及侧面的混凝土受力情况共布置 10 个混凝土电阻应变片来测定,并对钢筋和混凝土的应变设置应变补偿。



图 4 试验装置



图 5 数据采集系统

2.3 试验过程及试验现象描述

调节好反力梁的高度,检查仪器正常后,对试件进行精确定位安装。确保梁下托换桩的位置准确无误,千斤顶的中心和设计加载中心吻合后,连接通道线路,进行完准备工作,开始加载。

试验加载初期,加载力较小,试件无明显现象;当加载至 550 kN 时,加载点梁底出现第一条微小裂缝,此时试件仍处于弹性阶段;随着加载力增大,承台左 1/2 截面至承台右 1/2 截面范围内梁底出现多条裂缝,并发展至梁两侧,出现多条竖向裂缝和 4 条斜裂缝;继续加载,梁底出现多条南北水平向贯通的长裂缝,裂缝宽度增大,主要的斜裂缝继续斜向延伸且斜率逐渐减小,桥墩出现明显竖向裂缝;加载至 2 750 kN 时,梁底多条裂缝通长,裂缝宽度达 0.5 mm,梁侧斜裂缝在靠近加载点处相交,梁体发生“咯”的声响,位移增大,但荷载值达到峰值且出现下降,最大裂缝宽度达到 0.8 mm,停止加载。试件最终裂缝情况如图 6~7 所示。



图 6 试件南侧



图 7 试件北侧

3 试验结果及其分析

3.1 1:6整体模型荷载-位移曲线

1:6整体模型荷载-位移曲线如图 8 所示。从曲线的变化规律可以看出:在加载初试阶段,试件处于弹性阶段,荷载-梁底位移曲线基本呈线性关系^[4],试件刚度较大;在 100 t 力作用下,位移值约为 1.4 mm;在 200 t 力作用下,位移值约为 3.2 mm。在加载力达到 200 t 以后,荷载-位移曲线斜率变小,进入屈服阶段;继续加载曲线出现了峰值,试件临近破坏,达到了极限荷载 2 750 kN,此时对应的位移为 12 mm;随后曲线出现了下降段,试件达到破坏。

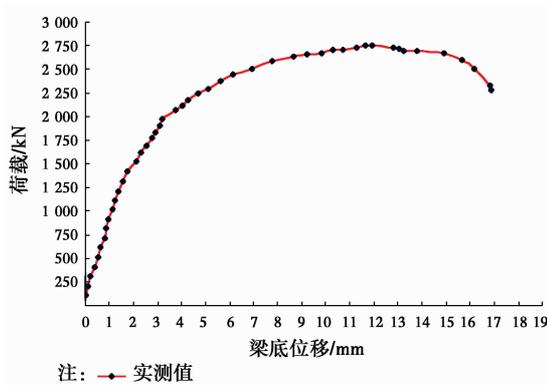


图 8 荷载-位移曲线

3.2 托换荷载作用下的梁体应力及托梁极限承载力

提取梁底关键截面(承台中面即加载点,承台左面,承台右面)受拉区钢筋应变,可得到图 9 曲线。

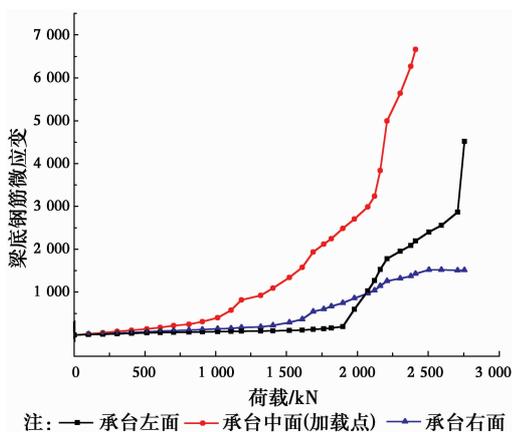


图 9 受拉区钢筋应变曲线

从图 9 可知,在加载力小于 550 kN 时,受拉区主筋应变均很小;加载力大于 550 kN 时,承台中面钢筋应变增大较快,说明此时承台左面梁底混凝土开裂,主要由钢筋来承受拉应力^[5]。承台右面梁底主拉筋受力连续,承台左面梁底主拉筋在试件接近屈服时应变发生突变,说明此时内力发生重分配,结

合试验过程描述及裂缝图可知弯剪破坏的作用较明显^[6]。

在实际工程上部荷载 $1\ 650/36=45.83\text{ t}$ 的荷载下,可知试件仍处于弹性阶段,且未发生开裂。极限荷载和屈服荷载对应的位移之比: $11.96/3.22=3.71$,可得试件的延性较好,安全性高^[7]。试件的极限荷载在对应的原托换大梁中可达 9 900 t,托换梁的承载能力很高,采用凿毛+钻孔植筋+界面胶+张拉预应力的连接方式具有很理想的效果。

3.3 开裂情况及挠度分析

加载力为 45.83 t 时,对应的位移为 0.55 mm,对应原托换大梁位移为 3.3 mm,说明在上部大轴力桥梁的荷载下,托换后结构位移较小,整体刚度较大,结合上部桥梁变形限值研究结果分析,处于可控的范围内^[8]。

对试件梁体在各个加载阶段的挠度进行处理,可得图 10 曲线。

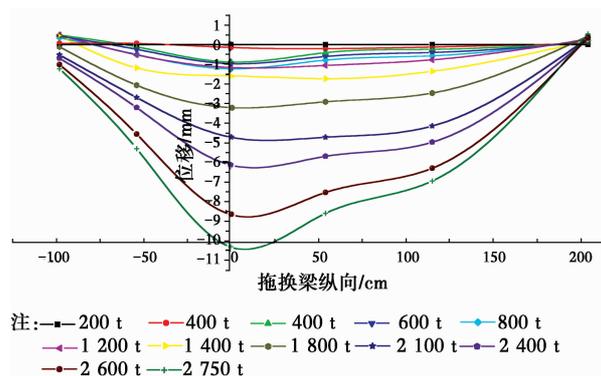


图 10 试件挠度曲线

由图 10 试件的挠度曲线可以看出,在加载初期,试件变形较小,挠度曲线柔顺,试件具有很大的刚度;在屈服荷载以前,梁体仍变形协调,说明内部新旧结合面仍传力可靠^[9];在试件进入屈服至破坏阶段,可以看出梁体包有承台段变形明显呈现出不协调,说明梁体此段受力较集中,成为破坏的薄弱面。

4 结论

1)托换梁在上部荷载作用下受力良好,并未开裂,仍处于弹性阶段。

2)托换梁采用凿毛+钻孔植筋+界面胶+预应力的接头型式,极限荷载在对应的原托换大梁中可达 9 900 t,具有较高的承载能力和刚度。极限荷载和屈服荷载对应的位移之比为 3.71,可得试件的延性较好,安全性高。

3)在加载初期,试件变形较小,挠度曲线柔顺,试件具有很大的刚度;在屈服荷载以前,梁体仍变形协调,说明内部新旧结合面仍传力可靠。可以保证托换过程和使用过程中结构的安全性。

参考文献:

- [1] 周志伟. 深圳地铁大轴力桩基托换技术[J]. 隧道建设, 2003(4):39-41.
- [2] 柯在田, 高岩, 张澍曾. 深圳地铁大轴力桩基托换模型试验研究[J]. 中国铁道科学, 2003(5):15-22.
- [3] 高俊合, 张澍曾, 柯在田, 等. 大轴力桩基托换梁-柱接头模型试验[J]. 土木工程学报, 2004, 37(9):62-68.
- [4] Takahashi K, Fukazawa N, Aaiwaya T, et al. Observational control of adjacent MRT tunnels [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2004 (19):390.
- [5] 彭振斌. 托换工程设计计算与施工[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997.
- [6] 叶见曙. 结构设计原理[M]. 北京:人民交通出版社, 2008.
- [7] 徐前卫, 朱合华, 马险峰, 等. 地铁盾构隧道穿越桥梁下方群桩基础的托换与除桩技术研究[J]. 岩土工程学报, 2012(7): 1217-1226.
- [8] 靳利娜, 盛维高, 王山山, 等. 水利工程结构加固中的新老混凝土监测技术[J]. 济南大学学报:自然科学版, 2014, 28(4): 311-315.
- [9] 焦增现, 曹正喜, 李治国. 重叠隧道施工中大轴力桩基主动托换技术[J]. 隧道建设, 2006(6): 41-44.

(编辑 郑洁)