

文章编号:1005-0523(2019)02-0015-07

# 盾构下穿高架桥桩基的托换施工技术分析

吴凡

(江西省建设工程安全质量监督管理局,江西 南昌 330096)

**摘要:**以某区间盾构隧道下穿高架桩基为工程背景,本项目条件复杂,施工变形控制严格,对此类复杂环境下地铁盾构隧道下穿高架桥桩基的托换施工技术进行分析,突破托换过程中结构止水性能、稳定性及刀盘刀具改造等技术难点,同时采用平面应变的计算模式对托换桩的施工过程进行模拟。结果表明:桥墩、托桩最大沉降量均在预警范围内。通过研究分析施工方案技术可行、水平较高,可为类似工程提供一定的工程借鉴和参考。

**关键词:**盾构隧道;下穿;高架桩基;托换施工

**中图分类号:**TU43

**文献标志码:**A

城市地铁作为城市的主要公共交通工具,其持续建设和网络不断完善,但面临的施工环境却变得日益复杂,主要呈现在新的地铁线路与既有地铁线路、道路、桥梁、建(构)筑物、地下管线的交叉施工<sup>[1-2]</sup>。在保证既有结构安全的前提下如何顺利地进行地铁盾构隧道掘进,已成为目前亟待解决的问题<sup>[3-7]</sup>。托换技术是一种应用多种地基处理方法的加固技术<sup>[8]</sup>,它主要解决对既有建筑物的地基加固,包括补救性托换及预防性托换,托换技术是一种技术难度大、费用高、风险责任性强的一种特殊施工方法<sup>[9-10]</sup>。

针对某城市地铁盾构隧道下穿高架桥桩基的托换施工技术进行数值分析,结合监测技术进行把控桥墩、托桩的沉降量,在复杂条件下控制严格变形,不仅对提高现代城市的市政工程施工技术水平具有重要的指导作用,而且还具有重要的经济价值和社会意义。

## 1 工程概况

### 1.1 高架桥工程概况

某高架桥是该城市重要的交通枢纽,桥身为双独塔双索面扇形密索体系钢筋混凝土预应力斜拉桥。工程由主桥、引桥、引道三部分组成,全长约6 km。其中主桥1 040 m,南引桥2 017 m,北桥1 314 m,大桥于1997年建成通车。南引桥为城市互通式立体交叉系统,其中该桥涉及的桩基托换工程分别为C匝道、F匝道。C匝道桥梁上部结构为多跨钢筋混凝土连续箱梁桥(两箱),桥面宽11 m,其托换桩基结构图见图1所示。

F匝道桥梁上部结构为多跨钢筋混凝土连续箱梁桥(单箱),桥面宽7 m,其托换桩基结构图见图2所示。

收稿日期:2018-10-10

作者简介:吴凡(1968—),男,高级工程师,研究方向为建设工程质量安全管理。

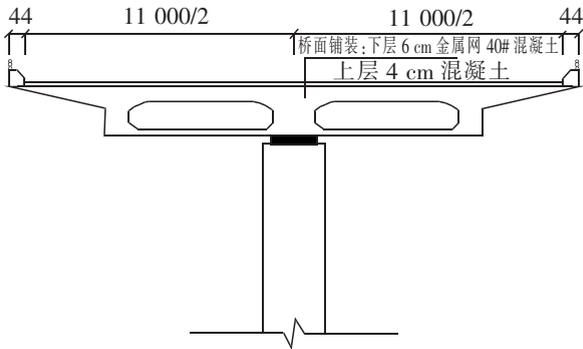


图1 C类桩梁断面图

Fig.1 Section of C type beam

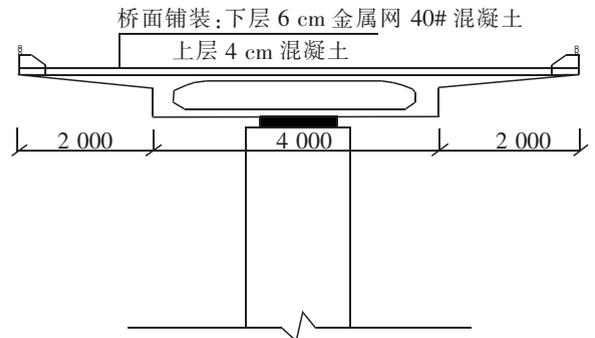


图2 F类桩梁断面图

Fig.2 Section of F type beam

本工程累计涉及托换桩基7根,编号依次为C15,C17-2,C18,F5,F7-1,F8,F9,各桩与隧道位置关系平面图见图3所示。

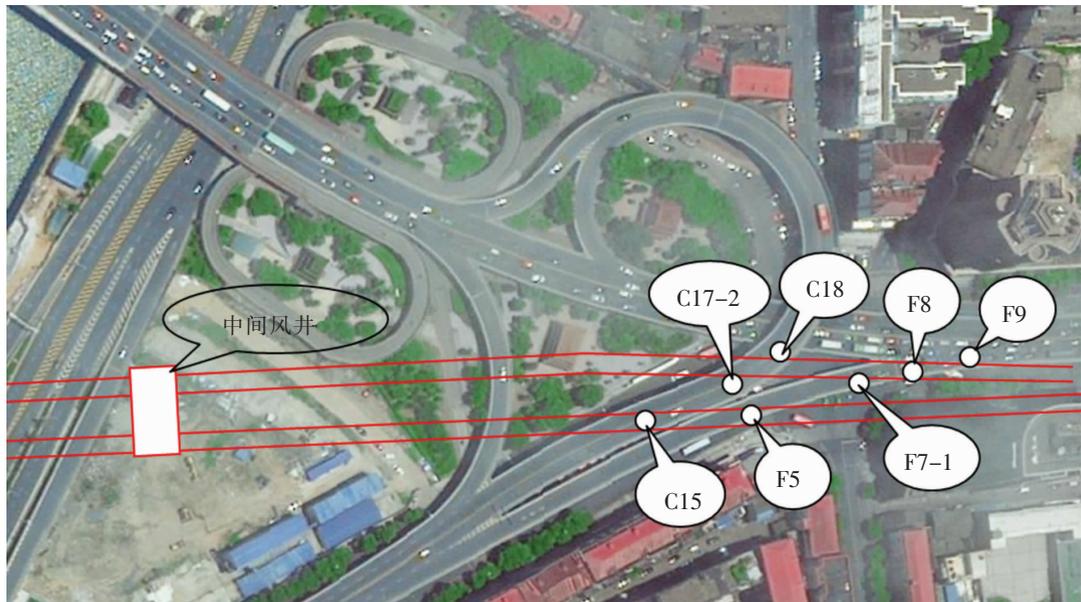


图3 托换桩基与隧道位置平面示意图

Fig.3 Underpinning pile and tunnel location plan

各桩基与下穿盾构隧道位置关系见表1。

表1 高架桥托换桩基与下穿盾构隧道位置关系

Tab.1 Position relationship between underpinning pile foundation and shield tunnel

桩号	桩径/m	柱高/m	桩长/m	桩与隧道位置关系
F5	1.2	6.0	25.4	侵入右线隧道 5.9 m
F7-1	1.2	5.0	25.2	近临或局部隧道
F8	1.2	4.5	24.9	侵入左线隧道 6.3 m
F9	1.2	4.0	25.0	侵入左线隧道 4.8 m
C15	1.5	9.7	24.9	侵入右线隧道 3.5 m
C18	1.5	11.2	24.0	近临或局部侵入左线隧道
C17-2	1.5	10.9	24.6	近临或局部侵入左线隧道

## 1.2 工程地质条件

桩基托换范围内隧道埋深 28.1 m, 该区域地质条件自上而下依次为 5.8 m 杂填土层、2.5 m 粉质粘土层、3.1 m 细沙层、3.7 m 圆砾层、3.0 m 卵石层、10.0 m 中风化泥质粉砂岩层, 地下水位线位于地面以下 5.6 m, 地质柱状图见图 4 所示。

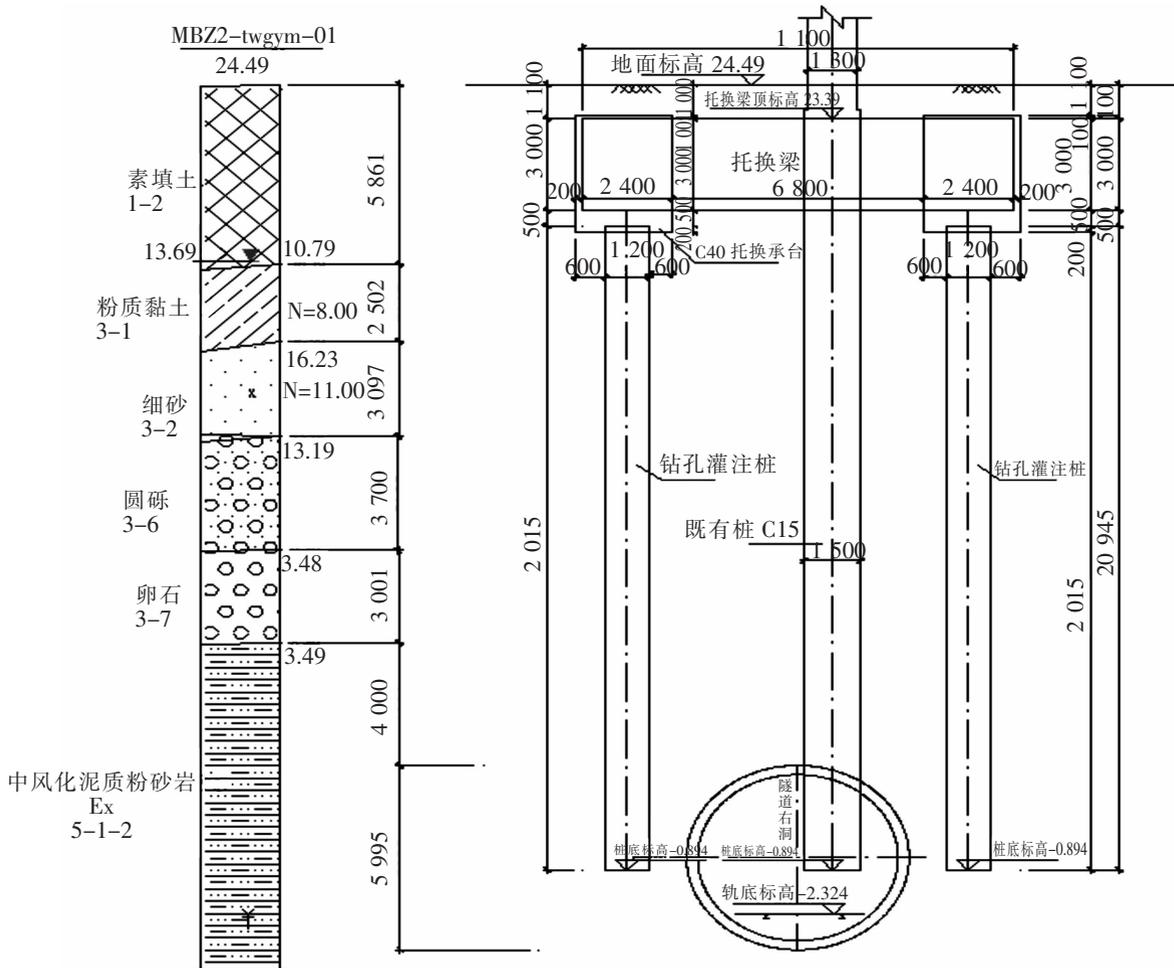


图 4 桩基托换工程附近地质柱状图

Fig.4 Geological histogram of underpinning pile foundation

## 1.3 桩基托换的重点和难点

工程中盾构下穿的高架桥作为连接城市老城区与新区的交通要道, 桥梁结构自重大、交通流量大、桩基托换过程中对变形控制要求严格, 在桩基托换过程中面临诸多的问题与挑战。

1) 被托换桩基地处桩身范围内以富水砂层、卵石层及中风化泥质粉砂岩为主, 托换过程中基坑维护结构止水性能、稳定性是本工程控制的主要难点;

2) 桩基托换区域位于多条道路交叉口处, 地面交通繁忙, 其疏解、围挡施工受交通制约尤为明显, 方案拟定过程中, 必须综合考虑地面交通等边界条件;

3) 被托换桩基桥下净空范围为 3.4~10.6 m, 同时该区域桥梁多层次立交, 对托换方案、新桩成桩设备、旧桩处理设备的选择影响较大;

4) 因部分新桩距离原有桥梁桩基较近, 桩基施工过程中及托换过程中采取有效措施减小施工对原有桩基的扰动是本工程施工的重点;

5) 桩基托换施工完成后, 对侵入隧道的废桩处理需结合工程环境特点进行刀盘刀具改造, 是本工程的又一难点。

## 2 桩基群托换施工技术分析

### 2.1 桩基群托换施工方案

托换桩由直径 1.2 m 的 2 根钻孔灌注桩组成,采用 C30 水下混凝土浇筑。托换梁标准截面长 11.6 m, F5, F7-1, F8, F9 四根桩基的托换梁高度为 3.0 m, 梁宽度 2.5 m, 托换断面情况如图 5 所示, C15, C18, C17-2 三根桩基托换梁高度为 3.0 m, 梁宽度 2.8 m。托换梁采用 C35 级混凝土, 按两端简支设计。

托换承台尺寸为(长×宽×高):2.4 m×2.4 m×1.0 m, 采用 C35 级混凝土, 承台上方预埋 20 mm 厚的钢板供预顶阶段使用。托换梁与托换桩的连接部位凿出企口, 形成齿槽, 沿托换梁底至梁面间隔 200 mm 凿槽, 深 25 mm, 宽 200 mm, 钢筋和桩之间的缝隙用锚固胶(A 级植筋胶)充填, 植筋后采用界面剂对旧桩表面进行界面处理。托换梁及托换承台在约 6.0 m 深的基坑内施工, 基坑围护结构型式采用  $\phi 600@750$  的 C30 钻孔灌注桩(反循环钻机成孔), 桩长 11 m, 基坑开挖过程中辅以维护桩周围网喷支护及基坑降水等措施, 确保基坑自身稳定性。

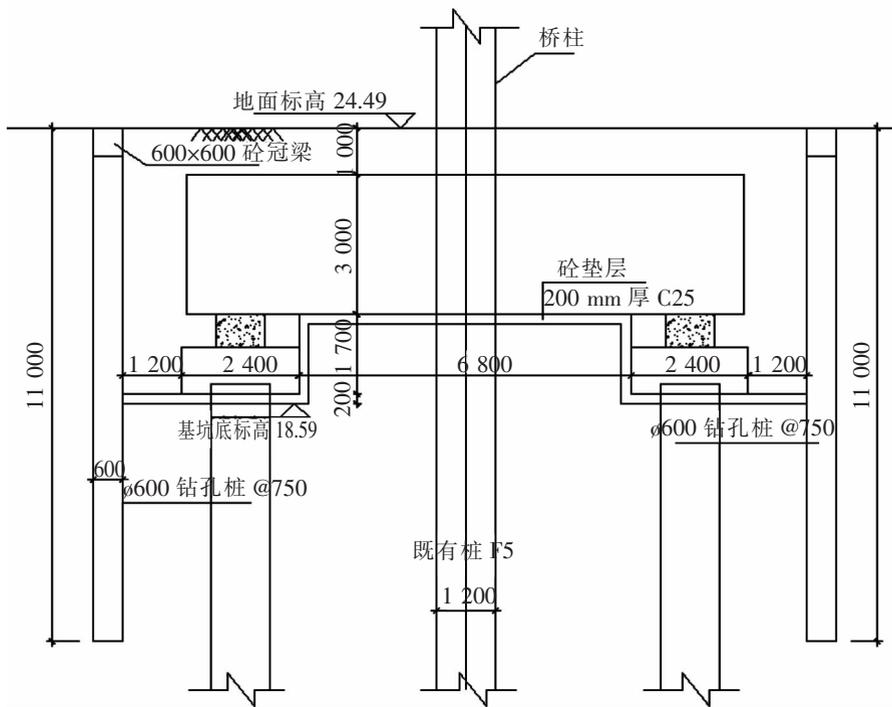


图 5 桩基托换断面图

Fig.5 Section map of underpinning pile foundation

桩基托换部位主要施工步骤为: 施工准备→围护桩及冠梁施工→施工临时钢支撑体系→施工托换新桩→基坑开挖→桩间网喷混凝土施工→混凝土垫层施工→施作托换承台→被托换桩界面处理、植筋→施作托换梁→预顶→浇注托换桩和托换梁之间的微膨胀混凝土→旧桩破除→基坑回填及临时钢支撑拆除。

### 2.2 桩基群托换信息数值分析与监测

数值分析采用平面应变的计算模式, 模拟了 C15 托换桩的施工过程。其中, 围护桩深度为 11 m(含 0.6 m 冠梁), 托换新桩深度为 25 m, 托换梁的尺寸为 11.6 m×3 m。数值计算模型中充分考虑托换施工中的开挖, 桩施的影响范围建立计算模型。水平方向上模型尺寸为 50 m, 深度方向取 42.7 m, 并将上部高架桥梁简化为均布荷载传递至结构进行分析计算。

托换桩基施工过程中, 数值模拟中的位移边界条件为: 地表为自由边界条件, 模型左右侧边界的侧向位移限制为 0, 竖向自由, 模型底部边界的竖向位移和水平位移均限制为 0。其中, 模型左右侧边界的侧向与底

部可看作铰支,对竖向和水平向位移具有约束能力,故水平和竖向位移都为 0。

由于托换桩基中的施工较为复杂,为了合理模拟在施工过程中关键施工节点,数值分析按照工程实际施工步骤采用多工况连续计算的方法,其模拟施工的关键施工阶段见表 2 所示。

在分工况连续计算中,位移和应力逐次累加,上一工况的位移和应力将作为下一工况的初始应力和位移状态。

此处所使用的均为现场设计标高,场地自然地面的设计标高为 0 m,初始地下水位标高为 -5.000 m。C15 托换桩施工所处土层情况及其计算参数见表 3,结构及支撑参数见表 4。

表 2 高架桥托换施工步骤

Tab.2 Construction steps of underpinning for viaducts

编号	施工阶段
1	初始阶段,位移清零
2	围护结构、冠梁施工
3	安装临时钢支撑、钢板梁
4	托换桩施工
5	基坑开挖
6	托梁施工、顶升及封桩
7	截桩施工
8	基坑土回填
9	拆除临时钢支撑

表 3 土层计算参数表

Tab.3 Soil parameters

土层	厚度/m	重度 $\rho/(\text{kN}/\text{m}^3)$	弹性模量 $E/\text{GPa}$	粘聚力 $C_i/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
①填土	5.8	18.0	16.5	10	12
②粉质粘土	2.5	18.1	19.3	18	17
③细砂层	3.1	19.0	72.3	6	29
④圆砾层	3.7	20.2	149.5	7	28
⑤卵石层	3.0	20.5	153.6	21	30
⑥中风化泥质粉砂岩层	10.0	20.7	19 300	3 470	32.1
⑦粉砂岩层	4.9	20.7	192 800	3 920	33

表 4 结构及支撑参数表

Tab.4 Structure and support parameters

名称	重度 $\rho/(\text{kN}/\text{m}^3)$	泊松比 $\mu$	材料面积矩 $EA/(\text{kN}/\text{m})$	截面惯性矩 $EI/(\text{kN}/\text{m})$
围护桩	24.5	0.2	$8.4 \times 10^6$	$1.9 \times 10^5$
结构桩	25	0.2	$5.7 \times 10^7$	$5.1 \times 10^6$
临时钢支撑	78.5	0.31	$5.9 \times 10^6$	$2.6 \times 10^6$
临时钢梁	78.5	0.31	$4.0 \times 10^6$	$1.3 \times 10^5$

由于托换桩施工及周边环境条件,根据现行规范提出的变形监测报警控制值见表 5 所示。

表 5 监测及预警控制值

Tab.5 Controlled value of monitoring and early warning

序号	监测项目	预警值	控制值
1	桥墩沉降监测	3.5	5
2	托桩沉降监测	3.5	5

C15 桩在顶升及截桩施工阶段的桥墩沉降值包括监测值、数值分析值得曲线图,见图 6 所示。C15 桩在顶升及截桩施工阶段的托桩沉降值包括监测值、数值分析值得曲线图,如图 7 所示

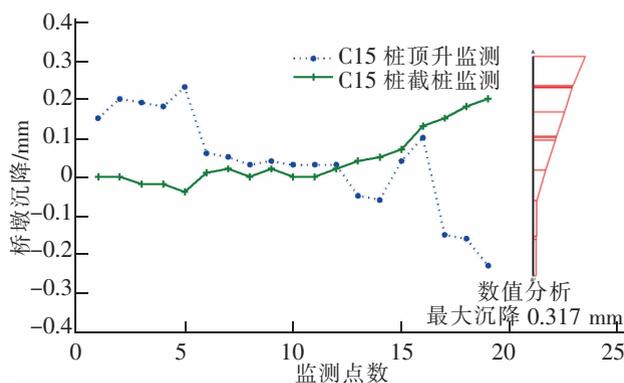


图 6 桥墩沉降的监测值及数值分析值曲线图

Fig.6 Bridge pier settlement monitoring and numerical analysis diagram

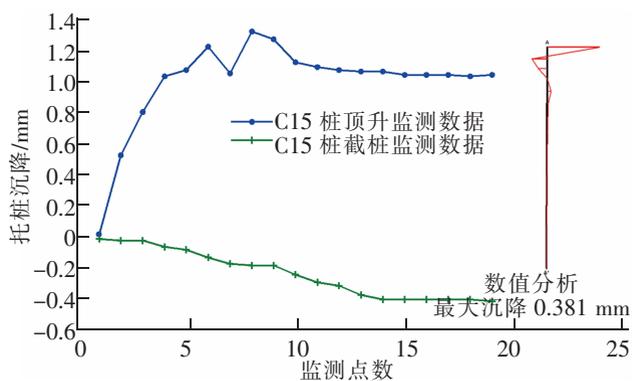


图 7 托桩沉降的监测值及数值分析值曲线图

Fig.7 The graph of numerical analysis and settlement monitoring of underpinning piles

根据数值分析结果和监测数据可知:

- 1) 桥墩沉降量在截桩施工阶段后最大值为 0.23 mm,在预警范围内,且呈现逐渐增大的趋势,建议加强后期监测;
- 2) 托桩沉降量在 C15 桩顶升施工阶段呈现隆起现象,在截桩施工阶段后最大值为 0.42 mm,在预警范围内,且呈现逐渐增大的趋势,建议加强后期监测;
- 3) 监测数据与数值分析数据的最大沉降值的最大误差为 0.087 mm,最小误差为 0.039 mm,相互验证了数值计算的可靠性和监测数据真实性。

### 3 结论

通过对地铁盾构隧道下穿高架桥桩基的托换施工技术分析,可以得出以下结论:

- 1) 桥墩、托桩最大沉降量均在预警范围内,且在托换桩施工后期呈现逐渐增大的趋势;
- 2) 监测数据与数值分析数据之间的误差值较小,相互验证数据的可靠性与真实性,并可为后期沉降趋势预测提供参考依据;
- 3) 本托桩项目条件复杂,施工变形控制严格,通过研究分析施工方案技术可行、水平较高。

### 参考文献:

- [1] 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,2012,34(7):1217-1226.
- [2] 宗言海. 复杂条件城市立交桥桩基托换施工技术[J]. 四川建筑,2010,30(2):218-219.
- [3] 徐前卫,唐卓华,苏培森. 盾构过群桩基础的托换与除桩技术及其稳定性分析[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2013(S2):129-133.
- [4] 桂林. 广州地铁三号线某区间桩基托换施工技术[J]. 市政技术,2005,23(3):154-156.

- [5] XU Q,ZHU H,MA X,et al. A case history of shield tunnel crossing through group pile foundation of a road bridge with pile underpinning technologies in Shanghai[J]. Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research,2015,45:20–33.
- [6] PARK Y H,KIM J P,CHO K H. Stability analysis of subway box structure supported by modified underpinning method[J]. Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research,2015,50:199–208.
- [7] 唐黎明. 地铁盾构近距离下穿多座高铁桥梁影响分析[J]. 华东交通大学学报,2017,34(2):45–53.
- [8] 程茜,宫全美. 地铁盾构隧道下穿城市公园地基加固宽度分析[J]. 华东交通大学学报,2018,35(3):15–22.
- [9] 刘建国,朱成杰. 托换技术及其在深圳地铁的应用[J]. 西部探矿工程,2002,14(S1):97–99.
- [10] 陈伟庚,覃应华. 深圳地铁一期工程广深铁路桩基托换施工监测方案与实践[J]. 铁道建筑,2007(1):40–42.

## Study on Pile Underpinning and Removing Technology of Shield Tunnel Crossing Through Pile Foundations of Road Bridge

Wu Fan

(Jiangxi Administration of Construction Engineering Safety and Quality Supervision,Nanchang 330096, China)

**Abstract:** Taking one shield tunnel crossing through the bridge viaduct pile foundation of a metro as the engineering background, this study analyzed pile underpinning and removing technology of the shield tunnel crossing in such a complex environment. It solved the technical difficulties in the process of underpinning, such as water-proof performance, stability of structure and tool modification of cutter head. At the same time, the construction process of underpinning pile was simulated by plane strain calculation model. The results show that the maximum settlements of bridge piers and underpinning pile were all in the scope of the early warning, the conditions of this underpinning pile engineering were very complicated and the displacement control was very strict. Through the research and analysis of the construction scheme, it proves that the construction method is feasible with a high standard, which can provide certain engineering reference for similar projects.

**Key words:** shield tunnel; crossing through; viaduct pile foundation; pile underpinning construction