

盾构下穿高架桥桩基托换和切削施工技术

苏明¹ 尹志清²

(1. 同济大学土木工程学院, 200092, 上海;

2. 中交隧道工程局有限公司 100088, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘要 依托广州市轨道交通 21 号线工程棠东站—黄村站盾构区间的隧道施工实例,从方案选择、工艺操作、模拟分析三个方面,探讨在地质条件及周边环境复杂情况下,采用主动托换技术与盾构磨桩技术下穿连续梁桥多柱刚构墩下桩基的施工方法,并详细介绍、分析了施工工艺参数的选取。该工艺方法适用于周边环境复杂、变形控制精度要求高的桩基托换与盾构磨桩工程,能够达到在不破坏原建筑物且不影响周边道路通行的前提下完全清除障碍物,并保证原结构能正常使用。

关键词 盾构隧道;多柱刚构墩桩基;主动托换;盾构磨桩

中图分类号 U455.43; U443.16⁺3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.040

Construction Technology of Pile Foundation Exchange and Cutting for Shield Tunneling under Viaduct Piles

SU Ming, YIN Zhiqing

Abstract Based on an actual tunnel section project between Tangdong Station and Huangcun Station on Guangzhou metro Line 21, the construction method is discussed from aspects of the scheme selection, simulation analysis and process operation, which combines both active underpinning and shield grinding pile in the complex geological conditions and the surrounding environment while crossing under the multi-column and rigid-frame pier piles of continuous beam bridge. The selection of construction parameters is analyzed and described in detail. The above technology is suitable for the underpinning pile foundation and shield grinding pile construction with complex surrounding environment and high deformation control precision, and can completely remove the obstacles without destroying the original buildings and affecting the traffic of the surrounding roads, and ensure the normal operation effect of the original structure as well.

Key words shield tunnel; multi-column and rigid-frame pier pile; active underpinning; shield grinding pile

First-author's address College of Civil Engineering, Tongji University, 200092, Shanghai, China

随着城市轨道交通工程的快速发展,地铁线路将不可避免下穿既有桥梁、道路等建(构)筑物。盾构隧道施工中常用的建(构)筑物拆复建及盾构开仓清除障碍物处理方法,对周边环境影响大、安全风险高。因此,桩基托换技术是目前形势下应运而生的一种新型障碍物处理及加固技术。

桩基托换方式主要有被动托换和主动托换。被动托换是通过施作托换梁、扩大基础等方式转移上部荷载^[1],沉降变形控制能力弱,适用于变形控制要求低的基坑侧桩基托换^[2]、扩建地下室^[3]等,可结合地基注浆等工艺进一步提高沉降控制能力^[4]。主动托换是通过千斤顶在原结构和托换体系间进行顶升控制,适用于变形控制精度较高的预应力结构托换^[5]及盾构下穿桩基托换等。

桩基托换体系的选择,应因地制宜,根据托换工程地质特征、结构特征、功能特征具体分析。变形控制能力是托换方式选择的最重要指标。然而,目前托换施工仍缺乏相关的规范性文件,托换技术的理论成果和经验总结仍缺乏系统性。本文依托工程实体系统阐述了盾构下穿连续多跨多柱刚构墩下桩基托换施工方法,为类似工程提供了技术参考。

1 工程概况

1.1 工程简述

广州市轨道交通 21 号线棠东站—黄村站盾构区间下穿东环高速高架桥和大观南路跨线桥,有 6 处 8 根桩基侵入盾构隧道范围。如图 1 所示,其中东环高架有 3 处 3 根直径 1.5 m 的桩基,大观南路跨线桥有 3 处 5 根直径 1.0 m 的桩基。该处为广州市区干线,地面交通繁忙,盾构穿越期间不得对桥梁运营产生任何影响。此段区间的地层为素填土〈1〉、粉质黏土〈4N-1〉和〈4N-2〉(平均层厚 5~8 m)、粉细砂层〈3-1〉、中粗砂层〈3-2〉、全风化泥质粉

砂岩<6>、强风化泥质粉砂岩<7-3>。主要含水层为粉细砂层和中粗砂层,属敏感地层,扰动和失水易变形。

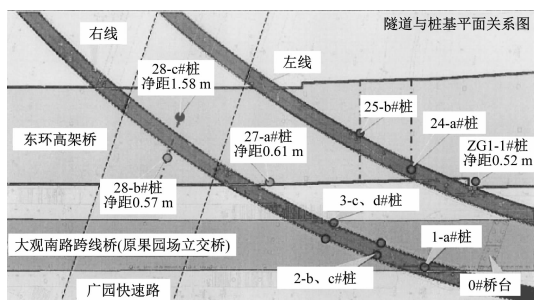


图1 盾构隧道与桩基托换平面位置关系图

1.2 实施方案比选

本项目处于市区敏感地段,交通状况复杂,且盾构穿越期间不得影响桥梁使用,技术要求高。若采用盾构直接穿越桩基,会严重影响现有桥梁结构受力状态;若通过桥梁拆复建拔除障碍桩基,则因地面情况复杂及接口协调困难而无法实施。所以,只有先通过主动托换保持现有桥梁体系受力平衡,完成受力转换后再处理影响桩基。影响桩基的处理方法有:①地面直接拔出或冲击冲碎的常规做法,但该方法因地面条件受限无法实施;②做地面竖井、暗挖隧道,进入洞内破除桩基,该方法风险极大,成本高且工期长;③盾构直接掘进磨除桩基,受地质、桩基自身情况、地面沉降、刀具配置及后续掘进地段影响较大。通过综合技术比选最终选择盾构掘进磨桩穿越破除桩基。

2 关键施工技术

2.1 桩基托换技术

2.1.1 被动托换桩基技术分析

盾构穿越桥桩基础时,进行桩梁主动托换;隧道靠近桥桩基础且既有桥梁桩基荷载较小时,进行被动托换。如图1所示,根据隧道与桥梁桩基的平面关系,主动托换分为单桩托换和双桩托换,被动托换为扩大基础形式。单桩托换时,托换梁横跨区间隧道上方,梁端处设置两根托换桩,被托换桩直接与托换梁连接。双桩托换时,采用平面框架梁,将被托换荷载通过两根托换次梁传递至两侧的托换主梁,然后传至梁端的托换桩。

2.1.2 主动托换

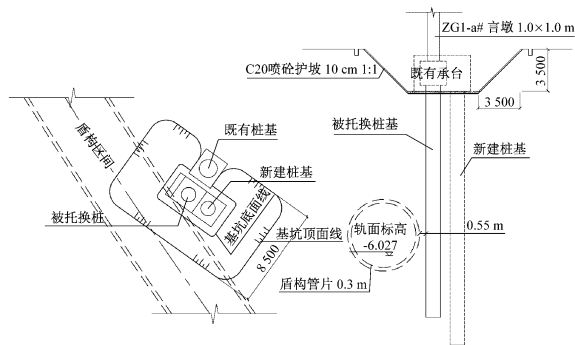
托换桩分布于隧道两侧,距隧道结构净距不小于1.5 m,桩端嵌入微风化泥质粉砂岩2 m。桩径为1.5 m、1.2 m的单桩,竖向承载力分别为13 000

kN、9 500 kN。钻孔终孔应结合一桩一孔的施工勘察确定入岩深度。

东环高架桥:托换梁高2.5 m,梁宽3.5 m。大观南路:托换梁高2 m,梁宽2.2 m。主梁按简支梁设计,次梁按框架固端梁设计。在托换主梁两端对应桩顶位置沿托换梁长度方向设置长为2.5 m的区段,预埋与桩帽的连接钢筋。当梁内纵筋遇到既有桥墩和桩基时,截断后弯折锚入桩基附加环形钢筋内,被托换桩与托换梁的节点设计按新旧混凝土连接截面进行承载力验算。

2.1.3 被动托换

东环高架桥 ZG1-a 桥柱位于外扩匝道桥的起点,无车道荷载,自重荷载较小,故对其采用扩大基础被动托换方案。在 ZG1-a#桥柱旁边增加一根直径1.5 m的桩基,桩顶承台与 ZG1-a#桥柱的既有承台进行植筋连接形成整体,利用新建桩基的承载力完成托换,如图2所示。



尺寸单位:mm

图2 东环高架匝道桥 ZG1-a#桥墩桩基托换围护结构平面和剖面图

2.1.4 施工步骤

被动桩基托换:①施工围挡、施工钻孔灌注桩→②施工扩大承台基坑→③既有承台凿毛植筋→④施工扩大承台→⑤分割既有承台与被托换桩→⑥基坑回填、场地恢复。

主动桩基托换:①施工围挡、场地清理→②对被托换桥梁的上部结构现状进行鉴定→③施工围护桩、托换桩,旋喷止水帷幕及土体旋喷加固,完成围护排桩冠梁及支撑结构→④托换深基坑开挖及支护降水→⑤桩帽、托换梁施工→⑥实施主动顶升托换及同步截桩,千斤顶十级逐步顶升,达到30%预顶后同步实施截桩→⑦托换梁与桩节点连接,桩梁端头充填膨胀性混凝土→⑧基坑回填、场地恢复→⑨盾构机破桩通过。

2.1.5 施工控制要点

1) 被托换桥梁的安全评估鉴定。施工前对桥梁结构进行专业评估鉴定,确定其病害程度,精准指导施工。

2) 桩基、顶升和监测设备的正确选型。因桥下净空受限,采用改造的冲桩机进行托换桩基施工,对托换桥梁的变形采用顶升装置(液压千斤顶)和自动化监测设备进行动态调控。

3) 托换过程的监测体系。配备自动化实时高精度监测系统。顶升时采用 JTM-U8800A 型磁致式静力水准仪、JTM-U6000I 型固定式倾斜仪、静态应变测试系统、裂缝观测仪、电子位移计等进行测试,利用计算机进行数据分析处理,并辅以人工持续监测。

4) 截桩和顶升工艺的同步协调。通过监测信息化指导截桩和顶升施工,使被托换桥墩的上抬值不超过 1 mm,沉降值不大于 3 mm。被托换桩切口深度不超过 100 mm,断口高度控制在 300 ~ 500 mm 范围内。

5) 其他关键工序施工要点。① 通过调整混凝土级配,加强振捣,确保结构连接点处混凝土密实度。② 严格控制混凝土入模温度及配合比,防止托换梁结构开裂。③ 顶升截桩前,通过预顶验证托换结构的受力状况,使托换体系处于受控状态。④ 顶升过程,设计提供的顶升力作为参考值,顶升位移(即监测数据)为主控因素,顶升力与桥梁体、墩柱的原始标高及顶升位移值互为控制因素。⑤ 托换梁与桩帽连接位置采用比托换桩梁砼标号高一等级的微膨胀混凝土,通过注入改性环氧树脂改善后浇结构的填充效果。

2.2 盾构穿越磨桩技术

2.2.1 风险预测

1) 刀盘扭矩较大,推进困难。在磨桩过程中,地下水易渗入土仓,碎石堆积难以排出土仓,且钢筋容易缠绕刀盘,推进困难。

2) 螺旋机出土困难且被卡住,破除钢筋进入螺旋机,易引起螺旋机卡死或发生喷涌。

3) 地面沉降控制困难,掘进出土控制困难,如盾尾补充浆液填充不及时,导致地表沉降难以控制。

4) 盾构姿态控制困难,地层为上软下硬,侧穿桩基时左硬右软,盾构姿态控制困难。

2.2.2 盾构机关键系统配置

1) 选择辐条面板式复合刀盘。到达磨桩区域

前开仓换刀,提高刀具磨桩切削效率。

2) 采用双闸门螺旋输送机。可以有效控制喷涌现象并保证大块物料顺利通过螺旋机,降低螺旋机卡死几率;配备带蓄能器的液压控制系统,紧急停电时可自动关闭螺旋机闸门;输送机护筒两侧预留观察口,以便检查维护。

3) 配备单管单泵注入式泡沫发生系统,使渣土得到充分改良和排出流畅。

4) 配置膨润土系统。如遇盾构机突然停机,可通过注入高浓度发酵膨润土,确保土舱压力稳定;必要时,可形成膨润土泥膜,实现带压进仓。

5) 配备双液注浆系统,通过同步双液二次注浆,快速封环止水,稳定拼装管片。

2.2.3 磨桩前施工准备

1) 掌握桩基的详细信息以及与隧道的关系。

2) 明确磨桩里程及盾构机侧穿桩基时的最佳盾构姿态。

3) 对盾构机及相关设备进行全面检修,确保磨桩持续稳定进行。

4) 做好带压开仓的所有准备工作。

2.2.4 磨桩施工过程控制

1) 参数设定:① 土仓压力 0.14 ~ 0.17 MPa;② 推力 10 000 ~ 12 000 kN,速度 10 ~ 15 mm/min;③ 刀盘扭矩 1.6 ~ 2.5 MN · m,刀盘转速 1.2 r/min;④ 螺旋机扭矩 5.0 ~ 5.8 kN · m,转速 4 ~ 7 r/min;⑤ 同步注浆 6 m³/环,注浆压力 0.22 ~ 0.25 MPa,注浆流量 55 ~ 65 L/min;⑥ 泡沫浓度 1.5%,发泡率 8 ~ 11,泡沫流量 100 ~ 150 mL/min,泡沫用量 60 ~ 80 L/环;⑦ 盾构机姿态控制,水平前点 + 20 ~ + 30,后点 + 30 ~ + 40,垂直姿态根据管片姿态确定;⑧ 盾尾密封油脂,压力 1.6 ~ 2.0 MPa,每环用量 70 kg 左右;⑨ 出土量控制在 60 m³/环。

2) 推进控制:① 磨桩过程中严格控制盾构机各项参数,特别在离桩 5 m 处尽可能控制推力与掘进速度相匹配;② 盾构机侧穿桩基时,磨桩前控制姿态尽量远离桩基,盾构机正穿桩基后,保持盾构机姿态,防止残桩干涉盾壳;③ 渣土过稀或出现喷涌时,使用聚合型泡沫及高浓度发酵膨润土进行渣土改良;④ 速度低于 5 mm 且必要时,通过盾体径向孔注入高浓度发酵膨润土,确保地面沉降稳定。

3) 注浆控制:① 通过同步注浆使管片壁后空隙填充密实,注浆压力略大于土体压力和地层水压,保持注浆压力稳定,盾构机穿越桩基后,通过二

次双液注浆加固桩侧土体;② 安排专人管控注浆过程,避免凝固堵管,交接班或停机时间过久,必须用膨润土清洗管路;③ 通过二次封环注浆有效控制管片上浮,保证地面建(构)筑物的稳定。

2.2.5 地面监测控制

地面监测是盾构推进的重要依据,须及时反馈相关讯息,并建立应急反应机制,制定风险应对措施。盾构磨桩前、后 20 m 范围内每天监测 1~2 次,前、后 50 m 范围内每 2 天监测 1 次,前、后 50 m 外每周监测 1 次,当沉降或隆起超过规定限值($-30/+10$ mm)或变化异常时,加大监测频率和范围。盾构机通过 20 m 后,如测点沉降变化仍较大,则每天监测 2 次,日沉降小于 2 mm 后,每天监测 1 次,连续监测 1 周。沉降基本稳定后,每两天监测 1 次,连续监测 1 个月,直到沉降稳定。

2.3 模拟分析的有效性

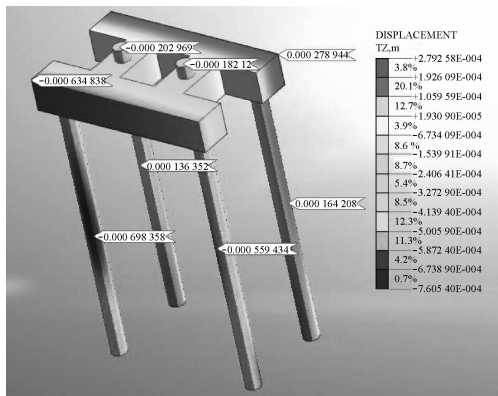
为了更好地体现其后期安全性,应用 MIDAS GTX NX 软件,对盾构区间隧道下穿桩基托换体系被托换梁及托换桩沉降监测进行数值建模分析,如图 3 所示。

如图 3 所示,开挖过程中桩基托换系统竖向位移相对较小,但明显呈现不均匀沉降趋势。即盾构一侧的托换梁和托换桩呈下沉趋势,远离盾构一侧呈略微隆起趋势,并且随着盾构掘进,零位移线略微倾斜。盾构过程中前部托换桩下沉最大值约为 1.4 mm,后部最大隆起约 0.2 mm,前部托换梁下沉最大值约为 1.3 mm,后部最大隆起约为 0.28 mm,各项监测数据均在控制值范围内。因此,盾构掘进对托换梁及托换桩影响较小。

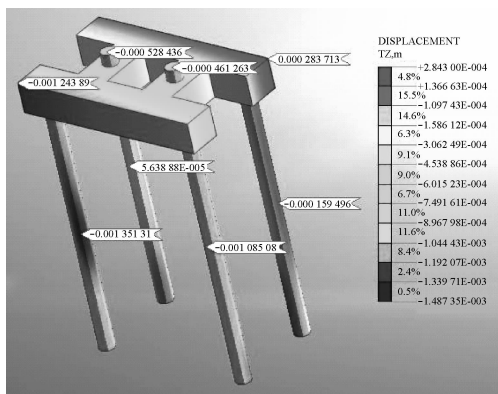
由图 4 可见:被托换桩沉降情况类似托换梁附近地表沉降,穿越桩基托换区域 1~10 环时每环沉降值较大,掘进至 15 环时累积沉降值最大,达到 0.67 mm;随着盾构的继续推进,地表沉降值略有反弹,这是由于开挖完成后,土体自重减少引起土体竖向卸荷,造成土体沉降回弹;建模分析得出的模拟值与实测值成相同趋势变化,且变化值相近。

3 现场应用效果分析

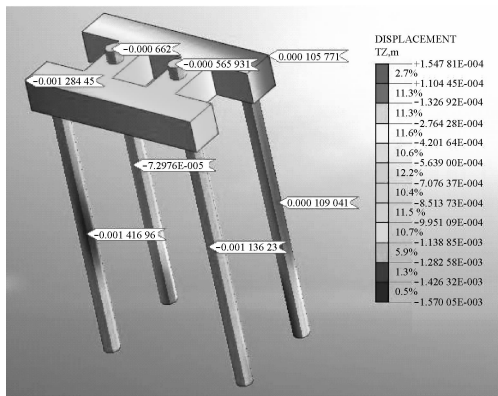
大观南路跨线桥、东环高架桥的托换基坑围护结构及土体加固于 2017 年 1—4 月完成,托换结构于 2017 年 5—7 月完成,2017 年 9 月全部完成 5 处桩梁主动托换、1 处被动托换,盾构左右线先后于 2017 年 6 月、2017 年 9 月顺利磨桩穿越。整个施工



a) 开挖第 5 环管片时



b) 开挖第 10 环管片时



c) 开挖第 15 环管片时

图 3 开挖各环管片时重力方向(Z)位移

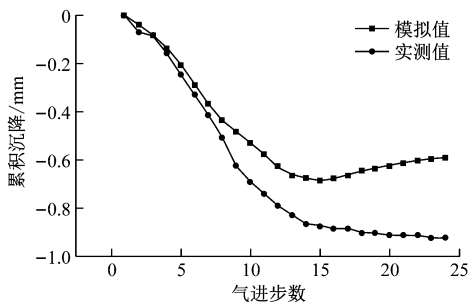


图 4 被托换桩掘进沉降

过程以信息化监测为重要手段,实施动态跟踪控制,监测数据变化分析曲线如下:

1) 整个托换过程中,桥墩沉降与倾斜变形累计量均不超过 1.0 mm,如图 5 和图 6 所示,说明在此类施工条件下,采用本托换方案能有效控制桥梁变形。

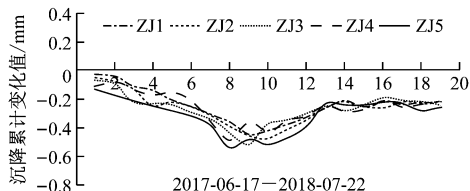


图5 桩基托换桥墩沉降监测变化曲线

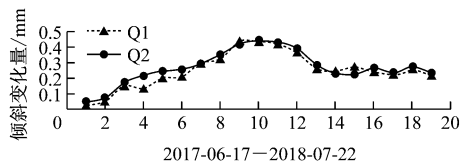


图6 桩基托换桥墩倾斜监测变化曲线

2) 盾构破桩前,托换体系已完成转换且按要求完成覆土回填,保证了盾构破桩时的土仓压力。破桩期间,被托换桥墩无异常,地面沉降累计量均不超过 10 mm,如图 7 所示,表明桥桩托换后盾构破桩通过对地层扰动小。

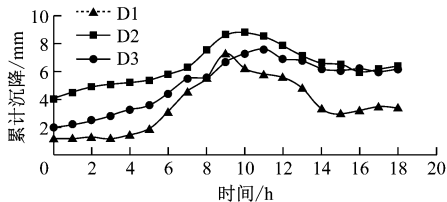


图7 盾构磨桩过程地面沉降变化曲线

4 结语

主动托换、被动托换和盾构磨桩相结合的工艺,成功解决了盾构下穿高风险连续梁桥多柱刚构墩桩基的施工难题,丰富了地铁盾构处理盾前障碍物施工技术的空白,具有一定的示范意义。通过建模分析模拟施工方法可行,桩基实测沉降变形与模拟结果变化趋势相同且量值相近,建模分析为托换施工提供了有效的先期参考,其自动化施工监测系统,使变形监测有效可控,弥补了人工监测的弊端。盾构破桩施工技术打破了常规的施工思路,刀盘设计是磨桩的关键,既要考虑磨除混凝土与钢筋,同时也要避免刀盘结泥饼影响正常推进,本次盾构机刀盘设置合理,满足了掘进需求。本施工技术经工程验证安全有效。

参考文献

- [1] 吴梦军,李科,刘元雪.隧道基坑穿越建筑桩基保护方案探讨[J].地下空间与工程学报,2016(增刊1):312.
- [2] 宋虎,周虎,喻青儒.地铁车站开挖对桥梁托换桩基变形的影响研究[J].中外公路,2018(1):156.
- [3] 王海涛,张渊源,安禹时,等.钢管桩托换技术在既有建筑地下室改造中的应用[J].施工技术,2016(16):57.
- [4] 宋军.浅埋暗挖隧道下穿建筑物桩基托换施工技术[D].长沙:中南大学,2013.
- [5] 唐新权.地铁区间隧道下穿桥梁大轴力桩基托换设计与施工[J].铁道标准设计,2016(1):87.

(收稿日期:2018-11-26)

中国城市轨道交通协会专家走访深信服公司 共商智慧城轨网络安全大计

近日,中国城市轨道交通协会专家和学术委员会副主任李中浩、中国城市轨道交通协会信息化专业委员会副主任邢智明一行走访深信服公司(其主营业务是为企业级用户提供信息安全、云计算和IT基础架构,在中国信息安全市场具有较明显的领先优势——编者注),就“智慧城轨网络安全”规范落地、实践等问题,与深信服科技副总裁陈山、大企业事业部总经理黄亮亮、大企业事业部解决方案总监马涛等人展开深度探讨。李中浩表示:“以往城轨行业对网络安全重视程度不高,已经开通运营的线路大部分在规划建设初期没有考虑到网络安全,随着《网络安全法》《网络安全等级保护2.0》等一系列法律、政策的实施,网络安全已经上升到国家战略的高度,加之新基建的启动,以及《交通强国建设纲要》和《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》的发布,城轨企业加速向数字化、智能化、智慧化转型,网络安全理念的落地对城轨行业来说至关重要,任重而道远。”邢智明表示:“深信服是一家创新能力强、安全积累深的网络安全及云计算企业,但目前还是城市轨道交通行业的一名新兵,希望深信服能够凭借在网络安全行业和云计算等领域的优势积累,在智慧城轨的建设、发展中发挥更大作用。”

(摘自2020年8月19日环京津网)