

盾构隧道近距离下穿立交桥施工影响分析及控制

周群立¹ 张有桔²

(1. 合肥城市轨道交通有限公司, 230001, 合肥; 2. 安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司, 230088, 合肥/第一作者, 高级工程师)

摘要 以合肥轨道交通2号线青阳路站—西园路站盾构区间下穿五里墩立交桥为工程背景,通过盾构施工时的地层-桩基变形分析和全桥上部结构受力及变形分析,提出了适合本工程盾构施工时的地层损失率控制指标、桥梁基础差异沉降控制指标,以及穿越施工时的针对性保护措施,保证了该工程的顺利实施,也为合肥轨道交通建设积累了重要经验。

关键词 城市轨道交通; 盾构隧道; 下穿立交桥; 施工影响; 沉降控制

中图分类号 TU433

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.05.010

Impact Analysis and Control of Shield Tunnel Crossing under Flyover at Close Range

ZHOU Qunli, ZHANG Youjie

Abstract Taking the shield tunnel section between Qingyang Road Station and Xiyuan Road Station on Hefei rail transit Line 2 as the engineering background, which crosses under the Wulidun Flyover at close range, and through analyzing the stratum-pile deformation, the stress and deformation of the upper bridge structure during shield construction, the control indexes of formation loss rate and bridge foundation differential settlement suitable for the project, the targeted protection measures during the shield tunneling crossing under the bridge are proposed. These measures ensure the smooth implementation of the project, and accumulate important experiences for the construction of urban rail transit in Hefei City.

Key words urban rail transit; shield tunnel; cross under flyover; construction impact; settlement control

First-author's address Hefei Urban Rail Transit Co., Ltd., 230001, Hefei, China

合肥市轨道交通1、2号线已经建成通车,目前还有4条线路在建。在建设过程中,盾构区间有多处近距离穿越桥梁情况。盾构施工会引起桥梁基础沉降,从而对上部桥梁结构产生附加内力。

在已施工的合肥轨道交通1~3号线中,盾构区间穿越了长江西路高架桥、阜阳路高架桥、铜陵北路高架桥、南淝河桥、四里河桥、二十埠河桥等。针对这些穿越工程,虽然提出了一系列的沉降控制指标,但是这些指标往往类比外地经验确定,缺乏针对合肥地质条件的严密的计算和论证^[1-4]。

本文在总结已建工程经验基础上,结合合肥市轨道交通2号线青阳路站—西园路站区间穿越五里墩立交桥的工程实际,通过对该桥的检测、计算分析预测,以及工后监测和计算分析综合判断,提出了相应的基础差异沉降控制指标和穿越立交桥施工保护措施,以确保桥梁维持健康状态,并为类似工程的设计、施工提供参考。

1 工程概况

1.1 工程地质和水文地质条件

区间主要穿越的地层<10-3>为中等风化泥质砂岩,浸水后手可掰开,其饱和极限抗压强度一般为0.79~3.80 MPa,极大值为7.70 MPa,属软岩~极软岩。区间上覆土层为<10-2>强风化泥质砂岩、<10-1>全风化泥质砂岩和<3-2>硬塑状黏土。

地下水主要为第四系孔隙水及基岩裂隙水。第四系孔隙水主要赋存于人工填土中,以上层滞水为主;基岩富水性及透水性均较弱,裂隙水总体贫乏,地下水总体不发育。

1.2 五里墩立交桥概述

五里墩立交桥是安徽省第一座城市互通立交桥,1996年建成投入使用,为合肥市重要交通枢纽桥梁。立交桥共有桥梁21座,地上三层、地下一层,分5个交叉道向四周辐射,解决了17个流向的交通。其上部为多跨连续箱梁结构,跨径20~25 m,支墩以单柱为主;下部采用直径1.2~1.5 m人工挖孔桩。

该立交桥建成后分别于2009年7月、2014年1

月经历了两次较大范围的维修补强工作。经过维修补强后,桥梁总体检测情况较好,使用状况评定等级为 B 级。

2 设计方案优化

合肥市长江路为安徽省第一路,是贯穿合肥市中心城区的重要交通通道。合肥轨道交通 2 号线沿长江路以地下方式敷设,青阳路站—西园路站道路北侧为解放军一〇五医院,南侧为安徽省武警消防总队、五里墩加油站及合肥市电信局等,经过反复论证,两侧地块均不具备区间下穿条件。

通过优化线路线形和埋深,保证了隧道与立交桥桩基空间上净距不小于 6 m(1 倍隧道直径)。优化后 2 号线青阳路站—西园路站区间线路为出青阳路站后,向东偏北方向沿长江西路敷设,下穿五里墩立交桥后进入西园路站。区间长 1 267.161 m,采用盾构法施工。平面上区间隧道主要侧穿立交桥 A3、A4 匝道,部分穿越 A1、A2、A6、B3、B4 匝道桩基,共计 142 根。纵断面上该穿越段区间隧道埋深约 22.8~27.2 m,洞身均位于<10-3>中等风化泥质砂岩中;立交桥桩基底部埋深 17.2~20.2 m,桩端亦位于<10-3>层(见图 1~2)。

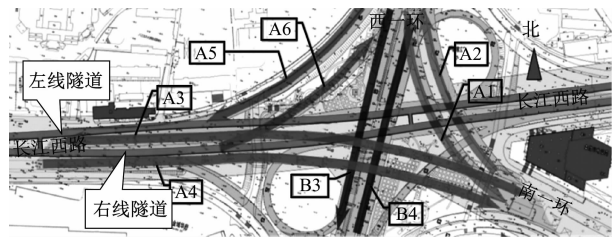
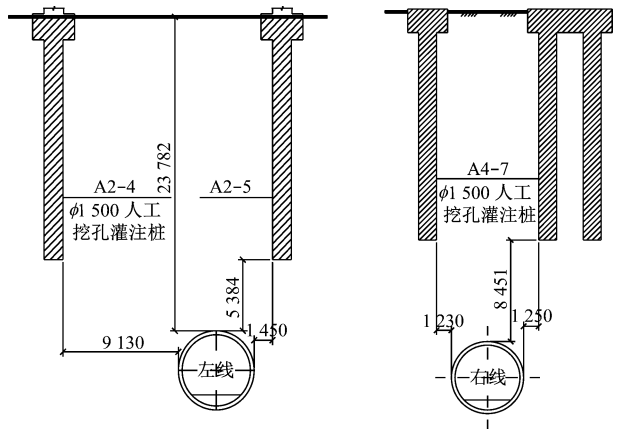


图 1 区间与五里墩立交桥平面关系图

该区间穿越如此大量桩基的案例全国罕见,尤

其对东西走向的 A3、A4 匝道多处桩基接近正下穿,风险较高。



尺寸单位:mm
图 2 区间与立交桥典型剖面关系图

3 基础差异沉降控制指标确定

通过前期资料调研,虽然国内外行业标准或地方规定对基础差异沉降控制有建议指标,但五里墩立交桥结构复杂,运营时间长达 20 余年,为确保桥梁安全,对该桥进行了有针对性的详细论证。

3.1 基础差异沉降及全桥结构分析

本文结合工程实际,并参考类似工程案例的数值分析方法^[5-6],考虑隧道与桥桩净距、桥梁基础、桥梁上部结构形式和跨度的不同,首先选取 6 种典型工况(见表 1)。每种工况按照 3‰地层损失率(结合合肥地区盾构隧道施工经验,在类似地层中推进时,地表沉降大约为 2~5 mm,对应的地层损失率大约为 3‰)计算盾构施工引起的桩基变形。典型桩基变形分析模型如图 3 所示。

表 1 工况统计表

工况	工况简介	受影响桩号	隧道与桩基竖直净距/m	隧道与桩基水平净距/m	桩长/m	隧道拱顶覆土/m
工况 1	隧道与桥桩净距 6~9 m	A2-4~6	5.38	1.45	18.5	23.8
工况 2	隧道正下穿桥桩	A6-3	6.11	-0.45	20.0	26.3
工况 3	隧道与桥桩净距 >12 m	A3-10	10.16	1.96	18.4	28.6
工况 4	隧道与桥桩水平净距 12 m	A6-4	6.07	11.30	20.0	26.7
工况 5	隧道与桥桩净距 4~6 m	B4-9	9.03	4.05	16.0	25.7
工况 6	隧道下穿浅基础	A3-4 扩展浅基础	24.03			25.5

由于五里墩立交为合肥市主城区内重要的交通枢纽,盾构穿越施工期间只能采取分期封闭方案。通过对全桥结构在有交通通行和无交通通行

两种工况的受力和变形分析,以裂缝宽度和正截面抗弯承载力作为控制指标,确定桩基能够承受不均匀沉降量。

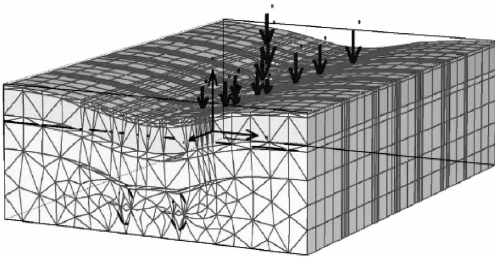


图3 典型桩基变形分析模型(A4、A6 匝道)

全桥分析中采用3条假定:①将6 cm 的混凝土桥面铺装当作结构层参与结构共同受力,不考虑植入钢筋的作用;②将箱梁底板粘贴的钢板的一半转化为钢筋考虑;③在盾构施工前,桥梁基础已产生3 mm 的不均匀沉降。计算结果见图4。

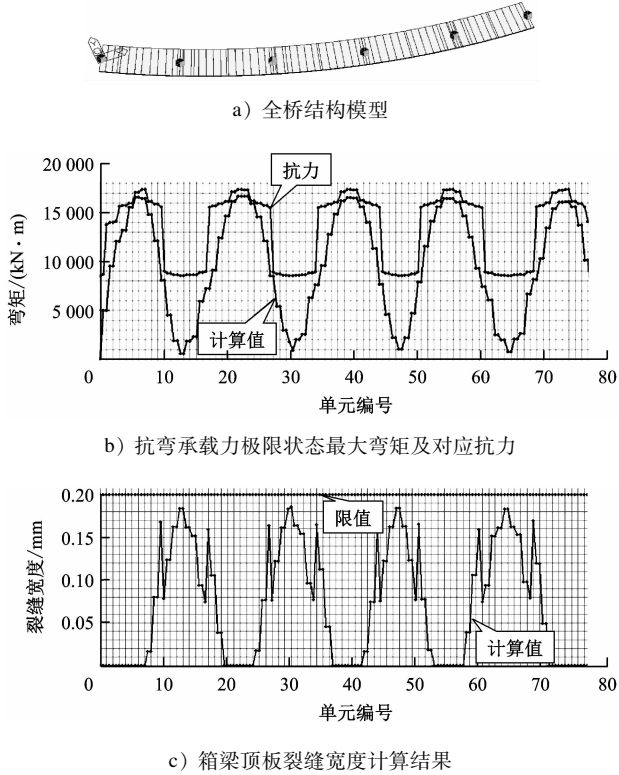


图4 典型全桥结构分析(A2 匝道)

3.2 基础差异沉降量控制指标

通过对各匝道桥跨结构受力现状分析可知,不封闭匝道交通情况下,施工影响范围内匝道上部结构承载力有一定富余量,但部分匝道主梁裂缝宽度接近或超出规范要求。因此,盾构穿越施工期间采取分期封闭交通措施,控制上部结构裂缝宽度在0.2 mm以内,以保证桥梁安全。

通过对各匝道基础沉降量的分析,提出各匝道在封闭交通情况下基础沉降量的控制指标,如表2所示。

表2 封闭交通情况下匝道不均匀沉降控制指标 mm

匝道	裂缝宽度控制			承载能力控制		
	控制值	报警值	预警值	控制值	报警值	预警值
A3	5	4.0	3.0	10	8.0	6.0
A4	4	3.2	2.4	9	7.2	5.4
A1	6	4.8	3.6	12	9.6	7.2
A2	8	6.4	4.8	14	11.2	8.4
A6	7	5.6	4.2	12	9.6	7.2
B3 B4	5	4.0	3.0	11	8.8	6.6

4 穿越立交桥施工保护措施

施工期间,合理控制盾构掘进参数,并采取以下保护措施:

(1) 盾构施工过程中采取实时监控措施,信息化施工,并根据监测结果指导施工,合理调整盾构推进参数,确保桥梁基础各项控制指标在限值范围内。

(2) 穿越前对盾构机械进行检修,避免中间停机、漏浆或注浆系统堵管等情况发生,保证盾构能够连续匀速推进。

(3) 盾构穿越五里墩立交之前,先试推进200 m 试验段,以确定盾构穿越时各项施工参数:①采用0.10~0.11 MPa 的小土压进行掘进,在掘进完成后,采用0.13~0.15 MPa 的大土压进行保压,有效加快施工进度,控制地层损失率;②增加膨润土和水泥掺入量,提高同步注浆浆液凝固后的强度,增加浆液的润滑度,有效减少注浆管路堵塞的次数;③将二次注浆点选在隧道顶部,快速填实管片上部间隙,有效抑制管片上浮;④做好跟踪测量,坚持每环测量法面和盾尾间隙,每日测一次倒九环管片上浮量,每20 环进行一次管片断面测量,确保盾构姿态处于可控状态,盾构按设计轴线平稳掘进。

(4) 在盾构穿越立交桩基段,除确保同步注浆外,在脱出盾尾的第4~6 环起,通过管片中部的注浆孔进行二次补注浆,且对于距离较小的匝道,采用每隔一环增设注浆孔的管片,有效控制土体的工后沉降。

(5) 墩柱穿越区域均安排在晚间掘进,采取夜间分阶段封闭方案,尽可能减小施工期间荷载并降低对交通通行的影响,盾构掘进至距离影响的桩基约20 环时先进行限流管控,掘进至相应桥墩时进行

匝道临时封闭施工。

(6) 对于部分风险较大的桥墩,采取在支座处安装顶升设备(见图 5)、加垫钢板的方式;对不具备安放千斤顶的墩柱,在墩柱两侧安装钢管支架,支架顶端安装型钢工作平台,控制上部结构不均匀沉降差值,进而改善上部结构的受力状态。



图 5 支座下预先安装顶升设备

5 穿越后实测数据分析

盾构穿越施工结束后,桥墩桩基稳定的沉降监测数据及桥梁结构状态如表 3 所示。

表 3 匝道桥墩最终沉降实测数据

匝道	实测值/mm	墩号	桥梁结构状态
A3	-0.1 ~ -4.0	0 ~ 24	最大裂缝 < 0.2 mm, 承载能力满足要求
A4	+2.7 ~ -2.3	0 ~ 14	
A1	-0.1 ~ -3.7	3 ~ 6	
A2	0 ~ -1.4	4 ~ 6	
A6	+0.8 ~ -2.9	1 ~ 4	
B3	+1.5 ~ -2.5	3 ~ 6	
B4	+0.1 ~ -3.1	8 ~ 10	

注:“+”表示隆起,“-”表示沉降

对比第 3.2 节提出的控制指标可知,盾构穿越施工引起的桥墩不均匀沉降均在可控范围内。通过全桥结构验算,桥梁结构处于健康状态,满足现行规范相关要求。

6 结论

本工程的顺利实施为合肥市轨道交通建设积累了宝贵经验,将更好地指导后续线路中盾构区间穿越类似桥梁工程的设计与施工。主要结论如下:

(1) 根据三维数值分析所提出的盾构推进过程中地层损失率的控制指标和五里墩立交桥基础差异沉降控制指标是满足实际施工和桥梁安全要求的。

(2) 本文的分析思路,采用的计算模型、参数、工况基本符合盾构施工实际情况,可用来指导设计和施工。

(3) 所提出的一系列施工保护和控制措施是有效的,成功保证了盾构穿越立交桥的施工。

参考文献

[1] 姚西平,宫全美,陈长江,等.盾构隧道侧穿高铁桥梁桩基的影响分析与措施[J].隧道建设,2014,34(增刊1):159.

[2] 付静.地铁盾构侧穿桥桩基施工技术[J].石家庄铁道学院学报(自然科学版),2009,22(4):95.

[3] 陈江,陈思明,傅金阳,等.盾构侧穿邻近桥桩施工影响及加固措施研究[J].公路交通科技,2016,33(7):97.

[4] 国家铁路局.公路与市政工程中穿高速铁路技术规程:TB 10182—2017[S].北京:中国铁道出版社,2017.

[5] 兰宇,方勇,段绍和,等.地铁盾构隧道侧穿锦江大桥施工的三维数值模拟[J].铁道工程学报,2009,26(3):79.

[6] 杨超,黄茂松,刘明蕴.隧道施工对临近桩基影响的三维数值分析[J].岩土力学与工程学报,2007,26(增刊1):2601.

(收稿日期:2018-08-13)

陆海新通道连接“一带”和“一路”

4月23日,一列满载东南亚水果的冷链班列从广西防城港出发,直接开往四川广安。70多个小时抵达目的地后,这些水果一部分将直接分拨到重庆、成都等市场,另一部分则将在加工后转卖到全国各地。陆海新通道正式开通于2017年9月,是中国西部地区与东盟国家合作建设的国际贸易物流大通道,涵盖国际铁路联运、跨境公路运输、国际铁路联运等多种方式,是连接“一带”和“一路”的重要纽带。作为西部经济龙头,四川与东盟的经贸往来日益频繁,东盟已跃居四川第二大贸易伙伴。但作为内陆省份,物流不畅一直是四川开放发展的主要瓶颈之一。长期以来,化工品、药品、家具等川货出海主要依靠东部沿海港口转运,物流周期相当长。现在,陆海新通道以最近距离和最快速度,成为包括四川在内的中国西部地区通达南向国家乃至世界市场的大通道。以从成都到越南海防港为例,如果按传统向东,以江海联运走上海港,需要25天左右;如果向南,以铁海联运走广西钦州港,只需要7天左右,时间成本大幅节约。

(摘自新华社成都2019年4月24日电,记者胡旭报道)