

人行天桥近接施工对既有地铁隧道结构的影响分析

梁浩杰, 陈相宇, 韦锦呈

(佛山轨道交通设计研究院有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要: 为研究桥梁施工对临近地铁隧道结构的影响,以某人行天桥工程为背景,通过三维数值模拟计算,分析桥梁施工全过程中上部结构分块吊装及不同施工顺序工况下,临近地铁隧道结构位移的变化规律。结果表明:桥梁近接施工引起的既有地铁隧道结构水平位移显著大于竖向位移,采用上部结构分块吊装的桥梁施工方案,可有效降低对邻近既有隧道结构的影响,隧道水平位移及竖向位移可控制在规范要求的10 mm预警值以内,且先实施靠近隧道侧的梁段时隧道结构位移值最小。基于分析结果,提出采用全套筒回转钻机施工桩基,先实施靠近隧道侧的梁段结构,施工期间加强对隧道结构的水平位移监测等有效控制隧道结构位移的工程建议,为后续类似邻铁桥梁设计、施工与监测提供理论依据与工程参考。

关键词: 人行天桥;地铁隧道;近接施工;影响分析;位移控制

中图分类号: U445; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)09-0357-05

Analysis on Influence of Adjacent Footbridge Construction on Existing Subway Tunnel Structures

LIANG Haojie, CHEN Xiangyu, WEI Jincheng

(Foshan Rail Transit Design and Research Institute Co., Ltd., Foshan 528000, China)

Abstract: To study the impact of bridge construction on adjacent subway tunnel structures, taking a footbridge project as the background, and through three-dimension numerical simulation and calculation, the variation law of the structural displacement of the adjacent metro tunnel under the conditions of segmental hoisting of the superstructure and different construction sequences throughout the bridge construction process is analyzed. The results indicate that the horizontal displacement of the existing subway tunnel structure caused by adjacent bridge construction is significantly greater than the vertical displacement. The construction scheme of segmental hoisting of the superstructure is used able to effectively reduce the impact on the existing adjacent tunnel structure. Both the horizontal and vertical displacements of the tunnel can be controlled within the 10 mm warning value specified in the code, and when the beam section close to the tunnel side is implemented first, the displacement value of the tunnel structure is the smallest. Based on the analysis results, it is proposed to adopt the full-sleeve rotary drilling rig for pile foundation construction. The beam section structure close to the tunnel side is firstly implemented. During the construction period, the engineering suggestions are provided for effectively controlling the displacement of tunnel structures, such as strengthening the monitoring of horizontal displacement of tunnel structures, which provides the theoretical basis and engineering reference for the subsequent design, construction and monitoring of similar bridges adjacent to railways.

Keywords: footbridge; subway tunnel; adjacent construction; impact analysis; displacement control

0 引言

随着我国城镇化建设的不断推进,地铁线路日趋规模化,城市人行天桥临近地铁隧道施工的情况

愈发常见,天桥施工对临近区间隧道的影响问题也越来越突出。桩基施工及上部结构施工期间地面超载会使地层产生变形及附加应力,从而引起隧道结构产生附加位移及内力变化,引发隧道结构产生错台、变形过大及渗漏水破坏等病害,甚至危害地铁隧道的正常使用。

闫静雅等^[1]采用平面应变有限元法分析了建筑桩基荷载对既有隧道的变形及受力影响,并研究了

收稿日期: 2026-02-10

作者简介: 梁浩杰(1982—),男,本科,高级工程师,从事市政路桥设计施工管理工作。

通信作者: 陈相宇(1987—),男,硕士,高级工程师,从事隧道及地下工程设计及研究工作。电子信箱: chenxyu21@163.com

桩群参数变化对既有隧道的影响;路平等^[2]分析了单个及多个承台桩基叠加效应对既有隧道的影响规律,并提出变形控制措施;张戈^[3]基于桥桩试桩监测数据及数值分析结果,认为安装钢套筒是控制地铁变形的有效措施,减小桩径、增大桩-隧净距可降低桩基施工对隧道的影响;丁智等^[4]以桩-土作用为研究对象,根据数值计算结果,认为桩基侧面施工引起隧道变形较大,桩基半径增大将加剧隧道结构变形,浅埋隧道受扰动变形影响大;徐涛等^[5]采用数值软件计算了立交桥桩基施工对未施工二衬隧道结构的影响规律,并提出隧道结构保护措施;张玉伟等^[6]基于离心浸水试验结果,认为土层浸水将降低其承载力,加剧桩-隧荷载传递作用,浸水深度对隧道位移的影响弱于桩端荷载和桩距比;郭力等^[7]研究了新建桥梁桩基对既有隧道及周边地层的变形影响规律;靳军伟等^[8]进行了桩-土-隧道体系影响因素分析,认为桩-隧间距、桩长、桩-土摩擦因素及土体弹性模量对隧道位移影响较大,隧道弹性模量对其位移响应影响较小;赵焕等^[9]基于数值计算结果,认为钢套管能有效控制隧道变形,桩-隧净距增大将削弱桥桩施工对隧道的影响,桩基半径增大对隧道结构的影响也随之增加;王洪德等^[10]研究了桩基施工荷载与列车振动荷载耦合作用下隧道应力分布及振动响应规律;尚继科等^[11]认为天桥桩基施工、上部结构施工阶段隧道结构内力及位移变化明显,成桥运营阶段隧道结构内力及位移变化较小;陈福江等^[12]采用有限元计算软件分析挤土桩施工产生的冲击荷载对临近既有隧道结构的振动影响,并开展模型试验验证和现场监测工作;方万进^[13]采用数值软件计算桥桩施工及局部河涌拓宽施工对隧道结构的影响,并分析钢护筒跟进施工对隧道结构影响的控制情况;刘俊玲等^[14]采用有限元分析软件计算初始地应力、桩基施工、成桥运营3个阶段隧道结构的变形响应;关国轻^[15]依托实际工作,以接触算法为依据,采用数值软件建立非连续模型研究桩基施工与受荷承载对既有隧道结构的影响。

综上所述,现有研究主要采用数值软件或模型试验,对天桥上部结构一次成桥作用下桩基荷载对既有隧道的影响进行分析,在邻近既有隧道分块吊装天桥上部结构及施工顺序对隧道结构位移影响方面的研究并不多见。本文基于佛山市某人行天桥工程实际案例,通过数值分析研究天桥上部结构分块吊装施工工况下,邻近既有隧道结构位移变化规律,

为类似工程提供技术参考。

1 工程概况

1.1 桥梁设计方案

新建人行天桥工程位于佛山市顺德区,所处道路为东西走向城市主干道,双向8车道(见图1),既有地铁线区间隧道从其正下方穿过。



图1 新建人行天桥鸟瞰图

新建人行天桥呈X形,主跨55.13 m,中间不设墩,上部结构采用钢箱梁,梁高1.8 m,设置4个钢平台连接梯道,天桥四端设8个梯道,梯道通过牛腿与天桥桥面接顺;下部结构主桥主墩采用钢筋混凝土花瓶墩,平台墩采用钢筋混凝土柱式墩,梯道采用钢柱式墩。

天桥基础采用摩擦端承桩,桩基入中风化岩层不小于3 m。每个主桥主墩配4根D120 cm钻孔灌注桩,每个主桥平台墩设1根D120 cm钻孔灌注桩,每个梯道墩设1根D100 cm钻孔灌注桩。主桥主墩构造见图2。

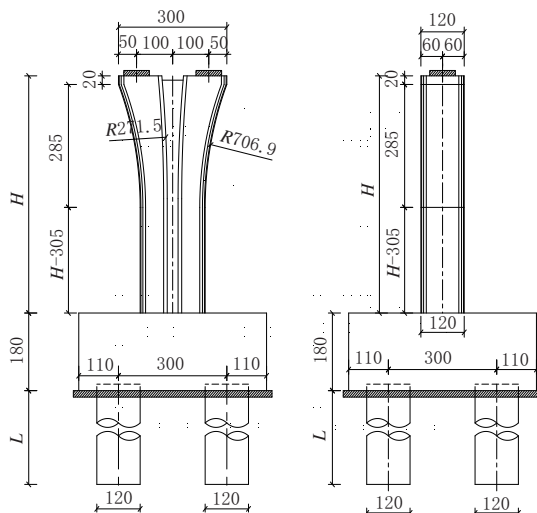


图2 主桥主墩构造图(单位:cm)

1.2 地铁隧道概况

邻近既有地铁区间隧道沿市政道路东西向敷设,两端车站均为地下两层站(见图3)。隧道衬砌采

轮廓外扩不小于30 m,三维有限元模型尺寸为200 m×120 m×60 m。上表面为自由面,四周边界面约束法向位移,底部约束竖向及水平向位移,同时对天桥桩基施工绕Z轴旋转约束。模型共划分为4个土层,岩土体物理力学计算参数见表1。

表1 岩土体物理力学计算参数表				
编号	岩土层名称	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
1	素填土	16.7	10	8
2	淤泥质土	16.6	6	4
3	强风化泥质粉砂	19.9	31.3	18.5
4	中风化泥质粉砂岩	25.8	180	32

模型岩土体采用三维实体模型,摩尔-库伦本构模型;盾构隧道管片、管廊采用二维板单元,桥梁承台、墩柱采用三维实体单元,桩基础采用梁单元,弹性本构模型。作用在模型表面上的超载值根据施工分区上的施工机械设备及吊装结构重量取值。模型材料参数见表2。

表2 模型材料参数表				
项目名称	材料	弹性模量 E/GPa	泊松比	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$
隧道管片	C50混凝土	34.5	0.2	2 500
天桥承台	C35混凝土	31.5	0.2	2 500
天桥墩柱	C40混凝土	32.5	0.2	2 500
管廊结构	C40混凝土	32.5	0.2	2 500
天桥桩基	C30混凝土	30	0.2	2 500
钢板桩	钢材	206	0.25	7 860

3.2 计算模型

根据人行天桥专项施工方案,人行天桥共分为9块、4个施工步进行吊装施工(见图8)。根据实际施工步骤,本数值分析模型共划分了10个计算步骤(见表3),三维数值分析模型见图9。

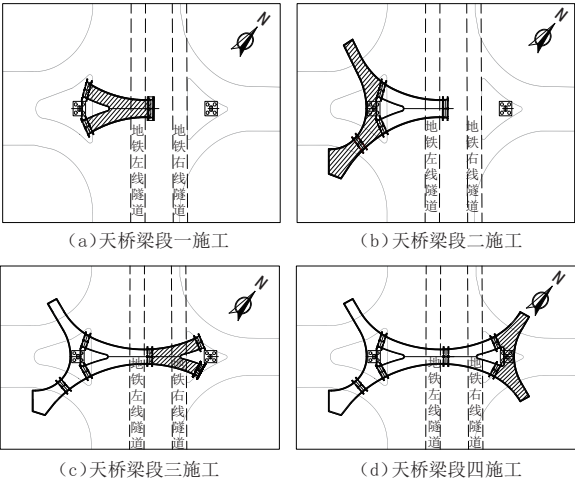


图8 人行天桥上部结构吊装步序图

3.3 计算结果

隧道结构水平X方向位移见图10,天桥桩基施

表3 有限元计算步骤

计算步骤	计算内容
1	初始地应力平衡(位移清零)
2	管廊结构施工(位移清零)
3	隧道施工(位移清零)
4	天桥桩基施工
5	天桥承台、墩柱施工
6	天桥2-1、2-2梁段施工
7	天桥1-1、1-2、1-3梁段施工
8	天桥2-3、2-4梁段施工
9	天桥3-1、3-2梁段施工
10	天桥成桥

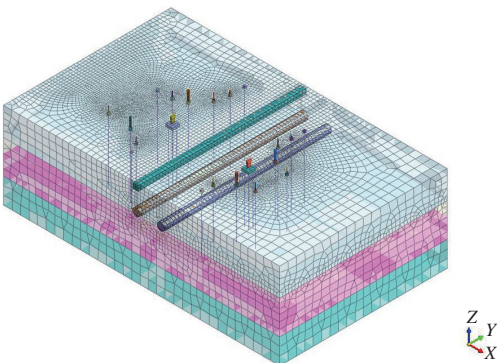


图9 三维计算模型

工时,隧道X向变形最大值约0.087 mm;天桥施工过程中,隧道最大X向位移发生在天桥1-1、1-2、1-3梁段吊装施工阶段,约为5.743 mm,见表4。

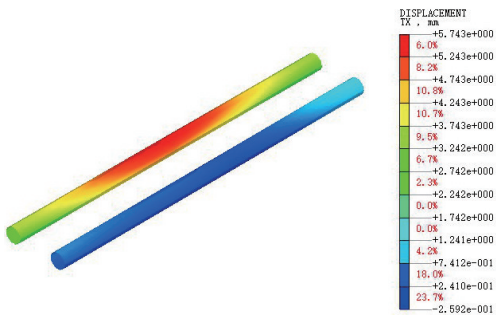


图10 隧道X向最大位移云图(单位:mm)

表4 各工序隧道结构水平位移值 单位:mm

序号	工序名称	水平位移值(X向)
1	天桥桩基施工	0.087
2	承台、墩柱施工	5.158
3	天桥2-1、2-2梁段施工	5.184
4	天桥1-1~1-3梁段施	5.743
5	天桥2-3、2-4梁段施工	5.549
6	天桥3-1、3-2梁段施工	5.446
7	天桥成桥	5.256

隧道结构竖向Z方向位移见图11,天桥桩基施工时,隧道Z向变形最大值约-0.210 mm;天桥施工过程中,隧道最大Z向位移发生在天桥3-1、3-2梁段吊装施工阶段,约为-1.839 mm。天桥施工荷载作用下,

隧道结构产生的 Z 向位移显著小于水平 X 向位移,见表 5。

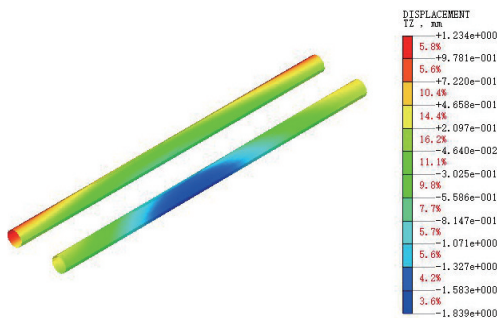


图 11 隧道 Z 向最大位移云图(单位:mm)

表 5 各工序隧道结构竖向位移值 单位:mm

序号	工序名称	竖向位移值(Z向)
1	天桥桩基施工	-0.210
2	承台、墩柱施工	-1.321
3	天桥 2-1、2-2 梁段施工	-1.409
4	天桥 1-1~1-3 梁段施	-1.429
5	天桥 2-3、2-4 梁段施工	-1.680
6	天桥 3-1、3-2 梁段施工	-1.839
7	天桥成桥	-1.474

3.4 控制标准

根据《城市轨道交通结构安全保护技术规范》(CJJ/T 202—2013)及《城市轨道交通既有结构保护技术规范》(DBJ/T 15-120—2017)(见表 6),本工程隧道结构的水平位移、竖向位移安全控制值取 15 mm,预警值取 10 mm。

表 6 既有地铁隧道结构位移安全控制值 单位:mm

依据规范	水平位移控制值	竖向位移控制值
CJJ/T 202—2013	20	20
DBJ/T 15-120—2017	15	15

根据数值计算结果,天桥分块吊装施工完成后,隧道结构 X 方向最大位移量 5.743 mm,Z 方向最大位移量-1.839 mm,均小于隧道结构水平、竖向位移安全控制值,满足规范要求。

4 施工步序影响分析

进一步研究隧道上方人行天桥施工过程中,上部梁段结构分段吊装顺序对隧道变形的敏感程度。对比分析工况见表 7。

人行天桥上部梁段分块在不同吊装工序下,隧道结构产生的最大位移见图 12、图 13。可知,先施工近隧道侧上部钢箱梁分块更有利于控制隧道结构水平 X 向位移;上部钢箱梁分块吊装顺序对隧道结构 Z 向位移基本无影响。

表 7 不同施工步序计算工况

计算工况	施工步序
1	梁段一、梁段二、梁段三、梁段四
2	梁段一、梁段三、梁段二、梁段四
3	梁段一、梁段三、梁段四、梁段二
4	梁段三、梁段四、梁段一、梁段二
5	梁段三、梁段一、梁段二、梁段四
6	梁段三、梁段一、梁段四、梁段二

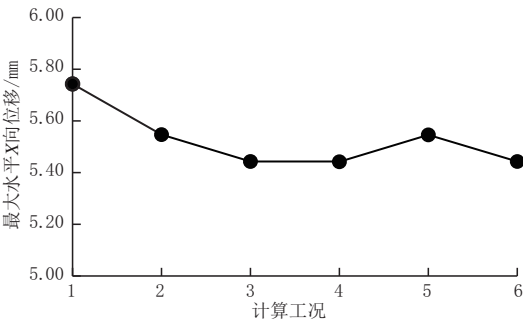


图 12 不同梁段吊装工序下隧道 X 向最大位移

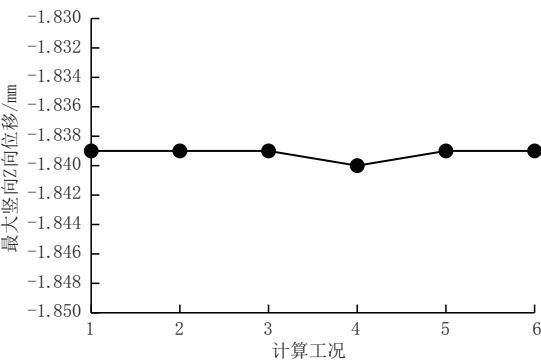


图 13 不同梁段吊装工序下隧道 Z 向最大位移

5 结 语

本文建立了三维有限元模型,分析了人行天桥近接施工对既有地铁隧道结构的影响。

(1)桥梁施工采取上部结构分块吊装施工方案,可有效控制对临近既有隧道结构的影响。天桥桩基及上部结构施工过程中,临近地铁隧道水平最大位移 5.743 mm,竖向最大位移-1.839 mm,小于预警值 10 mm 及安全控制值 15 mm,满足规范控制要求。

(2)桥梁近接施工引起的既有地铁隧道结构水平位移显著大于竖向位移,施工期间应加强对既有地铁隧道结构的水平位移监测。

(3)根据桥梁上部结构不同施工顺序对既有地铁隧道结构变形的影响分析结果,先实施靠近隧道侧的梁段结构,更有利于隧道水平位移的控制。

(4)桥梁近地铁隧道侧桩基施工,可采用全套筒回转钻机作业,减少对既有地铁隧道结构的不利影响。

(下转第 365 页)