

桥梁桩基对既有地铁隧道的影响分析

张 晖, 聂新民

(深圳市市政设计研究院有限公司, 广东 深圳 518029)

摘 要: 为评估桥梁桩基施工时对既有地铁隧道的潜在影响, 以坪山大道-东纵路路口跨河桥项目为例, 利用 Midas GTS NX 建立了包含土层、地铁隧道及桥梁桩基的三维有限元模型, 模拟了桩基施工全过程, 并分析其对地铁结构位移的影响, 结果表明: 桥梁桩基施工引起的隧道结构最大水平位移为 0.08 mm, 最大竖向位移为 1.08 mm, 满足地铁安全运营要求; 桥桩施工产生的土体卸荷耦合效应导致地铁结构上抬变形, 为此提出在临地铁侧桩基中采用全套管跟进施工工艺, 可有效降低桥梁桩基施工对地铁结构的影响; 同时在施工期间需加强对地铁结构实时监测, 以保证地铁安全运营。

关键词: 桥梁; 桩基; 地铁隧道; 隧道变形; 数值分析

中图分类号: U445; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0257-04

Analysis on Impact of Bridge Pile Foundations on Existing Subway Tunnels

ZHANG Hui, NIE Xinmin

(Shenzhen Municipal Design and Research Institute Co., Ltd., Shenzhen 518029, China)

Abstract: To evaluate the potential impact of bridge pile foundation construction on existing subway, taking the cross-river bridge project at the intersection of Pingshan Avenue and Dongzong Road as an example, Midas GTS NX is used to establish a three-dimensional finite element model containing soil layers, subway tunnels and bridge pile foundations, which simulates the entire process of pile foundation construction and analyze its influence on subway structure displacement. The results show that the maximum horizontal displacement of tunnel structure caused by bridge pile foundation construction is 0.08 mm, and the maximum vertical displacement is 1.08 mm, which meets the requirements of safe operation of the subway. The coupling effect of soil unloading caused by bridge pile construction leads to the uplift deformation of subway structure. Therefore, it is proposed to adopt the full casing follow-up construction technology in the pile foundation near the subway, which can effectively reduce the influence of bridge pile foundation construction on subway structure. At the same time, it is necessary to strengthen the real-time monitoring of the subway structure during the construction period to ensure the safe operation of the subway.

Keywords: bridge; pile foundation; subway tunnel; tunnel deformation; numerical analysis

0 引 言

随着城市化进程的加速, 交通需求的激增促使各大城市加快推进地铁和高架桥等基础设施的建设, 导致两者邻近施工的情况日益普遍^[1]。在此背景下, 桥梁桩基与地铁隧道之间的相互作用成为工程建设中亟需解决的关键问题^[2]。早期研究主要聚焦于新建地铁对既有桥梁桩基的影响^[3], 通过理论分析^[4]、模型试验^[5]、有限元模拟^[6]及施工监测数据^[7]等多种方法对此展开了深入探讨。然而, 随着

地铁网络和规模的扩大, 桥梁桩基施工对邻近地铁隧道的潜在影响逐渐成为研究热点^[8]。徐云福等^[9]通过试桩试验研究了桩基施工对地铁隧道的影响, 发现采用全套管钢护壁旋挖取土工艺结合动态信息化监测技术, 可有效降低施工风险并实现实时预警。吕宝伟^[10]通过数值模拟分析发现, 在桥梁上部结构施工时对地铁隧道的影响最大, 桩基施工时可采用钢护筒和地基注浆来减少对地铁的影响。谢春华^[11]通过构建某景观桥上跨多条地铁线路的三维有限元模型, 系统分析了既有隧道的结构变形及附加应力分布。程辉等^[12]则利用有限元软件研究了桥桩施工时对地铁隧道的保护措施, 提出设置地连梁可有效缓解立交桥桩施工对隧道的影响。陆法猛^[13]利用

收稿日期: 2025-02-20

作者简介: 张晖(1981—), 男, 本科, 高级工程师, 从事市政道路设计工作。

MIDAS GTS NX 构建三维有限元模型,研究了新建桥梁及排水改造施工对运营地铁结构变形和受力的影响。叶永富^[14]运用数值模拟方法,对比分析了桩基施工中桩径、桩深及桩-隧道间距对地铁隧道结构的影响。崔妙生^[15]结合模拟计算与实测数据,探讨了软土地基桥梁桩基对既有地铁盾构的影响。尽管如此,目前针对桥桩施工对相邻地铁影响的研究仍较为有限。

基于此,选取坪山大道-东纵路路口跨河桥项目作为研究对象,采用MIDAS GTS NX 建立三维有限元模型,系统探讨桥梁桩基施工对邻近地铁结构的潜在影响,旨在为同类工程的设计优化与施工安全提供理论依据和实践指导。

1 工程概况

坪山大道综合改造工程起于沙湖路,终至丹梓大道,总长约6.4 km,双向8车道,道路红线60 m。坪山大道与地铁14号线共线,基本呈上下重叠关系,道路全线都属于地铁50 m安保区范围内,地铁14号线全线采用盾构施工,区间盾构隧道外径6.2 m。本工程在坪山大道-东纵路交叉口新建4座跨河桥,其中A桥和D桥位于地铁14号线沙湖至坪山围区间上方,桥梁上部结构为钢箱梁,下部结构墩柱为圆柱墩,桩基为钻孔灌注桩,采用套管跟进成桩工艺成桩,桥梁桩基位于现状地铁14号线盾构两侧,最小水平净距为3.6 m。东纵路交叉口跨河桥与地铁的平面和竖向位置关系如图1和图2所示。

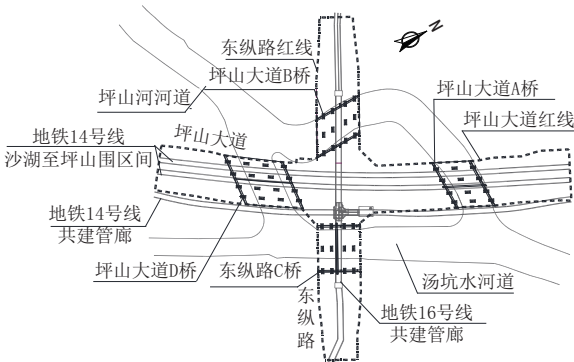


图1 跨河桥与地铁平面位置关系图

2 水文地质情况

研究区域地貌以低丘陵为主,其间分布有沟谷及冲洪积阶地。地层自上而下依次为素填土、粉细砂、中粗砂、粉质黏土以及全/强风化砂岩。场地内现有坪山河与汤坑水流经,规划中拟新开挖一段连

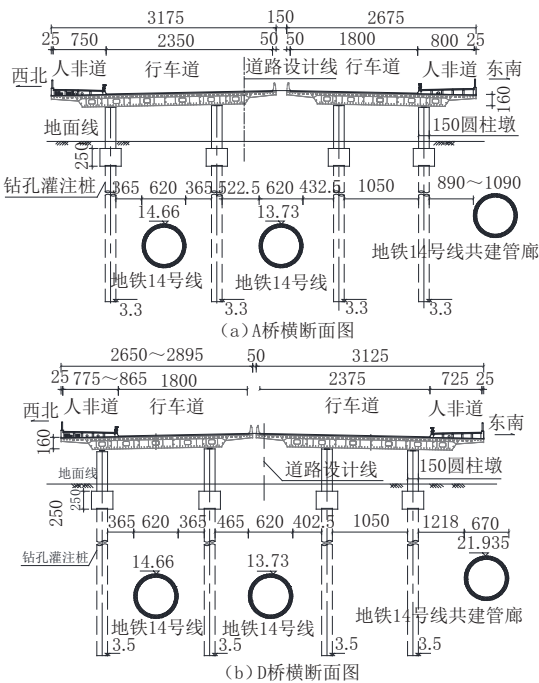


图2 跨河桥与地铁竖向位置关系图(单位:mm)

接河道,以实现汤坑水与坪山河的提前汇流,同时保留原有河道。地下水类型主要为上层滞水至潜水,主要分布于人工填土层及第四系地层中,其补给来源为大气降水及地表水。地下水稳定水位埋深介于1.3~7.2 m之间,年变化幅度为0.5~1.5 m。

3 三维有限元建模

3.1 模型尺寸

基于土层特性及地铁14号线区间结构的埋置深度,模型高度设定为60 m。模型边界尺寸依据施工范围与地铁安保区范围确定,平面距离取基坑开挖深度的3倍以上。结合拟建项目与地铁的平面相对位置,最终确定模型尺寸为190 m(长)×130 m(宽)×60 m(高)。

3.2 本构模型和参数选取

综合分析拟建项目的地质情况和钻孔数据,确定了计算模型的土层分布:自上而下依次为7 m厚的素填土层、8 m厚的砾砂层、9 m厚的粉质黏土层、10 m厚的全风化花岗岩层,其下均为强风化花岗岩层,具体材料参数详见表1。

表1 计算模型的物理力学参数

土层名称	重度/ (kN·m ⁻³)	压缩模量/ MPa	内摩擦角/ (°)	黏聚力/ kPa
素填土	18.5	3.5	9	12
砾砂	18.5	—	29	—
粉质黏土	18.5	5.2	16	26
花岗岩	20	7.2	30	27

在模型中,岩土层采用三维实体单元,各土层为弹塑性材料,其本构关系采用修正莫尔-库仑模型。基坑围护桩通过等刚度方法进行等效替代,而地铁区间结构则采用二维线弹性板单元进行模拟。

3.3 边界条件和网格划分

模型中 X、Y 方向及底部施加位移约束,顶部为自由边界。由 MIDAS GTS NX 生成整体网格模型,共包含 19 479 个节点和 46 735 个单元。网格划分方案如下:外围土体的网格宽度设置为 10 m,桥梁桩基区域的土体网格宽度为 1~2 m,地铁隧道区域的网格宽度为 2 m。分析模型如图 3 和图 4 所示。

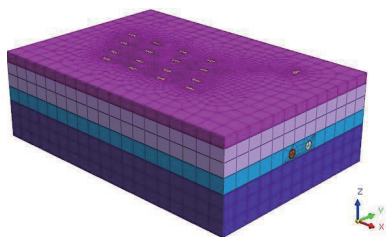


图 3 整体网格模型

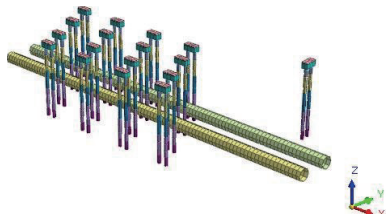


图 4 地铁和桩基模型

3.4 计算工况

基于施工顺序,将桥梁桩基施工对地铁隧道的影响模拟为 5 个工况。

- (1)第一工况:初始应力场分析,模拟地铁及桥桩施工前的原始场地应力状态。
- (2)第二工况:模拟地铁区间施工过程。
- (3)第三工况:桥梁桩基施工。
- (4)第四工况:桥梁承台施工。
- (5)第五工况:桥梁上部荷载施加。

4 数值结果分析

桥梁施工对地铁区间的影响主要通过水平和竖向位移进行评估,这两项指标能够有效反映施工对地铁结构的影响。通过数值模拟计算,得到了场地和地铁的位移云图,分别如图 5 和图 6 所示。

在整个施工过程中,既有地铁结构的最大水平变形为 0.08 mm,最大竖向变形为 1.08 mm,均满足《城市轨道交通结构安全保护技术规范》(CJJ/T 202-2013)中关于隧道结构水平、竖向位移预警控制值

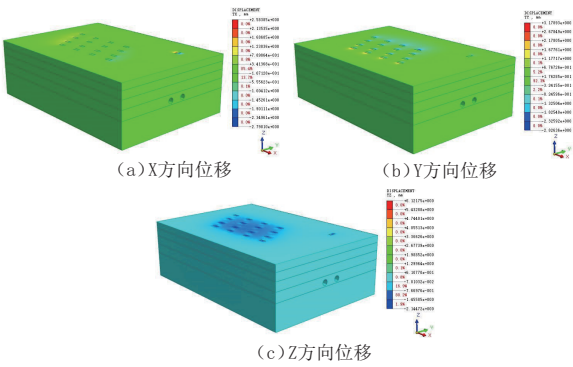


图 5 场地位移云图(单位:mm)

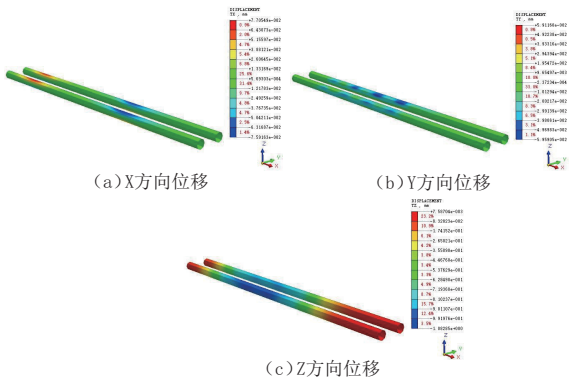


图 6 地铁隧道位移云图(单位:mm)

(≤ 10 mm)的规定^[16],表明地铁隧道结构在施工期间保持安全稳定。

数值模拟结果表明,桥桩施工对地铁结构的影响体现为:水平卸荷扰动引起地铁结构的水平变形、土体卸荷耦合效应导致地铁结构上抬变形、施工荷载对地铁结构产生附加影响。

5 结 语

本研究以坪山大道-东纵路路口跨河桥项目为背景,利用 MIDAS GTS NX 构建三维有限元模型,系统分析了桥桩施工对既有地铁隧道的潜在影响,并得出以下结论。

- (1)本项目施工对地铁隧道结构的影响主要体现在位移变化上,分析结果显示,隧道结构的最大水平位移为 0.08 mm,最大竖向位移为 1.08 mm,均远低于 10 mm 的规范限值,满足地铁安全运营要求。
- (2)桥桩施工期间,邻近地铁结构的竖向变形显著大于横向变形,主要原因是外部荷载引起的隧道竖向沉降,建议加强施工期间的地铁结构实时监测。
- (3)尽管桥梁与地铁隧道距离较近,但通过在临地铁侧桩基中采用全套管跟进工艺,有效降低了对地铁结构的影响,分析结果表明既有地铁隧道在桥梁施工期间处于安全状态。

参考文献:

- [1] 程永欢. 新建桥梁桩基对既有地铁隧道影响的数值分析[J]. 天津建设科技, 2020, 30(2): 30-33.
- [2] 杨敏, 靳军伟. 桩基础与既有地铁隧道相互影响的研究进展[J]. 建筑结构学报, 2016, 37(8): 90-100.
- [3] 丁智, 张霄, 周联英, 等. 近距离桥桩与地铁隧道相互影响研究及展望[J]. 浙江大学学报(工学版), 2018, 52(10): 1943-1953; 1979.
- [4] 王鑫, 刘小兵. 地铁隧道开挖对临近桥桩影响的二阶段法分析[J]. 铁道建筑, 2008(11): 27-31.
- [5] Lee C J, Chiang K H. Centrifuge Modeling on the Responses of Short Pile Groups Subjected to Tunneling Nearby[J]. International Society of Offshore and Polar Engineers, 2011(3): 485-490.
- [6] 刘金荣. 地铁盾构施工对上部既有桥梁的影响分析[J]. 城市道桥与防洪, 2023(11): 95-98; 109.
- [7] 李旺旺, 韦宏鹄. 北京昌平线二期地铁盾构侧穿桥梁沉降监测分析[J]. 隧道建设, 2015, 35(2): 139-143.
- [8] 刘宗辉, 何嘉齐, 陈宏飞. 桩基施工对邻近既有地铁隧道影响的研究综述[J]. 建筑技术, 2022, 53(2): 132-135.
- [9] 徐云福, 王立峰. 近邻桩基施工对城市地铁隧道的影响分析[J]. 岩土力学, 2015, 36(增刊2): 577-582.
- [10] 吕宝伟. 超临界桥桩基施工对既有隧道影响数值与实测分析[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(3): 103-107.
- [11] 谢春华. 小间距桥梁承台施工对运营地铁隧道的影响分析[J]. 城市道桥与防洪, 2018(9): 182-185.
- [12] 程辉, 邓伟明, 修晓明, 等. 桥梁桩基施工对邻近地铁隧道稳定性的影响研究[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(3): 91-95.
- [13] 陆法猛. 复杂环境下新建桥梁与排水改造对地铁结构受力影响分析[J]. 山西建筑, 2024, 50(10): 173-177.
- [14] 叶永富, 曾卫. 新建人行桥桩基对已有地铁隧道位移影响的数值分析[J]. 武汉工程大学学报, 2022, 44(6): 700-705.
- [15] 崔妙生. 软土地基桥梁桩基对既有地铁盾构影响分析——上海高科西路中汾泾桥梁桩基与7号线地铁盾构[J]. 城市道桥与防洪, 2010(5): 124-126; 133.
- [16] CJJ/T 202—2013, 城市轨道交通结构安全保护技术规范[S].

(上接第243页)

- [2] 李锬. 岩湾隧道特大型溶洞处治技术[J]. 隧道建设, 2015(1): 79-82.
- [3] 王建, 王丽君, 马建新, 等. 岩溶地区公路隧道穿越大型溶洞处治措施分析[J]. 地下空间与工程学报, 2020(增刊2): 964-970.
- [4] 陈禹成, 王朝阳, 郭明, 等. 隐伏溶洞对隧道围岩稳定性影响规律及处治技术[J]. 山东大学学报(工学版), 2020(5): 33-43.
- [5] 周轮. 基于位移监测的隐伏溶洞预测方法及围岩变形特征分析[D]. 2017.
- [6] 黄鑫, 李术才, 许振浩, 等. 隐伏溶洞与隧道间安全厚度评估的属性识别模型[J]. 中南大学学报(英文版), 2019(4): 55-69.
- [7] 唐泽强, 余江林, 任康, 等. 综合地质物探方法在岩溶隧道超前地质预报中的应用[J]. 施工技术(中英文), 2025(5): 68-72.
- [8] 于晨旭. 超前地质预报在峨石红高速公路隧道施工中的应用[J]. 云南水力发电, 2025(7): 121-124.
- [9] JTG D70—2004, 公路隧道设计规范[S].
- [10] Q/CR 9251—2020, 铁路岩溶隧道勘察设计规范[S].
- [11] T/CRS C0801—2018, 铁路岩溶隧道技术规范[S].
- [12] DB 45/T 2125—2020, 岩溶区公路隧道技术规范[S].