

深基坑施工对相邻既有结构影响分析

马海燕¹, 刘佳杰^{1,2}, 崔红波¹, 万 红¹

(1. 北京城乡建设集团有限责任公司, 北京 100067; 2. 北京市政路桥股份有限公司, 北京 100045)

摘要: 为了研究新建地铁车站深基坑施工对相邻既有结构的影响, 依托青岛地铁7号线新建周村站工程, 利用数值模拟软件FLAC^{3D}分析新建地铁车站深基坑施工对邻近既有结构的影响规律, 并将计算模拟数据与施工现场监测数据进行对比。结果表明: 1) 深基坑开挖及回填阶段对既有结构水平位移和竖向沉降产生一定的影响, 但产生的水平位移和竖向位移均在安全范围内; 2) 数值模拟计算的位移数据小于施工现场监测数据。本文结果可为类似工程提供一定的借鉴。

关键词: 相邻结构; 新建地铁车站; 深基坑施工; 数值模拟

中图分类号: TU753

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)09-0030-05

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.09.117

Impact analysis of deep excavation construction on adjacent existing structures

MA Haiyan¹, LIU Jiajie^{1,2}, CUI Hongbo¹, WAN Hong¹

(1. Beijing Urban Construction Group Co., Ltd., Beijing 100067, China;

2. Beijing Municipal Road and Bridge Group Co., Ltd., Beijing 100045, China)

Abstract: In order to study the influence of deep excavation construction for a new subway station on adjacent existing structures, based on the new station named Zhoucun on Qingdao Metro Line 7, by utilizing numerical simulation analysis software FLAC^{3D}, this article examines the influence patterns of deep excavation construction for a new subway station on adjacent existing structures and compares simulated data with actual monitoring data. The results indicate that: 1) both excavation and backfill stages of the deep foundation pit produce same influences to the extent of horizontal displacement and vertical settlement of existing structures, but the horizontal displacement and vertical displacement are within the safe range; 2) the displacement data calculated by numerical simulation is smaller than the actual monitoring data. The results of this article can provide some references for similar projects.

Key words: adjacent structures; new subway station; deep excavation construction; numerical simulation

随着城市交通压力不断增大, 地铁建设作为解决大城市交通拥堵问题的关键手段之一^[1], 其网络的迅速扩张与密集布局使得新建地铁车站与既有结构之间的相互影响愈发显著。新建地铁车站施工中的深基坑开挖、结构建造等过程, 不可避免地对临近的既有地铁车站、地面及地下建

筑物以及复杂的地下管线网造成扰动, 从而可能引发地层变形、土体沉降、管线破裂等一系列安全风险^[2]。

为了确保地铁建设的安全性和既有设施的正常运行, 系统性研究新建地铁车站对周边环境的影响至关重要^[3]。通过采用数值模拟技术, 结合

收稿日期: 2024-02-27

作者简介: 马海燕(1981—), 女, 高级工程师, 从事市政工程施工技术管理工作。

通信作者: 刘佳杰(1988—), 男, 高级工程师、知识产权师, 从事施工技术、项目管理及科技创新等工作。

实际监测数据, 可以准确预测和评估深基坑开挖过程中不同阶段的土体位移、应力分布、地下水渗流变化等现象, 进而为施工方案优化、支护结构设计、施工工序安排提供科学依据。近年来, 相关技术人员系统研究和讨论了新建地铁车站对既有车站、既有隧道及地面标高等产生的影响。王立新等^[4]利用有限元软件 Midas 研究西安黄土地层新建地铁车站深基坑开挖对临近既有车站的影响, 总结了深基坑不同开挖工序中围护结构内力与变形, 既有车站的变形及周围地表沉降的规律; 祁小龙^[5]采用数值模拟和现场实测的方法, 讨论苏州地铁 8 号线某新建车站深基坑开挖对其周期土体影响的规律, 发现深基坑开挖前 2/3 深度时对周围土体扰动主要表现为沉降范围扩大, 继续开挖后, 对周围土体扰动以沉降量增加为主; 程险峰等^[6]以北京地铁 12 号线盾构隧道下穿既有 4 号线人民大学站为例, 基于数值模拟发现, 新建盾构隧道对既有车站的影响总体为竖向变形, 水平变形影响较小; 廖坤阳等^[7]通过数值模拟及施工现场监测研究新建隧道对既有临坡浅埋隧道的影响, 发现在不同参数组合下, 埋深和隧道高度比值及临坡距离与隧道跨度比值直接影响下降槽曲线的形态与大小差异; 党涛等^[8]以西咸国际机场三期扩建工程为依托, 利用数值模拟发现, 采用对称开挖的施工方法能够降低开挖深基坑对既有结构的影响, 深基坑开挖过程中, 既有结构最大主应力分布多集中于顶板和底板。

本文以青岛地铁 7 号线新建周村站为实际案例, 结合已有的研究成果与讨论内容, 运用数值模拟软件, 重点探讨新建地铁车站深基坑施工对相邻既有结构的影响, 以为类似工程提供一定的借鉴。

1 工程概况

青岛地铁 7 号线二期工程新建周村站位于青岛市环城北路与青新高速交叉口西侧, 沿环城北路呈东西向布置, 如图 1 所示。周村站主体结构深基坑采用钻孔灌注桩 + 内支撑 + CSM 工法水泥土深层搅拌连续墙作为止水帷幕的明挖法施工。周村站深基坑邻近青岛地铁 1 号线东郭庄车辆段及其

出入线隧道。东郭庄车辆段主体为地上二层混凝土结构, 采用独立基础结构。该车辆段出入线隧道为东北 - 西南走向, 沿线地形整体较平缓, 由西南向东北地势逐渐升高。出入线隧道为单层双跨矩形框架结构, 敞口段为 U 型框架结构。周村站深基坑距离东郭庄车辆段主体结构最近距离为 25.64 m, 距离出入线隧道最近距离为 17.27 m。

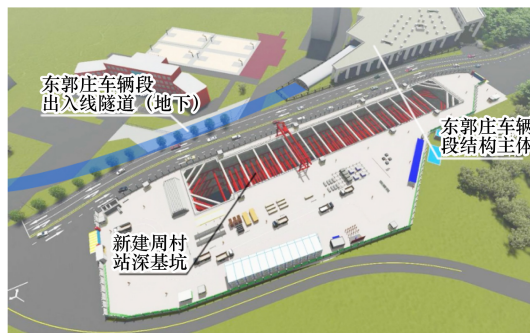


图 1 新建周村站深基坑与相邻既有结构位置

周村站深基坑开挖地层自上而下主要分布为素填土、粉质黏土、粗砂 - 砾砂、强风化砂岩(泥)质砂岩, 如图 2 所示。地下水主要为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水, 富水性良好, 地层渗透条件好, 水量丰富, 水位线位于顶板以下约 3 m。

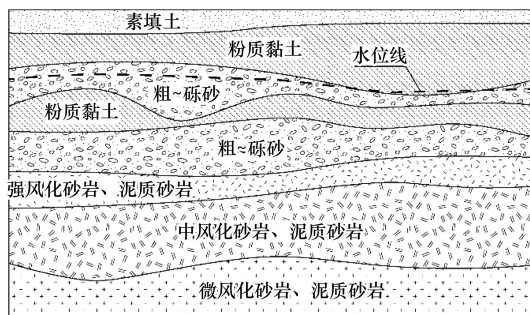


图 2 新建周村站深基坑工程地质剖面

2 深基坑结构设置

周村站深基坑长度为 160 m, 宽度为 20.5 ~ 25.1 m, 深度为 27.5 ~ 28.1 m, 如图 3 所示。深基坑围护结构采用钻孔灌注桩, 其中钻孔灌注桩直径为 1.2 m, 灌注桩间距为 2 m, 在基坑两侧的灌注桩间设置直径为 1 m 的高压旋喷桩。深基坑内共设置 4 道内支撑, 其中第一道内支撑采用截面为 800 mm × 1 000 mm 的混凝土支撑, 水平间距为 9 m; 剩余 3 道内支撑均采用 2H56C 双拼工字钢钢围檩 + Ø800 mm 钢支撑, 水平间距为 3 m。

深基坑外侧设置止水帷幕,为 CSM 工法水泥土深层搅拌连续墙,连续墙紧贴冠梁外边线,距离冠梁内边线距离为 1.2 m。连续墙宽度为 700 mm,其周长约为 379 m,深度为 16.58 ~ 22.86 m。周村站深基坑分 8 段开挖,每个开挖段长度约为 20 m。

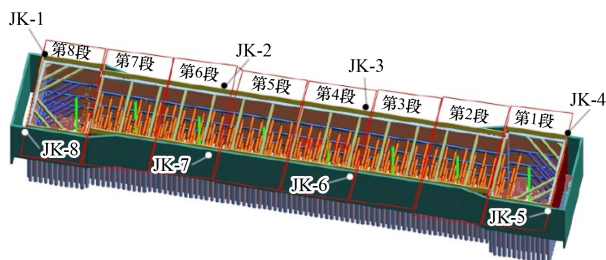


图 3 新建周村站深基坑模型

3 数值模拟模型建立

为评价受影响范围内既有结构的安全,利用有限元分析软件 FLAC^{3D} 进行数值分析,预测新建地铁站深基坑土体开挖与回填工况条件下,东郭庄车辆段结构主体及东郭庄车辆段出入线隧道的结构变形。

根据周村站主体结构和地质勘查资料,综合考虑深基坑工程与既有结构所在地层的岩土工程性质,计算模型根据不同的结构及其不同的性质,将地层、新建周村站深基坑、东郭庄车辆段结构主体及东郭庄车辆段出入线隧道等使用不同的本构模型及单元模型,如表 1 所示。数值模拟的边界条件:模型四周边界约束法向位移,竖直方向位移自由;底部 X 、 Y 、 Z 方向全约束,为固定边界条件;顶端地面为自由边界。

表 1 数值模拟三维模型各构件类型

构件名称	本构模型	单元类型
东郭庄车辆段出入线隧道	弹性	实体单元
东郭庄车辆段结构主体	弹性	实体单元
深基坑冠梁、腰梁、内撑	弹性	实体单元
深基坑灌注桩	弹性	桩结构单元
深基坑内支撑	弹性	实体单元
土体/岩体	摩尔-库伦 (弹塑性)	实体单元

为确保数值模拟模型的计算精度,模型的具体参数取值:纵向(X 轴)方向取 334 m,宽度(Y 轴)方向取 117 m,高度(Z 轴)方向取 49 m,三维

模型共划分 793 819 个单元,552 208 个节点。数值模拟模型主要包括周村站深基坑、东郭庄车辆段结构主体及出入线隧道,如图 4 所示。

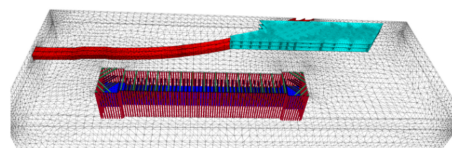


图 4 数值模拟模型

4 深基坑开挖及回填对邻近既有结构的影响分析

周村站深基坑开挖数值模拟施工步骤:1)初始地应力场、隧道、车辆段地面结构施工;2)止水帷幕、桩结构及最顶层土方开挖(3.2 m)、第一道混凝土支撑施工;3)第一~三层土方开挖及第一道钢支撑施工;4)第四、五层土和第一层风化岩开挖及第二道钢支撑施工;5)第二、三层风化岩开挖及第三道钢支撑施工;6)第四、五层风化岩开挖至深基坑底部。

4.1 深基坑开挖对邻近既有结构的影响分析

4.1.1 深基坑周围土体变形分析

在深基坑周围土体设置 8 个监测点(图 3),记录位移变化,如表 2、3 所示。由表 2 可知:深基坑开挖至第一道内支撑施工完毕后,深基坑周围土体的水平位移均小于 2 mm,其中深基坑端角处的土体在 X 轴方向的位移最大。深基坑周围土体均向上发生位移,平均值为 1.5 mm,其主要原因深基坑第一道内支撑架设后对深基坑周围土体施加作用力,造成深基坑周围土体竖向发生向上位移,同时也说明深基坑内支撑起到了稳定深基坑结构的作用,减少了深基坑开挖对周围土体的影响。由表 3 可知:深基坑开挖至设计标高后,其周围土体的水平位移在 X 轴方向稳定在 1.5 mm 左右,在 Y 轴方向稳定在 1.4 mm 左右。深基坑周围土体的竖向沉降值均小于 2 mm。

4.1.2 东郭庄车辆段结构主体变形分析

深基坑开挖至设计标高后东郭庄车辆段结构主体变形云图如图 5 所示。由图 5 可知:东郭庄车辆段结构主体在水平和竖向的位移变形最大值为 1.2 mm,深基坑开挖对东郭庄车辆段结构主体影响较小。

表 2 深基坑开挖至第一道内支撑施工

完后周围土体位移变化 mm			
监测点	X 轴	Y 轴	Z 轴
JK-1	0.56	0.37	1.52
JK-2	0.12	0.43	1.43
JK-3	0.18	0.45	1.61
JK-4	0.75	0.42	1.35
JK-5	0.65	0.46	1.43
JK-6	0.32	0.38	1.67
JK-7	0.41	0.44	1.59
JK-8	0.67	0.39	1.71

表 3 深基坑开挖至设计标高后周围土体位移变化 mm

监测点	X 轴	Y 轴	Z 轴
JK-1	1.72	1.33	-1.67
JK-2	1.65	1.42	-1.31
JK-3	1.28	1.47	-1.62
JK-4	1.39	1.66	-1.34
JK-5	1.22	1.29	-1.63
JK-6	1.43	1.71	-1.24
JK-7	1.81	1.52	-1.53
JK-8	1.46	1.11	-1.23

4.1.3 东郭庄车辆段出入线隧道变形分析

深基坑开挖至设计标高后东郭庄车辆段出入

线隧道结构变形云图如图 6 所示。由图 6 可知：东郭庄车辆段出入线隧道结构在水平和竖向的位移变形最大值为 0.74 mm，深基坑开挖对东郭庄车辆段出入线隧道结构影响较小。

4.2 深基坑回填对邻近既有结构的影响分析

4.2.1 东郭庄车辆段结构主体变形分析

深基坑回填后东郭庄车辆段结构变形云图如图 7 所示。由图 7 可知：随着深基坑土体回填，东郭庄车辆段结构主体在水平和竖向仅发生细微的位移变形，其中车辆段向深基坑方向产生 0.86 mm 的最大水平方向变形；车辆段结构主体靠近深基坑一侧的结构产生了 0.41 mm 的最大竖向下沉。综上，深基坑土体回填对东郭庄车辆段结构主体影响较小。

4.2.2 东郭庄车辆段出入线隧道变形分析

深基坑回填后东郭庄车辆段出入线隧道结构变形云图如图 8 所示。由图 8 可知：随着周村站深基坑土体回填，出入线隧道结构在水平和竖向均发生细微变形，其中隧道结构向深基坑方向产生 0.48 mm 的最大水平方向变形；隧道靠近深基坑一侧的结构产生了 0.09 mm 的最大竖向下沉。综上，深基坑土体回填对东郭庄车辆段出入线隧道结构影响较小。

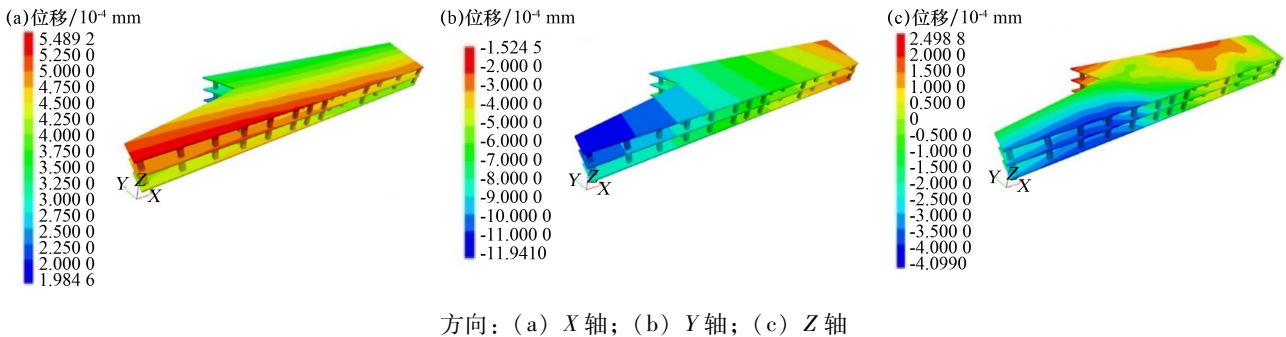


图 5 结构主体变形云图

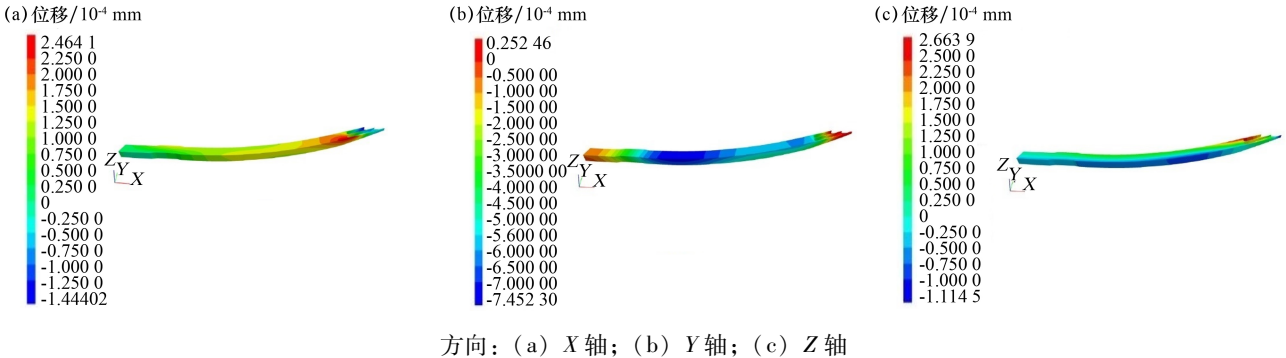


图 6 出入线隧道结构变形云图

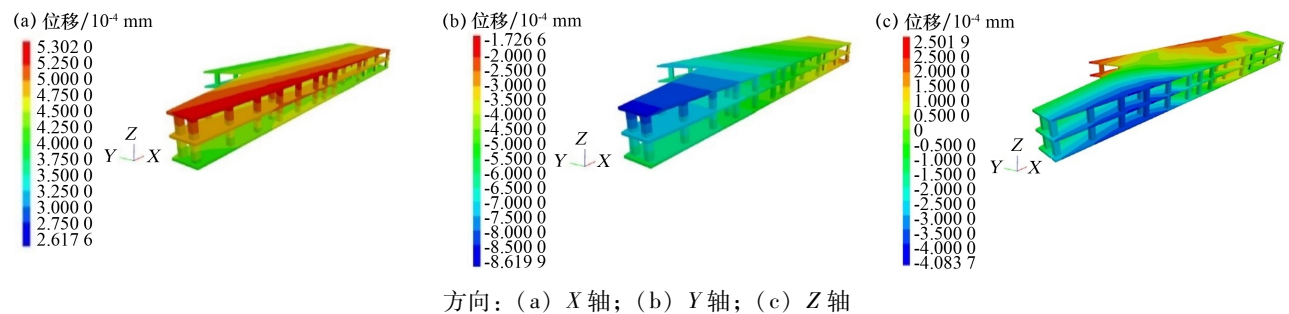


图 7 深基坑回填后东郭庄车辆段结构变形云图

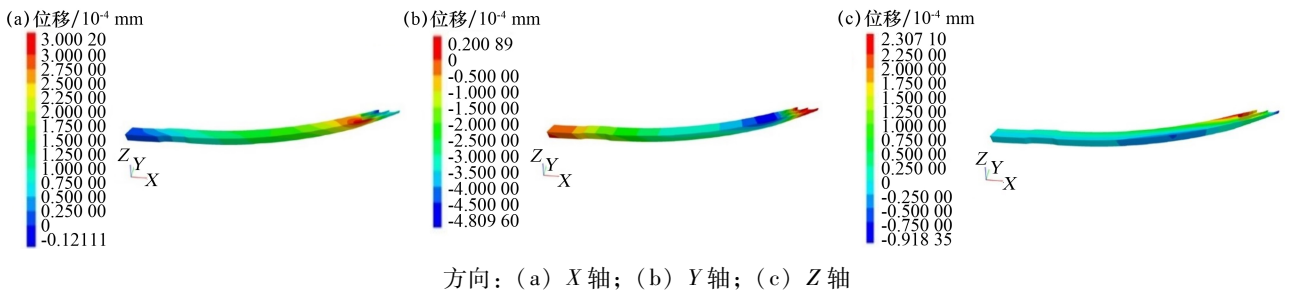


图 8 深基坑回填后东郭庄车辆段出入线隧道结构变形云图

4.3 监测数据与数值模拟数据对比

利用全站仪和水准仪等对预先设置的监测点进行定期测量，形成现场监测数据。根据施工现场监测数据发现，东郭庄车辆段结构主体及其出入线隧道均受新建周村站深基坑开挖回填的影响，但其水平及竖向位移均在《城市轨道交通结构安全保护技术规范》（CJJ/T 202—2013）规定控制值范围内。深基坑开挖完成后相邻结构数值模拟计算与实际监测位移最大值对比结果如表 4 所示。

由表 4 可知：实测的相邻结构的最大水平及竖向位移值均大于相应数值模拟计算值，其原因为地层结构的不均匀分布以及地下水复杂的流动模式的不确定性，无法做到精确预测。另一方面，在实际施工过程中，存在一系列人为因素（诸如施工措施不当、监管不严、危险因素处理滞后等问题），增加了预见和控制风险的难度。

5 结 语

本文依托青岛地铁 7 号线新建周村站工程，

研究新建地铁站深基坑施工对相邻既有结构的影响。通过数值模拟分析及施工现场监测发现，新建周村站深基坑在开挖和回填过程对东郭庄车辆段及出入线隧道造成了位移影响，但产生的水平和竖向位移均控制在相关规范允许的安全范围内，数值模拟计算位移数据小于施工现场监测数据。因此，为确保深基坑开挖及回填作业期间既有结构安全，建议严格依据设计图纸进行支护结构施工，精确控制钻孔灌注桩长度和垂直度等关键技术参数，合理选用施工设备，并强化现场监控量测工作，以有效减少不利因素对既有结构的影响。

参考文献：

[1] 刘兵科,麻建飞,贺家新,等. 新建车站密贴下穿长期服役车站改扩建变形控制技术[J]. 高压物理学报, 2023,37(2):169-180.

[2] 韩昆鹏. 新建地铁临近既有地铁车站施工的安全性分析[J]. 四川建材,2023,49(3):249-251;254.

表 4 数值模拟计算与实际监测位移最大值对比 mm

相邻既有结构	X 轴		Y 轴		Z 轴	
	数值模拟	实际监测	数值模拟	实际监测	数值模拟	实际监测
结构主体	0.55	1.63	-1.20	-2.03	-0.41	-2.03
出入线隧道	0.24	1.77	-0.74	-1.87	0.27	1.22

理上,与单 CFG 桩技术相比,CFG 桩+土工织物结合冲碾压技术沉降量偏差相对较少,不仅在沉降量控制上优于单 CFG 桩处理法,且在均衡荷载分布、提升路基稳定性方面展现出优良的性能。

综上所述,公路工程中软土地基的处理应根据实际情况合理选择处理方式。在川中多雨地区,采用 CFG 桩复合地基和土工织物施工工艺相结合的方式,不仅提高了地基承载力,而且大大地加快了施工进度,保证了节点工程的顺利完成。

参考文献:

[1] 徐晓莲. 软弱土地基处理方法简析[J]. 鄂州大学学报

报,2012,19(5):36-39.

[2] 李泽光. 杂填土下卧软弱土地基处理中的强夯加固效果分析[J]. 四川建材,2023,49(3):90-91.

[3] 李伟,朱兵见,卢玉华. 滨海软弱土地基处理沉降监测预测与数值模拟[J]. 建筑施工,2022,44(4):4.

[4] 马卓. 公路工程中软土地基处理技术应用的研究[D]. 西安:长安大学,2013.

[5] 李茂英,曾庆军,莫海鸿,等. 高速公路拓宽工程沉降控制复合地基优化设计[J]. 岩土力学,2008(2):535-540.

[6] 魏星,黄茂松. 交通荷载作用下公路软土地基长期沉降的计算[J]. 岩土力学,2009,30(11):3342-3346.

(上接第 34 页)

[3] 陈俊雯,张益,白尊铭,等. 某深基坑对临近城市快速轨道交通影响数值模拟分析[J]. 广东建材,2024,40(2):86-90.

[4] 王立新,王强,李炳龙,等. 基坑卸载对临近地铁车站影响的数值模拟研究[J]. 西安理工大学学报,2022,38(4):577-587;602.

[5] 祁小龙. 新建地铁车站施工对既有地铁车站的影响研究[J]. 现代城市轨道交通,2023(10):80-85.

[6] 程险峰,吕方泉,姜艳红. 盾构隧道近距离下穿既有车站变形控制技术[J]. 市政技术,2023,41(4):117-123.

[7] 廖坤阳,林灿阳. 基于数值模拟及现场监测的新建隧道开挖对既有隧道影响分析[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版),2022,31(1):7-16.

[8] 党涛,雷伟,任利军,等. 西咸机场扩建工程深大基坑开挖对邻近地铁车站影响分析[J]. 市政技术,2023,41(8):235-244;252.