

复杂地质条件下市政高架桥与盾构区间近接施工影响研究

王彦伟

(山东省交通科学研究院, 山东 济南 250014)

摘要:为研究轨道交通工程与新建市政桥梁近接施工过程中的相互影响关系,文章以某新建市政高架桥与盾构区间近接施工为例,研究施工方案对高架桥及区间的影响效果,并对施工过程中的风险采取一定的措施,利用GTSNX岩土数值模拟软件,建立三维模型并模拟相关的施工顺序,对工程关键位置进行变形分析。同时结合类似工程,提出高架桥与其他市政工程近接施工过程中的风险把控重点。研究结果表明:桥梁上部结构施工后,区间竖向变形值与区间结构距桥梁桩基的距离正相关,以期对类似市政近接施工提供一定的参考价值。

关键词:近接施工; 高架桥; 盾构区间; 相互影响

中图分类号: TU973+.23

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)08-0061-05

doi:10.13402/j.gcjs.2024.08.107

Study on approaching construction of viaduct and shield tunnel under complex geological conditions

WANG Yanwei

(Shandong institute of transportation science, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract: Based on the approaching construction of viaduct and shield tunnel, the effect on viaduct and shield tunnel has been evaluated for the construction scheme and the measures have been taken for the risk in the process of construction. The three-dimensional numerical simulation and procedure of approaching construction are established by using MIDAS / GTS finite element analysis software. Deformation of key nodes in numerical simulation are studied for meeting regulatory requirements. Combined with similarity engineering, important points are proposed in the construction process of approaching construction of viaduct and shield tunnel. The research results indicate that after the construction of the upper structure of the bridge, the vertical deformation value of the interval is positively correlated with the distance between the interval structure and the bridge pile foundation, which gives the references for the approaching construction.

Key words: approaching construction; viaduct; shield tunneling; interrelationship

随着我国城市化进程的不断加快,城市规模在变得越来越大,城市基础设施,尤其是交通基础设施的发展也越来越完善,由此带来了城市高架桥的建设数量的增多,而城市高架桥由于占地因素的限制,与周边工程的近接施工时有发生。孟繁增针对城市高架临近高铁桥的施工,研究了平衡浇筑法与堆载配重法对高架桥墩沉降的影响^[1]。聂雄等研究了高架桥桩基临近既有轨道交通下不同施工顺序对既有结构的影响^[2]。王伟明等针对高架桥墩与

市政路基段同步施工的方案进行了研究^[3]。张茹针对城市新建高架桥与既有高架桥的交叉施工归纳出了安全和质量控制要点^[4]。方宁等通过分析临近地铁基坑的桥桩变形规律,分析得出,通过改善地质条件、调整钢支撑参数可以有效减少桥梁桩基变形^[5]。王刚等通过临近铁路的桥梁桩基施工监测数据显示,在泥浆比重为1.3,桩基距铁路路基大于2m的情况下,桩基施工对铁路路基的影响较小^[6]。刘家均通过对比分析不同参数下的顶管施工对临近桩基

收稿日期: 2023-07-17

作者简介: 王彦伟(1989—),男,工程师,从事公路桥梁检测评估方面的研究。

水平位移的影响,发现坑外加固措施可以显著的减小施工过程中的桩基水平变形^[7]。由此可见,高架桥近接施工一直是工程中的风险点以及重难点。

前人对轨道交通区间临近既有市政桥梁的影响进行了深入的研究,然而在轨道交通区间与新建桥梁近接施工的情况研究较少。本文结合某拟建市政高架桥与盾构区间的近接施工范围,结合三维数值模型计算分析二者在施工过程中的相互影响关系,并提出近接施工过程中的风险把控重点,以期可为设计和施工人员提供一定的参考经验。

1 工程概况

拟建市政桥梁上部结构采用斜腹板整体式箱梁,主梁采用单箱多室截面。桥宽度为 19.7 m,

标准 30 m 跨径, 预应力混凝土连续箱梁, 梁高度为 2.0 m。跨中顶底板厚度为 25 cm。边腹板采用斜腹板, 跨中腹板厚度为 45 cm, 结构均在支点附近局部加厚。下部结构采用双柱花瓶型墩和薄壁 U 型桥台, 基础采用桩基承台, 桩基采用端承摩擦桩, 桩底嵌入中风化岩层 1.0 m, 桩基长度为 25 ~ 32 m, 直径为 1.0 m。

盾构区间外径 6.4 m, 管片厚度为 300 mm, 环宽度为 1.2 m, 桥墩桩基距离盾构区间的净距离约为 5.0 ~ 11.0 m。区间埋深约为 18 m, 区间结构距桩端约为 32 m, 市政高架与区间的位置关系如图 1、2 所示。

钻孔勘探深度范围内主要揭露第四系地层, 拟建线路沿线对工程建设影响较大的特殊性岩土

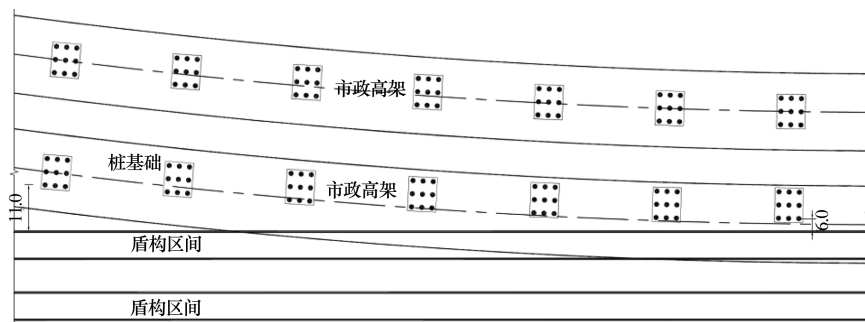


图1 市政高架与盾构区间平面位置关系

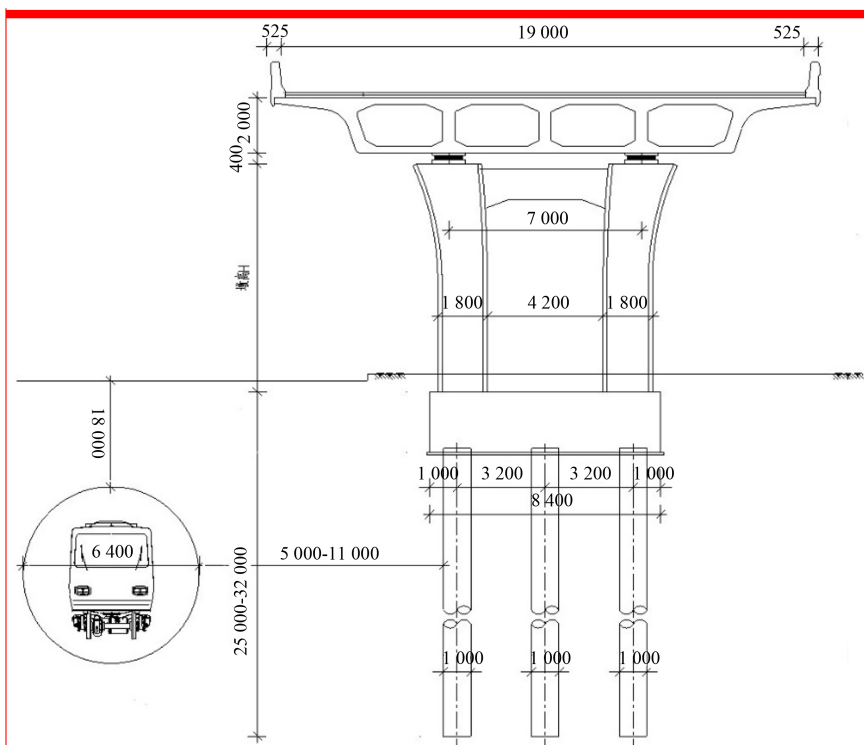


图2 市政高架与盾构区间剖面位置关系

mm

主要包括人工填土和新近沉积土。

人工填土：场地填土厚度约为 0.3 ~ 3.0 m，以杂填土层、粉土填土层为主。填土堆积时间短，结构松散，土质很不均匀，力学性质差，稳定性较差。

新近沉积土：拟建线路沿线普遍分布有新近沉积的黏性土、粉土和砂土，该类土工程性质相对较差（尤其是浅部位于河湖沟坑附近土层），作为基坑侧壁土层易于变形坍塌，作为基底土层承载力可能不满足设计要求；新近沉积的粉土和砂土为液化土层，当作为基底土层需要采取抗液化措施。

盾构区间及桩基深度范围内土质情况主要有：素填土、杂填土、粉土、砂土、粉质黏土、全风化辉长岩、中风化辉长岩等。由于盾构区间部分位于液化指数较高的粉土和砂土范围内，且距离桩基较近，对提供桩基的侧壁摩阻力会产生一定的影响，因此有必要研究盾构施工对桥梁桩基的影响。

2 近接施工方案模拟

2.1 计算模型

采用 Midas GTSNX 软件对影响区域进行整体建模分析，按照力学分析结果，模型横向边界到结构的边界的距离应大于 3 ~ 5 倍的结构尺寸，模型下边界到基坑开挖底部的距离应大于 1 倍的桩基长度，上部边界为地表^[9]。模型的尺寸为 211 m × 125 m × 80 m。模型如图 3 所示。在模型中，土体从地表往下分成 12 层，采用六面体、四面体混合

单元模拟。模型共划分了 60 599 个单元，计 37 586 个节点。地表取为自由边界，其他 5 个面均约束其法向变形。

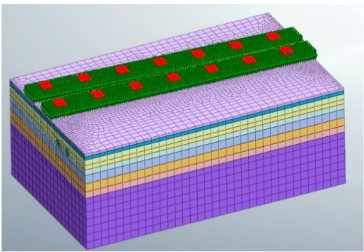


图 3 数值模拟模型

土体参数取值按照地勘单位提供正式勘察文件确定，具体土体参数如表 1 所示。

2.2 施工步骤

为了减小施工期间内高架桥桩基以及盾构区间的变形，将近接施工范围内的桩基按照将距离地铁区间结构较近的（小于 1 倍洞径），桥梁桩基先施工，后盾构穿越，在盾构铺轨之前完成桥梁上部结构的施作。上部结构施工时为分散传递至地层的附加荷载，采用满堂支架法施工。盾构铺轨之前完成风险区域范围内的桥梁上部结构施工。按照上述思路，近接施工步骤如表 3 所示。

2.3 结果分析

2.3.1 地层变形分析

考虑到施工对地层沉降的影响，地层变形以模型竖向位移作为分析指标，不同施工步骤下，地层变形云图如图 4 所示。

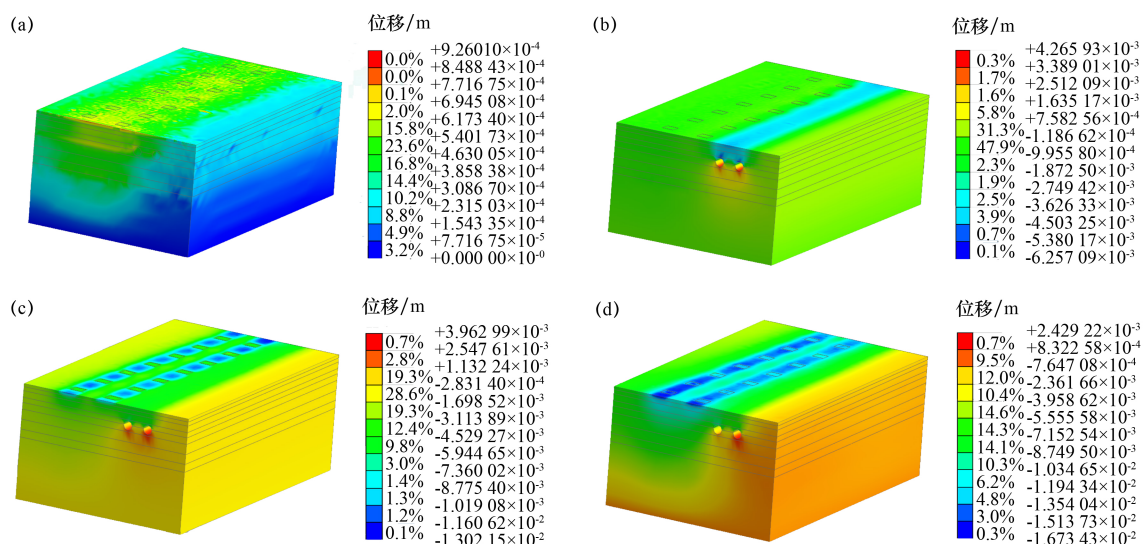
表 1 数值计算采用的土参数

岩土层名称	土层厚度/m	重度/(kN·m ⁻³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	E_{50}^{ref} /MPa	E_{ed}^{ref} /MPa	E_{ur}^{ref} /MPa
杂填土 1-2	0.5 ~ 1.5	18.5	5.0	15.0	5.00	5.00	15.00
粉质黏土 6-1	3 ~ 8	19.0	12.5	20.6	6.82	6.82	20.46
粉质黏土 7-1	5 ~ 9	19.5	26.0	12.0	9.80	9.80	29.40
粉质黏土 9-1	2 ~ 7	19.8	15.0	30.0	12.00	12.00	36.00
全风化辉长岩 17-1	1 ~ 5	19.2	50.0	41.0	24.60	24.60	73.80

注： E_{50}^{ref} 为三轴固结排水剪切试验切割模量； E_{ed}^{ref} 为固结试验剪切模量； E_{ur}^{ref} 为三轴固结排水卸载再加载试验的再加载模量。

表 2 近接施工步骤

序号	施工内容
1	施工 1 倍盾构洞径范围内的高架桥桩
2	施工盾构区间
3	施工 1 倍盾构洞径范围内的高架桥上部 and 剩余的下部结构
4	区间及车站铺轨施工
5	施工盾构外轮廓 50 m 范围内的高架桥



施工工序: (a) 1; (b) 2; (c) 3; (d) 5

图4 不同施工工序下地层竖向位移云图

从上述土层竖向位移的变化情况可知, 桩基施工(图 a)对土层的变形影响很小, 最大值约为 1 mm, 盾构施工完成后(图 b), 开挖位置土层竖向变形最大, 最大值约为 6.0 mm; 桥梁上部施工阶段(图 c), 支架范围内地层变形最大, 最大值约为 13 mm; 桥梁运营阶段(图 d), 桥梁传力路径变化, 地层变化的最大值主要表现在承台位置附近, 最大值约为 16 mm。桥梁施工对地层变形的影响较大, 且随着桩基距离管片的距离越来越近, 桩基施工对盾构一倍洞径范围内的土层影响也越来越大; 最近位置处桩基距盾构管片净距约 5 m, 管片施做后一倍洞径范围内土层最大竖向位移约 6 mm, 桥梁上部结构施工阶段一倍洞径范围内土层最大竖向位移约 8 mm, 桥梁上部结构施工完毕后一倍洞径范围内土层最大竖向位移约为 11 mm。

2.3.2 桥梁桩基及墩柱变形分析

根据桥梁的变形控制指标要求, 桥梁变形分析仅分析对其影响较大的桩基变形及墩柱沉降。取距离盾构区间最近的桩基, 其最大水平及竖向变形随工序的变化趋势如图 5、6 所示。

从上图中可以看出: 盾构施工前, 桩基变形较小, 主要表现为自重作用下的竖向变形, 盾构施工后, 桥梁上部施工之前, 桩基竖向变形略微增大, 水平方向由于盾构开挖变造成桩周应力分布不均, 桩基水平方向出现变形, 桥梁上部施工工况下, 桩基竖向变形继续增大, 水平方向由于

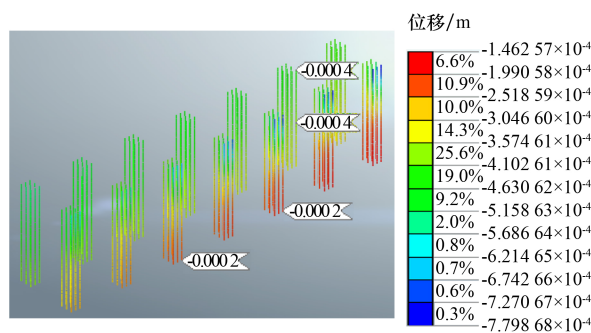


图5 桩基最不利工况变形云图

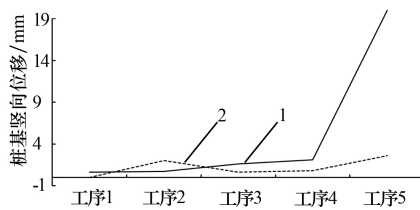


图6 不同工况下最不利位置桩基变形趋势

支架施工荷载, 桩周土压力不平衡趋势减小; 桥梁施工完毕后, 桥梁上部荷载传递至桩基, 桩基竖向变形突变, T_z 方向最大变形为 20 mm, 竖向荷载和变形的增加导致水平方向变形加剧, 达到最大值为 2.6 mm。相邻墩柱间沉降差最大值为 $2.1 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$, 满足控制指标。

2.3.3 盾构区间管片变形分析

管片最不利工况下变形云图如图 7 所示。

桥梁施工完毕, 运营工况下, 区间变形趋于稳定, 顶部位置变形最大, 较施工工况下, 管片

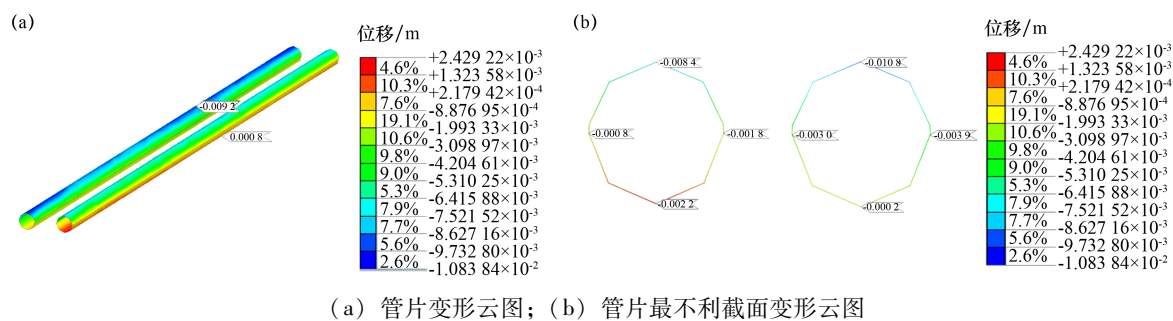


图 7 最不利工况下的管片变形云图

情况下竖向位移增大，左洞临近桩基管片竖向位移最大值为 10 mm，右洞管片竖向位移最大值为 8.4 mm，径向收敛值最大为 10.6 mm。变形指标均满足控制要求。

2.4 主要控制指标

在综合既有结构预测变形值、结构验算内力的基础上，考虑一定的安全裕度，结合《城市桥梁设计规范》（CJJ 11—2011）以及《城市轨道交通结构安全保护技术规范》（CJJ/T 202—2013），确定施工过程中，高架桥及盾构区间的变形指标控制如表 3 所示^[8]。

表 3 近接结构变形控制指标

结构	项目	控制值
区间	竖向位移	20 mm
	水平位移	20 mm
	径向收敛	20 mm
高架桥	相邻桥墩纵向差异沉降	10 mm
	桩基水平位移	10 mm
	墩柱倾斜	1/1 000

3 实施效果分析

为确保近接施工方案的可控，以及验证数值模拟与工程实际的可靠性，在距离盾构洞径 1 倍范围内的桥梁桩基以及盾构区间内都采取了变形监测的

措施。其中，监测的项目及频率如表 4 所示。

选取距桥桩最近的盾构管片作为变形监测对象，与数值模拟的变形结果进行对比，结果如图 8 所示。

从图 8 中可以看出，监测数据与数值模拟得到的变形趋势基本一致，符合数值模拟的变化规律，变形误差基本在 15% 以内，可以认为该施工方案对于近接施工中盾构管片及桩基的变形是合理可控的。

4 结 论

（1）桥梁在与市政工程近接施工情况下，应根据各自的变形控制标准合理安排施工工序，选择施工方案^[10]。

（2）地层应力的变化对桥梁的桩基变形存在影响，且距离临近工程的距离越近，该影响就越发明显，因此，在设计阶段，应考虑底层预加固措施以减小底层扰动对桥梁基础的影响。

（3）桥梁上部结构未施工前，其对周边底层及临近结构的扰动较小，桥梁上部结构施工后，周边结构及地层的受力情况会迅速变化，因此，对周边地层应力影响较小的施工方案有利于减小近接工程的相互影响。

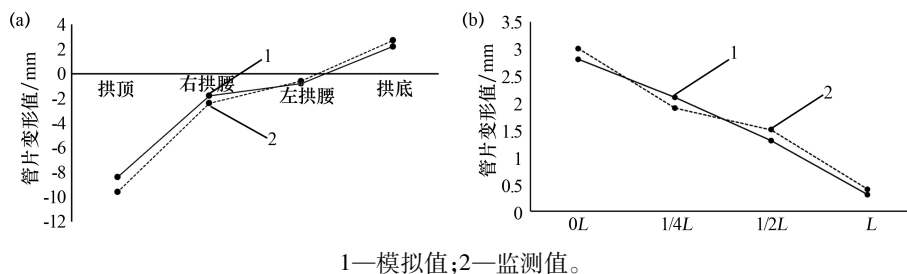
表 4 变形监测项目及频率

监测部位	开挖面值监测断面距离	监测频率	监测项目
盾构区间	$D < L \leq 3 D$	1 次/2 d	拱顶沉降、洞周收敛
	$L \leq D$	1 次/1 d	
桥梁桩基	$D < L \leq 3 D$	(1 ~ 2 次)/1 d	桩基沉降、桩基水平变形
	$L \leq D$	1 次/(1 ~ 2 d)	

备注： D 为盾构直径； L 为桩基至盾构区间净距；

- 的现状与思考[J]. 中国信息安全, 2016(2): 107-111.
- [3] 张艳丰, 王羽西, 邹凯, 等. 智慧城市信息安全影响因素与关联路径研究: 基于扎根理论的探索性分析[J]. 情报科学, 2021, 39(5): 34-40; 46.
- [4] 刘铭秋. 智慧城市治理中的安全重构: 基于全景敞视主义的分析[J]. 学习与实践, 2019(10): 22-31.
- [5] 陈月华, 杨绍亮, 李亚光, 等. 智慧城市安全风险评估模型构建与对策研究[J]. 电子政务, 2020(5): 91-100.
- [6] 冯登国, 张敏, 张妍, 等. 云计算安全研究[J]. 软件学报, 2011, 22(1): 71-83.
- [7] 冷晓彦. 大数据时代的信息安全策略研究[J]. 情报科学, 2019, 37(12): 105-109.
- [8] 颜昌武. 智慧城市建设中的技术与智慧[J]. 浙江学刊, 2023(5): 29-33.
- [9] 吴超, 黄玺, 王秉. 大安全视域下智慧安全城市的基础理论研究进展与展望[J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(5): 5-10.
- [10] 吕传军. 基于大数据的智慧城市安全建设研究[J]. 网络安全技术与应用, 2018(2): 132; 136.
- [11] 张胜龙, 曾心懿, 徐水太. 基于 ISM 模型的老旧小区改造模式影响关键因素分析[J]. 工程建设, 2022, 54(11): 67-73.
- [12] 朱文兴, 谢明珠, 吴立珺. 制造业服务化的影响因素及驱动路径研究[J]. 江西理工大学学报, 2018, 39(6): 44-50.
- [13] 高凯, 邹凯, 蒋知义, 等. 智慧城市信息安全风险评估指标体系构建[J]. 现代情报, 2022, 42(4): 110-119.
- [14] 张艳丰, 王羽西, 邹凯, 等. 基于模糊 DANP 的智慧城市信息安全风险要素识别与管理策略研究[J]. 情报理论与实践, 2020, 43(10): 144-150.
- [15] 安达, 梁智昊, 许守任. 基于大数据的智慧城市安全建设研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2016, 11(3): 229-232.

(上接第 65 页)



(a) 盾构管片变形监测值与模拟值对比(最不利断面); (b) 桩基水平变形监测值与模拟值对比(最不利断面)

图 8 监测数据与数值模拟数据对比

参考文献:

- [1] 孟繁增. 大型高架站桥对临近高铁沉降影响算法与控制[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(12): 66-72.
- [2] 聂雄, 刘博. 临地铁车站的高架桥梁桩基施工时序研究[J]. 工程建设与设计, 2022, No. 492(22): 165-167.
- [3] 王伟明, 徐少华. 临近高速门架墩及互通匝道桥柱式墩段路基设计方案研究[J]. 城市道桥与防洪, 2022, 277(5): 65-68; 14.
- [4] 张茹. 交叉既有高架桥道路工程施工关键技术[J]. 山西建筑, 2020, 46(17): 134-135.
- [5] 方宁, 凌涛, 李享松等. 深基坑施工临近高架桥桥墩变形控制措施[J]. 工程建设, 2019, 51(7): 47-50; 64.
- [6] 王刚. 路桥桩基施工对邻近铁路路基稳定性研究[J]. 公路工程, 2017, 42(6): 188-193.
- [7] 刘家均. 顶管井深基坑近接高架桥桩施工影响及参数优化研究[J]. 湖南交通科技, 2021, 47(2): 132-136.
- [8] 薛哲. 盾构隧道施工对邻近桩基变形的影响[J]. 工程机械与维修, 2022, 305(4): 77-79.
- [9] 朱利明, 张森, 王霆. 基坑开挖对临近高铁高架桥桥墩的影响分析[C]//. 2021 年工业建筑学术交流会议论文集(下册). 北京: 中国建筑工业出版社, 2021: 587-591.
- [10] 杨焕起. 临近高速桥梁超深基坑施工安全技术研究[J]. 河南科技, 2021, 40(34): 102-105.