

桥隧合建中桥梁托换与支护一体化技术研究

金瑞¹, 陈向科², 华中良¹

[1.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092;2.上海沪申高速公路建设发展有限公司,上海市 200070]

摘要: 地下隧道工程建设过程中,与既有桥梁改造合建以其资源节约、空间集约等优势,近年来在城市地下工程建设中备受青睐。某公路新建隧道与既有跨线桥改造合建过程中,采用了扩大原有承台、新建托换桩基,同时将托换桩基兼做隧道基坑支护桩的设计方案,在保证基坑正常施工的同时确保了既有桥梁的正常使用。该方案对部分构造细节进行了创新设计,并采用有限元模型对施工全过程进行计算分析。结果表明:在托换施工过程中,围护桩水平位移、新建承台沉降值均满足变形要求;其中的关键工艺和局部构造细节对今后同类型的桥隧合建工程具有参考意义。

关键词: 桥隧合建;隧道工程;桥梁托换;地下道路;桥梁保通

中图分类号: U443;TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)04-0044-05

Study on Integrated Technology of Bridge Underpinning and Support in Bridge-Tunnel Co-construction

JIN Rui¹, CHEN Xiangke², HUA Zhongliang¹

[1.Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China;2.Shanghai Hushen Expressway Construction and Development Co., Ltd., Shanghai 200070, China]

Abstract: During the construction of underground tunnel projects, the co-construction with existing bridges has been favored in urban underground engineering in recent years due to its advantages such as resource conservation and space intensification. During the co-construction of a new highway tunnel and the existing overpass, the design scheme of enlarging the original bearing platform, constructing new underpinning pile foundations, and using the underpinning piles as retaining piles for the tunnel foundation pit was adopted to ensure the normal construction of the foundation pit and the normal operation of the existing bridge. Innovative designs were made for some structural details, and a finite element model was used to calculate and analyze the whole construction process. The results show that the horizontal displacement of the retaining piles and the settlement of the new bearing platform during the underpinning construction meet the deformation requirements. The key technologies and local structural details are of reference significance for similar bridge-tunnel co-construction projects in the future.

Keywords: bridge-tunnel co-construction; tunnel engineering; bridge underpinning; underground road; bridge traffic maintenance

0 引言

随着城市化水平的提高,中心城区基础设施无论是地上还是地下已面临饱和,新建隧道与既有桥梁之间的空间冲突日趋明显^[1-3]。常规解决思路是采取线位避让或桥梁迁改,这就可能导致隧道功能损失或影响桥梁正常交通、增加工程造价。为了有

效地解决这个矛盾,提高城市地下及地上空间的利用率,明挖隧道与既有桥梁的改造合建是必然的发展趋势。采用改造合建手段,可以避免既有桥梁拆除导致的资源浪费,并最大限度地降低对现有交通的影响。

在桥梁桩基托换和桥隧合建方面,目前已有大量的理论研究和工程实践。顾晓毅^[4]分析了桥梁桩基托换的受力机理。李亚子等^[5]对桥隧分建和合建方案进行了对比研究。赵月^[6]研究了利用地铁车站中柱传递上部桥梁墩台荷载的可行性。王华等^[7]介绍了综合管廊与桥梁合建方案,并针对不均匀沉降问题提出了解决方案。郭宏博等^[8]研究了采用承台

收稿日期: 2025-07-18

基金项目: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司拂晓计划(K2024N030)

作者简介: 金瑞(1994—),男,硕士,工程师,从事地下结构设计工作。

梁传递桥梁单墩荷载到地铁车站顶板的托换方案。徐明辉^[9]在托换桩和承台之间采用千斤顶主动顶升来控制现有桥梁结构的沉降。彭华等^[10]研究了桩基托换过程中桥墩的变形规律。李今保等^[11]阐述了桥桩桩基被动托换技术和关键施工工艺。程家军等^[12]对地铁隧道下穿高架桥时采取的桩基托换方案进行了数值模拟,并与施工监测数据进行了对比。郝文海^[13]研究了托换梁和托换桩基的变形规律。邓涛等^[14]依托福州地铁1号线下穿洗马桥的桩基主动托换工程,分析了托换结构在不同顶升荷载作用下的内力与位移响应。李万臣^[15]介绍了明挖隧道下穿既有桥梁时桩基托换的施工控制措施。

已有的研究大多数针对上部桥梁结构和下部结构之间的受力转换,较少涉及基坑开挖过程对托换结构的影响,特别是托换桩基兼做基坑支护桩的方案比较新颖。本文以某新建公路隧道与现状跨线桥改造合建工程为例,对桥梁托换结构和基坑围护结构相结合的设计方案进行总体介绍,以期后续同类型桥隧合建工程设计提供参考。

1 工程概况

该工程位于长三角软土地区,新建公路隧道采用明挖法施工,工程场地为现状高速公路,隧道施工期间高速公路局部改道保通。隧道下穿现状跨线桥,如图1所示。

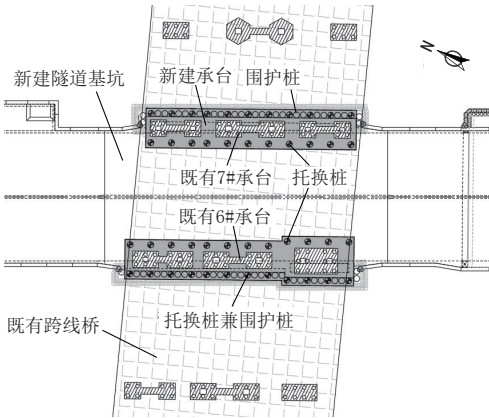


图1 隧道与桥梁相交节点平面图

既有跨线桥为简支梁桥,双向6~10车道+2人非道,桥面宽度约51 m,桥长600 m。跨线桥上部结构采用后张法预应力混凝土T梁,梁高1.75 m。下部结构6#、7#桥墩采用预应力混凝土倒T盖梁,双柱式桥墩。桩基采用直径0.8 m钻孔灌注桩,桩长35~40 m。

跨线桥横剖面图和纵剖面图见图2、图3。

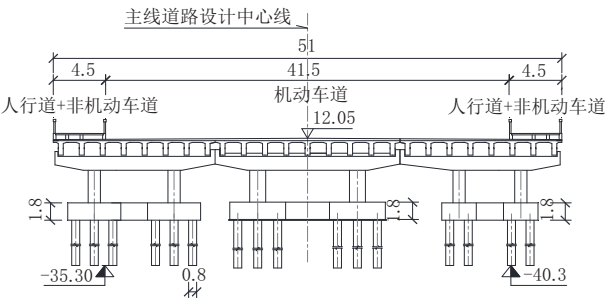


图2 既有跨线桥横剖面图(单位:m)

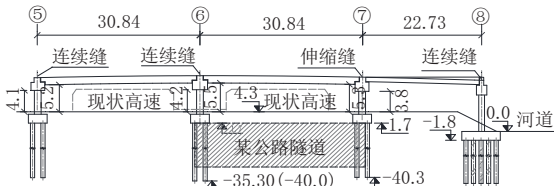


图3 既有跨线桥纵剖面图(单位:m)

新建公路隧道在此节点处为2孔箱涵,基坑深度约为15.8 m,隧道与既有跨线桥平面相交。跨线桥6#、7#墩桩基与隧道结构位置冲突。

2 基坑及结构方案设计

2.1 地质条件

现状公路以地面形式敷设,公路两侧为绿化,东侧分布南北向河道。拟建场地在70 m勘察深度范围内为第四纪全新世Q4~晚更新世Q3沉积土层,主要由填土、淤泥质土、黏性土、粉性土等组成。场地土主要物理力学参数见表1。

表1 地勘土体参数表

层序	名称	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	渗透系数/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
①	填土	18.2	3.0	5.0	1×10^{-6}
② ₃	砂质粉土	18.8	3.9	30.9	4×10^{-4}
③	淤泥质粉质黏土	17.4	11.7	15.6	6×10^{-6}
④	淤泥质黏土	16.9	11.5	11.7	5×10^{-7}
⑤ ₁	黏土	17.6	15.3	14.2	8×10^{-7}
⑥	粉质黏土	19.7	44.3	17.2	2×10^{-6}
⑦ ₁₁	砂质粉土	18.7	5.4	30.8	6×10^{-4}
⑦ ₁₂	砂质粉土夹粉砂	18.9	4.0	31.6	1×10^{-3}
⑦ ₂	粉细砂	19.2	2.2	33.8	8×10^{-3}
⑦ _{2T}	粉质黏土夹粉砂	18.5	23.3	21.0	1×10^{-5}

工程场地潜水水位埋深为地面下0.60~2.49 m。承压水主要赋存于⑦₁、⑦₂层粉、砂性土中,承压水位低于潜水位,呈周期性变化,水位埋深为3~12 m。

2.2 托换承台及桩基设计

新建托换承台尺寸需满足桥梁竖向荷载传递路径转换的要求。6#墩新建承台总长53.5 m,北幅及中幅宽9.2 m、南幅宽11.4 m,总厚度3.7 m。下接24根

直径1.4 m 钻孔灌注桩。7#墩新建承台总长49.1 m,宽9.2 m,总厚度3.7 m。下接22根直径1.4 m 桩,桩中心距4.8 m,桩长65 m。为控制围护桩及托换桩基施工对原桥梁桩基的影响,围护桩和桥梁托换桩基与原桥梁桩基最小净距为1.2 m。

新建托换承台结构图见图4。

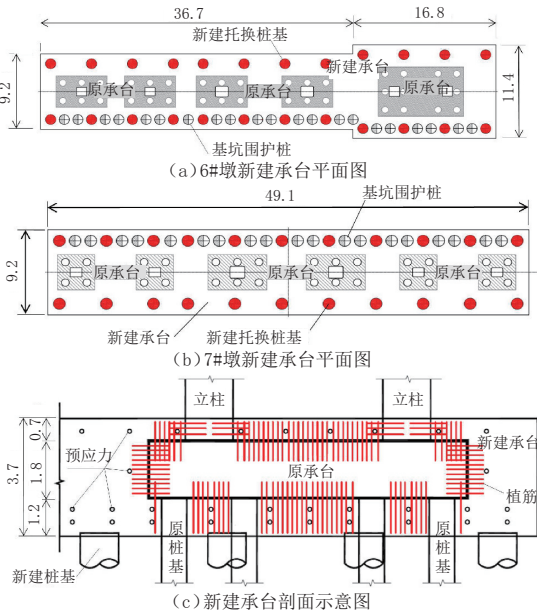


图4 新建托换承台结构图(单位:m)

为加强新老承台之间的连接,原承台顶底面凿毛处理,侧面设置剪力键,原承台表面植筋与新承台进行锚固。在原承台上、下设置预应力束,顺桥向布设,单端张拉,以增强承台侧面新老混凝土预紧效果。

2.3 基坑围护设计

托换承台基坑宽10.7~12.9 m,开挖深度3.9 m,围护采用 $\phi 600@800$ 钻孔灌注桩,围护插入比1:1.31,竖向设置1道钢支撑。止水措施采用 $\phi 800@500$ 高压旋喷桩止水帷幕。单侧围护桩设置宽1.5 m 肥槽预留预应力张拉空间。

托换承台基坑平面图和剖面图见图5、图6。

新建隧道基坑宽度36~37 m,开挖深度15.8 m,考

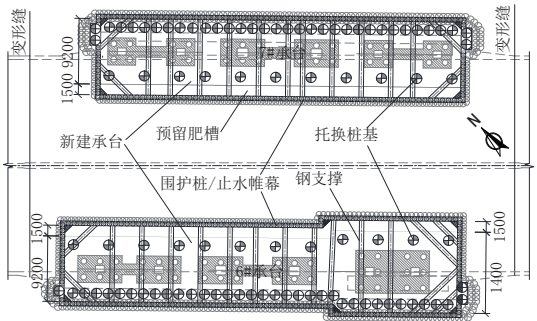


图5 托换承台基坑平面图(单位:mm)

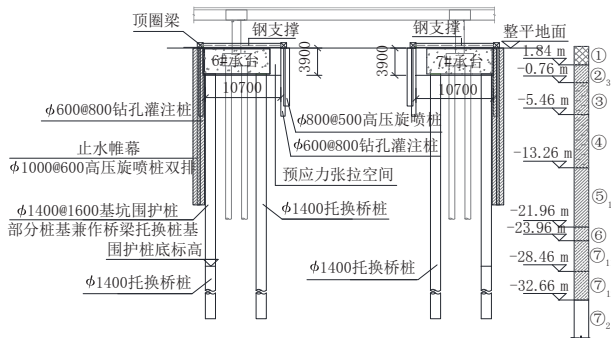


图6 托换承台基坑横剖面图(单位:mm)

虑到桥下净空受限,围护采用 $\phi 1400@1600$ 钻孔灌注桩,围护桩插入比1:0.90。部分围护桩加长兼作桥梁托换桩基,托换桩基设计同时考虑了基坑开挖过程中围护的受力以及上部桥梁竖向荷载的作用。止水帷幕采用双排 $\phi 1000@600$ 高压旋喷桩,并与承台基坑共用1道止水帷幕。由于基坑周边环境要求较高,基坑开挖过程中需考虑桥梁竖向荷载影响,基坑采用整体稳定性及刚度较大的混凝土支撑,竖向设置5道混凝土支撑。第1、2道混凝土支撑作用在新建承台上,同时保证承台侧向稳定。回筑工况设置1道钢换撑,隧道顶板覆土后,第1、2道支撑保留,以控制承台水平位移。隧道基坑围护设计如图7、图8所示。

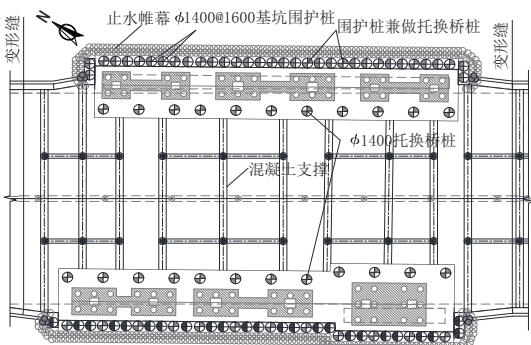


图7 新建隧道基坑平面图(单位:mm)

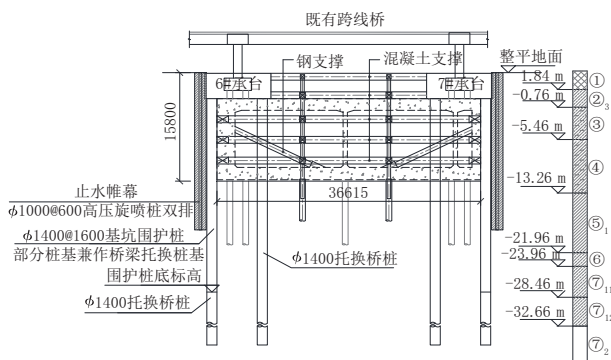


图8 新建隧道基坑横断面图(单位:mm)

2.4 隧道结构设计

由于隧道结构顶板在隧道建成通车后的长期运

营阶段需直接承托桥梁承台荷载,为改善承台竖向力传递路径,在满足建筑限界的情况下,西侧侧墙加厚并在托换承台扩大处局部增加1道中隔墙,东侧侧墙增加1道中隔墙。核算后隧道结构顶板厚1.7 m、底板厚1.8 m、侧墙厚1.2 m、中隔墙厚0.8 m。底板局部利用原桥梁桩基作为工程桩;中隔墙下设置1排工程桩。

新建隧道结构平面图、横剖面图见图9、图10。

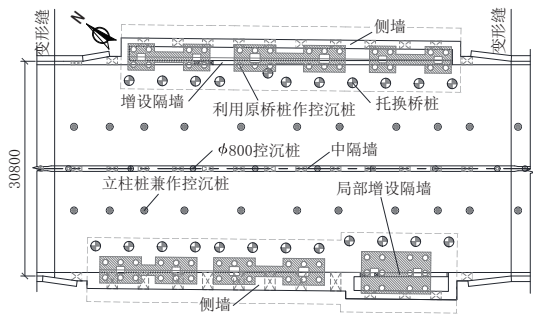


图9 新建隧道结构平面图(单位:mm)

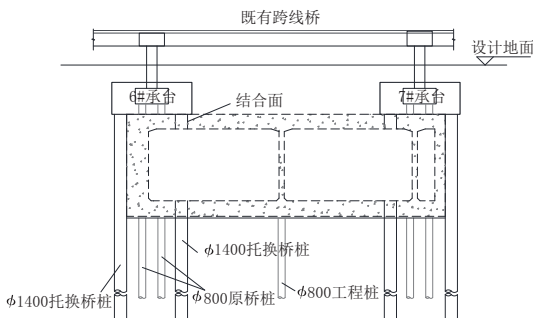


图10 新建隧道结构横剖面图(单位:mm)

为保证承台与隧道顶板之间的传力可靠性,φ1400托换桩基与顶板接合面抗剪承载力需不小于桩基承载力设计值。为此桥桩内预留钢筋接驳器与隧道顶板锚固并采取桩侧表面凿毛措施。

顶板与托换桥桩连接节点构造图见图11。

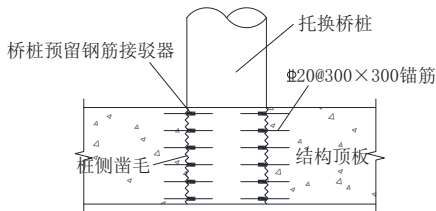


图11 顶板与托换桥桩连接节点构造图

3 施工工序

施工工序包括如下步骤:

(1)施工桥梁托换桩基、隧道基坑及承台基坑支护桩、格构柱桩、工程桩、止水帷幕。

(2)实施6#墩、7#墩的承台基坑,开挖到坑底后实施新承台。待新承台达到设计强度后,回填到整

平地面。

(3)实施主线隧道基坑,按顺作法次序开挖至基坑底并逐道布设支撑,支撑布置避开基坑内的托换桩基。桥梁原桩基随挖随凿,桥梁荷载转换至新承台和新桥桩,实现桥梁第1次受力转换。

(4)对隧道结构进行回筑,回筑过程中按次序进行拆撑和换撑,隧道顶板施工时保证与上方新承台填充密实。

(5)待顶板达到设计强度后,拆除换撑、凿除隧道结构范围内托换桩基,隧道范围内桥桩荷载转换至隧道顶板,实现第2次受力转换。

(6)保留第1、2道混凝土支撑。隧道顶板上浇筑泡沫混凝土到地面。

4 结构计算分析

利用PLAXIS 3D软件,建立地层结构法有限元模型对施工过程进行模拟分析。其中隧道板采用板壳模型,围护桩采用刚度等效的板壳单元模拟,支撑采用杆单元、围檩采用梁单元,承台采用实体单元,φ800原桥桩及φ1400托换桩基采用梁单元。桥梁荷载按桥墩柱底内力,以集中荷载形式施加。土层采用摩尔-库伦模型。

有限元模型简图见图12。

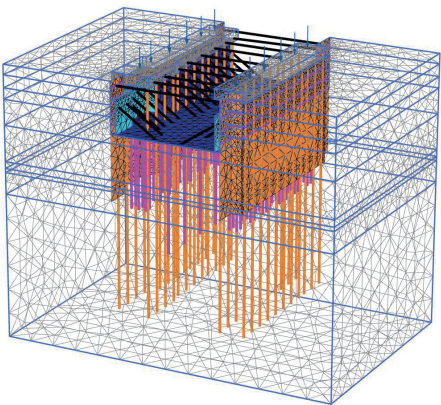


图12 有限元模型简图

图13显示了结构施工完成时土层及围护桩的变形计算结果。施工完成时,围护桩水平位移为28.01 mm,满足基坑环境保护等级一级的围护桩水平位移限值0.18%H=28.44 mm。

图14显示了托换承台在各受力转换工序下的变形计算结果。凿除老桥桩时桥梁荷载进行第1次受力转换,承台竖向最大沉降为4.4 mm;凿除隧道内托换桩基时桥梁荷载完成第2次受力转换,承台竖向最大沉降为9.6 mm;总体变形可控且满足位移小于

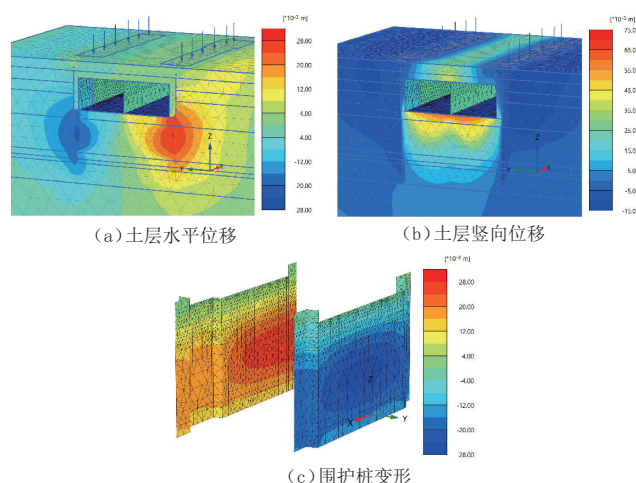


图13 结构施工完成时土层及围护桩变形

15 mm的变形控制标准。

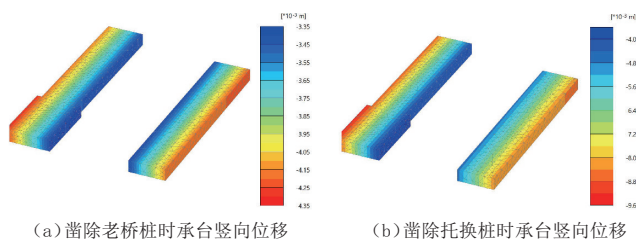


图14 各阶段托换承台变形

5 关键施工工艺

(1) 桩基施工采用全套筒工艺。托换节点复杂、承载力要求高,围护桩及托换桩基实施时,考虑跳桩施工,并采用全套筒工艺,以减少桩基施工对原桥梁桩基的影响。

(2) 采用自密实混凝土浇筑承台下顶板。为确保承台与隧道顶板之间填实,在托换承台上预留一定数量的浇捣孔和通气孔,采用高流态自密实混凝土进行浇筑。

(3) 对托换承台和桩基采取保护措施。土方开挖、支撑及结构施工过程中对承台、桩基等设置明显的保护设施,防止施工机械对其产生碰撞、振动等不利影响。土方开挖过程中保证对立柱四周均匀卸土,以减小基坑土对桩基的侧向力。

(4) 托换桩基穿越结构顶底板节点时采取防水措施。托换桩基与顶底板之间环形布置遇水膨胀止水胶,并预埋注浆管。托换桩基与主体结构之间采

用水泥基渗透结晶型防水涂料。

6 结语

本文介绍了一例新建明挖隧道与既有桥梁墩柱基础空间冲突条件下,对既有桥梁基础进行托换并与明挖隧道共建的工程方案。提出了桥梁托换桩基兼做基坑支护桩的设计方案,在保证隧道基坑安全的同时,节省了支护结构的工程量,施工占地少,便于组织施工期交通,节省造价、工期。托换方案对部分构造细节进行了创新设计,对同类型的桥隧共建工程具有一定的参考作用。

参考文献:

- [1] 贺昌全,胡霞.地铁换乘站与市政桥、隧合建模式及实践探索[J]. 建筑技术开发,2021(1):79-81.
- [2] 高扬.桥梁与隧道共建模式及工程设计技术特点分析[J]. 工程技术研究,2024(8):167-169.
- [3] 王世君.桩基托换技术在广州地铁三号线工程中的应用[J]. 施工技术,2006(6):49-52.
- [4] 顾晓毅.城市桥梁桩基托换设计关键技术[J]. 城市道桥与防洪,2020(2):81-84;12.
- [5] 李亚子,陈康,孙小力.桥隧同位分合建方案研究[J]. 交通节能环保,2022,18(6):168-171.
- [6] 赵月.与市政桥梁合建的地铁车站结构设计—以厦门地铁吕厝站为例[J]. 隧道建设,2015,35(5):439-442.
- [7] 王华,吴太广.综合管廊与桥梁桥墩及桩基合建节点方案设计[J]. 广东土木与建筑,2021,28(8):81-84.
- [8] 郭宏博,阳彬武.与城市桥梁合建的地铁车站结构设计[J]. 市政技术,2018,36(4):110-112;116.
- [9] 徐明辉.地铁车站基坑施工中既有桥梁桩基托换技术分析[J]. 市政技术,2018,36(3):127-130;134.
- [10] 彭华,王晓菁,李子晨,等.应用桩基托换技术的深基坑工程下穿地铁高架桥变形控制研究[J]. 工程力学,2025(增刊1):173-182.
- [11] 李今保,李碧卿,姜涛,等.桥梁基础被动托换工程施工关键技术[C]//第十二届建筑物建设改造与病害处理学术会议论文集,北京:施工技术,2018:83-86.
- [12] 程家军,刘远明,郑滔,等.地铁隧道下穿桥梁桩基托换变形与力学特性[J]. 科学技术与工程,2024(36):15665-15675.
- [13] 郝文海.盾构隧道穿越高架桩基础的支撑方案研究[J]. 中国设备工程,2022(8):193-195.
- [14] 邓涛,关振长,陈开良,等.桥梁桩基主动托换中顶升荷载的简化计算[J]. 岩土力学,2015(11):3259-3267.
- [15] 李万臣.明挖隧道下穿既有桥梁桩基托换施工技术研究[J]. 工程技术研究,2024(19):43-45.