

文章编号: 1674—8247(2024)05—0100—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.05.017

公路路基结构下穿高速铁路桥梁可行性研究

刁云峰¹ 刘玉玲² 崔素花³

(1. 中国铁路北京局集团有限公司, 北京 100070; 2. 中路高科交通检测检验认证有限公司, 北京 100088;
3. 江苏建筑职业技术学院, 江苏 徐州 221000)

摘 要:为研究某公路路基结构下穿高速铁路桥梁设计和施工方案可行性,以该公路下穿高速铁路为工程应用实例,通过有限元分析软件 MIDAS-GTS 模拟施工过程,并结合现场实时监测对设计及施工方案进行评估。研究表明:不同施工阶段高速铁路桥墩墩顶的各方向附加变形均符合标准要求,公路路基结构下穿高速铁路桥梁设计及施工方案可行,沉降监测曲线与理论分析曲线较为吻合,通过仿真模拟来评估设计方案是可行的。

关键词:高速铁路桥梁;路基;理论分析;仿真模拟;沉降;监测

中图分类号:U442

文献标志码:A

Feasibility Study on Road Subgrade Structure Crossing beneath a High-speed Railway Bridge

DIAO Yunfeng¹ LIU Yuling² CUI Suhua³

(1. China Railway Beijing Bureau Group Co., Ltd., Beijing 100070, China;

2. China-Road Transportation Verification & Inspection Hi-Tech Co., Ltd., Beijing 100088, China;

3. Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, Xuzhou 221000, China)

Abstract: To assess the feasibility of the design and construction scheme for a road subgrade structure crossing beneath a high-speed railway bridge, this study took a real case where a highway intersects the railway line. The construction process was simulated using the finite element analysis software MIDAS-GTS, complemented by real-time monitoring data to evaluate the design and construction scheme. The results indicate that the additional displacements in all directions at the top of the high-speed railway bridge piers throughout the various construction stages comply with standard requirements. The proposed design and construction scheme for the road subgrade crossing beneath the high-speed railway bridge is deemed feasible, with the observed settlement monitoring curves closely aligning with theoretical analysis. Using simulation modeling to appraise design solutions in this context is thus deemed viable.

Key words: high-speed railway bridge; subgrade; theoretical analysis; simulation; settlement; monitoring

随着国家经济社会的进步,中国高速铁路建设取得了飞跃式发展,“八纵八横”的高速铁路网络逐步形

成。下穿高速铁路的道路^[1-3]、隧道^[4-6]、管线^[7-8]等邻近营业线工程越来越多,地方相关建设项目对高速

收稿日期:2023-03-30

作者简介:刁云峰(1987-),男,工程师。

基金项目:中国铁路北京局集团有限公司科技研究开发计划引导课题(2022CG02)

引文格式:刁云峰,刘玉玲,崔素花.公路路基结构下穿高速铁路桥梁可行性研究[J].高速铁路技术,2024,15(5):100-105.

DIAO Yunfeng, LIU Yuling, CUI Suhua. Feasibility Study on Road Subgrade Structure Crossing beneath a High-speed Railway Bridge[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(5):100-105.

铁路安全运营的影响也越来越大。

公路等工程项目下穿高速铁路桥梁缺乏统一的技术标准。为满足高速铁路结构和运营安全要求, TB 10182-2017《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》^[9]应运而生,该规程明确了受下穿工程影响的高速铁路桥梁墩台顶横向、纵向、竖向位移限值,即“基本规定 3.0.3:无砟轨道 < 2 mm,有砟轨道 < 3 mm 的标准”。

在公路与市政工程下穿高速铁路桥梁时,如何确保高速铁路轨道的平顺性是亟待解决的问题^[10-13]。影响轨道平顺性的因素主要有桥梁墩台的竖向、横向和顺桥向变形。本工程以某公路路基结构下穿高速铁路桥梁工程为例,通过仿真分析超前模拟和现场监控量测过程控制,对影响高速铁路运营安全的因素进行研究,希望为其他项目提供参考。

1 工程概况

1.1 下穿位置设备情况

京广高速铁路设计速度 350 km/h,无砟轨道,南北走向。该区段高速铁路上部结构全部采用 32 m 预应力简支箱梁,墩身为圆端型结构,基础为 8 根 41 m 长 $\phi 1.0$ m 的钻孔灌注桩。

新建项目为一级公路,设计速度 80 km/h,梁底至设计路面净高 6.6 m,道路面设计高程基本与原地面

等高,满足 ≥ 4.5 m 的通行要求。在京广高速铁路 790 号~792 号桥墩间采用路基结构形式分幅下穿,平面夹角 96° ,路基总宽 45.5 m,中间设 14.5 m 宽中央分隔带。新建道路边缘和高速铁路承台间最小距离为 3.13 m,道路最大挖深 1.62 m。

两条线路的平面位置关系如图 1 所示,道路横断面布置如图 2 所示。

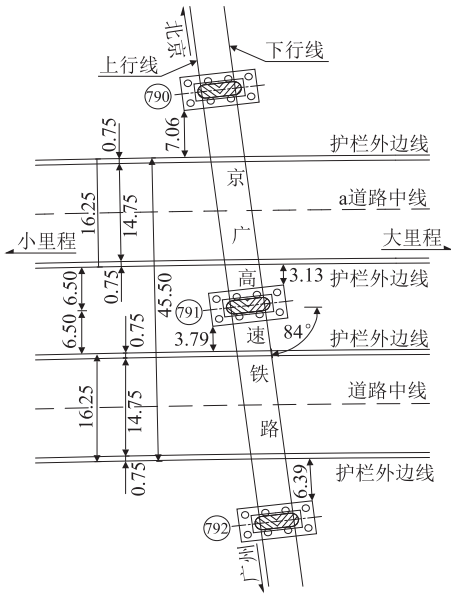


图1 新建公路与高速铁路的平面关系图(m)

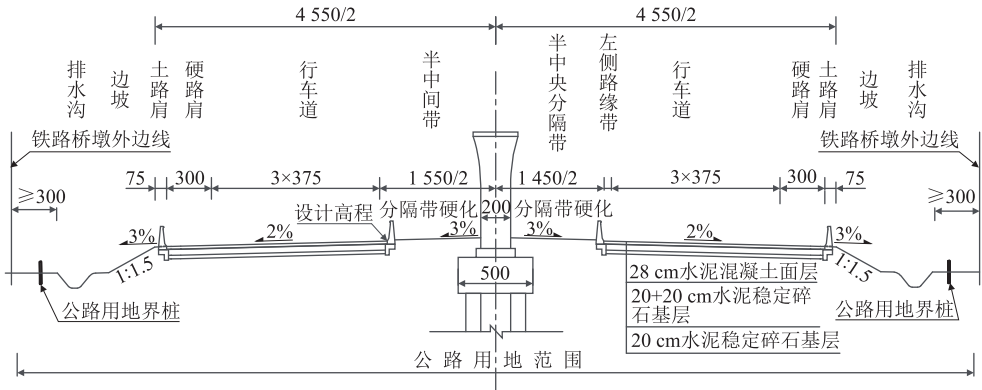


图2 新建公路下穿高速铁路位置断面布置图(cm)

1.2 地质条件

拟建的道路东高西低,沿线较为平坦。地层现场勘探自上而下主要包括:粉质黏土、粉土、细砂等。

依据 GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》^[14]相关标准,该区域抗震基本设防烈度为Ⅷ度,对应地震动峰值加速度为 0.30 g,抗震设防措施等级为 9 度,所属设计地震按第 2 组进行抗震设防。根据 GB 50111-2006《铁路工程抗震设计规范》^[15],经判定,道路沿线场地可忽略地震液化因素。场地标准冻

结深度为 0.60 m。拟建工程场地地下水含水层主要为粉土、砂层,地下水主要来源于大气降水,地下水位年变化幅度为 1~2 m。

2 理论分析

高速铁路梁底到设计路面的净高约为 6.6 m,采用桩板^[16]、桥梁^[17]等下穿结构形式时,施工作业现场空间狭小,大型机械与高速铁路桥梁、梁体距离较近,易发生侵限。本工程采用路基结构下穿设计方式,以

减少新建公路对高速铁路运行的影响。为探究道路施工对高速铁路结构变形、受力的影响,对路基结构下穿方案做了深入的模拟计算分析。

2.1 分析方法

基于有限元理论,采用有限元分析软件 Midas GTS 构建模型,并进行相关的计算。模型设定:同一土层各向同性,不同土层水平分布。土的本构关系采用修正模型,采用梁单元模拟高速铁路桥桩基结构,模型其他部分采用实体单元。梁体等上部结构通过在桥墩上加载等效荷载来模拟。采取水平、竖向约束对四周和底边界进行模拟。模型长 160 m、宽 100 m、深 60 m,三维空间有限元土体模型如图 3 所示。

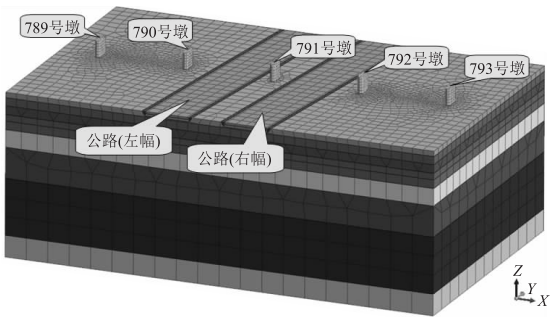


图3 土体三维模型图

2.2 土层参数

参考该处地质资料和试验,土层参数如表 1 所示。

表 1 土层物理力学参数表

厚度 /m	深度 /m	土层名称	天然容重 /(kN/m^3)	饱和容重 /(kN/m^3)	内摩擦角	黏聚力 /(kN/m^2)	压缩模量 /MPa
2.00	2.00	粉质黏土	18.0	19.0	18	20	6
2.97	4.97	粉土	18.1	19.1	15	19	7
3.16	8.13	粉质黏土	18.3	19.3	20	23	9
2.37	10.50	粉土	18.3	19.3	16	19	9
3.13	13.63	细砂	19.0	20.0	33	2	20
6.39	20.02	粉土	18.3	19.3	17	20	14
11.34	31.36	细砂	19.0	20.0	32	2	20
20.70	52.06	粉质黏土	18.6	19.6	28	29	22
7.94	60.00	粉质黏土	18.8	19.8	29	30	24

2.3 荷载工况模拟

按照工程建设完成先后进行模拟分析,模拟过程如表 2 所示。车辆加载阶段模型如图 4 所示。

表 2 计算工况表

阶段	工况内容
初始	土体激活,加载自重,清除自重影响
高速铁路桥梁	高速铁路桥梁及荷载激活
清零	清除高速铁路桥梁影响
路基开挖	路基开挖施工模拟
道路施工	道路施工模拟
车辆加载	激活车辆荷载

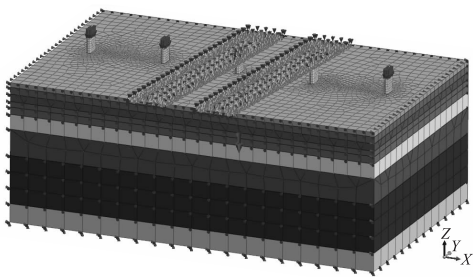


图4 车辆加载阶段加载模型图

2.4 计算结果及分析

2.4.1 变形结果分析

纵向 X 变形结果为正表明朝向高速铁路大里程方向,为负表明朝向小里程方向;横向 Y 变形结果为正表明朝向高速铁路左侧(面向大里程),为负表明朝向右侧;竖向 Z 变形结果为正表明向上凸起,为负表明发生沉降。

通过模拟分析可知,路基开挖阶段,桥墩各向变形最大,土体总变形如图 5 所示。

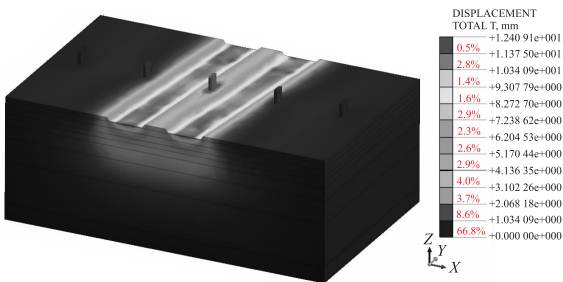


图5 路基开挖阶段土体结构变形图

新建路基下穿各施工阶段高速铁路桥墩墩顶累计附加纵向变形量如表 3 所示。

表 3 墩顶附加纵向变形量表(kN)

阶段	789 号	790 号	791 号	792 号	793 号
路基开挖	0.214	-0.287	0.117	0.316	-0.195
道路施工	-0.013	-0.062	0.021	0.061	0.013
车辆加载	-0.154	0.032	-0.033	-0.048	0.142

由表 3 可知,路基开挖阶段土体卸载作用下,两侧的 790 号、792 号墩出现外倾变形,远离新建工程,变形极值 0.316 mm。随后,790 号和 792 号墩出现内倾变形,变形极值 -0.062 mm。791 号墩位于公路路基结构中间,在荷载对称作用下,变形较小,最大变形值为 0.117 mm。经计算分析,789 ~ 793 号墩各施工阶段墩顶累计附加纵向变形符合位移限值 2 mm 的标准。

不同阶段高速铁路桥梁墩顶累计的附加横向变形量如表 4 所示。

表 4 墩顶附加横向变形量表 (mm)

阶段	789 号	790 号	791 号	792 号	793 号
路基开挖	-0.032	0.029	-0.035	-0.048	0.028
道路施工	0.002	0.003	0.009	0.000	-0.001
车辆加载	0.023	-0.008	0.036	0.023	-0.019

由表 4 可知,各施工阶段,受施工扰动最大的 790 号、791 号和 792 号墩累计附加横向变形最值分别为 0.029 mm、0.036 mm、-0.048 mm。经计算分析,789~793 号墩各施工阶段墩顶累计附加横向变形符合位移限值 2 mm 的标准。

不同阶段高速铁路桥梁墩顶累计的附加沉降变形量如表 5 所示。

表 5 墩顶附加沉降变形量表 (mm)

阶段	789 号	790 号	791 号	792 号	793 号
路基开挖	-0.043	0.465	1.341	0.503	-0.039
道路施工	0.001	-0.012	-0.035	-0.013	0.001
车辆加载	0.027	-0.301	-0.867	-0.326	0.024

由表 5 可知,路基开挖阶段土体卸载作用下,距离施工区域最近的 790~792 号墩出现明显的隆起变形,尤其是中间位置 791 号墩,最大变形值为 1.341 mm。后续施工阶段中,790~792 号墩逐渐由隆起变形转为沉降,在车辆加载阶段沉降变形达到最大值 -0.867 mm。经计算分析,789~793 号墩各施工阶段墩顶累计附加沉降变形符合位移限值 2 mm 的标准。

新建路基下穿高速铁路施工完毕桥墩最终变形如表 6 所示。

表 6 施工完毕墩顶变形量统计表 (kN)

项目	789 号	790 号	791 号	792 号	793 号
累计附加纵向(X)	-0.154	0.032	-0.033	-0.048	0.142
累计附加横向(Y)	0.023	-0.008	0.036	0.023	-0.019
累计附加沉降(Z)	0.027	-0.301	-0.867	-0.326	0.024
累计附加差异沉降	0.328	0.566	0.566	0.541	0.351

由表 3~表 6 可知,高速铁路桥墩最大附加纵向水平变形值为 0.316 mm,最大附加横向水平变形值为 -0.048 mm,最大附加沉降变形值为 1.341 mm,均满足规定 2 mm 的位移限值要求。最大累计附加差异沉降变形值为 0.876 mm,初始设计值叠加后的差异沉降值最大为 1.676 mm,符合 TB 10621-2014《高速铁路设计规范》限值 5 mm 的标准^[18]。

2.4.2 单桩承载力检算

考虑新建公路施工及运营期间产生的附加力,对高速铁路桥梁桩基的单桩承载力进行计算,如表 7 所示。

表 7 高速铁路桥墩桩基承载力检算表 (kN)

墩号	设计值	附加值	施工后数值	容许值
789 号	4 904.39	0.51	4 904.90	4 978.56
790 号	4 916.38	3.10	4 919.48	4 952.41
791 号	4 916.83	6.54	4 923.37	5 037.91
792 号	4 972.65	3.19	4 975.84	5 152.98
793 号	4 888.07	0.59	4 888.66	4 905.91

经检算,高速铁路桩基承载力最大增加 6.54 kN,变化幅度较小,满足容许值要求。

通过以上理论分析结果进行研判,该设计以及施工方案安全可行。

3 变形监测

在下穿工程施工时应实时监测高速铁路桥梁的变形情况,以期及时发现高速铁路受外部施工的影响因素,为项目建设方提供现场的信息和数据。监测的数据和资料可以按照安全预警方案发出预警和报警信息,用以指导施工,保障高速铁路的安全运行。

3.1 监测方案

选取工程下穿高速铁路桥梁的 789~793 号等 5 个桥墩作为监测点进行变形监测,监测项目包括墩台横向、纵向水平位移和竖向位移,施工影响范围外的 787 号、795 号桥墩作为监测基点。竖向变形作为本监测项目的重点,采用自动化实时沉降监测-静力水准监测系统,设置 1 条通路,通过液位的改变得到变换高程,该系统组成如图 6 所示。

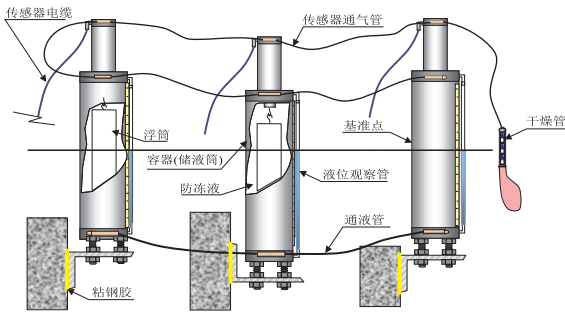


图 6 系统组成简图

墩台横向、纵向水平位移为人工监测,埋设的水平棱镜布置于墩顶处,监测点和基点布置如图 7 所示。

3.2 监测结果及分析

不限速条件下,无砟轨道受建设工程因素影响的桥梁墩台顶横向、纵向、竖向位移值不得超过 2 mm。

(1) 监测结果

不同施工阶段监测情况如表 8~表 10 所示。

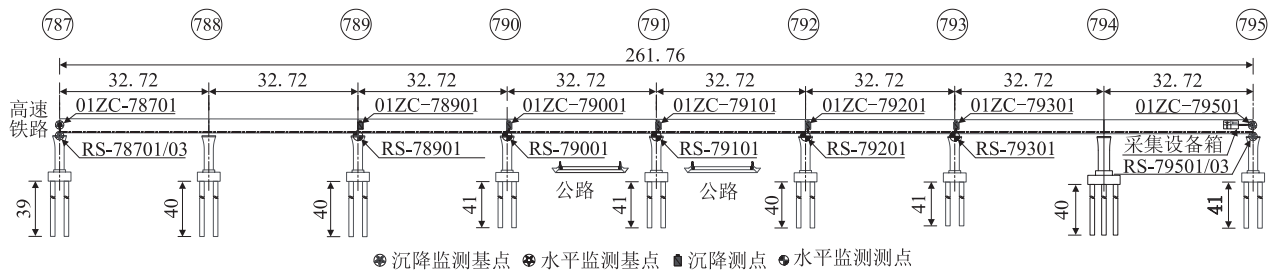


图7 高速铁路桥梁监测点布置示意图(m)

表8 墩顶纵向位移监测数据表(mm)

阶段	789号	790号	791号	792号	793号
路基开挖	0.28	-0.42	0.37	0.26	-0.34
道路施工	-0.04	-0.58	-0.70	-0.13	-0.06
车辆加载	0.06	-0.52	-0.04	0.08	-0.21

表9 墩顶横向位移监测数据表(mm)

阶段	789号	790号	791号	792号	793号
路基开挖	-0.13	0.21	-0.56	-0.47	-0.19
道路施工	0.15	-0.18	-0.22	0.05	-0.11
车辆加载	-0.22	-0.37	-0.85	-0.29	-0.32

表10 墩顶沉降监测数据表(mm)

阶段	789号	790号	791号	792号	793号
路基开挖	0.15	0.62	1.16	0.70	0.23
道路施工	-0.08	-0.37	-0.72	-0.45	-0.21
车辆加载	-0.26	-0.77	-1.06	-0.81	-0.37

由表8~表10可知,789~793号桥墩墩顶纵向、横向水平位移均在1mm范围内,与理论分析的最大值属于同一量级。桥墩纵横向水平变形监测数据与理论分析数据未完全吻合,主要原因为:仿真实验分析与实际施工步骤不完全一致、变形监测存在误差、外界环境等。

桥墩沉降变形最大值为1.16mm,发生在路基开挖阶段,沉降监测数据与理论分析数据较为吻合。

施工过程中,桥墩沉降变形大于桥墩纵向、横向水平变形,且均符合位移限值2mm的要求。

(2) 沉降分析

由监测结果可以看出,新建施工对桥墩沉降变形影响更大,且符合卸载时隆起、加载时沉降的变化规律,现对桥墩沉降进一步深入分析。

选取中间位置沉降变化最大的791号墩,对比其各施工阶段仿真分析结果与监测数据,如表11所示。

表11 791号墩各施工阶段墩顶沉降值表(mm)

阶段	模拟分析	监测值
路基开挖	1.341	1.16
道路施工	-0.035	-0.72
车辆加载	-0.867	-1.06

由表11可知,最终沉降值为-0.867mm,监测最

终沉降值为-1.06mm,实测的数据和仿真分析结果基本吻合。

经以上监测结果验证,该路基结构下穿高速铁路桥梁的设计方案、施工组织、仿真分析可行。

4 结论

(1)通过理论分析可知,该路基结构下穿高速铁路施工对邻近高速铁路桥墩纵向、横向、竖向产生影响,变形最大值分别为0.31mm、-0.048mm、1.341mm,满足墩台顶位移2mm的限值规定,且高速铁路桥墩单桩承载力均符合标准要求。

(2)根据现场实际测量数据,高速铁路桥墩纵向、横向、竖向变形最大值分别为-0.70mm、-0.85mm、1.16mm,符合墩台顶位移限值2mm的标准。

(3)监测数据曲线和理论分析曲线较为一致,验证了高速铁路桥墩在开挖卸载时隆起、施加荷载时沉降的变化规律。

(4)通过对比理论分析和实际监测结果可知,在地基土基本承载力满足要求,且未大体量开挖或填筑路基时,路基结构下穿高速铁路的方案可行。

(5)为保证施工顺利进行,需对路基施工步骤进行规范,高速铁路影响范围基坑采用人工挖土,分段、分层、对称、平衡开挖,先中间后两侧,回填时同样保持对称,以减小对高速铁路基础和墩台的影响。

(6)本路基结构下穿高速铁路工程坚持实地勘测、超前预想、设计合理、措施明确、实时监测的安全设计施工理念,互为支撑,确保项目顺利实施,保障高速铁路运行安全。

参考文献:

[1] 王景春,刘旭菲,侯卫红.新建桥梁对运营高铁基础变位的影响研究[J].铁道工程学报,2017,34(7):60-65,83.
WANG Jingchun, LIU Xufei, HOU Weihong. Research on the Influence of Construction of New Bridge on Foundation Displacement of High-speed Railway in Service[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(7): 60-65, 83.
[2] 杨学林.高速公路桩板结构下穿运营高铁桥梁可行性研究[J].

- 铁道标准设计, 2021, 65(7): 113–118.
- YANG Xuelin. Feasibility Research on Expressway Pile-sheet Structure Undercrossing a High-speed Railway Bridge in Operation [J]. Railway Standard Design, 2021, 65(7): 113–118.
- [3] 马海涛. 市政道路下穿既有高铁桥梁板桩防护技术研究[J]. 铁道勘察, 2018, 44(3): 31–35.
- MA Haitao. Research on Beam-sheet Pile Protection Design for Underpass of Existing High-speed Railway Bridge [J]. Railway Investigation and Surveying, 2018, 44(3): 31–35.
- [4] 张文斌. 某新建轨道交通工程下穿既有高速铁路桥梁方案研究[J]. 铁道标准设计, 2015, 59(5): 82–85.
- ZHANG Wenbin. Study on a New Rail Transit Project Passing Bellow Existing High-speed Railway Bridge [J]. Railway Standard Design, 2015, 59(5): 82–85.
- [5] 靳宝成. 兰新二线西宁隧道长距离浅埋下穿城区方案研究[J]. 铁道建筑, 2018, 58(1): 103–106.
- JIN Baocheng. Scheme Research of Xining Tunnel on Lanzhou-Xinjiang Second Railway under Passing Urban Area with Shallow Buried Overburden along Long Distance [J]. Railway Engineering, 2018, 58(1): 103–106.
- [6] 蔡向辉. 盾构下穿引起的既有线路轨道变形与列车运营作用研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(7): 30–34.
- CAI Xianghui. Research on Existed Track Deformation Induced by Down-traversing Shield Tunnel and Interactive Influence on High-speed Train [J]. Railway Standard Design, 2016, 60(7): 30–34.
- [7] 陈志. 软弱地层浅埋矩形顶管沉降控制技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2021(8): 144–148.
- CHEN Zhi. Research on Settlement Control Technology of Shallow-buried Rectangular Pipe Jacking in Soft Strata [J]. Railway Construction Technology, 2021(8): 144–148.
- [8] 李兴龙, 蔺文帅. 复杂地质条件下矩形顶管下穿管线影响分析[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(2): 94–100.
- LI Xinglong, LIN Wenshuai. Impact Analysis for Rectangular Pipe Jacking with Underpass Pipeline Under Complex Geological Conditions [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(2): 94–100.
- [9] TB 10182–2017 公路与市政工程下穿高速铁路技术规程[S].
- TB 10182–2017 Technology Specification for Highway and Municipal Engineering under Crossing High Speed Railway[S].
- [10] 张占荣. 武广高铁红黏土地基沉降计算方法研究[J]. 铁道工程学报, 2011, 28(4): 9–14, 87.
- ZHANG Zhanrong. Research on Computation Method for Settlement of Red Clay Foundation of Wuhan-Guangzhou Passenger Dedicated Line [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011, 28(4): 9–14, 87.
- [11] 魏丽敏, 辛学忠, 何群, 等. 邻近开挖对桥梁桩基变形与内力影响分析[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(5): 38–44.
- WEI Limin, XIN Xuezhong, HE Qun, et al. Effect of Adjacent Excavation on Deformation and Internal Force of Bridge Pile Foundation [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(5): 38–44.
- [12] 徐亚光, 曹文, 康圣雨. 新建公路桥梁对既有铁路桥隧的影响分析[J]. 铁道建筑, 2019, 59(3): 22–25.
- XU Yaguang, CAO Wen, KANG Shengyu. Analysis of Influence of Newly Constructed Highway Bridge on Existing Bridges and Tunnels [J]. Railway Engineering, 2019, 59(3): 22–25.
- [13] 董亮, 苏永华, 袁磊. 地面堆卸载作用对铁路桥墩沉降的影响分析[J]. 铁道建筑, 2019, 59(5): 51–55.
- DONG Liang, SU Yonghua, YUAN Lei. Influence of Ground Surcharge and Unloading on Settlement of Railway Bridge Pier [J]. Railway Engineering, 2019, 59(5): 51–55.
- [14] GB 18306–2015 中国地震动参数区划图 [S].
- GB 18306–2015 Seismic Ground Motion Parameters Zonation Map of China [S].
- [15] GB 50111–2006 铁路工程抗震设计规范[S].
- GB 50111–2006 Code for Seismic Design of Railway Engineering [S].
- [16] 梁金平. 地基加固成桩对邻近高速铁路变形影响研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(5): 13–17, 87.
- LIANG Jinping. A Study on Impact of Foundation Reinforcement Piles on Deformation of Adjacent High-speed Railways [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5): 13–17, 87.
- [17] 罗军, 王炳龙, 陕耀, 等. 邻近高速铁路单根高压旋喷桩施工对周围土体的变形影响[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(1): 13–19.
- LUO Jun, WANG Binglong, SHAN Yao, et al. Deformation Impact of Construction of a Single High-pressure Jet Grouting Pile in the Vicinity of a High-speed Railway on Surrounding Soil Mass [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(1): 13–19.
- [18] TB 10621–2014 高速铁路设计规范 [S].
- TB 10621–2014 Code for Design of High Speed Railway [S].