

文章编号: 1674—8247(2024)03—0013—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.03.003

公路下穿施工对高速铁路桥梁墩台及行车安全影响研究

叶 丹

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

摘 要:以怀安县高速铁路车站西路下穿张呼高速铁路怀安站特大桥为例,采用现场监测和数值模拟研究公路下穿施工对怀安站特大桥邻近墩台及行车安全的影响。首先,利用现场监控得到下穿墩台在不同施工阶段的沉降值和横、纵向水平位移值;随后,通过 Midas GTS 建立数值模型分析墩台的动力响应规律;采用 ANSYS/LS-DYNA 软件建立列车-轨道动力学耦合模型,评价怀安特大桥列车在公路下穿施工过程中的行车安全性。研究结果表明:在车站西路下穿施工过程中,怀安站特大桥桥墩沉降和位移条件均在规范限值内;为确保列车运行的绝对安全与平稳,建议怀安特大桥高速铁路列车限速 200 km/h 通过施工区段。

关键词:公路施工;铁路桥梁;现场监测;桥墩沉降;数值仿真

中图分类号: U455.55⁺9

文献标志码: A

Research on the Impact of Road Undercrossing Construction on the Pier Foundations and Operational Safety of High-speed Railway Bridges

YE Dan

(China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100055, China)

Abstract: Taking the example of Huai'an County High-speed Railway Station West Road undercrossing the Huai'an Station Super Major Bridge of the Zhangjiakou-Hohhot High-speed Railway, this study investigates the impact of the construction on the adjacent piers of the Huai'an Station Super Major Bridge. Firstly, on-site monitoring was employed to obtain the settlement values and lateral and longitudinal horizontal displacement values of the underpass pier at various construction stages. Subsequently, a numerical simulation model was established using Midas GTS to further analyze the dynamic response behavior of the pier. Finally, a coupled train-track dynamics model was developed in ANSYS/LS-DYNA to evaluate the train operational safety during the road construction. The research findings indicate that during the road construction, the settlement and displacement of the piers of the Huai'an Station Super Major Bridge remain within the specified limits. It is recommended, for the absolute safety and smooth operation of trains, to appropriately limit the speed of high-speed trains to 200 km/h when traversing the construction section of the Huai'an Station Super Major Bridge.

Key words: road construction; railway bridge; on-site monitoring; bridge pier settlement; numerical simulation

随着《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》的实施,我国交通运输网络规模不断扩大。受制于前期规划、经济基础以及土地资源等因素,出现了越来越多公路线路与铁路线路近接甚至交叉的工程

案例^[1-2]。高速铁路桥梁周边环境施工极有可能引起桥梁墩台发生不均匀沉降,进而导致轨道处于动态不平顺状态,严重影响高速铁路安全运营^[3-5]。因此,研究周边环境施工对高速铁路桥梁墩台的影响具有十

收稿日期:2024-03-18

作者简介:叶丹(1983-),男,高级工程师。

引文格式:叶丹.公路下穿施工对高速铁路桥梁墩台及行车安全影响研究[J].高速铁路技术,2024,15(3):13-18.

YE Dan. Research on the Impact of Road Undercrossing Construction on the Pier Foundations and Operational Safety of High-speed Railway Bridges[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(3):13-18.

分重要的工程意义。

目前,学者针对桥梁墩台在邻近施工过程中的动力响应开展了大量研究^[6-7]。蒋小锐^[8]等利用有限元软件分析基坑开挖对既有桥梁变形和位移的影响,并探讨施工期间高速铁路限速运行措施;李士中^[9]采用数值模拟方法研究京杭大运河新航道开挖各阶段对高速铁路桥墩安全的影响;王国栋^[10]等通过现场监测与数值模拟研究隧道施工对其上部边坡、邻近桥墩的影响规律,并对预应力锚索框架梁的加固效果进行评价。然而,现有研究成果很少涉及下穿公路施工对高速铁路桥梁墩台的影响,无法为下穿铁路桥公路施工控制标准提供参考。

基于此,依托怀安县高速铁路车站西路下穿张呼高速铁路怀安站特大桥施工工程,采用现场监控和数值模拟研究公路下穿施工过程中怀安特大桥墩台的动力响应规律,并对怀安特大桥列车运行安全进行评价。研究成果可为此类工程提供参考。

1 工程概况

怀安县高速铁路车站西路与既有张呼高速铁路怀安站特大桥正交,计划从111号、112号墩台中间穿过,位置关系如图1所示。怀安站特大桥全长超过7 000 m,为标准跨度32.7 m简支梁桥。公路所下穿的111号桥墩承台下半部尺寸为9.9 m×7.7 m×1.5 m,上半部尺寸为6 m×5 m×1 m,桩基为8根 ϕ 1 m、桩长33 m的钻孔桩;122号桥墩承台尺寸为5.2 m×7.5 m×2.5 m,桩基为6根 ϕ 1 m、桩长35 m的钻孔桩。而高速铁路车站西路下设多条市政管线,基坑最大开挖深度4.8 m。开挖土层主要以粉质黏土为主,放坡开挖势必会引起桥墩沉降、变形。此外,怀安站特大桥处高速铁路设计速度为250 km/h,桥墩沉降、变形将影响列车的舒适性和安全性。

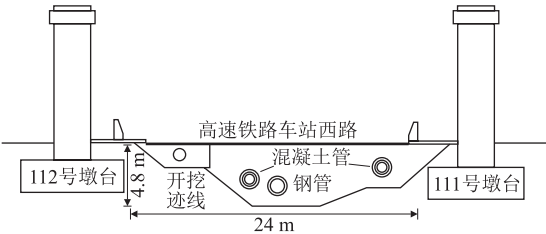


图1 高速铁路车站西路与怀安特大桥位置示意图

2 现场监测

2.1 监测方案

通过现场监测采集怀安县高速铁路西路下穿施

工过程中怀安站特大桥桥墩的动力响应数据,监测内容主要包括110~113号桥墩的沉降位移、横向水平变形、纵向水平变形监测以及倾斜变形等。根据TB 10101-2018《铁路工程测量规范》^[11],沉降观测选用电子水准仪配合钢钢尺测量,墩柱倾斜采用倾角仪进行无线量测,墩顶的变形监测采用徕卡TS60高精度全站仪+植筋悬挂棱镜方法进行监测。墩柱测点布置如图2所示,上排位移变形测点布置在桥墩顶面,下排倾斜变形监测点和沉降监测点位于承台顶面上方约1 m处。

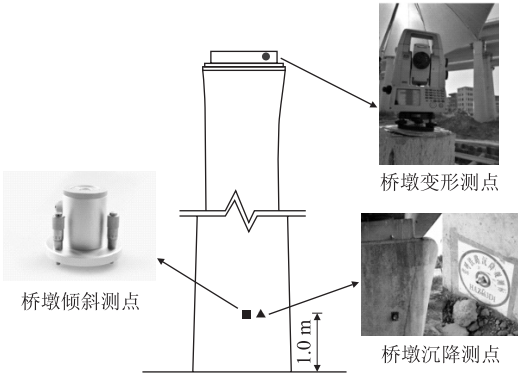


图2 桥墩现场监测测点布设示意图

2.2 监测结果分析

110~113号墩台在车站西路放坡开挖、管道安装及回填阶段以及回填结束后的沉降位移变化曲线如图3所示。由图3可知,邻近墩台的沉降值均在0~-4 mm范围内,满足规定 ± 6 mm限值要求。其中,被下穿的111号和112号墩台受道路施工影响较大,在放坡开挖阶段墩台沉降值为-1.55 mm,在管道安装和回填施工阶段继续增大至-3.22 mm,回填结束后墩台沉降趋于平稳;而距离较远的110号和113号墩台几乎不受施工影响,仅在放坡开挖阶段发生轻微沉降,在开挖完成后沉降趋于稳定。

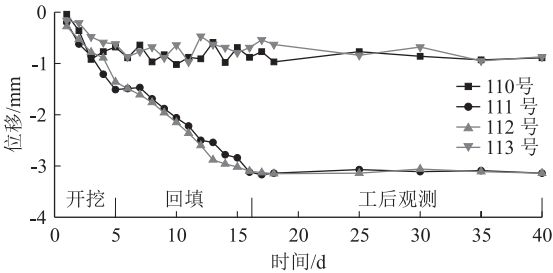


图3 墩台沉降位移变化曲线图

以顺桥向作为墩台横向水平位移方向,其垂线方向作为墩台纵向水平位移方向,110~113号墩台在

车站西路放坡开挖、管道安装及回填阶段以及回填结束后的横向水平位移、纵向水平位移变化曲线分别如图4、图5所示。高速铁路车站西路开挖对墩台的变形影响较小,横向水平位移和纵向水平位移最大值均满足规定 $\pm 3\text{ mm}$ 限值要求。其中,墩台的横向水平位移主要发生在放坡开挖和管道安装及回填阶段,而纵向水平位移主要发生在管道安装及回填阶段;距离施工公路越近,墩台所受到的影响越大。

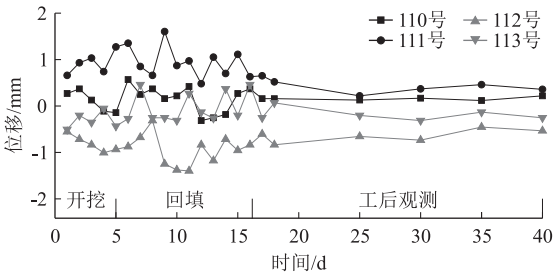


图4 墩台横向水平位移变化曲线图

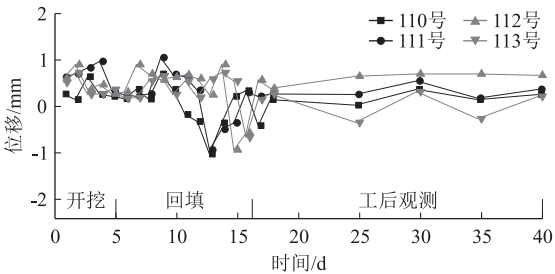


图5 墩台纵向水平位移变化曲线图

3 数值分析

3.1 有限元模型建立

采用有限元软件 Midas GTS NS 对公路下穿施工中高速铁路桥梁墩台的动力响应进行分析。根据工程范围和评估需要,同时消除边界效应的影响,模型的长、宽、高分别设置为 160 m、120 m、75 m。假定桥梁桥墩、承台、桥桩均为线弹性结构。土体自上而下简化为 10 层水平层状分布的均质地层,采用修正的 Mohr-Coulomb 模型^[12]。桥梁桩基采用 1D 梁单元模拟,防护桩采用 2D 板单元模拟,其他部分均采用 3D 实体单元模拟。桥梁上部结构则以自重形式加载至承台。模型四周边界采用法向约束,底部边界采用竖向约束。土层地质参数如表 1 所示。模型如图 6 所示。

3.2 有限元计算工况

按照车站西路实际施工顺序进行有限元计算,共分为土层初始应力状态、既有张呼高速铁路桥梁施工、道路土体开挖以及道路土体回填等步骤,以此分

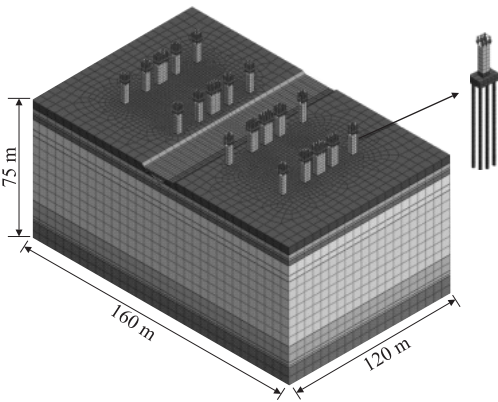


图6 有限元计算模型图

表1 土层地质参数表(自上而下)

名称	容重 γ /(kN/m ³)	黏聚力 C /kPa	摩擦角 φ /($^{\circ}$)	压缩模量 E_s /MPa	基本承载力 /KPa
粉土	19.8	16.6	13.3	3.14	120
中砂	19	1	32	12.5	220
粉砂	19	1	25	6.5	150
中砂	18.5	1	31	12	250
粗砂	18.5	1	32	15	300
细砂	18.8	1	25	9	180
砾砂	20	1	38	19	350
粗圆砾土	20	1	38	20	400
粉土	19.8	21	14	4.59	140
细砂	18.8	1	25	9	180

析道路放坡开挖、道路施工等阶段对既有铁路桥梁变形的影响,具体模拟过程如表 2 所示。

表2 施工过程模拟步骤表

工况	施工过程	内容
1	土层初始应力状态	激活土体,加载土体自重及边界条件,清除土体自重下位移
2	既有张呼高速铁路桥梁施工	激活既有桥梁结构
3	分层开挖顶层土	钝化第一层土
4	分层开挖中部土层	钝化第二层土
5	开挖底部土层	钝化第三层土
6	回填底层土	激活第三层土
7	回填中部土层	激活第二层土
8	回填顶层土	激活第一层土

3.3 计算结果分析

公路不同施工阶段各个墩台的沉降如图 7 所示。由图 7 可知,墩台最大沉降发生在工况 8(回填顶层土),约为 3.8 mm。数值模拟结果在沉降量及变化趋势方面均与现场监测结果一致,可认为数值模拟方法具有良好的可靠性。以 111 号桥墩 5 个墩台的沉降情况为例,分析道路下穿施工对各个子桥墩的影响。

111 号桥墩的各项变形值如表 3 所示。由表 3 可知,在不同施工阶段,111 号桥墩中间子桥墩的沉降值由 -2.5 mm 增加至 3.9 mm,两侧的沉降值则由 -0.8 mm 增加至 2.1 mm,呈现出“中间大,两边小”的规律,表明道路下穿施工对中间墩台沉降的影响明显大于两侧墩台。

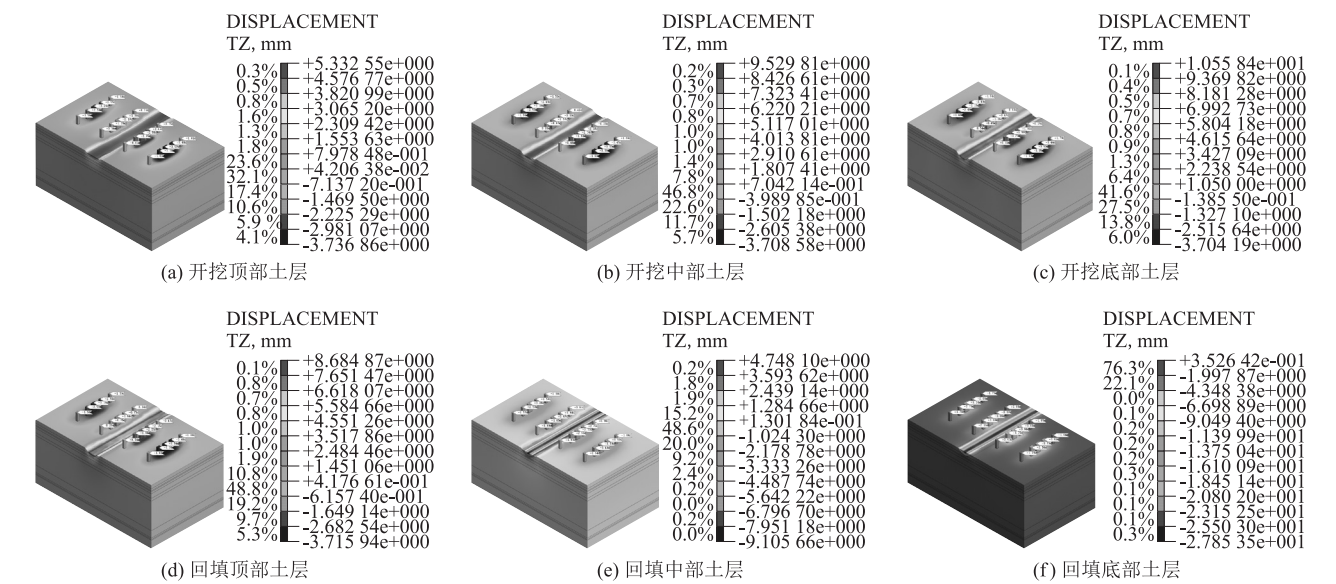


图 7 不同施工阶段墩顶沉降云图

表 3 111 号桥墩在施工过程中的各项变形值表 (mm)			
施工过程	沉降值	横向位移	纵向位移
开挖顶层土	2.56	1.77	0.13
开挖中层土	2.14	2.21	0.15
开挖底层土	1.97	2.44	0.18
回填底层土	2.21	2.19	0.17
回填中层土	2.77	1.69	0.15
回填顶层土	3.94	0.17	0.12

纵向水平位移如图 8、图 9 所示。数值模拟并未考虑上部结构对桥墩的约束作用,计算值较实际位移值偏大,但仍在规范限值之内。墩台最大横向水平变形和纵向水平变形均发生在工况 5(开挖底部土层)和工况 6(回填底部土层)阶段,横向水平位移极值出现在中间桥墩,并向道路坑内侧方向变形,纵向水平位移极值出现在两侧桥墩。综合桥墩的沉降、横向水平位移和纵向水平位移可知,道路下穿施工对铁路桥梁的影响较为有限,桥梁结构始终处于安全状态。

下穿公路不同施工阶段墩顶的横向水平位移和

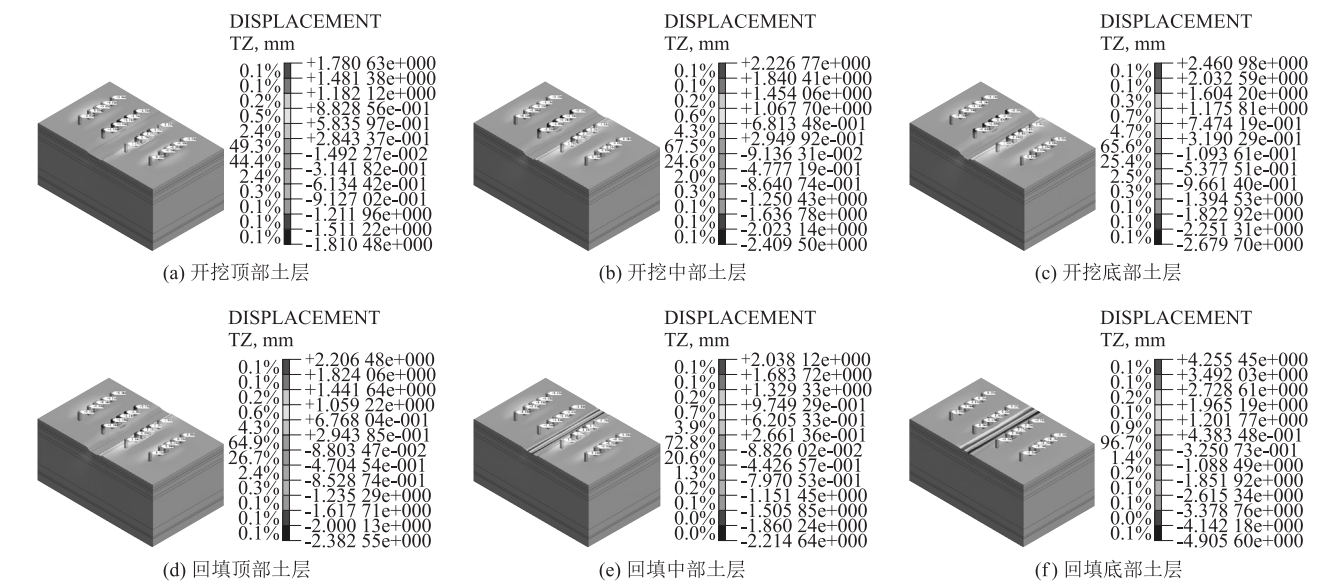


图 8 不同施工阶段墩顶横向水平位移云图

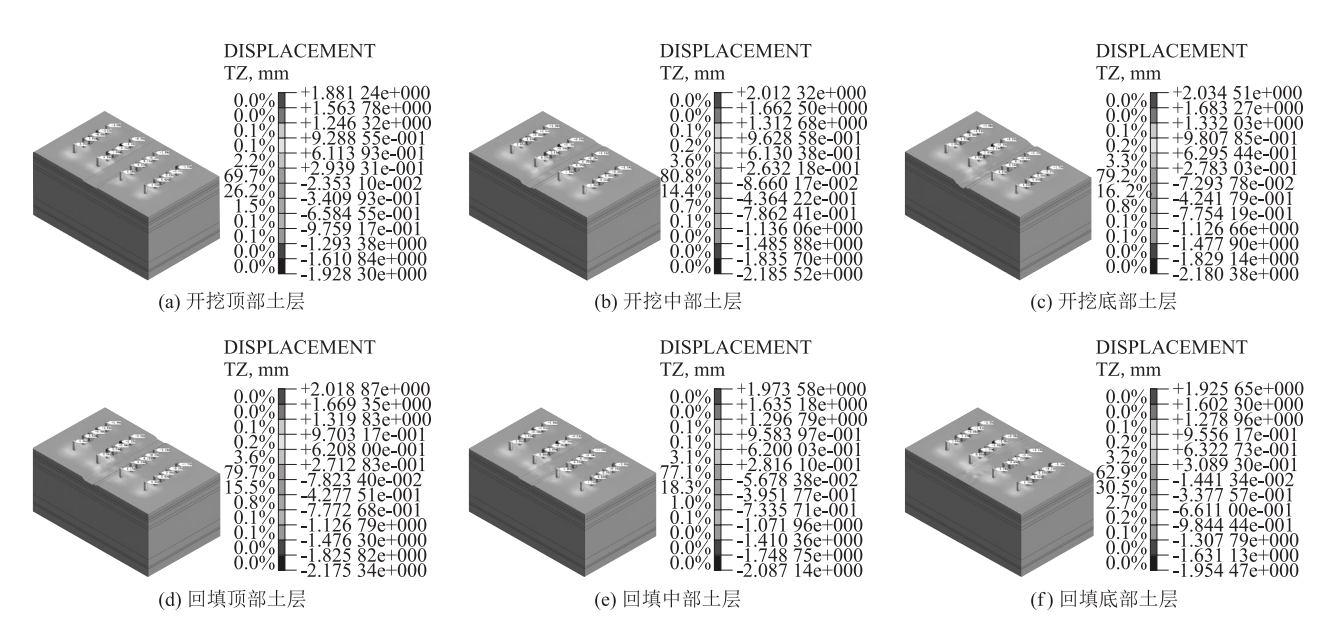


图 9 不同施工阶段墩顶纵向水平位移云图

3.4 列车运行安全评价

采用 ANSYS/LS-DYNA 软件建立列车 – 轨道动力学耦合模型,评价公路下穿施工中的列车行车安全性。车身、转向架和轮对采用实体单元进行模拟,底座板和轨道板采用壳单元进行模拟,钢轨采用梁单元进行模拟,扣件和地基则采用弹簧单元模拟,如图 10 所示。列车与轨道之间通过 *Rail_Train 关键字实现动力学耦合,列车车速则使用 *Boundary_Prescribed_Motion_Rigid 进行定义。将前述工况 8 所得的各桥墩沉降值作为轮轨系统激励,输入到列车 – 轨道动力学耦合模型。

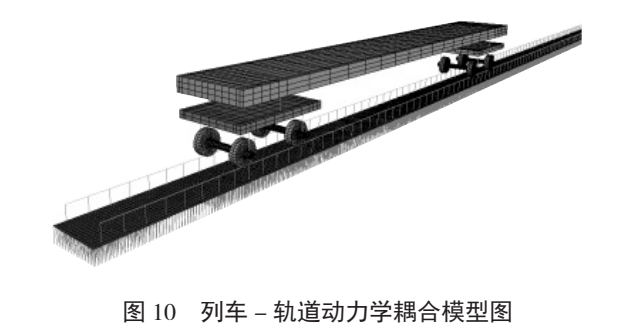


图 10 列车 – 轨道动力学耦合模型图

将高速铁路的运行速度设置为 250 km/h,得到工况 8 下列车在此速度下的横向加速度 0.03 m/s^2 ,垂向加速度 0.08 m/s^2 ;我国规范针对客车规定 140 ~ 160 km/h 速度等级,Ⅰ级(日常保养)、Ⅱ级(舒适度)、Ⅲ级(紧急补修)等标准对应的车体垂向和横向加速度最小限值分别为 0.20 g 、 0.15 g 。动力仿真计算结果均满足安全性及舒适性的要求。

综上所述,基于现场监测和数值模拟结果,张呼高速铁路在此段无需进行限速控制;然而,考虑到现场施工、环境振动以及列车运营等因素的复杂性,结合已有研究成果^[13],建议在道路下穿施工过程中,张呼高速铁路列车可限速 200 km/h 通过施工区段。

4 结论

本文以怀安县高速铁路车站西路下穿张呼高速铁路怀安站特大桥为例,采用现场监测和数值模拟研究道路下穿施工过程对怀安特大桥相邻墩台的影响,得到主要结论如下:

- (1)墩台的沉降随着施工进行而不断增大,在回填完成后趋于稳定;横向水平位移主要发生在放坡开挖、管道安装和回填阶段,纵向水平位移主要发生在管道安装和回填阶段;距离施工公路越近,墩台所受到的施工影响越大。
- (2)墩台最大沉降发生在回填顶层土阶段,墩台最大横向、纵向水平变形均发生在开挖底部土层阶段;沉降位移极值和横向位移极值出现在中间桥墩,纵向水平位移极值则出现在两侧桥墩。综合现场监控和数值计算结果,怀安站特大桥桥墩沉降和位移均在规范限值内。
- (3)在设计时速下,列车的垂向、水平加速度均满足安全性及舒适性要求。考虑到现场施工、环境振动以及列车运营等因素的复杂性,建议在道路下穿施工过程中,张呼高速铁路列车可限速 200 km/h 通过施工区段。

参考文献:

[1] 谢毅,肖杰. 高速铁路发展现状及趋势研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(2): 23-26.
XIE Yi, XIAO Jie. Research on High-speed Railway Development Status and Trend [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 23-26.

[2] 翟婉明,姚力,孙立,等. 基于车辆-轨道耦合动力学的400 km/h 高速铁路线路平面参数设计研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(2): 1-10, 16.
ZHAI Wanming, YAO Li, SUN Li, et al. Research on Route Plan Design Parameters of 400 km/h High-speed Railway Based on Vehicle-track Coupling Dynamics [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 1-10, 16.

[3] 陈兆玮,翟婉明. 基于列车振动的高速铁路桥墩沉降控制阈值[J]. 交通运输工程学报, 2022, 22(2): 136-147.
CHEN Zhaowei, ZHAI Wanming. Control Threshold of Pier Settlement in High-speed Railways Based on Train Vibrations [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2022, 22(2): 136-147.

[4] 龚循强,汪宏宇,鲁铁定,等. 基于RLM-MC的高速铁路桥墩沉降曲线预测方法[J]. 铁道学报, 2022, 44(10): 142-149.
GONG Xunqiang, WANG Hongyu, LU Tieding, et al. A Settlement Curve Prediction Method of High-speed Railway Bridge Pier Based on RLM-MC [J]. Journal of the China Railway Society, 2022, 44(10): 142-149.

[5] 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.

[6] 周济民. 盾构区间隧道下穿高架桥桩基群施工技术与环境影响预测[J]. 现代隧道技术, 2016, 53(1): 165-172.
ZHOU Jimin. Construction Technology and Environmental Impact Prediction for a Shield Tunnel under a Viaduct Pile Foundation Group [J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53(1): 165-172.

[7] 孟长江,熊大生,赵海粟,等. 基坑降水对临近运营高铁桥墩的影响评估分析[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(S2): 265-268.
MENG Changjiang, XIONG Dasheng, ZHAO Haisu, et al. Evaluation and Analysis of the Influence of Foundation Pit Dewatering on the Adjacent High-speed Rail Pier [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(S2): 265-268.

[8] 蒋小锐,黄杰,李楠. 城际铁路明挖隧道下穿既有高铁施工控制技术 & 标准探讨[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(6): 104-111.
JIANG Xiaorui, HUANG Jie, LI Nan. Discussion on Construction Control Technology and Standard of Intercity-railway Undercrossing Existing High-speed Railway by Open-cut Tunnel [J]. Railway Standard Design, 2020, 64(6): 104-111.

[9] 李士中. 京杭大运河新开挖航道对高速铁路桥墩的影响[J]. 铁道建筑, 2020, 60(8): 33-36.
LI Shizhong. Influence of Beijing-Hangzhou Grand Canal's Newly Excavated Waterway on Bridge Pier of High Speed Railway [J]. Railway Engineering, 2020, 60(8): 33-36.

[10] 王国栋,王志杰,段明明,等. 铁路隧道下穿连续刚构桥墩施工影响及防控措施研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(11): 2399-2406.
WANG Guodong, WANG Zhijie, DUAN Mingming, et al. Research on the Construction Influence and Protection of Railway Tunnel Crossing beneath the Pier of Existing Continuous Rigid Frame Bridge [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2017, 14(11): 2399-2406.

[11] TB 10101-2018 铁路工程测量规范[S].
TB 10101-2018 Code for Railway Engineering Survey [S].

[12] 郭延辉,严明,宋琴,等. 深基坑开挖对临近既有高压天然气管道的影响[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(S2): 840-847.
GUO Yanhui, YAN Ming, SONG Qin, et al. Influence of Deep Foundation Pit Excavation on Adjacent Existing High-pressure Natural Gas Pipeline [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2021, 17(S2): 840-847.

[13] 张碧文. 浅埋盾构下穿高速铁路基沉降分析及控制[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(2): 109-113, 126.
ZHANG Biwen. Analysis and Control of High-speed Railway Subgrade Settlement Caused by Shallow-shield Tunnel Construction [J]. Modern Tunnelling Technology, 2013, 50(2): 109-113, 126.