

城市主干路下穿高速铁路设计技术研究

彭翔

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要:随着我国高速铁路的快速发展,市政道路与高速铁路交叉点位增多。受高铁桥梁桥墩的净距限制及城市主干路的宽路幅制约,下穿设计方案的合理度直接影响工程的可行性。为实现对下穿工程在设计、施工及监测等阶段的全过程指导,首先理论分析下穿工程对高速铁路安全影响的控制要素;然后以汕头市某城市主干路下穿汕汕铁路为例,从全专业角度详细分析道路、桩板结构、管线的设计原则和方案设计要点,并利用有限元分析方法论证方案的合理性;最终系统阐述施工要求和监测水平,为类似工程提供经验。

关键词:下穿工程;城市主干路;桩板结构;高速铁路

中图分类号: U412.37

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)09-0087-03

0 引言

高速铁路的快速发展带动着交通经济圈时代的形成,促进着区域间社会、经济、文化的交流。截至2021年底,全国铁路营业里程达到15万km,其中高速铁路营业里程达到4万km^[1]。随着高速铁路网密度的增加,其与市政道路、公路等交通网不可避免地存在交叉。由于高速铁路的设计速度及安全等级高,交叉工程的施工必然会造成临近桥梁墩台及基础产生位移变形,因此市政道路穿越铁路的设计及施工方案要求严格,需要深入剖析影响机理,确定控制因素,并结合工程特点采取针对性的设计方案,进而有效降低交叉工程对高速铁路的影响,保证高速铁路的运营安全。

交叉工程的形式以下穿高速铁路为主,包括桥梁下穿、桩板结构下穿、U型槽和框架结构下穿、路基下穿及隧道下穿^[2]。下穿形式的选择受高铁设备情况、工程地质条件、桥下净空等多因素综合控制。当桥下净空满足要求且具备桥梁设置条件时优先采取桥梁下穿,其对高铁影响较小;若地基承载力大于180 kPa且填方高度不大于1 m时可采用路基下穿形式,其在经济性、施工难易程度及工期要求等方面具有优势,但填挖方引起的荷载变化对墩台变形影响较大^[3];若地质情况不适宜采用路基结构下穿且不具备桥梁设置条件时,宜采用桩板结构下穿,其结构强度及稳定性好、刚度大,但施工工艺相对复杂^[4];

当桥下净空不满足通行需求时,宜采用U型槽或框架结构下穿,其基坑开挖深度对墩台变形影响明显^[5]。

综上所述,下穿形式选取的适应性对高速铁路的结构及运营安全影响显著。目前国内外学者基于工程实例对市政道路工程下穿高速铁路的研究,未能从影响高速铁路运营安全的控制要素角度出发,对全专业设计方案、施工方案及监测方案等进行系统分析。本文以汕头市某城市主干路下穿汕汕铁路为例,全面研究市政道路下穿高速铁路的设计、施工及监测要点,实现对类似工程的普适性。

1 设计控制要素

(1)结构范围要素。下穿工程的施工和运营必然会在一定范围内影响高速铁路的桥梁结构、轨道的变形和位移以及相关铁路设备的稳定等。在《铁路安全管理条例》(国务院令 第639号)中,规定了铁路线路安全保护区范围,其与影响区范围的概念存在差异。安全保护区范围与铁路途径区域相关,而影响区范围与下穿工程的类型及规模、地质条件、施工工艺等有关,需进行综合评估后才能确定高速铁路影响区范围^[6]。根据工程实践,影响区范围可以参照安全保护区范围要求,即结构两端至高速铁路桥梁水平投影外侧的垂直距离不小于20 m。

(2)桩径、桩距及其与高铁桥梁基桩净距要素。下穿路段根据地质情况需对地基进行处理,尤其是在软弱地层一般会采取桩基形式以提高结构的安全性和稳定性。桩径和桩距对高速铁路桥梁结构均会产生明显影响,且随着桩径的增大及桩距的缩小,结构的变

收稿日期:2022-10-20

作者简介:彭翔(1993—),男,硕士,工程师,主要从事道路设计工作。

形增大^[7]。高速铁路影响区范围内优先采用钻孔桩,其与高速铁路桥梁基桩中心的距离在不良土层及良好土层状况下分别不宜小于6倍和4倍桩径^[2]。

(3)结构边界与高速铁路桥墩净距要素。为防止下穿道路车辆碰撞高速铁路桥墩,结构边界需与高铁桥墩保持一定的安全距离,以保证碰撞时所需的缓冲空间。桥梁、桩板结构及路基两侧需设置防撞护栏,护栏外侧至高速铁路桥墩的净距不小于2.5 m^[2]。

(4)墩台顶位移限值要素。高速铁路桥墩的竖向位移及横向位移等将会影响轨道高低的平顺性及轨道的平顺性。前述各种要素的控制核心即是为了降低墩台顶位移以保证高速铁路的安全。根据相关规范要求,受下穿工程影响的高速铁路桥梁墩台顶位移限值见表1^[2]。

表1 墩台顶位移限值			单位:mm
轨道类型	横向水平位移	纵向水平位移	竖向位移
有砟轨道	3	3	3
无砟轨道	2	2	2

2 设计方案实例

本工程为汕头市某双向8车道城市主干路,设计速度60 km/h,一般路段红线宽度60 m,下穿路段红线宽度90 m。该道路下穿汕汕铁路到发线及汕汕铁路正线81#~83#桥墩,其中汕汕铁路正线设计速度350 km/h,到发线设计速度80 km/h,均采用CRTS I型双块式无砟轨道。下穿段铁路桥梁梁跨为32 m的预应力混凝土简支箱梁,新建道路与铁路交叉角度为90°24'32"。

交叉区域属海积平原区,地面高程10~18 m,场地内分布有填土层(Q4ml)、细砂层(Q4m)、淤泥质土及灰色黏土层(Q4m)、黏土及粉质黏土层(Q3mc)、砂及砾质黏性土(Q3el)、全风化花岗岩带(γ53(1))、强风化花岗岩带(γ53(1))。淤泥质土及黏土层地基承载力低且压缩性高,其特征值约为45~70 kPa,在8度地震烈度条件下场区上部砂土层发生轻微-中等液化的地震效应时,淤泥质软土层易致地基失稳而诱发沉降、震陷。厂区地下水以第四系松散土层孔隙水为主,水位和流程受季节和降水影响明显。

2.1 整体设计方案

受高铁桥梁桥墩净距的限制以及城市主干路宽路幅的制约,为最大限度降低下穿工程施工期间对已建铁路桥梁安全的影响,本次设计基于“分幅下穿+慢行分离”的原则,机动车道采用桩板结构下穿

的方式。整体设计方案图见图1。

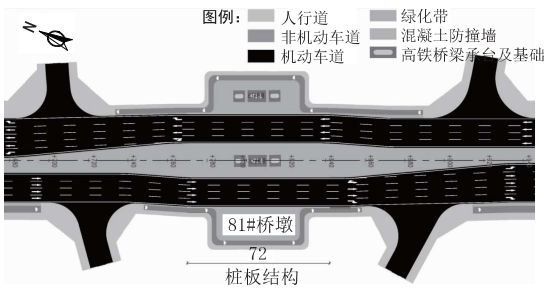


图1 整体设计方案图(单位:m)

2.1.1 平面设计方案

下穿路段位于直线段,总长72 m。为满足道路边界与铁路桥梁承台的净距要求,降低因基坑开挖对墩台位移及变形的影响,将左右幅机动车道分别穿越82#和83#、81#和82#桥墩,慢行系统分别绕至81#、83#桥墩外侧,中央分隔带宽度由标准段7.5 m渐变至16 m。设计方案的结构边界至铁路承台的最小距离为4.89 m,且结构两端至铁路桥梁水平投影外侧的最小距离为22.6 m。

2.1.2 纵断面设计方案

基于远期通行需求及区域排水要求,下穿段净空不低于5.5 m,涉铁范围采用0.5%的单坡形式穿越铁路影响区,最大挖深1.316 m。

2.1.3 横断面设计方案

下穿段道路红线宽度90 m,横断面组成为:4.5 m(慢行系统)+16.5 m(侧分带)+0.5 m(防撞护栏)+15.0 m(机动车道)+0.5 m(防撞护栏)+16.0 m(中央分隔带)+0.5 m(防撞护栏)+15.0 m(机动车道)+0.5 m(防撞护栏)+16.5 m(侧分带)+4.5 m(慢行系统)=90 m,防撞护栏的防撞等级均为SS级。右半幅标准横断面设计图见图2。

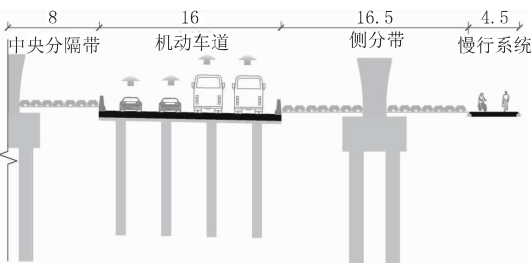


图2 右半幅标准横断面设计图(单位:m)

2.1.4 下穿形式的选择

基坑开挖过程相对于高速铁路桥墩桩基而言为卸载过程,其势必引起坑外土体应力释放并导致临近桩基础产生附加变形和位移,甚至会引起桩基的屈服及断裂破坏等问题^[6]。本工程由于桥下净空不足,整体以挖方形式穿越铁路桥梁,且考虑路幅宽度较宽,道路边界距铁路桥梁承台较近,开挖过深将会

引起桥墩的变形过大,结合场区地质状况,本工程采取桩板结构形式下穿铁路。桩板结构底板厚 1.1 m,板下铺设厚度为 20 cm 的 C20 混凝土垫层,基础采用 $\phi 0.8$ m 的钻孔灌注桩,桩长 24 m,桩间距 4 m。

2.1.5 管线设计方案

管线一般敷设在道路结构以下,其开挖深度较深,容易引起铁路桥梁结构较大的附加位移及变形,尤其是竖向及横向位移^[8]。本工程慢行系统下布设 12 $\phi 150+2\phi 100$ 电力管线、24- $\phi 100$ 通信管线、6- $\phi 100$ 照明管线及 DN300 给水管线,至桥梁承台边缘的最小距离分别为 3.6 m、4.3 m、3.0 m 和 4.8 m。管线整体采用拖拉管方法施工,且管线的工作井及接收井均设置于高速铁路的影响区以外。

2.2 安全风险性分析

工程设计方案在满足《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》(TB 10182—2017)等相关设计规范要求的前提下,应重视设计方案本身及其引发的相关工程的安全性。目前国内外针对城市道路下穿铁路引起的铁路墩台及桩基的影响还未形成系统的理论研究方法^[9]。本次设计根据整体的施工工序安排,利用有限元程序对下穿工程导致的汕汕铁路的墩台位移及变形进行计算,以论证设计方案的合理性。

根据理论计算及有限元模拟仿真结果,到发线及汕汕正线的最大附加竖向变形、顺桥向及横桥向的附加水平位移均发生在桩板基坑开挖过程中。其中到发线上述 3 项附加值的最大值分别为 1.509 mm、1.208 mm 和 -0.782 mm;汕汕正线上述 3 项附加值的最大值分别为 1.273 mm、1.194 mm 和 0.033 mm,均小于 2 mm^[10]。基于上述结论可知,设计方案可以保证施工过程中高速铁路桥梁的安全。

3 施工方案

施工工序选择的合理性对于桥梁安全的影响至关重要,尤其是桥下开挖施工具有一定的风险^[11]。本工程除管线采用拖拉管法施工外,其余部分均采用分段分层对称的明挖施工方法,具体施工工序如下:

施工准备→施工桩板桩基→开挖桩板基坑→开挖慢行系统基坑→铺装慢行系统面层→铺装机动车道面层→管线施工。

受桥下空间限制,高铁桥梁投影线范围内外分别采用经改造后的循环钻机及旋挖钻机的施工工艺,同时泥浆池远离桥墩设置且利用水泥砂浆封底、护壁后再铺设一层防水帆布铺以防渗漏,保证在不

影响桥梁安全的前提下实现钻孔灌注桩的正常施工。

除上述施工难点外,下穿段的施工过程应严格按照铁路要求进行控制:

- (1)不得在铁路桥梁两侧各 200 m 的范围内抽取地下水,以避免地基沉降。
- (2)不得在铁路桥梁两侧各 50 m 的范围内进行堆载,以避免桥墩基础产生附加沉降。
- (3)加强对基坑、墩台的变形及位移监测,控制由坑外土体扰动导致的桥梁基础的附加影响。
- (4)完善施工区域排水措施,避免积水。
- (5)施工设备不得碰撞高速铁路桥梁。

4 监测方案

受地质条件、荷载分布及施工技术外界复杂因素的综合影响,实际施工过程中桥梁结构变形与理论分析往往存在差异。为动态获取桥墩和基础的变形、位移情况,施工期间应提升监测水平。

为保证监测的准确度和全面性,在墩台顶和墩台底分别布置 1 个监测点。监测点布置示意图见图 3,监测周期及频率表见表 2。

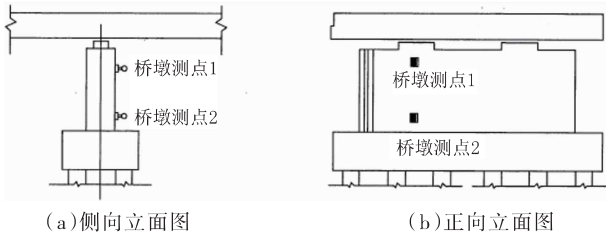


图 3 监测点布置示意图

表 2 监测周期及频率表

监测周期	监测频率
施工期间	4 次/d
竣工 1 个月内	1 次/d
竣工 2 个月后	根据是否达到停测标准确定是否继续监测

竖向位移和水平位移累计量预警值、报警值分别为 ± 1.2 mm、 ± 1.6 mm,控制值为 ± 2 mm。施工现场若遇到异常监测结果或险情时,应立即停止施工并加密监测,以保证桥梁结构安全。

5 结 语

本文基于下穿工程对高速铁路安全影响的控制要素研究结果,以汕头市某城市主干路下穿汕汕铁路为例,从全专业角度详细分析道路、桩板结构、管线的设计原则和方案设计要点,并利用有限元分析

(下转第 97 页)



图 10 共板断面路权分隔



图 12 与周边城市空间结合



图 11 交口路线引导



图 13 与城市绿地结合

5 结 语

近年来,以人为本人慢工程建设越来越被重视,在解决系统提升策略的同时,还应契合上位规

划,并做好与周边景观的结合。希望通过本文的抛砖引玉,为后续城市慢行系统的提升设计开辟思路,提供相应的策略参考。

（上接第 89 页）

方法论证方案的合理性。通过系统论述施工要求和监测水平,以期实现对市政道路工程下穿高速铁路的全过程指导,进而向类似工程提供经验。

参考文献:

[1] 国家铁路局. 2021 年铁道统计公报[Z].2022-04-28.
[2] TB 10182—2017,公路与市政工程下穿高速铁路技术规程[S].
[3] 杨红春.新建道路下穿高速铁路桥梁对高铁桥墩和桩基影响的分析[J].中国市政工程,2016(2):3.
[4] 周云超.桩板结构下穿高速铁路工程的设计分析[J].市政技术,2022,40(4):62-67.
[5] 李仁强.市政道路下穿运营高速铁路桥梁影响分析及风险评估[J].

铁道建筑,2021,61(11):57-60.
[6] 中华人民共和国国务院.铁路安全管理条例[Z].2013-08-17.
[7] 林峰.城市道路下穿高铁桥梁的方案研究[D].杭州:浙江大学,2016.
[8] 王文东.管线开挖对既有城际铁路桥梁的影响研究[J].科技创新与应用,2022,12(6):96-98.
[9] 张静元,马科萌.路基开挖对高铁高架桥桥墩和基础的影响[J].中外公路,2015,35(1):5.
[10] 苟嘉雷.汕头临港产业片区基础设施配套项目一期站前西路下穿汕汕铁路安全性评估报告[R].天津:中国铁路设计集团有限公司,2022.
[11] 马士让.城市道路下穿高速铁路桥梁设计施工关键技术研究[J].北方交通,2018(7):38-41.