

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.09.032

某钢桁架人行天桥设计与分析

邹广林¹, 王仕豪²

(1.广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司,广东 广州 510440;2.广州市城市规划勘测设计研究院,广东 广州 510640)

摘要: 随着城市建设的不断发展,地下构筑物日趋复杂,而为了缓解交通拥堵、保证行人过街安全,大跨度人行天桥的应用越来越广泛。如何平衡桥梁设计原则和建设约束条件,已成为城市人行天桥设计中不可避免的难题。为此,以广州市某大跨钢桁架人行天桥的设计项目为依托,对该桥的结构设计、结构计算、对运营地铁的影响等进行了阐述和分析。分析内容可为以后类似工程提供参考。

关键词: 大跨度;钢桁架;舒适度;地铁隧道结构

中图分类号: U448.11

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)09-0137-04

0 引言

随着城市的高速发展,道路交通拥堵情况下的人行过街安全性日益受到人们的重视,而人行天桥可有效解决此类问题。但城市地下管线的错综复杂和城市地铁的快速建设给人行天桥的建设增加了众多的约束条件。

城市桥梁不仅具备交通功能,同时可彰显城市形象,亦可成为市民观景的重要平台。城市桥梁建设要满足“安全、耐久、适用、经济、美观”的原则^[1],对于城市人行天桥而言,若其结构新颖美观,具有视觉冲击力和较高的识别性,避免与其他城市景观同质化,将成为城市区域的名片。

如何平衡桥梁设计原则和建设约束条件,是当前城市人行天桥设计不可避免的难题。为此,本文以广州某大跨钢桁架人行天桥的设计项目为依托,对天桥结构设计、结构计算、施工期间对既有运营地铁隧道结构的影响几方面进行分析和讨论。

1 工程概况

人行天桥位于广州市白云湖大道(海军桥一庆丰三路)段,该段道路等级为城市主干路兼二级公路标准,设计速度 50 km/h,双向 6 车道,道路标准横断面宽度为 32 m。

人行天桥位置图见图 1。

收稿日期: 2023-08-07

作者简介: 邹广林(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。



图 1 人行天桥位置图

人行天桥所涉道路标准横断面宽度为 32 m,无中央绿化带,且设计道路下方存在既有运营的地铁 8 号线。为保证天桥桩基施工不影响地铁运营,拟建天桥桩基须与地铁结构物保证一定的安全距离。在上述条件下,人行天桥需要 1 跨跨过,跨径达到 45 m。

钢桁架人行天桥具有跨越能力大的优势,可做到造型优美,线条灵动^[2]。本次设计的钢桁架人行天桥效果图见图 2。



图 2 钢桁架人行天桥效果图

2 结构设计

2.1 上部主跨结构设计

钢桁架人行天桥主跨结构采用变高钢桁架,跨度为 5.0 m(悬臂)+45.0 m+5.0 m(悬臂),主桁架设置双向 1.0%的人字形纵坡,竖曲线半径 50 m。主桥横断面为:0.5 m(花池)+0.3 m(腹杆)+3.5 m(人行道)+0.3 m(腹杆)+0.5 m(花池)=5.1 m。桁架立面采用变高度,端部桁高 3.5 m,跨中桁高 6 m,标准节间长度 6 m。杆件采用矩形截面,外围尺寸为:上弦杆 300 mm×400 mm,下弦杆 300 mm×600 mm,腹杆 250 mm×300 mm,支点处进行加强;上平横杆采用矩形焊接箱形 150 mm(宽)×150 mm(高),下平横杆采用 HW250 mm×250 mm×9 mm×14 mm。上弦杆、下弦杆、腹杆由钢板焊接而成,钢板的厚度根据计算和加工要求采用。主桥桁架除加劲肋采用 Q235C 钢材外,其余所有杆件均采用 Q345C 钢材。

2.2 下部结构设计

钢桁架人行天桥主桥墩柱直径 80 cm,梯道墩柱直径 60 cm,墩柱材料为 C40 混凝土。主桥桩基采用 $\phi 120$ cm、梯道和电梯桩基采用 $\phi 100$ cm 的钻孔灌注桩,桩基础材料为 C30 混凝土。

2.3 附属结构设计

(1)桥面铺装:钢桁架桥桥面铺装采用预制桥面板+细石混凝土+M20 水泥砂浆+烧面花岗岩,在下平联上焊接剪力钉与桥面板混凝土结合成整体。桥面板由预制倒 T 型及现浇部分混凝土叠合组成,组合厚度 15 cm;面层铺装中的 M20 水泥砂浆厚度为 30 mm,烧面花岗岩厚度为(6+15) mm;细石混凝土和 M20 水泥砂浆均要求达到 S6 的防水等级要求。

(2)顶棚:主桥顶棚以桁架上弦杆支撑,采用 10 mm+1.52PVB+10 mm 夹层钢化玻璃镀膜防飞散膜作为顶棚材料。顶棚设 3%横坡,并设排水边沟,边沟纵坡 0.3%,通过位于主墩处直径 10 cm 的 PVC 排水管排入附近市政雨水系统。楼梯部分顶棚采用双侧坡面形式,以方便排水,采用型钢刚架作为其支撑系统;顶棚材料采用 8 mm+1.52PVB+8 mm 夹层钢化玻璃镀膜防飞散膜。

(3)栏杆:栏杆采用钢结构。

(4)伸缩缝:主桥与梯道连接段均采用焊接连接方式。钢桁架人行天桥桥型布置图见图 3。

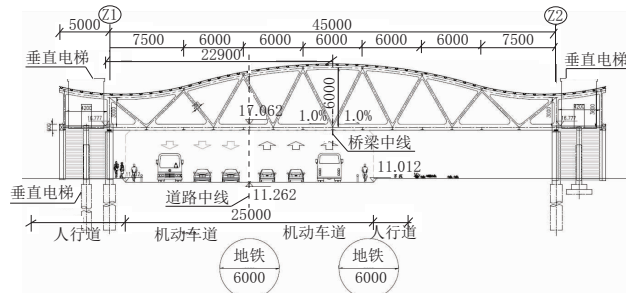


图3 钢桁架人行天桥桥型布置图(单位:mm)

3 结构计算

采用 MIDAS Civil 有限元软件对主梁结构进行分析计算。桁架结构采用空间梁单元进行模拟,其计算模型见图 4。

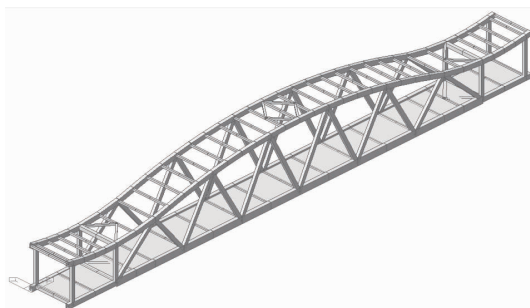


图4 钢桁架主梁计算模型

结构设计的恒载主要有结构自重、铺装、护栏、钢结构雨棚;活载主要有的人群荷载、整体升降温、风荷载等作用。根据《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—95)对结构的刚度、强度、基频进行验算分析,得到主要结论如下。

(1)钢桁架人行天桥在人群荷载作用下的最大竖向挠度为 5.624 mm,小于挠度限值 $L/800$,满足上述规范要求。

(2)根据承载能力极限状态荷载组合,钢桁架结构最大拉应力为 81.8 MPa,最大压应力为 82.3 MPa,均位于跨中位置,满足上述规范限值的要求。

(3)根据上述规范,为避免共振,降低行人的不安全感,天桥结构竖向基频不应小于 3 Hz。经过验算,本钢桁架人行天桥第 1 阶自振频率为 5.413 Hz,表明钢桁架结构刚度较大,满足行人舒适度的要求。

4 对地铁隧道影响分析

4.1 桥梁桩基与地铁位置关系

白云湖大道升级改造工程中的钢桁架人行天桥桩基位于地铁隧道南北两侧。临近地铁侧共有 8 根基桩,主桥桩基采用直径 1.2 m、梯道和电梯桩基采用直径 1.0 m 的钻孔灌注桩,桩基础材料为 C30 混凝土;8 根基桩与隧道之间的最小距离为 10.1 m,隧

道理深 17.0 m。地铁与桩基剖面关系见图 5。

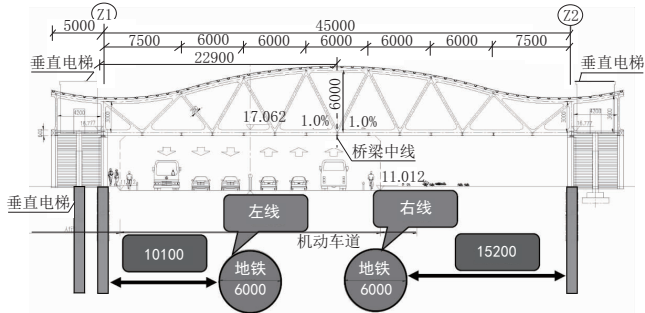


图 5 地铁与桩基剖面关系(单位:mm)

4.2 对地铁影响分析

使用 MIDAS GTS/NX 软件建立三维整体计算模型,模拟白云湖大道升级改造工程中桩基、承台和上部结构施工对地铁结构的不利影响。其中重点分析天桥施工期间对既有运营地铁隧道结构变形和内力的影响情况^[3],进而评估紧邻地铁的结构安全状态和地铁的运营安全状态。计算模型轴视图和侧透视图见图 6、图 7。

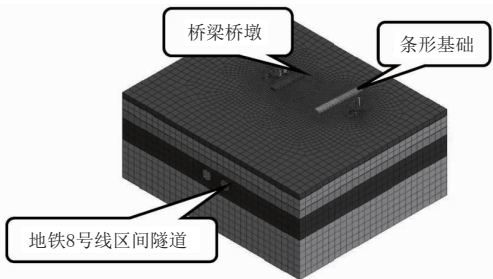


图 6 计算模型轴视图

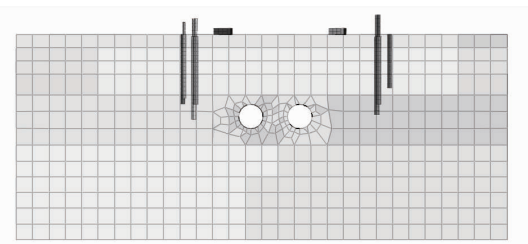


图 7 计算模型侧透视图

本次分析内容主要是新桥桩基成孔、桩基灌注、施工荷载对地铁隧道结构的影响。

所建立的三维整体计算模型将施工工况分成 5 个步骤;开始计算分析前的工况为模拟地铁初始状态,主要为获取地铁结构初始内力。模拟的 5 个施工步骤具体内容见表 1。

4.2.1 隧道水平位移

隧道水平位移极值云图见图 8,各工况下的隧道水平位移极值见表 2。

由计算结果可知,随着施工的进行,隧道水平位移变化波动较小,位移最大值为 0.065 mm,出现在工况 4(桥墩施工),位移最大值位于隧道结构的外侧。

表 1 模拟施工步骤

步骤	工况名称	描述
1	地铁隧道施工	模拟地铁隧道开挖
2	桩基成孔	模拟桩基开挖
3	桩基灌注	灌注评估范围内桩基
4	桥墩施工	模拟评估范围内桥墩施工
5	桥梁吊装影响	桥梁吊装对地铁结构的影响



图 8 隧道水平位移极值云图

表 2 各工况下的隧道水平位移极值

步骤	工况名称	竖向位移极值/mm
1	地铁隧道施工	0.049
2	桩基成孔	0.054
3	桩基灌注	0.064
4	桥墩施工	0.065
5	桥梁吊装影响	0.058

4.2.2 隧道竖向位移

隧道竖向位移极值云图见图 9,各工况下的隧道竖向位移极值见表 3。



图 9 隧道竖向位移极值云图

表 3 各工况下的隧道竖向位移极值

步骤	工况名称	竖向位移极值/mm
1	地铁隧道施工	0.310
2	桩基成孔	0.365
3	桩基灌注	0.280
4	桥墩施工	0.275
5	桥梁吊装影响	0.252

由计算结果可知,随着施工的进行,隧道竖向位移逐渐减小,位移最大值为 0.365 mm,出现在工况 2(桩基成孔),位于隧道结构的顶部。

4.2.3 隧道结构内力

通过分析施加条形基础自重及上部荷载的过程,得到桥梁桩基、现浇梁部施工以及桥梁完工后运营期间对隧道结构弯矩的影响。各工况下的隧道弯矩极值见表4,竖向位移极值云图见图10。

表4 各工况下的隧道弯矩极值

步骤	工况名称	弯矩极值/(kN·m)
1	地铁隧道施工	141.892
2	桩基成孔	140.897
3	桩基灌注	140.755
4	桥墩施工	140.747
5	桥梁吊装影响	140.888

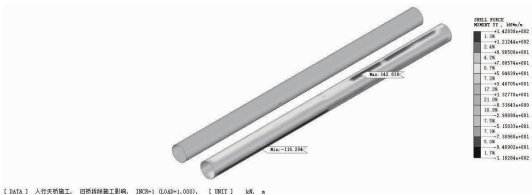


图10 隧道弯矩极值云图

由计算结果可知:隧道开挖后弯矩值为141.892 kN·m,各工况下的弯矩极值为140.888 kN·m;在项

目施工期间,隧道弯矩呈减小至稳定的趋势,弯矩增量为-1.004 kN·m,增幅为-0.71%。

5 结 语

(1)城市人行天桥跨越道路时限制因素较多,而钢桁架跨越能力强,在少占用公共空间的前提下能满足规范要求,并且结构线条灵动、造型轻盈优美。

(2)人行天桥桩基与地铁隧道结构之间应保持有效距离,才能保证其对地铁隧道结构的影响较小,不危及地铁隧道结构的后期运营安全;同时大跨度钢桁架结构亦能满足规范规定的频率和挠度要求,结构受力状态也较好,这从另一方面反映了钢桁架结构大跨度的优越性。

(3)本工程的结构设计以及桩基与地铁的位置关系等分析结果,可为以后类似工程提供参考。

参考文献:

[1] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[2] 周双朋.钢结构桁架桥在城市人行天桥中的应用[J].交通建设,2018(11):248-249.
[3] GB 50157—2013,地铁设计规范[S].

(上接第127页)

向变形影响很小;既有桥梁结构的位置越高,其水平向变形越大。

参考文献:

[1] Yu X,Jia B.Analysis of excavating foundation pit to nearby bridge foundation[J].Procedia Earth and Planetary Science,2012(5):102-106.
[2] 姜博.深基坑开挖对既有桥梁的影响研究[D].成都:西南交通大学,2012.
[3] 马宁.基于ABAQUS基坑开挖施工对既有桥梁影响的分析[D].天津:天津大学,2014.
[4] 耿传飞.新建桥梁施工对邻近既有客运专线桥梁影响研究[D].北京:北京交通大学,2015.

[5] 贺健军,建鑫龙.基坑对既有桥梁桩基变形特性影响的有限元分析[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(5):255-257.
[6] 陈璟斌.不同深基坑开挖条件对邻近桩基受力性能影响研究[D].广州:广州大学,2019.
[7] 杜志涛,李少友.紧邻既有桥梁深基坑支护方案研究[J].市政技术,2020,38(4):254-257.
[8] 王东波.新建雨水调蓄池对既有桥梁的影响分析[D].北京:北京交通大学,2020.
[9] Li B,Sun W,Li G K.Analysis of influence of subway station deep foundation pit excavation on adjacent bridge piles [C]//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,IOP Publishing,2020.
[10] 曾鹏晨.基坑开挖对既有桥梁桩基侧移影响的主动控制方法[D].大连:大连理工大学,2022.