

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.07.029

双层钢桁架梁桥静力与动力特性分析研究

洪惠卿

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 青浦大道主桥为双层钢桁架连续梁桥,上层桥梁跨径组合为(67+86+67)m=220 m,桥宽为 24.6 m;下层桥梁跨径组合为(61+86+61)m=208 m,桥宽为 35.75 m。以该桥为研究背景,介绍了该桥梁总体设计方案,建立了有限元数值模型进行计算,对其静力特性、自振特性、人行舒适性进行分析。结果表明,钢桁架结构受力可满足规范要求,结构设计合理。其研究过程及结果可供其他工程项目同类桥型参考。

关键词: 双层钢桁架;静力分析;动力分析

中图分类号: U448.21+1 文献标志码: B 文章编号: 1009-7716(2024)07-0121-03

0 引 言

在交通繁忙的城市中,交通运输量大,而空间紧张受限,如何在有限的空间中尽可能满足城市的交通需求,是市政设计中经常面临的问题。双层桥梁因其结构特点,能够在此发挥其独特的优势^[1]。钢桁架桥梁外形简洁通透,造型美观,且自重轻、承载力高,适用于对景观要求较高的城市桥梁。本文以青浦大道(三分荡路—沪青平公路)主桥为例,对该双层桁架梁桥进行数值计算分析,为该类型桥梁设计提供参考。

1 工程概况

青浦大道主桥位于上海市青浦区,跨越淀浦河,全线为车行桥,上层为主线服务,下层为辅线服务。上层规模为双向六车道,下层规模为双向四车道。此外,下层桥面布置非机动车道和人行道,以满足淀浦河两岸车行道系统和慢行系统互联互通。根据桥位处地形条件、通航要求等边界条件,确定主桥主跨跨径为 86 m,采用经典桥型双层三角形钢桁架桥,结构刚劲俊秀,并能很好地控制投资成本。上层桥梁跨径组合为(67+86+67)m=220 m,桥宽为 24.6 m;下层桥梁跨径组合为(61+86+61)m=208 m,桥宽为 35.75 m。主桥立面布置和断面布置如图 1 和图 2 所示。

2 结构设计

本桥钢桁梁采用三角形桁架,横桥向设有双片

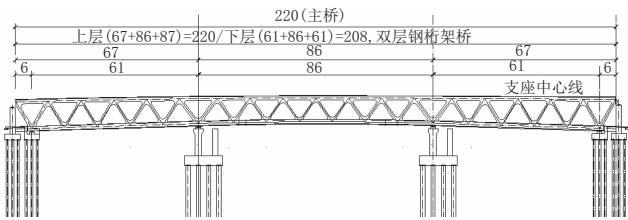


图 1 青浦大道主桥立面布置(单位:m)

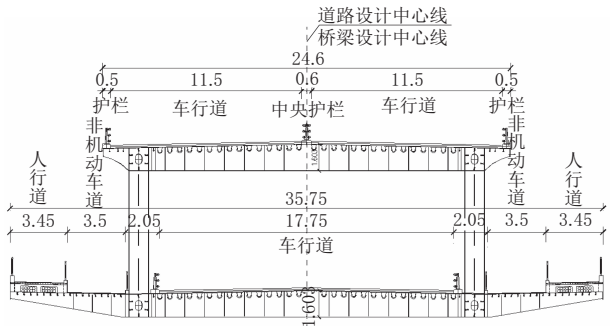


图 2 主梁结构断面布置(单位:m)

桁架结构,主桁间距 20.25 m,两桁片间通过横梁连接。节间长度 12 m,主桁上下弦杆几何中心线高差 9.5 m。上、下弦杆采用箱形断面,上下弦杆截面相同,箱形断面尺寸为 1.2 m×1.4 m(宽×高),顶底板厚 20~32 mm,腹板厚 20~32 mm。

斜腹杆根据受力情况选用箱形、工字形、王字形。中支点斜腹杆采用箱形断面,尺寸为 1.2 m×1.2 m(宽×高),板厚 40 mm。边支点斜腹杆采用箱形断面,尺寸为 1.0 m×1.2 m(宽×高),板厚 28 mm。近中支点斜腹杆采用王字形断面,尺寸为 1.2 m×1.0 m(宽×高),板厚 42 mm。其余斜腹杆压杆采用王字形断面,尺寸为 1.2 m×0.7 m(宽×高),板厚 30 mm,拉杆采用工字形断面,尺寸为 1.2 m×0.7 m(宽×高)。板厚 30 mm。主桁架节点板采用全焊接整体节点。

收稿日期: 2023-07-09

作者简介: 洪惠卿(1993—),女,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

上下两层桥面系均设有横梁,横梁高度与弦杆等高。节点处横梁为箱形断面,节间横梁为工字形断面,横梁间距 3 m。在下层桥面两桁片外侧,设有 7.2 m 长挑臂,挑臂处布置非机动车道和人行道,挑臂位置与横梁位置对应,挑臂横梁为工字形截面。

3 静力分析

采用 MIDAS Civil 有限元分析软件对主桥进行建模分析。钢桥面板采用板单元模拟,上下弦杆、腹杆、上下层横梁采用梁单元模拟。桥面板加劲肋通过刚度贡献折算成钢板厚度,计入桥面板厚度中。全桥共离散为梁单元 3 948 个、板单元 2 376 个。全桥模型如图 3 所示。

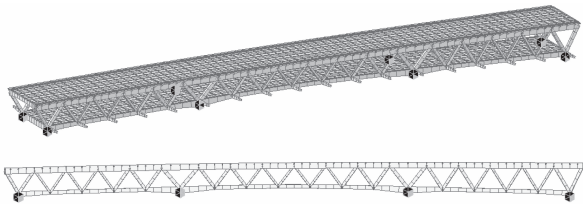


图 3 全桥计算模型

桁架所有杆件采用共节点连接,桥面板单元与横梁和弦杆采用刚性连接。成桥边界条件见表 1。其中, x 方向为纵桥向, y 方向为横桥向, z 方向为竖向。

表 1 全桥边界条件

自由度	Δx	Δy	Δz	θx	θy	θz
左边支点 1	0	1	1	0	0	0
左边支点 2	0	0	1	0	0	0
左中支点 1	1	1	1	0	0	0
左中支点 2	1	0	1	0	0	0
右中支点 1	0	1	1	0	0	0
右中支点 2	0	0	1	0	0	0
右边支点 1	0	1	1	0	0	0
右边支点 2	0	0	1	0	0	0

注:0 表示自由,1 表示固定。

全桥自重与二期恒载均折算成平面均布荷载加载至桥面板单元上。

汽车活载按照公路一级加载。人群荷载按照 3.5 kN/m² 加载。

图 4~图 6 显示的是桥梁各主要构件在基本组合下的受力情况。从中可以看出,桥梁各主要构件在基本组合下所受应力均小于 270 MPa,结构设计满足规范要求^[2]。上弦杆和下弦杆均在中支点处受力较大,节点位置杆件需要加强设计。由图 6 可以看出,受压腹杆与受拉腹杆交替出现。所以在结构设计时,

抗压稳定性较好的箱形截面与设计简洁的工字形截面也是交替布置的。



图 4 基本组合上弦杆应力(单位:MPa)



图 5 基本组合下弦杆应力(单位:MPa)



图 6 基本组合腹杆应力(单位:MPa)

由图 7 所示,活载作用下,上层桥面最大挠度为 20.17 mm,下层桥面最大挠度为 20.51 mm,均满足设计规范限值 $L/500=172$ mm^[2]。

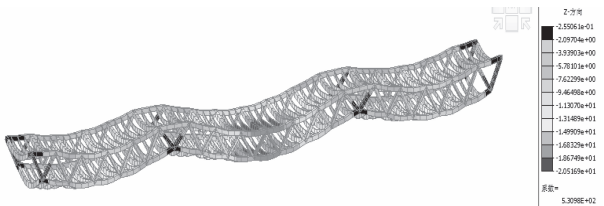


图 7 活载作用下主桥竖向变形(单位:mm)

4 动力分析

4.1 动力特性分析

采用 MIDAS Civil 有限元分析软件对主桥进行振动频率分析。

成桥状态下桥梁动力特性见表 2。前三阶振型如图 8~图 10 所示。

表 2 成桥状态下桥梁动力特性一览

模态	振型	自振频率 f /Hz	自振周期 T /s
1	主梁横弯	2.373 7	0.421 3
2	主梁竖弯	2.651 2	0.377 2
3	主梁反对称横弯	3.080 6	0.324 6
4	主梁二阶竖弯	3.547 8	0.281 7
5	主梁三阶竖弯	3.659 6	0.273 3



图 8 一阶振型(主梁横弯)

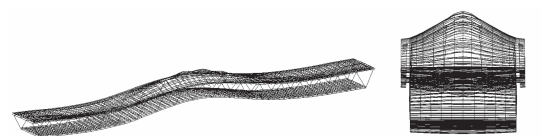


图 9 二阶振型(主梁竖弯)

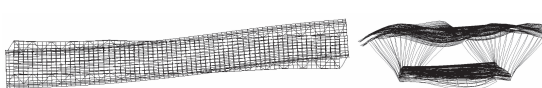


图 10 三阶振型(主梁反对称横弯)

4.2 人行舒适度分析

该桥具有人行通道功能,需要进行人行舒适度分析。我国规范仅通过规定桥梁基础自振频率不小于 3 Hz 来避免人桥共振现象的发生,这对于跨度较大、刚度较小的桥梁难以满足。参考德国 EN 03 规范^[3],通过不同人行荷载模型加载,计算桥梁截面的竖向和横向加速度,对该桥进行人行舒适度评价。

本工程人行道单侧宽 3 m,非机动车道 3.5 m,按单侧行人总宽 6.5 m 论证行人舒适度。参照德国 EN 03 规范,人行桥的加速度舒适性指标见表 3。

表 3 舒适度指标一览

类别	舒适度	竖向加速度限值 / (m·s ⁻²)	横向加速度限值 / (m·s ⁻²)
CL1	最好	0.5	<0.1
CL2	中等	0.5 ~ 1.0	0.1 ~ 0.3
CL3	差	1.0 ~ 2.5	0.3 ~ 0.8
CL4	不可接受	>2.5	>0.8

德国标准计算人行荷载时采用由傅里叶级数表示的荷载展开式,竖向和横向动载因子 α_v, α_l 分别取 0.4 和 0.05,行人的标准体重取 700 N,竖向和横向动荷载分别为:

$$\alpha_{vg} = 280 \text{ N}; \alpha_{lg} = 35 \text{ N}$$

人群荷载等效行人数 N_e 与桥上人流的密集程度有关。根据单元控制性详细规划,偏保守,本桥按密集度大验算,行人密度为 1 人 /m²,模型按照节点荷载加载, N 为行人密度乘以节点所覆盖的人行桥面板表面积, $N=6$ 人。 $N_{eq}=1.85N^{0.5}$ ^[4]。

有效人群荷载为

$$F(t) = \psi \cdot 280 \cdot N_{eq} \cos(2 \pi f_0 t)$$

式中: f_0 为人行步频,一般为 1.6~2.4 Hz,取 2 Hz; ψ 为行人在竖向和水平振动的折减系数,取值如图 11 所示。

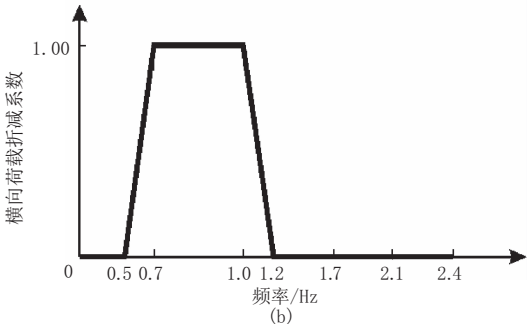
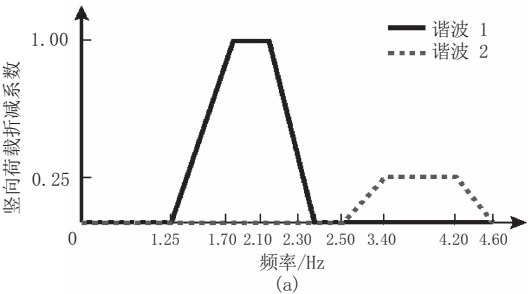


图 11 人行桥动力效应折减系数

由图 11 可知,人行桥动力效应折减系数 ψ 竖向为 0.25,横向为 0,即横向满足舒适度的要求。

采用 MIDAS Civil 建立有限元模型,计算可得人行道挑臂横梁截面的竖向最大加速度为 0.79 m/s²,满足 CL2 等级要求,舒适度达到“中等”。

5 结 语

该桥位于城市中心地区,交通任务重,景观要求高。在交通、航道、水利、规划等诸多限制条件下,综合多方面因素,确定该双层桁架钢连续梁桥型,不仅节省了道路空间,还为淀浦河增添了一处新的风景。本文对桥梁进行了有限元建模计算,并进行了静力和动力分析,结果表明,该桥各主要杆件受力均满足规范要求,结构设计合理,在动力特性分析中较易出现横向振动,设计时需要加强横向刚度措施,人行舒适度达到中等水平。该研究成果可为今后类似桥梁的设计提供参考。

参考文献:

[1] 孙建渊,陈阶亮.城市桥梁双层交通概念设计[J].桥梁建设,2006(2):39-42.
[2] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
[3] EN03—2007,Design of Footbridges Guideline[S].
[4] 吴嘉伟,李云州,宋雨.柔性人行天桥舒适度的评价分析[J].厦门大学学报(自然科学版),2021,60(1):133-137.