

吴淞江工程(上海段)长虹路桥设计

翟志轩

[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: 为满足交通功能,营造良好的城市景观效果,吴淞江工程(上海段)长虹路桥采用拱形桁架桥,跨径为121 m。主桁采用2片三角形桁,跨中桁高为6.5 m。上下弦杆采用闭口箱形截面,腹杆采用工字形截面。桥面系采用正交异性钢桥面板,板桁结合,共同受力。下部结构采用空心V形墩、钻孔灌注桩。计算分析表明:行人舒适度满足《德国人行桥设计指南》(EN03 2008)CL1等级;节点受力合理,应力符合《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)要求;桥面板抗疲劳性能良好;整体稳定系数为8.14。桥梁通过拱形桁架-空心V墩塑造了轻盈流畅的城市景观,受力性能好,可为同类工程提供参考。

关键词: 拱形桁架桥;三角形桁;正交异性钢桥面板;舒适度分析;节点分析;抗疲劳验算

中图分类号: U448.22;TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)04-0191-05

Design of Changhong Road Bridge in Shanghai Section of Wusong River Project

ZHAI Zhixuan

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: To meet the traffic demands and create a good urban landscape effect, Changhong Road Bridge in Shanghai Section of Wusong River Project is an arched truss bridge with a span of 121 m. The main truss is a two-triangular truss and the midspan truss is 6.5 m high. The upper and lower chords are in the closed box-shaped section and the web members are in I-shaped section. The orthotropic steel deck is adopted for the bridge deck system, and the deck is combined with the truss to carry loads together. The hollow V-shaped piers and cast-in-place piles are used for the substructure. The calculation and analysis show that the pedestrian comfort level meets the CL1 grade of the *German Pedestrian Bridge Design Guideline* (EN03 2008). The force on the joints is rational and the stress meets the requirements of *Specifications for Design of Highway Steel Bridge* (JTG D64—2015). The deck exhibits the good fatigue resistance. The overall stability factor is 8.14. The bridge shapes a light and smooth urban landscape through arched trusses and hollow V-piers, and the load-bearing performance is good, which can provide a reference for similar projects.

Keywords: arched truss bridge; triangular truss; orthotropic steel deck; comfort level analysis; joint analysis; fatigue resistance verification

0 引言

桁架梁作为一种传统桥梁结构,具有受力合理、自重较轻、适用范围广的优点^[1-2]。宁波三官堂大桥^[3]采用3跨连续变高钢桁梁,设菱形上平联,桥面系为纵横梁体系正交异性钢桥面系。上海闵浦大桥^[4]中跨主梁为钢桁梁,横断面采用倒梯形框架,桥面系采用纵横梁体系,纵梁布置避开轮迹线,采用全焊钢结构。重庆朝天门大桥^[5]主梁采用等高双层钢桁梁,桁式采用“N”形桁,根据受力需求采用3种型

号钢材;桥面系采用组合结构,两侧为正交异形板,中央为纵横梁体系。

背景工程长虹路桥为拱形桁架桥,桁式采用三角形桁,桥面系采用横梁体系正交异性板,取消上平联。该体系桁高变化与结构受力一致,造型美观流畅,但刚度较传统桁架略低。本文主要探讨其结构设计和受力性能。

1 概述

1.1 工程概况

长虹路桥是吴淞江工程(上海段)新川沙河段建设的一座桥梁。根据规划,为满足行洪和通航需求,吴淞江新川沙河段河道宽度需由现状的25~35 m拓

收稿日期: 2025-06-10

作者简介: 翟志轩(1980—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计及研究工作。

宽至96 m,原长虹路跨河桥需拆除重建^[6]。

1.2 主要技术标准

根据区域规划,长虹路桥近期为行人桥,远期改建为车行桥兼人行桥^[7]。

车道数:近期为行人桥;远期为双向2车道+慢行系统。

设计速度:60 km/h。

汽车荷载:城-B级。

人群荷载:按《城市桥梁设计规范(2019年版)》(CJJ 11—2011)取用。

航道等级:Ⅳ级航道,通航净宽75 m,通航净高7.5 m。

桥梁结构设计基准期:100年。

设计安全等级:一级。

2 总体方案

2.1 桥型选择

综合经济性、安全性、后期维护费用等方面因素,本桥采用1跨过河方案,跨径121 m,两岸通过梯坡道上下桥。远期增加地面引桥,改建为车行桥。

长虹路桥近期不设置边跨,故可采用桁架桥或拱桥,连续梁桥、斜拉桥、悬索桥均不适宜采用。桁架桥建筑高度低,施工相对简单,造价经济,经综合考虑,本桥桥型选择桁架桥。

进一步结合周边环境,从整体性和通透性角度考虑,选定通透平缓的拱形桁架桥方案。该方案既保留了桁架桥的优点,又提升了桁架桥的造型美感^[8]。

桁架形式选用造型简洁的三角形桁,不设竖腹杆。疏落有致、富有节奏的腹杆营造出精致细密、秩序有加的韵味。桥墩采用空心V形墩,与轻盈的桁架遥相呼应,相得益彰,整体效果见图1。

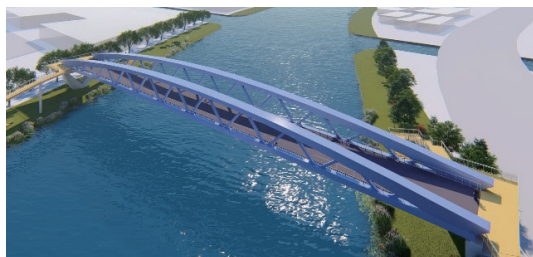


图1 长虹路桥整体效果图

2.2 桥型布置

长虹路桥采用单跨布置,跨径为121 m,全桥长123 m,与河道斜交角约62°,采用斜桥斜做形式。桁架采用拱形设计,跨中桁高6.5 m,桁式采用三角形桁。桥面系采用正交异性钢桥面板,板桁结合。

长虹路桥总体布置图见图2;断面图见图3。

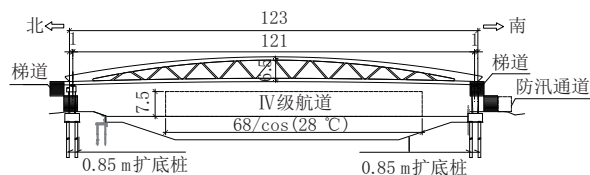


图2 长虹路桥总体布置图(单位:m)

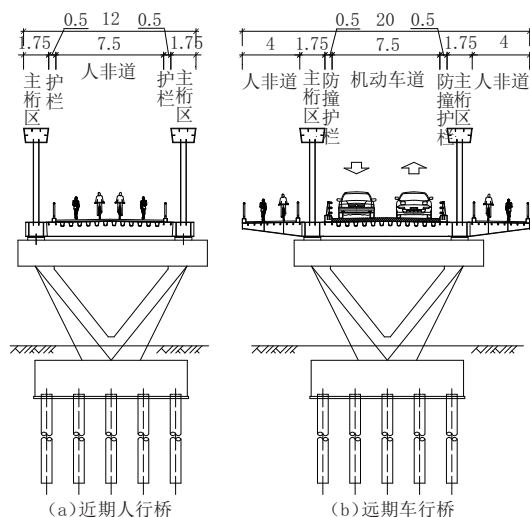


图3 长虹路桥断面图(单位:m)

长虹路桥设计考虑近远期结合。近期为行人桥,横断面布置为:1.75 m(主桁区)+0.5 m(护栏)+7.5 m(人非道)+0.5 m(护栏)+1.75 m(主桁区)=12.0 m(见图3(a))。远期改造为车行桥,2片桁之间改建为机动车道,主桁两侧各增加宽4.0 m挑臂作为人非道,桥梁全宽20 m(见图3(b))。

长虹路桥下部结构采用预应力混凝土盖梁接V型墩,矩形承台,钻孔灌注桩基础。

长虹路桥桥梁两侧设置梯坡道,全宽4 m,净宽3.5 m。

约束体系采用简支梁体系,顺桥向北侧主墩支座固定,南侧主墩支座滑动;横桥向各墩西侧支座固定,东侧滑动。

3 结构设计

3.1 主桁

长虹路桥主桁采用2片拱形桁,桁式为三角形桁。考虑结构受力、经济和美观等因素,跨中桁高确定为6.5 m,桁架高跨比为1/18.6,低于1/8~1/5.5的常规桁高跨度比^[2]。这一设计既保证了结构刚度,又实现了轻盈的视觉效果。2片主桁横向间距为10.25 m,主桁基本节间距为11 m。单片桁架由上弦杆、下弦杆和斜腹杆构成。全桥不设上平联。桥面系采用正交异性桥面板,板桁结合^[9]。桁架采用整体式节点,全焊结构。

上弦杆采用变高度梯形截面,高度从拱顶 1.0 m 渐变至拱脚 2.3 m。顶板宽 1.75 m,腹板斜率 1:8,底板宽 1.5~1.175 m,顶、底、腹板厚 40~50 mm,顶、底、腹板设置板式加劲肋。下弦杆采用矩形截面,高 1.0 m,顶板宽 1.45 m,底板宽 1.25 m,顶、底、腹板厚 28~50 mm,顶板设置板式加劲肋。腹杆采用工字型截面,宽、高均为 0.4 m,翼缘和腹板厚 20~40 mm。主桁结构见图 4。

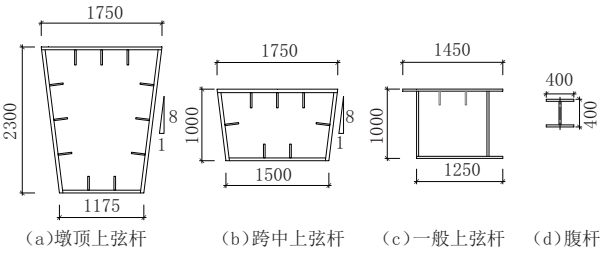


图 4 主桁结构(单位:mm)

上弦杆跨中节段采用 Q420qD 钢材,其他杆件均采用 Q345qD 钢材。

3.2 桥面系

桥面系采用横梁体系的正交异性钢桥面系^[10],钢桥面板厚 16 mm,下设厚 8 mm U 肋和厚 16 mm 板肋。标准横梁间距为 3.65 m,采用“倒 T”形截面,梁高 1 m,底板宽 0.3 m,腹板设 7 道竖向加劲。桥面系构造如图 5 所示。端横梁采用箱型截面,高 1.0 m,宽 0.6 m。采用 Q345qD 钢材。

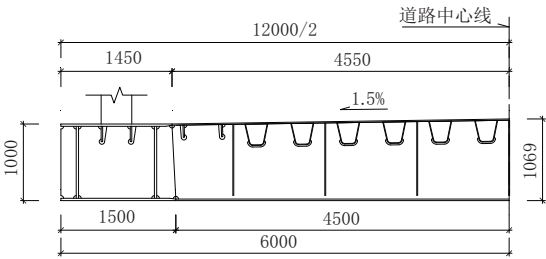


图 5 桥面系构造图(单位:mm)

3.3 桥墩和盖梁

桥墩下部结构选用空心 V 形桥墩。墩底断面尺寸 2.0 m(顺)×4.8 m(横),墩顶断面尺寸 2.0 m(顺)×1.68 m(横),采用 C40 混凝土。盖梁为预应力混凝土构件,长 14.9 m,断面尺寸 1.8 m(高)×2.8 m(宽),采用 C50 混凝土。

3.4 基础

为保证南岸防汛通道净宽,南岸基础与新建防汛墙共建。北岸基础为了避让老桥基础,墩堤分建。

主墩基础采用矩形承台,尺寸为 4.4 m(顺)×12.05 m(横)×2.5 m(高)。主墩基础采用 10 根 $\phi 0.85$ m 扩底钻孔灌注桩,矩形布置。承台采用 C35 混凝土。

桩基础均以⑨₂灰色细砂层作为桩端持力层,按摩擦桩设计,桩长 70 m,采用 C30 水下混凝土。

3.5 桥梁细部

桥面铺装为厚 50 mm 的 C30 抗渗细粒式混凝土和厚 6 mm 的冷铺彩色沥青。梁底设检修桁车。主梁跨中设置调谐质量阻尼器。

4 关键技术研究

4.1 行人舒适度分析

拱形钢桁梁受力合理,但活载挠度较相同跨中桁高的传统钢桁梁更大。鉴于本桥近期为大跨度人行桥,开展行人舒适度分析至关重要^[11]。本文依据《德国人行桥设计指南》(EN03 2008)^[12]进行行人舒适度分析。

4.1.1 桥梁动力特性计算

评价人行桥舒适性,首先需要计算桥梁动力特性,校核各振型对应频率是否处在临界频率区间以内^[13]。

采用空间有限元模型进行动力特性计算,模型示意图见图 6。桥面板采用板单元,主桁杆件及桥墩、承台采用梁单元。前 10 阶振型计算结果见表 1。

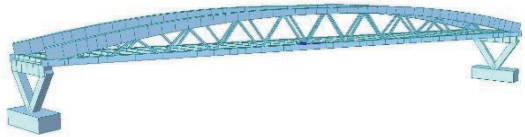


图 6 动力计算有限元模型示意图

表 1 动力特性表

模态	振型	基频/Hz
1	1 阶水平振动	0.887
2	1 阶竖向振动	1.312
3	1 阶纵向振动	1 761
4	1 阶扭转振动	1.866
5	上弦杆水平振动	2.058
6	上弦杆水平振动	2.220
7	上弦杆水平振动	2.804
8	上弦杆水平振动	3 025
9	上弦杆水平振动	3.186
10	2 阶扭转振动	3.240

依据文献[12],自振频率 f 的临界范围为:1 阶竖向、纵向振动 1.25~2.3 Hz;2 阶竖向、纵向振动 2.5~4.6 Hz;水平振动 0.5~1.2 Hz。

由表 1 可知:1 阶水平振动(模态 1)、1 阶竖向振动(模态 2)、1 阶纵向振动(模态 3)频率在临界范围内,需通过加速度验算来判断桥梁舒适度;其余各阶频率高于临界频率范围,无须进一步验算。

4.1.2 舒适度分析

针对以上3个需验算的模式,分别建立计算工况进行分析。采用文献[12]的连续步行荷载模型来加载人行激励荷载;选取各振型对应的位移最大点,即主梁跨中作为观测点。

各观测点最大加速度值见表2。本桥加速度的限值按文献[12]中的最高等级CL1级取值。

工况	观测点加速度值/ (m·s ⁻²)		加速度限值/ (m·s ⁻²)	是否满足
	侧向	竖向		
工况1	0.027 5		<0.10	满足
工况2		0.597	<0.50	不满足
工况3		0.196	<0.50	满足

表2显示,工况1、工况3的最大加速度满足CL1级舒适度标准,工况2竖向最大加速度超过限值,需采取振动控制措施。

4.1.3 振动控制措施

本桥采用调谐质量阻尼器(TMD)进行振动控制。根据工况2的振型,将TMD布置在位移最大处,即跨中桥面系下方。TMD质量为4 t,弹簧刚度201 kN/m,调频频率1.133 Hz。

布置TMD后,工况2在人行荷载激励下的加速度时程见图7。最大加速度值由0.597 m/s²降至0.061 m/s²,减振率达89.4%,小于文献[12]中CL1级限值(0.50 m/s²),满足舒适度要求。

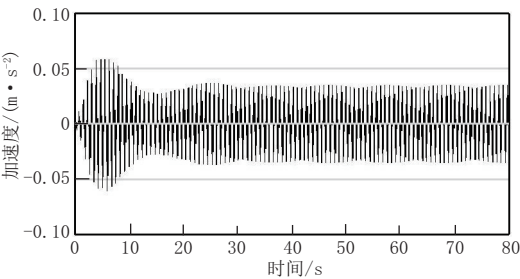


图7 加速度时程曲线

4.2 关键节点分析

本桥未设桥门架和上平联,侧向刚度低于传统桁架桥。上弦杆为倒梯形断面,上下弦杆交汇之处构造比较复杂。为探明结构受力特点,确保结构安全,对梁端上下弦杆交汇节点进行了精细化有限元分析。

采用ANSYS软件进行建模分析。钢结构采用shell63板壳单元模拟。为确保受力尽量与真实结构一致,计算模型包括上下弦杆交汇节点和部分上下桁节点(见图8)。



图8 梁端节点精细化模型图

在模型的支座处和上弦杆、腹杆端部,根据总体计算结果施加外力。模型范围内活载以车辆荷载形式加载在最不利位置,轮重以面荷载的方式加载于车轮作用面积上。下弦杆端部施加固结约束。在最不利的远期工况下,节点主要板件应力分布见图9至图11。

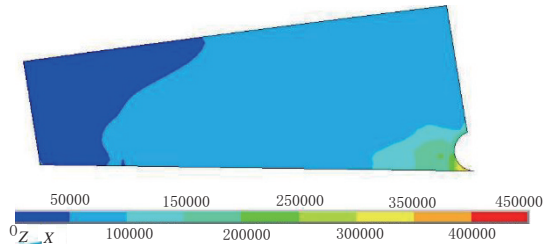


图9 节点板Mises应力(单位:kPa)

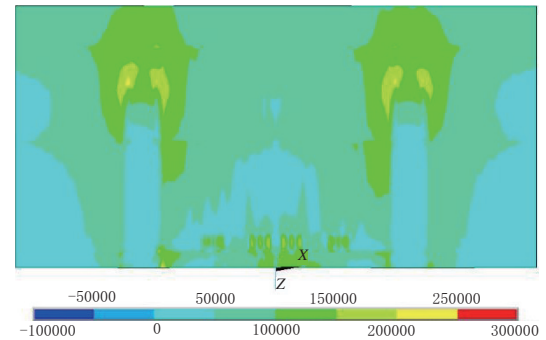


图10 工况2下弦顶板及桥面板Mises应力(单位:kPa)

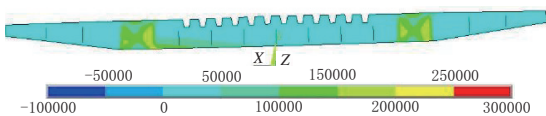


图11 工况2端横梁腹板Mises应力(单位:kPa)

由图9至图11可知:节点板内应力分布整体比较均匀,仅上下弦杆交汇处出现应力集中,节点板整体应力范围控制在200 MPa以下;桥面板和下弦杆顶板最大应力也出现在上下弦杆交汇点附近,最大应力为246.2 MPa,迅速减小到150 MPa以下;端横梁腹板最大应力出现在下缘跨中和腹板过焊孔处,最大应力为300 MPa,整体应力水平不超过200 MPa。梁端节点整体应力分布较为均匀,剔除应力集中点后,应力均满足《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)(以下简称《钢桥规范》)的抗拉、抗压和抗弯强度设计值(260 MPa)。

4.3 抗疲劳验算

本桥远期为车行桥,正交异性钢桥面板承受较

大的局部荷载,根据《钢桥规范》,有必要进行抗疲劳验算。选取横梁腹板开孔间最不利截面、纵肋下方横梁挖孔处、桥面盖板与U肋连接焊缝这3个关键位置进行疲劳验算。

有限元分析选取跨中标准节段建立模型。疲劳验算局部模型见图12。



图12 疲劳验算局部模型

为提高计算效率,模型仅建半幅桥,道路中心线处采用横向对称约束来模拟整幅桥面,在两端下弦杆处约束纵向和竖向平动自由度。

活载加载采用《钢桥规范》第5.5.2条疲劳荷载计算模型Ⅲ,按下式进行疲劳验算:

$$\gamma_{\text{Fr}} \Delta \sigma_{\text{E2}} \leq \frac{k_s \Delta \sigma_{\text{C}}}{\gamma_{\text{Mf}}} \tag{1}$$

对所选取的3个关键位置进行抗疲劳验算,并将得到的等效常值应力幅与《钢桥规范》中的疲劳应力强度进行对比,结果见表3。

表3 桥面板疲劳验算结果

验算位置	等效常值应力幅/MPa	疲劳应力强度/MPa	验算结果
横梁腹板开孔间最不利截面	63.9	70.0	通过
纵肋下方横梁	36.4	70.0	通过
桥面盖板与U肋连接焊缝	24.6	70.0	通过

计算结果表明,本桥正交异性钢桥面系抗疲劳性能满足《钢桥规范》要求。

4.4 整体稳定分析

采用空间有限元方法进行弹性屈曲分析,计算荷载包括结构自重、桥梁附属、汽车荷载、人群荷载和风荷载等^[14]。桥梁1阶屈曲模态图见图13。

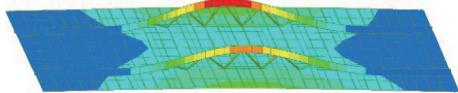


图13 1阶屈曲模态图

桥梁1阶屈曲模态为上弦杆面外失稳,1阶稳定系数为8.14,整体稳定满足《钢桥规范》要求。

5 施工方案

本桥为河道拓宽工程中的旧桥拆除重建工程,为充分利用建设条件,桥梁主体结构施工在河道拓宽前实施。旧桥拆除和下部结构施工结束后,在地面搭设少量支架。上下弦杆和桥面系在工厂分节段预制,经汽车陆运至现场,由汽车吊安装就位。最后

拆除支架,施工桥梁细部,调试TMD,完成桥梁施工。

6 结 语

(1)长虹路桥采用拱形钢桁梁体系,实现了力学与美学的统一,线形圆润流畅,外观简洁通透,同时具备桁架桥受力合理,造价经济的优点。

(2)主桁桁式为三角桁,高跨比仅1/18.6,不设上平联,上弦杆采用倒梯形截面,下部结构采用空心V形墩,整体结构轻盈舒缓,与周边环境契合。

(3)采用空间有限元分析方法对全桥进行了舒适度分析,使用TMD作为振动控制措施,行人舒适度达到了《德国人行桥设计指南》(EN03 2008)最高等级CL1级。

(4)对拱形钢桁梁受力集中的上下弦杆交汇节点,开展了精细化有限元分析并指导设计,整体应力水平不超过200 MPa。

(5)对正交异性钢桥面系开展了抗疲劳研究,开孔薄弱截面、U肋连接焊缝等关键构造细节的疲劳应力幅均小于70 MPa,满足《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)要求。

(6)针对无上平联桁架结构,开展了稳定分析,分析结果表明,桁架具有良好的整体稳定性能。

参考文献:

[1] 吴冲.现代钢桥(上册)[M].北京:人民交通出版社,2006.
[2] 小西一郎.钢桥[M].北京:中国铁道出版社,1980.
[3] 常付平,马磊,姜洋.宁波三官堂大桥钢桁梁设计[J].世界桥梁,2022,50(3):8-13.
[4] 蒋彦征,马磊,邓青儿,等.上海闵浦大桥主跨钢桁梁设计[C]//全国斜拉桥关键技术论文集(2012).上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2012:47-52.
[5] 段雪炜,徐伟.重庆朝天门长江大桥主桥设计与技术特点[J].桥梁建设,2010(2):37-40.
[6] 吴霄.吴淞江工程(上海段)新川沙河段罗宁路桥主桥设计[J].上海公路,2022(4):38-43.
[7] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.吴淞江工程(上海段)新川沙河段施工图[Z].上海:2020.
[8] 杨荣荣.拱形钢桁梁桥结构分析与构造细节设计[J].城市道桥与防洪,2024(3):53-57.
[9] 贾志强.变高度连续钢桁架桥力学性能分析[J].城市道桥与防洪,2021(3):146-150.
[10] 侯满,王茂强.毕都北盘江大桥钢桁梁设计关键技术[J].世界桥梁,2018,46(3):1-6.
[11] 陈政清,华旭刚.人行桥的振动与动力设计[M].北京:人民交通出版社,2009.
[12] EN03 2008 Design of footbridge guideline[S].
[13] 宋葵.大跨度人行桥舒适性分析和TMD减振设计[J].城市道桥与防洪,2021(7):118-120;149.
[14] 顾晓毅.斜靠式钢箱拱桥稳定承载力及成桥试验[J].城市道桥与防洪,2024(1):120-122.