

衢州市智慧岛景观桥设计分析

邓佳承

(杭州交投工程设计有限公司, 浙江 杭州 310008)

摘要: 智慧岛景观桥是衢州市高铁新城内的两座人行及非机动车桥, 两座桥梁主桥均采用异型变高半穿式桁架结构, 西桥主桥跨径为(60+160+35)m, 东桥主桥跨径为(45+160+35)m。介绍了前期桥型方案比选和总体设计情况, 并以东桥为例详细介绍了结构设计。桥梁整体静力计算、稳定性分析和动力分析的结果表明该桥设计合理、满足规范要求, 可为同类半穿式桁架结构桥梁设计与计算提供参考。

关键词: 半穿式桁架; 稳定性; 联结系; 舒适度; 疲劳

中图分类号: U442.5; U448.11

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0010-08

Design and Analysis of Smart Island Landscape Bridge in Quzhou City

DENG Jiacheng

(Hangzhou Transportation Investment Engineering Design Co., Ltd., Hangzhou 310008, China)

Abstract: The Smart Island Landscape Bridge is two pedestrian and non-motorized vehicle bridges located in the high-speed rail new town of Quzhou City. The main bridges of both bridges are the special-shaped variable height semi-through truss structure bridge. The main bridge span of the west bridge is (60+160+35) m, and the main bridge span of the east bridge is (45+160+35) m. Compared with bridge type schemes and overall design in the early stage, and taking the east bridge as an example, the structural design is introduced in detail. Through the overall static calculation, stability analysis and dynamic analysis of the bridge, the results show that the bridge design is reasonable and meets the requirements of the specifications, which can provide reference for the design and calculation of similar semi-through truss structure bridges.

Keywords: semi-through truss; stability; connection system; comfort level; fatigue

0 引言

高铁新城·未来社区是衢州市“小三城”之一, 是衢州城市面向未来的发展空间。高铁新城智慧小镇以常山港为界, 分为南北两个片区, 现有跨越常山港连接项目区域的桥梁仅有叶家大桥和孙姜大桥。两桥高峰流量已趋于饱和, 随着智慧岛、智慧湾的建设, 目前的过江通道不能满足日益增长的交通需求。

本文项目是高铁新城智慧小镇的生态景观的重要组成部分, 规划为行人及非机动车桥, 建成后能分流非机动车和行人, 有利于减轻叶家大桥和孙姜大桥的通行压力, 桥梁具体位置见图1。该项目还能连接智慧小镇常山港沿江绿道, 形成常山港生态公园环状绿色无障碍慢行交通系统, 对完善区域慢行交通绿网, 提供舒适便捷的绿色出行具有积极的作用。



图1 桥梁地理位置图

1 航道规划分析

拟建桥梁跨越常山港航道, 常山港属钱塘江南源, 是衢江主源, 根据规划, 常山港规划为Ⅲ级航道, 通航尺寸为110 m(净宽)×7 m(净高)。西桥位于黄塘桥枢纽下游, 航道中心线由船闸中心线与应急闸中心线组成, 航道宽度为110 m, 同时考虑横流、紊流的影响, 增加40 m 富余值。东桥位于航道转弯处, 航道宽度为110 m, 河道宽度为140 m, 考虑横流的影响, 采用一孔跨河。

收稿日期: 2024-02-29

作者简介: 邓佳承(1993—), 男, 本科, 工程师, 从事桥梁设计工作。

2 桥型方案比选

2.1 方案一:曼桥(传承与创新)

曼桥(见图2、图3)整体灵感源于衢州传统建筑,利用徽派建筑错落的建筑天际线,结合桁架的型式,通过当代的设计语言重新表达。桥身沉重的结构化作曼妙的曲线,显得颇为灵动,似风刮过,似水飘逸,与桁架刚柔并存。

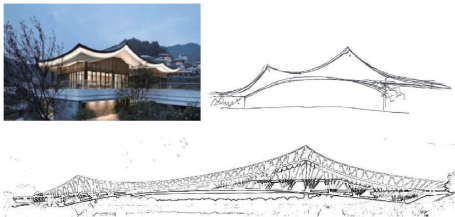


图2 曼桥演化图



图3 曼桥效果图

2.2 方案二:熠桥(仿生)

结构上将桁架与极具生物肌理的立面形式相整合,使其更具备未来科技感,成为衔接智慧湾与智慧岛间的城市通廊。有机的立面形式,展现出两岸熠熠生辉的城市形象,效果图见图4。



图4 熠桥效果图

此桥主跨结构为中承式异型桁架吊索拱桥,拱圈为平行钢拱桁架,可增加拱圈景观性,主梁和主拱的横向支撑与顶棚有机结合,体现结构与景观的统一性,透视图见图5。

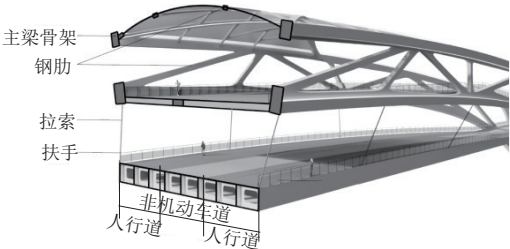


图5 熠桥结构透视图

2.3 方案三:云桥(科技与自然)

桥梁形态灵感源于山间的流云以及代表着当代科技的云技术,两座桥梁的形态语言均为曲线,成为衔接智慧湾与智慧岛空间与精神的纽带,该桥的效果图见图6。



图6 云桥效果图

桥梁采用斜腿钢桁架结构,桥面中间3 m范围内为桁架区,两侧分别设置挑高景观台和下沉式景观台。立体化观景休息平台,可满足赏景观光、社交等多元功能。桁架顶部覆盖金属产控板遮阴棚,透视图见图7。

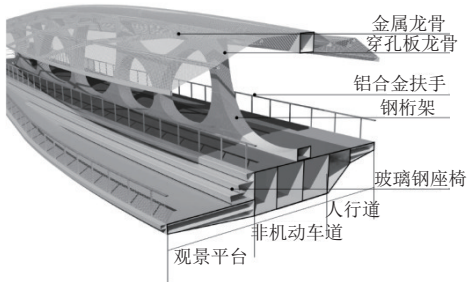


图7 云桥结构透视图

2.4 方案比选

桥型方案在充分考虑桥梁安全、适用、经济、美观的前提下,经景观效果、造价、工期及施工难度等方面综合比选,结合群众投票,最终选取方案一曼桥为推荐方案。

3 桥梁总体设计

3.1 技术指标

- (1)桥涵结构设计安全等级:一级, $\gamma_0=1.1$ 。
- (2)环境类别:Ⅰ类。
- (3)桥面宽度:主线14 m宽,非机动车道宽为2×4.0 m;人行道宽度为2×3.0 m;匝道为3 m宽;主桥二层平台宽14 m,单条坡道宽度为1.7 m。
- (4)荷载标准:考虑观光电瓶车通行,非机动车道采用城—B级;人群荷载按规范取2.4 kPa,考虑人群集聚,本次设计适当提高标准,采用3.5 kPa。
- (5)规划Ⅲ级航道:双向通航净空,通航净高(HM)为7 m,通航净宽(BM)为110 m。
- (6)抗震标准:基本地震加速度值小于0.05g,地

震动反应谱特征周期为0.35 s,地震基本烈度为小于Ⅵ度区,桥梁抗震设防类别为甲类,桥梁按七度设防。

3.2 设计原则

功能:坚持景观与交通并重原则,行人与非机动车分道通行,同时主桥采用双层设计,上层为人行景观平台,让行人可在二层视野开阔处享受常山港的风景,平台两侧设计无障碍坡道,桥梁兼顾景观休闲功能。

桥型:根据推荐方案,采用传承、创新的设计理念,结合灵动、飘逸的桁架型式。

桥位:桥位要充分考虑自行车流与人流集散的方便、快捷和舒适性,并且留有足够的集散空间;桥位要考虑其与河道及航道的关系,不影响通航,不影响行洪排涝。

桥宽:根据功能定位合理确定桥宽,目前桥宽控制在14 m左右,符合功能要求。

标高:主跨满足Ⅲ级航道7 m净高通航标准,同时满足100 a一遇洪水位+0.5 m安全高度要求;其他跨满足50 a一遇洪水位+0.5 m安全高度要求。

亮化方面:在景观设计和下部结构设计中要考虑亮化设计及电气管道的穿越和布局。

3.3 总体布置

西桥北侧连接科教二路路口,南侧顺接防洪堤坝,桥位与水流方向垂直,与主航道斜交角约82°。桥梁位置距离黄塘桥枢纽出口约100 m,桥跨布置考虑应急船闸宽度影响:主桥采用(60+160+35) m布置,局部双层设计,在WZX05墩处设置跨度30 m长二层平台,桥宽14~20 m(不含桁架);引桥及匝道采用连续钢箱梁结构,跨径22~29 m,引桥桥宽14 m,匝道桥宽3 m。主桥布置见图8。

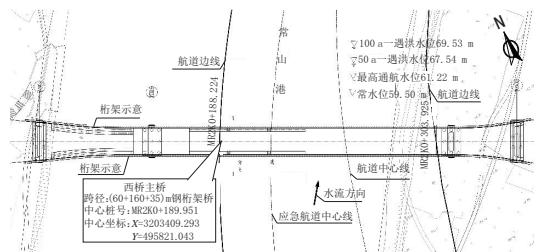


图8 西桥主桥平面图(单位:m)

东桥北侧连接美衢路,南侧顺接防洪堤坝,桥梁平面与河道水流方向、航道航向基本垂直,交角约90°。主桥采用(45+160+35) m布置,局部双层设计,在EZK05墩处设置跨度30 m长二层平台,桥宽14~20 m(不含桁架);引桥及匝道采用连续钢箱梁结构,跨径为25~28 m,引桥桥宽14 m,匝道桥宽

3 m。主桥布置见图9。

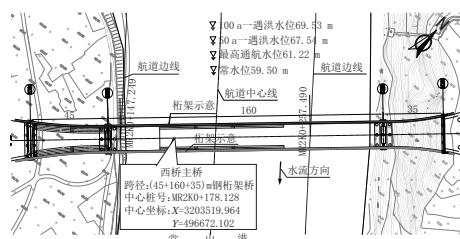


图9 东桥主桥平面图(单位:m)

由于梁桥结构类似,以下仅以(45+160+35) m的东桥作详细分析。

3.4 结构型式及特点

主桥桁架采用屋脊形变高线形桁架结构,塑造出风格独特的钢桁架桥,通过加高支点处桁架高度,提高主桁整体受力^[1]。上部结构开口形半穿式桁架与正交异性钢桥面板相结合,双层设计,在中墩附近设置跨度30 m长二层平台结构,左右两片桁架仅在中墩位置及中跨中间位置设置少量横向支撑。与同类型半穿式钢桁架桥对比,该桥桥跨较大,主跨为160 m,已建的半穿式钢桁架桥常规跨径为50~120 m。该桥腹杆采用簇式多撑腹杆,此类结构的应用在国内鲜有案例。

半穿式桁架由于未设置横联与平联,桥面视野会更加开阔,同时也因为缺少较强的横向联系,上弦杆跨中受压容易失稳,进而导致整体失稳^[2-5]。设计时可通过加大杆件尺寸、控制杆件应力水平来提高杆件稳定性。桥面系采用纵、横梁格式正交异性钢桥面板体系。

3.5 主桁钢梁设计

东桥跨径为(45+160+35) m,两片桁架中心距为15.35~24.07 m,桁架位于横桥向最外侧,两片桁架之间设置双向非机动车道及人行道,净宽14 m。为增强桁架侧向刚度,提高稳定性,桁架采用焊接箱型截面,弦杆带整体节点板在工厂制作完成,现场通过腹杆连接成整体。

单片桁架共设置上、中、下三道弦杆,上弦杆桁高采用圆曲线变化,桁高及截面尺寸见表1,桥梁横断面布置见图10,主桥桁架立面布置见图11。

3.6 横向联结系统设计

为保证桁架整体稳定性,在中弦杆墩顶位置设置多道K形箱型截面横杆(见图12),截面尺寸为400 mm×400 mm,壁厚20 mm;上弦杆及中弦杆跨中位置设置6道一字形箱型横杆,截面尺寸为300 mm×300 mm和500 mm×500 mm,壁厚20 mm。为改善外观造型,横

表 1 东桥桁架高度及尺寸表			
单位: mm			
项目	上弦杆	中弦杆	下弦杆
EZX04 墩处	9 935	4 817	
EZX05 墩处	23 317	16 040	
跨中	6 687	3 676	
EZX06 墩处	13 856	9 203	
EZX07 墩处	5 639	2 208	
截面尺寸	900×850	1 500×850	1 500×850
截面厚度	顶底板 25~45 腹板 20~30	顶底板 20~40 腹 20~35	顶底板 30~35 腹板 35

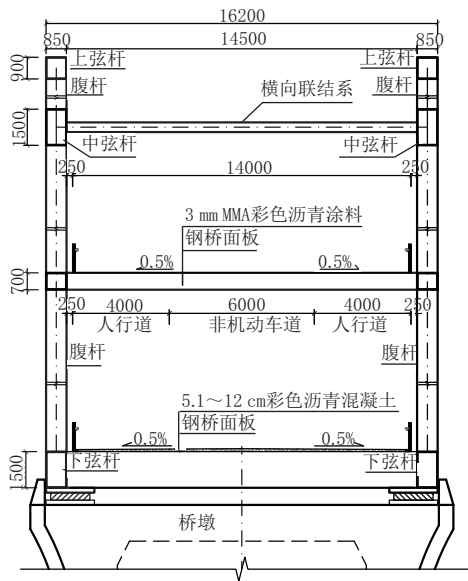


图 10 东桥主桥横断面布置图(单位:mm)

杆结合遮阳棚同步设计,利用横杆作为主要骨架设置遮阳棚结构。

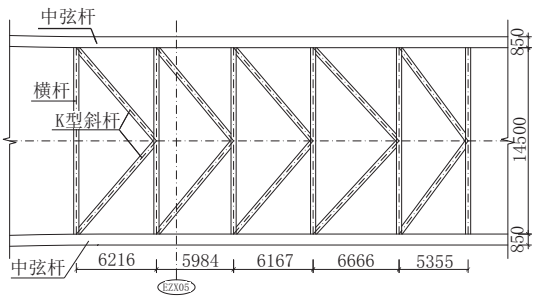


图 12 横向联结系平面图(单位:mm)

3.7 桥面系设计

桥面系采用无底板的正交异形钢桥面板,由纵、横梁及 U 形加劲肋组成,纵、横梁均为工字形。横桥向两侧为 1.5 m×0.85 m 下弦杆,中间设置 3 道小纵梁,小纵梁高度 700 mm,下翼缘宽 400 mm,厚 16 mm,腹板厚 14 mm。在簇式腹杆处设置主横梁,主横梁高度 1.5 m,下翼缘宽 400 mm,厚 25 mm,腹板厚 20 mm。主横梁之间每 4 m 设置一道次横梁,次横梁高度 1.0 m,下翼缘宽 400 mm,厚 20 mm,腹板厚 18 mm。桥面板厚 16 mm,下设 280 mm 高、300 mm 宽、8 mm 厚 U 形加劲肋,间距 500 mm。桥面系见图 13。

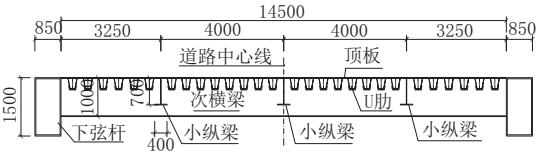
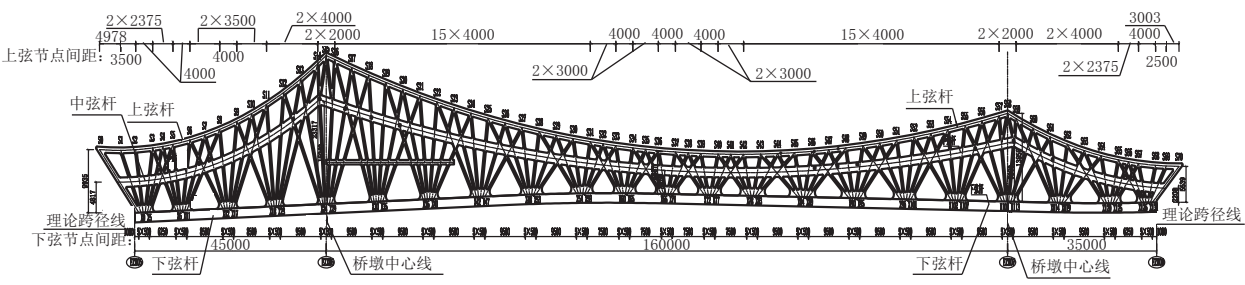


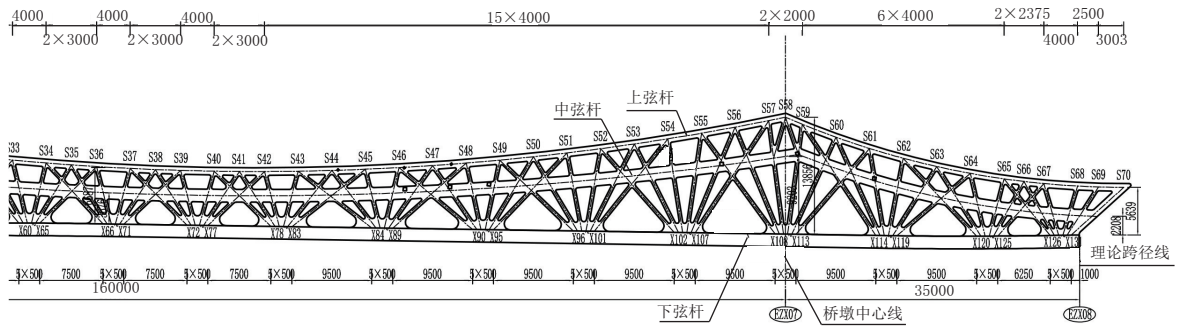
图 13 主桥底层桥面系(单位:mm)

3.8 二层平台设计

主桥设置二层人行景观平台,平台长 30 m,与底



(a)东桥主桥桁架立面图 1



(b)东桥主桥桁架立面图 2

图 11 东桥主桥桁架立面图(单位:mm)

层桥面同宽。两侧利用桁架腹杆设置一道0.7 m×0.85 m箱型纵梁,顶、底板厚20 mm,腹板厚25 mm。纵梁之间设置3道小纵梁及多道横梁,桥面板采用16 mm钢板,下设140 mm高、12 mm厚板肋(见图14)。

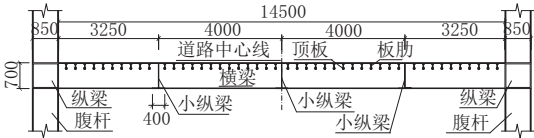


图14 主桥二层平台桥面系(单位:mm)

二层景观平台与底层桥面采用钢箱梁坡道连接,钢箱梁梁高0.7 m,单箱单室结构,挑臂0.3 m,顶、底板14 mm厚,腹板12 mm厚,顶、底板设置100 mm高、12 mm厚板肋(见图15)。

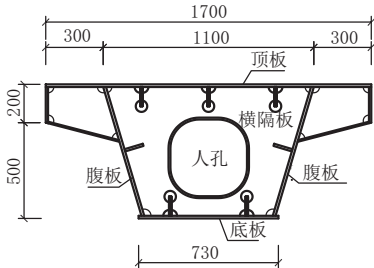


图15 坡道钢箱梁横断面(单位:mm)

4 结构计算分析

4.1 计算模型

主桥采用MIDAS空间有限元软件进行分析计算,采用梁格法对桥梁结构进行建模(见图16)。计算中计入了结构重力、二期自重、温度作用、活载等荷载或作用。

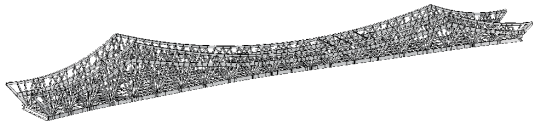


图16 主桥有限元模型

4.2 结构静力计算

4.2.1 荷载取值

由于桥梁边跨较小,为保证边支点稳定受压状态,对边跨部分采用箱型截面设计,并采用素混凝土或钢砂混凝土进行填充压重。45 m边跨配重布设18.5 m,采用C30素混凝土,容重取24 kN/m³;35 m边跨配重布设19 m,采用C30钢砂混凝土,容重取30 kN/m³。配重荷载采用梁单元荷载沿下弦杆及桥面纵梁加载。

活荷载分人群荷载及车道荷载,人群荷载按3.5 kPa,车道荷载采用城—B级。

温度荷载按整体升降温考虑,升温25℃和降

温25℃。

温度梯度参照英国标准协会标准《钢桥、混凝土桥及结合桥》(BS5400)中第5.4.5.1条钢桥面铺设在钢桁梁或钢板梁上取用,对上、中、下弦杆施加梯度温差效应。

基础不均匀沉降,按1/3 000取值进行计算。

4.2.2 应力验算

恒载状态见表2:结构最大拉应力139.1 MPa,位于中墩上弦杆位置;最大压应力131.6 MPa,位于中墩下弦杆位置。

表2 恒载作用下结构应力结果

节点号	应力值/MPa	位置
988	139.1	EZX06墩顶部上弦杆
960	-131.6	EZX07墩底部下弦杆
178	118.3	EZX07墩附近斜腹杆
827	-108.4	EZX06墩附近腹杆

基本组合作用弦杆受力见表3:结构最大拉应力212.9 MPa,位于中墩上弦杆位置,最大压应力197.7 MPa,位于中墩下弦杆位置。

表3 基本组合作用下弦杆应力结果

节点号	应力值/MPa	位置
988	212.9	EZX06墩顶部上弦杆
170	-197.7	EZX07墩底部下弦杆

基本组合作用下腹杆受力见表4:结构最大拉应力167.5 MPa,位于斜度较大的腹杆位置,最大压应力162.9 MPa,位于中墩位置竖直腹杆处。

表4 基本组合作用下腹杆应力结果

节点号	应力值/MPa	位置
178	167.5	EZX07墩附近斜腹杆
827	-162.9	EZX06墩附近腹杆

基本组合作用下桥面、人行坡道、二层平台及横撑受力见表5:结构最大拉应力为208.5 MPa,位于桥面横梁与下弦杆相接位置;最大压应力178.4 MPa,位于桥面次纵梁处。

表5 基本组合作用下桥面、人行坡道、二层平台及横撑应力结果

节点号	应力值/MPa	位置
141	208.5	跨中横梁与下弦杆连接处
2102	-178.4	桥面次纵梁

基本组合作用下最大剪应力见表6:结构最大剪应力137.2 MPa,位于桥面中墩下弦杆位置。

表6 基本组合作用下剪应力结果

节点号	应力值/MPa	位置
826	-137.2 123.9	EZX06墩下弦杆

4.3 结构刚度计算

根据规范^[6]对结构的变形控制,上部结构由活载计算产生的最大竖向挠度容许值 $[V]$ 为 $l/600$ 。

经计算,在非机动车及人群荷载作用下,跨中最大正挠度为 34.94 mm,最大负挠度为 1.5 mm,挠度和为 36.44 mm,小于 266.7 mm(160 000/600),结构刚度满足规范要求。

4.4 桁架稳定性计算

4.4.1 杆件总稳定性

该桥为 3 跨连续半穿式钢桁架,上、中弦杆无横向支撑,确定弦杆计算长度,控制其应力水平是保证其稳定性的关键。上弦杆采用箱型截面,并较常规桁架适当加大截面的横向尺寸,提高上弦杆的横向刚度,增强上弦杆的横向稳定。

根据《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10091—2017)第 5.1.2 条,对于半穿式钢梁, d (主桁的节间长度)小于等于 $L/3$ 时, l (计算长度)为 αL ;在第 5.2.1 条中,上弦杆和中弦杆容许最大长细比为 100。

总稳定计算按《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10091—2017)第 4.2.2 条中的公式:

$$\frac{N}{A_m} + \frac{\varphi_1}{\mu_1 \varphi_2} \cdot \frac{M}{W_m} \leq \varphi_1 [\sigma]$$

式中: N 为计算轴向力,MN; M 为构件中部 1/3 长度范围内最大计算弯矩,MN·m; A_m 为毛截面积,m²; W_m 为毛截面抵抗矩,m³; φ_1 为中心受压杆件的容许应力折减系数; φ_2 为构件只在一个主平面内受弯时的容许应力折减系数(若是压弯杆,可按 $N=0$ 的情况来确定 φ_2); μ_1 为考虑弯矩因构件受压而增大所引用的值。

中弦杆和上弦杆稳定性计算如表 7 所列。

腹杆按普通桁架进行稳定性计算,选择最长腹杆及应力最大腹杆进行验算,杆件计算长度根据《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10091—2017)5.1.1 条取值,腹杆容许最大长细比为 150。

腹杆稳定性计算见表 8。

经计算,桁架各构件总稳定性均满足规范要求。

4.4.2 桥梁整体稳定性

桥梁整体稳定性验算未考虑材料几何非线性影响,只对结构进行线弹性屈曲分析,将结构自重恒载与活载作为变量,结构屈曲稳定系数为 15.43,桥梁整体刚度较大,整体稳定性满足规范要求。

4.5 结构动力特性计算

4.5.1 频率计算

根据动力计算结果,桥梁结构竖向一阶至三阶

表 7 中弦杆和上弦杆稳定性计算

参数	中弦杆	上弦杆
L/m	160	160
d/m	1.86	3.56
$\delta/(m \cdot MN^{-1})$	0.2	1.12
β	18 703	4 869.3
α	0.103	0.122
m	2	3
l (计算长度)/m	16.48	19.485
λ	51.017	42.944
φ_1	0.796 8	0.848 5
φ_2	1	1
N/kN	3 792.5	11 304.3
$M/(kN \cdot m)$	1 612.2	409.5
n_1	1.4	1.4
μ_1	0.926	0.812
$(\frac{N}{A_m} + \frac{\varphi_1}{\mu_1 \varphi_2} \cdot \frac{M}{W_m})/MPa$	61.37	166.64
$\varphi_1[\sigma]/MPa$	159.4	169.7
是否满足	满足	满足

表 8 腹杆稳定性计算

内容	腹杆(最长)	腹杆(应力最大)
I_m/m^4	0.005 5	0.005 5
l (计算长度)/m	11.6	6.19
λ	44.579	24.86 6
φ_1	0.838 1	0.9
φ_2	1	1
N/kN	1 653.3	5 476.6
$M/(kN \cdot m)$	141.5	85.8
n_1	1.4	1.4
μ_1	0.962	0.955 11
W_m/m^3	0.013	0.012 94
$(\frac{N}{A_m} + \frac{\varphi_1}{\mu_1 \varphi_2} \cdot \frac{M}{W_m})/MPa$	37.08	111.57
$\varphi_1[\sigma]/MPa$	167.6	180
是否满足	满足	满足

自振频率分别为 1.681、1.982、3.841 Hz;桥梁结构横向一阶至三阶自振频率分别为 0.440、0.982、1.427 Hz。

在规范中要求“天桥上部结构竖向自振频率不应小于 3 Hz”。浙江省《城镇人行天桥设计标准》(DB33/T 1245—2021)第 5.5.4 条规定:“天桥结构竖向固有频率小于 3 Hz,侧向固有频率小于 1.2 Hz,应进行人致振动舒适度验算;对于竖向舒适度,应分别验算频率处于 1.25~3 Hz 的竖向模态;对于侧向舒适度,应分别验算频率处于 0.5~1.2 Hz 的侧向模态。”

因该桥不满足规范中相关要求,故需对桥梁进行舒适度评价。

4.5.2 人致振动舒适度评价

(1)舒适度评价标准。
《城镇人行天桥设计标准》(DB33/T 1245—2021)中5.5.7条规定:“行人舒适度评价等级应高于表9中的CL3等级,宜达到CL1等级。”

表9 行人舒适度评价标准			
舒适度等级	舒适度评价	竖向峰值加速度限值/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	侧向峰值加速度限值/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)
CL1	最佳	$[0, 0.25\cdot f^{0.78})$	$[0, 0.1)$
CL2	合格	$[0.25\cdot f^{0.78}, \min(0.5\cdot f^{0.5}, 0.7))$	$[0.1, 0.15\cdot f^{0.5})$
CL3	不合格	$[\min(0.5\cdot f^{0.5}, 0.7), \infty)$	$[0.15\cdot f^{0.5}, \infty)$

(2)行人密度取值
本次设计参考德国《人行桥设计指南》(EN03, 2007)中关于人行桥的行人交通级别和相关人流密度(见表10)^[7]。密度 d 为每平方米人数。

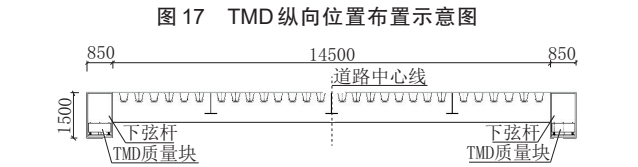
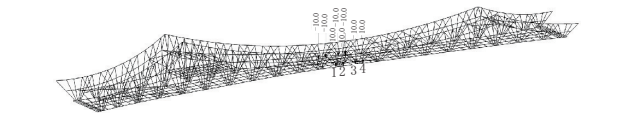
表10 行人交通级别和密度表			
交通级别	密度 d	描述	特点
TC1	$d=1.5$ 人/ m^2	行人十分稀少	
TC2	$d=0.2$ 人/ m^2	行人稀少	舒适而自由地行走,快步行走是可能的,单个行人能够自由选择步伐
TC3	$d=0.5$ 人/ m^2	交通繁忙	行走依然不受限制,快步行走有时可能被限制
TC4	$d=1$ 人/ m^2	交通十分繁忙	移动的自由受到限制,步行受阻,快步行走不再可能

根据《建筑振动荷载标准》(GB/T 51228—2017)单位面积人流荷载函数 $p_v = P\cos(2\pi f_s t)\psi' \times n'$ 式中: $F_v(t)$ 为单位面积的人行振动荷载, N/m^2 ; F_b 为人行天桥上单个行人行走时产生的振动荷载, N ; f 为人行荷载频率, Hz ; γ' 为等效人群密度, $1/\text{m}^2$; ψ 为荷载折减系数。建立行人谐波荷载,采用时域分析方法得到结构最大加速度值为 2.01 m/s^2 ,舒适度等级为CL3级,舒适度评价不合格。

本次设计拟采用设置TMD调频质量阻尼器来削弱结构振动反映,共4组,单个TMD质量为 $1\,000\text{ kg}$,纵向设置在中跨跨中附近,距离EZX05墩为 78.2 m ,4组纵向间距为 $(3.6+6.4+3.6)\text{ m}$,距离EZX06墩 68.2 m 。纵向加载位置如图17所示,横向布置在下弦杆内,如图18所示。TMD系统参数如表11所列。

TMD由质量块、弹簧、阻尼器构成,四角设置受压弹簧,弹簧按螺旋压缩弹簧设计,弹簧总刚度应具有一定的可调节性,调节幅度在 $\pm 20\%$ 内,中间为阻尼装置,见图17、图18。

表11 TMD系统参数表	
参数	数值
TMD质量/kg	1 000
TMD刚度/($\text{kN}\cdot\text{m}$)	112.512
弹簧数/个	8
TMD频率/Hz	1.68
TMD阻尼系数/($\text{kN}\cdot\text{s}\cdot\text{m}$)	0.812
阻尼器数/个	8



使用人行频率为结构1阶频率,分析时间为 60 s ,桥梁减振前加速度最大点在减振前后的加速度时程曲线如图19所示。

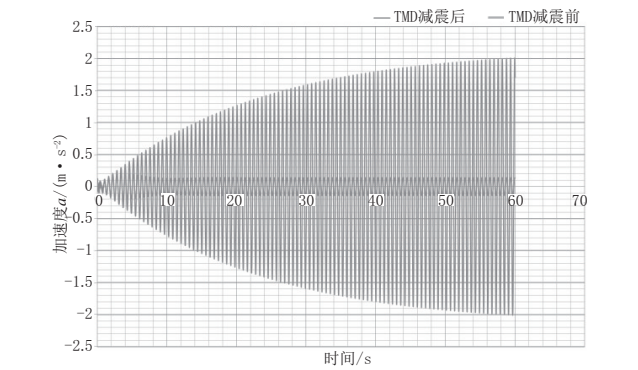


图19 节点(2043)加速度最大点的加速度时程曲线
减振前后的数值见表12。

表12 设置TMD加速度减振效果表			
位置	减振前/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	减振后/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	减振率/%
节点(2048)	2.01	0.199 6	90

通过设置TMD减振系统后,结构的加速度可满足 $0.199\,6\text{ m/s}^2 < 0.25 \times 1.68^{0.78} = 0.375\text{ m/s}^2$ 的要求,行人舒适度评价为最佳。

4.6 疲劳验算

根据《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015),本项目采用疲劳荷载计算模型Ⅱ进行疲劳验算。

上弦杆为该桥各弦杆中应力最大构件,拟取该桥上弦杆基材疲劳细节类别90,即 2×10^6 次循环疲劳强度值 $\Delta\sigma_e = 90\text{ MPa}$,根据 $\lg\Delta\sigma_r = -\frac{1}{3}\lg N + C$ 求得 $\Delta\sigma_e = 94.5\text{ MPa}$,验算部位为重要构件,取 $\gamma_{\text{mf}} = 1.35$ 。

γ 为损伤等级系数, $\gamma = \gamma_1 \times \gamma_2 \times \gamma_3 \times \gamma_4 = 2.5 \times 0.067 \times 1 \times 1 = 0.168$ 。

$$\Delta\sigma_{E2} = (1 + \Delta\phi)\gamma(\sigma_{pmax} - \sigma_{pmin}) = 1 \times 0.168 \times (8.6 + 3.6) = 2.05 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E2} = 2.05 \text{ MPa} < \frac{k_s \Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 46.4 \text{ MPa}$$

上弦杆截面正应力满足疲劳要求。

$$\text{对剪应力验算有: } \lg\Delta\tau_R = -\frac{1}{5} \lg N + C$$

求得 $\Delta\tau_C = 90.11 \text{ MPa}$ 。

$$\Delta\tau_{E2} = (1 + \Delta\phi)\gamma(\tau_{pmax} - \tau_{pmin}) = 1 \times 0.168 \times (2 + 0.1) = 0.3528 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E2} = 0.3528 \text{ MPa} < \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}} = 66.74 \text{ MPa}$$

上弦杆截面剪应力满足疲劳要求。

该桥桥面横纵梁疲劳细节类别为 80, 即 2×10^6 次循环疲劳强度值 $\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa}$, 根据 $\lg\Delta\sigma_R = -\frac{1}{3} \lg N + C$ 求得 $\Delta\sigma_c = 80.37 \text{ MPa}$, 验算部位为重要构件, 取 $\gamma_{Mf} = 1.35$ 。 γ 与上弦杆相同, 为 0.168。

$$\Delta\sigma_{E2} = (1 + \Delta\phi)\gamma(\sigma_{pmax} - \sigma_{pmin}) = 1 \times 0.168 \times (53.4 + 55.6) = 18.312 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E2} = 18.312 \text{ MPa} < \frac{k_s \Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 59.53 \text{ MPa}$$

横纵梁正应力满足疲劳要求。

对剪应力验算有: $\lg\Delta\tau_R = -\frac{1}{5} \lg N + C$ 求得 $\Delta\tau_C = 76.25 \text{ MPa}$ 。

$$\Delta\tau_{E2} = (1 + \Delta\phi)\gamma(\tau_{pmax} - \tau_{pmin}) = 1 \times 0.168 \times (32.8 + 32.8) = 11.02 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E2} = 11.02 \text{ MPa} < \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}} = 56.48 \text{ MPa}$$

横纵梁剪应力满足疲劳要求。

5 结 语

半穿式钢桁架由于横撑较少, 较传统桁架外观更加轻盈; 不受净空限制, 可降低桁架高度, 减少结构材料用量, 改善桁架桥梁造型。但是由于缺少横向支撑, 桁架侧向稳定在设计中要引起足够重视, 避免桥梁发生失稳破坏。

智慧岛景观桥项目历经 2 a 建设期, 主桥已于 2023 年 8 月通过验收。项目建成后, 将形成常山江生态公园环状绿色无障碍慢行交通系统, 有效分流非机动车和行人, 减轻通行压力, 对完善区域慢行交通绿网, 提供舒适便捷的绿色出行具有积极作用。

参考文献:

- [1] 周成. 大跨径敞开式钢桁架桥设计[J]. 城市道桥与防洪, 2018(6): 87-89.
- [2] 小西一郎. 钢桥[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1976.
- [3] 赵廷衡. 桥梁钢结构细节设计[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2011.
- [4] 吉伯海, 傅中秋. 钢桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2016.
- [5] JTG D64—2015, 公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [6] CJJ 69—1995, 城市人行天桥与人行地道技术规范[S].
- [7] 彭程. 大跨度结构楼盖竖向振动舒适度分析及 TMD 设计[J]. 工程抗震与加固改造, 2017, 39(1): 91-100.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadfloodbridge@163.com

