

某公园 120 m 跨地锚式人行悬索桥设计

郜小兴

(华维设计集团股份有限公司, 江西 南昌 330096)

摘要:永新湿地公园人行景观桥是连接仰山公园和湿地公园的一座主跨 120 m 的双塔空间双索面地锚式悬索桥,桥面净宽 3.35 m,桥面中间设置 20 m 长的玻璃桥面;通过对该桥主要设计标准、结构设计、计算分析的简要介绍,阐述了对大跨度人行悬索桥的设计思路和方法,有助于同类型人行索桥设计经验的借鉴。

关键词:人行悬索桥;大跨度;玻璃桥面;设计

中图分类号: U448.25

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0086-03

1 工程概况

永新湿地公园人行景观桥是坚持以人为本,集休闲、观光、文化、舒适为一体的标志性景观桥梁,桥梁连接了仰山公园和湿地公园,同时跨越禾水河。结合地形及景观要求,经过多种方案比选,确定方案采用 1-120 m 双塔空间双索面地锚式悬索桥,桥面宽 3.6 m,为方便居民出行,增加景观效果,桥梁两侧均设置人行坡道和梯道与地面人行系统相连,如图 1 所示。



图 1 方案效果图

2 技术标准

(1)设计荷载:人群荷载为 2.4 kN/m^2 ;局部构件按照 5.0 kN/m^2 验算。

(2)桥面宽度: 0.325 m (吊杆区域)+ 0.25 m (栏杆地梁)+ 3.35 m (桥面净宽)+ 0.25 m (栏杆地梁)+ 0.325 m (吊杆区域)= 4.5 m 。

(3)桥上纵坡:以主桥为中心双向 1.0%。

(4)设计安全等级:一级。

(5)设计洪水频率:1/100;100 a一遇水位为 112.06 m。

收稿日期:2022-06-30

作者简介:郜小兴(1983—),男,工学硕士,高级工程师,从事道路桥梁设计工作。

(6)桥涵设计使用年限:主体结构 50 a;吊杆、栏杆、玻璃桥面等可更换构件应满足相关规范要求。

(7)环境类别:I类环境,地震动峰值加速度 $0.05g$ 。

(8)桥梁设计基准年限:100 a。

3 结构设计

3.1 桥梁总体设计

人行悬索桥全长 198 m,其中主桥为 1-120 m 双塔空间双索面地锚式悬索桥,主索垂度 12.0 m,矢跨比为 1/10。考虑人行悬索桥桥面刚度较小,横向稳定性较差,本次设计采用空间外倾式双索面体系,桥面板采用分块预制的 10 cm 厚钢筋混凝土板,增加桥梁重力刚度。桥面两侧设置抵抗风荷载的空间缆索面,提高桥梁整体稳定性。桥面纵向跨中位置设置人字坡,坡度 1%,跨中设计高程为 119.000 m。桥面人行道净宽 3.35 m,主缆中心间距 4.06 m。

为方便居民出行及增加公园景观效果,人行悬索桥两侧均设置环形人行坡道和楼梯与地面人行系统相连,如图 2 所示。

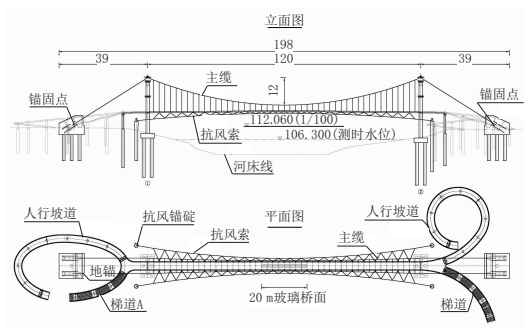


图 2 总体布置图(单位:m)

3.2 主梁及人行道板设计

为方便主梁施工吊装,主梁结构采用纵、横梁整体框架结构形式。纵向梁共设置三道,两侧边纵梁采

用 36C 槽钢,中间纵梁采用 I36 工字钢。纵梁间采用水平和斜向 $\angle 100 \times 10$ 短角钢分上下两层焊接成整体桁架钢梁,全桥共设置 48 个。横梁采用双肢 36c 槽钢,间距 2.5 m,长度 4.5 m,双肢槽钢肢背间距 60 mm,通过加劲板板焊接为整体,吊杆的吊点和横向缆风拉索的转向点位置设置在离端横梁梁端 22 cm 的位置上,共设 49 根端、中横梁。纵向框架梁与横梁加劲板,通过不锈钢高强度螺栓和焊接连接整体。钢框架梁构件均在工厂加工制作、预拼装和热镀锌防腐处理,如图 3 所示。

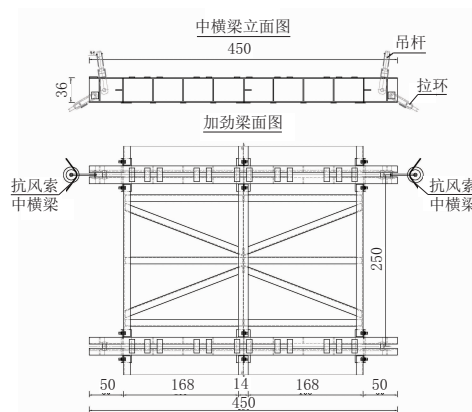


图 3 标准节段加劲梁布置图(单位:cm)

横梁间人行道板由 6 块 C40 钢筋混凝土预制板组成。桥面板总宽 3.85 m,板厚 0.1 m,板块间设置 2 cm 的隔缝,且每块板均设置直径 6 cm 的通风孔,标准中板宽 0.7 m 和 0.57 m,L 型边板宽 0.605 m,每节板块长度 2.46 m。采用不锈钢螺栓把预制人行道板与打孔的钢横梁现场连接,考虑施工时螺栓孔位易于安装,钢横梁孔位可根据实际人行道板孔位打孔安装。

3.3 索塔设计

主塔为古典塔型,采用钢筋混凝土双柱框架结构,塔柱截面尺寸为 1.5×1.2 m。塔顶为矩形截面为 2.4×2.1 m。塔柱四角均倒为 10 cm 直角。塔柱设置两道横梁,上横梁采用矩形箱型实心截面,横梁在塔柱间长 5.6 m,高度 2.0 m,宽度 1.1 m。下横梁采用矩形箱型实心截面,横梁在塔柱间长 5.6 m,高度由 1.8 m 过渡到 1.5 m,宽度 1.3 m,基础均采用承台桩基础,承台尺寸为 $6 \text{ m} \times 10 \text{ m}$,厚度为 2 m,桩基为嵌岩桩,如图 4 所示。

为了景观考虑,塔顶索鞍处设置廊亭。塔壁上设置爬梯钢筋,便于主塔及索鞍的检修。

3.4 主缆及索鞍、索夹设计

主缆在主跨两主塔中心线之间的跨径为 120 m,采用双塔空间双索面对称布置,横桥向左右主塔中

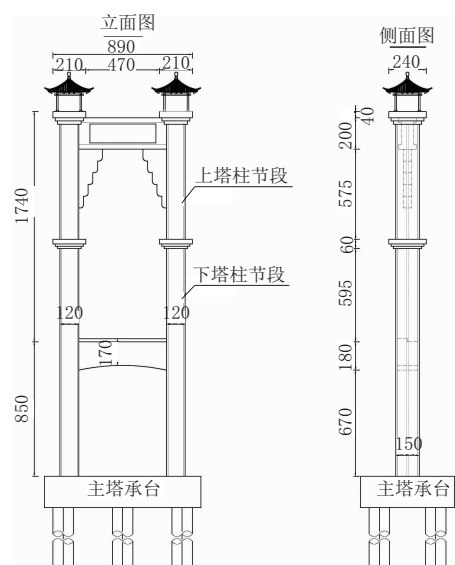


图 4 主塔构造图(单位:cm)

心距 6.8 m,横梁吊点中心距 4.06 m。主缆采用 PES5-211 镀锌平行钢丝成品索结构,主缆破断力为 7 333 kN。主索垂度 12.0 m;垂跨比 1/10,空缆垂度 11.076 m,垂跨比 1/10.834。主索在索鞍处的倾角为 68.41° ,背索倾角为 57.85° 。主缆压紧和受载通过销接式铸钢索夹和普通螺栓实现。主缆在两岸锚跨经过交换梁传力到重力式锚碇,采用嵌填乙丙橡胶防水条对接缝处进行防水处理。

索鞍由索鞍体、承压板、上板和底板等组成,鞍体和底板采用 ZG270-480H 材质,如图 5 所示。索鞍底板采用锚栓锚固在塔柱内;鞍座顶推过程中可在塔壁上设置反力架,通过千斤顶实现鞍体相对塔顶的移动,顶推到位。索鞍各部位采用聚硫密封胶有效密封,表面喷涂环氧富锌底漆一道,环氧云铁中间漆两道,环氧面漆一道,总干膜厚度不小于 $190 \mu\text{m}$ 。

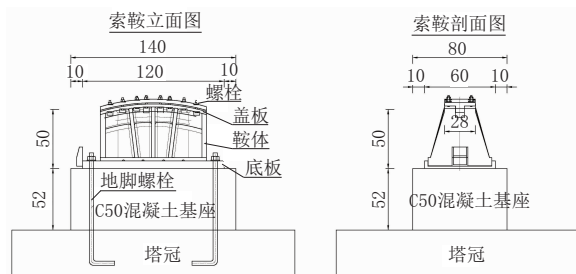


图 5 主索鞍构造图(单位:cm)

全桥共设置 47 对上下对合索夹,材质采用 ZG20Mn,索夹间通过高强螺杆连接紧固,且在预紧力作用下索夹能够使主缆握紧。两片索夹缝隙,采用嵌填乙丙橡胶防水条对接缝处进行防水处理。索夹承缆孔表面进行厚度不小于 $200 \mu\text{m}$ 喷锌处理,喷涂环氧富锌封闭漆一道,干膜厚度 $40 \mu\text{m}$;施工完成后,索夹表面整体喷涂厚度为 2 mm 的聚脲防护层。

3.5 吊杆及防风索设计

桥上吊杆共 47 对成品索,吊杆间距 2.5 m,吊索规格为 GJ15-3 挤压环氧喷涂无粘结钢绞线,外加白色 PE 套保护,防腐可靠。索夹和横梁采用叉耳连接,可适当调节长度。

防风索在桥面系左右两侧斜向下方对称布置,所在平面与水平面的夹角为 30° 。防风索主缆选用 5 根 $\phi 15.20$ 环氧喷涂无粘结钢绞线,钢绞线外加 PE 套保护。主缆依靠索夹和不锈钢片套箍成形。防风拉索选用直径 16 mm,易于弯曲的 A 级镀锌钢芯钢丝绳,抗拉强度为 1 670 MPa。桥面两侧防风主缆通过拉索和横梁上的转向滑轮形成空间对称索力平衡结构,与锚固锚杆的接头连接形式同于承重主缆散索后与锚碇内预埋锚固拉杆的连接形式,如图 6 所示。

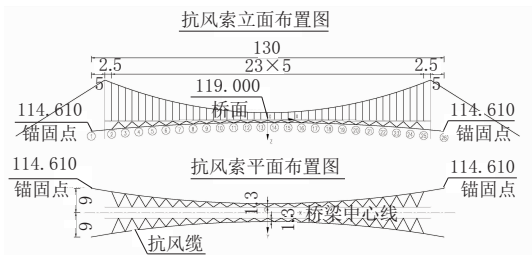


图 6 防风索布置图(单位:m)

3.6 锚碇设计

主缆锚碇采用重力式,主缆 IP 点理论高程 112.857 m,主缆倾角 32.15° 。锚碇前端高 8.5 m,宽 11.0 m。主索缆间地锚锚固点间距 6.9 m。

锚碇由锚块、锚室顶板、侧墙及锚体组成,均采用 C40 抗渗混凝土,锚室顶板、侧墙厚 0.6 m。锚室顶板设置 $D=80$ cm 的检修人孔。结合地质条件,锚体底部设置桩基础,以提高锚碇的抗滑移性能,加强地基与锚体的联系,如图 7 所示。

单根主缆锚固位置的两侧采用 2 根预应力锚索通过交换梁锚碇在地锚内。锚索预埋镀锌钢管套直径为 180 mm,锚固索索体为 14 根直径为 15.20 mm 无粘结环氧喷涂钢绞线,锚索长度为 6.5 m,

3.7 桥面铺装设计

主桥桥面铺装腐木采用防腐木材,木材的强度等级采用 TB11,在正常养护条件下使用年限不得小于 20 a,桥面板应进行防滑、防潮、阻燃、防腐等处理。木材的防火性能为难燃,耐火极限为 0.75 h,同时必须进行药剂处理^[1],相关要求应遵照《木结构工程施工质量验收规范》(GB 50206—2012)。

玻璃桥面选用 10 mm+10 mm+10 mm 三夹层钢

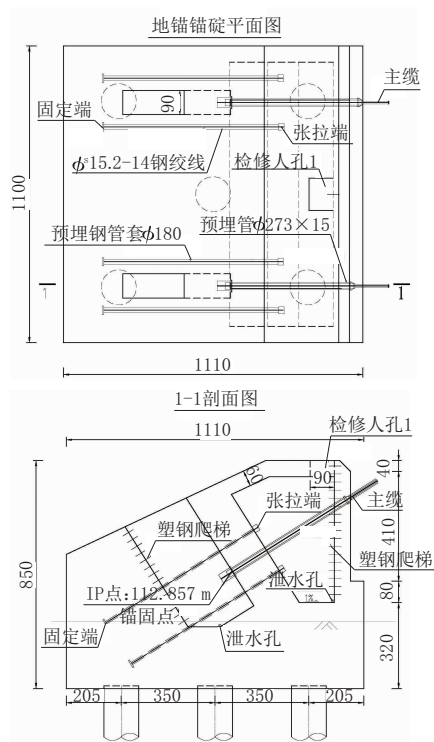


图 7 锚碇布置图(单位:cm)

化玻璃,玻璃为矩形;各层单片玻璃中间层胶片厚度不应小于 1.52 mm,周边缝隙采用硅酮结构密封胶填充。玻璃采用均质钢化玻璃。玻璃外观、质量和性能应符合现行国家标准^[2]。

4 结构计算

计算采用大型有限元分析软件进行计算,建立三维有限元分析模型,主缆、吊杆、防风拉索采用索单元,主塔、桥面系、纵横梁、采用梁单元进行模拟如图 8 所示。



图 8 计算模型

设计中对桥梁的成桥线形,静力、动力计算及自振频率和人行桥舒适性等进行了详细分析。

5 结 语

永新湿地公园人行景观桥是一座标志性桥梁,主跨 120 m 地锚式悬索桥,桥面净宽 3.35 m,塔柱采用古典造型,从桥梁整体稳定性考虑,采用空间外倾式双索面体系和混凝土桥面板,为增加大桥观赏性,桥面中设置钢化玻璃桥面;桥面两侧设置抵抗风荷载的空间缆索面;主缆为镀锌平行钢丝成品索,每根主缆采用预应力钢绞线通过交换梁锚碇在地锚内;

(下转第 98 页)

后支座未发生滑动。

不考虑 $\mu=0.01$ 时的计算结果,就其他参数组合而言,墩底弯矩最大值为 $28\,043.4\text{ kN}\cdot\text{m}$,最小为 $269\,79.2\text{ kN}\cdot\text{m}$,仅相差 $1\,064.3\text{ kN}\cdot\text{m}$;墩底剪力最大值为 $1\,176.0\text{ kN}$,最小为 $1\,150.7\text{ kN}$,仅相差 25.2 kN 。实际采用支座的 R 为 2.0 m ,在 $\mu=0.03$ 的组合下的弯矩和分别为 $27\,788.9\text{ kN}\cdot\text{m}$ 和 $1\,167.7\text{ kN}$,与本文所得到的最优组合的结果分别相差了仅 2.9% 和 1.5% 。

5 结 语

本文依托打庆高速打扮1号大桥,研究了地震动入射角和摩擦摆支座参数对弯桥地震响应的影响,得到以下结论:

(1)随着入射角的增加,纵向位移最大的3个墩均呈现出先增大后减小的趋势;纵向位移最大值并非出现在墩高最大的位置,而是出现在3号墩,达到了 51.5 mm ;地震动输入角对墩顶纵向位移的变化影响最为显著的是3号墩,可达到 2.4% 。

(2)5号墩的墩底弯矩和剪力随着地震动入射角的增加呈现出先增大后减小的变化趋势,地震动入射角 $\alpha=1^\circ$ 时得到的墩底内力为最小值。不同的入射角下,墩底弯矩最大相差 2.6% ,剪力相差 1.7% 。

(3)对于墩底弯矩,最不利参数组合为 $R=5.0\text{ m}$ 、

$\mu=0.01$,最优参数组合为 $R=5.0\text{ m}$ 、 $\mu=0.02$;对于墩底剪力,最不利的参数组合为 $R=5.0\text{ m}$ 、 $\mu=0.01$;最优参数组合为 $R=2.0\text{ m}$ 、 $\mu=0.05$ 。

参考文献:

- [1] 何瑞玺.山区高墩桥梁的抗震设计要点与构造措施分析[J].工程技术研究,2018(10):145-146.
- [2] 杨庆卫.中烈度区小箱梁桥下部结构设计[J].安徽建筑,2019,26(4):25-26,33.
- [3] 雷俊卿,宋力勋.汶川百花大桥震害分析与抗震性能研究[J].北京交通大学学报,2012,36(1):1-5,11.
- [4] 叶爱君,方家欣,张少为,等.小箱梁桥横向减震体系及其耗能特性[J].中国公路学报,2017,30(12):21-29.
- [5] 刘陆平,周指示.反应谱法在小箱梁桥梁下部抗震计算中的应用[J].城市道桥与防洪,2016(2):101-103.
- [6] 王明晔.8度区小箱梁结构高架桥纵向地震反应分析[J].城市道桥与防洪,2015(1):45-47.
- [7] 沈贤,胡玉娟,赵文,等.板式橡胶支座对斜交连续梁桥地震反应的影响[J].世界地震工程,2021,37(1):78-85.
- [8] 李俊.山区高烈度地震区连续刚构桥抗震设计分析[J].交通科技,2021(1):29-33.
- [9] JTG/T B02-01—2008,公路桥梁抗震设计规范[S].
- [10] 叶爱君,管仲国.桥梁抗震.第2版[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [11] 郭红雨,曹学勇.基于延性设计的高烈度区大跨刚构桥减震分析[J].交通科技,2019(4):14-19.
- [12] 张鹏举.高烈度地震区长联大跨连续梁桥减隔震措施研究[J].铁道建筑,2017(5):10-12.

(上接第88页)

吊索选用整束挤压钢绞线。

大桥的建成对改善人居环境,完善城市功能,提升城市品位,增加群众获得感、幸福感起到积极的社会效益。同时也为同类型人行索桥设计提供了经验

及借鉴。

参考文献:

- [1] GB 50005—2017,木结构设计标准[S].
- [2] GB 15763.4—2009,建筑用安全玻璃第4部分:均质钢化玻璃[S].