

软土地区斜靠式拱桥设计

刘从新, 舒勇, 刘燕飞

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要:福建省晋江市湿地公园大桥地处软土地区,桥梁结构为斜靠式拱桥,共4片拱肋,主拱竖直,计算跨径为78.33 m,副拱倾斜,计算跨径为122 m。桥梁上部结构均采用钢结构,拱肋为焊接矩形钢箱截面,主桥桥面系采用纵横梁体系,正交异性桥面板构造;主拱与桥面固结,下设球钢支座;副拱拱脚埋入承台锚固,采用剪力钉连接。桥梁基础为实体墩台、钻孔灌注桩基础。通过结构计算分析,该桥各构件受力及稳定性均能满足要求。

关键词:斜靠式拱桥;流塑性软土;结构体系;计算分析

斜靠式拱桥由4片拱肋组成,中间两片平行拱肋为主要受力结构;两侧的倾斜拱肋与主拱一起形成空间体系,保证结构的稳定性。此类桥型外观新颖独特,富有曲线美,空间力度感强,在桥面宽度较大,跨径40~150 m的景观桥中,是一种颇有竞争力的结构形式。

1 概述

1.1 工程概况

大桥位于晋江市鞋纺城三号路上,上跨规划滞洪区海滨公园。桥梁西南侧紧邻规划的晋江市第二体育中心,建成后将成为晋江市国内外体育赛事举办的主要场所。受所处特殊节点位置影响,该桥定位为片区的地域标志性建筑,对景观效果要求高。

经过多方案比选,确定湿地公园大桥桥型为斜靠式钢结构拱桥。桥型方案效果图如图1所示。



图1 湿地公园大桥斜靠拱方案效果图

主拱与副拱错开布置,侧面视角丰富;主拱跨度小,降低了结构高度,减轻了自重,缩小了构件断面,桥梁结构更轻盈;主拱、副拱之间设置膜式横撑,与不远处的晋江第二体育中心遥相呼应。

1.2 工程地质条件

桥址区地表覆盖层由第四系人工填土,第四系全新统长乐组海相淤积、冲洪积层组成,下伏层为燕山晚期侏罗系花岗岩风化层。其中淤泥质土层厚约15 m,为高液限流塑性软土,地质条件较差,需特别注意结构体系的选择。

1.3 主要技术标准

道路等级:城市主干道为双向六车道,两侧设置人非混行道及观景平台;汽车荷载:城-A级;环境类别:上部结构为Ⅱ类,下部结构为Ⅲ类;地震:基本烈度Ⅶ度,地震动峰值加速度值为0.15g,特征周期为0.55 s,抗震设防分类为乙类;设计水位:规划控制常水位为+3.00 m,内涝水位为+3.80 m;通航标准:小型游船通航:4.5 m(净高)×10 m(净宽)。

2 桥梁结构体系研究

斜靠式拱桥可供选用的结构体系有:推力拱、系杆拱。湿地公园大桥位于滨海冲积平原,淤泥层深度约15 m,如选择推力拱,需要设计十分强大的桩基础以抵抗拱肋传下来的水平荷载;如选择系杆拱,出于景观要求,主、副拱跨度相差较大,需要设计复杂的结构来解决主、副拱之间的共同受力问题,导致桥梁构造复杂、传力不清晰。因此需要设计者进行多方面论证,并突破传统思想的限制,设计出更加合理的结构。通过计算分析,并进行经济性比较,最后提出两种较优的结构体系:

品吊索锚头为双耳内旋套筒调节形热铸锚头,桥面为张拉端,拱肋为固定端。主吊索两端均可纵向活动,以适应结构较大的纵向位移要求。

副吊索规格分为 55 ϕ 5 mm 及 37 ϕ 5 mm 两种。吊索上端均采用耳板和叉耳式锚具进行锚固,为固定端;下端设置钢锚箱和锚杯进行锚固,为张拉端。副吊索上端可纵向活动,下端为多向活动,以适应拱肋的纵、横向位移及副吊索自重下垂的变形需求。

3.5 下部结构及基础

桥墩为钢筋混凝土实体墩,桥墩轴线与水平面呈 43.5°倾斜角。桥墩下设 4.5 m 厚承台,单个承台下布置 6 根钻孔灌注桩基础。横桥向两承台之间设系梁,兼做桥下人行步道,系梁中间设两根钻孔灌注桩。桩基均为端承桩。

副拱拱座为楔形体结构,拱座下为 2.5 m 厚承台及钻孔灌注桩基础。为抵抗副拱传递的较大水平力,在副拱承台与桥墩承台间设置系梁,使基础成为整体,共同分担水平荷载。

3.6 主要计算结果

采用有限元分析程序 Midas/Civil,建立三维有限元模型进行分析计算,主梁、拱肋、横撑及基础等采用梁单元模拟,其中主梁及桥面系采用格子梁体系进行模拟,纵、横梁均为梁单元,共节点连接,并按规范考虑有效宽度;吊索采用桁架单元模拟,吊索与拱肋及纵梁均为共节点连接,以初拉力的形式模拟吊索张拉,张拉顺序与实际施工阶段一致,由跨中往两侧依次张拉。主要边界条件:主梁桥台处设球形钢支座,支座均采用弹性连接方式模拟,弹性连接刚度设置为 10×10^7 MPa,忽略支座变形的影响;主拱肋与纵梁相交处固结,纵梁通过球形钢支座支撑于桥墩上;副拱肋拱脚固结;桩侧采用土弹簧模拟桩土共同作用,“m”法计算弹簧刚度, m 值根据土层情况取为 5 000~80 000。考虑的荷载:结构自重及二恒、汽车荷载、人群荷载、基础变位、温度荷载、风荷载等。

(1) 位移计算结果

活载作用下,各构件位移结果如表 1 所示。

表 1 湿地公园大桥位移计算结果

构件	竖向位移/mm	挠跨比	挠跨比允许值
主拱肋	25.98	1/3 015	
副拱肋	25.79	1/4 422	1/600
主梁	34.96	1/2 351	

由表 1 可知,主梁及拱肋的挠跨比均小于 1/600,

在规范允许范围之内。
(2) 应力计算结果
基本组合作用下,各构件应力结果如表 2 所示。

表 2 湿地公园大桥应力计算结果 MPa

构件	正应力		剪应力	允许值
	最大拉应力	最大压应力		
主梁	124.5	151.5	137.4	
主拱肋	16.2	135.7	—	150
副拱肋	72.3	179.6	—	
横撑	119.2	121.8	21.6	
主吊索	612.5	—	—	—
副吊索	572.9	—	—	—

由表 2 可知:主梁最大应力为 151.5 MPa,主拱最大应力为 179.6 MPa,均小于 270 MPa,吊索最大拉应力为 612.5 MPa,最小安全系数为 2.89,大于 2.2,均能满足规范要求。

(3) 动力特性及屈曲稳定性
成桥状态下,桥梁前 6 阶振型及频率如表 3 所示。

表 3 湿地公园大桥动力特性计算结果

模态号	振型特点	频率/Hz	周期/s
1	主拱竖弯	1.723	0.581
2	主梁竖弯	1.879	0.532
3	主拱横弯	1.954	0.512
4	2 阶主拱竖弯	2.415	0.414
5	2 阶主拱横弯	2.967	0.337
6	主梁扭转	3.050	0.328

桥梁主要振型如图 6 所示。

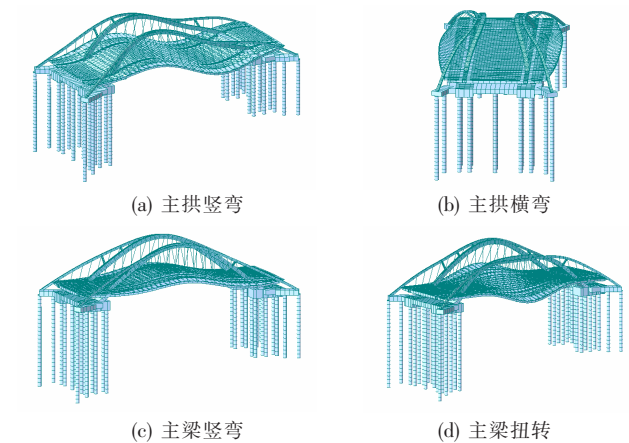


图 6 湿地公园大桥主要阵型图

斜跨拱桥研究现状与展望

李川, 郑凯锋

(西南交通大学, 四川 成都 610031)

摘要:随着人们对桥梁审美的不断追求,在桥梁方案竞赛中涌现出较多新型结构形式桥梁,斜跨拱桥是近些年来发展起来具有代表性的异形拱桥之一,属于梁拱组合体系桥梁的空间组合形式。为对斜跨拱桥的设计建造提供参考,该文对该桥型研究现状进行了综述。首先统计了斜跨拱桥的应用现状,随后对斜跨拱桥的总体布置、合理成桥状态、稳定性、动力特性、锚固区设计和施工设计的研究成果进行介绍和总结。研究表明:斜跨拱桥的不对称设计带来的结构不对称受力影响突出,指出了斜跨拱桥设计建造中仍需进一步研究的问题,探讨了斜跨拱桥设计建造手段的发展趋势。

关键词:桥梁设计;斜跨拱桥;综述;参数化设计;建筑信息化

拱是一种独特的结构形式,它能清晰地表现出力流和美学的外观,采用钢结构设计的拱显得明快、通透,散发出现代桥梁建筑的独特魅力。随着桥梁美学理念的提升和景观要求的提高,设计师通过合理调整梁拱组合体系桥梁中拱肋和主梁的相对位置得到一些意想不到的梁拱组合结构形式,进而满足桥梁建设的

景观需求。斜跨拱桥是采取单片拱肋与主梁轴线斜交,拱脚分别落于主梁两端不同侧的梁拱组合体系桥梁,具有明显的结构不对称、空间受力,吊索布置容易受行车净空控制等特点,在设计和建造过程中有其特别注意和考究的地方。

荷载组合作用下,结构最小屈曲稳定系数为 21,结果表明:大桥具有足够的稳定性能。

根据以上计算结果可知:大桥各结构构件均能满足受力要求,设计方案可行。

4 结论

湿地公园大桥全桥用钢量为 2 900 t,约为 530 kg/m²。由于景观需求,该桥主、副拱跨度相差较大,主拱采用系杆拱、副拱采用推力拱的结构体系,在保证桥梁造型及受力合理的前提下,能较好地控制工程成本、有效解决软土地基中承式斜靠式拱桥的支撑问题,同时主、副拱吊杆两端锚固的细节处理方案,可为类似桥梁建设提供借鉴。该桥于 2018 年 7 月开工建设,2020 年建成通车。

参考文献:

[1] 肖汝诚,孙海涛,贾丽君,等. 昆山玉峰大桥——首座大跨

度无推力斜靠式拱桥的设计研究[J]. 土木工程学报, 2005(1).

[2] 李莹. 斜靠式梁拱组合体系桥梁设计理论研究[D]. 同济大学硕士学位论文, 2006.

[3] 陈淮,胡锋,申哲会,等. 斜靠式拱桥稳定性分析[J]. 福州大学学报, 2005(A1).

[4] 周阳,蒲黔辉,施洲,等. 混合梁斜拉桥钢-混结合段剪力连接件群力学性能研究[J]. 铁道学报, 2017(10).

[5] 姚亚东,杨永清,刘振标,等. 大跨度铁路钢箱梁混合斜拉桥钢混结合段模型试验研究[J]. 铁道学报, 2015(3).

[6] JTG/T D65-05-2015 公路悬索桥设计规范[S].

[7] 陈淮,胡锋,申哲会,等. 斜靠式拱桥动力特性分析[J]. 郑州大学学报, 2005(4).

[8] 阳霞. 斜靠式拱桥结构体系与稳定性分析[D]. 中南大学硕士学位论文, 2011.

[9] 张振伟,张伟. 飞燕式钢管混凝土系杆拱桥静动力特性分析[J]. 中外公路, 2019(1).

[10] 张国刚,刘传乐,张贵明. 某异形拱桥模态分析与有限元修正[J]. 中外公路, 2018(3).

收稿日期:2020-05-14(修改稿)

作者简介:李川,男,硕士研究生. E-mail:lichuan_bdn@foxmail.com