

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.020

上承式系杆葵形拱设计

王玉柱

(杭州市城建设计研究院有限公司,浙江 杭州 310001)

摘要:浙江台州市新港大桥为上承式系杆葵形拱桥。以该桥为实例,系统介绍了葵形拱桥的设计特点,通过总体设计和结构分析,拟定桥梁的主要参数和结构形式,并结合施工工况制定施工方案。模型计算表明,该桥的承载能力和裂缝宽度均符合现行规范要求。可为类似工程的建设提供有益的参考和借鉴。

关键词:系杆葵拱;体外束系杆;桥梁设计;葵花拱

中图分类号: U448.22+5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)05-0081-03

0 引言

葵形拱桥以造型独特和结构特点突出等优势在人文景观城市桥梁设计中得到广泛关注。该桥体系中,主拱与墩基础、腹拱与主拱之间采用固结形式,能有效提高拱体的稳定性,以确保结构安全和可靠^[1]。

在葵形拱桥的结构设计中,主墩基础承担部分水平推力,在地基基础条件限制的情况下,通过设置预应力体外索可协同主墩基础克服水平推力来提高结构的稳定性和承载能力。预应力拉索采用全桥贯穿的方式,将体外索的张力传递到边拱,除了平衡部分水平力外,也为边拱拱肋提供一定的预压力^[2]。然而,葵形拱桥的结构设计相对复杂,需要考虑相关力学及工况因素影响,如体系转换、尺寸优化、关键部位的受力分析及施工方案可行性等。

本文以浙江台州市新港大桥为实例,系统介绍了葵形拱桥的设计特点、结构优化和施工方案。通过对葵形拱桥的设计和施工技术进行深入探讨,可为类似工程的设计及建设提供借鉴。

1 葵拱概述及工程概况

桥址位于台州市,拟建场地属山前洪积平原、坡洪积斜地地貌,地形稍有起伏。地面高程 $-1.30\sim 8.23\text{ m}$,河水深低潮位约 1.50 m ,高潮位约 4.5 m 。

本桥主桥为葵形拱桥,跨径布置为 $(24+38+24)\text{ m}$ 。由于恒载在结构体系中产生的水平推力较大,考虑到结构整体刚度不能完全由桥墩基础承担,因此除

了桥墩基础配合外,拱桥的水平推力需在上部结构中设置体外预应力索进行平衡。该索不仅为边跨拱梁预压以改善受力性能,还主要承担了自重、二期等恒载作用下的水平推力^[3]。结合施工工况和荷载类型的施加过程,其主墩基础主要承担着活载和其他收缩、徐变、基础变位等恒载作用下的水平推力,预应力拉索在克服恒载作用过程中,同时也受温度荷载、不均匀沉降、混凝土徐变等因素影响,但索力应力的变化幅度不大;且相对于永久作用的索力,其增加量要低很多,这就减少了疲劳破坏的发生概率^[4]。与此同时,根据项目实际情况和耐久性要求,在桥梁结构设计中须考虑拉索损伤更换的情况,设计过程中对拉索的损伤和安全性更换的可行性进行考虑。

2 主要技术指标

- (1)道路等级为城市主干路,设计车速为 40 km/h 。
 - (2)桥面宽 31.0 m ,结合道路横断面分三幅设计,分幅线设置绿化隔离带中。
 - (3)设计荷载:城-A级,人群荷载为 4.0 kN/m^2 ,二期恒载主要考虑桥面铺装、人行道及栏杆。
 - (4)根据洪评单位确认,河道设计洪水位按 50 a 一遇,无通航要求。
 - (5)Ⅶ度抗震措施设防。
 - (6)主要材料:主梁采用C50混凝土,预应力钢束, OVM可换索式专用环氧涂覆无黏结成品索钢绞线。
- 新港大桥总体效果见图1、图2。

3 总体布置设计

新港大桥总体布置见图3。上部结构采用三跨上

收稿日期:2023-05-22

作者简介:王玉柱(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁结构设计工作。

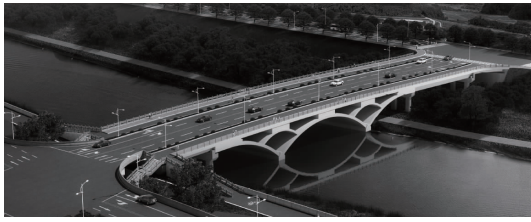


图1 新港大桥总体效果一



图2 新港大桥总体效果二

承式系杆葵形拱,跨径布置为(24+38+24)m。桥梁两侧边跨为钢筋混凝土曲杆板梁,一端简支一端固结,其中6 m为直线段。曲线标准段梁高0.75 m,梁宽30.6 m;直线段标准梁高1.8 m,梁底宽30.6 m,顶宽31 m,均采用实心断面。边跨曲线段线型为二次抛物线,直线段与曲线段结合处采用横梁过渡。中跨为钢筋混凝土板拱,拱轴线采用二次抛物线,主拱圈计算跨径38 m,矢跨比1/5.55,采用高度为0.75 m的矩形实心断面;在边拱肋及主拱肋之间设置腹拱,腹拱拱轴线为高0.5 m的圆曲线。

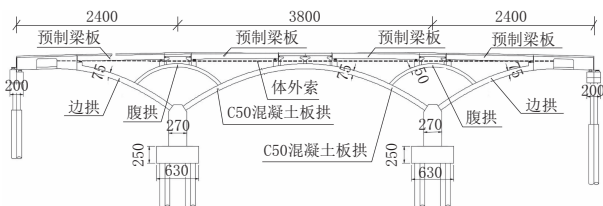


图3 新港大桥总体布置(单位:cm)

在主拱和腹拱间设置支撑梁及侧墙,拱上支撑梁间架设13 m跨径的预制矮T梁,梁高0.75 m,采用C50预应力钢筋混凝土,预制安装施工。在主拱和腹拱顶横梁间架设4.0 m预制实心板,板高0.32 m,采用C40钢筋混凝土,预制安装施工。预制板、预制矮T梁纵向桥面连续。

为达到平衡拱脚水平推力的目的,在拱上预制矮T梁下方及边跨内设置预应力拉索,拉索贯穿全桥,两端锚固在边跨直线段的箱室内。预应力系杆采用无黏结成品索钢绞线,可换索式专用环氧涂覆配套;OVM.TS 15-12可换索式系杆锚具。

预应力体外索穿过横梁,共17束, $f_{pk}=1\ 860\ \text{MPa}$,张拉控制应力为 $0.65 f_{pk}=1\ 209\ \text{MPa}$ 。为了体外索的牵拉安装及将来的更换,应准确设置预埋不锈钢管,要求在施工时,表面光滑平整。体外束在横梁内需设

固定装置。

主桥下部结构中墩在承台上设拱座,拱座为矩形截面,顺桥向长度为2.7 m,横桥向宽度为32.4 m,拱座高度为6.09 m;承台厚2.5 m,长宽尺寸为33.0 m×6.3 m。主桥交接墩采用桩柱式桥墩接盖梁形式,横桥向布置7根桩柱,立柱直径为1.1 m,盖梁宽度为2.0 m,高度为1.6 m。基础采用钻孔灌注桩。

4 主桥结构计算

在实际工程设计中,结合道路等级及桥梁结构的重要性,为了保证其安全可靠,必须进行全面的结构计算和检验。因此,对于上承式系杆葵拱结构,应采用合适的计算方法,进行科学、准确的力学分析和结构设计非常重要。同时,还应加强对其施工和使用过程中的监督和管理,以避免因外部因素引起的损坏和事故发生。

计算中考虑满足结构在施工阶段及成桥运营状态下的各项受力,需结合以下施工阶段作为模拟工况进行分析。

(1)承台、拱座、交接墩施工。

(2)主拱及边拱圈、拱圈上支撑梁、侧墙施工。

(3)腹拱临时支架及腹拱圈、拱圈支撑梁、侧墙施工。

(4)在拱圈混凝土强度达到100%后,对称、分段吊装预制梁板。

(5)在腹拱混凝土达到设计强度后,浇筑腹拱后浇带并脱架,定位、安装系杆,第一次张拉体外索系杆。

(6)拆除主拱及边拱支架在拱圈混凝土达到设计强度后进行拆除,张拉所有预应力体外索到位。

(7)进入运营阶段,以10 a徐变天数计。

基于计算模型,在不同的阶段分别计入结构自重、二期恒载、收缩和徐变、温度变化、施工荷载、预应力拉索张拉力、支座强迫位移、活载,以及结构约束条件等作用的影响^[5]。其中,整体温度计算考虑了上部结构体系升降温 $20\ ^\circ\text{C}$,并考虑收缩徐变效应;非机动车道作为活载按车道考虑。

纵向受力分析采用Midas Civil 2021及CDN2021分析软件进行平面杆系计算。腹拱、主拱圈结合部位及主拱圈、边拱圈截面变化段、拱座连接处均为关键设计部位^[6],并结合本地区耐久性要求进行计算和复核。

全桥模型合计155个单元,模型二端根据实际

情况边界模拟为竖向支撑,拱座、承台与桩基采用主从约束,桩基底部固结,其桥面板为简支梁,桥面连续,采用释放杆端弯矩约束进行模拟(见图4)。

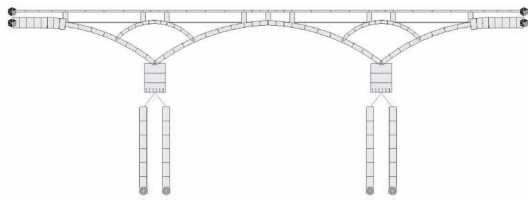


图4 桥梁单元模型

根据各施工工况和使用阶段的计算结果,将荷载工况按照规范进行组合并包络,以截面强度及裂缝验算作为主要控制指标,将计算得到的荷载效应(S)以及截面抗力(R)的结果详见表1。

表1 验算结果

验算指标	截面	主拱拱顶	主拱拱脚	边拱拱脚	腹拱拱脚	边拱变截面处
抗弯承载力	$S/(10^4 \text{ kN}\cdot\text{m})$	0.5	1.4	0.7	1.58	1.8
	$R/(10^4 \text{ kN}\cdot\text{m})$	2	2.6	3.9	1.75	2.7
抗剪承载力	$S/(10^4 \text{ kN})$	0.23	0.35	0.18	0.47	0.9
	$R/(10^4 \text{ kN})$	1.38	1.44	1.44	1.03	1.4
裂缝	裂缝宽度/mm	0.03	0.11	0.05	0.16	0.17
	允许宽度/mm	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

葵形拱主拱及腹拱为钢筋混凝土结构。由于形状和受力方式的特殊性,葵形拱的承载能力主要体现在抗弯和抗剪方面,而耐久性主要控制指标为裂缝宽度。通过验算数据可知,上述的结构抗弯承载力、抗剪承载力均大于其对应的内力值,符合现行规范要求。

在作用短期效应组合下,腹拱、主拱圈结合部位及主拱圈、边拱圈截面变化段、拱座连接处均为关键部位,为主要控制截面。计算结果显示,主拱、边拱和腹拱、腹拱与主拱交接处、拱脚处裂缝最大值为0.17 mm,均小于规范0.2 mm限值。

5 施工方案与要点

针对本工程的构造特点,桥台和拱座基础采用钻孔桩基础,主拱圈和腹拱圈采用贝雷架和满堂支架作为组合支架进行现浇施工,拱上结构采用矮T梁和预制实体板吊装施工以节省工期。

全桥施工顺序如下。

(1)清理场地,筑土围堰,桥墩基础施工;承台、拱座、交接墩施工。

(2)整平施工场地,搭设边跨满堂支架,施工主

拱圈临时支墩并搭设贝雷拱架,满堂支架须预压并进行监测;立模板,绑扎钢筋。

(3)对称浇注拱脚段[水平投影长度12.0 m(中跨)/8.5 m(边跨)],主拱圈混凝土和拱圈上横梁,浇注过程中应加强支架的变形观测。

(4)对称浇注剩余主拱圈混凝土和拱圈上横梁、侧墙。浇筑过程中,应加强支架的变形观测。拱圈合龙时的大气温度必须控制在 $10^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

(5)搭设第一跨至第三跨腹拱支架时,需支架预压以消除支架非弹性变形。模板钢筋作业完成后,腹拱圈、横梁及侧墙浇注混凝土,同时腹拱在拱脚预留拱圈后浇合龙段。

(6)在拱圈混凝土强度达到100%后,对称、分段吊装预制梁板。

(7)在腹拱混凝土达到设计强度后,浇筑腹拱后浇带并脱架,定位、安装系杆,第一次张拉体外索系杆。

(8)主拱圈混凝土须达到设计强度才能进行支架脱架拆除,按先脱架再拆除顺序进行。脱架分两个循环进行,第一循环顶托旋转下降3~6 mm,第二循环模板全部脱离支架。

(9)张拉所有预应力体外索到位。

(10)进行桥面找平层、人行道、栏杆、铺装层、装饰第二期施工工作;准备通车。

6 结语

本文结合实例介绍了上承式系杆葵拱桥的特点以及它在城市桥梁设计中的实践价值。葵拱桥具有美观、新颖、适应性好等优点,特别是在旅游城市及著名风景区,不仅能够满足交通功能,还能够提升城市形象和旅游业发展。同时,葵拱桥采用预应力体外索,可以有效改善上部结构体系对主墩基础的水平力作用,降低了对地基承载力的要求。

参考文献:

[1] 孙全利. 一座葵花形叠拱桥结构设计[J]. 城市道桥与防洪, 2015(7): 98-100.
 [2] 伍俊, 华龙海, 刘文江, 等. 复合型上承式葵形拱桥技术特点[J]. 天津建设科技, 2009, 19(1): 17-19.
 [3] 沈剑文. 葵花拱桥力学特性分析与节点模型试验研究[D]. 广州: 广州大学, 2015.
 [4] 金文成, 赵弘尧, 白金增, 等. 预应力葵花拱桥结构设计[J]. 城市道桥与防洪, 2012(1): 45-47.
 [5] 王安民, 戴英, 曹杰楨. 上承式系杆连拱桥受力性能分析[J]. 结构工程师, 2008(3): 66-69, 75.
 [6] 吴巨军, 吴乐章, 赵林强. 江山市迎宾大桥设计[J]. 世界桥梁, 2006(1): 17-19, 55.