

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.10.016

惠州市鹅城大桥总体设计及创新

赵佳男¹, 曲 慧¹, 夏 洪²

[1.同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.湖北建科国际工程有限公司惠州分公司,广东 惠州 516002]

摘 要:对广东省惠州市鹅城大桥的创新设计进行了分析介绍。紧密结合当地自然、人文,进行了极具地域特色的桥梁景观造型设计,呼应了惠州“鹅城”的千年美称。主桥采用四跨连续空间斜跨异型系杆拱桥,主跨跨度为 180m,为国内最大的空间斜跨偏态系杆拱桥。采用拱、塔和梁固结,墩梁分离体系。主梁创新性地采用正交异型钢桥面板与多片梁的结构形式。拱肋由五大系统组成,包括主拱肋、副拱肋、主副拱肋之间的斜杆、两副拱之间的曲杆以及曲杆之间的水平拉索等构件。主拱拱肋中心线为空间斜跨偏态曲线,吊索成空间放射性布置,吊索采用高强度平行钢丝吊索,主梁、拱肋系统和鹅塔均采用 Q345qD 桥梁结构钢。下部结构采用 C40 花瓶造型墩柱和水下 C35 钻孔灌注群桩基础。

关键词:景观桥梁;空间斜跨拱桥;异型系杆拱桥,空间偏态拱肋;多片梁结构;钻孔灌注桩基础;拉索减隔震支座;三角金属阻尼器

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)10-0062-04

1 工程概况

鹅城大桥主线桥梁全长 1 119.5 m,位于广东省惠州市隆生大桥下游 0.9 km,东江大桥上游 1.3 km,距下游新开河与东江汇流口约 0.5 km,距下游惠州东江水利枢纽约 16 km。主桥长 460 m,北引桥长 240 m,南引桥长 419.5 m。鹅城大桥设计在惠州市城市总体规划、“丰”字交通主框架总体布局规划的指导下完成。鹅城大桥作为一座加密桥梁,功能定位为兼具交通和凸显景观功能的城市主干路桥梁。主线采用双向 6 车道,设计速度为 50 km/h,主桥两侧分别设置 3 m 非机动车道和 2 m 人行道。

大桥所处东江河段,在天然节点及人工护岸等条件下,该河段河槽平面位置基本稳定,东侧为现状航道水域,西侧为未来扩容航道水域,桥址区河段水位平稳,常水位为 11.5 m,现状河床底标高约 0.025 m,水深最深为 11.475 m。

东江在鹅城大桥段规划为内河Ⅲ级航道,单通航孔布置,采用单孔双向通航。单个通航孔净宽尺度 $B_m \geq 145$,通航净高 $H_m \geq 10$ m,最高设计通航水位 17.16 m,最低设计通航水位 9.24 m。通航孔代表船型为 1 000 t 级货船,同时按照提升一级设防,通航孔两侧桥墩按照不低于 2 000 t 级船舶撞击力进行

设计。其余水中桥墩根据水深能够通行的船舶进行设防,所有水中墩均布置防船撞装置。

大桥设计基本风速 W1 作用 $U_{10} = 28.9$ m/s, W2 作用 $U_{10} = 34.5$ m/s。桥址区工程地质场地稳定,新构造运动较弱,全新活动断裂未进入桥位。基岩为微风化泥质砂砾岩,埋深在 50 m 以下,上层为中风化泥质砂砾岩,中风化层中存在反复夹层,为全风化泥质砂砾岩,河槽内覆盖层主要为粉质黏土、粗砂、圆砾、卵石。地震基本烈度为 6 度,地震基本加速度峰值为 0.05g,场地类别为 II 类,抗震设防分类为甲类,采用基于性能的两水准,两阶段减隔震设计方法, E1 地震作用重现期为 475 a, E2 地震作用重现期为 2 000 a。

2 主桥景观设计特点

主桥方案以东江之“水”、惠州之“鹅”为主要元素进行演绎设计。空间拱肋和中心塔整体感观优美简洁,细部构造刻画传神,再配合放射性拉开的吊杆索面,形象地勾勒出天鹅曼妙的身姿。

主桥方案造型呼应了“鹅城”的千年美称。拱肋将天鹅双翼的美丽形态凝固下来,富有张力的造型呈现出一种蓄势待发的静态美和一种平衡的力量感。空间拱肋之间通过阵列有序的风撑杆件相连,配合以散射布置的吊杆,在精细雕刻天鹅翅膀形态的同时,进一步增强了全桥的层次感。

景观视点方面,桥位处水域开阔,具有多角度良好的景观视野,可以全方位展现桥梁方案的不同立面

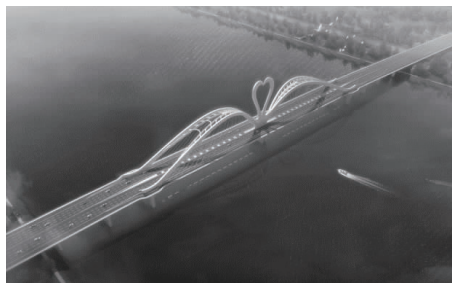
收稿日期: 2022-01-22

作者简介: 赵佳男(1981—),女,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

形态。桥梁建成后将成为区域重要的景观建筑。

远眺,由桥塔和拱肋勾勒出的天鹅造型,犹如两只美丽的天鹅在东江上曲颈游曳,在宁静的江面上,姿态轻盈优美,为东江增添了独特的美丽情调。

近观,由空间拱肋和风撑描画出的天鹅羽毛洁白如雪,为山水优美的惠州增加了生机与活力。天鹅的造型使桥塔简洁现代,富有动态感,展现了惠州和谐的生态环境。图1为鹅城大桥效果图。



(a)鸟瞰



(b)立面

图1 鹅城大桥景观效果图

3 桥长及桥跨跨径布置

桥梁跨径布置应根据桥梁建设条件和功能景观需求合理确定。桥墩位置和桥梁跨径布置需要考虑现状河床断面情况和堤坝环境,满足防洪水利影响、水上航道等级要求及周边道路要求。同时,在结构受力合理、满足自身功能的前提下,还要考虑桥面的舒适性、桥梁景观性、桥梁跨度的经济性等多因素^[1-2]。

3.1 通航孔位置需满足“巷道效应”影响

由于主桥桥位上下游1 km范围内均有现状桥梁,考虑本桥位新建桥梁后,与上下游两座桥梁将一起形成“巷道效应”,为了保障通航条件的顺畅和安全,桥梁采用单孔双向通航方案,并与上下游桥梁通航孔对应布置。

首先,要保证鹅城大桥主桥的通航孔与上游隆生大桥(40 m+185 m+40 m中承式系杆拱桥)的通航孔对应布置,因此确定了主桥中墩的布置位置;其次,桥位下游的东江大桥为多孔上承式拱桥(7孔净跨75 m),考虑船舶通行时航道的顺畅,需要开辟东

江大桥第二孔为通航孔,满足通航条件。

3.2 主跨跨径需满足东江III级航道要求

鹅城大桥桥轴线法线方向与水流流向夹角为 4° ,设单孔双向通航,通航净宽不小于145 m,桥梁通航净空尺度满足III级航道要求。为远期航道发展和船舶航运预留提升空间,与航道部门最终确定本次主桥单跨基本跨径为180 m,并留两个主跨为180 m的通航孔。东侧180 m桥跨作为现阶段使用通航孔,西侧180 m桥跨作为未来可能扩容的预留通航孔。鹅城大桥主桥通航孔布置见图2。

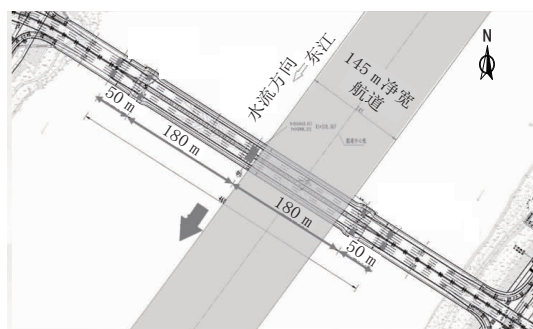


图2 鹅城大桥主桥通航孔布置示意图

3.3 主桥刚度、结构受力和景观造型因素

主桥跨径布置为50 m+180 m+180 m+50 m,在主跨180 m两侧分别布置一个50 m边跨。通过计算分析,50 m边跨的设置,有效提高拱跨刚度约21%。由于边跨的平衡作用,主桥180 m拱跨总体受力更加有利,同时主桥边跨跨径与引桥协调统一,确定引桥与主桥衔接范围基本跨径为50 m左右。

主桥景观造型是本项目的一个设计亮点和重点。拱肋尾部的钢结构是展现造型方案美学创意的重要手段。拱肋尾部布置在50 m边跨范围上,如果边跨与主跨主梁结构连续,那么拱肋造型更容易处理,且主桥的主梁与拱肋均采用钢结构,拱肋与主梁的材料质感相同,景观上更为顺畅。

3.4 引桥跨径布置受水利防洪和经济性影响

常水位下,桥位处东江河面宽度约为620 m,为尽量减少大堤内桥墩数量,减少桥墩阻水面积,降低阻水率,尽可能缩短桥梁总体长度,节约造价。南北两岸引桥采用多跨连续梁桥跨越两岸大堤和江滨路:引桥基本跨径与主桥边跨匹配,采用基本跨径为50 m左右;北引桥跨径布置为 $3 \times 46.5 \text{ m} + 2 \times 47.75 \text{ m}$;南引桥跨径布置为 $51.5 \text{ m} + 52 \text{ m} + 51.5 \text{ m} + 3 \times 46.5 \text{ m}$ 。南引桥大堤以外范围,由于不受阻水率限制,综合考虑结构经济性,桥梁跨径布置为 $4 \times 30 \text{ m}$ 。鹅城大桥全桥桥梁跨径布置见图3。

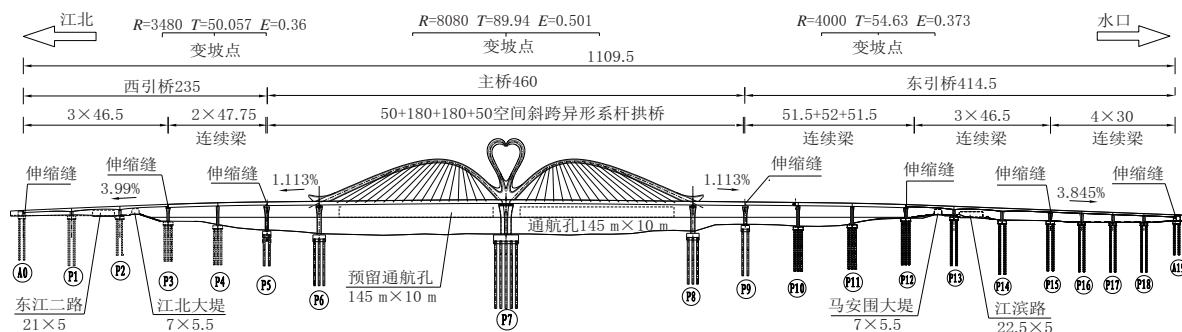


图3 鹅城大桥纵断及跨径布置图(单位:m)

4 通航孔主桥总体设计

鹅城大桥通航孔主桥跨径布置为 50 m+180 m+180 m+50 m, 总长 460 m, 采用 4 跨连续斜跨空间异型系杆拱桥方案^[3-4], 桥面标准断面宽度为 45 m, 边拱脚桥面人非绕拱脚外侧, 桥面加宽为 49.5 m。主桥标准段桥宽为 45 m, 桥面布置为: 2 m(人行道)+3 m(非机动车道)+2.5 m(拉索区)+0.5 m(边防撞护栏)+11.75 m(机动车道)+0.5 m(边防撞护栏)+4.5 m(中央拱区)+0.5 m(边防撞护栏)+11.75 m(机动车道)+0.5 m(边防撞护栏)+2.5 m(拉索区)+3 m(非机动车道)+2 m(人行道)=45 m。

钢梁拱结构, 拱梁固结、墩梁分离体系, 中间鹅塔采用钢塔与主梁固结。全桥采用减隔震设计。鹅城大桥主桥桥型布置见图 4。

4.1 主梁设计

主梁采用正交异性钢桥面板分离式多片梁结构, 主梁中心梁高为 3.5 m; 拱跨标准段采用分离式双小边箱+双工字梁结构, 横向采用箱型横梁连接, 顶板镂空; 梁跨标准段采用半封闭双小边箱结构, 采用倒 T 形横梁连接; 中拱脚和边拱脚拱梁固结区和梁跨边支点均采用全封闭整箱结构^[5]。主梁平面布置如图 5 所示。

拱跨范围内, 双分离小边箱外侧腹板为斜腹板, 内侧腹板采用直腹板, 小边箱顶宽为 4.406 m, 底宽

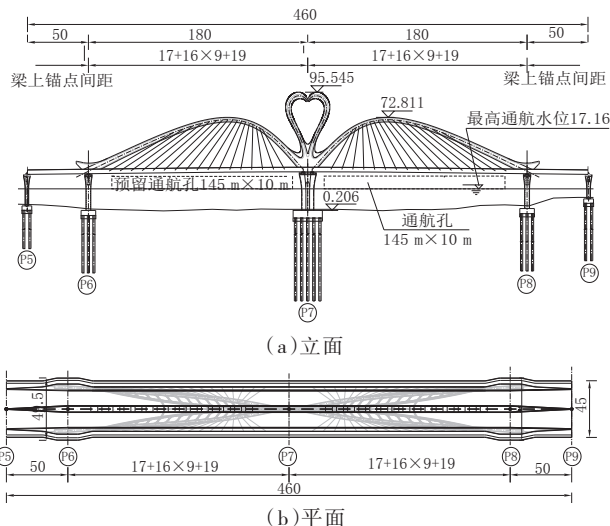


图4 鹅城大桥主桥桥型布置图(单位:m)

为 4.994 m, 中间两片工字梁腹板间距为 3.96 m, 箱型横梁布置间距为 9 m, 与梁上吊索锚点相对应, 吊索锚固在小边箱的外侧斜腹板上; 拱跨范围内, 小边箱与工字梁之间净距为 10.274 m, 梁跨范围内两小边箱之间的净距为 24.5 m, 倒 T 形横梁布置间距为 3 m, 主梁采用 Q345qD 桥梁结构钢。主梁横断面布置见图 6。

4.2 拱肋系统

拱肋由五大系统组成, 包括主拱肋、副拱肋、主副拱肋之间的斜杆、两副拱肋之间的曲杆以及曲杆之间的水平拉索等构件。拱肋系统和鹅塔采用 Q345qD 桥梁结构钢。

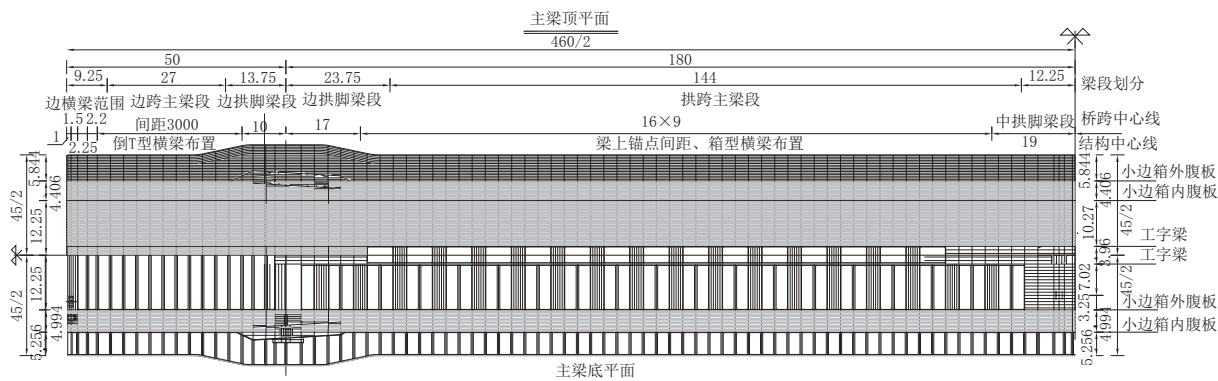
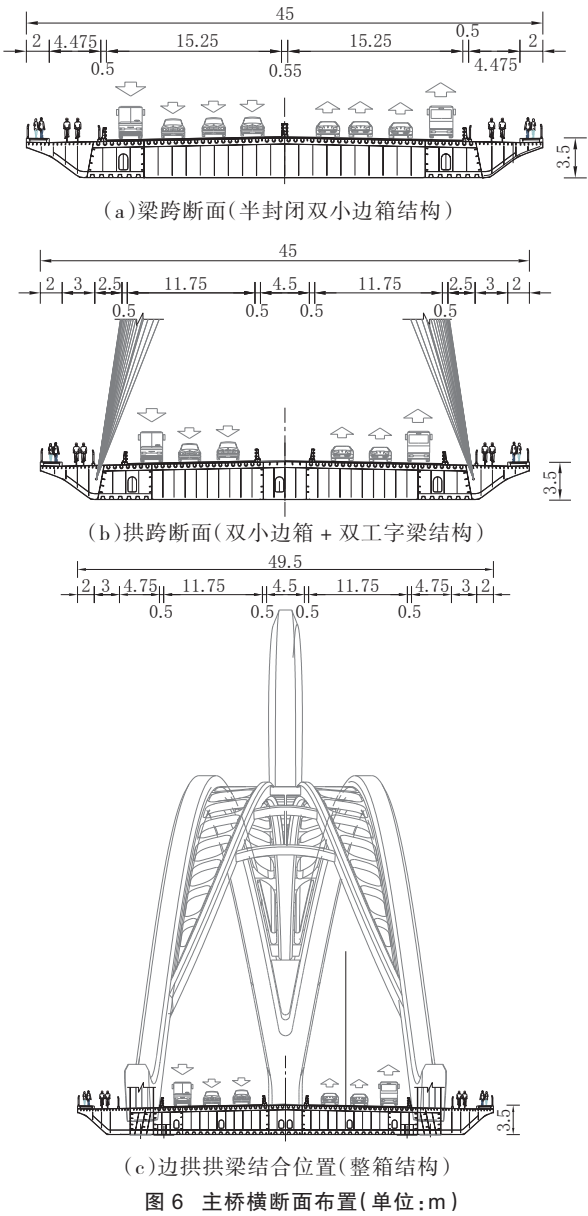


图5 主梁平面布置图(单位:m)



主拱肋为 4 根空间斜跨偏态拱肋,副拱肋为空间曲面拱肋,主副拱均采用八边形断面,斜杆和曲杆均采用四边形断面,在曲杆之间通过张拉柔性拉索来提供曲杆的面内刚度。鹅塔采用平面曲线塔柱,鹅塔截面采用八边形截面。

4.3 吊索

主桥共布置 4 个对称索面,每个索面布置 17 根吊索,成空间放射性布置,全桥共 68 根。吊索在主拱肋上为不等距布置,布置间距在 2.5~8.4 m 变化;吊索在梁上为等距布置,顺桥向布置间距为 9 m。吊索采用 7 mm 标准强度 1 860 MPa 高强镀锌平行钢丝吊索,最长 32.906 m,最短 9.874 m,规格为 PES(C) 7-109、PES(C) 7-121 和 PES(C) 7-151 型高强镀锌平行钢丝索体。

索梁锚固采用锚箱结构形式,吊索锚箱锚固在

主梁的边腹板上。索拱锚固根据索力大小和拱内锚固空间大小,分别采用锚管形式和锚梁结构形式。锚管锚固结构利用隔板加导管组合结构,将索力通过导管传递到隔板上,最终传递到拱壁。锚梁锚固结构为在拱内设置锚梁构造,将索力通过锚梁传递到拱壁。图 7 为拱上锚固构造示意图。

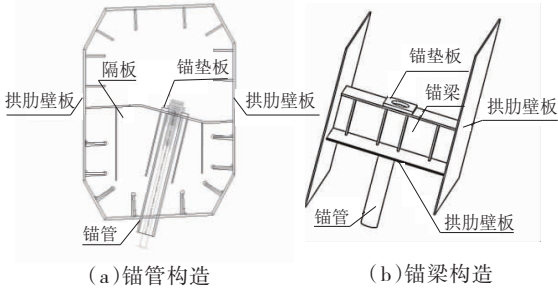


图 7 拱上锚固构造

4.4 水平索

2 根曲杆和副拱合并节点之间,张拉 2 根水平拉索,提供曲杆的面外刚度。拉索采用标准强度 1 860 MPa 高强镀锌平行钢丝拉索,2 根拉索长度分别为 18.3 m 和 16.0 m(最短),规格为 PES(C) 7-55 型高强镀锌平行钢丝索体。索体两端采用耳板与曲杆和副拱的合并点连接。

4.5 桥墩基础

主桥中墩采用双肢薄壁花瓶墩,两肢墩柱与顶平台的连接处采用椭圆倒角,并结合刻槽实现较好的景观效果,墩高约 29.5 m。墩底下设整体矩形承台,承台尺寸为 29 m×24 m,承台下设 30 根 D2.0 m 钻孔灌注桩。主桥次边墩采用带横系梁的花瓶墩,桥墩下设置哑铃型承台,承台下设 24 根 D1.8 m 钻孔灌注桩。主引桥过渡墩采用带横系梁的花瓶墩,桥墩下设置哑铃型承台,承台下设 12 根 D1.8 m 钻孔灌注桩。承台均埋置在河床以下,桥墩采用 C40 混凝土,桩基础采用 C35 水下混凝土。

5 工程技术特点及创新应用

惠州市鹅城大桥景观造型独特,与惠州地域文化高度融合。设计过程应用了较多新技术、新材料、新设备,是惠州当地景观桥梁建设的一个新的里程碑。该桥具有如下技术特点和创新应用:

(1)创新性地采用分离式多片箱梁的新型主梁结构,与空间斜跨偏态拱肋系统协同受力,拱梁之间布置空间放射性四索面,形成系杆拱桥。

(2)创新性地采用竖向和水平向分离的组合式支撑体系,竖向力由拉索球钢支座承担,水平向力由金

(下转第 75 页)