

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.10.020

# 宁波新典桥主桥设计

陈何峰, 赵 炜

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘 要:** 宁波新典桥以“甬”为设计立意:主拱的线条寓意“甬山”,行人步道的线条寓意“甬水”两者组合一个整体,形成一个“甬动山水”整体意向。创造性地采用带有悬挑慢行系统的下承式系杆拱桥,跨径 213 m(桥长 221.6 m),拱轴线采用 1.7 次抛物线,拱肋采用六边箱型截面,拱肋上设置两组风撑,每组三道。系梁采用单箱单室断面,与正交异性桥面系采用焊接连接。悬挑慢行系统布置在主梁两侧,主要包括三个部分:副拱(装饰拱)、挑臂系统、挑臂人行道系统。主梁端部设置牛腿支撑引桥。拱上梁上锚固均采用吊耳构造,吊杆采用抗拉强度 1 860 MPa 的填充型环氧涂层钢绞线。主墩下采用钻孔灌注桩(摩擦桩)。

**关键词:** 下承式系杆拱桥;悬挑慢行系统;风撑;锚固结构;牛腿;桥梁设计;BIM 正向设计

**中图分类号:** U448.22+5 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2022)10-0076-05

## 1 工程概况

新典桥位于宁波市城市中心区,横跨奉化江,是沟通海曙区和鄞州中心区的重要城市桥梁,见图 1。新典桥及接线工程对加强海曙区与鄞州中心区交通联系、完善城市道路交通网络、有效分担长丰桥、芝兰桥的通行压力意义重大<sup>[1]</sup>。



图 1 工程地理位置

奉化江通航等级为 V 级航道,过往船只数量大,且桥位处河流与主桥斜交角度大,为了减小对河道的影响,主桥未在江中立墩,采用一跨过江的方式,桥型为跨径 213 m(桥长 221.6 m)下承式简支系杆拱桥。桥梁采用双向 6 车道,城-A 级标准,设计时速 50 km/h。为给行人增添了一种趣味过江通道,主桥两侧添加了悬挑人行步道,悬挑的慢行步道与主桥拱肋组合形成一个整体,并在桥墩处的滨江大堤内侧落地与两岸步道衔接。

收稿日期: 2022-02-12

作者简介: 陈何峰(1979—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

## 2 桥型构思

宁波简称“甬”的由来:早在周朝已有此称。“甬”字是古代大钟的一个象形字,在鄞、奉两县的县境上,山的峰峦很象古代的覆钟,故叫甬山,这条江就叫甬江。

方案设计以“甬”为设计立意:主拱的线条寓意“甬山”,行人步道的线条寓意“甬水”,见图 2。山水结合展现了宁波因“甬”而生,“甬山”、“甬水”相融合的城市理念。同时主桥风撑采用特殊造型,平面造型为寓意“甬”字,具有鲜明的本地城市特色,见图 3。



图 2 方案立意:山水“甬”动

作为城市景观桥梁,不仅要满足基本的机动车辆的行驶交通功能,同时也应该将以人为本作为出发点,必要时进行人行系统的特色设计,形成具有鲜明特色的城市桥梁人文景观<sup>[2]</sup>。

本项目主桥悬挑慢行系统与主桥拱肋组合一个整体,立面的变化,使整个桥梁显得立体和生动,悬挑

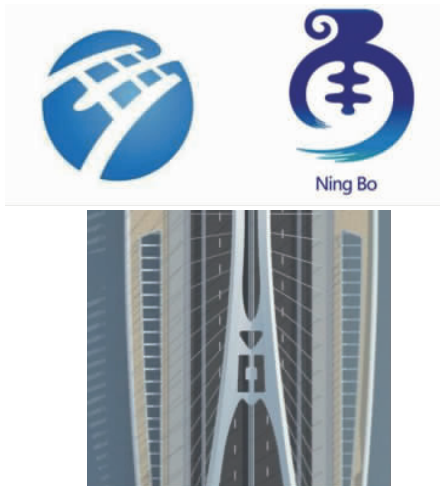


图3 主桥风撑寓意

的慢行步道与主桥拱肋组合形成一个“甬动山水”整体意向,并在桥墩处的滨江大堤内侧落地与两岸步道衔接,既丰富行人在过江中的行走体验,同时又与主桥的整体形象融合在一起,形成了具有鲜明特色的城市景观桥<sup>[3]</sup>。

### 3 总体设计

主桥跨径 213 m(主桥长 221.6 m),矢高 46 m,矢跨比 1/4.63,拱轴线为 1.7 次抛物线。两片拱肋向内倾斜 16.928°,形成提篮状。采用六边形封闭钢箱型拱肋,拱肋高度由拱顶 3.5 m 渐变到拱脚处 5 m,拱肋宽度为 3.0 m 不变,拱肋的壁板厚度根据受力情况分段布置。主桥桥面标准宽度 40.4 m,算上两侧的悬挑人行步道,跨中结构总宽度为 56.2 m,见图 4。

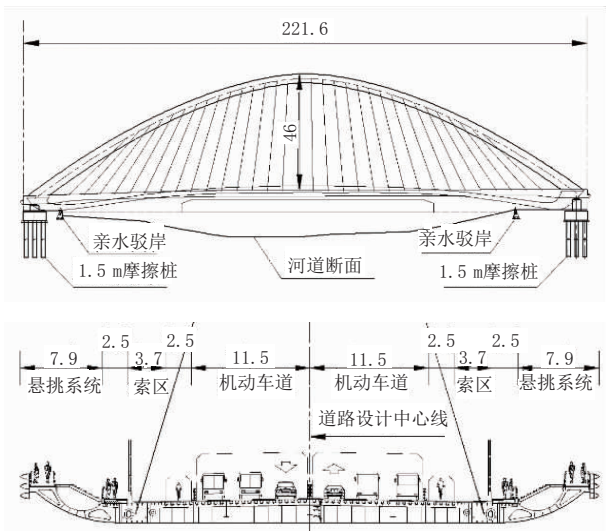


图4 总体布置(单位:m)

### 4 主要结构设计

#### 4.1 结构体系

新典桥为下承式简支系杆拱桥,桥面系由横梁、

小纵梁和钢桥面板构成,桥面钢梁设置 3 道小纵梁。横梁焊接在两条系梁间,小纵梁焊接在横梁上形成梁格,在拱脚处采用箱形端横梁。钢系梁布置于桥面两侧,分别与 2 片拱肋对齐,系梁与拱肋在连接处固结。

荷载由桥面传到横梁,由横梁传给纵向钢系梁,再经由吊杆传到拱肋,最终由拱和梁固结部传到桥墩、基础<sup>[4-5]</sup>。

#### 4.2 拱肋及风撑

拱肋采用六边箱型截面,拱底(拱脚与拱肋结合段)高度 5 000 mm,拱顶高度 3 500 mm。拱肋宽度 3 000 mm。主拱按照中心线对称布置,由于两拱脚标高不同,故拱肋立面倾斜布置。拱肋隔板分为实腹式和空腹式,两类隔板间隔布置,隔板间距 2 295 ~ 2 880 mm。所有隔板均与拱轴线垂直。拱肋与风撑腹板相交处设置隔板<sup>[6]</sup>。

风撑设置对称设置两组,每组设三个风撑,1#、2# 风撑间距约 10 m,2#3# 风撑间距约 10 m。风撑截面为箱形截面,截面四个壁板焊在拱肋壁板上,拱肋内部对应位置分别设置四个与风撑壁板相同方向的传力隔板<sup>[7]</sup>,见图 5。

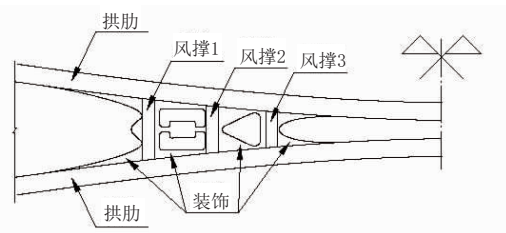


图5 风撑布置

风撑的四个壁板焊在拱肋壁板上,对应的位置分别设置四个与风撑壁板相同方向的隔板传力,与隔板有冲突的加劲肋在这里直接断掉,其中拱肋的纵向 T 肋的翼缘也直接与隔板对上并断掉,为了方便焊接,四个隔板上都设置人孔,见图 6。

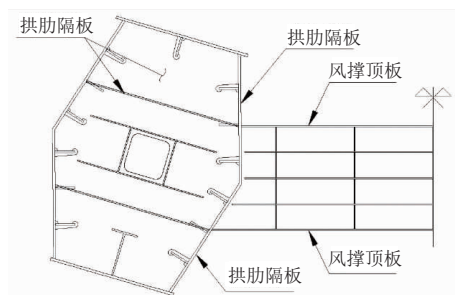


图6 风撑构造

#### 4.3 主梁

桥面横梁中心处高 2.34 m,考虑横坡之后系梁高度约为 2 m,钢系梁布置于桥面两侧,分别与 2 片

拱肋对齐,采用单箱单室断面,宽度跨中 2.5 m,拱脚附近宽 4.5 m。桥面钢梁设置 3 道小纵梁。桥面系由横梁、小纵梁和钢桥面板构成,横梁焊接在两条系梁间,小纵梁焊接在横梁上形成梁格。在拱脚处采用箱形端横梁。跨中横梁高度 2.34 m,支点端横梁处横梁高度 3.34 m,横梁间距为 3 m,小纵梁间距 8.1 m,见图 7、图 8。

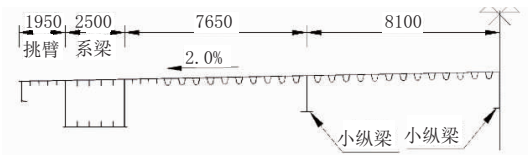


图 7 标准断面(单位:mm)

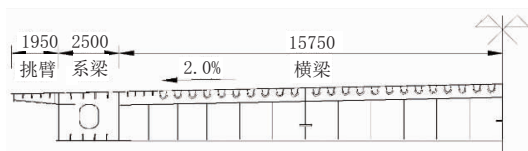


图 8 横梁处断面(单位:mm)

#### 4.4 拱梁结合段

拱肋在拱脚位置焊于系梁顶面,对应壁板位置设置竖向隔板传力,同时为保证传力的可靠性,在拱梁结合段增设 1 道内置腹板进行传力<sup>[8]</sup>。支座范围内设置 3 道实腹隔板及 2 道支撑加劲,厚度均为 44 mm,见图 9。

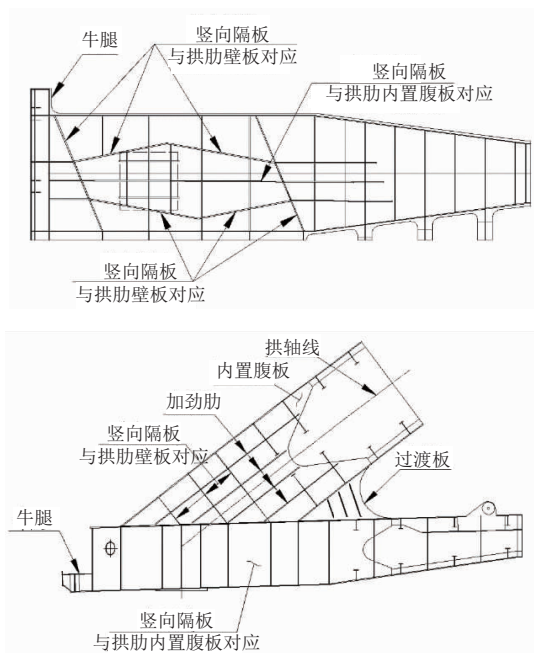


图 9 拱脚构造

#### 4.5 悬挑慢行系统

新典桥主桥悬挑慢行系统布置在主梁两侧,主要包括三个部分:副拱(装饰拱)、挑臂系统、挑臂人行道系统,三个系统的结构设计均采用了 BIM 正向设计<sup>[9]</sup>,见图 10。

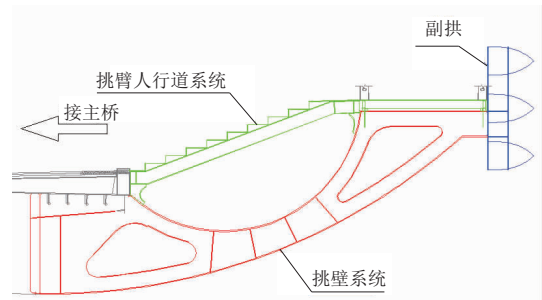


图 10 悬挑慢行系统横断系统图

#### 4.5.1 挑臂构造

挑臂作为连接副拱和主梁的构件,随着副拱轴线变化上下起伏,再加上挑臂顶底缘也为圆弧曲线,因此造型较为复杂多样。挑臂设计不仅需要满足景观要求,还要满足各项净空要求。采用 BIM 设计可以大大提高设计效率,并实现景观效果的最优化设计。对于景观上,要保证挑臂上下缘轮廓线从跨中向两端过渡较为自然顺畅,见图 11。

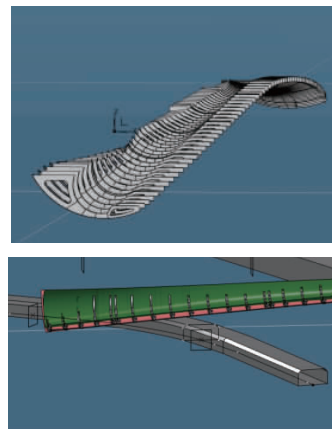


图 11 挑臂三维图及马道碰撞测试

#### 4.5.2 副拱构造

副拱轴线为三维空间线型,且沿顺桥向副拱断面逐渐变化,传统二维设计不仅对于横断面设计带来很大的困难,而且也不便于对各项净空的检查。因此本次借助 CATIA 设计软件直接从三维入手,建立副拱三维模型,在建立模型的过程中通过将通航净空导入到三维模型中,及时发现了副拱侵占通航净空的问题并予以调整<sup>[10]</sup>,见图 12。



图 12 副拱通航净空检查

#### 4.5.3 挑臂人行道构造

在确定挑臂的位置后,挑臂人行道的位置就可



以基本确定,但在人行梯道接地部分由于进入到主梁和副拱拱脚的下方,需保证其人行净空。若采用传统二维设计难以检查人行净空高度是否满足,如图所示,本次对挑臂人行道也采用三维正向设计,见图 13。

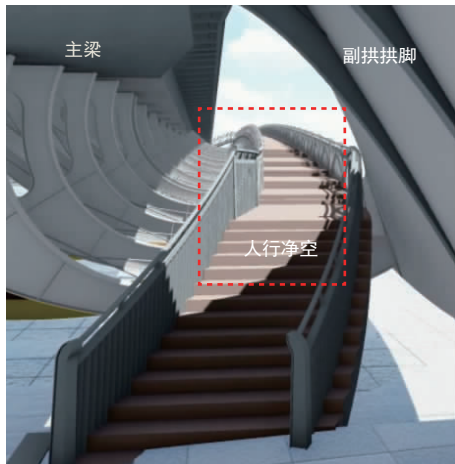


图 13 悬挑人行道接地部分净空

4.6 牛腿

考虑到行人通过桥底的净空需求,对于小箱梁引桥与主桥衔接位置无法设置盖梁搁置引桥,因此考虑在主梁端部设置牛腿支撑引桥。在引桥支座中心线位置设置 1 道通长的横向隔板,纵向按照小箱梁间距(2 820 mm)设置纵向纵向隔板,(需要注意避开顶板 U 肋等),纵向隔板与牛腿上翼缘均为整板,并伸入端横梁第一个箱室内部,上翼缘在进入箱室内部后可做开口处理,见图 14。

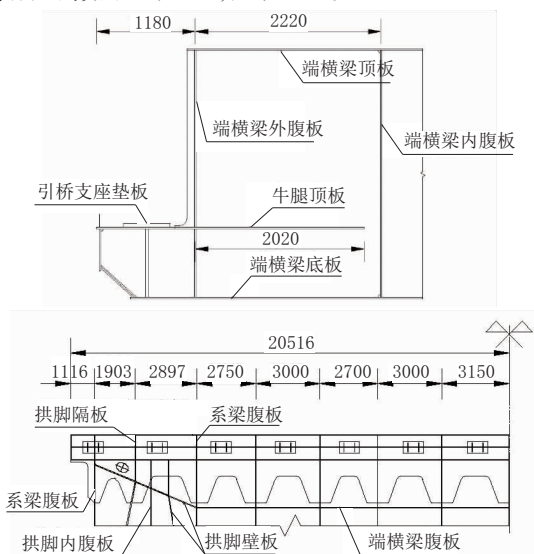


图 14 牛腿构造(单位:mm)

4.7 吊杆及锚固系统

拱上梁上锚固均采用吊耳构造<sup>[11]</sup>。拱上吊点水平间距为 4.5 m,保证拱上吊点水平间距 4.5 m 不变,通过设置一道较强的内置 T 形纵梁来传力,在非吊耳区域 T 形纵梁腹板 700 mm × 24 mm,翼缘 400 mm ×

24 mm,在吊耳附近腹板局部加厚至 40 ~ 48 mm。

梁上锚固构造与拱上锚固类似,吊点水平间距为 6 m,对应横梁位置,耳板插入横隔板,在耳板对应位置一道 T 肋加强,该 T 肋与相邻隔板相连接,见图 15。

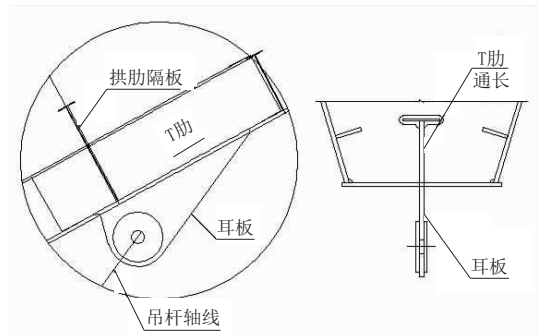


图 15 拱上锚固构造

为了保证防腐可靠,吊杆采用填充型环氧涂层钢绞线(厚环氧涂层型,且中心丝与边丝之间的间隙也须填充环氧树脂),公称抗拉强度 1 860 MPa,公称直径 φ15.2 mm。

本项目吊索上锚点为固定端,下锚点为张拉端。利用高空作业车为操作平台,采用汽车吊进行吊索安装。采用张拉工装进行张拉。分两次进行张拉,第一次是支架拆除后,张拉相应的吊索,索力张拉到支架全部拆除后的理想索力的 70%;第二次是附属结构施工完,对全桥索力进行调整,索力调整到成桥索力的 100%。

4.8 下部结构

主墩下采用直径 1.5 m 的钻孔灌注桩(摩擦桩),桩长 78 m。固定支座的承台下布置 9 根桩基,承台尺寸为 10 m × 10 m × 3.5 m,其余每个承台下设置 8 根桩基 10 m × 9.1 m × 3.5 m,墩柱为圆形截面,直径为 3.5 m。

本桥位于城市主干路上,桥位地区抗震设防烈度为 7 度,地震动峰值加速度为 0.10g。根据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011),大跨度拱桥抗震设防分类为甲类,“甲类桥梁所在地区遭受的 E1 和 E2 地震影响,应按地震安全性评价确定”。根据《新典桥及接线(鄞奉路—广德湖路)工程场地地震安全性评价报告》中的参数进行抗震设计。阻尼比取 3%,E1 采用 50 a 10%超越概率,E2 采用 50 a 2%超越概率。

抗震设防目标为:遭受 E1 地震作用时,主桥上部结构、桥墩以及各桥墩桩基础结构、连接结构总体反应在弹性范围,一般不受损坏或不需修复可继续

使用;遭受 E2 地震作用时,可发生局部轻微损伤,不需修复或经简单修复可继续使用。

主桥西侧桥墩高 2.6 m,东侧桥墩高 4.8 m,墩高较低。根据验算结果可知,在 E2 地震作用下,桥墩和桩基依靠结构本身能满足受力要求,不需额外增加桩基或者增大桥墩尺寸,故主桥采用的抗震体系为地震作用下,直接依靠结构本身承担地震作用力。根据 E2 地震下支座所受地震力大小,支座水平承载力需提高至 30%<sup>[12]</sup>。

## 5 结 语

宁波新典桥创造性地采用带有悬挑慢行系统的下承式系杆拱桥,拱轴线采用 1.7 次抛物线,拱肋采用六边箱型截面,由于是异型拱,为了保证拱肋受力的合理性,拱肋上设置两组共六道风撑。系梁采用单箱单室断面,与正交异性桥面系采用焊接连接。悬挑慢行系统布置在主梁两侧,主要包括三个部分:副拱(装饰拱)、挑臂系统、挑臂人行道系统。考虑到行人通过桥底的净空需求,对于小箱梁引桥与主桥衔接位置无法设置盖梁搁置引桥,因此考虑在主梁端部设置牛腿支撑引桥,即节约造价又提升景观效果。

### 参考文献:

- [1] 熊军,孙东利.宁波市环城南路快速路总体设计[J].城市道桥与防洪,2018,232(8):31-34.
- [2] 冯向宇,李映,郭忆.宁波长丰桥结构设计与分析[C]//第十八届全国桥梁学术会议论文集(下册),2008.
- [3] 姜群.城市景观拱桥的设计要点[J].四川建材,2020,46(9):56-57.
- [4] 魏乐永.拱式结构体系研究[D].上海:同济大学,2007.
- [5] 徐岳,申成岳.下承式系杆拱桥结构体系内力分布优化分析[J].公路交通科技,2015,32(12):67-74,87.
- [6] 吴海军,唐海陶,何立.大内倾角钢箱提篮拱几何非线性稳定分析[J].公路与汽运,2021(1):95-98,103.
- [7] 黄奶清,时娜.横撑布置形式对提篮拱稳定影响[J].安徽建筑工业学院学报(自然科学版),2011,19(5):5-8.
- [8] 王福春,梁力,李艳凤.下承式系杆拱桥拱脚局部应力有限元分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2011,27(2):281-285.
- [9] 金红亮,华新,韩大章.BIM 技术在南京浦仪公路西段跨江大桥设计中的应用[J].低温建筑技术,2018,40(12):68-72.
- [10] 傅萌萌,曾敏,黄卫,等.深茂铁路潭江特大桥 BIM 设计研究[J].铁路技术创新,2016(3):58-61.
- [11] 丁文俊.朔州市安泰街大桥主桥结构设计[J].城市道桥与防洪,2017(6):107-109.
- [12] 王斌斌,袁建兵,刘延芳,等.宁波姚江大桥抗震性能研究[J].结构工程师,2007(3):38-42.

~~~~~  
(上接第 68 页)

能力、降低结构高度,在景观及对梁高要求高的跨河跨路工程中,应用较为广泛。

(2)本项目受两侧架空管线限制,主桥无法采用传统的支架或吊装施工工艺。采用钢箱系杆拱桥整体顶推过河的施工方案,能有效解决主桥施工难题。

(3)主桥顶推施工时,将步履式顶推装置设置于引桥盖梁顶,可大大节省施工支架措施费用,也加快了施工工期。

(4)桥面采用钢筋混凝土预制桥面板,既能有效降低主桥顶推施工总体重量,又可降低后期桥面维护成本。

### 参考文献:

- [1] 崔佳,熊刚.钢结构基本原理[M].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [2] JTG/T D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [3] 吴冲.现代钢桥[M].北京:人民交通出版社,2006.