

某主跨215 m下承式钢箱拱桥总体设计与计算分析

傅学诚, 梁润泽

(广东省建科建筑设计院有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 贺州市昭平县桂江三桥横跨桂江, 主桥采用计算跨径为215 m的下承式钢箱拱桥设计。主拱为钢箱拱肋, 系梁同样采用钢箱截面, 中横梁和小纵梁则采用工字钢, 桥面板选用预制UHPC板。桥梁设计满足Ⅲ级航道的通航要求, 兼顾2 000 t级单船的通航需求, 通航净宽达180 m, 净高为10 m。主桥施工采用先梁后拱法, 主拱和主梁通过分段水上吊装拼接完成。在设计过程中, 对主要构件进行了静力计算, 并对主桥整体稳定性进行了详细分析。该桥梁方案的设计构思不仅科学合理, 还可为类似工程提供有价值的参考。

关键词: 桂江三桥; 下承式钢箱拱桥; 预制UHPC板; 静力计算; 整体稳定分析

中图分类号: U442.5; TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)12-0074-04

Overall Design and Computational Analysis of a Through Steel-Box Arch Bridge with 215 m Main Span

FU Xuecheng, Liang Runze

(Guangdong Jianke Architectural Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: The Guijiang Third Bridge in Zhaoping County of Hezhou spans the Guijiang River. The main bridge is designed as a through steel-box arch bridge with a calculated span of 215 meters. The main arch is made of steel box arch ribs, and the tie beams also adopt steel box sections. The middle crossbeams and small longitudinal beams are made of I-beams, and the bridge deck is selected from prefabricated UHPC plates. The bridge design fully complies with the navigation requirements of Class III waterway, accommodating the passage of 2000-t vessels. The navigation clearance width is 180 m and the clear height is 10 m. The “beam-first, arch-later” method is used in the construction of the main bridge. And the main arch and the girder are assembled by segmented overwater hoisting. In the design process, the static calculations are performed for the main components, and a detailed analysis on the overall stability of the main bridge is conducted. The design concept of this bridge scheme is not only scientific and reasonable, but also offers the valuable references for similar projects.

Keywords: Guijiang Third Bridge; through steel-box arch bridge; prefabricated UHPC slab; static calculation; overall stability analysis

0 引言

下承式拱桥能够实现较大的跨越能力, 适用于跨越河流、山谷、铁路等需要较大净空的场景。其结构受力均匀, 拱圈在荷载作用下主要承受压力, 能够将荷载均匀分布, 减少局部应力集中。下承式拱桥的拱圈结构具有独特的视觉效果, 能够与周围环境形成良好的景观融合。

与中承式拱桥等其他拱桥形式相比, 下承式拱桥桥面位于拱圈下方, 能够有效降低桥面标高, 从而减少两岸引道长度, 降低工程造价。

总之, 下承式拱桥的总体优势在于功能适用、技

术可行、造型美观、经济合理。这些优势使得下承式拱桥在桥梁工程中具有广泛的应用价值。本文以广西贺州桂江三桥为例, 系统介绍了下承式拱桥的设计特点及整体稳定计算, 可为类似桥型的设计提供一些借鉴。

1 工程概况

广西壮族自治区贺州市桂江流域正式列入广西西江经济带规划, 有利于提升贺州桂江流域在区域经济发展格局中的地位 and 作用, 积极融入区域发展大格局中。

昭平县桂江一江两岸景观带基础设施建设项目位于贺州市昭平县桂江两岸, 作为昭平县桂江景观基础设施建设项目之一, 景观带周边道路围绕桂江, 北至桂江三桥, 南至马滩大桥。本次研究的215 m下

收稿日期: 2025-04-02

作者简介: 傅学诚(1993—), 男, 学士, 工程师, 从事市政路桥设计工作。

承式钢箱拱桥为跨越桂江航道的桂江三桥,根据桂江航道规划,结合湘桂运河建设需求,该桥梁所在桂江河段按内河Ⅲ级航道、兼顾2 000 t级单船考虑。

桥梁平面位置示意图见图 1。

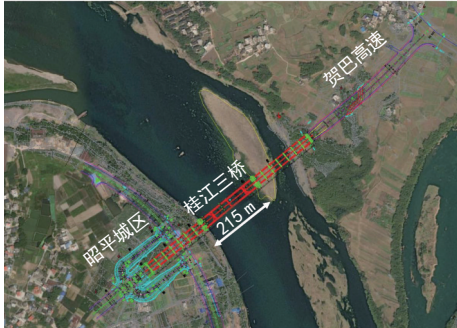


图 1 桥梁平面位置示意图

2 主要技术标准

2.1 航道技术标准

航道等级:内河Ⅲ级航道,通航1 000 t船舶(队),远期兼顾2 000 t级单船通航。通航水位:设计最高通航水位65.90 m,设计最低通航水位53.13 m。航道面宽及通航净空尺度:通航孔设计为单孔双向通航,桥梁设计通航净宽180 m,通航净高10.0 m(矩形断面)。

2.2 道路技术标准

道路等级为主干路,双向6车道规模,设计车速60 km/h,人行道宽2.5 m。

2.3 桥梁技术标准

荷载等级为城-A级,人群荷载取2.5 kPa计算;环境类别为Ⅰ类一般环境;抗震设防烈度6度,地震动峰值加速度为0.05g;主桥抗震设防类别为A类,引桥抗震设防类别为B类。桥梁结构的设计安全等级为一级,结构重要性系数为1.1。

3 总体方案

3.1 跨径布置

桥梁的跨径布置主要受通航标准的制约。桂江航道规划为Ⅲ级航道,依据《内河通航标准》(GB 50139—2014),采用单孔双向通航的设计。在考虑横向流速加宽、工程水流主流方向与桥轴线法线方向的斜交加宽以及紊流加宽等多重因素后,桥梁计算要求的通航净空宽度为:通航净空宽度+斜交宽度+横流加宽=110 m+13.3 m+50 m=173.3 m,取174 m。

桥梁设计通航净空宽度为:桥梁墩内缘净宽-墩柱紊流碍航宽度=195.5 m-14.9 m=180.6 m,取整为

180 m。拟建桥梁的主跨将采用215 m的下承式系杆拱桥设计方案,实际通航净空宽度为180 m,满足Ⅲ级航道、兼顾2 000 t级单船单孔双向通航的要求。

3.2 总体设计

主桥桥跨布置为215 m下承式钢箱拱,下部结构采用薄壁空心墩,桩基础,主桥桥宽为35 m。拱轴线采用2次抛物线形状,矢跨比为1/5,每隔8 m设置1道吊杆,共计24道。

下承式钢箱拱立面布置图见图2。

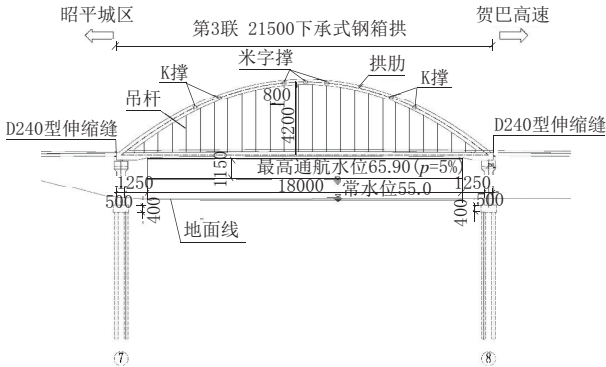


图 2 下承式钢箱拱立面布置图(单位:cm)

35 m主桥段桥梁宽度组成为:2.5 m(人行道)+2.5 m(拱肋设施带)+0.5 m(防撞护栏)+11.5 m(机动车道)+1.0 m(中央防撞护栏)+11.5 m(机动车道)+0.5 m(防撞护栏)+2.5 m(拱肋设施带)+2.5 m(人行道)=35.0 m。桥面车行道设置双向2.0%的横坡,人行道横坡为1.0%。

主桥横断面图见图3。

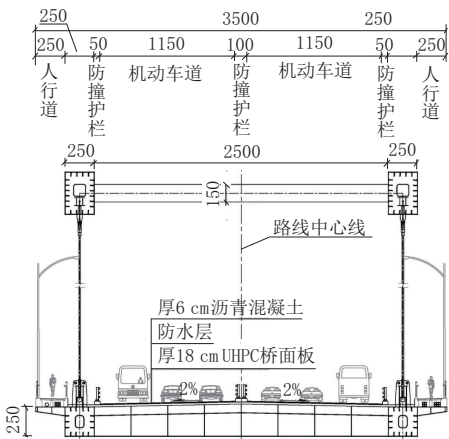


图 3 主桥横断面图(单位:cm)

4 主桥设计

4.1 上部结构设计

4.1.1 拱肋设计

主桥设计包含2道拱肋,横桥向的净距设定为25.0 m。拱轴线采用2次抛物线形状,其矢跨为210 m,

矢高为42 m,矢跨比为1/5^[1]。拱肋的截面形式采用单箱单室矩形截面,截面尺寸宽2.5 m,高3.0~4.0 m,渐变位置为拱顶至距离拱脚17.5 m位置,拱脚处保持2.5 m×4 m的等截面设置^[2]。

拱肋的顶底板及腹板均采用Q420qD钢材,其中顶底板的厚度为36~40 mm,腹板的厚度为32~36 mm。在拱肋拱脚靠近支点的8.4 m范围内,需要填充C40钢纤维收缩补偿混凝土^[3]。

拱肋截面见图4。

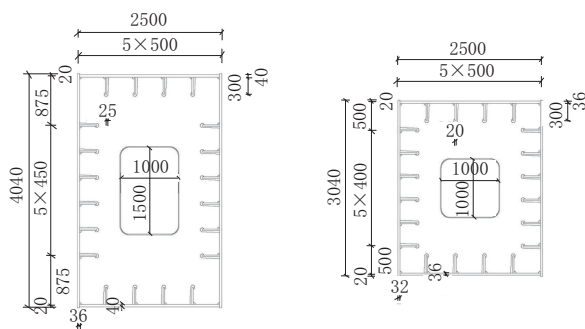


图4 拱肋截面(单位:mm)

4.1.2 横撑设计

2道拱肋之间共设置了3道支撑,其中在距离两端支点44.5 m的位置各设置了1道K撑;在桥梁跨中位置设置了1道米撑^[4]。这3道支撑的横杆均采用2.0 m×1.5 m(宽×高)的矩形钢箱;斜杆均采用1.5 m×1.5 m(宽×高)的矩形钢箱。

4.1.3 吊杆设计

全桥拱肋每隔8 m设置1道吊杆,共计24道。吊杆采用环氧树脂涂层预应力钢绞线,型号为GJ15-22。吊杆的上端设置为固定端,下端为张拉端。固定端采用插销式固定,吊耳位于拱肋钢箱的外底面;张拉端则采用锚拉板式固定于系梁的外顶面,锚板同时作为吊杆张拉的反力架^[5]。

4.1.4 主梁设计

系梁采用单箱矩形截面,截面尺寸在梁端13 m范围内为2.5 m×4 m(宽×高);在13~21.5 m范围内为宽度2.5 m、高度2.5~4 m的过渡段;其余位置截面尺寸均为2.5 m×2.5 m。

系梁的顶底板及腹板均采用Q420qD钢材。系梁靠近端部的10 m范围内需填充C40钢纤维收缩补偿混凝土^[6]。

中横梁为变高工字形截面,间距为2.7~4 m。顶面在横桥向设置2%的横坡,底面水平。

端横梁为变高单箱形截面,宽度2.54 m,顶面在横桥向设置2%的横坡,底面水平。

横梁范围内设置3道顺桥向小纵梁,小纵梁的上下翼缘宽度均为0.7 m,纵梁梁高0.75 m。

车行道范围内的桥面板采用预制UHPC板,板厚0.18 m,吊装至现场后通过现浇带连接成整体,并通过纵横梁顶剪力钉与纵横梁格进行连接^[7]。

人行道采用钢悬臂梁设置,悬臂长度2.5 m,其中非支点位置采用工字形变截面梁,纵桥向间距为每道1.5~2 m,梁高从根部至悬臂端由0.66 m变化至0.3 m。

4.2 下部结构设计

主桥墩采用圆端形门型桥墩设计,为普通钢筋混凝土结构。墩柱的截面尺寸为5.0 m×7.5 m,采用空心截面形式。墩顶设计有横向系梁,系梁的高度从跨中至根部由2.5 m渐变至4.5 m。承台厚度为4 m,截面尺寸为9.0 m×14.5 m。桩基采用直径为220 cm的钻孔灌注桩。

5 计算分析

5.1 结构模型

采用MIDAS Civil建立桥梁上部结构有限元模型,设计安全等级为一级。桥梁有限元计算模型见图5。

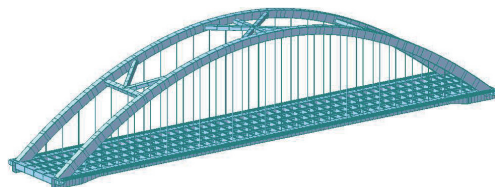


图5 桥梁有限元计算模型

计算荷载如下:

二期恒载:根据铺装层、UHPC桥面板、人行道(含枕梁及人行道板)分布、人行道栏杆、钢防撞护栏、预留管线重量计算。

汽车荷载:城市-A级;人群荷载取2.5 kPa;冲击系数按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)第4.3.2条计算。

温度梯度及整体温差按《公路桥涵设计通用规范》规定取值。

横风荷载:根据《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01—2018),分别对系杆和钢箱拱横风荷载进行计算。

5.2 静力计算

5.2.1 拱肋计算结果

荷载基本组合下,拱肋顶底板弯曲正应力验算

包络图见图 6。

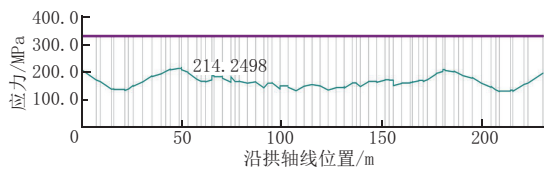


图 6 拱肋顶底板弯曲正应力验算包络图

根据计算,拱肋弯曲正应力 $\sigma=214.2\text{ MPa}\leq f_d=320\text{ MPa}$,满足《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)要求。

5.2.2 系梁计算结果

系梁顶底板弯曲正应力验算包络图见图 7。

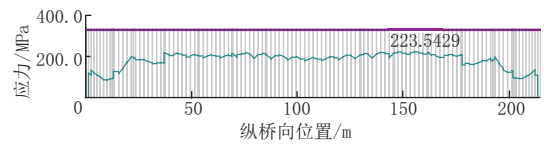


图 7 系梁顶底板弯曲正应力验算包络图

根据计算,纵梁顶底板弯曲正应力 $\sigma=223.5\text{ MPa}\leq f_d=320\text{ MPa}$,满足《公路钢结构桥梁设计规范》要求。

5.2.3 整体屈曲稳定性计算

对桥梁在移动荷载和风荷载等外部荷载同时作用下的屈曲稳定性进行计算,其中移动荷载按拱脚轴力最大进行计算。计算结果和对应屈曲模态见图 8。

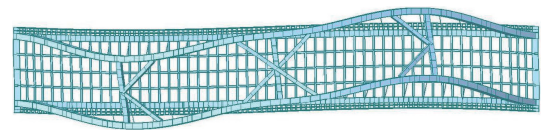


图 8 桥梁屈曲模态

根据计算,桥梁整体屈曲稳定系数为 $8.851\geq 4.0$,满足《公路钢管混凝土拱桥设计规范》(JTG/T D65—

06—2015)要求。

6 结 语

桂江三桥位于贺州市昭平县桂江流域,根据航道通航要求,主桥采用计算跨径 215 m 的下承式钢箱拱桥;主桥拱肋、系梁采用钢箱截面,中横梁、小纵梁采用工字钢,桥面板为预制 UHPC 板。结合该工程实际船舶通行情况,综合考虑施工工期及经济性等因素,主桥推荐采用先梁后拱法施工,主拱和主梁采用支架拼装的施工方式,吊装时采用分段水上吊装。

该工程主拱曲线优美,结构布置合理、受力明确,体现了桥梁力与美的结合。大桥预计 2025 年开工建设,建成后将成为昭平县城一道独特景观,助力发展昭平文旅事业。

参考文献:

[1] 鄢余文.大芦线二期浦星公路 230 m 下承式系杆拱桥设计[J].城市道桥与防洪,2018(5):103-106.
[2] 黄国清.大跨度下承式钢箱提篮拱桥总体设计[J].山西交通科技,2023,283(4):67-70.
[3] 张玉峰,程丽.钢纤维混凝土在桥梁工程中的应用研究[J].合成材料老化与应用,2018,51(6):150-152.
[4] 范进,王子哲.大跨度钢桁架拱桥基于稳定性分析的风撑研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2017,35(5):723-726.
[5] 傅金龙,黄天立.刚性系杆拱桥成桥吊杆索力优化方法的适用性研究[J].铁道科学与工程学报,2014,11(4):6-13.
[6] 秦星.拱桥高强度纤维混凝土配合比优化及抗裂分析[J].工程技术研究,2019,4(10):114-115.
[7] 曹玉贵,铎志莹,刘沐宇,等.UHPC 桥面板力学性能与承载力计算方法[J].湖南大学学报(自然科学版),2024,51(7):206-214.