

3 × 225 m 三跨下承式连续钢箱系杆拱桥总体设计

周 涛, 田 卿

(长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 丹江口市水都二桥是丹江口市跨汉江的重要过江通道, 按照城市主干路标准建设。为满足通航等技术标准, 并考虑结构体系的合理性、周边城区环境的限制及投资的经济性, 其主桥采用了计算跨径 3 × 225 m 的三跨下承式连续钢箱系杆拱桥。具体构造方面, 其主拱采用变高度单箱单室矩形截面钢箱拱肋, 拱轴线采用二次抛物线, 主梁采用“钢格子梁+正交异性钢桥面板”, 吊杆采用钢绞线整束挤压拉索体系。桥梁施工方法采用“主梁分段顶推+边段拱肋原位拼装+中段拱肋整体提升”。桥梁的设计、施工总体思路可供同类工程参考。

关键词: 下承式; 钢箱拱; 系杆拱; 顶推; 整体提升

中图分类号: U448.22*5; U442.5; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)12-0070-04

Overall Design of 3 × 225 m Three-span Through Continuous Steel-box Bowstring Arch Bridge

ZHOU Tao, TIAN Qing

(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: The Shuidu Second Bridge is an important passage across the Han River in Danjiangkou City, and is constructed according to the standards of urban main roads. In order to meet technical standards of navigation, and considering the rationality of the structural system, the limitations of the surrounding urban environment, and the economic feasibility of investment, the main bridge is designed as a 3 × 225 m three-span through continuous steel-box bowstring arch bridge. In terms of specific construction, the main arch is made of variable height single-box single-chamber rectangular-section steel box arch ribs, the arch axis adopts a quadratic parabola, the girder is used of a “steel grid beam+orthotropic steel bridge deck”, and the suspension rod is used of a whole bundle extruded cable system of steel strands. The “segmented pushing of the girder + in-situ assembly of the side arch ribs + overall lifting of the middle arch ribs” method is used for the bridge construction. The overall design and construction concept of the bridge can provide reference for similar projects.

Keywords: through; steel-box arch; bowstring arch; incremental launching; integral lifting

1 工程概况

水都二桥是丹江口市跨汉江的重要过江通道, 位于丹江口水利枢纽大坝下游约 2.1 km, 按照双向四车道城市主干路标准建设。桥梁长 1 267 m, 桥下有通航需求, 起终点与现状道路平交。项目地理位置见图 1。

2 建设条件

2.1 水文

桥址位于丹江口大坝下游 2.1 km 处, 本河段江心有沧浪洲, 沧浪洲将汉江分为左右两支, 主泓在左岸,



图1 项目地理位置

通航孔位于大桥靠近左岸的 19#主墩与 20#主墩之间。右汉的河床高于左汉, 水流常年在左汉, 当水位高于 90.0 m (1985 国家高程基准, 余同) 时, 才两汉过水; 低于 90.0 m 时, 右汉断流。大桥设计防洪标准采用 100 a 一遇, 对应的设计水位为 94.17 m。大桥施工期防洪标

收稿日期: 2025-03-28

作者简介: 周涛(1982—), 男, 本科, 正高级工程师, 从事桥梁设计工作。

准采用 5 a 一遇,对应的设计水位为 92.36 m^[1]。

2.2 地质

主墩处覆盖层为第四系全新统冲积层(Q₄^{al}),厚度约 6.5 m,为稍-中密状砂砾卵石。下伏基岩包括泥质粉砂岩与砾岩、变质辉长辉绿岩。其中,泥质粉砂岩与砾岩岩性软弱,属软岩或极软岩。桩基持力层为微风化变质辉长辉绿岩,其饱和单轴抗压强度为 33.3 MPa,埋深 36.2 ~ 42.0 m^[1]。

3 技术标准

- (1)道路等级:城市主干路。
- (2)设计速度:50 km/h。
- (5)桥面标准宽度:3.0 m(人行道及栏杆)+3.5 m(非机动车道,含 0.5 m 防撞护栏)+7.5 m(机动车道)+1.0 m(中央分隔带)+7.5 m(机动车道)+3.5 m(非机动车道,含 0.5 m 防撞护栏)+3.0 m(人行道及栏杆)=29.0 m。
- (6)设计洪水位:1/100 设计水位 94.17 m。
- (7)通航标准:内河Ⅲ级航道,最高通航水位为 93.08 m,最低通航水位为 86.40 m,单孔双向通航,通航孔净宽 177 m、净高 10 m。
- (8)地震:地震基本烈度为 6 度。

4 总体方案

4.1 跨径布置

水都二桥主桥跨径布置主要由通航标准控制。现状通航孔靠近左岸,同时为了适应远期航道提级,预留了 2 个远期通航孔,故按照(3×225)m 布置主桥跨径(见图 2)。

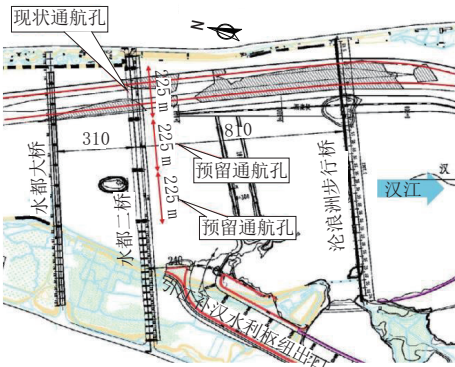


图2 水都二桥通航孔平面布置

4.2 桥型选择

桥梁主跨 225 m,可供选择的主桥结构形式有梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥等基本桥型。对于梁桥,主跨 180 m 以上如采用连续梁方案跨

径过大^[2];如采用连续刚构方案,本桥主墩墩高较矮,柔度不足,连续刚构结构体系基本不成立^[3]。因此,排除梁桥方案。

对于斜拉桥和悬索桥,将主跨布置为 3 × 225 m 的四塔三等跨结构首先在受力上不太合理,而且斜拉桥和悬索桥需要设置边跨,而通航孔靠近左岸沿江大道导致边跨主梁、拉索、主缆、锚碇等构件均没有布置空间,此外,斜拉桥和悬索桥采用此跨径的经济性也不占优势^[4]。故排除斜拉桥和悬索桥方案。

拱桥结构受力合理,施工工艺成熟,结构线条非常优美,适用于本桥 225 m 跨径^[5-6]。根据本桥跨径、拱肋矢高和桥面高程的相对关系,可采用下承式拱桥,不设边跨,满足跨径需求且不额外增加主桥长度,经济性上有较大优势,故作为推荐方案^[7]。

4.3 总体布置

水都二桥主桥跨径布置为 227.5 m+225 m+227.5 m,结构体系采用三跨下承式连续钢箱系杆拱桥,总长 680 m,其计算跨径为 3 × 225 m。桥梁支承体系采用外部连续、内部超静定体系,对基础的要求相应较低^[8]。桥梁立面布置见图 3。

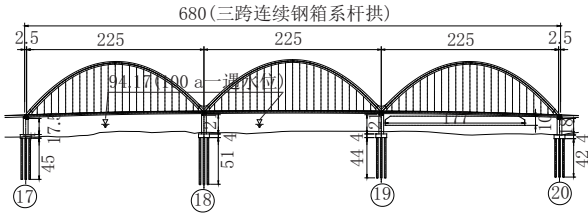


图3 水都二桥主桥立面布置(单位:m)

桥梁横断面整幅布置,人行道悬挑于拱肋外侧以保证整体景观效果,则桥幅布置为:3.0 m(人行道)+2.4 m(吊索区)+0.25 m(栏杆)+3.5 m(非机动车道,含 0.5 m 防撞护栏)+7.5 m(机动车道)+1.0 m(中央分隔带)+7.5 m(机动车道)+3.5 m(非机动车道,含 0.5 m 防撞护栏)+0.25 m(栏杆)+2.4 m(吊索区)+3.0 m(人行道及栏杆)=34.3 m(见图 4)。

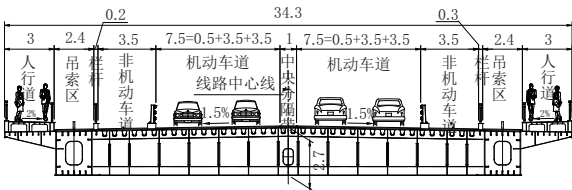


图4 水都二桥主桥横断面布置(单位:m)

5 结构设计

5.1 主拱

主桥横桥向布置两片平行拱肋,拱肋横桥向中

心距为25.9 m。中跨拱肋和边跨拱肋构造完全一致(边跨拱肋相对于中跨拱肋在铅垂面内刚性旋转 1.0541° 以适应纵坡变化),便于加工制造,也保证了协调美观。

拱肋理论跨径225 m,矢高 $f=56.25$ m,矢跨比 $f/L=1/4$ 。据统计,钢箱拱的拱轴线形式主要是二次抛物线和圆弧线^[9]。经试算,本桥拱轴线取二次抛物线。

拱肋截面采用变高度单箱单室矩形截面,结构简洁、轻盈^[10-11]。截面尺寸由拱顶2.2 m×3 m(宽×高)渐变至拱脚2.2 m×4.4 m(宽×高),拱肋顶、底板及腹板均采用板肋进行纵向加劲,箱内设置横隔板进行横向加劲。单跨两片拱肋间设置5道横撑,横撑亦采用钢箱形截面,截面尺寸有2 m×2 m及2.4 m×2.4 m两种。主拱材质采用Q390D。

5.2 主梁

主梁采用钢格子梁结构体系,由纵梁、横梁、桥面板组成,采用Q390D材质全焊钢结构,梁高2.7 m,见图5。钢格子梁体系构造简单、受力明确,便于后期维护^[12]。

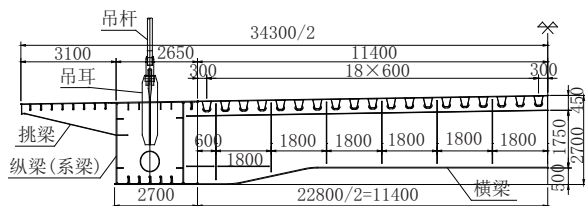


图5 吊杆处主梁断面(单位:mm)

纵梁兼作系梁,采用钢箱结构,截面形式采用等高度单箱单室截面,顶面随桥面设横坡,底面水平。截面宽2.2 m,结构中心处梁高2.506 m。系梁箱内设置纵肋及横隔板进行加劲。

中横梁分为吊点横梁和一般横梁。吊点横梁顺桥向基本间距9 m,一般横梁顺桥向基本间距3 m,均采用工字形截面。

支点横梁分为中支点横梁及端支点横梁,均采用单箱多室矩形截面。

桥面板采用正交异性钢桥面板,除支点横梁范围外,桥面板标准厚度16 mm。车行道范围内顶板采用U肋加劲,人行道范围内采用板肋加劲。

主梁设计确保在一对吊杆失效时桥面结构可以正常工作,便于更换吊杆或支座。

5.3 吊杆

吊杆顺桥向间距9 m,全桥共设69对吊杆,均为单吊杆体系。吊杆采用规格为15-27的钢绞线整束挤压拉索体系,索体为 $\phi 15.2$ mm双层无黏结环氧喷

涂钢绞线,钢绞线抗拉强度标准值 $f_{pk}=1\ 860$ MPa。拱端为张拉端,梁端为吊耳端。吊杆张拉端球型支座应能适应吊杆 $\pm 3^\circ$ 以内的转角。

6 施工方案

钢箱拱桥的常规施工方法包括支架法、转体法、缆索吊悬臂拼装法和顶推法^[13]。

支架法原理最简单,但不能满足本桥的通航需求。同理,转体法同样需要在岸侧搭设支架预先拼装成形后,但本桥岸侧靠近通航孔且位于深水区,不具备支架施工条件。缆索吊悬臂拼装法属于典型的结构自架设施工方法,一般与斜拉扣挂法一并采用,以近似实现拱肋的无应力拼装,如武汉市江北快速路新河大桥^[8]。此方法施工不影响通航,但一侧索塔锚碇需设置在河槽中,受汉江汛期洪水影响极大,施工安全难以保证,且工期长、造价高,不是本桥的最佳施工方案。

顶推法受汉江汛期及通航影响小,不需设置锚碇,且工艺成熟,如杭州九堡大桥——主桥 3×210 m的钢箱系杆拱桥、长沙福元路湘江大桥——主桥 3×210 m的钢箱系杆拱桥均采用了整体顶推施工方案^[14-16]。因此,本桥经综合考虑后,选择采用顶推法施工。

进一步,鉴于本桥规模,将3跨225 m梁拱结构整体一次性顶推到位难度太大且无必要,因此考虑将结构适当拆分后分段顶推。结合现场实际条件,采用如下施工总体思路:先将主梁分段顶推到位,拱肋待主梁成型后现场拼装。考虑到拱肋矢高达57 m,高空拼装支架难度高、风险大,故拱肋也分段施工。边段拱肋在原位支架拼装,中段拱肋在低位支架拼装。之后利用提升塔架整体提升至设计高度后进行合龙。拱肋总体拼装高度控制在30 m以内。具体施工流程见图6,施工实景见图7、图8。

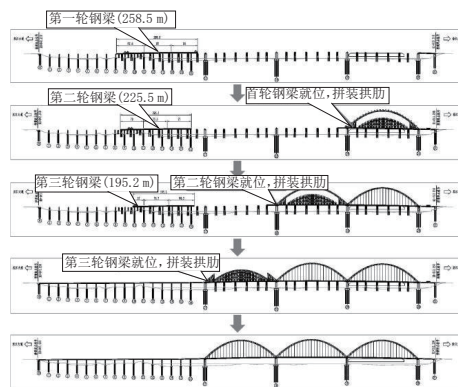


图6 水都二桥主桥施工流程示意

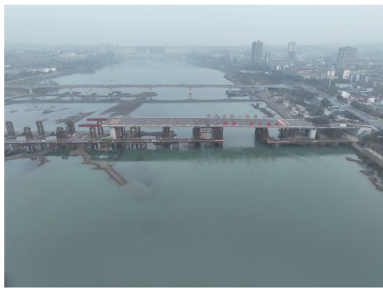


图7 主梁顶推实景



图8 拱肋整体提升实景

7 结 语

水都二桥是丹江口市跨汉江的重要过江通道。其主桥计算跨径布置为3×225 m,结构体系采用三跨下承式连续钢箱系杆拱桥,其主拱采用变截面钢箱拱肋,主梁采用“钢格子梁+正交异性钢桥面板”,吊杆采用15-27的钢绞线整束挤压拉索体系,结构布置合理、受力明确,体现了桥梁力与美的结合。根据工程特点,大桥施工采用了“主梁分段顶推+边段拱肋原位拼装+中段拱肋整体提升”的方法。大桥于2024年10月1日正式通车。

参考文献:

[1] 田卿,周涛,李登武,等.丹江口水都二桥主墩锁扣钢管桩围堰设计与施工[J].施工技术,2024(54):392-395.

[2] 苗战涛.大跨径预应力混凝土梁桥开裂损伤过程的力学性能分析[D].西安:长安大学,2012.

[3] 柳朝卿.大跨连续刚构桥矮墩设计分析研究[D].兰州:兰州交通大学,2012.

[4] 杨波,王振阳,马迪辉.九堡大桥桥型方案比选[J].城市建设理论研究,2012(10):1-4.

[5] 孔德军,盛勇,卢永成,等.九堡大桥工程总体设计[C]//2010组合结构桥梁和顶推技术应用学术会议论文集,2010:16-19.

[6] 史文杰,曾明根,苏庆田,等.九堡大桥主桥受力特性分析[J].桥梁建设,2010(6):37-39;48.

[7] 张志坚,李亮,田卿.210 m下承式钢箱提篮系杆拱桥总体设计[J].城市道桥与防洪,2022(3):51-54.

[8] 田卿,何俊荣,尹邦武,等.中承式钢箱提篮拱桥设计[J].世界桥梁,2020,48(1):11-16.

[9] 徐君兰,孙淑红.钢桥[M].2版.北京:人民交通出版社,2011.

[10] 李国普,李斐然.大跨度连续下承式钢箱拱桥设计[J].世界桥梁,2016,44(2):12-15.

[11] 张春雷,盛勇,卢永成,等.九堡大桥主航道桥拱肋设计[C]//2010组合结构桥梁和顶推技术应用学术会议论文集.北京:《桥梁》杂志编辑部,2010:29-34.

[12] 徐林,徐欣,彭元诚.苏岭山大桥主桥设计与施工[J].世界桥梁,2018,46(4):6-11.

[13] 四川公路桥梁建设集团有限公司,四川路桥建设股份有限公司.公路桥梁施工系列手册:拱桥[M].北京:人民交通出版社,2014.

[14] 周光强,向剑,舒大勇,等.杭州九堡大桥多跨连续组合拱桥步履式整体顶推技术[J].施工技术,2011,40(9):27-31.

[15] 周仁忠,杨炎华,卢勇.福元路湘江大桥整体顶推施工技术研究[C]//中国公路学会桥梁和结构工程分会2013年全国桥梁学术会议论文集.北京:人民交通出版社,2013:527-533.

[16] 长沙湘江大桥大纵坡曲线顶推首用[J].城市道桥与防洪,2012(7):170-170.