

高速铁路跨越京杭运河水上服务区连续梁拱设计

陈 杰

(中铁上海设计院集团有限公司, 上海市 200070)

摘 要: 连续梁拱组合结构具有竖向刚度和动力性能良好、跨度大、建筑高度低、造型美观等优点,已在高速铁路建设中得到较为广泛的应用。连镇高铁镇江京杭运河特大桥主桥采用(76+136+76)m 双线预应力混凝土连续梁拱。受铁路线路控制,该桥有两个特点:一是要跨越京杭运河水上服务区,二是桥面加宽满足运梁需要。以该桥为例,重点介绍了连续梁拱主梁结构的总体构造、静力计算分析和景观设计,为跨越复杂航道桥梁设计工程提供了经验和方法。

关键词: 高速铁路桥梁;连续梁拱;组合结构;结构设计;钢管混凝土

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)05-0085-03

1 概 述

京杭运河镇江服务区全长约 1 km,连镇高铁在京口工业园区穿越京杭运河服务区的综合楼与远调楼(见图 1),大运河与高铁两张中国名片在此深度融合。高铁跨运河桥梁设计需要考虑航道、防洪、水上服务区、景观等因素。本文介绍了连镇高铁跨越京杭运河Ⅲ级航道连续梁拱桥梁设计,可供同类桥梁设计借鉴参考。



图 1 跨越苏南京杭运河(76+136+76)m 连续梁拱成桥照片

2 总体设计

连续梁拱桥梁具有高度低、跨度大和外形美观的优点,在铁路桥梁设计中得到了越来越广泛的应用^[1-10]。连镇铁路设计速度 250 km/h,跨点处航道净宽 90 m、净高 7.5 m,采用(76+136+76)m 连续梁拱主跨一跨跨越航道,边跨跨越服务区和城市道路,如图 2 所示。主桥距离大港制梁场 10 km,距离接轨站约 14 km。由于受城区制梁场布置限制,连续梁拱之后还有 377 孔预制简支梁需要通过连续梁拱运梁,因此本桥成为全线控制工期的大通道,桥面需

加宽运梁。

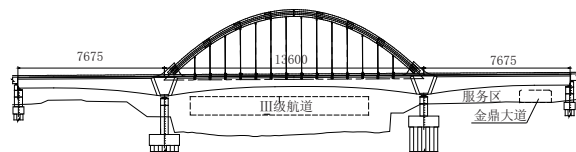


图 2 京杭运河(76+136+76)m 连续梁拱桥梁立面(单位:cm)

2.1 主梁

主梁全长 289.5 m,中支点梁高 8.0 m,跨中和边跨直线段梁高 4.5 m,梁高按圆曲线变化,边支座中心线至梁端 0.75 m,主梁横断面图如图 3 所示。

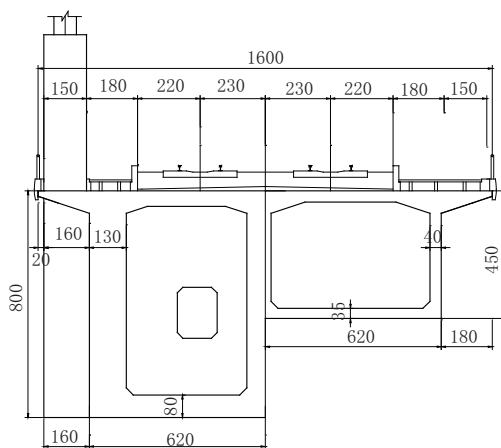


图 3 主梁中支点、跨中横断面布置图(单位:cm)

桥面顶板宽 16.0 m,底板宽 12.4 m。顶板厚 40 cm 梁端和中墩处顶板加厚至 70 cm。底板厚 35~80 cm。腹板厚 40~50~60 cm,跨中至支点折线变化。对应拱脚处腹板局部加厚 130 cm。

箱梁底板下缘和上缘均采用圆曲线,下缘半径 $R=449.75$ m,上缘半径 $R=515.623$ m。全联在中跨跨中、端支点、中支点和吊点处共设置 19 道横隔板,端支点和中支点的横隔板厚度分别为 1.4 m、3.0 m,吊

收稿日期: 2021-08-07

作者简介: 陈杰(1984—),男,本科,高级工程师,从事桥梁设计工作。

点处横隔板厚度为 0.4 m。为方便养护人员通过,横隔板和桥墩处底板设有进人孔。

2.2 拱肋

拱肋矢跨比为 1/5, 计算跨度为 136 m, 矢高为 27.2 m, 拱轴线为二次抛物线, 设计拱轴线方程: $Y = -1/170X + 0.8X$ (坐标原点取拱轴线和支座中心线的交点)。在拱顶设置最大 8 cm 的预拱度, 施工矢高 $f = 27.28$ m。拱肋实际施工均采用施工拱轴线制作和拼装。

拱肋设计成哑铃形, 截面如图 4 所示。拱肋总高 2.8 m, 钢管直径为 0.8 m, 腹板宽 0.55 m, 采用 C50 微膨胀混凝土灌注腹腔、上下钢管、两肋横向中心距 14.1 m。

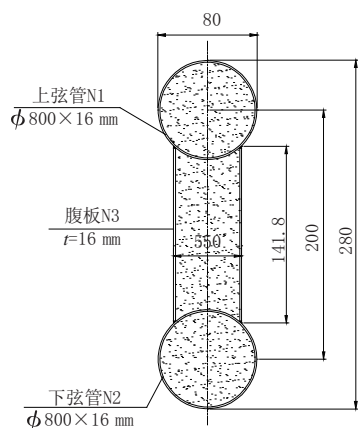


图4 拱肋截面(单位:cm)

全桥共设 6 道 K 撑(直径 0.6 m 的圆形钢管, 斜撑截面采用直径 0.45 m 的圆形钢管)、1 道一字撑(直径 0.6 m 的圆形钢管)。

2.3 吊杆

全桥共设吊杆 14 对, 纵向间距为 8 m, 单侧 14 根。吊杆采用低应力防腐平行钢丝束(PES(FD)7-109 型), 外侧套复合不锈钢管, 采用冷铸镦头锚。吊杆上端、下端分别锚于拱顶、桥面。

2.4 桥墩与基础

两个圆端型主墩墩高分别为 15 m、8 m, 桥墩纵桥向 4 m、横桥向 15.1 m, 承台纵桥向 15.8 m、横桥向 20 m、厚 4.5 m, 20 根直径 2 m 钻孔灌注桩, 桩长分别为 42.5 m、49 m。服务区桥墩紧邻综合楼与远调楼房屋基础, 采用钻孔桩围护施工承台。运河东岸主墩采用钻孔桩围护, 并在靠航道侧设置临时防撞墩, 水边施工作业平台。施工完成后按照服务区要求进行恢复。邻近铁路驳岸边坡采用生态混凝土预制块护砌。

2.5 施工步骤

(1) 本桥用挂篮悬浇主梁, 先合龙边跨, 再合龙

中跨。

(2) 桥面少支架拼装钢管拱肋, 泵送拱肋上下弦管和缀板内混凝土。

(3) 按顺序张拉各吊杆。

(4) 吊杆力调整后施工桥面系。

(5) 吊杆力调整至设计索力后完成施工。

3 结构计算

3.1 主梁

3.1.1 主梁应力

全桥空间结构分析共分为 682 个节点, 420 个单元, 模型如图 5 所示。主梁各阶段正应力计算结果见表 1, 主梁抗裂和强度计算结果见表 2, 均满足规范要求。

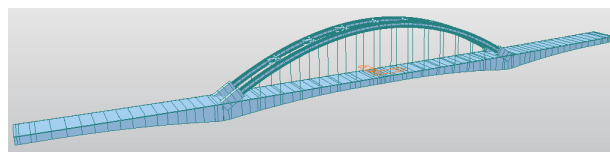


图5 结构计算模型

表1 主梁正应力计算结果

项目	边跨跨中		中支点		中跨跨中		允许值
	上缘	下缘	上缘	下缘	上缘	下缘	
成桥恒载应力 /MPa	7.96	7.62	3.67	8.46	2.44	4.8	<29.6
主力正应力最大 /MPa	10.5	9.74	4.18	10.7	3.88	4.93	<18.5
主力正应力最小 /MPa	6.28	4.4	1.28	7.97	2.22	2.25	>0
主+附正应力最大 /MPa	12.1	10.1	5.83	10.9	4.74	5.25	<20.35
主+附正应力最小 /MPa	5.57	3.55	0.49	7.56	1.66	1.89	>0
运梁车正应力最大 /MPa	11.3	10.6	7.3	8.3	4.5	7.6	<29.6
运梁车正应力最小 /MPa	5.2	4.5	3.4	6.3	0.4	2.8	>-2.64

表2 主梁抗裂及强度计算结果

项目	最大剪应力 /MPa	最大主压应力 /MPa	最大主拉应力 /MPa	抗裂安全系数	强度安全系数
主力	3.09	12.30	-1.46	1.35	2.35
主+附	3.15	12.94	-1.63	1.30	2.23
运梁车	2.52	13.7	-1.1	1.38	2.28

3.1.2 主梁挠度

双线静活载作用下, 边跨挠度值为 14.6 mm, 为边跨的 1/5 205, 小于 $L/1\ 400 = 54.3$ mm。中跨挠度值为 24.3 mm, 为中跨的 1/5 597, 小于 $L/1\ 400 = 97.1$ mm。ZK 静活载作用下, 梁端转角为 0.7‰, 小于 2‰, 梁的徐变上拱值应严加控制。线路铺设后, 梁的徐变上拱值为 7.8 mm, 小于 20 mm, 均满足规范要求。

3.2 拱肋

运营情况下计算结果见表 3。恒载、静活载及其他荷载作用下,拱肋面外稳定。一阶线弹性屈曲系数为 10.6,二阶线弹性屈曲系数为 13.0,三阶线弹性屈曲系数为 10.94,四阶线弹性屈曲系数为 12.30,五阶线弹性屈曲系数为 13.51。面内稳定安全系数计算值为 5.45,均满足规范要求。

表 3 钢管混凝土拱肋计算结果 单位:MPa

项目		混凝土应力		钢管	
		上缘	下缘	上缘	下缘
主力	最大	9.10	9.41	93.7	122.7
	最小	0.03	1.79	19.3	43.2
主+附	最大	10.34	11.55	119.7	140.9
	最小	-0.97	0.64	-5.2	23.5
运梁车	最大	6.45	9.48	93.5	121.4
	最小	-1.20	0.55	4.44	30.1

3.3 吊杆

在主力作用下,吊杆最大拉应力为 320 MPa,最小拉应力为 90 MPa。在主力+附加力作用下,吊杆最大拉应力为 355 MPa,最小拉应力为 68 MPa。在运梁车作用下,吊杆最大拉应力为 254 MPa,最小拉应力为 45 MPa。强度安全系数 K 大于 2.5,活载作用下吊杆的最大应力幅为 129 MPa。

3.4 横向受力计算

主梁横向受力分无吊杆区和有吊杆区开展^[11-12]。无吊杆区沿纵向取单位长度主梁简化成腹板底端支承的横向框架模型计算。有吊杆区域沿桥纵向取吊点横梁翼缘板的有效宽度,简化成腹板下缘支承的框架,吊点处加竖向集中荷载计算。

4 桥梁景观设计

苏南运河运量大、船舶密度高,镇江水上运河服务区是苏南运河水运行业形象的重要窗口,是航道上一道亮丽的风景线。高铁是中国的一张亮丽名片,高铁桥梁建设需要结合周围环境和桥梁自身特点形成人文造景。桥梁景观设计主要研究了如下内容:

(1)桥梁是单方向延伸结构,采用连续梁拱结构,线条流畅,变化丰富,轻盈优美,体量与环境协调。

(2)连续梁拱钢管拱、横撑、斜撑和吊杆锚箱的涂装颜色采用孔雀蓝,桥梁色彩与蓝天、碧水浑然一体。

(3)结合运河文化特点,以船帆和波浪为要素,桥梁栏杆采用点缀景观栏片+波形栏片,形成千帆竞渡、乘风破浪的动感意象和美好寓意。

铁路运营后桥梁现场照片如图 6 所示。



图 6 跨越京杭运河水上服务区连续梁拱实景

5 结 语

(1)连锁高铁采用连续梁拱跨越镇江京杭运河水上服务区桥梁跨越能力大,结构高度低,“先梁后拱”施工,桥面加宽满足运梁通道施工工期,确保了全线关键控制节点的顺利实施。

(2)连续梁拱的拱肋分担了部分恒载和活载,有效地降低了主梁截面高度,动力性能和竖向刚度都较好,能适应高标准铁路桥梁建设的需要。

(3)通过本桥连续梁拱的工程应用,将高铁桥梁与京杭大运河水上服务区成功融合。桥梁景观设计和建设反映了地域特色和时代特色。

参考文献:

[1] 张永生.高速铁路(100+200+100)m 连续梁拱拱肋拼装施工技术[J]铁道建筑技术,2019(4):61-70.

[2] 肖亮.高铁大跨径梁拱组合桥吊杆测试技术研究[J]铁道建筑技术,2019(10):72-81.

[3] 曹进.高速铁路连续梁拱组合桥拱部施工技术研究[J]铁道建筑,2014(3):24-26.

[4] 李红英.客运专线(76+160+76)m 连续梁拱拱肋架设施工技术[J]铁道建筑,2011(11):13-15.

[5] 刘忠平,陈克坚,陈扬义.铁路大跨度连续梁拱组合桥结构参数研究[J].铁道标准设计,2016(5):42-47.

[6] 李艳,王江波,牛远志,等.高速铁路大跨连续梁-拱组合结构抗震性能研究[J].铁道标准设计,2020(5):67-70.

[7] 戴公连,唐立新,汪禹.大跨度铁路连续梁拱组合桥的合理边中跨比研究[J].铁道科学与工程学报,2015(8):829-832.

[8] 杨善奎,袁铭,鄢勇,等.铁路客运专线连续梁-拱组合结构设计[J].铁道工程学报,2013(2):48-52.

[9] 高喆.施工过程中连续梁拱组合桥受力特性研究[J].结构工程师,2019(10):217-222.

[10] 魏洪山.徐盐高铁跨徐沙河(100+200+100)m 连续梁拱施工技术探讨[J].铁道勘察,2012(3):115-120.

[11] 王法武.京杭运河特大桥连续梁拱组合结构设计[J].城市道桥与防洪,2012(9):83-85.

[12] 刘忠平,袁明,刘瑶.铁路大跨连续梁-拱组合桥主梁横向受力研究[J].钢结构,2017(9):47-51.