

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.01.023

钢-UHPC组合梁在大跨径桥梁中的设计与应用分析

沈理斌¹, 刘晓鉴²

[1.嘉兴市快速路建设发展有限公司, 浙江 嘉兴 314000; 2.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 嘉兴市市区快速路环线工程跨越京杭大运河地面老桥(龙凤桥)拟采用钢-UHPC组合梁方案, 与常规的预应力混凝土连续梁、波形钢腹板连续梁和系杆拱桥方案在经济性、施工方案和耐久性方面进行对比分析。结果表明, 钢-UHPC组合梁在大跨径桥梁工程中具有较显著的优势和良好的应用前景。

关键词: 桥梁工程; 超高性能混凝土; 组合梁; 经济性

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)01-0098-04

0 引言

钢-混组合梁桥近几年在城市桥梁中获得了广泛应用, 具有跨越能力大、建筑高度小、抗震性能好及施工快捷等优点^[1]。钢-混组合梁桥可以充分发挥钢材和混凝土两种材料的性能优势, 但其负弯矩区混凝土桥面板的开裂问题是设计需要关注的重点^[2]。

UHPC 是一种高强度、高韧性、耐久性强的水泥基材料, 抗拉强度达到 7~10 MPa 以上, 临界开裂应变超过 $1\,000 \times 10^{-6}$ [3-4]。钢-UHPC 组合梁是通过焊钉将 UHPC 桥面板与钢梁连接成整体, 利用 UHPC 优异的力学性能, 钢-UHPC 组合梁可以实现较薄、较轻的桥面板构造, 有效降低上部结构自重和下部基础工程量, 提高负弯矩区桥面板的抗拉强度, 提高结构耐久性和桥梁的跨越能力等。

本文以嘉兴市市区快速路环线工程跨京杭大运河地面老桥(龙凤桥)为工程背景, 介绍了钢-UHPC 组合梁方案的设计要点, 并与预应力混凝土连续梁、波形钢腹板连续梁和系杆拱桥方案进行了对比分析。结果表明, 钢-UHPC 组合梁方案在类似百米跨径桥梁工程中具有良好的跨越性能, 展示了良好的应用前景。

1 桥梁设计方案

1.1 工程概况

嘉兴市市区快速路环线工程采用高架桥梁形式, 双向 6 车道, 利用现状中分带立墩。在中环西路

跨越地面老桥龙凤桥, 老桥全长 225 m, 桥宽 56.5 m, 跨径为 $3 \times 20\text{ m} + 3 \times 35\text{ m} + 3 \times 20\text{ m}$, 上部结构采用预应力混凝土 T 梁, 下部结构采用排架式桥墩, 桩柱式桥台, 桩基采用 1.2 m、1.5 m 钻孔灌注桩(见图 1)。

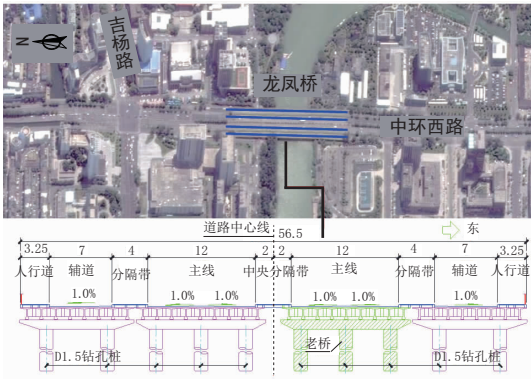


图 1 龙凤桥现状平面和横断面(单位:m)

1.2 技术标准

(1) 汽车荷载: 城-A 级。

(2) 桥梁宽度: 0.5 m(防撞墙)+ 11.75 m(机动车道)+ 0.5 m(分隔墩)+ 11.75 m(机动车道)+ 0.5 m(防撞墙)=25.0 m。

(3) 环境类别: I 类。

(4) 设计使用年限: 100 a。

1.3 桥梁总体布置

桥位处为老京杭运河, 主干河道, 规划为 VI 级航道, 河口宽度约 80 m, 通航净宽不小于 22 m。由于龙凤桥老桥已有 2 个水中墩, 为减小阻水率, 水利部门要求新建高架桥尽可能不设水中墩。另外, 京杭运河为世界文化遗产, 文化部门要求尽可能一跨过河; 桥墩桩基应避让老桥桩基, 且最小桩间距不小于 $2.5d$, d 为桩基直径。最终桥梁选择一跨过河方案, 且避让

收稿日期: 2023-02-19

作者简介: 沈理斌(1977—), 男, 本科, 高级工程师, 从事公路桥梁工程管理工作。

驳岸,桥墩边缘距驳岸净距不小于 5 m,总体布置见图 2。

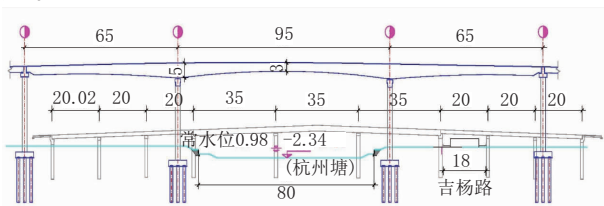


图 2 龙凤桥主桥总体布置(单位:m)

1.4 钢-UHPC 组合梁方案

考虑合理受力配跨,钢-UHPC 组合梁跨径布置为 65 m + 95 m + 65 m,采用变高度连续梁设计,支点梁高 5 m,跨中梁高 3 m,梁高按二次抛物线变化。组合梁采用多箱单室结构,共由 4 片箱梁组成。桥面板采用 6 cm 的 UHPC,以减轻上部结构重量、增大桥面板刚度,同时避免钢桥面板疲劳问题。下部结构采用大挑臂预应力混凝土盖梁,矩形截面立柱,矩形承台,钻孔灌注桩基础。施工采用钢梁分段工厂预制,现场组拼后节段拼装,主桥合龙后浇筑 UHPC 组合桥面板。

(1)组合梁断面设计。组合梁的钢梁可采用 I 形钢板梁、闭口钢箱梁或开口槽型梁截面形式,中小跨径组合梁多采用 I 形钢板梁或开口槽型梁。本桥跨径较大,为增加主梁的抗弯和抗扭整体性,采用闭口钢箱梁截面形式,详见图 3。

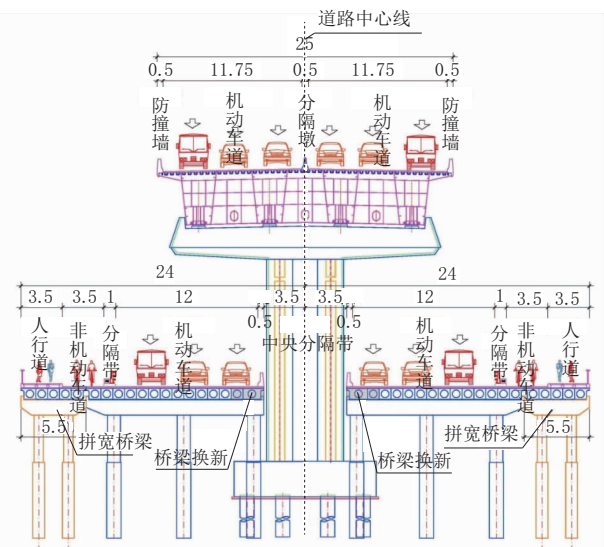


图3 钢-UHPC组合梁横断面(单位:m)

(2)钢梁设计。25 m 标准桥宽横向由 4 片箱梁组成,梁距 6.0 m,中间采用横梁连接,横梁间距 10.5 m。钢梁顶板满铺,宽度 24.7 m,板厚 12~16 mm,采用 U 型加劲肋。底板标准宽度 2 150 mm,板厚 20~30 mm,采用一字加劲肋。

(3)UHPC 桥面板设计。UHPC 桥面板厚 60 mm,

其上摊铺 40 mm 厚沥青混凝土磨耗层,UHPC 桥面板与钢梁采用剪力钉连接,剪力钉型号 $\phi 10 \times 40$ 。UHPC 桥面板内布置纵横向钢筋,直径 16 mm,间距 100 mm。钢-UHPC 组合梁方案效果见图 4。



图 4 钢-UHPC 组合梁方案效果

1.5 预应力混凝土连续梁方案

跨径布置与钢-UHPC组合梁相同,为65 m+95 m+65 m。上部结构采用单箱多室变高度连续梁,支点梁高5 m,跨中梁高2.6 m,按二次抛物线变化,箱梁采用单箱三室断面。下部结构采用双柱式墩,钻孔灌注桩基础。立柱顶端采用扩大头设计,以增大横梁支座间距,造型上与主梁顺接(见图5)。采用悬臂浇筑施工方案。

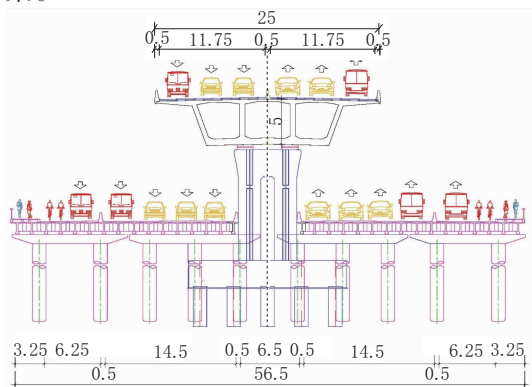


图 5 预应力混凝土连续梁断面(单位:m)

1.6 波形钢腹板连续梁方案

跨径布置采用 65 m+95 m+65 m, 上部结构采用单箱多室变高度连续梁, 支点梁高 5.5 m, 跨中梁高 2.8 m, 按二次抛物线变化(见图 6)。波形钢腹板采用 1600 型波形钢板, 现浇节段长度取 3.2 m 和 4.8 m 两种。箱梁采用混凝土横隔板, 板厚 0.5 m, 间距 8~10 m。波形钢腹板与混凝土顶、底板之间均采用双 PBL 开孔板的连接方式, 采用以波形钢板作为施工支架的 SCC 施工法。

1.7 系杆拱桥方案

系杆拱采用钢梁钢拱方案,跨径为 95 m,两边接线采用小箱梁。主梁采用双边箱结构,箱室宽度与拱肋保持一致,两箱室中心距为 27.1 m。标准横梁采用

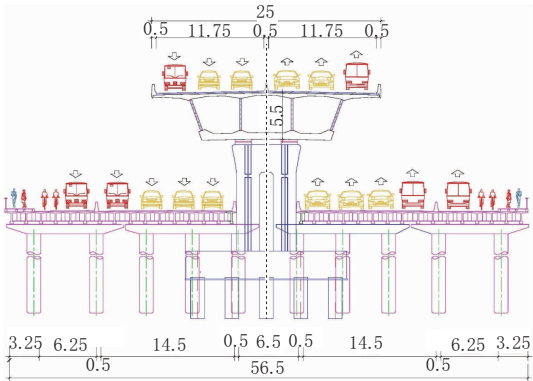


图6 波形钢腹板连续梁断面(单位:m)
工字形断面,横梁间距6 m,与拉索间距保持一致。采用先梁后拱施工方法,先在河中搭设2个临时墩,施工主梁和横梁;主梁架设完毕后,在梁上架设钢拱。
系杆拱桥方案效果见图7。



图7 系杆拱桥方案效果

2 钢-UHPC 组合梁方案分析

2.1 经济性分析

本文分别对相同跨径和技术标准的钢-UHPC组合梁、预应力混凝土连续梁、波形钢腹板连续梁和系杆拱桥方案的经济性进行分析,结果见表1。从中可以看出,与预应力混凝土连续梁相比,钢-UHPC组合梁方案综合单价增加约12%,波形钢腹板连续梁方案综合单价增加约8%,系杆拱桥方案综合单价增加约6%。由此可见,钢-UHPC组合梁方案具有良好的经济优势。

从表1可以看出,预应力混凝土连续梁自重最大,约为钢-UHPC组合梁的3倍,导致其基础体积大,需拆除的地面老桥的T梁数增加,增大了地面桥拆除工作量和造价。由于体外预应力和波形钢腹板的单价较高,波形钢腹板连续梁上部结构造价比预应力连续梁方案略高,下部结构造价相当。系杆拱方案没有配跨,单位面积造价与混凝土连续梁相当。钢-UHPC组合梁方案上部结构自重最小,基础体量和地面桥拆除改建工程量最小,综合造价更显优势。

2.2 施工方案分析

龙凤桥是快速路环线的控制性工程,其施工进

表1 方案经济比选表

方案名称	钢-UHPC 组合梁		预应力混凝土连续梁		波形钢腹板组合梁		系杆拱桥	
	每平方米 用量	每平方米 单价 / 元	每平方米 用量	每平方米 单价 / 元	每平方米 用量	每平方米 单价 / 元	每平方米 用量	每平方米 单价 / 元
C50 或 UHPC/m ³	0.06	360	0.9	2 700	0.85	2 550	0.85	2 550
上部 结构	预应力筋 /kg	0	65	975	50	750	35	525
	钢材 /kg	500	0	0	90	1 080	115	1 380
	运输吊装 /kg	656	2 405	361	2 350	353	2 360	354
	小计			4 036		4 733		4 809
下部 结构	盖梁 /m ³	0.10	0.00	0	0	0	0.05	125
	立柱墩身 /m ³	0.10	0.20	500	0.20	500	0.05	125
	承台 /m ³	0.16	0.25	625	0.20	500	0.21	525
	桩基 /m ³	0.50	0.65	1 625	0.65	1 625	0.65	1 625
	小计			2 750		2 625		2 400
施工周期	12 个月		18 个月		16 个月		14 个月	
综合单价/(元·m ⁻²)	7 608(112%)		6 786(100%)		7 358(108%)		7 209(106%)	

注:上部结构普通混凝土(含钢筋)3 000 元 /m³、配筋 UHPC 6 000 元 /m³、钢材 10 000 元 /t、预应力筋 15 000 元 /t、运输吊装 150 元 /t。
下部结构混凝土(含钢筋)2 500 元 /m³。

度决定了整个项目的竣工时间,所以宜选择工期较短的施工方。预应力混凝土连续梁为常规桥梁,施工工艺成熟,但其悬臂施工需逐节段浇筑,施工周期长。波形钢腹板连续梁采用 SCC 施工方法,施工周期与悬浇混凝土梁相当,但其景观效果与文物保护要求不大一致。系杆拱桥方案采用先梁后拱的施工方

法,施工期间对航道、河道行洪有一定影响,施工工序繁杂,对施工技术要求最高。

钢-UHPC 组合梁方案可以实现工厂预制,现场拼装,上、下部结构同步施工,施工周期最短。综合考虑工期要求、河道行洪、通航、老桥改建、地面交通、抗震性能、景观要求等因素,最后选定钢-UHPC 组

合梁为本工程推荐方案。

2.3 耐久性分析

已有工程实践表明,大跨径预应力混凝土连续梁桥在服役期易出现箱梁裂缝、竖向预应力失效和主梁挠度持续增大等病害,影响结构的正常使用性能和使用寿命^[8]。波形钢腹板连续梁可以解决大跨径混凝土连续梁桥的腹板开裂问题,提高腹板抗剪性能和结构耐久性。

UHPC 材料结构致密,氯离子等有害物质难以通过毛细孔进入混凝土内部,提高了抵抗有害物质侵袭的能力,钢结构的防腐技术^[5-7]也已经相对成熟,因此钢-UHPC 组合梁与预应力混凝土连续梁和波形钢腹板连续梁相比,在耐久性方面具有较大优势。

3 结 论

本文以嘉兴市市区快速路环线工程跨越京杭大运河地面老桥(龙凤桥)为例,介绍了钢-UHPC 组合梁方案的设计要点,并与预应力混凝土连续梁、波形钢腹板连续梁和系杆拱桥方案进行了对比,最终决定采用钢-UHPC 组合梁方案。同时得到如下主要结论:

(1)钢-UHPC 组合梁方案上部结构自重轻,下部

结构规模小,地面桥拆除改建工程量小,在经济性方面具有良好的竞争优势。

(2)钢-UHPC 组合梁方案可以实现工程全预制,吊装重量轻,实现快速化架设。

(3)钢-UHPC 组合梁方案可避免传统组合梁负弯矩区混凝土易开裂的风险,UHPC 材料内部致密,耐久性良好,可大幅减少结构后期维护。

参考文献:

- [1] JTG/T D64-01—2015,公路钢混组合梁设计与施工规范[S].
- [2] 聂建国.钢-混凝土组合结构桥梁[M].北京:人民交通出版社,2011:134.
- [3] 邵旭东.钢-超高性能混凝土轻型组合桥梁结构[M].北京:人民交通出版社,2015.
- [4] 刘新华,周聪,张建仁,等.钢-UHPC 组合梁负弯矩区受力性能试验[J].中国公路学报,2020,33(5):110-121.
- [5] 赵明,何湘峰,邱明红,等.全预制钢-UHPC 轻型组合梁在中小跨径桥梁中的设计与应用研究[J].公路工程,2019,44(5):63-66.
- [6] 李志锋,何湘峰,赵旭东,等.装配式钢-UHPC 轻型组合梁设计与整体受力分析[J].公路工程,2021,46(1):98-102.
- [7] 邓舒文.全预制钢-UHPC 轻型组合桥梁设计方法研究[D].长沙:湖南大学,2020.
- [8] 王磊.大跨度预应力混凝土连续刚构桥的病害成因分析及处理[J].工程与建设,2022,36(3):718-720.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com