

一种梁拱组合的结构设计 ——以某七孔桥为例

董东坡, 高 飞

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610213)

摘 要: 以秦皇河国家湿地生态提升工程中某七孔桥为例, 提出一种新型的梁拱组合结构思路, 拱作为连续梁桥墩, 拱顶设置支座, 称之为拱墩连续梁, 此结构可完美实现连拱桥景观效果, 且梁拱分离, 受力明确清晰, 便于施工, 是一种合理可用的新型的梁拱组合体系, 总结该桥的结构设计及构造细节, 通过建立计算模型, 分析了3种梁拱组合方案, 并最终确定新型梁拱组合方案, 对于景观连拱桥的设计提供技术借鉴。

关键词: 桥梁工程; 景观桥; 连拱桥; 梁拱组合结构; 拱形桥墩

中图分类号: U445

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)01-0119-04

Design of a Beam-arch Composite Structure for a Seven-span Bridge

DONG Dongpo, GAO Fei

(Southwest Design and Research Institute of China Municipal Engineering Co., Ltd., Chengdu 610213, China)

Abstract: Taking a seven-span bridge of the Qinhuanghe National Wetland Ecological Improvement Project as an example, a new idea of beam-arch composite structure is proposed. The arch is a continuous beam pier and the support is set at the vault, which is called as the arch-pier continuous girder. This structure can perfectly realize the landscape effect of the continuous arch bridge, the beam and arch are separated, and the force is clear. This structure is convenient for construction, which is a reasonable and usable new type of beam-arch combination system. The structural design and construction details of this bridge are summarized. The calculation model is established to analyze three beam-arch composite schemes, and finally, the new beam-arch composite scheme is determined, which provides the technical reference for the design of landscape continuous arch bridges.

Keywords: bridge engineering; landscape bridge; continuous arch bridges; beam-arch composite structure; arched pier

0 引 言

多孔连拱桥线形优美和谐, 是公园景区的一道美丽的风景, 与园林山水相互衬托, 增强了园林景观的整体效果, 起着连接景点、导游及点缀风景的作用。传统拱桥多为上承式实腹拱桥, 拱圈上设置侧墙, 填筑轻质填料, 风格古朴, 厚重大气。近年景观桥梁轻盈通透风格渐为流行, 多采用空腹拱桥, 为梁拱组合结构。梁拱组合结构常见梁拱结合及梁拱分离两种, 本文以秦皇河国家湿地生态提升工程某七孔桥为例, 探讨研究一种适用于景观连拱桥的梁拱组合结构新思路。

收稿日期: 2023-12-03

作者简介: 董东坡(1983—), 男, 本科, 高级工程师, 从事桥梁工程设计工作。

1 工程概况

秦皇河国家湿地生态提升工程, 黄河植物园修规总面积 7.8 km², 包括核心修规区及南海区, 其中核心修规区 5.2 km²。以“一镇一带五区十六景”为总体结构, 对整体植物园生态景观体系, 植栽系统, 水系水生态, 出入口及道路系统, 游船线路及码头布置, 园区污水系统, 堆坡造型及视线控制, 企业家小镇、植物园配套公服设施等做了总体修规控制。

2 桥梁总体设计

桥梁为本项目新建桥梁工程中的子项目, 桥名七孔桥, 本桥跨度为 (7.5+8.2+9.3+10.35+10.35+9.3+8.2+7.5)m 连拱桥。桥梁全长 93 m, 宽 7.0 m。

本桥拱肋结构复杂, 梁体轻盈(见图1), 为保证景观效果, 采用钢结构, 拱脚固结于桥墩, 桥墩采

用混凝土结构,钢混结合处位于设计洪水位以上 50 cm,确保钢结构拱肋耐久性不受河水影响。桥梁上部结构采用等截面钢板梁结构,下部结构采用钢箱拱肋,桥台采用重力式桥台,基础均采用桩基础。



图1 桥梁效果图

3 桥梁结构设计

3.1 上部结构设计

桥梁上部结构采用等截面钢板梁,梁高为 0.5 m,桥面宽 7.0 m,桥面板板厚为 16 mm,主纵梁腹板板厚 16 mm,下翼缘板板厚 28 mm,边纵梁腹板板厚 12 mm,下翼缘板板厚 16 mm,横梁腹板板厚 16 mm,下翼缘板板厚 28 mm,横梁纵向间距 1.5 m 布置。

3.2 下部结构设计

本桥下部结构采用 7 孔钢箱拱,拱跨布置为 (7.5+8.9+9.7+11+9.7+8.9+7.5) m,每孔由 8 片拱肋构成;钢箱拱肋高 0.5 m,板厚 16 mm,拱肋安装完成后浇筑钢纤维混凝土后浇带,桥台采用重力式桥台,台帽采用 C40 混凝土。本桥基础均采用钻孔桩基础,桩基直径均为 1.2 m,桩基础采用 C35 水下混凝土。

3.3 主要构造细节

考虑本桥墩拱矢跨比较大,拱脚推力较小,主要承受竖向荷载,钢结构拱脚与钢筋混凝土桥墩预埋钢板焊接,桥墩四周设置加劲肋。为美观及拱脚保护,拱脚设置后浇带钢纤维混凝土保护,将加劲肋埋入钢筋混凝土桥墩(见图2)。拱顶处拱肋连接成整体,顶拱设置钢垫石,垫石内填充 C40 微膨胀混凝土(见图3)。

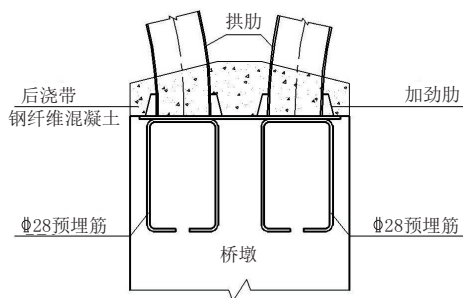


图2 拱脚构造细节

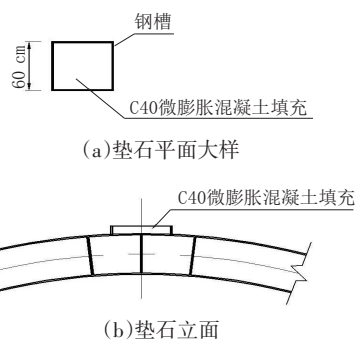


图3 拱顶构造细节

4 计算模型及方案论证

4.1 计算荷载

4.1.1 自重

混凝土结构自重:钢筋混凝土容重取 26 kN/m^3 ,结构自重根据单元体积由程序自动计算,自重乘以 1.04 系数。混凝土收缩和徐变按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3363—2018)取值。

4.1.2 二期恒载

二期恒载的线集度为 8 cm 沥青混凝土铺装厚度+ 10 cm 混凝土铺装厚度,按实际的桥面宽度取值,沥青容重取 24 kN/m^3 ,混凝土容重取 24 kN/m^3 ;人行道栏杆及装饰 10 kN/m (双侧)。

4.1.3 温度

均匀温度变化按整体升温 20°C ,整体降温 25°C 考虑。梯度温度:参照英国规范 BS-5400 的规定来计入竖向温度梯度的影响。计算中梯度保守按 40 mm 厚度值取值。即 $T_1=24^\circ\text{C}$, $T_2=14^\circ\text{C}$, $T_3=8^\circ\text{C}$, $T_4=4^\circ\text{C}$, $T_5=6^\circ\text{C}$ 。

4.1.4 移动荷载

人群荷载 5 kN/m^2 ,人群按满载加载。

4.2 计算模型

本项目桥梁计算采用有限元分析软件 MIDAS Civil 建立桥梁整体模型进行结构计算。采用 MIDAS Civil Designer 对桥梁进行设计分析,并以《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)为标准,对钢结构和钢筋混凝土结构进行验算。计算模型节点数量 2 220 个,单元数量 2 444 个,模型如图 4 所示。

4.3 结构方案

根据景观效果需求,本桥为梁拱组合结构,如图 5 所示,梁拱组合常采用方案有两种。

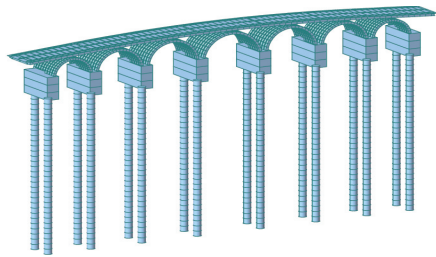


图4 全桥整体计算模型

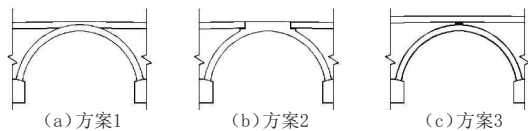


图5 梁拱组合方案示意

方案1:梁拱刚接,此方案又称为拱形连续梁,受力类似刚构桥。本方案桥面连续,但是墩梁固接处应力集中,受力复杂,对结构不利。

方案2:空腹区主梁与实腹区主梁分离,设置简支挂梁,本方案受力明确,计算简单,但是梁体断缝

较多,伸缩缝处处理不好,容易产生病害。

结合方案1、2两种结构的体系的对比分析研究,本桥采用了一种新型的梁拱组合体系,即方案3,该方案以拱为墩,拱顶设置支座,桥面连续,为多跨连续梁。方案3拱梁分离,受力明确清晰,不需要考虑梁拱组合作用,易于计算分析,避免了应力集中需要的局部复杂设计。梁体连续,整体性好,结构断缝及伸缩缝少,便于施工及维护保养,我们称之为拱墩连续梁。

4.4 3种方案包络组合下内力效应

根据3种方案,在MIDAS整体模型分别采用3种边界条件,方案1为拱梁刚性连接,方案2梁体断开,梁体分段处分别设置弹性连接,用弹簧模拟支座,方案3梁体连续,在拱顶与梁体进行弹性连接,模拟支座。3种方案分别计算梁体及拱圈内力进行对比,结果如表1所列。

表1 3种方案内力对比

单位: kN·m

方案	梁体		拱圈		基础	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小
方案1	512 支点	-455 支点	267 拱顶	-223 拱顶	2 626 桩顶	-2 475 桩顶
方案2	456 跨中	-4.6 支点	125 拱顶	-114 拱脚	1 342 桩顶	-768 桩顶
方案3	470 跨中	-449 支点	195 拱顶	-128 拱脚	1 516 桩顶	-797 桩顶

由表1内计算结果对比可知:方案1墩梁刚接受力复杂,拱圈、梁体及基础内力最大,受力不够合理;方案2,拱梁分离,挂梁简支,拱圈、梁体及基础内力最小,受力清晰合理;方案3结构受力效应介于方案1和方案2之间。方案2、3拱梁分离,受力清晰合理,均有较好的改善作用,但方案2梁体断缝较多,两向对比,方案3为最优选择。

5 主要计算结果

5.1 拱肋应力计算

如图6所示,基本组合作用下:拱肋最大弯曲应力为69.0 MPa,小于Q345强度设计值275 MPa,满足规范要求。

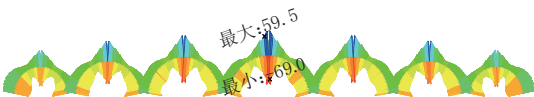


图6 拱肋弯曲应力包络图(单位:MPa)

如图7所示,最不利工况下单元最大剪应力为10.6 MPa,小于Q345设计剪应力值160 MPa,满足规范要求。

5.2 梁体应力计算

如图8所示,在基本组合作用下:梁体最大弯曲

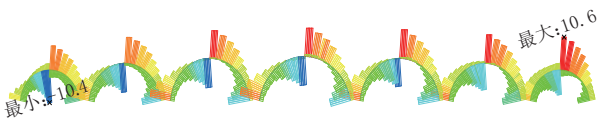


图7 拱肋剪应力包络图(单位:MPa)

应力为85.8 MPa,小于Q345强度的设计值275 MPa,满足规范要求。

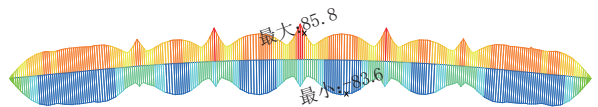


图8 梁体弯曲应力包络图(单位:MPa)

如图9所示,最不利工况下单元最大剪应力为33.8 MPa,小于Q345设计剪应力值160 MPa,满足规范要求。

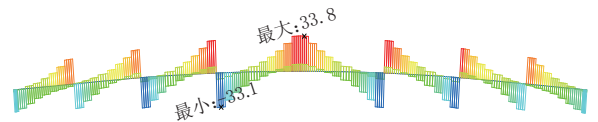


图9 梁体剪应力包络图(单位:MPa)

5.3 自振频率计算

恒载作用下桥梁结构的竖向自振频率反映了结构固有的动力特性,是衡量人行天桥人行舒适度的重要指标,根据计算结果,桥梁第一阶竖向自振频率为4.27 Hz,大于规范要求3 Hz,满足规范要求。该桥

第一阶竖向自振振型如图10所示。

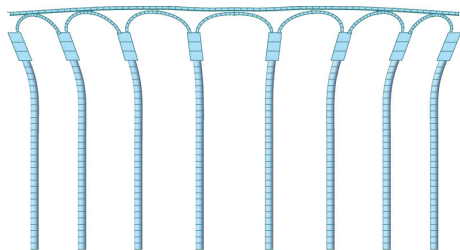


图10 第一阶竖向自振

6 主要施工顺序

施工阶段共分如下6步。

- (1)第1阶段:完成桩基、拱座及桥台施工;
- (2)第2阶段:拱座上完成钢拱肋安装;
- (3)第3阶段:浇筑拱座后浇带钢纤维混凝土,焊接拱肋顶部横向联系,焊接并浇筑拱顶支座垫块;
- (4)第4阶段:拱座上搭设临时支墩;
- (5)第5阶段:根据施工组织安排,将各段预制钢梁单元运至施工现场,吊装至事先搭设好的临时支墩上,经测量人员精确定位并确保符合设计线型后焊接;
- (6)第6阶段:桥面铺装,伸缩缝及其余附属设施施工。

7 结 语

本桥采用钢筋混凝土桥墩+钢结构拱肋+连续钢板梁组合,以拱为墩,较为完美地实现了景观方案效果(见图11)。桥梁结构方案合理,拱、梁、桥墩的计算结果,强度、刚度、应力水平均满足相应规范要求。



图11 桥梁实景效果图

拱墩连续梁,以拱为墩,拱梁分离,梁体连续,作为一种新型的梁拱组合结构,受力清晰合理,计算简单,且断缝较少,能够较好呈现连拱景观桥的效果,是一种适用于小型景观连拱桥的优秀结构形式,具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 刘洪进. 浅谈景观拱桥的设计[J]. 城市道桥与防洪, 2012(8): 209-210.
- [2] 倪建. 城市多孔小跨径景观拱桥结构设计[J]. 城市道桥与防洪, 2015(8): 68-70.
- [3] JTG D64—2015, 公路钢结构桥梁设计规范[S].

《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

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadfloodbridge@163.com

