

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S2.008

十里河滩景观桥桥型结构优化设计研究

杜 斌¹, 赵人达², 严允中³, 杨香琴⁴

(1. 贵州大学 土木建筑工程学院, 贵阳 550003; 2. 西南交通大学 土木工程学院, 成都 610031;
3. 中交公路规划设计院有限公司, 贵阳 550002; 4. 贵州顺康路桥咨询有限公司, 贵阳 550002)

摘 要:贵阳市花溪区十里河滩七驾车景观桥为上承式钢筋混凝土箱形坦拱桥, 设计过程中对常规拱桥方案与少推力拱桥方案进行比选, 结合特殊的地形、地质条件, 最终选择了基础开挖较小、经济性好、结构合理的少推力拱桥方案, 利用边斜杆与承台固结, 形成自由悬臂端的方法较好的解决了拱脚较大的水平推力, 通过建立结构有限元计算模型, 对其动静力性能进行分析, 结果表明, 少推力拱的受力性能良好, 经济可行, 外形美观, 与景区环境较为协调。

关键词:拱桥; 重力式基础; 桩基础; 水平推力; 优化设计

中图分类号: U442.54 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2013)S2-0033-03

Research of Structure Optimization Design for Ten Mile River Landscape Bridge

Du Bin¹, Zhao Renda², Yan Yunzhong³, Yang Xiangqin⁴

(1. Guizhou university, College of Civil Engineering, Guiyang 550003, China; 2. Southwest Jiaotong University, College of Civil Engineering, Chengdu 610031, China; 3. CCCC Highway Consultants co., LTD Guizhou, Guiyang 550003, China; 4. Guizhou ShunKang Road and Bridge Consulting Co., LTD Guizhou, Guiyang 550003, China)

Abstract: Guiyang Huaxi district landscape bridge is seven miles the beach driving bearing type reinforced concrete box arch bridge, the design process of conventional arch bridge solutions with less thrust arch bridge to carry on the comparison, the combination of special terrain, geological conditions, finally chose the foundation excavation is small, economical, reasonable structure, less thrust of arch bridge using edge inclined rod and bearing platform consolidation, forming the free cantilever end method better solve the horizontal thrust at arch feet larger, by establishing the structure finite element model, analyzes the static force performance, the results show that the thrust of arch stress performance good, less economically feasible, beautiful appearance, and the scenic spot environment more harmonious.

Key words: arch bridge ; Gravity type foundation; pile foundation; horizontal thrust; optimal design

景区的桥梁设计师景区建筑规划的一个重要组成部分, 也是桥梁技术与艺术结合的产物, 桥梁所蕴含的美学元素, 是城市景观和谐的统一体^[1-4]。七驾车景观桥位于贵阳市花溪区国家城市湿地公园旅游景区内, 跨越美丽的花溪河。结合景区内独特的地形地质条件, 设计采用净跨 50 m 钢筋混凝土坦拱, 增加边斜杆与承台固结, 形成自由悬臂端的方法较好的解决了拱脚较大的水平推力, 下部结构采用桩基础, 最大限度的减小了基础的开挖, 节省了投资, 保护了环境, 实现了结构与环境的完美融合, 为检验该结构设计的合理性及在经济、技术方面的优势, 从桥型方案、结构特点及关键技术、静力和动力性能等方面对该桥进行了研究。

1 建设条件

1.1 地形地貌

十里河滩是贵阳市非常宝贵的城市湿地, 拥有众多的珍

惜动植物资源, 拟建桥位于其中上游, 花溪大道南段左侧, 交通较方便, 场区为丘陵、岩溶地貌, 局部地段为峰丘洼地, 河溪发育。峰脊谷地相间, 地势较高处基岩部分裸露, 植被较发育, 在峰谷、坡脚及沟洼地带为第四系残积土所覆盖, 厚度较大, 主要为回填土和冲洪积砂土, 呈松散可塑状态。岩体为三叠系中统花溪组(T2h)泥质白云岩, 埋深为至地面以下 5 m~20 m。

1.2 主要技术标准

- 1) 设计荷载: 公路 II 级。
- 2) 人群荷载: 5.0 kN/m²。
- 3) 桥面宽度: 0.5 m(栏杆) + 5.0 m(电动观光车道) + 0.5 m(栏杆), 桥面全宽 5.5 m。
- 4) 设计使用年限: 100 年(主体结构)。
- 5) 抗震设防标准: 设计基本地震加速度值 0.05 g, 地震设防烈度 6 度。

收稿日期: 2013-09-30

基金项目: 贵州大学引进人才科研项目, 贵大人基合字(2010)005 号

作者简介: 杜斌(1982-), 男, 博士, 副教授, 主要从事桥梁结构理论、大跨度桥梁施工控制方面的教学、科研与生产工作, (E-mail) bin-du1982@163.com。

2 桥型方案研究

2.1 常规拱桥方案

十里河滩是贵阳市宝贵的城市湿地,作为组成公园园区风景重要要素的桥梁,既要有分割水面与造景的作用,又起到连接和及导游功能,不仅要满足可供行人和车辆通行的交通功能,其自身亦应造型优美,富于美感,并与环境想协调,拱桥作为我国具有民族特点的传统桥型,以其优美曲线和刚劲有力的形态,加之其散发的人文情怀,一直备受人们的青睐^[5-7]。结合十里河滩景区的特点,选用如下拱桥方案(图 1)。

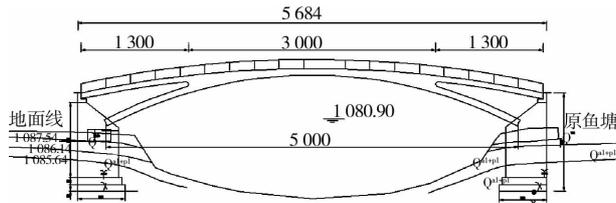


图 1 常规拱桥方案

主拱圈采用 C40 普通钢筋混凝土箱型拱,主拱圈厚 1.1 m,拱轴线为圆弧线,拱轴线半径 52.98 m,跨径 50.0 m,计算矢高 6.27 m,矢跨比 1/8,桥梁全长 56.88 m。主拱圈与桥台固结,行车道箱梁高 80 cm,与桥台简支。桥台为重力式桥台,基础为明挖扩大基础(图 2)。

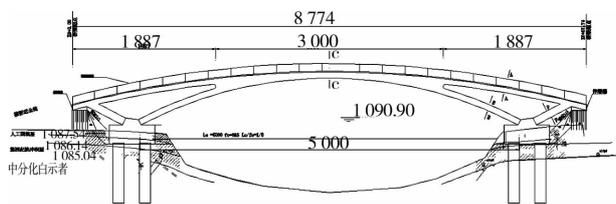


图 2 少推力拱桥方案

2.2 少推力拱桥方案

常规上承式拱桥方案由于矢跨比小,拱脚水平推力大,采用重力式扩大基础,基础埋置深,开挖工程量大,对环境造成的危害大,为此,结合该桥地形地质条件和减小对环境的破坏,对该方案进一步做优化设计,即增加边斜杆与承台固结,梁段形成自由悬臂端,以减小拱脚水平推力,基础形式由以前的重力式扩大基础改为桩基础。

主拱圈采用 C50 普通钢筋混凝土箱型拱,主拱圈厚 0.8 m,计算跨径 50 m,计算矢高 6.25 m,矢跨比 1/8。拱轴线为圆弧线,桥梁全长 67.74 m。上部构造为上承式混凝土坦拱。行车道箱梁高 70 cm,采用 C50 混凝土。主拱圈与承台固结,并在桥梁端部设置边斜杆与承台固结。边斜杆为矩形实心截面,长为 3.5 m,高为 1 m。承台长 6 m,宽 6 m,厚 2.5 m,采用 C30 混凝土。基础采用桩基础,桩径 1.5 m,采用 C30 混凝土。拱圈及车道板在支架上整体现浇;桩基础施工采用机械成孔。

为对两种桥型方案结构计算分析,采用 Midas Civil 有限元程序分别建立了该结构与常规拱桥方案结构的有限元模型,如图 3 所示。

通过计算可知,方案一中拱脚推力较大,重力式扩大基础埋置较深,需进行水下基坑开挖,施工难度较大,工期较

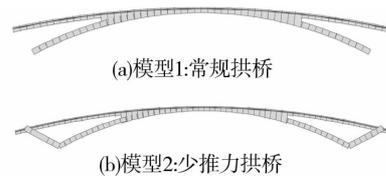


图 3 静、动力计算模型

长,对整个公园景观影响较大,同时计算结果显示,若将主拱圈与承台固结,并在桥梁端部设置边斜杆,可有效地减小拱桥拱脚的推力。

3 少推力拱桥力学特性分析

3.1 静力分析

采用平面杆系程序建立分析模型。模型中考虑了自重、观光电瓶车荷载、人群荷载、均匀温度、温度梯度、混凝土收缩徐变等作用,计算拱的活荷载正弯矩时,自拱顶至 1/4 个截面乘以 0.7 的折减系数,拱脚截面乘以 0.9 的折减系数,拱跨 1/4 至拱脚截面,其折减系数按照直线内插确定。主拱圈按照钢筋混凝土构件设计,设计安全等级为 II 级;拱圈合拢温度为 10~15℃,根据 JTG D60-2004《公路桥涵设计通用规范》中 4.3.10-2 条文,最高有效温度标准值为 34℃,最低有效温度标准值为 -3℃,均匀升温取为 24℃,均匀降温取为 -18℃。箱内外温差按 5℃ 计算,如图 4 所示。

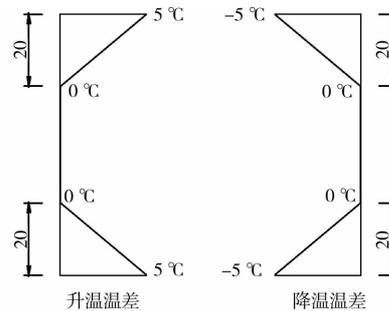


图 4 温度梯度图示(单位:cm)

计算拱圈的温度变化和混凝土收缩影响时,考虑混凝土徐变的影响。作用效应按规范乘以下列系数:温度变化影响力 0.7、混凝土收缩徐变力 0.45,收缩按照 JTG D62-2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》规定计算,计算中不计入徐变。荷载工况均按照 JTG D60-2004《公路桥涵设计通用规范》中第 4.1.6 和 4.1.7 的规定进行组合。按照“均衡、对称”原则,桥梁施工顺序如下:对如下施工过程进行模拟:(1)、对称浇筑主拱圈底板、斜杆;(2)、对称浇筑主拱圈的腹板、顶板;(3)、在已浇筑的主拱圈顶部搭支架浇筑车道板;(4)、施工桥面系;(5)、桥面景观设施(6)、收缩徐变完成阶段;

3.2 计算结果

1) 截面承载能力验算

对拱脚、虎口、拱梁跨中以及斜杆等关键截面进行截面强度计算,结构表明全桥各控制截面强度系数最小为 1.308,大于 1,满足规范要求。

2) 悬臂端截面抗剪承载力验算

悬臂端截面抗剪承载力验算结果如表 1 所示。

表 1 悬臂端截面抗剪承载力验算

验算位置	对应截面	受力性质	组合	Q_d /kN	M_d /(kN·m)	R /kN	截面强度系数 $\xi = R/\gamma_0 Q_d$
悬臂端	35	上拉受弯	最大轴力	41.3	-18.0	-3 310	80.1
		上拉受弯	最小轴力	49.6	-21.6	-3 310	66.7
		上拉受弯	最大弯矩	41.3	-18.0	-3 310	80.1
		上拉受弯	最小弯矩	333.0	-257.0	-33 10	9.9

3)纵向稳定性验算

在施工阶段,拱的纵向稳定性验算时的构件自重效应分项系数取为 1.2,施工时附加的其他荷载效应分项系数应取为 1.4,在使用阶段,拱的纵向稳定性验算的作用分项系数按 JTG D60-2004《公路桥涵通用规范》取用。主拱圈纵向稳定计算长度: $l_0 = 0.36L_a = 18.73$ m;拱圈截面回转半径: $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = 0.268$ 4 m; $l_0/i = 69.80$,查表得 $\varphi = 0.75$;纵向钢筋配筋百分率为 3.65%,大于 3%。取 $A = A_n = A - A'_s = 2.76$ m²。

$$\gamma_0 N_d \leq 0.9 \times 0.75 \times (22.4 \times 10^6 \times 2.76 + 280 \times 105\,000) / 1\,000 = 61\,576.2 \text{ kN}$$

在使用阶段,以承载能力极限状态组合验算,水平力组合设计值为 4 630 kN,根据公式(1),计算得到 $N_d = H_d / \cos\varphi_m = 4\,793.3$ kN,小于正截面抗压承载力设计值 $R = 61\,576.2$,故使用阶段纵向稳定满足规范要求。

3.3 动力分析

将静力分析模型中的结构自重、二期恒载转换为质量即得到动力分析模型。采用 Lanczons 法对结构进行模型前四阶振动频率及主要振型进行计算,计算结果如图 5~8 所示。

整体模型前两阶稳定计算结果如表 2,失稳模态如图 5~8 所示。整体模型的最小稳定系数为 34.9,满足规范对于稳定的要求。

表 2 整体模型动力计算结果

失稳模态	稳定系数	竖向基频	失稳形式
1 阶	34.9	2.50	正对称竖弯
2 阶	58.3	4.37	反对称竖弯
3 阶	96.9	6.21	正对称竖弯
4 阶	111.0	8.89	反对称竖弯



图 5 竖向一阶基频



图 6 竖向二阶基频



图 7 一阶失稳模态空间图



图 8 二阶失稳模态空间图

4 结 论

1)七驾车景观桥位于十里河滩景区内,方案设计将富于民族特点的拱桥与充满中国元素的城市湿地公园景区相结合,达到了理想的效果。

2)常规的上承式箱形坦拱,因拱脚具有较大的水平推力而需要采用重力式扩大基础,开挖工作量大,支护成本高,对环境的影响较大。

3)利用边斜杆与承台固结后,在梁上形成自由悬臂端,减少了主拱圈水平推力,因而可采用桩基础,结合结构分析结果,桥梁静动力特性良好,满足使用要求。

4)文中景观桥设计时,在借鉴已有桥梁设计成功的基础上,进行了一定的创新,既达到了优美的外观,又满足了适用性、安全性和经济性的要求。

参考文献:

- [1] 朱建甫,刘宜丰,何文娟.人型景观拱桥的设计构思与优化[J].四川建筑科学研究,2011,37(2):218-221.
- [2] 黄海新,张颖,刘波等.曲线坦拱桥的模型试验研究[J].铁道工程学报,2010,1(1):33-37.
- [3] 章关永.桥梁结构试验[M].北京:人民交通出版社,2009.
- [4] 刘爱荣,张俊平,赵新生,等.中山一桥模型试验及理论分析[J].中国公路学报,2005(3):75-83.
- [5] 刘世明,赵顺波,李晓克.大跨人行异性斜拉桥静、动力及抗震性能分析[J].桥梁建设,2012(4):45-50.
- [6] 肖雄杰.某异性系杆拱桥空间力学特性分析[J].桥梁建设,2012(1):60-66. 2012(4):45-50.
- [7] 姚玲森.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2008.

(编辑 周 沫)