

多跨钢筋混凝土连续拱桥设计

闫康健

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要:多跨钢筋混凝土连续拱桥以其造型优美的特点,在城市景观桥梁中得到了越来越多的应用。以苏州市吴江区一座 22 孔钢筋混凝土连拱桥为工程背景,分析其结构建模要点、受力特点及设计思路,同时对该桥施工过程中设置止推墩前后工况进行对比分析。结果表明,不平衡推力是影响连续拱桥设计施工的关键因素,通过在施工期间合理设置止推墩,可明显改善施工过程中主拱结构的受力和位移,成桥后全桥的不平衡推力主要由桥台承担,为同类型的钢筋混凝土连续拱桥工程提供了有益的参考。

关键词: 上承式拱桥; 连拱桥; 止推墩

中图分类号:U448.22

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0091-03

0 引言

拱桥造型优美,拱圈采用圆弧、抛物线、悬链线等线型。孔数上有单孔与多孔,单孔拱式桥梁在竖向荷载作用下,支承处不仅有竖向反力,还有水平推力。水平推力使拱体内的弯矩大为减小^[1]。连拱桥在竖向荷载作用下,通过拱上结构及桥墩的变形将荷载从中间孔主拱向两侧传递到其他主拱上,再由墩台将不平衡推力传递至地基。随着跨径增加,不平衡推力问题便愈发突出。

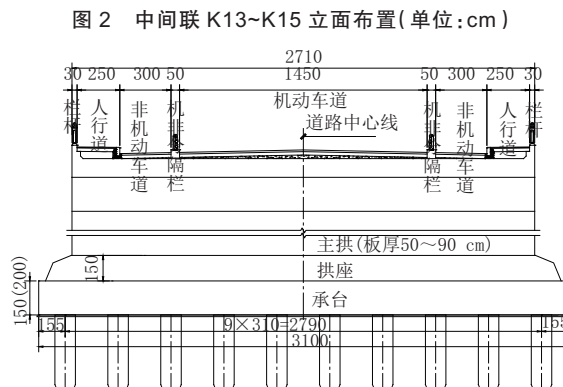
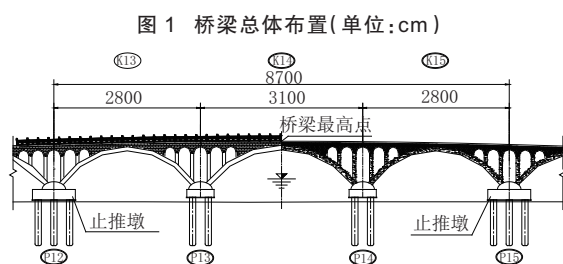
本文以 22 孔连拱桥为研究对象,分析结构建模要点、受力特点及设计思路,研究其施工和成桥后不平衡推力的影响以及改善该力学特性的措施。

1 工程概况

花园路及园明景区堤岸工程花园路新建工程位于苏州市吴江区盛泽镇。规划红梨湖有游船通行需求,设计通航水位为 2.0 m,通航宽度不得小于 15 m,通航净高不得小于 3.5 m。

综合考虑通航需求及景观需求,桥梁方案采用22孔钢筋混凝土空腹式圆弧线连拱桥,连续跨越新开河和红梨湖。著名的宝带桥位于苏州,作为一种古典的桥型,拱桥方案与当地历史文化也较协调。桥梁全长457.3 m,跨径布置为(6×15+16+18+20+22+

桥梁总体布置见图 1 至图 3。



2 主要结构设计

2.1 上部结构

该桥上部结构采用钢筋混凝土板拱结构,跨径范

围 15~31 m。主拱上设置腹拱,其拱轴线均为圆曲线。主拱截面高度从边跨到中跨分为 0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 m 五组。腹拱和横墙截面高度均为 0.2 m。

2.2 下部结构

普通墩和止推墩的构造见图 4 至图 6,桩基直径 1.2 m,普通墩承台厚 1.5 m,止推墩承台厚 2.0 m。

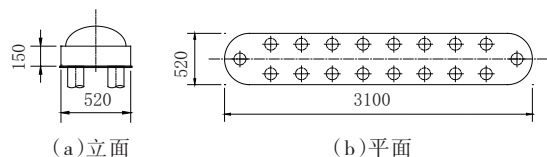


图 4 普通墩结构布置(单位:cm)

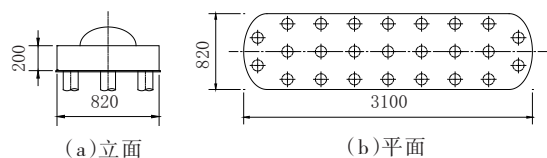


图 5 止推墩(方案 A)结构布置(单位:cm)

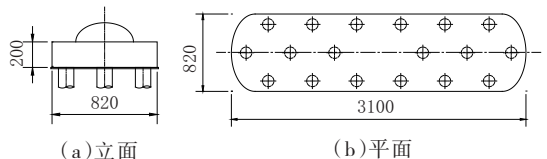


图 6 止推墩比选方案(方案 B)结构布置(单位:cm)

3 结构分析

根据结构中心线建立梁单元模型(见图 7),并对桥梁结构进行计算。

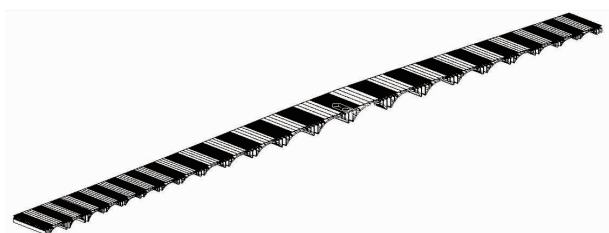


图 7 全桥有限元计算模型

施工步骤划分如下:

- (1)基础及拱座施工。
- (2)主拱圈分 6 联落架施工。
- (3)施工拱上横墙。
- (4)施工腹拱圈。
- (5)施工拱上填料及路面铺装等。
- (6)收缩徐变。

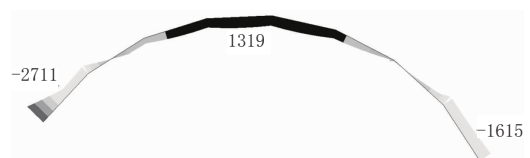
主拱作为承受偏心压力的钢筋混凝土构件,应至少取拱顶截面、3/8 截面和拱脚截面进行验算^[2]。

主拱关键截面计算结果:以边孔 K1 和最大中间孔 K14 为例,恒载作用下轴力和弯矩见图 8。边孔主拱最大轴力为 9 485 kN,中孔主拱最大轴力为 27 671 kN。边孔拱脚弯矩为 -2 711 kN·m,中孔拱脚

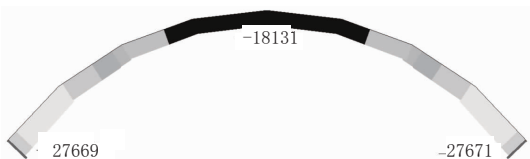
弯矩为 -9 405 kN·m。边孔拱顶弯矩为 1 319 kN·m,中孔拱顶弯矩为 4 726 kN·m。



(a) K1 轴力(单位:kN)



(b) K1 弯矩(单位:kN·m)



(c) K14 轴力(单位:kN)



(d) K14 弯矩(单位:kN·m)

图 8 K1 和 K14 恒载轴力及弯矩

从边跨到中跨,主拱受力逐渐增大。拱圈拱顶附近承受正弯矩,下侧受拉;拱脚附近承受负弯矩,上侧受拉。

成桥后不平衡推力主要由桥台承担,桥墩承受的不平衡推力较小。施工过程中不平衡推力主要由止推墩承担。

4 施工过程止推墩方案比选

对于拱桥,施工期间的基础水平位移对成桥后结构受力影响很大。考虑到实际施工的经济性和可行性,采用分段施工,将全桥 22 孔分为 3~5 孔一联,共计 6 联。每联内各孔一次落架施工。联与联之间设置止推墩。

选取全跨最中间一联作为最不利工况(K13~K15 孔),分析比较不同止推墩承台桩基布置方式和桩基数量对施工阶段短暂状况主拱应力及拱脚位移的影响。

选取两种止推墩形式进行比选:止推墩方案 B 在普通墩基础上仅增大桥墩承台平面尺寸,拉开桩基纵向间距,桩基数量不变。止推墩方案 A 在止推墩比选方案基础上将桩基数量由 18 根增加到 25 根。

分析结果见图 9、图 10。

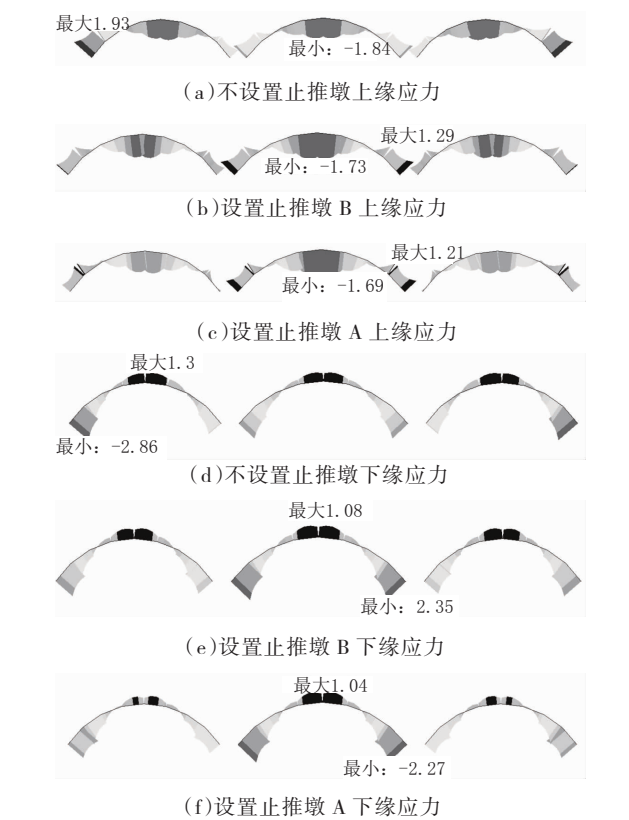


图 9 K13~K15 设置止推墩方案主拱应力对比(单位:MPa)

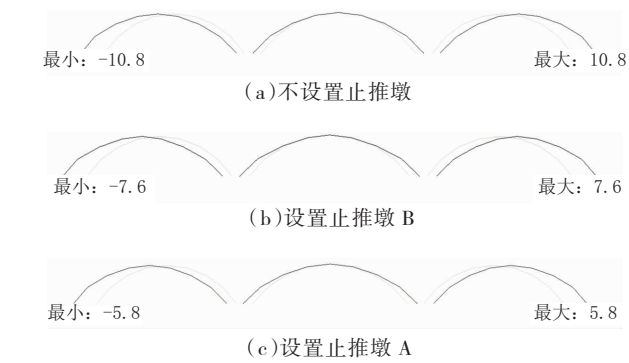


图 10 K13~K15 设置止推墩方案拱脚水平位移(单位:mm)

上述结果汇总见表 1。相较于不设置止推墩,设置止推墩 B 时,主拱截面应力已改善很大。在此基础上,止推墩 A 明显减小了拱脚位移。设置止推墩 A 时,主拱拱脚水平位移可减小约一半,且施工过程中截面应力也明显改善。

进一步分析不同桩基承台的刚度(见表 2),可以发现增大桥墩承台平面尺寸,拉开桩基纵向间距(止推墩 B)对提高桩基转动刚度作用较大,从而改善主拱截面应力状态。增加桩基数量(止推墩 A)对提高桩基水平刚度作用较大,从而减小主拱拱脚水平位移。

表 1 设置止推墩前后主拱对比

工况	最大拉应力 / MPa	最大压应力 / MPa	拱脚位移 / mm
A:设置止推墩 A	1.21	2.27	5.8
B:设置止推墩 B	1.29	2.35	7.6
C:不设置止推墩	1.93	2.86	10.8
A/C:相对值	63%	79%	54%

表 2 设置止推墩刚度矩阵主要参数对比

工况	水平刚度 / ($\times 10^3 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	转动刚度 / ($\times 10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$)
A:设置止推墩 A	1 503	1 550
B:设置止推墩 B	1 082	1 450
C:不设置止推墩	915	815

综合考虑主拱结构应力及位移状态,选择止推墩 A 作为施工方案将拱桥分联,方便施工过程中拱桥分联施工,有利于减弱相邻联间的影响。采用止推墩方案时,成桥运营状态恒载作用下(K13~K15 孔)主拱应力状态见图 11,主拱截面拉应力最大为 2.0 MPa。

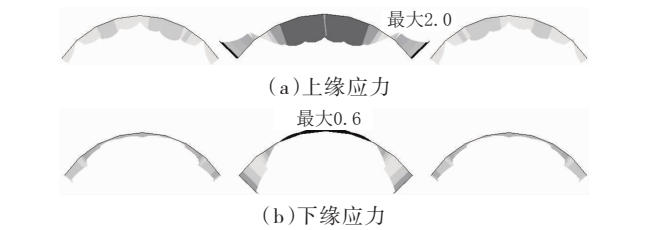


图 11 K13~K15 设置止推墩成桥运营状态主拱应力(单位:MPa)

5 结 论

以苏州市吴江区一座 22 孔钢筋混凝土连拱桥为工程背景,分析了结构建模要点、受力特点及设计思路,同时对施工过程中设置止推墩前后工况对比分析,可以得到如下主要结论:从边跨到中跨,主拱受力逐渐增大。拱圈承受轴向压力为主,还承受一定的弯矩。不平衡推力是影响连续拱桥设计施工的关键因素,通过在施工期间合理设置止推墩,可有效减小拱脚位移,改善施工过程中拱圈自身应力状况。

本桥现已建成通车,结构性能良好,成为当地一座地标桥梁。

参考文献:

[1] 顾安邦,孙国柱.公路桥涵设计手册——拱桥[M].北京:人民交通出版社,1994.

[2] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].