

文章编号: 1002-0268 (2005) 01-0105-03

# 大跨度石拱桥拱上结构联合作用分析与研究

胡崇武<sup>1</sup>, 范立础<sup>1</sup>, 周 卫<sup>2</sup>

(1. 同济大学桥梁工程系, 上海 200092; 2 中交第一公路勘察设计研究院, 陕西 西安 710075)

**摘要:** 依托世界最大跨径石拱桥——丹河大桥的课题研究, 通过对大桥拱上结构在各种作用条件下的静力、动力及稳定性的对比分析, 研究在是否考虑拱上结构的联合作用时, 结构的响应与程度。

**关键词:** 石拱桥; 拱上结构; 联合作用

中图分类号: U488.22

文献标识码: A

## Long Span Stone Arch Bridge Upper Arch Structure Association Effect Analysis and Research

HU Chong-wu<sup>1</sup>, FAN Li-chu<sup>1</sup>, ZHOU Wei<sup>2</sup>

(1. Bridge engineering department, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2 First highway survey and design institute of China, Shaanxi Xi'an 710075, China)

**Abstract:** Based on world largest span stone arch bridge - Dan river bridge's issue research, by comparative analysis of static force, dynamic force and stability to the upper structure under all sorts of effect condition, whether considering upper arch structural association effect, structural response and degree

**Key words:** Stone arch bridge; Upper arch structure; Association effect

### 0 概述

关于采用悬链线拱轴理论计算拱桥主拱圈的受力情况, 通过国内、外许多专家早期对中小跨径石拱桥的研究与论证, 认为基本上能起到控制主拱圈主要受力断面截面应力的作用。但是, 随着拱桥跨径的不断增大, 以及荷载等级的不断提高。研究表明, 不考虑施工工况的传统计算方法所得出的结果偏差较大<sup>[2]</sup>, 仅将拱上建筑的相互作用效应作为一种安全储备的传统设计方法已不能满足现代石拱桥发展的需要。因此, 本文结合丹河大桥(主跨 146m 石拱桥)的课题研究<sup>[1]</sup>, 通过一系列的分析, 以了解大跨度石拱桥拱上结构的相互作用情况。

本次分析研究工作, 主要是采用多种有限元单元类型对丹河大桥主桥结构的恒载, 温度变化, 支座位移等进行分析。同时, 对主拱圈的动力及稳定性进行了分析。

### 1 主桥结构静力分析

主桥结构静力分析采用有限元结构程序的空间梁单元, 分别按考虑拱上建筑联合作用与不考虑拱上建筑联合作用进行分析。

#### 1.1 结构模型与单元划分

全桥计算模型中主拱圈的计算模型共划分为 48 个单元, 并在腹拱墩与主拱圈交点处增加单元与节点。每跨腹拱圈也同样划分为 48 个单元。腹拱墩根

收稿日期: 2004-01-21

作者简介: 胡崇武(1962—), 男, 湖北公安人, 博士研究生, 教授级高级工程师, 主要从事桥梁勘察设计咨询。

(13306003890@vip.163.com)

据高度不同, 从1~7号腹拱墩分别划分为8、6、4、3、3、2、2个单元, 全桥计算模型见图1。腹拱墩

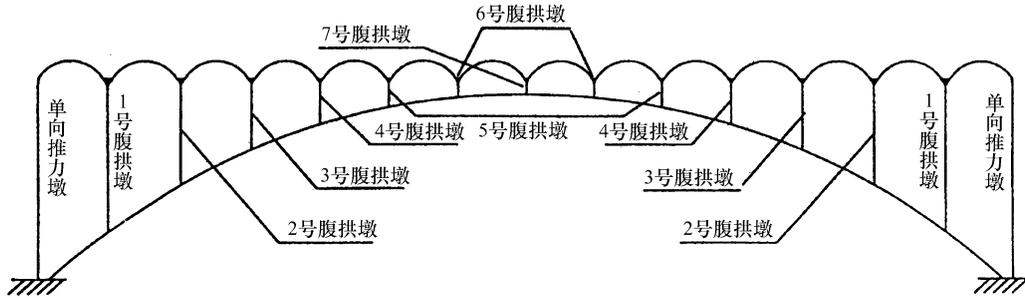


图1 联合作用计算模型

的拱铰通过改变腹拱圈的抗弯刚度来实现。

1.2 拱圈与腹拱圈加载工况

考虑拱上建筑联合作用时, 主拱圈上部腹拱墩及腹拱圈与拱腹填料等荷载, 按施工加载顺序逐级施加到主拱圈上。在不考虑拱上建筑联合作用时, 腹拱墩、腹拱圈及拱腹填料等荷载则按质量分布直接施加到主拱圈上。

温度变化及支座变位影响则按成桥状态计算模型进行分析, 与裸拱情况进行比较。

1.3 受力分析结果

成桥状态分析结果, 分两种不同模型, 即主拱圈及腹拱各断面受力情况。下面分别就考虑拱上建筑共同作用与不考虑拱上建筑共同作用时, 主拱圈各主要控制断面的静力分析(没有考虑分步施工工况, 下同)结果列于表1~表4。

表1 成桥状态主拱圈主要控制断面恒载作用下应力 MPa

方法	部位	断面				
		拱脚	L/8	L/4	3L/8	拱顶
考虑拱上建筑联合作用	截面上缘	4.081	4.133	4.317	5.177	5.764
	截面下缘	5.567	5.450	4.986	4.219	3.944
不计拱上建筑联合作用	截面上缘	4.162	4.078	4.161	5.326	6.404
	截面下缘	5.576	5.479	5.326	4.118	3.370

表2 成桥状态主拱圈主要控制断面温度变化作用下应力 MPa

方法	部位	断面				
		拱脚	L/8	L/4	3L/8	拱顶
考虑拱上建筑联合作用	截面上缘	5.515	4.726	4.371	4.825	5.276
	截面下缘	4.305	4.928	5.051	4.735	4.624
不计拱上建筑联合作用	截面上缘	5.614	4.739	4.088	4.779	5.483
	截面下缘	4.173	4.882	5.296	4.755	4.389

表3 成桥状态主拱圈主要控制断面支座变位作用下应力 MPa

方法	部位	断面				
		拱脚	L/8	L/4	3L/8	拱顶
考虑拱上建筑联合作用	截面上缘	2.120	3.267	4.407	6.005	7.634
	截面下缘	7.575	6.223	4.760	3.141	1.910
不计拱上建筑联合作用	截面上缘	2.205	3.188	4.259	6.316	7.646
	截面下缘	7.467	6.284	4.940	3.005	1.999

表4 成桥状态主拱圈主要控制断面恒载作用下变位 mm

方法	断面				
	拱脚	L/8	L/4	3L/8	拱顶
考虑拱上建筑联合作用	0	7.1	19.8	32.1	37.4
不计拱上建筑联合作用	0	6.8	19.4	32.6	38.3

各工况下, 考虑拱上建筑联合作用与不计联合作用, 主拱圈各主要控制断面变形对比曲线见图2, 应力对比曲线见图3。

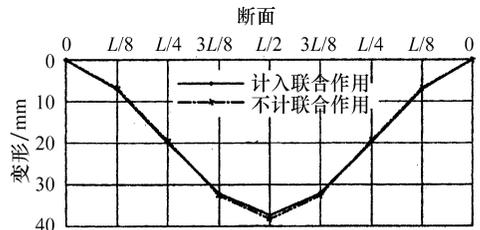


图2 主拱圈恒载变形对比曲线图

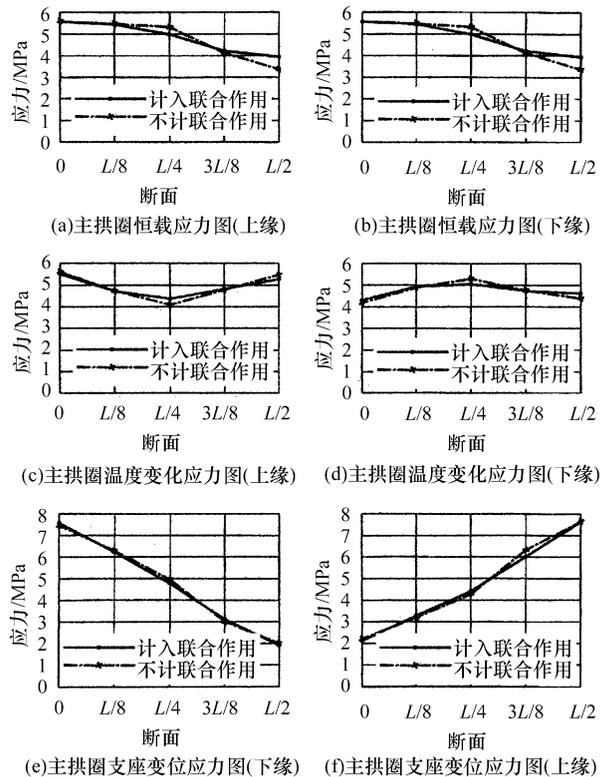


图3 主拱圈主要控制断面应力对比曲线图

## 2 成桥状态动力分析

按照成桥状态的计算模型, 考虑拱上建筑的共同作用, 采用空间梁单元进行成桥状态动力分析, 计算结果的前 12 阶自振频率及相应的振型见表 5 和图 4。

表 5 主拱圈自振频率、周期及结构振型

序号	考虑联合作用		不计联合作用		振型
	$\omega / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	$T / \text{s}$	$\omega / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	$T / \text{s}$	
1	4.795	1.311	5.581	1.126	竖向
2	8.798	0.714	10.359	0.607	竖向
3	8.966	0.701	12.651	0.497	横向
4	13.398	0.469	18.502	0.340	竖向
5	13.557	0.406	25.290	0.248	竖向
6	15.496	0.406	31.461	0.200	竖向
7	18.601	0.338	34.477	0.182	横向
8	18.767	0.335	38.777	0.162	竖向
9	19.961	0.315	52.333	0.120	竖向
10	21.833	0.288	64.914	0.097	竖向
11	22.019	0.285	70.636	0.089	横向
12	25.042	0.251	71.717	0.088	竖向

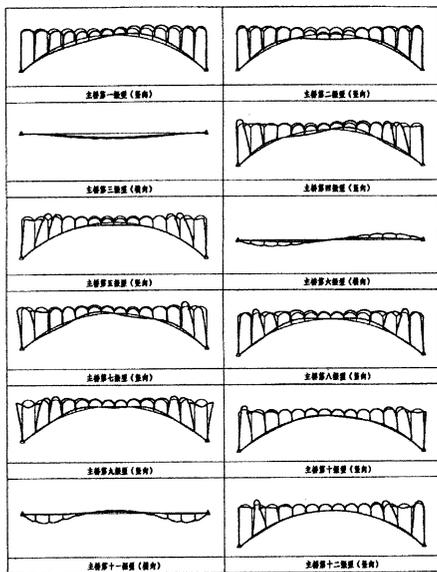


图 4 主桥计入联合作用前 12 阶频率振型图

## 3 稳定性分析

由于本桥主拱圈的宽跨比为 1:6.1, 远大于传统经验认为的 1:20。这样, 可以认为, 本桥的面外稳定问题可以不予考虑。面内稳定性的验算, 将主拱圈简化为具有曲率的压杆, 按弹性稳定系数法, 考虑拱上建筑联合作用时, 其稳定安全系数为 5.13; 不考虑拱上建筑联合作用时, 其稳定安全系数为 4.29。

## 4 主要结论

(1) 主拱圈成桥状态结构受力, 计入拱上建筑联合作用后, 对拱顶、 $3L/8$  的应力有一定影响, 可改善拱顶区域的应力分布, 所占应力比例最大可达 10%, 对拱脚、 $L/4$  的应力影响较小。大跨度石拱桥结构受力分析应考虑拱上建筑的联合作用效果。

(2) 拱上建筑联合作用对主拱圈低频振动响应影响不大, 但对高频振动时频率降低效果较明显, 这与腹拱结构形式有一定关系。

(3) 拱圈的稳定性分析表明, 考虑拱上建筑联合作用后, 对主拱圈的稳定安全性会有较明显改善。

### 参考文献:

- [1] 胡崇武, 周卫. 丹河石拱桥设计施工与科研特点 [J]. 公路, 2001, 2.
- [2] 胡崇武, 范立础. 大跨度分步施工石拱桥仿真分析 [J]. 中国公路学报, 2002, 2.
- [3] 胡崇武, 等. The Longest Span Stone Arch Bridge in the World [C]. Paris: ARCH'01, 2001.