

## 刚架拱桥荷载横向分布系数研究

周新平<sup>1,2</sup>, 宗雪梅<sup>1,3</sup>

(1. 长安大学 桥梁与隧道陕西省重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 中交第一公路勘察设计研究院, 陕西 西安 710075; 3. 西安市市政设计研究院, 陕西 西安 710068)

**摘 要:** 结合刚架拱桥的结构特点, 应用大型通用结构分析程序 ANSYS 建立其空间结构分析模型, 利用挠度法求出各计算点的荷载横向分布系数, 根据计算结果绘制各种图表, 其结果表明刚架拱桥荷载横向分布系数沿桥纵、横向的变化规律不同, 采用单一的跨中荷载横向分布系数计算时, 将与实际产生较大的偏差; 总结刚架拱桥简化计算时荷载横向分布系数的基本取值原则: 实腹段梁和中腹孔梁以及主拱腿(含拱脚)可取次边拱片的跨中荷载横向分布系数进行计算; 边腹孔梁可偏安全地取中间拱片支点按杠杆原理法求得的荷载横向分布系数进行计算。

**关键词:** 刚架拱桥; 荷载横向分布系数; 结构分析; 变化规律

**中图分类号:** U 448

**文献标识码:** A

### 0 引言

刚架拱桥是在桁架拱、斜腿刚架等基础上发展起来的一种新桥型, 上部结构由刚架拱片、横向联结系和桥面系等部分组成, 为高次超静定的空间受力体系。刚架拱片是刚架拱桥的主要承重结构, 各拱片之间通过横向联结传力<sup>[1-2]</sup>。由于此种桥型具有构件少, 自重轻, 整体性好, 刚度大, 经济指标较先进, 造型美观等优点, 在我国得到了广泛应用。在常规的结构分析中, 工程技术人员为了简化计算, 提高效率, 大多是按照一般梁桥的简化计算方法: 利用跨中的单一荷载横向分布系数将空间受力体系转化为平面杆系结构进行受力分析(即对单片刚架拱片进行受力分析), 未考虑刚架拱桥各部分在组成整体结构中相互影响的受力特点。因此有必要进行此类桥型的荷载横向分布专题研究, 揭示其分布规律, 明确荷载横向分布系数取值原则, 为以后工程设计和计算提供较为准确的技术参考。

作者结合刚架拱桥的结构特点, 应用大型通用结构分析程序 ANSYS 建立其空间结构分析模型<sup>[3-4]</sup>, 利用挠度法求出各计算点的荷载横向分布系数, 通过对其分析比较探讨了刚架拱桥荷载横向分布系数沿桥纵、横向的变化规律, 探讨了荷

载横向分布系数的取值原则。

### 1 计算原理与有限元模型

#### 1.1 计算原理

将单位荷载沿桥横向分别作用在各拱片同一纵向位置的相应节点上, 可求得各拱片计算点的挠度影响线  $w_{ij}$ , 再利用挠度影响线  $w_{ij}$  求出各拱片计算点的荷载横向分布影响线  $\eta_{ij}$ , 即

$$\eta_{ij} = w_{ij} / \sum w_{ij}$$

式中:  $i$  为计算点对应的拱片编号;  $j$  为单位荷载作用的拱片编号。

最后在各拱片计算点的荷载横向分布影响线  $\eta_{ij}$  上, 按照活载横向最不利布载的原则, 求得各拱片计算点相应的荷载横向分布系数。

#### 1.2 有限元模型

目前, 国内刚架拱桥常用跨径大多数分布在 30~70 m 之间, 鉴于篇幅及工程实际情况, 本文作者选取跨径 50 m 的某工程实例进行分析。

如图 1 所示刚架拱桥, 净跨径 50 m, 净矢高 6.25 m, 净矢跨比 1/8, 桥宽为净长 9+2\*1.25 m 人行道。横桥向为 5 片拱肋, 肋中心间距为 2.4 m, 肋间净距为 2.05 m, 拱肋宽 0.35 m, 桥面为预制微弯板加不等厚整体现浇板, 其余尺寸见图 1。

按梁格法建模原理, 选用空间梁单元 beam44

收稿日期: 2006-12-29; 修订日期: 2007-03-11

基金项目: 交通部交通应用基础科研项目(200431981210)

作者简介: 周新平(1976-)男, 湖南郴州人, 长安大学博士研究生, 中交第一公路勘察设计研究院工程师, 研究方向为桥梁结构理论与结构分析。

和板单元 shell63,应用大型通用程序 ANSYS 建立空间结构分析模型<sup>[5-6]</sup>. 全桥共设 5 道纵梁(即每片刚架拱片为一道纵梁),31 道横梁,纵梁截面取为倒 T 型;横梁设置为:有横梁梁处即设一道实横梁,截面为矩形,两横梁梁间增设一道虚横梁,截面为矩形,高为桥面板的厚度. 桥面板采用板单元与主梁、次梁节点铰接. 主梁与主拱腿、次梁与次拱腿的结点均按刚接点处理,主拱腿支座设为固接,次拱腿支座设为铰接,次梁的边支座作为竖向链杆处理. 全桥共有 453 个节点,285 个单元. 节点、单元划分见图 2.

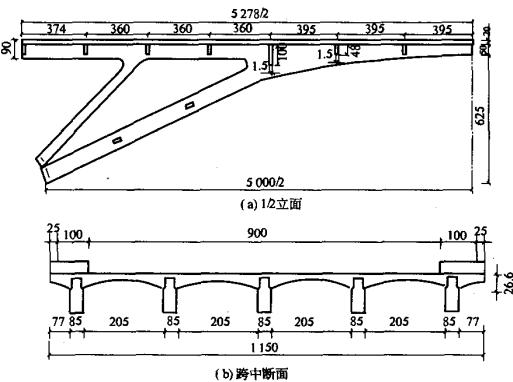


图 1 总体布置图  
Fig.1 Total sketch of the bridge

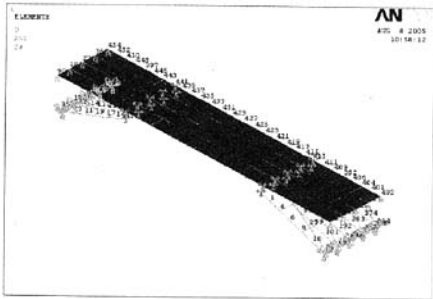


图 2 结构有限元模型  
Fig.2 The space finite element model of structure

2 计算结果及分析

分别求得刚架拱桥各拱片(其中 4 号、5 号拱片分别与 2 号、1 号拱片对应相等)沿桥纵向各计算点的荷载横向分布系数,计算结果汇于表 1. 并分别绘出各拱片计算点沿桥纵向、横向荷载横向分布系数变化曲线,见图 3~图 4.

(1)由表 1 和图 3(a)可得边拱片的荷载横向分布系数沿桥纵向从跨中向支点逐渐减少,其中实腹梁段变化不大,中腹孔梁段最大降幅为 5% 左右(与跨中相对比值),边腹孔梁段变化幅度较大,最大降幅为 37%. 同时由图 3(a)的变化规律可知边支点的荷载横向分布系数用杠杆原理法计算是合理的.

(2)由表 1 和图 3(a)可得中间拱片的荷载横向分布系数沿桥纵向的变化以主节点为分界点,从跨中向主节点逐渐减少,最大降幅为 12.7%. 过主节点后到边支点间逐渐增大,其中中腹孔梁段变化较小,最大增幅为 8.7%,边腹孔梁段变化幅度较大,最大增幅为 71%.

(3)由表 1 和图 3(b)可得各主拱腿荷载横向分布系数沿桥纵向的变化都不大,最大变化幅度为 12%. 同时由图 3(b)的变化规律可知拱脚的荷载横向分布系数用杠杆原理法计算是不合理的,可以跨中结果为准.

(4)由表 1 和图 4(a)、4(b)可得实腹梁段和中腹孔梁段荷载横向分布系数沿桥横向的分布规律为:边拱片<次边拱片>中拱片,呈飞鸟型,且后者比前者变化幅度大.

(5)由表 1 和图 4(c)可得边腹孔梁段荷载横向分布系数沿桥横向的分布规律为:边拱片<次边拱片<中拱片,呈倒 U 型,且前者比后者变化幅度大.

表 1 荷载横向分布系数计算结果总表

Tab.1 Final calculation result graph for load transverse distribution coefficient

桥梁位置	计算点位置	1 号拱片		2 号拱片		3 号拱片	
		横向分布系数	与跨中相对偏差/%	横向分布系数	与跨中相对偏差/%	横向分布系数	与跨中相对偏差/%
实腹段	跨中	0.534 9		0.545 9		0.498 9	
	L/2.2	0.532 8	0.4	0.546 1	0.0	0.497 7	0.2
	L/2.4	0.532 8	0.4	0.539 5	1.2	0.490 8	1.6
	L/2.6	0.531 5	0.6	0.532 9	2.4	0.482 1	3.4
	L/2.9	0.532 8	0.4	0.520 7	4.6	0.466 8	6.4
	L/3.2	0.534 1	0.1	0.507 4	7.1	0.450 2	9.8
	L/3.6	0.533 2	0.3	0.504	7.7	0.435 6	12.7
	L/4(主节点)	0.527 5	1.4	0.493 2	9.7	0.435 4	12.7

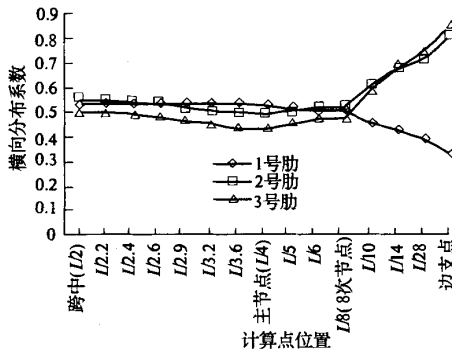
续表 1

桥梁位置	计算点位置	1 号拱片		2 号拱片		3 号拱片	
		横向分布系数	与跨中相对偏差/%	横向分布系数	与跨中相对偏差/%	横向分布系数	与跨中相对偏差/%
中	L/5	0.514 7	3.8	0.507 2	7.1	0.455 4	8.7
腹	L/6	0.506 4	5.3	0.519 7	4.8	0.470 6	5.7
孔	L/8(次节点)	0.505 6	5.5	0.524 0	4.0	0.475 0	4.8
边	L/10	0.514 7	13.8	0.608 5	4.8	0.589 2	18.1
	L/14	0.425 0	20.5	0.676 4	23.9	0.684 5	37.2
	L/28	0.394 7	26.2	0.724 4	2.7	0.747 4	9.7
	边支点	0.333 4	37.7	0.812 5	48.8	0.854 2	71.2
主拱腿	主节点	0.527 5	1.4	0.493 2	9.7	0.435 4	12.7
	5L1/6	0.523 6	2.1	0.494 3	9.5	0.437 8	12.2
	2L1/3	0.521 4	2.5	0.494 9	9.3	0.439 2	12.0
	1L1/2	0.519 9	2.8	0.495 4	9.3	0.440 5	11.7
	1L1/3	0.518 8	3.0	0.496 4	9.1	0.442 4	11.3
	L1/6	0.517 9	3.2	0.499 9	8.4	0.447 1	10.4
	拱脚	0.333 4	37.7	0.812 5	48.8	0.854 2	71.2

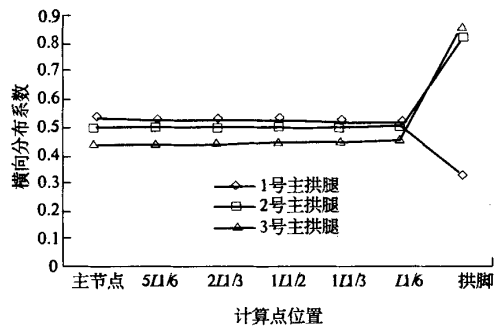
说明:①L为桥梁全长,L1为主拱腿长度;②边支点及拱脚的横向分布系数由杠杆法求得,其余各点均由挠度法求得。

(6)由表 1 和图 4(d)可得主拱腿的荷载横向分布系数沿桥横向的变化规律为:边拱片>次边拱片>中拱片,且后者比前者变化幅度大。

(7)由表 1 可得荷载横向分布系数的总体变化规律为:沿横桥向由边向中,各拱片荷载横向分布系数与跨中的偏差逐渐增大。



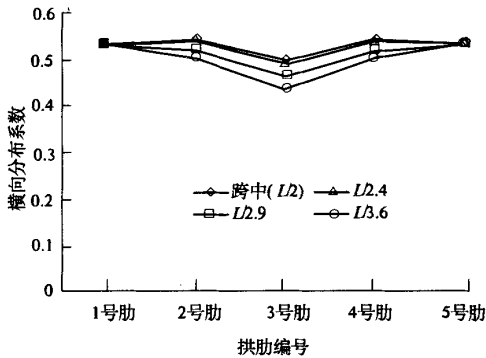
(a) 各拱片荷载横向分布系数



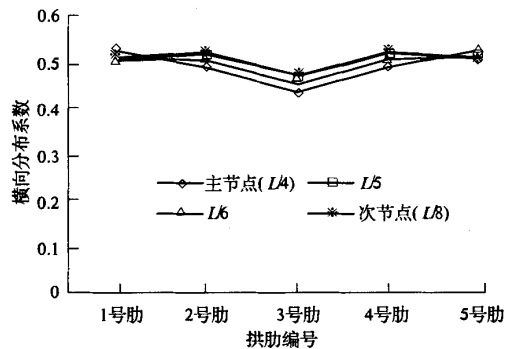
(b) 主拱腿荷载横向分布系数

图 3 横向分布系数沿桥纵向变化曲线

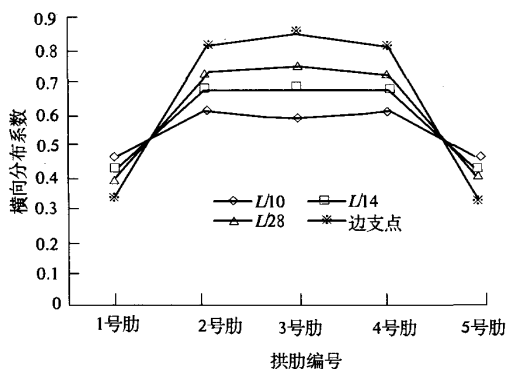
Fig. 3 Variation curve along longitudinal bridge of load transverse distribution coefficient



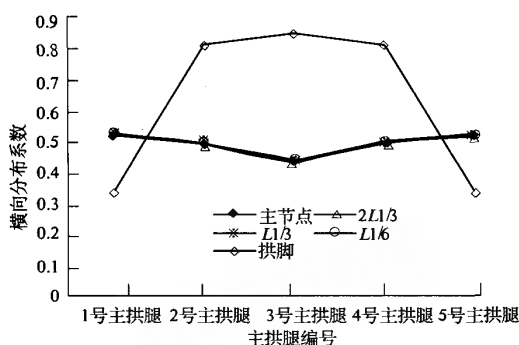
(a) 实腹段梁荷载横向分布系数



(b) 中腹孔梁荷载横向分布系数



(c) 边腹孔梁荷载横向分布系数



(d) 主拱腿荷载横向分布系数

图4 荷载横向分布系数沿桥横向变化曲线

Fig. 4 Variation curve along crosswise bridge of load transverse distribution coefficient

### 3 结论

刚架拱桥的荷载横向分布系数沿桥纵向、横向的变化较复杂,趋势不同、幅度不一,但也有规律可循.设计中若采用单一的某拱片跨中荷载横向分布系数,将空间结构受力体系简化为平面杆系进行结构受力分析,其计算结果与实际出入较大,使得某些部分设计偏于安全,尤其对边空腹段梁偏差较大,显然这是不合理的.因此应根据所验算的刚架拱桥的不同部位,分别采用不同的荷载横向分布系数进行简化计算.建议按以下原则进行取值:

(1) 实腹段梁和中腹孔梁可取次边拱片(即2号拱片)的跨中荷载横向分布系数进行计算;

(2) 边腹孔梁可偏安全的取中间拱片(即3号拱片)支点按杠杆原理法求得的荷载横向分布系数进行计算;

(3) 主拱腿(含拱脚)可取次边拱片的跨中荷载横向分布系数进行计算.

### 参考文献:

- [1] 陈向阳,王劲丰.用索拱体系加固提载刚架拱桥的分析研究[J].公路交通科技,2005,22(11):115-118.
- [2] 卓卫东,张杰.三跨连续无腹杆预应力混凝土刚架拱桥的静动力特性[J].福州大学学报(自然科学版),2005,33(6):786-792.
- [3] 戴公连,李德建.桥梁结构空间分析方法与应用[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [4] 房贞政,黄润.箱形截面空腹式刚架拱桥温度场的实测与研究[J].福州大学学报(自然科学版),2005,33(2):212-217.
- [5] 陈淮.列车—上承式桁梁桥横向动力分析[J].郑州大学学报(理学版),2002,34(9):74-77.
- [6] 陈淮,申折会.斜靠式拱桥动力特性研究[J].郑州大学学报(工学版),2005,26(4):25-28.

## Analysis of Load Transverse Distribution Coefficient for Rigid Frame Arch Bridge

ZHOU Xin-ping<sup>1,2</sup>, ZONG Xue-mei<sup>1,3</sup>

(1. Key Laboratory for Bridge and Tunnel of Shan xi Province, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. The First Highway Survey & Design Institute of China, Xi'an 710075, China; 3. Xi'an Municipal Engineering Design and Research Institute, Xi'an 710068, China)

**Abstract:** ANSYS, a large-scale general program for structural analysis is applied to build its spatial model according to design feature of rigid frame arch bridge. The load transverse distribution coefficient of some special structure point is calculated by flexibility method. Some kinds of graphs are plotted according to the analyzing result, and the result reveals the different variation law of load transverse distribution coefficient along the longitudinal and crosswise, if the simple mid-span load transverse distribution coefficient is adopted, there will be great deviation in calculation. The paper also draws its sampling principle for rigid frame arch bridge in simplified calculation, and its necessity for spatial structural analysis in engineering practice.

**Key words:** rigid frame arch bridge; load transverse distribution coefficient; structural design; variation law