

文章编号:1000-1301(2004)03- 0105- 05

钢管混凝土(单圆管)拱肋刚度 对其动力特性的影响

陈宝春, 韦建刚

(福州大学 土建学院, 福建 福州 350002)

摘要:钢管混凝土的截面刚度应用不同的规范计算的结果之间存在着差异。本文以一座实桥为研究对象, 讨论了这种差异对钢管混凝土拱桥动力特性的影响。分析表明, 不同规范引起的钢管混凝土拱肋刚度的计算值的不同对钢管混凝土拱桥动力特性计算结果的影响较小。对自振频率, 抗弯刚度取值的变化有一定的影响, 但抗压刚度的影响极小; 对自振振型, 抗弯与抗压刚度取值的变化均无影响。
关键词:钢管混凝土; 拱刚度; 动力特性

中图分类号: TU399; P315.96

文献标识码: A

Effect of rigidities of concrete filled steel tubular (single tube) arch rib on its dynamic characteristics

Chen Baochun, Wei Jiangang

(College of Civil Engineering and Architectures, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The rigidities of CFST members calculated by different codes or specifications have different values. The effect of the differences of rigidities on the dynamic characteristics of the CFST arch bridge is discussed. Analytical results show that the different values of the rigidities of CFST arch rib according to different codes do not influence the calculation results of the dynamic characteristics of the CFST arch bridge very much. For natural-frequency, the different value of flexural rigidity will influence it in some degree, but that of the compressive one almost does not influence it. And both the differences of the flexural and compressive rigidities do not change the vibration mode.

Key words: concrete filled steel tube; arch; rigidity; dynamic characteristic

引言

钢管混凝土作为组合材料, 在拱桥的建设中得到了广泛的运用; 其刚度的取值既对结构的静力计算有一定的影响, 又对拱桥动力特性的计算存在着影响。钢管混凝土拱桥与我国传统的石板桥和钢筋混凝土拱桥在材料性能、结构体系等方面都有着明显的差异, 而国内尚未出台有关钢管混凝土拱桥的设计规范, 现有的钢管混凝土结构的设计规程或规范对钢管混凝土材料的截面刚度计算存在着差异。因此, 应研究钢管混凝土拱桥设计计算的截面刚度取值问题^[1]。

桥梁结构的动力特性是其动力性能分析的重要参数, 它包括自振频率、振型等, 与结构的组成体系、刚

收稿日期: 2003-04-28; 修订日期: 2004-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(50078016)

作者简介: 陈宝春(1958-), 教授, 博士, 主要从事桥梁结构研究。

典尚设计-路桥效果图、三维动画
<http://www.dillsun.com>

度、质量分布以及支承条件等有关。目前对钢管混凝土拱桥动力性能的研究刚刚开始。本文以一实桥为例,介绍几本规范对钢管混凝土拱肋刚度计算的规定,着重讨论拱肋刚度计算取值对钢管混凝土拱桥自振频率与振型分析结果的影响,为钢管混凝土拱桥的动力性能研究与工程应用提供参考。

1 实桥及有限元模型介绍

本文以群益大桥为分析实例。该桥位于福建省福安市城关,桥梁上部为一孔净跨 46m、净矢跨比 1/3 的钢管混凝土中承肋拱。主拱圈由单根 $\phi 800 \times 14\text{mm}$ 的钢管内灌 C30 混凝土组成。设计荷载:汽—20,挂—100,人群荷载 3.5kN/m^2 。大桥于 1996 年 10 月开工,1998 年 7 月建成。大桥总体布置见图 1。

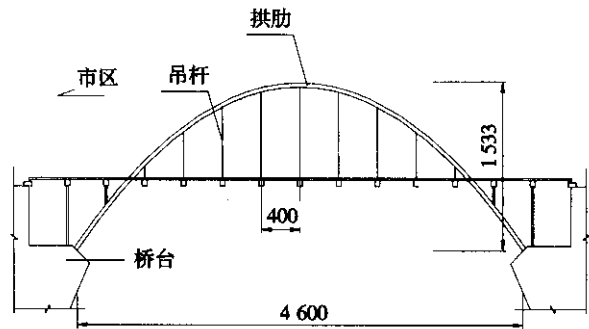


图 1 群益大桥总体布置图/cm

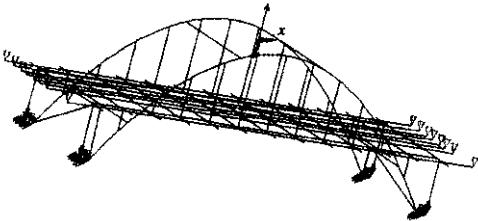


图 2 全桥计算有限元模型

动力分析的有限元模型采用空间梁单元建模,共 423 个节点,584 个梁单元。全桥计算模型见图 2,采用大型有限元计算程序 ANSYS 进行计算。

2 动力特性计算

钢管混凝土拱肋截面的刚度计算方法详见各规程^[2~8]和表 1、表 2。本文为表达统一,符号意义如下: EA 为钢管混凝土的抗压刚度; EI 为钢管混凝土的抗弯刚度; E_s 、 E_c 分别为钢材和混凝土的弹性模量; I_s 和 I_c 分别为钢管截面和混凝土截面的惯性矩; A_s 和 A_c 分别为钢管截面和混凝土截面的面积。根据不同规范对钢管混凝土刚度的定义,本文所计算的拱肋抗压刚度计算值的变化幅度达 65%,计算值从大到小排列为: CESC, AIJ, BS5400 (3 本规范相同), DL/T, JCJ 和 ACI; 拱肋抗弯刚度计算值的变化幅度达 62%,计算值从大到小排列为: CESC, BS5400 (两本规范相同), EC4, DL/T, JCJ 和 AIJ。

计算结果前五阶的振型分别为,一阶振型:拱肋面外对称;二阶振型:拱肋面内反对称;三阶振型:桥面系面外对称;四阶振型:桥面系面内反对称;五阶振型:桥面系与拱肋耦合面外反对称。

表 1 为根据不同规范的抗压刚度取值对动力特性的计算结果。在计算过程中,抗弯刚度取 $EI = E_s I_s + E_c I_c$ 保持不变。表 2 为根据不同规范的抗弯刚度取值对动力特性的计算结果。在计算过程中,抗压刚度取 $EA = E_s A_s + E_c A_c$ 保持不变。

表 1 抗压刚度计算结果表

项目	CESC ^[2] AIJ ^[7] BS5400 ^[6]	JCJ ^[3]	DL/T ^[4]	AISC ^[5]
抗压刚度计算公式	$E_s A_s + E_c A_c$	$0.85(\rho E_s + (1 - \rho) E_c)$		$E_s A_s + 0.4 E_c A_c$
拱肋抗压刚度/ 10^6 kN	21.16	18.09	18.85	12.74
一阶振型频率/Hz	1.3275	1.3270	1.3271	1.3265
二阶振型频率/Hz	1.3336	1.3334	1.3334	1.3332
三阶振型频率/Hz	2.2351	2.2347	2.2348	2.2338
四阶振型频率/Hz	2.4874	2.4860	2.4864	2.4830
五阶振型频率/Hz	2.8602	2.8598	2.8599	2.8589

表 2 抗弯刚度计算结果表

项目	CESC ^[2] BS5400 ^[6]	JCJ ^[3]	DL/T ^[4]	AIJ ^[7]	AISC ^[5]
抗弯刚度计算公式	$E_s I_s + E_c I_c$	$0.85(\rho E_s + (1-\rho)E_c)$		$E_s A_s + 0.2E_c I_c$	$E_s A_s + 0.8E_c I_c$
拱肋抗弯刚度/ $10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$	1.07	0.72	0.75	0.66	0.97
一阶振型频率/Hz	1.3275	1.0731	1.1080	0.9898	1.3189
二阶振型频率/Hz	1.3336	1.2231	1.2355	1.1936	1.3650
三阶振型频率/Hz	2.2351	2.1686	2.1753	2.1531	2.2188
四阶振型频率/Hz	2.4874	2.2896	2.3112	2.2393	2.4531
五阶振型频率/Hz	2.8602	2.7002	2.7359	2.5593	2.8524

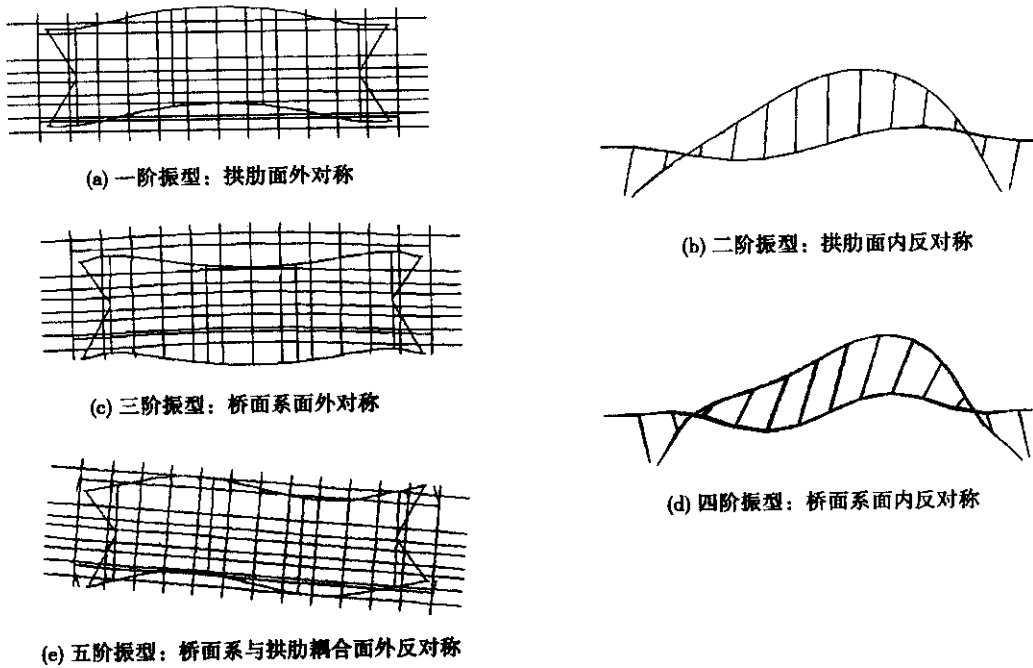


图 3 振型图

文献[8]曾对钢管混凝土拱桥的横向及竖向计算频率进行过统计,中承式拱桥的一阶横向计算频率为 0.33Hz~1.24Hz,一阶竖向计算频率为 0.44Hz~1.49 Hz。本文算例的计算结果一阶横向计算频率为 0.989 8Hz~1.327 5Hz,一阶竖向计算频率为 1.193 6Hz~1.365 0 Hz,其横向与竖向的一阶基频比较接近,其数值也在文献[8]统计的范围内。

3 刚度取值对动力基本特性影响分析

3.1 自振频率

不同刚度取值对计算结果的影响变化幅度值见表 3。从表 3 可以看出,在抗弯刚度不变的前提下,抗压刚度的变化对拱桥各阶频率计算的影响较小,在抗压刚度的数值变化 65%的情况下,频率的最大变化幅度仅为 0.2%。

在抗压刚度不变的情况下,抗弯刚度变化对各阶频率计算的影响则随阶数的不同而具有差别,在抗弯刚度变化幅度为 62%的情况下,其一阶拱肋面外反对称振型计算频率的变化幅度达到 34.1%,而对二阶、四阶面内振型计算频率的影响为 11.1%~14.4%,对三阶、五阶面外振型计算频率的影响则仅为 3.8%~11.8%。

由此可见,钢管混凝土拱桥拱肋截面抗弯刚度的取值对拱桥振动频率计算的影响要大于抗压刚度的取

值,抗压刚度的变化对基频计算的影响可以忽略不计;抗弯刚度的变化对一阶振型频率计算的影响较大,而对后面阶数振型频率计算的影响较小。

表 3 刚度取值对计算结果的影响比较表

刚度变化	频率变化				
	一阶振型	二阶振型	三阶振型	四阶振型	五阶振型
抗压刚度(65%)	0.07%	0.03%	0.06%	0.2%	0.05%
抗弯刚度(62%)	34.1%	14.4%	3.8%	11.1%	11.8%

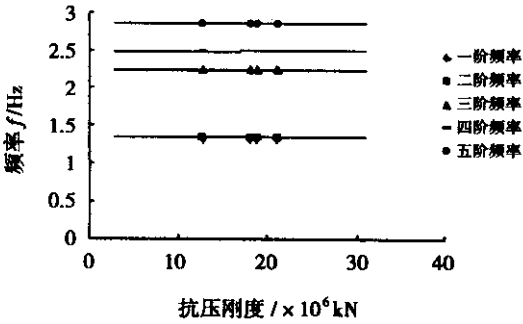


图 4 各阶频率随抗压刚度变化趋势图

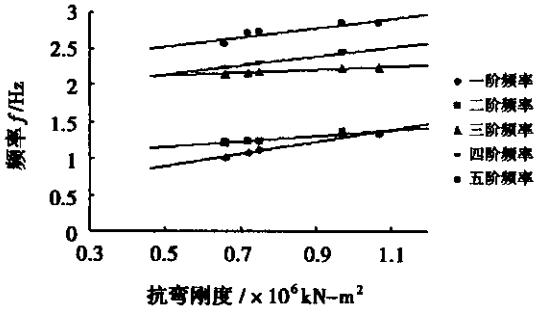


图 5 各阶频率随抗弯刚度变化趋势图

3.2 振型分析

钢管混凝土拱桥的振型分析,对于研究钢管混凝土的动力性能具有重要的意义。在本文的计算中,随着抗压刚度和抗弯刚度的变化,群益大桥的振型类型及振型序列均未出现变化。表 4 列出部分中承式钢管混凝土拱桥前 4 阶的振型。

表 4 部分中承式钢管混凝土拱桥前四阶振型类型

桥名	跨度/m	振型类型			
		一阶振型	二阶振型	三阶振型	四阶振型
福州解放大桥	80	(W,D)	(NW,F)	(N,F)	(NW,F)
石潭溪大桥	136	(W,D)	(N,F)	(N,D)	(W,D)
瓷都大桥	150	(W,D)	(N,F)	(N,D)	(W,F)
丫髻沙大桥	360	(W,D)	(N,F)	(W,F)	(W,F)
福安群益大桥(本文)	46	(W,D)	(N,F)	(W,D)	(N,F)

注: N 为面内振型; W 为面外振型; F 为反对称振型; D 为对称振型; NW 为面内外耦合。

从表 4 可以看出,中承式钢管混凝土拱桥的前两阶振型类型基本一致,一阶振型均为主拱对称面外侧倾,表明拱肋的面内刚度大于面外刚度。但需要指出的是,由于本文所计算的试验桥桥面系较弱,跨度较小,因此其面外刚度与面内刚度比较接近,反映到频率计算上表现为其一二阶基频几乎相等,所以尽管其一阶振型仍为面外振动,但不可忽略其面内振动。

本文讨论的是同一拱肋按不同规范计算的刚度对钢管混凝土拱桥自振频率与振型的影响,从以上分析可以看出,拱肋刚度值对计算结果,总的来说,影响不大。同样地,如果采用同一本规范,拱肋截面尺寸与材料的变化引起的刚度变化对于钢管混凝土拱桥自振频率与振型的影响也应该不大。换言之,在钢管混凝土拱桥设计时,选择拱肋截面应以满足静力性能为主,通过改变截面组成来改善钢管混凝土拱桥的动力特性效果不大。

4 结语

(1) 钢管混凝土拱肋抗压刚度取值的变化对于各阶振型频率计算的影响极小,可以忽略不计;而抗弯刚度取值的变化则对各阶振型频率的计算有一定的影响。

- (2) 从计算结果可以看出,拱肋刚度取值的变化不会影响钢管混凝土拱桥的振型。
- (3) 在钢管混凝土拱桥设计时,选择拱肋截面应以满足静力性能为主,通过改变截面组成来改善钢管混凝土拱桥的动力特性效果不大。
- (4) 由于钢管混凝土拱肋刚度的取值对钢管混凝土拱桥动力特性计算的影响较小,因此在进行动力特性计算时,从简便实用的角度出发,对钢管混凝土拱肋截面刚度的取值建议采用对混凝土刚度不折减的形式,即抗压刚度取 $EA=E_sA_s+E_cA_c$;抗弯刚度取 $EI=E_sI_s+E_cI_c$,也可以与静力计算中的刚度取值一致。

参考文献:

[1] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥实例集(一)[M]. 北京:人民交通出版社,2002.

[2] CECS 28:90,钢管混凝土结构设计与施工规程,中国工程建设标准化协会标准[S]. 北京:中国计划出版社,1992.

[3] JCJ 01-89,钢管混凝土结构设计与施工规程,国家建筑材料工业局标准[S]. 上海:同济大学出版社,1989.

[4] DL/T 5085-1999,钢管混凝土组合结构设计规程,中国电力行业标准[S]. 北京:中国电力出版社,1999.

[5] AISC, Load and resistance factor design specification for structural steel buildings[S]. 1986.

[6] British Standards Institute, BS5400, Part 5, Concrete and composite bridges[S]. 1979.

[7] 日本建筑学会, AIJ, コンクリート充填钢管構造設計施工指南[S]. 1997.

[8] Baochun Chen, Shuisheng Chen, Yuqing Liu. Preliminary analysis of natural vibration characteristics and anti-seismic behavior of concrete filled steel tubular arch bridges[A]. Theories and applying of structural engineering[M]. Yunan Science and Technology Press, 2000, 136~146.