

文章编号 :1007-649X(2000)02-0022-03

桥梁节段模型风力试验研究

李会知¹, 刘占臣², 吴义章¹, 郑 冰¹

(1. 郑州工业大学土木建筑工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 商丘市建设委员会, 河南 商丘 476000)

摘 要 :通过桥梁节段模型风洞试验测量了桥梁的风力,研究了桥面护栏和隔离带以及变模型长度对模型风力的影响,并分析了桥的驰振稳定性和颤振稳定性.试验结果表明:设计试验方案以及应用试验结果时应考虑模型长度、桥面护栏及隔离带的影响.

关键词 :桥梁节段模型;风洞试验;驰振;颤振

中图分类号 :TU 312.1 文献标识码 :A

0 引言

1940 年,美国主跨 853 m 的悬索桥 Tacoma 桥在 19 m/s 风速下发生颤振而垮塌,这次事故震惊了世界桥梁界,使人们充分认识到桥梁抗风的重要性.现在,我国悬索桥江阴桥跨度已经达到 1385 m,是世界第 5 大跨度桥^[1],象这种大跨度的桥梁必须进行抗风稳定性评估,可以通过桥梁节段模型静力试验和动力试验确定桥梁设计风荷载,并初步分析桥梁的振动抗风稳定性.本文选用了—个气动外形合理的流线型桥型为范例进行节段模型静力试验和动力试验,比较了桥面有护栏和隔离带时风力与桥面无护栏和隔离带时风力的差别,并研究了模型长度的影响,分析了桥梁的抗风稳定性,可供桥梁抗风设计时参考.

1 静力试验

1.1 试验概况

试验在中国空气动力研究与发展中心 1.4 m 的风洞进行,模型截面外形如图 1 所示,模型长分别为 0.7 0.9 1.4 m(二维,相当于∞长).试验采用应变式五分量天平测量风力,天平信号由计算机实时处理,以阻力系数 C_D、升力系数 C_L和力矩系数 C_m的形式给出:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 B L (1 + 2\epsilon)} ;$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 B L (1 + 2\epsilon)} ;$$

$$C_m = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho V^2 B^2 L (1 + 2\epsilon)} ,$$

其中:F_D,F_L,M 分别表示阻力、升力和扭转力矩;ρ,V,B,ε 分别表示空气密度、来流风速、模型桥宽和阻塞修正系数.

试验模拟有护栏和隔离带及无护栏和隔离带两种工况,试验风速为 15 20 25 m/s.

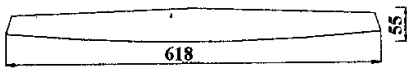


图 1 模型断面示意图

1.2 数据分析与应用

本文从雷诺数、护栏、隔离带、模型长度及驰振稳定性等方面的影响进行分析.

(1) 雷诺数影响:模型长 L=1.4 m 时(二维)在 3 种风速 15 20 25 m/s 下阻力、升力和力矩基本没有变化,说明在试验风速范围内雷诺数无影响.但是,在模型长 L=0.7 m 时,模型阻力系数随风速增大而减小,如图 2 所示,升力系数和力矩系数随风速增大变化较小,说明风速有影响,这又不能简单地归结为雷诺数影响,主要是因为三元流效应.

(2) 护栏和隔离带影响:图 3 是有和无护栏和隔离带的阻力系数(二维),从图 3 可以看出,桥

收稿日期 2000-01-16,修订日期 2000-02-30

作者简介:李会知(1965-)男,河南省永城市人,郑州工业大学副教授,主要从事水力学、土力学、风工程及工业空气动力学方面的研究.

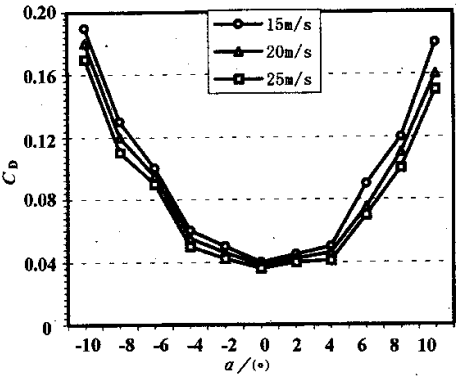


图 2 $L=0.7\text{ m}$ 时,阻力系数随风速变化
面护栏和隔离带的存在使阻力系数明显增大,使
升力系数减小,使力矩系数在正攻角时减小,在负
攻角时稍大,因此,要得出可靠的桥梁设计风荷
载,模型模拟桥面护栏和隔离带是必要的。

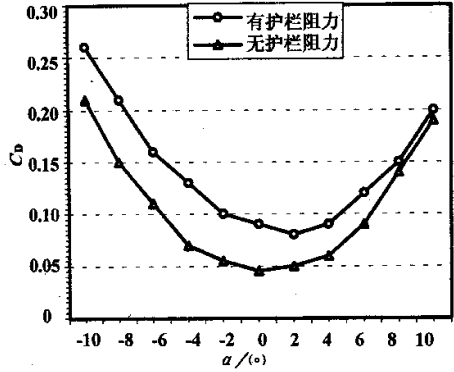


图 3(a) 有、无护栏和隔离带时的阻力系数

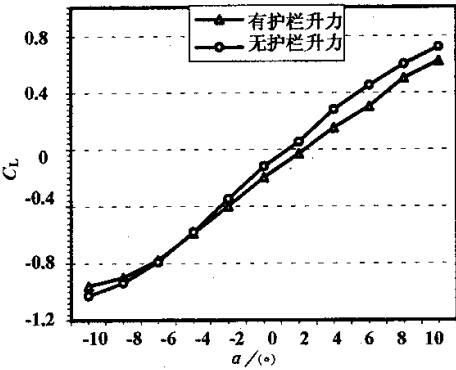


图 3(b) 有、无护栏和隔离带时的升力系数

(3) 模型长度影响:图 4 是风速为 20 m/s 时,模型长分别为 0.7 m 、 0.9 m 、 1.4 m (二维)的阻力系数,从图 4 可以看出,阻力系数与模型长度有关系,在试验的几种情况下,阻力系数随模型长度减小而递减。

(4) 驰振稳定性:根据 Glauert-Den Hartog

判据^[21], $C_D + \frac{dC_L}{d\alpha} < 0$ 时将发生驰振不稳定,它的实质是桥梁所受的时间平均风荷载在桥梁运动时将产生负阻尼,从而使振动发散,因为是由平均风荷载引起的稳定性问题,所以又有学者称之为“静力稳定性问题”。

从图 3 可以看出, $\frac{dC_L}{d\alpha} > 0$, 因而 $C_D + \frac{dC_L}{d\alpha} > 0$, 所以,该桥不会发生驰振失稳。

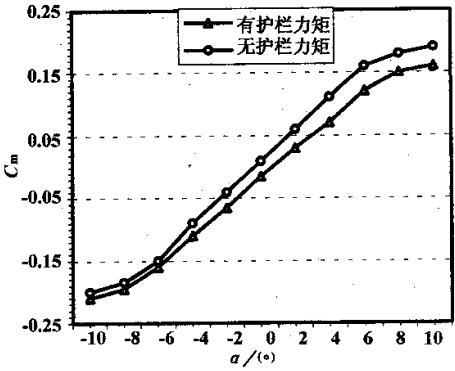


图 3(c) 有、无护栏和隔离带时的力矩系数

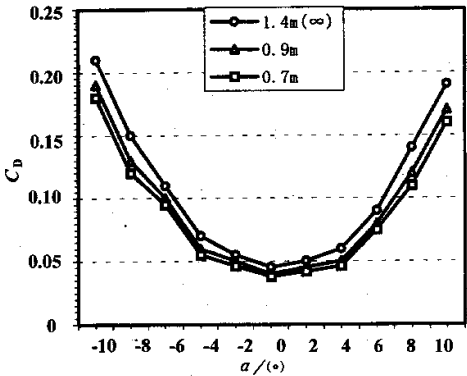


图 4 $V=20\text{ m/s}$ 时,阻力系数随模型长度变化

2 动力试验

2.1 试验概况

节段模型动力试验除要求几何相似外,还要求质量、转动惯量、固有频率、阻尼相似^[31],即

$$\left(\frac{m}{\rho B^2}\right)_m = \left(\frac{m}{\rho B^2}\right)_f; \left(\frac{I}{\rho B^4}\right)_m = \left(\frac{I}{\rho B^4}\right)_f; \\ \left(\frac{V}{\omega_h B}\right)_m = \left(\frac{V}{\omega_h B}\right)_f; \left(\frac{\omega_a}{\omega_h}\right)_m = \left(\frac{\omega_a}{\omega_h}\right)_f; \\ (\zeta_h)_m = (\zeta_h)_f; (\zeta_a)_m = (\zeta_a)_f.$$

其中: m 、 I 分别是单位长度质量和转动惯量; ρ 、 B 分别是空气密度和桥宽; V 是来流风速; ω_h 、 ω_a 分别是竖直和扭转振动角频率; ζ_h 、 ζ_a 分别是竖直和扭转振动阻尼因子;下标 m 、 f 分别表示模型

和实桥参量.

应用模型模拟两种工况,工况 1: $m=23.1\text{ kg/m}$, $I=0.78\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{m}$, $\omega_h=2.2\text{ Hz}$, $\omega_a=6.0\text{ Hz}$;工况 2: $m=23.1\text{ kg/m}$, $I=0.78\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{m}$, $\omega_h=2.5\text{ Hz}$, $\omega_a=5.4\text{ Hz}$. 试验时风速从小逐渐增大,出现等幅振动时的风速为颤振临界风速,按照相似准则转换即可求得实桥颤振临界风速.

2.2 试验结果分析

(1) 竖直振动:约束模型使之作纯竖直向运动,测得 $\zeta_h=0.88\%$. 使风速呈阶梯形递增至 50 m/s 给模型以初始扰动,模型则呈现衰减振动,而且随风速增加,衰减加快,说明气动阻尼是正的,且随风速递增,不会发生单自由度的竖直向颤振,另外,没有发生明显的涡激振动.

(2) 扭转振动:约束模型使之作纯扭转运动,测得 $\zeta_a=0.48\%$. 使风速呈阶梯形递增至 50 m/s 给模型以初始扰动,模型则呈现衰减振动,而且随风速增加,衰减加快.这说明气动阻尼是正的,且随风速递增,不会发生单自由度的扭转颤振.

(3) 耦合振动:使模型作竖直、扭转两自由度耦合振动,则两种工况均发生颤振.工况 1 的颤振临界风速为 45 m/s ,颤振频率为 4.2 Hz ;工况 2 的颤振临界风速为 41 m/s ,颤振频率为 3.6 Hz .

如果模拟几何比为 $1:40$,固有频率比为 $10:1$,则工况 1 的颤振临界风速为 180 m/s ,颤振频率为 0.42 Hz ;工况 2 的颤振临界风速为 164 m/s ,颤振频率为 0.36 Hz .

3 结论

根据试验结果,可得出主要结论如下:

(1) 试验模型应模拟桥面护栏和隔离带,这样才能给出可靠的设计风荷载.

(2) 设计试验方案以及应用试验结果时应考虑模型长度的影响.

(3) 该桥型在试验攻角范围内不会发生驰振失稳.

(4) 该桥型在试验风速范围内不会发生单自由度的竖直或扭转颤振,但会发生耦合颤振.

参考文献:

- [1] 维罗拉.世界和芬兰的著名桥梁[J].荆秀芬,译.国外桥梁,1999(2):1-26.
- [2] 埃米尔·希缪,罗伯特·斯坎伦.风对结构的作用—风工程导论[M].刘尚培,项海帆,谢黎明,译.上海:同济大学出版社,1992.
- [3] 项海帆.公路桥梁抗风设计指南[M].北京:人民交通出版社,1996.

The Experimental Study of Wind Force on Bridge Deck Section Model

LI Hui-zhi¹, LIU Zhan-chen², WU Yi-zhang¹, ZHENG Bing¹

(1. College of Civil & Building Engineering Zhengzhou University of Technology Zhengzhou 450002, China; 2. Shangqiu Construction Committee, Shangqiu 476000, China)

Abstract: This paper introduces bridge section model tests in the wind tunnel. It presents static forces on bridge section models. The effects of bridge fences, isolation belts and different model lengths on static forces are studied. The static and dynamic stabilities of bridge are analyzed. The results show the effect of bridge fence, isolation belts and different model lengths on static forces should be considered in wind load design.

Key words: bridge section model; wind tunnel test; galloping; flutter