

洞庭湖大桥桥塔塔顶风场与风压特性试验研究

禹见达, 李彬, 竹剡锋

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:对岳阳洞庭湖大桥中塔塔顶风场和风压进行现场实测,得到了桥塔塔顶风压和风速、风向时程.分析了风场特性参数、塔顶风压分布、平均风压系数和脉动风压系数的变化规律.分析结果表明:迎风面各点平均风压系数变化趋势一致,迎风面脉动风压系数较大,背风面脉动风压系数相对较小,在同一面上脉动风压系数差别较小;塔顶周围风场平均湍流速度较小且脉动风压系数是风场湍流速度的2~3倍.

关键词:桥塔;现场实测;风压系数;湍流度

中图分类号:TU352.1

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2014)03-0049-04

Investigation into the characteristics of wind and wind pressure of the tower top of Dongting Lake Bridge

YU Jianda, LI Bin, ZHU Shanfeng

(School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Based on field measurement of the wind field and wind pressures of the tower top of Dongting Lake Bridge, wind pressures, wind speed and direction time series were obtained. And the characteristics of wind field, the distribution of wind pressures, the mean wind pressure coefficients and fluctuating wind pressure coefficients of the tower top were analysed. The results show that the change of mean wind pressure coefficients of each point of windward side tends to be identical, that the fluctuating wind pressure coefficients of windward is relatively higher and the leeward one is relatively lower, that there is less difference in the fluctuating wind pressure coefficients on the same side and that the fluctuating wind pressure coefficients is two to three times as large as the turbulence.

Key words: bridge tower; field measurement; wind pressure coefficients; turbulence intensity

随着结构跨度的不断增大和高度的进一步增加,结构对风的作用更加敏感,风荷载作用下的大跨度桥梁及高耸结构的抗风性能已经成为影响其设计和施工的控制因素^[1].进行结构抗风研究的方法主要包括3种,即:风洞试验、数值模拟、现场实测^[2].以往的研究者在进行结构抗风研究时一般采用风洞试验或以风洞试验为主并辅以数值模拟的研究方法.然而,对于风洞试验的方法,由于试验模型与实际结构间存在缩尺比,模型的气动参数

无法与实际结构完全一致,风洞试验室中无法精确模拟现场的雷诺数,以及边界条件和真实风场特性参数的复杂多变和随机性^[3-4],使得风洞试验结果与实际结构的受力存在一定的差别,且高雷诺数下结构气动力系数数值计算精度有待进一步提高.最近的研究发现,结构的气动力系数对雷诺数具有不容忽视的依赖性^[5-6],不同雷诺数下得到的气动力系数也不同,而气动力系数是风荷载(静阵风荷载和静力稳定)和动力分析(驰振、抖振)的基础,得

到准确的气动力系数对结构抗风设计和研究具有重要意义。

由于现场实测过程中天气条件的不可控制性以及各种客观因素的影响,很难获得现场实测数据。2013年4月18日,强冷空气过境桥址处,本文对洞庭湖大桥中塔塔顶风压和风场进行了实测,采集了大量的风场及风压参数数据,并得到了一些有意义的结果,可为大跨度桥梁及类似的结构抗风研究提供参考依据。

1 风场和风压特性观测

1.1 洞庭湖大桥简介

洞庭湖大桥位于洞庭湖与长江交汇处,东接岳阳市洞庭大道和107国道、京珠高速公路,西连省道306线,是国内目前最长的内河公路桥。主桥桥面高52 m,设计通航等级Ⅲ级。主桥桥型为不等高三塔、双索面空间索、全飘浮体系的预应力钢筋混凝土肋板梁式结构的斜拉桥,跨径为130 m + 310 m + 310 m + 130 m。索塔为双室宝石型断面,中塔高为125.684 m,两边塔高为99.311 m。在每年的3,4月份,一般发生5~6次大风,阵风最大可达30 m/s以上。

1.2 风场特性观测

本次观测采用RM Young 81000三向超声风速仪,安装于塔顶上方2.0 m高处,如图1所示,采样频率32 Hz。中塔外形如图2所示,风压测点处于塔顶下2.0 m,沿桥塔四周布置20个风压测点,测点布置如图3所示,采样频率26 Hz。



图1 超声风速仪



图2 桥塔

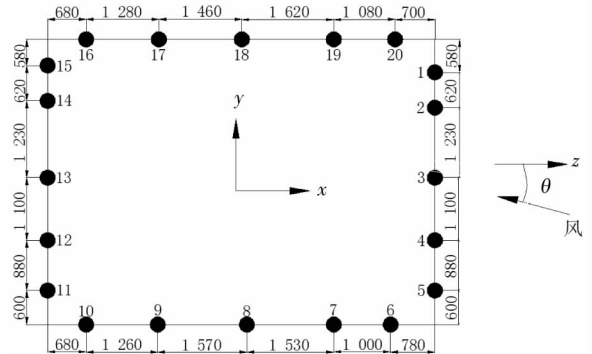


图3 风压测点位置

2 试验数据分析

2.1 风场特性参数

风速 $u(t)$ 可由以下公式计算分为顺风向与横风向的2个分量^[7],即:

$$u_x(t) = u(t) \cos\varphi(t); \quad (1)$$

$$u_y(t) = u(t) \sin\varphi(t). \quad (2)$$

θ 为风向角,如图3所示。取10 min为平均时距,则水平平均风速以及风向角分别为 U 和 θ ,即:

$$U = \sqrt{\overline{u_x(t)^2} + \overline{u_y(t)^2}}; \quad (3)$$

$$\theta = \arccos \frac{\overline{u_x(t)}}{U}. \quad (4)$$

式中, $\overline{u_x(t)}$, $\overline{u_y(t)}$ 分别为 $u_x(t)$, $u_y(t)$ 在10 min时距内样本的均值。

在10 min基本时距内,顺风向和横风向即纵向脉动风速 $u(t)$ 和横向脉动风速 $v(t)$ 可由以下公式计算:

$$u(t) = u_x(t) \cos\theta + u_y(t) \sin\theta - U; \quad (5)$$

$$v(t) = -u_x(t) \sin\theta + u_y(t) \cos\theta. \quad (6)$$

根据以上公式可有如下风场特性参数^[8]:

1) 湍流度

$$I_i = \frac{\sigma_i}{U}, (i = u, v). \quad (7)$$

式中, σ_i 为脉动风速 $u(t)$ 和 $v(t)$ 的均方根.

2) 阵风因子

$$G_u(t_g) = 1 + \frac{\max[u(t_g)]}{U}; \quad (8)$$

$$G_v(t_g) = \frac{\max[v(t_g)]}{U}. \quad (9)$$

式中, $G_u(t_g)$ 和 $G_v(t_g)$ 分别为顺风向和横风向阵风因子, t_g 为阵风持续时间, 一般情况下取阵风持续时间为 3 s.

2.2 风压特性参数

取 10 min 为平均时距, 则该时距内的平均风压系数为^[9-10]:

$$\bar{C}_p = \frac{\bar{P}}{0.5\rho U^2}. \quad (10)$$

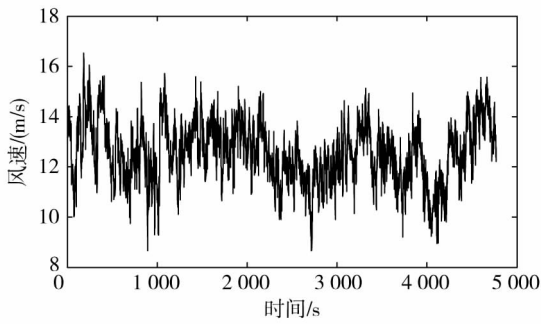
式中, \bar{P} 为平均风压, $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$, U 为平均风速. 在 10 min 基本时距内脉动风压系数:

$$C'_p = \frac{P'}{0.5\rho U^2}. \quad (11)$$

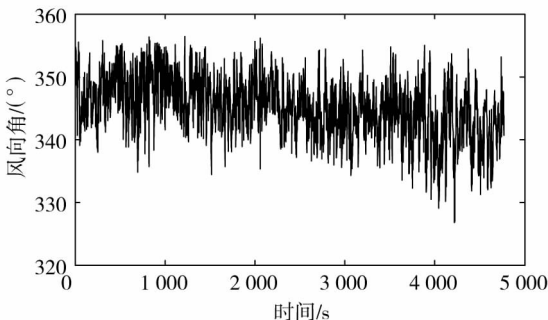
式中, P' 为脉动风压均方根.

2.3 中塔塔顶风场与风压

2013 年 4 月 18 日中塔塔顶的风场实测如图 4 所示. 桥塔塔顶风场湍流度如图 5 所示, 阵风因子如图 6 所示. 由实测结果可知: 桥塔处风场湍流度小, 比桥梁抗风指南中 I 类场地湍流度还小.



(a) 风速时程



(b) 风向时程

图4 风速和风向时程

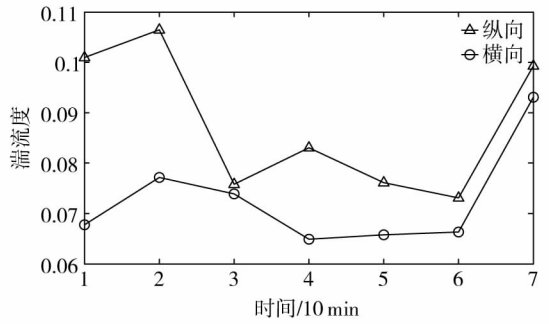


图5 平均湍流度

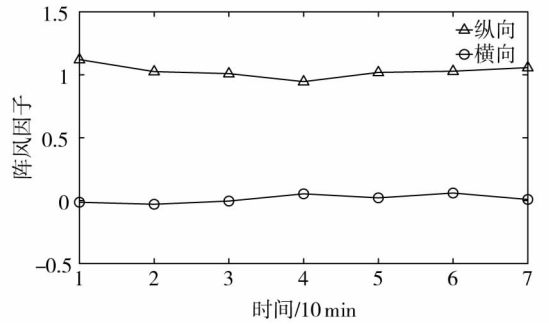


图6 阵风因子

桥塔在全测量时段内(4 770 s)的各测点平均风压如图 7 所示, 脉动风压系数如图 8 所示. 迎风面的各测点的平均风压系数和脉动风压系数大, 背风面的各测点的平均风压系数和脉动风压系数小. 第 7 号测点靠近气流分流点, 其风压最大. 图 8 同样显示迎风面各测点的脉动风压系数远大于背风面各测点的脉动风压系数, 但同处于迎风面的各测点的脉动风压系数差别很小, 同处于背风面的各测点的脉动风压系数差别同样很小.

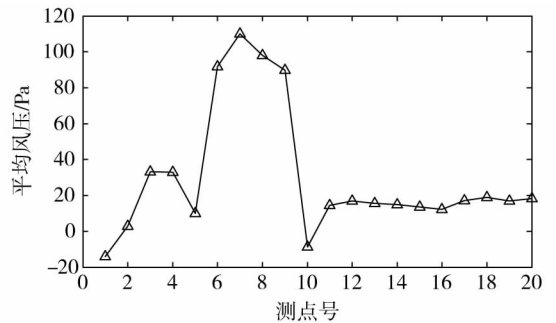


图7 平均风压

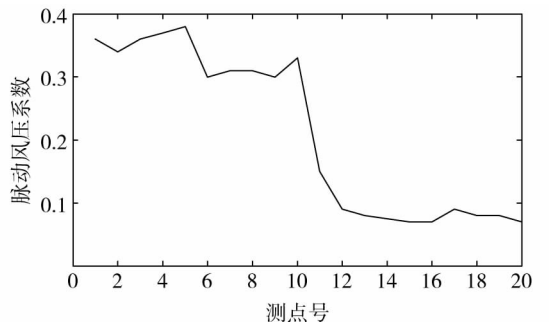


图8 脉动风压系数

图9为第7号测点风压时程,短时最大风压超过200 Pa,最小风压出现负值,变化非常大.图10为第7号测点脉动风压系数,由图可知,第7号测点脉动风压系数与风场湍流度变化趋势一致,其值为风场湍流度的2~3倍.

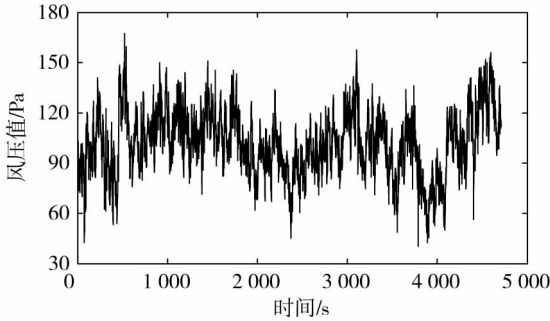


图9 第7号测点的风压时程

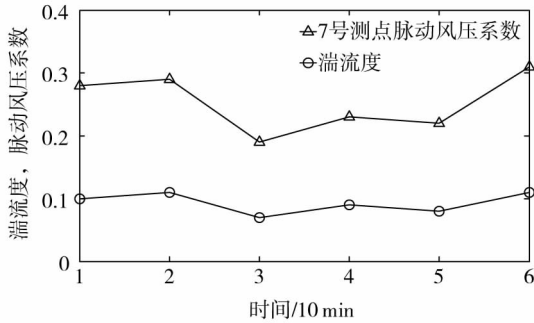


图10 第7号测点脉动风压系数

图11为迎风面部分测点的平均风压系数.对于所测试的风场环境,在10 min基本时距内,平均风压系数不为常数,但变化较小.图示测点平均风压系数的变化趋势基本一致,结合图8的脉动风压系数变化规律,可寻求只测试少量测点就能得到同一横截面的风压,这样就能实现对整个桥塔气动力的测量.

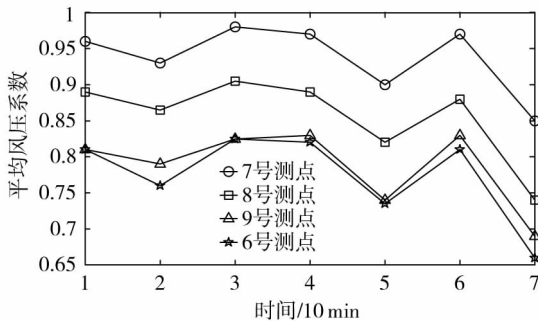


图11 部分测点平均风压系数

3 结论

1) 现场实测得到了桥塔塔顶的风场时程,计算分析了风场的阵风因子、湍流度等参数,分析结果显示桥塔塔顶湍流度非常小.

2) 测得桥塔塔顶风压时程,分析了塔顶平均风压系数、脉动风压系数,分析结果表明:桥塔迎风面各测点的平均风压系数变化趋势一致,脉动风压系数在迎风面和背风面有较大的区别,但在同一面上差别较小.

3) 脉动风压系数大于风场湍流度,前者是后者的2~3倍.

参考文献:

- [1] 项海帆. 现代桥梁抗风理论与实践[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [2] 陈政清. 桥梁风工程[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [3] 李秋胜,戴益民,李正农. 强台风“黑格比”登陆过程中近地风场特性[J]. 建筑结构学报,2010,31(4):54-61.
- [4] 张高良. 山区强风特性观测及风洞试验模拟研究[D]. 西安:长安大学,2011.
- [5] Liu Q, Ma W Y, Wei Q D. Experimental study on reynolds number effect of circular cylinder around critical Reynolds number range (Invited speech) [C]// Proceedings of the 11th International Conference on Fluid Control. Taiwan: Measurements and visualization, 2011.
- [6] 杨立波. 风洞中大气边界层主动模拟技术研究[D]. 上海:同济大学,2005.
- [7] 史文海,李正农,张传雄. 温州地区不同时间距下近地台风特性观测研究[J]. 空气动力学学报,2011,29(2):211-216.
- [8] 邵亚会,葛耀君,柯世堂,等. 飓风古斯塔夫(2008)过境过程风特性研究[J]. 空气动力学学报,2012,32(3):340-347.
- [9] 周俐俐. 重庆英利大厦表面风压测量与分析[D]. 重庆:重庆大学,2006.
- [10] 张朝晖,陈朝晖,陈丰,等. 有干扰的大跨度体育场屋盖表面风荷载特性研究[J]. 建筑结构,2012,42(2):154-159.