

廊桥风雨亭气动参数及风振系数分析

王 良

(广西柳州市城市投资建设发展有限公司, 广西 柳州 545000)

摘 要:廊桥是一种结合了亭台结构的独具侗族民族特色的特殊桥梁结构。为了研究廊桥风雨亭的气动参数和风振系数,以柳州市凤凰岭大桥为研究对象,采用虚拟风洞技术模拟得到廊桥风雨亭各层结构的气动力系数,分析了其气动系数变化规律,并对廊桥有限元模型进行了风荷载时程分析,得到了风雨亭各层的风振系数及其变化规律。研究成果可为现存廊桥结构养护和廊桥结构抗风设计提供一定参考。

关键词:廊桥;虚拟风洞;气动参数;风振系数

中图分类号:U442.5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)10-0106-04

0 引 言

廊桥作为一种由桥、亭、廊等结构组成的特殊桥梁,集功能性和艺术性于一身,融合了房屋艺术和桥梁建造的特点,不仅具有交通功能,还具有商业买卖、观光以及举办民俗活动等多种功能^[1]。廊桥是一种桥梁与建筑结合的组合结构。由于桥梁与建筑本身存在不同的受力特性,当两者结合在一起后,结构的协同受力就显得尤为复杂^[2]。张兴其等^[3]对拱式廊桥结构的动力特性进行分析,并分析了上部风雨亭对桥梁抗震能力的影响。王解军、杨涛等^[4-5]对胶合木廊桥结构受力性能和受力稳定进行了一定研究。卓刚、李奕达等^[6-7]对多跨连续混凝土廊桥的结构受力特征和应力变化等进行了研究。杨培森等^[8]对预应力混凝土钢构廊桥的静力和动力特性进行了分析,研究了上部建筑结构对桥梁结构抗震性能的影响。

现有研究多数针对廊桥结构的内力分析和抗震性能分析,而廊桥上部的风雨亭结构外形特殊,其对结构受到的风荷载作用会产生较大影响,且目前没有现成的规范条款或工程实例提供设计参考。桂龙辉、苏益等^[9-11]对山区悬挑廊桥的风荷载和风致响应进行了风洞试验研究。目前对多跨连续廊桥的风荷载和气动参数的数值模拟研究还较少,本文以凤凰岭大桥为研究对象,采用虚拟风洞技术对廊桥风雨

亭各层结构气动力系数的变化规律进行了分析,并对廊桥风雨亭各层的风振系数及其变化规律进行了计算和分析。

1 研究背景

本研究以柳州凤凰岭大桥为工程背景。凤凰岭大桥是一座公轨两用大桥,是连接柳州市柳北区与柳东新区的主要通道。主桥全长700 m,共6跨,跨径布置为90 m+130 m×4+90 m。主桥宽46.6 m,两侧为双向6车道规模的机动车道,中间预留远期城市轨道交通空间,两侧各设置非机动车道和人行道。凤凰岭大桥主桥采用具有侗族民族特色的廊桥造型,桥上共有5座风雨亭,包括2座四角亭、2座六角亭和1座八角亭。风雨亭独特的外观将对桥梁结构的气动参数和风振系数产生较大影响。主桥平立面布置图如图1所示。

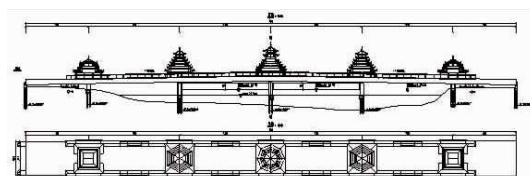


图1 凤凰岭大桥平立面布置图

2 气动参数研究

采用虚拟风洞技术对廊桥结构的气动参数进行模拟计算。由对称性和相似性风荷载参数分析主要关系3座风雨亭建筑,即四角亭、六角亭、八角亭各一座,分别定义为A建筑、B建筑、C建筑,如图2所示。为便于风荷载参数的定义,分别将各风雨亭建筑按照结构层分为一定层,如图3所示。其中,A建筑分为5层,从下到上分别定义为A1~A5编号;B建筑分为8

收稿日期:2021-02-07

作者简介:王良(1978—),男,硕士,高级工程师,从事道路桥梁设计与施工管理工作。

层,分别定义为 B1~B8 编号;C 建筑分为 9 层,分别定义为 C1~C9 编号。

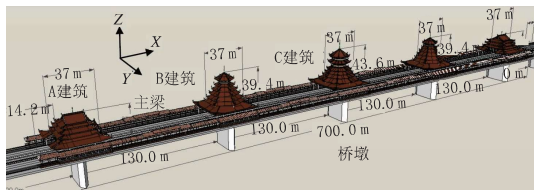


图 2 廊桥计算建筑编号示意图

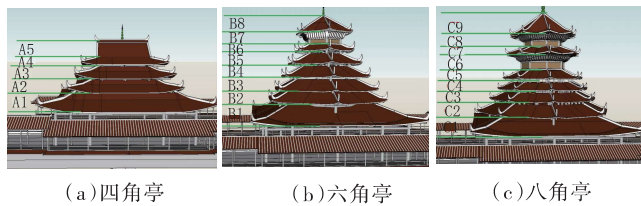


图 3 各风雨亭分层编号示意图

为方便描述风雨亭结构的风荷载和气动系数,建立气动参数的整体坐标系,分别定义为: X 轴向为顺桥向, Y 轴为横桥向, Z 轴为竖向,如图 2 所示。分别定义整体坐标系各分块的气动系数为:

$$C_i = \frac{F_i}{0.5 \rho U^2 L B}$$

式中: C_i 分别为风雨亭各层在 X 、 Y 、 Z 轴方向的气动系数; F_i 分别为风雨亭各层在 X 、 Y 、 Z 轴方向的风荷载; ρ 为空气密度; U 为来流风速; L 为各分层的参考长度; B 为各分层的参考高度。

按照全桥结构三维尺寸,建立其三维模型,总共有 5 座风雨亭建筑。为风洞模拟方便,风雨亭表面局部进行了适当的简化,保证结构主体风荷载和气动系数模拟计算结果的准确性。主要分析的 3 座风雨亭建筑的几何模型网格划分情况如图 4 所示。采用虚拟风洞模拟计算廊桥风雨亭在顺桥向风向和横桥向风向下的气动参数(见表 1),并得到两种风向下的三维流场分布,如图 5 所示。

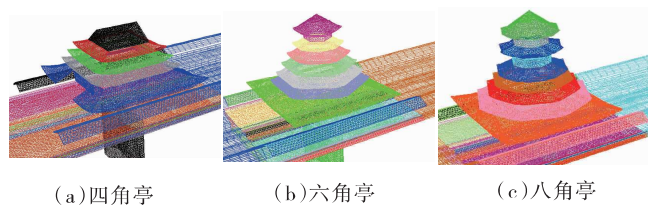


图 4 各风雨亭网格划分示意图

由气动力系数模拟计算结果可得,在顺桥向风向工况下,四角亭(A 建筑)的气动阻力系数随着层高的增加而降低,最底层为 1.49,而最顶层为 0.93。六角亭(B 建筑)由于前方四角亭的遮挡作用,低层的气动阻力系数较小,随层数增加,遮挡作用降低,系数增大,最大为 1.74;最高层 B8 为锥形结构,气动

表 1 风雨亭各分块气动系数

各风雨亭 分层编号	顺桥向风向			横桥向风向		
	C_x	C_y	C_z	C_x	C_y	C_z
A1	1.49	-0.02	0.35	-0.06	1.83	-0.88
A2	1.18	-0.02	0.37	-0.04	0.84	1.48
A3	1.03	0.01	0.78	-0.05	0.88	1.73
A4	1.04	-0.01	2.47	-0.09	0.53	4.08
A5	0.93	-0.01	3.52	-0.05	1.27	2.79
B1	0.56	0.00	-1.34	-0.01	1.31	-0.63
B2	0.72	0.00	-0.74	0.00	0.93	0.42
B3	0.85	0.00	-0.20	-0.02	0.87	1.29
B4	0.88	0.00	0.34	0.00	1.05	1.80
B5	0.99	0.01	1.07	-0.04	1.20	2.55
B6	1.06	0.02	2.07	-0.07	1.08	3.65
B7	1.74	0.05	-1.51	-0.18	2.30	-3.23
B8	0.46	0.00	2.30	0.01	0.40	3.28
C1	0.31	0.00	-0.12	0.00	0.99	0.24
C2	0.57	0.00	-0.80	0.00	0.93	0.00
C3	0.65	0.00	-0.18	0.00	0.95	1.38
C4	0.82	0.00	0.31	-0.02	1.20	2.19
C5	0.71	-0.01	0.99	-0.01	0.74	3.42
C6	0.86	-0.02	-0.68	0.00	1.22	-1.33
C7	1.15	-0.03	1.78	0.01	1.31	3.93
C8	1.28	-0.08	-1.18	0.04	1.62	-2.42
C9	0.72	0.00	3.80	-0.01	0.63	5.74

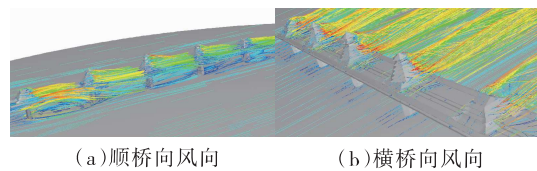


图 5 廊桥三维流场分布图

阻力系数较小。八角亭(C 建筑)同样受到前方六角亭的遮挡作用,随层数增加,遮挡作用降低,系数增大,最大为 1.28;最高层 C9 为锥形结构,气动阻力系数较小。

在横桥向风向工况下,四角亭层高较高的最低层 A1 和最高层 A5,气动阻力系数较大。其中,最低层最大,为 1.83,其余各层气动阻力系数较小。六角亭最低层 B1 气动阻力系数较大;B2~B6 层气动阻力系数接近;B7 层无倾斜的屋面结构,为竖直的墙面结构,气动阻力系数最大,为 2.30;最高层 B8 为锥形结构,气动阻力系数较小。八角亭低层 C1~C4 的气动阻力系数较为接近;C6 和 C8 两层为竖直的墙面结构,气动阻力系数较大;C8 层最大为 1.62,最高层 C9 为锥形结构,气动阻力系数较小。

3 气动参数研究

采用 MATLAB 对 3 种风雨亭进行随机风场模拟

分析。桥位处属于B类地表类别,地表粗糙度系数取0.16,粗糙高度取0.05。根据风环境参数,将各亭空间进行分块,如图6所示,得到各分块风速随时间的变化曲线。其中,3种风雨亭8号点的风速时程图如图7所示。

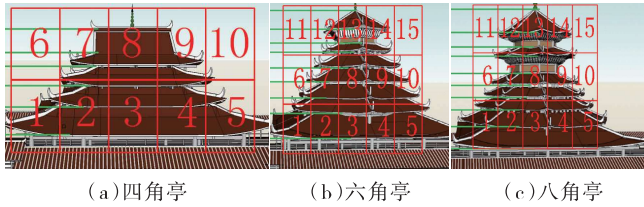
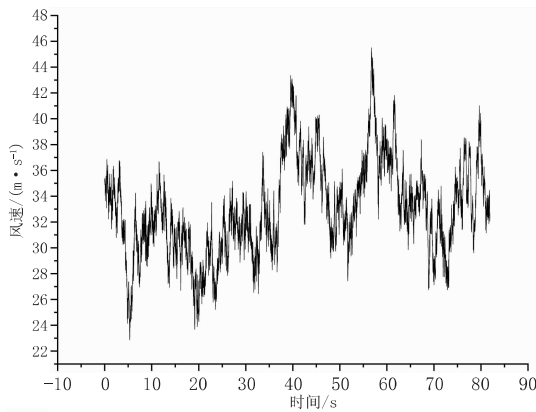
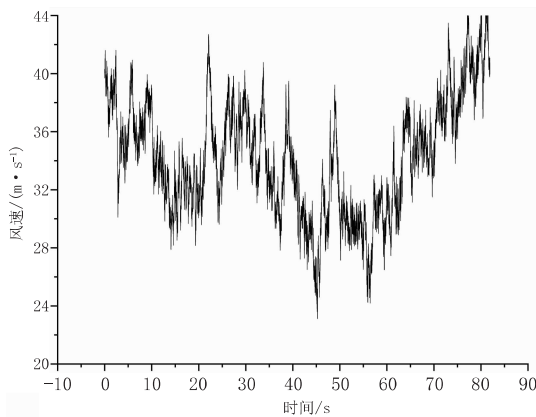


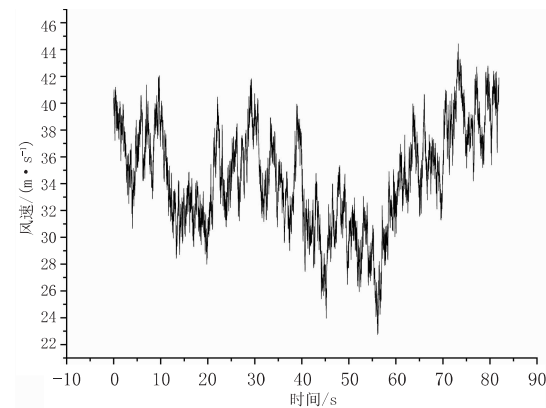
图6 风雨亭立面分块示意图



(a)四角亭



(b)六角亭

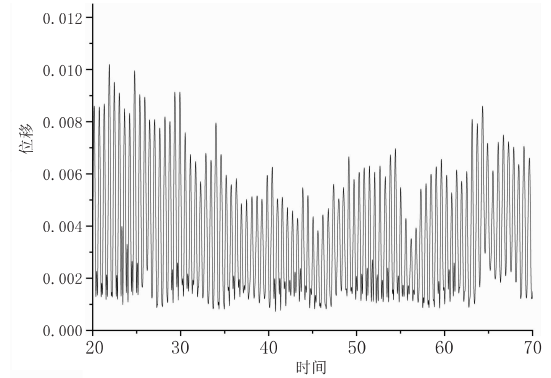


(c)八角亭

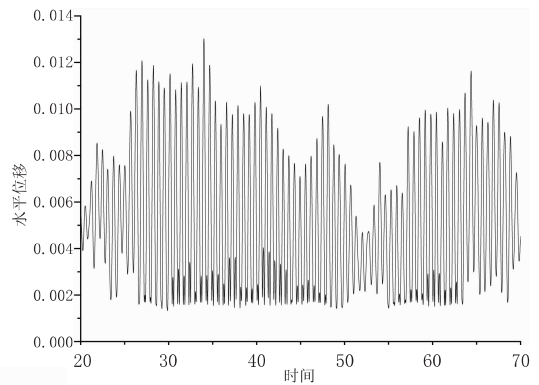
图7 3种风雨亭8号点的风速时程图

利用模拟的风场风速时程结果,根据下式计算风荷载值,并将风荷载施加到结构上,进行动力瞬态分析,得到不同风向工况下桥上风雨亭各层节点的水平位移时程图。其中,顺桥向风向和横桥向风向工况八角亭最高层水平位移时程图如图8所示。

$$F_i(t) = 0.5 \rho U(t)^2 LB$$



(a)顺桥向风向



(b)横桥向风向

图8 八角亭最高层平均水平位移时程图

对结构有限元模型施加风荷载进行动力分析计算结构的风振系数。通过桥位的环境参数模拟出桥上风雨亭处随时间变化的风速值,然后根据随时间变化的风速值计算相应的风荷载值,并施加到桥上风雨亭上,提取结构的位移响应,根据下式计算风振系数。计算得到在不同风向工况下风雨亭各层的风振系数,见表2。

$$\beta_z = \frac{S_{\max}}{\bar{S}}$$

式中: β_z 为风振系数; $S_{\max}$ 为最大水平位移值; $\bar{S}$ 为平均水平位移值。

由表2可得,在顺桥向风向工况下,四角亭建筑各层风振系数在1.49~2.26之间,六角亭建筑各层风振系数在1.40~2.22之间,八角亭建筑各层风振系数在1.27~2.54之间;在横桥向风向工况下,四角亭建筑各层风振系数在1.48~2.12之间,六角亭建筑各层风振系数在1.80~2.67之间,八角亭建筑各层风振系

表 2 风雨亭各层的风振系数

各风雨亭分层编号	顺桥向风向	横桥向风向
A1	1.49	1.48
A2	1.72	1.89
A3	1.82	1.87
A4	2.12	2.10
A5	2.26	2.12
B1	1.40	1.80
B2	2.15	2.59
B3	2.16	2.63
B4	2.18	2.63
B5	2.18	2.63
B6	2.20	2.64
B7	2.21	2.65
B8	2.22	2.67
C1	1.27	1.69
C2	1.82	2.19
C3	2.32	2.58
C4	2.48	2.67
C5	2.50	2.70
C6	2.40	2.65
C7	2.51	2.76
C8	2.53	2.80
C9	2.54	2.85

数在 1.69~2.85 之间。四角亭在两种工况下风振系数较为接近,六角亭和八角亭在横桥向风向工况下的风振系数稍大于顺桥向风向工况。

4 结 论

本文以柳州市凤凰岭大桥为研究对象,首先采用虚拟风洞技术模拟得到桥上风雨亭各层结构的气动力系数和三维流场分布,然后通过随机风场模拟得到风雨亭各分块位置的风速时程曲线,最后通过有限元风荷载时程分析得到风雨亭各分层的风振系数。主要结论如下:

- (1)在顺桥向风向工况下,四角亭的气动阻力系数随着层高的增加而降低;六角亭与八角亭由于前方风雨亭的遮挡作用,低层的气动阻力系数较小,随层数增加,遮挡作用降低,系数增大,且两者最高层均为锥形结构,气动阻力较小。
- (2)在横桥向风向工况下,四角亭最低层和最高层气动阻力系数较大;六角亭与八角亭中有竖直的墙面结构的层数气动阻力系数较大,最高层为锥形结构,气动阻力系数较小。
- (3)四角亭在顺桥向风向和横桥向风向工况下,风振系数较为接近;六角亭和八角亭在横桥向风向工况下,风振系数稍大于顺桥向风向工况。

参考文献:

[1] 班楚薇.廊桥结构与功能空间探析[J].现代装饰(理论),2017(2):215.

[2] 廖宸锋,龙波.高烈度区风情廊桥抗震性能及减隔震设计分析[J].西部交通科技,2020(4):105-108.

[3] 张兴其,浦玉炳.拱式廊桥结构抗震设计及地震响应分析[J].市政技术,2019,37(4):82-86,90.

[4] 王解军,杨涛,张新胜.胶合木连续梁廊桥静力与稳定性分析[J].中南林业科技大学学报,2018,38(7):103-109,122.

[5] 杨涛.胶合木廊桥整体结构与 T 梁受力性能研究[D].长沙:中南林业科技大学,2019.

[6] 卓刚.钢筋混凝土连拱廊桥结构受力特性研究[D].成都:西华大学,2016.

[7] 李奕达.多跨连续梁景观廊桥运营期变形及应力研究[D].西安:长安大学,2017.

[8] 杨培森.预应力混凝土连续刚构景观廊桥静动力特性研究[D].成都:西华大学,2019.

[9] 桂龙辉,谢霁明,林颖孜,等.悬挑环形廊桥的气动弹性模型试验[J].浙江大学学报(工学版),2017,51(11):2121-2129.

[10] 桂龙辉.悬挑廊桥风致响应的风工程研究 [D]. 杭州:浙江大学,2017.

[11] 苏益,李明水,杨阳,等.山区单悬臂廊桥结构抖振响应及等效风荷载[J].西南交通大学学报,2019,54(1):121-128.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com