

文章编号: 1001-4888(2014)05-601-10

不同交通流状态下桥梁气动导数的风洞试验研究^{*}

李春光¹, 韩艳¹, 谭迪¹, 蔡春声^{1,2}, 张建仁¹

(1. 长沙理工大学 桥梁工程安全控制省部共建教育部重点实验室, 湖南长沙 410114;

2. 美国路易斯安那州立大学, 美国路易斯安那州, 巴吞鲁日 70803)

摘要: 为了考虑实际运营车辆对桥梁气动导数的影响, 根据车辆密度模拟了三种交通流状态, 基于强迫振动装置, 分别对每个交通流和无车状态下的桥梁气动导数进行风洞试验研究, 讨论了不同攻角下不同车流的车辆对桥梁气动导数的影响, 探究了车辆对气动导数影响的百分比以及气动导数变化量的变化规律。研究表明: 不同攻角下不同车流的车辆均对直接导数 A_2^* 、 H_1^* 和交叉导数 A_1^* 、 H_2^* 影响显著, A_2^* 、 A_3^* 变化量随着折减风速有一定的变化规律。虽然不同攻角下不同车流的车辆对气动导数的影响程度及影响规律不同, 并且车流的繁忙程度对大多数气动导数的影响规律不明显, 但是车辆对桥梁气动导数的影响不容忽视。

关键词: 风-车-桥系统; 不同交通流; 车辆的气动影响; 气动导数; 风洞试验

中图分类号: U442.5⁺9

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-13-139

0 引言

随着桥梁向大跨、轻型方向发展, 其车振和风振效应愈发显著。然而大跨度桥梁的气动响应分析中, 通常没有考虑车辆的作用, 比如计算模型中没有考虑车辆模型, 桥梁气动力系数测试过程中没有考虑车辆的干扰等, 原因是一般认为大风作用下桥上交通将会被封闭, 或者认为车辆的作用可以忽略。实际上, 很多强风情况, 即便风速接近甚至超过预定的限制风速, 出于经济的考虑和大跨桥梁对交通的影响, 很多情况下桥梁也是不会被关闭的。因此, 交通车辆以及强风情况会同时出现在大跨度桥梁上。此外, 近年来的研究也表明风-车-桥间的相互耦合作用对桥梁运营状态的响应有相当大的影响, 是不应该忽视的。因此, 考虑大跨桥梁、风荷载、交通车辆之间的动力耦合关系以及其对桥梁的影响是非常重要的。然而, 这方面的研究还非常有限。车桥耦合振动分析中, 通常将车辆和桥梁作为两个动力子系统进行求解, 为正确反映两子系统各自的振动特性, 在考虑横向风作用时, 需得到车辆和桥梁各自的气动力系数。单独桥梁气动力系数的识别方法与测试技术已经非常成熟^[1,2], Baker 等人^[3,4]对行驶在道路上的车辆的气动特性进行了大量的研究, 给出了行驶在道路上的车辆气动力系数的经验公式。然而目前对考虑车桥间的相互气动影响并同时识别出桥梁和车辆气动力系数的研究还不是很多。葛玉梅等^[5]通过节段模型风洞试验测试了考虑桥上有静止列车的桥梁断面的三分力系数和桥梁影响下列车的气动参数。李永乐等^[6-8]先后研制了一套交叉槽和移动列车测试系统, 分别研究了静止、移动列车对桥梁三分力系数的影响以及桥梁对车辆气动力的影响。韩艳等^[9-11]采用数值计算方法和风洞试验方法对风-车-桥耦合系统的车辆和桥梁气动特性也进行了一系列研究。虽然以上研究中均考虑了车辆与桥梁间的相互气动干扰对车辆和桥梁气动力的影响, 但均只研究车辆对桥梁三分力的影响, 没有研究车辆对桥梁气

^{*} 收稿日期: 2013-09-09; 修订日期: 2013-12-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50908025; 51178066; 51108045; 51278069); 长沙理工大学桥梁工程安全控制省部共建教育部重点实验室开放基金资助项目; 交通部西部交通科技项目重大科技专项资助项目(2011 318 824 140)

通讯作者: 韩艳(1979—), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事桥梁风致振动研究。E-mail: ce_hanyan@163.com

动导数的影响。气动导数不仅应用于大跨度桥梁的颤振稳定性分析,也在抖振分析中广泛应用,以考虑气动刚度和气动阻尼对抖振响应的影响。因此,为了精确预测大跨度桥梁在强风和车辆联合作用下的风振响应,有必要研究车辆对桥梁气动导数的影响。

本文在以前的研究基础上,基于强迫振动装置,选择具有代表性的交通流状态,开展车辆对桥梁气动导数影响的风洞试验研究。基于试验结果,分析研究了不同交通流状态下车辆对桥梁颤振导数的影响大小及影响规律,为以后车辆对桥梁气动导数影响修正系数的提出奠定基础,基于修订的气动导数可以进行相关的车辆对桥梁颤振及抖振影响的研究。

1 风洞试验研究

1.1 试验测试模型

桥梁节段模型由木板制作而成,模型缩尺比为 1:60,长度为 1.50m,采用塑料薄板模拟人行道栏杆和防撞墙,模型断面图如图 1 所示。选用两种典型的车型(小轿车和大型客车),为了减轻重量,车辆模型由泡沫板制成,小型轿车宽 2.88cm,大型轿车宽 3.67cm,具体断面尺寸如图 2 所示。

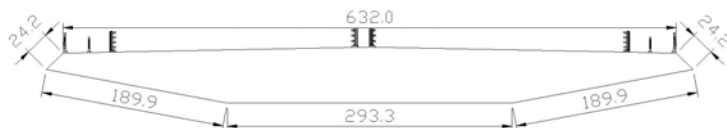


图 1 桥梁节段模型断面图(单位:mm)

Fig. 1 Bridge section model geometry and overall dimensions (unit: mm)

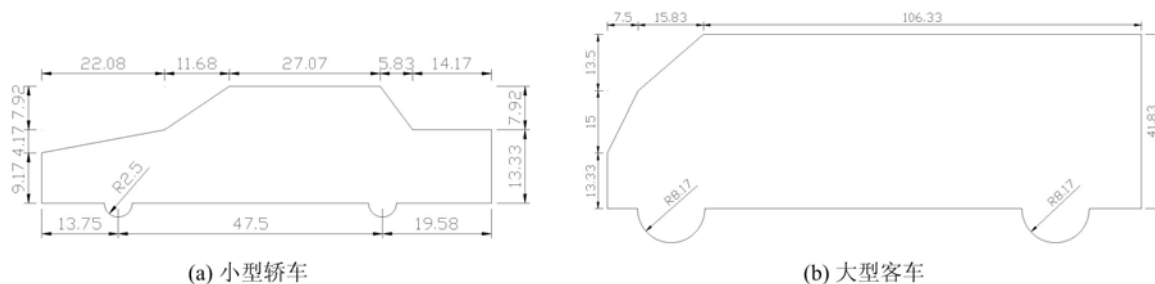


图 2 车辆模型示意图(单位:mm)

Fig. 2 Vehicle model geometry and overall dimensions (unit: mm)



图 3 湖南大学风洞试验室
强迫振动测试装置

Fig. 3 Forced vibration device in the
HD-2 wind tunnel of Hunan University

1.2 强迫振动测试装置

基于湖南大学开发的强迫振动装置,采用强迫振动法识别桥梁的气动导数。桥梁发生小幅风致振动时,车辆与桥梁一起发生竖向、侧向及扭转方向运动,只是车辆的位置随时间发生相对变化,也就是说,某一时刻桥梁自激力应该包括车辆引起的自激力。因此桥梁气动导数识别过程中没有去除车辆的非定常气动力。强迫振动装置跨风洞内外安装于湖南大学 HD-2 风洞高速试验段,整个驱动装置可以通过升降电机上下运动,装置在风洞内部的部分由专门设计的整流罩所包围,如图 3 所示。

1.3 气动导数的强迫振动时域法

为了避免通过运动加速度信号积分得到速度和位移信号的困难,采用激光位移计直接测量模型运动位移信号,两个激光位移计的布置如图 4 所示,它们之间的间距为 278mm,根据两个激光位移计测得的竖向位移时程计算得到模型的竖向位移和扭转角位移,即

$$h = -\frac{h_1 + h_2}{2 \times 1000} (\text{m}) \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{h_1 - h_2}{278} (\text{rad}) \tag{2}$$

然后通过位移的微分算法得到模型运动速度信号,即

$$\dot{h}(n) = \frac{h(n+2) - h(n)}{2\Delta t} = \frac{h(n+2) - h(n)}{2} f_s \tag{3}$$

$$\dot{\alpha}(n) = \frac{\alpha(n+2) - \alpha(n)}{2\Delta t} = \frac{\alpha(n+2) - \alpha(n)}{2} f_s \tag{4}$$

式中: $\dot{h}$ 和 $\dot{\alpha}$ 为模型的竖向和扭转角速度; h 和 α 为模型的竖向和扭转角位移; $n(=1, 2, \cdots, N-2)$ 为数据的计算点数; N 为数据的采用点数; f_s 是采用频率; Δt 为采样时间间隔。

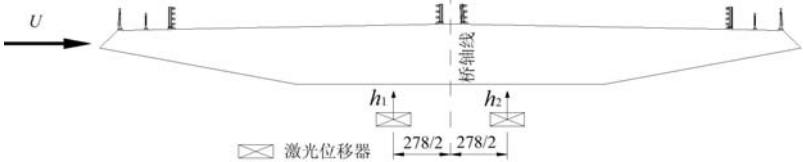


图 4 激光位移计的布置图

Fig. 4 Layout of the laser displacement meters relative to the bridge section model

依据模型运动的位移、速度时程信号和天平测得的模型竖向力、扭转时程信号,采用单自由度时域识别法识别出八个气动导数,强迫振动时域识别法的原理与计算公式见文[12,13]。节段模型竖向和扭转振动频率均为 1.48Hz,竖向振动幅值为 0.012m,扭转振动幅值为 2°,采样频率为 200Hz,采样时间为 50s 左右。

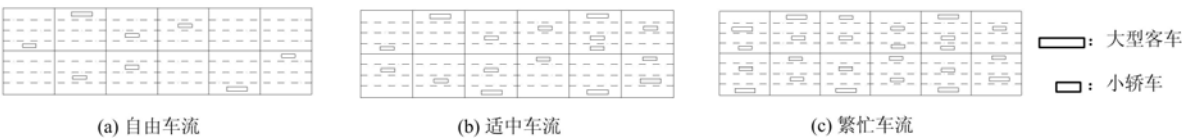


图 5 三种交通流

Fig. 5 Simulated traffic flow

1.4 不同交通流的模拟及试验工况

美国《道路通行能力手册》根据车流密度或车道占有率(ρ)把服务水平分为六个(A,B,C,D,E,F)等级,分别对应自由车流、合理自由车流、稳定车流、接近不稳定车流、不稳定车流、阻塞车流等六种交通流状态。本文中只考虑了自由车流、适中车流和繁忙车流三种交通流状态,分别对应合理自由车流($\rho=0.07$, 9 辆/km/车道)、接近不稳定流($\rho=0.15$, 20 辆/km/车道)和阻塞车流($\rho=0.24$, 32 辆/km/车道)。对于每种交通流状态,只考虑了两种车型(小轿车和大型客车),小轿车所占比例为 70%,大型客车所占比例为 30%。文中车道布置为双向 8 车道,车辆布置时应尽量将大型车辆布置在外侧车道,三种交通流模拟结果如图 5 所示,其中繁忙车流的车辆布置实图如图 6 所示。

为了研究不同车流对桥梁气动导数的影响,还模拟了无车状态。针对每种交通状态,分别测试了 -3° 、 0° 和 $+3^\circ$ 攻角下的桥梁气动导数,具体的测试工况如表 1 所示。

表 1 测试工况
Tab. 1 Testing cases

工况	桥上运行车辆情况	风场特性	风攻角($^\circ$)
1	自由车流	均匀风场	$-3, 0, 3$
2	适中车流	均匀风场	$-3, 0, 3$
3	繁忙车流	均匀风场	$-3, 0, 3$
4	桥上无车	均匀风场	$-3, 0, 3$

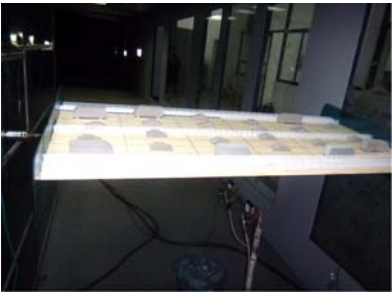


图 6 繁忙车流车辆布置实图

Fig. 6 Layout map of the vehicles under busy flow

2 试验结果及分析

2.1 不同交通流状态下车辆对桥梁气动导数的影响

图 7~14 是不同攻角下桥梁断面气动导数 A_i^* 和 H_i^* 随折减风速变化情况。从各图可以看出,不同攻角下不同车流的车辆均对直接导数 A_2^* 、 H_4^* 和交叉导数 A_4^* 、 H_2^* 影响显著,对气动导数 A_1^* 、 A_3^* 和 H_1^* 也有一定的影响,主要表现为对高折减风速时的影响,对各攻角下的气动导数 H_3^* 均基本没有影响。可能是因为气动导数 A_2^* 、 H_4^* 、 A_4^* 、 H_2^* 的数值相对较小,容易受外界干扰,而 H_3^* 的数值相对较大,不易受干扰。

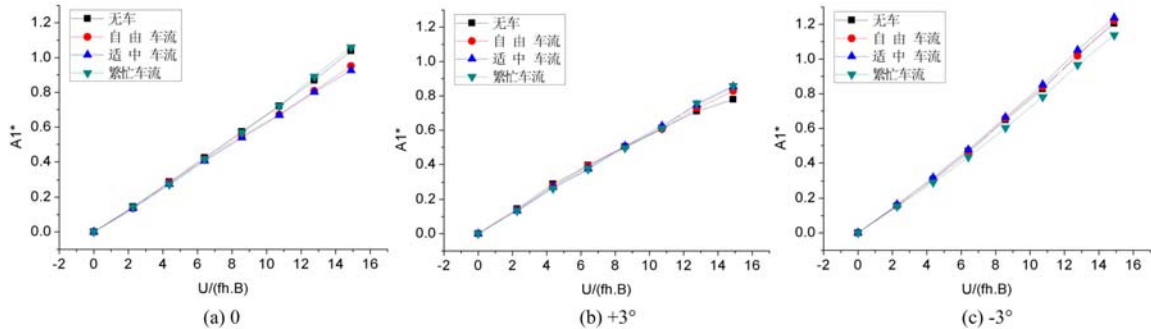


图 7 不同攻角下桥梁断面气动导数 A_1^* 随折减风速变化的情况

Fig. 7 Aerodynamic derivatives A_1^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles

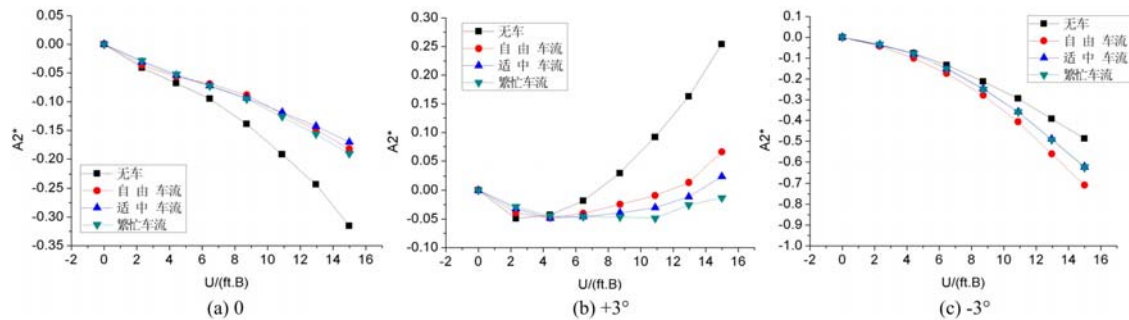


图 8 不同攻角下桥梁断面气动导数 A_2^* 随折减风速变化的情况

Fig. 8 Aerodynamic derivatives A_2^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles

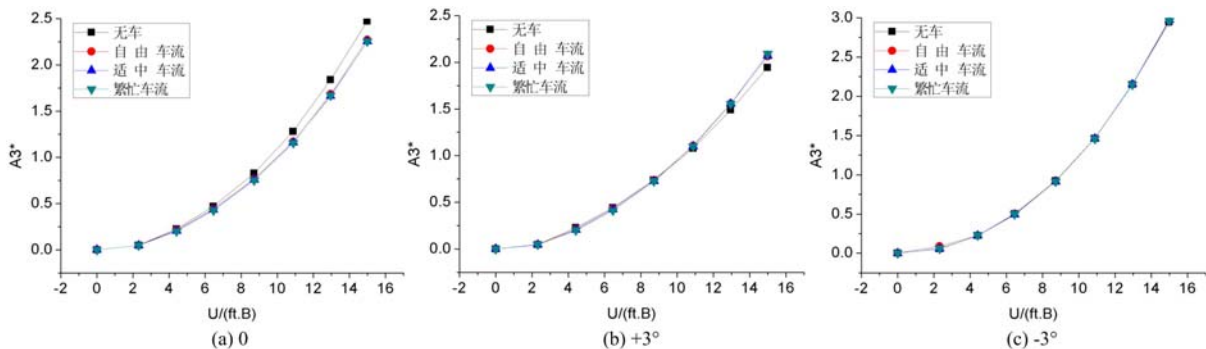
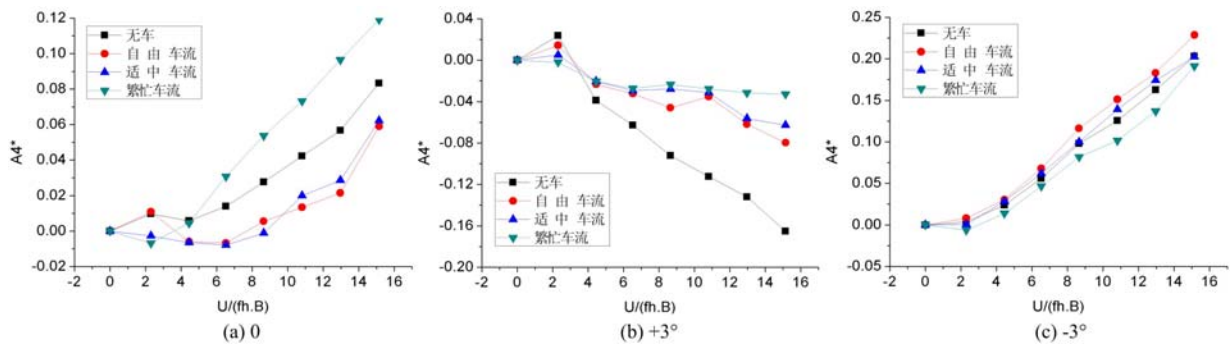
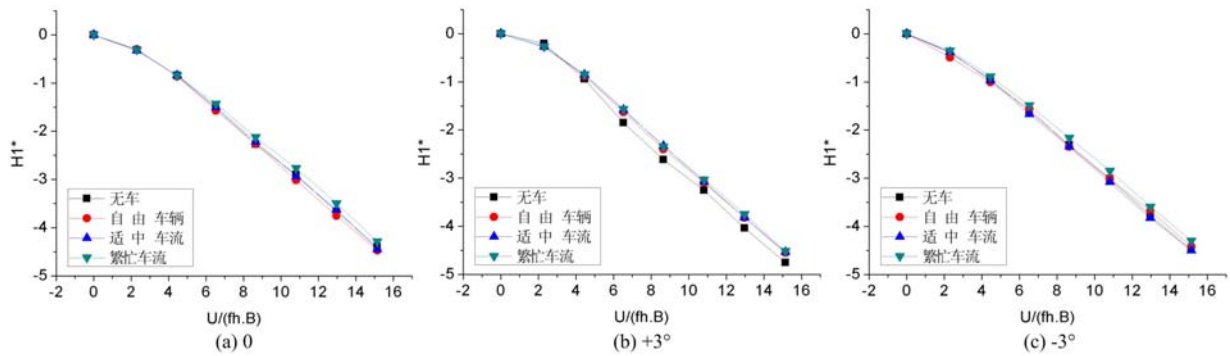
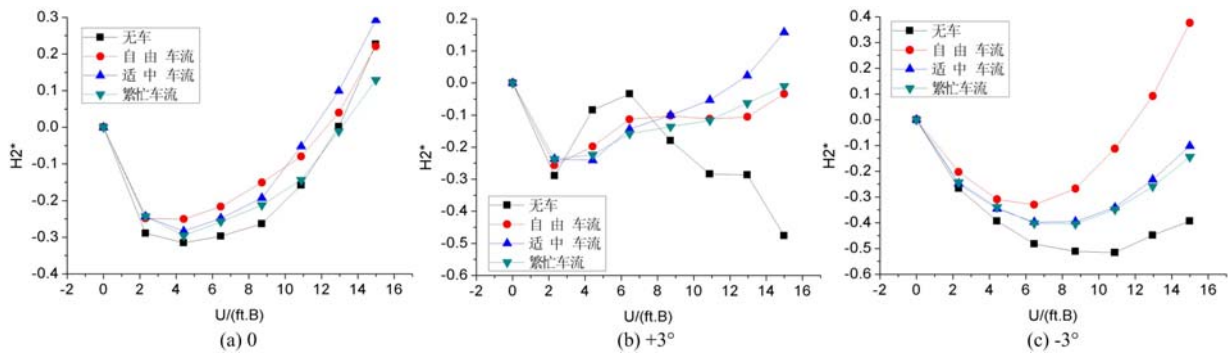
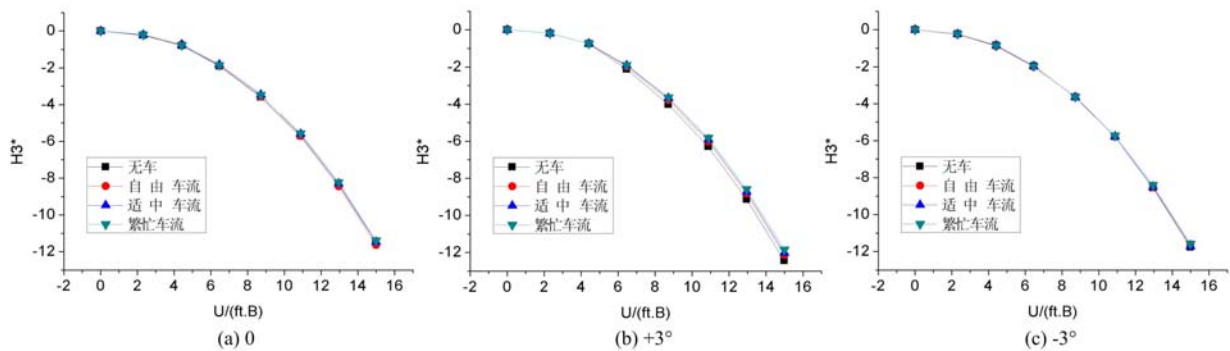
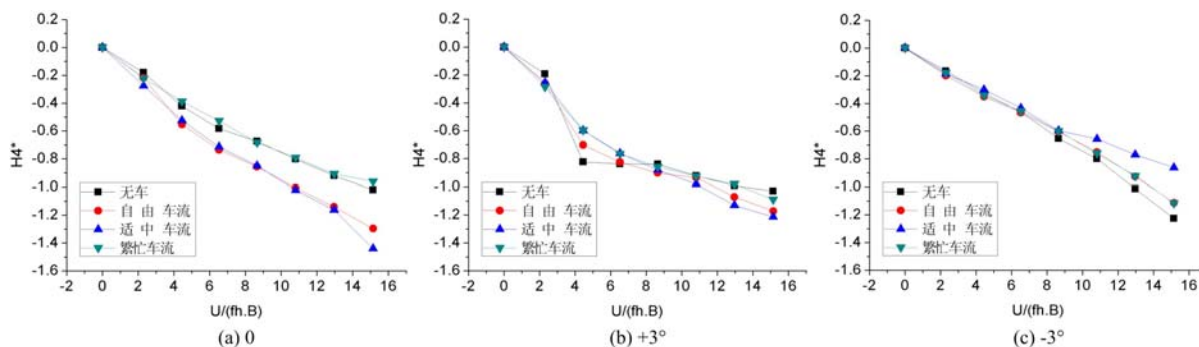


图 9 不同攻角下桥梁断面气动导数 A_3^* 随折减风速变化的情况

Fig. 9 Aerodynamic derivatives A_3^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles

从图 8 可以看出, 0° 和 -3° 攻角时 A_2^* 为负, 是正阻尼; $+3^\circ$ 攻角时 A_2^* 为正, 是负阻尼。 0° 攻角时不同车流下车辆均使正扭转气动阻尼减小, 减小的程度基本接近; 而 -3° 攻角时不同车流下车辆均使正扭转气动阻尼增大, 自由车流状态下影响最大; $+3^\circ$ 攻角时不同车流下车辆均使负扭转气动阻尼减小, 减小的程度随着繁忙程度的增大而增大。说明 0° 攻角时车辆不利于桥梁结构的气动稳定性, 而 $+3^\circ$ 和 -3° 攻角时车辆有利于桥梁结构的气动稳定性, 可能是因为 0° 攻角时桥梁断面是流线型断面, 车辆的存

图 10 不同攻角下桥梁断面气动导数 A_4^* 随折减风速变化的情况Fig. 10 Aerodynamic derivatives A_4^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles图 11 不同攻角下桥梁断面气动导数 H_1^* 随折减风速变化的情况Fig. 11 Aerodynamic derivatives H_1^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles图 12 不同攻角下桥梁断面气动导数 H_2^* 随折减风速变化的情况Fig. 12 Aerodynamic derivatives H_2^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles图 13 不同攻角下桥梁断面气动导数 H_3^* 随折减风速变化的情况Fig. 13 Aerodynamic derivatives H_3^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles

图 14 不同攻角下桥梁断面气动导数 H_4^* 随折减风速变化的情况Fig. 14 Aerodynamic derivatives H_4^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles

在一定程度上钝化了流线型断面形式,在 $+3^\circ$ 和 -3° 攻角时攻角使流线型断面钝化,而车辆的存在又使这种钝化减弱。

从图 10 可以看出, 0° 和 -3° 攻角时 A_4^* 为正, $+3^\circ$ 攻角时 A_4^* 为负,在 0° 和 $+3^\circ$ 攻角时,车辆对 A_4^* 影响显著。 0° 攻角时繁忙车流下车辆使 A_4^* 明显增大,自由车流和适中车流下车辆使其减小,减小程度相近。 $+3^\circ$ 攻角时三种车流下车辆均使 A_4^* 增大,繁忙车流下车辆使其增大的程度最大。 -3° 攻角时自由车流下车辆使 A_4^* 略有增大,而繁忙车流下车辆使其略有减小。

从图 12 可以看出, 0° 攻角下车辆对 H_2^* 的影响较其它攻角要小。 $+3^\circ$ 攻角时车流的存在改变了 H_2^* 的变化趋势,但是车流的繁忙程度对其影响不大。 -3° 攻角时车流的存在明显使 H_2^* 增大,尤其是自由车流、繁忙车流和适中车流对其影响相当。可见,车流的繁忙程度对其影响规律不明显。

直接气动导数 H_4^* 为影响竖向振动的气动刚度项,从图 14 可以看出,三种攻角下其均为负值,即气动刚度为正值。 0° 攻角时自由车流和适中车流使竖向气动刚度显著增大,且增大的程度相近,而繁忙车流反而对其基本没有影响; $+3^\circ$ 攻角时三种车流下的 H_4^* 变化趋势较无车情况下更平缓; -3° 攻角时高折减风速范围内车流对 H_4^* 影响显著,均使气动刚度减小,适中车流影响最大,自由车流和繁忙车流影响相当。同样可见,车流的繁忙程度对其影响规律不明显。

2.2 不同交通流状态下车辆对桥梁气动导数影响的变化量分析

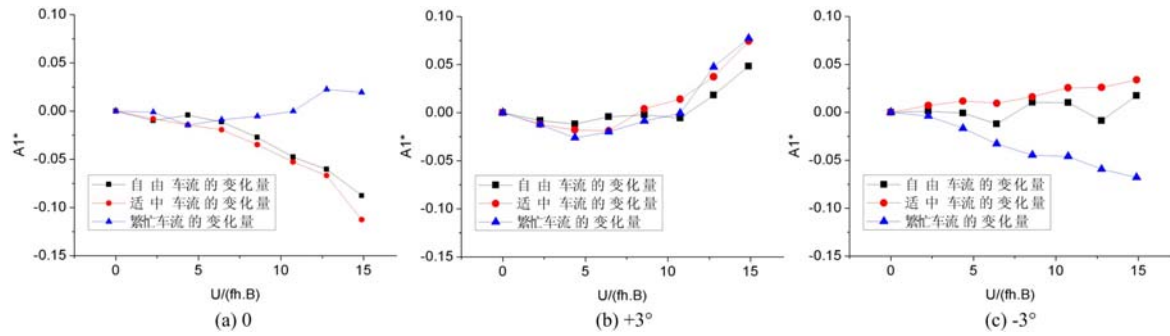
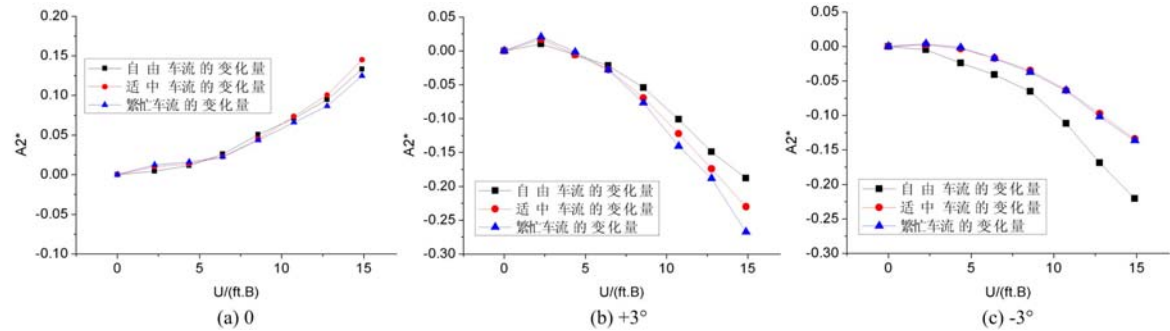
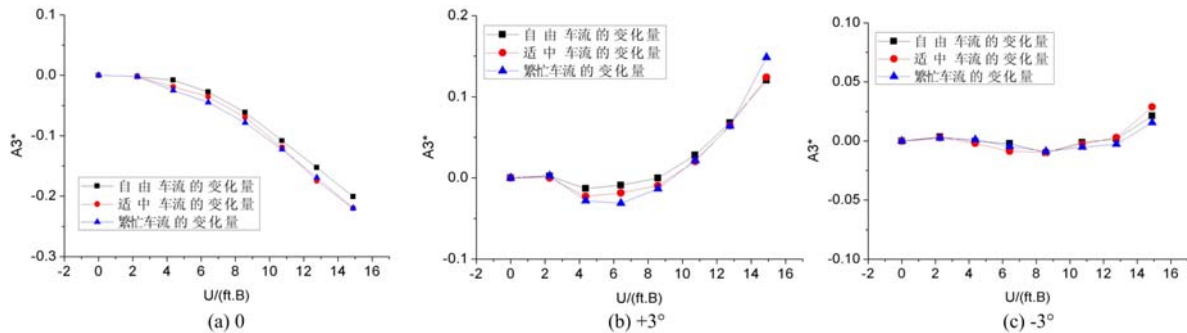
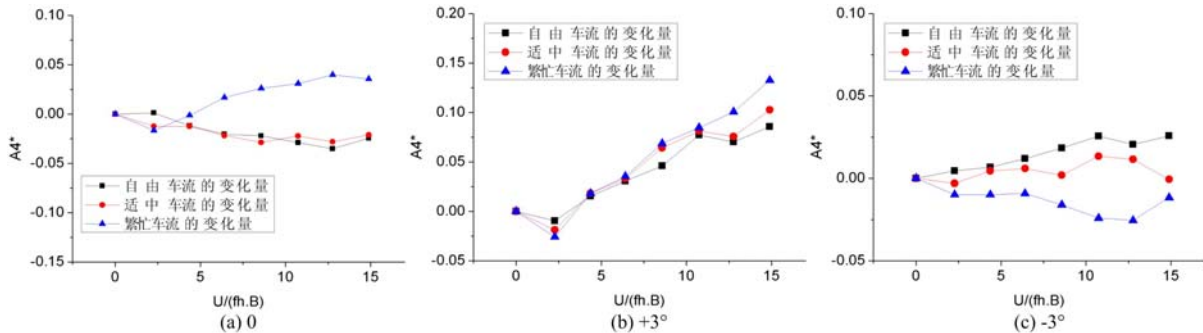
从上节分析可以看出,不同车流下车辆对气动导数 H_1^* 、 A_1^* 和 A_3^* 影响不显著,其对应的影响程度到底有多大,是否值得考虑呢? 为了给出答案,表 2 给出了 H_1^* 、 A_1^* 和 A_3^* 的变化百分比,表中只给出了具有代表性的个别攻角和车流状态下的气动导数变化百分比,其中变化百分比 = $100\% \times (\text{各车流状态下的气动导数} - \text{无车时的气动导数}) / \text{无车时的气动导数}$ 。

表 2 气动导数的变化百分比(%)

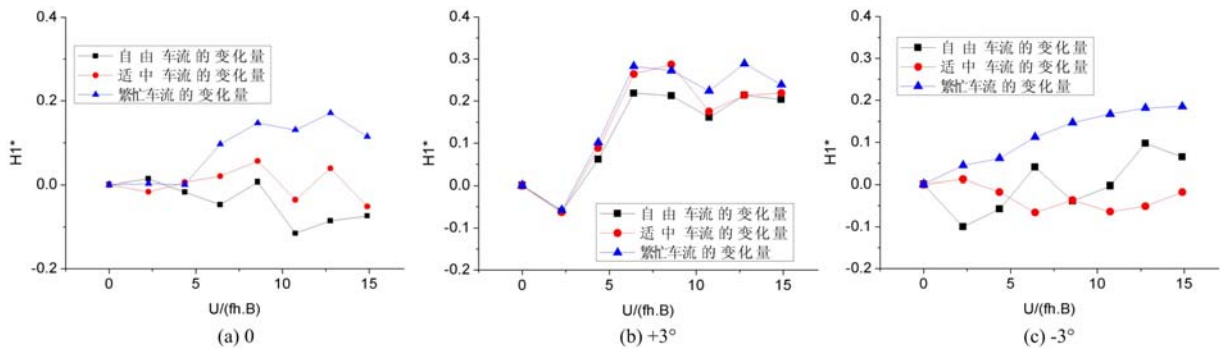
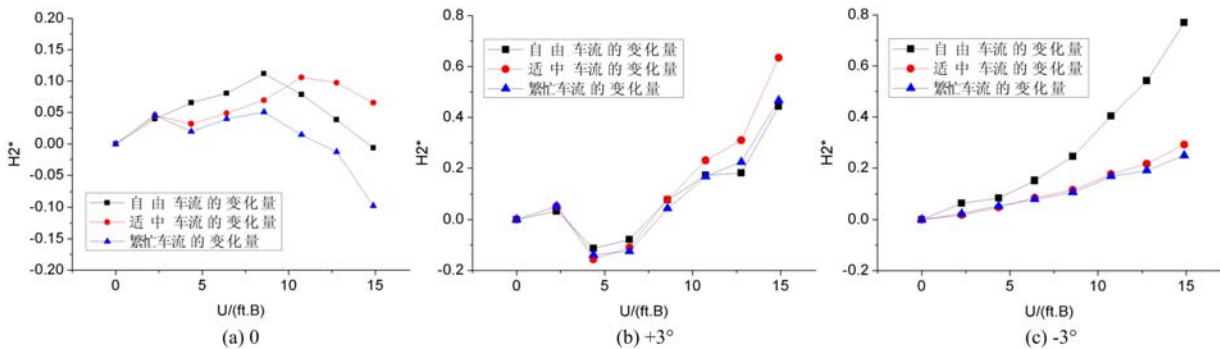
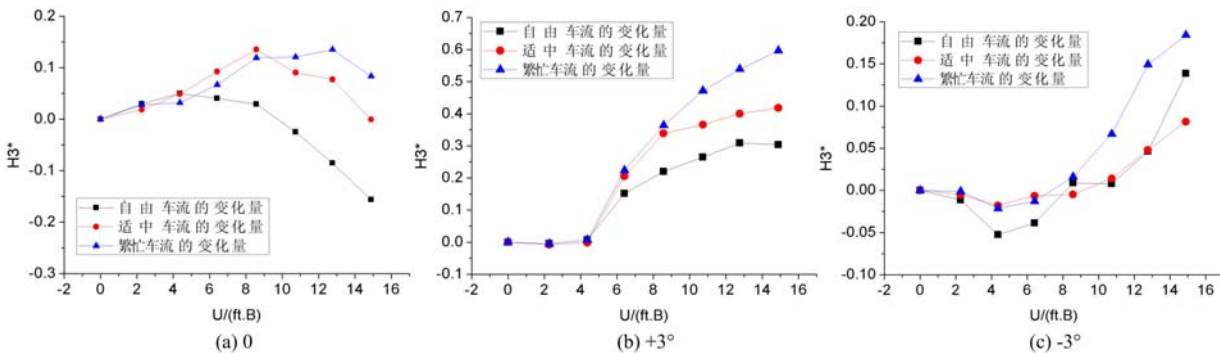
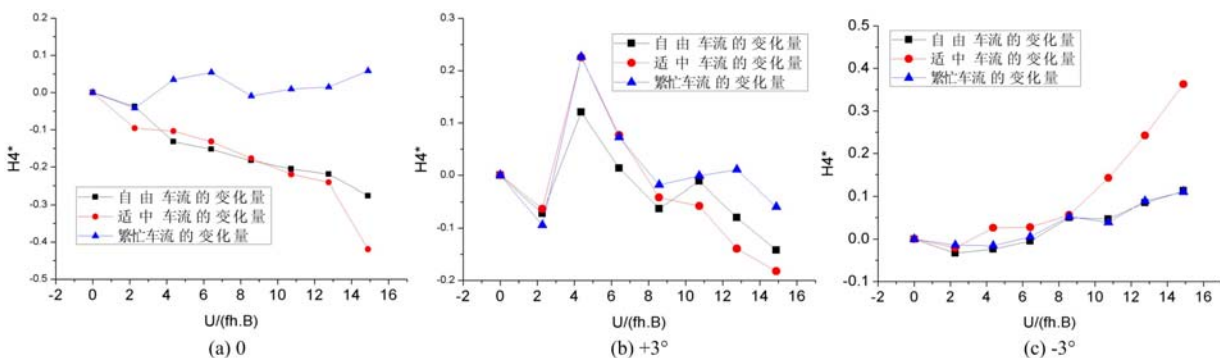
Tab. 2 Variation percentages of aerodynamic derivatives (%)

折减风速	A_3^*	H_1^*	A_1^*
	0° , 自由车流	0° , 繁忙车流	-3° , 繁忙车流
2.27	-3.9	-1.2	-2.6
4.37	-3.6	-0.1	-5.4
6.41	-5.9	-6.3	-7.0
8.57	-7.4	-6.5	-6.6
10.74	-8.5	-4.5	-5.5
12.76	-8.3	-4.7	-5.7
14.89	-8.1	-2.6	-5.6

从表 2 可以看出,气动导数 A_3^* 的变化百分比在折减风速为 8.57 时可以达到 7.4%;气动导数 H_1^* 的变化百分比在折减风速为 6.41 时可以达到 6.3%;气动导数 A_1^* 的变化百分比在折减风速为 6.41 时可以达到 7.0%,可见车辆对这些气动导数的影响不容忽视。

图 15 不同攻角下桥梁断面气动导数 A_1^* 的变化量随折减风速变化的情况Fig. 15 Variation of A_1^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles图 16 不同攻角下桥梁断面气动导数 A_2^* 的变化量随折减风速变化的情况Fig. 16 Variation of A_2^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles图 17 不同攻角下桥梁断面气动导数 A_3^* 的变化量随折减风速变化的情况Fig. 17 Variation of A_3^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles图 18 不同攻角下桥梁断面气动导数 A_4^* 的变化量随折减风速变化的情况Fig. 18 Variation of A_4^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles

为了进一步探究气动导数变化量的变化规律,以便将来方便考虑车辆对桥梁气动导数的影响,图 15~22 给出了各气动导数的变化量随着折减风速的变化情况。从各图可以看出, A_2^* 和 A_3^* 变化量

图 19 不同攻角下桥梁断面气动导数 H_1^* 的变化量随折减风速变化的情况Fig. 19 Variation of H_1^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles图 20 不同攻角下桥梁断面气动导数 H_2^* 的变化量随折减风速变化的情况Fig. 20 Variation of H_2^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles图 21 不同攻角下桥梁断面气动导数 H_3^* 的变化量随折减风速变化的情况Fig. 21 Variation of H_3^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles图 22 不同攻角下桥梁断面气动导数 H_4^* 的变化量随折减风速变化的情况Fig. 22 Variation of H_4^* vs. reduced wind speed for different wind attack angles

随着折减风速的变化规律非常明显,而且几种车流下的变化规律一致,但是不同攻角时的变化规律不一致。 H_1^* 和 H_4^* 变化量随着折减风速的变化相对离散,不同车流和不同攻角下变化规律均不一致;各攻角下 A_1^* 和 A_4^* 变化量以及 H_2^* 和 H_3^* 变化量随着折减风速变化的规律非常相似。

3 结论

基于强迫振动装置,采用单自由度时域法对不同交通流状态下的桥梁气动导数进行了测试和分析,得出以下结论:

(1) 对于文中采用的流线型断面,不同攻角下不同车流的车辆均对直接导数 A_2^* 、 H_4^* 和交叉导数 A_4^* 、 H_2^* 影响显著,对气动导数 A_1^* 、 A_3^* 和 H_1^* 也有一定的影响,但对气动导数 H_3^* 均基本没有影响。

(2) 通过对不同车流的车辆对气动导数的影响分析可知,不同攻角时车辆对气动导数的影响规律不同;对于某个攻角时不同车流的车辆对气动导数影响的程度不同,车流的繁忙程度对大多数气动导数的影响规律不明显。

(3) 虽然不同车流的车辆对气动导数 H_1^* 、 A_3^* 和 A_1^* 的影响不显著,但是通过对其影响的百分比分析可知,车辆对这些气动导数的影响不容忽视。

(4) 通过对气动导数变化量的变化规律分析可知, A_2^* 和 A_3^* 变化量随着折减风速的变化规律非常明显; H_1^* 和 H_4^* 变化量随着折减风速的变化相对离散;各攻角下 A_1^* 和 A_4^* 变化量以及 H_2^* 和 H_3^* 变化量随着折减风速变化的规律非常相似。

参考文献:

- [1] 陈政清. 桥梁风工程 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005:1—100 (Chen Zhengqing. Bridge wind engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2005:1—100(in Chinese))
- [2] 项海帆. 现代桥梁抗风理论与实践 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005:110—252 (Xiang Haifan. Theory and practice of wind resistance of modern bridges [M]. Beijing: China Communications Press, 2005:110—252(in Chinese))
- [3] Baker C J. Ground vehicles in high cross winds 1 steady aerodynamic forces [J]. Journal of Fluids and Structures, 1991, 5:69—90.
- [4] Coleman S A, Baker C J. High side road vehicles in cross winds [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1990, 36:1383—1392.
- [5] 葛玉梅, 李永乐, 何向东. 作用在车—桥系统上风荷载的风洞试验研究 [J]. 西南交通大学学报, 2001, 36(6): 612—616 (Ge Yumei, Li Yongle, He Xiangdong. Study on wind-induced loads of train-bridge system by wind tunnel test [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2001, 36(6):612—616(in Chinese))
- [6] 李永乐, 廖海黎, 强士中. 车桥系统气动特性的节段模型风洞实验研究 [J]. 铁道学报, 2004, 26(3):71—75 (Li Yongle, Liao Haili, Qiang Shizhong. Study on aerodynamic characteristics of the vehicle-bridge system by the section model wind tunnel test [J]. Journal of the China Railway Society, 2004, 26(3):71—75(in Chinese))
- [7] 李永乐, 胡明, 张明金, 徐幼麟. 侧向风作用下车—桥系统的气动特性——基于风洞试验的参数研究 [J]. 西南交通大学学报, 2012, 47(2):210—217 (Li Yongle, Hu Ming, Zhang Mingjin, Xu Youlin. Aerodynamic characteristics of vehicle-bridge system under cross wind: parameter studies based on wind tunnel test [J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 47(2):210—217(in Chinese))
- [8] 李永乐, 周昱, 葛世平, 强士中. 主梁断面形状对车—桥系统气动特性影响的风洞试验研究 [J]. 土木工程学报, 2012, 45(7):135—141 (Li Yongle, Zhou Yu, Ge Shiping, Qiang Shizhong. Wind tunnel test study of the effect of bridge deck cross section shape on aerodynamic characteristics of vehicle-bridge system [J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(7):135—141(in Chinese))
- [9] 韩艳, 蔡春声, 胡揭玄. 横风作用下移动车辆和桥梁气动特性的数值模拟研究 [C]. 第十五届全国结构风工程学术会议, 2011:106—109 (Han Yan, Cai Chunsheng, Hu Jjiexuan. Numerical simulation on the aerodynamic characteristics of vehicles and bridges under cross winds with the consideration of vehicles moving [C]. Proceedings of the 15th National Conference on Structural Wind Engineering, 2011:106—109(in Chinese))

- [10] 韩艳, 胡揭玄, 蔡春声, 李仁发. 横风作用下考虑车辆运动的车桥气动特性的数值模拟研究 [J]. 工程力学, 2013, 30(2):318—325 (Han Yan, Hu Jiexuan, Cai Chunsheng, Li Renfa. Numerical simulation on aerodynamic characteristics of vehicles and bridges under cross winds with the consideration of vehicle moving [J]. Engineering Mechanics, 2013, 30(2):318—325(in Chinese))
- [11] 韩艳, 胡揭玄, 蔡春声. 横风作用下公路车辆与桥梁静气动力的数值模拟研究 [J]. 铁道科学与工程学报, 2012, 9(1):12—17 (Han Yan, Hu Jiexuan, Cai Chunsheng. Numerical simulation on static aerodynamic forces of vehicles and bridges under cross winds [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2012, 9(1):12—17(in Chinese))
- [12] 于向东, 陈政清. 桥梁主梁断面颤振导数的强迫振动识别法 [J]. 中国公路学报, 2001, 14(2):36—39 (Yu Xiangdong, Chen Zhengqing. Forced vibration method for identifying flutter derivatives of bridges sectional model [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(2):36—39(in Chinese))
- [13] 牛华伟. 气动导数识别的三自由度强迫振动法及颤振机理研究 [D]. 湖南大学, 2008 (Niu Huawei. The research on three degree-of-freedom forced vibration method for identification of aerodynamic derivatives and flutter mechanism [D]. Hunan University, 2008(in Chinese))
- [14] 丁泉顺, 朱乐东. 桥梁主梁断面气动耦合颤振分析与颤振机理研究 [J]. 土木工程学报, 2007, 40(3):69—73, 91 (Ding Quanshun, Zhu Ledong. Aerodynamically coupling flutter analysis and flutter mechanism for bridge deck sections [J]. China Civil Engineering Journal, 2007, 40(3):69—73, 91(in Chinese))

Wind Tunnel Experimental Study of Bridge Aerodynamic Derivatives in Different Traffic Flow States

LI Chun-guang¹, HAN Yan¹, TAN Di¹, CAI Chun-sheng^{1,2}, ZHANG Jian-ren¹

(1. Key Laboratory for Safety Control of Bridge Engineering, Ministry of Education and Hunan Province, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University, Baton Rouge LA 70803, USA)

Abstract: In order to take into account the effect of actual operating vehicles on the bridge aerodynamic derivatives, according to vehicle traffic density, three traffic flow states were simulated, wind tunnel experimental study of bridge aerodynamic derivatives was carried out in every traffic flow state and state without vehicle, based on a forced vibration device. The influence of vehicle in different traffic flow states and at different wind attack angles on bridge aerodynamic derivatives was discussed; the influence percentage of vehicles on aerodynamic derivatives and the variation of aerodynamic derivatives with vehicle deceleration were investigated based on experimental results. Results show that all vehicles in different traffic flow states and at different wind attack angles obviously impact the direct aerodynamic derivatives A_2^* , A_4^* and cross derivatives H_2^* and H_4^* . The variation of A_2^* and A_3^* with wind deceleration is obvious and presents certain regular pattern. Though the influence of vehicles in different traffic flow states and at different wind attack angles on aerodynamic derivatives is different, and the influence of traffic flow density on most aerodynamic derivatives is not obvious, the influence of vehicles on bridge aerodynamic derivatives can not be ignored.

Keywords: wind-vehicle-bridge system; different traffic flow; aerodynamic influence of vehicle; aerodynamic derivatives; wind tunnel experiment