

文章编号:1671-6833(2012)02-0067-05

附加气动措施后箱梁断面三分力系数试验研究

高亮^{1,2}, 刘健新², 郭威²

(1. 西安理工大学 土木建筑工程学院, 陕西 西安 710048; 2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:通过节段模型风洞试验,研究某大桥各种抗风气动措施对静力三分力系数的影响,以期改善结构受力特性。以导流板位置、中央槽开孔率、栏杆透风率、检修车轨道位置、风障、车辆作为分析三分力系数的影响因素。研究表明:三分力系数的改变直接影响到静风荷载,这些参数的变化对主梁静风荷载的影响不容忽视。其中风障对主梁阻力系数的影响最为明显,在大攻角时主梁阻力系数在成桥有风障状态显著增大。

关键词:箱梁断面;三分力系数;节段模型;导流板;中央槽

中图分类号: U 448.27 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.02.017

0 引言

随着桥梁跨径的增加,桥梁结构对风反映的敏感性亦日益增大。桥梁的抗风研究趋于精细化,越来越多的学者通过研究认识到气动措施改变了颤振、涡激共振等结构风致动力响应的作用,然而也可能影响到结构的静力稳定性,所以需要研究各种气动措施对静力三分力系数的影响。

常用到的改善桥梁断面气动性能的措施有:设置中央稳定板、设置导流板、中央开槽和改变栏杆透风率、变化检修车轨道位置等。目前,相关研究一般考虑的是气动控制措施对于颤振稳定性的影响,很少有人去关注采取气动措施后对大跨桥梁静力的影响,这可能是因为人们普遍认为大跨径桥梁的颤振临界风速一般都低于静力失稳风速。但是,日本东京大学、同济大学、西南交通大学、长安大学先后在风洞试验中观察到静风失稳现象^[1-5]。方明山等亦通过计算表明了静风失稳现象出现的可能性^[6-7]。随着桥梁的日益长大化,尤其是超大跨悬索桥的进一步柔性化,桥梁的静风稳定问题将会显得十分突出,其静力扭转发散的临界风速有可能低于颤振临界风速^[8-12]。同时,在大跨径桥梁的设计中,风荷载是主要的荷载。因此,笔者通过静力三分力风洞试验量测箱型

截面主梁在不同气动措施下的三分力系数,研究其对主梁三分力系数的影响,为气动措施的选取提供一定的参考。

1 试验部分

1.1 试验设备

试验在长安大学风洞实验室 CA-1 大气边界层风洞中进行,该风洞是一座回、直流两用风洞,试验段尺寸 3 m × 2.5 m × 15 m。风速 0 ~ 53 m/s 连续可调,均匀场紊流度小于 0.5%,直流电机功率为 400 kW。数据测试采集系统由两根五分量杆式应变天平、 α 角攻角变化机构、应变放大器、A/D 转换器及数据采集处理器等组成。

1.2 试验模型

节段测力模型与实桥外形相似,且要有足够的刚度。虽然对质量和质量惯性矩没有相似性要求,但由于测力天平量程的限制,质量不应太大。试验时将模型端板与外接铝合金杆固结,由铝合金杆和天平进行连接,天平连接在 α 机构上。

试验采用典型的箱梁断面主梁。主梁测力节段模型缩尺比为 1:45,采用泡沫塑料制作模型,内嵌铝合金骨架,环氧树脂板覆面加工。模型尺寸长 $L=2.204$ m,宽 $B=0.873$ m,高 $H=0.09$ m。

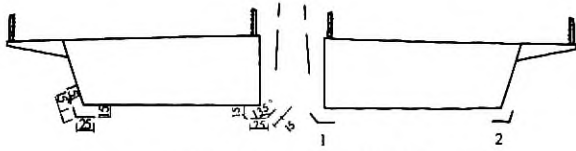
试验在均匀流场中进行,试验风速 13 m/s,

收稿日期:2011-10-14;修订日期:2011-12-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(90915001)

作者简介:高亮(1984-),女,陕西榆林人,长安大学博士研究生,主要从事桥梁结构的抗风及控制研究,E-mail:156820773@qq.com.

风攻角为 $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$, 间隔 1° , 试验采样频率为 100 Hz, 采样时长 40 s. 试验模型如图 1~5.



1 - 为中央导流板; 2 - 为边导流板

图 1 导流板布置图

Fig. 1 Guide plate arrangement

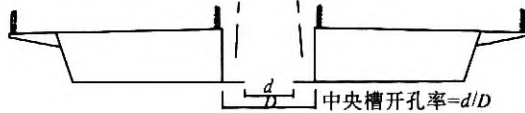


图 2 中央槽开孔率

Fig. 2 Central trough

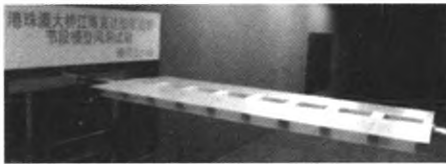


图 3 主梁施工状态试验照片

Fig. 3 Construction state



图 4 主梁成桥状态(有护栏和风障)

Fig. 4 Completed state

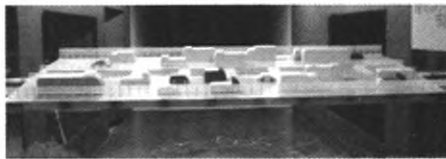


图 5 主梁成桥状态(有车辆)

Fig. 5 Car state

2 试验结果及分析

主梁静力三分力示意图如图 6 所示.

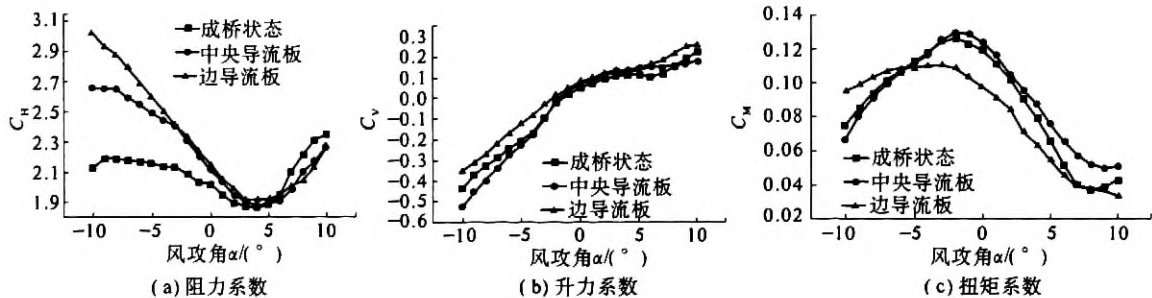


图 7 导流板位置不同时主梁三分力系数图

Fig. 7 Three-component Force coefficient with different position of guide plate

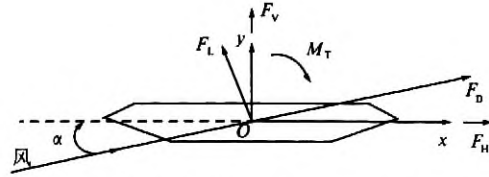


图 6 风荷载在体轴和风轴坐标系下的三分力

Fig. 6 Three-component of aerodynamic force in body axis and wind axis

静力三分力系数定义为:

$$C_H = \frac{F_H}{0.5\rho U^2 DL}, C_V = \frac{F_V}{0.5\rho U^2 BL}, C_M = \frac{M_T}{0.5\rho U^2 B^2 L}$$

式中: U 为离断面足够远的上游来流平均风速; ρ 为空气密度; C_H 、 C_V 、 C_M 分别为体轴坐标系下的阻力系数、升力系数与扭矩系数; D 、 B 分别为桥梁断面高度与宽度.

2.1 导流板位置

导流板位置不同时主梁的三分力系数如图 7 所示. 由图 7 可以看出, 阻力系数: ①加导流板后主梁阻力系数在负攻角时明显增大, 尤其是导流板加在边上的形式. ②正攻角 5° 以内阻力系数减小, 大于 5° 时阻力系数增大; ③导流板设置于中央较设置于边上阻力系数有所降低, 减小幅度在 4% 之内; ④导流板导致主梁阻力系数随风攻角变化越发不对称.

升力系数: ①导流板加在边上使主梁升力系数增大; ②中央导流板使主梁升力系数整体增大.

扭矩系数: 边导流板较中央导流板对主梁扭矩系数影响较大, 加边导流板后主梁扭矩系数曲线相对平缓.

2.2 中央槽开孔率

中央槽不同开孔率的主梁三分力系数如图 8 所示. 由图 8 分析如下.

阻力系数: ①中央开槽后主梁阻力系数明显变大; ②中央槽开孔率 70% 较开槽率 50% 主梁阻力系数变大, 但改变幅度较小; ③中央槽开孔率

70%和50%较100%时主梁阻力系数变化明显,负攻角时明显变大,较大正攻角时偏小。

升力系数:①中央不开槽时较开槽时主梁升力系数随风攻角的增大明显增大,中央开槽率对主梁升力系数影响不明显;②中央开槽对主梁升力系数随风攻角变化曲线斜率影响明显。

扭矩系数:中央不开槽较开槽主梁扭矩系数变化明显,中央开槽率大小对主梁扭矩系数影响不明显,负攻角变化幅度在5%之内。

2.3 检修车轨道位置

不同的轨道位置布置下的主梁三分力系数如图9所示。由图9可见,阻力系数:①检修车轨道位置对主梁阻力系数影响明显,检修车轨道向内侧移7 cm较向内移3 cm时,主梁阻力系数较之减小明显;②检修车轨道向内侧移时,主梁阻力系

数整体减小。

升力系数:①检修车轨道位置对主梁升力系数影响明显,检修车轨道向内侧移3 cm时,主梁升力系数较之前整体减小0.1左右;②检修车轨道置外边缘主梁升力系数值最大,向内侧移时主梁升力系数整体减小。

扭矩系数:检修车轨道位置对主梁扭矩系数影响明显,检修车轨道向内侧移,主梁扭矩系数整体变小。

2.4 护栏

护栏对主梁三分力系数的影响如图10所示:①加护栏后主梁阻力系数明显增大,主梁升力系数明显变小;②有栏杆时桥面气流受到栏杆的干扰主梁扭矩系数总体上减小,在 $-6^{\circ} \sim 0^{\circ}$ 范围内主梁扭矩系数变大。

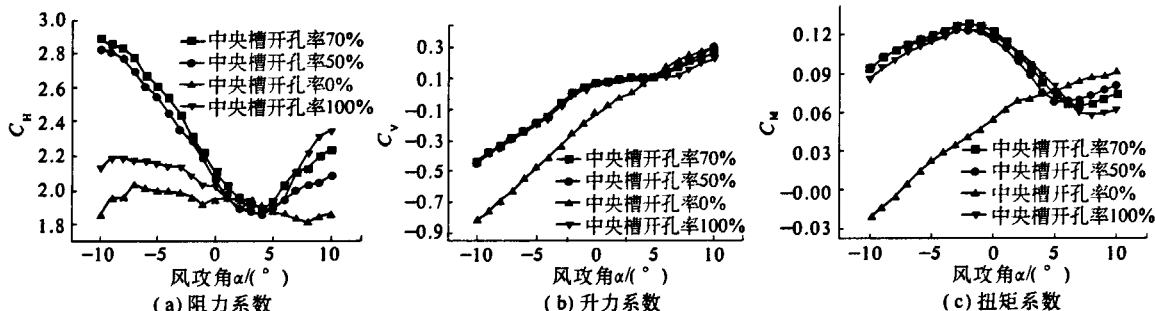


图8 中央槽不同开孔率的主梁三分力系数图

Fig. 8 Three-component force coefficient with different opening rate of central trough

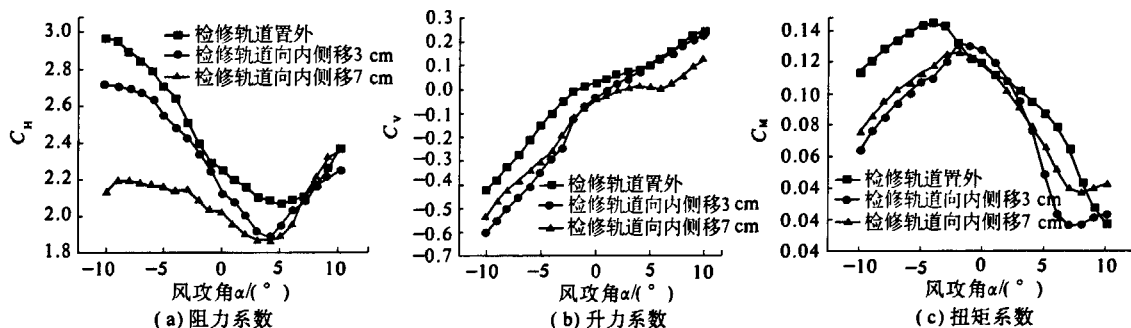


图9 轨道不同位置时主梁三分力系数图

Fig. 9 Three-component force coefficient with different position of repair car track

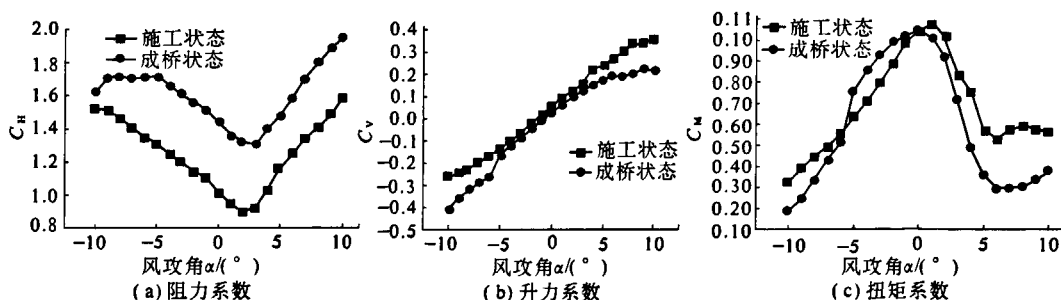


图10 有、无护栏时主梁三分力系数图

Fig. 10 Three-component force coefficient with and without baluster

2.5 风障

风障对主梁三分力系数的影响如图 11 所示:

- ①风障对主梁阻力系数影响明显,阻力系数明显增大,较施工阶段增幅为 39.6%~111.7%,较成桥阶段增幅为 21%~44%;②加风障后主梁升力系数曲线斜率减小,值也变小。

2.6 车辆

车辆对主梁三分力系数的影响如图 12 所示:

- ①车辆对有风障的主梁形式主梁阻力系数影响变化不大,主梁阻力系数整体增大;②有车辆时主梁升力系数曲线斜率降低,绝对值也变小;③有车辆时主梁扭矩系数曲线斜率减小,值也变小。

3 静风荷载计算

静阵风风速以及在横桥向风作用下主梁单位长度上的横向静阵风荷载可按下列公式计算^[13]:

$$F_H = \frac{1}{2} \rho V_g^2 C_H H. \quad (1)$$

式中: V_g 为静阵风风速, m/s; F_H 为作用在主梁单位长度上的静风荷载, N/m; ρ 为空气密度, kg/m³, 取为 1.25; C_H 为主梁的阻力系数; H 为主梁投影高度, m, 计入栏杆或防撞护栏以及其它桥梁附属物的实体高度。

由式(1)知, 横向静风荷载与阻力系数成正比。同样, 主梁单位长度上的升力、扭矩计算如式(2)所示:

$$F_V = \frac{1}{2} \rho V_g^2 C_V B; \quad M_T = \frac{1}{2} \rho V_g^2 C_M B^2. \quad (2)$$

现取 $V_g = 30$ m/s, 以导流板为例计算主梁单位长度上的静风荷载如图 13 所示。由图 13 可见, 主梁三分力系数的改变直接影响到主梁所受的静风荷载。导流板的安装增大了主梁的静风荷载。对

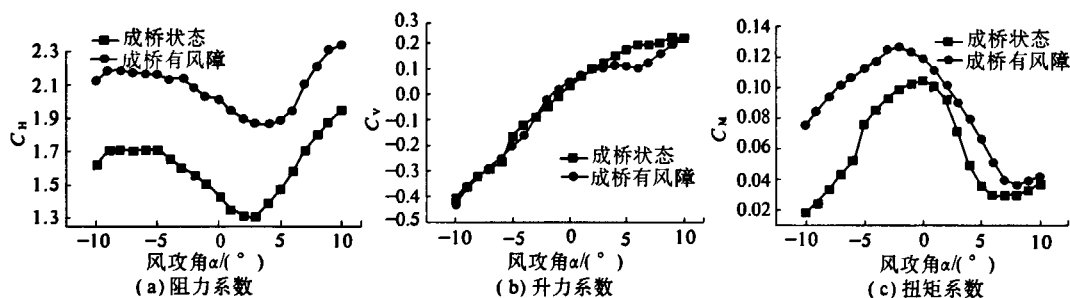


图 11 有、无风障时主梁三分力系数图

Fig. 11 Three-component force coefficient with and without windbreak

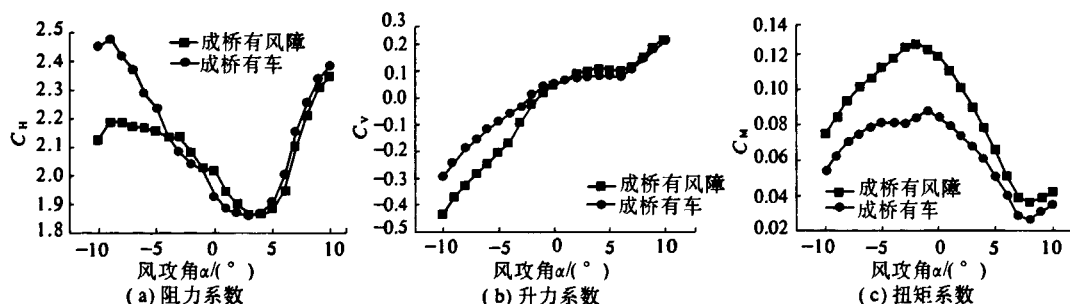


图 12 有车和无车时主梁三分力系数图

Fig. 12 Three-component force coefficient with and without vehicle

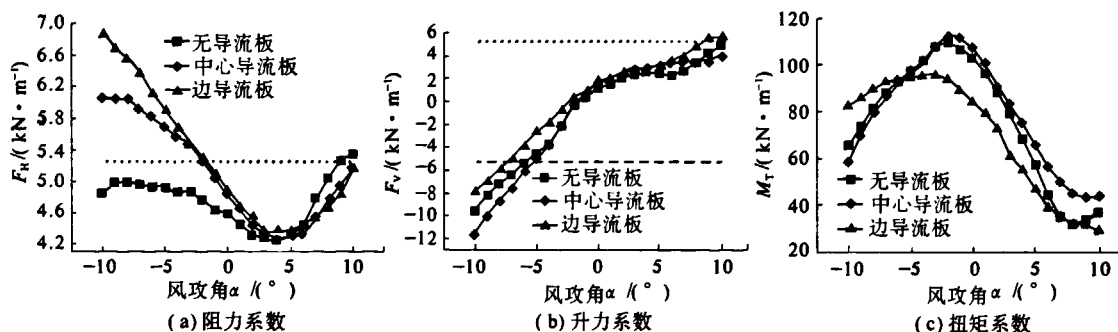


图 13 主梁单位长度上的静风荷载

Fig. 13 Three-component force with different position of guide plate

比《公路桥涵设计通用规范》中的汽车荷载,公路Ⅰ级设计荷载 $q_k = 10.5 \text{ kN/m}$,表明由于导流板的安装导致的主梁静风荷载的增加不容忽视。

4 结论

(1)导流板会明显增大主梁阻力系数;边导流板会降低主梁升力系数及扭矩系数;加边导流板时主梁升力系数、扭矩系数曲线均较为平缓,此时,主梁开槽对阻力系数基本没有影响,对升力系数和扭矩系数有影响;导流板导致主梁阻力系数随风攻角变化越发不对称。

(2)中央开槽会增大主梁阻力系数,减小主梁升力系数;具体开槽率大小对主梁三分力系数影响不大;中央开槽后主梁扭矩系数曲线不再单调递增。

(3)检修车轨道向内侧移主梁阻力系数、扭矩系数整体变小;主梁升力系数绝对值减小。

(4)加护栏后主梁阻力系数增大,升力系数减小,扭矩系数随风攻角变化规律性降低。

(5)设风障后主梁阻力系数显著增大,升力系数减小,扭矩系数增大。

(6)车辆会增大主梁阻力系数,降低其随风攻角变化规律性;降低主梁升力系数随风攻角变化曲线斜率;有车辆时减弱了风障对气流的影响,主梁扭矩系数减小,且其随风攻角变化曲线斜率减小。

(7)主梁三分力系数的改变直接影响到主梁所受的静风荷载。

参考文献:

[1] 张志田. 大跨度桥梁非线性抖振及其对抗风稳定

性影响的研究[D]. 上海:同济大学土木工程学院, 2004.

[2] 日本道路桥抗风设计便览(平成3年)[S]. 日本道路协会, 1991.

[3] 吴瑾,夏逸鸣,张丽芳. 土木工程结构抗风设计[M]. 北京:科学出版社, 2007.

[4] 新疆赛吾迭格大桥抗风试验研究[R]. 西安:长安大学风洞试验室, 2007.

[5] BOONNYAPINYA V, YAMADA H, MIYATA T. Wind-induced nonlinear buckling of cable-stayed bridges [J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 120 (2), 1994:486-506.

[6] 方明山. 超大跨度缆索承重桥梁非线性空气静力稳定理论研究[D]. 上海:同济大学土木工程学院, 1997.

[7] 方明山,项海帆,肖汝诚. 大跨径缆索承重桥梁非线性空气静力稳定理论[J]. 土木工程学报, 2000, 33(2):73-79.

[8] 张伟,葛耀军. 导流板对大跨桥梁风振响应影响的流场机理[J]. 中国公路学报, 2009, 22(3):52-57.

[9] 李琦. 开槽桥梁截面的颤振稳定性研究[J]. 四川建筑, 2006(1):128-129.

[10] 李玲瑶,葛耀君. 大跨度桥梁中央开槽断面的涡振控制试验[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2008, 36(12):112-115.

[11] 陈斌,孔令智. 扁平箱梁涡振抑振措施研究[C]//第十四届全国结构风工程学术会议论文集,上海:同济大学, 2009:521-526.

[12] 周立,葛耀君. 上海长江大桥节段模型气动三分力试验[J]. 中国公路学报, 2007, 20(5):48-53.

[13] JTG/TD60-01-2004. 公路桥梁抗风设计规范. [S]. 北京:人民交通出版社, 2004.

Experimental Study of Three-Component Force Coefficients of Bridge Deck Section

GAO Liang^{1,2}, LIU Jian-xin², GUO Wei²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Highway School, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Through the section model wind tunnel test, this Paper studies the influence of vibration damping measure to the three-component force coefficient of the structure, in order to improve structural characteristics. The research based on the guide plate position, the central trough opening rate, baluster drafty rate, repair car track position, windbreak, vehicle as the influencing factors of three-component force coefficient. The results show that the changes of the three-component force coefficients directly affect the static wind loads, and the influence of changes of these parameters to the static wind load can not be ignored. The most obvious influence pavement to drag coefficient is windbreak, in the large attack angle, the resistance coefficient rose of completed status with windbreak.

Key words: box girder cross-section; three-component force coefficient; section model; guide plate; central trough