

风屏障对扁平箱梁气动稳定性的影响

喻宝金, 乔张旺, 付丽

(江西省交通工程集团有限公司, 江西 南昌 330000)

摘要: 柔性大跨桥梁上风屏障的设置, 改变了桥梁原有的气动外形。为研究风屏障对桥梁气动稳定性的影响, 以某大跨扁平钢箱梁悬索桥为工程背景, 制作缩尺比为 1:50 的节段模型, 设置条形孔及圆孔两种不同开孔形式风屏障, 进行风洞试验。结果表明: 加设风屏障, 会显著降低该桥梁断面颤振临界风速, 颤振稳定性下降, 但尚能满足规范要求; 风屏障能明显抑制桥梁涡激振动响应, 其中, 圆孔形开孔风屏障更能提高桥梁涡振稳定性。综合对比, 圆孔形风屏障为最优方案。

关键词: 风屏障; 扁平箱梁; 颤振; 涡振; 风洞试验

由于特殊地理位置因素及现代交通大力发展的需要, 大跨度桥梁越来越多地被设计师们采用, 扁平钢箱梁是此类桥型的重要主梁形式之一。国外已建成通车的几座有代表性的大跨桥梁, 如 1981 年建成的主跨为 1 410 m 的亨伯大桥; 1996 年建成的主跨为 1 624 m 的大贝尔特桥。中国自 20 世纪 90 年代开始, 先后建成江阴长江大桥、润扬长江大桥、苏通长江大桥及舟山西堠门大桥, 其中, 舟山西堠门大桥是中国国内最大跨径悬索桥, 且跻身世界同类型桥梁跨度排名前三甲。

跨海跨江大桥及山区峡谷桥梁, 桥址处风环境复杂, 桥面高度处风速远远大于地面常遇风速。为保障桥上车辆的行车安全性及舒适性, 设计者们往往会采取加设风屏障等措施, 而扁平钢箱梁悬索桥或斜拉桥, 因其自身刚度小、跨度大等特点, 其气动稳定性对结构外形极其敏感。

已有学者对风屏障的防风作用做了一定的研究。如李波等采用数值模拟的方法, 研究了防风栅对高速列车的挡风作用; 何玮等采用风洞试验与数值模拟相结合的方法, 研究了在桥上设置不同高度风屏障后车—桥系统的气动参数及桥面周围风环境; 黄斌等利用风洞试验的手段, 研究了跨海大桥桥面风环境, 对比验证了加设风屏障后桥面风环境的优化效果。以上研究主要针对的是风屏障对车—桥系统的气动参数或桥面风环境, 而对于桥梁的气动稳定性研究较少, 因此, 该文所做研究较为必要。

该文以中国国内某大跨悬索桥为工程背景, 建立

三维有限元模型, 计算其动力特性, 并依此采用节段模型风洞试验手段, 研究不同开孔形式的风屏障对主梁气动稳定性的影响。

1 工程背景及桥梁动力特性

某大跨钢箱梁悬索桥跨度布置为 $(290 + 1\,160 + 402)$ m = 1 852 m, 桥面宽 34.7 m, 布置双向六车道, 主梁高 2.8 m, 主梁采用流线形钢箱梁。其整体布置及主梁横截面如图 1 所示。

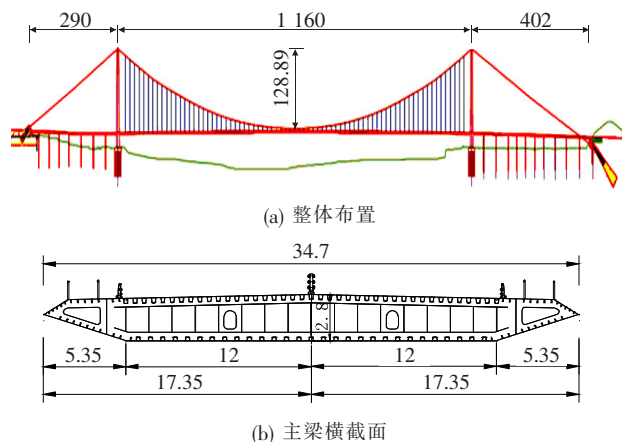


图 1 某大跨钢箱梁悬索桥型图(单位:m)

该桥所处河段两岸为低山丘陵地区, 河道呈东南走向, 平面形态顺直, 尾部微弯, 南岸为丘陵及山麓斜坡堆积地貌, 北岸为丘陵与长江阶地地貌, 桥址处属于 B 类地表。桥位处离地面 10 m 高, 重现期为 100 年

10 min 平均最大风速为 31.5 m/s,即设计基本风速为 31.5 m/s,颤振检验风速为 59.3 m/s。

利用大型有限元软件 Ansys 建立三维桥梁模型,并计算其动力特性,结果如表 1 所示。

表 1 成桥状态动力特性计算结果

阶次	频率/Hz	振型特点
1	0.060 5	主梁 1 阶对称横弯
2	0.094 1	主梁 1 阶反对称竖弯
3	0.143 1	主梁 1 阶对称竖弯
4	0.178 3	塔侧弯
5	0.206 5	主梁 2 阶对称竖弯
6	0.210 2	塔侧弯
7	0.214 6	塔侧弯
8	0.215 3	主梁 2 阶反对称竖弯
9	0.231 1	主梁纵振
10	0.272 8	主缆横摆
11	0.273 2	主缆横摆
12	0.284 1	主梁 3 阶对称竖弯
13	0.295 9	主缆横摆
14	0.297 5	主缆横摆
15	0.349 5	主梁 1 阶对称扭转
16	0.352 3	主梁 3 阶反对称竖弯
17	0.381 9	主梁 2 阶对称横弯
18	0.430 6	主梁 4 阶对称竖弯
19	0.433 9	主梁 1 阶反对称扭转
20	0.476 6	主缆横摆

基于人体舒适度及行车安全性的考虑,涡激振动振幅的限制值,参考 JTG/T D60—01—2004《公路桥梁抗风设计规范》中第 7.2.6 条,主梁涡激振动振幅须小于规定的容许值,其容许值如下:

主梁竖向涡振振幅容许值:

$[h_a]=0.04/f_h=0.279\text{ m}$

主梁扭转涡振振幅容许值:

$[\theta_a]=4.56/(Bf_t)=0.376^\circ$

式中: B 为主梁宽度; f_h 、 f_t 分别为结构竖弯、扭转基频。

2 试验概述

不同开孔形式风屏障的防风效果有所区别,为考察风屏障的开孔形式对主梁气动稳定性的影响,设置条形孔及圆形孔两种形式(透风率相同)风屏障,对比

原方案(无风屏障)进行风洞试验。风屏障开孔形式如图 2 所示。试验采取缩尺比为 1:50 的节段模型,由 8 根拉伸弹簧悬挂在支架上,形成可竖向运动和绕模型轴线转动的二自由度振动系统。试验支架置于洞壁外,以免干扰试验流场,来流为均匀流,选取+3°、0°和-3°共 3 个攻角,共 3(攻角)×3(模型)=9 种试验工况。

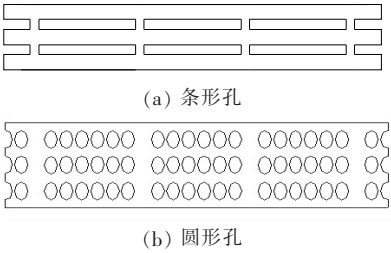


图 2 风屏障开孔形式

3 试验结果及分析

3.1 颤振试验

大跨度流线形箱梁桥梁,虽然其跨越能力较大,优势明显,但其气动稳定性问题较其他主梁类型的桥梁更为突出。风对其造成的病害是多方面的,其风致振动形式亦多种多样,有颤振、驰振、抖振及涡振 4 种主要形式,其中最为致命的当属风致颤振。颤振是一种可能发散的自激振动,著名的塔科马大桥风毁事故就是由于桥梁发生颤振失稳导致的。

各攻角下 3 种方案的颤振试验结果如表 2 所示。

表 2 各方案颤振试验结果

方案	攻角/(°)	颤振临界风速/ (m·s ⁻¹)	颤振检验风速/ (m·s ⁻¹)
原方案	+3	68.2	59.3
	0	70.1	59.3
	-3	72.3	59.3
条形孔	+3	62.1	59.3
	0	65.7	59.3
	-3	67.9	59.3
圆形孔	+3	61.8	59.3
	0	63.6	59.3
	-3	69.5	59.3

由表 2 可知:加设风屏障后,主梁颤振临界风速有所降低,但原方案颤振临界风速较检验风速有较大富余,加设风屏障后仍满足规范要求。风屏障对主梁的

颤振稳定性有一定程度的减弱,其开孔形式对主梁颤振稳定性的影响略有异同,差异不大。

3.2 涡振试验

涡激振动是由于气流经过桥梁后产生漩涡并脱落引起的,漩涡脱落频率接近桥梁自振频率时有发生,涡激振动是介于强迫振动与自激振动之间的一种振动形式。虽然涡激振动是一种自限幅的振动形式,不会像颤振那样引起结构破坏,但容易导致结构疲劳损坏,或影响桥上行车或人员的通行舒适性。

+3°、0°及-3°攻角下,原方案、增设条形孔风屏障方案和增设圆孔形风屏障方案的扭转涡激振动响应如图3所示。

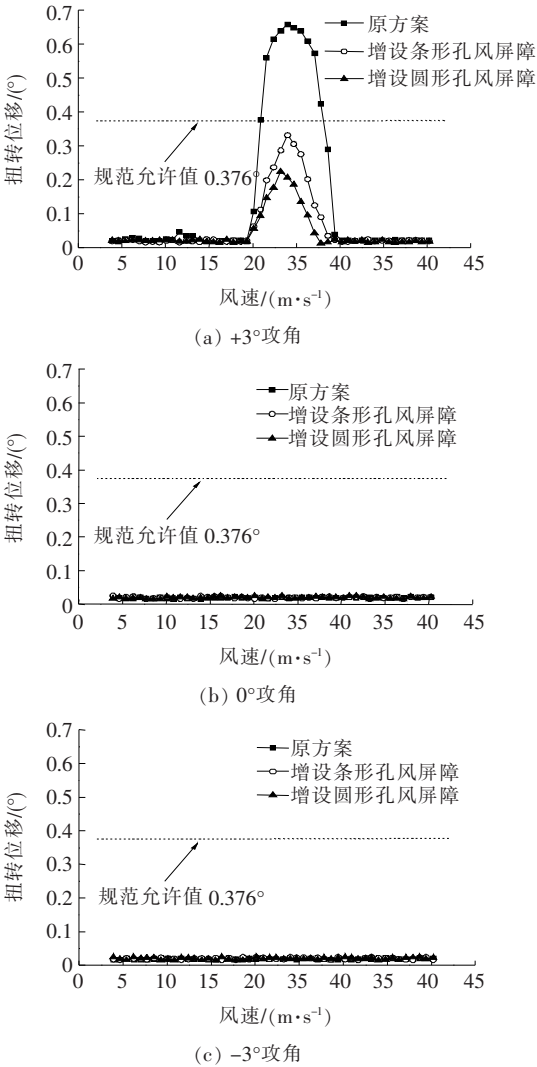


图3 不同攻角下各方案扭转振动响应

由图3可知:0°和-3°攻角下,3种方案均未出现较为明显的扭转涡激振动;当来流攻角为+3°时,3种方案均发生了较为显著的扭转涡激振动。其中,原方案涡激振幅最大,增设条形孔风屏障方案次之,增设圆

孔形风屏障方案最小,且该方案涡振位移的最大值小于规范容许值,满足要求。

各攻角下3种方案的竖向涡振位移如图4所示。

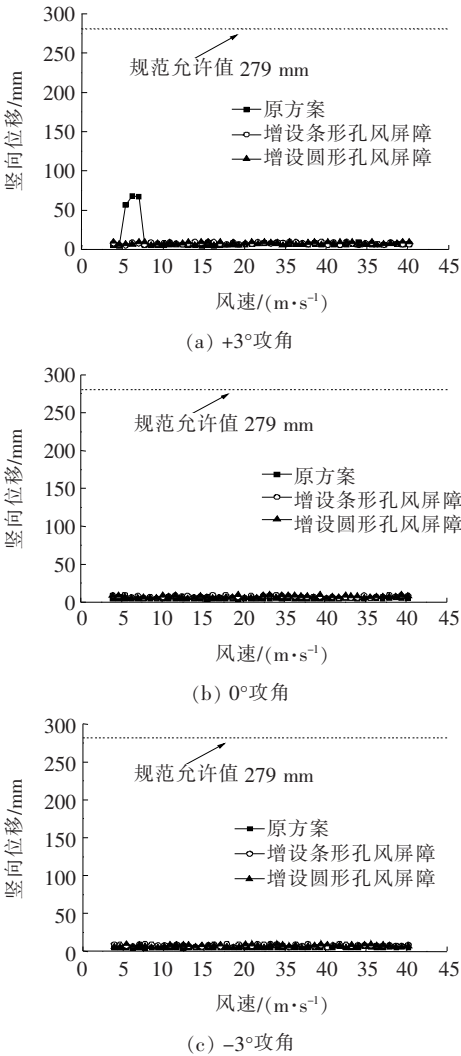


图4 不同攻角下各方案竖向振动响应

由图4可知:原方案在+3°攻角下发生了一定程度的竖向涡激振动,增设条形孔风屏障或圆形孔风屏障,均能有效抑制主梁涡激振动的发生,提高其涡振稳定性。

4 结论

采用节段模型风洞试验手段,对比研究了条形孔风屏障和圆形孔风屏障对扁平箱梁气动稳定性的影响,得出如下结论:

(1) 风屏障的设置,一定程度上会降低该桥梁断面的颤振稳定性。

基于文保要求的南京长江大桥双曲拱桥 加固方案比选及设计

秦向杰¹, 何初生¹, 陈春², 张亚梅², 刘华³, 郭建⁴

(1. 东南大学 建筑设计研究院有限公司, 江苏 南京 210096; 2. 东南大学 材料科学与工程学院;
3. 中铁大桥勘测设计集团有限公司; 4. 南京市公共工程建设中心)

摘要:南京长江大桥是长江上第一座由中国自行设计和建造的双层式公铁两用特大桥梁,它是不可移动文物。其公路桥与两侧桥台相接的引桥采用了中国自主创新的双曲拱桥。经过近50年的运营,双曲拱桥的耐久性病害非常严重,迫切需要维修加固。加固改造必须遵循文物保护要求的“修旧如故”的总原则,设计通过多方案比选,最终确定在不改变其结构体系、基本不改变其外观的前提下,适当恢复并提高其承载力,着重提升其耐久性。通过双曲拱桥主拱肋外包薄层混凝土、更换拱上轻质泡沫混凝土填料等技术措施,达到了结构加固及文物修缮的相关要求及预期。

关键词:南京长江大桥;双曲拱桥;结构加固;文物保护

1 工程概况

1.1 工程简介

南京长江大桥是长江上第一座由中国自行设计和建造的双层式铁路、公路两用桥梁,在中国桥梁史和世

界桥梁史上具有重要意义,有“争气桥”之称。它不仅是新中国技术成就与现代化的象征,更承载了中国几代人的特殊情感与记忆。2014年7月大桥入选不可移动文物,2016年9月大桥桥头堡入选首批中国20世纪建筑遗产名录。引桥采用富有中国特色的双曲拱桥形式,这种桥型是1964年无锡县交通局桥梁工程队

(2) 风屏障可以有效抑制扁平箱梁的涡激振动,相同透风率情况下,圆形孔风屏障对扁平箱梁涡振性能的提高更为积极。

(3) 不同开孔形式的风屏障的防风效果有差异验证了业界关于此类流线形梁体对气动外形十分敏感的结论。

(4) 不同开孔形式导致风屏障防风效果产生差异的机理有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 郑史雄,袁达平,张向旭,等.大跨桥梁桥塔遮风效应对列车气动参数的影响研究[J].桥梁建设,2016(3).
- [2] 张国宁.从大贝尔特海峡大桥、厄勒海峡大桥到费马恩海峡大桥的跨越[J].中外公路,2016(1).
- [3] 潘韬.大跨度悬索桥主缆成桥线形分析[D].武汉理工大

学硕士学位论文,2006.

- [4] 雷俊卿,郑明珠,徐恭义.悬索桥设计[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [5] 严国敏.现代悬索桥[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [6] 葛耀君.大跨度悬索桥抗风[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [7] 李波,杨庆山,冯少华.防风栅对高速列车挡风作用的数值模拟[J].工程力学,2015(12).
- [8] 何玮,郭向荣,朱志辉,等.风屏障高度对城轨专用斜拉桥车桥系统气动特性的影响[J].中南大学学报(自然科学版),2017(8).
- [9] 黄斌,刘晖,龚尚国.跨海大桥桥面风环境的风洞试验[J].中国科技论文,2011(11).
- [10] JTG/T D60-01-2004 公路桥梁抗风设计规范[S].
- [11] 陈政清.桥梁风工程[M].北京:人民交通出版社,2005.

收稿日期:2019-10-17(修改稿)

基金项目:南京市科技计划项目(编号:201727002)

作者简介:秦向杰,男,硕士,高级工程师.E-mail:48301510@qq.com