

文章编号: 1001-4888(2023)04-0473-10

π 型组合桥面斜拉桥涡振性能及 气动优化措施研究*

李春光, 陈赛, 韩艳, 李赫佳

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南长沙 410114)

摘要: π 型组合桥面主梁断面是目前斜拉桥常用的断面形式之一, 然而 π 型开口断面为典型钝体气动外形, 易发生气流分离与交替性的旋涡脱落, 引发涡激振动问题, 因此需要对其断面形式进行优化, 以达到减振、抑振的效果。本文通过某主梁宽高比为 7.9 的 π 型组合桥面斜拉桥节段模型风洞试验, 研究了栏杆形式的改变、稳定板、倒 L 型裙板等措施对主梁涡振性能的影响。研究表明, 部分封闭检修道栏杆及斜拉索防护栏杆可不同程度降低竖向涡振幅值, 但改变斜拉索防护栏杆的构造形式会增大主梁竖向涡振幅值; 增加梁底稳定板长度或道数, 减振效果更明显; 倒 L 型裙板能降低主梁竖向涡振幅值, 但对扭转涡振的减振效果不佳; 倒 L 型裙板与稳定板的组合措施可进一步降低主梁竖向涡振幅值, 但不能有效减小扭转涡振幅值; 倒 L 型裙板与封闭斜拉索防护栏杆上缘的组合措施能有效抑制主梁涡振。研究成果可为类似主梁断面的涡振减振设计提供参考。

关键词: π 型组合桥面; 斜拉桥; 涡激振动; 优化措施; 风洞试验

中图分类号: U447

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-22-226

0 引言

π 型组合桥面主梁通常由混凝土结构桥面板及工字钢形边纵梁组成, 桥面板与纵梁之间通过连接件构成一个整体, 共同承受荷载作用。该类主梁相较于钢箱梁, 既能充分发挥混凝土的抗压性能又能避免钢结构的疲劳问题^[1]; 同时与混凝土主梁相比, 还具有自重轻、施工方便、成本低、受力性能优良等优点, 因而被广泛应用于大跨度斜拉桥的设计建造^[2]。 π 型主梁断面开口式构造具有明显的钝体气动特征, 气流分离明显、绕流形态复杂, 易引发涡激振动^[3]。桥梁的风致涡激振动是由来流流经主梁后产生旋涡的交替脱落所致, 虽然涡激振动是一种限幅振动, 不会导致桥梁发生毁灭性的破坏, 但较大幅度的振动会引起结构的疲劳损伤, 缩短结构寿命, 降低行车、行人的舒适性^[4-6], 因此解决 π 型组合梁断面的涡振问题是促进其在实际工程中广泛应用和发展的关键。目前, 国内外学者针对大跨度桥梁 π 型主梁断面涡振性能及气动优化问题进行了大量的研究。钱国伟等^[7]对 π 型开口截面主梁的涡振性能进行研究, 通过采取改变检修道栏杆和防撞栏杆形式、设置风嘴和内侧水平隔流板成功抑制了主梁的涡激振动。汪志雄等^[8]针对某开口断面斜拉桥的涡激振动, 采用单独稳定板措施有效抑制了主梁涡振。Koga^[9]针对 π 形断面两边主梁的间距及端部的气动措施进行了系统的试验研究。Daito 等^[10]研究了边

* 收稿日期: 2022-09-13; 修回日期: 2023-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51978087, 51822803); 湖南省自然科学基金项目(2020JJ14607); 长沙理工大学桥梁工程安全控制教育部重点实验室开放基金项目(18ZDXK09); 长沙理工大学“实践创新与创业能力提升计划”项目(SJXC202124); 长沙理工大学研究生科研创新项目(CX2021SS22)

通信作者: 李春光(1980-), 男, 博士, 副教授。研究方向为桥梁风工程。Email: mrlcg@126.com

主梁的几何形状及位置对主梁气动力的影响。Irwin^[11]介绍了梁底稳定板对 π 型断面气动性能的影响。董锐等^[12]对叠合梁断面进行风洞试验,研究了导流板对主梁气动性能的影响。李春光等^[13]通过 π 型主梁断面节段模型测压试验,研究分析了梁底稳定板抑制主梁涡振的机理。Li等^[14]研究发现水平隔流板能有效改善 π 型主梁断面涡振性能。李欢等^[6]结合风洞试验和数值模拟的方法,研究了多道梁底稳定板对叠合梁断面涡激振动的抑振机理。Bai等^[15]通过风洞试验研究了风嘴、下中央稳定板、水平导流板及倒L型裙板等措施对不同宽高比 π 型断面主梁涡振的减振效果,并结合CFD数值模拟,探究了倒L型裙板的减振机理。张天翼等^[16]通过风洞试验对多种气动优化措施的抑振效果进行对比,所提出的下三角形风嘴这种新型措施能有效提高双箱叠合梁断面气动性能。

现有研究多基于具体工程实例进行,由于主梁涡振对结构构造细节极为敏感,文献中证明有效的措施可为实际工程提供参考,但是不同桥梁结构构造细节存在差异,气动措施可能会失效,甚至增强涡振响应,同时,现有研究多以宽幅 π 型主梁断面为研究对象,对窄幅 π 型主梁断面的研究相对较少。本文以某拟建的宽23.75m,高3m的相对窄幅 π 型组合桥面斜拉桥为工程背景进行涡激振动及其气动优化措施研究,通过节段模型风洞试验,综合分析了栏杆形式的改变、稳定板、倒L型裙板3类单一及组合措施对 π 型主梁断面涡振性能的影响,并提出可行的优化措施。

1 工程背景

本文以某拟建大跨度双塔双索面 π 型组合桥面斜拉桥为工程背景,该桥梁跨径布置为(60m+95m+450m+95m+60m),全桥总长为760m。桥梁采用半漂浮体系,中跨为双边主梁叠合梁、边跨采用预应力混凝土梁,主梁宽度为23.75m,高度为3m,主梁高宽比仅为1:7.9。大桥的桥跨布置、中跨主梁断面、检修道栏杆、斜拉索防护栏杆如图1所示。

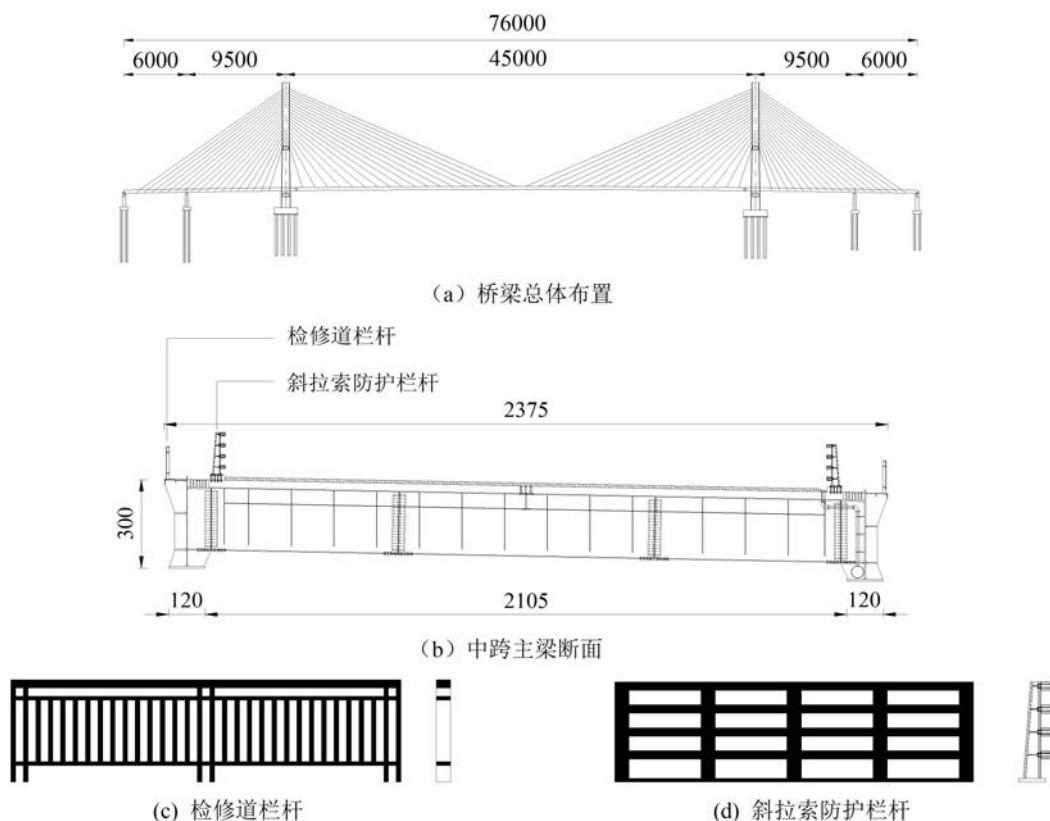


图1 桥梁设计概况(单位:cm)

Fig. 1 Design overview of bridge (unit: cm)

2 风洞试验

节段模型风洞试验在长沙理工大学风洞实验室高速试验段中进行,试验段截面尺寸为 4m(宽)×3m(高)×21m(长),均匀流紊流度低于 0.5%。风洞试验所用的刚性节段模型由 8 根拉伸弹簧悬挂并固定在专用支架上。模型缩尺比为 1:50,长度 $L=1.54\text{m}$,宽度 $B=0.475\text{m}$,高度 $H=0.06\text{m}$,两道纵向钢边主梁和四道钢横隔板组成模型框架,其他部分均由优质 PVC 板制作,以保证模型整体刚度及气动外形相似;模型端板采用轻质木材制作,保证了刚性节段模型的二元流特性。具体节段模型设计参数见表 1。图 2 为节段模型风洞试验布置。



图 2 节段模型

Fig. 2 Section model in wind tunnel

表 1 节段模型主要设计参数

Tab. 1 Main design parameters of section model

参数	实桥值	缩尺比	模型设计值
梁高 H/m	3.000	1/50	0.060
梁宽 B/m	23.750	1/50	0.475
单位长度质量 $m/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-1})$	36767.100	$1/50^2$	22.649
单位长度质量惯矩 $I_m/(\text{kg}\cdot\text{m})$	2160440.000	$1/50^4$	0.532
竖弯频率 f_v/Hz	0.299		5.843
扭转频率 f_t/Hz	0.476		9.288

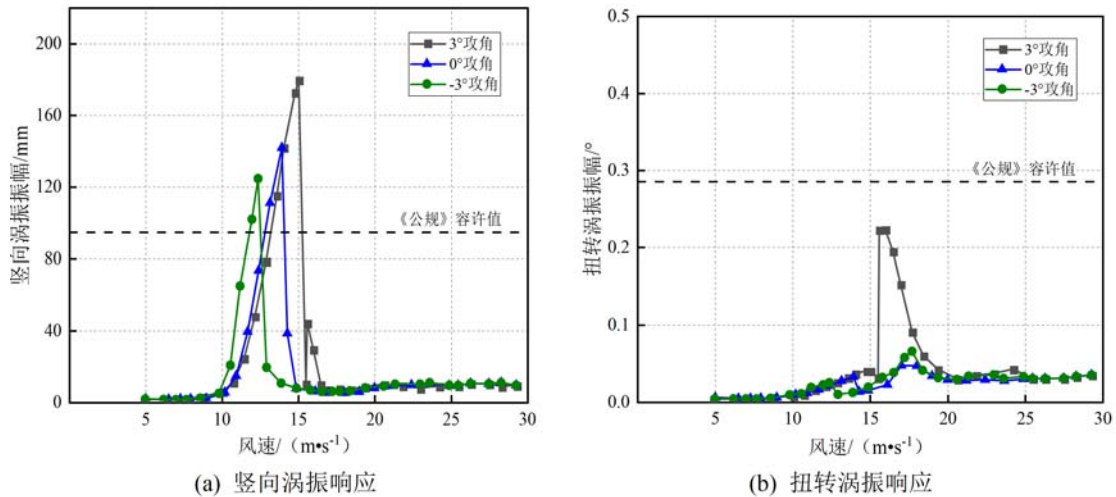


图 3 原方案主梁涡振性能

Fig. 3 Vortex-induced vibration(VIV) performance of the girder in original scheme

3 涡振性能分析

《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01-2018)(简称《公规》)^[17]中推荐钢混组合梁桥的阻尼比为 1%。因此,本文节段模型试验设置了偏安全的阻尼比 $\xi_v=0.71\%$, $\xi_t=0.63\%$ (ξ_v 为竖向阻尼比, ξ_t 为扭转阻尼比)。参考《公规》计算得到竖向涡振及扭转涡振允许振幅均方根值分别为 94.6mm 和 0.285°,需要说明的是,《公规》规定的涡振位移容许值是最大振幅,对于简谐振动,最大振幅可以认为是均方根的 $\sqrt{2}$ 倍。图 3 为原方案(不设置任何气动优化措施)在 $-3^\circ\sim 3^\circ$ 风攻角下的主梁涡振试验结果,

且振动幅值及风速均已换算至实桥值。在不同来流攻角下节段模型均发生了超过《公规》容许值的竖向涡振,竖向涡振风速区间一般为 10.7m/s~16.5m/s,且随攻角由正向负变化,原方案主梁断面的涡振幅值逐渐变大;+3°攻角下发生了明显的扭转涡振现象,但幅值未超过《公规》容许值。由于该桥原方案的竖向涡振幅值在 3 个攻角下均超过《公规》容许值,而扭转涡振仅在+3°攻角下发生且最大振幅低于《公规》容许值,因此本文重点对 π 型主梁断面的竖向涡激振动进行研究。

4 主梁气动优化措施研究

考虑到主梁断面出现了明显的涡激振动现象,因此,本文借鉴已有的关于此类主梁断面涡振抑制的研究成果,通过试验测试设计了优化栏杆、梁底稳定板、主梁侧边倒 L 形裙板 3 类单一及组合减振措施方案。所有减振措施试验均在竖向和扭转阻尼比分别为 0.71% 与 0.63% 的条件下进行。

4.1 优化栏杆

试验过程中选取了最不利的+3°攻角状态进行气动措施的优化,分别测试了部分封闭检修道栏杆、部分封闭斜拉索防护栏杆及改变斜拉索防护栏杆的构造形式等 4 种优化方案。图 4 试验结果表明,优化栏杆方案 1、2、3 能够减小主梁竖向涡振幅值,但仍无法满足抗风设计要求;方案 4 改变斜拉索防护栏杆的构造形式反而增大了涡振幅值,对抑制主梁涡激振动不利。优化栏杆试验方案见表 2。

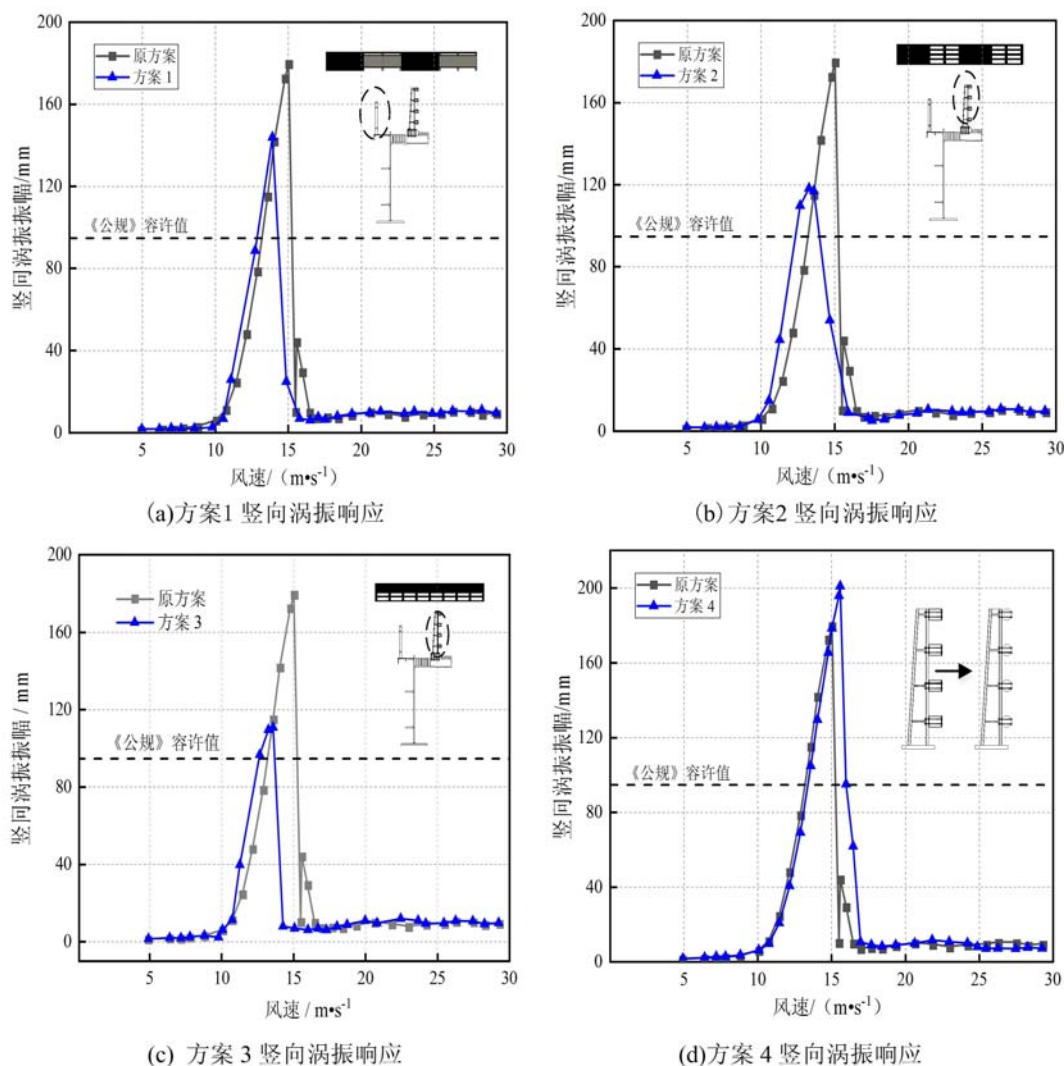


图 4 优化栏杆方案试验结果

Fig. 4 Test results of optimized railing scheme

表 2 优化栏杆试验措施方案
Tab. 2 Optimization of railing test measures

方案编号	措施方案
1	“隔 2 封 2”检修道栏杆
2	“隔 2 封 2”斜拉索防护栏杆
3	封闭斜拉索防护栏杆上缘
4	改变斜拉索防护栏杆构造形式

4.2 梁底稳定板

如图 5 所示,试验分别采用一道中央稳定板、两道四分点稳定板、一道中央稳定板与两道四分点稳定板组合 3 种不同梁底稳定板设置形式,研究改变稳定板道数及长度对主梁涡振性能的影响,试验措施方案见表 3。

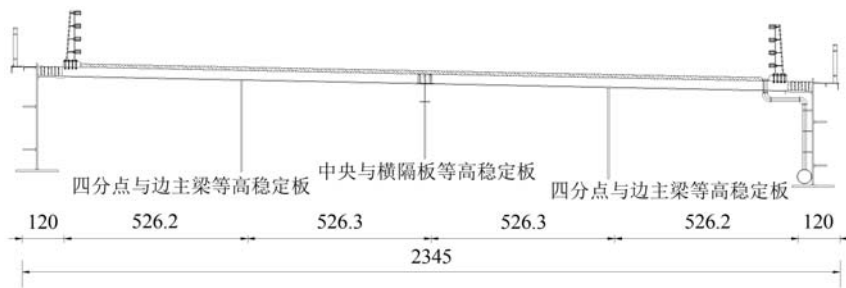


图 5 稳定板布置(单位:cm)

Fig. 5 Layout of stabilizer plate (unit: cm)

表 3 稳定板气动措施试验方案
Tab. 3 Aerodynamic measures test scheme for stabilizer plate

方案编号	措施方案
1	一道与横隔板等高度稳定板
2	两道与横隔板等高度稳定板
3	三道与横隔板等高度稳定板
4	一道与边主梁等高度稳定板
5	两道与边主梁等高度稳定板
6	三道与边主梁等高度稳定板

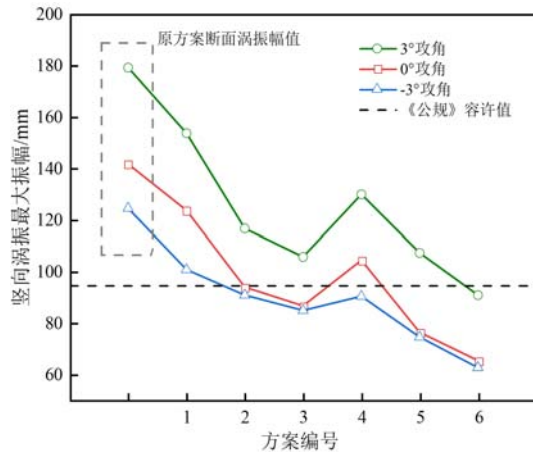


图 6 稳定板涡振控制试验结果

Fig. 6 Test results of VIV control by stabilizer plate

图 6 表明,在+3°攻角下,与原方案涡振幅值相比,增设梁底稳定板能降低竖向涡振的幅值,稳定板长度相同时,稳定板道数越多,减小竖向涡振的效果越明显;在稳定板道数相同的情况下,稳定板的长度越大,对主梁竖向涡振抑制效果越好,仅有方案 6 主梁竖向涡振幅值低于《公规》容许值。在 0°和-3°攻角下,方案 2、方案 3 设置多道稳定板能大幅降低竖向涡振幅值,且随着稳定板长度的增加(方案 5、方案 6),涡振幅值进一步减小。

4.3 主梁侧边倒 L 型裙板

如图 7 所示,在 π 型主梁断面两侧设置尺寸大小相同的倒 L 型裙板,其中倒 L 型裙板的尺寸参数为高度 a ,宽度 b 。相关研究表明,倒 L 型裙板的尺寸 $a=0.50H$ 、 $b=0.67H$ (H 为主梁高度)时为最佳尺寸参数^[15]。因此,试验选定高度 $a=0.50H$,采用 5 种不同宽度 $0.50H$ 、 $0.56H$ 、 $0.62H$ 、 $0.69H$ 、

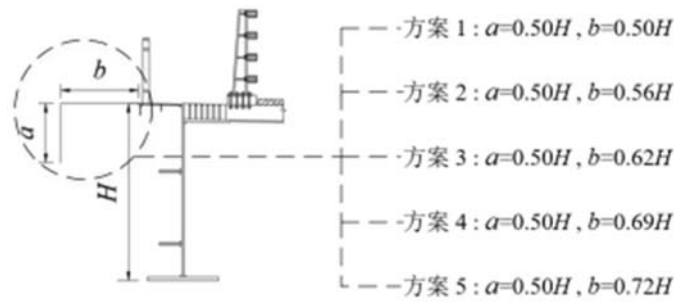


图7 倒L型裙板试验方案

Fig. 7 Test scheme of inverted L-shaped skirt plate

0.72H进行风洞试验。图8试验结果表明,在+3°攻角下主梁设置方案1~方案5不同尺寸参数的倒L型裙板能不同程度降低竖向涡振幅值,且方案2、方案4、方案5能将竖向涡振幅值降低至《公规》容许值以下,其中方案4减振效果最佳;方案1、方案3不能有效降低竖向涡振幅值。采用方案2主梁扭转涡振幅值较原断面略有减小,但其他方案主梁扭转涡振幅值较原方案均变大,且采用方案3、方案5时主梁扭转涡振最大幅值超过《公规》容许值,对抑制主梁涡振不利。综合对比5种不同尺寸参数的倒L型裙板的抑振效果,当倒L型裙板的宽度 $b=0.56H$ 和 $b=0.69H$ 时,可以将涡振幅值降低至《公规》容许值以下。

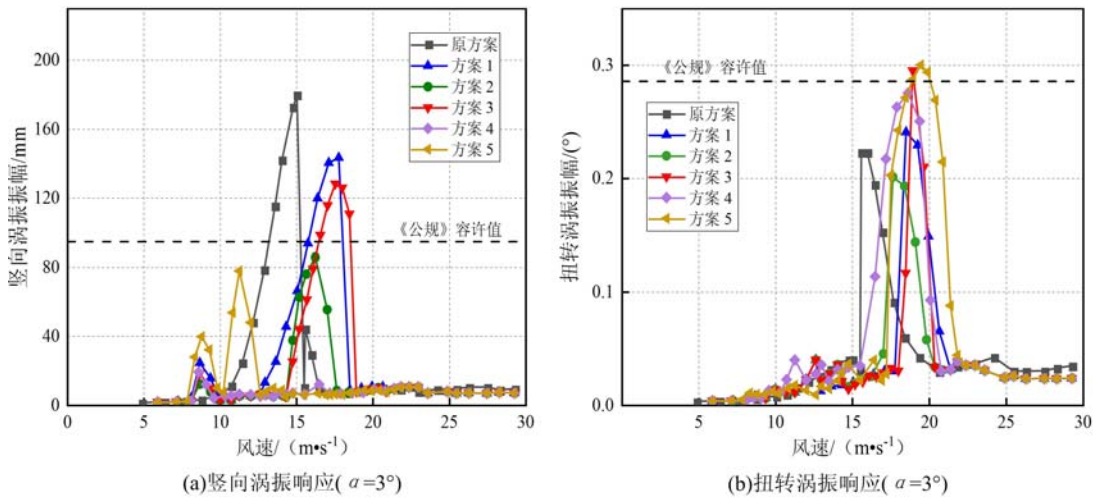


图8 倒L型裙板涡振控制试验结果

Fig. 8 Test results of VIV control by inverted L-shaped skirt plate

4.4 组合措施研究

封闭斜拉索防护栏杆上缘、梁底稳定板、倒L型裙板等措施都能起到降低竖向涡振幅值的效果。为有效提升主梁涡振性能,对上述主梁涡振减振措施进行了组合措施研究,以便使主梁在各个攻角下均能够满足抗风设计要求。

4.4.1 梁底稳定板与倒L型裙板组合措施

梁底稳定板与倒L型裙板组合措施试验方案见表4。图9为梁底稳定板与倒L型裙板组合措施试验布置图。图10、图11为梁底稳定板与倒L型裙板组合措施涡振控制试验结果。由图10、图11可知,主梁断面设置组合措施相较于设置单独稳定板措施,当组合措施中倒L型裙板的宽度 $b > 0.56H$ 时,主梁竖向涡振幅值明显减小,但扭转涡振幅值反而增大,主要原因是由于倒L型裙板在组合措施抑制涡振过程中占主导作用,单独设置倒L型裙板能够有效减小竖向涡振幅值,但对扭转涡振的减振效果不佳。组合措施方案1和方案6均不能有效减小主梁竖向涡振幅值;组合措施方案7相较于方案2试验结果,增加稳定板长度会使竖向涡振幅值减小,扭转涡振幅值反而变大,但2种方案均满足抗风设计要

求。组合措施方案 8、方案 9 分别与方案 3、方案 4 相比，增加稳定板长度对竖向涡振的影响较小，但能将扭转涡振幅值降低至《公规》容许值以下。组合措施方案 5、方案 10 能很大程度地减小主梁竖向涡振幅值，但不能有效减小扭转涡振幅值。

表 4 组合措施试验方案
Tab. 4 Test scheme of combined measures

方案编号	组合措施方案	方案编号	组合措施方案
1	$b=0.50H$ + I 型稳定板	6	$b=0.50H$ + II 型稳定板
2	$b=0.56H$ + I 型稳定板	7	$b=0.56H$ + II 型稳定塔
3	$b=0.62H$ + I 型稳定板	8	$b=0.62H$ + II 型稳定板
4	$b=0.69H$ + I 型稳定板	9	$b=0.69H$ + II 型稳定板
5	$b=0.76H$ + I 型稳定板	10	$b=0.76H$ + II 型稳定板

注： $b=0.50H, 0.56H, 0.62H, 0.69H, 0.76H$ 表示倒 L 型裙板横向宽度；I 型稳定板表示与横隔板等高稳定板，II 型稳定板表示与边主梁等高稳定板。

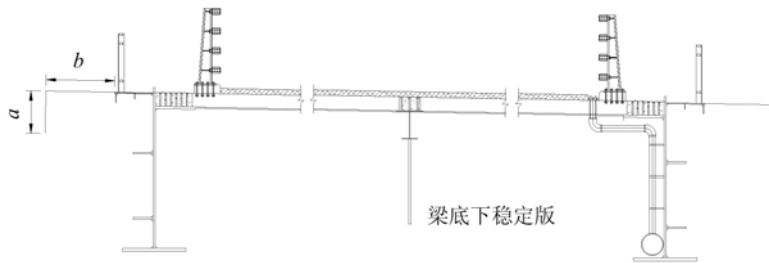


图 9 倒 L 型裙板与梁底稳定板组合措施布置

Fig. 9 Layout of inverted L-shaped skirt plate and stabilizer plate combined measures

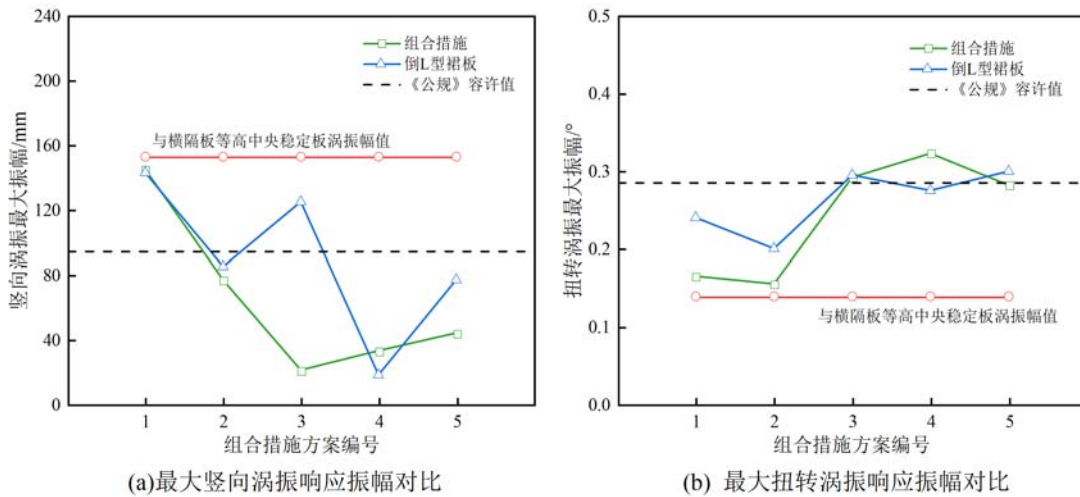


图 10 组合措施方案 1~5 涡振控制试验结果

Fig. 10 Test results of VIV control of combined measures 1~5

4.4.2 优化栏杆与倒 L 型裙板组合措施

根据 4.3 节中单一倒 L 型裙板措施试验研究结果，当采用尺寸参数为 $a=0.50H, b=0.56H$ 和 $a=0.50H, b=0.69H$ 的倒 L 型裙板时，可以将涡振幅值降低至《公规》容许值以下。因此，本文进行了尺寸参数为 $a=0.50H, b=0.56H$ 和 $a=0.50H, b=0.69H$ 的倒 L 型裙板与封闭斜拉索防护栏杆上缘组合措施的试验研究，组合措施布置如图 12 所示，组合措施试验方案见表 5。图 13 为倒 L 型裙板与封闭斜拉索防撞护栏上缘的组合措施涡振控制试验结果。由图 13 可知，倒 L 型裙板与封闭斜拉索防撞护栏上缘的组合措施能有效抑制涡振， π 型开口断面气动性能得到有效改善。

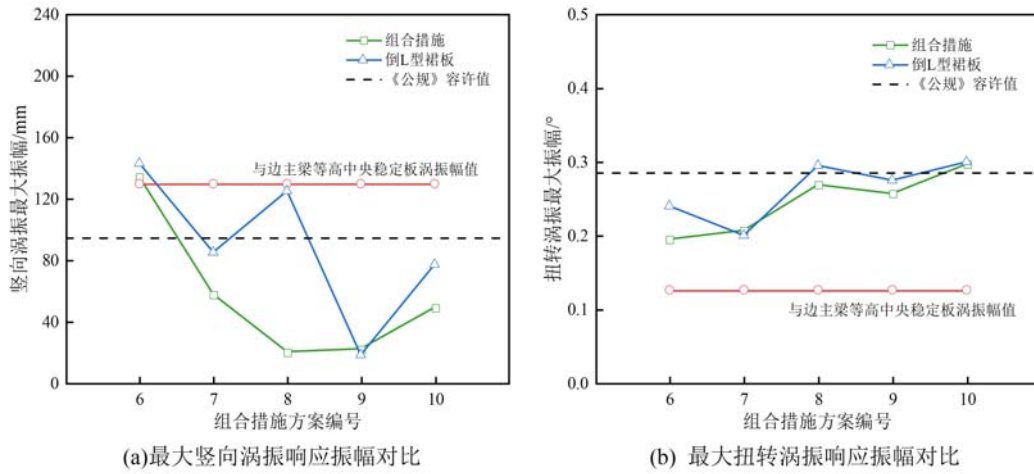


图 11 组合措施方案 6~10 涡振控制试验结果

Fig. 11 Test results of VIV control of combined measures 6~10

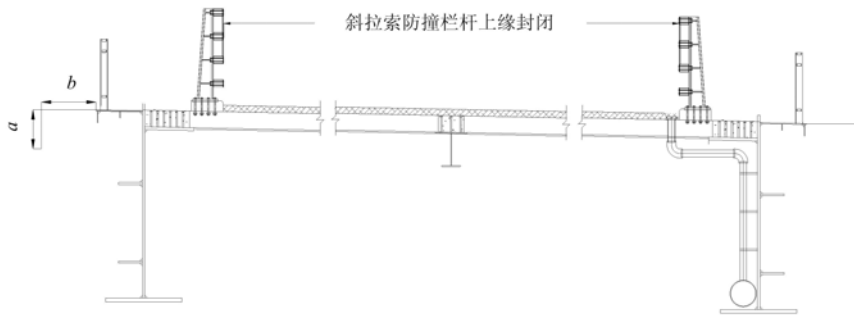


图 12 倒 L 型裙板与封闭斜拉索防护栏杆上缘组合措施布置

Fig. 12 Layout of inverted L-shaped skirt plate and upper edge of closed stay cable protective railing combined measures

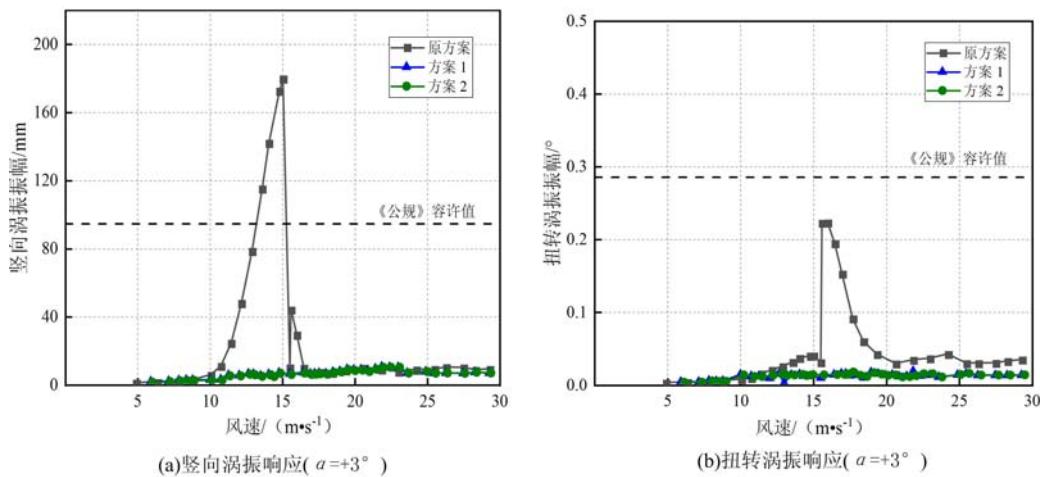


图 13 组合措施方案 1、方案 2 涡振控制试验结果

Fig. 13 Test results of VIV control of combined measures 1, measures 2

表 5 组合措施试验方案

Tab. 5 Test scheme of combined measures

方案编号	组合措施方案
1	$a=0.50H, b=0.56H$ 倒 L 型裙板+封闭斜拉索防护栏杆上缘
2	$a=0.50H, b=0.69H$ 倒 L 型裙板+封闭斜拉索防护栏杆上缘

5 结论

以某 π 型组合桥面斜拉桥为工程背景,通过1:50的节段模型风洞试验,研究了主梁的涡激振动性能,得到以下主要结论:

(1) 典型钝体 π 型开口断面,对风的作用十分敏感,在较低风速下发生了明显的竖向涡激振动现象。

(2) 部分封闭检修道栏杆及斜拉索防护栏杆有一定的减振效果,改变斜拉索防护栏杆形式对抑制主梁涡振不利;主梁涡振幅值随梁底稳定板的长度和道数的增加而逐渐减小,但减小的幅度有限;倒L型裙板能减小竖向涡振幅值,但对减小扭转涡振幅值不利。

(3) 尺寸参数为 $a=0.50H$ 、 $b=0.56H$ 的倒L型裙板与2种不同长度的梁底稳定板的组合措施均可以有效减小主梁涡振幅值;倒L型裙板与封闭斜拉索防护栏杆上缘的组合气动优化措施能够有效抑制主梁涡振的发生。

参考文献:

- [1] 熊川. 倒L型导流板对II型主梁断面涡振特性影响试验研究[D]. 西安: 长安大学, 2021 (XIONG Chuan. Experiment research on influence of inverted L-shaped deflector on vortex-induced vibration characteristics of II-shaped section[D]. Xi'an: Chang'an University, 2021 (in Chinese))
- [2] 贺耀北, 周洋, 华旭刚. 双边钢主梁-UHPC组合梁涡振抑制气动措施风洞试验研究[J]. 振动与冲击, 2020, 39(20):142-148 (HE Yaobei, ZHOU Yang, HUA Xugang. A wind tunnel test on aerodynamic measures for vortex-induced vibration suppression of a bilateral steel-UHPC composite beam[J]. Journal of Vibration and Shock, 2020, 39(20):142-148 (in Chinese))
- [3] 李加武, 徐敏建, 王子健, 等. 风嘴几何参数对双边箱式II型梁涡振性能的影响[J]. 建筑科学与工程学报, 2022, 39(5):74-83 (LI Jiawu, XU Minjian, WANG Zijian, et al. Effects of geometric parameters of wind fairing on vortex-induced vibration performance of tow-side box type II-shaped girder[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2022, 39(5):74-83 (in Chinese))
- [4] 陈政清. 桥梁风工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005 (CHEN Zhengqing. Wind engineering of bridge[M]. Beijing: China Communications Press, 2005 (in Chinese))
- [5] 葛耀君, 赵林, 许坤. 大跨桥梁主梁涡激振动研究进展与思考[J]. 中国公路学报, 2019, 32(10):1-18 (GE Yaojun, ZHAO Lin, XU Kun. Review and reflection on vortex-induced vibration of girder of long-span bridges [J]. China Journal of Highway and Transport, 2019, 32(10):1-18 (in Chinese))
- [6] 李欢, 何旭辉, 王汉封, 等. π 型断面超高斜拉桥涡振减振措施风洞试验研究[J]. 振动与冲击, 2018, 37(7):62-68 (LI Huan, HE Xuhui, WANG Hanfeng, et al. Wind tunnel tests for vortex-induced vibration control measures of a super high cable-stayed bridge with π -cross section[J]. Journal of Vibration and Shock, 2018, 37(7):62-68 (in Chinese))
- [7] 钱国伟, 曹丰产, 葛耀君. II型叠合梁斜拉桥涡振性能及气动控制措施研究[J]. 振动与冲击, 2015, 34(2):176-181 (QIAN Guowei, CAO Fengchan, GE Yaojun. Vortex-induced vibration performance of a cable-stayed bridge with II-type and composite deck and its aerodynamic control measures[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(2):176-181 (in Chinese))
- [8] 汪志雄, 张志田, 郗凯, 等. π 型开口截面斜拉桥弯扭耦合涡激共振及气动减振措施研究[J]. 振动与冲击, 2021, 40(1):52-57, 94 (WANG Zhixiong, ZHANG Zhitian, QIE Kai, et al. Bending-torsion coupled vortex induced resonance of π -type open section cable stayed bridge and aerodynamic vibration reduction measures[J]. Journal of Vibration and Shock, 2021, 40(1):52-57, 94 (in Chinese))
- [9] Koga T. Improvement of aeroelastic instability of shallow π section[J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 2001, 89(14-15):1445-1457.
- [10] Daito Y. Torsional flutter mechanism of two-edge girders for long-span cable-stayed bridge[J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 2002, 90(12-15):2127-2141.
- [11] Irwin P A. Bluff body aerodynamics in wind engineering [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial

- Aerodynamics, 2008, 96(6):701–712.
- [12] 董锐, 杨咏昕, 葛耀君. 斜拉桥 II 型开口断面主梁气动选型风洞试验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(10): 109–114 (DONG Rui, YANG Yongxin, GE Yaojun. Wind tunnel test for aerodynamic selection of II shaped deck of cable-stayed bridge[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2012, 44(10):109–114 (in Chinese))
- [13] 李春光, 颜虎斌, 梁爱鸿, 等. 稳定板对带式输送机边主梁斜拉桥涡振性能影响机理的研究[J]. 振动与冲击, 2022, 41(8):25–33 (LI Chunguang, YAN Hubin, LIANG Aihong, et al. Mechanism study on the effect of a stabilizing plate on vortex-induced vibration performance of a cable stayed bridge with a side main girder of a belt conveyor[J]. Journal of Vibration and Shock, 2022, 41(8):25–33 (in Chinese))
- [14] Li Ke, Qian Guowei, Ge Yaojun, et al. Control effect and mechanism investigation on the horizontal flow-isolating plate for PI shaped bridge decks' VIV stability[J]. Wind and Structures, 2019, 28(2):99–110.
- [15] Bai Hua, Li Rui, Xu Guoji, et al. Aerodynamic performance of π -shaped composite deck cable-stayed bridges including VIV mitigation measures[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2021, 208: 104451.
- [16] 张天翼, 孙延国, 李明水, 等. 宽幅双箱叠合梁涡振性能及抑振措施试验研究[J]. 中国公路学报, 2019, 32(10):107–114, 168 (ZHANG Tianyi, SUN Yanguo, LI Mingshui, et al. Experimental study on vortex-induced vibration performance and aerodynamic countermeasures for a wide-wideh double-box composite beam[J]. China Journal of Highway and Transport, 2019, 32(10):107–114, 168 (in Chinese))
- [17] JTG/T 3360-01–2018, 公路桥梁抗风设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018 (JTG/T3360-01–2018, Wind-resistant design specification for highway bridges[S]. Beijing: China Communications Press, 2018 (in Chinese))

Study on vortex-induced vibration performance and optimization measures of cable-stayed bridge with π -type composite deck

LI Chunguang, CHEN Sai, HAN Yan, LI Hejia

(School of Civil Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, Hunan, China)

Abstract: The girder section of π -type composite deck is one of the commonly used section forms of cable-stayed bridges. However, the π -type open section is a typical bluff body aerodynamic shape, which is prone to airflow separation and alternating vortex shedding, causing vortex-induced vibration (VIV) problems. It is necessary to optimize its section form to achieve the effect of vibration reduction and vibration suppression. A π -type composite deck cable-stayed bridge with aspect ratio of 7.9 was prepared for sectional model wind tunnel test in this paper, the effects of the change of railing form, stabilizer plate and inverted L-shaped skirt plate on the VIV performance of the girder were studied. The research results show that partially closed maintenance way railings and stay cable protective railings can reduce the VIV amplitude at varying degrees, but changing the structure of stay cable protective railings will increase the vertical VIV amplitude of the girder. Increasing the length or number of stabilizer plate, the vibration suppression effect is more obvious; the inverted L-shaped skirt plate can reduce the vertical VIV amplitude, but the damping effect of torsional VIV is not good. The combined measures of inverted L-shaped skirt plate and stabilizer plate can further reduce the vertical VIV amplitude, but cannot effectively reduce the torsional VIV amplitude. The combined measures of inverted L-shaped skirt plate and partially closed stay cable protective railing can effectively suppress the VIV of the girder. The research results can provide reference for the VIV reduction design of similar girder sections.

Keywords: π -type composite deck; cable-stayed bridge; vortex-induced vibration(VIV); optimization measures; wind tunnel test