

切角凹槽矩形截面桥塔的气动特性试验研究

韩笑¹, 高创², 郑怡彤¹, 刘小兵^{1,3}

(1. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043;

2. 郑州市政集团有限公司, 河南 郑州 450000;

3. 河北省风工程和风能利用工程技术创新中心, 河北 石家庄 050043)

摘要:基于刚性模型测压风洞试验方法,研究了不同切角率和凹槽率的矩形截面桥塔气动特性随风向角的变化规律。结果表明,切角凹槽矩形截面桥塔气动特性随风向角的变化会出现 2 个临界风向角 α_{cr1} 和 α_{cr2} , 临界风向角附近气动特性出现突变。当 $0^\circ \leq \alpha < \alpha_{cr1}$ 和 $\alpha_{cr2} < \alpha \leq 90^\circ$ 时, 随风向角增大, 平均阻力系数和脉动升力系数先减小后增大, 斯托罗哈数先增大后减小; 当 $\alpha_{cr1} < \alpha < \alpha_{cr2}$ 时, 平均阻力系数和脉动升力系数变化不大, 斯托罗哈数消失。2 个临界风向角间的范围随切角率的增大而减小, 随凹槽率的增大而增大。同一风向角下, 气动特性受凹槽率影响较小; 随切角率的增大, 平均阻力系数减小, 斯托罗哈数增大, 脉动升力系数变化较小。

关键词:桥塔; 切角; 凹槽; 风洞试验; 气动特性

中图分类号: U443.35 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2024)01-0009-08

0 引言

随着新型建筑材料的研发、施工工艺的发展以及桥梁设计理论的不完善, 桥梁的跨度越来越大。为满足结构受力的需要, 桥梁主塔也越来越高^[1]。桥塔高度的增加导致刚度降低, 尤其处于施工状态时, 自立状态下的桥塔没有主缆或斜拉索的支撑, 会对结构的安全产生一定影响。桥塔断面形式多为矩形, 对结构截面进行角部优化处理是常用的气动抑振措施之一^[2-5]。如南京长江第三大桥桥塔进行较大切角处理后, 明显改善了涡振和驰振性能; 港珠澳大桥桥塔进行切角处理后驰振消失^[6-7]。然而实际工程中, 为了提高可观赏性或满足其他功能方面的需求, 还会在切角处理的基础之上在矩形桥塔中间设置凹槽, 这又进一步改变了结构的外形。由于结构气动特性与外形息息相关, 因此在切角基础上设置凹槽后气动特性会如何变化是值得探讨的问题。

目前已有一些学者对不同角部处理后结构的气动特性进行了相关研究。丁静^[8]通过节段模型风洞试验测定带切角和不带切角的方形截面桥塔的气动力系数, 进而研究 2 种截面的驰振性能。研究表明, 0° 风向角下, 切角方形截面桥塔具有更好的驰振性能。贺媛等^[9]对比了自立状态下不同构造形式桥塔模型的风洞试验结果。研究显示, 对桥塔塔柱截面进行角部处理(向内凹直角、边部切角等)可使气动特性得到一定的改善。GU et al^[10]对切角和凹角处理的方柱和矩形截面柱进行了研究, 发现 2 种方法均可以减小结构横风向基底弯矩谱的峰值。VISHWANATH et al^[11]采用大涡模拟的方法对圆角处理的方柱进行了研究, 发现当圆角率为 0.2 时, 平均阻力及脉动升力会显著降低约 50%。ZHAO et al^[12]同样通过模拟方法对圆角方柱进行了研究, 发现圆角率大于 0.1 时驰振被完全抑制, 圆角扩大了涡激振动风速区间, 也增加了最大振动幅值。可以看到, 目前国内外学者主要通过风洞试验和数值模拟的方法, 对切角、圆角及凹角等不同角部处理后的柱体结构的气动特性进行了研究, 发现这些角部处理方式均可以不同程度改善结构的气动性能。

从以上研究文献也可以看到, 目前对桥塔气动特性的研究多是针对单一角部处理措施的情况, 鲜有

收稿日期: 2023-10-18 责任编辑: 车轩玉 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxxbzrb.20230270

基金项目: 国家自然科学基金(52078313); 中央引导地方科技发展资金项目(236Z5407G)

作者简介: 韩笑(1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向为工程结构的风荷载与风致振动研究。E-mail: hx15931126103@163.com

韩笑, 高创, 郑怡彤, 等. 切角凹槽矩形截面桥塔的气动特性试验研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2024, 37(1): 9-15, 23.

关于切角和凹槽措施组合对桥塔气动特性影响的研究。而截面形状又是影响气动特性的关键因素,因此有必要做进一步研究。鉴于此,以国内某实际桥梁工程为背景,针对不同切角率和凹槽率的矩形截面桥塔,采用刚性模型测压风洞试验的方法,在不同风向角下对其气动特性进行了深入分析。

1 风洞试验方案设计

1.1 工程概况

某大跨桥梁长 442 m,主塔高 150 m。桥面以下的 2 道横梁将桥塔分成下塔柱、中塔柱和上塔柱 3 部分。如图 1 所示,下塔柱及中塔柱的下半部分截面沿高度线性变化,线性变化段长 92 m;中塔柱的上半部分及上塔柱的截面形状维持不变,截面不变段长 58 m,现针对上塔柱截面展开研究。如图 2 所示,上塔柱截面横桥向外侧面设 15 cm 深的景观槽,外侧设有 50 cm×50 cm 的倒角。

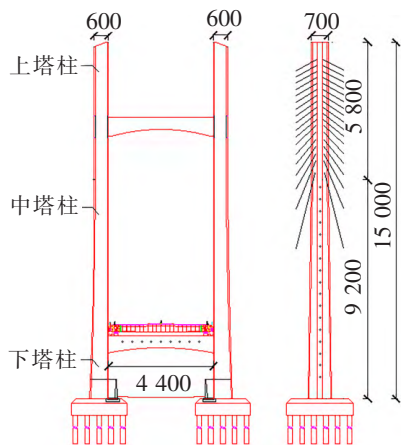


图 1 桥塔结构示意图(单位:cm)

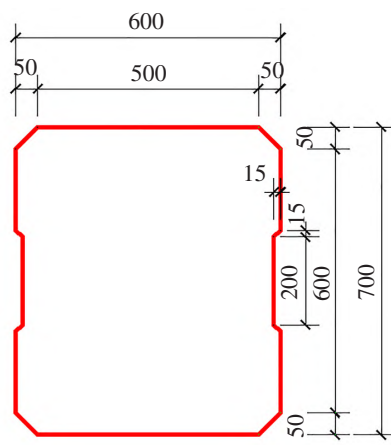


图 2 上塔柱截面示意图(单位:cm)

1.2 试验模型及装置介绍

风洞试验在石家庄铁道大学风洞实验室低速试验段进行。试验使用的仪器主要有微型 ESP 压力扫描阀和 DTC Initium 数据采集系统,采样频率约为 330 Hz,采样时间为 30 s。本试验流场为均匀流场,试验风速为 12 m/s。

图 3 为试验装置示意图。为满足试验阻塞度要求,模型截面的缩尺比为 1:20。模型横截面的尺寸为 300 mm×350 mm,高为 2 000 mm,通过支架固定在风洞中。为消除模型的端部效应,保证流场的二元性,在模型两端布置了端板^[13-14]。试验支架下端与转盘固接,支架上端与风洞顶铰接,通过旋转转盘实现风向角的变化。为了获得桥塔模型表面的压力信息,在模型中间位置布设一圈测压孔。

图 4 为模型截面参数和风向角示意图。定义切角边长 R 与矩形截面长度 B 的比值为切角率,凹槽深度 S 与 B 的比值为凹槽率。由于模型具有良好的对称性,试验风向角 α 的变化范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$,变化步长为 5° 。

试验照片如图 5 所示,在试验过程中,桥塔模型的主体部分始终固定,通过更换不同切角构件和凹槽构件来实现切角凹槽率的改变。以实际桥塔模型 ($R/B=1/12$, $S/B=1/40$) 为基础,模型工况分为固定凹槽率 $S/B=1/40$,变换切角率 $R/B=1/6, 1/8, 1/12$ 和 $1/24$; 以及固定切角率 $R/B=$

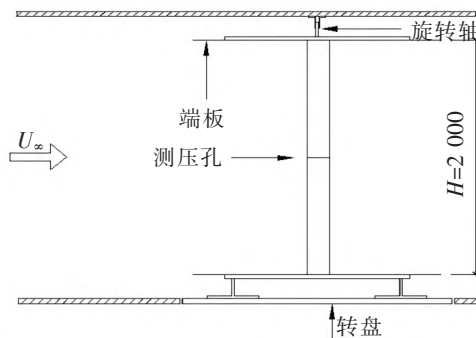


图 3 试验装置示意图(单位:mm)

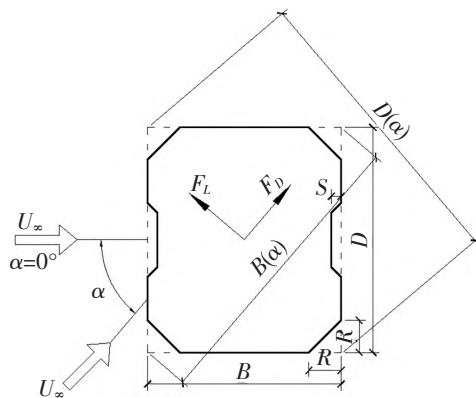


图 4 截面参数及风向角示意图

1/12, 变换凹槽率 $S/B=1/20, 1/30, 1/40$ 和 $1/60$ 。测点布置如图 6 所示, 对绕流较为复杂的角点位置进行了加密处理。

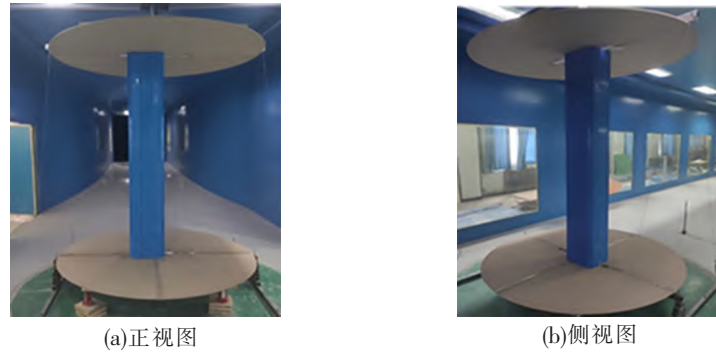


图 5 试验照片

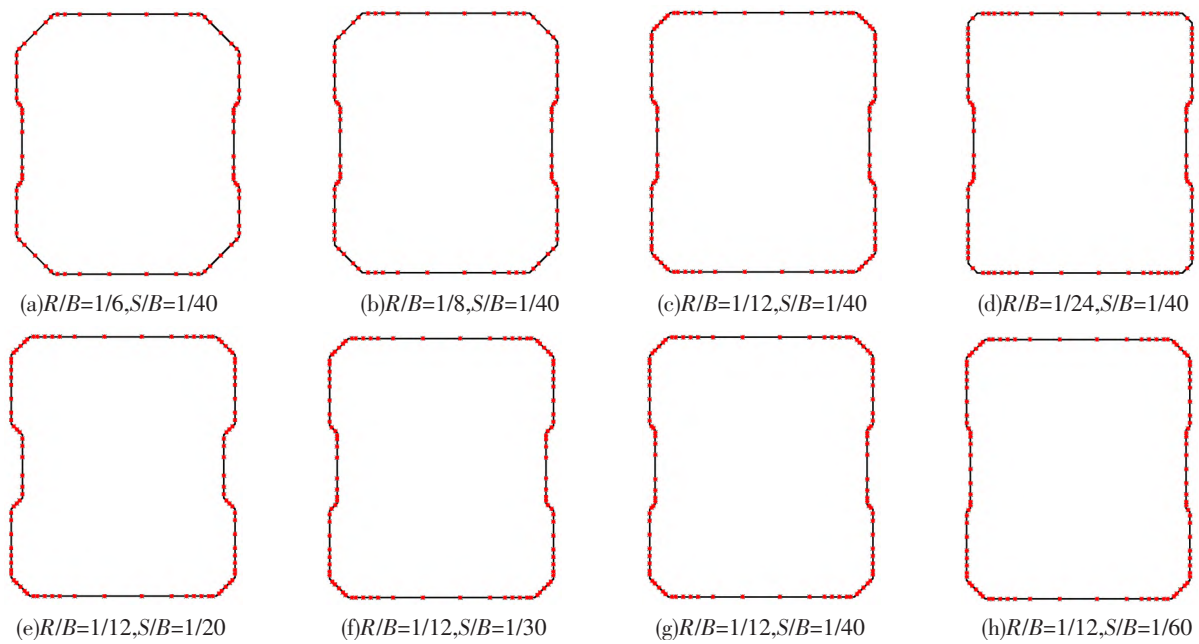


图 6 模型测点布置

1.3 参数定义

气动力可用无量纲参数阻力系数和升力系数表示, 定义为

$$C_D(i) = \frac{F_D(i)}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 D(\alpha)} \quad (1)$$

$$C_L(i) = \frac{F_L(i)}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 B(\alpha)} \quad (2)$$

式中, $F_{D(i)}$ 、 $F_{L(i)}$ 分别为各测点压力积分得到的模型单位长度上的顺风向阻力时程和横风向升力时程。

平均阻力系数和脉动升力系数定义为

$$C_{D_mean} = \frac{\sum_{i=1}^N C_D(i)}{N} \quad (3)$$

$$C_{L_rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [C_L(i) - C_{L_mean}]^2}{N-1}} \quad (4)$$

旋涡脱落特性可用无量纲参数斯托罗哈数表示,其定义为

$$S_t = \frac{fD(\alpha)}{U_\infty} \tag{5}$$

式中, f 为旋涡脱落频率。

1.4 试验结果可靠性检验

为保证试验结果的可靠性,首先对 300 mm×350 mm 的矩形截面模型进行刚性模型测压试验,如图 7 所示。

由于矩形截面宽厚比接近于方形截面,故采用矩形截面在 0°和 90°风向角下的平均阻力系数和斯托罗哈数与已有方形截面研究成果进行对比,如表 1 所示。可见,试验结果与已有结果吻合良好,表明本次试验结果具有一定的可靠性。

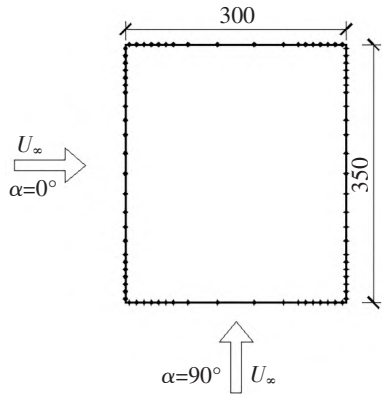


图 7 矩形截面尺寸及测点布置(单位:mm)

表 1 试验结果对比

数据来源	截面形状	风向角/(°)	C_{D_mean}	S_t
风洞试验	矩形(宽厚比 6/7)	0	2.24	0.10
		90	2.03	0.14
文献[15]	方形	0	2.05	0.13
文献[16]	方形	0	2.05	0.12

2 试验结果分析

2.1 平均阻力系数分析

图 8(a)为凹槽率(S/B)为 1/40 时,不同切角率(R/B)的矩形截面桥塔的平均阻力系数随风向角的变化规律。由图 8(a)可知:①平均阻力系数随风向角变化过程中会出现 2 个临界风向角 α_{cr1} 和 α_{cr2} ,在临界风向角附近,桥塔气动特性会产生明显的突变现象,2 次突变幅度大致相同。根据临界风向角可将桥塔气动特性随风向角的变化划分为 3 个范围: $0^\circ \leq \alpha < \alpha_{cr1}$ 、 $\alpha_{cr1} < \alpha < \alpha_{cr2}$ 和 $\alpha_{cr2} < \alpha \leq 90^\circ$ 。②当 $R/B=1/24$ 时, α_{cr1} 在 $25^\circ \sim 30^\circ$ 之间,平均阻力系数由 1.53 减小至 0.96 左右, α_{cr2} 在 $65^\circ \sim 70^\circ$ 之间;当 $R/B=1/12$ 和 $1/8$ 时, α_{cr1} 在 $30^\circ \sim 35^\circ$ 之间,平均阻力系数分别由 1.27 减小至 0.92 和 1.44 降至 0.84 左右, α_{cr2} 分别在 $65^\circ \sim 70^\circ$ 和 $55^\circ \sim 60^\circ$ 之间; $R/B=1/6$ 时, α_{cr1} 在 $40^\circ \sim 45^\circ$ 之间,平均阻力系数由 1.42 减小至 0.82 左右, α_{cr2} 在 $55^\circ \sim 60^\circ$ 之间。③当 $0^\circ \leq \alpha < \alpha_{cr1}$ 和 $\alpha_{cr2} < \alpha \leq 90^\circ$ 时,平均阻力系数均是随风向角的增大先减小后增大。④切角率越大,2 个临界风向角之间的范围越小。在此风向角范围内,平均阻力系数随风向角变化不明显。⑤同一风向角下,平均阻力系数随切角率的增大而减小。

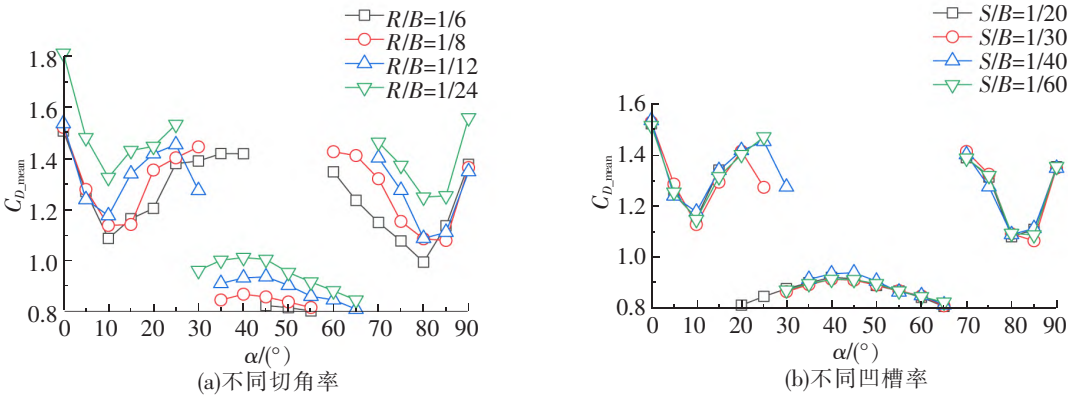


图 8 不同切角率和凹槽率矩形截面桥塔平均阻力系数随风向角的变化曲线

图 8(b)为切角率(R/B)为 $1/12$ 时,不同凹槽率(S/B)的矩形截面桥塔的平均阻力系数随风向角的变化曲线。由图 8(b)可知:①不同凹槽率桥塔的平均阻力系数随风向角的变化规律与不同切角率桥塔平均阻力系数随风向角的变化规律类似,同样是在不同风向角下平均阻力系数出现 2 次明显的突变现象,因此也可将试验风向角划分为 3 个范围。②当 $S/B=1/60$ 和 $S/B=1/30$ 时, α_{cr1} 均在 $25^\circ\sim 30^\circ$ 之间,平均阻力系数分别由 1.47 减小至 0.87 和 1.27 减小至 0.87 左右;当 $S/B=1/40$ 时, α_{cr1} 在 $30^\circ\sim 35^\circ$ 之间,平均阻力系数由 1.29 减小至 0.92 左右;当 $R/B=1/20$ 时, α_{cr1} 在 $15^\circ\sim 20^\circ$ 之间,平均阻力系数由 1.34 减小至 0.81 左右;不同凹槽率桥塔的 α_{cr2} 均在 $65^\circ\sim 70^\circ$ 之间。③当 $0^\circ\leq\alpha<\alpha_{cr1}$ 和 $\alpha_{cr2}<\alpha\leq 90^\circ$ 时,平均阻力系数均是随风向角的增大先减小后增大。④凹槽率越大,2 个临界风向角之间的范围越大。在此风向角范围内,平均阻力系数随风向角变化不明显。⑤同一风向角下,平均阻力系数随凹槽率的增大变化不明显。

2.2 脉动升力系数分析

图 9 为不同切角凹槽率的矩形截面桥塔的脉动升力系数随风向角的变化曲线。由图 9 可知,脉动升力系数同平均阻力系数变化规律类似,同样随风向角的变化出现 2 次突变现象。具体如下:①当 $R/B=1/24$ 时, α_{cr1} 在 $25^\circ\sim 30^\circ$ 之间,脉动升力系数由 0.5 减小至 0 左右, α_{cr2} 在 $65^\circ\sim 70^\circ$ 之间;当 $R/B=1/12$ 和 $1/8$ 时, α_{cr1} 在 $30^\circ\sim 35^\circ$ 之间,脉动升力系数分别由 0.36 和 0.51 减小至 0 左右, α_{cr2} 分别在 $65^\circ\sim 70^\circ$ 和 $55^\circ\sim 60^\circ$ 之间; $R/B=1/6$ 时, α_{cr1} 在 $40^\circ\sim 45^\circ$ 之间,脉动升力系数由 0.5 减小至 0 左右, α_{cr2} 在 $55^\circ\sim 60^\circ$ 之间。②当 $S/B=1/60$ 和 $S/B=1/30$ 时, α_{cr1} 均在 $25^\circ\sim 30^\circ$ 之间,脉动升力系数分别由 0.5 和 0.41 减小至 0 左右;当 $S/B=1/40$ 时, α_{cr1} 在 $30^\circ\sim 35^\circ$ 之间,脉动升力系数由 0.38 减小至 0 左右;当 $R/B=1/20$ 时, α_{cr1} 在 $15^\circ\sim 20^\circ$ 之间,脉动升力系数由 0.44 减小至 0 左右;不同凹槽率桥塔的 α_{cr2} 均在 $65^\circ\sim 70^\circ$ 之间。③当 $0^\circ\leq\alpha<\alpha_{cr1}$ 和 $\alpha_{cr2}<\alpha\leq 90^\circ$ 时,不同切角凹槽率桥塔脉动升力系数均是随风向角的增大先减小后增大。④2 个临界风向角之间的范围随切角率增大而减小,随凹槽率增大而增大。在此风向角范围内,不同切角凹槽率桥塔脉动升力系数随风向角变化不明显。⑤同一风向角下,不同切角凹槽率桥塔脉动升力系数随切角和凹槽率变化不明显。

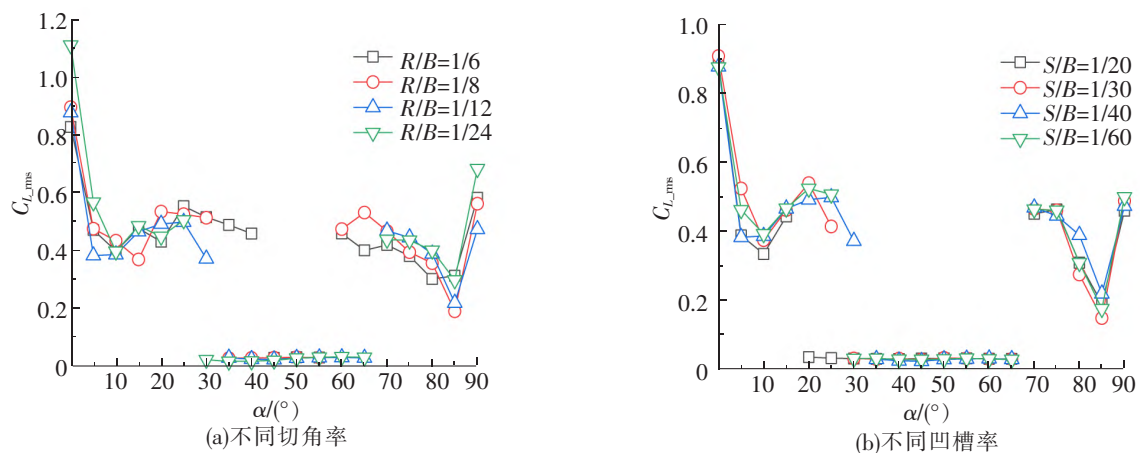


图 9 不同切角率和凹槽率矩形截面桥塔脉动升力系数随风向角的变化曲线

2.3 斯托罗哈数分析

对升力系数时程进行傅里叶变换可得到升力系数幅值谱图,对幅值谱图进一步处理分析即可获得斯托罗哈数。由于篇幅有限,仅给出 $S/B=1/40$ 时, $R/B=1/24$ 和 $R/B=1/12$ 的矩形截面桥塔在几个典型风向角下的幅值谱图,如图 10、图 11 所示。由图 10、图 11 可知:①当 $0^\circ\leq\alpha<\alpha_{cr1}$ 和 $\alpha_{cr2}<\alpha\leq 90^\circ$ 时,升力系数幅值谱均呈现出较为明显的窄带峰值,对应的卓越频率均是随风向角增大先减小后增大。当 $0^\circ\leq\alpha<\alpha_{cr1}$ 时,幅值随风向角的增大先增大后减小,当 $\alpha_{cr2}<\alpha\leq 90^\circ$ 时幅值随风向角的增大而增大。② 2 个临界风向角之间的范围内没有出现明显的卓越频率。

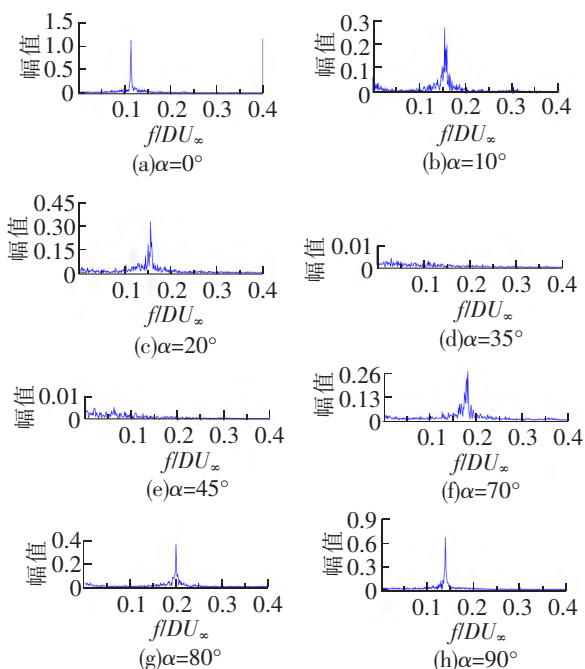


图 10 矩形截面桥塔升力系数幅值谱
($R/B=1/24$ 、 $S/B=1/40$)

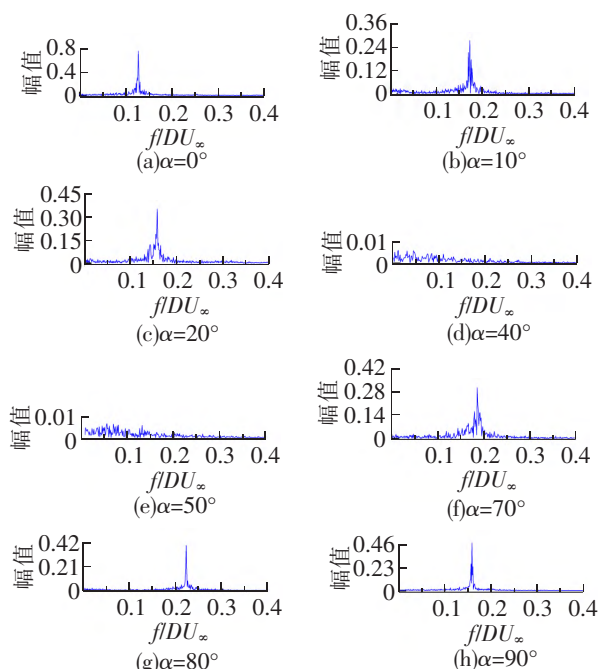


图 11 矩形截面桥塔升力系数幅值谱
($R/B=1/12$ 、 $S/B=1/40$)

图 12 为不同切角率矩形截面桥塔的斯托罗哈数随风向角的变化规律。由图 12 可知:①在不同切角率和凹槽率下,2 次临界风向角出现的范围同平均阻力系数以及脉动升力系数出现临界风向角的范围相同。②当 $0^\circ \leq \alpha < \alpha_{cr1}$ 和 $\alpha_{cr2} < \alpha \leq 90^\circ$ 时,不同切角率矩形截面桥塔斯托罗哈数均随风向角的增大先增大后减小。斯托罗哈数取最大值的风向角分别为 10° 和 80° 。在不同切角率下,斯托罗哈数在 $R/B=1/6$ 时取最大值,分别为 0.19 和 0.23 左右。在不同凹槽率下斯托罗哈数变化不大,最大值分别为 0.17 和 0.21 左右。③2 个临界风向角之间的范围随切角率的增大而减小,随凹槽率的增大而增大。在此风向角范围内,升力系数幅值谱中没有出现明显的卓越频率,斯托罗哈数消失。④同一风向角下,斯托罗哈数随切角率的增大而增大,随凹槽率的变化不明显。

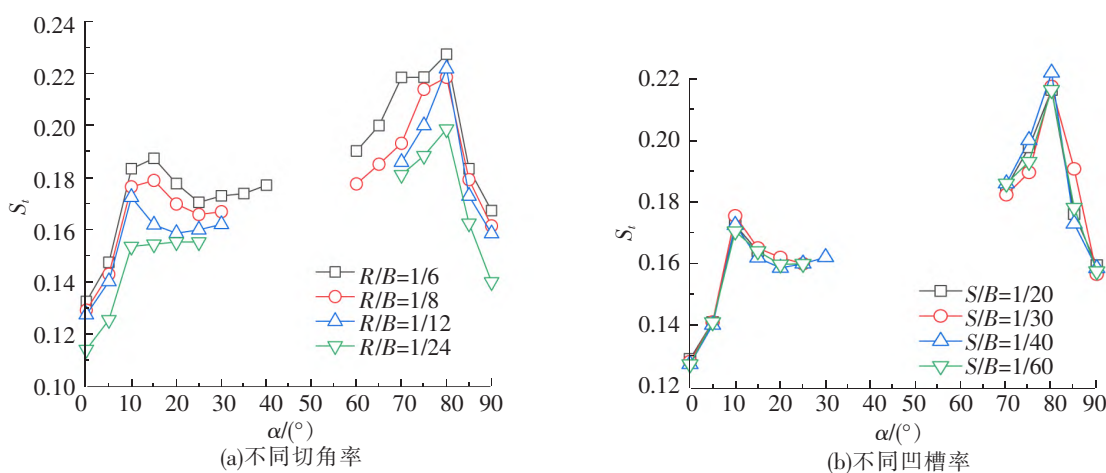


图 12 不同切角率和凹槽率矩形截面桥塔斯托罗哈数随风向角的变化曲线

3 结论

针对不同切角率($R/B=1/6$ 、 $1/8$ 、 $1/12$ 、 $1/24$)和不同凹槽率($S/B=1/20$ 、 $1/30$ 、 $1/40$ 、 $1/60$)的矩形截

面桥塔,采用刚性模型测压风洞试验的方法,在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 风向角下对其气动特性进行了研究。可得到以下主要结论:

(1)不同切角凹槽率矩形截面桥塔气动特性随风向角变化会出现 2 个临界风向角 α_{cr1} 和 α_{cr2} 。 α_{cr1} 和 α_{cr2} 与切角率和凹槽率密切相关,分别为 $15^\circ \sim 45^\circ$ 和 $55^\circ \sim 70^\circ$ 。在临界风向角附近,桥塔气动特性会产生明显的突变现象。根据临界风向角可将桥塔气动特性随风向角的变化划分为 3 个范围: $0^\circ \leq \alpha < \alpha_{cr1}$ 、 $\alpha_{cr1} < \alpha < \alpha_{cr2}$ 和 $\alpha_{cr2} < \alpha \leq 90^\circ$ 。

(2)当 $0^\circ \leq \alpha < \alpha_{cr1}$ 和 $\alpha_{cr2} < \alpha \leq 90^\circ$ 时,平均阻力系数和脉动升力系数均随风向角的增大先减小后增大;斯托罗哈数随风向角的增大先增大后减小。

(3)2 个临界风向角之间的范围随切角率的增大而减小,随凹槽率的增大而增大。在此风向角范围内,平均阻力系数和脉动升力系数随风向角变化不明显;升力系数幅值谱中没有出现明显的卓越频率,斯托罗哈数消失。

(4)在同一风向角下,平均阻力系数随切角率的增大而减小,斯托罗哈数则增大,二者随凹槽率变化不明显。脉动升力系数随切角率和凹槽率的变化均不明显。

参 考 文 献

- [1]吴梦雪,李永乐,周昱,等. 悬索桥超高桥塔的刚度和风致响应[J]. 桥梁建设, 2012, 23(4): 15-16.
- [2]CHOI C K, KWON D K. Effects of corner cuts and angles of attack on the Strouhal number of rectangular cylinders[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2003, 6(2): 127-140.
- [3]ELSHAER A, BITSUAMLAK G, DAMATTY A E. Enhancing wind performance of tall buildings using corner aerodynamic optimization[J]. Engineering Structures, 2017, 136(1): 133-148.
- [4]杜晓庆,刘延泰,董浩天,等. 类方柱的气动特性和流场特性[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2020, 47(5): 88-98.
- [5]郑德乾,祝瑜哲,刘帅永,等. 上游切角对串列双方柱气动特性影响研究[J]. 振动与冲击, 2021, 40(15): 216-223.
- [6]廖海黎,马存明,李明水,等. 港珠澳大桥的结构抗风性能[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2020, 60(1): 41-47.
- [7]胡传新,周志勇,秦鹏. 港珠澳大桥青州航道桥抗风性能研究[J]. 桥梁建设, 2018, 48(2): 1-6.
- [8]丁静. 方形截面桥塔的驰振机理及气动制振措施研究[D]. 成都:西南交通大学, 2015.
- [9]贺媛,宋锦忠,杨咏昕. 桥塔自立状态下抗风性能的比较研究[J]. 结构工程师, 2007, 28(6): 49-55.
- [10]GU M, QUAN Y. Across-wind loads of typical tall buildings[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2004, 92(13): 1147-1165.
- [11]VISHWANATH N, SARAVANAKUMAR A K, DWIVEDI K, et al. 3D Numerical investigation of a rounded corner square cylinder for supercritical flows[J]. Wind and Structures, 2022, 35(1): 55-56.
- [12]ZHAO H T, ZHAO M. Effect of rounded corners on flow-induced vibration of a square cylinder at a low Reynolds number of 200[J/OL]. Ocean Engineering, 2019, 188: 106263[2023-10-18]. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106263>.
- [13]郑云飞,刘庆宽,马文勇,等. 端板对二维矩形风洞试验模型气动特性的影响[J]. 实验流体力学, 2017, 31(3): 38-45.
- [14]KUBO Y, MIYAZAKI M. Effects of end plates and blockage of structural members on drag forces[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1989, 32(3): 329-342.
- [15]刘小兵,吴倩云,孙亚松. 不同风向角下方柱气动特性的风洞试验研究[J]. 建筑结构, 2021, 51(15): 94-98.
- [16]LEE B E. The effect of turbulence on the surface pressure field of a square prism[J]. Journal of Fluid Mechanics, 2006, 69(2): 263-282.

(下转第 23 页)

2. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: To demonstrate the ability of utilizing vehicle vibration signals to identify multiple bridge frequencies, a scaled vehicle-bridge interaction (VBI) laboratory test was constructed to scan bridge frequencies using a two-axle test vehicle under the impact of various factors. Firstly, descriptions were presented for the model beam and test vehicle in the scaled VBI lab test. Then, vibration signals acquired from sensors mounted on the model beam, bottom steel plate of the test vehicle, and the top steel plate of the test vehicle were compared to check their effectiveness in identifying bridge frequencies. Finally, the impact of suspension stiffness, vehicle mass, road surface roughness, and traffic-induced excitation on the indirect identification of bridge frequencies was investigated. The results show that the vibration sensor on the bottom plate of the test vehicle successfully identifies the first three vertical frequencies and the first two torsional frequencies of the bridge, which closely matched the spectrum obtained from a sensor installed on the bridge. This finding indicates that the vibration of the bottom plate of the test vehicle is not significantly affected by the vehicle suspension and additional mass. However, the vibration sensor on the top plate of the test vehicle could accurately identify the first vertical vibration frequency of the bridge but could struggle to identify higher-order bridge frequencies due to interference from the vehicle frequency itself. Various factors primarily influenced the identification performance of bridge frequencies by the sensor on the top plate of the test vehicle, while their impact on the sensor on the bottom plate of the test vehicle was minimal, thus verifying the superiority of the designed test vehicle for indirectly scanning bridge frequencies.

Key words: bridge engineering; indirect measurement; frequency; two-axle vehicle; laboratory test; fast Fourier transform

(上接第 15 页)

Experimental Study on the Aerodynamic Characteristics of a Rectangular-section Bridge Pylon with Corner Cuts and Slots

HAN Xiao¹, GAO Chuang², ZHENG Yitong¹, LIU Xiaobing^{1,3}

(1. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Zhengzhou Municipal Group Co. Ltd., Zhengzhou 450000, China;

3. Innovation Center for Wind Engineering and Wind Energy Technology of Hebei Province, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Based on the wind tunnel test method using a rigid model for measuring pressure, the change rule of aerodynamic characteristics of a rectangular cross-section bridge pylon with different corner cutting and slotting rates with the wind angle was investigated. The findings indicate that a rectangular cross-section bridge pylon with cut corners and slots displays varying aerodynamic characteristics depending on the wind angle, exhibiting two critical wind angles, namely α_{cr1} and α_{cr2} . Additionally, it was observed that the aerodynamic characteristics experience sudden changes when the wind angle approaches the critical values. When the wind angle increases within the range of 0° to α_{cr1} and α_{cr2} to 90° , there is a decrease followed by an increase in both the mean drag coefficient and the fluctuating lift coefficient, while the Strouhal number shows an increase followed by a decrease. When the wind angle is between α_{cr1} and α_{cr2} , there is little variation in the mean drag coefficient and fluctuating lift coefficient, and the Strouhal number disappears. The range between the two critical wind angles diminishes with rising corner-cutting rates, while it ascends with growing slotting rates. At the same wind angle, there is minimal influence on aerodynamic characteristics based on the slotting rate. As the corner-cutting rate increases, the mean drag coefficient decreases, the Strouhal number increases, and the fluctuating lift coefficient varies less.

Key words: bridge tower; corner cut; slot; wind tunnel test; aerodynamic characteristics