

曲面驰振风能采集器动力学设计与性能研究

王 琼^{1,2}, 黄良沛¹, 周程峰³, 唐 谦², 魏克湘²

(1. 湖南科技大学机械设备健康维护重点实验室, 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南工程学院湖南省风电运维与测试技术工程实验室, 湖南 湘潭 411104; 3. 三一机器人科技有限公司, 北京 102200)

摘要: 为了提高驰振压电风能采集器的性能, 提出具有气动性能改进可能性的曲面阻流体设计, 并进一步通过翼翅和附加端盖改进曲面阻流体的气动性能。通过 FLUENT 仿真和实验研究揭示了翼翅和附加端盖对曲面阻流体气动性能的影响规律。仿真与实验结果表明, 翼翅和附加端盖曲面能够显著提高驰振压电风能采集器的气动与俘能性能, 有效拓宽了其工作风速范围。

关键词: 驰振; 风能采集; 动力学设计; 曲面阻流体

中图分类号: TM614; TU311.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-4523(2022)03-0635-08

DOI: 10.16385/j.cnki.issn.1004-4523.2022.03.013

引 言

自然环境中风能无处不在, 从环境中采集风能为无线传感系统供电具有可持续、便捷和环境友好等优点^[1-2]。在悬臂梁末端设置平行或垂直的阻流体, 当阻流体受到流体作用或流固耦合作用, 导致梁振动, 然后通过压电效应、电磁感应、静电感应、摩擦电效应^[3-6]等机制将振动转换为电能。

风致振动能量采集器主要采用方形、三角形、D形等截面的阻流体。Alhadidi 等^[7]在驰振能量收集中使用四棱柱形状的阻流体, 其后表面用不同长度和叉角的 Y 形翅片进行了加固, 翅片的添加可以显著提高法向力系数随迎角增长的速度。Liu 等^[8-9]提出了 Y 形和叉形阻流体用于提高风能采集的输出功率, 通过流体仿真与实验研究, 验证了 Y 形和叉形风能采集器的输出功率明显高于传统阻流体风能采集器的输出功率。王淑云等^[10]提出一种由压电梁与其端部柔性梁构成的刚柔复合梁风能采集器, 可满足弱风时微功率监测系统的自供电需求。

对于利用风致振动获取风能的采集器, 为了提高风能采集器的效率, 对阻流体进行气动性能改造是有效的方法之一。在结构的内部开槽可以减少顺风方向和横风方向的风振, 在结构的边缘安装附加翼会加剧风振。Ding 等^[11]采用被动湍流控制的方法, 在圆柱阻流体前缘两侧安装增加粗糙度的附翼从而提高阻流体吸收流能的性能, 相比于实验研究的方形

和正三角形截面阻流体, 被动湍流控制的圆柱振动响应更优。Hu 等^[12]和 Wang 等^[13]在圆柱阻流体侧面安装小圆棒和 Y 形附加翼, 并发现附件安装夹角为 60° 时可以显著扩展气动弹性不稳定范围, 采集器的输出功率因此显著提高。曲面阻流体气动性能调节能有效地提高风能采集器性能, 但相关研究还比较少。

为了提高驰振压电风能采集器的性能, 提出曲面驰振风能采集器, 并进一步通过添加翼翅和端盖来改进曲面阻流体的气动性能。通过 FLUENT 仿真和实验研究, 揭示翼翅和端盖对曲面阻流体气动性能的影响规律^[14]。

1 曲面风能采集结构的改进方案

曲面阻流体相对于传统阻流体而言具有更灵活的设计性和改善空气动力学性能的可能性^[15-16]。为提高风能采集器的性能, 对曲面阻流体结构进行改进, 并将其安装在驰振风能采集器悬臂梁的自由端。

1.1 翼翅曲面风能采集结构

为了提高阻流体在流场中的横向气动力, 考虑在曲面阻流体上添加翼翅, 研究翼翅对曲面阻流体气动性能的影响。翼翅曲面驰振风能采集器的设计如图 1 所示, 曲面阻流体结构圆弧弦长为 D , 阻流体高为 H 。翼翅安装在曲面阻流体的前缘两侧, 其长度为 l 。

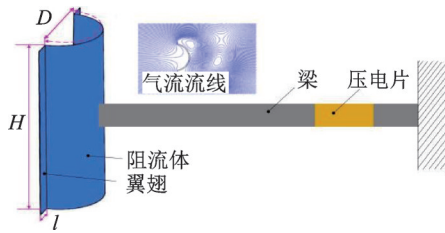


图1 翼翅曲面驰振风能采集器的设计

Fig. 1 Design of wind energy harvester for wing curved galloping vibration

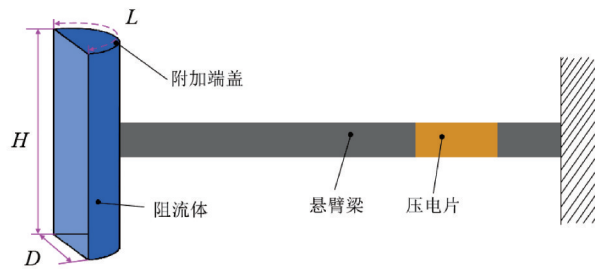
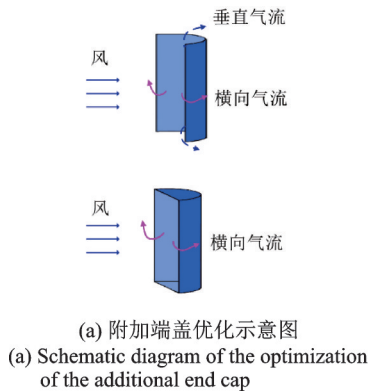


图2 附加端盖曲面风能采集器设计图

Fig. 2 Design of additional end cap curved surface wind energy harvester

2 仿真分析

2.1 翼翅曲面阻流体的气动性能分析

在相同迎风面的情况下,为了让阻流体内外产生足够的压力差,阻流体需要一定的弧面长度。当 $L < 40$ mm时,阻流体的截面近似于平板,而当 $L > 70$ mm时,截面近似于圆柱,故本文研究选取的曲面阻流体弧长在40~70 mm之间。其截面形状如图3所示。

L /mm	40	45	50	55	60	65	70
截面形状							

图3 不同弧长曲面阻流体的截面形状

Fig. 3 The cross-sectional shape of different arc-length curved bluff bodies

选取具有代表性的四种弧长($L=40, 50, 60, 70$ mm)的阻流体,圆弧弦长 $D=3.5$ cm,阻流体高 $H=10$ cm。考虑到翼翅会增加迎风面的大小,为弱化迎风面的大小对曲面阻流体的影响,只考虑 $l=1, 2, 3$ mm的情况。仿真对比分析有无翼翅的曲面阻流体的气动性能,仿真云图如图4所示,仿真云图

1.2 附加端盖曲面风能采集结构

当曲面阻流体没有附加端盖时,来流风以横向气流和垂直气流经过钝体,如图2(a)所示,垂直气流会削弱曲面阻流体的横向气动力,使曲面风能采集器的振幅减小,从而降低功率输出。因此,提出在曲面阻流体两端添加端盖,研究端盖对曲面风能采集器气动性能的影响。曲面风能采集器原理图如图2(b)所示。

均为向上的横向气动力最大时的情况。图4(a1)~(a4), (b1)~(b4)为无翼翅的曲面阻流体的压强云图和涡量云图,可以看到随着阻流体弧长增加,负压区和涡量均减小,其原因是随着弧长的增加,分离的剪切层逐渐附着在阻流体的上侧面,内循环涡逐渐消失,其形成的负压区逐渐减小,故负压区对阻流体的吸引力也逐渐减小。由图5(a)和(b)的黑色曲线可知,弧长 $L=40$ mm的阻流体过于扁平,虽然其涡量是其中最大的,但是其受到的横向气动力要低于弧长 $L=50$ mm的阻流体。而弧长 $L=70$ mm的阻流体的内循环涡流消失,因为弯曲板钝体的上下侧沿上风方向不呈流线型,当风通过弯曲板钝体时,剪切层与钝体的上下侧分离,并且在剪切层下方形成内部循环,故不满足驰振发生的条件。

图4(c)~(h)是翼翅($l=1, 2, 3$ mm)曲面阻流体的压强云图和涡量云图,从图中可以看出翼翅对曲面阻流体的气动性能的影响是显著的。阻流体弧长 $L=50, 60, 70$ mm时,随着翼翅长 l 增大负压区逐渐增大,涡量图中剪切层与阻流体上侧的分离愈发明显,中间的内循环涡流越大,因此曲面阻流体受到向上的吸引力也逐渐增大,相应的曲面阻流体受到随时间变化的横向气动力峰值也逐渐增大,如图5(b)~(d)所示。这说明翼翅提高了阻流体在流场中的横向气动力,压电悬臂梁的振幅会随之增大,从

而提高了曲面风能采集器的电压与功率。而阻流体弧长 $L=40$ mm, 翼翅使得阻流体更加扁平, 所以仿真求解的横向气动力随翼翅长 l 的增加反而减小。值得注意的是弧长 $L=60$ mm 的曲面阻流体, 对比其在不同翼翅的压强云图可知, 无翼翅时, 剪切层附着在阻流体上, 涡激振动是曲面阻流体主要的风致振动类型; 当阻流体有翼翅时, 翼翅导致剪切层分离, 引起曲面阻流体发生驰振, 同样的现象也出现在弧长 $L=70$ mm 的曲面阻流体流场仿真结果中。可以认为翼翅使得 $L=60, 70$ mm 的曲面阻流体由涡激振动向驰振转变, 并且翼翅越长转变的可能性越大, 这种现象可以改善涡激振动仅仅在同步区有高振幅的局限, 使曲面阻流体在更宽的风速范围内具有大振幅。

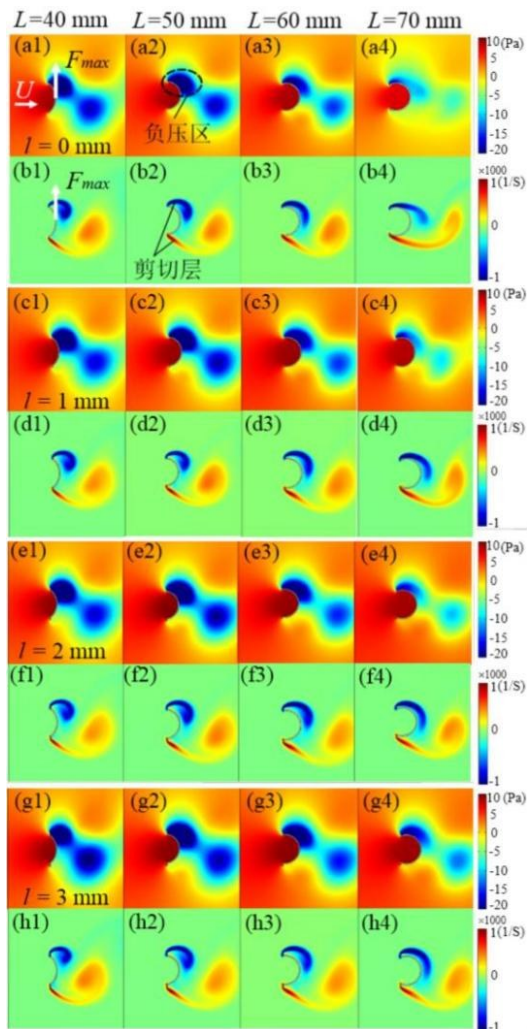


图4 (a1)~(a4), (c1)~(c4), (e1)~(e4), (g1)~(g4)为曲面阻流体仿真压强云图; (b1)~(b4), (d1)~(d4), (f1)~(f4), (h1)~(h4)为曲面阻流体涡量云图

Fig. 4 (a1)~(a4), (c1)~(c4), (e1)~(e4), (g1)~(g4) are simulation pressure cloud diagrams of curved bluff body; (b1)~(b4), (d1)~(d4), (f1)~(f4), (h1)~(h4) are vorticity cloud of curved bluff body

2.2 附加端盖的曲面阻流体气动性能分析

为了揭示附加端盖对曲面阻流体的影响, 选取弦长 $D=3.5$ cm, 高 $H=10$ cm, 弧长 $L=50$ mm 的曲面阻流体, 对有无附加端盖曲面阻流体进行了三维数值模拟。在 Fluent 仿真软件中建立了体积为 $1.0 \times 0.4 \times 0.4$ m³ 的三维流场域, 如图 6(a) 所示。流场入口边界的流速为 4 m/s, 方形与入口边界垂直, 出口边界的压力为零。流场被自由三角形网格离散化, 并在阻流体边界处进行网格细化处理, 如图 6(b) 所示。三维流场域的网格数量达到 315 万, 该数量的网格确保了计算精度, 但计算速度比较慢, 因此采用 Fluent 并行计算功能, 加快运行速度。

有无端盖曲面阻流体三维数值仿真压强云图如图 7 所示。压强云图是稳态迭代 2000 步之后的计算结果, 两种阻流体的横向侧负压区大小均在 -6 Pa 附近, 但有端盖的曲面阻流体侧面负压区作用的范围大于无端盖曲面阻流体。当负压区在阻流体侧面覆盖的范围越大, 阻流体在该侧受到的气动力合力越大。从图中发现附加端盖曲面阻流体侧面被最小负压区覆盖的面积大于无端盖的曲面阻流体, 上述仿真结果说明垂直气流的确削弱了曲面阻流体的横向气动力。

有无附加端盖的阻流体的负压区域的分布有一定差异, 附加端盖曲面阻流体上的负压区关于阻流体 $H/2$ 处的截面对称分布, 而无端盖曲面阻流体的负压区主要在 $H/2$ 截面以下。考虑到曲面阻流体与压电悬臂梁连接在 $H/2$ 处, 对称分布的负压保证了曲面阻流体稳定地横向振动, 而非对称分布的负压将导致阻流体在迎风面发生扭转运动, 由于压电梁在扭转方向的刚度非常大, 压电梁产生的扭转变形可以忽略不计, 负压区非对称分布会影响阻流体横向振动的稳定性, 并削弱振幅。因此仿真结果很好地说明附加端盖提高了曲面阻流体的横向气动力。

3 实验验证

实验研究中, 悬臂梁选用锡青铜, 其长度、宽度和厚度分别为 180, 10 和 0.8 mm。电容 $C_p = 0.25$ nF 的柔性压电材料 (MFC, M2503-P1, Smart Material Corp, Germany) 被粘贴在悬臂梁根部, 压电片与阻值 $R=820$ k Ω 的最优负载电阻串联。风源由轴流风机提供, 风能采集器固定在截面尺寸为 40×40 cm² 的风洞中, 动态信号采集器 (东华 DH-5922) 用于采集并显示风能采集器输出的电压信号, 热线式

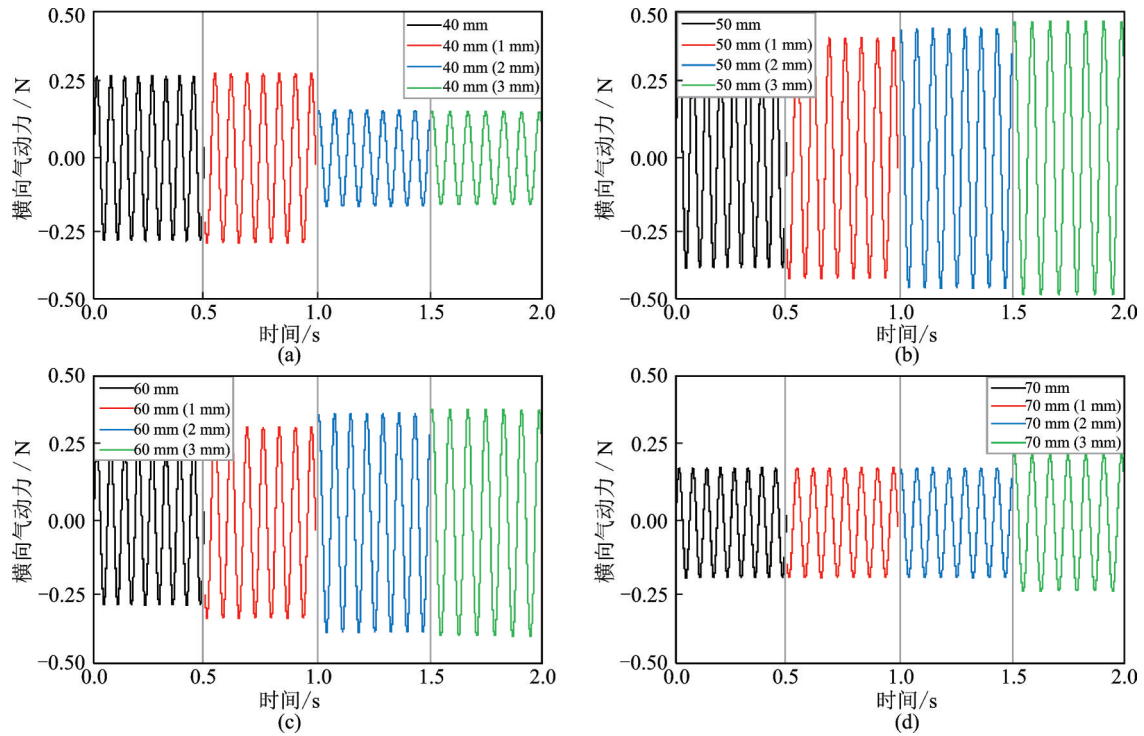


图5 不同弧度及不同翼翅长曲面阻流体在风场中受到横向气动力与时间的关系

Fig. 5 The relationship between lateral aerodynamic force and time of curved bluff bodies with different arcs and different wing lengths in the wind field

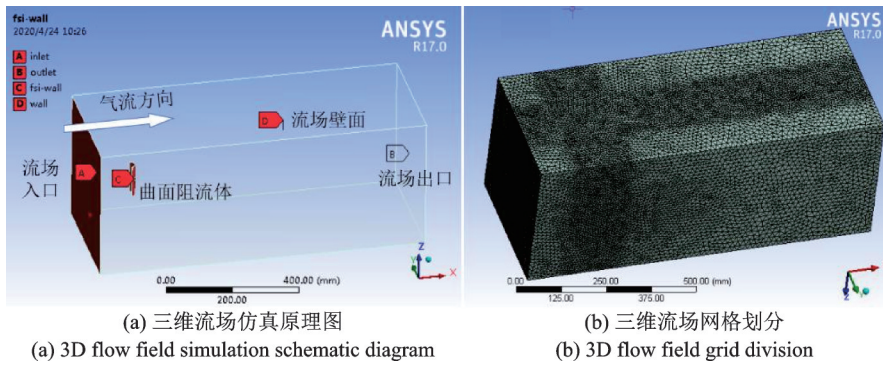


图6 三维流场分析图

Fig. 6 3D flow field analysis diagram

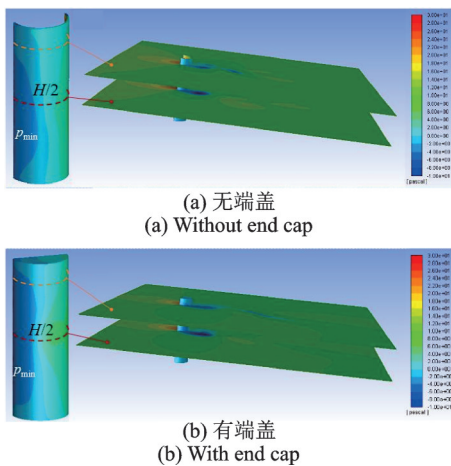


图7 曲面阻流体三维仿真压强云图

Fig. 7 3D simulation pressure cloud diagram of curved bluff body

风速计(中国台湾泰仕 TES -1341)测量风洞中的风速。实验装置如图8所示。

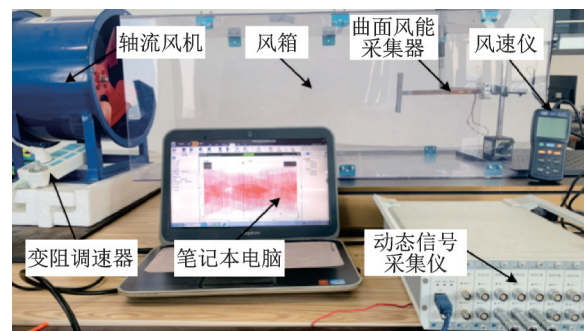


图8 曲面驰振风能采集器的实验图

Fig. 8 Experimental diagram of the curved galloping wind energy harvester

3.1 翼翅曲面驰振风能采集实验

将仿真的 4 种弧长做成实物进行实验验证,图 9 为翼翅曲面驰振风能采集实验装置图。测试风速范围为 1~5 m/s,实验得到不同长度翼翅曲面风能采集器与普通曲面风能采集器输出的均方根电压随风速变化,如图 10 所示。图中蓝柱部分为无翼翅曲面风能采集产生的均方根电压 V_n ,红柱部分为安装翼翅之后采集器增加的均方根电压 $V_w - V_n$,蓝柱和红柱叠加值为翼翅优化后风能采集器产生的均方根电压 V_w 。当弧长 $L=50, 60, 70$ mm 时,翼翅优化后均方根电压增量 $V_w - V_n$ 总体趋势随着翼翅的增长而增加,但弧长 $L=40$ mm 的阻流体在翼翅长 $l=2, 3$ mm 的情况下,翼翅反而抑制电压增长,此时 $V_w - V_n$ 的值为负,这种现象是由于翼翅的添加使得曲面

阻流体更加扁平,从而使振幅减小造成的,与图 5 (a) 中数值仿真计算横向气动力随翼长变化的趋势基本吻合。阻流体弧长 $L=70$ mm 时,翼翅 ($l=1, 2$ mm) 对风能采集器的输出电压影响不明显,仅当 $l=3$ mm 时,翼翅才开始促进电压输出。

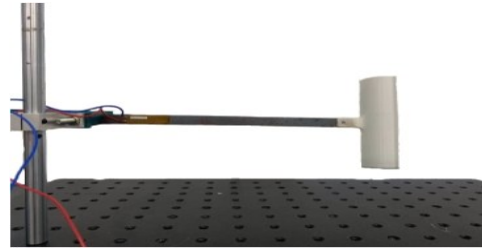


图 9 翼翅曲面驰振风能采集器样机

Fig. 9 Prototype of the curved galloping wind energy harvester

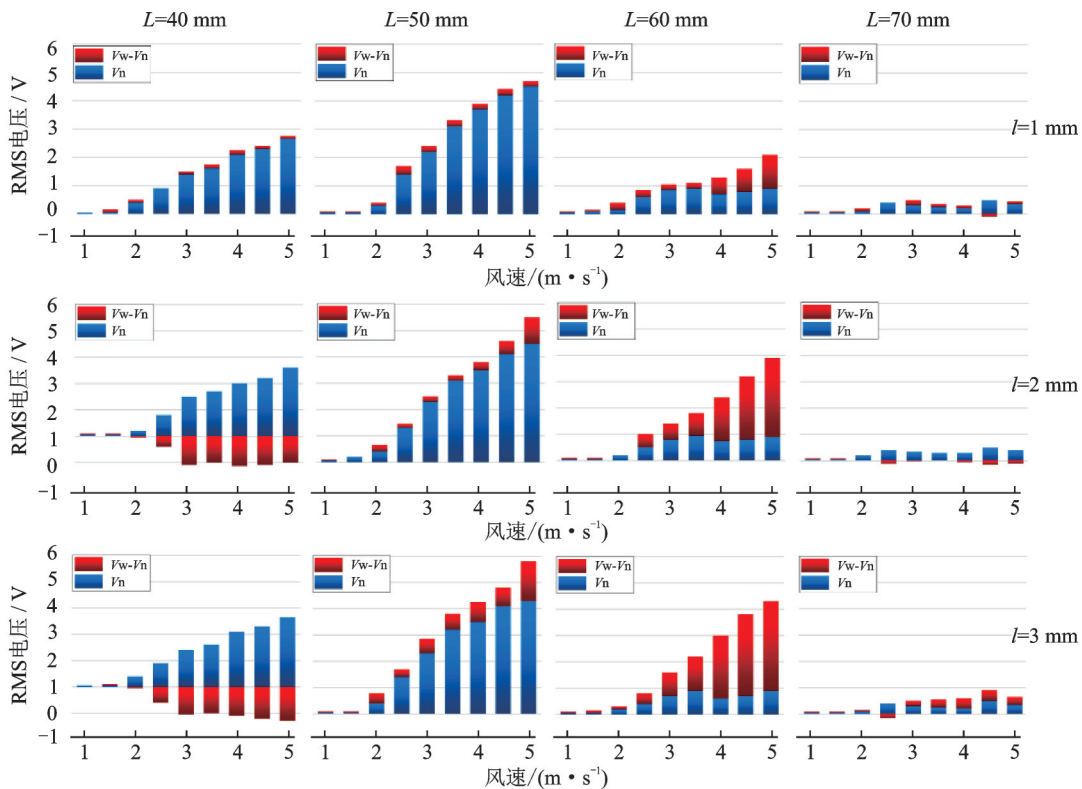


图 10 不同长度的翼翅优化前后输出均方根电压随风速变化的柱状图

Fig. 10 Histogram of output RMS voltage with wind speed before and after optimization of wings with different lengths

以仿真结论作参考,选取图 3 弧长的曲面阻流体,实验得到所有弧长的翼翅曲面风能采集器 ($l=0, 3$ mm) 随风速变化的平均功率对比图,如图 11 所示。除弧长 $L=40$ mm 以外,其他弧长在添加翼翅 ($l=3$ mm) 后的平均功率均高于无翼翅曲面驰振风能采集器,且弧长 $L=45$ mm, $l=3$ mm 的曲面驰振采集器的输出功率最大。当风速为 5 m/s 时,添加翼翅 ($l=3$ mm) 的平均功率为 $49.5 \mu\text{W}$,无翼翅的平均功率为 $28.5 \mu\text{W}$,添加翼翅使器件的平均功率增加了 1.7 倍。

3.2 附加端盖曲面驰振风能采集实验

选取了图 3 中弧长的阻流体,制作成实物,通过风洞试验研究了附加端盖对曲面风能采集器电输出特性的影响。图 12 所示为附加端盖曲面驰振风能采集实验装置图。实验测试风速范围 1~5 m/s,有无附加端盖曲面风能采集器输出的均方根电压如图 13 所示,图中蓝柱部分为曲面风能采集产生的均方根电压 V_n ,红柱部分为安装附加端盖之后曲面风能采集器增加的均方根电压 $V_w - V_n$,蓝柱和红柱叠加值为附加端盖优化后风能采集器产生的均方根电

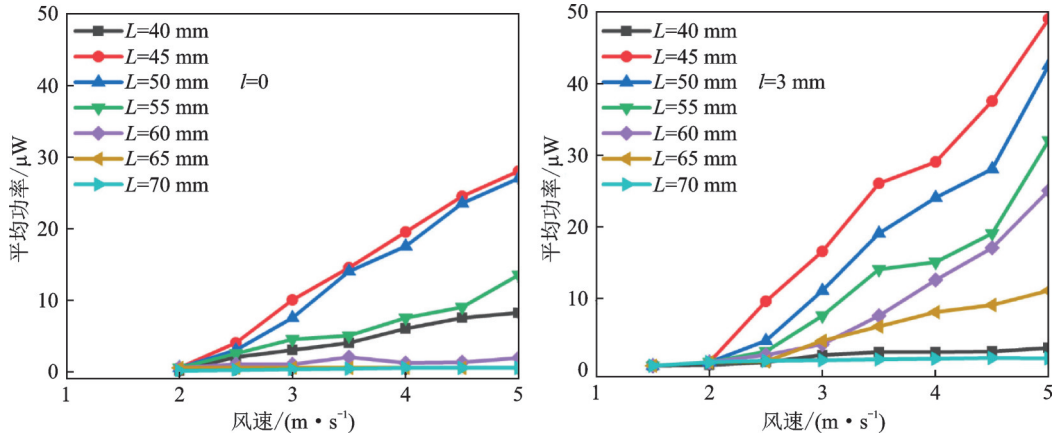


图 11 翼翅 ($l=0$ 和 $l=3$ mm) 曲面驰振风能采集器的平均功率随风速变化曲线图

Fig. 11 The average power of the wings ($l=0$ and $l=3$ mm) curved galloping wind energy harvester vary with wind speeds

压 V_w 。

从图 13 的柱状图可知,附加端盖很好地提高了风能采集器输出的均方根电压,这是因为附加端盖

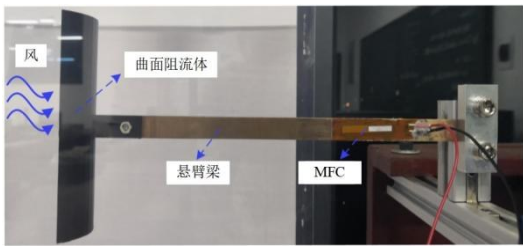


图 12 附加端盖曲面驰振风能采集器样机

Fig. 12 Prototype of wind energy collector with surface galloping vibration with additional end cover

减少了垂直气流,使得来流可以更好地作用于阻流体的横向振动方向。当 $L > 50$ mm 时,附加端盖显著提高了曲面风能采集器输出电压,是因为弧长越大,损失的垂直气流越多,从而附加端盖的效果越明显。例如,弧长 $L=60$ mm 时,在 5 m/s 风速下,均方根电压由优化前的 0.8 V 升为优化后的 4.8 V。附加端盖没有影响曲面阻流体的侧面结构,弧长 $L=65, 70$ mm 的曲面风能采集器输出的均方根电压虽然有所提高,但采集器的振动模式依然类似于涡激振动,电压随风速先增大后减小,即出现了同步区,弧长 $L=65$ mm 时同步区在风速 4.5 m/s 附近且峰值电压为 3.9 V; 弧长 $L=70$ mm 时同步区在风速 3.5 m/s 附近且峰值电压为 1.8 V。

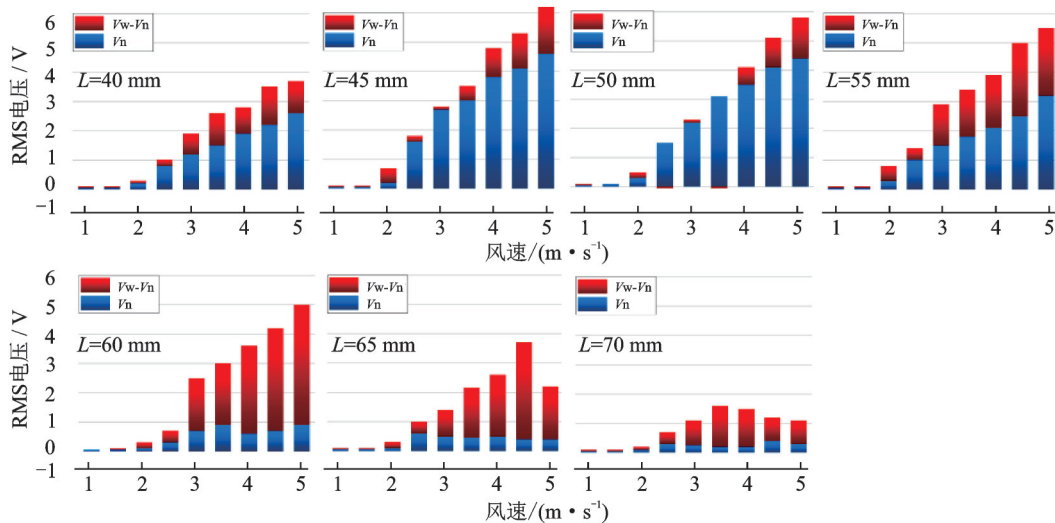


图 13 不同弧长曲面风能采集器附加端盖优化前后电压随风速变化的柱状图

Fig. 13 Histogram of changes in voltage with wind speed before and after optimization of additional end covers for wind energy harvesters with different arc lengths and curved surfaces

同时还对有无端盖的曲面风能采集器输出平均功率随风速变化进行分析,如图 14 所示。从图中可知,当弧长 $L=45$ mm 时,附加端盖对平均功率影响最为显著;在风速为 5 m/s 时,附加端盖的平均功率

为 $46.8 \mu\text{W}$,无端盖的平均功率为 $28.5 \mu\text{W}$,平均功率增加了 1.6 倍。结果表明,附加端盖提高了所有实验测试弧长的曲面风能采集器的平均功率,并且将器件的起振风速由 2 m/s 降为 1.5 m/s。

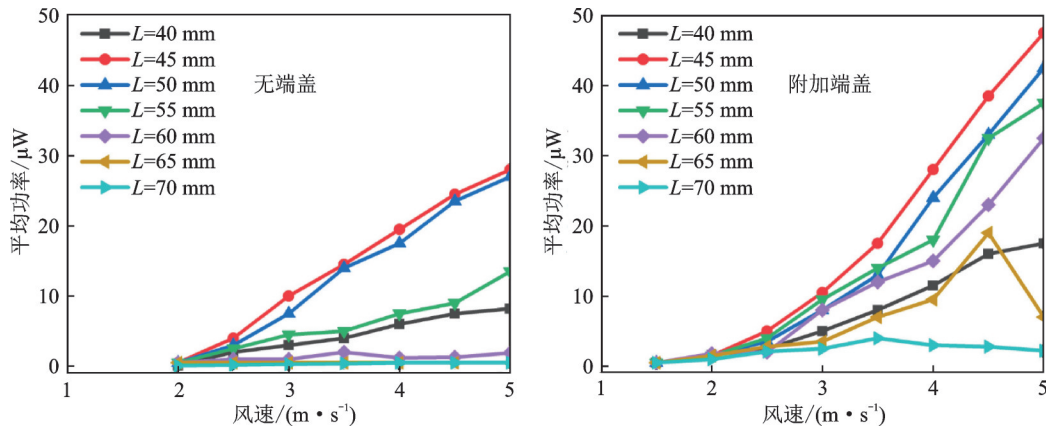


图14 无端盖与附加端盖曲面风能采集器的平均功率随风速变化曲线图

Fig. 14 Without and with end cover curved surface wind energy harvester average power versus wind speed curve

4 结 论

提出具有气动性能改进可能性的曲面阻流体设计,并进一步通过翼翅和附加端盖改进曲面阻流体的气动性能。具体结论如下:

(1) 当 $L < 40$ mm 时,阻流体的截面近似于平板,而当 $L > 70$ mm 时,截面近似于圆柱,故本文研究所选取的曲面阻流体弧长为 40~70 mm,当阻流体弧长 $L = 40$ mm,翼翅使得阻流体区域扁平,所以横向气动力随翼翅长度的增加反而减小;当阻流体弧长 $L = 50, 60, 70$ mm 时,翼翅越长,各弧长曲面阻流体两侧剪切层分离越明显,产生的横向升力越大。

(2) 实验结果表明,弧长为 $L = 40$ mm 阻流体的截面过于扁平,所以翼翅曲面风能采集器输出均方根电压随翼翅长度增加而减少;曲面阻流体弧长 $L = 45 \sim 65$ mm,翼翅曲面风能采集器输出的电压增量 $V_w - V_n$ 随翼翅长度增加而增加;弧长 $L = 70$ mm 的曲面风能采集器受翼翅的影响不明显。当弧长 $L = 45$ mm, $l = 3$ mm 在风速为 5 m/s 时,器件的平均功率相比无翼翅时增加了 1.7 倍。实验结果与仿真结果基本吻合。

(3) 在附加盖的仿真压强云图中,附加端盖使曲面阻流体侧面负压区域面积更大,并且负压区在 $H/2$ 处的截面对称分布。因此附加端盖提高了曲面阻流体上的横向升力,并削弱了因非对称分布的负压所导致阻流体在迎风面发生扭转运动。

(4) 实验结果表明,在风速 1~5 m/s 内,附加端盖增加了各弧长的曲面风能采集器的输出电压和平均功率,当弧长 $L = 45$ mm,在风速 5 m/s 时,有端盖相比无端盖的平均功率增加了 1.6 倍,与仿真结论一致。

(5) 翼翅和端盖均使曲面风能采集器的有效工作风速域拓宽,且起振风速由 2 m/s 降到 1.5 m/s。

参考文献:

- [1] Wang Q, Zou H X, Zhao L C, et al. A synergetic hybrid mechanism of piezoelectric and triboelectric for galloping wind energy harvesting[J]. Applied Physics Letters, 2020, 117(4): 043902.
- [2] 贺学锋, 齐睿, 程耀庆, 等. 风致振动能量采集器驱动的无线风速传感器[J]. 振动工程学报, 2017, 30(2): 290-296.
He Xuefeng, Qi Rui, Cheng Yaoqing, et al. A wireless air flood sensor powered by a wind-induced vibration energy harvester [J]. Journal of Vibration Engineering, 2017, 30(2): 290-296.
- [3] 王光庆, 崔素娟, 武海强, 等. 多稳态压电振动能量采集器的动力学模型及其特性分析[J]. 振动工程学报, 2019, 32(2): 66-77.
Wang Guangqing, Cui Sujuan, Wu Haiqiang, et al. Dynamical model and characteristics of a multi-stable piezoelectric vibration inherent harvester [J]. Journal of Vibration Engineering, 2019, 32(2): 66-77.
- [4] 刘仲琳, 冷永刚, 刘进军, 等. 双稳悬臂梁电磁式振动能量采集研究[J]. 振动与冲击, 2019, 38(23): 126-133.
Liu Zhonglin, Leng Yonggang, Liu Jinjun, et al. Electromagnetic type vibration energy harvester based on bi-stable cantilever beam [J]. Journal of Vibration and Shock, 2019, 38(23): 126-133.
- [5] Perez M, Boisseau S, Gasnier P, et al. A cm scale electret-based electrostatic wind turbine for low-speed energy harvesting applications[J]. Smart Materials and Structures, 2016, 25(4): 045015.
- [6] Zhang H L, Wang J, Xie Y H, et al. Self-powered, wireless, remote meteorologic monitoring based on triboelectric nanogenerator operated by scavenging wind energy[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2016,

- 8: 32649-32654.
- [7] Alhadidi A H, Alhussein H, Daqaq M F. Improving the sensitivity of galloping energy harvesters to flow fluctuations [J]. Applied Physics Letters, 2020, 116 (26): 263902.
- [8] Liu F R, Zou H X, Zhang W M, et al. Y-type three-blade bluff body for wind energy harvesting [J]. Applied Physics Letters, 2018, 112: 233903.
- [9] Liu F R, Zhang W M, Peng Z K, et al. Fork-shaped bluff body for enhancing the performance of galloping-based wind energy harvester [J]. Energy, 2019, 183: 92-105.
- [10] 王淑云, 沈亚林, 阚君武, 等. 刚柔复合梁压电风能采集器的试验测试与分析[J]. 振动与冲击, 2016, 35 (18): 23-27.
Wang Shuyun, Shen Yalin, Kan Junwu, et al. Test and analysis of piezoelectric wind energy harvester based on rigid-flexible composite beam [J]. Journal of Vibration and Shock, 2016, 35(18): 23-27.
- [11] Ding L, Zhang L, Wu C M, et al. Flow induced motion and energy harvesting of bluff bodies with different cross sections [J]. Energy Conversion & Management, 2016, 91: 416-426.
- [12] Hu G, Tse K T, Kwok K C S, et al. Aerodynamic modification to a circular cylinder to enhance the piezoelectric wind energy harvesting [J]. Applied Physics Letter, 2016, 109: 193902.
- [13] Wang J L, Zhou S X, Zhang Z E, et al. High-performance piezoelectric wind energy harvester with Y-shaped attachments [J]. Energy Conversion and Management, 2019, 181: 645-652.
- [14] Zhou C F, Zou H X, Wei K X, et al. Enhanced performance of piezoelectric wind energy harvester by a curved plate [J]. Smart Materials and Structures, 2019, 28: 125022.
- [15] Sirohi J, Mahadik R. Harvesting wind energy using a galloping piezoelectric beam [J]. Journal of Vibration and Acoustics, 2012, 134(1): 011009.
- [16] Shi M, Holmes A S, Yeatman E M. Piezoelectric wind velocity sensor based on the variation of galloping frequency with drag force [J]. Applied Physics Letters, 2020, 116(26): 264101.

Dynamic design and performance research of curved surface galloping wind energy harvester

WANG Qiong^{1,2}, HUANG Liang-pei¹, ZHOU Cheng-feng³, TANG Qian², WEI Ke-xiang²

(1.Hunan Provincial Key Laboratory of Health Maintenance for Mechanical Equipment, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2.Hunan Provincial Engineering Laboratory of Wind Power Operation, Maintenance and Testing, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411104, China; 3.Sany Robot Technology Co. Ltd., Beijing 102200, China)

Abstract: In order to improve the performance of galloping piezoelectric wind energy harvester, a curved bluff body design with the aerodynamic performance improvement possibilities is proposed, and the aerodynamic performance of the curved bluff body is further improved through wings and additional end caps. Through FLUENT simulation and experimental research, the influence of curved wings and additional end caps on the aerodynamic performance of curved bluffers fluid is revealed. Simulation and experimental results show that the wings and additional end cap curved surface can significantly improve the aerodynamic and energy capture performance of the galloping piezoelectric wind energy harvester, and effectively broaden its working wind speed range.

Key words: galloping; wind energy harvester; dynamic design; curved bluff body

作者简介: 王琼(1990—),女,讲师。电话:17607319932;E-mail:wq279417262@qq.com。

通讯作者: 魏克湘(1973—),男,教授。电话:13217324819;E-mail:wkx@hnie.edu.cn。