

DOI: 10.7511/jslx20180519001

# 新型升阻混合型垂直轴风力机气动特性研究

蔡新<sup>\*1,2</sup>, 胡莉<sup>1</sup>, 丁文祥<sup>1</sup>, 朱旭平<sup>3</sup>

(1. 河海大学 力学与材料学院, 南京 211100; 2. 沿海开发与保护协同创新中心, 南京 210098;  
3. 江苏风力发电工程技术中心, 南京 210023)

**摘要:**考虑S型与H型垂直轴风力机的特点,设计了一种新型升阻混合型垂直轴风力机,采用CFD法计算其启动与气动性能。结果表明,原始H型垂直轴风力机数值结果与试验值在各工况下吻合良好;新型升阻混合型垂直轴风力机不同方位角下的启动力矩均大于原始H型风力机,最小及最大值分别提升232%和83.3%;S型风轮输出功率随叶片重叠比增加而减小,完全重叠时输出功率基本为0;新型升阻混合型垂直轴风力机最大风能利用率为0.298,具有更复杂的流场特性。

**关键词:**垂直轴风力机;升阻混合型;启动力矩;气动性能;CFD数值模拟

**中图分类号:**TK83;O355 **文献标志码:**A **文章编号:**1007-4708(2019)04-0555-07

## 1 引言

能源危机加剧和环境污染严重助推了可再生能源的开发利用。风能作为一种清洁可再生能源,已成为世界新能源发展的重要方向<sup>[1]</sup>。垂直轴风力机能多向受风,结构简单且维护方便,按其结构形式可分为阻力型、升力型和升阻混合型<sup>[2]</sup>。典型的阻力型垂直轴风力机 Savonius 型(S型)具有较高的转动扭矩,但在高转速下的风能利用率较低<sup>[3]</sup>;以 Darrieus 型为代表的升力型垂直轴风力机引入升力型翼型为截面,由翼型产生的升力驱动风轮旋转,该类风力机的风能利用系数可达0.4以上,但其静止启动力矩低,需凭借外力将风轮提升至一定转速后或在较高风速下才能启动<sup>[4]</sup>。Alam等<sup>[5]</sup>设计了一种H型(升力型)风力机和两叶片S型风力机组合的垂直轴风力机,研究表明,该组合型风力机具有更高的启动力矩和风能利用率;曲建俊等<sup>[6]</sup>设计制造了一种基于活固叶片的新式升阻复合型垂直轴风力机,其功率系数曲线具有阻力型和升力型风力机的双重特点;顾荣蓉等<sup>[7]</sup>提出了一种新型升阻互补型垂直轴风力机,采用CFD法分析了利用该翼型制成的端部封闭和不封闭的两种垂直轴风力机的气动特性;李岩等<sup>[8]</sup>通过风洞试验

发现,S型风力机最佳风能利用率在尖速比约为1时取得,约为20%;尖速比小于1时,风能利用率随尖速比增大而增加;大于1时,则随尖速比增大而减小。S型风力机在水平风作用下,凹面承受的风阻力要比凸面大3~4倍<sup>[9]</sup>,具有较高的启动力矩,但在高转速下,S型风轮的风能利用率低,会影响整机的气动性能。

本文设计一种由叶片重叠比可变的S型风轮与H型风轮组合的新型升阻混合型垂直轴风力机(以下简称新型风力机),通过CFD法数值计算其启动及气动性能,发现其不仅在静止情况下可获得较大的启动扭矩,同时可减缓S型风轮在高转速下对整机气动性能的阻碍作用,使整机保持较高的风能利用率,并与原始H型垂直轴风力机(以下简称H型风力机)的气动性能进行对比分析。

## 2 结构设计

### 2.1 原型设计

该新型风力机由H型风轮和S型风轮组合而成,H型风轮为加拿大McMaster大学做风洞试验的三叶片H型垂直轴风力机<sup>[10]</sup>,新型风力机模型如图1所示,S型风轮包含两个叶片和底盘,底盘设有4个轨道槽,两叶片下面刚性连接滑块,S型风轮下的滑块通过在底盘轨道槽滑动实现风轮的张开闭合。

设H型风轮单独运转达到最大风能利用率 $C_{Pmax}$ 时对应的转速为 $n_m$ ,则通过调整使得整个风力机转速达到 $n_m$ 时,S型风轮的两个叶片正好完

收稿日期:2018-05-19;修改稿收到日期:2018-06-22.

基金项目:江苏高校首批2011计划(苏政办发[2013]56号);  
江苏风力发电工程技术中心开放基金(ZK16-03-03)资助项目.

作者简介:蔡新(1964-),男,博士,教授  
(E-mail:xcgai@hhu.edu.cn).

全闭合。当风力机转速减小时,两个叶片重新张开,从而提升风力机在低转速下的扭矩输出。

### 2.2 简化模型

为了降低工作量,对该新型风力机几何模型适当简化,忽略S型风轮的配重装置与H型风轮的旋转轴与横向支撑杆,简化模型如图2所示。

S型及H型风轮的结构参数分别列入表1和表2,其中S型叶片厚度为4 mm,上下挡板厚度为5 mm。

当风力机为静止启动状态时,S型风轮重叠比最小(0.15),随风力机运转开始闭合。选取风速为10 m/s,McMaster大学H型垂直轴风力机的6种瞬态试验工况<sup>[11]</sup>作为计算工况,列入表3,计算出不同风机转速下S型风轮的叶片重叠比。

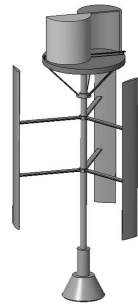


图1 新型升阻混合型垂直轴风力机  
Fig.1 New type lift-drag hybrid vertical axis wind turbine

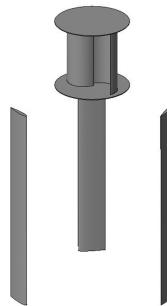


图2 升阻混合型垂直轴风力机简化模型  
Fig.2 Simplified model of the lift-drag hybrid vertical axis wind turbine

表1 S型风轮结构参数

Tab.1 Structural parameters of the S-type rotor

叶片数	叶片直径 d/m	叶片长度 L/m	叶片重叠比 s/d	上下挡板直径 D/m
2	0.5	1	0.15	1.1

表2 H型风轮结构参数

Tab.2 Structural parameters of the H-type rotor

风轮直径 D/m	叶片长度 L/m	翼型	弦长 c/m	安装角 β/(°)	叶片数
2.5	3.0	NACA0015	0.4	0	3

## 3 数值计算模型

### 3.1 计算域及网格划分

图3为计算风力机启动性能与气动性能的C型计算域和长方形计算域,C型计算域长宽高方向尺寸分别为17 m,28 m和14 m,长方形计算域长宽高方向尺寸分别为50 m,25 m和14 m。采用结构化六面体网格,C型与长方形计算域的单元数分别约为200万和300万。

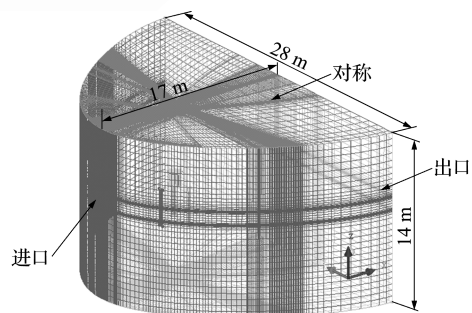
长方形计算域包含静止域与旋转域两部分,其中旋转域为直径3.8 m、高度5.2 m的圆柱体,将升阻混合型垂直轴风力机包含在内,如图4(a)所示,叶片表面边界层加密网格如图4(b)所示。根据式(1)计算壁面第一层网格高度<sup>[12]</sup>。

$$\Delta y = L \Delta y^+ \sqrt{80} \text{Re}^{-13/14} \quad (1)$$

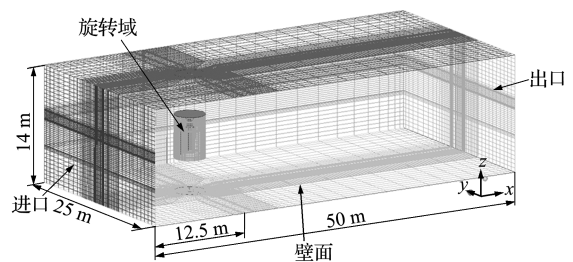
式中 L 为叶片长度, Δy<sup>+</sup> 为壁面无量纲距离<sup>[12]</sup>, 值为1。

表3 S型风轮叶片重叠比与转速对应关系  
Tab.3 Relation between blade overlap ratio and rotational speed of the S-type rotor

工况	风机转速 n/r·min <sup>-1</sup>	叶尖速比 λ	叶片重叠比
1	76.42	1.00	0.652
2	91.30	1.20	0.779
3	106.83	1.40	0.912
4	117.15	1.53	1
5	122.36	1.60	1
6	137.32	1.80 </td <td>1</td>	1



(a) C型计算域



(b) 长方形计算域

图3 计算域模型

Fig.3 Model of domains

### 3.2 控制方程与湍流模型

本次 CFD 计算在 ANSYS CFX 中进行,基于不可压缩的连续方程和雷诺平均的 N-S 方程,计算两风力机的启动力矩和风能利用率,方程如下。

$$\partial \rho / \partial t + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \times \mathbf{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{f} \quad (3)$$

式中  $\rho$  为流体密度,  $t$  为时间,  $\mathbf{V}$  为速度矢量,  $p$  为表面压力,  $\boldsymbol{\tau}$  为表面应力矢量,  $\mathbf{f}$  为单位质量体积力矢量。

计算域中流体介质选择 Air Ideal Gas, 湍流模型为 SST (Shear Stress Transport)<sup>[13]</sup>, 收敛准则设为 RMS (Root Mean Square, 均方根), 收敛残差设为  $1 \times 10^{-5}$ , 最大迭代步设定为 300 步。

### 3.3 边界条件

计算域的边界条件设定如图 3 所示, 进口处设定为 Inlet 速度进口边界, 圆弧面方便调整风速入流方位角  $\alpha$ , 变化范围为  $-80^\circ \sim 80^\circ$ , 计算间隔取  $10^\circ$ , 入口风速为 10 m/s, 湍流强度为 5%, 温度为  $25^\circ\text{C}$ ; 出口处设为 Outlet 压力出口边界, 设定其平均静态压强为  $1.01 \times 10^5$  Pa; C 型计算域上下两平面和长方形计算域顶面和两侧面设定为 Symmetry 对称边界<sup>[14]</sup>; 叶片表面、轴表面和长方形计算域底面设定为 Wall 壁面边界, 绝热无滑移。旋转域与静止域之间交界面数据传递方式为 General Connection, 网络连接方式选择为 GGI。

## 4 计算结果与分析

### 4.1 网格独立性

为了验证网格数量与 CFD 计算结果之间的无关性, 选用新型风力机工况 4 下的模型, 在恒定叶片壁面厚度  $y^+$  值条件下, 增加叶片径向及周向网格数量, 建立 4 个不同网格数计算域模型, 不同数量的网格模型列入表 4。

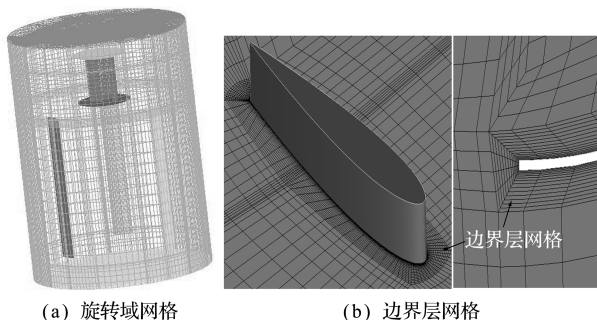


图 4 旋转域及边界层网格  
Fig. 4 Rotating domain and the mesh of boundary layer

图 5 为新型风力机在工况 4 时, 不同数量网格模型在  $0^\circ$  方位角下的输出转矩结果。4 种模型下输出转矩几乎持平, 与平均值相差在 1.76% 以内, 证明此次 CFD 计算结果与网格无关<sup>[15]</sup>, 考虑计算资源与时间, 模型 1 网格数满足计算要求。

### 4.2 启动力矩

计算风力机的启动性能为稳态过程, 原始 H 型风力机与该新型风力机在不同入流方位角下的启动力矩变化如图 6 所示。可以看出, 新型风力机启动力矩随方位角的变化趋势与原始 H 型风力机的趋势总体相同; 但在 S 型风轮的辅助下, 新型风力机在各个方位角下的启动力矩均大于原始 H 型风力机; 相对于原始风力机, 新型风力机的最小与最大启动力矩分别提升了 232% 与 83.8%, 效果显著, 说明在 S 型风轮的辅助下, 新型风力机的启动性能要优于原始 H 型风力机。

表 4 不同数量网格模型  
Tab. 4 Different number of grid models

模型	1	2	3	4
网格总数	1535594	2734042	3108252	4821781
旋转域	877832	1508971	1613352	2515654
静止域	657632	1225071	1494900	2306127

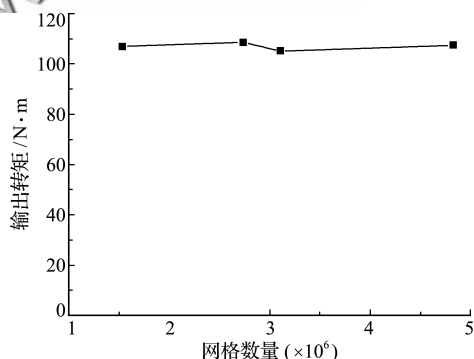


图 5 不同网格数模型输出转矩  
Fig. 5 Output torque of different number of grid models

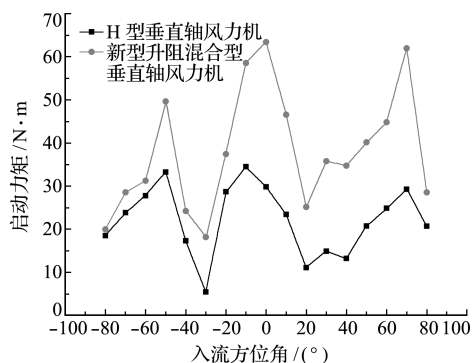


图 6 启动力矩随方位角变化对比  
Fig. 6 Comparison of variation of starting torque with azimuth angles

4.3 风能利用率及输出功率

对表 3 的 6 个工况进行瞬态计算,设定瞬态计算总时间为风力机旋转 5 圈所用时间,瞬态计算时间步长设定为风轮旋转 5°所用时间,风力机的风能利用率  $C_p$  根据式(3)计算得到。

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A_s V^3} \quad (4)$$

式中  $P$  为风力机输出功率,  $\rho$  为空气密度,  $A_s$  为旋转叶片在与风向垂直轴截面上的投影面积,  $V$  为风速。

两风力机的风能利用率  $C_p$  随叶尖速比  $\lambda$  的变化如图 7 所示。可以看出,原始 H 型风力机风能利用率的 CFD 计算值与试验值在 6 个工况下吻合良好,误差均在 7% 以内,其试验值与 CFD 值均在  $\lambda=1.53$  时取得最大值,验证了本次 CFD 模型的可靠性。工况 1 下新型风力机风能利用率略小于原始 H 型风力机,可能是此时 S 型风轮叶片处于张开状态,影响了 H 型风轮的气动功率输出;在工况 2~6 时,新型风力机的风能利用率在各叶尖速比下均大于原始 H 型风力机,并在  $\lambda=1.60$  时取得最大风能利用率 0.298,而原始 H 型风力机风能利用率的 CFD 计算值在  $\lambda=1.53$  时取得最大值为 0.263。

为探究 S 型风轮叶片重叠比及转速对其输出功率的影响,计算过程监控 S 型风轮的转矩输出,得到 S 型风轮的输出功率随转速的变化如图 8 所示。可以看出,S 型风轮的重叠比随着转速增加而增大,输出功率越来越小,完全闭合时类似于圆柱扰流,此时的输出转矩很小,输出功率基本为 0,新型风力机的输出功率基本来自于 H 型风轮;由于新型风力机 H 风轮模型简化,而原始 H 型风力机并没有,故同一工况下,新型风力机的输出功率要高于原始 H 型风力机。

为进一步探讨 S 型风轮在高转速下对整机气

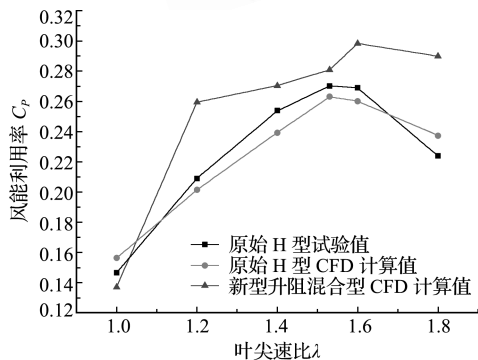


图 7 风能利用率随叶尖速比的变化  
Fig. 7 Variation of  $C_p$  with tip speed ratio

动性能的影响,采用 CFD 法对工况 1 进行数值计算,与相同转速下的工况 5 模型进行对比,列入表 5。由表 5 可知,工况 1 模型下 S 型风轮由于叶片重叠比较小,输出功率要大于同转速下的工况 5 模型 S 型风轮的输出功率;但由于 S 型风轮在高速运转时影响了工况 1 模型 H 型风轮的气动性能,导致工况 1 模型下 H 型风轮的输出功率低于工况 5,因而总的功率输出也低于工况 5;由此可知该新型风力机在高速运转时叶片可闭合的 S 型风轮对整机气动性能的影响较小。

4.4 气动力特性

工况 1 模型在转速  $76.42 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  下的输出转矩随时间的变化如图 9 所示。新型风力机总的

表 5 两模型输出功率对比  
Tab. 5 Comparison of output power of the two model

	工况 1 模型	工况 5 模型
叶片重叠比	0.652	1
转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	122.36	122.36
H 型风轮 $P_H/\text{W}$	1242.10	1415.18
S 型风轮 $P_S/\text{W}$	51.28	-1.96
总功率 $P_G/\text{W}$	1293.38	1413.22

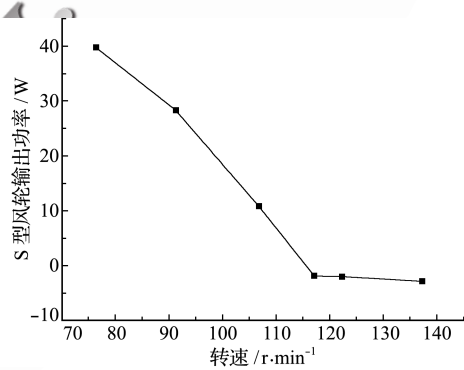


图 8 S 型风轮输出功率随转速变化  
Fig. 8 Variation of output power with rotational speed of the S-type rotor

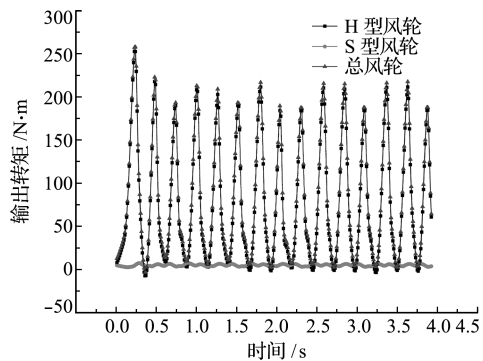


图 9 工况 1 模型在转速为  $76.42 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  时的转矩输出随时间的变化  
Fig. 9 Variation of output torque with time of the model in 1st condition when the rotational speed is  $76.42 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$

输出转矩与原始 H 型风力机的输出转矩类似,均有一定的波动性;在风力机旋转 3 圈后总的输出转矩趋于稳定,呈周期性变化,且 H 型风轮在 1 圈内的最小输出转矩为负值,但 S 型风轮输出转矩全为正值;叠加后新型风力机在旋转 1 圈内总的输出转矩全为正值,因而 S 型风轮可避免整机旋转 1 周内负转矩的产生。

分别提取工况 1 模型和工况 5 模型在转速为  $122.36 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  下各 H 型风轮与 S 型风轮在 1 周内的输出转矩随方位角的变化,如图 10 所示。可以看出,S 型风轮的输出转矩远小于 H 型风轮的输出转矩;工况 1 模型的 S 型风轮叶片因为有较小的重叠比,受力面积大,因而输出的转矩比工况 5 模型 S 型风轮的更大,但叶片周围流场也更加复杂,从而影响了 H 型风轮的气动性能,导致工况 1 模型 H 型风轮的输出转矩小于工况 5 模型;在风力机旋转 1 圈内,工况 1 模型 H 型风轮平均输出转矩为  $96.94 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,而工况 5 模型 H 型风轮平均输出转矩为  $110.45 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

#### 4.5 流场特性

图 11 为原始 H 型风力机和新型风力机在

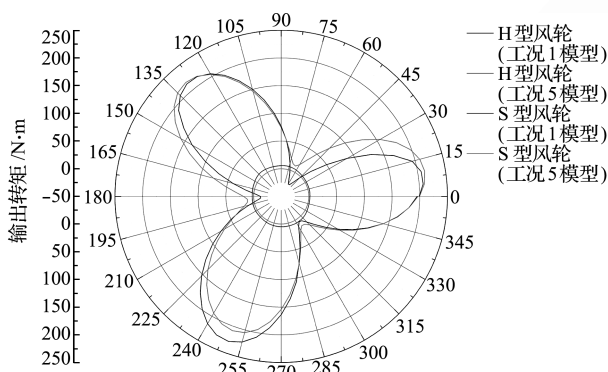


图 10 工况 1 和工况 5 模型输出转矩的对比  
Fig. 10 Comparison of output torque between the model in 1<sup>st</sup> and 5<sup>th</sup> conditions

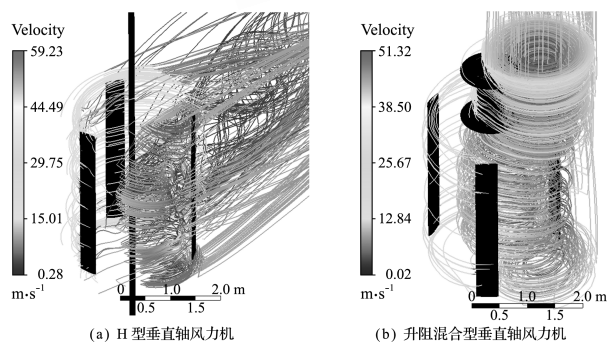


图 11 3D 速度流线图  
Fig. 11 3D streamline of velocity

$117.15 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  转速下,方位角为  $0^\circ$  时的 3D 速度流线图。两风力机 H 型直叶片叶尖处均有翼尖涡产生并向下游延伸,H 型风力机的旋涡在中部膨胀,与下游叶片交织在一起,且旋转轴的存在也影响了气流流线的变化;以正面视角观察新型风力机,S 型风轮的右侧方位和 H 型风轮的内部均产生了较大的旋涡,并与向下游旋转的 H 型叶片交织在一起。相比原始 H 型风力机,新型风力机具有更复杂的流场特性,影响了风轮的受力特性及其周围流场的速度压力分布等。

图 12 为原始 H 型风力机和该新型风力机在  $117.15 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  转速下,方位角为  $0^\circ$  时沿高度方向截面内的涡量分布云图。可以看出,两风力机周围流场涡量分布较为离散,不同区域相差较大,原始 H 型风力机叶片和新型风力机的 H 型风轮叶片上下两端尖部拖曳的涡量最明显,叶片中部位置处的涡量分布较弱,因此叶片的功率输出主要集中在其中部;新型风力机的 S 型风轮虽然叶片已完全闭合,但其旋转速度较快,也产生了较强的涡量分布。

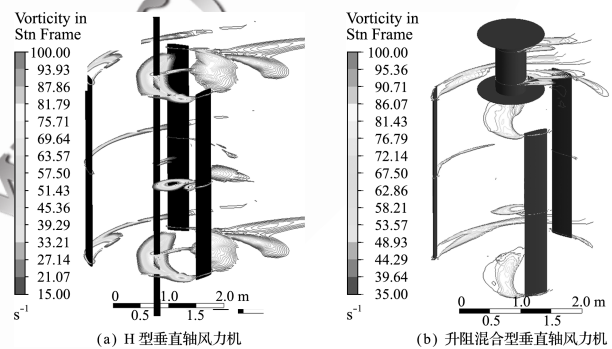


图 12 涡量分布云图  
Fig. 12 Distribution of vorticity

## 5 结论

(1) 原始 H 型风力机风能利用率的 CFD 计算值与试验值在 6 个工况下吻合良好,误差均在 7% 以内,且都在  $\lambda = 1.53$  时取得最大值,验证了本次所建 CFD 模型的可靠性。

(2) 在 S 型风轮的辅助下,新型风力机在各个方位角下的启动力矩均大于原始 H 型风力机,最小及最大启动力矩分别提升 232% 和 83.8%。

(3) 在重叠比为 1 前,S 型风轮的输出功率随着风轮转速的增加而减小;当重叠比为 1 时,S 型风轮的输出功率接近于 0,对 H 型风轮功率输出的影响很小,说明叶片可闭合的 S 型风轮对整机气动性能影响较小。

(4) 与原始 H 型风力机类似, 新型风力机在 1 周内的输出转矩呈周期性变化, 其中 S 型风轮的输出转矩远小于 H 型风轮的输出转矩, 两者转矩叠加后的总转矩在 1 周的输出全为正值。

(5) 叶尖速比  $\lambda = 1.60$  时, 新型风力机风能利用率达 0.298, 相比于原始 H 型风力机, 其具有更复杂的流场特性, H 型风轮叶片上下两端叶尖附近处和 S 型风轮均产生了较强的涡量。

## 参考文献(References):

- [1] 蔡新, 潘盼, 朱杰, 等. 风力发电机叶片(1版) [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014. (CAI Xin, PAN Pan, ZHU Jie, et al. *Blade of Wind Turbine* (1<sup>st</sup> ed) [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2014. (in Chinese))
- [2] 蔡新, 高强, 潘盼, 等. 垂直轴风力机(1版) [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016. (CAI Xin, GAO Qiang, PAN Pan, et al. *Vertical Axis Wind Turbine* (1<sup>st</sup> ed) [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2016. (in Chinese))
- [3] Sargolzaei J, Kianifar A. Estimation of the power ratio and torque in wind turbine Savonius rotors using artificial neural networks[J]. *International Journal of Energy*, 2007, **1**(2): 33-50.
- [4] 张建新, 蔡新, 潘盼. H 型垂直轴风力机启动性能分析[J]. 水电能源科学, 2013, **31**(5): 243-246. (ZHANG Jian-xin, CAI Xin, PAN Pan. Analysis of start-up performance on H-shaped vertical axis wind turbine[J]. *Water Resources and Power*, 2013, **31**(5): 243-246. (in Chinese))
- [5] Alam M J, Iqbal M T. Design and development of hybrid vertical axis turbine[A]. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering[C], 2009.
- [6] 曲建俊, 许明伟, 李中杰, 等. 一种升阻复合型垂直轴风力机[J]. 可再生能源, 2010, **28**(1): 101-104. (QU Jian-jun, XU Ming-wei, LI Zhong-jie, et al. A kind of lift and drag hybrid vertical axis wind turbine[J]. *Renewable Energy Resources*, 2010, **28**(1): 101-104. (in Chinese))
- [7] 顾荣蓉, 蔡新, 潘盼, 等. 升阻互补型垂直轴风力机气动性能分析[J]. 兰州理工大学学报, 2016, **42**(4): 55-59. (GU Rong-rong, CAI Xin, PAN Pan, et al. Aerodynamic performance analysis of vertical-axis wind turbine with lift-drag complement [J]. *Journal of Lanzhou University of Technology*, 2016, **42**(4): 55-59. (in Chinese))
- [8] 李岩, 原丰, 林农. Savonius 风力机叶片重叠比的风洞实验[J]. 太阳能学报, 2009, **30**(2): 226-231. (LI Yan, YUAN Feng, LIN Nong. A wind tunnel experiment study on the overlap ratio of Savonius rotors [J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2009, **30**(2): 226-231. (in Chinese))
- [9] 赵振宙, 郑源, 周大庆, 等. 基于数值模拟 Savonius 风力机性能优化研究[J]. 太阳能学报, 2010, **31**(7): 907-911. (ZHAO Zhen-zhou, ZHENG Yuan, ZHOU Da-qing, et al. Optimization of the performance of Savonius wind turbine based on numerical study [J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2010, **31**(7): 907-911. (in Chinese))
- [10] Bravo R, Tullis S, Ziada S. Performance testing of a small vertical-axis wind turbine[A]. Proceedings of the 21<sup>st</sup> Canadian Congress of Applied Mechanics (CANCAM07)[C]. Toronto, Canada, 2007.
- [11] Piperas A T. Investigation of Boundary Layer Suction on a Wind Turbine Airfoil Using CFD[D]. Technical University of Denmark, 2010.
- [12] Menter F R, Kuntz M, Langtry R. Ten years of industrial experience with the SST turbulence model[J]. *Turbulence, Heat and Mass Transfer*, 2003, **4**(1): 625-632.
- [13] Ariff M, Salim S M, Cheah S C. Wall  $y^+$  approach for dealing with turbulent flows over a surface mounted cube: Part 2—high Reynolds number[A]. Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO[C]. 2009.
- [14] 曲建俊, 王景元, 赵越, 等. 阻力叶片对升阻复合型垂直轴风力机气动性能的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, **36**(3): 223-229. (QU Jian-jun, WANG Jing-yuan, ZHAO Yue, et al. Influences of drag blade on aerodynamic performance of vertical-axis wind turbine with lift-drag compound rotor[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2018, **36**(3): 223-229. (in Chinese))
- [15] 冯静安, 唐小琦, 王卫兵, 等. 基于网格无关性与时间独立性的数值模拟可靠性的验证方法[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2017, **35**(1): 52-56. (FENG Jing-an, TANG Xiao-qi, WANG Wei-bing, et al. Reliability verification method of numerical simulation based on grid independence and time independence [J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2017, **35**(1): 52-56. (in Chinese))

## Aerodynamic characteristics research of a new type lift-drag hybrid vertical axis wind turbine

CAI Xin<sup>\*1,2</sup>, HU Li<sup>1</sup>, DING Wen-xiang<sup>1</sup>, ZHU Xu-ping<sup>3</sup>

(1. School of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing 211100, China;

2. Cooperate Innovation Center for Coastal Development and Protection, Nanjing 210098, China;

3. Jiangsu wind technology center, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Considering the characteristics of S-type and H-type vertical axis wind turbines, a new type lift-drag hybrid vertical axis wind turbine was designed, and its starting performance and aerodynamic performance were simulated by CFD method. The results show that the CFD results and experimental results of the original H-type rotor have good agreement during the range of calculation. The starting torque of the new type lift-drag hybrid vertical axis wind turbine is higher than that of the original H-type vertical axis wind turbine at every inflow azimuth, and the minimum and maximum starting torque were increased by 232% and 83.8% respectively. The output power of S-type rotor decreases with the increase of overlap ratio, and its output power is 0 when the overlap ratio is 1. The new type lift-drag hybrid vertical axis wind turbine achieves a maximum wind power coefficient of 0.298, and it has more complicated flow characteristics.

**Key words:** vertical axis wind turbine; lift-drag hybrid; starting torque; aerodynamic performance; CFD numerical simulation

<http://www.cjcm.net>

引用本文/Cite this paper:

蔡新,胡莉,丁文祥,等. 新型升阻混合型垂直轴风力机气动特性研究[J]. 计算力学学报, 2019, 36(4): 555-561.

CAI Xin, HU Li, DING Wen-xiang, et al. Aerodynamic characteristics research of a new type lift-drag hybrid vertical axis wind turbine [J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2019, 36(4): 555-561.