

文章编号: 1673-5196(2015)01-0051-04

一种 H 型垂直轴风力机翼型的深度失速研究

杨从新, 李寿图

(兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 以自主研发的 H 型垂直轴风力机的翼型为研究对象, 分别采用 URANS、LES 和 DES 三种不同的湍流模型, 在 Fluent 中进行 2.5D 的非定常计算, 对比研究该翼型在发生深度失速时的升阻性能以及翼型周围流场的分布。研究表明: 该翼型的静态失速攻角为 30° , 相比原模型的失速攻角 23° 有明显的提高; 在翼型的攻角小于静态失速攻角时, 三种湍流模型模拟计算的升力和阻力的性能相差不多, 且与原模型的试验值比较接近; 在翼型发生深度失速后, DES 湍流模型的模拟结果不仅具有一定的可靠性, 而且能够捕捉到翼型周围存在的涡流状况。

关键词: 垂直轴风力机; 深度失速; DES 湍流模型; CFD

中图分类号: TH311 **文献标识码:** A

Study of post-stalled airfoil of a H-type vertical axis wind turbine

YANG Cong-xin, LI Shou-tu

(College of Energy and Power Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: Taking the self-developed airfoil of H-type vertical-axis wind turbine (VAWT) as a research object and adopting the URANS, LES, DES three different turbulence modes, non-stationary flow field of 2.5-dimension is evaluated with software Fluent, and comparative study of lift and drag performance and distribution of flow field around airfoil are when post-stall happens. The result shows that the steady-state stalling angle of attack of the airfoil is 30° , that larger than that of original model of 23° . Compared to the original model, significant improvement of stall is obtained. When the angle of attack of the airfoil is less than the steady-state stalling angle of attack, the performance of the lift and drag is close to that of original mode when the three kinds of turbulence modes are used for flow field simulation. After the airfoil is post-stalled, simulation result with DES turbulence mode not only has a certain reliability, but also can capture the condition of vortex flow around the airfoil.

Key words: vertical-axis wind turbine; post-stall; DES turbulence mode; CFD

风资源作为一种可再生的清洁能源, 已经得到了全世界的广泛关注。在中国风能已是继水电和火电之后的第三大能源, 且在 Liu Yong^[1]报道的国家在“十二五”计划中明确提出关注并进一步发展风力发电技术。H 型垂直轴风力机作为一种小型的风力发电装置有着不用对风向, 不用调桨, 可使用于城市住宅区等特点受到了社会的广泛关注。所以研究如何进一步提高 H 型垂直轴风力机的性能有一定的社会意义和实际工程意义, 而动态失速现象是垂直轴风力固有的一个特性, 也是影响其性能的一个

关键因素。

近几年, 国内外的很多专家针对风力机的失速问题做过不少的研究。代尔夫特理工大学采用 PIV 实验和面元法分别研究了垂直轴风力机的失速问题^[2-3], 结论认为利用面元法的计算结果和实验相符, 具有一定的可靠性; J. Winkler 教授^[4]使用 CFX 和 CFD 两种求解软件, 选用 LES 和 RANS $k-\omega$ SST 模型, 研究了有弯度翼型在零度攻角情况下的尾涡和噪音的情况, 并和实验数据进行对比, 结论认为使用 LES 模型得到的结果和实验相符程度高; 香港理工大学 Li Chao 教授^[5-6]使用 LES 模型研究了大攻角下的垂直轴风力机的性能, 结果在大攻角的状况下, LES 模型预测结果要比 RANS 模型更接近于实

收稿日期: 2013-10-14

基金项目: 甘肃省省长专项(Z06200601)

作者简介: 杨从新(1964-), 男, 陕西兴平人, 博士, 教授, 博导。

验值;刘占芳教授^[7]等对比研究了 B-V、B-L 和 ONERA 动态失速模型并进行适当简化和修正,结果表明 B-L 模型整体对立轴风力机气动性能预测较好;李仁年等^[8-12]对风力机的翼型和不同结构的垂直轴风力机进行了数值计算,但很少有学者采用不同湍流模型研究 H 型垂直轴风力机的深度失速问题。

本文以自主研发的翼型为研究对象,使用数值模拟的方法,建立 2.5D 模型,选用 RANS、LES、DES 三种不同模型对比研究了该翼型在深度失速状态下的性能,为进一步提高 H 型垂直轴风力机的性能提供一定的参考。

1 翼型参数

本文的翼型是根据 NACA4418 航空翼型改型得出,弦长为 550 mm,攻角为 $-10^{\circ} \sim 180^{\circ}$,目的是提高 H 型垂直轴风力机上的气动性能。

2 数值模拟

本文参看文献^[5],对 H 型垂直轴风力机的翼型 2.5D 模拟主要采用以下方法,其中展向的长度为 1 倍的翼型弦长。

2.1 计算条件

本文运用商业软件 Fluent 来分析垂直轴风力机气动性能和流场特性,具体的拓扑结构如图 1 所示。

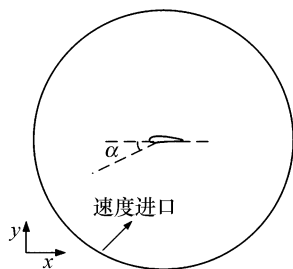


图 1 流场计算区域

Fig. 1 Computational domain of flow field

入流速度分别取均匀来流 12 m/s,方向沿 x 轴正方向,坐标放置符合右手坐标系。

2.2 计算方法

本文利用 Fluent 前处理软件 Gambit 建模并进行了网格的划分。由于风力机在外流场工作,考虑到尾流场有较强烈的湍流作用并且为了能够清楚地观察到流场的变化情况,故建立了较大的计算区域:以翼型的气动中心为圆心, $40C$ (C 为翼型弦长) 为半径形成圆形的外场计算区域,本文中选用圆形区域是为了便于改变翼型的攻角,采用如图 1 所示的速度

进口,叶片表面设置为无滑移壁面。在网格的划分方面:均使用结构化的 O 型网格,对叶片周围采用边界层局部加密的方法,整个网格效果是以翼型为中心按照一定的比率网格逐步变疏,这样既可以观察到流场的变化情况,也降低了网格数量,进而节省了计算时间,具体网格效果如图 2 所示。

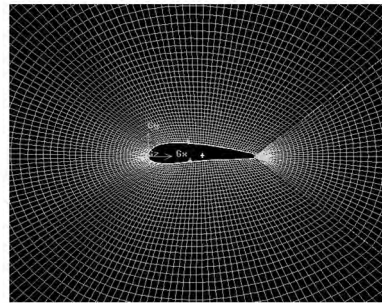


图 2 计算网格

Fig. 2 Computational grid

在计算方法上,其中 RANS 中采用 $k-\omega$ SST 二阶湍流模型;压力速度的耦合采用 SIMPLEC 算法,以加快收敛速度,离散格式采用二阶迎风离散格式;LES 中采用 Smagorinsky-lilly 二阶湍流模型;DES 中采用 Spalart allmaras 二阶湍流模型;时间步长 $t = 0.01C/v_{\infty}$ ^[13],其中 v_{∞} 为自由来流风速,按照上述条件设置进行非定常计算。

3 计算结果与分析

3.1 翼型的升阻力分析

H 型垂直轴风力机的工作过程是一个非稳态的变攻角的过程,根据

$$\alpha = \arcsin \left[\frac{\cos \theta \cos \delta}{\sqrt{(X - \sin \theta)^2 + \cos^2 \theta \cos^2 \delta}} \right] \quad (1)$$

可具体描述垂直轴风力机在旋转整个一周时其攻角的变化情况。对于垂直轴风力机,当瞬态攻角大于静态失速角时,就会发生动态失速,所以对于 H 型垂直轴风力机,失速问题是一个固有的现象,为了尽可能地减小失速所带来的升力下降,阻力上升造成的功率下降问题,所以尽量地减小失速区域的范围是有效提高垂直轴风力机性能的一种方法。式(1)中 α 为瞬态攻角, θ 为方位角, δ 为叶片法向与赤道平面的夹角, X 为叶尖速比。

图 3 为本文研究的翼型分别采用三种不同湍流模型计算所得的攻角和升力系数的关系,且和实验数据^[14]形成对照。从图中可以看出,其中 URANS (非定常雷诺时均法)湍流模型的计算值与实验值的差别很大,且大于实验值,这明显说明 URANS 对模拟结果预测过高,因为随着展弦比的减小,升力系

数曲线会呈现下降趋势(实验值的展弦比为 6, 本文展弦比为 1), 相比较, LES 和 DES 两种湍流模型对升力系数的预测值均低于实验值且比较接近, 同时结合文献[14]中研究升力系数曲线随展弦比的变化规律, 可以说明 LES 和 DES 两种湍流模型的预测结果较 URANS 具有一定的可靠性。

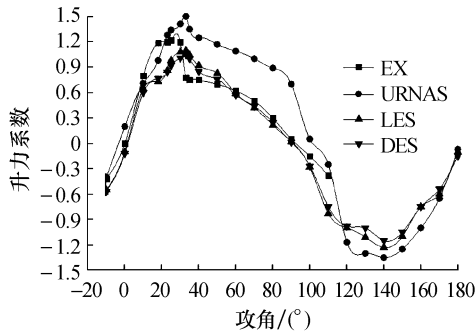


图 3 攻角 α 与升力系数的关系

Fig. 3 Relationship of attack angle to lift coefficient

对比三种不同湍流模型的模拟结果, 在达到最大升力系数以前, 也就是风力机未发生深度失速时, URANS、LES 和 DES 三种湍流模型的计算结果相差不大, 但是在进入深度失速阶段后, 升力系数曲线陡然下降, 直到攻角大于 140°以后升力系数值有所回升; 对比最大升力系数的位置, 可以看出, 三种模型的模拟得到的最大升力系数位置都发生在攻角 30°位置, 而实验的最大值发生在攻角为 23°的位置, 这说明本文研究的翼型推迟了失速攻角。

图 4 为三种不同湍流模型在不同攻角下的阻力系数关系图, 且和实验形成对照, 同样显示了在较小攻角范围内, 三种湍流模型对阻力系数的预测值相接近, 针对于本文中研究的翼型失速攻角为 30°, 这和图 3 中升力系数随攻角变化的位置关系是基本对应的; 在 30°攻角以后, LES 和 DES 湍流模型的计算结果接近, 同样是 URANS 湍流模型对结果做了过高的预测; 从图中可以看出在攻角为 90°时阻力系

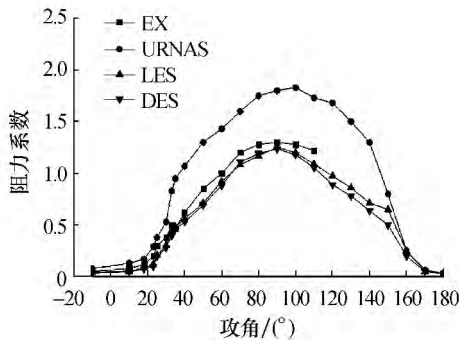


图 4 攻角 α 与阻力系数的关系

Fig. 4 Relationship of attack angle to drag coefficient

数达到了最大值, 这和实验值一样, 说明改型后的翼型, 随攻角的变化对阻力系数的改善不是很明显, 有待于进一步研究。

3.2 翼型的流场分析

图 5 是翼型深度失速后随着攻角的不断变大的一个典型的翼型周围的流场分布图。

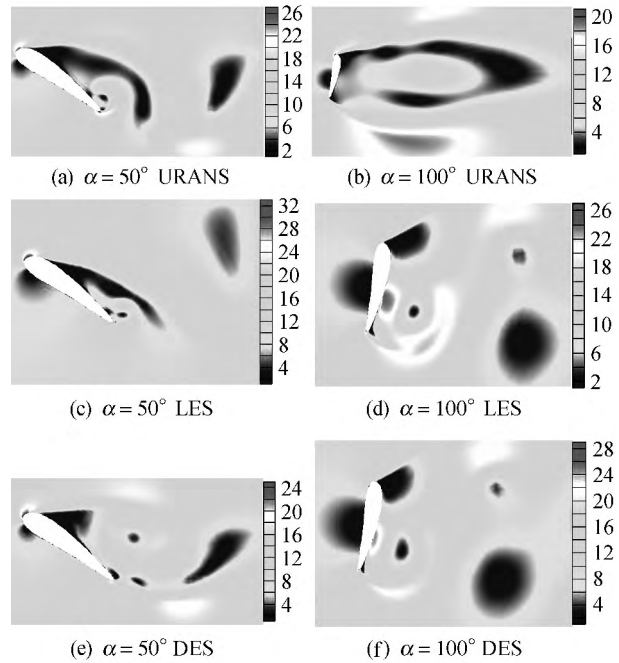


图 5 速度云图(m/s)

Fig. 5 Velocity nephogram (m/s)

对比 50°攻角下的三种不同模型的流场分布, 只有 DES 湍流模型可以捕捉到翼型周围的涡, URANS 和 LES 湍流模型只反映出了翼型的脱流现象, 但对翼型附近涡的捕捉能力不足, 而且流场分布的状况基本可以和图 3 所示的结果相对应; 在攻角为 100°时, LES 和 DES 模型均能有效地捕捉到翼型附近涡的存在, 相比较而言 URANS 模型显然在捕捉涡方面效果不佳. 从以上的分析可以看出, 在深度失速的时候 LES 和 DES 都有捕捉涡的能力, 但是 LES 模型计算时间要比 DES 模型长。

从以上的分析可以看出, 在小攻角范围内 URANS 湍流模型不仅对 H 型垂直轴风力的性能做出的预测结果和 LES、DES 湍流模型相差不大, 而且具有计算时间少于其他两种湍流模型的优势, 但是在 大攻角 的范围内, 考虑深度失速问题时, DES 湍流模型对升阻力的预测, 对涡的捕捉效果明显, 且计算时间比 LES 的湍流模型的计算时间少。

4 结论

1) 通过模拟和实验值的比较, 本文研究的翼型

具有延迟失速的特点,改型前的翼型在攻角为 23° 时开始深度失速,而改型后的翼型在攻角为 30° 时开始深度失速,这延迟了翼型的失速。

2) 通过三种不同模型之间的对比,翼型在小于深度失速的攻角时(本文中攻角为 30°),使用 URANS、LES 和 DES 三种湍流模型的模拟计算结果差别不大,但是在翼型深度失速以后,DES 的模拟结果不仅具有一定的可靠性,而且 DES 湍流模型捕捉涡的效果好。

致谢:本文翼型的相关数据是在兰州环优磁机电科技有限责任公司各位老师的热心帮助下获得的,在此表示衷心的感谢和诚挚的敬意!

参考文献:

- [1] LIU Yong. 解读风力发电科技发展“十二五”专项规划 [EB/OL]. (2012-05-04)[2013-10-08]. <http://www.escn.com.cn/2012/0507/339667.html>.
- [2] CHUNG K. 46thAIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit [C]. Reno, Curran Associates, Inc, 2008; 12126-12138.
- [3] ZANON A D, PIETRO G, CARLOS J. A vortex panel model for the simulation of the wake flow past a vertical axis wind turbine in dynamic stall [J]. Wind Energy, 2013, 16(5): 661-680.
- [4] WINKLER J, MOREAU S. LES of the trailing-edge flow and noise of a NACA6512-63 airfoil at zero angle of attack [R]. Stanford; Stanford University, 2008.
- [5] LI C, ZHU S Y, XU Y L, *et al.* 2. 5D large eddy simulation of vertical axis wind turbine in consideration of high angle of attack flow [J]. Renewable Energy, 2013, 51: 317-330.
- [6] WU Y T. Large-eddy simulation of wind-turbine wakes; evaluation of turbine parametrisations [J]. Boundary-Layer Meteorol, 2011, 138: 345-366.
- [7] 刘占芳, 颜世军, 张凯, 等. 立轴风力机叶片动态失速特性与气动性能分析 [J]. 太阳能学报, 2012, 33(2): 204-209.
- [8] 李仁年, 李银然, 王秀勇, 等. 风力机翼型的气动模型及数值模拟计算 [J]. 兰州理工大学学报, 2010, 36(3): 65-68.
- [9] 杨从新, 史广泰. 升阻型风力机非定常流场计算及性能分析 [J]. 兰州理工大学学报, 2013, 39(6): 55-59.
- [10] 杨从新, 李振朋. 基于改进 PSO 的 H 型垂直轴风力机风轮优化设计 [J]. 兰州理工大学学报, 2014, 40(3): 59-63.
- [11] 杨从新, 李寿图, 王珂. 转动惯量对直叶片垂直轴风力机性能的影响 [J]. 兰州理工大学学报, 2014, 40(6): 52-54.
- [12] 杨从新, 张强. 考虑静气弹特性的风力机叶片优化设计 [J]. 兰州理工大学学报, 2014, 40(1): 46-49.
- [13] JOHANSEN J, NIELS N S. Application of a detached-eddy simulation model on airfoil flows [R]. Paris; IEA, 2000.
- [14] OSTOWARO C, ANIK D. Post-stall wind tunnel data for NACA 44XX series airfoil sections [R]. Colorado; Solar Energy Research Institute, 1985.