

文章编号: 2097-096X(2022)04-0326-08

展向翼型分布对风力机性能的影响研究

张照煌, 高迪, 孙佳, 杨方超, 胡德鹏

(华北电力大学 能源动力与机械工程学院, 北京 102206)

摘要: 风力机叶片是由其展向不同位置且相对厚度不同的翼型积迭而成, 展向翼型的分布影响风力机叶片的性能。为此, 本文选取8种相对厚度不同的NACA24系列翼型, 在考虑叶尖和轮毂损失的情况下, 基于MATLAB程序计算各段的弦长扭角, 利用Qblade软件模拟三种不同额定功率(300W、1.5MW、5MW)的水平轴风力机叶片, 旨在研究不同额定功率下, 展向翼型分布对风力机性能的影响。结果表明: 随着风力机叶片展向翼型数量的增加, 相同额定功率下, 风力机叶片输出功率的数值逐渐增大, 输出功率的增量逐渐减小; 不同额定功率下, 风力机展向翼型数量的增量相同时, 随着额定功率的增大, 输出功率的增加值占比逐渐减小。研究可为风力机叶片设计理论的发展提供借鉴。

关键词: 风力机; 叶片; 展向翼型; 数量分布; 性能分析

中图分类号: TK83

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.20210124

1 研究背景

风能作为一种清洁的可再生能源, 已经成为世界各国的研究重点^[1]。叶片是风力机将风能转化为机械能的核心部件, 其气动性能的优劣直接决定风力机对风能的利用效率。由于水平轴风力机运行环境复杂, 所以对叶片不同展向位置的要求有所不同, 风力机叶片内侧运行攻角较大, 流动易分离且存在明显的旋转效应, 要求该部位的翼型具有较大的横截面积和良好的厚度分布以获得较高的截面惯性矩来传递足够的扭矩, 所以主要考虑结构属性方面; 叶片外侧表面易受污染, 流动攻角和雷诺数变动范围较大, 要求叶片外侧具有宽广的工作范围和平缓的失速特性, 又由于叶片气动性能随着雷诺数、表面粗糙度等条件的变化具有一定的稳定性, 因此主要考虑气动性能方面; 叶片中部综合考虑结构和气动等多方面的因素。在传统的叶片设计中, 根据内侧、外侧、中部叶片的需求选定三种不同厚度的翼型, 并计算叶片不同展向位置的弦长和扭角以此形成三维的叶片外形, 其中段与内外两段之间的过渡要采用修型。

众多学者对叶片设计中选取翼型的数量进行了相关研究。张思达等^[2]选择NACA和DU系列共5种翼型对叶片根部进行优化设计; 王晓静等^[3]分析S系列两种翼型, 得出选取S823翼型进行1.5MW风力机叶片设计的性能更加优良的结论; Li等^[4]选择6种翼型NACA64-618(叶尖~75%)DU21、DU25、DU30、DU35(75%~25%)DU40和圆(25%~0)设计5MW风力机叶片几何形状; Yen等^[5]基于S809和NACA 63215翼型设计一种新的混合翼型, 从而组合设计风力机叶片; 杨阳等^[6]选择厚度不等的5种DU翼型对风力机叶片进行全局优化设计; 刘小龙等^[7]选择三种翼型对风力机叶片和整机的气动力性能进行分析; 李文浩^[8]沿叶片展向布置多翼型设计叶片, 其中叶尖部位布置S832翼型, 中部布置S831和S830翼型, 叶根部部位布置S818翼型研究叶片的气动性能; 杨涵^[9]基于泛函集成理论针对

收稿日期: 2021-05-18; 网络首发时间: 2022-04-07

网络出版: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5020.TV.20220406.1035.001.html>

基金项目: 雅砻江流域水电开发有限公司科技项目(0023-20XJ0017)

作者简介: 张照煌(1963-), 博士, 教授, 主要从事先进施工装备及技术和可再生能源利用技术研究。

E-mail: zh_zhaohuang@163.com

通讯作者: 高迪(1993-), 博士生, 主要从事可再生能源利用技术和先进施工装备及技术研究。E-mail: 2466594527@qq.com

3种不同厚度的DU系列翼型进行低风速风力机整机气动与结构一体化设计研究；王帆^[10]选择NACA系列6种翼型设计风力机叶片，对其气动外形性能进行研究，此外研究叶素数目对风力机叶片气动外形设计的影响，选取叶素数目为35左右可使其气动性能良好；BHUPINDER Singh等^[11]研究了两种翼型NACA0008和NACA0012H对风力机叶片气动特性的影响；叶涛等^[12]选取3种风力机常用的NACA系列对称翼型，分析3种对称翼型对风力机叶片气动性能的影响，结果表明叶片上布置的翼型越厚，风力机最佳功率越大，自启动性能越好；于雷等^[13]提出了一种新的混合翼型设计方法，采用多段翼的形式设计混合翼型，为风力机一体化设计提供了新的思路；P García等^[14]采用DU91-W2-250(20%~45.6%)、RISOE A1-21(54.4%~65.6%)、NACA 63-418(74.4%~叶尖)三种翼型设计风力机叶片几何形状；Jie Zhu等^[15]使用4种翼型DU400EU、DU300EU、DU91_W2_250、NACA_64_618设计1.5 MW风力机叶片；李仁年等^[16]选用7种翼型，以Wilson理论为基础，采用Matlab对叶片的弦长扭角进行优化设计，成功实现对1.5MW风力机叶片的优化设计；孙雷等^[17]选取7种WA系列翼型，根据翼型相对厚度对其进行顺序排列，对1MW海上大型风力发电机组进行设计；Widad Yossri等^[18]研究了4种翼型，即NACA 0012、NACA 4412、NACA 0015和NACA 4415以及50 cm、75 cm和100 cm三种转子直径尺寸的组合，并估计了每种配置产生的功率；Amer H Muheisen等^[19]使用FX66-S-196 V、FX63-137 S和SG6043三种翼型沿叶片半径分布，与使用具有相同尺寸的NACA4412单翼型风力机叶片来比较叶片的整体性能。结果表明，与单翼型的叶片相比，多种翼型水平轴风力机叶片表现出良好的性能，功率系数增加了约8%；廖书学等^[20]选取4种对称翼型探索了不同厚度翼型对风力机气动效率和转矩的影响；战培国等^[21]开展了对10MW大型风力机叶片的气动布局研究，提出了叶片根部采用双/多翼面气动布局取代传统的单一厚翼型，其气动现象更为复杂，仍有待进一步深入研究。目前研究中少有分析风力机叶片翼型数量对其性能的影响，本文依据叶素动量理论设计叶片，并采用Qblade软件分析不同翼型数量的叶片在额定工况下输出功率的差异，以此表明叶片翼型数量对其性能的影响。

2 翼型选择及气动性能

风力机一般运行于低雷诺数下，传统航空翼型无法满足风力机对翼型在低雷诺数下的气动性能要求，为了提高风力机在某些特定的运行工况和工作环境下的整体性能，国外针对风力机的运行特点对风电叶片专用翼型开展了理论和实验研究工作，设计并开发了一系列的适用于风电叶片的专用翼型族，其中主要有美国可再生能源实验室的NREL-S系列翼型^[22]、丹麦RISØ国家实验室的RISØ系列翼型^[23]、荷兰代尔夫特大学、荷兰航空实验室和荷兰国家能源研究中心联合开发的DU系列翼型^[24]。

每种系列翼型都会有其不同的气动性能，有的是基于高升力、高升阻比设计的，有的是考虑翼型表面粗糙度的影响，有的基于厚度及失速特性设计翼型等。NACA翼型是现目前风力机叶片中被采用较多的翼型系列之一，因此，本文选取NACA24系列8种翼型为例，验证模型的有效性，翼型型线示意如图1所示，8种翼型的最大弯度及其相对位置相同，最大相对厚度逐渐递增，其中 c 为翼型弦长。

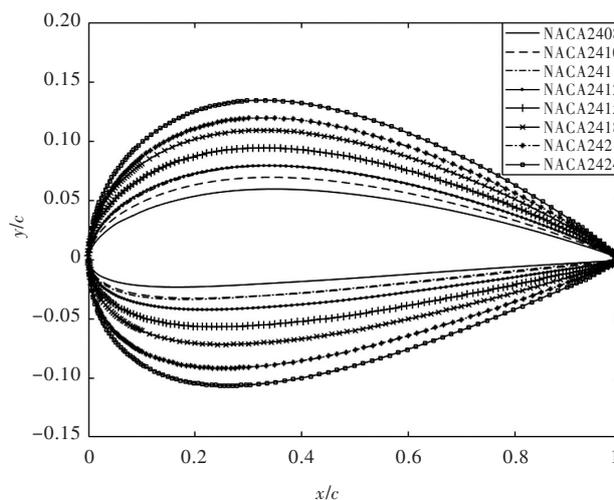


图1 翼型型线示意图

翼型小攻角下的气动性能可通过计算流体力学方法得到，大攻角下的气动性能只能依靠试验测量或半经验公式的失速模型外推得到。通过Qblade软件计算翼型在小攻角范围(-5° ~ 15°)内的升阻力系数，如图2所示，翼型在不同的攻角和雷诺数下呈现不同的升力系数和阻力系数，选取最佳升阻比

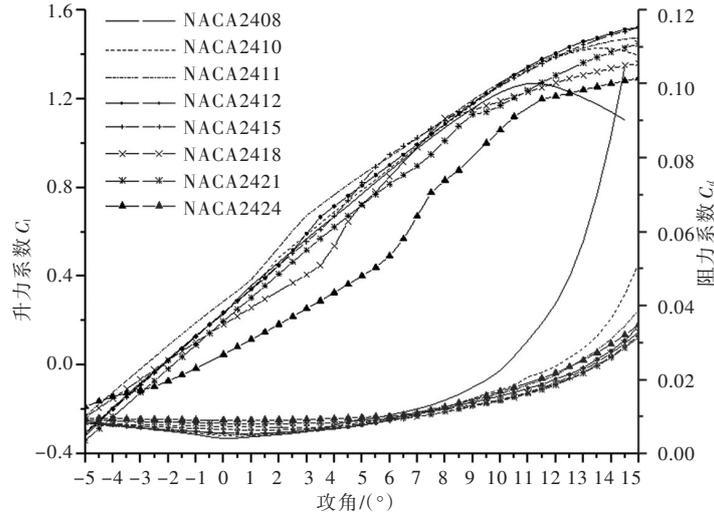


图2 翼型气动性能

时对应的攻角、升力系数以及阻力系数。

3 空气动力学模型

当不考虑风轮尾流旋转时，致动盘模型^[25]采用流管分析法来预测理想化的水平轴风力机轴向推力和输出功率等参数。假设将风轮简化为平面桨盘，没有轮毂，叶片数无穷多，叶片旋转时不受摩擦阻力影响，风轮前后气流都是均匀的定常流，风轮前远方和风轮后无穷远处的气流静压相等，作用在风轮上的推力是均匀分布，并且不考虑风轮

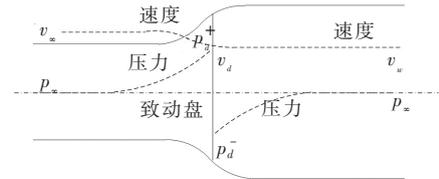


图3 致动盘模型

后的尾流旋转，当轴向诱导因子大于0.5时，致动盘理论将不再适用，需要对其进行经验修正。如图3所示，下标符号 ∞ 为上游无穷远处， d 为致动盘处， w 为下游无穷远处， v 为对应位置处流速， p 为对应位置处压强， A 为某位置对应截面面积。考虑流动空气流经致动盘时沿轴向发生的速度变化，定义轴向诱导因子为 a ，则流动空气在致动盘处的轴向速度为：

$$v_d = v_\infty(1 - a) \quad (1)$$

根据动量方程得到流动空气作用在致动盘上的轴向推力为：

$$(p_d^+ - p_d^-)A_d = (v_\infty - v_w)\rho A_d v_\infty(1 - a) \quad (2)$$

根据伯努利方程，致动盘上游的流动空气满足：

$$\frac{1}{2}\rho v_\infty^2 + p_\infty = \frac{1}{2}\rho v_d^2 + p_d^+ \quad (3)$$

根据伯努利方程，致动盘下游的流动空气满足：

$$\frac{1}{2}\rho v_w^2 + p_\infty = \frac{1}{2}\rho v_d^2 + p_d^- \quad (4)$$

联立式(2)一式(4)可得：

$$v_w = (1 - 2a)v_\infty \quad (5)$$

当考虑风轮尾流旋转时^[26]，流动空气在旋转平面上存在轴向和切向上的速度分量，假设风轮圆盘的转速为 Ω ，切向速度的变化采用周向诱导因子 a' 表示。作用在风轮半径 r 处宽度为 dr 圆环上的轴向推力和转矩分别为：

$$dT = 4F\pi\rho v_\infty^2 a(1 - a)rdr \quad (6)$$

$$dM = 4F\pi\rho v_\infty \Omega a'(1 - a)r^3 dr \quad (7)$$

将风轮叶片沿展向划分为有限个叶素，分析每个叶素上所受的力和力矩，通过积分得到叶片所受的力和力矩。假设各叶素上气流均视为二维流动，叶素之间互不影响，并且忽略风轮旋转的三维效应。如图4所示，叶素上相对入流速度为：

$$v = \sqrt{v_{\infty}^2(1-a)^2 + \Omega^2 r^2(1+a')^2} \quad (8)$$

叶素的入流角为：

$$\phi = \arctan \frac{v_{\infty}(1-a)}{\Omega r(1+a')} \quad (9)$$

叶素的攻角为：

$$\alpha = \phi - \beta \quad (10)$$

叶素单位长度上的升力为：

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 c C_l \quad (11)$$

叶素单位长度上的阻力为：

$$D = \frac{1}{2} \rho v^2 c C_d \quad (12)$$

与风轮旋转平面垂直的推力为：

$$p_N = L \cos \phi + D \sin \phi \quad (13)$$

与风轮旋转平面平行的作用力为：

$$p_T = L \sin \phi - D \cos \phi \quad (14)$$

联立上式得：

$$p_N = \frac{1}{2} \rho v^2 c C_n \quad (15)$$

$$p_T = \frac{1}{2} \rho v^2 c C_t \quad (16)$$

其中，

$$C_n = C_l \cos \phi + C_d \sin \phi \quad (17)$$

$$C_t = C_l \sin \phi - C_d \cos \phi \quad (18)$$

叶片数为 B ，风轮半径为 r ，厚度为 dr 圆环上的轴向推力 dT 和转矩 dM 可以表示为：

$$dT = B p_N dr = \frac{1}{2} \rho v^2 B c C_n dr \quad (19)$$

$$dM = r B p_T dr = \frac{1}{2} \rho v^2 B c C_t r dr \quad (20)$$

令动量理论得到的推力和转矩表达式与叶素受力分析得到的推力和转矩的表达式相等，得到每段叶素诱导因子与弦长和扭角的关系式，通过一定的约束便可求解诱导因子、弦长、扭角的大小。

考虑普朗特修正因子 F 的叶片局部风能利用系数^[27]：

$$dC_p = \frac{8}{\lambda^2} a'(1-a) F \lambda_r^3 d\lambda_r \quad (21)$$

$$F = F_t \cdot F_h \begin{cases} F_t = \frac{2}{\pi} \arccos \left(\exp \left(-\frac{B}{2} \frac{R-r}{R \sin \phi} \right) \right) \\ F_h = \frac{2}{\pi} \arccos \left(\exp \left(-\frac{B}{2} \frac{r-R_0}{R_0 \sin \phi} \right) \right) \end{cases} \quad (22)$$

要使 dC_p 值达到最大，可在满足以下两式的条件下，通过迭代计算求出诱导因子 a' 和 a ：

$$\frac{B c C_l \cos \phi}{8 \pi r \sin^2 \phi} = \frac{(1-aF)aF}{(1-a)^2} \quad (23)$$

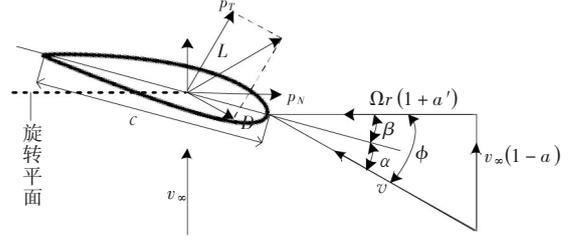


图4 叶素平面上速度和受力分析

$$\frac{BcC_l}{8\pi r \cos\phi} = \frac{a'F}{1+a'} \quad (24)$$

求得各叶素相应的诱导因子 a' 和 a 后,即可计算叶素的弦长和扭角:

$$c = \frac{8\pi a F (1-aF)r \sin^2\phi}{(1-a)^2 B C_l \cos\phi} \quad (25)$$

$$\beta = \arctan \frac{1-a}{(1+a')\lambda_r} - \alpha \quad (26)$$

4 实例计算与分析

风力机叶片的相关设计参数如表1所示,分别设计三种不同额定功率的风力机叶片,其中 v 是额定风速, C_p 是风能利用系数, λ 是叶尖速比, R 是风轮半径, R_0 是轮毂半径, η_1 是主传动系统的总效率, η_2 是发电系统的总效率, B 是叶片数, ρ 是空气密度。

表1 风力机叶片的设计参数

P	v	C_p	λ	R	R_0	η_1	η_2	B	ρ
300W	10	0.4	3	0.8	0.05	0.8	0.8	3	1.225
1.5MW	12	0.42	6	38	0.5	0.85	0.85	3	1.225
5MW	13	0.41	7	58	1.5	0.9	0.9	3	1.225

沿展向将叶片分成多段,各个截面处的翼型种类属于离散取值,不同展向位置 r/R 处的翼型选取如表2所示,对每种不同额定功率的叶片选择不同数量的翼型,并根据空气动力学模型计算风力机叶片的轴向诱导因子和周向诱导因子沿展向的分布情况,如图5所示,可以看出,不同展向位置处的轴

表2 叶片各截面翼型选取

r/R	0.1~0.25	0.3~0.35	0.4~0.45	0.5~0.55	0.6~0.65	0.7~0.75	0.8~0.85	0.9~1.0
3种	2424	2421						2408
4种	2424	2421					2410	2408
5种	2424	2421				2411	2410	2408
6种	2424	2421			2412	2411	2410	2408
7种	2424	2421		2415	2412	2411	2410	2408
8种	2424	2421	2418	2415	2412	2411	2410	2408

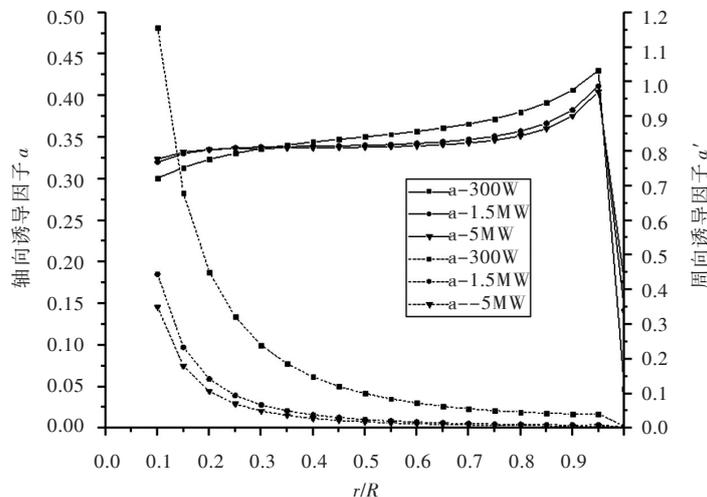


图5 轴向诱导因子和周向诱导因子

向和周向诱导因子不同，从叶根到叶尖位置，轴向诱导因子逐渐增大，周向诱导因子逐渐减小；随着额定功率的增大，轴向和周向诱导因子逐渐降低。再考虑叶尖损失和轮毂损失计算弦长和扭角，最后得到三维叶片外形。为验证选取不同数量翼型叶片的性能，将叶片数据输入仿真软件 Qblade，通过仿真得到叶片在额定工况下的输出功率，如图 6 所示。

如图 6(a)，风力机叶片的额定功率为 300 W，翼型数量为 3 时，风力机叶片在额定工况下输出功率为 264.896 W；翼型数量分别为 4、5、6、7、8 时，风力机叶片的输出功率分别为 277.178 W、284.204 W、292.241 W、296.244 W、297.911 W；如图 6(b)，风力机叶片的额定功率为 1.5 MW，翼型数量为 3 时，风力机叶片在额定工况下输出功率为 1.42778 MW；翼型数量分别为 4、5、6、7、8 时，风力机叶片的输出功率分别为 1.43096 MW、1.44257 MW、1.4566 MW、1.46524 MW、1.47965 MW；如图 6(c)，风力机叶片的额定功率为 5 MW，翼型数量为 3 时，风力机叶片在额定工况下输出功率为 4.91771 MW；翼型数量分别为 4、5、6、7、8 时，风力机叶片的输出功率分别为 4.92405 MW、4.93314 MW、4.94878 MW、4.96373 MW、4.97894 MW。可以看出，随着风力机叶片展向翼型数量的增加，输出功率在额定功率以下并且数值逐渐增大。

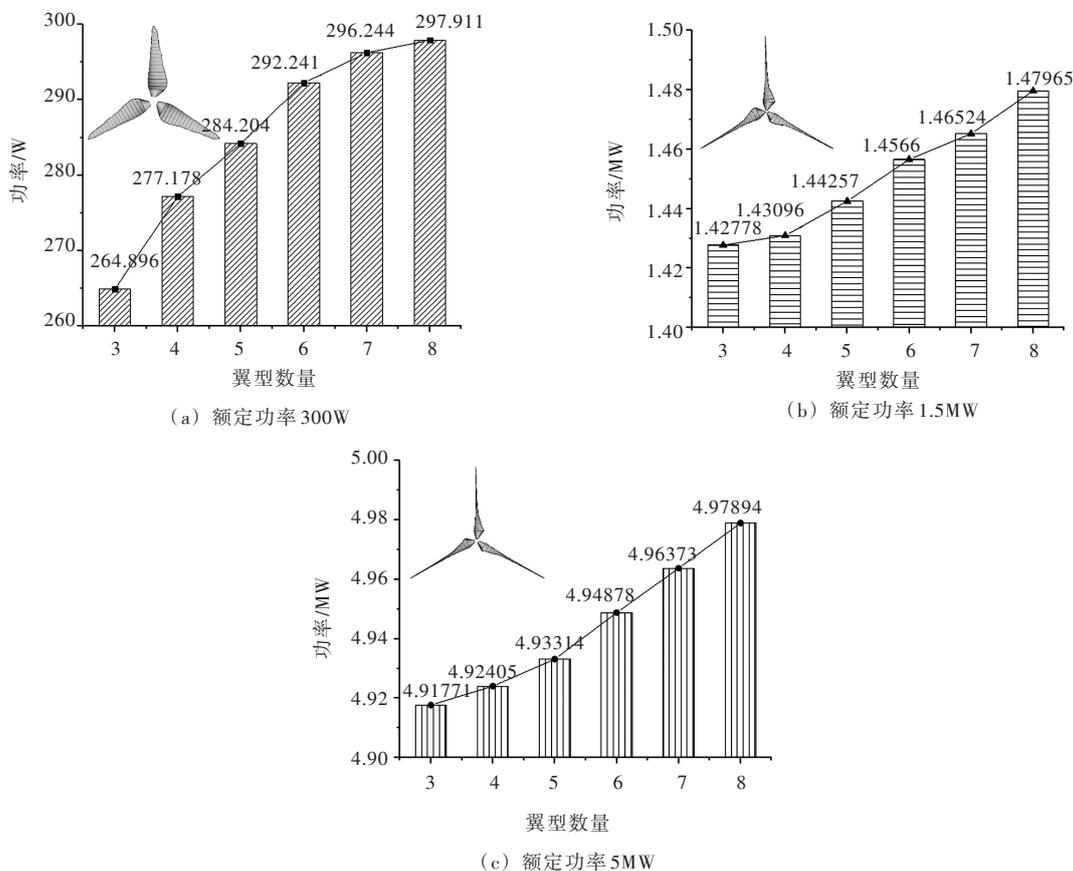


图 6 风力机叶片翼型数量与输出功率的关系

其中，图 6(a)中翼型数量为 4 相较于翼型数量为 3 时，输出功率高出 12.282 W；翼型数量为 8 相较于翼型数量为 7 时高出 1.667 W，相比 3 种翼型的叶片输出功率高出 33.015 W；图 6(b)中风力机叶片展向翼型数量为 8 相比 7 种翼型的叶片输出功率高出 14410 W，相比 3 种翼型的叶片输出功率高出 51870 W；图 6(c)中翼型数量为 8 相比 7 种翼型的叶片输出功率高出 15210 W，相比 3 种翼型的叶片输出功率高出 61230 W。可以发现，展向翼型数量分布逐渐增多，输出功率的增量值逐渐减小。

3 种不同额定功率下，风力机叶片展向翼型数量为 4 相较于展向翼型数量为 3 时，输出功率的增量与额定功率的比值分别为：0.41%、0.212%、0.1268%。展向翼型分布数量为 8 相较于翼型数量为 3 时，增加的输出功率占比分别为：11.005%、3.458%、1.2246%。可以看出，在相同展向翼型数量增

加的情况下,随着风力机额定功率的增大,增加的输出功率占比逐渐减小。

5 结论

本文以NACA24系列翼型为例,基于叶素-动量理论,考虑叶尖和轮毂损失,分析三种不同额定功率下风力机叶片的展向翼型数量对其性能的影响,结果表明,风力机叶片的额定功率为300 W时,翼型数量为8的风力机叶片输出功率相比翼型数量为3的叶片输出功率高出0.55%;风力机叶片的额定功率为1.5 MW时,翼型数量为8的风力机叶片的输出功率相比3种翼型的叶片输出功率高出3.458%;风力机叶片的额定功率为5 MW时,翼型数量为8的风力机叶片的输出功率相比3种翼型的叶片输出功率高出1.2246%。对于水平轴风力机叶片设计时,选取展向翼型数量少,风力机叶片输出功率降低,原因在于展向翼型数量少导致叶片表面不连续、不光滑,选取展向翼型数量越多,风力机叶片的输出功率呈现递增趋势,展向翼型数量的增多保证风与叶片充分相互作用,从而提高风能利用率并且减少后期的修型。

参 考 文 献

- [1] 张维恩,王娅萱,张森森,等.流动空气压差比拟与风电叶片翼型线确定理论的探讨[J].中国水利水电科学研究院学报,2020,18(6):462-468.
- [2] 张思达,孙文磊,张建杰,等.基于风能利用效率的叶片根部翼型尾缘加厚优化方法研究[J].可再生能源,2018,36(2):309-316.
- [3] 王晓静,贺玲丽,汪建文,等.小型水平轴风力机翼型气动分析与叶片设计[J].可再生能源,2017,35(4):535-540.
- [4] LI Shaoning, LUCA Caracoglia. Experimental error examination and its effects on the aerodynamic properties of wind turbine blades[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2020, 206: 104357.
- [5] YEN Shunchang, LIU Weishen, SAN Kuochin, WANG Weifan. Design of wind-turbine blades for improving aerodynamic performance using hybrid blades[J]. Ocean Engineering, 2021, 227: 108889.
- [6] 杨阳,李春,缪维跑,等.基于多目标遗传算法的风力机叶片全局优化设计[J].机械工程学报,2015,51(14):192-198.
- [7] 刘小龙,盛振国,黄少峰,等.大型风力机叶片翼型和整机的气动力性能分析研究[J].太阳能学报,2013,34(10):1678-1684.
- [8] 李文浩.风电机组叶片气动性能设计研究[D].成都:西华大学,2016.
- [9] 杨涵.低风速风力机整机气动与结构一体化设计研究[D].重庆:重庆大学,2019.
- [10] 王帆.风力机叶片气动外形设计及性能分析[D].秦皇岛:燕山大学,2016.
- [11] BHUPINDER Singh, HARJOT Singh Gill. Wind turbine blade design for low rotational inertia materials at variable speeds with different twisting angle using Q-Blade[J]. Materials Today: Proceedings, 2020, 33(3): 1666-1670.
- [12] 叶涛,刘猛.不同对称翼型H型风力机气动性能数值模拟研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2013,37(6):1287-1290,1295.
- [13] 于雷,杨龙,朱东宇.适用于多迎角结冰试验的混合翼型设计[J].空气动力学学报,2021,39(1):66-72.
- [14] P García Regodeseves, C Santolaria Morros. Unsteady numerical investigation of the full geometry of a horizontal axis wind turbine: Flow through the rotor and wake [J]. Energy, 2020, 202: 117674.
- [15] ZHU Jie, ZHOU Zhong, CAI Xin. Multi-objective aerodynamic and structural integrated optimization design of wind turbines at the system level through a coupled blade-tower model [J]. Renewable Energy, 2020, 150: 523-537.
- [16] 李仁年,郭杏威,杨瑞,等.基于Matlab的1.5MW风力机叶片设计和优化方法[J].甘肃科学学报,2012,24(4):73-76.
- [17] 孙雷,雷玮剑,张智伟,等.1MW海上大型风力机气动设计[J].科技视界,2020(19):72-74.

- [18] WIDAD Yossri, SAMAH Ben Ayed, ABDESSATTAR Abdelkefi . Airfoil type and blade size effects on the aerodynamic performance of small-scale wind turbines: Computational fluid dynamics investigation [J]. *Energy*, 2021, 229: 120739 .
- [19] AMER H Muheisen, MUHAMMAD A R Yass, IHSAN K Irthia . Enhancement of horizontal wind turbine blade performance using multiple airfoils sections and fences[J] . *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 2021 . doi:10.1016/j.ksues.2021.02.014.
- [20] 廖书学, 李春, 聂佳斌, 等 . 不同翼型对垂直轴风力机性能的影响[J] . *机械设计与研究*, 2011, 27(3): 108–111, 116 .
- [21] 战培国, 赵昕 . 国外 10MW 风力机叶片气动布局研究[J] . *航空科学技术*, 2015, 26(4): 7–11 .
- [22] TANGLER J L, SOMERS D M . Status of the Special Purpose Airfoil Families [C]//*Proceedings of WINDPOWER'87*. San Fransisco, U.S.A, 1987 .
- [23] TIMMER WA, TOOIJ PRJOM. Summary of the Delft University wind turbine dedicated airfoils[J] . *Journal of Solar Energy Engineering*, 2003, 125: 488–496 .
- [24] FUGLSONG P, DAHL K S. Design of the new risk-al airfoil family for wind turbines[J] . *Proc . Ewec .* , 1999: 134–137 .
- [25] RAMAKRISHNA Balijepalli, CHANDRAMOHAN V P, KIRANKUMAR K . Optimized design and performance parameters for wind turbine blades of a solar updraft tower (SUT) plant using theories of Schmitz and aerodynamics forces[J] . *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2018, 30(12): 192–200 .
- [26] SRITI M . Improved blade element momentum theory (BEM) for predicting the aerodynamic performances of horizontal Axis wind turbine blade (HAWT) [J] . *Tech . Mech . Sci . Fundam . Appl . Eng . Mech .* , 2018, 38(2): 191–202 .
- [27] KAVARI G, TAHANI M, MIRHOSSEINI M . Wind shear effect on aerodynamic performance and energy production of horizontal axis wind turbines with developing blade element momentum theory[J] . *Journal of Cleaner Production*, 2019, 219: 368–376 .

Research on the influence of spanwise airfoil distribution on wind turbine performance

ZHANG Zhaohuang, GAO Di, SUN Jia, YANG Fangchao, HU Depeng

(School of Energy, Power and Mechanical Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Wind turbine blades are formed by stacking airfoils with different positions and different relative thicknesses. The distribution of the spanwise airfoil affects the performance of the wind turbine blade. In this paper, eight NACA24 series airfoils with different relative thicknesses are selected. Considering the loss of blade tip and hub, the chord and twist angle of each segment is calculated based on the MATLAB program, and the horizontal axis wind turbine blades under three different rated powers (300 W, 1.5 MW, 5 MW) are simulated through Qblade software, aiming to study the influence of spanwise airfoil distribution on the performance of wind turbines under different rated power. The results show that under the same rated power, when the number of spanwise airfoils of the wind turbine blade increases, the value of the output power of the blade gradually increases while the increment of the output power gradually decreases. Under different rated power, when the increment of spanwise airfoil number of the wind turbine is the same, the proportion of output power increment gradually decreases with the increase of blade rated power. This research provides an important reference for the development of wind turbine blade design theory.

Keywords: wind turbine; blade; spanwise airfoil; number distribution; performance analysis

(责任编辑: 王学凤)