

小型家用垂直轴风力发电系统的设计

范正萍,王心尘,杜华夏,王亚军

(厦门大学物理与机电工程学院物理系,厦门 361005)

摘要:本文介绍了一种小型家用垂直轴风力发电系统的设计方案。该系统针对传统萨窝纽斯形(Savonius)风机叶片的形状进行优化——扭曲叶片,对各项动力学参数进行模拟实验及计算。结果表明,这种扭曲叶片型的 Savonius 风力机与汽车发动机相结合可以使风能利用效率得到更好的开发。

关键词:垂直轴;风力发电;叶片

中图分类号:TM614

文献标识码:A

文章编号:1005-7439(2007)05-0279-04

An innovative Design of Vertical - axis Wind Turbines for Home Use

FAN Zheng-ping, WANG Xin-chen, DU Hua-xia, WANG Ya-jun

(Physics Dept., Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: An innovative vertical - axis wind power generating system for home use has been proposed and tested. The emphasis is placed on optimizing the configuration of a traditional Savonius rotor (twisting the blades), simulating and experimenting. The computing results show that a Savonius rotor with twisted blades combined with a car - alternator can reach a better coefficient of performance.

Key words: Vertical axis, Wind power, Twisted blade, Savonius rotor

随着新能源产业的发展,作为家用的小型水平轴百瓦级风力发电机被越来越多的人所接受。但是这种风力机最大的缺点是体积大、安装不便,一旦有暴风袭击还很容易发生倒倾现象;由于常住居民区不存在大的风场,而水平轴风力机要求的启动风速较高,平时很难启动发电;另外为了保证风力机的叶轮始终处于最大受风面所在位置,还需加上迎风装置,作为简易型的风力机这又增加了设计的难度。

垂直轴风力机主要有升力型即戴瑞斯型(Darrieus type)和阻力型即萨窝纽斯型(Savonius type),都可以克服水平轴的这些缺点。其中,戴瑞斯型的启动转矩小、启动性能差,往往需要靠其他动力启动达到特定的转速才能正常运行,技术和设备复杂,不适合作为简易型的风力机。Savonius 型垂直轴风力机的启动转矩较大,启动性能良好,但它的运行转速较低,通常认为其风能利用系数低于水平轴风力机和高速型的其他垂直轴风力机,在大规模

商业发电上缺乏竞争力;然而小型的 Savonius 风机,制做简便、在各种风速下都能运转正常,电机可安装在建筑物表面,维护简单易行,比较适合作为小型家用风电机组^[1]。

本文中介绍了一种小型家用垂直轴阻力型风力发电系统,通过对该风力机叶片形状进行优化,尽可能解决转速低而造成的风机效率低的问题。

1 新型风力机的设计

1.1 风力机的功率和转矩计算

风机的输出功率为:

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

式中 C_p 为风能利用系数, ρ 为空气密度, A 为风机扫风面积, v 为风速。

尖速比 为:

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (2)$$

式中 w 为风轮角速度, R 为风轮半径。

风机的转矩系数 C_m 为:

$$C_m = \frac{4M}{DAv^2} \quad (3)$$

式中 M 为转矩, D 为风轮直径。以上方程中 C_p 和 C_m 均为尖速比 λ 的函数。图 1 所示为理想 Savonius 型风力机的风能利用系数 C_p 及转矩效率 C_m 随尖速比的变化图线^[2]。

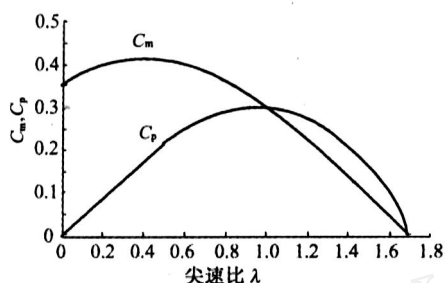


图 1 理想 Savonius 风力机的 C_m, C_p 与 λ 的关系

如图 1 可知,尖速比取值在 0.8 至 1.0 之间时,能得到相对良好的风能利用系数和转矩系数。

1.2 新型风力机桨叶的基本构造

尽管 Savonius 型风力机效率较低,但它可以在低风速下启动发电在高风速下也能正常运转,所以总体效率可以得到弥补。

定义风力机的单位宽度输出功率 P_c ,它等于风力机的输出功率 P 与风力机的水平宽度 L 的比值。J L Menet 以 L - 准则为基础,计算两叶片水平轴和 Savonius 型风力机得到的单位宽度输出功率 $P_{L,H}$ 和 $P_{L,S}$ 分别为:

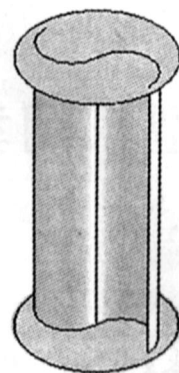
$$P_{L,H} = 0.31 Rv^3$$

$$P_{L,S} = 1.37 Rv^3$$

式中的下标 H 代表水平轴风力机, S 代表 Savonius 风力机。可以看出,在同样的条件下,设计合理的 Savonius 风力机的单位宽度输出功率远远大于水平轴风力机^[4]。如果选择三叶片的风力机进行类似的计算可以得到相似的结果。因此合理设计桨叶的各项外型参数可以在很大程度上增加风力机的输出功率。

(1) 一般的 Savonius 阻力型风力机,如图 2 所示,主要由两个半圆柱面型桨叶构成。研究表明,若将桨叶进行扭曲可以在一定程度上增大风力机的输出功率^[1]。

图 3 为扭转桨叶的风力机叶片俯视图。本文中设计的风力机也将桨叶进行扭转,并对桨叶的扭转方式进行了优化。为了使空气流动能够对桨叶产生



a 正向图



b 俯视图

图 2 Savonius 阻力型风机

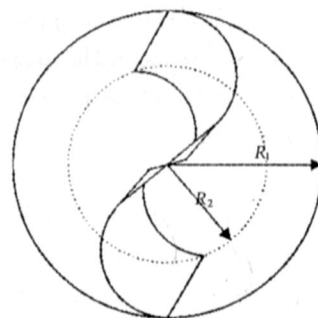


图 3 扭转型 Savonius 风力机俯视图

更大的推力及考虑到造型的美观性,将桨叶扭转至顶端弦线与底端弦线之间呈 90° 夹角,如图 4。这样设计的两支桨叶,无论来风方向如何,风力机处于哪个方位,都能处于一个极佳的受风位置。在 Savonius 风力机运行时,桨叶的凹下部分接受风力驱动风轮旋转,凸起的部分阻碍风轮旋转;可以看到采用着这种扭转方式,一支桨叶的上半部分与另一支的下半部分总能同时处于受风的位置,因此无论来风的方向怎样变化都能保证风力机受到同样的驱动力,特别是对于风机在微风情况下的启动极为有利。桨叶在设计时为了增大风能的利用效率,还在桨叶内增加了档格。

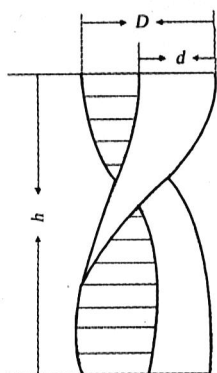


图4 优化设计的桨叶形状示意

(2) 风力机桨叶高度 H 与桨叶直径 d 的比值称为高径, 其大小对风机的效率的影响很大, 通常, 的值在 4.0 附近可以使风机的效率达到最大^[2-5]。本文设计的风力机, 桨叶纵高 H 为 1 m, 桨叶的直径 d 为 250 mm。

优化设计的 Savonius 风力机两支桨叶之间会有交叠的部分, 交叠的程度可以用折叠率 (overlap ratio) 来描述:

$$= \frac{e-a}{d} \quad (4)$$

如图 5 所示, e 为交叠部分的宽度, a 为转轴直径。通常当折叠率在 0.2 至 0.3 之间风力机的风能利用效率比较高^[2-7], 本文设计的风力机, e 取 60 mm, 中心转轴直径 a 取 14 mm, 可以推算 为 0.224, 正好在这个范围内。

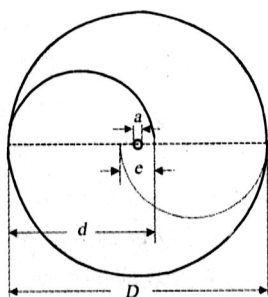


图5 风机叶片俯视图

利用 Solidworks 做图工具可以实现桨叶外形的设计^[8-9]。先利用两个不同基准面做出单片桨叶的上下形状边缘, 再通过 .txt 文件生成桨叶轮廓曲线, 然后利用“放样”命令得到整片桨叶, 右支桨叶轮廓曲线关键点坐标如表 1。将两片桨叶及中心转轴做为零件组合成装配体, 得到的实体图和工程图如图 6, 图 7 所示。图 7 中 a, b, c, d 分别对应该风机桨叶模型的前视, 上视, 左视, 等轴测方向工程图。

表 1 右支桨叶轮廓曲线关键点坐标

关键点	1	2	3	4	5
X/mm	44	33	22	11	0
Y/mm	0	- 250	- 500	- 750	- 1000
Z/mm	0	5.5	11	16.5	22



图6 风机桨叶 Solidworks 实体图

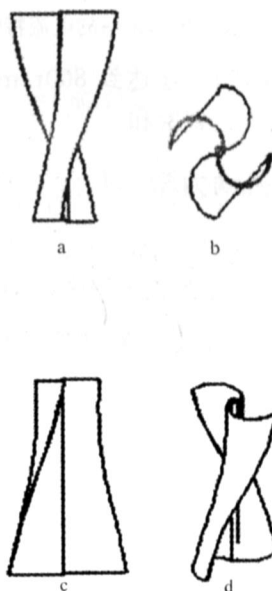


图7 风机桨叶 Solidworks 工程图

后续的工作将会用流体模拟软件对轮廓曲线的优化做进一步处理。

桨叶采用的材料性能对风力发电装置的性能和效率有很大的影响。强度高质量轻的碳纤维增强塑料虽然价格较高但用在这种小型风机是最合适的, 这是因为它可根据风力机桨叶的受力特点设计强度

与刚度而且容易加工成型。计算表明,采用这种材料,只要取 2~2.5 mm 的厚度桨叶就可以满足强度的设计要求,由于质量较小,十分有利于微风中风力机的启动。

1.3 发电机的选择

选取汽车通用发电机作为风电机组的电机部分,本文中选取的是 Ford A127 12V 55 A。由于汽车发电机一般在高转速(超过 1 000 r/min)下才可正常工作,为此把电机转子原来的 1.25 mm 线径的铜线换成 0.625 mm,电枢个数由 11 个增至 44 个。改进后的电机对 12V 蓄电池进行充电,在三个不同的角速度值(200,300 和 800r/min)进行测量,可得其输出电流曲线如图 8 表示^[2-6]。

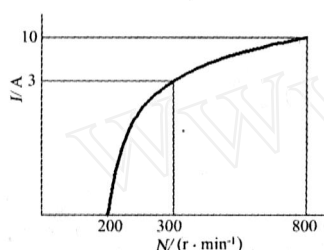


图 8 发电机修正后的电流特性

由图 8 可知,当转速达到 800r/min 时,输出电流为 10 A 已基本达到饱和。

2 新型风力机动力学参数的计算

由图 1 中选取尖速比 为 0.86 时对应的, $C_p = 0.28$, $C_m = 0.32$ 计算论文中风力机模型的预期表现。本文选择设计风速(nominal velocity)为 10 m/s,这个值通常是低功率的小型风力机设计使用,而且与发电机的选择有关。

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} A v^3 =$$

$$0.28 \times 0.5 \times 1.29 \times 0.440 \times 10^3 = 79 \text{ W}$$

$$M = C_m \cdot \frac{1}{4} D A v^2 =$$

$$0.32 \times 0.25 \times 1.29 \times 0.440^2 \times 10^2 = 2 \text{ Nm}$$

由式(2)可得:

$$\begin{aligned} N &= 60f = 60 \times \frac{\omega}{2} = 60 \times \frac{v}{R} \times \frac{1}{2} \\ &= 60 \times \frac{0.82 \times 10}{0.220} \times \frac{1}{6.28} = 274 \text{ r/min} \end{aligned}$$

基本参数可由表 2 表示。

由于本文中设计的风力机是用于家庭的要求,结构简单,因此没有安装恒速调节装置,这样随着风

表 2 原型参数及一般特性的期待值

叶片的总高度	H	1 000 mm
桨叶直径	d	250 mm
转轴直径	a	14 mm
风轮直径	D	440 mm
交叠比率		0.224
风轮扫风面积	A	0.440m ²
设计风速	v	10m/s
10m/s 时的预期机械功率	P_{10}	79W
10m/s 时的预期转速	N_{10}	374r/min
10m/s 时的预期机械转矩	M_{10}	2Nm

速的改变尖速比无法始终保持在最佳值,当风速增大到 10 m/s 以上时,尖速比会增大,风能利用系数减小,输出功率并不随着风速的增大而持续增大。另外随着角速度的增大,发电机的输出电流也会达到饱和,当电流达到 10 A 时输出功率达到最大约为 120 W。根据以上参数预计风机性能参数如表 3 所示。

表 3 对风机模型性能的预期值

参数项目	数值
起动风速	2~3m/s
5~10m/s 之间的平均效率 (忽略机械和电能损失)	约 28%
转速的变化范围	200~800r/min
设计功率(在 10m/s 时)	79W
最大输出功率	120W

尽管设计的 Savonius 垂直轴风机可以在较低的风速下启动发电,但是风机在风速较低时还是无法产生足够电能的。考虑到我国的风能分布,年平均风速达到 6 m/s 以上的地区主要集中在沿海及其岛屿,这些地区年有效风能功率密度在 200 W/m² 以上,一些地区甚至可以达到 500 W/m² 以上。特别是由于台湾海峡狭管效应的影响,东南沿海及其岛屿是我国风能最佳丰富区,风速 3m/s(有效风速)全年出现累积小时数为 7 000~8 000 h(全年为 8 760 h);风速 6 m/s 有 4 000 h 左右^[10]。综合以上考虑,在沿海地区选择此类风机,可达到办公及家庭使用的目的。

3 结论

本文所设计的风力机设计风速为 10 m/s,虽然绝大多数地区的平均风速都低于这个值,但安装在大楼顶上的风速将远大于地面值,沿海地区的夜间

风力也比较强,因此只要适当配置蓄电池,一天中只要有足够长的时间能让电池充电,即可达到家庭或办公部分用电的要求。

此外本文中所设计的风力机外形独特、美观,体积小,重量轻,可安装在高大建筑物的顶层或景观区域,做为城市半导体照明夜景工程的离网供电系统。

参考文献:

- [1] U K Saha, M JayaRajkumar. On the performance analysis of Savonius with twisted blades[J]. Renewable Energy 31(2006)1776-1788.
- [2] S Eriksson, et al. Evaluation of different turbine concepts for wind power[J]. Renewable Sustainable Energy Rev (2007),doi:10.1016/j.rser.2006.05.017.
- [3] L - C Valdes, B. Ramamonjisoa. Optimised design and dimensioning of low - technology wind pumps [J]. Renewable Energy. 31(2006)1391-1429.
- [4] J. - L. Menet, Laurent - Charles Valdes, Bruno Menart. A comparative calculation of the wind turbines capacities on the basis of the L - criterion[J]. Renewable Energy 22(2001)491-506.
- [5] Nobuyuki Fujisawa. Velocity measurements and numerical calculations of flow fields in and around Savonius rotors[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 59(1996)39-50.
- [6] Tetsuya Wakui, et al. Effect of operating methods of wind turbine generator system on net power extraction under wind velocity fluctuations in fields. Renewable Energy 16(1999)843-843.
- [7] 陈加权,杨新彦. 风力机叶片立体图的设计[J]. 机电工程,2006,(4):37-40.
- [8] 包耳,邵晓荣,刘德庸. 风力机叶片设计的新方法[J]. 机械设计,2005,22(22):24-26.
- [9] 朱瑞兆,谭冠日,王石立. 应用气候学概论[M]. 北京:气象出版社,2005:32-59.

·信息与动态·

国家专利节能设备 蒸汽回收机

广告专利证明:No.985100007 实用新型专利号:96233509.600223657.5

绵阳星恒节能环保有限公司是最早于80年代研发生产节能环保设备的专业厂家,拥有自主知识产权的专利节能设备“蒸汽回收机”已在全国2800余家广泛应用,取得显著的节能效益,这一项专利产品是您可以信赖的新型设备,本专利从未对外转让。如只图价格便宜,采用了侵权仿冒的产品,将在使用中出现了温度不稳定,热缸积水,几个月就无法使用的严重后果。对此,再次提醒纸箱行业的用户请认准“国家专利技术、专业厂家、专业品质”的蒸汽回收机给您带来良好效益。

蒸汽回收机特点:国内外独家以闭路循环回收方式,将高温凝结水和热焓很高的闪蒸直接压进锅炉,加快了热循环,可有效提高用汽设备的热交换率,降低锅炉煤耗和燃烧负荷,节能效率达到25%~30%,回收效率大于90%~95%,此间接加热率更高、更节能,3~5个月收回投资。该机不仅有节能作用,还具有避免锅炉缺水事故的发生,将起一定保护作用,是缺水企业的新型节能、节水设备。尤其是煤价格大幅上升的今天,用回收机节能降耗创效益更为重要、更为显著。

使用行业:油脂、造纸、纸箱包装、化工、建材、棉纺、印染、制药、制革、烟草、啤酒、木材干燥、淀粉、乳品、橡胶、食品、供热、石化、油田、空调。

严正声明:我公司专利产品蒸汽回收机从未转让,按专利法第十一条“发明和实用新型专利”被授予后,除本法另有规定的以外,任何单位或者个人未经专利权人许可,都不得实施其专利,即不得为生产经营目的制造、使用、销售其专利产品。我公司对举报侵权违法者给予重奖。

四川绵阳星恒节能环保有限公司

地址:四川省梓潼县城外北街92号

电话:(0816)8212197,8260288(晚间)

法人代表:吴平(手机013508117088)

中文实名:节能环保设备;蒸汽回收机

邮编:622150

留言传真:(0816)8212219

http://www.myxingheng.com

E-mail:xh@myxingheng.com