

水平轴与垂直轴风力发电机的比较

蒋超奇 严强

(上海麟风风力发电设备有限公司 www.sawt.com.cn, 上海, 200063)

摘要: 本文主要对水平轴风力发电机与垂直轴风力发电机在设计方法、结构等多方面进行了比较, 最终得出垂直轴风力发电机大有可为的结论。

关键词: 风力发电机; 垂直轴; 水平轴; 设计;

1 引言

人类利用风能已有数千年历史, 在蒸汽机发明以前风能曾作为重要的动力, 应用于人类生活的众多方面。风力发电的探索, 则起源于19世纪末的丹麦, 但是直到20世纪70年代以前, 还只有小型充电用风力发电机达到实用阶段。1973年爆发石油危机以后, 美国、西欧等发达国家为寻求替代石油燃料的能源, 投入了大量经费, 动员高科技产业, 利用计算机、空气动力学、结构力学和材料科学等领域的新技术研制风力发电机组, 开创了风能利用的新时代^[1]。

垂直轴风车很早就被应用于人类的生活领域中, 中国最早利用风能的形式就是垂直轴风车^[1]。但是垂直轴风力发电机的发明则要比水平轴的晚一些, 直到20世纪20年代才开始出现^[2](Savonius式风轮——1924年, Darrieus式风轮——1931年)。由于人们普遍认为垂直轴风轮的尖速比不可能大于1, 风能利用率低于水平轴风力发电机^{[1][2]}, 因而导致垂直轴风力发电机长期得不到重视。

随着科技的发展和人类认识水平的不断提高, 人们逐渐认识到垂直轴风轮的尖速比不能大于1仅仅适用于阻力型风轮(Savonius式风轮), 而升力型风轮(Darrieus式风轮)的尖速比甚至可以达到6, 并且其风能利用率也不低于水平轴^{[1][2]}。近年来, 越来越多的机构和个人开始研究垂直轴风力发电机, 并取得了长足的发展^{[2][3][4]}。

本文从设计方法, 结构, 环保等多个方面对水平轴和垂直轴风力发电机进行了比较, 探讨了在诸多方面垂直轴风力发电机相对于水平轴的优点, 最终得出了作为一种具有众多优点的风轮形式, 垂直轴风力发电机将大有作为。

2 水平轴与垂直轴风力发电机的比较

2.1 设计方法

水平轴风力发电机的叶片设计目前普遍采用的是动量—叶素理论, 主要的方法有Glauert法、Wilson法等^{[1][5][6]}。但是由于叶素理论忽略了各叶素之间的流动干扰, 同时在应用叶素理论设计叶片时都忽略了翼型的阻力, 这种简化处理不可避免的造成了结果的不准确性, 文献^[1]指出, 这种简化对叶片外形设计的影响较小, 但是对风轮的风能利用率影响较大。同时, 风轮各叶片之间的干扰也十分强烈, 整个流动非常复杂, 如果仅仅依靠叶素理论是完全没有办法得出准确结果的。

垂直轴风力发电机的叶片设计以前也是按照水平轴的方法, 依靠叶素理论来设计^[1]。由于垂直轴风轮的流动比水平轴更加复杂, 是典型的大分离非定常流动, 不适合用叶素理论进行分析、设计, 这也是垂直轴风力发电机长期得不到发展的一个重要原因。随着计算机技术的不断发展, 计算流体力学(Computational Fluid Dynamics)得到了长足的进步, 从最初的小扰动速势方程, 到欧拉方程, 以及更加复杂的N-S方程^[7], 目前的CFD技术完全能模拟在复杂外形下的复杂流动。对于垂直轴风轮的叶片, 已经可以用CFD方法来设计^[8], 这无疑要比叶素理论精确的多。而水平

轴叶片的设计还没有办法应用CFD方法来设计，这主要是由这两种风轮结构决定的。水平轴的叶片由于每个截面的扭角，弦长以及尖速比都不同，如果要用CFD模拟的话，就必须采用三维模型，这样计算网格至少要 100 万个，整个计算量就会大大增加。直观的说，模拟一个工况，在采用CPU为P4 3.0G的个人电脑上，计算时间大概需要 7—10 天，如果设计一个风轮可能需要几年到十几年时间，这样的代价在工业设计中是很难接受的。而垂直轴就完全不一样（仅限于Darrieus式H型风轮），叶片的每个截面都一样，这样就能简化成二维情况，网格数大大下降，计算量也随之下降，一般模拟一个工况只需要 4 个小时。从设计方法上讲，垂直轴风力发电机要比水平轴的先进的多。

2.2 风能利用率

目前，大型水平轴风力发电机的风能利用率绝大部分是由叶片设计方计算所得，一般在 40% 以上。前面已经提到了，由于设计方法本身的缺陷，这样计算所得的风能利用率的准确性很值得怀疑。当然，风电厂的风力发电机都会根据测得的风速和输出功率绘制风功率曲线，但是此时的风速是风轮后部测风仪测得的风速（见图 1），要小于来流风速^{[9][10]}，这样测下来的风功率曲线偏高，必须进行修正。根据文献^[10]的修正方法修正后，水平轴的风能利用率要降低 30%-50%左右。对于小型水平轴风力发电机的风能利用率，中国空气动力研究与发展中心曾作过相关的风洞实验，实测的利用率在 23%-29%左右^[11]。



图 1 水平轴风力发电机示意图

由于以前一直用叶素理论计算垂直轴风轮的风能利用率，得出了利用率不如水平轴的结论，但是通过笔者CFD模拟结果来看，垂直轴风轮的风能利用率不比水平轴的低，国外也有机构经过实验表明垂直轴风轮的风能利用率在 40%以上^[2]。另外，在实际环境中风向是经常变化的，水平轴风轮的迎风面不可能始终对着风，这就引起了“对风损失”，而垂直轴风轮则不存在这个问题^[1]，因此在考虑了对风损失之后，垂直轴风轮的风能利用率完全有可能超过水平轴风轮。

2.3 起动风速

水平轴风轮的起动性能好已经是个共识，但是根据中国空气动力研究与发展中心对小型水平轴风力发电机所做的风洞实验来看，起动风速一般在 4~5 米/秒之间，最大的居然达到了 5.9 米/秒^[11]，这样的起动性能显然是不能令人满意的。

垂直轴风轮的起动性能差也是目前业内的共识^[2]，特别是对于Darrieus式Φ型风轮（见图 2），完全没有自起动能力，这也是限制垂直轴风力发电机应用的一个原因。但是，对于Darrieus式H型风轮（见图 3）却有相反的结论，根据笔者的研究发现，只要翼型和安装角选择合适，完全能得到相当不错的起动性能，通过对麟风P-200 垂直轴风力发电机的风洞实验来看，这种Darrieus式H型风轮的起动风速只需要 2 米/秒，这无疑要比上述的水平轴风力发电机好的多。



图2 Darrieus 式 Φ 型风轮

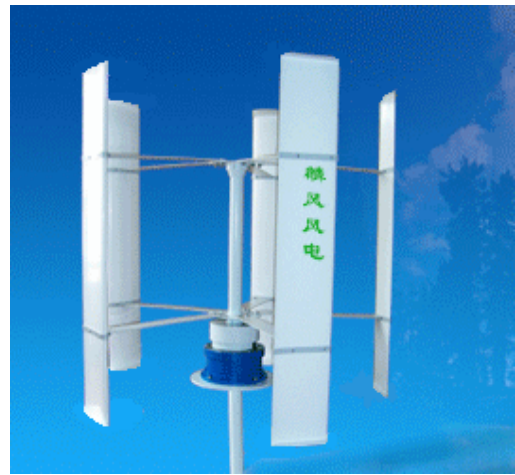


图3 Darrieus 式 H 型风轮

2.4 结构特点

水平轴风力发电机的叶片在旋转一周的过程中，受惯性力和重力的综合作用，惯性力的方向是随时变化的，而重力的方向始终不变，这样叶片所受的就是一个交变载荷，这对于叶片的疲劳强度是非常不利的^{[1][2]}。另外，水平轴的发电机都置于几十米的高空，这给发电机的安装和维护检修带来了很大的不便。

垂直轴风轮的叶片在旋转的过程中的受力情况要比水平轴的好的多，由于惯性力与重力的方向始终不变，所受的是一恒定载荷，因此疲劳寿命要比水平轴的长^[1]。同时，垂直轴的发电机可以放在风轮的下部或是地面，便于安装维护。

2.5 环保问题

虽然风力发电也号称是清洁能源，能起到很好的环保作用，但是随着越来越多大型风电场的建立，一些由风力发电机引发的环保问题也凸显出来。这些问题主要体现在两个方面：一是噪音问题，二是对当地生态环境的影响。

水平轴风轮的尖速比一般在 5~7 左右，在这样的高速下叶片切割气流将产生很大的气动噪音，同时，很多鸟类在这样的高速叶片下也很难幸免^[13]。

垂直轴风轮的尖速比则要比水平轴的小的多，一般在 1.5~2 之间，这样的低转速基本上不产生气动噪音，完全达到了静音的效果。无噪音带来的好处是显而易见的，以前因为噪音问题不能应用风力发电机的场合（如城市公共设施、民宅等），现在可以应用垂直轴风力发电机来解决，因此，垂直轴风力发电机比水平轴有更广阔的应用领域。

低尖速比带来的好处不仅仅是环保上面的优势，对于风机的整体性能也是非常有利的。从空气动力学上分析，物体速度越快，外形对流场的影响越大。当风力发电机在户外运行时，叶片上不可避免的受到污染，这种污染实际上是改变了叶片的外形。对于水平轴风轮来讲，即使这种外形变化很微小，也很大的降低了风轮的风能利用率^[9]，而垂直轴风轮因为转速低，所以对外形的改变没那么敏感，这种叶片的污染基本上对风轮的气动性能没有影响。

3 结 论

本文从多方面对水平轴和垂直轴风力发电机进行了比较,从比较中可以看出,相对于传统的水平轴风力发电机,垂直轴风力发电机具有设计方法先进、风能利用率高、起动风速低、无噪音等众多优点,具有更加广阔的市场应用前景,相信在不久的将来,垂直轴风力发电机将大有作为。

参 考 文 献

1. 熊礼俭. 风力发电新技术与发电工程设计、运行、维护及标准规范实用手册. 中国科技文化出版社.
2. 张国铭. 论兆瓦级垂直轴风力发电机的合理性. 风力发电, 2001年第4期.
3. 张富昌. 几种新式立轴风力机设计方案. 新能源, 1998年第9期.
4. 赵继华. 旋流式立轴风力机运行原理及特性. 可再生能源, 2002年第4期.
5. 邓兴勇, 陈云程. 风力发电机叶轮的数值优化设计法. 工程热物理学报, 1999年第1期.
6. 张维智, 李军. 风力机叶片优化设计的探讨. 风力发电, 2003年第2期.
7. 桑为民. 非结构网格多段翼型绕流 Euler 及 N-S 方程数值模拟. 西北工业大学硕士学位论文, 1999.
8. Zhichao Jiang, Numerical Investigation on the Flow and Power Generation of Straight Darrieus Wind Turbine in Low Reynolds Number Turbulent Flow. Thesis submitted for the Degree of Engineering, Hiroshima University, Japan, 2005.
9. 夏晖, 王蒙. 影响风力发电机组功率曲线变化的主要因素. 新疆电力, 2005年第3期.
10. 张秋生. 风力发电机组功率曲线考核初探. 风力发电, 2004年第3期.
11. 张维智, 李方洲. 小型水平轴风力发电机风洞实验. 风力发电, 2004年第1期.
12. 张壬龙. 对我国自行研制大型风力发电机组的一些看法. 水利电力施工机械, 1995, 第17卷第3期.
13. 杨光碧. 风力发电机的屠杀. 环境, 2004年第12期.