

500W 风力发电机尾舵斜置保护机构的研制

张维智

(气动中心低速所 四川 安县 622662)

摘 要 介绍小型水平轴上风式 500W 风力发电机采用尾舵斜置保护和整机功率输出设计和试验.试验结果表明:当来流风速大于设计风速时,尾舵倾斜,风轮开始偏转,达到了采用尾舵斜置来保护风轮的目的.

关键词 风力发电 系统保护 风洞试验

中图分类号 TK83

风能是一种取之不尽,用之不竭,无污染,可再生的能源.世界各国都非常重视它的发展和利用工作.当石油发生危机后,人们纷纷把能源转向新开发的新能源研究,其中风能占有较大的比例.目前微小型(指 100W、200W)风力发电机已进入千家万户供照明及小型电器用,随着牧民家用电器和小型生产电器(如剪羊毛电剪)的增加,它已满足不了牧民用电需要,功率稍大一些的(如 500W)风力发电机得以发展起来.

气动中心近几年来成功地研制了 100W、250W 的风力发电机.但是风力发电机的对风保护都是采用较为复杂的变桨距来改变桨盘叶片的桨距角,以便达到侧偏风轮保护风力发电机.变桨距保护可以控制风轮在大风或空载时不超速运转,还可以将转速限制在某一转速范围内.但是通过风洞试验和野外试验证明,变桨距保护在大风情况下不会自动停机,还仍然在限制的转速范围继续运转.由于风速大,风力机受到推力也很大,存在着把风力机推翻的可能性.另外,变桨距保护结构相当复杂,导致风力机造价提高.利用尾舵斜置侧偏风轮保护的优点是当风力大时,风轮侧偏或上仰,使风轮的旋转平面不正对风,减小了迎风面积使其吸收功率下降.当风轮旋转面被侧偏到与风向平行时,风轮会自动停止,从而达到保护风力机的目的.这种形式结构简单,造价低,国外有些小型风力发电机和风力提水基本上采用这种形式^[1,2].

1 500W 风力机总体设计

1.1 设计指标

设计风速 $V = 8\text{m/s}$;风轮利用系数 $C_p = 0.4$;风轮直径 $D = 2.8\text{m}$;电机效率 $\eta = 0.65$;功率 $P = 500\text{W}$;工作风速 $V = 4 \sim 8\text{m/s}$;使用环境 $t = -15 \sim 40^\circ\text{C}$;风力机类型为水平轴上风式;保护方式为风轮侧偏;使用寿命为 ≥ 10 年;启动风速 $\leq 3.5\text{m/s}$;价格为 2000 ~ 2500 元.

1.2 设计思想

(1) 该风力机采用水平轴上风式以便有较高风能利用效率,并且水平轴的技术也比较成熟.功

率选择 500W.

(2) 该风力机采用固定桨距的形式. 主要原因在于 500W 的励磁电机的启动力矩小于永磁电机的启动力矩的 3~4 倍, 这样确保风力机能适应在大多数地区使用. 并且使风轮具有较好的气动特性, 同时风力机能够在较低的风速下发电, 既减小整机的整体重量又降低风力机的成本.

(3) 风轮采用动量—元素理论进行最佳化设计具有较好的气动外形. 风轮为二叶片结构, 目的是尽量减少风力机的成本. 缺点是输出功率有波动现象, 可能对整机的结束带来一些偶合振动. 如果叶片加工较为光滑和确保叶片翼型理论设计的数据准确性及叶片质量分布均称, 可以减少整机的结构振动.

(4) 风力机的保护系统. 该风力机采用斜置铰链尾舵侧偏风轮保护, 其基本原理是当风速增大时, 风轮侧偏, 使风轮的旋转平面背对风向, 减少风轮的迎风面积, 从而使风轮的吸收功率下降. 当风轮的迎风面被侧偏到与风向一致时(或平行), 风轮会自动停止转动, 达到保护整机的目的.

2 风力机总体参数计算和确定

当风轮侧偏时, 主要靠舵面上翘产生的气动力和舵面重量来抵消风轮侧偏引起的不平衡力矩. 要设计这种既简单又方便的装置, 在设计和计算过程中改变和调整各种安装位置和参数、舵面面积、重量以及偏心距等, 用计算机进行多次互相匹配而得到合理的参数, 以便达到最佳.

2.1 力的分析

当采用侧偏风轮保护, 风轮侧向角为 δ 时, 作用在风轮上的轴向推力:

$$F_n = 1/2 C_t \rho (V \cdot \cos \delta)^2 A_r \quad (1)$$

式中的 C_t 为无量纲推力系数, 一般该值随风轮叶尖速比的变化而变化. 但当 $\lambda_0 < \lambda < \lambda_{\max}$ 时, 可近似地认为 $C_t \approx 8/9$. 同理可把风轮上的侧向力表示为:

$$F_{rs} = 1/2 C_f \rho \cdot (V \cdot \sin \delta)^2 A_{rs} \quad (2)$$

式中的 A_r 为扫掠面积, A_{rs} 为叶片的投影面积, C_f 基本上与 C_t 相等也可近似取 $C_f = C_t \approx 8/9$.

同理当风轮调角为 δ_0 时(δ_0 为风轮运转平面与尾翼平面构成的夹角), 当尾翼面上翘 γ 角相互平衡时, 作用在尾翼上的空气动力可以写成为:

$$F_v = 1/2 \rho \cdot C_N \cdot (\delta_0 + \gamma) \cdot (1 - \alpha_1)^2 \cdot V^2 \cdot A_r \cdot \cos \gamma \quad (3)$$

式中的 C_N 为尾翼的法向力系数, 一般当攻角在 $0 < \alpha < 45^\circ$ 范围内可看成 α 的线性函数即:

$$C_N = 2.6\alpha \quad (\alpha \text{ 用弧度作单位})$$

另外, α_1 为轴向诱导因子, 当尾翼臂斜直 45° 时, 尾舵不在风轮的尾流之中, 此时增加尾翼的效能. 且 $\alpha_1 = 0$, 则(3)式为:

$$F_v = 2.6\alpha \cdot (1/2 \rho V^2) \cdot A_v \cdot (\delta_0 + \delta) \cdot \cos \gamma \quad (4)$$

由于尾翼有重量, 且尾臂和尾翼的重量产生一个垂直向下的重力 G , 这个力作用在尾翼尾臂的重心上, 距尾翼铰链轴有距离, 则力为:

$$F_{vg} = G \cdot \sin \gamma \quad (5)$$

式中 γ 为舵面的上翘角.

2.2 力矩的分析

在风力机稳定运行的情况下, 作用在风轮尾翼舵面上的气动力以及尾翼重量产生的力矩在任何风速中都应取得平衡.

当尾翼在与风向平行, 同时风轮上的推力增加, 由于偏心距的作用使得风轮偏离方向, 迫使尾翼面绕铰链轴旋转, 将尾翼面升起, 基本上存在着两种平衡.

(1) 对风轮 y 轴, 垂直于 xoz 轴的平面. 由风轮产生的气动力对 y 轴引起的力矩应该平衡于尾舵面产生的气动力对 y 轴的力矩.

(2) 对于尾舵面的 z 转轴则平衡方程为: 由尾舵面产生的气动力对 z 轴力矩应该平衡于尾舵面重力对 z 轴的力矩.

由上述条件(1) 可得到如下平衡方程式:

$$C_l 1/2 \rho V^2 \cdot \cos^2 \delta_0 \cdot \cos^2 \delta \pi R^2 \cdot E_1 + C_f 1/2 \rho V^2 \cdot \cos^2 \delta_0 \cdot \sin^2 \delta \cdot A_n \cdot E_2 = C_N \cdot (\delta_0 + \delta) \cdot (1/2 \rho V^2) \cdot \cos \gamma \cdot W \cdot L \quad (6)$$

由条件(2) 产生的平衡力矩方程式为:

$$C_N \cdot (\delta_0 + \delta) \cdot (1/2 V^2) \cdot W \cdot L_a = G \cdot \sin \gamma \cdot R_g \quad (7)$$

式中: E_1 为风轮旋转平面到对风轴线的距离; E_2 为风轮的前伸距离; W 为尾舵面积; L 为尾舵气动力中心到对风轴线的距离; L_a 为气动力中心到尾舵面的转轴的距离.

对两平衡方程式进行求解, 根据计算结果整机设计参数为: $\delta_0 = 15^\circ$; $E_1 = 0.15\text{m}$; $E_2 = 0.18\text{m}$; $W = 0.49\text{m}^2$; $G = 3.5\text{kg}$; $L = 2.2\text{m}$; $R = 1.4\text{m}$; 风轮上仰角取 $5 \sim 8^\circ$. 整机的结构图见图 1.

3 计算结果和试验结果分析

3.1 调向角 δ 和舵面上翘角 γ 的计算结果

风轮的调向角 δ 和舵面上翘角 γ 以及整机功率随风速变化曲线详见图 2、图 3 以及表 1. 从计算结果得出: 当风速进一步增加 $V = 20\text{m/s}$ 时, 风轮偏侧 80.9° , 尾舵上翘 83.3° , 此时整机功率输出 $P = 31\text{W}$. 基本达到了设计指标.

表 1 500W 风力机输出功率、调向角、上翘角数据表

$V(\text{m/s})$	4	5	6	7	8	9	10	11
$\delta(\text{度})$	0.4	0	0.43	1.14	2.6	6.3	29.0	45.8
$\gamma(\text{度})$	5.6	8.2	12.0	17.2	23.8	33.8	58.1	67.6
$P(\text{W})$	63	123.1	212.6	337.5	502.6	704.8	658.3	443.9

$V(\text{m/s})$	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\delta(\text{度})$	52.3	59.1	64.3	68.2	71.6	74.4	76.7	78.8	80.9
$\gamma(\text{度})$	70.8	74.2	76.4	78.2	79.7	80.8	81.8	82.6	83.3
$P(\text{W})$	390.4	292.5	221.5	169.2	127.4	94.7	70.3	49.4	31.04

3.2 风力机的风洞试验

为了验证计算结果, 进行了风洞试验研究. 试验是在中国空气动力研究与发展中心低速研究所的 $8\text{m} \times 6\text{m}$ 风洞的第一实验段中进行的. 第一实验段尺寸为 $12\text{m} \times 16\text{m} \times 25\text{m}$, 面积为 189m^2 . 空风洞最大风速 $V = 25\text{m/s}$, 试验风速 $V = 12\text{m/s}$. 500W 风力机在风洞中的试验安装详见图 3, 试验结果见图 4.

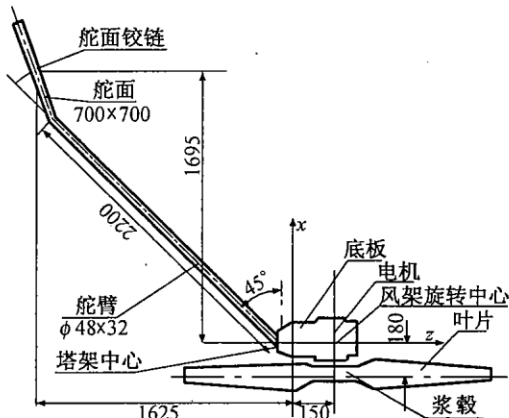


图 1 500W 风力机整机示意图

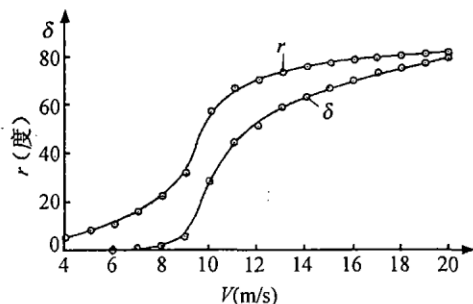
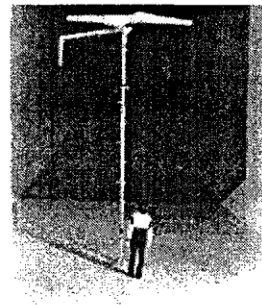
图 2 计算的 δ 角和 γ 角随风速度变化曲线

图 3 500W 风力机在风洞中安装

从图 4 看出, 500W 风力机的输出功率在风速 $V = 9\text{m/s}$ 时, $P = 700\text{W}$; 当风速 $V = 10\text{m/s}$ 时, 输出功率 P 开始下降; 当风速进一步增大时, 输出功率 P 随风速增加而下降, 最后达到了利用尾舵斜置保护风力机机构的目的。

从试验中得到 $V_{\text{启动}} = 3.4\text{m/s}$, 风能利用系数 $C_p = 0.422$; 当风速为 $V = 12\text{m/s}$ 时, 风轮的调向角 $\delta = 49^\circ$, 舵面上翘角 $\gamma = 68^\circ$. 设计好的 500W 风力机安装在风场中, 详见图 5。

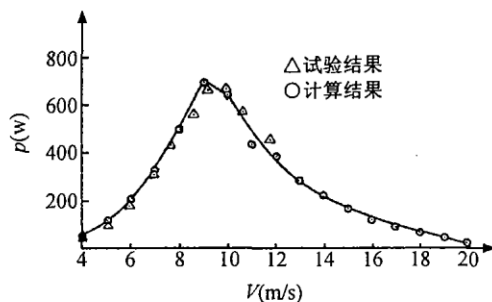
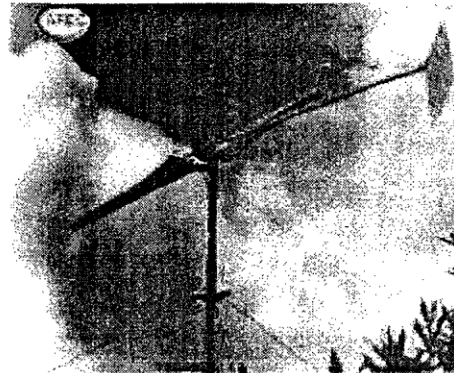
图 4 整机输出功率 $P \sim V$ 风速曲线

图 5 500W 风力机安装在风场中

4 结 论

(1) 小型的水平轴风力机, 采用尾舵斜置保护能够较好地控制整机功率输出, 达到了保护整机的目的. 该方法设计简单、成本低, 有利于风能的开发和利用。

(2) 当风力机的电机采用励磁电机时, 风力机在 $V_{\text{启动}} = 3.4\text{m/s}$ 时开始启动, 这增大了风能可利用的区域, 对风力机的推广有一定的实际意义。

(3) 风轮的调向角 δ 和舵面上翘角 γ 的试验结果在量值上与计算结果的量值存在一定的差异. 主要是在计算中没有考虑到空气的粘性作用和气流的分离对翼型空气动力特性的影响. 但是, 调向角 δ 和舵面上翘角 γ 的下降趋势是一致的。

参 考 文 献

- 1 Gouriéris D Le. Wind Power Plants: Theory and Design. France: PERGAMON PRESS, 1982
- 2 Wilson R E, Lissaman P B S, Walker S N. Aerodynamic Performance of Wind Turbines Oregon State University. USA: NTIS, 1976

(下转第 19 页)

(上接第8页)

Development of tail surface sloping protective mechanism for 500W wind-driven generator

Zhang Weizhi

(Low Speed Institute, China Aerodynamics Research and Development Center, Anxian 622662)

Abstract This paper introduces a defense control system for up-wind 500W horizontal axis wind turbine using tail surface sloping at wind overrate design velocity. The experimental results show that the comparisons between the calculation and the experiment are in good agreement for the defend system using tail surface sloping. When free flow speed $V_{\infty} > V_{rat}$, the tail surface is raised up and the wind turbine is turned aside from velocity and power is decreased.

Key words wind power defense system wind tunnel testing