维普资讯 http://www.cqvip.com

第26卷 第2期 沈阳工业大学学报 Vol.26 No.2
2004年4月 Journal of Shenyang University of Technology Apr. 2004

文章编号：1000-1646(2004)02-0146-03

兆瓦级风电机组变桨距机构分析

李 强，姚兴佳，陈 雷
（沈阳工业大学 风能技术研究所，辽宁 沈阳 110023）

摘 要：以国产化1 MW风力发电机组为研究对象，利用叶素理论，对变桨距机构进行了分析并对驱动力进行了计算，为风力发电机组的部件选择及进一步分析计算提供参数，为国产化风机的设计提供一定的参考.

关 键 词：风电机组；变桨距；驱动力
中图分类号：TM 614 **文献标识码**：A

联网运行的风力发电机组问世至今已近30年.但由于设计人员对风力机的运行工况认识不足，所设计的变距系统，其可靠性远不能满足风力机正常运行的要求，使进入商品化的风力机放弃了变距机构而采用了定桨距结构.近年来，设计人员对风力机的运行工况和各种受力状态已有了深入的了解，不再满足于仅仅提高风力机运行的可靠性，而开始追求高的风能利用系数和不断优化的输出功率曲线，同时采用变距机构的风力机可使叶轮重量减轻，并使整机的受力状况大为改善，这对大型风力机的总体设计十分有利.本文着重分析了1 MW风力机组中的变桨距机构.

1 变桨距机构分析

在变桨距机构分析中，驱动力是一个非常重要的参数.只有在它确定的情况下，才能进行变桨距机构中各个部件的选择，同时为下一步的计算提供依据.

风力发电机组在工作状态下，作用于桨叶变距轴(桨叶大梁)上的阻力矩由如下几部分组成.

1.1 桨叶本身质量离心力产生的惯性力矩 Tc

设桨叶轴均通过各界面中心，并位于风轮旋转平面内.设截面上 B 点的质量为 dm，另设，x'，y' 坐标系经过同一原点，但相对原点坐标系转过 φ 角，cx 平面为风轮旋转平面，假定截面惯性主轴之一与截面弦线 cx' 重合，如图1所示.

由此可得到质量为 dm 的B点的离心力为

$$dp_c = \omega^2 r' dm$$

由图1可以得到如下等式

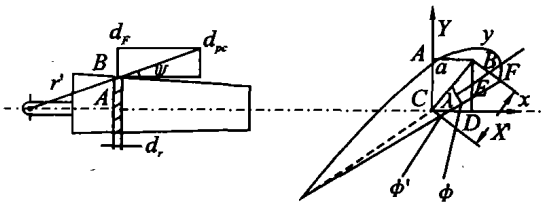

图1 桨叶旋转时所受的离心力

Fig.1 The centrifugal of the circumvolving blade

$$dT_c = dF \cdot AC = dp_c \cdot \sin\Psi \cdot s \cdot \sin\varphi' = \omega^2 \cdot a \cdot \cos\varphi' \cdot a \cdot \sin\varphi' \cdot dm \quad (1)$$

通过图1的几何关系得到 B 点坐标

$$y = a \cdot \sin\varphi' \qquad x = a \cdot \cos\varphi' \quad (2)$$

将 B 点的坐标带入式(1)可以得到

$$dT_c = \omega^2 \cdot x \cdot y \cdot dm \quad (3)$$

$$dm = \rho \cdot ds \cdot dr \quad (4)$$

$$dT_c = \omega^2 \cdot x \cdot y \cdot \rho \cdot ds \cdot dr \quad (5)$$

式中 ρ 为桨叶材料的密度，kg/m^3；ds 为小块面积，m^2.

但是 $x \cdot y \cdot ds = dJ_{xy}$，$J_{xy} = \int_s xy ds$，所以，$dJ_{xy}$ 为 ds 小块面积对垂直于 xy 平面轴线的惯性积.将式(3)、(4)积分可得

$$T_c = \rho \cdot \omega^2 \int_0^R dJ_{xy} \cdot dr \quad (6)$$

将式(6)中原坐标系转换为 x'，y' 坐标系为

$$dJ_{xy} = x \cdot y \cdot ds = (x'\cos\varphi - y'\sin\varphi)(x'\sin\varphi + y'\cos\varphi)ds \quad (7)$$

又按照假定，$x'y'$ 轴为主惯性轴，所以，$x'y'ds = 0$(这是根据材料力学中：图形对主惯性轴的惯性积为零).因此

收稿日期：2003-03-25
作者简介：李强(1979-)，男，山东泰安人，硕士生.

维普资讯 http://www.cqvip.com

$$dJ_{xy} = \frac{1}{2}\sin 2\varphi(x'^2 ds - y'^2 ds) \quad (8)$$

又因为

$$\int_s x'^2 ds = J_{max}, \int_s Y'^2 ds = J_{min} \quad (9)$$

所以得出

$$dJ_{xy} = \frac{1}{2}\sin 2\ \varphi(J_{max} - J_{min}) \quad (10)$$

则由质量的离心力产生的力矩为

$$T_c = \frac{\rho\omega^2}{2}\int_0^R (J_{max} - J_{min})\sin 2\varphi \cdot dr \quad (11)$$

对桨叶的计算必须计算整个桨叶由离心力引起的力矩,所以上式的积分的下限本应为0,但考虑根部为圆柱形及轮廓的存在,所以应从 r_0 算起.

现用近似公式计算 J_{max}, J_{min}

$$J_{max} = 0.0446\left\{1 - \left(1 - \frac{0.008}{b}\right)^4\left(1 - \frac{0.008}{\bar{c}b}\right)\right\}\bar{b}^4 \cdot \bar{c} \cdot D^4$$

$$J_{min} = 0.0464\left\{1 - \left(1 - \frac{0.008}{b}\right)^4\left(1 - \frac{0.008}{cb}\right)\right\}\bar{b}^4 \cdot \bar{c}^3 \cdot D^4 \quad (12)$$

式中　$\bar{b} = \frac{b}{D}, \bar{c} = \frac{c}{b}$, b 为桨叶截面宽度;c 为桨叶厚度;D 为风轮回转直径.

为便于数值计算,将公式改写为

$$T_c = \frac{\rho\omega^2}{2}\sum_{r=0}^{R}\{(J_{max} - J_{min})\sin 2\varphi \cdot \Delta r\} \quad (13)$$

玻璃钢桨叶材料密度 $\rho = 1\ 700\ kg/m^3$;风轮的计算角速度,$\omega = \frac{\pi n'}{30}\ s^{-1}$;风轮的计算速度,$n' = 3\ n$;$n$ 为风轮额定转速 $n = 18.8\ r/min$

在计算中采用风轮的转速为 $n' = 3\ n$,这样是为了保证能可靠地进行桨叶的调整.因此可以得到

$$n' = 3n = 3 \times 18.8 = 56.4\ r/min$$

$$\omega = \frac{\pi n'}{30} = \frac{\pi \times 56.4}{30} = 5.906\ 1/s$$

$$\Delta r = 0.775\ m$$

$$\frac{\rho\omega^2\Delta r}{2} = \frac{1\ 700 \times 5.9^2 \times 0.775}{2} = 22\ 979.26$$

编制 Fortran 语言程序,得出运算结果

$$T_c = 2\ 087.712\ Nm$$

1.2　空气动力作用产生的气动力矩

空气动力作用而产生的气动力矩 T_Z 已由航天科技集团运载火箭技术研究院万电公司得出计算结果.但其方向与 T_c 相反,是使桨叶安装角增大的方向,且与 T_c 相比其数值也较小,故为了安全起见,可以不考虑它.

1.3　桨叶重心偏离桨叶变距轴产生重力矩

设重力矩 $T_m = 0$,即桨叶轴均通过各截面重心,并位于风轮旋转平面内.

1.4　弹性变形引起的力矩

转动惯量 J 是在桨叶静止时计算得到的.桨叶在运行时,存在拍动方向和弦向的变形,变形的大小,取决于桨叶在对应方向上的刚度.J 与这两个变形量的合成变形量的平方成正比.

因桨叶变形而产生影响变距的力矩称为弹性力矩 T_e.故本例认为桨叶不变形,$T_e = 0$.

1.5　由变距机构各摩擦副而产生的摩擦阻力矩

承桨叶轴的轴承是一个回转支承轴承,其效率计为0.99,而其它机构的摩擦力矩 T_f 忽略不计.

故使桨叶绕桨叶轴转动所需的顺桨力矩为

$T_1 = T_c/0.99 = 2\ 108.8\ Nm$

也就是说,在最恶劣情况下,使桨叶顺桨停机时,需作用于每支桨叶轴上的驱动力矩为 $T_1 = 2\ 108.8\ Nm$

共三支桨叶,故

$T = 3 \times T_1 = 6\ 326.4\ Nm$

已知驱动桨叶的曲柄长 $l = 431.867\ mm$,曲柄最大角度 $\theta = 46°$,

故变距机构驱动力为

$P = T/(0.431\ 867 \times \cos 46°) =$
$6\ 326.4/0.3 = 21\ 088\ N$

再经过计算分析,变桨距机构参数选择如下:

液压缸正常工作压力:12 MPa

液压缸最大拉力:50 kN

液压缸行程:660 mm

类型:全翼展 -2°~92°变距

变距轴承:4点接触球轴承

传动装置:液压

联动装置:同步盘、三角架和双臂曲柄

变距速度:2.5(°)/s

2　结　论

国产化1 MW风电机组是迄今为止国内自行设计、开发的单机容量最大的国产化风电机组.本文对兆瓦级风电机组变桨距机构进行的分析计算为国产化大型风力机的设计提供了有益的参考.

维普资讯 http://www.cqvip.com

参考文献:

[1] 陈云程,陈孝耀,朱成明.风力机设计与应用[M].上海:上海科学技术出版社,1990.
(Chen Y C, Chen X Y, Zhu C M. Design and application of wind turbine[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1990.)

[2] D·勒古里雷斯.风力机的理论与设计[M].施鹏飞译.北京:机械工业出版社,1987.
(Legleis D. Design and theory of wind turbine [M]. Beijing: China Machine Press. 1987.)

[3] 亚历山大洛夫.空气螺旋桨[M].王适存译,北京:高等教育出版社,1957.
(Alexanderrolve. Air screw upropeller [M]. Beijing: Higher Education Press, 1957.)

Analysis on pitch-regulated structure of MW wind turbine group

LI Qiang, YAO Xing-jia, CHEN Lei
(Wind Energy Institute, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China)

Abstract: The paper is based on 1MW wind turbine group. According to blade elements theory, the pitch-regulated structure is studied. The study provides parameters for the choice of parts and the analysis. It is also significative for wind turbine design.

Key words: wind turbine; variable pitch; drive force

(上接第136页)

(Probability Theory Group Beijing University Mathematics Department. Orthogonal design[M]. Beijing: Petroleum Chemistry Industry Publishing House, 1976.)

[4] 陈丙森.计算机辅助焊接技术[M].北京:机械工业出版社,1999.
(Chen B S. Computer aided welding technology[M]. Beijing: China Machine Press, 1999.)

Optimizing design of Cr-B-W-V system high temperature-wear-resistant iron-base spray welding alloy

LIU Zheng-jun, LI Yong-kui, CHEN Hong, LIU Chen, FU Ying-qing, MU Li-jun
(School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China)

Abstract: With the welding materials computer aided design system (WMCAD) made by using Visual Basic, the component of Cr-B-W-V system high temperature-wear-resistant iron-base spray welding alloy is optimized through one-time regression orthogonal design. The regression equation between the high temperature-wear-resistance (760 ℃ wear-lost-weight: ΔW) of the spray weld and the components of alloy system is constructed. By computing the extreme value of the target function under the requirement, the optimization of Cr-B-W-V system high temperature-wear-resistant iron-base spray welding alloy is obtained, and the scientific nature and quantitative nature of experiment are achieved.

Key words: one-time regression orthogonal design; regression equation; target function