

农业部畜牧总局

徐定人

国内外,从古至今出现的风力机,按风轮轴与水平面的相对位置,可分成两大类:其一是水平轴风力机,风轮轴与水平面平行;其二是垂直轴风力机,风轮轴与水平面垂直。无论哪一类,在它的研究设计中,主要解决的问题是如何与风的“任性”作斗争。所谓风的“任性”,就是风的脾气。风有两个脾气,一是它的不经常性和分散性,风速时大时小,时有时无,风向时东时西,时南时北,变幻频繁。因此,在风能利用上就有限速、调向、蓄能等一系列问题;第二是风在流经建筑物、树木、山丘等障碍物时,会形成不规则的涡流,而减低其原有的速度,使它的能量急剧下降。因此,风力机要有一定高度的塔架;同时,安装场地也要有所选择,不是什么地方都能安装的。

为了使设计的风力机具有良好的动力性、经济性和可靠性,必须综合各种因素,抓住主要矛盾,与风的“任性”作有效的斗争。下面讨论一下风力机研究中经常遇到的几个问题。

风力机限速方式的选择

风力机的功率变化与风速的立方成正比,

$$\text{而 } N = \frac{\xi D^2 V^3}{1530}, \text{ 当风速 } V \text{ 增加到两倍,}$$

则功率 N 将增加到八倍。假若,风速为8米/秒时,风力机的风轮能输出6马力的功率,风速为16米/秒时,则能输出48马力,风速为24米/秒时,将达到162马力。随着风速的增加,

风轮的转速也成直线增加即 $n = \frac{30ZV}{\pi R}$ 。风力机的功率和风轮的转速这样急剧的变化,

不但作业机具不能允许,而且容易使风力机受到破坏。因此,风力机必须有限速机构,才能使风力机的功率和风轮的转速不致超过一定的范围。

目前,限速机构的结构形式多种多样,但归纳起来不外乎风轮偏转、桨叶偏转和空气制动三种。风轮偏转法是一种比较简单的限速方法,当风速超过某一数值时,风轮就绕塔架中心线偏转某一角度,风轮的实际迎风面积缩小,接受风的能力减弱,达到限速的目的。侧翼调整法和偏心距调整法是这种方式的典型结构。桨叶偏转法,是功率较大的风力发电机中一种传统的调整方法,当风速变化时,桨叶在空中绕桨杆的中心线转动,偏侧一个角度,亦达到改变叶片迎风面积的目的。空气制动法是当风速超过某一数值时,加给风轮一个转动阻力,限制风轮超速,如制动翼调节法,旋转叶尖调节法等都属于这个范畴。

风轮偏转法虽然结构简单,但由于科里奥利加速度形成的惯性力的影响,容易使风力机产生剧烈的振动。

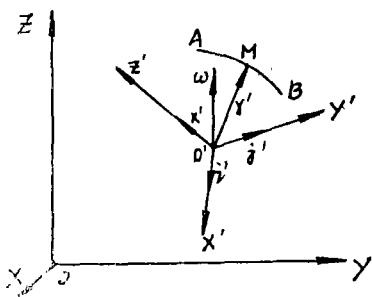


图 1

ω ——风轮绕塔架中心线偏转的角速度

v_r ——M点的相对速度, $v_r = \frac{30nR}{\pi}$, n 为风轮的转速, R 为M点至风轮中心的距离

ω_k 的方向与矢积 $\omega \times V_r$ 的方向一致, 这个方向决定如下: 把 ω 移到点M(图2), 通过这个点作包含 ω 与 V_r 的平面, ω_k 的方向垂直此平面, 而其指向应该如此决定: 从 ω_k 的末端看时, ω 按反时针转过角 Q 与 V_r 重合

由科里奥利加速度 ω_k 产生的惯性力为 F :

$$F = m\omega_k = 2m\omega V_r \sin Q = 2mu \frac{30nR}{\pi} \sin Q = \frac{60m\omega nR \sin Q}{\pi}$$

m 为M点的质量, ω 的方向和大小随风向和风速而变化, n 的大小随风速而变化。因此, 调向时, 惯性力 F 的方向和大小也是变化的, 它加在风力机上引起振动, 风使转速 n 越高, 则惯性力 F 越大, 振动越剧烈, 成为引起风力机破坏的重要原因。因此, 高速风力机的设计中, 限速机构不宜选择这种方式。实践证明, 凡选取了这种限速方式的风力机都没有得到满意的效果。但是, 对于低速风力机是完全可用的。目前, 新西兰、澳大利亚的低速风力机普遍采用这种方式。

对于水平轴风力机, 风轮迎风(调向)时, 也同样产生科里奥利加速度, 为了减少惯性力的冲击, 风轮的调向不宜过灵, 接近风力机开始工作风向时, 风轮能调向即可。对于垂直轴风力机, 不存在调向的问题, 避免了科里奥利加速度的影响, 各部件强度提高 造价降低, 具有广阔的发展前途。

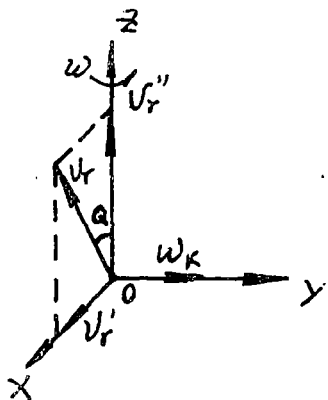


图 2

更正: 第3期第7页
倒数第3行“今年”
应改为“1978年”

关于风力机的合理配套问题

风力机作业出力不够时，往往责怪风轮性能不佳，风能利用系数不高；实际上，这是不全面的，风力机的出力不仅取决于风轮机械特性的好坏，而且与工作机具，如发电机、水泵等的工作特性有密切关系，具有良好的风轮机械特性的风力机，如果作业机具不配套，仍然不能充分发挥它的作用，如某地试制的FD—4型风力发电装置，由于没有采用原配套发电机，六级风时本应发电2000瓦，而实际上只有300瓦，出力只有原来的15%。

设计风力发电机时，必须使风轮的机械特性和发电机的输入特性吻合(图3)

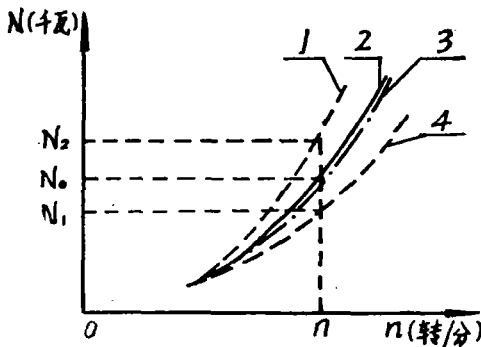


图 3

1. 4. 不合理的发电机输入特性 2. 风轮的机械特性 $N_{机} = f(n)$
3. 发电机的输入特性 $N_{\lambda} = f(n)$

风轮的机械特性是风轮在不同风速下的最大输出功率 N 与转速 n 的函数，如果发电机的输入特性在上方远离风轮的机械特性，风轮的负荷过大 ($N_2 > N_0$)，风轮达不到最佳工作转速，出力降低。反之，如果发电机的输入特性在下方远离风轮的机械特性 ($N_1 < N_0$)，风轮转速上升，超过最佳工作转速，出力也要降低。因此，当选用已有的发电机时，必须认真进行试验，选用与风轮机械特性当近的发电机。

设计风力提水机时，也同样要考虑工作机具的合理配套问题。现以拉杆泵为例说明合理配套的原则。

图4的曲线部份表示当风速分别为 $V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8$ 时风轮的功率与转速的函数关系，直线部份表示拉杆泵在 I、II、III 三种状况下的工作特性，即拉杆泵所需要的功率 N 与活塞往复次数 n 的函数关系 ($N = \frac{0.785d^2 H n 60 h}{75 \times \eta \times 360} = \frac{0.785d^2 H n h}{450 \eta}$)，

其中， η 为拉杆泵的总效率， h 为拉杆泵的行程， d 为拉杆泵缸筒的直径， n 为活塞的往复次数， H 所提水的扬程)，当提水的扬程和拉杆泵的结构参数选定后，拉杆泵所需要的功率与活塞的往复次数成正比，与风轮的机械特性变化规律是不一样的，要求它们吻合是不可能的。所以，必须求出合理的工作状态，使风力提水机在一年内或要求供水的期间内的提水量达到最大。合理的工作状态一般根据年平均风速选

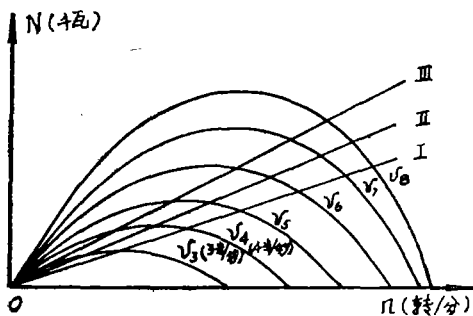


图 4

的工作状态一般根据年平均风速选

取，使风力提水机在风速为年平均风速时不但能启动，而且能发挥最大的效率。如当年平均风速为4米/秒时，拉杆泵在状态Ⅰ下工作比较好，选用状态Ⅱ不利于低风速时风力提水机工作能力的发挥，选用状态Ⅰ不利于高速风时风力提水机工作能力的发挥，下表是18片桨叶的风力提水机在上述三种状态下的风能利用系数

| 风速（米/秒） | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|------------------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 工 作 状 态 | Ⅰ | 0.33 | 0.235 | 0.165 | 0.135 | 0.087 | 0.07 | |
| | Ⅱ | — | 0.33 | 0.286 | 0.246 | 0.18 | 0.144 | |
| | Ⅲ | | — | 0.33 | 0.316 | 0.256 | 0.218 | |

根据表中可求得该类型的风力提水机在不同工作状态和不同风速下的功率
 $(N = \frac{DV^3\xi}{1536})$ 和相应的提水量 $(Q = \frac{75 \times 360 \times N\eta}{H})$ ，最后根据当地的风速频率求
 出一年或某个时期内风力提水机的生产能力：

$$Q = T_1Q_1 + T_2Q_2 + T_3Q_3 + + T_nQ_n$$

T_1, T_2, T_3,T_n 为各种风速在一年或某个时期内吹刮的时间的和。
 配套良好的风力提水机，它的工作能力应该最大。

关于风力机的塔架高度

在同一地点，如果风力机的塔架越高，则作用在风轮上的风的速度就越大，风力机输出的功率也就越高。它们之间的关系可由下列公式确定：

$$U = U_0(\frac{h}{h_0})^{\frac{1}{5}}$$

- 其中： h_0 ——原风力机风轮中心至地平面的高度(米)
- h ——风力机提高后，风轮中心至地平面的高度(米)
- U_0 ——风力机高度为 h_0 时作用在风轮中心的风速(米/秒)

$$U \text{——风力机高度为} h \text{时作用在风轮中心的风速(米/秒)} N = N_0(\frac{h}{h_0})^{\frac{3}{5}}$$

- 其中： N_0 ——风力机高度为 h_0 时，风力机输出的功率
- N ——风力机高度为 h 时，风力机输出的功率

由上式可知，风速与高度比 $(\frac{h}{h_0})$ 的 $\frac{1}{5}$ 次方式E比，而功率与高度比的 $\frac{3}{5}$ 次方成正比，如果塔架高度增加一倍，风速增加约10%，功率增加约50%，但是塔架越高，钢材消耗、工艺要求和造价也越高，安装、维修也不方便。
 在开阔和高风速地区，过分地提高风力机塔架的高度未增加风轮的出力在经济上是不合理的，尤其是风力提水机，因为当风速超过一定值时，由于受拉杆泵的牵制，提水

量并不能提高。在陡坡、丘陵山区有障碍物和平均风速较低的地区,可视其具体情况适当提高塔架的高度,如果仍采用原塔架,可提高安装基础。这样,不但在经济上是合算的,并且有利于节约钢材。

美国风力机产品综合介绍

美国《风力》杂志第十期发表了截止于1977年秋季的全年风力机系统新产品汇编。汇编扼要介绍了23种不同牌号33种型号的风力机以及为可供选择配套的17种风速仪、9种蓄电池、7种变电器、4种塔架、3种发电机和几种控制开关。现综述如下。

风 力 机

所报导的风力机型号除一种是从法国进口的“爱罗瓦特”(Aerowatt)风力机外,其它都是美国国内产品。风力机的用途主要是发电,其次是汲水。用来汲水的风力机在美国已有近百年的历史,但经过改进为新产品,在汇编里报导的只有五个牌号,各一个型号,基本上保留了传统的多叶风轮,在劲风中折转尾翼的安全机构和经过减速曲拐传动往复泵的结构形式。其中也简单介绍了竖轴曲翼风轮的“萨冯尼”(Savonius)风力机和一种水平曲拐轴双螺旋翼风轮风力机,显然都还没有广泛推广。汇编中所见的其它牌号型号风力机都是风力发电机。这种风力发电机在美国虽也已有几十年的历史,和汲水风力机一样主要用于较分散的美国独户农场中,但汇编反映了近年来已有较大的发展:一是功率提高了,从早期不满1千瓦提高到汇编中报导的WTG系统的200千瓦,风轮直径也相应扩大到80英尺;二是发电机由早期直流发电机发展成为交流发电机。较小功率的风力发电系统经过整流注入蓄电池,在用电时经过变电器变为标准交流电以适应一般电器性能;较大功率的发电系统和电网并联运行;用户所需用的电力当风力发电机不能满足供应或不能供电时,由电网补充或供电,用户用电少于风力发电机所提供的电力时,发电机同时向电网输电。

风力发电机一般包括风轮、传动箱和迎风装置三部分。风轮一般在垂直面内转动,所以传动轴是水平放置的,风翼一般是三片,采用螺旋桨形断面以提高空气动力性能,但也有采用古老的多叶风轮的风翼形式的,每风轮风翼多达36片,均布在风轮内、外轮圈之间,有的个别牌号采用特殊形式,如“品森风轮”(Pison Cycloturbine)采用竖轴三竖翼形式,DAF“戴利司”(Darrieus)则采用竖轴双弓翼形式。风轮一般在风速达到8~10英里/小时开始旋转,达到30~75英里/小时停止旋转,而其强度则各个牌号均称能够耐受100英里/小时的大风。风力发电机的额定输出一般在22英里/小时的风速时测定,但有的牌号也在20、25、26、30英里/小时的风速中测定。安全机构采用三种设计:多数牌号采用在机翼内端安装离心锤,利用其离心力改变机翼螺角的方法;也有不少牌号采用在强风中利用风轮上所受风压使风轮折转的方法;有的图号还采用在风轮中心部份或机翼外端安装阻滞翼(Spoiler)的方法,这些阻滞翼当风速加大时,就改