

太阳热透平式风力发电机——风能、太阳能 联合发电设想方案

新力 魏黎民

【提要】 本文提出一种将立轴风机与太阳能热透平联合使用的发电装置。对解决风能和太阳能不富裕地区的新能源发电问题和风力机的低风速起动问题进行了探讨。还对超速控制同夜间和阴天运行等问题分别进行了论述，同时给出了一些推导公式和图表，以供参考。

关键词：太阳能发电 风力发电 涡轮

目前，为解决僻远地区及流动性居民生活、生产用电问题，开发利用新能源，缓解电力供应紧张状况，国内外都在积极进行风能和太阳能发电装置的研制。其中风能发电技术已处于实际利用阶段，太阳能发电技术也在渐趋成熟。

风力发电机和太阳能发电装置，可分别单独地应用于风力及太阳能资源较富的地区。但对于那些风能和太阳能均不太富裕的缺电地区，如何来利用新能源发电，则需另择新路。

例如：黑龙江省大部分地区，年平均风速在3.5米/秒左右；弱风（<4米/秒）时数占全年时数的70%左右。风力机的起动较困难。即使运行出力也很低。黑龙江省太阳总辐射值为502KJ/cm²在全国为中下水平。太阳能发电经济性不高。单独使用风力机或太阳能发电装置都不能高效地发挥作用。

另外，我国沿海省区虽然年平均风速较高，但冬夏两季却是弱风季，风力机的起动也较困难。如何使风机在低风速下起动仍是一个有待解决的课题。

因此，针对上述地区的客观条件，将风力和太阳能发电装置联合起来使用，各扬其长，互补其短，研制出联合发电装置，解决

这类地区的新能源发电技术问题具有十分现实的意义。

太阳热透平式风力发电机(简称SWT)，就是为解决太阳能和风能欠富地区的新能源发电问题和风力机的低风速起动问题而设想的一种联合发电装置。

一、SWT的结构与工作原理

SWT 由立轴风力机和热风力透平两大

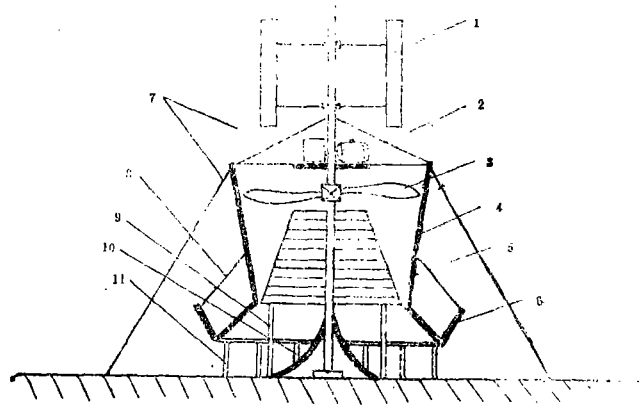


图1 SWT结构示意图

1 H型立轴风机 2 传动调速机构与发电机。 3 热风力透平 4 热风塔 5 集热器 6 反射板(活门) 7 固定索 8 反射板调节索 9 集热器支脚 10 导流板 11 热风塔支撑

部分组成，其结构示意图如图1。

太阳热力透平由透平，热风塔，集热器组成。透平相当于一个垂直安装的水平轴风轮。热风塔采集地面的具有初始动能的空气，经集热器加热后，使其密度降低，向上流动，增加其动能，作用到透平上，产生透平转矩 M_T 和轴向推力。轴向推力可起到减少轴承摩擦的作用。位于装置上部的主风力机可输出转矩 M_w 。这样，整个转子（由立轴风轮和与之同轴的透平组成）在 M_T 和 M_w 的共同作用下绕立轴旋转，经传动机构变向调速后，拖动直流发电机，输出电能。

立轴风机可以选用 ϕ 型、S型或H型。山东莱芜有一种轻型的H型立轴风机，叶片是由钢筋叶型框架包裹合成纤维布制成，该风机可在低于3米/秒的风速下起动。

热风塔是由透光性好的透明材料构成，以便让阳光和反射板的反射光透过风塔，照到里面的集热器。大型风塔上部可用涂黑铁皮，下部可用弹性较好、不易破碎的玻璃。小型风塔可用厚型的透明塑料大棚布。反射板可用铁皮贴锡铂薄膜。

热风塔的物理模型如图2所示：

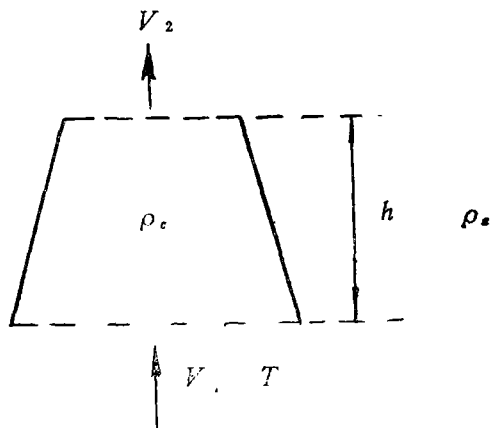


图2 热风塔物理模型图

因风速很低，忽略压缩性影响，假定塔内空气密度 ρ_c 为常数。（ $\rho_c < \rho_a$ ）

根据不可压流体伯努利方程，大气静力

学方程和状态方程可推得热风塔出口风速 V_2 与塔高 h ，温比（热风温度 T_1 与大气温度 T_a 之比） β 的关系式：

$$V_2 = \sqrt{2(\beta-1)gh + V_1^2} \quad (1)$$

式中 $\beta = T_1/T_a$ 。

二、集热器与热风塔设计参数的选取

根据(1)式制出的 U_2 随 β 、 h 变化的曲线如图2、图3、图4所示。

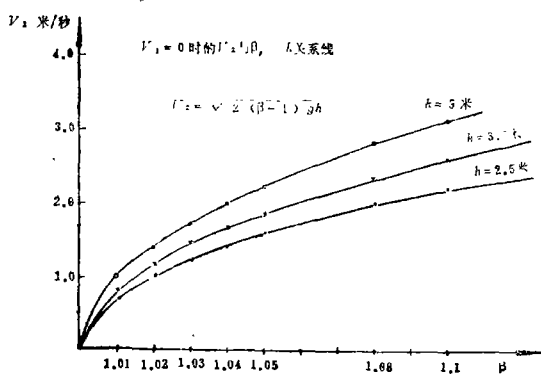


图3 $V_1 = 0$ 时的 U_2 与 β 、 h 关系线

一般来说，绝对静风时数（ $V_1 = 0$ ）很少，地面大都有2米/秒左右的弱风。

$V_1 = 0$ 的物理模型对应于大进口截面且大阻力集热器的情形，这时的热风塔出口动能要由塔内温升和高差来提供，宜选用大 β 值集热器（阻力较大）和高 h 值。若取 $\beta = 1.08$ ， $h = 5$ 米，则 $V_2 = 2.8$ 米/秒。

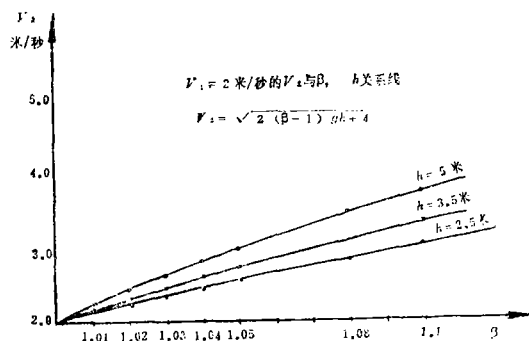


图4 $U_1 = 2$ 米/秒的 U_2 与 β 、 h 关系线

$U_1 = 2$ 米/秒的物理模型对应于小阻力集热器, 导流器式热风塔的情形。见图1。这时的热风塔出口动能主要由空气初始动能组成。宜选用小 β 值集热器(阻力较小)和小 h 值。若取 $\beta = 1.03$, $h = 3.5$ 米, 则 $U_2 = 2.5$ 米/秒。

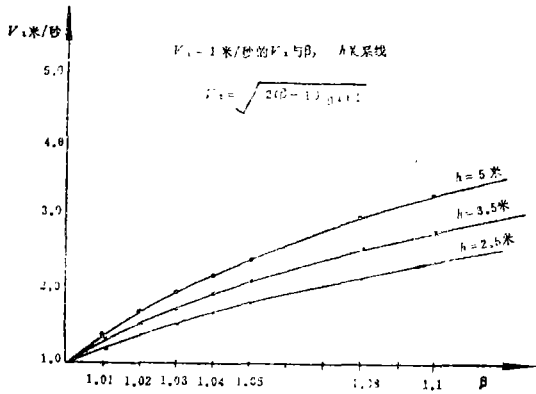


图5 $U_1 = 1$ 米/秒的 U_2 与 β , h 关系线

$U_1 = 1$ 米/秒的物理模型对应于阻力适中的集热器情形。若取 $\beta = 1.05$, $h = 5$ 米, 则 $U_2 = 2.4$ 米/秒。当然, 热风塔的 h 值也可取得更高一些, 以求获得更高的出口速度, 但同时却增加了热风塔的成本, 并给整个装置的维护及抗大风设计带来了困难。

热风塔通流部分的几何设计对出口风速也有一定的影响。据国外文献报导, 渐开形的风边比直筒形的风边可以提高风速。这个结论是根据粘性流体力学理论及实际试验结果得出的。

一般风机的起动风速为4米/秒左右, 小型机在3米/秒左右。根据上述分析而选取的设计参数, 我们可期望SWT于晴天在2~2.5米/秒的低风速时起动和运行。

三、热风透平与风力机的匹配

简化后的转子力矩模型如图6
起动状态可用下式来描述

$$M_w + M_T \geq M_f + M_g \quad (1)$$

当电机选型后, M_g 就确定了。

对没有配透平的风力机有:

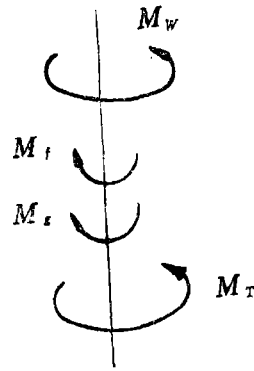


图6 转子力矩模型图

图中: M_f ——总摩擦阻力矩

M_g ——发电机扭矩

$$M_{w0} \geq M_f + M_g \quad (2)$$

因透平有热风塔围护, 故不受水平方向的负载。材料与结构方面的要求不一定很高, 可选用较轻的材料制造, 而且厚度也可适当薄一些。这样转子的重量增加不多, 已经增加的部份还可部分地被透平产生的轴向力抵消。故可假定: $M_{f0} = M_f$

这样(1)式可以改写为:

$$M_w + M_T \geq M_{f0} + M_g \quad (3)$$

由(2)(3)两式可得:

$$M_w + M_T = M_{w0}$$

$$\text{则 } M_T = M_{w0} - M_w = M_{w0} \left(1 - \frac{M_w}{M_{w0}}\right) \quad (4)$$

M_{w0} 及 M_w 可分别由下式确定

$$M = \bar{M} \pi R^3 \cdot \frac{\rho V^2}{2} \quad (5)$$

式中: \bar{M} ——无因次起动转矩(只与风轮本身的特性有关)

R ——风轮半径

由(5)式我们还可得到:

$$\frac{M_w}{M_{w0}} = \left(\frac{V}{V_{w0}}\right)^2 \quad (6)$$

于是有 $M_T = M_{w0} [1 - (V/V_{w0})^2]$ 。

式中, (V/V_{w0}) 为起动风速比。

如果我们将一个起动风速为3米/秒的风力机改装成联合装置, 并期望能在2.5米/秒的风速下起动,

$$\text{则 } M_T = 0.3M_{w0}$$

这样, 我们就确定了联合装置中风力透平应提供原有风机在原起动风速下转矩的三分之一。据这个确定的 M_T , 下一步就可以选用或设计风力透平了。风力透平的设计可参阅有关文献, 该设计类似于叶轮设计中的反问题。

四、集热器设计与分析

SWT 与一般的风力机结构上的区别主要是增加了太阳热风力透平部分。其中的风塔和透平对装置经济性的影响是有限的, 并且不难估算。而集热器性能的优劣及成本高低将对 *SWT* 的可行性和经济性产生重大影响。甚至可以认为能否研制出高性能, 低成本的集热器是关系到本方案成败的技术关键问题。

由 U_2 随 β 的变化曲线可知, U_2 随 β 值的增加而增加, 显然集热器的复杂性, 成本和在技术上的困难也将增加。这主要是由于空气流经集热器进行热交换的时间很短, 而我们又不可能无限地增加集热器的厚度和阻力。集热器严格的经济性论证需要经过实验研究才能做出, 现只能定性地加以预测和分析。

如果我们选用了—个底半径为1.5米, α 角(半锥角的余角, 即集热器受光面与地平线的夹角)等于30度的圆锥形集热器, 其受热总面积为:

$$S = \pi/2 \left(\frac{R}{\cos \alpha} \right) R = 4 \text{ 米}^2$$

我国晴天, 年平均太阳总辐射量约为220千卡/cm²。设光→热→热风→电的总转换

效率为1% (一般平板集热器的热发电装置的理论效率为3—5%), 晴天总时数为全年的一半。则理论上我们可获得的电量值为:

$$P = 4 \times 10^4 \times 220 \times 0.01 / (6 \times 30 \times 24 \times 860) = 0.024 \text{ 千瓦} = 24 \text{ 瓦}$$

这表明 *SWT* 方案是可行的。当然, 这只是一种粗略的估计。

式中: 860千卡/千瓦小时 为热功当量值。

当 $\beta = 1.03$ 时, 若 $T_0 = 293^\circ K$ (夏季平均气温20℃), 则 $T_1 = 302^\circ K$, 温升9℃。

若 $T_0 = 263^\circ K$, (冬季平均气温-10℃) 则有 $T_1 = 271^\circ K$, 温升8℃。

即无论冬季还是夏季, $\beta = 1.03$ 的集热器都可以获得8℃左右的温差, 这在技术上是可能实现的, 而且成本不会太高。图7给出了这类集热器的一种简单设计。

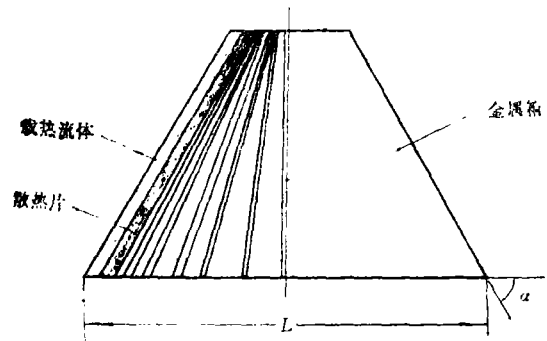


图7 锥环箱向心散热片式集热器

小功率装置可采用这种集热器。

当 $\beta = 1.08$ 时, 可获得22℃左右的温差, 这在技术上也是可能实现的, 但要使用结构较复杂, 成本较高的集热器。图8给出了这类集热器的一种简单设计。

大功率装置宜采用这类集热器。

集热器的表面均要涂黑, 内部注入水或其它流体, 冬季可掺防冻液。集热器底直径 L 由热风塔底直径决定, 倾角 α 由当地纬度决定, 即 α 的选定要使集热器吸热面垂直于当地日光的年平均入射方向。

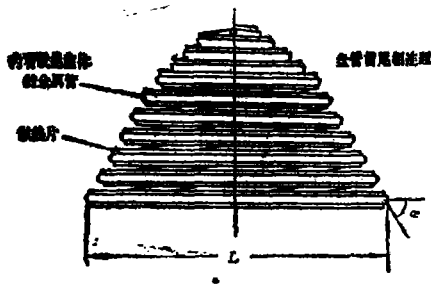


图8 锥台盘管上下散热片式集热器

五、SWT的超速控制与夜间及阴天运行

SWT 的超速控制主要使用所选配的主风力机的原来控制机构。所不同的是还要考虑热风透平的作用。很显然，在晴天情况下，SWT不但可以在低风速下起动，还可在常风速下增加主风力机的出力。但是在大风情况下，其透平的作用却是有害的。

解决方法之一是在热风塔入口处安装活

(上接46页)

五、安全装置

所有螺旋桨式风车（和大多数其它形式的风车）都应安装安全装置，在风力超过50公里/小时时应减慢或停止运行。但在设计中需要用适当的方法收拢螺旋桨，使螺旋桨保持缓慢运行，或关闭风车。这些装置归为两类：

1. 离心力装置：旋转加快时，改变螺旋桨角度，从而使风车稳速运转。

2. 旋转装置：改变螺旋桨角度。如图4所示。

最后，图5表示一种相当理想，但不大正统的风能收集器。我们认为一颗树就是一个现成的风能收集装置。它可经受最恶劣的急风骤雨，从不会被说成是刺眼的目标，但却能从几百平方米的地方收集能源。

动门。大风状态时，关闭活门，不让气流进入，使透平失却其正作用。只起到增加主机转动惯量的反作用，限制主机转速的增加。

解决的方法之二是将透平与主机的联轴器设计为可离合的。在大风情况下，脱离并车状态。另外，离合式联轴器还可给设备维护带来方便。

在夜间和阴天情况下，由于热风塔内外没有温差， β 值等于1，SWT的透平部分不能增加气流的动能，作用下降，甚至起反作用，这时可利用离合机构使透平脱离并车。

主要参考文献

- (1) 《新能源发电》机械工业出版社，1982年
- (2) 《黑龙江省风能资源研究报告》，黑龙江省气象科学研究所风能资源研究组1981年。
- (3) 《辐射对流式太阳能干燥器通风筒的设计、构造及测试》载《新能源》1985No1
- (4) 《我国晴天太阳总辐射资源分布》，载《能源》1983 No4
- (5) 《机械工程手册》No2

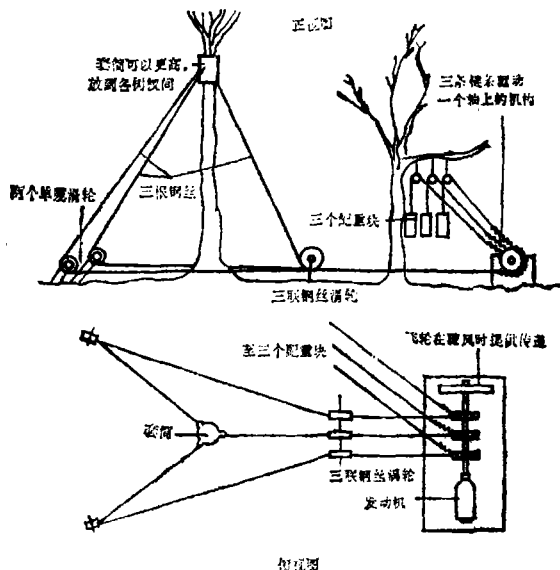


图5 树系，（当树截取风时，不论树向哪一方向弯曲，都会牵动3根缆绳中的一根。缆绳常引着锁链驱动齿轮以保持发电机运转。）

何静芳 节译自 D.Howell.《Your Solar Energy Home》 敬海燕、许春久译

proposed by the author and the convergence of the optimal calculation method.

- 6. Developing steam turbine propulsion technology (33)

UTILIZATION OF SOLAR AND WIND ENERGY

- 7. Solar energy wind turbine generator*Xin Li,Wei Limin,* (38)

Abstract

This paper describes an electric generator based on the combination of a vertical shaft fan and solar energy hot air turbine. It discusses the possibility of solving electricity supply problems in wind and solar energy deficient regions by use of new energy sources and studies the low wind speed starting problem of wind generators. A brief account is also given of the over-speed control and night time and cloudy day operation. In addition, some formulas derived by the author as well as a few explanatory drawings and tables are provided.

- 8. wind power schemes..... (43)

MEASURING AND TESTING TECHNIQUES

- 9. Some problems concerning the testing of oil-well pumps *Ma Shaolu* (47)

Abstract

Based on the idea of oil-well pump energy conversion and balance, this paper focuses on the analysis and discussion of the power factor problem of oil-well pumps concerning which there exists at present a relatively great divergence of opinion. The author has presented a method for testing and determining oil-well pump power factors as well as some measured results.