

风力发电系统液力变速与传动应用技术研究

董 泳, 王洪杰, 周绪强

(哈尔滨工业大学 能源科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:分析了液力变矩器用于风力发电系统实现变速恒频的工作原理;基于最大风能的捕获,综合考虑机械传动系统的结构参数,得到适应变化的风轮转速、保持恒定发电机转速的液力变矩器输出转速调节范围;根据传动系的转矩平衡关系,结合风力机的转矩—转速特性,确定泵轮输入功率,由此初定液力变矩器的特征几何参数;从能量平衡方程出发,估算了整个传动系统的效率。以上研究工作为液力传动在风力发电系统中的推广应用奠定了理论分析基础。

关 键 词: 风力发电; 传动系统; 液力变矩器

中图分类号: TK83 文献标识码: A

引 言

自 1998 年兆瓦级风力发电机问世以后,现今大型风力发电机的容量已达 5 MW 以上。目前商用大型风力发电机组一般为水平轴风力发电机,它由风轮、增速齿轮箱、发电机、偏航装置、控制系统和塔架等部件所组成。风轮的作用是将风能转换为机械能,作为一类叶片式流体机械,目前设计、制造技术相对比较成熟;风力发电还涉及多项关键技术,如功率调节、风轮变速运行、发电机变速恒频和风轮迎风技术等。其中,发电系统如何适应随机变化的风速与风向,使输出的发电频率与电网频率一致,是风力发电技术的一个重要部分。并网运行的风力发电机组,要求发电机的输出频率必须与电网频率一致,目前主要有两类发电系统:

一是恒速恒频发电系统。采用失速调节或混合调节方式,风机以恒转速运行,所采用的发电机主要有两种:同步发电机和鼠笼型感应发电机,系统相对简单。由于要保持恒定的发电机转速而采取的调节往往使风能的利用系数偏离最佳值,不能实现风轮最大风能的利用;二是变速恒频发电系统。20 世纪 70 年代中期以后的一种新型风力发电系统,采用电力电子变频器将发电机发出的频率变化的电能转换成频率恒定的电能。风轮变速运行,可以在很宽的风速范围内保持近乎恒定的最佳叶尖速比,从而保

证系统具有较高的风能利用率。随着风力发电机单机容量的不断增大,变速恒频、变桨矩型风力机逐渐占据了主导地位,但风/电转换装置的电气部分变得较为复杂、昂贵,对于大功率系统则更是如此。

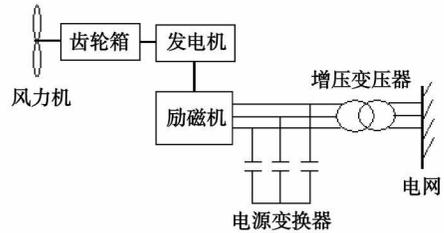


图 1 恒速风力发电系统

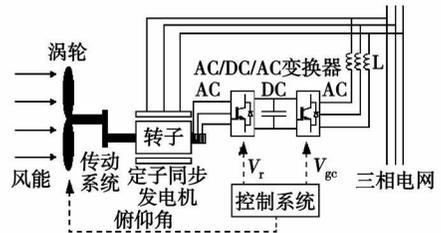


图 2 变速变桨控制风力发电系统

1 用于风力发电系统的液力变速传动装置

用于风力发电系统的液力变速传动装置的核心部分是可调式液力变矩器。液力变矩器是一类基于“费丁格尔原理”的液力传动装置^[1],其主要工作部件为 3 个工作轮:泵轮、涡轮和导轮,如图 3 所示。

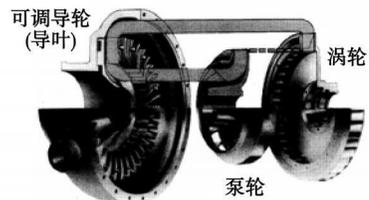


图 3 液力变矩器的工作轮

在液力回路中加入可调节环节, 图 4 为导叶可调式液力变矩器, 可调的导轮叶片改变液力回路的流动状态, 提供变化的输出特性, 满足工作机械变工况的需要。叶片调节到的每一个位置都具有一条对应的外特性曲线, 负载工况点随之得以调整。由图 5 所示的外特性曲线看, 涡轮输出转矩 M_T 单调下降, 近似于一条等功率曲线, 即 $M_T \cdot \omega_T = \text{const}$, 这也正是液力变矩器的自动适应性。导叶可调式液力变矩器具有较高的效率和调节稳定性, 并且由于导轮是不转动的, 结构上较容易实现, 目前应用

较多。

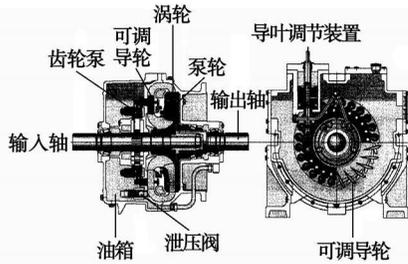


图 4 EL 型可调式液力变矩器

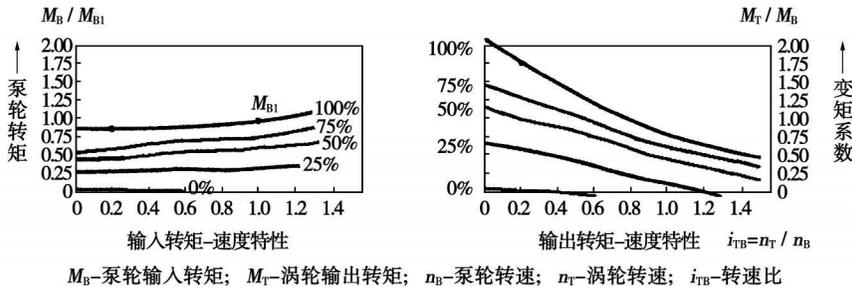


图 5 EL 型变矩器转矩-速度特性

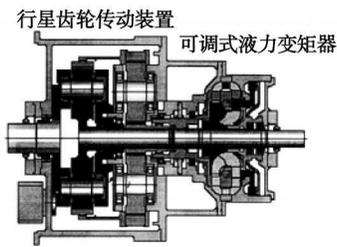


图 6 用于风力发电系统的液力传动装置^[4]

系统, 可调式液力变矩器的主要功能是配合行星齿轮系, 适应不断变化的风轮转速, 利用分流的小部分功率实现变化的风轮转速到同步发电机转速的恒定输入, 从而保证发电机输出电压与频率的稳定而不必附加其它大功率逆变装置。

2 变化的风轮转速到恒定的发电机转速

风轮经过一定的增速传动装置与液力传动机械系统差动轮系的行星架相连, 行星变速箱的外齿圈通过定轴轮系与液力变矩器的涡轮连接, 差动系的太阳轮输出轴到发电机系统, 同时, 输出轴也与液力变矩器的泵轮连接, 也是液力变矩器的动力输入部分。

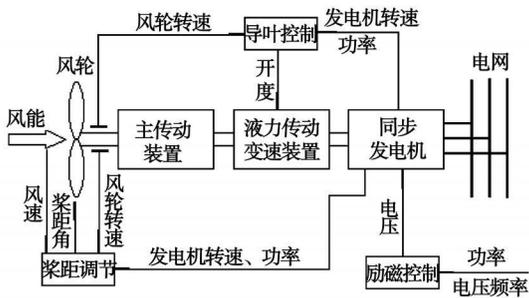


图 7 采用液力传动装置的风力发电系统

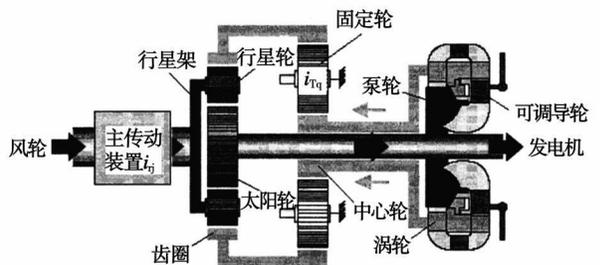


图 8 风轮动力传输与液力变矩器调速系统^[4]

图 6 给出一种用于风力发电系统的液力传动装置, 其基本组成为导叶可调式液力变矩器和行星齿轮变速箱。在图 7 所示的风力发电系统中, 变化的风速到发电机电压及频率的稳定输出采用的并不是目前流行的变速恒频发电控制方式。此种风力发电

根据图 8 所示的各个部件之间的连接传动关

系,可以分解成如图 9 所示的两个传动系结构。

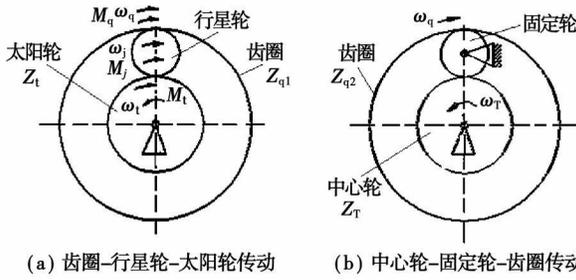


图 9 行星变速齿轮的传动关系

图 9(a)为应用最广泛的一种内外啮合式行星排传动机构,根据啮合关系,传动机构的 3 个构件以及它们相联的 3 个轴上的转速间存在如下关系:

$$\omega_t + \alpha\omega_q - (1 + \alpha)\omega_j = 0 \quad (1)$$

式中: ω_t 、 ω_q 、 ω_j —太阳轮、齿圈、行星架的旋转角速度, rad/s; α —行星排的结构参数,对于内外啮合行星排 $\alpha = z_{q1}/z_t$, z_{q1} 、 z_t 分别为齿圈和太阳轮的齿数,单行星变速器 α 的合理范围为 4/3 ~ 5。太阳轮的转速(ω_t)同时也是液力变矩器的泵轮输入转速(ω_B)、发电机的输入转速(ω_C)。

根据图 8 风轮转速与行星架转速之间的关系为:

$$\omega_j = \omega_r \cdot i_{rj} \quad (2)$$

式中: ω_r —风轮旋转角速度, rad/s; i_{rj} —风轮到行星架的传动比。

在图 9(b)所示的定轴轮系中,变矩器涡轮输出转速到齿圈转速的关系为:

$$\omega_q = \omega_T \cdot i_{Tq} \quad (3)$$

式中: ω_T —液力变矩器涡轮输出转速, rad/s; i_{Tq} —涡轮到齿圈的传动比。

将式(2)和式(3)代入式(1), ω_t 以 ω_B 或 ω_C 代替,经过整理,得到:

$$\begin{aligned} \omega_B = \omega_C &= (1 + \alpha) \cdot \omega_r \cdot i_{rj} - \alpha \cdot \omega_T \cdot i_{Tq} \\ &= k\omega_r + b\omega_T \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $k = (1 + \alpha) \cdot i_{rj}$, $b = -\alpha \cdot i_{Tq}$, 在传动系统机构一定时,均为常数。

由此得到了发电机转速恒定时涡轮转速与风轮转速之间应保持的关系。风轮通过增速装置驱动行星架旋转,太阳轮驱动变矩器的泵轮和发电机,涡轮通过齿轮传动驱动齿圈旋转,通过液力变矩器涡轮输出转速的调节,齿圈转速按某一规律响应风轮转速的变化,就能达到使发电机转速恒定输入的目的。对于上述控制原理及各量之间的关系,如图 10 所示。

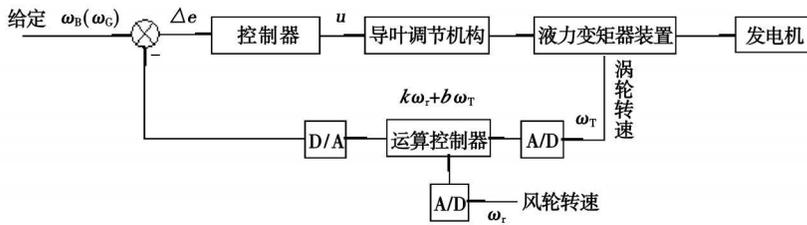


图 10 采用液力变矩器的发电机恒速输入控制原理

3 液力变矩器输出转速的调节范围

3.1 风力机的基本特性

3.1.1 风能利用系数 $C_p(\lambda, \beta)$

风轮的机械功率 P_r 可表示为风速 v_w 的函数:

$$P_r = \begin{cases} C_p(\lambda, \beta) \times \frac{1}{2} \rho' A v_w^3; & v_{win} \leq v_w < v_{we} \\ P_e; & v_{we} \leq v_w < v_{wout} \end{cases} \quad (5)$$

式中: v_{win} 、 v_{we} 、 v_{wout} —风轮的切入、额定及切出风速, m/s; 切入风速也是发电机组的启动风速; 高于切出风速,超速保护动作,发电机组停机; 大于额定风速,风力机处于恒功率控制状态。 λ 、 β —风轮的叶尖速比、桨距角; $\lambda = u_r/v_w = R\omega_r/v_w$, u_r —风轮的叶尖速

度, m/s; R —风轮半径, m。 ρ' 、 A 、 P_e —空气密度, kg/m^3 、桨叶扫过的面积, m^2 、风轮的额定功率, W。 $C_p(\lambda, \beta)$ —风轮的风能利用系数, 无因次, 为 λ 、 β 的函数。

3.1.2 风轮转矩 (M_r)—转速 (ω_r) 特性

风力机的功率为:

$$P_r = M_r \cdot \omega_r = \frac{1}{2} \rho A v_w^3 C_p \quad (6)$$

风能利用系数:

$$C_p = \frac{2M_r \omega_r}{\rho A v_w^3} = \frac{2M_r}{\rho \pi R^2 v_w^3} \times \frac{\lambda v_w}{R} = \frac{2M_r \lambda}{\rho \pi R^3 v_w^2} \quad (7)$$

或:

$$\frac{C_p}{\lambda} = \frac{2M_r}{\rho \pi R^3 v_w^2} = M \quad (8)$$

定桨距运行 ($\beta = \text{const}$), $C_p = f_1(\lambda)$ 、 $M = f_2(\lambda)$ 的关系曲线称为风力机空气动力特性曲线, 如图 11 和图 13 所示, 由模型试验或理论计算得到, 是风力机设计最重要的依据。由式 (8) 可以确定某一风速、不同风轮转速下的 $M_r - \omega_r$ 关系曲线。

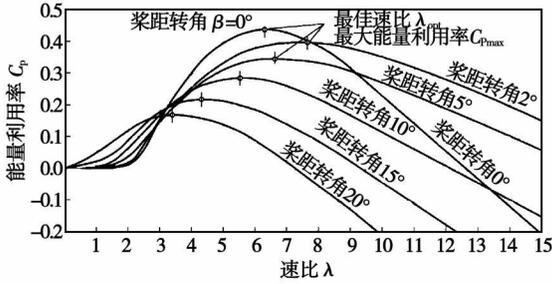


图 11 风能利用系数 $C_p(\beta, \lambda)$ 曲线^[1]

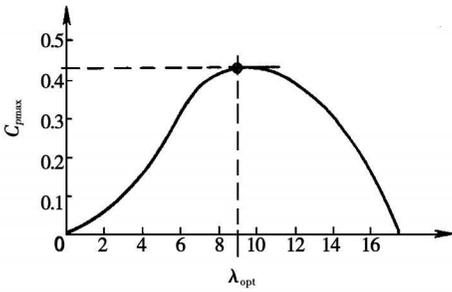


图 12 典型的定桨距风轮性能曲线

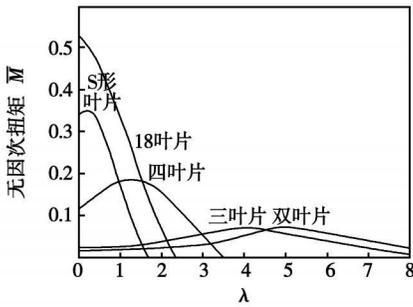


图 13 风力机无因次转矩特性^[1]

3.2 液力变矩器转速比范围的确定

风力发电系统的控制目标就是追踪与捕获最大风能, 所谓变转速控制就是使风轮转速跟随风速的变化改变其旋转速度, 保持基本恒定的最佳速比 λ_{opt} 。额定风速以下, 风力机按照优化的桨距角定桨距运行, 对应一条风能利用系数曲线, 如图 12 所示。调节系统适应变化的风速, 改变风轮转速, 调节风力机叶尖速度比, 对应取得最大风能利用系数 C_{pmax} , 实现最佳功率曲线的追踪和最大风能的捕获 (图 14 中的 ab 段)。额定风速以上, 风力机变桨距运行,

由风力机控制系统通过调节桨距角来改变风能系数, 从而控制风电机组的转速和功率, 防止机组转速、功率超限而可能造成的事故 (图 14 中 bc 段为转速恒定区, cd 段保持最大功率)。由 C_{pmax} 在定桨距风力机特性曲线上得到对应的 λ_{opt} , 根据叶尖速比定义:

对应切入风速的风轮转速:

$$\omega_{min} = v_{win} \cdot \lambda_{opt} / R \tag{9}$$

对应额定风速的风轮转速:

$$\omega_{max} = v_{we} \cdot \lambda_{opt} / R \tag{10}$$

额定风速以上, 系统采用功率限定控制, 风轮转速亦被控制在 ω_{max} 以下。

由式 (4) 所确定的关系, 可以确定液力变矩器转速比的调节范围:

$$\left. \begin{aligned} i_{TB1} &= \frac{\omega_{T1}}{\omega_B} = \frac{(1 + \alpha) \cdot \omega_{min} \cdot i_{Tj} - \omega_B}{\alpha \cdot \omega_B \cdot i_{Tq}} \\ i_{TB2} &= \frac{\omega_{T2}}{\omega_B} = \frac{(1 + \alpha) \cdot \omega_{min} \cdot i_{Tj} - \omega_B}{\alpha \cdot \omega_B \cdot i_{Tq}} \end{aligned} \right\} \tag{11}$$

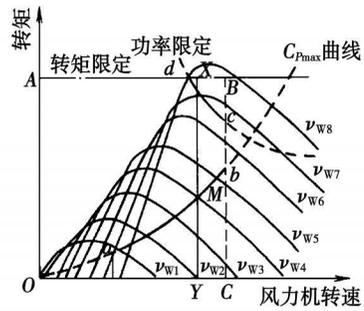


图 14 不同风速下风轮转矩—转速特性^[3]

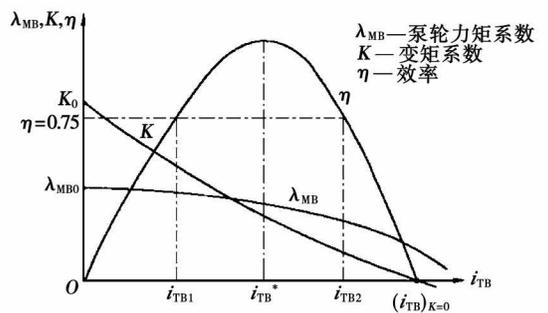


图 15 液力变矩器原始特性

由式 (11) 对应得到的液力变矩器的转速比调节范围 i_{TB1} 和 i_{TB2} 对液力变矩器的选型设计是非常重要的。由图 16 可以看到, 不同导叶开度下的效率特性曲线变化较大, 为了使发电机系统更充分地利用风轮功率, 转速比应尽可能落在液力变矩器的高效

区范围内,以便提高整体传动系统的传动效率。转速比的确定要综合考虑机械传动装置的结构参数(主传动装置 i_{ij} 、行星齿轮系 α 、定轴轮系 i_{Tq}),通过设计最佳的机械传动机构,使得液力变矩器在风轮转速变化范围内始终能工作在高效区范围内。

图 16 为 LB46 型导叶可调式液力变矩器的特性曲线,以其作为参考基型,结合德国 Repower 公司 5M 系列风力机作一初步的匹配计算。风力机参数:设计功率 5 000 kW,风轮转速 6.9 ~ 12.1 r/min,设计转速 9.5 r/min,齿轮箱速比为 $97^{[1]}$,发电机同步转速取 $n_G(n_B) = 1\ 500$ r/min。综合优化选取传动系统的结构参数:单行星差速器 $\alpha = 5$,风轮输出主传动机构 $i_{ij} = 50$,涡轮输出端减速机构 $i_{Tq} = 1/5$,由式(11)计算得到: $i_{TB1} = 0.38$, $i_{TB2} = 1.42$ 对应风轮设计转速时的转速比为 $i_{TB}^* = 0.90$ 。

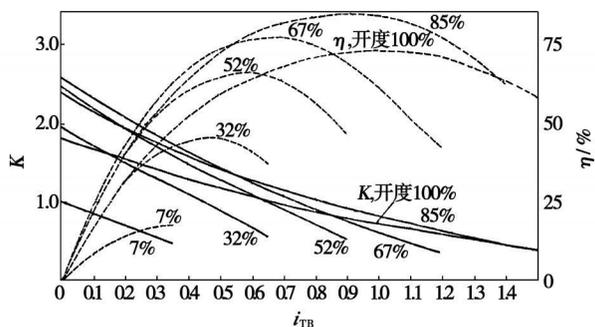


图 16 不同导叶开度下的液力变矩器特性曲线

应该以 i_{TB} 作为液力变矩器的设计工况,在其附近,整个传动系统可以得到较高的传动效率。一般液力变矩器的高效区范围 $\Pi_{0.75} = i_{TB2}/i_{TB1} \approx 2.0 \sim 2.5$,为了适应较宽的风速变化,液力变矩器的输出转速调节范围难以保证。配以液力变速传动装置,主传动装置的传动比得以显著减小。相对而言,液力变矩器匹配行星变速机构整体结构则比较紧凑。

4 液力变矩器的分流功率及传动系统的效率

4.1 液力变矩器的分流功率

对于图 9(a)中的行星排传动机构,传动机构的 3 个构件以及它们相联的 3 个轴上的转矩、功率存在如下关系:

$$\left. \begin{aligned} \text{转矩平衡方程} \quad & -M_t + M_q + M_j = 0 \\ \text{转矩间比例关系} \quad & M_t : M_q : M_j = 1 : \alpha : (1 + \alpha) \\ \text{能量平衡方程} \quad & -M_t \omega_t + M_q \omega_q + M_j \omega_j = 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

由传动系统转矩平衡及传递之间的关系,有:

$$\left. \begin{aligned} \text{太阳轮转矩} \quad & M_t = M_B + M_G \\ \text{外齿圈转矩} \quad & M_q = -M_T / i_{Tq} \\ \text{行星架转矩} \quad & M_j = M_r / i_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

式中: M_B —液力变矩器泵轮转矩; M_G —发电机轴作用转矩。

在某一风速下,风轮转矩 M_r 可由式(8)确定,根据式(12)中转矩间的比例关系式,可由下式确定涡轮输出转矩:

$$-M_T = \frac{\alpha i_{Tq}}{(1 + \alpha) i_{ij}} M_r \quad (14)$$

由式(4)可得涡轮输出转速:

$$\omega_T = \frac{(1 + \alpha) \omega_r \cdot i_{ij} - \omega_B}{\alpha \cdot i_{Tq}} \quad (15)$$

则涡轮输出功率为:

$$P_T = -M_T \omega_T = M_r \frac{(1 + \alpha) \omega_r \cdot i_{ij} - \omega_B}{(1 + \alpha) i_{ij}} \quad (16)$$

参照基型液力变矩器,初定传动效率 η_{con} ,可以确定泵轮输入功率:

$$P_B = \frac{P_T}{\eta_{con}} = M_r \frac{(1 + \alpha) \omega_r \cdot i_{ij} - \omega_B}{(1 + \alpha) i_{ij} \eta_{con}} \quad (17)$$

代入风轮设计转速及其对应的风轮转矩,由参考基型液力变矩器原始特性取得设计工况转速比 i_{TB}^* 下的传动效率及泵轮力矩系数 λ_{TB}^* ,利用泵轮力矩的基本关系式 $M_B = \lambda_{MB} \rho g n_B^2 D^5$,考虑到 $P_B =$

$$M_B \omega_B = M_B \frac{\pi n_B}{30}, \text{初定液力变矩器的循环圆直径 } D.$$

4.2 传动系统的总效率

$$\left. \begin{aligned} \text{齿圈功率: } M_q \omega_q &= -M_T \omega_T \eta_{Tq} = M_B \omega_B \eta_{con} \eta_{Tq} \\ \text{行星架功率: } M_j \omega_j &= M_r \omega_r \eta_{ij} \\ \text{太阳轮轴功率: } M_t \omega_t &= (M_B + M_G) \omega_B \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

式中: η_{Tq} —中心轮到齿圈的机械传动效率; η_{con} —液力变矩器的传动效率; η_{ij} —风轮到行星架的机械传动效率。

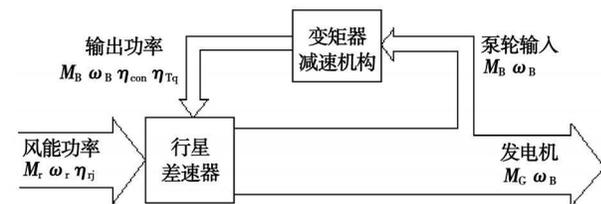


图 17 传动调节系统的功率分流

式(18)代入式(12)中的能量平衡方程,整理得到:

$$M_r \omega_r \eta_{ij} + M_B \omega_B \eta_{con} \eta_{Tq} - M_B \omega_B - M_C \omega_B = 0 \quad (19)$$

由此计算发电机输入轴功率占风轮功率的百分比:

$$P_G = \frac{M_C \omega_B}{M_r \omega_r} = \eta_{ij} - (1 - \eta_{con} \eta_{Tq}) \frac{\omega_B}{\omega_r} \times \frac{M_B}{M_r} \quad (20)$$

根据液力变矩器的基本关系: 变矩系数 $K = -M_T/M_B$, 效率与转速比间 $\eta_{con} = K^\circ i_{TB}$, 结合式(14), 有:

$$\frac{M_B}{M_r} = \frac{\alpha i_{Tq}}{(1 + \alpha) i_{ij}^\circ K} = \frac{\alpha i_{Tq} i_{TB}}{(1 + \alpha) i_{ij}^\circ \eta_{con}} \quad (21)$$

于是, 式(20)可写成:

$$P_G = \eta_{ij} - (1 - \eta_{con} \eta_{Tq}) \frac{\omega_B}{\omega_r} \times \frac{\alpha i_{Tq} i_{TB}}{(1 + \alpha) i_{ij}^\circ \eta_{con}} \quad (22)$$

可以看出, 在机械传动机构参数 (α , i_{ij} , i_{Tq}) 一定的条件下, 传动调节系统的总效率与液力变矩器的特性有很大的关系。初步估算, 在设计风速的一定范围内, 选取的液力变矩器可以工作在较高的工作效率 (0.80 ~ 0.90), 取 $\eta_{con} = 0.85$, 仍然采用前述的 5 MW 风力机参数, 机械传动效率取 0.985, $i_{TB} = i_{TB}^* = 0.90$, 通过计算可得:

$$P_G = 0.985 - (1 - 0.85 \times 0.985) \frac{1500}{9.5} \times \frac{5 \times 0.90}{(1+5) \times 50 \times 0.85 \times 5} = 0.894$$

在偏离设计风速较大的状态下运行, 液力变矩器偏离设计工况, 液力损失增加, 效率会有所降低。由式(21)可以看出, 选用具有较大启动变矩系数液力变矩器, 对于系统总传动效率的提高是有益的。

5 结 语

(1) 液力变矩器的输出转速调节范围宽, 其输出特性适应随机变化的风速, 可满足风轮变转速运行, 保证风能功率有效利用的要求, 实现变速恒频而不必附加其它功率逆变装置。

(2) 在风力发电系统中, 可调式液力变矩器并不作为主传动装置, 而只分流一小部分的功率用于转速调节, 实质为液力变矩器的损失功率。用于风力发电系统, 要综合考虑液力变矩器的高效区工作范围 $\Pi_{0.75} = i_{TB2}/i_{TB1}$, 液力变矩器的原始工作特性 (泵轮力矩系数 λ_{MB} 、效率 η_{con} 、变矩系数 K 与转速比 i_{TB} 关系) 及不同导叶开度下的调节特性, 同时要做到其它机械传动机构与液力变矩器的合理匹配设计。

(3) 采用液力变矩器, 传动系统的重量、设备安装吊舱的体积均得以一定幅度的减少。此外, 在阵风工况, 液力变矩器还可以起到能量缓存作用, 减少系统力矩的动态波动, 吸收减缓机组振动, 通过输入输出侧的动态离合, 峰值负载得以均衡。

参考文献:

- [1] 刘万琨, 张志英. 风能与风力发电技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 朱经昌, 魏宸官. 车辆液力传动[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- [3] 叶航治. 风力发电机组的控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] VOITH TURBO. WinDrive(R)-the Innovative Drive Concept for Wind Energy Plants[J]. Gr355 en (RIS/WA) 04/05
- [5] 刘其辉, 贺益康. 变速恒频风力发电系统最大风能追踪控制[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(20): 62-67.

(编辑 滨)

新技术、新产品

环保能源动力游艇

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2007年9月号报道, 货船约产生温室气体的5%, 是飞机所产生量的两倍。先进的船舶推进技术, 包括混合的太阳能和风动力、可替换的燃料和燃料电池, 可以有助于减少污染和温室气体。

澳大利亚的 Solar Sailor 公司的 HMP (混合船舶动力) 和 Solar Wing (太阳翼) 技术被设计成从游艇到大型油船范围内取两者应用的优点。HMP 使电力传动的效率与常规推进系统, 包括那些使用诸如生物质燃料或气态燃料, 或在未来, 燃料电池的可替换燃料的推进系统的动力相结合。HMP 系统也加入了通过由计算机控制的太阳翼捕获的可重复使用的太阳能和风能。

由吸收并反射光线的玻璃板覆盖的翼可以象大的风帆那样被控制, 置于不同的位置, 以便捕获最大的由太阳和风产生的能量。在大风时, 翼可折叠成板片。

可载 100 名旅客的 Solar Sail 旅客渡船已在悉尼港湾营运了几年。

(吉桂明 供稿)

real-time on-line SO₂ spectrum analytic system. The influence of the following six factors on the desulfurization efficiency was analyzed in detail: flue gas flow speed, slurry atomization quality, flue gas temperature, SO₂ concentration at the inlet, circulating ash concentration and slurry feeding mode etc. In addition, the change of SO₂ concentration along the flow path was measured. The test results show that at optimized operating-condition parameters, the desulfurization efficiency in the section under investigation can be higher than 55%. The circulating ash concentration has a conspicuous influence assessed at 6% on the desulfurization characteristics of the section. Through an optimization of slurry feeding mode, the desulfurization efficiency can be enhanced by about 3%. The slurry atomization quality has also an obvious influence of about 2%~3% on the desulfurization efficiency of the section. **Key words:** flue gas desulfurization, compound spout, gas-liquid reaction, SO₂ measurement, single-factor separation method

煤粉热解组分析出特性的实验研究和 DAEM 模拟 = **Experimental Study and DAEM (Distributed Activation Energy Model) Simulation of the Precipitation Characteristics of Pulverized-coal Pyrolyzed Constituents** [刊, 汉] /ZHANG Yan-wen, YANG Jing-biao, CAI Ning-sheng (Education Ministry Key Laboratory on Thermal Sciences and Power Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 661 ~ 665

To study the precipitation characteristics of various pulverized-coal pyrolyzed constituents, a pyrolysis experimental study has been conducted of Baorixile-origin lignite and Baotou-origin bitumite on a TGA-FTIR (Thermogravimetric Analyzer-Fourier Transform Infrared Spectrum) dual-purpose test rig. CH₄, CO, CO₂ and HCN were measured along with an analysis of the precipitation of total volatile content and various constituents being simulated by using DAEM (Distributed Activation Energy Model). The results indicate that the curves of CH₄ precipitation concentration assume a symmetric single-peak distribution and those of CO, CO₂ and HCN precipitation concentration are irregular. The DAEM is applicable for the simulation of integrated volatile contents and can also perform a relatively accurate simulation and prediction of CH₄ precipitation, but not suitable for the simulation of CO, CO₂ and HCN. The precipitation temperature of CH₄, CO, CO₂ and HCN is mainly determined by various functional group's decomposition bond energy. Baorixile-origin lignite has a total volatile content higher than that of Baotou-origin lignite, but the content of CH₄ and HCN in the volatile matter, however, is lower than that of Baotou-origin bitumite. **Key words:** pulverized coal, pyrolysis, pyrolyzed gas constituent, pyrolysis precipitation, distributed activation energy model (AEM)

螺旋管式蒸汽疏水器的设计与试验研究 = **Design and Experimental Study of Spiral-tube Type Steam Traps** [刊, 汉] /ZHOU Gen-ming, CHEN Yu-ping, KONG Xiang-lei (College of Mechanical and Power Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, China, Post Code: 212003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 666 ~ 669

By adopting a wholly new approach, designed was a new type of efficient and energy-saving spiral-tube steam trap, serving either as a common steam trap or as a device for condensate water recovery. The authors have described in detail the structure and working principle of the steam trap in question. The latter has no moving parts, operates very reliably and is maintenance-free. A performance test has been conducted. The test results show that the steam trap under discussion can greatly reduce steam leakage rate. At a given load, it features a constant flow rate and a comparatively strong adaptability to load and steam pressure fluctuations, making it possible to operate properly even at a high back pressure. **Key words:** spiral tube, steam trap, steam leakage flow rate, adaptability, high back pressure

风力发电系统液力变速与传动应用技术研究 = **A Study of the Applied Technology of Hydraulic Speed Variation and Transmission for Wind Power Generation Systems** [刊, 汉] /DONG Yong, WANG Hong-jie, ZHOU Xu-qiang (College of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 670 ~ 675

The authors have analyzed the working principle of a hydraulic torque converter used for a wind power generation system to realize speed variation and constant frequency. To secure maximal wind power with a comprehensive consideration of the structural parameters of a mechanical transmission system, determined was the output speed regulation range of the hydraulic torque converter, capable of accommodating to any change of wind-wheel rotating speed and keeping a generator operating at a constant speed. On the basis of the torque balancing relationship of the transmission system and in conjunction with the torque-speed characteristics of a windmill rotor, the input power of a pump wheel has been calculated. Herefrom, the characteristic geometric parameters of the hydraulic torque converter was tentatively ascertained. From an energy balance equation, the efficiency of the whole transmission system was evaluated. The above research has laid a theoretical and analytic basis for the popularization of hydraulic transmission in wind power generation systems. **Key words:** wind power generation, transmission system, hydraulic torque converter

200 MW 锅炉空气分级低 NO_x 燃烧改造实验研究 = **Experimental Study of an Air-staged and Low NO_x Emission-based Combustion Modification to a 200 MW Boiler** [刊, 汉] /ZHANG Xiao-hui, SUN Rui, SUN Shao-zeng, et al (College of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 676 ~ 681

To reconstruct the combustion system of a 200 MW bitumite-fired boiler in a power plant in Beijing region for reducing NO_x emissions, a cubic-staged low- NO_x emission combustion system combining overfired air (OFA) with low- NO_x emission burners of horizontal bias-combustion was used. After the modification, the NO_x emissions concentration has been improved conspicuously. The above-mentioned concentration can be reduced by 45% to 60% when an equalization air distribution mode was adopted. The use of a proper horizontal swinging angle for the OFA nozzle will effectively lessen the flue gas temperature deviation at the furnace outlet, which can be controlled within a range of 50 °C. In addition to a marked lowering of NO_x emissions, the boiler efficiency can be enhanced by about 1%. After the modification, the NO_x emissions concentration at any operating condition is all below 400 mg/m³ and in the meantime, this can provide more favorable inlet conditions for tail portion flue-gas SCR (Selective Catalyst Reduction) device. **Key words:** coal-fired boiler, staged combustion technology, overfired air (OFA), horizontal bias combustion and low- NO_x emission burner, NO_x emission concentration

成型前后活性炭储氢性能的初步研究 = **A Preliminary Study of the Hydrogen Storage Performance of Activated Carbon Before and After its Shape-formation** [刊, 汉] /ZHENG Qing-rong, CAI Zhen-xiong, CHEN Wu (College of Marine Engineering, Jimei University, Xiamen, China, Post Code: 361021), GU An-zhong (Research Institute of Refrigeration and Cryogenic Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 682 ~ 684

The influence of shape-formation measures on the hydrogen storage characteristics of activated carbon was preliminarily analyzed. First, hydrogen equilibrium adsorption data were determined in a temperature range from 113 to 293 K and at a pressure range from 0 to 12.5 MPa. The adsorptive quantity and equivalent adsorptive heat of hydrogen on activated carbon YK-1 were compared in two cases; i. e. 1. when hydrogen has not undergone a shape formation; and 2. it has completed such a formation by use of acrylate methyl ester emulsion adhesive. Secondly, through a quick inflation and deflation test of a storage tank at a room temperature and a 10.5 MPa pressure, the influence of the shape-formation measures on the adsorptive thermal effect of a storage-tank adsorptive bed was analyzed. It has been found that the shape-formation measures can change the density and specific surface area of the activated carbon, causing a change of the adsorptive quantity and temperature curve of the adsorptive bed center during the inflation and deflation process as well as a change of dehydrogenation flow rate of the adsorptive bed. After the activated carbon has taken shape, the heat transfer through the adsorptive bed must be intensified, or adsorptive heat management measures, introduced to suppress the thermal effect of the adsorptive process. **Key words:** hydrogen, adsorption, inflation, deflation, shape-formed activated carbon