

一种实用的风机和水泵节能控制

杨清生 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔提要〕 本文主要以风机和水泵为例,论述小型电站锅炉辅机的变速传动与节能,及其传动系统组成原则和实施方案。并指出本方案可以直接用于传动系统的改造和设计。

主题词 变速传动装置 节能 传动系统 改进 设计

前 言

小型电站、热电站和工业锅炉主要辅机多数是离心式的风机或泵,而且大多数是由200 kW以下的鼠笼式异步电动机以定转速拖动、其中多数由于不经常满负荷运行,不得不依靠挡板或调节阀进行调节流量,即大多数流量过程控制是通过节流方式实现的。而且,这种现象目前相当普遍。

在电力供需矛盾十分紧张的情况下,人们常常把注意力过多地集中在提高单机效率上,而往往忽视了传动系统的改进和合理的匹配。

如果把节流调节方式改为适当的变速调节方式,离心式风机与泵的耗电量将随其转速的立方成比例的降下来。如风量随转速下降到80%、轴功率将下降到额定功率的51%。轴功率大幅度下降、高达电动机额定功率的20%至40%^[1,2],且流量变化越大,节省的电力越多。

本文目的在于希望对目前为数众多的小电站锅炉辅机的变速传动设计和改造工作能起到一定的促进作用。

一、变速与节能

在风机与泵的各种流量调节方式中,节流调节最简单,工程上应用相当普遍,但是浪费电力最多。因为在节流过程中,风机与泵的输入转速不变,其特性曲线也不变,仅依靠关小挡板或调节阀开度人为地增加系统阻力而减小流量。如图1所示,阻力增加,管路系统阻力曲线向左上方翘, $R(I)$ 移到 $R(II)$ 、工况点 A 同时沿全扬程曲线 $Q-H$ 移到 E 点,其流量由 Q_1 减到 Q_4 ,同时扬程由 H_1 上升到 H_5 ,轴功率由 P_1 移到 P_2 ,节流压降明显增加,但轴功率并没有相应减小,而是白白地损失在节流过程中。从图1中可见, E 点消耗功率 $P_2 = KQ_4 H_5 / \eta$,即

$$P_2 = KQ_4 H_4 + KQ_4 (H_5 - H_4) + KQ_4 (1/\eta - 1),$$

其中:

$KQ_4 H_4$ 为风机或泵的有用功;

$KQ_4 (H_5 - H_4)$ 为挡板或调节阀损耗;

$KQ_4 H_5 (1/\eta - 1)$ 为风机或泵损耗。

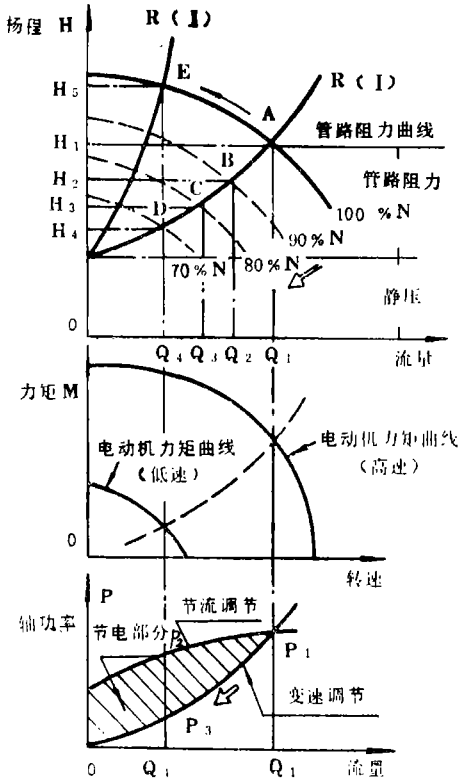


图 1 变速传动节能

曲线 $R(I)$ 是一条通过原点的抛物线，原设计选择的高效工况点，将随着流量减小，沿此抛物线向左下方移动，风机或泵的运行效率几乎不变。若管路系统有背压，阻力特性曲线是一条不通过原点的抛物线，与在变速条件下通过原点的抛物线不再重合，其运行效率略有下降，因为没有节流损失，仍然可以节省较多的电力，其调节效率也是很高的。

由于变速调节没有节流损失，所以调节效率高，接近理想调节和变速^[3]。

二、变速传动方案

小电站锅炉等重要厂用辅机，绝大多数是由鼠笼式异步电动机定转速拖动。为此，将有关鼠笼式异步电动机变速调节的各种控制方式列于表1^[4]中，供参考。

选择风机与泵的变速传动方案时，首先需要考虑的是安全可靠。在表1中可以看到，变频调速性能接近理想，但装置复杂，成本昂贵，而且可靠性不太高。美国和日本推荐变频调速作为交流传动系统的重要节能措施。但我国在研究节能措施时，不能不考虑成本这一重要因素，而变频调速成本的确高于其它调速方式^[5]。但是，由于其它方式调速范围小等原因，对小电站锅炉辅机不适合，因此在近期内，变速节能只有采用技术上成熟，运行上安全可靠的变速装置—电磁耦合器。

电磁耦合器目前广泛用于电站锅炉炉排调速和大型火力发电机组的给粉系统控制、运行安全可靠。

这样，节流调节过程损失的有用功等于 $KQ_4(H_5 - H_4)$ 。

可见，节流调节，流体流过挡板或调节阀后由于压力降低而损失了有用功，节流压降越大，损失越多。

如果改为变速调节，其管路系统阻力曲线 $R(I)$ 是不变的，风机或泵的特性曲线 $Q - H$ 却随着转速 N 的下降向左下方移动。由图1可见，转速 N 的100%、90%、80%、70%相应流量为 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 ；工况点由 A 移到 B 、 C 、 D ，相应的全扬程也分别下降到 H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 ；而轴功率 P_1 移到 P_3 。此时，相应 D 点消耗功率

$$P_3 = KQ_4H_4/\eta, \text{ 即}$$

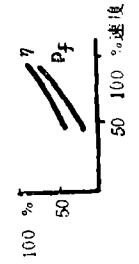
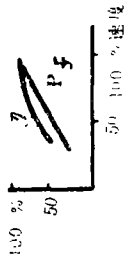
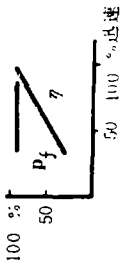
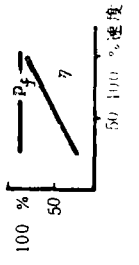
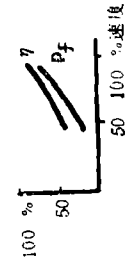
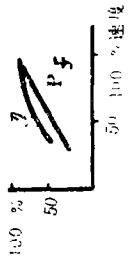
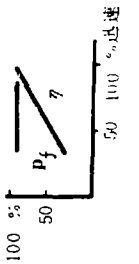
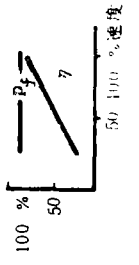
$$P_3 = KQ_4H_4 + KQ_4H_4(1/\eta - 1)$$

可见，变速调节没有节流损失，节省的电力 $\Delta P = P_2 - P_3 = KQ_4(H_5 - H_4)$ 。

显然，变速调节节省的电力恰等于节流调节时的节流损失。

风机与泵的运行效率视其管路系统有无背压而定。若管路系统没有背压，系统阻力

表 1 鼠笼式异步电动机变速调节的各种控制方式比较

调速方式 比较项目	其它控制			
	一次电压控制 可控硅	一次电压频率控制 变频器	电磁耦合器	液力耦合器
调速范围	70-100%	0-100%	10-100%	50-100%
效率				
功率因数				
转差率	±2%	±0.5%	±2%	±1%
适用容量电压	小容量、低电压	小中大容量、高低电压	小容量、低电压	小中大容量、高低电压
节能效率	中	大	中	中
可靠性	优	优良	优	良
设备费用		高		
优点	无级变速、结构简单	无级变速、结构复杂	无级变速、结构简单	无级变速、结构居中
缺点	低速段、效率及功率因数均低	低速段、功率因数低	低速段、效率低	低速段、效率低
变频对数				4p/6p 4p/8p

三、电磁耦合器变速装置

电磁耦合器又称电磁离合器，它是由一个铁磁体制成的圆筒形电枢1和一个由激磁绕组形成的多磁极感应子2组成的（如图2所示），电枢与磁极间的间隙很小。激磁电流由电刷和滑环引入，在感应子与电枢间形成一个相应磁场。电枢与电动机主轴连接，感应子与风机或泵连接。当电动机旋转时，电枢切割磁力线产生感应电势，而形成的磁场与激磁电流形成的磁场相互作用产生一个旋转力矩，如同鼠笼式异步电动机，带动感应子沿电枢转动方向旋转。改变激磁电流，便可以改变转速。

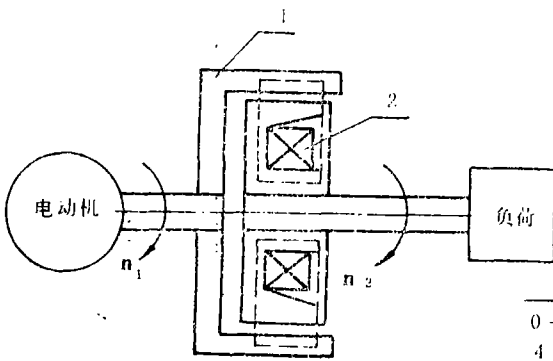


图 2 电磁耦合器结构

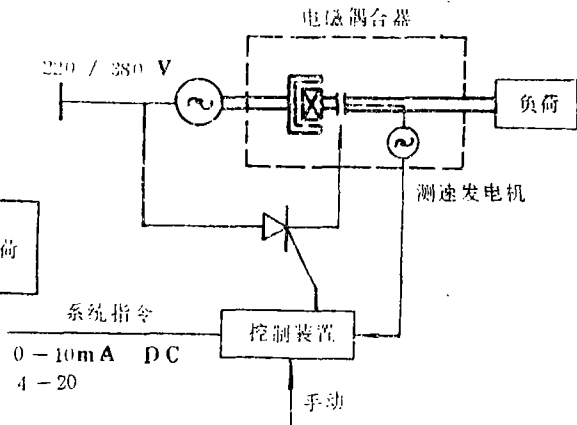


图 3 单闭环调速系统方框图

电磁耦合器输出功率近似等于 $p_2 = p_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$ ，其中 p_1 为 $n_2 = n_1$ 时，即转差率 $s = 0$ 时，

电动机输入电磁耦合器的额定功率。由于电磁耦合器的转差率 s 等于1减去它的转速比 i ，耦合器效率 η 等于它的输出功率与输入功率之比，近似等于 i 。因此，其输出功率 $p_2 = p_1 i^3 = p_1 (1-s)^3$ ，耦合器输入功率 $p_1 = \frac{p_2}{\eta} = p_1 (1-s)^2$ ，

这样，耦合器内损耗的功率 $\Delta p = p_1 - p_2 = p_1 (1-s)^2 - p_1 (1-s)^3$ 。

求最大损耗功率 Δp_{max} 时的转差率 s 值。令 $\frac{d(\Delta p)}{ds} = 0$ ，得 $s = 1$ 和 $s = \frac{1}{3}$ 时，损耗最大。

前者没有实际意义，后者得出的最大损耗功率 $\Delta p_{max} = 0.148 p_1$ 。说明电磁耦合器拖动风机与泵这类负载时，其内最大损耗功率不会超过其输入功率的15%，相应转差率为33.3%。

电磁耦合器通常与测速发电机组装在一起，组成一个单闭环调速系统，使原耦合器的自然机械特性变硬，额定转差率不超过2.5%，调速范围大于10:1^[6]。其方框图如图3所示。图3具有速度负反馈的单闭环调速系统，可以很方便地实现无级调速。且操纵方便，可以进行手动，自动等多种形式的操作。适合拖动中小容量的风机与泵，其优点是结构简单，运行可靠，价格便宜，对电网无谐波污染。节能显著，回收期短。旧设备改造，不涉及电机和

所驱动风机和泵本身改造。有成熟可靠的工业产品，现实可行。

四、变速中要注意的问题

风机与泵在变速传动中，需注意的问题：

1. 与其载荷特性匹配 电磁耦合器组成的变速传动，适用于恒转矩负载或递减转矩负载，即离心式风机特性。同一台耦合器与不同特性的载荷匹配，将有不同的调速范围。

2. 泵要注意汽蚀 因为必需的汽蚀余量与转速的平方成正比，所以在变速传动中，增加转速，必须注意防止汽蚀的发生。

3. 风机与泵要注意喘振

风机与泵的特性曲线若有“驼峰”，当它的工况点落在驼峰顶点的左侧时，就会出现不稳定工况，即流量减小，压头不是升高，反而降低。当流量减小到零时，若管路系统有较大的容量，就有可能发生喘振，

五、变速节能效果

已知某自备电厂一台G4—73—11NO10D型送风机，叶轮直径1000mm，转速1450r/min，电机功率55kW，正常运行需要的最大流量 $Q_1 = 53\ 500\text{m}^3/\text{h}$ ，压头 $H_1 = 2.8\text{kPa}(287\text{mmH}_2\text{O})$ 。由于经常不满负荷运行，此时流量 $Q_2 = 35\ 200\text{m}^3/\text{h}$ ，其实际负荷降到66%。为适应系统负荷多变要求，改为变速运行，计算一下节约的电力及金额。

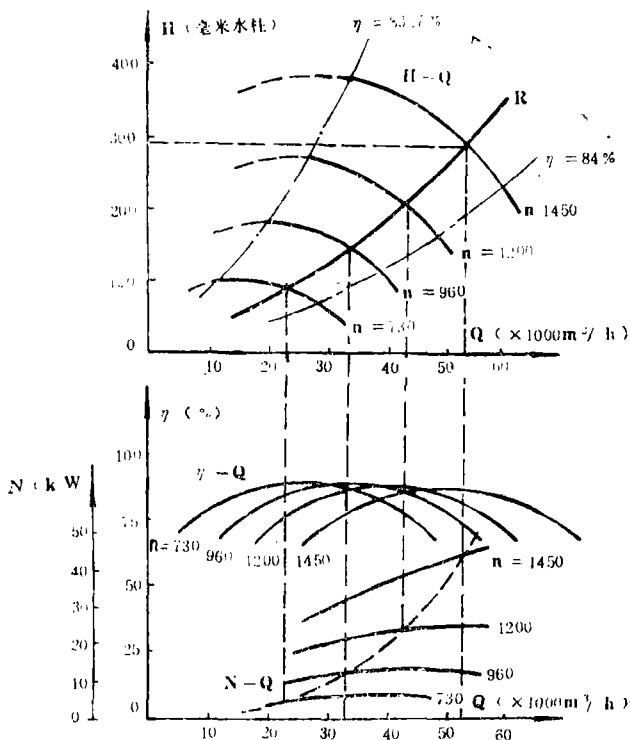


图4 通用特性曲线

按“产品样本”提供的资料或者按相似律几个公式，可以把各种转速下的工作特性曲线绘制在同一张图纸上，称通用特性曲线（见图4）。各工况点的流量 $Q_1 = 53\ 500\text{m}^3/\text{h}$ ， $Q_2 = 35\ 200\text{m}^3/\text{h}$ ，相应轴功率 $N_1 = 45\text{kW}$ ， $N_2 = 14\text{kW}$ 。年运行小时数按 $s = 4500$ 小时计，电价 $p = 0.2$ 元/度计，节约的金额 $E = (N_1 - N_2)s p = 27\ 900$ 元，即一年内节约的电力合人民币27 000多元。

若按我国工业水平，以每度电的工业产值3至4元计，这13万度电每年可以增加国民经济产值39至52万元。

改装一台风机，需加装一台总造价不超过2万元的电磁耦合变速装置。只要达到上述节电效果，那么当年回收成本是不成问题的。

结 束 语

小型电站辅机实现无级调速，便于调节转速和实现自动控制，不仅节能显著，产生明显的经济效益，同时起动性能会大大改善，而且人们在节约能源和合理地利用能源中，要充分地重视传动系统的改进和控制手段本身的能量损耗。

参 考 文 献

- [1] 田原武. ASCROLシリーズと省エネ効果. 电气计算, 昭和56年, 49(8) 增刊
- [2] 宫岛彻. FREQROL-EMと省エネ効果. 电气计算, 昭和56年, 49(8)增刊
- [3] 西崎久雄. PS省エネモータエントローラの省エネ効果. 电气计算, 昭和56年, 49(8) 增刊
- [4] 伊藤俊彦. 速度調整ごきる省エネルギー. 电气计算, 昭和56年, 49(8) 增刊
- [5] 丁绍曾. 电气传动系统在节能中的应用. 电气传动, 1982, (3)
- [6] 上海电器成套厂. 转差离合器控制装置使用说明书

(孙显辉 编辑)

新产品、新技术信息

№R89—6 光电控制组合式印刷机 适用于印刷各种塑料薄膜、玻璃纸、铝箔、纸张等彩色包装材料，因其干燥长度增加，可使车速提高。本印刷机采用光电跟踪自动对版，收发卷自动换卷，自动纠偏，张力自动控制，温度自动控制。印刷精度高，色彩鲜艳，层次分明，立体感强。并附有频闪显示，具有八十年代先进技术，成为大中型彩印厂理想的印刷设备。该机可印六色或正面四色反面二色。规格：印刷宽度600~1400mm；印刷图样长度800mm；印刷速度150m/min。

№R89—7 光电控制分切机 是塑料印刷、制袋、造纸工业中必须的配套设备之一。通过分切机获得所需宽度的卷材。本机

采用光电跟踪纠偏装置，提高分切精度，保证收卷整齐，分切机又能作为复卷机使用。备有圆台刀和耳刀两种刀具。规格：最大分切宽度1100mm；最大分切速度100m/min；最大放卷直径 $\phi 800\text{mm}$ ；最大收卷直径 $\phi 400\text{mm}$ 。

№R89—8 轮转式印刷机 是软包装材料生产线中的重要设备，适用于印刷各种塑料薄膜、玻璃纸、铝箔、纸张等彩色包装材料，该机结构简单，使用方便，价格低廉。适宜于中小型彩印厂使用。可设计、制造各类轮转印刷机。品种有：单色、双色、四色、六色及正面四色反面二色等机型。规格：印刷宽度300~500mm；印刷速度30m/min；印刷图样长度220~820mm。

(如需以上技术或产品请与编辑部联系)

JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL ENERGY AND POWER

No.4 1989

CONTENT

- 1. Comparison of the steam-water mixture full flow power system and the flash evaporation power generating system in respect of energy utilization rate *GuChuju^u, etc.* (1)

Abstract

A comparison is made in this paper of the power generation method based on hot water and steam-water mixture full flow with that based on flash evaporation form an energy utilization view point. An equivalent hot water temperature concept has been proposed in the steam-water mixture power generating system, which simplifies the thermal calculation of the steam-water mixture power generating system. In an actual steam-water power generating system, a thermodynamic calculation is conducted of the full flow power generating system which has the same generating capacity as that of the flash evaporation version. The minimum internal efficiency curves of the full flow generator at various thermal source temperatures and dryness have been obtained.

Key words: full flow power generation, flash evaporation power generation, energy, utilization rate

- 2. Thermal energy utilization by stages at Shazhong Gas Turbin Thermal Power Station of Dacqing *Di Hongrui* (11)

Abstract

This paper analyzes the stage-by-stage thermal energy utilization of the SK 15HE cogeneration plant (imported from England) of Shazhong Thermal Power Station by using the "exergy efficiency" concept.

Key words: cogeneration plant, exergy efficiency, analysis

- 3. A pratical application of fan and water-pump energy-saving control *Yang Qingsheng* (15)

Abstract

Taking a fan and water pump as an example, this paper discusses the variable transmission and energy-saving of the small-sized power station boiler auxiliaries, as well as the formulation principle and practical implementation of the transmission system. The author points out that the proposed version can be readily

used for the reconstruction and design of the transmission system.

Key words: variable transmission drive, energy-saving, electromagnetic clutch, design improvement

4. Research and design of a lignite-firing reciprocating grate furnaces
..... *Wang Yongdong* (21)

Abstract

In order to open up a new realm for the utilization of lignite, the author has designed a double drum, natural circulation water-tube boiler with economizer, air preheater and transversely positioned reciprocating grate bars. With a thermal efficiency of the boiler as high as 76.80%, significant social and economic benefits can be attained.

Key words: boiler, design

5. The design of a gas turbine waste heat boiler..... *Wu Yishan* (25)

6. The off-design performance of two shaft gas turbines
..... *Zhao Shihang Hu Ziqin*
Xiang Wenguo Zhang Yingjian (29)

Abstract

In this paper the performance maps of 2/LL and 2/HH two shaft gas turbine series are obtained by way of calculating the off-design performance. On this basis, the off-design performance of these gas turbines is analyzed. In conclusion, the paper pointed out that some types of these gas turbines might have potential for development in and application to combined cycle power stations.

Key Words: gas turbines, properties, thermodynamic cycle, analysis

7. Elimination of the connecting screw failure of the power turbine load-bearing casing and load-bearing analysis..... *Wang Gouhua* (34)

Abstract

In connection with the analysis and elimination of a gas turbine power turbine joint screw head failure, the author suggests that some structural parts in the engine should be given a checkout with respect to their fatigue strength. She also stresses the importance of the dynamic balance of the rotor as a whole.

Key words: turbine fastener, rupture, analysis

8. Introduction of Ingersoll-Rand Compad and its Products
..... *Guan Huaming* (39)

9. Some problems concerning air intake tests of the MGT-1 gas turbine land-based parallel running test rig..... *Qian Zhenyue* (41)

Abstract

Some appraisal data were obtained from tests of various versions of intake ducts on a land-based parallel running test rig. This paper sorts out and analyzes a variety of problems, such as the effect of different air intake louver arrange-