

# 给水泵液力调速系统的特性及其非线性改善方法分析

王立文

(中国民航学院空港系)

阎国军 朱瑞滨 杨惠普

(哈尔滨工业大学)

[摘要] 在对液力耦合器调节给水泵转速系统的调节特性做了分析之后,介绍了用以改善调节特性严重非线性的可变函数发生器的原理及软、硬件设计方法,通过试验分析提出了改进大功率调速型液力耦合器的勺管驱动方法。

关键词 调速型液力耦合器 给水泵 非线性

中图法分类号 TK223.75

## 0 前言

现代火电站高压锅炉给水泵广泛采用调速型液力耦合器驱动,它具有良好的性能和节能效果。但耦合器的静态调节特性(转速比  $i$  与勺管开度  $S$  之间的关系)是非线性的,这不但给系统设计及整定带来困难,而且影响系统的性能,必须进行线性化处理。目前国产大功率调速型液力耦合器采用凸轮片进行线性化校正,效果不很理想。国外(如日本荏原公司)采用微机进行现场实测并针对具体机组进行线性化校正,这样可去掉机液位置伺服机构,采用电动执行器直接驱动勺管,不但线性化校正效果较好,且可避免“勺管卡死”现象,是比较理想的线性化校正方法,本文就 OY55 型液力耦合器的特性及采用微机进行线性化校正方法进行分析。

## 1 调节特性分析

目前尚无法计算液力耦合器外特征,而对于调速型液力耦合器在不同勺管开度下的特性更是无法计算,只能由实验获得。不同型号的液力耦合器其外特性也不相同,30 万千瓦火电机组锅炉给水泵用调速型液力耦合器(OY55)其原始特性曲线由低速试验获得。为便于分析调节特性,将图 1 液力耦合器特性,用计算机拟合得到。

当勺管开度  $\bar{S} = 100\%$  和  $80\%$  时,特性曲线可分别由两条直线表示:

$$\lambda = m(1 - i) \quad (1)$$

$$\bar{S} = 100\% \quad m = 72 \times 10^{-6}$$

$$\bar{S} = 80\% \quad m = 45 \times 10^{-6}$$

当勺管开度为  $\bar{S} = 60\%$ ,  $\bar{S} = 40\%$  时,试验特性上的  $a_1b_1$ ,  $a_2b_2$  段(见图 1)由二次抛物线代替(拟合系数见表 1)

$$\lambda = R(2)i^2 + R(1)i + R(0) \quad (2)$$

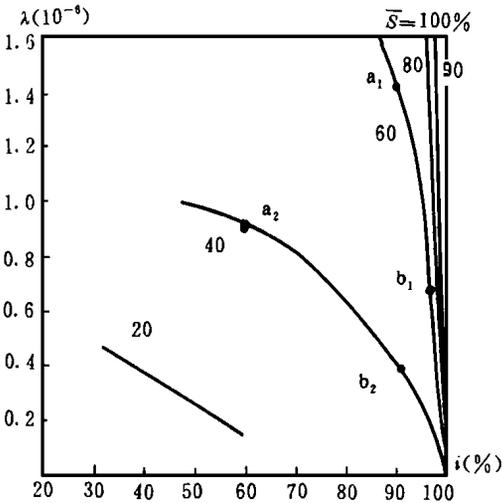


图 1 OY55原始特性

表 1

$\bar{S}$	$R(0) \times 10^{-6}$	$R(1) \times 10^{-6}$	$R(2) \times 10^{-6}$
60%	- 25.6974	65.4553	- 39.2663
40%	0.4995	2.1123	- 2.3933

匀管开度  $\bar{S} = 20\%$  时特性曲线由直线代替为:

$$\lambda = Bi + C \quad (3)$$

$$B = -1.250 \times 10^{-6} \quad C = 0.9188 \times 10^{-6}$$

工作机作用于涡轮轴上的力矩随转速比(或涡轮转速)的关系称为耦合器的负载特性,由试验可得给水泵再循环时以力矩系数表示的液力耦合器的负载特性为:

$$\lambda = (M_T M_{gn}^2 D^5) \quad (4)$$

式中:  $M_T$ — 液力耦合器涡轮轴扭矩

$n_B$ — 液力耦合器泵轮转速

$D$ — 液力耦合器循环圆有效直径

$W$ — 工作液密度

液力耦合器负载特性见图 2

图 2 中的负载特性可用抛物线表示:

$$\lambda = \lambda_0 i^2 = 1.237 \times 10^{-6} i^2 \quad (5)$$

在低速时,各种摩擦损失,测量误差等影响较大,因此不能测出低转速比时的负载特性,由理论简化曲线代替试验负载特性,误差在 2% 之内。

耦合器负载特性与耦合器原始特性的交点即为耦合器的工作点。由不同匀管开度下的耦合器工作点,即可得出系统的调节特性

联立方程 (1)、(5) 可得匀管开度为 100% 和 80% 时的转速比。

$$i = \frac{-m + \sqrt{m^2 + 4m\lambda_0}}{\lambda_0}$$

联立方程 (2)、(5) 可得匀管开度为 60% 和 40% 时的转速比:

$$i = \frac{R(1) + \sqrt{R^2(1) + 4(\lambda_0 - R(2))R(0)}}{2(\lambda_0 + R(2))}$$

联立方程 (3)、(5) 可得匀管开度为 20% 的转速比为:

$$i = \frac{B + \sqrt{B^2 + 4BC}}{\lambda_0}$$

将各已知参数值代入转速比计算公式可得不同开度下的转速比值,见表 2

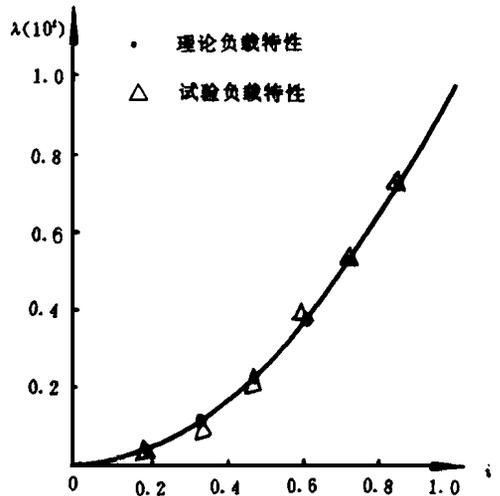


图 2 再循环时的负载特性

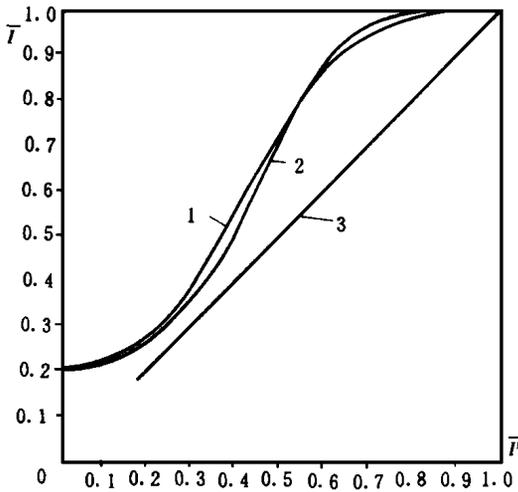


图 3 调节特性及线性化曲线

表 2

$\bar{S} \%$	100	80	60	40	20
$i$	0.98	0.97	0.94	0.75	0.47

取耦合器额定转速比  $i_e = 0.98$ , 可得到计算调节特性, 见图 3 中曲线 1 曲线 2 为实测的调节特性, 计算值与实测值的最大误差为 3%。

## 2 调节特性的非线性改善

调节特性的非线性给系统的设计带来困难, 对系统的稳定性、误差及响应时间均存在影响。因而需将调节特性的非线性进行线性化。

虽然非线性校正可用凸轮片实现, 但各锅炉给水系统的管道阻力特性不同, 凸轮就应各不相同, 这就给设计与制造带来很大困难, 另外, 由机液伺服系统拖动勺管最不利的是勺管有时“卡死”, 不能进行正常的给水泵转速调节。

对国产 OY55 调速型液力耦合器, 用 DDZ-II 型电动执行器直接拖动勺管, 在标准控制信号 (0~10 mA) 下, DDZ-II 型电动执行器的输出转角与控制电流成严格的线性关系。这样控制电流与涡轮转速的关系是耦合器调速系统的调速特性。如果将输入信号做一定的函数变换就可得到函数变换装置的输入信号与涡轮转速的线性关系, 变换原理见图 4。

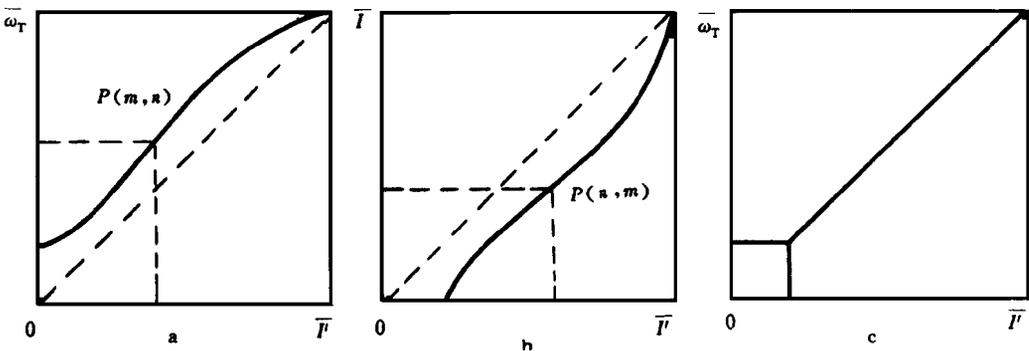


图 4 变换曲线

(a) 已知非线性 (b) 函数变换关系 (c) 变换后的输入输出关系

设计使函数变换装置的相对输入电流  $\bar{i}'$  与相对输出电流  $\bar{I}$  之间的函数关系  $\bar{I} = F(\bar{i}')$  为非线性调节特性  $\bar{k}_r = f(\bar{I})$  的反函数, 则得到  $\bar{k}_r$  与  $\bar{I}'$  之间的关系为线性, 且增益  $K = 1$ , 即:  $\bar{k}_r = K\bar{I}' = \bar{I}'$

为改善非线性的精度, 非线性曲线  $f(\bar{I})$  总是现场实测得到它的一组点值 (一般可取 20 点),

$$f(\bar{I}_n)_{n=0,1,\dots,19}$$

所以变换函数  $F(\bar{I}')$  也对应有一组点值  $F(\bar{I}'_n)_{n=0,1,\dots,19}$  在两点之间采用线性插值方法

$$\bar{k}_r = \frac{1}{2} \bar{I}' [F(\bar{I}'_{m-1}) - F(\bar{I}'_n)] \quad (6)$$

$$\text{即 } \bar{k}_r = \frac{1}{2} \bar{I}' \left[ \frac{\bar{I}'_{m-1}}{\bar{k}_{r_{m-1}}} - \frac{\bar{I}'_n}{\bar{k}_{r_n}} \right]$$

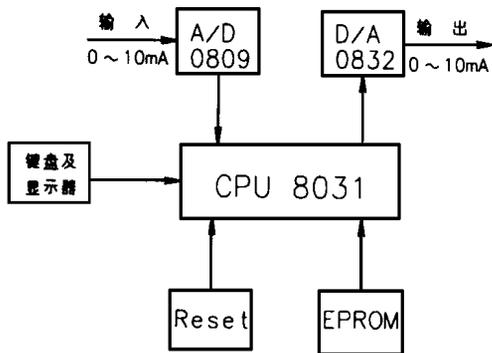


图 5 硬件原理

$K = 1$  的条件可使不同的偶合器, 不同的负载特性的增益均校正到相同的值 (即  $K = 1$ )。这为多台偶合器并车带来方便。但在输入的满值附近, 输入的微小波动将引起相当大的输出波动, 这可在程序上加以特殊处理。

在工业实用中, 考虑到可靠性、成本、精

度等因素, 选用 MCS-51 系列单片微机实现函数的线性化变换, 其硬件原理见图 5

### 3 试验及结论分析

可变函数发生器的试验输出曲线与理论输出曲线误差在 0.8% 之内, 包括电流计及读数误差。非线性调节特性的线性化试验在沈阳水泵厂进行, 偶合器泵轮转速为 6100 r/min, 额定功率 5500 kW, 用节流阀加载。由给定电流控制电动执行器的输出转角, 即偶合器匀管的位置, 每一个给定电流  $I$  有一个相应的涡轮转速  $\omega_T$ , 可绘出静态调节特性见图 3 中的曲线 2, 将该组  $I$  的点值输入“可变函数发生器”, 测出线性化后的给定电流与涡轮转速的一组点, 即线性化的调节特性 (见图 3 中的曲线 3) 加入“可变函数发生器”后, 调节特性为线性, 最大线性化误差为 2%。

由哈尔滨工业大学流体传动及控制教研室研制的“可变函数发生器”BHQ-II 型, 对非线性的改善有良好的效果, 经过在沈阳水泵厂的工业试验后, 证明线性精度较高。调速型液力偶合器的匀管拖动方式改为电动执行器拖动后, 不但可以降低成本, 还能避免匀管“卡死”现象, 对保证电站正常发电是很有意义的。“可变函数发生器”的应用是国产液力偶合器应用微机控制的一个良好开端和基础。

### 参考文献

- 1 王立文. 液力偶合器调节给水泵转速系统的特性分析及微机应用. 哈尔滨工业大学《研究生毕业论文》1989年 3 月
- 2 陆肇达. 锅炉高压给水泵液力偶合器调速的特性分析. 节能技术, 1986(4)

(复 编)

瑞典增压流化床联合循环发电技术的发展现状 = ( **The Present Status of Development of Swedish Power Generation Technology Involving the Use of a Pressurized Fluidized Bed Combined Cycle Unit** ) [刊, 中] / Li Daji ( Southeastern University ) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13( 1). 1- 5

An on the spot survey of Swedish power generation technology involving the use of a pressurized fluidized bed combined cycle unit (PFBC-CC) was made in late April 1996 by a Chinese Delegation of Industrial Science & Technology. As a result, a comprehensive understanding has been gained of the research history and present status of the above-cited technology. This paper gives a brief description of the three types of PFBC plants of Swedish ABB Carbon Co. in respect of its preliminary test, intermediary test, commercial demonstration and application. **Key words** pressurized fluidized bed, combined cycle, Sweden, development

Stirling 发动机燃烧及换热分析 = ( **Analysis of a Stirling Engine Combustion and Heat Exchange** ) [刊, 中] / Shen Jianping, Jin Donghan, Gu Genxiang (No. 711 Research Institute under the China State Shipbuilding Corp. ) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(1). -6- 10

On the basis of a calculation of hydrocarbon fuel combustion chemical equilibrium reaction obtained are the temperature and component ingredients of the combustion products. Following this the combustion gas physical properties were calculated and based on this the convection heat exchange factor, radiation heat exchange factor and rear row heat exchange pipe rib heat transfer of a heat engine outer combustion system heating pipe were also calculated. A contrast computation is conducted of the two combustion conditions, air combustion and liquid oxygen combustion. Also computed are the various factors which have an influence on combustion with an analysis and discussion performed for the calculation results. The valuable conclusions obtained can serve as a guide for the structural design of the heat engine outer combustion system. **Key words** heat engine, heat exchange factor, combustion, chemical equilibrium

给水泵液力调速系统的特性及其非线性改善分析 = ( **Analysis of the Characteristics of a Feedwater Pump Hydraulic Speed Governing System and Its Non-linear Improvement** ) [刊, 中] / Wang Liwen ( China National Civil Aviation Institute ), Yan Guojun, Zhu Ruibin, Yang Huipu ( Harbin Institute of Technology ) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13( 1). - 11- 14

After an analysis of the regulating characteristics of the fluid coupling feedwater pump speed regulating system this paper gives a brief account of the principle of a variable function generator used for improving the serious nonlinearity of regulating characteristics and also the software and hardware design method. By way of an experimental analysis a scoop pipe-drive method is proposed for the improvement of a high-power variable speed fluid coupling. **Key words** variable speed fluid coupling, feedwater pump, nonlinearity

凝汽式汽轮机乏汽凝汽器强化的研究 = ( **A Study of the Exhaust Steam Condenser Heat Transfer Enhancement of a Condensing Steam Turbine** ) [刊, 中] / Lu Yingsheng, Zhuang Lixian, Deng Xianbe, Chen Guanghui, Chen Mulin ( South China University of Science & Technology ) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13( 1). - 15- 18

On the basis of an experimental study and analysis on the intensification mechanism of a high-efficiency heat transfer element (transversally corrugated tube) and its heat transfer and fluid mechanics conducted is the industrial application-oriented performance test of a 1500 kW condensing turbine condenser comprising glossy tubes and transversally corrugated tubes. The application prospects of the condensers made of transversally corrugated tubes are also given. **Key words** steam turbine, condenser, transversally corrugated tube, heat transfer intensification

煤粉气流火焰稳定性条件分析 = ( **Analysis of Pulverized Coal Current Flow Flame Stability Conditions** ) [刊, 中] / Ma Xiaoqian ( South China University of Science & Technology ), Jin Sijun, Si Xuefeng, Qian Ren-