

# 抽汽式汽轮机调节系统设计方案的探讨

徐基豫 于达仁 张宏光 武国贤  
(哈尔滨工业大学)(哈尔滨汽轮机厂)

**【摘要】** 对抽汽式汽轮机调节系统的几种设计方案进行了分析比较,从稳定性、甩负荷特性及自整性三方面论述了各自的优缺点,最后综合几种方案的优点,提出一种前馈反馈相结合的新设计方案,使系统性能有很大提高。

**关键词** 抽汽式汽轮机 调节系统 设计方案

## 1 引言

采用集中供热,发展热电联供以取代分散的供热小锅炉,不仅可以节省大量燃料,而且对于减少环境污染起到很大的作用。除了供暖用汽以外,许多工业部门,例如:造纸、纺织、制糖、制药、化工、锻造,均需要大量不同压力的蒸汽,因此自80年代以来我国抽汽式汽轮机的生产有了很大的发展,目前已生产单机容量达300 MW的抽汽供热汽轮机,相信在90年代还会有更大的发展。

抽汽式汽轮机生产的发展,特别是大功率中间再热式抽汽汽轮机的发展,要求设计性能更好,而且结构简单价格便宜的调节系统。早期的抽汽式汽轮机调节系统为不牵连调节,很快被牵连的自整调节系统所取代,而且沿用至今。近年来,在将一般凝汽机组改造为供热机组的同时,在压力回路上采用了PI调节器和电动执行器,这种系统结构简单,而

且不消耗压力油,受到人们的欢迎<sup>[2]</sup>。这些系统各有什么优缺点,今后发展抽汽机组,特别是大功率中间再热抽汽机组,采用那种系统,以及改进的可能途径,本文作了一定初步的分析,提出一点看法,供有关方面参考。

## 2 抽汽汽轮机调节系统的几种设计方案

如上所述,目前已经采用的调节系统有下面几种。

第一种是传统的牵连调节系统(图1),这种方案多数用在液压系统上,但是如果用电子放大器组来代替综合滑阀(图中 $C_{11}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{21}$ 、 $C_{22}$ ),则上述方案同样可以用电液系统来实现。

第二种方案是仿照改造机组的调节系统,其低压部分采用PI调节器和电动执行器 $1/(T_{s2}S)$ ,高压部分仍为一般比例调节。

收稿日期 1992-01-06 修改定稿 1992-03-21

本文联系人 徐基豫 男 60 教授 150006 哈尔滨工业大学动力系

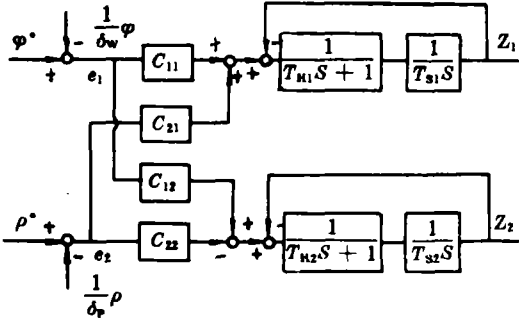


图 1

$C_{11} = 1 \quad C_{12} = 1.78 \quad C_{21} = 0.38 \quad C_{22} = 1$   
 $\delta_\omega = 0.04 \quad \delta_p = 0.2 \quad T_{S1} = T_{S2} = 0.2$

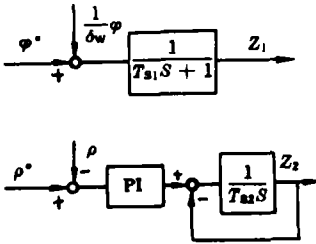
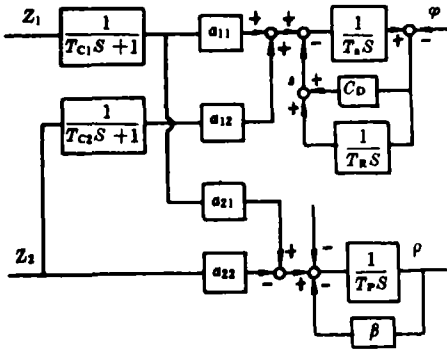


图 2

$\delta_\omega = 0.04 \quad T_{S2} = 20$   
 $K_P = 1 \quad T_I = 40$

第三种方案是对第二种方案略加改变而



a)  $T_{C1} = T_{C2} = 0.2 \quad a_{11} = 0.67$   
 $a_{12} = 0.162 \quad a_{21} = 1 \quad a_{22} = 0.5$

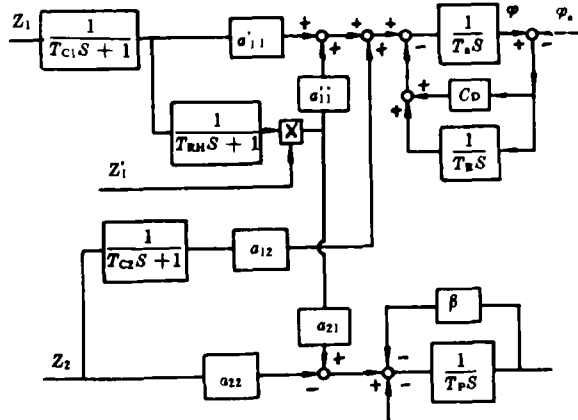


图 4

b)  $T_{C1} = 0.25 \quad T_{C2} = 0.15 \quad T_{RH} = 9$   
 $a'_{11} = a''_{11} = 0.33$   
 $a_{12} = 0.2178 \quad a_{21} = 1.2 \quad a_{22} = 0.61$

得。考虑到大功率中间再热机组多数采用高频电液系统,因此如果压力回路采用图 2 的原理,其调节系统原理将如图 3 所示。

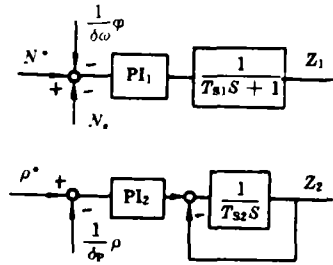


图 3

$\delta_\omega = 0.04 \quad K_{P1} = 0.8$   
 $T_{I1} = 4 \quad T_{S1} = 0.2$

抽汽式汽轮机是一个多输入多输出的调节对象,图 4a),和 b),是单抽汽一般凝汽式和中间再热式汽轮机的数学模型,它的输入变量 \$Z\_1\$ 和 \$Z\_2\$ 是高、低压油动机的位移,输出变量是汽轮机功率(转速)和抽汽量(抽汽压力)。考虑到只有在并网后才有可能抽汽供热,所以在图中作为电机负荷引入了单机对无穷大电网的模型。

### 3 几种设计方案的比较

对抽汽式汽轮机来说,其性能主要有稳定性、甩负荷超调量和自整性三个方面。

#### 3.1 稳定性

稳定性是调节系统能正常工作的最基本要求。理论和实践均已证明,采用综合滑阀的液压调节系统(图 1)是一个稳定的系统。对于采用 PI 调节器的系统(图 2),大量改造为供热的凝汽式汽轮机的运行实践,证明这种系统也是稳定的,只有图 3 的功频系统还有待于作进一步的分析工作。

根据控制理论,一个多输入多输出的系统如果是一个牵连的自整系统,则它可以分解成为几个独立回路,使系统的分析大大简化。因此人们特别重视图 1 所示的系统,但是这并不说明不牵连的和不自整的调节系统是不稳定的。

文献[1]曾经对不牵连调节系统的稳定性作了理论分析,得到了不牵连调节系统的稳定区(图 5),由图可见当抽汽容积时间常数  $T_p$  在一定范围内,而其它参数又满足一定条件 ( $T_{s1} = T_{s2} = 1$  秒,  $\delta_w T_s = 0.5$ ) 时,系统有可能不稳定 ( $\theta < 0$ )。文献[1]所采用的调节系统传递函数方块图如图 6 所示。

但是文献[1]的分析和目前的具体情况有几点不同:(1)当投入抽汽时机组几乎都已并网,所以转速回路通过系数  $a_3$  对压力回路的作用几乎可以略去不计,因此可以按照独立回路来分析压力回路的稳定性。(2)当采用电动执行器时,  $T_{s2} \gg T_{s1}$ , 所以压力回路对转速回路的影响也大大削弱。(3)抽汽压力改变时,供热热交换器的温差也改变,供汽量也相应改变,所以抽汽容积对象有一定的自平衡能力,以惯性环节  $1/(T_p S + \beta)$  来表示 ( $\beta < 1$ ),比积分环节更加合理。

因此抽汽机组采用不牵连调节时,其稳

定性问题并不象文献[1]所述那样严重,由凝汽机组改造成供热机组后采用了图 2 所示系统,运行实践表明,它们也是稳定的。

各种系统的稳定性还可以通过仿真来加以验证。

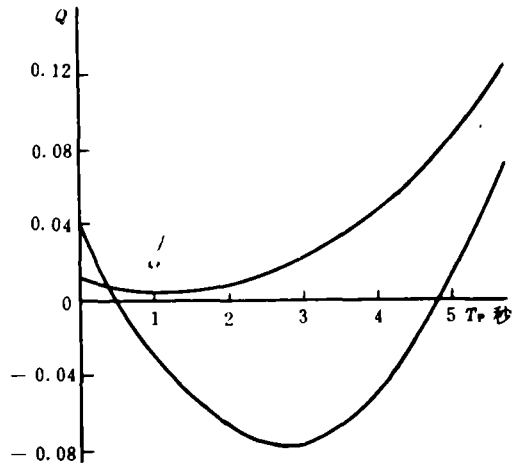


图 5

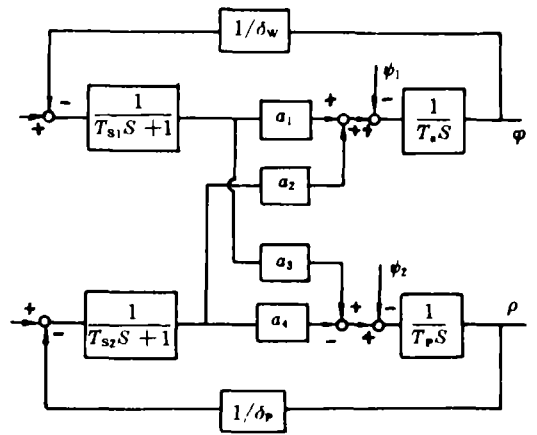


图 6

#### 3.2 甩负荷超调量

抽汽机组甩负荷时的转速飞升问题之所以比一般凝汽机组复杂,是因为当采用图 1 所示系统时,当甩负荷后抽汽压力降低时压力信号有开大高压调节阀的作用,因此需要采取“切除压力回路”“附加信号”等措施,而

对于图 2 或图 3 的系统,由于压力信号不控制高压调节阀,所以只要抽汽逆止门能及时关闭,高压油动机时间常数比较小,其转速飞升问题和一般凝汽机组没有明显差别。

### 3.3 自整性

从理论上讲,图 1 所示系统只要综合滑阀油口宽度满足一定条件就可以保证静态自整,但是实际上不可避免地有一定误差,因为:(1)阀门流量特性、汽机效率特性都是非线性的,工作点改变时其斜率也相应改变。(2)由于存在回热抽汽,汽缸进气量事实上不等于其排汽量,而且回热抽汽量与热负荷、电负荷均有关。

对于图 2 所示系统,由于在压力回路中采用 PI 调节器,所以抽汽压力能保持恒定(静态),但是抽汽量改变时电功率将相应改变。

对于图 3 所示系统,由于在功率回路和压力回路中均采用了 PI 调节器,所以电功率与抽汽压力均能保持恒定(静态)。

所以从静态自整角度,图 3 的系统性能最好,图 1 的系统并非最佳系统。

显然,图 2 和图 3 的系统不能保证动态自整,而严格地说图 1 的系统也不能保证动态自整,特别是对于中间再热机组更是如此<sup>(4)</sup>。但是从系统结构分析,图 1 的系统显然优于后者,因为在图 1 中,一个回路对另一个回路的扰动首先通过前馈途径给予抵消,而后者完全依靠反馈信号,其波动必然会大于前者。

图 7 是在负荷扰动作用下,图 1、图 2 和图 3 三种系统压力  $P_r$  变化的仿真曲线,负荷变化率为每分钟百分之十,幅度为 10%,由曲线 1 可见,图 1 的系统在负荷缓慢变化时,抽汽压力变化极小,而图 2 及图 3 的系统(曲线 2 和曲线 3)其抽汽压力变化明显大于前者。但是  $P_r$  的最大变化幅度仅为 10%,而且增大  $K_{r2}$  还可以使  $P_r$  的变化明显减小,过渡

过程时间约为 2 分钟,所以如果是供暖抽汽,这样的变化过程对生产过程不会有明显的影响,完全在许可的范围之内。因此,图 2 或图 3 的系统也是完全可以采纳的。

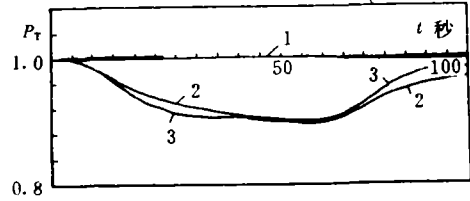


图 7

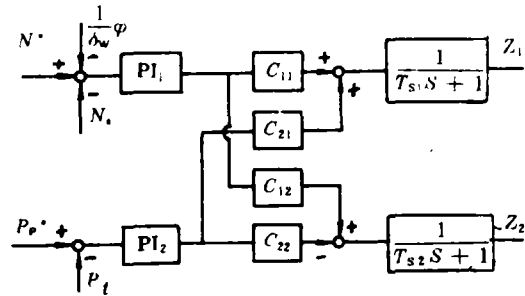


图 8

对比图 1 和图 3 可以看到,前者动态自整性较好,静态自整性较差,而后者则相反,静态自整性较好,动态自整性较差。结合二者的优点,建议对于大功率中间再热抽汽汽轮机采用如图 8 所示的系统。图中 PI 调节器的作用是消除静态误差,而解耦矩阵 C 的作用是为了改善动态品质。这个系统虽然较其他系统复杂,但是大功率中间再热机组多数为计算机控制,控制规律稍为复杂一些,只不过增加一些软件运算量,但对系统工作性能的改进却有很大帮助。

图 9 是该系统在负荷扰动下,抽汽压力  $P_r$  的过渡过程曲线(曲线 2),扰动作用与图 7 相同,可见该系统的动态特性与图 2 或图 3 相比有很大改进,与图 1 基本相同(图中曲线 1)。而静态特性则由 PI 调节器来保证。

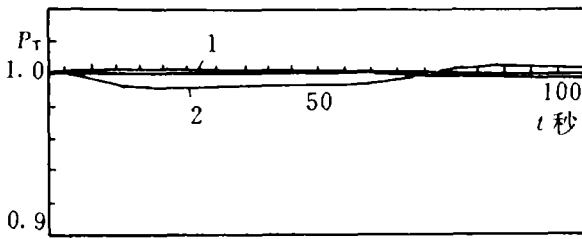


图 9

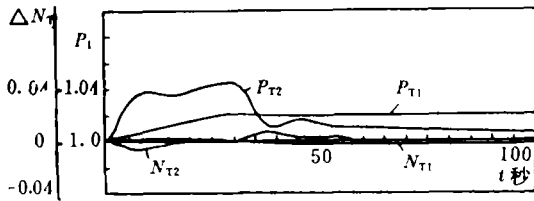


图 10

图 10 是该系统在抽汽量扰动下,电功率  $N_T$  和压力  $P_T$  ( $N_{T2}$  与  $P_{T2}$ ) 的变化过程(抽汽量减少 10%,变化率每分钟百分之二十),可见功率变化最大值不大于 1%,压力变化不大于 5%,而且无静差。而对于图 1 的前馈解耦系统,虽然功率和压力变化 ( $N_{T1}$  与  $P_{T1}$ ) 略小,但均有静差。

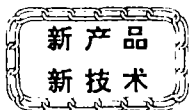
#### 4 结论

作为抽汽供热机组的调节系统,本文前半所讨论的三种系统各有其优缺点。第一种方案前馈性能较好,而第二、第三种反馈方案静态性能较好,而且结构简单。就性能而言,这三种系统基本上都能满足机组运行的要求。

作为一种改进方案,结合三种系统的优缺点,建议采用图 8 所示的前馈反馈相结合的方案,这种系统无论在动静性能方面都优于上面的三种系统。

#### 参 考 文 献

- 1 Щегляев А. В. и т. д. Регулирование паровых турбин. М. Госэнергоиздат, 1962
- 2 徐基豫 等. 凝汽式汽轮机改为供热汽轮机的微机控制系统. 电机工程学报, 1988(4)
- 3 倪维斗, 徐基豫. 自动调节原理与透平机械自动调节. 机械工业出版社, 1980
- 4 徐基豫 等. 中间再热抽汽式汽轮机调节系统的自整条件. 待发表



### 工业用车间或单机补偿电容器的

### 控制用半导体大功率开关

专利号 872117078.X 发明人 邓景滨

该设备以大功率可控硅对电力电容作无冲击电流的通断,避免了接触器接通断开时的大量的冲击电流,对电网的冲击得以避免,同时对电子测量仪器的干扰也减到最低限度。

本产品有脉冲电路的缺脉冲保护装置,运行时无噪音,无火花,可做高频次快速通断。

凡原应用接触器控制的电容器屏均可改装成本设备。应用范围为:工厂车间、大型机床及油田井泵群等。

转让费:3.5 万元

本项目的脉冲保护设备已超出原专利技术范围,系其改进型。

所需的投资只是通用的仪器(对一般电控制造厂)约 4 500 元,而对控制设备厂原有设备即可。

A statistical model involving unscheduled shutdown state distribution characteristics and non-uniformity factor is provided for the unequalness analysis of unscheduled shutdown hours of monoblock unit (or equipment). With the help of such a model the unscheduled shutdown hour distribution non-uniformity factor of 100 MW monoblock units (totaling 48 together with corresponding boiler units) of Eastern China Electric Network has been calculated with the extent of the said Network unscheduled shutdown hour distribution unequalness being evaluated. **Key words:** *utility boiler, unscheduled shutdown, hour distribution, unequalness, statistical model*

(99) **Analytical Calculation of Turbine Blade Throat Path Dimension** ..... Qian Zhenguan (*Harbin Boiler & Turbine Research Institute*)

The author provides a method and sequence for the analytical calculation of turbine blade throat path dimension. **Key words:** *turbine blade, blade throat calculation*

(101) **An Exploratory Study on Various Designs of Extraction Turbine Control System**.....Xu Jiyu, et al. (*Harbin Institute of Technology*) Zhang Hongguang, et al. (*Harbin Turbine Works*)

The authors have compared and analysed several design schemes of an extraction turbine control system and discussed their merits and demerits in terms of stability, load shedding and selfregulation performance. Finally, they have come up with a new design scheme featuring a combination of feedforward and feedback after combining the merits of several design schemes, thus effecting a significant improvement of the system performance. **Key words:** *extraction turbine, control system, design scheme*

(106) **Program Design Method the Measurement of Air Speed with the Help of a Microcomputer** .....Guo Dingyin (*Harbin Electrotechnical Institute*)

Presented in this paper is a program design method for measuring air speed through use of an eight-channel air speed transmitter and an APPLE II microcomputer with application program block diagrams and a list of source programs being given. **Key words:** *computer test and measurement, program design, air speed*

Edited and Published by Editorial

Staff of Journal of

Engineering for Thermal

Energy and Power

Printer: Printing House of Harbin

Institute of Technology

Address: P.O.Box 77, Harbin China

Cable: 6511, Harbin, China

Post Code Number 150036

Periodical Registration: ISSN1001-2060

CN 23-1176/TK

Distributed by China International

Book Trading Corporation,

P.O.Box 399, Beijing, China