

舰用锅炉装置及主要系统 应用微机集控的探讨*

吴奕亮 苗永茂 周兵

(海军工程学院)

〔提要〕本文根据舰艇蒸汽动力装置的特点,并结合原调节系统运行的实际经验,对舰用锅炉装置及主要系统实现微机控制的方式、控制算式、脉冲点选取及参数整定等问题进行了探讨,并给出了锅炉燃烧系统的控制算法实例。

主题词 船用锅炉 微型计算机 控制

符 号

e —对象给定值与实际值之差

K_g —反馈机构反馈率

K_m 、 K_u 、 K_{us} 、 K_λ —测量机构放大系数

K_p —比例放大系数

m —调节机构相对变化量

P —主蒸汽压力

P_0 —主蒸汽压力额定值

T —采样周期

T_d —微分时间常数

T_i —积分时间常数

T_n —对象时间常数

T_0 —对象飞升时间

T_s —调节器伺服时间

x —对象变化的相对量

λ —扰动机构相对变化量

工况剧烈变化时往往不能满足控制要求,无法实现集中控制,更无法进一步实现优化控制。本文根据其特点和实际运行情况,对其控制特性作简要分析,并讨论实现微机控制的方式、控制算式、脉冲点选择及参数整定等问题。

二 锅炉系统简述

锅炉系统有四个调节系统(蒸汽管道压力系统、燃烧系统、给水系统和凝水系统),十四个调节器。本文仅对恒值系统、随动系统和具有关联影响的典型系统进行分析。

1. 主蒸汽压力控制特性

对象动态方程: $T_n \frac{dx}{dt} + x = K_m m - K_\lambda \lambda$

调节器动态方程: $T_s \frac{dm}{dt} + K_c m = K_u e$

其输出特性为一恒值控制系统(见图1中曲线①),稳定工况时有静态误差。

一 引 言

由于某型舰用锅炉系统采用分散的液压调节系统(苏联五十年代的控制技术),难以准确调试,实际运行时动、静特性差,在

* 本文第一稿在造船学会1988年轮机自动化学术会议宣读

收稿日期:1988-06-14

2. 空气压力控制特性

对象动态方程: $T_0 \dot{x} = m - \lambda$

调节器动态方程:

$$m = K_p \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt \right)$$

此为一随动系统, 由于调节器本身结构的限制, 尽管在稳定工况时, 空气压力为无差调节, 但在主机变负荷时, 调速器难以迅速跟踪其变化, 过渡过程时间长, 波动大。

3. 给水系统控制特性

上锅筒水位动态方程: $T_0 \frac{dx}{dt} = m - \lambda$

调节器动态方程:

$$T_s \frac{dm}{dt} + K_c m = K_e e + K_{us} \lambda$$

K_e 、 K_{us} 分别为水位和蒸汽流量测量的放大系数。这是因为上锅筒水位不仅取决于其贮水量, 且与水面下的汽泡体极有直接关系。在负荷急剧变化时, 汽筒水位表现为“逆响应特性”(虚假水位特性), 因而此系统在变工况时波动很大, 稳定工况下亦存在静态偏差。

4. 蒸汽管道压力系统控制特性

此系统由饱和蒸汽压力、废气压力和除氧器压力调节器组成。由于除氧器与废汽总管及凝水系统之间发生了动态联系, 相互影响大, 变工况时系统常处于不稳定状态, 尤其是废汽压力与除氧器压力调节系统。目前采用的控制装置是难以解决这个问题的。

三 锅炉系统微机控制的设想

舰用锅炉装置参数高、功率大, 工况变动快、幅度大, 为了保证装置的机动性、可靠性和经济性, 更准确地保持各参数为要求值, 改善舰员工作条件, 节省人力, 采用微机控制已势在必行。但我们必须从实际出发, 考虑到目前舰上已有设备、空间、人员

素质和国内科技发展水平及实际的费效比, 来设计集控系统。

1. 锅炉系统的机控

目前舰用锅炉系统采用的是分散式液压调节系统, 故动力装置宜采用集散控制方式。锅炉系统作为中间级的监督管理控制系统 (SPC), 隶属于上一级管理机的控制, 其本身应能进行遥控、自控和手动切换, 实现锅炉的程序点火、熄火保护、对各主要参数进行监测、报警及实施应急保护措施, 具有对各子系统进行在线辨识、协调优化的监督管理功能。各具体调节器可采用单回路控制系统, 简单可靠, 维修、调试方便, 易于在现有调节设备上实现。

2. 燃烧系统的机控

燃烧系统是受主蒸汽压力和空气压力系统的控制, 由于控制对象的复杂性, 其精确数学模型是难以确定的。另外, 经过一段时间运行后, 被控对象的数学模型在不同程度上都将有所变化, 使控制飘离原设定点。因而, 有多种控制方式可供选择, 但最常用的仍是PID控制, 其最重要的原因之一就是模拟式离散PID算法不需要对被控对象的动态特性进行深入研究, 即不需要过程的精确数学模型, 也能得到满意的控制效果。

因此, 主蒸汽压力和空气压力调节器均采用可编程的单回路PID控制板。主蒸汽压力的脉冲点选在过热器与速关阀之间, 调节器的脉冲信号应能迅速、准确地反应对象的变化。当负荷改变时, 速关阀前的汽压较之上锅筒内的汽压变化要快得多, 这样调节器可以更快地改变燃油量和空气量, 保证装置的机动性。参数调整中主要是考虑到 T_s 的调整, 因为主蒸汽压力调节器是整个燃烧调节系统的主调节器, T_s 的大小除影响到锅炉汽压的变化外, 尚影响到燃烧质量。因此, T_s 的大小应根据减负荷时锅炉汽压的动态偏差不超过使安全阀动作的规定数值, 增负荷时保证锅炉不冒黑烟的原则来整定。

目前,风压控制的主要缺点是变工况时风压难以迅速跟踪负荷的改变,这是因为采用的弹性反馈调节器无法提高初始调节速度的缘故。采用PID控制,可以用不同的控制程序来提高跟踪速度和精度。另外,脉冲点不仅采用锅炉夹层的风压信号,而且引入负荷变化的前馈信号,这样就可以消除除风机本身惯性外的其它不利因素,大大提高风压控制的随动特性。对控制策略和参数整定的要求以能对主机负荷变化快速响应为原则。

3. 给水系统的机控

对于舰用锅炉来讲,由于上锅筒中汽空间容积小,而热负荷又高,为了保证蒸汽有好的品质,要求在高负荷时保持较低的水位,即其静特性具有正的不均度 δ ,则积分作用的引用就成为多余。因此,舰用锅炉水位仅采用比例调节。为了防止上锅筒水位有大的波动,采用蒸汽流量信号作为水位控制器的前馈信号是行之有效的。为抑制水位的变化速度,防止水位出现大的反向超调,可将蒸汽流量信号先经一阶惯性滤波环节后作为前馈信号加到调节器。采用微机控制时,一阶惯性滤波环节可方便地采用数字滤波程序 $[Y_i = (1 - \alpha)Y_i + \alpha Y_{i-1}]$ 来实现。采用此滤波程序尚能滤去蒸汽流量的高频波动,使调节作用较为平稳。

采用微机控制时,由于定期采样,对水位变化的反应比模拟调节器慢,采用蒸汽流量信号作为前馈信号能有效地防止水位出现大的反向超调。因此,锅炉水位的最大偏差主要由对象的水位涨落所决定。这样,对于具有强烈水位涨落现象的舰用锅炉,其水位调节器的特性参数 K_p 主要是按照保证调节系统稳定性原则来确定。为了获得要求的静特性, K_{ug} 应按下式选定: $K_{ug} = 1 - \delta K_p$ 。

4. 蒸汽管道压力系统的机控

此系统的主要矛盾集中在废汽压力和除氧器压力调节系统上。实际情况是废汽总管短,体积小,几乎属于无惯性环节,而除氧

器却是一个有着庞大体积和一定惯性的热容器。实现机控时两系统的控制速度应有较大的差别,以与对象特性相适应。因此,废汽压力的脉冲信号应从除氧器压力调节前接出,饱和蒸汽补汽管在废汽排汽支管前接入总管,以减少对脉冲点压力的影响。废汽压力调节系统调节阀的调节速度应比除氧器压力调节阀移动速度快一倍左右。三个压力调节器宜采用单回路数字调节器。对于除氧器压力调节器除了测量除氧器气压之外,应该引入废汽总管压力反馈信号,它的作用是和除氧器压力信号相反,以抑制除氧器压力调节阀的移动速度,减少过调节,保证废汽压力调节系统首先稳定。调节器的参数整定以保证这三个系统的协调稳定工作为原则。

四 锅炉燃烧系统的控制 算法实例

作者对锅炉燃烧系统的控制算法进行了仿真研究。限于篇幅,仅以主蒸汽压力控制为例进行讨论。

对象数学模型: $T_n \frac{dx}{dt} + x = K_m m - K_\lambda \lambda$

根据实测的对象阶跃特性曲线,用回归法确定其 T_n 、 K_m 、 K_λ 。采用PID算法,控制算式为:

$$u_n = K_p \left[e_n + \frac{T}{T_i} \sum_{k=0}^n e_k + \frac{T_d}{T} (e_n - e_{n-1}) \right]$$

需要确定的参数为 T 、 K_p 、 T_i 、 T_d 。根据采样定理、对象特性和单片机的计算速度, T 取4秒。在IBM-PC机上以ITAE = $\int_0^\infty t |e(t)| dt$ 的离散形式 $ITAE^* = \sum_{k=0}^N K |e_k|$ 为目标泛函,在负荷阶跃扰动情况下,用单纯形法寻优 K_p 、 T_i 、 T_d ,最后得到主蒸汽压力的仿真输出特性曲线(见图1中曲线

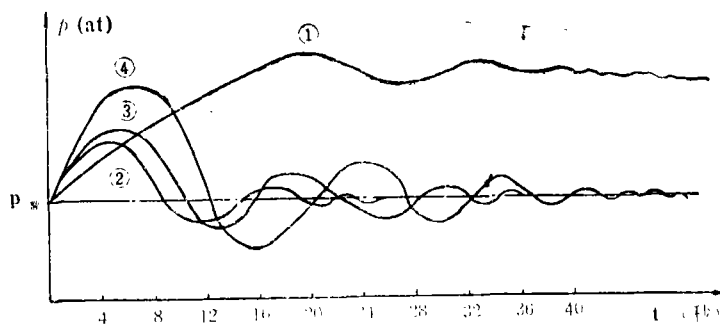


图1 主蒸汽压力控制特性

②)。

系统调试好后,工作一段时间,对象的内、外部条件都将发生一些变化,使系统控制飘离最佳点。假设对象 T_n 变大10%,但考虑到单片机的容量和速度,在采样周期 T 内对 K_p 、 T_i 和 T_d 进行寻优修正是无法实现的。采用固定 T_i 、 T_d 不变,用搜索法按 ITAE* 准则对 K_p 进行修正,既可实时控制,又简单、方便、可靠,其效果相当显著(见图1中曲线③)。图1中曲线④为 T_n 变化后未对 K_p 进行修正的曲线。

为突出。依据目前国内的技术水平微机控制完全可以实现,本文的讨论和仿真结果也证明了这一点。目前已有类似的系统进行了陆上联调。进一步的完善将是总系统和各子系统的目标泛函的选择和提高优化方法的运算速度,以期在实舰运用时能在整个系统优化运行的原则下对各调节器参数进行整定,使整个系统成为能在线辨识和参数整定的实时最佳集控系统,使舰用锅炉装置的控制达到一个新的水平。

参考文献

- [1] 杰奎沃特 R.G.: 现代数字控制系统, 科学出版社, 1987
- [2] 塞奇·怀特: 最优控制系统, 水利电力出版社, 1985
- [3] 陈佳兵, 欧阳玲: 微机控制与微机自适应控制, 电子工业出版社, 1987

(孙显辉 编辑)

五 结 论

舰用蒸汽动力装置采用微机控制具有很大的现实意义, 在提高动力装置的机动性、可靠性和经济性方面, 有较明显的优点, 特别是采用集散系统和单回路可编程调节器更

(上接第35页)

参考文献

- [1] “省エネルギー”一时代10年の見直レ(第10回)《省エネルギー》38 (8) 1986
- [2] “余热锅炉”机械工业出版社 1986
- [3] “杭州市机械系统特色优势产品的现状与展望—余热锅炉”杭州锅炉厂余热锅炉研究所馆藏
- [4] “省エネルギー”“一技惜閑究の课题”《省エネルギー》30(10) 1978
- [5] “国外节能的主攻方向—技术节能”《信息》杭州市情报研究所
- [6] “争取合理利用资源—合理利用有色冶金业的二次能源”Цветные Металлы (2) 1980

(渠源沥 编辑)

Abstract

Key Words: fluidized bed boiler, dynamic model, digital model

.....Wu Yiliang, Miao Yongmao, Zhou Bing(45)

Abstract

Key Words: marine boiler, microcomputer

Abstract

Key Words: steam wetness, evaporating surface nondimensional load