

蒸汽动力主锅炉燃烧控制系统设计及应用

(哈尔滨·第七 三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036) 李来春 许松男 郎术斌
(哈尔滨重型机器厂) 孙瑜刚

摘要: 舰船主锅炉运行时负荷变化频繁, 且变化幅度大。因此, 稳定地, 控制主蒸汽压力, 防止锅炉安全阀启跳尤为重要, 这就对燃烧控制系统的快速性提出了很高的要求。本文介绍了适用于大负荷扰动的锅炉燃烧控制系统。

关键词: 蒸汽动力装置; 主锅炉; 燃烧控制系统

中图分类号: TK223.7

文献标识码: A

1 前言

锅炉燃烧控制系统即为适应锅炉负荷变化的要求, 而使油量和风量按比例配合的控制, 一般通过控制主蒸汽压力来实现。本文介绍的舰船主锅炉燃油量是通过控制燃油分配箱负荷手轮的转角来控制投入工作的喷油器数量实现, 锅炉送风量是通过控制汽轮鼓风机转速来实现。

对定参数运行的锅炉而言, 锅炉工作的额定压力与安全阀启跳压力相差很小, 在锅炉负荷大幅度变化时, 主蒸汽压力控制采用简单的PID调节很难满足要求, 即使比例 P 、积分 I 参数设置比较小, 从试验情况看出也无法满足快速性的要求, 常会发生安全阀启跳现象。况且 P 、 I 参数过小还会给系统工作带来一些不利因素, 如变工况时被调量超调过大, 油、风量波动幅度加大, 稳定工况时被调量变化频繁, 不易稳定, 还会引起汽轮风机转速频繁波动, 这对系统及设备的工作很不利。本文介绍了一种开环控制与PID调节协调控制的燃烧控制系统。

2 燃烧控制系统设计

燃烧控制系统由主蒸汽压力和空气压力调节回路组成。以下分别介绍。

2.1 主蒸汽压力调节回路设计

主蒸汽调节回路控制原理框图, 如图1所示。

图中 x_1 : 主蒸汽压力测量值; x_2 : 负荷信号; x_3 : 电动执行器阀位信号; x_4 : 空气压力信号; DI_1 : 自动/手动信号; LAG_1 : 一阶惯性环节; DI_2 : 负荷切换信号; VLM_1 : 变化率限幅环节; LSL_1 、 LSL_2 : 低值选

择器; Y_1 : 控制输出信号; $P_{01} \sim P_{05}$: 参数; Y_2 : 空气压力外给信号; $f_1(x_2)$ 、 $f_2(x_2)$: 低负荷运行上、下限限幅函数; $f_3(x_2)$ 、 $f_4(x_2)$: 高负荷运行上、下限限幅函数; $f(x_4)$: 风/油变换函数; $A09$ 、 $F09$ 、 Bmn : 调节器内部寄存器。

2.2 调节回路设计说明

从图1可知, 该调节回路同常规调节回路相比较具有如下特点:

2.2.1 变 P 、 I 参数调节

回路采用两组 P 、 I 参数, 根据主蒸汽压力测量值与给定值的偏差绝对值大小进行切换。偏差大小规定值时采用较小的一组 P 、 I 参数, 当偏差小于规定值时采用较大的一组 P 、 I 参数, 从而回路可实现变速调节, 目的是变工况时减小动态偏差, 稳定工况时减小被调量波动频率。

2.2.2 开环控制与PID调节的协调控制

回路通过对PID控制运算输出的限幅作用实现变工况时的开环控制, 稳定工况时采用PID调节进行微调, 从而实现开环控制与PID调节的协调控制。

如图2所示, 负荷信号与锅炉的耗油量的关系可用 P_1 折线近似表示。要使负荷大幅度变化时主蒸汽压力的动态偏差满足要求, 锅炉燃油量的调节速度跟上负荷变化的速度, 为此根据负荷信号的变化规律设计了 P_2 、 P_3 两条上、下限制 P_1 的折线。 P_2 、 P_3 折线可根据锅炉的高、低负荷运行情况进行切换, 如图2所示。

P_2 、 P_3 折线的限幅作用既可以限制稳定工况下锅炉油量的调节范围, 又可以使负荷大幅度变化时锅炉油量连续加到或减少到预先的规定值, 接着再根据主蒸汽压力偏离给定值的情况由PID调节进行微调。

2.2.3 油量增减速度的控制

由图2的限幅控制可知, 负荷大幅度变化时会使油量快速增减, 油量的改变速度仅取决于执行器的开关动作速度, 这就存在一个与负荷变化速率相匹配的问题, 为此系统引入了油量增减限速控制环节, 如图3所示。由于 P_2 、 P_3 折线的限制作用会使变

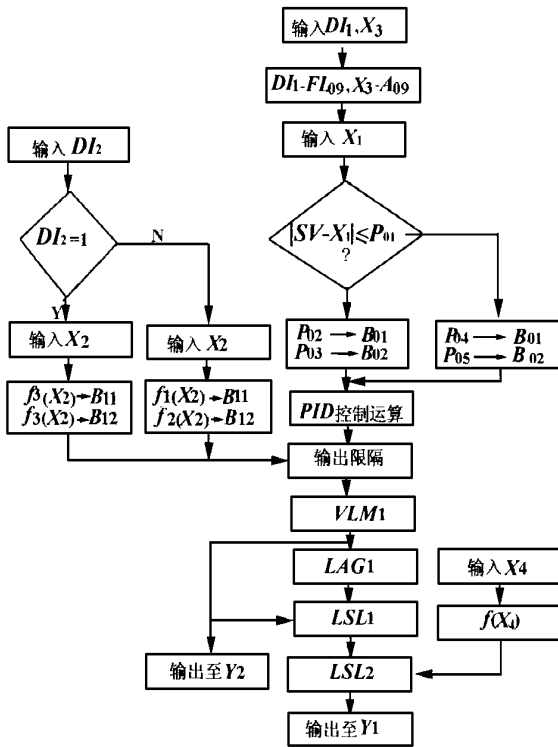


图 1 主蒸汽压力调节回路控制原理框图

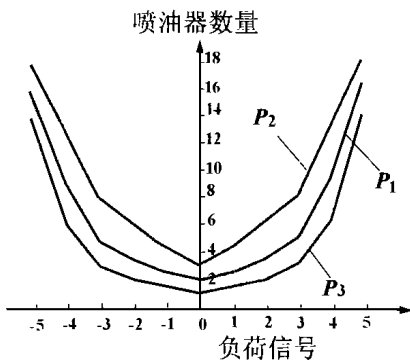


图 2 负荷与喷油器数量对应关系曲线

工况时 MV 阶跃变化, 通过对 MV 进行上升和下降的双向变化率限幅, 可使 MV 的增减速度得到控制, 即油量的增减速度得到控制。通过改变 P_{01} 、 P_{02} 的设定值

即可限制 MV 的上升、下降速度。

2.2.4 风量限制油量的控制

当负荷大幅度增加时, 油量也会跟着大幅度增加, 这便产生了油风的匹配问题。若风量跟不上油量的增加速度, 势必造成锅炉冒烟, 为此回路中又获取实际风量信号, 经过风、油变换处理后作为限制油量增加速度的环节。从而实现增负荷时系统会有较佳的风油配比。图 1 中 LSL_2 环节即为油量限制风量的环节。

2.3 空气压力调节回路的设计

回路的原理框图与常规调节回路基本相同, 此处不再赘述。空气压力回路给定值为外给定, 其信号来自主蒸汽压力调节回路的输出 Y_2 , Y_2 经过油、风变换后作为空气压力的给定值信号。

该调节回路与一般回路的不同之处在于 PID 控制运算的算法选取上, 通常回路均采用定值控制运算式, 如式 (1) 所示, 而空气压力调节回路采用追值控制运算式, 如式 (2) 所示。

$$MV = \frac{100}{P} \left(PV + \frac{1}{T_I S} \cdot E + \frac{T_D S}{1 + \frac{T_D S}{m}} \cdot PV \right) \cdot AG \quad (1)$$

$$MV = \frac{100}{P} \left(E + \frac{1}{T_I S} \cdot E + \frac{T_D S}{1 + \frac{T_D S}{m}} \cdot PV \right) \cdot AG \quad (2)$$

式中 MV : 控制输出; E : 偏差; PV : 测量值; P : 比例带; T_I : 积分时间; T_D : 微分时间; m : 微分增益; S : 运算符; AG : 可变增益。

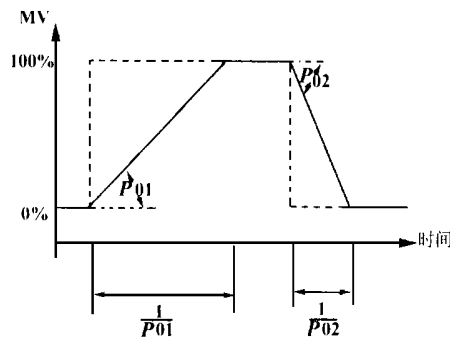


图 3 变化率限幅输入输出特性

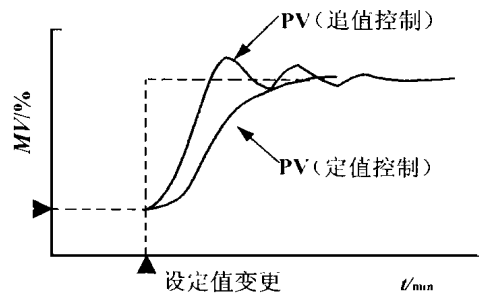


图 4 设定变更时的响应

从式 (1) 可知, 定值控制算式中比例动作只作用于测量值。当给定值变化时, 操作输出 MV 不会发生急剧变化。对于给定值不断变化的调节回路而言, 其调节速度显得慢些。从式 (2) 可知, 追值控制算式中比例动作对偏差起作用。

所以进行给定值变更时, 也能得到迅速的响应, 从而提高调节回路的调节速度。式 (1)、(2) 对给定值变更时的响应曲线如图 4 所示。空气压力调节回路正是由于采用了式 (2) 的控制算法, 才满足了变负荷快速性的要求。

3 试验记录曲线及结果分析

该燃烧控制系统按图 5 的变负荷试验曲线进行

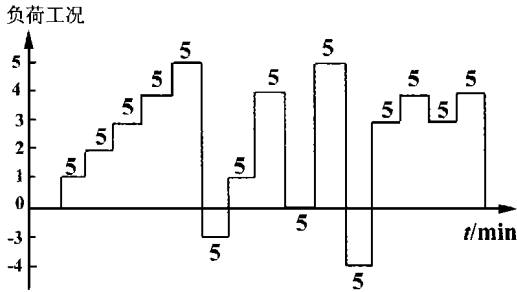


图 5 燃烧控制系统变负荷试验曲线

试验时，由计算机实时记录的主蒸汽压力、主蒸汽压力控制输出（即油量）、汽轮风机转速等部分曲线如图 6、图 7、图 8 所示。

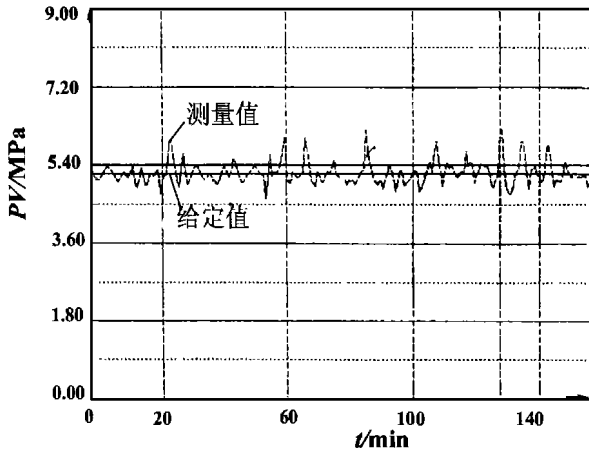


图 6 主蒸汽压力测量值给定值记录曲线

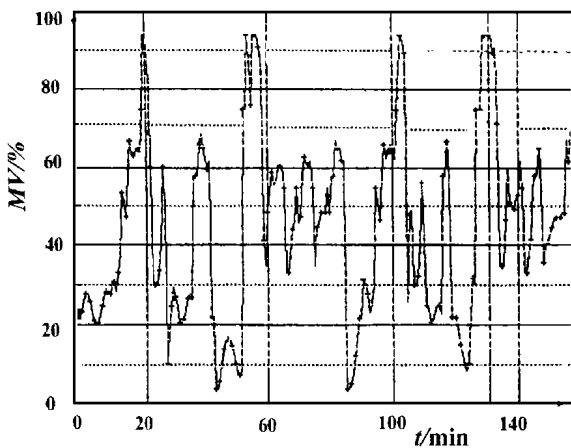


图 7 主蒸汽压力回路控制输出 MV 记录曲线

从图 6 的主蒸汽压力测量值给定值记录曲线可以看出，尽管系统负荷变化频繁且较大，但测量值基

本维持在给定值附近，系统静态偏差在 ± 0.1 MPa 范围内，图中主蒸汽压力测量值最高为 6.24 MPa，满负荷折算锅筒压力最高为 6.49 MPa，主锅炉安全阀起跳压力为 6.67 MPa，因此控制系统动态偏差满足变负荷安全阀不起跳的要求。从图 7 的记录曲线可以看出，主锅炉燃油量从 5% 至 95% 范围内变化，油量投入减少的速度很快，一般简单的 PID 调节很难满足快速性的要求，而本控制系统完全满足了动力装置变工况对快速性的要求。从图 8 的汽轮鼓风机转速记录曲线可以看出，变负荷时风机转速在 3 100 r/min 至 7 800 r/min 范围内快速变化。从实际调试情况也可以看出，变负荷时锅炉不冒烟，因此追值控制 PID 运算式满足了系统变工况锅炉不冒烟的要求。另外稳定工况下静态偏差在 ± 200 r/min 范围内，也满足了系统的要求。

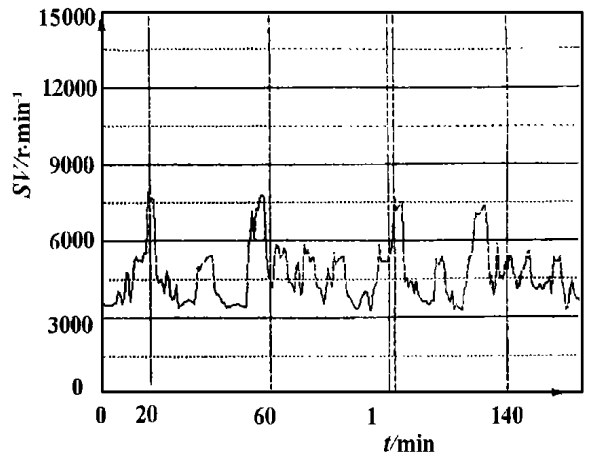


图 8 汽轮鼓风机转速记录曲线

4 结论

(1) 通过实际试验证实，该燃烧控制系统设计合理，实际可行。从记录曲线分析可知尽管负荷的大幅度变化，但油量和风量按比例调节得很协调，主蒸汽压力的参数指标满足要求。

(2) 该燃烧控制系统可以应用到负荷变化频繁且幅度较大的燃油和燃气锅炉上。

参考文献

- [1] 李子连等. 热工自动化设计手册. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [2] 李友善. 自动控制原理. 北京: 国防工业出版社, 1983.

(复 编)

Fields at a Swirl Burner Outlet with the Help of a One-dimensional Hot-film Probe [刊, 汉] / Sun Rui, et al (College of Energy Science & Engineering Under the Harbin Institute of Technology), Ma Chunyuan (Shandong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 165 ~ 168

Under different values of yaw angle α , pitch angle θ and air speed measured were the magnitudes of yaw coefficient ϵ and pitch coefficient h of a one-dimensional hot-film probe. Their variation relationship was also studied. Furthermore, by taking advantage of the directional sensitivity of the one-dimensional hot-film probe to spatial-air flow, measurements were taken of the cold-state rotating flow field at the outlet of a pulverized-coal swirl burner model of radial dense-dilute air flow. As a result, a zone with turbulent-air flows of a relatively high pulsation level has been identified, which is favorable to pulverized-coal combustion. **Key words:** swirl burner, swirling jet, turbulent stress, hot-film anemometer

某厂 125 MW 机组热经济分析及故障诊断专家系统 = An Expert System of Economic Analysis and Failure Diagnosis for a 125 MW Unit [刊, 汉] Liu Liang, Li Luping, Xie Youcheng, Cheng Mingyi (Changsha Electric Power Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 169 ~ 170

Described in this paper is an expert system of economic analysis and failure diagnosis for a 125 MW unit, which integrates on-line supervision, fault diagnosis, economic analyses, operation guidance and the provision of an intelligent data-bank. It has the capability to track various operating parameters on a real-time basis and in conjunction with a system data-bank calculate the economic indexes corresponding to a current operation condition. Furthermore, it also performs operating-condition and failure analyses in addition to providing guidance to operating personnel for carrying out a correct operation. **Key words:** economic analysis, failure diagnosis, expert system

基于 Windows 32 位平台下热力设备监控系统的开发 = Development of a Monitoring System for a Thermodynamic Plant under Windows 32 Bit Platform [刊, 汉] / Huang Bo (Harbin University of Science & Technology), Han Muxin, Li Yuehua (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 171 ~ 172

The authors expound a communications mechanism under Windows 32 bit platform and a method for the preparation of serial communications software with the use of VB. Specific examples and the newest database processing object ADO of VB are also presented. **Key words:** industrial control, VB, serial communications, ADO

水平浓淡风煤粉燃烧技术在预防水冷壁高温腐蚀中的应用 = The Application of a Horizontal Dense-dilute Air Pulverized-coal Combustion Technology for Preventing Waterwall High-temperature Corrosion [刊, 汉] / Wang Ying, Qin Yukun, Wu Shaohua (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 173 ~ 174

On the basis of an analysis of the main causes leading to a boiler waterwall high-temperature corrosion in a tangentially-fired furnace it is concluded that a rational air distribution and proper adjustment of combustion regimes represent the basic measures to prevent the above-cited corrosion. The present paper focuses on the fundamentals of a novel utility-patent concerning a horizontal dense-dilute air pulverized-coal burner, which is capable of effectively preventing high-temperature corrosion of boiler waterwalls. **Key words:** boiler, waterwall, high-temperature corrosion, horizontal dense-dilute air pulverized-coal combustion

蒸汽动力主锅炉燃烧控制系统 = Main Boiler Combustion Control System of a Steam Power Propulsion Plant [刊, 汉] / Li Laichun, Xu Songnan, Lang Shubin (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 175 ~ 177

The operation of a marine main boiler is characterized by a very high frequency of load changes, and often by a sizable margin at that. As a result, to maintain a stable main steam pressure is of primary importance in avoiding