

# 增压锅炉自动燃烧调节系统燃油滑阀组的特性研究

周国义, 王剑平

(海军工程大学 船舶与动力学院, 湖北 武汉 430033)

**摘 要:**以船用增压锅炉自动燃烧调节系统燃油滑阀组为对象, 通过理论分析、部件国产化研制和试验对其工作特性进行了初步探讨。研究表明经调节滑阀的燃油流量具有单值性, 且为比例调节, 即在燃油调节滑阀前后压差  $\Delta P$  一定时, 喷油量  $B \propto f$ 。其结果为该系统的研制试验、运行管理和维修培训等进一步研究提供依据。

**关 键 词:**船用增压锅炉; 燃烧调节; 燃油滑阀组; 特性

中图分类号: TK223.7 文献标识码: A

## 1 引 言

锅炉汽压值表征了燃油在炉膛燃烧产生的热量和耗汽量(有用热量)、烟气所带走热量及散热量之间的平衡关系。运行中除主、辅机负荷经常变化外, 还有各种各样的扰动因素造成锅炉汽压改变, 如空气过余系数变化、燃油温度变化、喷油器雾化片磨损或堵塞、受热面结垢积灰及给水温度变化等。为了保持规定和稳定的汽压就必须及时地调整炉内燃烧, 使供油量和风量按比例匹配。因此, 为了满足动力装置的技术性能要求, 现代船舶锅炉都安装有自动燃烧控制设备<sup>[1~4]</sup>, 而控制燃烧的关键部件就是蒸汽压力调节器中的燃油滑阀组。

自动燃烧控制设备主要用于自动控制进入炉膛的燃油量和为燃油完全燃烧所必须的空气量, 使之在动力装置的任何工况下, 都能保持锅炉的蒸汽压力、进入炉膛的空气压力、操纵台前燃油总管的油压、调节滑阀前后的燃油压差以及喷油器前的燃油温度为规定值。

增压锅炉装置采用大容量喷油器增压燃烧技术, 在国内是首次应用, 具有诸多优点。它是船舶蒸汽动力装置主锅炉的发展方向, 加强对其自动燃烧调节设备的理论研究、部件研制与特性试验势在必行。目前, 国内有关增压锅炉自动燃烧调节系统特性研究的报道尚不多见。作者根据近几年的研究实践, 对增压锅炉自动燃烧调节系统中关键部件燃油

滑阀组的工作特性进行了初步探讨。

## 2 增压锅炉的燃烧调节系统

### 2.1 系统组成

增压锅炉自动燃烧调节系统十分复杂, 而且它是增压锅炉装置的关键设备之一。增压锅炉燃烧所需空气由涡轮增压机组的压气机提供, 压气机由燃气轮机和蒸汽轮机联合驱动。燃油通过燃油泵从燃油柜抽出经燃油预热器、节流滑阀、调节滑阀到燃烧设备的喷油器至炉膛雾化燃烧。自动燃烧调节系统基本组成部件包括: 蒸汽压力调节器、燃油压力调节器、燃油温度调节器、燃油压差调节器、空气耗量调节器和冒烟限制器调节器等。简化后的船用增压锅炉自动燃烧调节系统功能框图见图 1。

### 2.2 系统工作原理

锅炉汽压的调节和保持是一个带全局性的重要环节, 直接影响到动力装置可靠性、机动性和安全性。为了更好地控制汽压, 每个机炉舱集控室的锅炉控制台内安装有一只蒸汽压力调节器, 它是系统的主导调节器。调节器的测量机构用于检测增压锅炉主停汽阀前的蒸汽压力值; 调节机构是燃油滑阀组中的调节滑阀, 用于改变进入炉膛的喷油量并使其变化值足够用于恢复汽压的变化; 伺服机构是带曲柄连杆式活塞伺服器, 通过机械传动装置与燃油调节滑阀一起回转, 并通过凸轮机构改变空气耗量调节器、燃油压力调节器和冒烟限制器调节器的给定值; 借助于控制装置切断或接通锅炉喷油器伺服器。

在稳定工况下, 蒸汽压力作用在波纹管上所产生的力是在杠杆上转化为力矩, 正好与定值弹簧、反馈弹簧和调整弹簧的张力对杠杆的力矩相平衡。杠杆位于水平位置, 扩大器挡板居中, 伺服器活塞及其所带动的燃油调节滑阀保持不动, 汽压保持不变, 整个燃烧调节系统处于相对稳定状态。

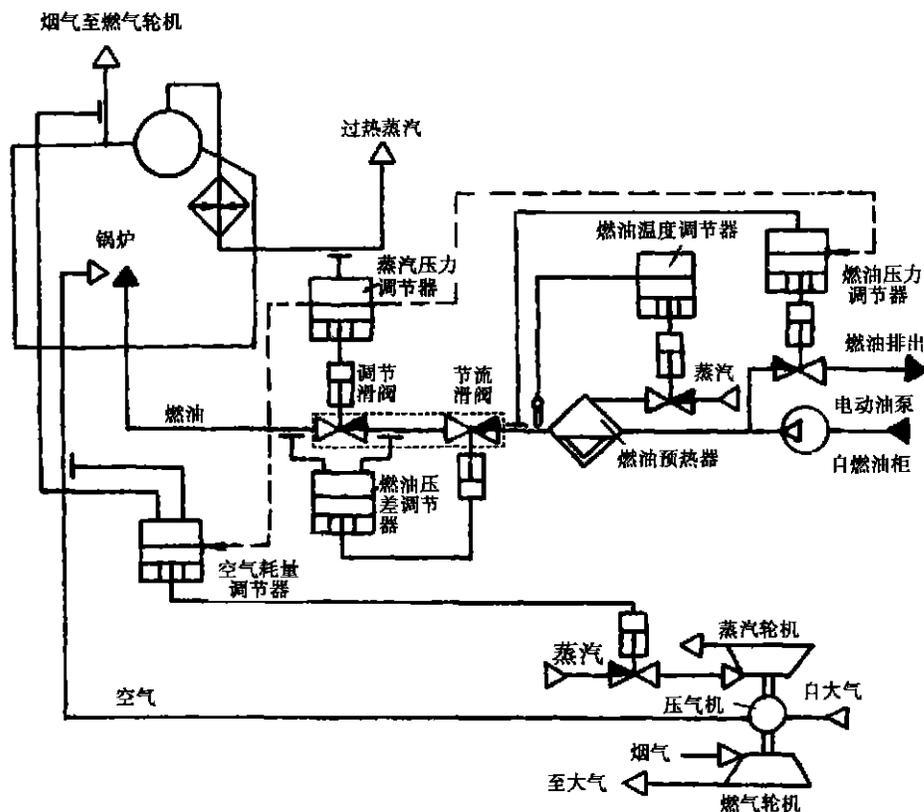


图 1 船用 增压锅炉 自动燃烧调节系统功能框图

当主机负荷增加(或降低)致使耗汽量相应增加(或减少)时,蒸汽压力调节器的脉冲点压力随之降低(或上升),作用在杠杆上的力矩失去平衡,挡板向右(或向左)偏移,伺服器活塞在工作水压差作用下移动,通过传动杆带动传动轴转动,使两台锅炉的燃油调节滑阀开大(或关小),增加(或减少)供入炉膛的燃油量。与此同时,依靠反馈凸轮改变反馈弹簧张力,对杠杆实施反馈作用,促使调节器挡板返回中间位置,减少过调节,保证调节过程的稳定性,最后调节器保持汽压为给定值,调节系统达到新的平衡。

### 2.3 燃油滑阀组

增压锅炉的燃烧控制部件与非增压锅炉完全不同。燃油滑阀组是增压锅炉燃烧调节系统的关键部件,由调节滑阀和节流滑阀组成(见图 1 中虚线方框),组装在一个公共壳体内,其窗口形线决定了工作特性。调节滑阀是蒸汽压力调节器的执行机构,用于满足锅炉负荷要求;而节流滑阀是燃油压差调节器的执行机构,用于保证调节滑阀前后规定的压差。国产化研制的两种滑阀的结构图见图 2。而非增压锅炉燃烧调节部件由 6 个打开滑阀和 1 个回油

滑阀组成。回油滑阀上有 13 个高度不同的锯齿孔,用于锅炉不同负荷下回油,其结构详见参考文献[5]。

### 3 试验装置

实验室试验装置如图 3 所示。增压锅炉 6 只喷油器和炉膛用 6 个节流圈和回油收集器模拟。试验油通过燃油泵送到节流滑阀和调节滑阀,然后到各喷油器前。负荷手轮在 0° 时,燃油通过喷油器手动截止阀到达 1 号和 2 号喷油器的 2 个节流圈,并进入回油收集器和燃油柜。节流滑阀前的燃油压力由燃油压力调节器按定值凸轮规定的程序自动保持,该定值凸轮位置由负荷手轮确

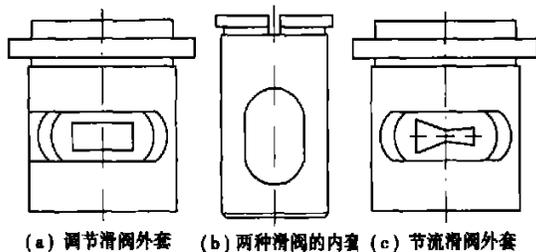


图 2 增压锅炉的调节滑阀与节流滑阀

定。通过调节滑阀的燃油流量(与负荷手轮的一定位置相对应),它具有单值性。燃油温度由温度调节器保持在规定值(见图 1);1 号和 2 号喷油器为手动控制,3 号~6 号喷油器由各自的工作水伺服器按要求自动接通。在燃油调节滑阀衬套内转动调节滑阀,根据锅炉负荷按照规定的程序接通相应数量的喷油器;同时改变燃油滑阀组前的燃油压力和空气压差(控制信号见图 1 虚线所示),保证通过燃油调节滑阀上燃油流量均匀变化和相对应的风压。



线方程的根:

$$\lambda_{1,2} = -\frac{\delta}{2\gamma T_s} - \frac{K}{2T_\alpha} \pm$$

$$\sqrt{(\delta T_\alpha + \gamma K T_s)^2 - 4\gamma T_s T_\alpha (1 + \delta K)} / 2\gamma T_\alpha T_s \quad (5)$$

可知,系数  $K$  和  $\delta$  增大同样导致动态过程时间减小。工程上,通常调整  $\delta$  和  $T_s$  值来改变调节系统的静态和动态特性。

### 4.2 燃油滑阀组特性分析

燃油滑阀组各滑阀的结构型式和加工精度对锅炉燃烧过程调节特性影响很大。现代船用增压锅炉中大多采用蒸汽雾化机械离心式喷油器,属于介质加离心作用的混合式喷油器,其喷油量达 1 600 kg/h。喷油量的调节方式是通过改变喷油器数量和喷油器前燃油压力的联合方式进行。

与非增压锅炉不同,它不采用回油调节方式,且喷油器前的燃油压力根据锅炉负荷变化为程序调节,而调节滑阀前后压差  $\Delta P$  采用定值调节(0.25 ~ 0.45 MPa),它由燃油压差调节器保证,其调节机构是燃油节流滑阀。

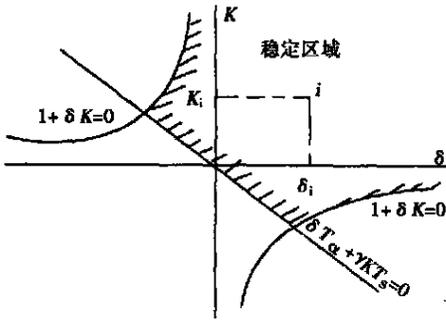


图5 系数  $\delta K$  平面上蒸汽压力调节回路的稳定区域

实际使用中,在锅炉负荷不超过约 17% 时,1 号和 2 号喷油器工作;当接通 3 号喷油器时,燃油通过的调节滑阀截面积  $f$  增加了一倍,为了在此时保持燃油耗量  $B$  不变,由于  $B \propto f \cdot \sqrt{\Delta P}$ ,须将燃油压力减小 3/4。随锅炉负荷  $B$  (或蒸发量  $D$ ) 增加,燃油压力调节器减少总管回油,使节流滑阀前总管压力增大,燃油压差调节器始终将调节滑阀前后压差  $\Delta P$  在锅炉任何负荷保持在规定值,这样,流过调节滑阀的燃油流量  $B$  就平缓地发生变化;当接通 4 号喷油器时,燃油通过的截面总面积  $f$  增加了 3/2,须将燃油压力减小 9/4 等等(见图 6)。由于调节滑阀上的前后压差由燃油压差调节器自动保持(为定值调节),

以及滑阀和套筒上的窗口采用了相应设计截面形状(见图 2),所以,在燃油调节滑阀前后压差  $\Delta P$  一定时,燃油流量  $B$  与燃油调节滑阀的转角  $\varphi$  成正比,即  $B = (C_4 \varphi_k + C_5) \sqrt{\Delta P}^{[1]}$ ,也就是说增压锅炉的耗油量  $B$  与负荷手轮转角  $\varphi$  一一对应。

当节流滑阀前后压差  $\Delta P$  改变时,  $B$  会相应地改变。特性试验曲线见图 6。

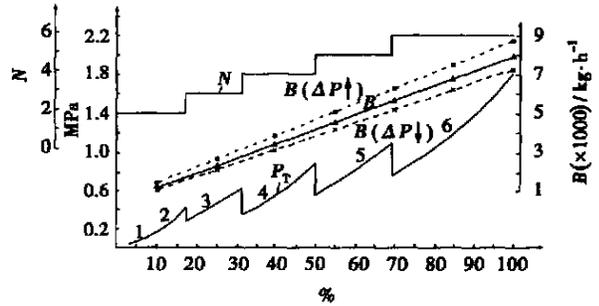


图6 喷油器  $N$  接通,燃油压力  $P_T$  变化及喷油量  $B$  随锅炉负荷(或锅炉负荷手轮角度  $\varphi$ ) 的变化曲线

## 5 结 论

(1) 本文对燃油滑阀组的特性进行了初步探讨;所给出的试验装置对增压锅炉整个自动燃烧调节系统的理论和试验研究以及维修技术培训等具有重要意义。例如:利用该装置可进行燃烧调节系统维修后的程序调试试验;蒸汽压力调节器、燃油压力调节器和燃油压差调节器静态特性试验;节流滑阀和调节滑阀的初始开度检查和调试;喷油器接通顺序调试等。因此,具有工程实用价值。

(2) 给出了增压锅炉  $B = f(\varphi)$ 、 $P_T = g(\varphi)$  关系曲线,可供运行管理和维修调试时使用参考。

### 参考文献:

[1] 周国义,曹水.参数法估算船用增压锅炉试验时的燃油耗量[J].海军工程大学学报,2001(4):63-66.  
 [2] 周国义.船用动力装置自动调节与控制[M].武汉:海军工程大学,2002.  
 [3] 吴奕亮.船用汽力装置自动调节[M].武汉:海军工程学院,1993.

(何静芳 编辑)

增压锅炉自动燃烧调节系统燃油滑阀组的特性研究 = **An Investigation of the Characteristics of the Fuel-oil Slide-valve Group Installed in the Combustion Auto-regulation System of a Supercharged Boiler** [刊, 汉] / ZHOU Guo-yi, WANG Jian-ping (Institute of Power Engineering under the Naval Engineering University, Wuhan, China, Post Code: 430033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(2). — 189 ~ 192

With the fuel-oil slide-valve group used in the combustion auto-regulation system of a supercharged boiler serving as an object of investigation a preliminary exploratory study was conducted of the operating characteristics of the valve group through a theoretical analysis as well as a review of the development and tests, that resulted in the successful domestic production of its components. The results of the study indicate that the fuel oil flow rate of the slide valve after regulation exhibits a single-valued character and is suitable for proportional regulation. This means that when the pressure difference  $\Delta P$  before and after the fuel-oil regulating slide valve is constant, the oil spray quantity  $B$  will vary directly as  $f$ . The results of the study can provide a basis for the further study of the system development and testing, operation management as well as the training of maintenance personnel, etc. **Key words:** marine supercharged boiler, combustion regulation, fuel oil valve group, characteristics

接收侧向排汽凝汽器的技术特点及研制 = **Technical Features and Development of a Steam Condenser with a Lateral Acceptance of Turbine Steam Exhaust** [刊, 汉] / XU Yan (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(2). — 193 ~ 196

The technical features and development status of the first condenser in China with a lateral acceptance of turbine steam exhaust is described with an emphasis on the analysis of its force-assuming condition and thermal expansion changes. In addition, some methods and approaches are proposed to resolve the pertinent problems. By using the newest numerical simulation software analyses and calculations were conducted concerning the steam-phase flow field of the condenser. A rational selection of tube bank layout modes has led to the achievement of an optimized thermodynamic performance for the condenser. **Key words:** lateral acceptance of turbine steam exhaust, steam condenser, lateral thrust, tube bank arrangement, flow field analysis

某电站亚临界直流炉改造前、后炉内燃烧的数值模拟及分析 = **Numerical Simulation and Analysis of the In-furnace Combustion of a Subcritical Once-through Boiler of a Power Station Prior to and After its Retrofitting** [刊, 汉] / ZHANG Bo, HUI Shi-en (Institute of Energy & Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049), WEN Jun, XU Dang-qi (Guodian Research Academy of Thermal Engineering, Xi'an, China, Post Code: 710032) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(2). — 197 ~ 200

By using a numerical simulation method a study was conducted of the in-furnace combustion at 100% BMCR (boiler maximum continuous rating) for a power station boiler prior to and after its retrofitting. Through an analysis and a comparison of field velocity, temperature and oxygen content of the boiler in-furnace combustion prior to and after its retrofitting it has been ascertained that as a result of the boiler retrofitting the in-furnace combustion is stable, the slagging and high-temperature corrosion tendency of the water wall becomes weaker. An argumentation of the boiler retrofitting has confirmed the feasibility of the adopted version of retrofitting. Meanwhile, concerning the phenomenon of non-uniform distribution of flue gas temperature at the furnace outlet after boiler retrofitting, as discovered by relevant calculations, several proposals are put forward to cope with the situation. They consist in lowering the height of injection of zoned air supply and in increasing the zoned air velocity. **Key words:** boiler, combustion, numerical simulation