

大亚湾核电站调试锅炉 燃烧设备及系统的设计

李宗毅 范仲华 罗建忠 刘浩 孙瑜珉
(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕 简述了大亚湾核电站调试锅炉燃烧设备及系统设计要点,设备满足并保证了锅炉不同负荷下运行要求。

关键词 锅炉 燃烧器 调风器 喷油器 继动器 效率 特性

1 前言

大亚湾核电站调试锅炉是为电站 900 MW 主机预运行试验所用的三台调试锅炉。每台锅炉的蒸发量为 107 t/h,蒸汽压力为 1.5 MPa,蒸汽出口温度 250^{+30} °C,燃料为轻柴油;炉膛容积热负荷为 3.234×10^6 W/m³ [$(2.78 \times 10^6$ kcal/(h·m³)],燃油耗量每小时 8 153 公斤;锅炉负荷要求在(30~100)%范围内调节。每台锅炉配单台鼓风机供风,采用液力耦合器实现无级变速以满足锅炉燃烧负荷调节的需要。燃油通过三台燃油泵供应三台锅炉的燃料,油压及流量通过自动调节阀进行控制。

2 燃烧设备

为适应高的炉膛容积热负荷和锅炉负荷调节的需要,燃烧设备采用了小容量多数量的方式,每台锅炉配置 20 套,前后墙各布置 10 套,确保在炉膛内火焰具有良好的光满

度。

燃烧设备包括调风器、喷油器、继动器、传动装置和炉前燃油管系及阀门附件组成。单只燃烧器见图 1。

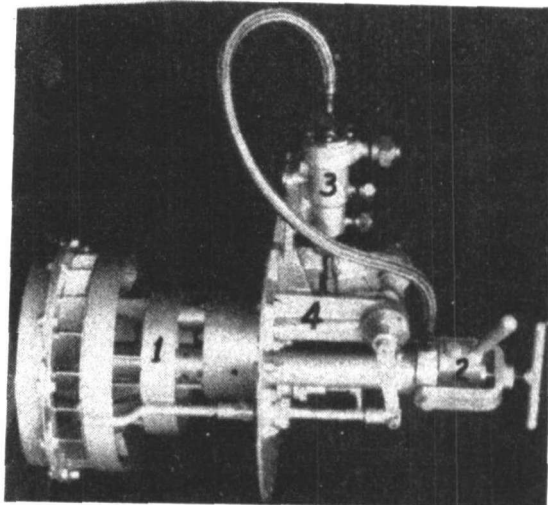


图 1 燃烧器

1 调风器 2 喷油器 3 继动器 4 传动装置

收稿日期 1992-11-12

本文联系人 李宗毅 男 56 高工 150036 哈尔滨 77 信箱

2.1 调风器

调风器采用双通道旋流型。燃烧用的空气进入调风器分成两股气流，一股是通过切向叶轮通道形成的切向气流，另一股是通过轴向通道形成的轴向气流。切向叶轮是由前倾 14° 角的锥环和 18 片直叶组成。两股气流混合后形成的轴向分量和切向分量的强旋流，为强化风油混合过程提供了良好条件。

在调风器接近风口处中心管上装有一个直径 100 mm、锥度为 90° 的喇叭型扩散器，也称稳燃器。它使气流形成一个回流区，起到了稳定着火的作用。在扩散器上开有 8 个 5 × 11 mm 长方孔，一次风通过长方孔射入，与喷入的油雾进行初始混合，它也起到扩散器的自清洗的作用，防止了扩散器的表面结焦。众所周知，由于气流的旋转与扩散器的作用，在气流场中形成的高温回流区能使燃烧稳定；但由于油雾在此区域中是处于缺氧状态，极易出现析炭现象，造成燃烧不完全。未燃油滴若触及扩散器表面或喷嘴头部，就会发生严重结焦致使喷嘴和一次风口堵塞。本锅炉采用的燃料是轻柴油，轻质馏份相对比较，易于挥发，易于燃尽，但由于局部热强度大，温

度高，如果严重缺氧将会发生热分解，游离出不易燃尽的碳黑粒子。因此在调风器设计时，除适当增加一次风外，还增大中心风造成油雾与空气的早期良好混合，由此也使回流区根部外移，避免了扩散器和喷嘴头部结焦。

3 喷油器

本锅炉喷油器采用机械雾化喷嘴，20 只喷油器中有 4 只(前后墙各布置两只)是带有中心回油的可调节喷油器，其余 16 只为不可调简单机械雾化喷嘴。喷油器单只喷油量 $G = 408 \text{ kg/h}$ ，锅炉负荷的变化主要以改变喷油器投入的数量来控制。

随着锅炉升负荷，喷油器按固定顺序投入运行。即前 6 个喷油器单个依次投入—前 1 号、后 1 号、前 2 号、后 2 号(以上 4 个为可调节喷油器)、前 3 号、后 3 号(此两个为不可调节喷油器)，随后是前后各一个不可调节喷油器成对投入。在投入每个燃烧器时，均用调整已投运的可调节喷油器喷油量的方式使锅炉负荷曲线平滑过渡。

锅炉燃烧器负荷变化曲线见图 2。

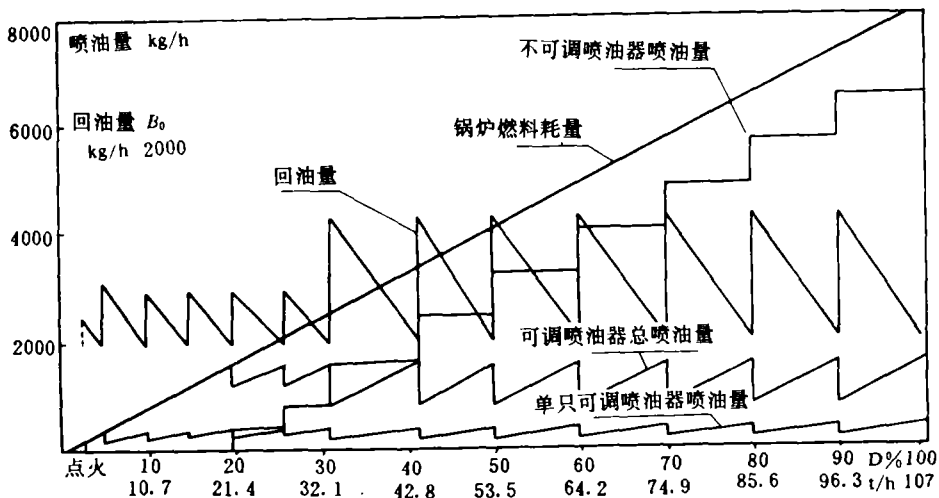


图 2 燃烧器负荷变化曲线

可调节喷油器喷油量的调整是靠改变回油压力达到的。图 3 是试验获得的在供油压力为 2.8 MPa 和 2.5 MPa 时的可调喷油器流量特性曲线。它显示了回油压力与燃油流量和回油量之间和关系。

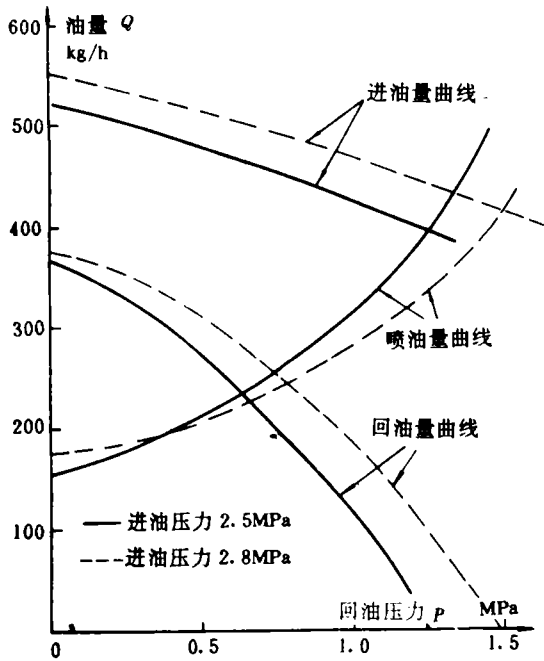


图 3 可调喷油器流量特性曲线

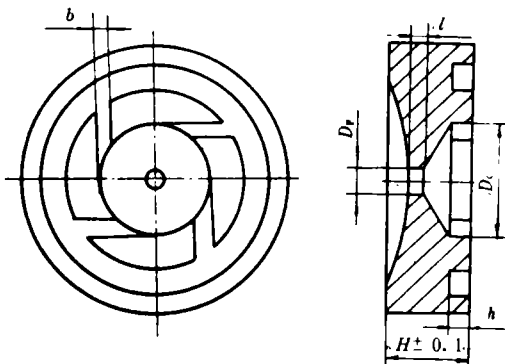


图 4 雾化片结构

可以看出,当供油压力为 2.8 MPa 时,

最大燃油流量为 408 kg/h,回油量为零。此时最大回油压力为 1.5 MPa。回油压力降低,则回油量增加,燃油流量减少。这样可以根据需要的锅炉负荷从图 2 和图 3 曲线中得出总燃油量、回油量以及相应的投入燃烧器数量和回油压力值供调试和运行使用。

喷油器的主要部件雾化片的结构尺寸根据对单个喷油器的流量和雾化角的要求进行设计计算。雾化片的结构见图 4。

目前,我们应用国内外广泛采用的最大流量原理整理出的经验公式来进行喷油器计算。无论对可调节或不可调节的喷油器,其相对误差都较小。

通常,重量流量以下式核算:

$$G = \mu \pi r^2 \sqrt{2g\rho_0 \gamma^2}$$

式中

r —喷孔半径

ρ_0 —喷油器入口油压

γ —油重度

g —重力加速度

μ —喷孔流量系数

根据目前采用的雾化片形式经大量试验数据整理得出和简单机械雾化喷油器的流量系数可用经验公式:

$$\mu = 0.405 A_{d1}^{-0.75}$$

计算。式中的 A_{d1} 为当量几何特性系数。它考虑了雾化片结构特性,并对燃油的粘性的影响、切向槽的流量系数等因素作了修正,使公式比直接应用几何特性系数 $A = \pi r_p R / \Sigma f$ 的理论计算更接近实测数据。

同理,得出了条件雾化角(距喷口 100 mm 处的)经验公式

$$\alpha_{100} = 58.5 A_{d1}^{0.465}$$

不难看出,喷嘴的流量及雾化角主要取决于雾化片的几何结构参数,其中流量满足锅炉的需要,而雾化角必须与调风器形成的合理的空气流场相适应,这是确保良好燃烧质量的关键。

正如前述,采用轻柴油作为燃料有火焰短、局部热强度高的特点,必须更注意雾化角的选择。过大过小都会造成严重的燃烧不完全,甚至结焦。除了风油角度配合合适外,也宜取不大的雾化角,而且对可调喷油器来说,还必须在结构尺寸选择时考虑到回油压力大和回流压力小时的雾化角变化尽可能小,以保证可调喷油器在小负荷时的燃烧质量。

诚然,雾化的细度也直接影响到燃烧质量,一般希望颗粒较均匀,平均颗粒度尽可能小,由于现选的雾化颗粒度值(索太尔平均粒径)都低于通常的推荐范围,本文不再细述。

2.3 继动器及传动装置

为了达到油和风的联动,本系统采用了继动器这一液压传动伺服器,它的结构见图5。

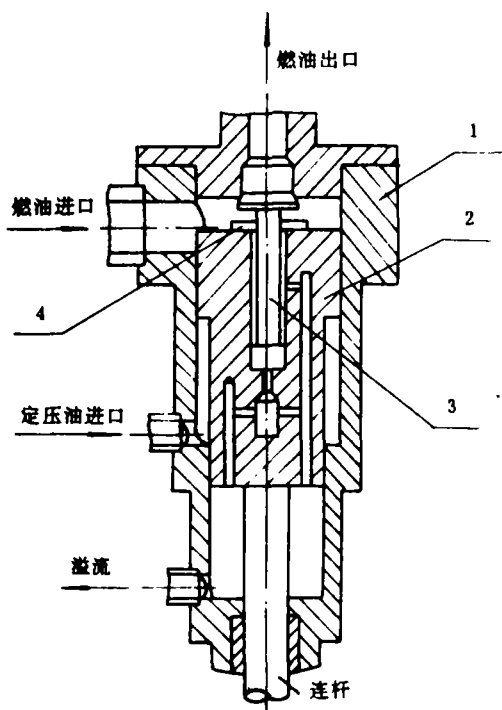


图5 继动器结构

- 1 继动器体 2 活塞
- 3 小活塞 4 半圆型垫块

继动器是利用活塞的两表面的液压差使

活塞运动的原理。继动器下环腔与定压管连接,定压油与供油压基本相等。在未打开燃油进油阀时,活塞在顶部位置。此时供油孔及调风器风门关闭。当燃油进入继动器上腔以后,由于活塞上表面积比下环面积大,在压力作用下推动活塞(2)和连杆下移,而此连杆与传动装置上的轴相连接,在轴上固定两个摆杆带动调风器的风门打开。当供油阀关闭时活塞又上移,风门关闭。该结构的特点是活塞(2)中间装有一个小活塞。小活塞体在活塞内上下有一定距离的滑动,起到关闭及打开油路向喷油器供油的作用。正是这种结构特点实现了锅炉操作运行的规定:启动时先打开风门进而供油点火;停炉时先关闭油路而再关闭风门的顺序。

由于结构需要,继电器允许有很少的油泄出,泄油由泄油管排出。当燃用轻柴油时,油的粘度低,泄油量会增大,严重时甚至会影响油泵的供应能力。因此对活塞配合精度要求相当严格。我们除在可能情况下提高加工精度外,还对控制泄油量的有关结构作了改进,满足了运行的需要。

3 燃烧系统

3.1 燃烧器布置

燃烧器在炉膛前后墙对称布置,火焰成前后墙对冲双L型。由于炉膛容积热负荷大,火焰充满高,燃烧器布置必须十分紧凑。众所周之,对流过热器有蒸汽温度随着锅炉负荷升高而升高的特性,其变化幅度视它在对流烟道的位置而不同。用户要求本锅炉的过热蒸汽出口温度曲线平坦,因此在布置燃烧器时除了使火焰的位置在不同负荷时均趋合理外,编排投入顺序也考虑了过热器出口蒸汽温度的调整。

燃烧器布置示意图见图6。燃烧器是按星形布置方式,其轴线倾角为60°。图中编号

即为燃烧器投入次序。可以看到,当锅炉负荷升高时投运燃烧器所组成的火焰中心逐渐由近炉膛出口向炉膛水冷壁侧移动,使锅炉在负荷较低时过热器进口烟温增高,对对流过热器的蒸汽出口温度有一定的稳定作用。由此,锅炉原设置的喷水减温装置在锅炉使用负荷范围内基本不必投入,而在高负荷运行时火焰充满度良好,位置适中,没有产生火焰直接冲刷受热面管壁的现象。燃烧稳定、完全。

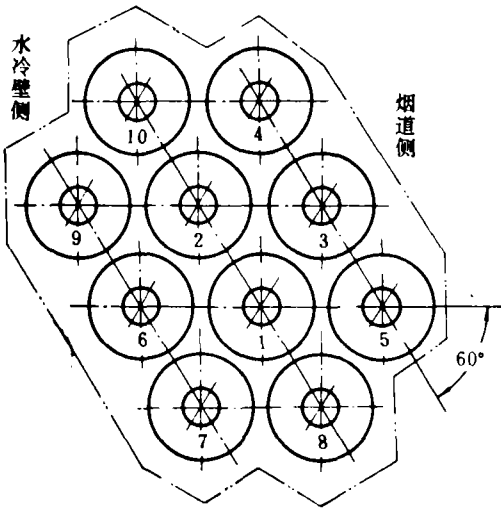


图 6 燃烧器布置示意图

3.2 燃油及风管道

燃油泵采用了三台 50Y42-9 离心泵(两用一备),进出口均采用 Dg80 口径的母管制,这给运行及切换带来了许多方便,也保证了安全运行。

由于锅炉的供风系统里采用单元布置方式,并采用了液力偶合器实现无级变速,保证锅炉在不同负荷下运行及启动时灵活方便。风机出口后分道由锅炉前后风夹层进入锅炉燃烧区。在空气分流时设计了一个舌形挡板,供平衡前后墙的风压,使前后墙风夹箱内风压均衡,保证了燃烧的稳定性和火焰配置均

匀。

4 调试及运行

锅炉在正式投运前进行了冷态和热态调整。热态调整分手动和投入燃烧自控系统的调整两步骤进行,并且还进行了微机程控点火试验。点火顺利,而在点燃前 1 号燃烧器之后,直接投入后 1 号燃烧器着火迅速,燃烧稳定,烟囱出口烟色极淡(基本不可见)。证明燃用轻柴油双面燃烧(炉膛宽度为 3.5 m)时,用点火器仅点燃前 1 号的方式启动锅炉是安全可靠的,而且锅炉即使在 5% 负荷下运行,燃烧亦完全、稳定。

炉前风压和过剩空气系数的调整曲线见图 7。按照该曲线运行能够保证燃烧稳定,不冒黑烟。锅炉满负荷时的过剩空气系数基本在 1.08~1.12 范围内;30% 负荷时,过剩空气系数能控制在 1.4~1.5 范围内,在 5% 负荷时也能控制在 1.75~2.0 范围内,完全符合设计要求,而且保证锅炉能长期可靠运行,并且达到节能的目的。

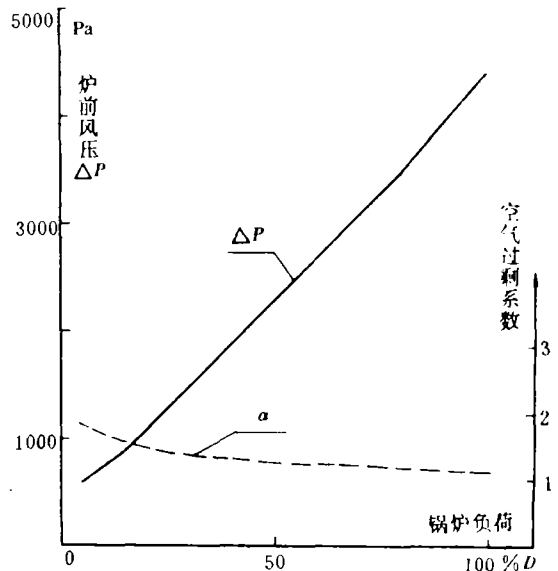


图 7 炉前风压和过剩空气系数调整曲线

测试结果

| 序号 | 名称 | 符号 | 单位 | 锅炉负荷 | |
|----|---------|----------|------|-------|-------|
| | | | | 100% | 40% |
| 1 | 燃油耗量 | B | kg/h | 7580 | 3170 |
| 2 | 燃烧器投入个数 | N | 只 | 18 | 8 |
| 3 | 排烟损失 | q_2 | % | 6.25 | 5.09 |
| 4 | 化学不完全损失 | q_3 | % | 0.06 | 0.98 |
| 5 | 过剩空气系数 | α | / | 1.10 | 1.85 |
| 6 | 燃烧热效率 | η_r | % | 99.94 | 99.01 |
| 7 | 锅炉热效率 | η | % | 92.89 | 93.07 |

发电机组的试运行调试成功,充分证明了调试锅炉的燃烧设备性能良好,布置合理、运行可靠;同时能够适应调试锅炉频繁、快速启动和变负荷的特点。在启动运行中不冒黑烟、燃烧完全、效率高,得到了中外专家的认可和好评。这一成功无疑对船用及工业用燃轻柴油锅炉也有重要意义。

参 考 文 献

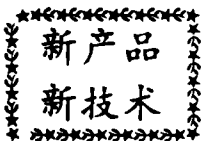
- 1 哈工大编写组. 燃油锅炉燃烧设备及运行. 水利电力出版社, 1976.
- 2 电厂燃油设计. 电厂燃油设计编写组. 湖北省电力设计院出版, 1977. 12

5 结束语

广东大亚湾核电站一号 900 MW 主汽轮

水 煤 气 沸 腾 煤 气 化 炉

获 92 北 京 国 际 发 明 展 览 会 银 奖



十月金秋,92国际发明展览会在北京展览馆隆重举行。来自联合国发展协会特派员、美国、朝鲜、韩国、瑞士、摩洛哥、我国南北发明家,云集一堂。耀眼的1300多项高新技术,为天河里的群星,竞相争灿。其中《水煤气沸腾煤气化炉》闪烁异璀,获银奖。

该炉采用自热间歇循环水煤气气化法,气化0~6毫米的粉煤,获得水煤气。该炉结构简单,操作方便,可同时供应中热值的水煤气和低压水蒸汽,能源利用率高。可用于中小城镇的民用煤气,并兼供热水、水蒸汽。成为

我国中小城镇的综合能量供应工厂;可作为生产化肥的化工原料气等。该炉的最大优点可使用优质块煤,而且可使用各种劣质粉煤。因此,可以大大节省燃料。属国内外首创,已在丹徒县灯头厂良好使用。

煤气成份: H_2 (50~60%); Co : (15~25%); CH_4 (2~4%); CO_2 : (10~15%); N_2 : (5~10%); 热值:(9250~1176) kJ/m^3 ; 气化热效率:(65~70)%; 气化效率:70%

有需要者请与编辑部联系

JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL ENERGY AND POWER

1993 Vol. 8 No. 3

CONTENTS

- (57) **Design of the Combustion Equipment and System for Daya Bay Nuclear Power Station Preoperational Test Boilers**.....Li Zongxi (*Harbin Marine Boiler & turbine Research Institute*)

A brief account is given of the design highlights of the combustion equipment and system for Daya Bay Nuclear Power Station preoperational test boilers. The said equipment and system has met the operation requirements of the boilers under various load conditions. **Key words:** *boiler, burner, air register, oil jet atomizer, relay, efficiency, characteristics*

- (63) **Numerical Simulation of an Isothermal Flow Field in the Isothermal Furnace of a Tangential-fired Boiler**.....Guo Hongsheng (*Xian Communications University*)

By the use of SIMPLE algorithm a numerical simulation has been conducted of the three-dimensional isothermal flow field in a tangential-fired boiler furnace model. The difference scheme is of an involution one with a calculation net of $19 \times 17 \times 16$ being adopted. Presented in the paper are the speed profile and turbulent flow kinetic energy profile of several sections with the actual inscribed circle dimension within the furnace being shown. The calculation results have been found to be qualitatively rational and the inscribed circle size is in quite good agreement with the actual conditions. **Key words:** *boiler furnace, isothermal flow field, numerical simulation*

- (69) **On the Recycling Ratio of Circulating Fluidized Bed Boilers**.....Lu Huilin, et al. (*Harbin Institute of Technology*)

Recycling ratio is one of the major parameters for the design and operating adjustment of circulating fluidized bed boilers. This paper presents the variation of the recycling ratio with the boiler combustion efficiency and dense-phase zone bed temperature characteristics. The conception of a sensitive recycling ration is proposed with the basic principles governing its selection being discussed. **Key words:** *recycling ratio circulating fluidized bed, sensitive recycling ratio, combustion efficiency*

- (75) **The development and application of oil-gas mixed combustion technology for Model AWD turning cup combustion equipment**.....Liu Yi (*Jiang Xi Sea-going Instrument Factory*)