

自动可调浓淡燃烧器低负荷稳燃特性

李永华¹, 梁化忠², 陈鸿伟¹, 李振中³

(1. 华北电力大学 动力工程系, 河北 保定 071003; 2. 山东鲁能发展公司, 山东 济南 250000;

3. 国家电站燃烧工程技术研究中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘要:介绍了一种新型自动可调浓淡燃烧器及其在某电厂锅炉的应用情况。结果表明, 燃烧器能在运行中对空气和煤粉分配进行调节, 达到了大幅度降负荷运行的目的。

关键词: 锅炉; 燃烧器; 负荷; 自动控制

中图分类号: TK223.23 文献标识码: A

1 引言

我国装配的国产 200 MW 风扇磨直吹系统锅炉, 经过长期的运行发现: 该类型锅炉炉膛出口烟温高, 过热器汽温和再热器汽温超标, 特别是当煤种发生较大变化时, 过热器汽温和再热器汽温变化很大, 完全依靠减温水已无法调节, 常常引发过热器和再热器超温爆管。严重影响了锅炉机组的安全经济运行。另外, 随着电网峰谷差的不断增加, 大型机组参与电网调峰已不可避免, 因此要求大型机组具有低负荷断油稳燃的能力, 而该类型锅炉的低负荷不投油稳燃性能差, 一般低于 70% 额定负荷时, 必须投油助燃, 大大增加了发电成本, 同时也不符合国家的能源政策。因此, 国家电站燃烧工程技术研究中心研制开发了自动可调叶栅煤粉分配器, 并已应用于多台 200 MW 机组。经过大量的工业试验和长期的运行实践证明: 该装置能够有效调整锅炉出口烟温, 降低过热器超温爆管事故的发生次数, 使该类型锅炉在额定负荷的 50% 运行时, 实现不投油稳定燃烧^[1]。

2 自动可调燃烧器的工作原理

自动可调燃烧器是一种新型的燃烧调整装置,

它由两部分构成: (1)煤粉浓缩装置; (2)自动可调叶栅煤粉分配器(图 1)。其中煤粉浓缩装置安装于各只燃烧器入口的一次风水平管道, 利用煤粉气流在弯头处的离心效应, 使煤粉气流实现垂直方向的浓淡分离, 以降低煤粉气流的着火热量和氮氧化物的生成量, 浓煤粉气流着火热量小, 容易着火和燃烧, 使锅炉机组有较宽的煤种适应性和较理想的调峰能力。而自动可调叶栅煤粉分配器本体安装于风扇式磨煤机的粗粉分离器出口, 通过自动检测发电机功率、给煤机转数、汽轮机调节级压力和磨煤机的开关状态等参数, 根据预先编制好的程序改变自动可调叶栅煤粉分配器的叶栅角度, 使运行磨煤机所提供的上、中、下三个一次风喷口的煤粉量发生变化。由于煤粉分配器在正向转动叶栅角度运行时具有一定的浓缩煤粉作用, 可保证此时成倍加大煤粉浓缩比, 从而保证了低负荷稳燃; 进而调整沿炉膛高度方向的热负荷分配, 改变火焰中心高度, 调整炉膛出口烟温; 避免炉膛结渣, 并由于可集中煤粉燃烧, 既达到了低负荷不投油稳定燃烧的目的, 又可提高低负荷燃烧区域温度和燃烧效率^[2]。

3 设备改造情况

某厂 1 号炉是哈尔滨锅炉厂生产的 HG-670/140-6 型褐煤锅炉, 设计煤种为扎赉诺尔褐煤。采用风扇磨煤机直吹式制粉系统, 6 台风扇磨煤机呈六角切圆布置于炉膛四周。

锅炉的设计参数如下:

额定发热量: 670 t/h, 过热蒸汽力: 13.72 MPa;
过热蒸汽温度: 540 °C, 再热蒸汽出口压力: 2.5

收稿日期: 2001-09-12; 修订日期: 2001-12-26

作者简介: 李永华(1968-), 男, 重庆人, 华北电力大学副教授。

MPa。再热蒸汽出口温度：540℃，锅炉效率：89.7%，排烟温度：167℃，燃料消耗量：185.6 t/h，炉膛出口烟气温：1 060℃。

锅炉投入运行后，发现炉膛出口烟温超过设计值，引起再热器超温，甚至爆管，并且机组低负荷稳燃效果不好，负荷低于额定负荷的 70% 时，必须投油助燃，严重影响了机组的安全经济运行。针对以上情况，辽宁东电燃烧设备有限公司对该锅炉机组燃烧制粉系统（见图 1）进行了改造，加装了自动可调叶栅式煤粉分配器；为了使该装置具有更广泛的通用性，将其叶栅设计成既可正向转动（顺时针方向），又可负向转动（逆时针方向），并将叶栅置于垂直于地面的位置定义为 0°。叶栅正向转动的作用是促使煤粉较多地向下层一次风管流动，叶栅负向转动的作用是加大煤粉向上层一次风管流动的分配比，以期达到调整炉膛出口烟温，提高锅炉效率，实现低负荷稳燃的目的。

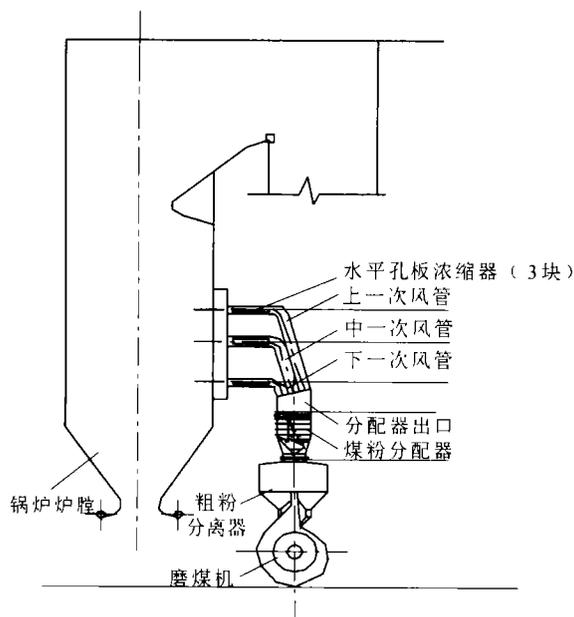


图 1 燃烧制粉系统示意图

安装自动可调叶栅式煤粉分配器后，对该炉进行了低负荷稳燃能力的试验。结果表明：煤粉分配器可有效的控制上、中、下燃烧器煤粉分布，能够有效地调节各层燃烧器的粉量及浓度，并对炉膛火焰中心高度进行连续调节。同时，由于在一次风水平煤粉输送管道上的水平孔板浓缩器的浓缩作用，使每股进入炉膛的一次风粉气流分为上浓下淡两股气流，实现了单只燃烧器上、下层浓淡分离燃烧，保证了锅炉的稳定燃烧。在试验过程中，炉膛负压正常，

炉内燃烧稳定，基本达到预期目标。

4 试验条件

为了对 1 号炉加装自动可调燃烧器前后的燃烧和低负荷稳燃效果进行比较，对 1 号炉进行燃烧器改前、改后的热态测试及低负荷稳燃试验。试验分为单台磨试验和整台炉试验。其中在整台炉试验中，根据燃煤种类和锅炉负荷划分为 7 个工况。

4.1 单台磨试验

单台磨试验燃用煤种为烟煤或褐煤，锅炉负荷应尽量保持为 200 MW。在试验之前，应预先解除燃烧器的自动调节的工作状态，而改为手动调节，以便能够就地调节单只燃烧器挡板的角度。在燃烧器挡板的旋转角度为 15°、7.5°、0°、-7.5°、-15° 时，分别测量 1、3、5 号磨上层一次风管道中的风量及磨出口的压力。另外，为了了解自动可调燃烧器对风量、煤粉量的分配特性及煤粉浓缩器的浓淡分离效果，在对 3 号磨的测量当中，应增加上层一次风管道中的粉量这一测量项目。在进行所有上述测量的时候，应保证单台磨的风量和粉量稳定。

4.2 整台炉试验

改后整台炉试验中的 7 个试验工况的名称定义如表 1 所示。

每个工况进行 2 h，其中前 1 h 是为了得到稳定的运行参数，后 1 h 进行测定试验。

温度场测定每 30 min 进行一次，其它实测项目每 15 min 进行一次，表盘记录参数每 15 min 进行一次。在试验过程中，锅炉分别燃用 100% 的褐煤和 100% 的本地烟煤。试验采用 1、3、4、6 号 4 台磨煤机运行，在机组不发生燃烧不稳定现象的情况下，连续降负荷至不投油最低稳定燃烧的极限负荷。

表 1 工况名称

	200 MW	140 MW	120 MW	不投油最低负荷
100% 设计煤种	工况 1	工况 2	工况 3	工况 7
100% 本地烟煤	工况 4	工况 5	工况 6	—

5 试验结果及数据分析

锅炉机组在燃用 100% 褐煤或 100% 本地烟煤的条件下，试验从电负荷 200 MW 附近开始降负荷，经 140 MW，在确保燃烧稳定的条件下，降至不投油最低稳燃负荷。全烧褐煤的条件下，安装自动可调

叶栅煤粉分配器前, 最低不投油稳燃负荷 125 MW; 安装自动可调叶栅煤粉分配器后, 最低不投油稳燃负荷为 88 MW。

5.1 风量的分配特性

在 200 MW 的试验工况附近, 单台磨煤机的风量、粉量基本稳定的条件下, 将自动可调叶栅式煤粉分配器的叶栅角度分别置于 $+15^\circ$ 、 $+7.5^\circ$ 、 0° 、 -7.5° 、 -15° 五个不同的位置, 对 1、3、5 号磨煤机对应的上喷口进行风量测量, 并将所得数值的平均值进行线性回归, 得到上喷口风量同叶栅角度的关系曲线图 2。由图 2 可见: 随着叶栅的正向转动, 上一次风管中的风量随之减少, 随着叶栅的负向转动, 上一次风管中的风量随之增加。一次风管平均风速 18.78 m/s。

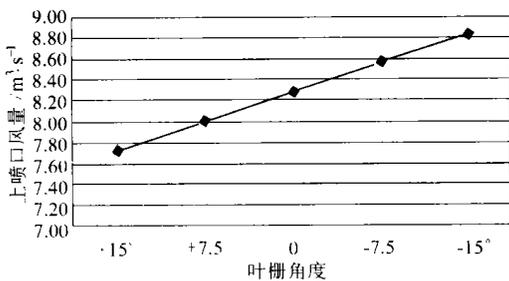


图 2 改后风量分配曲线(平均值)

5.2 煤粉量的分配特性

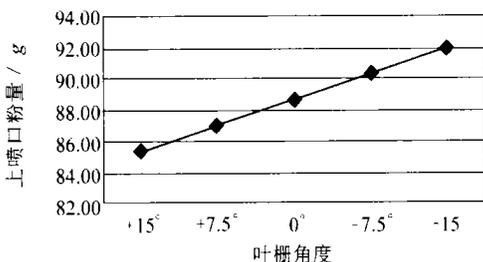


图 3 改后粉量分配曲线(平均值)

在 200 MW 的试验工况附近, 单台磨煤机的风量、粉量基本稳定的条件下, 将自动可调叶栅式煤粉分配器的叶栅角度分别置于 $+15^\circ$ 、 $+7.5^\circ$ 、 0° 、 -7.5° 、 -15° 五个不同的位置, 对 3 号磨煤机对应的上喷口进行粉量测量, 并将所得数值的平均值进行线性回归, 得到上层一次风中煤粉量随叶栅角度的分配关系曲线图 3。由图 3 可见: 随叶栅的正向转动, 上一次风管中煤粉量随之减小, 这部分减小的煤粉量被分配到中下层燃烧器喷口, 使炉膛内火焰中

心下移; 另一方面, 延长了该部分煤粉的炉内停留时间, 降低飞灰可燃物含量。随着叶栅的负向转动, 上一次风管中的煤粉量随之增加, 使炉膛内火焰中心上移, 提高炉膛出口烟气温度的, 但飞灰可燃物含量会有所增加。

5.3 煤粉浓度

根据煤粉量同叶栅角度的变化关系, 风量同叶栅角度的变化关系可以得到煤粉浓度同叶栅角度的变化关系曲线图 4。由图 4 可以看出: 随着叶栅的正向转动, 上一次风管中煤粉浓度随之增加(由于风量随着叶栅角度的变化率大于粉量随叶栅角度的变化率), 使着火点提前, 降低飞灰可燃物含量。随着叶栅的负向转动, 上一次风管中的煤粉浓度随之减少, 着火延迟, 可以适当提高炉膛出口烟气温度的, 但飞灰可燃物含量会有所增加。燃烧褐煤时, 在 200 MW 和 120 MW 煤粉平均浓度分别为 0.43 kg/m^3 和 0.38 kg/m^3 ; 燃烧烟煤时则分别为 0.37 kg/m^3 和 0.28 kg/m^3 。

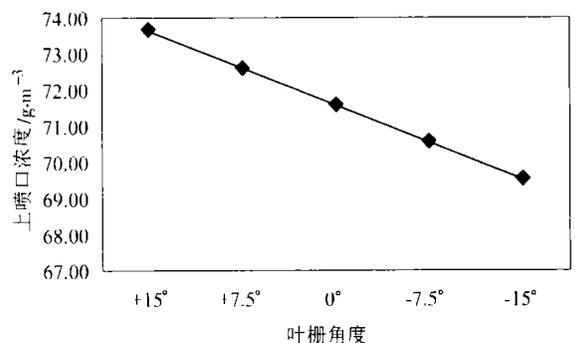


图 4 改后浓度分配曲线(平均值)

5.4 炉膛内温度的变化^[3]

这里列出了在燃烧烟煤或褐煤时, 机组负荷从 200 MW (叶栅角度为 0°) 附近, 经 140 MW (叶栅角度为 $+7.5^\circ$), 降低至 120 MW (叶栅角度为 $+15^\circ$) 或 90 MW 附近的过程中, 分三个阶段稳定运行的炉内温度分布的测试结果, 见表 2 所示。由温度分布可以看到: 在降负荷的全过程中, 改前、改后的炉膛火焰中心发生变化, 特别是低负荷运行时。改前全烧褐煤 125 MW 时, 火焰中心位于 20.1 m, 该层平均温度 1256.25°C ; 改后全烧褐煤 121 MW 时, 通过自动可调燃烧器的调整, 火焰中心下降到 17.55 m, 该层平均温度 1235°C 。改前全烧烟煤 137 MW 时, 火焰中心位于 20.1 m, 该层平均温度 1280°C ; 改后全烧烟煤 122 MW 时, 通过自动可调叶栅煤粉分配器的调整, 火焰中心下降到 17.55 m, 该层平均温度 1165

℃。这样,就可达到低负荷稳燃和降低燃烧不完全损失的目的。

5.5 结焦情况的变化

在改前测试试验中,取得的炉渣为块状,并且量

比较大,说明炉内有一定程度的结焦,这会危害锅炉机组的安全稳定运行;而在改后测试试验中取得的炉渣没有渣块,表明结焦状况得到了明显的改善,炉内几乎没有结焦。这样能够消除因结焦而造成的停炉事故,保证了锅炉机组的安全运行。

表 2 炉内温度分布测试结果

(℃)

工 况	标高 33.8 m		标高 22.75 m			标高 20.1 m			标高 17.55 m			标高 10.9 m				
	左墙	右墙	前墙	左墙	后墙	右墙	前墙	左墙	后墙	右墙	前墙	左墙	后墙	右墙		
改前褐煤 200 MW	1 245	1 220	1 290	1 295	1 250	1 215	1 230	1 250	1 280	1 145		1 145	1 145	1 100	1 120	1 150
改前褐煤 125 MW	1 115	1 115	1 330	1 295	1 175	1 250	1 300	1 250	1 225	1 250		1 230	1 045	1 080	1 115	1 090
改前烟煤 197 MW	1 170	1 175	1 320	1 290	1 400	1 260	1 350	1 290	1 390	1 195		1 340			1 210	1 195
改前烟煤 137 MW	1 085	1 050	1 350	1 180	1 365	1 170	1 350	1 290	1 340	1 270		1 270	1 075	1 075	1 100	1 130
改后褐煤 200 MW	1 170	1 200	1 360	1 250	1 230	1 290	1 350	1 340	1 160	1 270	1 320		1 270	1 100	1 050	1 160
改后褐煤 140 MW	1 000	1 030	1 300	1 210	1 240	1 280	1 270	1 320	1 200	1 200	1 240		1 280	1 040	1 000	1 040
改后褐煤 120 MW	940	970	1 300	1 200	1 160	1 210	1 270	1 220	1 200	1 190	1 200		1 270	1 020	980	1 050
改后烟煤 200 MW	1 100	1 110	1 320	1 230	1 250	1 050	1 210	1 250	1 270	1 110	1 230	1 380	1 280	1 270	1 080	1 100
改后烟煤 137 MW	940	1 000	1 320	1 230	1 050	1 040	1 300	1 200	1 200	1 030	1 220		1 230	1 010	1 020	980
改后烟煤 120 MW	950	970	1 320	1 230	920	980	1 300	1 170	1 090	1 000	1 250		1 080	920	870	970
改后烟煤 88 MW	880	910	1 180	1 140	1 180	980	1 190	1 100	1 210	1 080	1 150			1 270	1 040	1 000

6 结论

(1) 工业试验及运行实践证明:自动可调燃烧器能够有效调整沿炉膛高度方向的煤粉量,改变炉膛内火焰中心高度,调整炉膛出口烟气温度,降低过热器超温爆管的频次。

(2) 自动可调燃烧器能够实现煤粉气流的浓淡燃烧,使煤粉气流着火点提前,减少机械不完全燃烧损失,提高锅炉燃烧效率。正常情况下,大修后锅炉机组燃烧效率有一定程度的提高,其范围一般在 0.1%~0.5%,而实际测量的改后燃烧效率比改前提高了 1.166%。

(3) 安装自动可调燃烧器后,锅炉机组可在 90 MW 负荷下不投油长期稳定燃烧,较大地提高了机组的低负荷调峰能力,大量的节约了燃油费用。

(4) 自动可调燃烧器可根据磨煤机工作状态、炉膛出口烟温、发电功率等因素,对叶栅角度进行自动调节,既可实现远程自动控制,又可实现手动操作。

(5) 通过安装自动可调叶栅式煤粉分配器,减轻了炉内结焦程度。

参考文献:

[1] 白卫东. 通辽发电总厂风扇磨直吹式系统煤粉浓缩器冷模试验[A]. 东北第三届现代锅炉技术学术会议论文集[C]. 沈阳:辽宁省科学技术出版社, 1996: 52-59.

[2] 胡荫平. 新型煤粉燃烧器[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1993.

[3] 白卫东. 富拉尔基第二发电厂 1 号锅炉自动可调叶栅煤粉分配器调试报告[R]. 沈阳:国家电站燃烧工程技术研究中心, 1999.

(何静芳 编辑)

恭贺热能动力工程发刊 100 期

duct has been fitted with flow-guide blades. Owing to the low intensity of the secondary flow and its small change along the ducts the flow condition has been improved. **Key words:** turbulent flow, large eddy simulation, flow field, finite element method, curved duct flow, flow-guide blade

确定船用蒸汽动力装置辅机余度系数的新方法 = **A New Method for Determining the Redundancy Factor of Auxiliary Machines for a Marine Steam Power Plant** [刊, 汉] / SHU Li-wei, JIN Jia-shan (Naval Engineering University, Wuhan, China, Post Code: 430033), JI Guang (Military Representative Office Stationed at Harbin Steam Turbine Works, Harbin, China, Post Code: 150046) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 514 ~ 516

With a turbine-driven feedwater pump serving as an example discussed is a method for determining the rated performance-based redundancy factor of auxiliaries for a marine steam power plant. The method under discussion takes into account in a comprehensive way several factors. They include: the discrete character of equipment rated performance during its manufacture, the degeneration mechanism of the rated performance with the passage of usage time, the discrete character as demanded of the equipment, etc. With performance-reliability serving as an objective the redundancy factor can be determined in a more rational way. This may provide guidance for the design of the thermodynamic system of a marine steam power plant as well as the type selection of other similar equipment items. **Key words:** performance reliability, degeneration, redundancy factor, marine steam power plant, turbine-driven feedwater pump

自动可调浓淡燃烧器低负荷稳燃特性 = **Low-load Stable Combustion Characteristics of an Automatic-adjustable Bias-combustion Pulverized-coal Burner** [刊, 汉] / LI Yong-hua, CHEN Hong-wei (North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003), LIANG Hua-zhong, et al (Shandong Luneng Development Company, Jinan, China, Post Code: 250000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 517 ~ 520

A new type of automatic-adjustable bias-combustion pulverized-coal burner is presented along with its service conditions in a power plant. The results of its operation has shown that the burner features an ability to regulate the distribution of air and pulverized coal during boiler operation, thus achieving the aim of operating at a drastically reduced load. **Key words:** burner, boiler, load

300 MW 机组 UP 型直流锅炉变压运行探讨 = **An Exploratory Study of the Variable-pressure Operation of an UP-type Once-through Boiler for a 300MW Unit** [刊, 汉] / KUANG Jiang-hong (College of Mechanical Engineering under the Shanghai University of Engineering & Technology, Shanghai, China, Post Code: 200336) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 521 ~ 523

Through a thermal calculation and analysis investigated are the operating characteristics of a UP-type once-through boiler and its feedwater pumps during its variable-pressure and peak-shaving operation. The authors concluded that a Chinese-made 300MW unit employing UP type once-through boilers basically possesses the ability to conduct a variable-pressure and peak-shaving operation. **Key words:** peak shaving, variable-pressure operation

TCDF-33.5 型 300 MW 汽轮机首次大修中的故障处理 = **Fault Treatment during the First-time Overhaul of a Model TCDF-33.5 300 MW Steam Turbine** [刊, 汉] / ZHANG Cai-wen, HUANG Hai-zhou, WANG Shu-shen (Hubei Provincial Electric Power Testing Research Institute, Wuhan, China, Post Code: 430077) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 524 ~ 526

Described are the following main faults detected during the first-time overhaul of a model TCDF-33.5 300MW steam tur-