

# “W”型火焰锅炉二次风改造对燃烧影响的试验研究

雷 霖<sup>1</sup>, 段学农<sup>1</sup>, 汪华剑<sup>2</sup>, 汪毅刚<sup>3</sup>

(1. 湖南省电力公司试验研究院, 湖南 长沙 410007; 2. 华中科技大学煤燃烧国家重点实验室, 湖北 武汉 430074;  
3. 大唐华银株洲火力发电有限公司, 湖南 株洲 412000)

**摘 要:** 针对美国 FW (Foster Wheeler) 技术“W”型火焰锅炉高负荷下飞灰含碳量高, 补风困难、屏过易超温等问题和不足, 对某电厂一台该类型 1 025 t/h 锅炉进行了 F 层二次风入射角下倾 25° 改造, 通过数据模拟及冷热态对比试验结果表明, 改造后高负荷效果明显, 额定负荷时一次风行程有效延长, 补风困难、屏过超温的问题得到了解决, 减温水减少 20.9%, 固体不完全燃烧损失降低了 1.5% 以上。

**关 键 词:** “W”型火焰锅炉; 二次风; 燃烧; 改造

中图分类号: TK224.1 文献标识码: A

## 引 言

美国 FW 技术的 W 型火焰锅炉具有煤种适应能力强, 稳燃性好等优点, 但在实际燃用挥发分较低的无烟煤时高负荷情况下存在补风困难, 飞灰可燃物含量高, 减温水流量偏大等问题<sup>[1-4]</sup>。燃烧过程中这些不利因素的产生, 主要因为在高负荷时, 一次风射流着火及燃烧过程推迟, 增加了拱下二次风量将严重影响燃烧稳定性<sup>[5]</sup>。在燃用劣质无烟煤时, 为保证稳定, 运行时被迫降低一次风速, 减少整体二次风量, 致使煤粉气流程较短, 火焰中心位置过高, 下炉膛利用率降低, 再加上后期二次风补入的不足, 煤粉的燃尽度降低、屏过易超温等问题随之产生。研究表明, 出现上述问题的原因是拱上风和拱下风动量配比不足<sup>[2, 6-7]</sup>, 通过配风调整很难解决上述问题。有关研究表明, 改变拱下二次风入射角能改善炉内流场, 有效缓解上述问题<sup>[8]</sup>。本研究根据理论计算和数据模拟研究的结果, 制定了 F 层二次风下倾方案, 在某电厂 4 号锅炉实施了改造, 并进行了一系列对比试验。

## 1 设 备

某电厂 4 号锅炉为东方锅炉(集团)股份有限公司引进美国福斯特·惠勒能源公司(FWEC)技术制造的 DG1025/18.2-II 14 型亚临界压力、一次中间再

热、双拱形单炉膛自然循环锅炉。燃烧器布置在下炉膛前后拱上, 采用“W”型火焰燃烧方式及正压直吹式燃烧系统。燃烧所需的二次风经锅炉两侧风道送入前后墙大风箱, 从拱上和拱下的风口进入炉膛。拱上部分二次风占二次总风量的 30%~35%, 约 65%~70% 的二次风从拱下垂直墙上的风口水平送入炉膛。

## 2 数值模拟研究及改造实施

### 2.1 理论计算及数值模拟

FW 技术的 W 型火焰锅炉由于水平二次风占比例较大, 易使得下行的一次风过早上行, 导致煤粉在下炉膛的停留时间不足。调整水平二次风的入射角度, 使其以一定倾角射入炉膛, 可减小或破坏冷灰斗内的死滞区<sup>[9]</sup>, 增加炉膛空间的利用率, 延长煤粉在炉内的停留时间, 使其充分燃烧, 提高燃尽度, 降低飞灰含碳量。

为从理论上验证上述思路的正确性, 并为改造提供依据, 通过数值模拟额定负荷下、燃烧器全投状况时 F 层二次风水平和 F 层二次风下倾 15° 两种工况的炉内燃烧情况, 比较两工况下炉内流场、温度、氧量分布及颗粒轨迹的变化。其中湍流采用标准  $k-\epsilon$  模型, 气相燃烧采用非预混 pdf 模型, 颗粒运动采用随机轨道模型, 煤种挥发分的释放采用双方程平行反应模型, 煤焦的燃烧采用动力-扩散模型, 对炉内燃烧模拟结果的主要参数的统计如表 1 所示。

表 1 F 层二次风下倾与否主要参数模拟对比

|           | 一次风下行<br>深度/m | 煤粉停留<br>时间/s | 飞灰含碳量<br>/% | 炉膛出口<br>烟温/K |
|-----------|---------------|--------------|-------------|--------------|
| F 层风水平    | 4.8           | 3.1          | 7.2         | 1287         |
| F 层风下倾    | 5.4           | 3.4          | 6.1         | 1235         |
| 相对变化 */ % | 12.5          | -9.7         | -15.3       | -4.04        |

\* - F 层风下倾相对 F 层风水平的相对变化。

收稿日期: 2009-01-13; 修订日期: 2009-04-13

作者简介: 雷 霖(1975-) 男, 广西南宁人, 湖南省电力公司试验研究院工程师。

从表1可以看出,与水平射入相比,F层二次风下倾之后,煤粉火焰在炉内的充满度明显提高,火焰到达下炉膛的深度增加,上炉膛高温区减少,炉膛热负荷分布更均匀。煤粉轨迹在下炉膛的射流深度增加了12.5%;煤粉在炉膛内的平均停留时间增加9.7%,飞灰含碳量减少幅度达15.3%。

## 2.2 改造实施情况

在某电厂4号炉的改造中,采取了在占二次风总量50%以上的F层二次风位置加装导流板的方法,使F层二次风气流向下倾斜一定角度射入炉膛,设计F层二次风下倾角度为 $15^\circ$ 。具体实施方案如下:在F层二次风室安装一定数量的与风室尺寸相当的导流板实现该二次风的下倾,为保证F层二次风的实际下倾效果,导流挡板的安装角度需要大于 $15^\circ$ ,本改造中采用与水平方向呈向下 $25^\circ$ 的安装角;安装过程中将风室内的均流孔板移至导流板后,将多块导流板沿炉膛高度方向均匀焊接在风室侧墙上,并在中部位置焊接加强筋连接固定。

## 3 F层二次风下倾改造后的试验研究

### 3.1 冷态通风试验

在进行F层二次风下倾实际效果的流场试验之

前,为保证试验结果可靠性和代表性,先进行了一次风和F层二次风的调平试验。在F调平的基础上,在投入一次风模拟额定负荷工况的情况下测量在不同F层风速时气流实际下倾角度,并通过一、二次风飘带示踪观察炉内流场。从试验结果来看,改造后F层风导流效果明显,实际气流随着F层风出口风速的提高相应提高,在 $10\sim 15\text{ m/s}$ 风速时,F层风下倾 $9.5\sim 12^\circ$ 。与未改造前对比,一次风行程延长为 $1\text{ m}$ 左右,炉内气流充满度明显提高,基本达到改造的设计要求。

### 3.2 改造前后热态试验对比试验

为验证F层风改造效果,进行了一系列对比试验,包括4号炉改造前后对比试验及3号和4号炉对比试验(与相同炉型未进行改造的3号炉对比),试验的煤质数据如表2所示,试验测得的锅炉燃烧指标的相关数据如表3所示。

表2 试验煤质数据

|          | $M_{ar}$<br>/% | $M_{ad}$<br>/% | $A_{ad}$<br>/% | $V_{ad}$<br>/% | $V_{daf}$<br>/% | $Q_{net,ar}$<br>/ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--|
| 设计值      | 11.3           | —              | 23.65          | —              | 11.2            | 20 990   |
| 4号炉(改造前) | 8.1            | 1.99           | 40.12          | 7.6            | 12.4            | 17 102   |
| 4号炉(改造后) | 7.5            | 1.35           | 43.87          | 7.99           | 12.6            | 15 931   |
| 3号炉      | 7.5            | 1.51           | 42.94          | 7.65           | 13.1            | 1 6 186  |

表3 改造前、后各项参数对比

|        | 负荷<br>/MW | 氧量<br>/% | 飞灰<br>含碳量/% | 排烟<br>温度/ $^\circ\text{C}$ | 减温水量<br>/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$ | 固体不完全<br>燃烧损失/% | 排烟损失<br>/% | 锅炉效率<br>/% |
|--------|-----------|----------|-------------|----------------------------|--|-----------------|------------|------------|
| 4号炉改造前 | 190       | 4.0      | 4.66        | 138.0                      | 84                                     | 4.17            | 7.13       | 87.53      |
|        | 240       | 3.8      | 6.16        | 140.5                      | 115                                    | 5.52            | 6.90       | 86.64      |
|        | 300       | 3.2      | 7.27        | 143.6                      | 158                                    | 5.94            | 6.86       | 86.38      |
| 4号炉改造后 | 190       | 4.8      | 4.62        | 126.5                      | 76                                     | 3.89            | 5.30       | 89.73      |
|        | 240       | 4.8      | 4.34        | 133.5                      | 98                                     | 3.50            | 5.69       | 89.95      |
|        | 300       | 4.0      | 5.86        | 136.0                      | 125                                    | 4.37            | 4.95       | 89.93      |
| 3号炉    | 240       | 3.6      | 9.1         | 135.3                      | 105                                    | 8.02            | 4.81       | 86.27      |
|        | 300       | 2.9      | 11.9        | 141.2                      | 149                                    | 12.04           | 4.59       | 82.53      |

从表3可以看出,与改造前对比,4号炉改造后300 MW工况固体不完全燃烧损失下降了1.57%,减温水量下降了33 t/h,240 MW工况固体不完全燃烧损失下降了2.02%,减温水量下降了17 t/h;190 MW工况固体不完全燃烧损失下降了0.28%,减温水量下降了8 t/h。与3号炉对比,4号炉在300 MW负荷下固体不完全燃烧损失比3号炉低7.67%,减温水量低24 t/h;在240 MW负荷下固体不完全燃烧损失比3号炉低4.48%,减温水量低7 t/h。

在4号炉改造前及3号炉的高负荷试验过程中,增加二次风时会出现整体火焰强度信号较弱,炉膛负压波动大的情况,甚至有多个火检开关量信号丧失,迫使低氧量运行。

从试验过程及各项对比数据中可以看出,F层二次风下倾能有效延长一次风火焰行程,并更充分地利用了炉膛的空间,这样既增加煤粉射流在下炉膛的停留时间,提高了煤粉的燃尽度,而且也使得煤粉的燃烧放热过程在更大的几何空间内发生,水

冷壁辐射吸热量增强,不但提升了锅炉的带负荷能力,而且减少了屏过的辐射吸热量,降低了减温水量,屏过超温的问题也得到了极大的缓解。F层二次风角度的下倾也使得拱下二次风气流对煤粉着火和初期燃烧的影响减弱,高负荷补风困难的问题也得到了解决,锅炉稳定性和经济性都得到了有效地提升,而改造后的4号炉氧量在4%以上能保持稳定燃烧。

## 4 结 论

(1) 针对美国FW技术W型火焰锅炉高负荷下飞灰含碳量高、减温水流量偏大、屏过易超温等问题和不足,对一台1025 t/h锅炉进行了F层二次风入射角下倾改造,导流角度为水平下倾25°。

(2) 改造后的冷态试验结果表明:改造后F层二次风导流效果明显,一次风行程延长1 m左右,炉内气流充满度明显提高,达到改造的设计要求。

(3) 改造后的热态试验结果表明:锅炉的燃烧的稳定性和经济性方面都得到了明显的提高,尤以高负荷下效果更为明显,固体不完全燃烧损失降低

了1.5%以上,减温水量大,屏过易超温等问题得到了有效的解决。该技术改造的成功能够为同类型锅炉的燃烧改善提供有益参考和借鉴。

## 参考文献:

- [1] 车刚,郝卫东,郭玉泉. W型火焰锅炉及其应用现状[J]. 电站系统工程, 2004, 20(1): 38-40.
- [2] 单凤玲,王新华. W火焰双拱燃烧锅炉燃用无烟煤燃尽率低的原因分析[J]. 热力发电, 2003(4): 21-24.
- [3] 方庆艳,周怀春,汪华剑,等. W火焰锅炉结渣特性数值模拟[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(23): 1-7.
- [4] 孙超凡,李乃钊,杨华,等. W火焰锅炉燃用劣质无烟煤的稳定燃烧技术[J]. 中国动力工程学报, 2005, 25(2): 201-206.
- [5] 段宝林,金鑫,魏铜生,等. FW型W火焰锅炉高负荷运行提高氧量困难的研究[J]. 热力发电, 2007(3): 48-50.
- [6] 何立明,车刚,徐通模,等. 燃烧器喷射角度对W型火焰锅炉炉内空气动力学场的影响[J]. 燃烧科学与技术, 2001, 7(3): 294-297.
- [7] 王笃笙,曾汉才. W型火焰炉冷态试验及最佳配风方式的研究[J]. 华中电力, 2001, 14(3): 18-21.
- [8] 张玉斌,李争起,任枫. 二次风倾角对W火焰锅炉炉内流动的影响[J]. 发电设备, 2008(1): 15-18.

(编辑 陈 滨)

新技术、新工艺

## 汽轮机排汽管内流动过程的数值模拟

据《Теплоэнергетика》2009年4月号报道,在汽轮机排汽管内,由工质复杂的流动特性引起的能量损失导致末级后压力升高、配置焓降减小、动力装置经济性降低(即循环热效率减小)。

此外,排气管显著影响末级的工作条件,该条件明显影响末级工作的效率和可靠性。因此,排气管设计在汽轮机研制中占有十分重要的地位。

研究表明,在排气管入口截面总压均匀分布条件下,在计算结果和试验中得到的总体特性相符合。同时也表明,数值模拟可用来揭示在各种形式导流片及其不同布置方式下流动结构的特点,并可用来确定工况参数对排气管性能的影响。

列出了汽轮机排汽管内能量损失数值模拟和计算方法校验的结果,表明所提议的方法用作为排气管设计工具的合理性,并指出了该方法改进的方向。

工作结果证明,把数值模拟方法用在排气管设计过程中,选择其结构形式是大有前途的。

(吉桂明 摘译)

The distribution of the gas-liquid two-phase flow (especially the liquid phase) in various flat tubes of a parallel flow evaporator exercises a relatively big influence on its heat transfer performance. If the gas and liquid distribution in various flat tubes is not uniform, the above-mentioned performance will deteriorate remarkably. At different gas and liquid flow rates, the authors have experimentally studied the liquid flow distribution in six forms of branch pipes of a parallel flow evaporator. During the test, it has been determined that the annular flow pattern predominates. It has been found that for a vertical descending and ascending flow, the method of increasing the tube diameter can not improve the liquid flow distribution in various branch pipes, but the location of the gas and liquid inlet in the main pipe has a relatively big influence on the uniformity of the flow distribution. **Key words:** parallel flow evaporator, gas-liquid two-phase flow rate, flow pattern, uniformity, annular flow

增压锅炉燃烧监测试验研究 = **Experimental Study of the Combustion Monitoring of a Supercharged Boiler** [刊, 汉] / ZHOU Guo-yi (Marine and Power College, Naval Engineering University, Wuhan, China, Post Code: 430033), SUN Yi-peng, LOU Chun, et al (National Key Laboratory on Coal Combustion, Central China University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(6). — 766 ~ 769

Supercharged boilers are key equipment items in a marine steam power plant and it is necessary to conduct a real-time monitoring of the in-furnace combustion to secure their good reliability and high cost-effectiveness. During the test, the authors have first employed an image acquisition system to capture the flame images at various loads of the boiler and then used image processing technology to obtain the radiation temperature of the flame and the radiant energy magnitudes characterizing the in-furnace combustion intensity. It has been found that during a normal operation, the boiler flame temperature is approximately 1700 K, while at a high load, the temperature is about 1900 K. The radiation temperature is in relatively good agreement with the numerical simulation results. In the meantime, it has been found by monitoring and analyzing the boiler flame radiant energy signals at six operating loads that the radiant energy signals assume a basically same variation tendency as the superheated steam and flue gas temperature, facilitating the introduction of the radiant energy into the control system as a feedback signal and thereby optimizing the boiler control. **Key words:** supercharged boiler, combustion monitoring, image processing, radiation temperature, radiant energy signal

“W”型火焰锅炉二次风改造对燃烧影响的试验研究 = **Experimental Study of the Influence of the Secondary Air Modification of a “W” Type Flame Boiler on Combustion** [刊, 汉] / LEI Lin, DUAN Xue-nong (Experiment Research Institute, Hunan Provincial Electric Power Corporation, Changsha, China, Post Code: 410007), WANG Hua-jian (National Key Laboratory on Coal Combustion, Central China University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074), WANG Yi-gang (Datang Huayin Zhuzhou Thermal Power Generation Co. Ltd., Zhuzhou, China, Post Code: 412000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(6). — 770 ~ 772

In the light of the problems and deficiencies of a “W” type flame boiler of FW (Foster Wheeler) technology at high loads, the authors have reconstructed a 1 025 t/h boiler of the same type in a power plant by decreasing the incidence angle of F-layer secondary air downward by 25 degrees. The problem and deficiencies include: a high combustible content of fly-ash at high operating loads, difficulty in combustion air replenishment and susceptibility to screen type superheater overheating, etc. Through a data simulation and a cold and hot state contrast test, it has been found that the advantages resulting from the reconstruction are evident at boiler high loads. At the rated load, primary air path is effectively lengthened and the above-mentioned problems, such as the air replenishment difficulty and overheating of the screen type superheater, have been solved or eliminated. The desuperheating water requirement is cut by 20.9% and the solid incomplete combustion loss decreases by over 1.5%. **Key words:** “W” type flame boiler, secondary air, combustion, reconstruction

基于数据融合的机组燃煤可磨性在线检测 = **On-line Detection of Plant Fuel Coal Grindability Based on Data**