

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

张 波¹, 文 军², 徐党旗², 惠世恩¹

(1. 西安交通大学能动学院, 陕西 西安 710049; 2. 国电热工研究院, 陕西 西安 710032)

摘 要:用数值模拟的方法对某电厂锅炉改造前和改造方案在 100%BMCR 负荷下的炉内燃烧进行研究。通过分析比较改造前后炉内燃烧的速度场、温度场和氧量场, 得出了改后燃烧稳定性好, 水冷壁结焦趋势和水冷壁发生高温腐蚀的趋势小的结论, 论证了改造方案的可行性。同时根据计算中发现的改后炉膛出口烟气温度分布不均匀的现象, 提出了降低分段风射入高度和提高分段风速的改进建议。

关 键 词: 锅炉; 燃烧; 数值模拟

中图分类号: TK229.6 文献标识码: A

1 引 言

某电厂锅炉原设计为 300 MW 亚临界再热式直流煤粉炉。经过一段时间的运行后, 出于多种原因, 电厂希望将其改为亚临界一次再热控制循环汽包炉。同时考虑到环保的因素, 改后锅炉应用空气分级技术, 在燃烧器上部增加分段风, 以降低 NO_x 排放。由于此次改造涉及到炉膛截面积、燃烧器结构和配风方式等多种因素的变化, 改动较大。为确保改后锅炉燃烧的稳定性 and 机组运行的安全性, 有必要应用数值模拟技术对锅炉改造方案进行研究。本文在对比分析改造前、后锅炉燃烧数值模拟结果的基础上, 分析了改造对燃烧的影响。从燃烧的角度, 肯定了改造方案的可行性。同时, 也发现了改造方案存在的不足, 提出了改进措施。

2 改造前、后锅炉设备简介及煤质分析

锅炉原设计为 300 MW 亚临界再热式直流煤粉炉, 单炉膛倒 U 型布置, 四角切圆燃烧, 固态排渣。炉膛宽度为 13 035 mm, 深度为 12 195 mm, 宽深比 1.

07:1。双切圆同心反切燃烧方式, 煤粉假想切圆直径: 1 号、3 号角为 $\phi 730$ mm, 2 号、4 号角为 $\phi 1 180$ mm。炉膛每角布置 12 层喷嘴。其中: 一次风喷嘴 5 只, 二次风喷嘴 6 只, 燃尽风 1 只, 一、二次风间隔布置。锅炉炉膛上部布置了 4 片 W 型分隔屏过热器和 18 片后屏过热器, 折焰角上方水平烟道内依次布置了高温过热器和高温再热器。

改后锅炉为亚临界一次再热控制循环汽包炉, 单炉膛倒 U 型布置, 四角切向燃烧, 固态排渣。炉膛宽度 13 035 mm, 深度 11 838 mm。燃烧器采用一次风加侧二次风, 一、二次风间隔布置, 共 12 层。煤粉气流对冲进入炉膛与顺时针、逆时针旋转的二次风气流切圆构成对冲正反切燃烧。同时在燃烧器标高以上炉膛四周增加 12 个(每面墙 3 个)分段风喷口, 以降低 NO_x 排放量。

表 1 对电厂用煤分析结果

工业分析					元素分析				
Mt/%	Aar/%	Vt/%	Vdaf/%	Q _{net, ar} /MJ·kg ⁻¹	Car/%	Har/%	Oar/%	Nar/%	St, ar/%
8.5	22.89	23.71	32.25	22.49	58.17	3.89	0.81	4.83	0.91

表 2 煤粉粒径分布 (μm)

0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120 以上
20%	23%	19%	14%	9%	6%	9%

3 数学模型及边界条件

对燃烧的数值模拟涉及到气—固两相流动和化学反应。本文应用商业数值计算软件 Star-cd 对炉内燃烧进行模拟。湍流模型选 κ - ϵ 高雷诺数模型, 用拉格朗日方法描述煤粉颗粒的运动轨迹, 挥发份

收稿日期: 2004-07-06; 修订日期: 2004-10-20

作者简介: 张 波(1977-), 男, 山东潍坊人, 西安交通大学博士研究生。

析出选常速率模型,挥发份燃烧选 mix-is-burnt 模型,焦炭的燃烧选 1st order effect 模型。控制方程参见文献[3],采用控制容积积分法将控制方程离散,其中扩散项采用中心差分,非线性的对流项采用二阶迎风差分。

表 3 计算的边界条件

改前		改后	
一次风风速(浓)/m ² s ⁻¹	27	一次风风速(浓)/m ² s ⁻¹	25
一次风风温(浓)/°C	85	一次风风温(浓)/°C	85
一次风风速(淡)/m ² s ⁻¹	27	一次风风速(淡)/m ² s ⁻¹	25
一次风风温(淡)/°C	85	一次风风温(淡)/°C	85
二次风风速/m ² s ⁻¹	54	二次风风速/m ² s ⁻¹	45
二次风风温/°C	305	二次风风温/°C	335.6
		分段风风速/m ² s ⁻¹	45
		分段风风温/°C	335.6
		侧二次风风速/m ² s ⁻¹	40
		侧二次风风温/°C	335.6

改前网格总量 1 130 000。改后由于主燃烧区域上部分段风的加入,结构较改前复杂,网格数为 1 200 000。收敛标准 $\epsilon < 1.0 \times 10^{-4}$ 。

4 计算结果

4.1 气流速度分布

图 1 和图 2 是一次风截面的速度场。由于改前一次风旋向是逆时针,与主气流旋转方向相反,因此改前的切圆直径比较小。改后的一次风采用对冲方式,切圆直径比改前大。

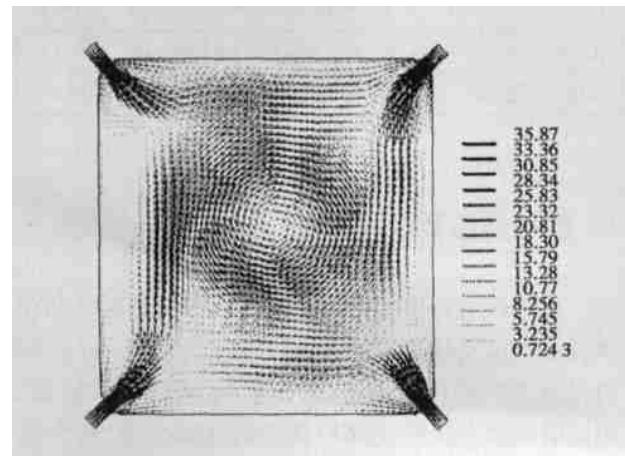


图 1 改前一次风截面的速度场(m/s)

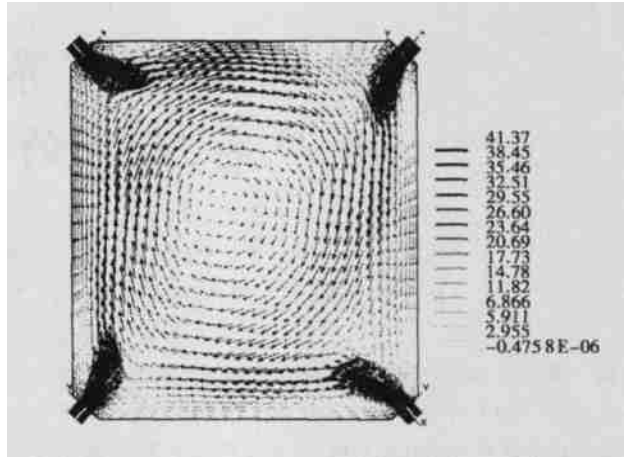


图 2 改后一次风截面的速度场(m/s)

4.2 氧量分布

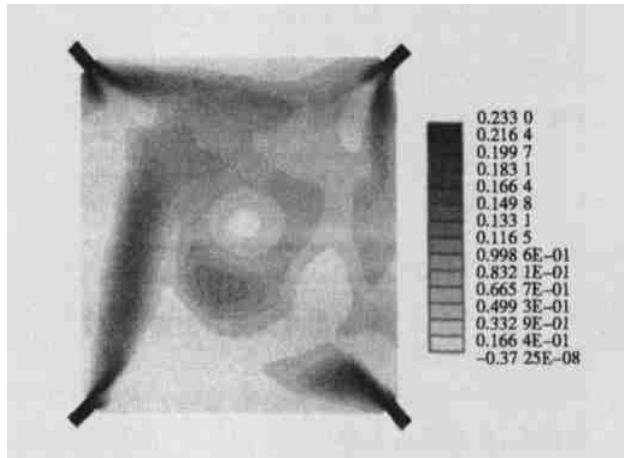


图 3 改前一次风截面的氧量场

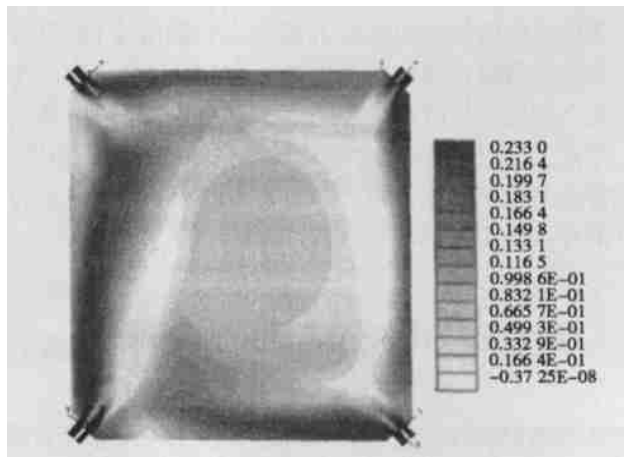


图 4 改后一次风截面的氧量场

图 3 和图 4 是一次风截面的氧量场。可见改后

由于一次风水平浓淡布置, 淡侧布置在背火面, 加之在一次风背火侧布置了侧二次风, 结果使得炉膛水冷壁附近的氧量比改前提高。而改前由于没有侧二次风的保护, 水冷壁附近的氧量较低。

4.3 温度分布

图 5 和图 6 是一次风截面的温度分布。可见改前温度明显比改后高, 水冷壁附近的温度也很高。改后的水冷壁附近温度较低, 高温区域被包裹在炉膛中心。

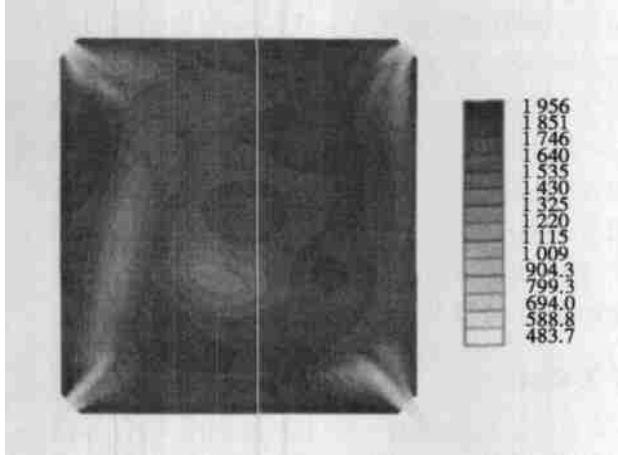


图 5 改前一次风截面的温度场(K)

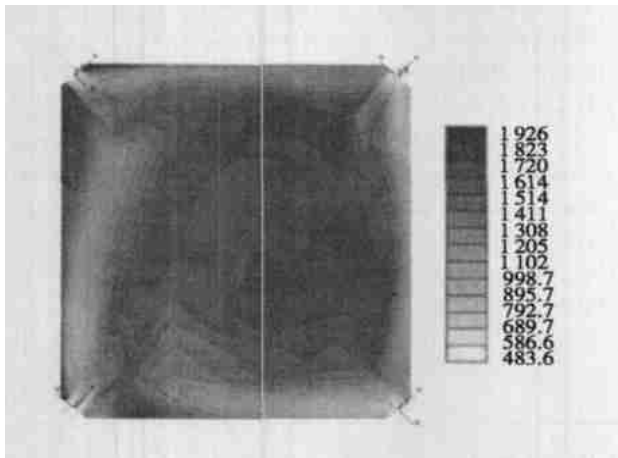


图 6 改后一次风截面的温度场(K)

图 7 和图 8 是炉膛出口截面的温度场。改前的温度场左右侧分布不均匀, 左侧比右侧高。改后左右侧基本平衡。但改前此截面的最高温度与最低温度相差 248 °C, 改后的最高温度与最低温度相差 384 °C。

图 9 和图 10 是改后分段风截面的速度场和氧量场。从图可见, 分段风垂直炉膛水冷壁射入炉膛

后, 很快被主气流带动发生偏转, 其射入炉膛的深度较小, 对氧量场的影响范围很有限。

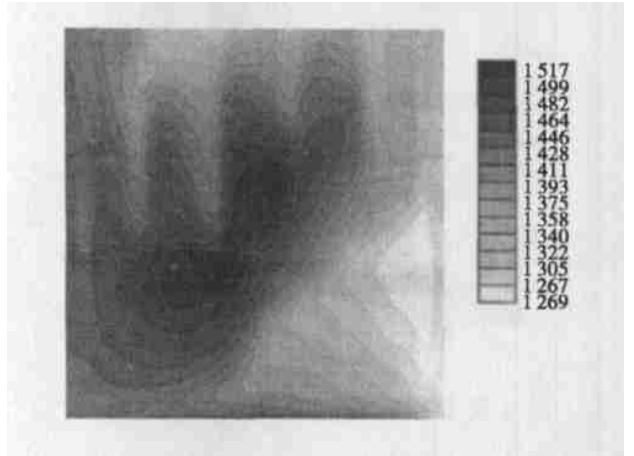


图 7 改前炉膛出口截面的温度场(K)

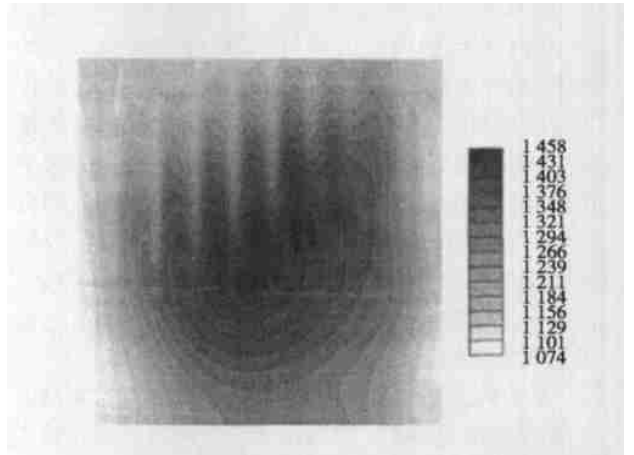


图 8 改后炉膛出口截面的温度场(K)

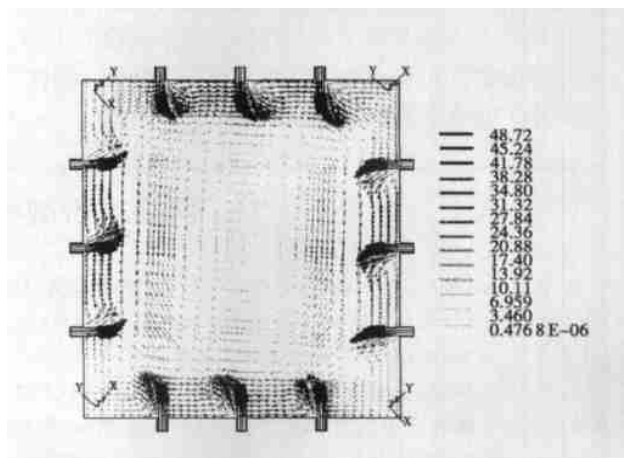


图 9 改后分段风截面的速度场(m/s)

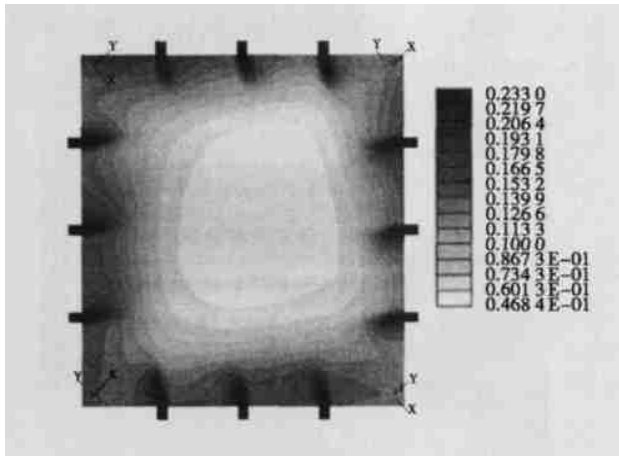


图 10 改后分段风截面的氧量场

5 结 论

(1) 改后炉内配风均匀,形成的切圆基本在炉膛中心,气流旋转强烈。由于改后有部分二次风作为分段风从炉膛上部送入,导致燃烧器区域的氧量较少,使燃烧器区域的温度比改前低,但改造方案下燃烧器区域的高温区面积很大,火焰充满度好,而且燃烧器区局部最高温度与改前相差不多,因此,改后的燃烧是稳定的。另外,由于燃烧器区域欠氧燃烧,且温度水平较低,有利于控制氮氧化物的生成,达到了空气分级的目的。

(2) 从改前的情况来看,水冷壁附近处于欠氧高温区域,其结渣趋势强。改后由于一次风背火侧安置了侧二次风,且一次风水平浓淡燃烧,因此壁面气氛得到了很大的改善。同时由于部分二次风从炉膛上部作为分段风送入,导致炉膛下部的过量空气系数较小,因此燃烧温度也有下降,这些对缓解结渣很有好处。因此,改后锅炉的结焦趋势比改前小的多。

(3) 由于改前壁面气氛差、氧量低,而燃烧温度高,因此改前水冷壁产生高温腐蚀的可能性较大。改后水冷壁附近壁面气氛好、氧量高,燃烧温度水平低,其产生高温腐蚀的可能性比改前小。

(4) 改前炉膛出口截面的温度分布不均匀,左侧烟气温度比右侧烟气温度高。改后炉膛出口截面左右侧的烟温相差较小。但是,改后烟气中心温度比四周温度高。这是由于改后分段风的速度不够大,分段风气流没有射透而是逐步渗入主气流,结果拉长了火焰的行程所致。建议提高分段风的速度,或是降低分段风射入位置的高度,以降低炉膛出口烟气温度差异。

综上所述,改造方案对炉内燃烧没有不利的影响,能够保证锅炉的稳定燃烧。从燃烧的角度考虑,改造方案是可行的。但是,改后炉膛出口烟温差异大,建议提高分段风的速度,或是降低分段风射入位置的高度,以降低炉膛出口烟温差异。

参考文献:

- [1] 许晋源,徐通模.燃烧学[M].北京:机械工业出版社,1990.
- [2] 周力行.湍流两相流动和燃烧的数值模拟[M].北京:清华大学出版社,1991.
- [3] 李彦鹏,徐益廉,刁永发,等.切向燃烧锅炉炉膛内旋流数分布的研究[J].热能动力工程,2001,16(5):477-480.
- [4] 范贤振.200 MW 四角切向燃烧煤粉炉炉内过程的数值模拟[J].西安交通大学学报,2002,36(3):241-245.
- [5] FAN JIANREN, QIAN LIGENG, MA YINLIANG, et al. Computational modeling of pulverized coal combustion processes in tangentially fired furnaces[J]. Chemical Engineering Journal, 2001, 81(2): 261-269.
- [6] 李戈.切向燃烧煤粉锅炉燃烧和污染物排放的数值模拟[J].动力工程,2003,23(6):2773-2776.

(何静芳 编辑)

两栖攻击舰将装用燃气轮机

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2003年3月号报道,把商业产品用到军用市场的美国海军LHD 8计划和GE LM2500+航改型船舶燃气轮机。自从1994年6月推出以来,LM2500+发动机已在高速渡船、旅游船和电力生产中吸引了众多的用户。总计已有20台LM2500+用于或打算用于船舶推进,另外98台发动机用于电力生产。

Northrop Grumman Ship Systems最近选择LM2500+和主减速器用于美国海军第8艘LHD Wasp级大甲板多用途两栖攻击舰(前7艘该级舰均是由汽轮机装置推进的)。该257m长军舰将由与GE主减速器联合的2台GE LM2500+发动机驱动。LM2500+的首次军事应用,为它应用于美国 and 世界各国海军计划铺平了道路。

GE LM2500航改型燃气轮机也享有稳固的商业和军用成果。到目前为止,已交付1000多台LM2500燃气轮机用于各种船舶推进系统。

(吉桂明 供稿)

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 ΔP 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