

135 MW 四角切圆煤粉炉低氮改造及试验研究

张光学¹, 陈琦¹, 王进卿¹, 方毅波²

(1. 中国计量学院 计量测试工程学院 浙江 杭州 310000; 2. 杭州浙大天元科技有限公司 浙江 杭州 310000)

摘要:对杭州某电厂 135 MW 机组锅炉进行低氮改造, 采用 SOFA(分离式燃尽风)与浓淡煤粉燃烧器相结合来实现空气分级低 NO_x 改造。对比分析改造前后的锅炉效率和 NO_x 排放浓度, 改造后 NO_x 排放浓度由原来的 650 mg/m³ 降为 300 mg/m³ 左右, 而锅炉效率的变化幅度不超过 ±0.5%。通过运行试验可以得到, 降低运行氧量能够减少 NO_x 的生成, 但会导致飞灰含碳量的增加; 同样, 加大 SOFA 风量以及调节其风门至上摆也能减少 NO_x; 磨煤机投运方式也会对 NO_x 的排放浓度产生影响。

关键词:低氮改造; 空气分级; NO_x 排放; 燃烧调整

中图分类号: TK223.23 文献标识码: A
DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.02.016

引言

空气分级作为一种重要的低氮燃烧技术, 由于它不需要任何催化剂, 不仅投资和运行成本低, 而且对现役旧机组也能达到改造目的, 一般是电厂降低氮氧化物排放的首选技术之一^[1-2]。ABB-CE 公司开发的炉膛内整体空气分级燃烧器(OFA)在电站锅炉降低 NO_x 中较早得到应用^[3]; 张晓辉等人^[4]通过更换水平浓淡燃烧器和增加燃尽风(OFA)喷口对北京某 200 MW 燃煤机组进行低氮改造; 金伟韧等人^[5]针对珠海电厂 2 290 t/h 锅炉运行中主汽温偏低、燃烧器摆角易烧损等问题, 采用空气分级技术实施低氮燃烧改造, 机组在环保性和经济性上取得了良好的效果; 禹庆明等人^[6]在摸索运行经验的基础上提出了低 NO_x 燃烧工况下的锅炉优化控制与调整方法, 为燃煤锅炉低 NO_x 燃烧器改造及优化运行提供借鉴。

本研究结合现场实际情况, 采用空气分级技术联合浓淡煤粉燃烧器对杭州某电厂 135 MW 机组锅炉实施低氮改造, 在保证锅炉安全运行和经济性的基础上达到 54% 脱硝率。

收稿日期: 2014-05-04; 修订日期: 2014-05-23

基金项目: 浙江省创新团队项目(2013F20003); 国家质检总局科研项目(2013QK026)

作者简介: 张光学(1982-), 男, 浙江湖州人, 中国计量学院副教授。

1 锅炉概况及改造方案

改造对象为杭州某电厂 4 号炉, 该锅炉为上海锅炉厂生产的 SG-420/140-M415 型超高压、单汽包、自然循环、中间储仓、热风送粉、一次中间再热煤粉炉。炉膛尺寸为 9.6 m × 8.84 m, 四周布置膜式水冷壁, 炉膛出口布置屏式过热器, 水平烟道布置二级对流过热器, 尾部竖井交替布置二级省煤器和二级空气预热器。

锅炉现燃烧器包括 3 层一次风喷口, 4 层二次风喷口和 1 层三次风喷口。下层一次风燃烧器为微油点火燃烧器, 中层一次风燃烧器为浓稀相直流燃烧器, 采用四角切圆燃烧方式。

低 NO_x 燃烧技术的本质是控制燃烧区温度, 降低反应区内氧的浓度和缩短燃料在高温区的停留时间, 达到抑制燃料型和热力型 NO_x 生成的目的^[7]。要保证在不降低锅炉效率的前提下实现防结渣, 氮氧化物从目前的 650 mg/m³ 降低至 300 mg/m³, 宜采用空气分级燃烧技术进行改造, 改造项目包括:

(1) 一次风更换为浓淡煤粉燃烧器。下一次风为微油点火燃烧器, 维持其结构和标高不变; 中一次风和上一次风更换为撞击式浓淡燃烧器, 维持中一次风标高不变, 上一次风标高由原来的 14.39 m 变为 14.17 m。

(2) 二次风喷口改造。原二次风为下二次风、中下二次风、中上二次风、上二次风共 4 层, 本次改造后重新调整二次风量及布置, 下二次风标高维持不变, 中下二次风变为中二次风、中上二次风变为上二次风、取消原上二次风。

(3) 三次风喷口下移。取消原来的中上二次风喷口, 将三次风喷口适当下移, 标高由原来的 15.89 m 变为 14.89 m。

(4) 增设 SOFA 喷口。在距离最上层燃烧器 6.2 m 处新增 3 层可上下、左右摆动的 SOFA 喷嘴, 喷嘴上下可摆动 $\pm 20^\circ$ 。

(5) 炉膛切圆调整和二次风偏转。调整切圆大小, 在炉膛中心形成与原假想切圆方向相反、直径较小的切圆; 中二次风设置较大的偏角, 偏置 17° 切入, 实现风包粉燃烧效果。

改造采用的轴向空气分级与径向空气分级布置方案分别如图 1 和图 2 所示。

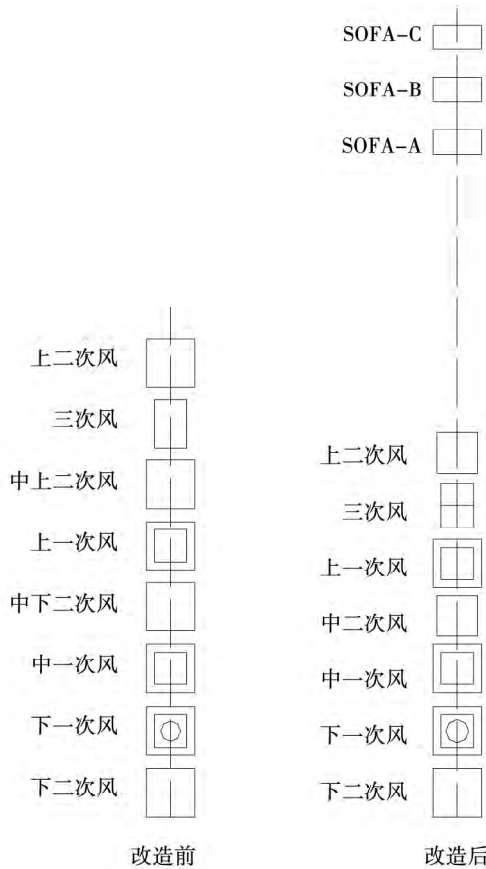


图 1 燃烧器轴向整体布置

Fig. 1 Overall layout of the burners along the axial direction

2 改造后锅炉效率及 NO_x 排放测试

2.1 锅炉效率测试

锅炉试验煤种为混合煤, 煤质特性如表 1 所示, 改造前后的效率对比如表 2 所示。

炉内空气分级使得燃烧中心上移, 在空气预热器出口处测得排烟温度提高 5°C 左右, 飞灰、炉渣可燃物含量也较之前有少量提高, 改造后锅炉效率的

变化幅度可以保持在 $\pm 0.5\%$ 范围内。

表 1 煤质特性分析

Tab. 1 Analysis of coal quality characteristics

工业分析(收到基) / %				元素分析(收到基) / %				
M _{ar}	A _{ar}	V _{ar}	FC _{ar}	C _{ar}	H _{ar}	O _{ar}	N _{ar}	S _{ar}
12.05	23.03	19.56	45.36	58.5	2.93	2.49	0.85	0.15

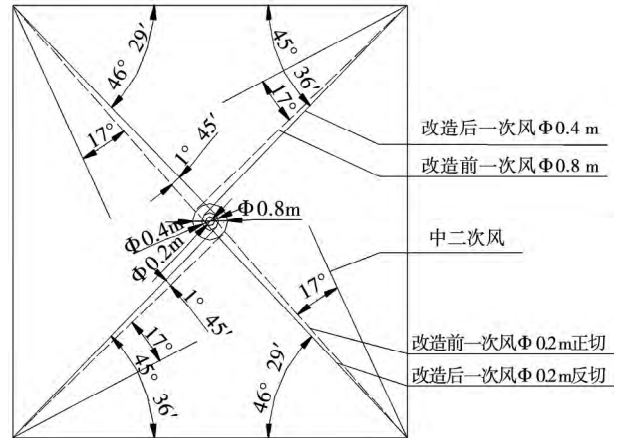


图 2 径向假想切圆的布置

Fig. 2 Layout of the tangential circles imagined along the radial direction

表 2 改造前后效率对比

Tab. 2 Comparisons of the boiler efficiency before and after reconstruction

参数	改造前		改造后		
负荷 / MW	96	125	80	100	130
制粉方式	双磨	双磨	单磨	双磨	双磨
炉渣可燃物含量 / %	0.2	0.4	1.9	4.4	3.5
飞灰可燃物含量 / %	0.9	1.8	2.2	3.0	2.1
空气预热器出口氧量 / %	4.67	4.43	5.75	4.05	4.37
排烟温度 / $^\circ\text{C}$	145.7	158.4	135.9	151.3	161.9
排烟热损失 / %	7.89	8.78	7.91	7.91	8.80
未完全燃烧热损失 / %	1.26	0.75	0.87	1.28	0.92
修正后锅炉热效率 / %	90.6	90.3	91.0	90.5	90.1

2.2 烟气成分分析

烟气成分选择在空气预热器出口烟道测量, 采用德图 350XL 烟气分析仪按照等截面网格法取样化验烟气成分, 每个试验工况稳定运行 2 h 后进行测量。

锅炉在 60% - 100% 负荷范围内燃用现有煤种, 可将 CO 含量控制在 $100 \mu\text{L/L}$ 以下, NO_x 排放

浓度不大于 300 mg/m³, 较改造前有大幅降低, 如表 3 所示。

表 3 改造前后锅炉烟气成分对比

Tab. 3 Comparison of the composition of the flue gases from the boiler before and after reconstruction

参 数	改造前			改造后	
	96	125	80	100	130
负荷/MW	96	125	80	100	130
氧量质量分数/%	4.67	4.92	5.75	4.05	4.37
CO/ $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	45.0	1.5	5.6	76.0	47.9
NO _x /mg · m ⁻³	763.7	599.8	285.1	272.6	296.9

3 低 NO_x 燃烧调整试验

3.1 氧量的影响

试验在 130 MW 负荷下进行, 磨煤机投运方式为单磨, 仅改变氧量的试验结果如图 3、图 4 所示。

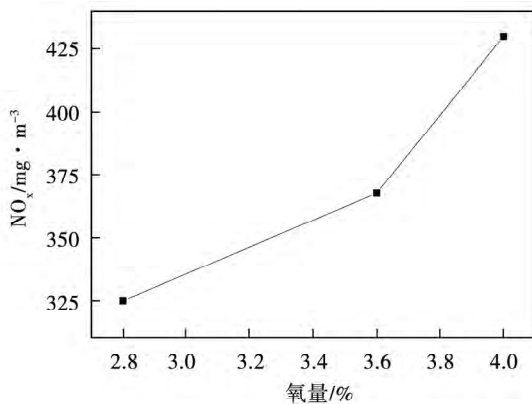


图 3 氧量对 NO_x 的影响

Fig. 3 Influence of the oxygen content on NO_x

可以看出, 在其它运行条件不变情况下, NO_x 排放浓度随着氧量增加而增加: 当运行在 2.8% 氧量下, 空气预热器出口测得的 NO_x 排放浓度为 325 mg/m³ (折算到 φ(O₂) = 6%) , 而在 4% 氧量情况下

NO_x 排放浓度迅速增至 430 mg/m³, 这主要是因为燃料型 NO_x 是由燃料中的挥发份 N 和焦炭 N 以含氮的化合物形式被氧化而成的^[8], 其转换率与燃烧器区域和炉膛平均氧浓度关系很大。图中还可以得出, 氧量可以影响减温水量的大小, 过低的氧量运行会造成火焰中心上移, 使得主、再热蒸汽汽温及减温水量的增加。鉴于甲侧再热器减水量偏高问题, 除了调整上层二次风外, 还可以适当提高氧量, 在实际运行中一般保持氧量在 3% 以上。

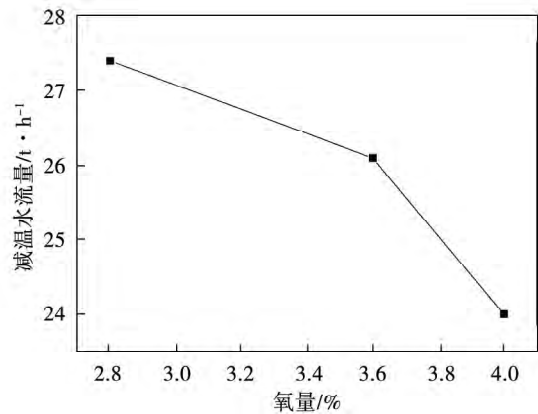


图 4 氧量对减温水量的影响

Fig. 4 Influence of the oxygen content on the quantity of desuperheating water

3.2 燃尽风的影响

燃尽风量的考察选择在不同负荷的 9 个工况下进行, 结果如表 4 所示, 在其它条件不变时, 随着 SOFA 风门开度的增加, NO_x 排放浓度逐渐下降。其原因是燃尽风量的增加造成二次风量相应减少, 主燃烧区域燃料呈现贫氧燃烧, 从而抑制燃料型 NO_x 的生成。但是较高的燃尽风量会造成煤粉燃烧推迟, 使燃料未能完成全部燃烧就随着烟气离开炉膛, 为兼顾脱硝与燃烧效率, 合理的燃尽风量应占总风量的 15% - 20% 左右, 对于漏风较少的煤粉炉, 一般选取 20% - 25% 的燃尽风率^[9-10]。

表 4 燃尽风挡板开度对 NO_x 的影响

Tab. 4 Influence of the opening degree of the SOFA baffle on NO_x

参 数		负荷 80 MW			负荷 100 MW			负荷 130 MW		
		工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 7	工况 8	工况 9
SOFA	中	50	60	0	60	60	60	60	60	60
开度/%	下	0	0	0	0	20	60	25	30	35
NO _x /mg · m ⁻³		314	296	690	348	332	313	349	328	298

燃尽风摆角试验在 125 MW 负荷下进行,各工况保持 3% 左右的运行氧量和相同的 SOFA 风量,只改变燃尽风的摆角,记录结果如图 5 - 图 6 所示。

横坐标正负分别表示摆角向上和向下摆动,比较 4 个工况,当 SOFA 摆角为 0° 即喷嘴水平,测得 NO_x 排放浓度为 360 mg/m³; 向上增大摆角 NO_x 逐渐降低,但过大的摆角易导致燃料燃烧不完全;当 SOFA 射流向下 16° 射入时,此时 NO_x 排放浓度上升为 445 mg/m³,降低氮氧化物排放效果不明显,这是因为燃尽风喷嘴下调相当于缩短了还原区域。此时测得飞灰中的含碳量却是最低,由试验数据可以得到结论:调节高位燃尽风,飞灰含碳量与 NO_x 排放浓度两者的变化呈相反趋势,实际运行中为获得较好的降低氮氧化物排放效果还需兼顾燃煤的经济性。

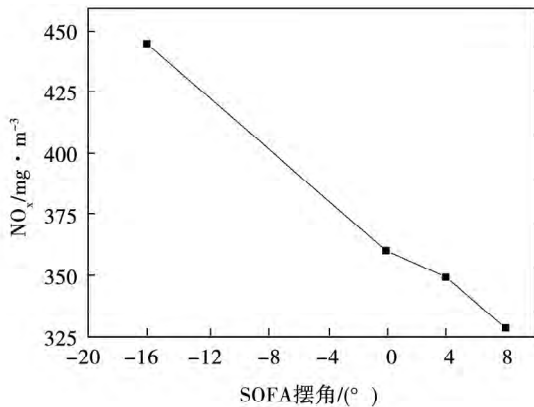


图 5 SOFA 摆角对 NO_x 的影响

Fig. 5 Influence of the swaying angle of SOFA on NO_x

3.3 磨煤机运行方式的影响

由于该炉送粉系统存在双磨、单磨及无磨的运行方式,不同磨煤机投运数量对 NO_x 排放浓度影响会有所不同。试验选择 125 MW 工况下进行,在其它条件一致的情况下仅改变磨煤机的投运数量,结果如图 7 所示。图中双磨运行方式下的 NO_x 排放浓度为 328 mg/m³,磨煤机未投运时 NO_x 排放浓度最低,主要是由于三次风中含粉量较低,磨煤机投运数量越多,三次风量越大,煤粉在富氧条件下燃烧产生 NO_x 越多。虽然较低的三次风温在一定程度上可降低炉内火焰温度,但总体上 NO_x 的排放量还是增加的,这也说明了燃烧过程中燃料型 NO_x 的生成量远大于热力型 NO_x。

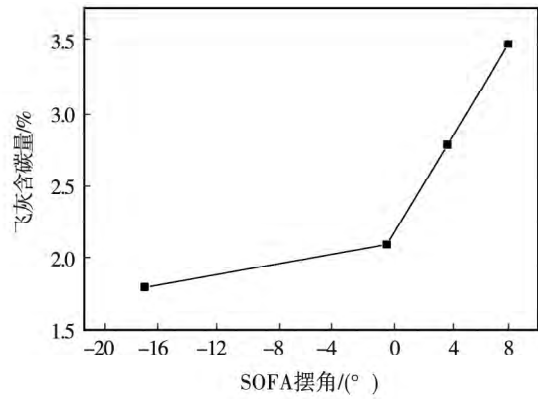


图 6 SOFA 摆角对飞灰含碳量的影响

Fig. 6 Influence of the swaying angle of SOFA on the carbon content of flying ash

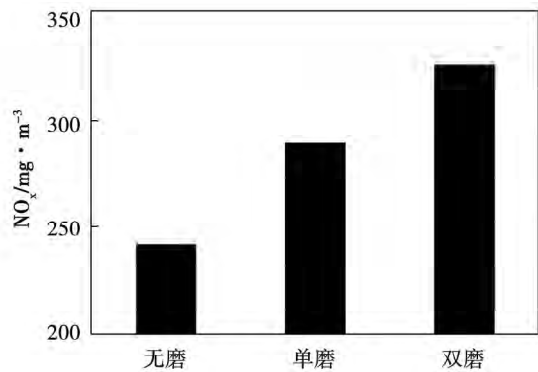


图 7 制粉系统对 NO_x 排放浓度的影响

Fig. 7 Influence of the pulverizing system on NO_x

4 结 论

针对某 135 MW 四角切圆燃煤锅炉 NO_x 排放浓度过高问题,在保证锅炉安全、经济运行前提下,提出空气分级燃烧技术改造方案,经优化后可有效降低 NO_x 排放浓度。

(1) 改造后锅炉运行在 60% - 100% 负荷试验工况下,NO_x 排放浓度由原来的 650 mg/m³ 降低至 300 mg/m³ 左右,脱氮率达到 54%,CO 排放浓度不大于 100 μL/L,锅炉效率不低于 90.5%。

(2) 将部分二次风射流方向偏向炉墙,有利于在一次风和炉膛水冷壁之间形成风膜,达到风包粉的燃烧效果,实现了径向空气分级。

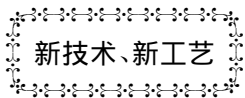
(3) 轴向空气分级降低 NO_x 排放浓度效果明

显影响脱硝效率的主要因素有运行氧量、燃尽风量及其摆角、磨煤机投运方式等。在锅炉正常运行下将氧量控制在 3.0% - 3.5% ,SOFA 风门开启中、下两层,占总风量的 25% 左右,摆角保持 0° - 6° 之间可实现最佳空气分级效果。

参考文献:

- [1] 肖 琨,高 明,乌晓江 等. 空气分级低氮燃烧改造技术对锅炉汽温特性影响研究[J]. 锅炉技术 2012 43(5):62-63.
XIAO Kun ,GAO Ming ,WU Xiao-jiang ,et al. Study of the effect of the air staged low nitrogen combustion technology on the steam temperature characteristics of a boiler[J]. Journal of Shanghai University of Electric power 2012 43(5):62-63.
- [2] Spliethoff H ,Graul U. Basic effect on NO_x emissions in air staging and reburning at a bench scale test facility [J]. Fuel ,1996 ,75 (5):560-564.
- [3] 毕玉森. 我国电站锅炉低 NO_x 燃烧器的应用状况及运行试验 [J]. 热力发电 ,1998(1):4-11.
BI Yu-sen. Situation of the application of low NO_x burners in utility boilers in China and their operation trial test [J]. Thermal Power Generation ,1998(1):1-11.
- [4] 张晓辉,孙 锐,孙绍增 等. 200 MW 锅炉空气分级低 NO_x 燃烧改造实验研究[J]. 热能动力工程 2008 23(6):676-681.
ZHANG Xiao-hui ,SUN Rui ,SUN Shao-zeng ,et al. Experimental study of an air staged and low NO_x emission-based combustion modification to a 200 MW boiler [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy & Power 2008 23(6):676-681.
- [5] 金伟韧,陈斌源. 2 200 t/h 锅炉燃烧器改造与应用 [J]. 锅炉技术 2013(5):53-58.
JIN Wei-ren ,CHEN Bin-yuan. Modification to the burners of a 2 200 t/h boiler and their applications [J]. Boiler Technology 2013 , (5):53-58.
- [6] 禹庆明,张 波,朱宪然 等. 低氮燃烧器改造及运行调整方法探讨 [J]. 华北电力技术 2012(7):35-38.
YU Qing-ming ,ZHANG Bo ,ZHU Xian-ran ,et al. Study of the modification to low nitrogen burners and exploratory study of the method for adjusting the operation [J]. North China Electric Power 2012 (7):35-38.
- [7] 周新雅. 大型燃煤电站锅炉低氮燃烧技术分析及其应用策略 [J]. 华东电力 2003(10):6-11.
ZHOU Xin-ya. Analysis of low nitrogen combustion technology for boilers in large-scale coal-fired power plants and its application strategies [J]. East China Electric Power 2003(10):6-11.
- [8] 吴碧君. 燃烧过程中氮氧化物的生成机理 [J]. 电力环境保护 ,2003 ,19(4):9-12.
WU Bi-jun. Mechanism governing the formation of NO_x in the process of combustion [J]. Electric Power Environmental Protection 2003 ,19(4):9-12.
- [9] Coda B ,Kluger F ,Fortsch D ,et al. Coal-nitrogen release and NO_x evolution in air-staged combustion [J]. Energy and Fuels ,1998 (12):1322-1327.
- [10] 张惠娟,宋洪鹏,惠世恩. 四角切圆空气分级燃烧技术及应用 [J]. 热能动力工程 2003 ,18(3):224-228.
ZHANG Hui-juan ,SONG Hong-peng ,HUI Shi-en. Tangential air staged combustion technology and its applications [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy & Power ,2003 ,18(3):224-228.

(丛 敏 编辑)



菲涅尔技术领导者 Areva 剥离光热发电业务

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.02.017

8月1日,因光热业务一直未能为公司创造利润,菲涅尔光热发电技术领导者 Areva 宣布剥离光热发电业务,这对菲涅尔技术开发领域是一大损失。Areva 是菲涅尔光热发电技术的领先厂商,其于 2010 年 3 月收购澳大利亚菲涅尔技术厂商 Ausra 公司进入光热发电领域,主打紧凑型线性菲涅尔技术。其开发的最大的项目是印度信实电力公司 100 MW 的菲涅尔光热电站,该电站已经于 2014 年 11 月份建成投运。

(吉桂明 摘译)

—台 150 MW 循环流化床一次风控制系统的参考指令调节器设计 = **Design of the Reference Instruction Regulator of a 150 MW Circulating Fluidized Bed Primary Air Control System** [刊, 汉] ZHUO Xu-sheng, LI Tong, WANG Dan-dan (College of Electrical and Information, Wuhan Engineering University, Wuhan, China, Post Code: 430073), LOU Chun (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. —2015, 30 (2). —233—236

During the combustion in a circulating fluidized bed, the primary air plays a key role in fluidizing materials and regulating the bed temperature. The authors proposed a design of a Category I reference instruction regulator used for producing an instruction for controlling primary air fans. The foregoing instruction can not only accommodate changes in loads of units but also can be timely corrected in accordance with changes in the amount of coal fed and the bed temperature and used for controlling the primary air, thus enhancing the combustion efficiency of the circulating fluidized bed. The reference instruction regulator was designed by using the expert rule-based systematic method. By making use of the actual experience from the operators and experts and an analysis of the operation data, the logic relationship among the amount of coal fed, the bed temperature, the regulation direction and value of the primary air fans under various operating conditions was obtained and a comparatively complete expert rule system was formed. The operation test shows that to use this expert rule system to adjust the instruction for controlling the primary air fans can notably enhance the control effectiveness of the amount of primary air. **Key Words:** circulating fluidized bed, primary air control, reference instruction regulator, expert control

135 MW 四角切圆煤粉炉低氮改造及试验研究 = **Low Nitrogen Modification to and Experimental Study of a 135 MW Tangential Pulverized Coal-fired Boiler** [刊, 汉] ZHANG Guang-xue, CHEN Qi, WANG Jin-qing (China Metering College, Hangzhou, China, Post Code: 310000), FANG Yi-bo (Hangzhou Tianyuan Science and Technology Co. Ltd., Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2015, 30(2). —237—241

The authors performed a low nitrogen modification to a 135 MW boiler unit in a power plant in Hangzhou City and adopted separated overfire air (SOFA) nozzles in a combination with pulverized coal bias burners to realize an air staged low NO_x modification. In this connection, the boiler efficiency and NO_x emissions concentration before and after the modification were contrasted and analyzed. The NO_x emissions concentration after the modification decreased from the original 650 mg/Nm^3 to around 300 mg/Nm^3 and the variation range of the boiler efficiency did not

exceed $\pm 0.5\%$. The operation experience shows that to lower the amount of oxygen consumed in operation can reduce the NO_x produced, however, this can lead to an increase of the carbon content of flying ash. It is also true that to increase the amount of SOFA and to regulate the SOFA damper to its largest opening degree can also reduce the production of NO_x . In addition, the mode of putting the pulverizer into operation can also influence the NO_x emissions concentration. **Key Words:** low nitrogen modification, air staging, NO_x emissions, combustion adjustment

烧结机余热锅炉多通道烟气流场数值研究 = Numerical Study of the Flue Gas Flow Field Inside Multiple Ducts of the Heat Recovery Steam Generator of a Sintering Machine [刊, 汉] JIN Ying-li, WANG Jian-zhi, CHEN Gang, HAO Li-bo (CSIC No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150078) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(2). -242-247

With the flow field in the flue gas duct at the inlet of a heat recovery steam generator serving as the object of study, established was a three-dimensional model for calculating multi-channel inlet flue gas ducts. The standard turbulent flow model was used, the pressure and speed were coupled by using the Simple algorithm and the equation was discretized by using the second-order upwind difference scheme to calculate and obtain the distribution of the flow field inside the multi-channel inlet flue gas duct of the heat recovery steam generator. A measure was proposed to optimize the flow field by additionally installing flow guide plates in the flue gas duct. The calculation results show that under the condition of the inlet having same dimensions, the flow field in a flue gas duct having a small divergence angle with multiple channels is superior to that in a flue gas duct with a single channel. To arrange and install flow guide plates inside the inlet flue gas duct can obviously enhance the uniformity of the flue gas flow field inside the inlet flue gas duct. With an increase of the speed of the flue gases, the degree of improving the speed uniformity by using the flow guide plates will somewhat decline. **Key Words:** inlet flue gas duct, flow field, multiple channel, numerical calculation, flow guide plate

湿法烟气脱硫装置中铁锰离子对 SO_2 催化氧化作用的试验研究 = Experimental Study of the Action of Iron and Manganese Ions in a Wet-method Flue Gas Desulfurization Device on the Catalytic Oxidation of SO_2 [刊, 汉] ZHAO Qing-qing, JIN Jing, GAO Xin-yong, LIU Wei, ZHANG Ying-wen, LIU Lei (College of Energy Source and Power Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(2). -248-252