

# 新型中心给粉燃烧器及燃尽风系统在 600 MW 机组锅炉的应用研究

曾令艳, 朱群益, 张庆花, 张锡乾

(哈尔滨工业大学 能源科学与工程学院 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** 针对某电厂一台采用斗巴 LNASB 燃烧器的 600 MW 机组超临界锅炉存在  $\text{NO}_x$  排放量较高、燃烧器区喷口烧坏变形和结焦等问题。采用新型中心给粉燃烧器和燃尽风系统对锅炉进行改造。改造后的锅炉在 600 MW 负荷下稳定运行, 锅炉  $\text{NO}_x$  排放量降低了 50.07%; 飞灰含碳量和大渣含碳量分别为 1.11% 和 1.08%, 锅炉效率可达到 93.51%。

**关键词:** 旋流燃烧器; 燃尽风;  $\text{NO}_x$  排放

中图分类号: X701; O242 文献标识码: A

## 引言

我国煤炭中用来发电的部分占全部煤炭使用量的 70%<sup>[1]</sup>。燃煤电厂在生产清洁电力的同时, 排放大量  $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$  和烟尘等污染物, 成为大气污染物的主要来源之一<sup>[2]</sup>。在我国, 火电站产生了大气中 42% 的  $\text{NO}_x$ <sup>[3]</sup>。2011 年我国的《火电厂大气污染排放标准》规定从 2014 年 7 月 1 日开始, 现有火电机组氮氧化物排放标准为  $100 \text{ mg/m}^3$  (特殊规定的执行  $200 \text{ mg/m}^3$  的标准), 而我国目前运行的墙式布置旋流煤粉锅炉氮氧化物排放普遍在  $500 \text{ mg/m}^3$  以上, 直接加装尾部烟气脱硝装置运行费用较高, 因此有必要研究如何对现役锅炉进行低氮氧化物燃烧技术改造。本研究提出了对 600 MW 超临界机组锅炉进行改造的方案, 并成功实施该方案, 改造后的锅炉达到了预期的良好效果, 为同类型锅炉的设计和现役锅炉改造方案提供借鉴和指导。

## 1 锅炉改前简况及改造方案

### 1.1 锅炉改前情况

某电厂一台锅炉是哈尔滨锅炉厂有限责任公司引进斗山巴布科克能源公司 (Doosan Babcock Energy Limited) 的锅炉技术, 进行设计、制造的。锅炉型

号为 HC—1890/25.4—YM4 型锅炉, 2007 年 9 月 30 日该机组投入商业运行。燃用煤质为烟煤。锅炉为超临界压力、带再循环泵启动系统的本生直流锅炉。锅炉燃烧器选用 LNASB 燃烧器前后墙、对冲布置, 配有 6 台 HP1003 中速磨直吹式制粉系统。前后墙上各布置 3 层燃烧器, 每层各有 5 只 LNASB 燃烧器, 总共 30 只。在最上层煤粉燃烧器上方, 前、后墙各布置 1 层燃尽风喷口, 每层布置 5 个, 共 10 个燃尽风喷口。LNASB 燃烧器结构如图 1 所示。

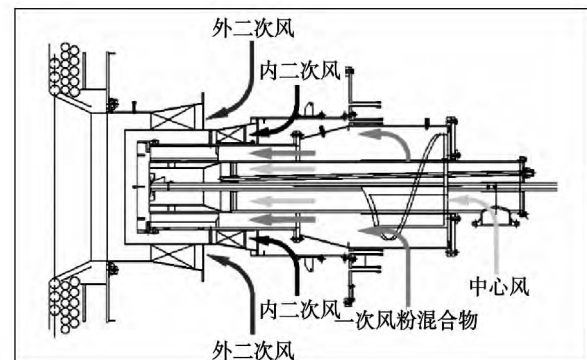


图 1 LNASB 轴向旋流燃烧器结构示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of the structure of a low- $\text{NO}_x$  axial swirling burner

### 1.2 存在问题及分析

锅炉自投运以来燃烧状况稳定, 经济性较高。但也存在一些问题: 首先是锅炉  $\text{NO}_x$  排放量较高, 全年平均  $500 \text{ mg/m}^3$  ( $\text{O}_2 = 6\%$ ) 以上<sup>[4]</sup>; 其次, 燃烧器易磨部件磨损严重、锅炉燃烧器区域结焦和喷口烧坏变形的现象时有发生。

锅炉  $\text{NO}_x$  排放高的主要原因在于: (1) 燃烧器结构型式欠妥。LNASB 燃烧器, 煤粉分布不合理, 没有进行煤粉浓淡分级燃烧。(2) 原设计虽然进行

收稿日期: 2013-11-15; 修订日期: 2013-12-02

基金项目: 黑龙江省博士后资助经费 (LBH-Z12133)

作者简介: 曾令艳 (1982-), 女, 黑龙江海伦人, 哈尔滨工业大学讲师。

了全炉膛分级燃烧,但燃尽风风率偏小,燃烧所需要的空气过多从燃烧器区域加入,为氮氧化物的产生创造了有利条件。

燃烧器喷口结渣、烧坏变形主要是因为 LNASB 燃烧器在燃烧器回流区的起点在燃烧器内部<sup>[5]</sup>,回流区卷吸的高温烟气易使燃烧器喷口结渣、烧坏变形。

### 1.3 锅炉改造方案

从机组运行的安全性和经济性出发提出改造方案。主要将锅炉除等离子燃烧器外的 25 只燃烧器更换为新型中心给粉燃烧器(即采用斗巴 LNASB 燃烧器二次风结构的中心给粉燃烧器),燃烧器结构如图 2 所示。在原有的燃尽风装置上方新增 10 只燃尽风喷口,燃尽风布置情况如图 3 所示。新型中心给粉燃烧器的一次风携带煤粉由一次风入口弯头沿轴向进入一次风管,经煤粉浓缩环的浓缩作用后,分成浓淡两股煤粉气流进入炉膛。

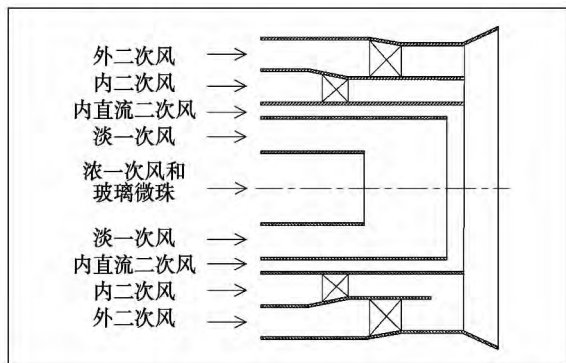


图 2 新型中心给粉燃烧器  
Fig. 2 New type central-feed burner

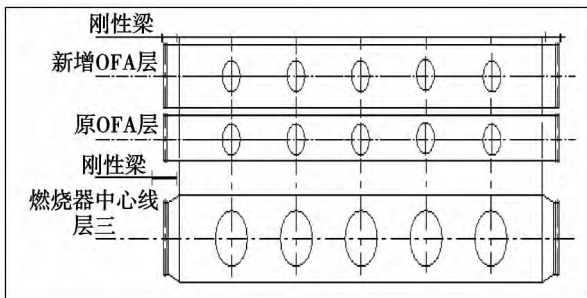


图 3 燃尽风布置图  
Fig. 3 Arrangement layout of the OFA

## 2 工业试验结果与分析

### 2.1 新型中心给粉燃烧器空气动力场特性

完成电厂锅炉燃烧器及燃尽风系统改造后,对单只燃烧器的冷态空气动力场进行了试验研究。图 4 是试验测得燃烧器出口的空气动力场。图中  $x$  表示测点到燃烧器出口的距离,  $r$  表示测点到燃烧器中心线的距离,  $d$  表示外二次风扩口直径,实心方点连线代表速度为零的流线。从图中可知,燃烧器出口有稳定的中心回流区,回流区直径为  $0.68d$ ,长度为  $0.68d$ ;燃烧器的射流扩展角为  $80^\circ$ ,可以满足稳定燃烧的要求。在现场观察发现,未出现相邻两只燃烧器气流相互干扰的现象。

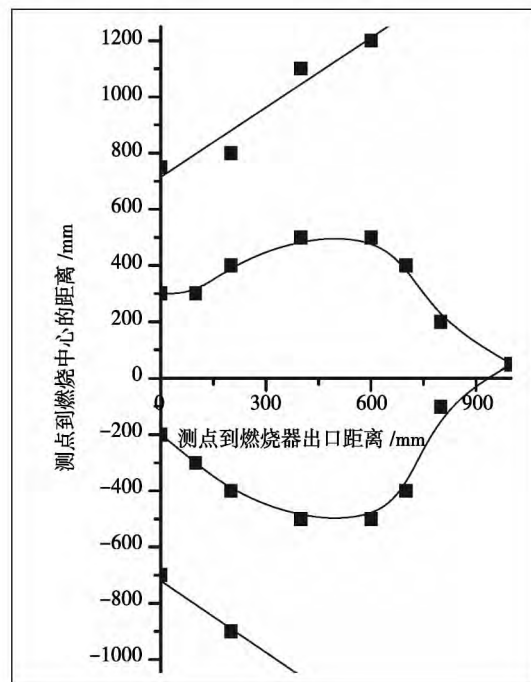


图 4 新型中心给粉燃烧器出口空气动力场  
Fig. 4 Aerodynamic field at the outlet of the new type central-feed burner

### 2.2 锅炉煤粉燃烧及 NO<sub>x</sub> 排放特性

锅炉进行燃烧器及燃尽风系统改造后,锅炉在 600 MW 满负荷下,主蒸汽压力和主蒸汽温度都达到了设计要求,锅炉稳定运行,炉膛负压稳定。在 200 MW 负荷下不投运等离子燃烧器可以稳定燃烧。燃烧器基本没有结渣问题。磨煤机运行正常,没有发生因更换燃烧器而产生磨煤机阻力增加、影响出力的问题。为进一步了解炉内煤粉燃烧及 NO<sub>x</sub> 排放特性,在锅炉额定负荷 600 MW 时进行了

现场工业试验研究。

图 5 为 A1(下层靠近侧墙的燃烧器)和 A3(下层中间位置的燃烧器)燃烧器中心线温度分布。图中横坐标为零时为锅炉水冷壁位置。横坐标为负时显示的是燃烧器预混段内的温度变化,横坐标为正时显示的是炉膛内的温度变化。由图可知,两燃烧器中心线温度差别较小,说明旋流燃烧器可以独立组织燃烧,燃烧器彼此间的影响较小。在横坐标为 0.1 m(即沿炉膛方向距水冷壁 0.1 m)处烟气温度达到 600℃ 以上,煤粉开始着火燃烧。随着煤粉的着火,炉内温度逐渐升高。

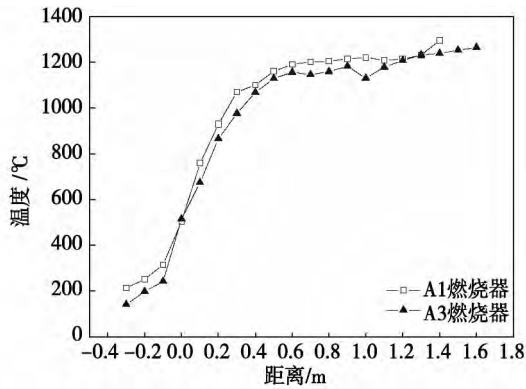


图 5 A1 和 A3 燃烧器中心线温度分布  
Fig. 5 Temperature distribution along the centre line of A1 and A3 burner

图 6 为 A1 燃烧器对应侧墙看火孔温度分布。测点从侧墙水冷壁开始逐渐向炉膛深入。锅炉侧墙温度较高,随着测点逐渐向炉膛深入,温度逐渐增加,但增幅较小。

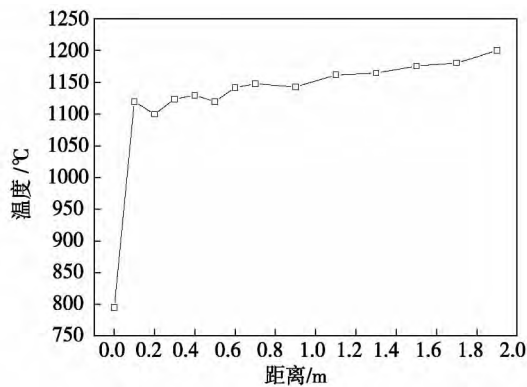


图 6 A1 燃烧器对应侧墙看火孔温度分布  
Fig. 6 Temperature distribution in the observation hole in the wall opposite to A1 burner

图 7 为光学式高温计从炉膛看火孔处测量的炉

内烟气温度分布。从图中可以看出烟气温度分布合理,燃烧器区域温度较高,炉内燃烧器稳定。

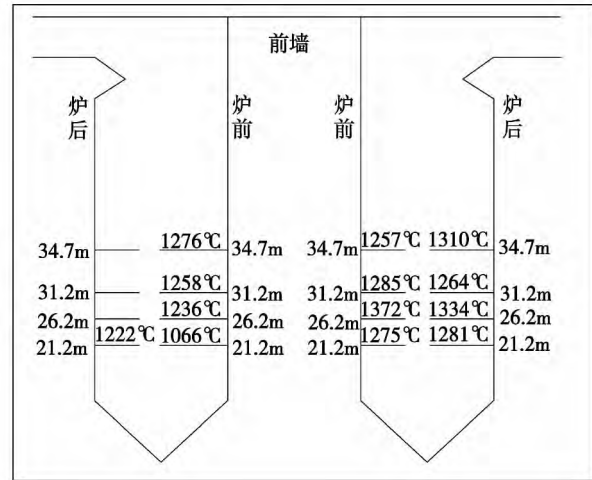


图 7 炉内火焰温度分布  
Fig. 7 Distribution of the flame temperature inside the furnace

经测定锅炉在 600 MW 负荷时飞灰可燃物含量为 1.11%,炉渣可燃物含量为 1.08%,左、右两侧空气预热器出口的平均 NO<sub>x</sub> 排放量为 194.2 mg/m<sup>3</sup> (O<sub>2</sub> = 6%)。锅炉的排烟热损失为 4.57%,固体未完全燃烧热损失为 0.22%,气体未完全燃烧热损失为 1.36%,锅炉热效率为 93.51%。

对锅炉改造前 2010 年 7 月 1 日 0:00 时至 2010 年 7 月 30 日 23:00 时和改造后 2011 年 6 月 23 日 0:00 时至 2011 年 7 月 27 日 23:00 时数据进行统计。数据统计结果如表 1 所示。

表 1 锅炉改造前后数据统计  
Tab. 1 Data statistics before and after the reconstruction of the boiler

		600 MW(610 - 580 MW)	
		改造后	改造前
NO <sub>x</sub> /(mg·m <sup>-3</sup> ) (O <sub>2</sub> = 6%)	平均值	199.94	400.48
	数据范围	118.5 - 268.8	262.3 - 608.9
过热器减温水 总量/t·h <sup>-1</sup>	平均值	99.68	98.5
	数据范围	13.1 - 203.6	13.2 - 192.7
再热器减温水 总量/t·h <sup>-1</sup>	平均值	13.64	14.54
	数据范围	0 - 50.1	2.91 - 30

锅炉改造后 NO<sub>x</sub> 排放量明显降低,过热器减温水总量和再热器减温水总量与改造前基本一致。改造后锅炉满负荷(610 - 580 MW)运行时锅炉 NO<sub>x</sub>

排放量平均为  $199.94 \text{ mg/m}^3$  ( $O_2 = 6\%$ ) ,与改造前  $400.48 \text{ mg/m}^3$  ( $O_2 = 6\%$ ) 相比,降低了  $50.07\%$ ;此时锅炉过热器减温水总量和再热器减温水总量分别是  $99.68 \text{ t/h}$  和  $13.64 \text{ t/h}$  ,与改造前  $98.5 \text{ t/h}$  和  $14.54 \text{ t/h}$  相比,基本相同。

### 3 结 论

对某电厂 600 MW 机组超临界锅炉进行低氮氧化物燃烧技术改造,通过冷态和热态工业试验,可以得到以下结论:

(1) 锅炉采用新型中心给粉燃烧器和燃尽风系统改造后,在 600 MW 负荷下稳定运行,主蒸汽压力和温度达到了设计要求,过热器及再热器减温水与改前相同。锅炉在 200 MW 负荷下不投运等离子燃烧器可以稳定燃烧。燃烧器基本没有结渣问题;

(2) 锅炉改造后  $NO_x$  排放浓度明显降低,对比锅炉改造前后的一个月表内运行数据,  $NO_x$  排放浓度由改前的  $400.48 \text{ mg/m}^3$  ( $O_2 = 6\%$ ) 左右降低到  $199.94 \text{ mg/m}^3$  ( $O_2 = 6\%$ ) 左右,降低了  $50.07\%$ ;

(3) 现场试验测得锅炉改造后飞灰含碳量和大渣含碳量分别为  $1.11\%$  和  $1.08\%$  ,锅炉效率达到  $93.51\%$  ;

(4) 燃烧器出口有稳定的中心回流区,回流区直径为  $0.68 d$  ,长度为  $0.68 d$  ;燃烧器扩展角为  $80^\circ$  ,能够满足稳定燃烧的需要。燃烧器运行时,不存在刷墙现象,相邻两只燃烧器未出现相互干扰的

现象;

(5) 旋流燃烧器可以独立组织燃烧,相同工况下的不同燃烧器中心线温度分布差别较小,距水冷壁  $0.1 \text{ m}$  左右煤粉着火燃烧。

### 参考文献:

[1] 陈清如. 发展洁净煤技术推动节能减排[J]. 中国高效科技与产业化. 2008, 3: 65 - 67.  
CHEN Qing-ru. To develop the clean coal technology for moving forward the energy conservation and emissions reduction[J]. China High-efficiency Science and Technology and Industrialization. 2008, 3: 65 - 67.

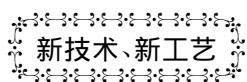
[2] 王正阳,谭羽非,孙绍增,等. 复合分级燃烧对四角切圆锅炉  $NO_x$  排放特性的影响[J]. 节能技术. 2012, 30(6): 504 - 507.  
WANG Zheng-yang, TAN Yu-fei, SUN Shao-zeng, et al. Effect of the complex staged combustion on  $NO_x$  emissions characteristics of a tangentially-fired boiler [J]. Energy Conservation Technology, 2012, 30(6): 504 - 507.

[3] 魏复盛,胡伟,滕恩江,等. 空气污染对人体健康影响研究的进展[J]. 世界科技研究与发展. 2000, 22(3): 14 - 18.  
WEI Fu-sheng, HU Wei, TENG En-jiang, et al. Advances in the study of the impact of air pollution on human health [J]. World Sci-tech R & D. 22(3): 14 - 18.

[4] Gao X T, Zhang M Y.  $NO_x$  emissions of an opposed wall-fired pulverized coal utility boiler [J]. Asia-Pac. J. Chem. Eng, 2010, 5(3): 447 - 453.

[5] Li Z Q, Zeng L Y, Zhao G B, Shen S P, Zhang F C. Particle sticking behavior near the throat of a low- $NO_x$  axial-swirl coal burner [J]. Applied Energy 2011, 88: 650 - 658.

(陈滨 编辑)



## 川崎重工 30 MW 级 L30A 燃气轮机

据《Gas Turbine World》2013 年年度手册报道, L30A 是新研制的 30 MW 级双轴重型燃气轮机, 具有高效率与良好的 CHP(冷热电联产) 蒸汽生产能力和很低的  $NO_x$  排放。

用天然气作为燃料, 在 ISO 基本负荷条件下, L30A 的额定输出功率为  $30\,900 \text{ kW}$ , 效率为  $41.3\%$ ,  $NO_x$  排放低于  $15 \text{ mg/m}^3$ , CO 排放低于  $25 \text{ mg/m}^3$ 。

L30A 为双轴燃气轮机, 配备 1 个轴流压气机、8 个逆流式燃烧室、1 个空气冷却的 2 级轴流式燃气发生器涡轮和 1 个 3 级轴流式动力涡轮。

L30A 的压比为 24.5, 质量流量为  $86.5 \text{ kg/s}$ , 排气温度为  $470 \text{ }^\circ\text{C}$ , 输出轴转速为  $5\,600 \text{ r/min}$ 。

在标准的现场条件下, L30A 热电联产装置的性能为净输出功率  $28\,400 \text{ kW}$ , 净热耗率 (LHV)  $10\,335 \text{ kJ/kWh}$ , 净电效率  $38.8\%$ , 不补燃余热锅炉蒸汽产量  $46.2 \text{ t/h}$ , 蒸汽压力  $83 \text{ MPa}$ 、温度  $177 \text{ }^\circ\text{C}$ , 热电联产装置总效率  $83.3\%$ 。

(吉桂明 摘译)

**金属氧化物对飞灰介电性能的影响 = Influence of Metal Oxides in Flying Ash on Its Dielectric Performance**

[刊 汉] JING Bo , JIN Yan , LIU Hai-yu , FAN Bao-guo ( College of Electrical and Power Engineering , Taiyuan University of Science and Technology , Taiyuan , China , Post Code: 030024) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014 , 29( 2) . - 156 - 160

The dielectric performance of flying ash is the underlying basis for on-line microwave monitoring the carbon content of flying ash. A network-based vector analyzer was used to analyze the influence of the major metal oxides contained in flying ash on its dielectric performance. It has been found that the carbon content is in a positive proportion to the dielectric losses. Iron oxide , magnesium oxide and aluminium oxide will all influence the weight of such a positive proportion , i. e. iron oxide has the biggest influence and the dielectric losses will increase with an increase of the iron oxide content. The dielectric losses caused by 20% iron oxide content approach to those caused by 5% carbon content. The influence of magnesium oxide content is inferior to that of the iron oxide content and with an increase of the magnesium oxide content , such an influence will first decrease and then increase with an increase of the frequency. Such an influence is very slight at low frequencies and the dielectric losses caused by the magnesium oxide content at high frequencies approach to those caused by 2% carbon content. With an increase of the aluminium oxide content , the influence of aluminium oxide content on the dielectric losses will first increase and then decrease. The calcium oxide content has almost no influence on the dielectric losses with an increase of the calcium oxide content.

**Key words:** metal oxide in flying ash , dielectric performance , dielectric loss , carbon content of flying ash

**新型中心给粉燃烧器及燃尽风系统在 600 MW 机组锅炉的应用研究 = Study of Applications of New Type Pulverized Coal-centrally-fed Burners and OFA ( Over-fired Air) Systems in 600 MW Boiler Units [刊 汉]**

ZENG Ling-yan , ZHU Qun-yi , ZHANG Qing-hua , ZHANG Xi-qian ( College of Energy Sciences and Engineering , Harbin Institute of Technology , Harbin , China , Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014 , 29( 2) . - 161 - 164

In a power plant , there did exist such problems in a 600 MW supercritical boiler unit as a relatively high amount of  $\text{NO}_x$  emissions , and burn-down deformation of and slagging at the spouts of low  $\text{NO}_x$  axial swirling burners ( LNASB) provided by Doosan Babcock Energy Ltd. As a result , new type pulverized coal centrally-fed burners and an OFA system were used to reconstruct the boiler. After the reconstruction , the boiler can operate stably at a load of 600 MW , its  $\text{NO}_x$  emissions reduces by 50.07% , carbon contents of flying ash and slag are 1.11% and 1.08% respectively and its efficiency can be up to 93.51%. **Key words:** swirling burner , over-fired air ,  $\text{NO}_x$  emission

**并联双速双流化床粗细颗粒交换特性研究 = Study of the Exchange Characteristics of Coarse and Fine Par-**