

# 直缝式燃烧器 W 火焰锅炉新型二次风箱特性研究

张 锋<sup>1</sup>,李 雯<sup>2</sup>,贾 波<sup>1</sup>,宋立斌<sup>3</sup>,王 岩<sup>1</sup>,严俊山<sup>1</sup>,雷腾飞<sup>1</sup>,徐鸿彬<sup>1</sup>

(1. 西安热工研究院有限公司,陕西 西安 710032;2. 中国建材检验认证集团 西安有限公司,陕西 西安 710061;  
3. 华能国际电力有限公司 上安电厂,河北 石家庄 050310)

**摘要:**为解决直缝隙式燃烧器 W 火焰锅炉原设计的全通二次风大风箱由于锅炉炉膛宽度宽、风箱截面尺寸大等原因产生的炉膛中部缺氧问题,华能上安电厂将 4 号锅炉原风箱改造为分隔型新型二次风箱。新型二次风箱改造完成后对其特性的试验研究表明,常规冷态通风时拱上、拱下各喷口及各风道区域之间风速偏差较小。单侧送风机运行且联络门关闭时,送风机停运侧各喷口风速明显低于送风机工作一侧,但通过拱上、拱下二次风门的调整,能有效缓解由于单侧送风机运行带来的喷口风速偏差。单侧送风机运行联络门开启的情况下,3 个风道区域平均风速的偏差与正常双送风机运行时差别不大。与改造前相反,锅炉运行炉膛出口氧量已呈现中间高两头低的趋势,适当调整二次风箱风门开度后炉膛出口氧量分布趋于均衡,说明改造后的二次风箱风门能有效调节炉内二次风配风进而改变炉膛出口氧量分布。通过二次风箱风门开度的适当调整,能有效降低 SCR 入口 NO<sub>x</sub> 浓度,保证锅炉经济环保运行。

**关键词:** W 火焰锅炉;新型二次风箱;通风特性;风门调整;氧量分布

中图分类号:TK229

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2017)05-0111-08

## Characteristic research of a new type of secondary-air-box on a W-flame boiler with slit type burner

ZHANG Feng<sup>1</sup>, LI Wen<sup>2</sup>, JIA Bo<sup>1</sup>, SONG Libin<sup>3</sup>, WANG YAN<sup>1</sup>, YAN Junshan<sup>1</sup>, LEI Tengfei<sup>1</sup>, XU Hongbin<sup>1</sup>

(1. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710032, China; 2. China Building Material Test & Certification

Group Xi'an Co., Ltd., Xi'an 710061, China; 3. Shang'an Power Plant, Huaneng Power International Inc. Shijiazhuang 050310, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of air lack in the middle of the furnace which was caused by the wide width of the furnace and the large sectional dimension of the air-box in the original design of a W-flame boiler with slit type burner, a new separated type of secondary-air-box was modified from the original design of boiler No. 4 in Huaneng Shang'an Power Plant. Characteristic test after the modification of the new type of secondary-air-box showed that the air speed deviation between the upper and lower arches and the air duct regions was smaller than conventional cold ventilation. When one side of the forced draft fans was run and the communicating door was closed, air speed at the stopped side was obviously lower than the side that forced draft fan was operated. The deviation of the air velocity near the nozzle could be effectively reduced through the adjustment of the secondary air doors on the upper and lower arches. In the case of opening the communicating door of single forced draft fan, the deviation of the mean air speed between the three duct regions was not far different from the operation of the double forced draft fans. On the contrary, the furnace outlet oxygen showed a trend of middle height and low both ends; and the oxygen distribution in the furnace outlet tended to be balance after adjusting the opening of the secondary-air-box door indicating the secondary-air-box door can effectively regulate the air distribution of the secondary air in the furnace and change the oxygen distribution in the outlet of the furnace. It has been showed that the appropriate adjustment of the secondary-air-box door opening can effectively reduce the SCR inlet NO<sub>x</sub> concentration and ensure the economic and environmental operation of the boiler.

收稿日期:2017-05-09;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.05.021

基金项目:华能集团总部科技资助项目(HNKJ14-H10)

作者简介:张 锋(1983—),男,湖北武汉人,高级工程师,硕士,从事电站锅炉运行优化技术的研究。E-mail:zhangfeng@tpri.com.cn

引用格式:张锋,李雯,贾波,等.直缝式燃烧器 W 火焰锅炉新型二次风箱特性研究[J].洁净煤技术,2017,23(5):111-118.

ZHANG Feng, LI Wen, JIA Bo, et al. Characteristic research of a new type of secondary-air-box on a W-flame boiler with slit type burner[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(5): 111-118.

**Key words:** W-flame boiler; a new type of secondary-air-box; ventilation characteristics; air door adjustment; oxygen distribution

## 0 引言

二次风大风箱是电站锅炉二次风系统普遍采用的结构。对于切圆燃烧锅炉的直流燃烧器其二次风喷口的风量由与大风箱联通的小二次风挡板控制。对于墙式对冲燃烧锅炉的旋流燃烧器其二次风量主要由二次风箱不同层的大二次风门及燃烧器内外二次风挡板控制。本文所述的配备直流缝隙式燃烧器的W火焰燃烧锅炉其二次风量则由与全通式大二次风箱联通的拱上和拱下二次风门控制<sup>[1-3]</sup>。

二次风箱中二次风量的控制和分配对于锅炉燃烧的经济性、安全性及环保特性有重要影响<sup>[4-5]</sup>。对切圆燃烧锅炉的二次风量控制及分配的研究相对较多<sup>[6-7]</sup>。对于墙式对冲燃烧锅炉的旋流燃烧器大二次风箱二次风量的分配特性和流动特性也有报道<sup>[8-10]</sup>。在W火焰燃烧锅炉二次风量的控制方面,张玉斌<sup>[11]</sup>通过冷态试验和数值模拟,获得了最优E层二次风风量和F层二次风倾角;韩云峰<sup>[12]</sup>在冷态模化实验台上对不同二次风倾角和三次风率下炉内的燃烧状况进行分析,给出了最佳二次风倾角和三次风率;雷霆等<sup>[13]</sup>针对某W火焰锅炉高负荷下飞灰含碳量高,补风困难、屏过易超温等问题对其进行F层二次风入射角下倾25°改造,取得了满意效果。关于W火焰锅炉二次风系统的研究集中在二次风量和燃烧器倾角对锅炉燃烧效率的影响,而对于二次风箱的特性研究还鲜有报道。本文以上安电厂4号机组直流缝隙式燃烧器W火焰锅炉为对象,研究其改造后分隔型新型二次风箱的特性并提出相应运行调整策略。

## 1 锅炉及改造概况

华能上安电厂4号机组配备东方锅炉厂制造的亚临界压力、一次中间再热、自然循环、固态排渣、直流缝隙式燃烧器的“W”型火焰燃煤锅炉。制粉系统采用SVEDALA双进双出钢球磨直吹系统,每台锅炉配ABCD共4台磨煤机,每台磨煤机出口有6根一次风管分别与锅炉前后拱上的6只燃烧器相连。每只燃烧器都有一组对应的拱上及拱下二次风门,命名为拱上和拱下A1~A6、B1~B6、C1~C6、D1~D6二次风门,另外炉膛正中还有一组拱上二次风门命名为“中间拱上二次风门”。

锅炉原设计的全通二次风大风箱由于W火焰锅炉炉膛宽度宽、风箱截面尺寸大等原因,会产生锅炉炉膛中部缺风。因此有必要对现有全通二次风大风箱进行技术改造,解决二次风量分配不均。对现有全通二次风大风箱的改造方案如图1所示,改造将前后墙大风箱分隔成3个单元,原单个全通风道被分割成3个风道(风道I、II、III),分别给对应的燃烧器区域供风。炉膛中间4只燃烧器采用专门的中间风道I供风,风道II向右侧4个燃烧器供风,风道III向左侧4个燃烧器供风,在风道接口处设置双通道风箱二次风门。改造后的8个风箱二次风门分别为A侧后墙供中部二次风门、A侧后墙供左部二次风门、A侧前墙供中部二次风门、A侧前墙供左部二次风门、B侧后墙供中部二次风门、B侧后墙供右部二次风门、B侧前墙供中部二次风门、B侧前墙供右部二次风门(简称:A后中、A后左、A前中、A前左、B后中、B后右、B前中、B前右)。锅炉二次风箱改造后其特性发生变化,对锅炉运行产生影响,有必要对其进行研究。

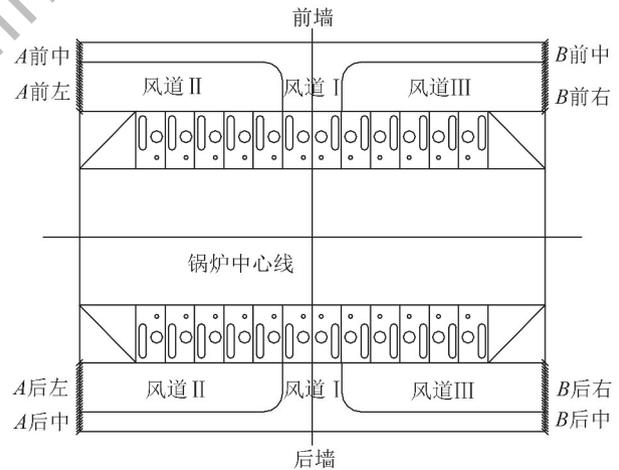


图1 二次风箱改造示意(图左为A侧,图右为B侧)

Fig. 1 Schematic diagram of the secondary air bellow (Left of the figure refers to A side, as right to B side)

## 2 冷态试验

为研究锅炉二次风箱改造后其冷态通风特性的变化,在多种冷态通风试验条件下进入炉内采用热线风速仪实测各二次风喷口的风速。风箱改造后将原有全通大风箱一分为三,试验分析中将各二次风喷口速度按3个风道区域进行平均,以便明晰风箱

结构变化对锅炉二次风通风特性带来的影响。

## 2.1 常规通风特性试验

在锅炉二次风质量流量约 1 200 (风量 1)、960 (风量 2) 和 700 t/h (风量 3), 即锅炉 100%、80% 和 60% 负荷对应二次风量时, 设置 8 个风箱二次风门全开, 拱上二次风门开度为 50%, 测量各拱上二次风喷口风速的结果如图 2 和表 1 所示。图 2 表明, 3 个风量工况下前后墙各拱上二次风喷口速度较为均衡, 喷口风速最大偏差在 12% 左右。从表 1 中 3 个风道区域的平均风速来看风速偏差更小, 在  $\pm 5\%$  以内。

在与拱上二次风相同的 3 个二次风量工况下, 设置 8 个风箱二次风门全开, 拱下二次风门开度为 30%, 测量各拱下二次风喷口风速的结果如图 3 和表 2 所示。图 3 中测量结果表明, 3 个风量工况下前后墙各拱下二次风喷口风速最大偏差在 16% 左右, 风速也基本均衡。表 2 中数据表明 3 个风道区域的平均风速偏差能控制在  $\pm 8\%$  以内。

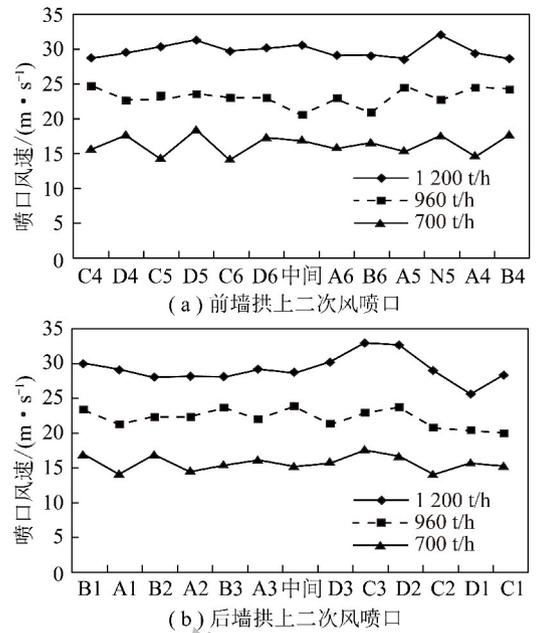


图 2 拱上二次风喷口风速

Fig. 2 Air velocity of the upper arches secondary air spout

表 1 拱上风道区域风速及偏差

Table 1 Air velocity and deviation in the upper arche duct area

项目		前墙			后墙		
		风道 II	风道 I	风道 III	风道 II	风道 I	风道 III
风量 1	风道区域平均风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	30.09	29.85	29.90	29.07	29.97	29.11
	风道区域平均风速偏差/%	0.48	-0.31	-0.17	-1.07	2.00	-0.94
风量 2	风道区域平均风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	23.66	22.28	23.62	22.60	23.14	21.56
	风道区域平均风速偏差/%	2.04	-3.92	1.88	0.73	3.16	-3.89
风量 3	风道区域平均风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	16.63	16.25	16.38	16.09	16.43	15.87
	风道区域平均风速偏差/%	1.28	-1.04	-0.24	-0.25	1.87	-1.62

表 2 拱下风道区域风速及偏差

Table 2 Air velocity and deviation in the lower arch duct area

项目		前墙			后墙		
		风道 II	风道 I	风道 III	风道 II	风道 I	风道 III
风量 1	风道区域平均风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	13.84	12.96	13.22	13.71	13.87	13.50
	风道区域平均风速偏差/%	3.75	-2.87	-0.88	0.12	1.29	-1.41
风量 2	风道区域平均风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	12.41	11.61	11.06	10.91	11.03	9.81
	风道区域平均风速偏差/%	6.13	-0.73	-5.40	3.09	4.22	-7.31
风量 3	风道区域平均风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	8.61	7.60	8.02	7.99	8.18	7.43
	风道区域平均风速偏差/%	6.58	-5.89	-0.69	1.57	3.98	-5.55

直缝隙式燃烧器 W 火焰锅炉二次风供给主要是通过拱上和拱下二次风喷口。分析常规冷态通风条件下喷口测速试验结果可知: 二次风箱改造后, 拱上各喷口之间风速偏差均较小, 拱下各喷口之间

的风速偏差也相对较小。二次风箱分隔的 3 个风道区域的平均风速偏差可以控制在  $\pm 10\%$  以内。冷态通风条件下较小的二次风速偏差是锅炉实际热态运行时二次风量均匀分配的基础。

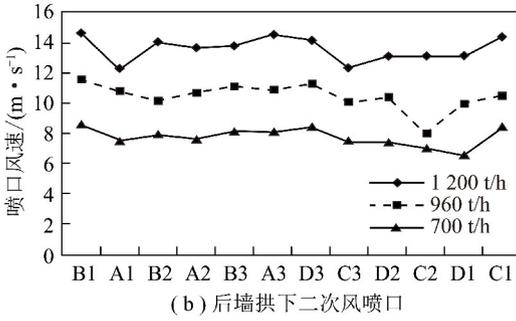
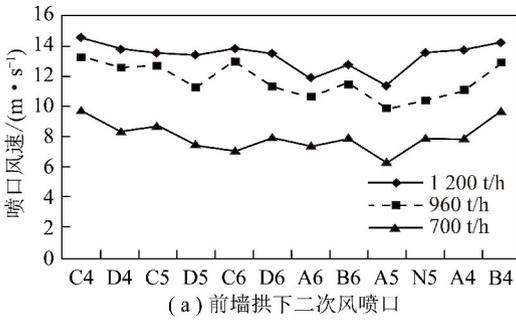


图3 拱下二次风喷口风速

Fig. 3 Air velocity of the lower arch secondary air spout

### 2.2 单侧送风机运行试验

电站锅炉正常运行时两侧送风机同时向二次风箱两侧供风。若一侧送风机突发故障停运,另一侧送风机供风也能通过全通大风箱送达风机停运侧的二次风喷口。但本改造中将原有全通大风箱分隔为3个风道区域,因此有可能出现一侧送风机停运,只单侧送风机运行时,送风机停运侧风箱供风不足,进而导致燃烧不稳,甚至炉膛熄火。针对这种情况,在冷态通风条件下,模拟热态运行时可能出现的单侧送风机运行情况,对新型二次风箱在单侧送风机

运行时的特性进行了多种预想工况的测试及调整策略验证。

#### 2.2.1 联络门关闭工况

在两侧送风机出口至空气预热器进口的管道上设有二次风联络门,二次风联络门起到联通两侧送风管道的作用,正常运行时该联络门为关闭状态。单侧送风机运行时该状态下实测拱上、拱下二次风喷口风速的试验结果如图4和表3所示。

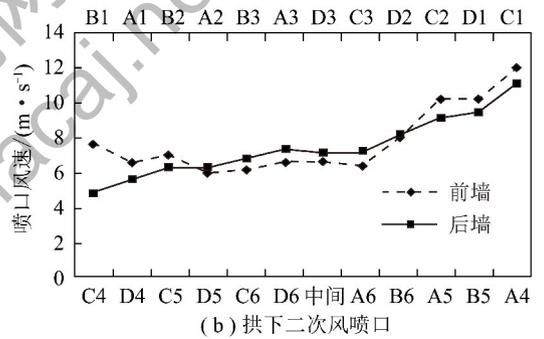
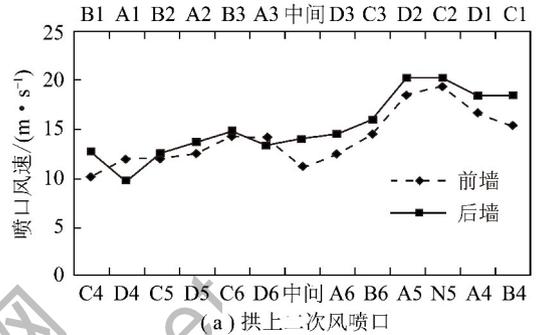


图4 单侧送风机运行喷口风速

Fig. 4 Air velocity of the spout as single forced draft fan operating

表3 风道区域风速及偏差

Table 3 Air velocity and deviation in duct area

项目	前墙			后墙		
	风道Ⅱ	风道Ⅰ	风道Ⅲ	风道Ⅱ	风道Ⅰ	风道Ⅲ
拱上风道区域平均风速/(m·s <sup>-1</sup> )	11.69	13.19	17.45	12.02	14.45	19.34
拱上风道区域平均风速偏差/%	-17.15	-6.52	23.67	-21.29	-5.37	26.66
拱下风道区域平均风速/(m·s <sup>-1</sup> )	6.89	6.52	10.12	5.76	7.16	9.44
拱下风道区域平均风速偏差/%	-12.15	-16.87	29.03	-22.72	-3.94	26.65

试验结果表明:由于风箱分隔且送风管道的不连通,送风机停运侧各喷口风速明显低于送风机工作一侧,且从风机停运侧到运行侧喷口风速基本呈现逐步增加的趋势。3个风道区域的平均风速最大偏差达到30%左右。但由于少量二次风能

从风道Ⅰ中通过A后左和A前左2个二次风箱风门向风道Ⅱ输送,结果并未出现严重的送风机停运一侧喷口基本无风速的情况。据此推断,若实际运行中突然出现一侧送风机跳闸,则该侧可能由于缺风出现燃烧不稳,但应不会发生炉膛立刻熄火的情况。

## 2.2.2 拱上、拱下风门调整工况

针对上述单侧风机运行且联络门不开启出现两侧喷口风速失衡的问题,拟采用调整拱上、拱下二次风门的方式减小喷口风速偏差。为将二次风更多的送入风机停运侧喷口,需将送风机停运侧的拱上、拱下二次风门开大,将送风机运行侧的拱上、拱下二次风门关小,风门开度基本采用逐步递减的方式设置,其具体数值见表 4。二次风门调整后风道区域风速及偏差见表 5。

对比表 3 和 5 中的结果可知,通过拱上、拱下二次风门的调整,能一定程度上缓解由于单侧送风机运行带来的喷口风速偏差,区域平均最大偏差从 30% 左右下降到 20% 左右,尤其是占二次风风量比重较大的拱上二次风其区域平均最大偏差已下降到 15% 以下。因此对于该种新型二次风箱当出现一侧送风机跳闸,单侧送风机运行导致燃烧不稳的情况时,应适当调整拱上、拱下二次风挡板,平衡喷口风速以稳定燃烧状况。

表 4 拱上、拱下二次风门开度设置

Table 4 Setting of the secondary air damper opening on the upper and lower arches

项目	前墙												后墙											
	C4	D4	C5	D5	C6	D6	A6	B6	A5	B5	A4	B4	B1	A1	B2	A2	B3	A3	D3	C3	D2	C2	D1	C1
拱上二次风门开度/%	70	70	70	70	50	50	30	30	30	30	30	30	70	70	70	70	50	50	30	30	30	30	30	30
拱下二次风门开度/%	45	45	45	45	30	30	15	15	15	15	15	15	45	45	45	45	30	30	15	15	15	15	15	15

表 5 二次风门调整后风道区域风速及偏差

Table 5 Air velocity and deviation in duct area after secondary air damper adjustment

项目	前墙			后墙		
	风道 II	风道 I	风道 III	风道 II	风道 I	风道 III
拱上风道区域平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	13.4	13.69	16.66	13.78	13.82	16.47
拱上风道区域平均风速偏差/%	-8.11	-6.13	14.24	-6.19	-5.92	12.12
拱下风道区域平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	7.06	7.63	8.67	6.83	7.00	8.94
拱下风道区域平均风速偏差/%	-9.33	-2.01	11.34	-10.01	-7.77	17.79

## 2.2.3 联络门开启工况

送风联络门开启后,能将一侧送风机出口风量送入另一侧。单侧送风机运行联络门开启状态下测量拱上、拱下二次风喷口风速并计算风道区域风速

及偏差结果见表 6。对比表 1 和表 2 中双侧送风机同时运行时的试验结果可知,单侧送风机运行开启联络门的情况下,3 个风道区域平均风速偏差与正常双送风机运行时差别不大。

表 6 联络门开启风道区域风速及偏差

Table 6 Air velocity and deviation in duct area as opening the communicating door

项目	前墙			后墙		
	风道 II	风道 I	风道 III	风道 II	风道 I	风道 III
拱上风道区域风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	17.30	16.28	16.60	16.82	16.53	16.51
拱上风道区域风速偏差/%	3.44	-2.69	-0.75	1.20	-0.54	-0.66
拱下风道区域风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	7.01	6.89	7.61	7.38	6.95	7.48
拱下风道区域风速偏差/%	-2.23	-3.91	6.14	1.51	-4.40	2.89

## 3 热态试验

### 3.1 锅炉效率及炉膛出口 $NO_x$ 浓度

锅炉效率和炉膛出口  $NO_x$  浓度是锅炉运行中

主要的经济及环保指标。二次风箱改造后锅炉热态试验在锅炉 300 MW 负荷,空气预热器入口平均氧量 2.5%,二次风箱风门全开,燃尽风门开度 80% 条件下进行。试验方法依据 GB/T 10184—2015 电站

锅炉性能试验规程,并分别采用红外烟气分析仪和铠装热电偶数据采集系统测量烟气成分和温度。试验结果见表7中工况1。

由表7可知,在运行氧量较低且燃尽风门开度已经很大的情况下,改造后二次风箱风门全开

时炉膛出口平均 $\text{NO}_x$ 质量浓度为 $967.8 \text{ mg/m}^3$ ,高于炉膛出口 $\text{NO}_x$ 质量浓度不大于 $800 \text{ mg/m}^3$ 的运行要求。因此需对二次风箱风门开度进行有针对性的调整,开度设置见表8。调整后测试结果仍见表7。

表7 锅炉效率及 $\text{NO}_x$ 质量浓度Table 7 Boiler efficiency and  $\text{NO}_x$  concentration

项目	工况1(风箱风门全开)	工况2(风箱风门调整1)	工况3(风箱风门调整2)
排烟热损失 $q_2/\%$	5.767 5	6.094 5	6.011 4
固体不完全燃烧热损失 $q_4/\%$	2.286 0	1.950 2	2.255 3
锅炉热效率 $\eta/\%$	91.64	91.68	91.45
炉膛出口平均 $\text{NO}_x$ 质量浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	967.80	874.25	788.20
炉膛出口平均CO体积分数/ $10^{-6}$	93.0	150.1	85.2

表8 二次风箱风门开度设置

Table 8 Setting of the opening of the secondary air bellow door

项目	A 前左	A 前中	B 前中	B 前右	A 后左	A 后中	B 后中	B 后右
工况1 二次风箱风门开度/ $\%$	100	100	100	100	100	100	100	100
工况2 二次风箱风门开度/ $\%$	60	60	60	60	60	60	60	60
工况3 二次风箱风门开度/ $\%$	46	32	32	46	46	32	32	46

结合表7和表8,随着二次风箱风门的逐步关小,SCR入口氮氧化物明显降低。工况3时SCR入口 $\text{NO}_x$ 质量浓度已降至 $800 \text{ mg/m}^3$ 以下,CO体积分数也控制在 $100 \times 10^{-6}$ 以下,锅炉效率则变化不大,该结果和马仑等<sup>[14]</sup>的数值模拟结论较为吻合,工况3时的锅炉效率为91.45%。

### 3.2 炉膛出口氧量分布的测量及调整

原设计的全通风箱造成锅炉炉膛中部缺氧,风箱改造前炉膛出口氧量分布沿锅炉宽度方向上呈现中间低两头高的趋势。尽管通过大幅调整拱上、拱下二次风门能缓解这种偏差,且会使得两侧风门开度与中间风门开度差异巨大。

风箱改造后,在4台磨煤机运行,8个二次风箱风门全开,高中低3个运行氧量点下,测量炉膛出口氧量,其结果及分布趋势如图5所示。

从图5可知,二次风箱改造后炉膛出口氧量已呈现中间高两头低的趋势,这与改造前趋势相反。尽管影响炉膛出口氧量分布的因素较多,但在二次风箱风门开度控制时应将给中间风箱供风的风门开度设置得比给两侧供风的风箱风门开度小,使锅炉沿炉膛宽度方向的供风更为均衡。调整前后二次风

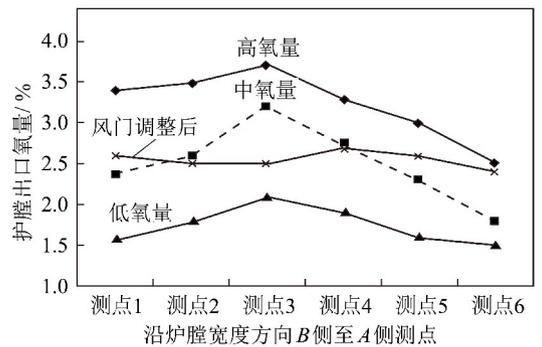


图5 炉膛出口沿宽度方向氧量分布

Fig. 5 Oxygen distribution along the width direction of furnace outlet

箱风门开度具体设置见表8中工况1和工况3。风门调整后再次测量炉膛出口氧量分布情况(图5)。对比调整前后各个工况氧量分布结果可知,在其他运行条件不变的情况下,二次风箱风门开度调整后,炉膛出口氧量分布已偏差较小,说明与改造前通过拱上、拱下二次风门调整炉膛出口氧量分布的方法相比,通过改造后的二次风箱风门能更有效调节炉内二次风配风,进而改变炉膛出口氧量分布。

### 3.3 炉膛温度测量

在工况1条件下采用红外测温仪测量炉膛各区

域温度见表 9。其中 26 m 层为燃烧器区域,28.6 m 层为燃烧器上部区域,35 m 层为屏式过热器区域。

在工况 3 对锅炉运行二次风箱风门开度进行调整后再次测量炉膛温度,结果见表 10。

表 9 调整前炉膛温度

Table 9 Furnace temperature before adjustment

项目	看火孔处测试炉膛温度/℃											
35 m 层	1 289	1 398	1 420	1 410	1 437	1 429	1 447	1 455	1 417	1 298	1 361	1 346
28.6 m 层	1 345					1 336			1 319			
26 m 层	1 452	1 533		1 519	1 511	1 542		1 494	1 432	1 520		
平均温度	1 422											

表 10 调整后炉膛温度

Table 10 Furnace temperature after adjustment

项目	看火孔处测试炉膛温度/℃											
35 m 层	1 274	1 356	1 370	1 399	1 426	1 421	1 375	1 362	1 339	1 259	1 269	1 317
28.6 m 层	1 279					1 305			1 315			
26 m 层	1 465	1 498		1 484	1 439	1 455		1 478	1 492	1 466		
平均温度	1 384											

对比表 9 和表 10 中测试结果可知,调整后炉膛各区域温度明显下降,平均温度由调整前的 1 422 ℃下降至 1 384 ℃,下降了 38 ℃。这主要是由于二次风箱风门关小后,燃尽风量增加,锅炉燃烧区域风量降低,进而降低了燃烧区域的燃烧强度<sup>[15]</sup>。

开时炉膛出口平均  $\text{NO}_x$  质量浓度为  $967.8 \text{ mg/m}^3$ ,高于炉膛出口  $\text{NO}_x$  质量浓度不大于  $800 \text{ mg/m}^3$  的运行要求。通过调整二次风箱风门开度,能有效降低 SCR 入口  $\text{NO}_x$  质量浓度,且锅炉效率为 91.45% 高于设计值,环保和经济指标均能达到低氮改造的设计要求。

## 4 结 论

1) 原有全通大风箱改造为新型二次风箱后,在二次风箱风门全开的情况下,常规冷态通风时前后墙各拱上二次风喷口速度较为均衡,喷口风速最大偏差在 12% 左右,3 个风道区域的平均风速偏差控制在  $\pm 5\%$  以内。前后墙各拱下二次风喷口风速最大偏差在 16% 左右,3 个风道区域的平均风速偏差控制在  $\pm 8\%$  以内。

4) 二次风箱改造后炉膛出口氧量已呈现中间高两头低的趋势,这与改造前趋势相反。适当调整二次风箱风门开度,炉膛出口氧量分布偏差减小,说明改造后的二次风箱风门能有效调节炉内二次风配风进而改变炉膛出口氧量分布。

2) 分隔成 3 个风道区域的新型二次风箱,单侧送风机运行且联络门关闭时,送风机停运侧各喷口风速明显低于送风机工作一侧,但通过拱上、拱下二次风门的调整,能有效缓解由于单侧送风机运行带来的喷口风速偏差。因此对于该种新型二次风箱当出现一侧送风机跳闸,单侧送风机运行导致燃烧不稳时,应适当调整拱上、拱下二次风挡板,平衡喷口风速以稳定燃烧。单侧送风机运行联络门开启的情况下,3 个风道区域平均风速的偏差与正常双送风机运行时差别不大。

5) 二次风箱风门关小后,燃尽风量增加,锅炉燃烧区域风量降低,降低了燃烧区域的燃烧强度,使得炉膛出口  $\text{NO}_x$  浓度和炉膛各区域温度明显下降。

## 参考文献 (References):

- [1] 程智海,金鑫,张富祥,等. W 火焰锅炉的燃烧调整[J]. 动力工程,2009,29(2):129-133.  
CHENG Zhihai, Jin Xin, ZHANG Fuxiang, et al. Combustion adjusting of W-flame boilers[J]. Journal of Power Engineering, 2009, 29(2): 129-133.
- [2] 韩海燕,刘鹏远,徐鹏志,等. 600 MW 超临界 W 火焰锅炉燃烧系统改造研究[J]. 动力工程学报,2017,37(3):179-185.  
HAN Haiyan, LIU Pengyuan, XU Pengzhi, et al. Combustion system retrofit of a 600 MW supercritical W-flame boiler[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2017, 37(3): 179-185.
- [3] 王春昌. 缝隙式燃烧器与“W”火焰锅炉的燃烧稳定性[J]. 中

- 国电力,2009,42(1):58-61.
- WANG Chunchang. Split burner and the combustion stability of W-flame boiler[J]. Electric Power,2009,42(1):58-61.
- [4] 李石湘. 二次风配风方式对锅炉燃烧优化的影响[J]. 湖南电力,2003,23(2):37-39.
- LI Shixiang. Influence of secondary air distribution mode on boiler combustion optimization [J]. Hunan Electric Power,2003,23(2):37-39.
- [5] 马辉,赵俊平,张小东. 优化二次风布置降低 NO<sub>x</sub> 排放浓度[J]. 电站系统工程,2015,31(1):71-72.
- MA Hui,ZHAO Junping,ZHANG Xiaodong. Optimization of secondary air layout to reduce NO<sub>x</sub> emissions[J]. Power System Engineering,2015,31(1):71-72.
- [6] 薛彦廷,赵仲琥,晋中华. 大风箱分配特性试验研究[J]. 热力发电,1995,24(5):42-47.
- XUE Yanting,ZHAO Zhonghu,JIN Zhonghua. Experimental study on distribution characteristics of boiler windbox[J]. Thermal Power Generation,1995,24(5):42-47.
- [7] 王武强,王泽宇,李淑宏,等. 二次风配风方式对锅炉经济性 & 排放特性的影响[J]. 锅炉制造,2015(6):1-4.
- WANG Wuqiang,WANG Zeyu,LI Shuhong,et al. The influence of the secondary air distribution mode on economical operation of and emission characteristics of the boiler[J]. Boiler Manufacturing,2015(6):1-4.
- [8] 范庆伟,张帆,刘定坡,等. 锅炉二次风箱流量分配特性数值模拟[J]. 热力发电,2014,43(5):87-90.
- FAN Qingwei,ZHANG Fan,LIU Dingpo,et al. Numerical simulation on air flow distribution characteristics in boiler secondary-air-box[J]. Thermal Power Generation,2014,43(5):87-90.
- [9] 周平,张广才,徐勇,等. 改进型 HT-NR3 旋流燃烧器在超(超)临界机组锅炉上的应用[J]. 热力发电,2015,44(5):91-97.
- ZHOU Ping,ZHANG Guangcai,XU Yong,et al. Application of improved HT-NR3 swirl burner in supercritical and ultra supercritical boilers[J]. Thermal Power Generation,2015,44(5):91-97.
- [10] 董康,周昊,杨玉,等. 二次风风量对旋流燃烧器气固流动特性的影响[J]. 浙江大学学报(工学版),2014,48(12):2162-2171.
- DONG Kang,ZHOU Hao,YANG Yu,et al. Influence of mass flow rate of secondary air on gas/solid flow characteristics of a swirl burner [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science),2014,48(12):2162-2171.
- [11] 张玉斌. 不同二次风分配对 W 型火焰炉内流动特性的影响[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [12] 韩云峰. 直流缝隙式燃烧器布置 W 型火焰锅炉空气动力场的影响[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [13] 雷霖,段学农,汪华剑,等. “W”型火焰锅炉二次风改造对燃烧影响的试验研究[J]. 热能动力工程,2009,24(6):770-772.
- LEI Lin,DUAN Xuenong,WANG Huajian,et al. Experimental Study of the Influence of the Secondary Air Modification of a “W” Type Flame Boiler on Combustion[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy & Power,2009,24(6):770-772.
- [14] 马仑,方庆艳,张成,等. 600 MW W 型火焰锅炉拱上二次风低 NO<sub>x</sub> 燃烧特性的数值模拟及优化[J]. 燃烧科学与技术,2016,22(1):64-70.
- MA Lun,FANG Qingyan,ZHANG Cheng,et al. Numerical simulation and optimization for the arch secondary air on low-NO<sub>x</sub> combustion characteristics of a 600 MW down-fired boiler [J]. Journal of Combustion Science and Technology,2016,22(1):64-70.
- [15] 李文博. 风量配比对 600 MW 超临界 W 火焰锅炉燃烧特性影响的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.