

低 NO_x 燃烧器改造后飞灰可燃物高 原因分析及优化调整

王小华, 陈宝康, 陈 敏

(西安热工研究院有限公司 苏州分公司, 江苏 苏州 215011)

摘 要: 大修期间, 某电厂对 2 号锅炉进行低 NO_x 燃烧系统改造, 为了将锅炉调整到最佳的运行状态, 进行了改造后的优化调整试验。试验结果表明, 燃烧器改造后, 320 MW 负荷下, 不同磨煤机组合运行方式下, NO_x 排放浓度降低至 306 ~ 355 mg/m^3 , 相比于改造前, 降幅达 58. 7%, 改造效果明显; 但由于改造后火焰中心上移, 煤粉颗粒在炉内的停留时间缩短, 煤粉颗粒未完全燃烧即进入尾部烟气通道, 导致飞灰可燃物含量较高, 约 10%; 针对这一问题, 进行了燃烧系统的优化调整, 调整后飞灰可燃物含量降至 4% 左右。

关 键 词: 低 NO_x 燃烧器, 飞灰可燃物含量, 优化调整

中图分类号: TK223; X701

文献标识码: B

引 言

某电厂装备 2 × 350 MW 亚临界燃煤发电机组, 配套锅炉由日本石川岛播磨重工业株式会社 (IHI) 设计制造, 锅炉型号 IHI - FW SR 型, 采用 F&W 公司早期的双调风旋流燃烧器与燃尽风系统, 锅炉 NO_x 排放浓度约 718 ~ 972 mg/m^3 , 该排放浓度已无法满足环保和国家火力发电政策的要求^[1]。为响应国家“节能减排”政策号召, 该电厂对 2 号锅炉进行低 NO_x 燃烧系统改造。为了将锅炉调整到最佳的运行状态, 进行了改造后的燃烧系统优化调整试验。目前, 国内针对该类型机组改造后的调整经验尚浅, 本研究对即将开展的同类型机组改造后的调整具有借鉴作用。

1 设备概述

1.1 锅炉设计性能参数

2 号机组容量为 350 MW, 配套日本石川岛播磨重工业株式会社设计制造的亚临界压力、一次中间再热、自然循环汽包锅炉, 锅炉主要设计参数如表 1 所示。

表 1 锅炉设计性能参数

Tab. 1 Design and performance parameters of a boiler

名 称	BMCR	350 MW	267.5 MW	175 MW	87.5 MW
蒸发量(过热器出口) / $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	1070	1034	753	502	268
再热汽流量(再热器出口) / $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	858.7	858.2	638.4	451.9	235.4
1 级过热器减温水量/ $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	21.20	21.20	10.30	0.0	0.0
2 级过热器减温水量/ $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	8.80	8.80	11.70	0.0	0.0
过热器出口压力/MPa	17.25	17.20	16.91	11.45	6.97
再热器入口压力/MPa	3.48	3.38	2.49	1.66	0.85
再热器出口压力/MPa	3.36	3.26	2.40	1.60	0.82
给水(省煤器入口) 温度/ $^{\circ}\text{C}$	276.1	274	255	233	199
省煤器出口给水温度/ $^{\circ}\text{C}$	297	294	270	247	208
过热器出口温度/ $^{\circ}\text{C}$	541	541	541	541	528
再热器入口温度/ $^{\circ}\text{C}$	320	316.5	297.6	305.3	302.1
再热器出口温度/ $^{\circ}\text{C}$	541	541	541	541	526
锅炉效率(按低位热值) /%	93.15	93.25	93.29	92.94	92.47

注: BMCR 工况即锅炉最大连续蒸发量工况。

1.2 改造方案

根据本项目的实际情况和东方锅炉/东方日立的技术特点, 本次技术改造的主要方案为:

- (1) 采用 BHK 技术的新型 HT - NR3 燃烧器;
- (2) 采用全炉膛分级燃烧技术, 布置燃尽风系统。

即采用 20 只 HT - NR3 燃烧器和 8 只燃尽风的总体布置方案。

1.2.1 燃烧器

改造前工程配备的制粉系统为正压直吹式, 并有 5 台 IHI - FW MBF - 22.5 碗式中速磨煤机和 5 台热一次风机, 每台磨带 4 只燃烧器。改造后将原 IHI 的燃烧器进行整套替换, 其燃烧器的布置也参照原来的位置进行布置, 安装位置不发生改变。即在前墙下、中、上层, 后墙上、下层布置 HT - NR3 燃烧器, 每层 4 只, 共 20 只。其中前墙下层 4 只燃烧

收稿日期: 2011 - 08 - 24; 修订日期: 2011 - 09 - 21

作者简介: 王小华 (1982 -), 男, 湖北潜江人, 西安热工研究院有限公司工程师。

器配等离子点火装置 ,后墙下层 4 只燃烧器中心配启动油枪和燃烧器冷却风管道系统。燃烧设备布置

和安装位置分别如图 1 和表 2 所示。

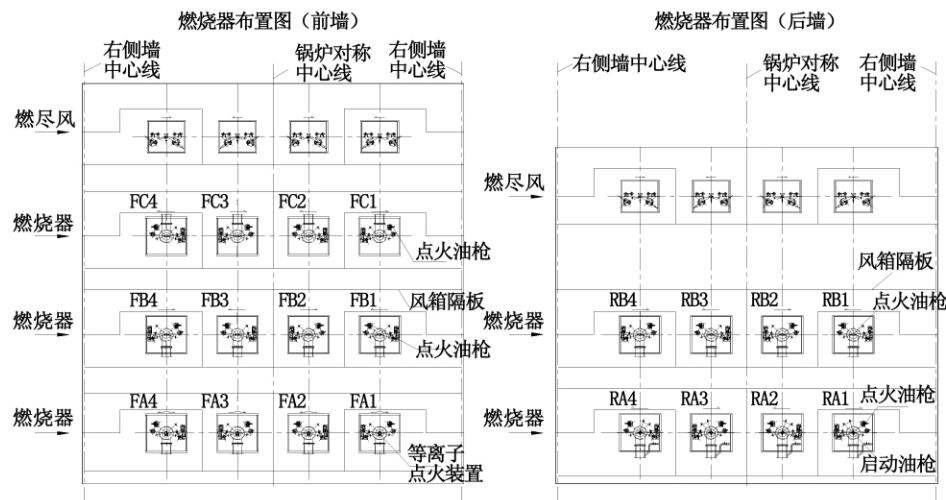


图 1 燃烧设备布置示意图

Fig. 1 Schematic drawing of arrangement of combustion equipment items

在燃烧器布置时旋流方向参照原布置方式 ,同层相邻燃烧器、同列相邻燃烧器的旋流方向均呈两两互逆布置。

体替换 ,并采用经优化设计的三通燃尽风系统 ,结构如图 3 所示。

表 2 燃烧器及燃尽风安装位置汇总 (mm)

Tab. 2 Summing - up of installation locations of burners and overfire air ducts

项 目	数 值
炉前 OFA 喷口高度	28.500
炉前顶层(FC) 燃烧器高度	23.500
炉前中层(FB) 燃烧器高度	20.000
炉前底层(FA) 燃烧器高度	16.500
炉后 OFA 喷口高度	25.700
炉后上层(RB) 燃烧器高度	20.000
炉后底层(RA) 燃烧器高度	16.500

HT - NR3 燃烧器主要由一次风弯头、文丘里管、煤粉浓缩器、燃烧器喷嘴、稳焰环、内二次风装置、外二次风装置(含调风器、执行器) 及燃烧器壳体等零部件组成。

HT - NR3 燃烧器中 ,燃烧的空气被分为 3 股 ,它们是: 直流一次风、直流内二次风和旋流外二次风 ,结构如图 2 所示。

1. 2. 2 燃尽风

由于考虑到本次改造的设计理念和原 IHI 的设计理念的不同 ,其燃烧器、燃尽风区域的风量与原设计值有所不同 ,因此 ,本次改造对燃尽风系统进行整

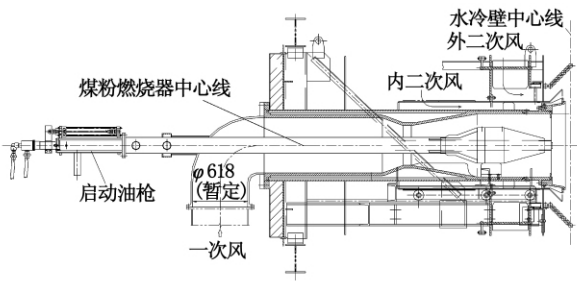


图 2 燃烧器结构示意图

Fig. 2 Schematic drawing of the structure of a burner

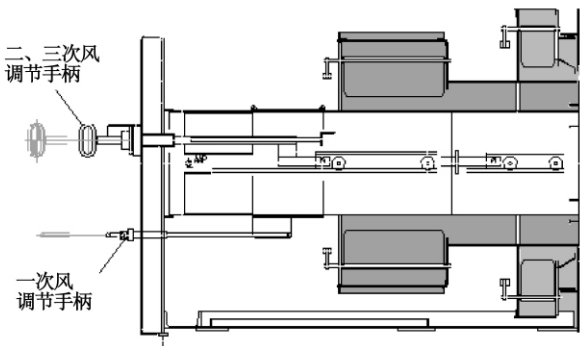


图 3 燃尽风结构示意图

Fig. 3 Schematic drawing of the structure of a overfire air duct

1.2.3 改造前后设计一、二次风率(包括燃尽风)

改造前后设计一、二次风率如表3所示。

表3 改造前后设计一、二次风率(含燃尽风)(%)

Tab.3 Primary and secondary air(including overfire air) ratio during the design before and after the modification

项目	改造前参数	改造后参数
一次风占总风量比例	22	24
二次风占总风量比例	78	76
燃尽风占二次风量比例	20	30

为监测各层燃尽风、燃烧器的风量分配,为创造降低 NO_x 的还原性气氛打下基础,同时使各层空气分配均匀,避免出现局部缺氧或氧量偏低,CO偏高

的情况,本次改造将在各层燃尽风和燃烧器层设置风量测量装置,以便在运行中根据实际的燃烧效率、 NO_x 排放和飞灰可燃物含量的情况,进行风量的调节。

2 改造煤种

锅炉设计煤种为山西大同烟煤,近年来日常用煤较杂,煤质偏离设计煤种较大,以神华混煤和平混煤为主,辅以山西以及印尼等地的混煤。本改造工程以平混煤与神华混煤4:6的比例加权平均计算得出的煤质指标作为校核煤质。煤质分析如表4所示。

表4 低氮燃烧器改造项目燃用煤质

Tab.4 Coal quality to be burned in a low nitrogen burner of a modification project

项目	全水分 $M_t/\%$	空气干燥基水分 $M_{ad}/\%$	收到基灰分 $A_{ar}/\%$	干燥无灰基挥发分 $V_{daf}/\%$	收到基碳 $C_{ar}/\%$	收到基氢 $H_{ar}/\%$	收到基氧 $O_{ar}/\%$	收到基氮 $N_{ar}/\%$	收到基硫 $S_{ar}/\%$	收到基低位发热量 $Q_{net,ar}/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	哈氏可磨指数 HGI
设计煤种	8.0	2.15	22.39	38.07	55.66	3.69	8.46	0.89	0.91	21 623	54
校核煤种	12.21	6.11	14.60	38.13	58.67	3.89	8.92	0.94	0.78	22 475	57

3 试验内容及标准

本次试验内容包括:325 MW 负荷附近、不同磨煤机组合运行方式、不同煤种下炉膛内烟气温度测量和省煤器出口烟气成份测试。

其中,炉膛内烟气温度的测试利用现有的看火孔、使用 IS8 plus 便携式红外测温仪对燃烧器区域和折焰角等处烟气温度进行;省煤器出口烟气温度和成份测试按照《电站锅炉性能试验规程》规定的点数采用等截面网格法进行^[2-3],测点布置图如图4所示。

4 试验结果

4.1 飞灰可燃物含量高原因分析

4.1.1 炉膛内烟气温度测量结果

325 MW 负荷、不同煤种下,利用现有看火孔对2号锅炉燃烧器区域和折焰角等处烟气温度进行了测试,并与改造前炉膛温度进行了对比。对比结果如图5~图8所示。

燃用大友煤,燃烧器改造前后、ABCD、ABCE 磨

煤机组合运行方式下燃烧器区域和折焰角区域的温度对比数据均表明:与改造前相比,燃烧器改造后燃烧器区域烟气温度平均低 74°C ,而屏过处烟气温度平均高出 84°C ;冷灰斗上沿烟气温度对比数据表明:与改造前相比,燃烧器改造后主燃烧下部区域温度衰减很快,即燃烧火焰上移明显。

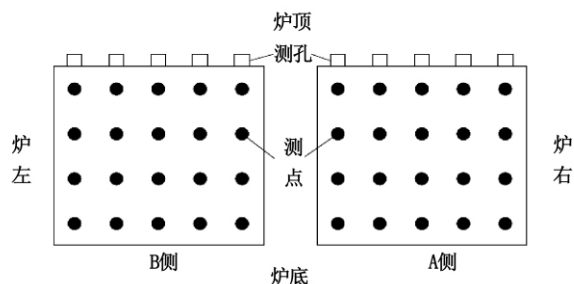


图4 测点位置示意图

Fig.4 Schematic drawing of locations of measuring points

燃用伊泰煤和神华混+平混煤(混合比例:6:4)的炉膛温度试验结果亦验证了这一点。

由于改造后火焰中心上移,煤粉颗粒在炉内的停留时间缩短,煤粉颗粒未完全燃烧即进入尾部烟气通道,导致飞灰可燃物含量较高,约10%。

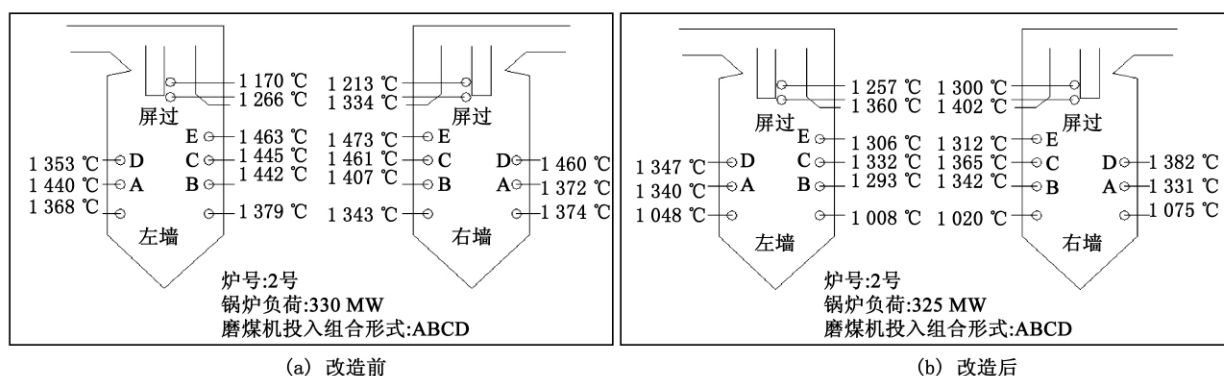


图5 ABCD磨组合燃烧器改造前后炉膛温度对比

Fig. 5 Contrast of the furnace temperatures before and after the modification of burners in the ABCD mill combination

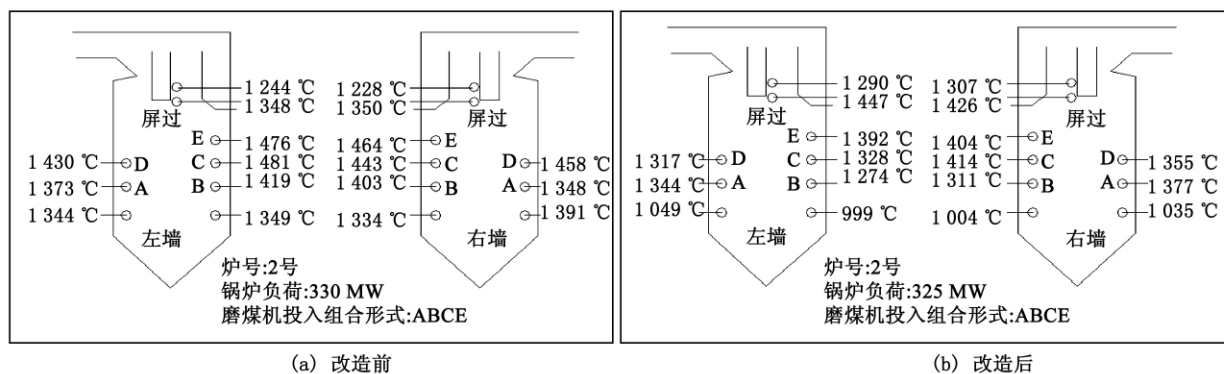


图6 ABCE磨组合燃烧器改造前后炉膛温度对比

Fig. 6 Contrast of the furnace temperatures before and after the modification of burners in the ABCE mill combination

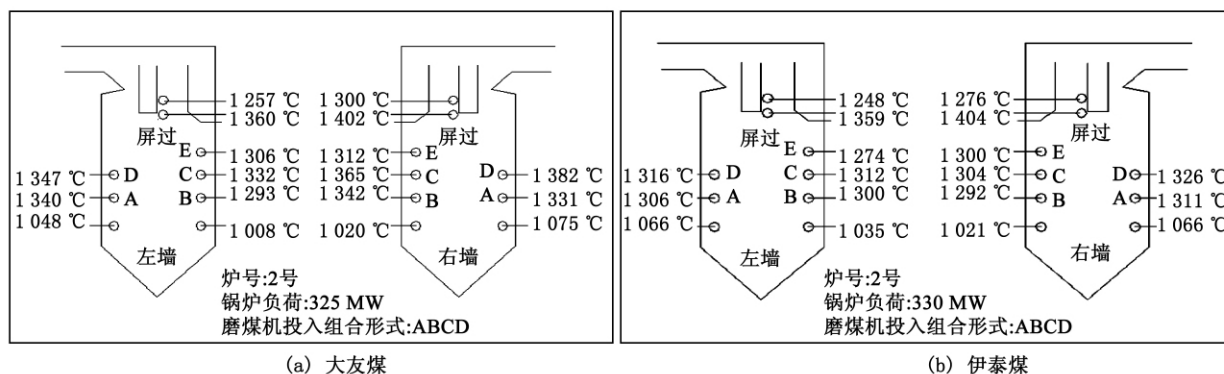


图7 ABCD磨组合不同煤种炉膛温度对比

Fig. 7 Contrast of the furnace temperatures by burning coal in various ranks in the ABCD mill combination

同时,由于改造后火焰中心的上移,原有的换热平衡被打破,辐射换热比例减小,对流换热比例增大(尤其是低温过热器),从而导致目前运行中一级过

热减温水量偏大(总减温水量设计值:30 t/h),数据如表5所示,过热器和再热器管壁超温严重。

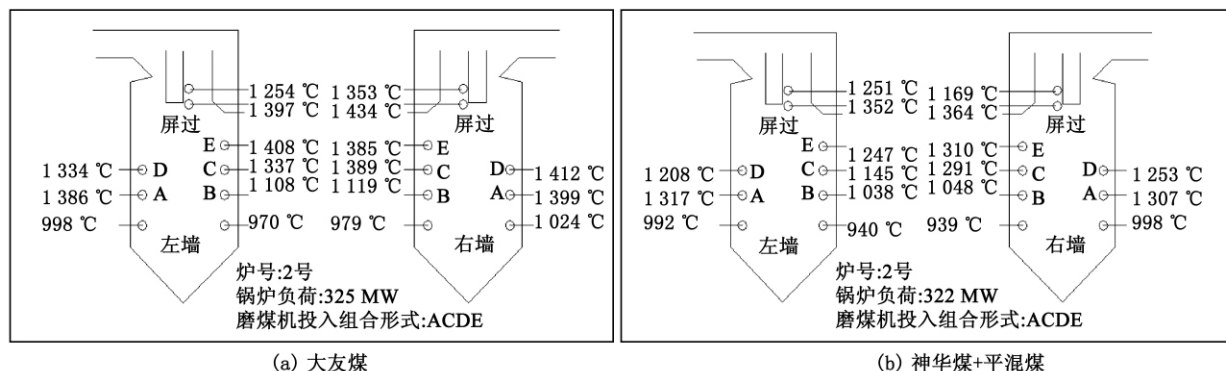


图8 ACDE 磨组合不同煤种炉膛温度对比

Fig. 8 Contrast of the furnace temperatures by burning coal in various ranks in the ACDE mill combination

表5 改造前后、不同磨组合方式下过热器减温水量比较 (t/h)

Tab. 5 Comparison of desuperheating water quantity before and after the modification in different mill combination modes

磨组合方式	改造后			改造前		
	一级过热器减温水量	二级过热器减温水量	总减温水量	一级过热器减温水量	二级过热器减温水量	总减温水量
ABCD	94.0	18.8	112.8	0	2.5	2.5
BCDE	91.2	24.3	115.5	—	—	—
ACDE	120.0	13.2	133.2	37.6	15.4	53.0
ABDE	113.1	10.3	123.4	—	—	—
ABCE	127.1	14.5	141.6	13.8	11.9	25.7

4.1.2 煤粉细度试验结果

试验对2号锅炉5台磨煤机出口粉管进行煤粉取样,进行煤粉细度分析^[4]。试验在额定煤量下进行,详细的分析数据如表6所示。

表6 各台磨煤机煤粉细度汇总

Tab. 6 Summing-up of pulverized coal particle sizes achieved by using various mills

磨煤机号	煤粉细度 $R_{90}/\%$
A	13.9
B	11.8
C	11.2
D	11.7
E	5.1

从煤粉细度试验结果可以看出,各台磨煤机煤粉细度 R_{90} 均小于14%,其中E磨煤机 R_{90} 仅为5.1%,煤粉细度已达到设计煤粉细度要求。

4.2 燃烧系统参数调整结果

从上述原因分析可以看出,制粉系统不是造成目前飞灰可燃物含量高的根本原因,燃烧器的调整和配风方式的调节将作为工作的重点^[5]。

4.2.1 燃烧器挡板(拉杆)试验

型号为NR3燃烧器中,燃烧的空气被分为3股,它们是:直流一次风、直流内二次风和旋流外二次风。其中一次风通过燃烧器的一次风入口弯头组件进入燃烧器,流经燃烧器的一次风管进入炉膛;内二次风和外二次风通过燃烧器同心的内二次风、外二次风环形通道在燃烧的不同阶段分别送入炉膛。

燃烧器内二次风用于控制一次风与外二次风的混合,该拉杆需在现场操作;每个燃烧器在入口风道处设有风量均衡挡板,用以使进入各个燃烧器的风量保持平衡;每个燃烧器本体设有旋流强度挡板,用以控制单只燃烧器外二次风旋流强度,可实现程控调节。燃烧器挡板的调节依据省煤器出口烟气分布情况进行,试验在320 MW负荷、ABCD磨煤机组合运行方式下进行,试验结果如表7~表8所示。

表 7 燃烧器入口风道风量挡板调节试验结果汇总

Tab. 7 Summing - up of the resultsof the air quantity regualtion test through an inlet duct into a burner

变燃烧器入口风道风量挡板开度基准						变燃烧器入口风道风量挡板开度			
B 侧						A 侧			
4 号						3 号			
2 号						1 号			
燃烧器入口风道风量挡板开度 /%	C 磨	50	56	44	60	60	40	35	60
	B 磨	35	70	60	60	60	40	35	60
	A 磨	40	71	68	60	60	40	35	60
	D 磨	40	79	48	60	60	40	35	60
两侧氧量平均 /%			4. 17			4. 27			
两侧 CO 平均 / $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$			285			289			
两侧 NO _x 平均 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$			280			289			
飞灰可燃物含量平均 /%			6. 45			6. 63			

表 8 燃烧器旋流挡板调节试验结果汇总

Tab. 8 Summing - up of the results of the swirling flow damper regulation test of the burners

变燃烧器旋流挡板开度 ,1 号、4 号旋流挡板开度关小					变燃烧器旋流挡板开度 ,1 号、4 号旋流挡板开度开大				
B 侧					A 侧				
4 号					3 号				
2 号					1 号				
燃烧器旋流挡板开度 / %	C 磨	50	35	35	50	100	35	35	100
	B 磨	50	35	35	50	80	35	35	80
	A 磨	50	35	35	50	50	35	35	50
	D 磨	50	35	35	50	80	35	35	80
两侧氧量平均 / %			3. 91			4. 33			
两侧 CO 平均 / $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$			438			208			
两侧 NO _x 平均 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$			280			276			
飞灰可燃物含量平均 / %			6. 07			5. 20			

根据 NR3 燃烧器的设计原理 ,燃烧器外二次风采用的是弱旋方式 ,因此旋流挡板开度对单只燃烧器风量的影响超过了对旋流强度的影响 ,这也是旋流挡板变化对烟气中 CO 排放浓度和飞灰可燃物的影响比入口风道风量挡板变化时的影响要大的原因。

4. 2. 2 燃尽风挡板(拉杆) 试验结果

配风方式对燃烧影响明显 ,在对燃烧器配风充分了解的基准上 ,对燃尽风挡板(拉杆) 进行了调整。

燃尽风分为三部分 ,其中外二次风(试验时已全关) 和内二次风(试验时 50% 开度) 均为旋流 ,中心风为直流 ,均需在现场调节。燃尽风入口风道总风量挡板和单只燃尽风入口风道风量挡板可实现程控调节。变燃尽风挡板(拉杆) 试验主要在 320 MW

负荷、ABCD 磨煤机组合运行方式下进行 ,试验结果如表 9 ~ 表 10 所示。

从变单只燃尽风喷口入口风道风量挡板和入口风道总风量挡板试验数据可以看出: 当某列燃烧器缺风时 ,开大对应燃尽风挡板 ,有助于燃尽。ABCD 磨煤机组合运行方式下 ,1 号、4 号角缺风 ,开大对应燃尽风挡板开度 ,烟气中 CO 排放浓度略有降低 ,飞灰可燃物含量明显下降。

当燃尽风入口风道总风量挡板由 100% 关至 50% 时 ,烟气中 CO 排放浓度和飞灰可燃物略有降低 ,NO_x 排放浓度上升了 23 mg/m³; 当燃尽风入口风道总风量挡板由 50% 继续关小至 20% 时 ,飞灰可燃物含量降低明显: 由 6. 73% 降至 4. 66% ,降低了 2. 07 个百分点 ,NO_x 排放浓度上升了 12 mg/m³。

表 9 变单只燃尽入口风道风量挡板开度试验

Tab. 9 Overfire air quantity damper opening variation test in a single inlet duct

	变燃尽风入口风道风量挡板开度基准				变燃尽风入口风道挡板开度, 1 号、4 号挡板开度开大			
	B 侧		A 侧		B 侧		A 侧	
	4 号	3 号	2 号	1 号	4 号	3 号	2 号	1 号
前墙燃尽风入口风道风量挡板开度 / %	30	82	56	29	49	45	44	48
后墙燃尽风入口风道风量挡板开度 / %	37	70	70	34	62	45	45	59
两侧氧量平均 / %	4.52				4.36			
两侧 CO 平均 / $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	264				247			
两侧 NO_x 平均 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	285				274			
飞灰可燃物含量平均 / %	6.27				4.43			

表 10 变燃尽风入口风道总风量挡板开度试验

Tab. 10 Overfire air inlet duct total air quantity damper opening variation test

	变燃尽风入口风道总风量 挡板开度基准				变燃尽风入口风道总风量 挡板开度, 燃尽风总挡板: 50%				变燃尽风入口风道总风量 挡板开度, 燃尽风总挡板: 20%			
	燃尽风挡板开度: 100%		燃尽风总挡板: 50%		燃尽风总挡板: 20%							
	B 侧	A 侧	B 侧	A 侧	B 侧	A 侧	B 侧	A 侧	B 侧	A 侧	B 侧	A 侧
	4 号	3 号	2 号	1 号	4 号	3 号	2 号	1 号	4 号	3 号	2 号	1 号
燃尽风入口风道总风量挡板开度 / %	100		100		50		50		20		20	
两侧氧量平均 / %	4.35				4.52				4.44			
两侧 CO 平均 / $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	135				100				186			
两侧 NO_x 平均 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	308				331				343			
飞灰可燃物含量平均 / %	6.14				6.04				4.66			

表 11 燃烧系统调整前后试验结果

Tab. 11 Test results before and after adjustment of the combustion system

	基准工况				优化调整工况			
	B 侧		A 侧		B 侧		A 侧	
	4 号	3 号	2 号	1 号	4 号	3 号	2 号	1 号
燃尽风入口风道总风量挡板开度 / %	100		100		20		20	
前墙燃尽风入口风道风量挡板开度 / %	30	82	56	29	99	20	34	99
后墙燃尽风入口风道风量挡板开度 / %	37	70	70	34	99	20	35	99
燃烧器入口风道风量挡板开度 / %	C 磨	35	56	45	35	100	30	60
	B 磨	25	70	60	32	100	30	60
	A 磨	34	71	69	33	100	30	60
	D 磨	33	80	49	30	100	30	60
燃烧器旋流挡板开度 / %	C 磨	35	35	35	35	100	35	100
	B 磨	35	35	35	35	60	35	80
	A 磨	35	35	35	35	50	35	50
	D 磨	35	35	35	35	60	35	80
两侧氧量平均 / %	4.47				4.16			
两侧 CO 平均 / $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	306				79			
两侧 NO_x 平均 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	270				306			
飞灰可燃物含量平均 / %	10.40				3.76			

4.2.3 燃烧系统优化调整结果

通过前述燃烧系统的优化调整,飞灰可燃物含量有明显降低,320 MW 负荷、ABCD 磨煤机组合运行方式下,调整前后对比数据如表 11 所示。

通过燃烧系统的优化调整,烟气中 CO 排放浓度和飞灰可燃物含量下降明显: 飞灰可燃物含量由调整前的 10.40% 降低至 3.76%,调整效果明显。

4.3 各种磨煤机组合运行方式下的试验结果

在 ABCD 磨煤机组合运行方式下摸索得出的挡板开度和规律是否适用于其它磨煤机组合运行方式,在其它磨煤机组合进行了验证试验,试验在 320 MW 负荷下进行,试验结果如表 12 所示。

燃烧器改造后,320 MW 负荷、各种磨煤机组合运行方式下,烟气中 CO 排放浓度小于 $80 \mu\text{L/L}$, NO_x 排放浓度在 $306 \sim 355 \text{ mg/m}^3$,与燃烧器改造前的 $718 \sim 972 \text{ mg/m}^3$ 相比,平均降幅达 58.7%,改造效果十分明显。

ABCD 磨煤机组合运行方式下摸索得到的燃烧器和燃尽风挡板开度适用于其它磨煤机组合运行方式,燃用大友煤、运行氧量在 4.5% 时,飞灰可燃物含量可控制在 5.5% 以内,说明优化后的挡板(拉杆)开度对于不同的磨煤机组合运行方式具有普遍适用性。

表 12 各种磨组合方式下试验结果汇总

Tab. 12 Summing-up of the test results in various mill combination modes

磨组合方式	燃烧器改造后				燃烧器改造前			
	$\text{O}_2/\%$	$\text{CO}/\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{NO}_x/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	飞灰可燃物含量/%	$\text{O}_2/\%$	$\text{CO}/\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{NO}_x/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	飞灰可燃物含量/%
ABCD	4.16	79	306	3.76	3.20	50	722	0.84
BCDE	4.63	56	350	3.71	—	—	—	—
ACDE	4.23	23	353	4.94	3.29	60	972	1.32
ABDE	3.89	62	311	5.42	—	—	—	—
ABCE	4.42	59	341	5.05	3.45	30	718	0.86

5 结 论

(1) 燃烧器改造前后、不同磨煤机组合运行方式下燃烧器区域、折焰角区域和冷灰斗上沿烟气温度对比数据均表明,燃烧器改造后,炉膛火焰中心明显上移。

(2) 由于改造后火焰中心上移,煤粉颗粒在炉内的停留时间缩短,煤粉颗粒未完全燃烧即进入尾部烟气通道,导致飞灰可燃物含量较高,ABCD 磨煤机组合运行方式下约为 10%。

(3) 通过燃烧系统的优化调整,烟气中 CO 排放浓度和飞灰可燃物含量下降明显: 飞灰可燃物含量由调整前的 10.40% 降低至 3.76%,调整效果明显。

(4) ABCD 磨煤机组合运行方式下摸索得到的燃烧器和燃尽风挡板开度适用于其它磨煤机组合运行方式,燃用大友煤、运行氧量在 4.5% 时,飞灰可燃物含量可控制在 5.5% 以内,说明优化后的挡板(拉杆)开度对于不同的磨煤机组合运行方式具有普遍适用性。

(5) 燃烧器改造后,320 MW 负荷、各种磨煤机

组合运行方式下,烟气中 CO 排放浓度小于 $80 \mu\text{L/L}$, NO_x 排放浓度在 $306 \sim 355 \text{ mg/m}^3$,与燃烧器改造前的 $718 \sim 972 \text{ mg/m}^3$ 相比,平均降幅达 58.7%,改造效果十分明显。

参考文献:

- [1] GB13223—2011. 火电厂大气污染物排放标准[S].
GB13223—2011. Standard for atmospheric pollutant emissions in a thermal power plant [S].
- [2] GB 10184—88. 电站锅炉性能试验规程[S].
GB 10184—88. Specification for utility boiler performance tests [S].
- [3] 孙学信. 燃煤锅炉燃烧试验结束与方法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
SUN Xue-xin. Coal-fired boiler combustion test results and methods [M]. Beijing: China electric power press, 2002.
- [4] DL476—2004. 电站磨煤机及制粉系统性能试验[S].
DL476—2004. Power plant coal mill and pulverized coal milling system performance test [S].
- [5] 岑可法. 锅炉燃烧试验研究方法及测量技术[M]. 北京: 北京水利电力出版社, 1987.
CEN Ke-fa. Boiler combustion test and research methods and measurement technique [M]. Beijing: Beijing Water Conservation and Electric Power Press, 1987.

(陈 滨 编辑)

CO₂ 气氛下劣质煤气化及动力学特性实验研究 = **Experimental Study of the Gasification and Kinetic Characteristics of Poor Quality Coal in a CO₂ Atmosphere** [刊 汉] ZHANG Li , PENG Jin , YANG Zhong-qing (Education Ministry Key Laboratory on Low Quality Energy Source Utilization Technologies and Systems , College of Power Engineering , Chongqing University , Chongqing , China , Post Code: 400030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(3) . - 336 ~ 341

By utilizing a comprehensive thermogravimetric analyzer and using a non-isothermal thermogravimetric method , studied was the law governing the influence of the temperature rise speed and particle diameter on the gasification characteristics of poor quality coal in a CO₂ atmosphere and investigated was the influence of the ash content on the gasification reaction nature of two types of poor quality coal. Moreover , the homogeneous phase reaction model was used to obtain the kinetic parameters of the gasification reaction under various conditions through a calculation and fitting by using the Freeman-Carroll method. The calculation results show that the numbers of stages of the CO₂ gasification reaction for both types of poor quality coal are 1.0 stage. The reaction conditions have produced similar influence on their reaction activation energies. In a CO₂ atmosphere and the gasification reaction range of the samples from 900 °C to 1 300 °C , when other conditions are kept unchanged , the apparent activated energies of both types of poor quality coal sample will assume a descending tendency with a decrease of the particle diameter of the coal samples from 150 ~ 400 μm to 0 ~ 75 μm. However , the reaction activated energies of both types of poor quality coal sample will increase with a decrease of the temperature rise speed from 30 °C /min to 10 °C /min. At various particle diameters and temperature rise speeds , there exists a kinetic compensation effect between the gasification activation energies of both pulverized coal and their corresponding pre-exponential factors. **Key words:** carbon dioxide atmosphere , poor quality coal , gasification reaction , thermogravimetry , kinetics

低 NO_x 燃烧器改造后飞灰可燃物高原因分析及优化调整 = **Analysis of the Causes for a High Combustible Content of the Flying Ash After a Reconstruction of a Low NO_x Burner and Its Optimization Adjustment** [刊 汉] WANG Xiao-hua , CHEN Bao-kang , CHEN Min (Suzhou Subsidiary of Xi'an Thermotechnical Research Institute Co. Ltd. , Suzhou , China , Post Code: 215011) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(3) . - 342 ~ 349

During an overhaul period , a reconstruction of No. 2 boiler in a power plant was performed to reduce NO_x emissions of the combustion system. To adjust the boiler to its optimum operating condition , an optimization and adjustment test was performed after the reconstruction. The test results show that after the reconstruction of the burner , at a load below 320 MW and various mill combination modes , the NO_x emissions concentration can be lowered to 306 mg / Nm³ - 355 mg / Nm³ , falling down by 58.7% compared with that before the reconstruction and achieving a remarkable reconstruction effectiveness. However , due to a shifting-upward of the flame center after the reconstruction , the resi-

dence time of the pulverized coal particles in the furnace is shortened and the pulverized coal particles enter into the flue gas passage at the tail portion ,which having not yet burned out ,leading to a comparatively high combustible content of the flying ash ,around 10% . In the light of this problem ,an optimization adjustment was made of the combustion system. After the adjustment ,the combustible content of the flying ash went down to about 4% . **Key words:** low NO_x burner , combustible content of flying ash , optimization adjustment

流化床 O_2/CO_2 燃烧(II) —高氧浓度的中试研究 = O_2/CO_2 Combustion in a Fluidized Bed (II) —High Oxygen Concentration Pilot Study [刊 ,汉] ZHAO Ke ,DUAN Cui-jiu ,TAN Li ,LU Qing-gang(Engineering Thermophysics Research Institute ,Chinese Academy of Sciences ,Beijing ,China ,Post Code: 100190) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(3) . - 350 ~ 354

To offer reference for the combustion in a large-sized circulating fluidized bed of an O_2/CO_2 combustion system at a high oxygen concentration ,a combustion test was performed of coal at a high oxygen concentration in O_2/CO_2 atmosphere in a 0.15 MW circulating fluidized bed combustion test system with a combustion chamber having a diameter of 140 mm and a height of 6000 mm. The test results show that when the oxygen concentration of the primary air ranges from 49.0% to 53.3% and that of the secondary air is in a range from 50.8% to 56.0% ,the above-mentioned combustion system can still undergo a safe and stable combustion. During the combustion process of coal ,the SO_2 yield was in a range from 92.2% to 94.0% and the air provided had little influence on the SO_2 yield. At various air quantities ,the NO_x yield ranged from 6.71% to 7.64% and the N_2O yield from 5.13% to 7.23% . To reduce the oxygen content of the primary air will help reduce both NO_x and N_2O yield. To delay the time of the admission of the secondary air will help reduce the N_2O yield but enhance the NO_x one. **Key words:** fluidized bed , O_2/CO_2 , coal combustion ,

天然焦- H_2O 气化反应 Aspen Plus 模拟研究 = Study of the Simulation of Natural Coke- H_2O Gasification Reaction By Using the Software Aspen Plus [刊 ,汉] LIN Liang-sheng (Suzhou Thermotechnical Research Institute ,Suzhou ,China ,Post Code: 215004) ,ZHAO Chang-sui (College of Energy Source and Environment ,Southeast University ,Nanjing ,China ,Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 , 27(3) . - 355 ~ 360

By utilizing the Aspen Plus software platform ,a thermodynamic simulation calculation was performed of the natural coke- H_2O gasification reaction and the influence of the share of the reaction carbon ,steam flow rate ,reaction temperature ,reaction pressure and reaction atmosphere on the composition and heating value of the coal gas during the natural coke gasification reaction was studied. The research results show that the RYIELD module can depict very well the natural coke “pyrolytic process” in the whole simulation system. The steam flow rate of 1.16 g/h is the