

330 MW 机组燃用神华煤优化改造

高永坤¹, 李兴智², 丁洪昇¹, 蒙毅², 罗欢¹, 张英民¹

(1.天津国电津能热电有限公司, 天津 300300; 2.西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054)

[摘要] 天津国电津能热电有限公司 2×330 MW 机组锅炉在掺烧神华煤过程中出现了严重结渣现象, 为此电厂对燃用神华煤的 2 号锅炉燃烧系统进行了重新设计和调整, 并在易结渣区域增加了 26 支吹灰器。优化改造后, 锅炉结渣明显改善, 空气预热器入口烟气温度降低 11 ℃; 飞灰含碳量和 CO 生成量基本不变, SCR 装置入口 NO_x 生成质量浓度降低 30 mg/m³, 锅炉效率升高 0.3%, 停炉检查发现炉膛区域和屏区结渣明显减轻。

[关键词] 锅炉; 结渣; 神华煤; 吹灰器; 假想切圆; 污染物排放; 优化改造

[中图分类号] TK16 [文献标识码] B [DOI 编号] 10.19666/j.rld.202007067

[引用本文格式]高永坤, 李兴智, 丁洪昇, 等. 330 MW 机组燃用神华煤优化改造[J]. 热力发电, 2021, 50(3): 176-181. GAO Yongkun, LI Xingzhi, DING Hongsheng, et al. Equipment optimization for burning Shenhua coal in a 330 MW coal-fired unit[J]. Thermal Power Generation, 2021, 50(3): 176-181.

Equipment optimization for burning Shenhua coal in a 330 MW coal-fired unit

GAO Yongkun¹, LI Xingzhi², DING Hongsheng¹, MENG Yi², LUO Huan¹, ZHANG Yingmin¹

(1. Tianjin Guodian Jinneng Thermal Power Co., Ltd., Tianjin 300300, China; 2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract: Serious slagging occurred in 2×330 MW unit boilers of Tianjin Guodian Jinneng Thermal Power Plant when burning Shenhua coal. To solve this problem, the power plant redesigned and adjusted the combustion system of No.2 boiler, and added 26 steam soot-blowers in the slagging area. After the optimization, the slagging situation was dramatically eased, the flue gas temperature at inlet of the air preheater decreased by 11 ℃, the carbon content in fly ash and quantity of CO produced had little change basically, the mass concentration of NO_x at the SCR denitration system inlet decreased by 30 mg/m³, and the boiler efficiency increased by 0.3%. It was found that the slagging in the furnace area and the platen area was significantly reduced after boiler shutdown.

Key words: boiler, slagging, Shenhua coal, steam soot-blower, imaginary circle, pollutant emission, optimizing reformation

神华煤具有高热值、高挥发分、低灰分、低硫的特点, 是优质的动力用煤, 但煤灰分中钙、铁、钠等金属氧化物含量较高, 灰熔点较低, 容易发生锅炉结渣等直接影响机组安全运行的问题^[1-3]。目前解决锅炉结渣的方法主要有优化锅炉结构和设计参数, 以及煤质特性和锅炉运行方式调整等。其中, 锅炉结构和设计参数决定了锅炉的防结渣能力, 一旦确定后期无法改变, 目前国内电厂采用掺烧部分高灰熔点煤种和运行优化的方法缓解炉内结渣^[4-8]。天津国电津能热电有限公司选取了较高的锅炉容积热负荷, 不利于锅炉防结渣, 掺烧 60% 神华煤后出现严重结渣问题, 造成空气预热器入口烟气温度超过 400 ℃, 排烟温度较同期升高 5~10 ℃, 吹灰频次增加造成四管泄漏, 锅炉出口两侧烟气温度偏

差大, 再热器前屏入口烟气温度最大偏差超过 150 ℃, 严重威胁机组的安全和经济运行。

1 设备概况

天津国电津能热电有限公司 2×330 MW 机组锅炉为 HG-1102/17.5-YM33 型、亚临界参数、一次中间再热、自然循环汽包炉, 采用平衡通风、四角切圆燃烧方式, 设计燃料为烟煤。锅炉炉膛宽度为 14 048 mm, 深度为 14 019 mm, 设计容积热负荷为 94.91 kW/m³, 截面热负荷为 4.243 kW/m², 最上层燃烧器距屏底距离为 17.816 m。

制粉系统采用中速磨煤机正压冷一次风直吹式系统。每台锅炉配备 5 台中速磨煤机, 4 台运行, 1 台备用。锅炉采用四角布置切向燃烧、上下浓淡

收稿日期: 2020-07-27

第一作者简介: 高永坤(1987), 男, 硕士, 工程师, 主要从事火力发电厂锅炉运行管理, 794185370@qq.com。

直流式煤粉燃烧器。风、粉气流从炉膛四角喷进炉膛后，在炉膛中心形成假想切圆，为双切圆燃烧系统。主燃烧器喷口从下至上为：AA 二次风、A 一次风、AB 二次风、B 一次风、BC 二次风、C 一次风、CD 二次风、D 一次风、DD 二次风、DE 二次风、E 一次风、OFA 二次风。

2 改造方案

2.1 燃烧系统

项目选定设计煤种为神华与准格尔煤混煤，其质量比为 8:2。合适的燃烧器假想切圆能强化燃烧，避免气流刷墙，又能最大限度地利用水冷壁的吸热能力。本文将原有的双切圆燃烧系统改为燃用结渣煤种常用的一、二次风大小切圆“风包粉”设计^[9-11]，一、二次风假想切圆直径分别为 600、750 mm，SOFA 风反切 15°。改造前后燃烧系统对比如图 1 所示。

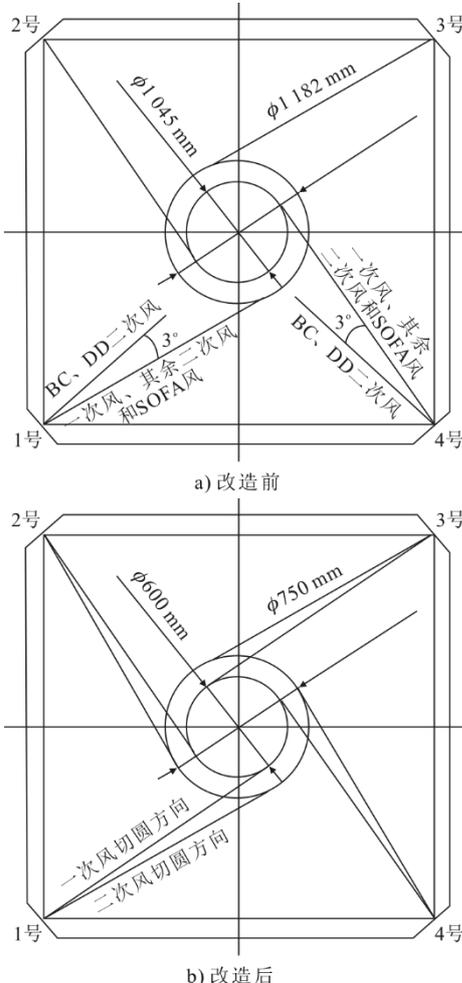


图 1 改造前后燃烧系统对比
Fig.1 The combustion system before and after the modification

一次风煤粉气流以小切圆方向进入炉膛，被偏转的二次风裹挟在炉膛中央，形成炉膛中心富燃烧区、

四周水冷壁附近形成富空气区，有利于形成“风包粉”的燃烧结构，增强向火侧、背火侧补气条件，可以部分起到降低 NO_x、预防结渣及高温腐蚀的效果^[12-14]。

采用国内常用的正反切动量矩之比 R 评价改造前后的炉内旋转强度的改变^[15-16]， R 的表达式为

$$R = \sum m_s V_s r_s / \sum m_n V_n r_n \quad (1)$$

式中， m 、 V 、 r 分别为喷口的质量流速、气流速度和假想切圆半径，下标 s 、 n 分别表示顺时针和逆时针。

本次改造方案对喷口的质量流速、气流速度不做任何改变，只对假想切圆的直径进行调整，假想切圆变小后，逆时针方向的总动量矩变小，这样可以减小炉内逆时针气流的旋转强度，缓解炉膛出口两侧烟气温度偏差。

为了直观显示炉内燃烧情况，对不同假想切圆时炉内温度、烟气流速、分隔屏底部烟气温度和炉膛出口温度的分布等进行了模拟计算，结果如图 2 和图 3 所示。

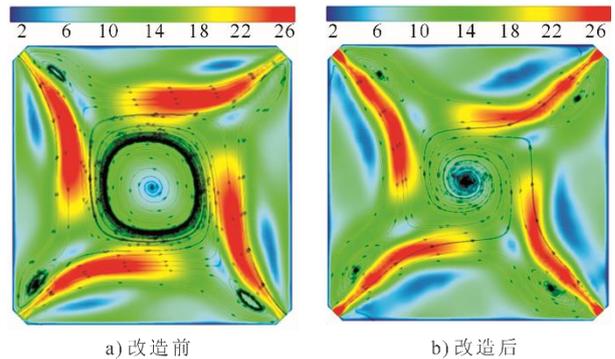


图 2 炉内气流速度分布 (D 层燃烧器)

Fig.2 The air velocity distribution over D-level coal burner (m/s)

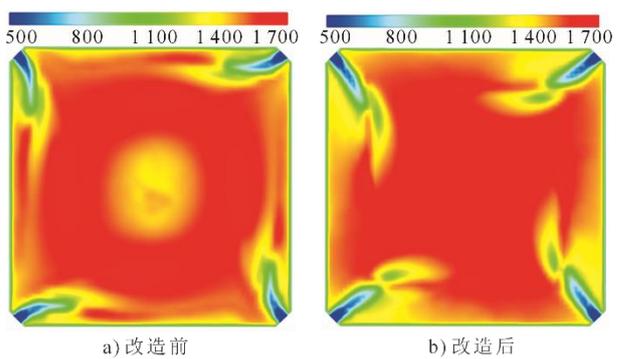


图 3 炉膛温度分布 (D 层燃烧器)

Fig.3 The temperature distribution over D-level coal burner (°C)

由图 2 和图 3 可见：燃烧器假想切圆减小至 600 mm/750 mm，一次风贴壁现象基本消除；近壁区燃烧温度降低，炉内燃烧器区域的结渣将会得到有效控制；煤粉颗粒在燃烧器区域的停留时间变短，燃煤的燃尽度略有降低，由 99.71% 降低至 99.65%，仍保持较好的燃尽性能。

2.2 吹灰系统

锅炉设计煤种灰熔点较高，当锅炉炉膛特征参数已经无法改变的情况下，合理增加炉内吹灰器数量及强化吹灰是安全燃用低灰熔点神华煤的关键。

本文电厂结渣位置主要位于中上层燃烧器区域至E层吹灰器标高区域。为提高机组对神华煤的适应性，需要新装及恢复部分吹灰器。吹灰器布置如图4所示。

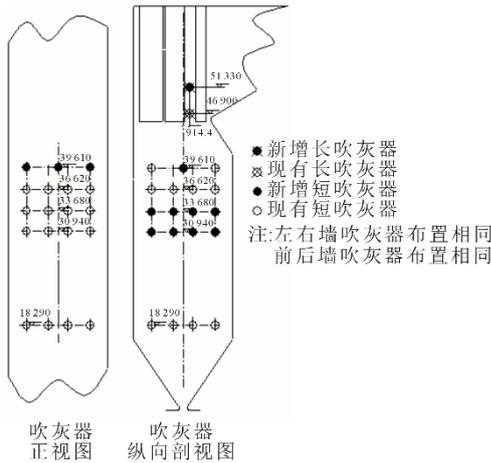


图4 吹灰器布置
Fig.4 The steam soot-blower layout

具体加装方案如下：

- 1) 炉膛区域现有 B、C 吹灰器层左右两侧墙各增加 4 支穿过风箱带加长杆吹灰器，共新增 16 支长杆短程吹灰器；
- 2) 炉膛区域现有 E 层吹灰器层两侧墙各增加 1 支、前后墙各增加 3 支短吹灰器，共新增 8 支短吹灰器；
- 3) 1 号长吹灰器上部左右墙各增加 1 支长吹灰器，共新增 2 支长吹灰器。

3 改造后冷态试验

3.1 空气动力场试验

在冷态模化通风条件下，试验人员进入炉内，对下层燃烧器喷口中心炉膛断面动力场和C层喷口标高贴壁风速进行了测试，结果分别如图5和图6所示。由图5和图6可以看出：炉内实际气流切圆中心居中，气流旋转方向为逆时针（俯视），气流切圆处最高风速为 5.43 m/s；切圆直径约 5.8 m（改造前锅炉实际切圆为 8.5 m），气流充满度良好，无气流刷墙现象；近壁风速较低，且分布均匀，最高近壁风速为 2.5 m/s。

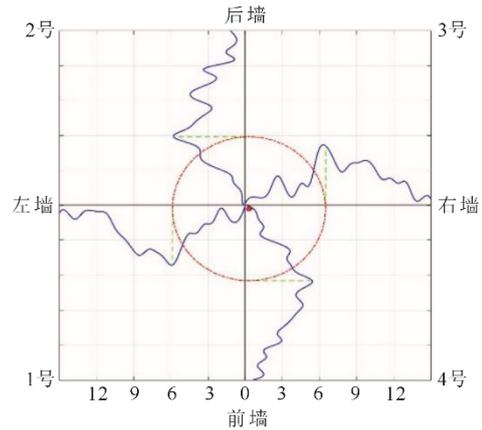


图5 锅炉冷态动力场
Fig.5 The cold state dynamic field of the boiler (m/s)

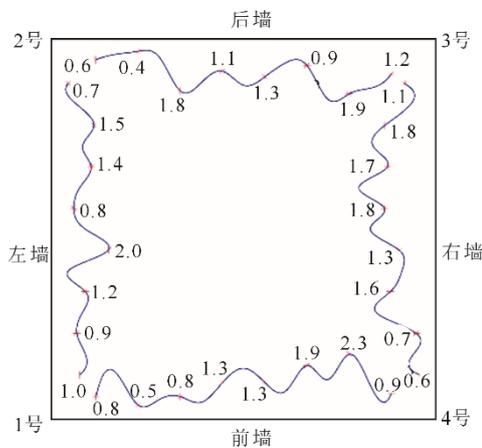


图6 锅炉贴壁风速
Fig.6 The velocity in the neighbourhood of water wall (m/s)

3.2 炉膛出口气流测试

在冷态通风时，试验人员进入炉内对后屏再热器进口截面距离斜坡底部 1.5、2.5、3.5 m 处的气流速度分布进行了测试，结果如图7所示。

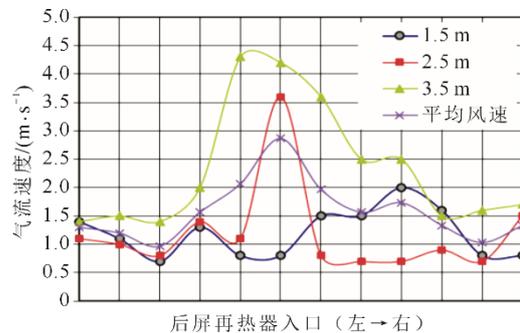


图7 炉膛出口气流分布
Fig.7 The flue gas velocity distribution at the furnace outlet

由图7可以看出，炉膛出口处气流速度分布中间高两侧低，两侧气流速度偏差较小。

4 改造后热态试验

4.1 试验方法

本次试验煤种以低灰熔点神华煤为主，包括部分高灰熔点的准格尔煤与口泉煤，试验煤种煤质特性分析见表 1。

2019 年 11 月 4 日至 2019 年 11 月 16 日进行了神华煤掺烧试验，掺烧 40% 神华煤时，B、C 和 E 原煤仓燃用高灰熔点煤种；掺烧 60% 神华煤时，C 和 E 原煤仓燃用高灰熔点煤种；掺烧 80% 神华煤时，C 原煤仓燃用高灰熔点煤种。掺烧比例及负荷率如图 8 所示。

表 1 试验煤种煤质特性分析
Tab.1 Quality analysis results of the test coal samples

煤种	全水分	空气干燥基水分	灰分	干燥无灰基挥发分	硫分	低位发热量	灰熔点/°C			
	$w_t(M)/\%$	$w_{ad}(M)/\%$	$w_d(A)/\%$	$w_{daf}(V)/\%$	$w_{t,d}(S)/\%$	$Q_{net,ar}/(KJ\ kg^{-1})$	DT	ST	HT	FT
神混 2	16.7	4.28	16.95	37.34	0.29	21 372	1 166	1 233	1 246	1 263
神混 5000	18.8	5.12	15.99	37.12	0.3	20 883	1 171	1 210	1 231	1 257
神混 3	17.4	4.11	22.65	37.18	0.4	19 344	1 180	1 224	1 240	1 278
神混 4	17.6	4.3	24.43	37.06	0.35	18 754	1 214	1 252	1 261	1 324
准 2	9.9	3.24	23.11	37.82	0.5	20 762	1 387	1 480	1 480	1 480
口泉	11.57	1.23	28.72	38.07	0.42	19 470	1 474	1 474	1 474	1 474

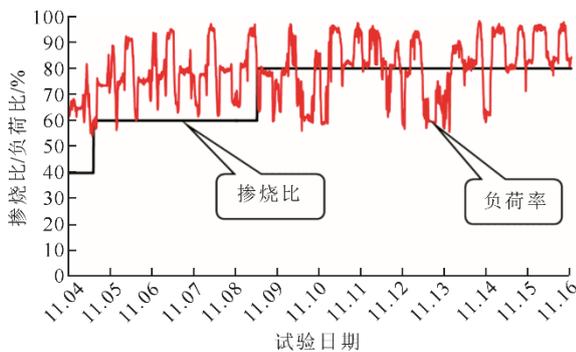


图 8 神华煤掺烧比例及负荷率

Fig.8 The burning proportion and load rate of Shenhua coal

4.2 锅炉结渣

本次掺烧神华煤的关键是缓解和预防炉膛、分隔屏及过热器区域的结渣，同时兼顾提高锅炉效率，保证机组安全稳定和经济运行。试验期间通过人工观察以及机组运行参数检测来评估锅炉结渣与积灰倾向，主要观察与检测项目如下：1) 炉膛火焰温度测试；2) 表盘汽温、减温水量及受热面管壁温度监视；3) 通过看火孔人工观察水冷壁与燃烧器喷口结渣情况；4) 人工观察冷灰斗排渣、捞渣机运行状态并记录吹灰时掉渣情况和渣型。

试验结果表明，在稳定负荷下，掺烧不同比例神华煤，主蒸汽温度和压力均能够达到设计值，汽水系统对掺烧具有良好的适应性。为解决神华煤高比例掺烧时，吹灰期间主、再热蒸汽温度波动较大的问题，将炉膛短吹由对吹改为单吹，由先进行炉膛吹灰后进行长吹灰器吹灰改为长短吹间隔吹灰。

吹灰程序优化后吹灰期间主/再热蒸汽温度波动减小。在掺烧 40% 和 60% 神华煤过程中，未出现严重结渣问题，炉渣均较少，且多为细小碎渣，少数渣块也为多孔疏松状渣型。在掺烧 80% 神华煤过程中，吹灰期间会偶尔出现掉较硬渣块，干渣机运行正常，总体可控。不同掺烧比例下炉渣情况如图 9 所示。

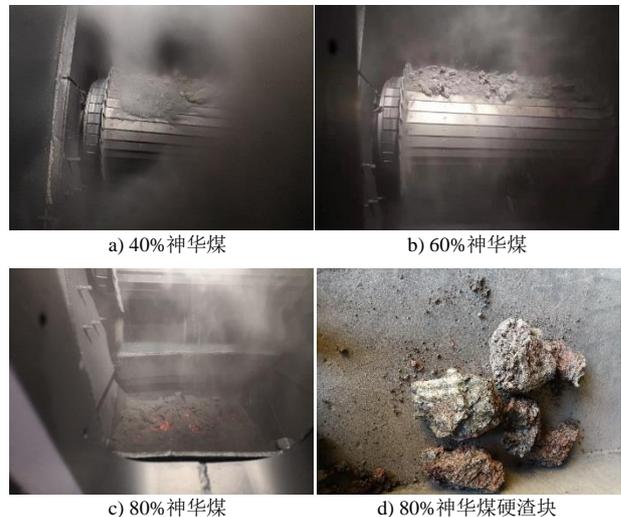


图 9 不同掺烧比例下炉渣

Fig.9 The boiler slag with different mixed ratios of Shenhua coal

试验期间对每天稳定满负荷工况各级尾部对流受热面烟气温度的统计分析，结果表明掺烧神华煤后各受热面烟气温度总体平稳，无明显升高趋势。通过渣型和各受热面烟气温度变化可以判断，炉内无严重结渣，改造后的燃烧及吹灰系统对掺烧高比例神华煤具有较好的适应性。图 10 为锅炉各受热面烟气温度变化。

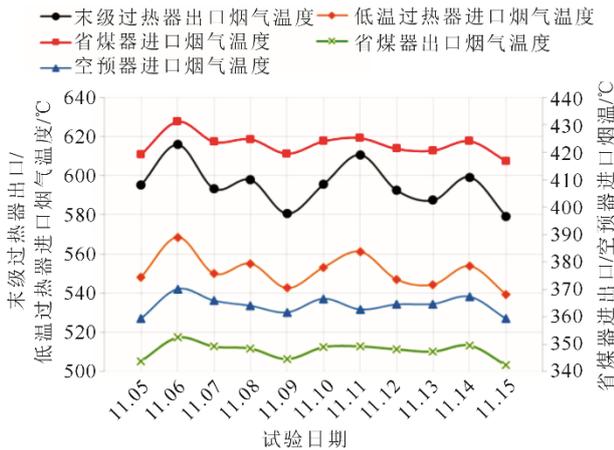


图10 各受热面烟气温度变化

Fig.10 The change of flue gas temperature at each stage

另外, 试验过程中利用红外高温仪对炉膛出口两侧烟气温度进行测量, 测量结果显示, 改造前炉膛出口两侧烟气温度偏差为 145 °C, 改造后炉膛出口两侧烟气温度偏差为 91 °C。改造后, 由于假想切圆减小、燃烧气流旋动力减弱, 炉膛出口两侧烟气温度偏差降低约 50 °C, 有利于缓解炉膛出口单侧局部结渣。

4.3 锅炉效率

对改造前后的飞灰可燃物含量、排烟温度、CO 生成量等进行了测试, 结果见表 2。由表 2 可见, 在运行氧量相同时, 改造前后飞灰含碳量和 CO 生成量变化不大, 改造后排烟温度降低, 锅炉效率升高 0.3%。

表 2 燃烧系统改造前后锅炉效率对比
Tab.2 The boiler efficiencies before and after the adjustment of combustion system

工况编号	改造前	改造后
试验煤种	掺烧 80% 神华煤	掺烧 80% 神华煤
主蒸汽流量/(t h ⁻¹)	1 033	1 016
运行氧量/%	3.29	3.16
飞灰可燃物/%	1.38	1.32
空气预热器入口烟气温度/°C	378/370	367/369
排烟温度/°C	152/141	144/134
NO _x 质量浓度/(mg m ⁻³)	266/278	232/234
排烟中 CO 体积分数/(μL·L ⁻¹)	26	90
锅炉效率/%	92.18	92.48

4.4 SCR 装置入口 NO_x 质量浓度

锅炉在实现低氮燃烧的同时, 也实现了低温燃烧, 有利于缓解燃烧器区域结渣。统计结果显示, 在运行方式相同的情况下, 满负荷状况下改造后 NO_x 生成质量浓度比改造前降低了 30 mg/m³ 左右。

表 3 燃烧系统改造前后 SCR 装置入口 NO_x 质量浓度
Tab.3 The mass concentrations of NO_x before and after the adjustment of combustion system

项目	改造前	改造后
主蒸汽流量/(t h ⁻¹)	1 042	1 036
运行氧量/%	3.18	3.24
磨煤机运行方式	ABCDE	ABCDE
SOFA 开度/%	64/94/96/96	31/76/94/89
1 号 SCR 装置入口 NO _x 质量浓度/(mg m ⁻³)	282	247
2 号 SCR 装置入口 NO _x 质量浓度/(mg m ⁻³)	280	256
SCR 装置入口 NO _x 质量浓度平均值/(mg m ⁻³)	281	252

5 改造效果

2020 年锅炉停运后对炉内结渣状况进行了检查, 炉膛区域 D 层燃烧器至燃尽风之间区域存在轻微结渣, 炉膛其他区域无渣块, 结渣面积较改造前明显减少; 分隔屏区域存在轻微结渣, 屏区其他区域无渣块, 后屏过热器和后屏再热器区域大面积结渣较改造前有明显改善。改造后锅炉汽水系统和风烟系统对掺烧 80% 神华煤适应性较好, 可为电站锅炉燃用结渣煤种或非设计煤种改造提供借鉴。

6 结 论

1) 选择较小的假想切圆可以避免一次风贴壁, 有利于降低近壁区燃烧温度, 缓解炉内燃烧器区域的结渣, 能最大限度地利用水冷壁的吸热能力, 但煤粉颗粒在燃烧器区域的停留时间变短, 燃煤的燃尽率略有降低, 对于燃烧特性良好的神华煤仍保持良好的燃尽性能。

2) 四角切圆锅炉假想切圆变小后, 逆时针方向的总动量矩变小, 可以减小炉内逆时针气流的旋转强度, 可以缓解炉膛出口两侧烟气温度偏差, 有利于缓解炉膛出口单侧局部结渣。

3) 合适的假想切圆能强化燃烧, 还可以部分起到降低 NO_x 和缓解炉内高温腐蚀的效果, 合理布置吹灰器是燃用结渣煤种的关键技术, 通过吹灰保持受热面清洁, 增加受热面的吸热量, 降低空预器出口烟气温度, 提高锅炉效率。

【参 考 文 献】

- [1] 孙亦鹏, 程亮, 于洋, 等. 神华煤掺烧安全性和经济性试验分析[J]. 电站系统工程, 2013, 29(5): 47-49. SUN Yipeng, CHENG Liang, YU Yang, et al. Experiment analysis of safety and economy in Shenhua coal blending combustion[J]. Power System Engineering, 2013, 29(5): 47-49.
- [2] 燕辰凯. 防止锅炉燃用神华煤结焦的对策[C]//全国火电大机组(600 MW 级)竞赛第 11 届年会论文集(上册). 中国电力企业联合会科技开发服务中心, 2007: 233-236. YAN Chenkai. Countermeasures to prevent boilers coking when burning Shenhua coal[C]//Proceedings of the 11th Annual Conference of the National Thermal Power Unit

- (Grade 600 MW) Competition (Volume 1). China Electricity Council Technology Development Service Center, 2007: 233-236.
- [3] 吴文涛. 220 t/h 锅炉掺烧神华煤防结渣技术改造[J]. 湖北电力, 2007, 31(2): 28-34.
WU Wentao. Technical retrofit of preventing 220 t/h boiler from slagging as blending Shenhua coal[J]. Hubei Electric Power, 2007, 31(2): 28-34.
- [4] 陈怀珍, 顾大钊, 薛宁, 等. 神华煤与其它烟煤掺烧的结渣性研究[J]. 热力发电, 2007, 10(6): 23-26.
CHEN Huaizhen, GU Dazhao, XUE Ning, et al. Study on slagging behavior of Shenhua coal mixedly burning with other bituminous coals[J]. Thermal Power Generation, 2007, 10(6): 23-26.
- [5] 张健, 李兴智. 百万塔式炉机组神华煤掺烧试验研究[J]. 洁净煤技术, 2017, 23(1): 65-68.
ZHANG Jian, LI Xingzhi. Experimental research on Shenhua coal blending combustion in a 1 000 MW boiler units[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(1): 65-68.
- [6] 王品刚, 宋畅, 王月明. 四角切圆锅炉燃用神华煤防结渣技术[J]. 热力发电, 2011, 40(2): 38-43.
WANG Pingang, SONG Chang, WANG Yueming. Slagging prevention technology for burning Shenhua coal in tangential firing boilers[J]. Thermal Power Generation, 2011, 40(2): 38-43.
- [7] 杜青泽. 王曲电厂 600 MW 锅炉防结渣燃烧优化研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2017: 5-9.
DU Qingze. The optimization study of anti-slagging combustion in a 600 MW boiler in Wangqu Power Plant[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2017: 5-9.
- [8] 程志强, 姚伟, 刘家利. 神华石炭-侏罗纪煤掺烧的结渣性能[J]. 洁净煤技术, 2007, 5(6): 65-67.
CHENG Zhiqiang, YAO Wei, LIU Jiali. Study on property of Shenhua carboniferous and jurassic period blending combustion[J]. Clean Coal Technology, 2007, 5(6): 65-67.
- [9] 车得福, 庄正宁, 李军, 等. 锅炉[M]. 2 版. 西安: 西安交通大学出版社, 2008: 376-378.
CHE Defu, ZHUANG Zhengning, LI Jun, et al. Boiler[M]. 2nd ed. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2008: 376-378.
- [10] 杨忠灿, 姚伟. 电厂锅炉变煤种掺烧问题研究[J]. 中国电力, 2010, 43(11): 42-45.
YANG Zhongcan, YAO Wei. Study on burning blending coals in coal-fired boilers of power plants[J]. Electric Power, 2010, 43(11): 42-45.
- [11] 王祥薇, 张红飞, 宋振梁. 1 150 t/h 锅炉掺烧褐煤的性能试验研究[J]. 动力工程, 2009, 29(12): 1088-1092.
WANG Xiangwei, ZHANG Hongfei, SONG Zhenliang. Experimental research on performance of lignite blended combustion in a 1 150 t/h boiler[J]. Journal of Power Engineering, 2009, 29(12): 1088-1092.
- [12] 张莉, 牛浩, 葛帅. 1 000 MW 塔式锅炉燃烧结渣定量评价的数值研究[J]. 动力工程学报, 2020, 40(1): 1-7.
ZHANG Li, NIU Hao, GE Shuai. Quantitative evaluation of the slagging in a 1 000 MW tower boiler formed during combustion process[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2020, 40(1): 1-7.
- [13] 毛晓飞, 江卫国, 万中平, 等. 330 MW 贫煤锅炉结焦原因分析及治理[J]. 电站系统工程, 2016, 32(7): 16-20.
MAO Xiaofei, JIANG Weiguo, WAN Zhongping, et al. Reason analysis and treatment measures of slagging on a 330 MW meager coal boiler[J]. Power System Engineering, 2016, 32(7): 16-20.
- [14] 张善军, 穆林, 尹洪超. 锅炉结渣过程研究与结渣数值模拟[J]. 节能技术, 2010, 28(3): 262-266.
ZHANG Shanjun, MU Lin, YIN Hongchao. Research on deposits formation in boilers and simulation on ash deposits[J]. Energy Conservation Technology, 2010, 28(3): 262-266.
- [15] 段耀辉. 2 080 t/h 四角切圆燃烧锅炉的数值模拟[D]. 太原: 太原理工大学, 2017: 7-13.
DUAN Yaohui. Numerical simulation on a 2 008 t/h tangentially fired pulverized-coal boiler[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2017: 7-13.
- [16] 赵明, 黄凯, 杨茉. 超超临界锅炉燃烧模拟及减小热偏差方法[J]. 燃烧科学与技术, 2015, 21(4): 324-332.
ZHAO Ming, HUANG Kai, YANG Mo. Numerical simulation of combustion in a(n) ultra supercritical boiler and method for reducing thermal deviation[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2015, 21(4): 324-332.

(责任编辑 马昕红)

广告目次

《热力发电》.....	封三
珠海优特电力科技股份有限公司.....	后彩插 1
上海冠龙阀门机械有限公司.....	后彩插 2
南京苏夏工程设计有限公司.....	后彩插 3
双盾环境科技有限公司.....	后彩插 4-5
西安热工研究院有限公司.....	后彩插 6-10
《热力发电》征订广告.....	后彩插 11
广州科宝水处理科技有限公司.....	后彩插 12
江苏中圣管道工程技术有限公司.....	后彩插 13
马鞍山天工科技股份有限公司.....	后彩插 14
凡特科技有限公司.....	后彩插 15
河南水云踪智控科技有限公司.....	后彩插 16