

DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.18223

330 MW 循环流化床锅炉燃烧调整试验研究

孙献斌¹, 戚峰², 辛以振², 袁文杰³, 高永翔², 郝如平², 曹林涛¹, 郭安¹

(1. 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 北京市 昌平区 102209;

2. 内蒙古京海煤矸石发电有限责任公司, 内蒙古自治区 乌海市 016000;

3. 江西宜春京煤热电有限责任公司, 江西省 宜春市 336000)

Test Study on Combustion Adjustment of 330 MW Circulating Fluidized Bed Boiler

SUN Xianbin¹, QI Feng², XIN Yizhen², YUAN Wenjie³, GAO Yongxiang²,
HAO Ruping², CAO Lintao¹, GUO An¹

(1. Huaneng Clean Energy Research Institute Co., Ltd., Changping District, Beijing 102209, China;

2. Neimenggu Jinghai Coal Gangue Power Generation Co., Ltd., Wuhai 016000, Inner Mongolia Autonomous Region, China;

3. Jiangxi Yichun Jingmei Thermal Power Co., Ltd., Yichun 336000, Jiangxi Province, China)

摘要:为解决某 330 MW 循环流化床(circulating fluidized bed, CFB)锅炉运行床温分布不均匀、炉内受热面磨损爆管等问题,进行了锅炉的燃烧优化调整试验。结果表明,通过优化一次风量、总风量及风室压力等关键运行参数,确定了最佳运行工况及参数,降低了锅炉灰渣平均可燃物含量,使锅炉热效率提高 0.85%。燃烧优化调整试验还使一、二次风机总功率降低了 0.8 MW,厂用电率相应降低了 0.24%,锅炉的运行安全性和经济性由此得到进一步提高。

关键词:循环流化床锅炉;燃烧调整;灰渣平均可燃物;锅炉热效率

ABSTRACT: A circulating fluidized bed (CFB) boiler of the 330 MW unit have problems such as nonuniform bed temperature, heating surface wear, tube burst and so on. Combustion optimizing adjustment test was carried out to solve these problems. Adjustment test result show that through key operation parameters such as optimizing primary air flow, total air flow and wind-box pressure, the best operation condition and parameters are determined, average carbon content in bottom ash and fly ash is reduced, boiler thermal efficiency is increased by 0.85%. Total power of primary air fan and secondary air fan is reduced by 0.8MW, auxiliary power rate also is decreased by 0.24%. Operational safety and economy of the boiler has been further improved.

KEY WORDS: circulating fluidized bed boiler; combustion adjustment; average carbon content in bottom ash and fly ash; boiler thermal efficiency

0 引言

循环流化床(circulating fluidized bed, CFB)锅炉可燃烧劣质煤,且调峰性能比煤粉炉好,污染物原始排放低,近年来得到快速发展。但是目前国内多数火电厂存在着煤质偏离设计煤种,导致运行参数不合理的问题。因此,有必要对锅炉进行燃烧优化调整,提高锅炉运行的经济性。

国内学者对锅炉的燃烧调整进行了大量的研究。索疆舜等^[1]基于影响因子分析法,发现二次风的穿透力和一、二次风比对锅炉效率的影响程度最大。胡玉等^[2]从多角度分析了影响 CFB 锅炉不完全燃烧损失的主要因素为入炉煤的挥发分、分离器飞灰切割粒径等。洪喜生^[3]通过采用低氧燃烧技术,有效降低了锅炉总风量和烟气流速,在减轻壁面磨损的同时实现了经济运行。钟犁等^[4]通过调节一、二次风配比,使锅炉平均床温降低 20~30 °C,锅炉效率提高至 92.15%。

内蒙古京海煤矸石发电有限责任公司(简称京海电厂)1 号机组采用 DG1177/17.4-II 1 型单汽包、自然循环、亚临界参数的 CFB 锅炉。该锅炉自 2010 年 8 月投入运行以来,主要存在运行床温分布不均匀、风量分配不合理、炉内屏式受热面磨损爆管等问题,给机组的安全稳定及经济运行带来了不利影响。为此,对该台 330 MW 机组的

CFB 锅炉进行了针对性的燃烧优化调整试验, 以确定最佳运行工况和参数, 抑制炉内磨损, 提高运行安全性和经济性。

1 锅炉设备概况

京海电厂 DG1177/17.4-II 1 型 CFB 锅炉为 M 型整体布置, 旋风分离器布置在炉膛和尾部烟道之间, 锅炉结构如图 1 所示。锅炉炉膛为单布风板的膜式水冷壁结构, 炉内布置与前墙垂直的 12 片中温过热屏、6 片高温再热屏及 2 片与后墙垂直的水冷屏。炉膛出口的 3 台汽冷式旋风分离器直径为 8595 mm, 其下部接立管和分叉式回料阀, 回料阀出口通过回料斜管和炉膛下部锥段的后墙水冷壁的回料孔相连接, 由此形成了热循环回路。尾部为汽冷包墙构成的双烟道, 前烟道内布置低温再热器, 后烟道内布置高温过热器和低温过热器。双烟道的下端设有烟气挡板, 用于调节再热汽温。烟气挡板的下部依次布置螺旋鳍片管省煤器和卧式光管空气预热器。过热器系统设有两级喷水减温器, 低温再热器入口设有事故喷水减温器, 两级再热器之间设有微喷水减温器。

锅炉采用前墙给煤方式, 沿炉膛前墙共布置 10 个带有气力播煤装置的给煤管。来自空气预热

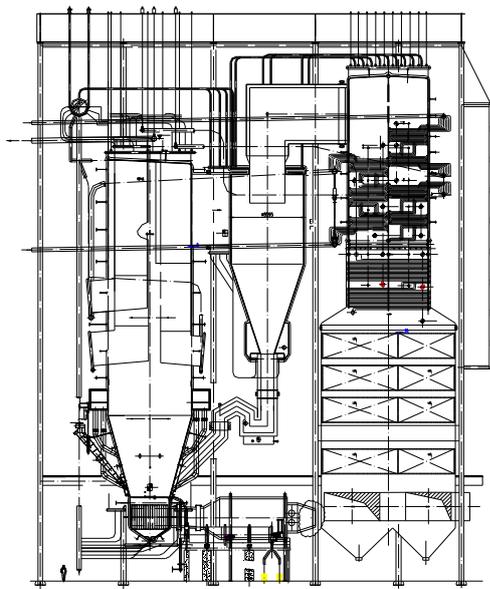


图 1 京海电厂 1177 t/h CFB 锅炉结构
Fig. 1 Structure of 1177 t/h CFB boiler at Jinghai power plant

器出口的一次风流经热风道后从炉膛底部两侧进入水冷壁弯成的风室, 通过布风板流化炉内物料, 并提供燃烧用风。二次风进入布置在炉膛锥段上部的二次风箱内, 并由二次风支管分上、下 2 层送入炉膛锥段, 形成分级燃烧模式。点火用的 2 台床下风道燃烧器分别布置在炉膛两侧的一次风道内, 在炉膛锥段的前后墙上各设置 4 支床上启动燃烧器。锅炉采用后墙排渣的方式, 在后墙与水冷布风板耐火材料上表面平齐的位置开有 6 个侧排渣口, 并分别经排渣管和 6 台滚筒冷渣器相连接。

锅炉设计燃用质量分数 70% 的煤矸石和 30% 洗中煤组成的高灰分的劣质燃料, 其低位发热量为 12.5 MJ/kg。锅炉主要设计参数见表 1, 设计煤种和实际燃用煤种的煤质特性见表 2。

表 1 锅炉设计性能参数

Tab. 1 Design parameters of the boiler

参数	数值
额定蒸发量 $D/(t \cdot h^{-1})$	1177
主蒸汽压力 P_{gr}/MPa	17.4
主蒸汽温度 $t_{gr}/^{\circ}C$	540
再热蒸汽流量 $D_{zr}/(t \cdot h^{-1})$	969.3
再热蒸汽进口压力 P_{zr1}/MPa	4.02
再热蒸汽出口压力 P_{zr2}/MPa	3.84
再热蒸汽进口温度 $t_{zr1}/^{\circ}C$	335.2
再热蒸汽出口温度 $t_{zr2}/^{\circ}C$	540
给水温度 $t_{gs}/^{\circ}C$	282.8
锅炉热效率 $\eta_{gl}/\%$	90
排烟温度 $\theta_{py}/^{\circ}C$	130
一次风温 $t_{rk1}/^{\circ}C$	280
二次风温 $t_{rk2}/^{\circ}C$	280
NO_x 排放值 $C_{NO_x}^0/(mg \cdot m^{-3})$	<200
SO_2 排放值 $C_{SO_2}^0/(mg \cdot m^{-3})$	<400
最低不投油稳燃负荷 BMLR/ $\%$	35

2 燃烧优化调整试验

2.1 一次风量

该锅炉设计一次风量为 $376 \times 10^3 m^3/h$ 。CFB 锅炉的密相区是欠氧燃烧状态, 因此一般初始增加一次风量时, 床温会因密相区燃烧份额的增加而升高^[5-9], 随着风量的增大, 过量的一次风量会起到冷却密相区床料的作用, 并使床温降低。

表2 设计煤种和实际煤种的煤质特性

Tab. 2 Characteristics of design coal and practical coal

参数	设计煤种	燃用煤种
全水分 $M_t/\%$	1.1	2.1
空气干燥基水分 $M_{ad}/\%$	0.84	0.94
收到基灰分 $A_{ar}/\%$	53.51	49.74
低位发热量 $Q_{net,ar}/(MJ \cdot kg^{-1})$	12.50	13.73
收到基碳 $C_{ar}/\%$	33.11	36.84
收到基氢 $H_{ar}/\%$	2.72	2.63
收到基氧 $O_{ar}/\%$	7.68	7.00
收到基氮 $N_{ar}/\%$	0.68	0.54
收到基全硫 $S_{t,ar}/\%$	1.20	1.15
干燥无灰基挥发分 $V_{daf}/\%$	37.57	36.59
变形温度 $T_D/^\circ C$	>1500	>1500
软化温度 $T_S/^\circ C$	>1500	>1500
半球温度 $T_H/^\circ C$	>1500	>1500
流动温度 $T_F/^\circ C$	>1500	>1500

图2是试验得到的床温与一次风量的关系曲线,可以看出,随着一次风量的增大,炉膛密相区床温有所下降,从900℃降至880℃。

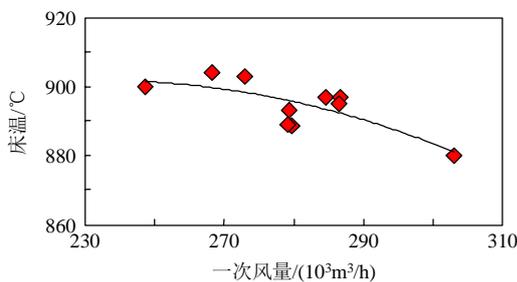


图2 床温与一次风量的关系曲线

Fig. 2 Relation curve between bed temperature and primary air

图3是试验得到的灰渣平均可燃物含量(即飞灰可燃物及底渣可燃物含量的加权平均值)与一次风量的关系曲线,可以看出适当增大一次风量能提高飞灰和底渣的燃尽率,减小灰渣平均可燃物含量。一次风量过大后,较高的流化速度还会加大锅炉炉内受热面磨损,严重的甚至还会导致爆管^[10-14],因此从安全角度考虑,一次风量不宜过大。试验表明,锅炉原一次风量设计值偏高,结合流化速度的计算分析,在控制密相区流化速度不大于4.5 m/s时,推荐330 MW负荷时一次风量为 $280 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$,即一次风率为28%。

按此运行方式,燃烧调整试验后锅炉安全运

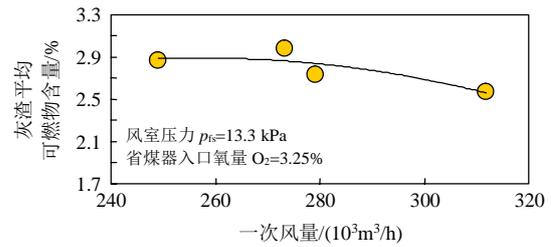


图3 灰渣平均可燃物含量与一次风量的关系曲线

Fig. 3 Relation curve between average carbon content in ash and primary air

行20880 h(29个月)而未再发生炉内受热面磨损爆管现象。这主要是因为燃烧调整适当减小了一次风量,使密相区膨胀高度降低,炉膛水冷壁锥段出口处颗粒浓度减小;同时也使携带至炉膛稀相区的颗粒流量和向下流动的水冷壁边壁流动量减小。上述因素均可减弱炉膛水冷壁锥段和直段交界处的易磨损区受颗粒的冲刷和碰撞磨损,水冷壁的运行可靠性得到提高。

2.2 总风量

运行总风量及一、二次风比例的调整可以有效改善炉内风、煤及灰的混合程度,CFB锅炉风量的调整原则是一次风保证床料的正常流化和调节床温,二次风量调整过量空气系数(含氧量)^[15-18]。在一次风量不变的情况下,改变二次风量,即可调节入炉的总风量。

图4为试验得到的灰渣可燃物含量与锅炉省煤器入口含氧量的关系曲线。由图4可知,灰渣平均可燃物含量随省煤器入口含氧量增大而减小。这主要是因为省煤器入口含氧量体现了过量空气系数的大小,省煤器入口含氧量越大,过量空气越多,锅炉燃烧也就越充分。

图5为总风量与排烟温度的关系曲线,由图

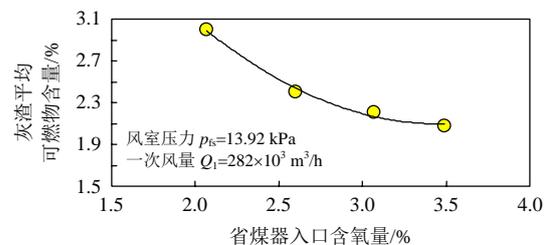


图4 灰渣平均可燃物含量与省煤器入口含氧量的关系曲线

Fig. 4 Relation between average carbon content in ash and oxygen content at inlet of economizer

5 可知, 排烟温度随着总风量的增大而呈非线性升高趋势, 总风量过大会使排烟温度升高, 锅炉的排烟热损失增大, 因此运行中还应控制锅炉总风量不宜过大。330 MW 负荷运行时, 省煤器入口含氧量应控制在 3.0% 左右为佳, 对应的过量空气系数为 1.16。

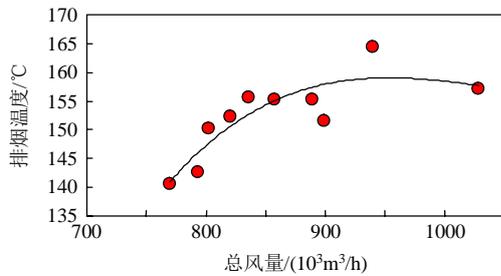


图 5 总风量与排烟温度的关系

Fig. 5 Relation between exhaust gas temperature of boiler and total air

2.3 风室压力

锅炉的风室压力表征了从风室至炉膛出口的炉膛总体压差 Δp_1 的大小, 当一次风量固定(布风板阻力不变)时, Δp_1 即反映了炉内物料浓度的大小, 炉内物料浓度及分布特性对灰渣平均可燃物含量有重要影响^[19-20]。图 6 为灰渣平均可燃物含量与风室压力的关系曲线, 由图 6 可知, 灰渣平均可燃物含量随风室压力的增大而减小。但风室压力升高, 即床层高度和阻力增大, 会使一次风机电耗升高。综合考虑, 该台 CFB 锅炉风室压力控制在 13.5 kPa 为宜。

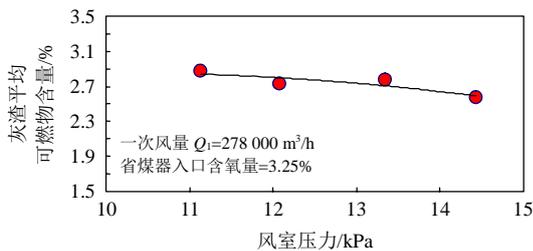


图 6 灰渣平均可燃物含量与风室压力的关系曲线

Fig. 6 Relation curve between average carbon content in ash and wind-box pressure

2.4 锅炉热效率及风机电耗分析

通过燃烧调整, 锅炉的运行参数得到进一步优化, 锅炉的热效率得到提高。表 3 为典型工况锅炉热效率计算结果, 由表 3 可知, 燃烧调整后锅炉热效率提高了 0.85%。

1 号机组负荷 330 MW 时, 燃烧调整前一次风机总电流 385.4 A, 二次风机总电流 501.2 A。燃烧调整后一次风机总电流 374.34 A, 电流下降了 11.06 A, 二次风机总电流 447.53 A, 电流下降了 53.67 A, 一、二次风机总电流降低约 64.73 A。一、二次风机总功率降低了 0.8 MW, 即厂用电率降低了 0.24%。

表 3 典型工况锅炉热效率计算结果
Tab.3 Calculation results of the boiler thermal efficiency for typical operating condition

参数	优化前	优化后
主蒸汽流量 $D/(t \cdot h^{-1})$	978	995
总风量 $Q_t/(10^3 m^3 \cdot h^{-1})$	1028	975
省煤器入口含氧量 $w(O_2)/\%$	2.77	3.08
排烟温度 $\theta_{py}/^\circ C$	157	161
飞灰可燃物含量 $C_{fh}/\%$	4.61	3.21
底渣可燃物含量 $C_{dz}/\%$	0.84	1.37
灰渣平均可燃物含量 $C_{pj}/\%$	2.73	2.29
排烟热损失 $q_2/\%$	5.67	6.09
气体未完全燃烧热损失 $q_3/\%$	0	0.00
固体未完全燃烧热损失 $q_4/\%$	4.03	2.82
散热损失 $q_5/\%$	0.24	0.24
灰渣物理热损失 $q_6/\%$	0.45	0.39
脱硫热损失 $q_7/\%$	0.00	0.00
锅炉热效率 $\eta_{gl}/\%$	89.61	90.46

3 结论

1) 燃烧调整试验结果表明, 通过优化一次风量、总风量及风室压力等关键运行参数, 确定了最佳运行工况及运行参数, 降低了锅炉灰渣平均可燃物含量, 使锅炉热效率提高 0.85%。

2) 燃烧调整试验还使一、二次风机总功率降低 0.8 MW, 厂用电率降低了 0.24%, 并明显减轻了炉内受热面的磨损, 锅炉的运行安全经济性得到了进一步提高, 获得了良好的节能降耗效果。

参考文献

- [1] 索疆舜, 崔志刚, 马素霞. CFB 锅炉飞灰含碳量影响因素分析[J]. 热力发电, 2016, 45(7): 84-92.
- [2] 胡玉, 吴海波. 330 MW CFB 锅炉燃烧调整与经济运行技术研究[J]. 电站系统工程, 2016, 32(5): 23-27.
- [3] 洪喜生. 300 MW 机组循环流化床锅炉低氧量燃烧优化调整试验分析[J]. 内蒙古电力技术, 2016, 34(2):

- 56-58.
- [4] 钟犁, 徐正泉, 曹幸卫, 等. 300 MW 机组循环流化床锅炉燃烧调整的试验研究[J]. 热力发电, 2012, 41(5): 69-76.
- [5] 孙献斌, 黄中. 大型循环流化床锅炉技术与工程应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [6] 张建春, 马素霞, 武卫红. 循环流化床锅炉不同负荷下燃烧份额的分布研究[J]. 太原理工大学学报, 2010, 41(1): 65-68.
- [7] 李德波, 孙超凡, 冯永新, 等. 300MW 循环流化床气固流动及燃烧过程数值模拟研究及工程应用[J]. 广东电力, 2018, 31(7): 56-65.
- [8] 殷术贵, 吴智恒, 张华伟, 等. 循环流化床锅炉燃烧过程仿真研究[J]. 广东电力, 2016, 29(1): 8-10.
- [9] 黄中, 郭钦星, 梁进林, 等. 300 MW CFB 锅炉床温偏差大原因分析及与改造[J]. 热力发电, 2016, 45(11): 68-74.
- [10] 杨勇, 刘海峰, 王海涛, 等. 1177 t/h 循环流化床锅炉燃烧优化调整试验及结果分析[J]. 热力发电, 2012, 41(1): 53-55.
- [11] 曹兴伟, 李明亮. 300 MW CFB 锅炉控制与燃烧调整[J]. 云南电力技术, 2006, 34(10): 28-29, 38.
- [12] 何映光. 300 MW 循环流化床锅炉技术改造分析[J]. 锅炉制造, 2014(1): 21-23.
- [13] 徐勃, 赵海, 高强. 火力发电厂受热面管泄漏原因分析[J]. 发电技术, 2018, 39(6): 537-541.
- [14] 俞旷, 王甲安, 王涛英, 等. 电厂锅炉末级过热器爆管原因分析[J]. 发电技术, 2019, 40(2): 192-195.
- [15] 孙献斌, 于龙, 时正海, 等. 国产 330 MW CFB 锅炉设计研究[J]. 热力发电, 2009, 38(11): 19-22.
- [16] 孙献斌, 石波, 时正海, 等. 国产 330 MW CFB 锅炉调节及变负荷性能[J]. 中国电力, 2013, 46(9): 16-20.
- [17] 孙献斌, 张宗珩, 时正海, 等. 大型 CFB 锅炉节能降耗技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(12): 252-254.
- [18] 金森旺, 刘彬, 惠艳, 等. 300 MW CFB 锅炉提高 SO₂ 超低排放经济性试验研究[J]. 洁净煤技术, 2017, 23(4): 77-83.
- [19] 李楠, 赵鹏勃, 施斌, 等. 330 MW 循环流化床锅炉的燃烧优化试验研究[J]. 洁净煤技术, 2018, 24(3): 85-90.
- [20] 杨海瑞, 肖显斌, 王进伟, 等. 循环流化床锅炉床压降对飞灰含碳量的影响[J]. 电站系统工程, 2005, 21(3): 13-14.

收稿日期: 2018-10-27.

作者简介:



孙献斌

孙献斌(1963), 男, 硕士, 研究员, 研究方向为循环流化床锅炉及清洁煤发电技术, xb_sun@qny.chng.com.cn.

(责任编辑 辛培裕)