

DOI: 10.19666/j.rlfed.202306386

锅炉经济性煤种掺烧技术研究

张大兴¹, 屠竞毅^{2,3}, 杨忠灿^{2,3}, 张喜来^{2,3}, 刘家利^{2,3}, 张欢^{2,3}

(1.国能(惠州)热电有限责任公司, 广东 惠州 516082;

2.西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054;

3.陕西省燃煤电站锅炉环保工程技术研究中心, 陕西 西安 710054)

[摘要] 为降低燃料采购成本, 某电厂拟掺烧石炭 3500 和神混 4500 等低热值的经济性煤种。拟掺烧煤种的煤质特性偏离现燃用煤种, 影响了锅炉运行的安全性、经济性和环保性。本文通过煤质化验分析、试验室试验、理论分析计算、现场制粉系统优化试验、经济煤掺烧试验和运行参数优化试验等方法, 对锅炉经济性煤种掺烧技术进行了系统性研究。研究结果显示: 石炭 3500 可磨度偏低, 磨损特性严重, 与制粉系统及锅炉适应性差, 且掺烧后机组综合供电成本上升; 神混 4500 燃料特性与电厂主力煤种接近, 大比例掺烧时锅炉运行性能良好, 机组综合供电成本下降, 经济效益显著; 电厂可将神混 4500 确定为长期掺烧的经济性煤种。本研究可为有类似掺烧需求的电厂提供借鉴和参考。

[关键词] 锅炉; 经济性煤种; 煤质特性; 掺烧试验; 供电成本

[引用本文格式] 张大兴, 屠竞毅, 杨忠灿, 等. 锅炉经济性煤种掺烧技术研究[J]. 热力发电, 2023, 52(10): 79-85.
ZHANG Daxing, TU Jingyi, YANG Zhongcan, et al. Study on economical coal blending technology for boiler[J]. Thermal Power Generation, 2023, 52(10): 79-85.

Study on economical coal blending technology for boiler

ZHANG Daxing¹, TU Jingyi^{2,3}, YANG Zhongcan^{2,3}, ZHANG Xilai^{2,3}, LIU Jiali^{2,3}, ZHANG Huan^{2,3}

(1.Guoneng (Huizhou) Thermal Power Co., Ltd., Huizhou 516082, China;

2.Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China;

3.Shaanxi Engineering Research Center of Coal Fired Boiler Environmental Protection, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to reduce the cost of fuel procurement, a power plant plans to burn economical coal with low calorific value, such as carbon 3500 and Shenhun 4500. The quality characteristics of the coal to be blended deviate from the coal currently used, which affects the safety, economy and environmental protection of the boiler operation. Through coal quality analysis, laboratory test, theoretical analysis and calculation, on-site pulverizing system optimization test, economic coal blending test and operation parameter optimization test, the technology of economic coal blending combustion of boiler is studied systematically. The research results show that the low grindability and serious wear characteristics of the carbon 3500 lead to its poor adaptability to the pulverizing system and the boiler, and the comprehensive power supply cost of the unit increases after blending combustion. The fuel characteristics of Shenhun 4500 are close to the main coal types of the power plant, the operation performance of large proportion of mixed burning boilers is good, the comprehensive power supply cost of the unit is reduced, and the economic benefits are significant. It is suggested that the power plant can determine Shenhun 4500 as an economic coal for long-term combustion. This study can provide reference for power plants with similar demand for mixed combustion.

Key words: boiler; economical coal; coal quality characteristics; mixed burning test; power supply cost

近年来, 随着煤炭市场形势变化, 煤价持续保持高位, 电厂燃煤采购成本高, 经营压力较大。

某电厂 2×330 MW 机组锅炉是亚临界参数、自然循环、一次中间再热、单炉膛平衡通风、固态排

修回日期: 2023-06-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFC1910000)

Supported by: National Key Research and Development Program (2020YFC1910000)

第一作者简介: 张大兴(1978), 工程师, 主要研究方向为电厂生产管理, 16188251@ceic.com。

渣、露天布置、全钢构架的Ⅱ型汽包炉，锅炉型号为WGZ1100/17.45-3。设计燃用神混煤，煤质数据见表1。

表1 锅炉设计煤煤质数据
Tab.1 Design coal quality data

项目	数值
全水分 $w_{ar}(M)/\%$	19.00
空气干燥基水分 $w_{ad}(M)/\%$	11.08
收到基灰分 $w_{ar}(A)/\%$	8.12
干燥无灰基挥发分 $w_{daf}(V)/\%$	35.27
收到基碳分 $w_{ar}(C)/\%$	58.54
收到基氢分 $w_{ar}(H)/\%$	2.93
收到基氧分 $w_{ar}(O)/\%$	10.01
收到基氮分 $w_{ar}(N)/\%$	0.69
收到基硫分 $w_{ar}(S)/\%$	0.71
哈氏可磨指数 HGI	61
收到基低位发热量 $Q_{net,ar}/(kJ \cdot kg^{-1})$	21 880
灰熔点 $ST/^\circ C$	1 150

实际燃煤结构以神混 5000 为主，掺烧部分石炭 4500、准混 4300 以控制炉内结渣。为降低燃煤采购运输成本，拓宽燃煤采购范围，增加燃煤采购灵活性，电厂拟燃用部分经济煤种。由于拟燃用煤种的煤质特性偏离设计煤，与现燃用煤种偏差亦较大，实际燃用后锅炉运行状态可能会发生较大变化。大量电厂的实际经验表明，在改变入炉煤种后，锅炉运行可能会出现各种各样的问题，如负荷受限^[1]、结渣沾污加重^[2-3]、飞灰含碳量偏高^[4]、排烟温度升高^[5]、汽温偏低^[6]、壁温超限^[7]、 NO_x 生成量偏高^[8]等，锅炉运行的安全性、经济性、环保性面临较大挑战。

本文通过实验室试验、理论分析计算、制粉系统优化试验、经济煤掺烧试验和运行参数优化试验等方法，对锅炉掺烧经济性煤种技术进行了研究，研究成果可以为有类似掺烧需求的电厂提供借鉴和参考。

1 常规化验分析

锅炉实际燃用主力煤神混 5000 及拟掺烧煤种神混 4500 和石炭 3500 的煤质数据见表 2。由表 2 可见，神混 4500 水分、挥发分、硫分、灰熔点均与神混 5000 相当，灰分偏高，热值偏低，燃烧特性应与主力煤相似。从灰熔点看，神混 4500 属易结渣煤种，大比例掺烧时相同负荷下入炉煤量增加，灰渣量增大，炉内结渣可能会增加。石炭 3500 水分低，灰分大，热值显著下降，可磨度明显偏低，灰熔点高。掺烧时可不必考虑结渣问题，但需注意磨煤机出力下降、入炉煤

量显著增大、高负荷无备用磨等不利影响。

表2 主力煤种和经济煤种煤质分析
Tab.2 Coal quality analysis of main coal and economic coal

项目	神混 5000	神混 4500	石炭 3500
全水分 $w_t(M)/\%$	18.80	18.60	6.00
空气干燥基水分 $w_{ad}(M)/\%$	10.47	9.22	2.44
收到基灰分 $w_{ar}(A)/\%$	10.74	18.44	41.93
干燥无灰基挥发分 $w_{daf}(V)/\%$	36.94	36.58	40.25
收到基碳分 $w_{ar}(C)/\%$	56.40	49.89	39.70
收到基氢分 $w_{ar}(H)/\%$	3.39	3.22	2.93
收到基氧分 $w_{ar}(O)/\%$	9.42	8.57	8.38
收到基氮分 $w_{ar}(N)/\%$	0.82	0.81	0.77
收到基全硫 $w_{ar}(St)/\%$	0.43	0.47	0.29
收到基低位发热量 $Q_{net,ar}/(MJ \cdot kg^{-1})$	21.28	19.03	15.03
灰熔点 $ST/^\circ C$	1 150	1 150	>1 500
哈氏可磨指数 HGI	65	63	55

2 煤质特性研究

为考察经济性煤种与锅炉各系统的适应性，本节对各煤种的燃烧特性进行研究。

2.1 着火、燃尽及结渣特性

将煤粉细度 R_{90} 控制在 18%~20%，在一维火焰炉上进行神混 5000、神混 4500 和石炭 3500 的燃尽和结渣试验，在着火炉上进行煤粉气流着火试验，测试 3 种煤的着火温度、燃尽率和结渣指数，其结果如图 1—图 3 所示。

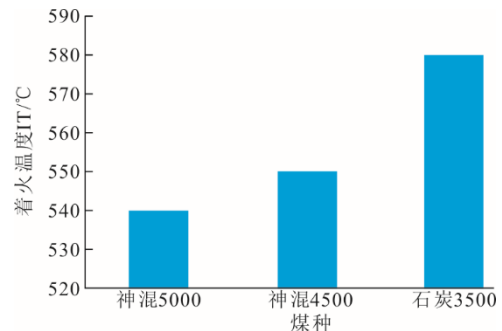


图1 着火温度 IT 测试结果

Fig.1 Ignition temperature test results

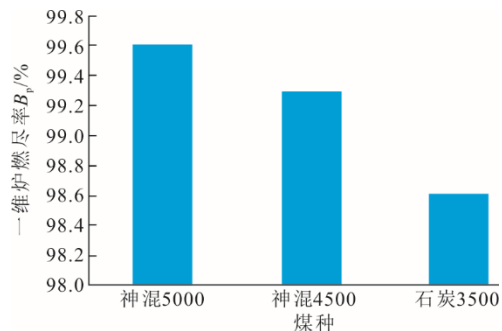


图2 一维炉燃尽率 B_p 测试结果

Fig.2 Burn down rate test results of one-dimensional furnace

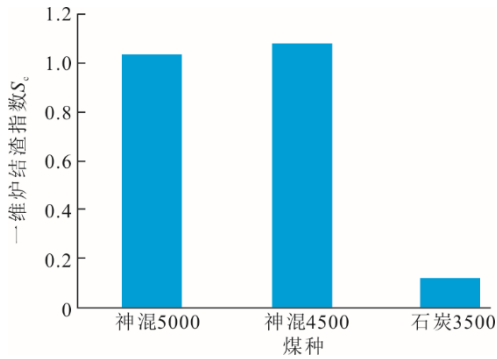


图 3 一维炉结渣指数 S_c 测试结果

Fig.3 Slagging index test results of one-dimensional furnace

根据《煤粉气流着火温度的测定方法》(DL/T 1466—2015) [9]和《煤粉燃烧结渣特性和燃尽率一维火焰炉测试方法》(DL/T 1106—2009) [10], 神混 5000、神混 4500 和石炭 3500 的着火、燃尽、结渣等级见表 3。

表 3 试验煤种着火、燃尽、结渣等级

Tab.3 Ignition, burnout and slagging grade of test coal

煤种	着火等级	燃尽等级	结渣等级
神混 5000	极易	极易	严重
神混 4500	极易	极易	严重
石炭 3500	易	极易	低

2.2 爆炸特性

根据《电站磨煤机及制粉系统选型导则》(DL/T 466—2017) [11], 煤粉的爆炸性按爆炸性指数 K_d 进行分类, 其是考虑燃料活性及燃料惰性综合影响的结果。经计算, 神混 5000、神混 4500 和石炭 3500 的爆炸性指数 K_d 值分别为 2.6、2.1 和 1.2。根据判别标准, 神混 5000 和神混 4500 都属于较易爆炸煤种, 神混 4500 爆炸倾向低于神混 5000; 石炭 3500 为中等爆炸煤种。

2.3 原煤流动性

利用原煤流动性指标表面水分 M_f 可以对各煤种的流动性进行判别 [12], M_f 计算公式为:

$$M_f = 100 \times (M_t - M_{ad}) / (100 - M_{ad}) \quad (1)$$

M_f 对原煤流动性的判别标准为:

- $M_f \leq 8\%$ 输煤正常
- $8\% < M_f \leq 12\%$ 可能出现原煤仓落煤管堵塞
- $M_f > 12\%$ 难以安全运行

经计算, 神混 5000、神混 4500 和石炭 3500 的表面水分分别为 9.3%、10.3% 和 3.6%。神混 5000 和神混 4500 煤表面水分分别为 8.0%~12.0%, 单烧可能出现原煤仓落煤管堵塞, 神混 4500 煤表面水分相对更大, 单烧堵塞落煤管的几率更高。

2.4 沾污特性

利用沾污指数 f 可以对各煤种的沾污特性进行

对比分析 [13], f 的计算公式为:

$$f = B / A \times w_{Na_2O} \quad (2)$$

式中: B/A 为碱酸比。

f 对煤灰沾污性的判别标准为:

- $f \leq 0.2$ 轻微
- $0.2 < f \leq 0.5$ 中等
- $0.5 < f \leq 1.0$ 易
- $f > 1.0$ 严重

经计算, 神混 5000、神混 4500 和石炭 3500 的沾污指数分别为 0.56、0.55 和 0.03。依判别标准, 神混 5000 和神混 4500 属易沾污煤, 且沾污指数相近, 石炭 3500 属轻微沾污煤种。

2.5 磨损特性

利用磨损指数 H_m 对各煤种飞灰的磨损特性进行对比分析 [14], H_m 计算公式为:

$$H_m = A_{ar} \times (w_{SiO_2} + 1.35w_{Al_2O_3} + 0.8w_{Fe_2O_3}) / 100 \quad (3)$$

H_m 对煤灰磨损性的判别标准为:

- $H_m \leq 10$ 轻微
- $10 < H_m \leq 20$ 中等
- $H_m > 20$ 严重

经计算, 神混 5000、神混 4500 和石炭 3500 煤灰的磨损指数分别为 7.1、10.9 和 42.9, 依判别标准, 神混 5000 属轻微磨损煤种, 神混 4500 属中等磨损煤种, 石炭 3500 属严重磨损煤种。

2.6 腐蚀特性

一般而言, 对于大型电站锅炉来说, 煤中硫分大于 1.0%~1.5% 时就需注意采取水冷壁防腐措施, 尤其是在低氮燃烧条件下。本项目掺烧的神混 4500 和石炭 3500 煤硫分均低于 1.0%, 腐蚀倾向应较低。

对于空预器来说, 还应注意低温腐蚀和堵灰。随着硫分升高, 酸露点会升高, 容易引起低温腐蚀。这里利用下述公式对各煤样的酸露点进行对比分析 [15]。

$$t_{id} = t_{sl} + \frac{\beta \sqrt{S_{ar,zs}}}{1.05^{a_{th} A_{ar,zs}}} \quad (4)$$

式中: t_{id} 、 t_{sl} 分别为烟气露点和水露点温度, $^{\circ}C$; $S_{ar,zs}$ 、 $A_{ar,zs}$ 分别为煤的收到基折算硫分和灰分, %; a_{th} 为飞灰占燃料灰分的份额, 对煤粉炉, 取 0.85; β 为考虑炉内过量空气系数影响的系数, 当炉膛出口过量空气系数为 1.20~1.25 时, 取 121。

经计算, 神混 5000、神混 4500 和石炭 3500 的酸露点分别为 $91.5^{\circ}C$ 、 $90.8^{\circ}C$ 和 $75.0^{\circ}C$, 均处于较低水平, 掺烧神混 4500 和石炭 3500 空预器低温腐蚀倾向较轻。

2.7 经济煤掺烧影响因素分析

从前述神混 5000、神混 4500 和石炭 3500 煤质特性和锅炉设备情况来看,影响神混 4500 大比例掺烧的主要因素有 2 方面:1) 表面水分较高,单独入磨煤机可能导致落煤管堵煤;2) 结渣严重。影响石炭 3500 大比例掺烧的主要因素为可磨度较低,单独入磨煤机可能导致磨煤机出力下降、石子煤量增大,另外石炭 3500 磨损指数高,长期燃用可能造成炉内对流受热面严重磨损。

神混 4500 严重结渣、较易爆炸、易沾污 3 种特性与电厂原主力煤种神混 5000 比较接近。鉴于电厂在燃用神混煤时同时还掺烧了部分高灰熔点煤以控制炉内结渣,在防爆方面也具有丰富的经验,因此掺烧神混 4500 时可不必过多关注结渣、沾污、爆炸问题。

3 制粉系统优化调整试验研究

在经济煤种实炉掺烧试验之前,对制粉系统运行参数进行了优化调整,排除一次风速不均、煤粉细度偏大对锅炉运行的不利影响。

3.1 一次风速调平

在磨煤机稳定风量下,对各磨煤机出口粉管风速偏差进行了测量,结果如图 4 所示。由图 4 可见,各磨煤机出口粉管间风速偏差均超过了 $\pm 5\%$ 。一次风速偏差过大会导致炉内流场混乱,风速较大的燃烧器一般携粉量较大,因此热负荷也较高,形成局部高温区,加剧燃烧器区域结渣,且一次风管磨损严重;风速较小的燃烧器一次风流速较低,燃用高挥发分煤种喷口容易结焦和烧损,且一次风管容易积粉堵塞。在燃用易结渣煤种时,调平一次风速对控制炉膛结渣至关重要。

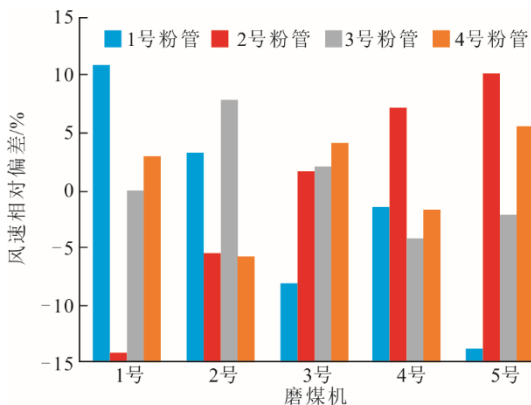


图 4 磨煤机粉管风速偏差
Fig.4 Wind speed deviation at pulverizer outlet

通过调整可调缩孔,将各磨出口粉管风速偏差均控制在 $\pm 5\%$ 之内,满足《电站磨煤机及制粉系统性能试验》(DL/T 467—2019)^[6] 规程要求,调平后各磨出口粉管风速偏差如图 5 所示。

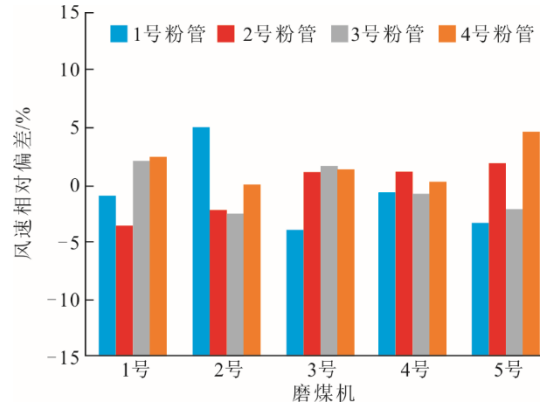


图 5 磨煤机粉管风速偏差调平
Fig.5 Adjustment results of wind speed deviation at pulverizer outlet

3.2 煤粉细度测试

一般而言,较粗的煤粉不但会导致灰渣可燃物偏高,降低燃烧效率,而且还将显著加剧炉内结渣倾向。在掺烧经济煤前,对各台磨煤机煤粉进行了摸底取样,化验煤粉细度 R_{200} 和 R_{90} ,结果如图 6 所示。在常用煤种下,各磨煤粉细度 R_{90} 基本都在 $15\% \sim 20\%$,均匀性指数 n 也都在 1.0 以上;4 号磨煤机煤粉较细,从实际燃烧效果看,并未加剧燃烧器喷口结渣,煤粉细度总体满足燃烧需要。

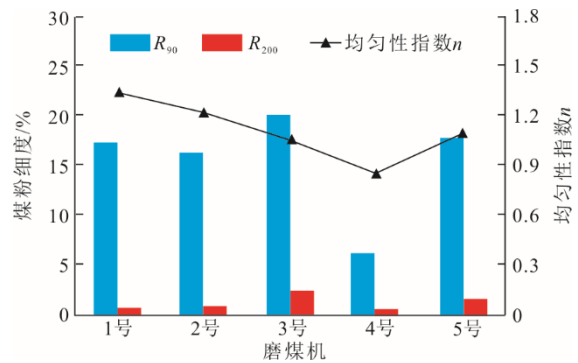


图 6 煤粉细度摸底测试结果
Fig.6 Test results of pulverized coal fineness

4 经济煤实炉掺烧试验研究

4.1 掺烧方式

掺烧试验采用分磨掺烧模式,分别进行了掺 1 台磨煤机/神混 4500、掺 2 台磨煤机/神混 4500、掺 3 台磨煤机/神混 4500 和掺 1 台磨煤机/石炭 3500 的锅炉性能测试,并与不掺经济煤时进行对比。

4.2 制粉系统适应性

掺烧神混 4500 时, 给煤机出现了断煤现象, 这与原煤流动性分析结果相吻合。通过及时振打原煤仓, 下煤恢复正常, 短暂断煤未对锅炉正常运行产生影响。后期电厂可通过原煤仓防堵改造解决堵塞问题。在掺烧神混 4500 时对磨煤机煤粉细度进行了校核, 各磨煤粉细度仍在合格水平, 显示制粉系统习惯运行参数与磨制神混 4500 煤是基本匹配的。

掺烧石炭 3500 时, 在磨制石炭 3500 的磨煤机出力下降的情况下磨煤机电流反而升高, 石子煤排放频次从 2 h 以上缩短至 10 min 左右, 变化情况如图 7 所示。在磨煤机出力下降 55% 的情况下, 排放频次仍在 30 min 左右。掺烧石炭 3500 需要起 5 台磨煤机运行才能满足机组正常带负荷要求, 无备用磨煤机导致制粉系统运行经济性、灵活性及安全性

较差, 长期看, 还会导致对流受热面严重磨损。

4.3 锅炉运行性能

掺烧不同比例经济煤种锅炉运行主要运行性能参数见表 4。

有表 4 可见: 掺烧神混 4500 后锅炉效率均高于掺烧前, 随掺烧比例上升, 锅炉效率有下降趋势; 掺烧少量石炭 3500 后锅炉效率略微降低。汽水侧, 在掺烧试验范围内, 锅炉主、再热汽温都能达到设计值, 过热器减温水量和再热器减温水量均没有明显增加, 没有受热面管壁超温现象。环保排放方面, 掺烧神混 4500 后 NO_x 生成浓度变化不大; 掺烧石炭 3500 后 NO_x 生成浓度明显升高, 这与运行 5 台磨煤机、还原区距离减小有一定关系。 SO_2 和烟尘浓度主要受燃料中硫含量及灰分影响, 掺烧试验中二者均在正常范围波动。

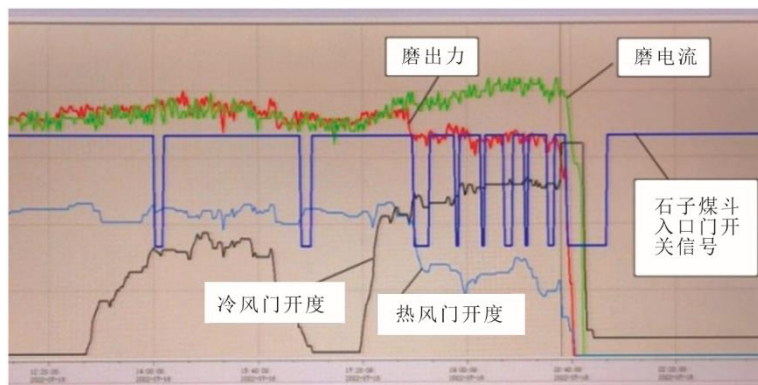


图 7 磨制石炭 3500 磨煤机电流及石子煤排放变化

Fig.7 Change of pulverizer current and pebble coal emission during charcoal 3500 milling

表 4 掺烧不同比例经济煤种锅炉主要运行性能参数

Tab.4 Main operating performance parameters of boilers burning economic coal

掺烧方式	不掺经济煤	掺 1 台磨煤机/ 神混 4500	掺 2 台磨煤机/ 神混 4500	掺 3 台磨煤机/ 神混 4500	掺 1 台磨煤机/ 石炭 3500
掺烧比例	对比基准	25%神混 4500	50%神混 4500	77%神混 4500	11%石炭 3500
停运磨煤机	5 号磨煤机	3 号磨煤机	3 号磨煤机	3 号磨煤机	
主蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	929	905	927	909	901
修正后锅炉效率/%	93.87	94.16	93.93	93.89	93.84
过热器一减流量/(t·h ⁻¹)	0.1/5.4	0.4/2.4	1.6/2.8	0/7.4	2.0/3.6
过热器二减流量/(t·h ⁻¹)	6.1/11.7	6.0/6.4	11.8/6.9	9.7/6.0	5.2/0.5
主蒸汽温度/°C	542	542	542	542	540
再热减温水流量/(t·h ⁻¹)	1.1/2.0	0.5/1.5	3.8/4.3	0.7/1.7	0.1/2.2
再热蒸汽温度/°C	540	540	542	540	538
SCR 入口 NO_x 质量浓度/(mg·m ⁻³) ^①	127	135	131	138	165
原烟气 SO_2 质量浓度/(mg·m ⁻³)	953	970	905	943	846
除尘后烟气烟尘质量浓度/(mg·m ⁻³)	37	38	39	40	36

注: ①标准状态, 下同。

掺烧试验中, 炉膛温度测试结果如图 8 所示。由图 8 可见, 掺烧热值相对较低的神混 4500 和石

炭 3500 后, 炉膛整体温度及峰值温度均下降, 燃烧器区降低幅度更明显。神华煤结渣性强, 炉温降低

对减轻炉膛结渣是有利的。另外,屏底烟温都在 1 000 ℃左右,低于神华煤灰熔点,屏上结渣较轻。

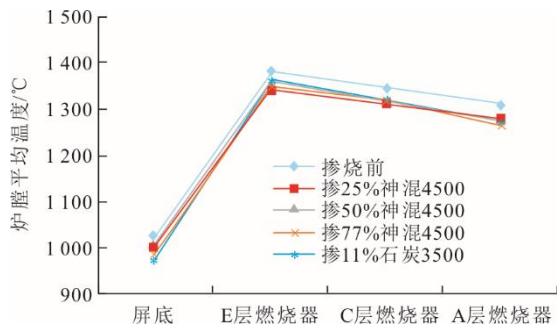


图 8 炉膛温度对比

Fig.8 Comparison of furnace temperature

4.4 掺烧经济性评价

综合考虑锅炉效率、煤炭价格、环保排放成本

等因素的共同影响,神混 4500 和石炭 3500 掺烧的经济性对比结果见表 5。计算中石炭 3500、神混 4500、神混 5000 的原煤到厂价分别取 800、928、1 051 元/t。掺烧神混 4500 后,综合供电煤耗相比掺烧前均有不同程度下降,综合供电成本随神混 4500 掺烧比例的提高而逐渐降低。掺烧石炭 3500 煤后,综合供电煤耗及综合供电成本相比掺烧前上升。按全厂年上网电量 34 亿 kW·h 计算,掺烧 25% 神混 4500、50% 神混 4500、77% 神混 4500 相比掺烧前供电+环保综合节省费用分别为 1 763、2 181、2 702 万元,掺烧 11% 石炭 3500 相比掺烧前供电+环保综合费用上升 894 万元。可见,掺烧神混 4500 可以明显降低电厂生产成本,掺烧石炭 3500 则会进一步抬高电厂生产成本。

表 5 掺烧经济性计算

Tab.5 Economic calculation of blending combustion

经济性参数	掺烧前	掺烧 25% 神混 4500	掺烧 50% 神混 4500	掺烧 77% 神混 4500	掺烧 11% 石炭 3500
综合供电煤耗(g·(kW·h) ⁻¹)	303.74	302.80	302.65	302.86	304.97
综合供电成本(元·(kW·h) ⁻¹)	0.444 4	0.439 1	0.438 0	0.436 3	0.446 6
供电+环保节省费用合计(亿元·a ⁻¹)		0.176 3	0.218 1	0.270 2	-0.089 4

4.5 锅炉运行参数优化

在掺烧神混 4500 期间,对锅炉运行氧量、配风方式、一次风速、周界风开度等进行了优化调整,使之与长期掺烧神混 4500 相匹配,优化结果见表 6。

表 6 经济煤掺烧推荐运行参数

Tab.6 Recommended operating parameters for economic coal blending

项目	数值	备注
锅炉负荷/(t·h ⁻¹)	900~930	
运行氧量/%	3.2	控制不低于 3.0%
25 上层二次风开度/%	30	
25 磨层周界风开度/%	60	
25 下层二次风开度/%	30	
24 磨层周界风开度/%	60	
24 下层二次风开度/%	30	
23 磨层周界风开度/%	20	停运磨层开度 20%
23 下层二次风开度/%	20	
22 磨层周界风开度/%	60	
22 下层二次风开度/%	30	
21 磨层周界风开度/%	60	
21 下层二次风开度/%	30	
一次风量/(t·h ⁻¹)	245	控制在 240~250 t/h

5 结 论

1) 本文通过煤质化验分析、试验室试验、理论

分析计算、现场制粉系统优化试验、经济煤掺烧试验和运行参数优化试验等方法,对某电厂锅炉经济性煤种掺烧技术进行了全流程、系统性研究。

2) 石炭 3500 与制粉系统适应性较差,掺烧后机组综合供电煤耗上升,从安全、经济、环保各角度看均不适宜掺烧。神混 4500 与锅炉各系统适应性更佳,且掺烧后机组综合供电煤耗下降,在掺烧 77% 比例神混 4500 时,供电及环保成本可比目前节省约 2 700 万元。电厂可将神混 4500 作为主力经济煤种燃用。

3) 通过本次经济煤掺烧技术研究,可以为电厂积累低热值煤掺烧经验,为适应更严峻的煤炭市场形势打下基础。

[参 考 文 献]

- [1] 汪中宏,孔国振. 电厂锅炉低质煤掺烧可行性分析[J]. 中国电机(技术版), 2011(11): 46-49.
WANG Zhonghong, KONG Guozhen. Feasibility analysis on the low-quality coal combustion of power plant boilers[J]. China Electric Power (Technology Edition), 2011(11): 46-49.
- [2] 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 tower

- type boiler unit[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(1): 65-68.
- [3] 徐福海. 三河电厂 350 MW 锅炉改烧神华煤的研究与实施[D]. 保定: 华北电力大学, 2007: 1.
XU Fuhai. The practice and research of burning off-design coal of Shenhua in 350 MW boiler of sanhe power plant[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2007: 1.
- [4] 杨俊峰, 郭洋洲, 王福刚, 等. 煤粉锅炉掺烧低热值煤试验研究[J]. 锅炉制造, 2022(5): 16-19.
YANG Junfeng, GUO Yangzhou, WANG Fugang, et al. Experimental study on the performance of pulverized coal boiler during the fuel blended with low calorific value coal[J]. Boiler Manufacturing, 2022(5): 16-19.
- [5] 赵坤. 1 175 t/h 锅炉排烟温度高原因及对策[J]. 东北电力技术, 2007(2): 38-40.
ZHAO Kun. Cause and countermeasures for high exit flue gas temperature of 1 175 t/h boiler[J]. Northeast Electric Power Technology, 2007(2): 38-40.
- [6] 王兴, 齐保新, 马庆中, 等. 某 2 030 t/h 超临界锅炉再热汽温偏低原因分析及改造措施[J]. 电站系统工程, 2020, 36(4): 47-49.
WANG Xing, QI Baoxin, MA Qingzhong, et al. Cause analysis and modification measures for low reheat steam temperature in 2 030 t/h supercritical boiler[J]. Power System Engineering, 2020, 36(4): 47-49.
- [7] 杨晓华. 掺烧非设计煤种对锅炉安全经济运行的影响[J]. 电力安全技术, 2022, 24(9): 12-15.
YANG Xiaohua. Influence of mixed combustion of non-design coal on safe and economic operation of boilers[J]. Electric Safety Technology, 2022, 24(9): 12-15.
- [8] 武生. 600 MW 烟煤锅炉掺烧褐煤试验研究[J]. 山东电力技术, 2021, 48(4): 65-67.
WU Sheng. Experimental research on mixed burning of lignite in 600 MW bituminous coal boiler[J]. Shandong Electric Power, 2021, 48(4): 65-67.
- [9] 煤粉气流着火温度的测定方法: DL/T 1446—2015[S]. 北京: 中国电力出版社, 2015: 2.
Measurement of ignition temperature of pulverized coal-air flow: DL/T 1446—2015[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2015: 2.
- [10] 煤粉燃烧结渣特性和燃尽率—维火焰炉测试方法: DL/T 1106—2009[S]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 5.
Test methods for pulverized coal combustion slagging characteristics and burnout rate on one-dimensional flame furnace: DL/T 1106—2009[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2009: 5.
- [11] 电站磨煤机及制粉系统选型导则: DL/T 466—2017[S]. 北京: 中国电力出版社, 2017: 7.
Guide for type selection for pulverizers and pulverizing systems of power station: DL/T 466—2017[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2017: 7.
- [12] 赵玉国. 国华台山电厂 600 MW 锅炉混煤掺烧技术研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2016: 1.
ZHAO Yugu. The research on technology of mixed coal combustion for Guohua Taishan power plant 600 MW boiler[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016: 1.
- [13] 乔军强, 李果, 芦海云. 神东矿区烟煤及其混煤的沾污结渣特性[J]. 洁净煤技术, 2021, 27(增刊 2): 278-283.
QIAO Junqiang, LI Guo, LU Haiyun. Coal ash contamination and slagging characteristics of bituminous coals and its blendings from Shendong Mining District[J]. Clean Coal Technology, 2021, 27(Suppl.2): 278-283.
- [14] 苏云勇. 四角切圆炉燃烧无烟煤技术在纳雍电厂 300 MW 机组上的应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004: 1.
SU Yunyong. Investigation of the tangential firing anthracite boiler for Nayong power plant[D]. Chongqing: Chongqing University, 2004: 1.
- [15] 刘秀如, 李佩佩, 王先鹏, 等. 锅炉烟气酸露点研究现状及展望[J]. 华电技术, 2020, 42(9): 45-55.
LIU Xiuru, LI Peipei, WANG Xianpeng, et al. Review and prospect of researches on boilers' flue gas acid dew point[J]. Huadian Technology, 2020, 42(9): 45-55.
- [16] 电站磨煤机及制粉系统性能试验: DL/T 467—2019[S]. 北京: 中国电力出版社, 2019: 20.
Performance test for pulverizers and pulverizing systems of power station: DL/T 467—2019[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2019: 20.

(责任编辑 邓玲惠)