

W 型火焰锅炉 无烟煤掺烧烟煤试验研究

柳宏刚, 余园元

西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710032

[摘 要] 在广西某电厂 W 型火焰锅炉进行越南无烟煤与山西大友烟煤掺烧试验, 掺烧方式采用炉前掺烧和分仓掺烧, 掺烧时采用烟煤比例逐步递增方式。通过比较不同掺烧方式和掺烧比例下炉膛结焦情况、灰渣可燃物含量、火焰温度水平以及制粉系统安全性的变化趋势, 确定越南无烟煤与山西大友烟煤最大掺烧比例为 4:6, 推荐采用炉前掺烧方式

[关 键 词] W 型火焰锅炉; 无烟煤; 烟煤; 掺烧; 结焦

[中图分类号] TK16 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1002-3364(2013)01-0036-05

[DOI 编号] 10.3969/j.issn.1002-3364.2013.01.036

Experimental study on co-firing of anthracite and bituminous coal in a W-flame boiler

LIU Honggang, SHE Yuanyuan

Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., China Huaneng Group, Xi'an 710032, Shaanxi Province, China

Abstract: Experiment on co-firing of Vietnamese anthracite and Shanxi bituminous coal in a W-flame boiler was conducted, by pre-mix and late-mix ways. During combustion, the proportion of bituminous coal was gradually increased. The variation trends of slagging situation, combustibile ash content, flame temperature and pulverizing system safety with different co-firing ways and mixed ratios were compared. The results showed that, the best anthracite/bituminous mass ratio was 4:6, and the pre-mix way was suggested.

Key words: W-flame boiler; mixed ways; co-firing proportion; slag

目前,国内关于无烟煤掺烧烟煤的研究多停留在实验室阶段^[1-3],而在现役 W 型火焰锅炉上掺烧高挥发分烟煤的研究尚无先例,仅有的研究多在四角切圆燃烧锅炉上进行^[4]。如沈跃良等在 1 025 t/h 四角切圆燃烧锅炉上进行了越南宏基无烟煤与烟煤混煤试验,但其重点分析混煤燃烧后的飞灰特征^[5]。

W 型火焰锅炉火焰组织方式、炉型结构等均与四角切圆燃烧锅炉差别较大。越南无烟煤属于极难着火和燃尽的煤种,山西大友烟煤则正好相反^[6]。本研究是在 W 型火焰锅炉进行上述 2 种煤的掺烧试验,着重分析并确定不同掺烧方式和掺烧比例下

炉膛结焦情况、灰渣可燃物含量、火焰温度水平以及制粉系统安全性的变化趋势,以评估现有 W 型火焰锅炉烟煤的最佳掺烧方式及比例,为了提高电厂锅炉煤种适应性和节约发电成本提供依据。

1 设备概况

广西某电厂一期 2 × 300 MW 机组采用 B&WB-1025/17.4-M 型、单汽包、单炉膛、一次中间再热、尾部双烟道、挡板调温、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢悬吊结构、W 型火焰燃烧方式、亚临界自然循环煤粉炉,锅炉配备正压直吹式制粉系统,

采用 4 台 BBD4060 型双进双出钢球磨煤机。设计煤种为山西晋城无烟煤,校核煤种为越南无烟煤。

设计煤质与掺烧试验用煤质分析结果见表 1。

表 1 设计煤质与掺烧试验用煤质分析结果

Table 1 Properties of coals used in experiment and design coal for the boiler

项目	设计煤种	越南无烟煤	山西大友烟煤	混煤(越:山=4:6)
收到基碳 $C_{ar}/\%$	68.5	56.22	63.3	60.28
收到基氢 $H_{ar}/\%$	2.4	2.38	4.06	3.32
收到基氧 $O_{ar}/\%$	3.03	2.62	4.47	4.01
收到基硫 $S_{ar}/\%$	0.45	0.33	0.67	0.62
收到基全水分 $M_{ar}/\%$	7.45±3	5.3	8.8	7.4
空气干燥基水分 $M_{ad}/\%$	2.8	0.66	0.9	0.91
收到基灰分 $A_{ar}/\%$	17.2	32.37	17.6	23.42
干燥无灰基挥发分 $V_{daf}/\%$	7.02	10.4	25.49	20.15
收到基低位发热量 $Q_{net, par}/kJ \cdot kg^{-1}$	25 200	20 920	24 100	23 590

2 试验方案

本次掺烧试验采用炉前掺烧和分仓掺烧 2 种方式^[7-8],针对每一掺烧方式和比例分别在 300、230、200 MW 3 个负荷下进行试验。试验时逐步增大山西大友烟煤的掺烧比例,记录炉膛结焦、炉内火焰温度、燃烧器与受热面壁温、主/再热蒸汽温度、制粉系统安全性以及燃烧稳定性等安全指标参数,同时兼顾渣量变化等情况,确定最佳掺烧方式和比例。

试验期间使用德国产 3I2ML31 型高温仪测量炉膛 12.6~44.4 m 标高间火焰温度,同时监测炉膛结焦和渣量变化、主/再热蒸汽温度和减温水等参数取自机组 DCS。

3 试验结果

3.1 常规试验

常规试验作为后续试验的比较基准和依据,燃用煤种为混煤,越南无烟煤与山西大友烟煤质量比为 8:2。

试验中炉拱下 1.5 m 处出现结焦,质地较硬,厚度约 100~150 mm,产生于 200~240 MW 负荷区间内,当负荷升至 300 MW 时,结焦程度有所减轻。各负荷下炉膛横截面上炉膛热负荷分布较为均匀,火焰中心出现在锅炉 17.2~22.8 m 标高层之间,与严重结焦区域重合,且该层火焰温度均高于 1 500 °C,其中 230 MW 负荷下最高达到 1 563 °C。为了便于无烟煤着火和燃尽,拱下 1.5~5 m 区间内布置有面积约 600 m² 的卫燃带,可见炉膛火焰温度以及粗糙的卫燃带表面是炉膛结焦的直接原因。

3.2 炉前掺烧方式试验

3.2.1 越南无烟煤与山西大友烟煤掺比 6:4

该配比混煤燃烧时 300 MW 负荷下炉膛拱下 1.5 m 左右侧墙结焦相对严重,厚度约 200 mm,而 200 MW 和 230 MW 负荷时结焦得以减轻,炉拱下 5 m 有黏胶状焦层。由低至高 3 种负荷下火焰中心温度分别为 1 460、1 507、1 515 °C,可见炉膛结焦与火焰温度有着密不可分的关系,炉膛火焰温度越高,结焦越严重^[9]。此外,炉膛温度影响着煤粉燃尽,3 种负荷下大渣可燃物含量分别为 11.88%、9%、5.88%,飞灰可燃物含量分别为 11.41%、9.73%、9.12%,可见负荷提高后,较高的炉内温度水平更利于煤粉燃尽。

燃烧器壁温在 200 MW 试验中升高约 15 °C,长期观测发现其呈现“升高—降低—升高”动态转化过程,但燃烧器壁温总体维持在 600 °C 以下,机组可安全、稳定运行。

3.2.2 越南无烟煤与山西大友烟煤掺比 5:5

试验中炉膛结焦厚度约 200~240 mm,结焦位置依然为锅炉炉拱下 1.5 m 右侧墙中部,随时间延长焦层厚度无增长趋势。3 种负荷下该层横截面炉膛火焰温度平均值分别为 1 491、1 506、1 513 °C,随负荷增长火焰中心温度呈递增趋势,焦层逐渐软化和流动,进而脱落。此外,300 MW 试验中,炉膛掉焦导致捞渣机中出现直径约 150 mm 渣块,但并未影响捞渣机和碎渣机正常工作。可见炉膛内结焦可通过升降负荷部分去除。

在 230 MW 负荷试验中,A1 燃烧器壁温上升 30 °C,B2 燃烧器壁温上升 10 °C,但所有燃烧器壁

温均维持在 600 ℃ 以下。

3.2.3 越南无烟煤与山西大友烟煤掺比 4:6

结焦部位未发生变化,产生于 200~240 MW 负荷区间内,相比前述试验,该配比混煤试验结焦最为严重,厚度约 300 mm,且面积有所扩大。负荷升至 300 MW 时炉内掉焦量较大,捞渣机内出现直径约 200 mm 渣块,内附熔融状黑色物质,经分析大渣可燃物含量为 7.38%,较常规试验可燃物含量降低约 8.52%,可见渣块内附黑色物质以杂质居多。

3.2.4 试验结果分析

300 MW 常规试验和炉前掺烧试验炉膛纵向火焰温度分布见图 1。由图 1 可见,炉膛火焰中心均出现在炉膛 20 m 标高处,以 5:5 配煤比例下火焰中心温度最高(1 525 ℃),以 4:6 配煤比例下火焰中心温度最低(1 508 ℃),表明火焰中心温度波动较小。然而,在 12.6~20 m 标高的火焰中心区内,4:6 混煤比例下火焰温度明显高于前三者,12.6 m 标高层温差最大,约 250 ℃,温差缘于山西大友烟煤较好的着火和燃尽特性。

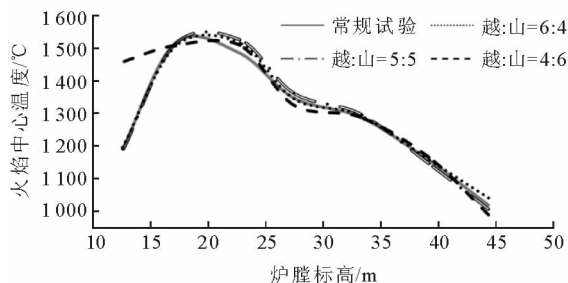


图 1 300 MW 常规试验与炉前掺烧试验炉膛纵向火焰温度分布

Fig. 1 Flame temperature distribution in furnace longitudinal section for conventional tests and pre-mixed co-combustion experiments

试验煤种热重分析燃烧分布曲线及热重分析结果分别见图 2、表 2。可以看出,相比越南无烟煤或山西大友烟煤,4:6 混煤比例下最高反应速度降低约 1.2%/min,但混煤开始反应温度相对越南无烟煤降低约 79 ℃,着火特性为“极易”;随着烟煤比例不断提高,着火距离相对常规试验时大为缩短,煤粉从燃烧器喷出后短时间内充分燃烧而释放热量,因此 4:6 混煤比例下炉膛热负荷基本集中在炉膛下部。

即使 4:6 混煤掺烧试验中炉膛火焰中心温度最低,但已超过山西大友烟煤灰分的熔融温度,飞灰发生融化与再结合的概率大为提高,随烟煤比例提

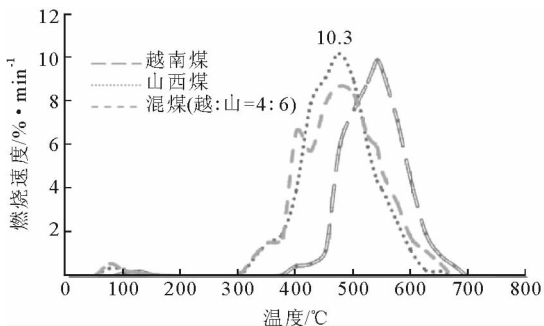


图 2 热重分析燃烧分布曲线(空气气氛)
Fig. 2 TGA combustion curves (in air atmosphere)

表 2 试验煤种热重分析结果

Table 2 TGA results of the coals

项目	越南无烟煤	山西大友烟煤 (越:山=4:6)	混煤 (越:山=4:6)
反应开始温度/℃	379	300	300
反应结束温度/℃	681	660	664
最高反应速度/%·min ⁻¹	10	10.3	8.8
最高反应速度对应温度/℃	530	490	473
反应指数/℃	378	227	231
燃尽指数	14.968	3.642 2	5.361
着火特性	难	极易	极易
燃尽特性	难	易	易

高,炉膛结焦加剧^[6-7]。此外,300 MW 负荷下 4:6 混煤掺烧试验中炉膛出口烟气温度的均值为 989 ℃,依据广西某电厂 SDICBBW/1008-03-2004《2×300 MW 机组锅炉运行规程》设计煤种下热力计算结果,1 号锅炉 BMCR 工况下炉膛出口烟气温度的 1 018 ℃,表明炉膛内蒸发受热面传热良好,卫燃带局部结焦对炉内辐射传热影响较小。

此外,除 200 MW 试验中 A1 燃烧器外套筒壁温升高至 648 ℃ 以外,其它负荷下均保持在 600 ℃ 以下,将二次风门开度由 63% 调至 68% 后,A1 燃烧器外套筒壁温降至 630 ℃ (运行规程规定上限为 660 ℃)。

针对制粉系统安全性,虽然该配比下混煤干燥无灰基挥发分 V_{daf} 高达 20.15%,近乎设计煤种的 3 倍,经调整,磨煤机出口温度低于 80 ℃ 情况下便可保证制粉系统安全稳定运行。

综上所述,随着混煤中山西大友烟煤比例逐步提高,炉膛局部结焦愈发严重,虽然通过燃烧调整和快速升降负荷可以有效控制结焦,但鉴于个别燃烧器壁温出现温度上升,且较厚的焦层会造成水冷壁腐蚀或形变,因此不进行更大比例烟煤掺烧试验。

3.3 分仓掺烧试验

考虑到山西大友烟煤灰熔点较低(软化温度 ST

为1320℃),在靠近两侧墙的B、C磨煤机对应燃烧器燃用越南无烟煤(软化温度 ST 约为1490℃),位于中部的A、D磨煤机对应燃烧器燃用山西大友烟煤。

3.3.1 A、D磨煤机高份额烟煤试验

为防止燃烧器烧损,兼顾越南无烟煤燃尽性,A、D磨煤机磨制越南无烟煤与山西大友烟煤掺比为2:8的混煤,B、C磨煤机磨制掺比为8:2的混煤。同时将A、D磨煤机对应燃烧器调风盘调至165mm,开大内外二次风门。试验在300MW负荷下进行。

试验结果表明:锅炉4层标高右侧墙前部和中部出现结焦,厚度约为300mm,左侧墙结焦轻微,锅炉3层半标高有厚度约为250mm的胶粘状焦层。

表3为A、D磨煤机高份额烟煤试验与常规试验纵向炉膛温度均值对比。由表3可见,同为300MW机组负荷下,前者炉膛纵向温度水平整体较低,如燃烧器下1层前者较后者低约190℃,前者纵向温度分布并未呈现出“先增加后缓慢减小”的规律,而在燃烧器上1层与下1层间产生波动,各层间热负荷分布尚不尽合理。

表3 300MW负荷下A、D磨煤机高份额烟煤试验与常规试验纵向炉膛温度均值对比

Table 3 Comparison of furnace average temperature in longitudinal direction for conventional experiment and that using high content bituminous coal ℃

测量位置	A、D磨煤机	常规试验
44.4m标高层	1 028.29	1 018.71
39.2m标高层	1 181.60	1 155.20
33.2m标高层	1 270.00	1 287.75
燃烧器上1层	1 308.25	1 346.00
炉拱下1.5m	1 296.67	1 483.83
炉拱下5.0m	1 428.50	1 516.00
12.6m标高层	1 217.00	1 189.50

此外,同层之间火焰温差较大(图3),虽然同层间左右两侧温差相对较小,但是3层均呈现出后墙温度低于前墙的现象,燃烧器上1层左墙温差约100℃,炉拱下1.5m层左墙温差200℃,右墙温差270℃,而炉拱下5.0m层右墙温差约150℃,表明截面热负荷分布极不均匀,这样将造成汽温偏差乃至水冷壁爆管等问题。试验中火焰充满度和燃烧稳定性较差。

3.3.2 A、D磨煤机纯烟煤试验

A、D磨煤机磨制纯山西大友煤,分别在220MW

1 255	后墙 燃烧器上1层 前墙	1 283
左墙		右墙
1 364		1 331
1 131	后墙 炉拱下1.5m 前墙	936
1 533		1 536
1 338		1 306
1 390	后墙 炉拱下5.0m 前墙	1 384
1 384		1 386
1 491		1 536

图3 分仓掺烧试验A、D混煤试验炉膛横截面温度分布(℃)

Fig. 3 Temperature distribution in furnace cross section (late-mixed coal from A, D pulverizer)

和300MW负荷下进行,试验中依据机组负荷调整风盘和内外二次风门开度。

锅炉炉拱下1.5m标高层右侧墙前部与中部结焦较为严重,厚度约300mm,后部焦层厚约200mm,相比前一试验结焦情况更加严重。与高份额烟煤试验相似的是,本试验中前、后墙间最大火焰温差约300℃(图4),显然炉内截面热负荷分布不均匀,并且炉内火焰充满度和燃烧稳定性均较差,火焰波动较大。分析认为:B、C磨煤机磨制燃煤偏于越南无烟煤,A、D磨煤机磨制山西大友烟煤,依照常规,为利于煤粉着火,B、C磨煤机对应燃烧器出口煤粉浓度必然大于后者,因而导致A、D与B、C磨煤机对应燃烧器出口动量差较大,一定程度上扰乱了炉内空气动力场,导致火焰出现局部偏斜或刷墙。

1 240	后墙 燃烧器上1层 前墙	1 346
左墙		右墙
1 311		1 400
1 464	后墙 锅炉4层 前墙	1 402
1 532		1 533
1 538		1 576
1 405	后墙 锅炉3层半 前墙	1 404
1 423		1 450
1 530		1 532

图4 分仓掺烧试验A、D纯烟煤试验炉膛横截面温度分布(℃)

Fig. 4 Temperature distribution in furnace cross section (late-mixed bituminous coal from A, D pulverizer)

此外,从12.6m平台两侧墙看火孔观察发现有较多未燃尽煤粉颗粒下冲。虽然在严格控制磨煤机出口温度情况下,试验中制粉系统安全得以保证,但制粉系统目前尚无防爆门等设施,长期磨制高挥发分烟煤风险较大,且燃烧调整手段对炉膛结焦、热负荷分配均匀性以及燃烧稳定性影响较小,不利于锅炉长期经济运行。

4 结 论

(1)炉前掺烧试验中,随混煤中山西大友烟煤比例增加,结焦情况愈加严重,结焦成为影响掺烧比例的主要因素,因此越南无烟煤掺烧山西大友烟煤最大比例为4:6。

(2)炉前掺烧试验不同掺烧比例下均可将燃烧器和各级受热面壁温、主/再热蒸汽温度以及减温水量控制在合理范围之内,并且炉内热负荷均匀性和燃烧稳定性均较好。分仓掺烧存在的主要问题是燃烧稳定性差,热负荷分布不均匀,制粉系统爆燃概率较大。针对试验煤种,该W型火焰锅炉掺烧方式确定为炉前掺烧。

(3)通过试验1号锅炉煤种适应性显著提高,可燃烧煤种干燥无灰基挥发分范围由试验前7%~10%扩展到7%~20%,该研究对国内同类型机组掺烧高挥发分烟煤具有指导意义。

[参 考 文 献]

- [1] 张晓杰,李振中.混煤着火过程试验研究[J].电站系统工程,1999,15(6):41-44.
ZHANG Xiaojie,LI Zhenzhong. Experimental study on ignition of coal blends[J]. Power System Engineering, 1999,15(6):41-44.
- [2] 黄伟,熊蔚立.低挥发分无烟煤及其混煤燃烧性能研究[J].湖南电力,2006,26(1):11-14,19.
HUANG Wei,XIONG Weili. Study on combustion characteristics of low-grade anthracite coal and its mixed coal[J]. Hunan Electric Power, 2006, 26(1): 11-14,19.
- [3] 龚柏云,彭敏,熊蔚立,等.西山烟煤与阳泉无烟煤及其混煤的燃烧性能研究[J].热力发电,2003(4):17-20.

- GONG Baiyun, PENG Min, XIONG Weili, et al. A study on combustion performance of Xishan bituminous coal, Yangquan anthracitic coal, and their blended coal[J]. Thermal Power Generation, 2003(4):17-20.
- [4] 应明良,戴成峰,胡伟锋,等.600 MW 机组四角切圆燃烧锅炉掺烧褐煤技术分析[J].热力发电,2010,39(6):34-37.
YING Mingliang, DAI Chengfeng, HU Weifeng, et al. Analysis of mixedly burning lightie technology in tangential firing boiler of 600 MW unit[J]. Thermal Power Generation, 2010, 39(6):34-37.
- [5] 沈跃良,苏余宁,廖宏楷,等.1025 t/h 锅炉燃用越南无烟煤和烟煤混煤的燃烧特性的研究[J].动力工程,2007,27(6):885-889.
SHEN Yueliang, SU Yuning, LIAO Hongkai, et al. Study on combustion characteristics of vietnamese anthracite blended with bituminous coal and fired in a 1025 t/h boiler [J]. Journal of Power Engineering, 2007, 27(6):885-889.
- [6] 赵振宁,佟义英,方占岭,等.600 MW 超临界机组掺烧印尼褐煤、越南无烟煤试验研究[J].热能动力工程,2009,24(4):513-518.
ZHAO Zhenning, TONG Yiyi, FANG Zhanling, et al. Experimental study of mixed combustion of indonesia-originated lignite and vietnam-originated anthracite in a 600 MW supercritical unit[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2009, 24(4):513-518.
- [7] 雷小操,杨胜军.锅炉掺烧劣质煤时的分仓配煤方式[J].华电技术,2010,32(3):38-42.
LEI Xiaocao, YANG Shengjun. Coal-feeding from separated bunkers manner for burning low grade coal in boiler[J]. Huadian Technology, 2010, 32(3):38-42.

欢迎直接下载《热力发电》文章

为便于广大读者、作者使用《热力发电》杂志所刊载的论文,提高文献资源的利用率和《热力发电》论文的引用率,经《热力发电》网站的有效工作,即日起,《热力发电》杂志论文全文可进行PDF格式下载,下载步骤为:打开<http://www.rlfed.com.cn>,在导航栏“期刊查询”下“文章总目”中,找到所需要的X年X期X篇文章,点击文章标题后括号内的PDF,按提示即可下载。

欢迎使用,在使用过程中可随时把意见反馈至《热力发电》杂志社。