

某600 MW机组配煤掺烧试验与分析

陈孝武¹, 葛伟², 张军¹

(1. 东南大学能源与环境学院, 江苏南京 210096; 2. 华电电力科学研究院, 浙江杭州 310030)

摘要:为研究掺烧对机组NO_x排放和锅炉效率的影响,对某电厂600 MW超临界机组进行热态试验。分析了煤质特性、煤的组合方式、配风控制对机组NO_x排放和锅炉效率的影响,阐述了不同工况NO_x的排放规律,为电力生产企业优化燃烧过程,降低燃料成本和污染物排放提供依据。

关键词:褐煤; NO_x排放; 锅炉效率; 燃烧调整

中图分类号: TM621.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)01-0068-04

由于设计煤采购困难,越来越多的电厂大量燃用非设计煤种^[1-4]。另一方面,为了降低燃料成本,电厂也经常掺烧一些低成本的劣质煤。由于煤源较杂,煤种多变,电厂缺乏必要的煤质分析手段,因而对煤质特性以及拟掺烧煤与锅炉设备的适应性认识不足,导致在煤质发生较大改变时锅炉在运行过程中出现许多问题,严重影响了锅炉的安全、经济运行。试验电厂地处沿海,随着煤炭供应紧张,电厂来煤趋于多元化,目前常用的煤种主要有神混系列、优混、平混系列、准混系列、印尼煤、褐煤等,燃用煤种偏离设计煤质较多,影响锅炉的安全、经济运行。为了提高掺烧过程的科学性,有必要对锅炉进行掺烧热态试验,以优化掺烧过程,提高掺烧过程机组运行的经济性,降低污染物的排放,从而降低供电成本。为此,通过多工况热态试验,探讨了不同煤质的煤组合、配风等对NO_x的排放浓度及锅炉效率的影响,以指导锅炉燃烧调整。

1 试验方法

1.1 试验设备及试验过程简介

试验在某电厂2号炉上进行,该锅炉为600 MW超临界变压运行螺旋管圈直流炉,单炉膛、一次中间再热,最大连续蒸发量为1913 t/h。锅炉燃烧系统按配中速磨冷一次风直吹式制粉系统设计。24只直流式燃烧器分6层布置于炉膛下部四角,煤粉和空气从四角送入,在炉膛中呈切圆方式燃烧。最上排燃烧器喷口中心标高为34 919 mm,距分隔屏底部20 931 mm。最下排燃烧器喷口中心标高为25 459 mm,在主燃烧器和炉膛出口之间标高44 099 mm处布置有1组分离燃尽风(SOFA)燃烧器喷嘴。主风箱设有6层强化着火煤粉喷嘴,在煤粉喷嘴四周布置燃料风(周界风)。在每相邻2层煤粉喷嘴之间布置1层辅助风喷嘴,其中包括上下2只偏置的辅助风(CFS)喷嘴,1只直吹风喷嘴。主风箱上部设有2层紧凑燃尽风

(CCOFA)喷嘴,下部设有1层火下风(UFA)喷嘴。在主风箱上部布置SOFA燃烧器,包括5层可水平摆动的SOFA喷嘴。

按试验设计的工况调整锅炉的运行,在试验期间保持锅炉稳定运行,在给煤机取样口处采集原煤,按质量比例混合,用样品袋封装送检,待工况稳定持续一段时间后采集飞灰和渣样封装送检。在试验过程中,空预器进出口烟气温度测量采用K型热电偶,精度为I级,通过Fluke数字温度采集仪记录数据,烟气组成采用型号为Testo350XL德图烟气分析仪进行分析;采用红外测温仪Raynger 3i,从观火孔测量不同标高的炉膛温度;部分运行数据从分布式控制系统(DCS)历史工作站中采集。

1.2 试验用煤

电厂设计煤种为神府东胜煤,由于煤炭市场供应量和价格因素的影响,实际电力生产中煤种来源较为庞杂。试验中选用典型的神混煤、褐煤、印尼煤和平混煤等煤种,此4类煤使用量大且来源较稳定,其中褐煤和印尼煤的价格较便宜,神混煤和褐煤均较容易结渣,印尼煤和平混煤的结渣情况较好。典型煤种的试验可以为锅炉燃烧相近煤质煤提供参考。典型煤种试验煤质分析见表1。褐煤收到基水分达到34%,热值较低,氮元素含量与设计煤种和平混煤均较为接近,但硫含量较低,掺入后可以减少总的入炉硫含量。印尼煤的收到基含水量也较大,低位发热量介于设计煤种与褐煤之间,但氮元素、硫含量较高。神混煤和平混煤的煤质与设计煤种较接近,其中神混煤的发热量略低于设计煤种,而平混煤的热容量略高于设计煤种。根据稳燃判别指数^[5],神混煤和平混煤的稳燃性能与设计煤种相近,均为易稳燃,褐煤和印尼煤则属于极易稳燃。

2 试验结果与分析

2.1 不同煤种组合的影响

试验主要考察了满负荷情况下掺烧低品质的褐煤

表 1 典型煤质分析 %

项目	神府东胜煤	褐煤	神混煤	平混煤	印尼煤
收到基水分 Mar	13.00	34.00	16.90	13.90	25.80
工业分析					
收到基灰分 Aar	14.00	2.91	15.70	11.48	5.12
收到基挥发分 Var	25.55	32.40	24.23	26.51	32.87
收到基固定碳 FCar	47.45	30.68	43.17	47.18	36.21
元素分析					
收到基碳 Car	58.04	45.21	53.38	59.11	50.04
收到基氢 Har	3.62	3.59	3.51	3.88	3.86
收到基氮 Nar	0.70	0.71	0.68	0.76	1.11
收到基硫 Sar	0.70	0.26	0.66	0.50	1.03
收到基氧 Oar	9.94	13.31	9.17	10.36	13.04
低位发热量 / (J·g ⁻¹)	21 960	16 380	20 240	22 620	18 940

以及印尼煤对运行的影响。试验过程中机组负荷为 600 MW,控制氧量在 2.6%左右,每台磨(A-F)对应一层燃烧器,燃烧器最下层为 A 层,最上层为 F 层。进行了 3 个工况的试验,工况一燃用神混煤、褐煤、平混煤,三者的质量比为 31:11:10,其中 A、B、C 磨上神混煤,D 磨上褐煤,E 磨上平混煤,F 磨停用;工况二进一步掺烧品质最差的褐煤而停烧品质最好的平混煤,神混煤与褐煤的质量比为 62:38,为此采用 6 磨运行方式,其中 A、C、E、F 磨上神混煤,B、D 磨上褐煤;工况三掺烧煤质处于神混煤和褐煤中间的印尼煤以取代部分神混煤,神混煤、印尼煤、褐煤三者的质量比为 32:30:38,其中 A、F 磨上神混煤,B、D 磨上褐煤,C、E 磨上印尼煤。不同煤组合下的试验结果如表 2 所示。

表 2 不同煤组合下的试验结果

参数	工况一	工况二	工况三
燃烧器区域火焰平均温度 / °C	1330	1328	1334
炉膛火焰平均温度 / °C	1244	1255	1263
燃料 * Nar / %	0.70	0.77	0.90
主蒸汽流量 / (t·h ⁻¹)	1735.3	1736.8	1762.2
主蒸汽温度 / °C	558.7	559.4	553.2
再热蒸汽温度 / °C	554.60	558.65	549.85
空预器出口 NO _x 含量 / (mg·m ⁻³)	161	171	208
飞灰含碳量 / %	1.88	0.74	1.14
大渣含碳量 / %	2.95	3.00	2.43
未燃尽碳热损失 / %	0.538	0.105	0.296
干烟气热损失 / %	5.085	5.247	5.181
锅炉效率 * / %	93.301	93.214	93.138

* 按照质量比例取煤样混合后送检,得到元素分析和工业分析以及发热量,此处锅炉效率为修正后的数值。

神混煤和平混煤的燃烧性能与设计煤种较为接近,掺烧 1 台褐煤后(工况一),未燃尽碳热损失比设计值(0.63%)低,这是由于褐煤具有更好的着火和燃尽

性能。但是褐煤的掺入使得锅炉效率低于锅炉设计保证热效率(93.55%),原因是掺烧高水分褐煤后,排烟温度升高,干烟气热损失升高(设计煤种干烟气热损失为 4.64%)。

用褐煤取代平混煤后(工况二),锅炉效率降低到 93.214%。褐煤挥发分高,易于着火和燃尽,因此取代平混后飞灰含碳量降低,未燃尽碳热损失减少,但其水分高,导致排烟温度上升,干烟气热损失增大,且燃料中氢元素燃烧生成的损失和燃烧中液体水产生的损失均比工况一大,并最终导致锅炉效率的降低。

进一步将煤质较差的印尼煤取代部分神混煤(工况三)后锅炉效率略有下降。印尼煤的着火和燃尽性能比神混好,但从试验结果来看,印尼煤的加入使飞灰含碳量增加。FAÚNDEZ^[6]等人在利用夹带流反应器的实验研究中也发现高挥发分煤的过多掺入对燃尽会产生不利影响。高挥发分煤的有机质释放温度低,进入炉膛后会更快释放出来。当高挥发分煤加入多时,大量释放的挥发分会占据更多的氧,从而使挥发分低的煤着火和燃烧所需氧量不足,最终导致其燃尽度降低。因此,电厂在今后运行中应合理控制掺烧比例。

受锅炉受热面材料的限制,锅炉的过热器和再热器的出口温度上限为 565 °C,在上述 3 组试验中,工况三的蒸汽流量比前 2 个工况多 25 t/h 左右,主汽温度略有降低,减温水用量较少,而前 2 个工况减温水用量较大。

从燃烧器火焰平均温度来看,3 种工况之间最大差值只有 6 °C,差别不大,但 3 种工况的炉膛火焰平均温度最大差值达到 19 °C。图 1 示出了 3 种工况下炉膛温度的分布,可以看到煤种组合方式对其存在明显影响。工况一下燃烧煤的热值较高,且集中在 A-E 层燃烧器,导致燃烧器区域温度较高。当掺烧更多的热值低的煤后(工况二和三),由于采用 A-F 6 层燃烧器运行,燃烧中心上移,最高温度出现在燃烧器上部,且最高温度升高。工况二掺烧 2 台磨褐煤,煤粉在出燃烧器区域后的温度始终比工况一的高,由于褐煤和神混煤都是易结渣煤,因此这种组合方式对锅炉结渣的防止是不利的。工况三的火焰中心温度介于工况一和工况二之间,而印尼煤结渣性低,因此用其取代部分神混对减轻结渣有利。从对运行过程中锅炉受热面的观察,发现工况一的结渣情况最轻,工况二的最大,这与上述分析是一致的,因此在电厂今后锅炉满负荷运行时需注意控制工况二的掺烧方式。

从烟气 NO_x 测量结果来看,随煤质差的煤加入量的增加,NO_x 含量增加,这主要是所燃用煤中氮含量增加的缘故,分析表明烟气中 NO_x 含量与燃料氮量相关系数为 0.987。从典型煤质分析(见表 1)中可以看出印

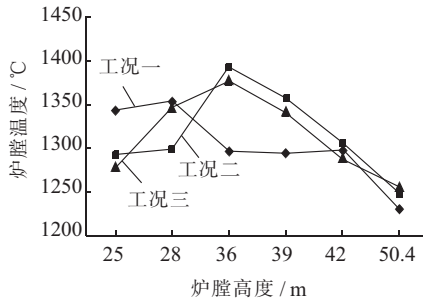


图1 不同工况炉膛温度变化

尼煤中的氮含量较大,导致其加入后烟气中 NO_x 含量明显升高(见表2工况三),且其取代神混煤后也会使烟气量增加,因此随着选择性催化还原(SCR)脱硝技术的使用,如何优化印尼煤的使用是需要考虑的问题。

根据2013年5月环渤海动力煤价格指数^[7],取不同发热量的煤价格分别为:神混煤价格525元/t、平混煤600元/t、印尼煤430元/t、褐煤400元/t。计算出工况一发电燃料成本最大,工况三最低,可见掺入低热值煤虽然带来锅炉效率的降低,但是在当前的煤炭价格条件下,褐煤和印尼煤的价格较低,掺烧褐煤和印尼煤可以降低发电燃料成本。

2.2 不同氧量的影响

该组试验保持机组负荷为360 MW, B、D层燃用褐煤, C、E层燃用印尼煤。控制省煤器出口烟气氧量变化,测量机组运行参数。

不同氧量控制条件下试验结果如表3所示。对烟气中 NO_x 含量而言,可以看到氧量对其有显著影响,随氧量的增加, NO_x 含量增加。在低氧条件下,中间产物 NH_3 和HCN等易向 N_2 转化;而氧浓度升高后,它们易转化成 NO_x ^[8]。

表3 不同氧量控制条件下试验结果

参数	工况四	工况五	工况六
控制氧量/%	4.0	4.4	4.75
主蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	993.0	989.3	1 004.1
主蒸汽温度/°C	557.55	557.85	557.05
再热蒸汽温度/°C	559.85	550.80	559.30
空预器出口 NO_x 含量/(mg·m ⁻³)	174	194	225
飞灰含碳量/%	0.81	1.65	0.63
大渣含碳量/%	0.65	0.91	0.71
未燃尽碳热损失/%	0.10	0.21	0.08
干烟气热损失/%	5.07	5.12	5.48
锅炉效率/%	93.43	93.30	93.00

此锅炉日常运行中,负荷为360 MW时,氧量控制4.4左右,当氧量从4.4%增加到4.75%时,锅炉效率下降了0.3%,主要来源于过量空气带来的烟气热损失;氧量降低到4.0%时,锅炉效率增加了0.13%,且 NO_x 的排放也有所下降。氧量的变化对主蒸汽温度影响不

大,对再热蒸汽温度有影响。

当氧量从4.4%下降到4.0%时未燃尽碳热损失降低,氧量上升到4.75%时,飞灰含碳量减少更为明显,氧量和飞灰含碳量之间呈现非线性关系。通常过量空气系数的增大会使近燃烧器区内气流流速增大,煤粉与气体间的传热传质状态改善,这对煤粉的燃烧又是有利的。文献[9]在高负荷变氧量试验中,随着氧量的增加飞灰含碳呈下降趋势,出现差异的原因可能是一次风风量不同变化的缘故。试验过程中省煤器氧量控制通过机组协调控制系统(CCS)调节一二次风量来实现,从调节结果看,虽然随着氧量的增加总风量是增加的,但工况六的一次风量最小,工况五的一次风量最大。一次风量越大,煤粉气流着火所需吸收的热量越大,燃烧器区域煤粉浓度降低,煤粉着火推迟,不利于燃尽。此外,该试验是在低负荷下进行的,与高负荷相比炉膛温度较低,一次风的影响更为明显。由此可见,该炉在低负荷下采用褐煤和印尼煤掺烧,一次风量的变化对飞灰含碳影响较大,应通过试验的方法确定合适的一次风量,避免控制氧量变化过程中一次风量调节不合理的情况。试验结果也显示,在机组低负荷运行氧量控制为4.0%时,炉膛出口过量空气系数约为1.25,煤粉燃尽所需的氧量已经能够满足,因此电厂今后在锅炉低负荷运行掺烧褐煤和印尼煤时,可适当降低现有运行方式下的氧量。

2.3 SOFA风调整的影响

试验过程中,煤质参数和磨组合方式均和氧量试验相同,维持机组负荷为360 MW,保持省煤器出口氧量4.5%,二次风比率为77%,SOFA风挡板开度和试验结果如表4所示。

表4 SOFA风调整试验结果

参数	工况七	工况八
	正常 SOFA	SOFA 增加 20%
SOFA-I层风挡板控制/%	30	50
SOFA-II层风挡板控制/%	20	40
SOFA-III层风挡板控制/%	10	30
SOFA-VI层风挡板控制/%	60	80
SOFA-V层风挡板控制/%	40	60
主蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	1 023.6	1 005.4
主蒸汽温度/°C	559.1	559.6
再热蒸汽温度/°C	559	563.65
燃烧器区域火焰平均温度/°C	1262	1255
炉膛火焰平均温度/°C	1167	1169
空预器出口 NO_x 含量/(mg·m ⁻³)	167	124
飞灰含碳量/%	1.08	1.19
大渣含碳量/%	0.66	1.42
未燃尽碳热损失/%	0.123	0.144
干烟气热损失/%	4.972	4.961
锅炉效率/%	93.465	93.462

SOFA风挡板开度整体增加20%后,燃烧器周围的二次风量相对下降,燃烧器区域过量空气系数减小,燃烧器区域火焰平均温度降低了7℃。煤粉燃烧延迟,当烟气经过SOFA喷口对应区域时,未完全燃烧的可燃物和部分还原性气体实现再燃。从表4中可以看出,SOFA风的增加再热蒸汽温度升高,而主蒸汽的温度变化不大。

在一定范围内,增大SOFA风挡板开度,烟气NO_x含量降低43 mg/m³的同时,锅炉热效率仅降低了0.003%,兼顾了氮氧化物排放和锅炉效率。

电厂实际运行中,当锅炉低负荷运行时SCR脱硝装置系统会退出,由于在低负荷时,烟气温度较低,NO_x的催化还原反应不能正常进行。此时,在保证锅炉热效率较低不明显的条件下,通过合理的配风可以使NO_x的排放显著降低。

3 结束语

进行分磨制粉,炉内掺烧褐煤可以改善烟煤燃尽特性,掺入2台低热值高挥发分煤时未燃尽碳损最低,随着掺入低发热值煤量的增加,不完全燃烧增加,且低热值煤量的增加会导致锅炉排烟热损失增加,锅炉效率降低。但是由于低热值煤价格的优势,总的发电燃料成本降低了,且掺烧印尼煤可以减轻结渣;在相同的配风和氧量控制条件下,烟气中NO_x的排放与燃料含氮量关系密切,可以通过掺配低氮燃料来控制入炉总燃料氮,从而降低烟气中NO_x的量;在一定的氧量范围内,通过降低省煤器出口氧量可以降低NO_x的排放,同时可以减少排烟热损失,增加锅炉效率,低负荷运行

氧量宜为4.0%,并适当降低一次风量;在一二次风比率不变的条件下,通过增大SOFA挡板开度,可以降低燃烧器区域的过量空气系数,降低了NO_x的排放。

参考文献:

- [1] 王双童. 煤质劣化后燃煤电厂安全及经济性评价方法探讨[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(5): 69-71.
- [2] 陈庆文. 大型电站锅炉配煤掺烧的NO_x排放特性预测与优化运行[D]. 广州:华南理工大学, 2010.
- [3] 陆潘. 烟煤掺烧印尼煤的动力配煤模型研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2011.
- [4] 杨忠灿, 姚伟. 电厂锅炉变煤种掺烧问题研究[J]. 中国电力, 2010(11): 42-45.
- [5] 段永华. 600 MW机组锅炉煤种适应性研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2009.
- [6] FAÚNDEZ J, ARUAS B, RUBIERA F, et al. Ignition Characteristics of Coal Blends in an Entrained Flow Furnace[J]. Fuel, 2007, 86(14): 2076-2080.
- [7] 环渤海动力煤价格指数[R/OL]. http://www.osc.org.cn/news/V02/58669_1.html.
- [8] 宋国良, 吕清刚, 周俊虎, 等. 煤粉浓度对HCN与NH₃析出特性的影响[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(17): 49-54.
- [9] 林少国. 3033 t/h锅炉最佳运行氧量试验及其研究[J]. 中国电力(技术版), 2013(3): 57-60.

作者简介:

- 陈孝武(1990),男,安徽六安人,硕士研究生在读,研究方向为电站锅炉燃烧优化;
- 葛伟(1985),男,江苏兴化人,硕士,工程师,从事电站锅炉节能减排工作;
- 张军(1963),男,湖北黄石人,教授,研究方向为燃烧污染控制,生物质热利用。

Experimental Study on Coal Blending Combustion of 600 MW Coal-fired Boiler

CHEN Xiao wu¹, GE Wei², ZHANG Jun¹

(1.School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Huadian Electric Power Research Institute, Hangzhou 310030, China)

Abstract: This paper presents experimental investigations into the NO_x formation behaviors and thermal efficiency of coal blending combustion in one 600 MW boiler. The influence of coal property, combination method and air distribution control strategy on thermal efficiency and the NO_x emission of the boiler is investigated. Based on the test results, emission behaviors of NO_x under various operating conditions are analyzed. This work can provide valuable reference for similar power stations to optimize combustion and reduce pollutant emission.

Key words: brown coal; NO_x emission; boiler efficiency; combustion adjustment

大电网调控一体化联合仿真培训系统在省调投运

近日,江苏电网新一代调控一体化联合仿真培训系统在省调正式投运。这套系统适应“大运行”体系下调控一体化业务需求,实现了调度仿真、监控仿真以及变电站三维仿真三大主要功能,同时具备培训教案自动生成、省地联合仿真等功能,将为调控运行人员业务培训、反事故演习、事故预案编制等工作提供强有力支持。

该系统采用符合IEEE1516标准的分布式、交互式电力仿真支撑平台,与智能电网调度技术支持系统联通,全面应用电力系统全过程实时仿真引擎技术、一二次设备统一全息建模与管理技术、基于变电站二次系统详细仿真模型的电网二次系统全维度仿真等技术,整体技术水平国内领先。

摘自《江苏电力信息网》