

The Combustion Adjustment Research on 660 MW Unit of Jhajjar Power Plant

Kaili Zhang

China Huadian Power Plant Operation Co. Ltd., Beijing
Email: 107851559@qq.com

Received: Apr. 30th, 2014; revised: May 6th, 2014; accepted: May 13th, 2014

Copyright © 2014 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Through the adjustment experiment of the coal mill system, we investigated the changes of the coal fineness and the energy consumption with the opening degree of the splitter, the loading force, the output and the air volume and then optimized the operating parameters of the coal mill, improved the equilibrium of the coal-air ratios and the coal fineness. Through the experiments of the change on the primary air, the oxygen and the style of the burner with air, we researched the effects of the operating parameters of the boiler on the boiler efficiency. According to the experiment results, we adjusted the operating parameters of the generating unit, solved the high carbon of the fly ash and the high exhaust gas temperature of the generating unit and improved the economy and security of the generating unit.

Keywords

Boiler, Fineness of Pulverized Coal, Combustion Adjustment, Parameter Optimizing, Efficiency

Jhajjar电厂660 MW机组 燃烧试验研究

张开利

中国华电集团发电运营有限公司, 北京
Email: 107851559@qq.com

收稿日期: 2014年4月30日; 修回日期: 2014年5月6日; 录用日期: 2014年5月13日

摘要

通过磨煤机系统调整试验,本文探讨了煤粉细度和能耗与分离器开度、加载力、出力、风量等变化关系,优化了磨煤机运行参数,改善了磨煤机风煤比均衡性及煤粉细度;通过变一次风量、变氧量及变燃烧器配风等试验,研究了锅炉运行各参数对锅炉效率的影响。根据试验结果对机组运行参数进行了优化调整,解决了机组运行过程中存在的飞灰可燃物含量高、排烟温度高等问题,改善了机组运行的经济性和安全性。

关键词

锅炉, 煤粉细度, 燃烧调整, 参数优化, 效率

1. 引言

印度嘉佳 Jhajjar 电厂 2 台 660 MW 超临界锅炉从我国哈尔滨锅炉厂进口,锅炉型号为 HG-2115/25.4-YM16; 于 2012 年 9 月投产发电。锅炉设计煤种为印度当地煤,锅炉在运行过程中存在飞灰、大渣可燃物含量高、锅炉排烟温度高、两侧氧量不均、煤耗偏高、锅炉效率较低等问题,不利于机组的安全经济运行。为解决机组现存问题、掌握机组运行特性、提高锅炉运行的安全经济性,对锅炉进行了燃烧优化调整试验[1]-[4]。

2. 设备概述

印度嘉佳 Jhajjar 电厂 660 MW 超临界锅炉哈尔滨锅炉厂生产的超临界参数变压运行直流锅炉,墙式切圆燃烧、单炉膛、一次再热、平衡通风、半露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构 Π 型锅炉,锅炉型号为 HG-2115/25.4-YM16。锅炉燃烧方式为墙式切圆分级燃烧,燃烧器四墙布置,见图 1,采用低 NO_x PM 直流燃烧器,上下六层,共 24 只,每只燃烧器沿垂直方向分成浓淡两个一次风喷口,共 48

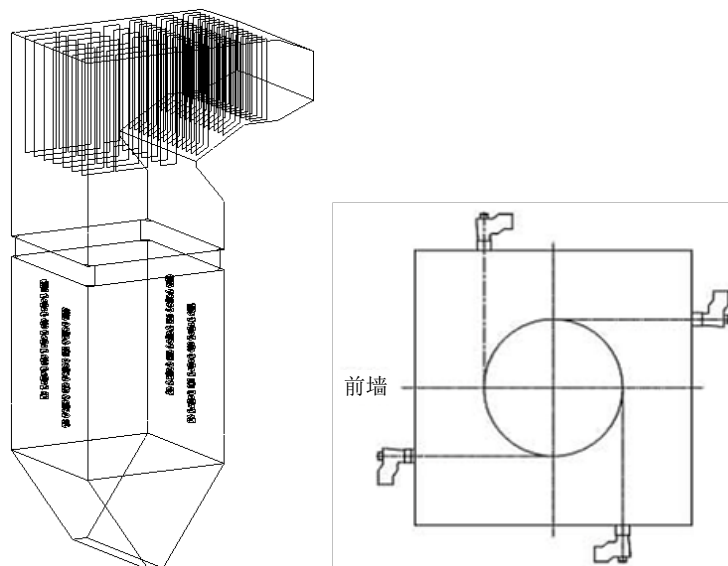


Figure 1. Furnace diagram of the structure
图 1. 炉膛结构示意图

个一次风喷口；二次风采用大风箱结构，布置有四层油风室，主燃烧器的上方布置一层 OFA 风室，在距上层煤粉喷嘴上方约 6.2 m 处布置有四层附加燃尽风(AA)风室，AA 风采用角式布置。制粉系统为冷一次风机正压直吹式。配置 6 台中速碗式磨煤机，运行方式为 5 运一备；每台磨煤机对应一层燃烧器；燃用设计煤种时，其中一台备用。锅炉设计煤种为印度当地煤，煤质分析数据见表 1。

3. 燃烧优化调整试验结果及分析

在锅炉结构设计及燃料特性一定的情况下，锅炉燃烧性能的优劣取决于煤粉细度和均匀性、氧量供应及燃烧配风合理性等。燃烧调整试验依据中华人民共和国国家标准《电站锅炉性能试验规程》(GB10184-88)进行[1]，并参照《锅炉燃烧试验研究方法及测量技术》[2]；磨煤机试验按照《电站磨煤机及制粉系统性能试验》(DL/T467-2004)进行[3]。

3.1. 制粉系统试验调整

磨煤机是锅炉重要的燃烧设备，磨煤机优化是燃煤机组调试的主要组成部分。尤其是直吹式制粉系统，其磨煤机特性、煤粉细度以及各粉管的风粉浓度和流量偏差将直接影响到炉内燃烧和燃尽状态、飞灰和大渣中可燃物含量，因而会影响到锅炉效率。试验过程中通过一次风速调平减小了燃烧偏差；通过调节分离器挡板开度调整了出粉细度；通过调整磨煤机加载力、通风量和出力分析了这些因素对煤粉细度及磨煤电耗的影响。

1) 锅炉炉内空气动力场出现偏差的主要原因在于各组燃烧器的配风比例、磨煤机风煤比均衡性不同。在冷态条件下调整磨煤机各粉管可调缩孔，对一次粉管的阻力进行调平；然后在热态下重新调整，最终将各粉管一次风速偏差控制在±5%以内。然后通过控制磨煤机分离器出口温度一致，可以控制磨煤机风量煤量均衡，从而减小燃烧偏差。以 A 磨和 B 磨的各粉管一次风速调平为例，试验结果如表 2 所示。通过粉管一次风速和分离器出口温度调整，达到了炉内空气动力场均匀的目的。

2) 分离器挡板开度对煤粉细度 R90 和煤粉流量偏差有明显的影响[4]。煤粉细度在很大程度上影响着飞灰和大渣中可燃物含量。如图 2 所示，随着分离器挡板开度增大，粗煤粉流量增加，磨煤机出口的 R90 变大，磨煤电耗减小，但挡板开度大于 70%以后，由于内部存在较大空行程，导致基本没有动作。表 3

Table 1. The characteristics of the design and the check coal

表 1. 设计和校核煤质的煤质特性

序号	参数	设计煤种	校核煤种 1	校核煤种 2
1	收到基碳 Car/%	54.26	54.14	51.45
2	收到基氢 Har/%	3.64	3.16	3.01
3	收到基氧 Oar/%	9.60	8.47	8.77
4	收到基氮 Nar/%	0.90	0.57	0.88
5	收到基硫 St, ar/%	1.13	0.50	0.64
6	收到基水分 Mt/%	9.00	12.81	13.25
7	收到基灰分 Aar/%	21.47	20.35	22
8	空气干燥基水分 Mad/%	3.30	3.25	4.01
9	干燥无灰基挥发分 Vdaf/%	38.46	38.31	41
10	可磨系数 HGI	55	50	55
11	收到基低位发热量 Qnet, ar/(kJ·kg ⁻¹)	21,160	20,340	19653.6

Table 2. The test results of the adjustment primary air velocity of each pulverized pipe of the coal mill
表 2. 磨煤机各粉管一次风速调整试验结果

A 磨煤机						
管道编号	实测风速 (m/s)	风速偏差 (%)	DCS 表盘值(m/s)	粉管缩孔调整	调整后 DCS 表盘值 (m/s)	调整后风速偏差(%)
A1	23.15	6.98	23.30	75→70	23.02	3.57
A2	20.20	-6.69	16.50	65→85	21.85	-1.72
A3	22.57	4.27	22.30	-	22.72	2.20
A4	21.29	-1.63	22.20	65→70	21.96	-1.21
A5	21.01	-2.93	23.30	75→80	21.60	-2.86
B 磨煤机						
管道编号	实测风速 (m/s)	风速偏差 (%)	DCS 表盘值(m/s)	粉管缩孔调整	调整后 DCS 表盘值 (m/s)	调整后风速偏差(%)
B1	23.40	-4.80	22.80	65→75	24.43	-0.64
B2	23.89	-2.81	22.10	65→70	24.97	1.56
B3	24.73	0.59	21.10	-	24.73	0.56
B4	24.10	-1.95	22.30	-	24.43	-0.65
B5	26.79	8.96	22.30	65→55	24.38	-0.83

Table 3. The original and the adjustment coal fineness of each coal mill
表 3. 各台磨煤机初始及调整后煤粉细度

		A 磨	B 磨	C 磨	D 磨	E 磨	F 磨
挡板初始开度	(%~%)	70~85	85~85	85~45	95~95	85~95	95~95
初始煤粉细度	R200 (%)	5.88%	10.97%	6.43%	12.01%	5.02%	7.95%
	R90 (%)	18.84%	29.06%	23.27%	31.31%	10.75%	26.95%
调整后挡板开度	(%~%)	70~85	50~60	60~45	50~50	70~70	45~50
调整后煤粉细度	R200 (%)	2.77%	2.31%	3.60%	3.33%	7.14%	4.36%
	R90 (%)	14.04%	10.88%	18.3%	16.83%	15.84%	20.74%

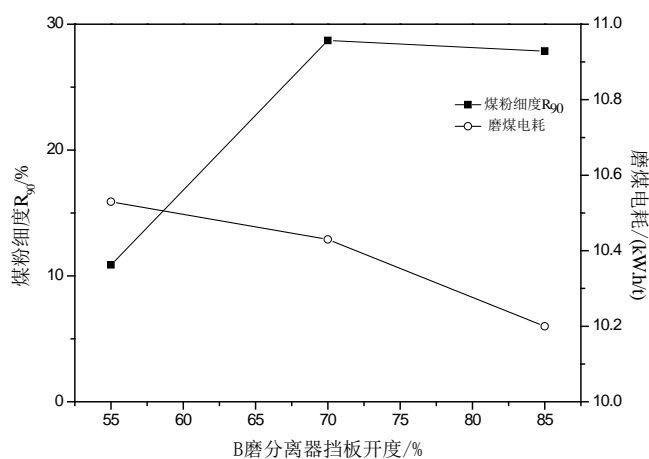


Figure 2. The effects of the splitter opening degree on the coal fineness and the coal milling unit consumption of coal mill B
图 2. B 磨挡板开度对磨煤粉细度和磨煤电耗的影响

所示为调整前后的各台磨煤机煤粉细度，该机组的设计细度为 $R_{90} = 16\%$ ，但实际煤粉细度不均且远大于 16% ，因而导致了炉内燃烧不稳定、飞灰和大渣中可燃物含量高等问题，通过将煤粉细度调整到合理范围，降低了飞灰和大渣中可燃物含量，提高了锅炉燃烧效率，有利于改善了炉内空气动力流场的均匀性。

3) 磨煤机加载力每变化 1 MPa ，煤粉细度 R_{90} 变化 2.5% ，磨煤电耗变化 $0.1 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 。

4) A 磨煤机出力分别为 35 t/h 、 45 t/h 、 55 t/h 时，对应的煤粉细度 R_{90} 分别为 11.61% 、 13.60% 、 18.84% ，对应的磨煤电耗分别为 $10.14 \text{ kw}\cdot\text{h/t}$ 、 $9.00 \text{ kw}\cdot\text{h/t}$ 、 $9.45 \text{ kw}\cdot\text{h/t}$ 。可见，随着出力的增大，煤粉细度增大而磨煤电耗降低。

5) 通风量增大时，煤粉细度随之增大，而磨煤电耗变化不明显。

通过磨煤机变加载力、变出力和变风量试验，使我们掌握了制粉系统的运行特性，对磨煤机日常运行具有较好的指导作用，有利于制粉系统的安全经济运行。

3.2. 一次风量优化调整对燃烧的影响

磨煤机与燃烧器的匹配性能对锅炉内煤粉着火燃烧影响重大[5]。如表 4 所示，后一工况是在前一工况基础上将各台磨煤机一次风量平均减少了约 $8 \text{ km}^3/\text{h}$ 。从试验结果可见，降低一次风量约 $8 \text{ km}^3/\text{h}$ ，飞灰含碳量 C_{fh} 和炉渣含碳量 Ch_z 都减小，修正后排烟温度降低了 4°C ，修正后的排烟损失有所降低，实际的锅炉效率增加了 0.20% 。由此可见，适当地降低一次风通风量，可以降低排烟温度，提高锅炉效率。如果继续减低一次风量，磨煤机和磨出口风粉管开始容易堵塞。所以最佳一次风量为 $640 \text{ km}^3/\text{h}$ 。

实际上，增大一次风量会使得着火区煤粉浓度降低，火焰温度下降，煤粉气流推迟着火。而一次风机出力的不足部分原因也是由于锅炉一次风量偏大及一次风压偏高引起。因此，适当地降低一次风量，可以改善煤粉燃烧环境，降低排烟温度，提高锅炉效率。

3.3. 氧量调整对燃烧的影响

在对一次风量优化后，氧量控制就成为影响燃烧的重要因素。氧量的增加有利于煤粉的完全燃烧，使飞灰可燃物含量降低；但氧量的增加会使烟气量增加，导致排烟热损失增加，同时也使风机的电耗增加。因此，过低或者过高氧量均对燃烧不利，合理的氧量控制对降低排烟温度和飞灰可燃物、提高锅炉效率非常重要。

表 5 所示为分别在锅炉高负荷、中等负荷和低负荷下进行的氧量调整试验。可以看出，在高负荷和

Table 4. The experiment results of the adjustment of the primary air

表 4. 一次风量优化调整试验结果

序号	参数	数值变一次风风量	
1	电负荷/MW	603.00	596.00
2	实测氧量/%	3.24	3.28
3	修正后排烟温度/ $^\circ\text{C}$	126.70	122.62
4	飞灰含碳量/%	3.16	2.97
5	未燃尽碳损失/%	1.19	1.16
6	修正后排烟热损失/%	5.11	4.91
7	锅炉效率(修正后)/%	93.19	93.39
8	磨入口一次风量(A/B/C/D/E/F)/ km^3/h	126.4/140.6/126.6/150.1/36.3/0	118.2/130.9/110.6/144.7/135.7/0

中等负荷下, 过低的氧量带来的排烟温度和排烟热损失的降低并不足以抵消飞灰含碳量增加带来的不利影响, 因此, 过低氧量下锅炉效率较低。而在低负荷下, 过高的氧量带来飞灰含碳量的减少也不足以抵消排烟温度和排烟热损失的增大, 加之氧量提高后送、引风机电耗也将上升, 所以运行中过高的氧量对运行经济性有弊无利。660 MW、450 MW 和 300 MW 负荷下运行氧量分别控制在 3.0%、4.5% 和 6.5% 左右为佳。

3.4. 变配风方式对燃烧的影响

变配风方式试验中将运行氧量调整到 3.0% 左右, 燃尽风风门均开到 70%, 下部二次风分别调整为均等、缩腰 2 种配风形式。

表 6 所示为 660 MW 负荷下均衡配风和缩腰配风试验结果。与缩腰配风方式相比, 均衡配风方式的排烟温度较低, 排烟损失和未燃尽碳损失均稍小, 修正后的锅炉效率稍大。因此, 将二次风采用均衡配风方式为佳。

3.5. 燃烧调整优化工况试验

在初步掌握了各个系统运行特性之后, 根据各个子调节过程中的建议调整方式对整个系统进行了优化工况试验, 如表 7 所示, 试验工况 T0 为运行人员习惯运行工况、为基准工况。T9 为优化工况, 优化工况将前面各个单参数推荐值进行组合。从试验结果可以看出, T0、T9 修正后的排烟温度分别为 130.40℃、119.14℃; 修正后的锅炉效率分别为 93.34%、93.92%。优化工况的修正后排烟温度降低了 11.26℃, 修正

Table 5. The experiment results of the change of the oxygen
表 5. 氧量调整试验结果

序号	参数	满负荷			中等负荷			低负荷		
1	电负荷/MW	658.00	663.00	659.00	449.00	452.00	454.00	298.00	301.00	298.00
2	实测氧量/%	3.07	2.49	1.87	3.14	3.94	4.62	6.62	7.53	8.28
3	修正后排烟温度/℃	131.11	129.87	129.10	125.63	127.11	127.41	114.02	118.30	121.62
4	飞灰含碳量/%	3.49	4.88	5.85	4.84	4.26	3.59	3.13	1.82	2.27
5	未燃尽碳损失/%	0.87	1.25	1.48	1.73	1.42	1.11	1.21	1.06	0.84
6	修正后排烟热损失/%	5.46	5.21	5.00	5.13	5.44	5.69	5.43	6.09	6.65
7	锅炉效率(修正后)/%	93.18	93.06	93.02	92.48	92.50	92.55	92.42	91.91	91.58

Table 6. The experiment results of air distribution mode of the second air
表 6. 二次风配风方式试验结果

序号	参数	均衡配风	缩腰配风
1	电负荷/MW	605.00	602.00
2	实测氧量/%	3.14	3.10
3	修正后排烟温度/℃	126.70	127.37
4	飞灰含碳量/%	2.97	2.95
5	未燃尽碳损失/%	1.19	1.21
6	修正后排烟热损失/%	5.11	5.13
7	锅炉效率(修正后)/%	93.19	93.14

Table 7. The experiment results of the optimum conditions
表 7. 优化工况的试验结果

序号	工况说明	/	660 MW 基准工况	660 MW 优化工况
0	名称	单位	T-0	T-9
1	电负荷	MW	662.00	658.00
2	入口氧量(表盘)	%	3.05	3.10
3	入口氧量(实测)	%	2.88	2.91
4	出口氧量	%	4.35	4.25
5	平均排烟温度	℃	128.71	117.09
6	修正后排烟温度	℃	130.40	119.14
7	平均飞灰含碳量	%	4.30	2.05
8	未燃尽碳损失	%	1.12	0.95
9	修正后排烟热损失	%	5.07	4.60
10	锅炉效率(未修正)	%	93.40	93.92
11	锅炉效率(修正后)	%	93.34	93.92

后的锅炉效率提高了 0.58%。优化调整试验降低了飞灰、大渣中可燃物含量以及排烟温度，提高了锅炉效率。

4. 结论

1) 锅炉燃烧优化项目通过一次风速调平试验，调整了燃烧偏差；通过分离器挡板开度试验，调整了煤粉细度和煤粉流量偏差；通过调整氧量、一次风量、二次风配风等方式，改善了炉内燃烧状态。整个调整过程解决了影响锅炉安全运行的一系列重要问题，如煤粉细度较粗、飞灰含碳量高、排烟温度过高等，提高了机组的整体安全运行水平，降低了机组的供电煤耗，使得机组运行的安全性和经济性都有很大幅度的改善。同时还掌握了制粉系统和燃烧系统的运行特性，为日常运行提供了依据和指导。

2) 燃烧调整试验结果表明，采取调整氧量、一次风量、二次风配风方式以及降低煤粉细度等优化运行措施后，660 MW 负荷工况飞灰含碳量可以降低到 2% 左右，排烟温度在 110℃~120℃ 之间，锅炉效率可以达到并略超过设计值保证值(93.31%)。

3) 在 660 MW 负荷和投五台磨的运行条件下，建议①将炉膛出口表盘氧量控制在 2.8%~3.5% 左右；②最佳一次风量为 640 km³/h；③二次风采取均等配风方式；④煤粉细度控制在设计值左右。

4) 在 450 MW 负荷和投四台磨的运行条件下，建议将炉膛出口表盘氧量控制在 4.0%~4.5% 左右。

参考文献 (References)

- [1] GB10184-88, 电站锅炉性能试验规程.
- [2] 岑可法 (1987) 锅炉燃烧试验研究方法及测量技术. 水利电力出版社, 北京.
- [3] DL/T467-2004, 电站磨煤机及制粉系统性能试验.
- [4] 樊泉桂, 由俊坤, 王宁 (2007) 中速磨煤机输粉管煤粉分配均匀性的试验研究. *动力工程*, **27**, 488-491.
- [5] 蒋建刚, 李永玲, 张春发 (2009) 扬州电厂超临界 660MW 机组锅炉燃烧调整的试验研究. *热力发电*, **38**, 73-78.