

Analysis of the Influence of Parameter Variation on the Combustion in the Furnace

Liangfei Luo, Haigang Ji, Fangqin Li

School of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai
Email: llflearn@163.com

Received: Nov. 3rd, 2016; accepted: Nov. 28th, 2016; published: Dec. 2nd, 2016

Copyright © 2016 by authors 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

At present, the difference between peak and valley of China's power grid is increasing day by day, Lack of peaking capacity of the boiler unit to which lead to safe operation of boiler cannot run in low load stable combustion, etc. Aiming at this problem, based on the theory of stable combustion of pulverized coal and the relevant theory of operation optimization of power station boiler, the influence of coal quality variation, load change, air distribution mode and excess air coefficient on the combustion in the furnace is analyzed. In the case of 600 MW unit boiler combustion in different conditions, the optimum operating parameters are obtained, which can make the boiler burn steadily and improve the efficiency of the boiler.

Keywords

Power Plant Boiler, Stable Combustion, Combustion Theory, Operating Parameters

锅炉运行中参数变化对炉内燃烧影响的分析

罗良飞, 姬海刚, 李芳芹

上海电力学院, 能源与机械工程学院, 上海
Email: llflearn@163.com

收稿日期: 2016年11月3日; 录用日期: 2016年11月28日; 发布日期: 2016年12月2日

摘要

目前我国电网峰谷差日益加大,调峰能力不足使得锅炉机组要在较低负荷下运行从而导致锅炉不能安全运行,稳定燃烧等问题。针对这一问题,基于煤粉稳定燃烧理论以及电站锅炉运行优化相关理论,分析了煤质变动,负荷变化,配风方式,过量空气系数,燃尽风风率等运行参数变化对过稳定燃烧的影响,通过对600 MW机组锅炉在不同工况下炉内燃烧的分析,得出了最优的运行参数,使得锅炉能够稳定燃烧,提高锅炉效率。

关键词

电站锅炉, 稳定燃烧, 燃烧理论, 运行参数

1. 引言

目前,我国发电能源构成中还是以煤为主(占 80%),虽然今后将大力开发西部水电资源,但预测在本世纪 30~40 年内以煤为主的结构还不会改变[1]。2014 年底我国燃煤火力发电装机容量占全国总装机容量的 74%,发电量占全国总发电量的 82.6%。到 2020 年全国总装机容量将达到 9.5 亿千瓦左右,发电量将达到 42,000 亿千瓦时左右,其中火电装机比重仍然占 70% [2]。所以今后很长一段时间中国还是以火电为主体。火力发电在我国电力工业结构中处于主导地位且装机容量及发电量一直保持高速稳定的增长。

随着国民经济持续稳定发展和人民生活水平的不断提高,各行业生产用电和民用电都迅速增长,电网峰谷差急剧增大。一些大电网的最大峰谷差已接近系统最大负荷的 40%。在这种情况下,越来越多的火电机组参与了调峰,而且参与调峰的单元机组的容量也在加大,而且燃煤中低挥发分的贫煤和无烟煤约占 20%,燃煤机组燃用煤质变差,使锅炉燃烧稳定性下降,而调峰任务的加大,又使得燃煤机组低负荷运行的时间增长,这使得燃烧稳定性更加难以保证,火电机组如何保证低负荷安全、稳定性、经济运行的问题日益受到各电厂的普遍重视。本文通过分析锅炉内工况的变化(煤质变化,负荷变化,配风方式,过量空气系数,燃尽风风率等),对 600 MW 机组锅炉的炉内燃烧进行了分析,为锅炉内的稳定燃烧,运行参数设定提供参考。

2. 锅炉稳定燃烧理论分析

在燃煤电站锅炉煤粉燃烧过程中,为了使煤粉快速燃烧以及煤粉在炉膛内的稳定燃烧,在锅炉燃烧过程中采取了各种有效的技术措施,这些技术措施可以分为两个方面来使煤粉稳定燃烧,一方面是从内因出发,即从燃料自身的煤质特性出发,通过降低煤粉燃烧所需的着火热,使煤粉能够尽快的着火燃烧。另一方面就是从外因入手,即通过改变锅炉的运行参数来强化外部烟气对煤粉气流的加热作用。

2.1. 从内因方面提高燃烧稳定性

(1) 煤粉颗粒细度减小,使煤粉的比表面积增大,孔隙率增大从而在单位重量的煤粉颗粒与高温烟气接触时有利于着火,并且能加快燃烧。

(2) 改变一次风率和一次风速,当一次风率和一次风速降低时对于每公斤煤粉所需加热的总的质量减少,煤粉气流所需的着火热相应减少,有利于煤粉的着火。

(3) 增大煤粉气流的初始温度可以减少煤粉燃烧所需的着火热。在燃用低挥发份煤时,采用高温的预热空气作为一次风来输送煤份,使煤粉有利于着火。

2.2. 从外因方面提高燃烧稳定性

(1) 减少炉内散热。如在炉内水冷壁下部敷设卫燃带,通过减少高温火焰散热来提高燃烧区域的温度,有利于煤粉的着火燃烧。

(2) 对燃烧器结构进行改造优化,推迟一、二次风混合,减小着火热。

(3) 对于运行中的锅炉,在低负荷时,要尽量停用上排喷燃器,采用下层喷燃器维持锅炉运行,这样烟气在炉内停留时间相对长些。

(4) 对于采用均等配风方式的锅炉,且一、二次风离得很近时,关小两个一次风之间的二次风,使该处的煤粉气流混入的二次风量减少,有利于煤粉气流的着火[3]。

3. 煤质变动对锅炉燃烧影响

煤质不同时其燃烧特性参数也不同,同时在锅炉内燃烧对炉内燃烧也有很大的影响。燃用低质煤时,由于其挥发份含量较低,着火温度高,着火困难,且燃烧不稳定,燃尽阶段时间又长,由于无法迅速放出大量的热量,煤粉不易燃尽,飞灰可燃物含量增大[4]。其次,为了维持额定负荷,对于挥发分、发热量低的劣质煤,必须加大给粉量,而锅炉风机的富裕量偏小,经常导致送风不足,造成燃烧不完全损失增加、排烟损失增加,一次风管内易出现积粉,导致炉膛负压大幅度波动,容易引起锅炉正压灭火,严重时导致锅炉无法带足额定出力,使锅炉的经济性大幅下降。

当煤质发生变化时如表 1 所示[5],通过热重分析获得这两种煤样的燃烧性能数据[5]:设计煤种的可燃性指数 C 是 9.4998×10^{-5} ,燃烧特性指数 S 是 38.4717×10^{-8} ;实际煤种的可燃性指数 C 是 7.7572×10^{-5} ,燃烧特性指数 S 是 28.2257×10^{-8} , C 反映了样品反应初期快速着火燃烧的能力, C 值越大,说明反应初期着火能力越强,由数据可知设计煤种的着火能力大于实际煤样;燃烧特性指数 S 反映了样品着火和燃尽的综合特性指数, S 值越大,说明燃料的燃烧特性越好,由数据可知设计煤种的着火稳定和燃尽性能大于实际煤样。所以煤质的不同对锅炉内燃烧有很大的影响。

设计煤种的燃用挥发分含量高的,其着火温度低,着火容易,燃烧稳定并且能充分燃烧,有利锅炉内燃烧的的稳定,炉膛中心温度的提高,锅炉效率的增加。现分析这两种不同煤质在锅炉内燃烧时不同工况下对炉内燃烧的影响,如图 1 和表 2 所示[5]。

由表 2 可知,设计煤种在炉膛内燃烧的碳转化率相对于实际煤种还是有较大的优势[6]。由图 1 可知设计煤种的炉膛整体温度都高于实际煤种的炉膛温度,特别是炉膛中心温度相对于实际煤种有很大的提

Table 1. Coal quality data

表 1. 煤质资料

	工业分析%			低位发热量 KJ/kg
	Mar	Aar	Vdaf	Qnet, ar
设计煤种	9.9	23.72	24.75	21,981
实际煤种	8.81	35.67	20.54	18,024

Table 2. Statistics of carbon conversion rate under different conditions of coal

表 2. 不同煤种工况碳转化率统计

	1#角	2#角	3#角	4#角	总平均转化率
设计煤种平均碳转化率	5.21%	6.57%	8.06%	5.74%	6.4%
实际煤种平均碳转化率	2.51%	2.84%	2.50%	2.60%	2.61%

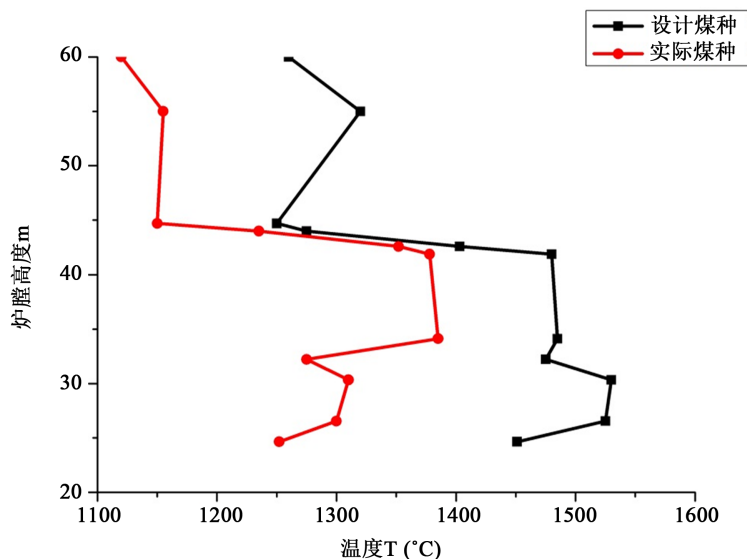


Figure 1. Temperature change curve under different operating conditions

图 1. 不同工况下沿炉高横截面平均温度变化曲线

高，这也就体现了燃烧稳定并且能充分燃烧，有利锅炉内燃烧的的稳定，炉膛中心温度的提高。但是同时设计煤种工况下炉膛出口的烟温相应的就增加了，导致了能量损失加大。所以在今后的研究中还要加强对炉膛出口烟气热量的回收利用。

4. 锅炉负荷变动对燃烧的影响

锅炉运行中，随着外界需要蒸汽量的变动，锅炉负荷也在一定的范围内变动，使外界变动的负荷与锅炉的负荷达到平衡。但是锅炉负荷的变动会影响排烟热损失，炉膛温度，过量的空气系数，以及锅炉效率[7]。

锅炉负荷增加时，若保持过量空气系数不变，则随燃料量的增加，燃烧产生的烟气量和炉膛出口烟温升高，排烟温度也随之升高，以致造成锅炉排烟热损失增加。锅炉负荷变动时，进入炉内的燃料量必须进行相应的调整，而燃料量的变化必然引起炉内燃烧温度和炉膛出口烟温发生变化[8]。从而影响炉内的辐射换热。当锅炉负荷增加时，随燃料量的增加，炉内燃烧温度和炉膛出口烟温随之升高，以致造成排烟热损失增加；另外锅炉负荷增加，炉内温度也增加，燃料燃尽的时间缩短，由于不完全燃烧造成的热损失减小。在低于警戒负荷以下运行时，热损失的减少值大于排烟热损失的增加值，这时锅炉效率随负荷的增加而增加；当负荷超过经济负荷以后，则因过分缩短可燃质的增加值，故使锅炉效率降低。

现分析锅炉在 50%THA、75%THA、100%THA 和 115%THA 四种负荷工况下，炉内燃烧情况如表 3，图 2 所示[9]。

由表 3 可知，随着锅炉负荷的增加，炉膛排烟温度也随之增加，同时排烟热损失也增大，所以锅炉负荷越大其锅炉热经济性变差，能量损失增加，不利于电厂的节能，但是锅炉负荷的增大能提高炉膛的整体温度水平，炉膛中心温度升高，从而有利于炉膛内的稳定燃烧[10]。由图 2 可知在较低负荷下，锅炉的效率随负荷增加而升高，当超过 75%负荷后，效率则随负荷增加而降低。由于在低于警戒负荷以下运行时，热损失的减少值大于排烟热损失的增加值，这时锅炉效率随负荷的增加而增加；当负荷超过经济负荷以后，则因过分缩短可燃质的增加值，故使锅炉效率降低，所以锅炉效率有个最高效率的负荷，称为经济负荷，它通常为额定负荷的 75%~85%。

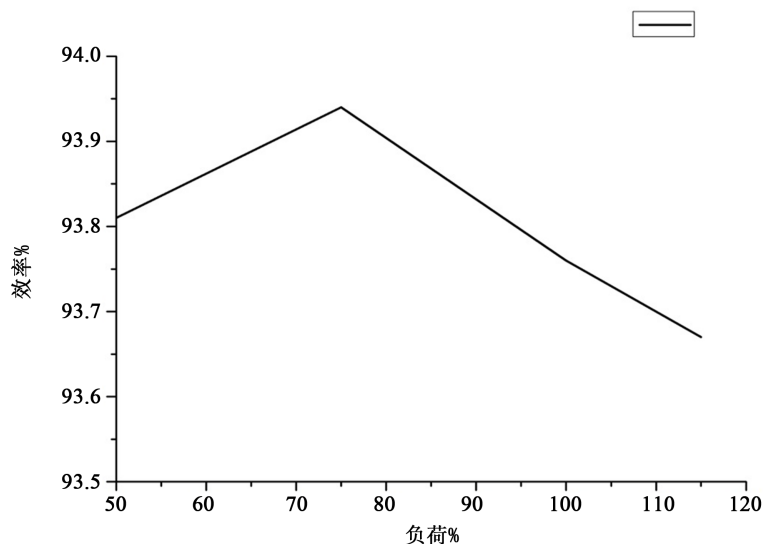


Figure 2. Boiler efficiency under different load

图 2. 不同负荷下锅炉效率

Table 3. Heat loss of flue gas under different loads

表 3. 不同负荷下排烟热损失

	50%THA	75%THA	100%THA	115%THA
排烟温度(°C)	108	116	127	131
排烟热损失	4.75	4.78	5.03	5.18

5. 过量空气系数对锅炉燃烧的影响

过量空气系数对锅炉的燃烧和经济运行有很大的影响。锅炉炉膛燃烧使过量空气系数达到最佳时，锅炉炉膛内的燃烧状况最优，锅炉的热损失也是最少的，所以锅炉效率也就最高。当炉内过量空气系数在最佳值上增加时，燃烧生成的烟气量增加，排烟温度升高，排烟热损失增大，从而锅炉效率降低[11]。在一定范围内增加过量空气系数，有利于锅炉燃烧并且使化学和机械不完全燃烧热损失减少。锅炉效率有效能有所升高或保持不变，但当过量空气系数过大时，锅炉的效率将降低。

现分析锅炉内过量空气系数分别为 1.10、1.15、1.20 和 1.25 四种情况对锅炉燃烧的影响，数据记录如表 4 所示[12]。

由表 4 可知过量空气系数增大是，炉内燃烧温度升高，这是因为煤粉得到了较为充足的氧气燃烧更充分所致；随着过量空气系数进一步增加是，温度水平反而降低，这是因为燃烧器区域煤粉燃烧越充分，燃尽风区域中未燃尽的煤粉越少，后期补燃能力越低，导致温度水平降低，炉膛出口温度下降[13]。当过量空气系数的增加时，煤粉的燃尽率一直升高。随着空气过量系数的增加从 1.1 升到 1.25 时，温度降幅较大，NO 浓度上升较快，综合温度水平、燃尽率、NO 生产量，当过量空气系数在 1.15 到 1.2 之间时，能够同时兼顾炉内燃烧状况与 NO 排放量。

6. 结论

本文针对锅炉运行参数的变化即变工况会对锅炉炉内燃烧产生很大的影响，基于单一参数改变，其他运行参数不变的情况下分析了单一参数改变对炉内燃烧的影响。通过分析可知煤质的改变对锅炉燃烧影响很大，好的煤质能很大的提高锅炉燃烧效率，炉膛温度以及炉内燃烧的的稳定，但是我国大部分煤质

Table 4. Parameter in furnace**表 4.** 炉膛内参数

α	1.10	1.15	1.20	1.25
温度(T/K)	1364	1362	1360	1343
NO 溶度(mg/Nm ⁻³)	572	581	589	611
燃尽率%	95.07	95.56	96.75	97.78

较差, 要想达到理想的煤质水平成本太高技术难度较大, 所以今后的研究方向可以再改变煤质方向加以研究; 锅炉负荷和过量空气系数虽然是随着它们的增大有利于炉内燃烧的的稳定以及炉膛温度水平的提高, 但是并不是越大越好, 锅炉负荷在 75%~85%之间锅炉效率是最高的, 过量空气系数在 1.15~1.2 之间炉内燃烧状况和 NO_x 排放量最佳, 所以要找出一个最佳的参数从而有利于锅炉的燃烧。

本文只针对了单一参数变动对锅炉燃烧的影响进行分析, 在今后的研究当中可以考虑同时改变锅炉内的多个参数来分析研究对锅炉燃烧状况的影响, 基于单一参数改变得到的最佳参数系数的基础上, 同时对多个参数的最佳参数系数进行改变研究, 从而得到一个整体的最佳运行参数, 使锅炉燃烧状况达到最佳。

参考文献 (References)

- [1] 世经未来. 2015 年中国火电行业分析报告[R]. 北京: 世经未来专业银行顾问. 2015.3.
- [2] 孔凡玲, 闫晶怡, 田晓红, 等. 中国国内生产总值与煤炭生产量和煤能消费总量关系的研究[J]. 商业经济, 2016(1): 11-12.
- [3] 张德全. 锅炉稳定燃烧的影响因素及稳燃措施[J]. 变频器世界, 2016(5).
- [4] Ren, F., Li, Z., Chen, Z., *et al.* (2011) Influence of the Over-Fire Air Angle on the Flow Field in a Down-Fired Furnace Determined by a Cold-Flow Experiment. *Fuel*, **90**, 997-1003.
- [5] 陈晓萌. 提高燃煤锅炉燃烧稳定性的方法与数值模拟研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
- [6] 张国林. 600 MW 超临界锅炉变煤种运行特性分析[D]. 华北电力大学, 2012.
- [7] 唐伯华. 锅炉稳燃的分析和解决措施[J]. 湖南电力, 2006, 26(1): 54-56.
- [8] Balli, O., Aras, H. and Hepbasli, A. (2008) Exergoeconomic Analysis of a Combined Heat and Power (CHP) System. *International Journal of Energy Research*, **32**, 273-289.
- [9] 韩宏才. 600 MW 锅炉燃烧系统变煤种运行特性分析及试验研究[D]. 河北: 华北电力大学, 2008.
- [10] 李文娇. 锅炉工况变动对运行的影响[J]. 科技信息, 2010(25).
- [11] Clinch, W.N.C. (1949) Some Operating Experiences with High-Pressure Steam Power Plant. *Proceedings of the IEE - Part II: Power Engineering*, **96**, 48-49.
- [12] 赵举贵. 600 MW 超临界燃煤锅炉燃烧优化的数值模拟[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [13] Moon, C., Sung, Y., Ahn, S., *et al.* (2013) Thermochemical and Combustion Behaviors of Coals of Different Ranks and Their Blends for Pulverized-Coal Combustion. *Applied Thermal Engineering*, **54**, 111-119.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：aepe@hanspub.org