

2.8 MW 热水链条锅炉改烧水煤浆燃烧试验分析

解永刚¹, 张传名², 王凤寅³, 赵 翔¹

(1. 浙江大学能源洁净利用与环境工程教育部重点实验室, 浙江 杭州 310027;

2. 汕头经济特区万丰热电有限公司, 广东 汕头 515000; 3. 新汶矿业集团, 山东 新汶 271219)

摘 要:水煤浆是新型洁净燃料, 有着很好的应用前景。在山东新汶矿业集团中心医院 2.8 MW 热水锅炉改烧水煤浆的工业应用中, 锅炉燃烧稳定, 燃烧效率高, 低负荷稳燃能力良好。本文对水煤浆在炉内燃烧过程, 火焰中心, 火炬长度, 结渣特性等进行了分析。

关 键 词: 锅炉改造; 水煤浆; 燃烧过程

中图分类号: TK224.1 文献标识码: B

1 前 言

水煤浆(简称 CWS)技术是洁净煤技术的一种, 它是极其具有前途的洁净燃料^[1]。

浙江大学受山东新汶矿业集团中心医院委托, 对 3、4 号两台 2.8 MW 热水链条锅炉实施改烧水煤浆改造工程, 改造十分成功, 现在锅炉能够连续稳定的全烧水煤浆运行。

2 锅炉改造方案

新汶矿业集团中心医院锅炉为 SZL2.8-0.69/95/70-A II 型热水链条炉。

改造设计是将锅炉的给煤装置、链条炉排, 及其传动装置、炉排下风箱和炉内的前后拱拆除, 并在原炉膛前布置稳燃室, 以增强辐射换热。在稳燃室前墙布置由浙江大学研制的一、二次风均为旋流的水煤浆燃烧器, 其中二次风采用轴向可动叶轮调节旋流强度。雾化水煤浆的浆枪采用由浙江大学研制开发的 DZ 型撞击式多级雾化水煤浆喷嘴。此锅炉炉膛出口只有锅炉管束作为对流受热面, 没有省煤器和空气预热器, 改造后锅炉排渣采用干式与湿式相结合的吹灰和水力排渣方式。锅炉满负荷运行时, 燃浆量为 686 kg/h。

3 试验燃料特性

3.1 水煤浆的一般特性

锅炉试验燃料为新汶矿业集团良庄煤矿水煤浆厂生产的水煤浆, 粘度为 $1200 \pm 200 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 平均粒度 $\leq 35 \mu\text{m}$ 。其工业分析、元素分析和发热量见表 1。

表 1 水煤浆工业分析、元素分析和发热量

元素分析/%		工业分析/%		发热量/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Car	47.81	Mar	38.01	
Har	2.73	Aar	5.37	
Oar	5.03	Var	20.12	
Nar	0.88	Fcar	36.50	
Sar	0.17			

用 5E-AF II 智能灰熔点测试仪测得该水煤浆的灰的熔融性, 测得的结果为: 变形温度 $DT = 1440 \text{ }^\circ\text{C}$, 软化温度 $ST = 1490 \text{ }^\circ\text{C}$, 流动温度 $FT \geq 1500 \text{ }^\circ\text{C}$ 。因此, 仅从这三个温度简单判断, 此水煤浆不易结渣, 在实际燃烧调试过程中, 结渣现象不明显, 当运行在 90% 负荷时, 在稳燃室高温区炉墙壁面有轻微结渣, 但不影响锅炉连续安全运行。

3.2 燃料结渣特性

取稳燃室炉壁灰渣样进行成份分析, 其结果见表 2。

表 2 灰成份分析结果

Fe_2O_3	MgO	CaO	TiO_2	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	Na_2O
8.14	0.98	3.32	1.16	33.06	47.86	0.22	3.33

用碱酸比来判别结渣特性, 由表 2 知, 碱酸比 $J = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) = 0.195$ (小于 0.206 为轻微结渣^[3]), 符合实际运行的结渣情况。

4 水煤浆在炉内燃烧过程与特性

因为两台锅炉相同, 燃烧状况基本相同。现重点介绍测试的 3 号锅炉。

试验中测温点和采样点示于图 1, 图中所标距

离分别为燃烧器喷口轴向距离。其中, 1.3 m、5.7 m 处分别为稳燃室出口和炉膛烟气出口。

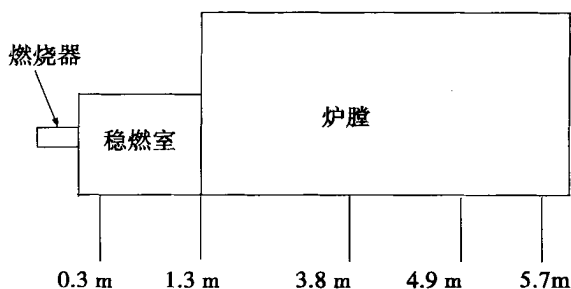


图1 锅炉炉膛与稳燃室

4.1 燃烧试验结果

3号锅炉进行了35%、40%、50%、60%、70%、80%、90%负荷的各个工况试验(因采暖用户室温过高, 未能进行满负荷试验)。4号锅炉进行了从40%负荷到100%负荷试验。以上各工况水煤浆均能稳定燃烧。

3号锅炉在80%负荷时的燃烧测试结果示于表3。

表3 燃烧测试结果

	结果
排烟温度/℃	240
过量空气系数	2.03
排烟中CO含量/%	0
飞灰含碳量/%	7.12
炉渣含碳量/%	1.16
热损失:	
排烟热损失/%	17.22
化学不完全燃烧热损失/%	0
机械不完全燃烧损失/%	0.64
锅炉散热损失/%	2.1
锅炉燃烧效率/%	99.36
锅炉热效率/%	80.04

注: 根据燃料特性, 灰渣物理热损失忽略不计。

由上述数据可知, 改烧水煤浆是成功的。

4.2 不同位置飞灰的含碳量

在实验中, 在距离燃烧器喷口为3.8 m、4.9 m位置取飞灰及除尘器内取灰样进行分析。在3.8 m处, 飞灰样含碳量为7.2%; 在4.9 m处, 飞灰样含碳量为1.1%。说明火炬在3.8~4.9 m中的某一点处已经结束, 根据含碳量对比, 火炬长度约为4.5 m。

分别对以上飞灰样作筛分(有60目、100目、140目、200目4个筛子), 然后测得不同档次颗粒直径的含碳量, 发现所有样品都符合同一个规律: 直径越

大的颗粒含碳量越高。3.8 m处取得的灰样筛分后不同档次的颗粒含碳量示于表4。由表4可以看出大于60目的灰样含碳量最高, 为14.6%, 小于200目的灰样含碳量最低, 为4.7%(因为颗粒直径为200目以下档次灰样质量百分比为56.49%, 因而此样品的总平均含碳量为7.2%)。因此, 随着颗粒直径的增加, 含碳量也增加, 这是因颗粒直径大, 比表面积小, 燃烧速度较低所造成的。因此, 雾化粒径的大小对燃烧效率的影响是显著的。

表4 3.8 m处灰样各个档次灰含碳量

颗粒档次	大于60目	100~60目	140~100目	200~140目	小于200目
质量份额/%	10.94	9.32	7.56	15.96	56.49
含碳量/%	14.6	13.3	10.8	8.3	4.7

4.3 稳燃室内燃烧情况分析

由于水煤浆中含有大量的水分, 需要较大的着火热。因此, 在改造中, 锅炉增加了稳燃室, 其内没有设置受热面, 有利于在稳燃室内形成高温环境, 保证水煤浆稳定着火燃烧。

燃烧过程中, 从观火孔对火焰进行观察, 稳燃室内火焰明亮, 在稳燃室壁面形成灰渣层, 灰渣层在一定厚度之后, 其厚度基本不变, 形成了动态平衡。

对稳燃室壁面取灰渣样, 其已经形成熔融状态, 说明稳燃室内烟气温度已经非常高, 超过了灰熔点温度。对灰渣做含碳量分析, 分析结果为0.2%。这说明稳燃室温度很高, 壁面上的灰渣已经燃烬。

在着火过程中, 有些较大的浆滴在重力作用下, 落在稳燃室底部着火, 燃烧。但其量很小, 而且由于有定期除灰, 故未形成大块的灰渣。上述现象表明: 稳燃室确实起到了强化水煤浆着火的目的, 而且稳燃室的燃烧状况是安全可靠的。

4.4 水煤浆燃烧和炉内温度分布的影响因素^[3]

图2、图3中的5个温度对应图1中的5个测点处的温度, 是沿炉膛轴向的温度分布。

4.4.1 锅炉负荷对温度分布的影响

在实际调试过程中, 3号锅炉负荷变化范围为35%~90%。图2表示了在其余的条件(浆枪位置, 二次风叶轮位置, 一、二次风门开度)都相同时, 负荷由70%变为60%时温度分布的变化。由图可知, 随着负荷变化, 沿轴向的温度分布趋势基本不变, 即在稳燃室出口处温度最高, 说明此处附近为火焰中心; 炉膛出口处温度最低, 并且随着负荷的降低, 同一点

处的温度变低。

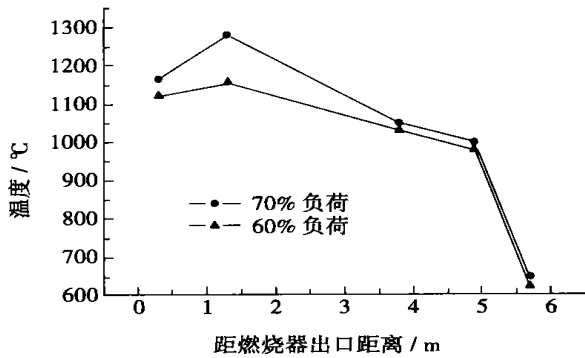


图2 负荷对温度分布影响

图2中第二点(稳燃室出口处)温度最高,分别为1279℃和1154℃,即表明火焰中心在此点附近。

4.4.2 二次风旋流强度对燃烧的影响

二次风叶轮的轴向位置用丝杆在可转动的调节手轮外面的长度(或称丝杆长度)表示,丝杆露在调节手轮外面越长,则旋流强度越弱。在同一负荷下,如果丝杆长度由长变短,则二次风旋流强度增加,中心回流区变大,火焰射流扩散角增加,水煤浆着火距离缩短,火焰中心向燃烧器出口处移动。对于低负荷情况下,可以增加二次风旋流强度来强化水煤浆的着火,保持水煤浆稳定燃烧。例如在调试过程中,负荷由90%逐渐降低到35%时,为了保证水煤浆可以稳定燃烧,把丝杆长度由135mm(最长)变到35mm(最短)。

4.4.3 送风量对燃烧的影响

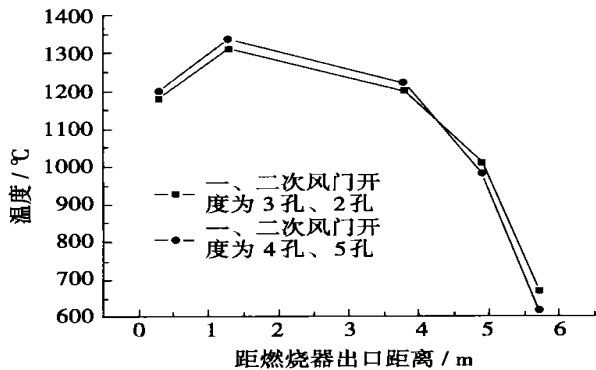


图3 送风量对温度分布的影响

3号锅炉在80%负荷下,二次风门开度和一次

风门开度分别由表示开度大小的3孔、2孔改为4孔、5孔;送风量增加,燃烧喷口风速也增加,经测量,轴向温度的变化如图3所示:随着风量增加,从燃烧器出口至距燃烧器出口3.8m处,这一区段温度变高,而炉膛出口温度变低。

4.4.4 雾化气压对燃烧的影响

喷嘴采用压缩空气雾化,一般情况下,雾化气压随着负荷的降低而降低,试验表明,当雾化气压比浆压高0.1~0.2MPa时,雾化效果良好,否则雾化不良,火炬中将会出现较多的大颗粒火星,从而导致稳燃室底部出现结渣现象。

5 结论

(1) 水煤浆火炬较长,本炉约为4.5m。

(2) 锅炉改造后,燃烧状况良好。3号锅炉在80%负荷下,经过测量、计算,燃烧效率高达到99.36%,锅炉反平衡热效率达到80.04%。此锅炉改造后,低负荷稳燃能力良好。

(3) 稳燃室的设置可以强化水煤浆的着火,而且,稳燃室运行是安全可靠的。

(4) 影响水煤浆燃烧过程和燃烧效率的因素有:雾化气压、浆压、二次风旋流强度、送风量和负荷等。

(5) 原锅炉的设计热效率为75%,改造后设计热效率80%,并经测定为80.04%,因此大大提高了热效率,节约了大量燃料,从而节约了费用,水煤浆为洁净燃料,根据测定,锅炉改烧煤浆后排放SO₂的量都低于煤粉炉,从而可以减少污染。因此,此锅炉的改造给同类型锅炉的改造提供了思路,具有很好的参考价值。

参考文献:

- [1] 岑可法,姚强,曹欣玉,等.煤浆燃烧、流动、传热和气化的理论与应用技术[M].杭州,浙江大学出版社,1997.
- [2] 鲁许鳌,谷俊杰,彭学志.锅炉受热面积灰结渣判别方法的应用分析[J].电力情报,2002(3):16-20.
- [3] 赵翔,寿伟义,曹欣玉,等.石油焦渣油浆的燃烧实验研究[J].动力工程,1998(3):60-64.

The structure of a gas-filled heat-pipe air preheater is analyzed along with a description of its applications. By using a flat interface model it is possible to determine the effective length of a gas-filled heat pipe cooling section. Under the condition of identical initial parameters the gas-filled heat-pipe heat exchangers and those not being gas-filled are tested and the difference among the heat-pipe minimum operating-control temperature, exhaust gas temperature and heat exchange area is analyzed. The results of industrial tests and practical use indicate that under off-design operating conditions and when firing coal of high sulfur content (5% - 7%) the gas-filled heat-pipe air preheaters excel in corrosion-prevention and ash-fouling resistance performance. **Key words:** gas-filled heat pipe, air preheater, corrosion prevention, ash fouling resistance

2.8 MW 热水链条锅炉改烧水煤浆燃烧试验分析 = **The Combustion Test and Analysis of a 2.8MW Hot-water Traveling-grate Boiler Retrofitted for Firing Coal-water Slurry** [刊, 汉] / XIE Yong-gang, ZHAO Xiang (Institute of Thermal Power Engineering under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027), ZHANG Chuan-ming, WANG Feng-yin (Xinwen Mining Group Corporation, Xinwen, Shandong Province, China, Post Code: 271219) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 309 ~ 311

Coal-water slurry is a new type of clean fuel, which enjoys very good usage prospects. Its use on a retrofitted 2.8MW hot-water boiler in the central hospital of Xinwen Mining Group Corp. is credited with a stable combustion even at low loads. The combustion process of coal-water slurry in the above-mentioned boiler is described along with an analysis of the flame center and length as well as slag-forming characteristics etc. After its retrofitting the boiler has attained a thermal efficiency of 80.04% and a combustion efficiency of 99.36%. It is noted that the secondary-air swirl intensity, atomization air pressure, slurry pressure, air feed rate and boiler load, etc have a significant impact on the combustion of the coal-water slurry, and, hence, combustion efficiency. The retrofitting of this hot-water boiler can serve as a fine example for the retrofitting of other analogous boilers. **Key words:** coal water slurry, combustion process, boiler modification and upgrading

鳞片式锅炉链条起拱问题及预紧力分析 = **An Analysis of the Humping of Fish Scale-shaped Boiler Chains and the Application of a Pretension Force** [刊, 汉] / ZHANG Yao-wen (Yantai Bing Lun Boiler Co. Ltd., Yantai, China, Post Code: 264002), WANG Xu-dong (College of Mechanical Engineering under the Xi'an University of Electronic Science & Technology, Xi'an, China, Post Code: 710071) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 312 ~ 315

Through the solution for a catenary equation and the clarification of the rigidity relationship between the upper and lower chains the mechanics problem of humping of boiler grate chains was analyzed and discussed. On this basis a critical pretension force along with its simple assessment and control has been proposed, which can be used as a target index for the design and safe operation of front-drive boiler chains. A comparison of the two drive modes, namely, the front and rear shaft drives, has led to the conclusion that a front shaft drive is more rational for use on industrial boiler chain grates. **Key words:** fish scale-shaped chain, chain rigidity, chain pretension, catenary

一种新的流量管标定方法 = **A New Method for Calibrating Air Flow-rate Measuring Tubes** [刊, 汉] / LI Dian-xi, WANG Hong (Harbin No.703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), WANG Shi-an, YOU Ke-quan (Naval Representative Office Resident at No.703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 316 ~ 317

Key words: aerodynamic test rig, air flow-rate measuring tube, calibration, equipment

工业锅炉给水泵选型的方法 = **Type Selection Method for the Feedwater Pumps of Industrial Boilers** [刊, 汉] / LIU Xue-hai, YAN Feng-zhen (Equipment Engineering Department, Wondersun Milk Products Industrial Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150090) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 318 ~ 319

Key words: industrial boiler, feedwater pump, type selection