

水煤浆代油改造技术在工业采暖锅炉中的应用

赵保成, 朱柳娟, 顾伯勤

(南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏 南京 210009)

摘 要:以北京燕山石化民用能源热力分公司 14 MW 工业采暖燃油锅炉改烧水煤浆的实例为对象, 针对锅炉由原燃烧重油改烧水煤浆燃料的特点, 阐述了在保留原有设施的同时锅炉系统进行的适当调整和改造, 计算分析了本次改造所产生的社会效益, 表明水煤浆作为一种洁净燃料具有的广阔应用前景。

关 键 词:工业采暖锅炉; 水煤浆; 改造

中图分类号: TK229 文献标识码: B

1 前 言

能源与环境是当今世界所面临的两大严峻的现实问题。20 世纪 70 年代的世界石油危机促使一些国家, 特别是石油资源欠丰富而又以石油为主要燃料的国家, 开始研究新的能源替代品。水煤浆便是此时发展起来的一种以煤代油的新型洁净燃料^[1]。水煤浆 (Coal Water Slurry 简称 CWS, Coal Water Fuel 简称 CWF, Coal Water Mixture 简称 CWM) 是一种由 60%~70% 的煤粉与 40%~30% 的水及少量添加剂混合而成的煤基浆状燃料。它外观象油, 流动性好, 储存稳定, 运输方便, 雾化、燃烧效率高, 两吨水煤浆可代替一吨重油。最重要的是其在燃烧过程中的 SO₂、NO_x 和烟尘排放量少, 环境污染小。水煤浆可代油、代煤、代气燃用, 它已被广泛用于电站锅炉、工业锅炉、集中供热、工业窑炉等。燃用水煤浆是实现煤炭高效、经济、清洁利用的重要技术途径之一。储量丰富、品种齐全的煤炭资源为我国发展水煤浆技术提供了物质基础。

北京燕山石化民用能源热力分公司应用已取得的水煤浆研究开发成果对星城供热站 QXS14—1.25/130/70—Y 型燃重油热水锅炉进行燃用水煤浆改造。

2 燃油锅炉改烧水煤浆的技术改造

2.1 改造前后锅炉的燃料特性

原锅炉改烧水煤浆后, 既能烧水煤浆, 又能烧油。使用燃油点火, 水煤浆独立燃烧系统。燃料油和水煤浆的主要特性见表 1。

表 1 燃料特性

	C ^y	H ^y	O ^y	N ^y	S ^y	A ^y	W ^y	Q _{DW} ^y /kJ·kg ⁻¹
油	86.62	12.50	0.41	0.25	0.19	0.03	—	41 864
水煤浆	50.42	3.56	4.88	1.06	0.21	5.87	34.0	18 838

改造后燃用水煤浆的其它特性见表 2。

表 2 水煤浆的其它特性

浓度(重量比)	粘度	平均粒度	最大粒度
~66%	~1 Pa·s 左右	60 μm	<500 μm

2.2 14 MW 燃油锅炉改烧水煤浆前后的设计参数
表 3 列出了 14 MW 燃油锅炉改烧水煤浆前后的主要设计参数。

表 3 改造前后锅炉的主要设计参数

	改造前	改造后
额定产热量/MW	14	~10.5
最高工作压力/MPa	1.25	1.25
最高出水温度/℃	130	130
回水温度/℃	70	70
燃料	重油	精细水煤浆
水煤浆耗量/kg·h ⁻¹		~2 400
满负荷燃料消耗量/t·h ⁻¹	1.33	2.414
点火燃料		轻柴油
自动化		直接数字控制
锅炉热效率/%	91	83
锅炉排烟温度/℃	141	150

2.3 锅炉本体的改造

水煤浆的低位发热值在 18 837 ~ 20 930 kJ/kg 之间, 是重油的 50% 左右。锅炉改烧水煤浆后, 在炉膛容积基本不变的情况下, 其额定热负荷由改造前的 14 MW 下降为 10.5 MW。因改造后的锅炉出力减少为原来的 75% 左右, 外部供热、供气条件基本不变, 故锅炉原有的部分设施, 如燃料系统、供水系统、软水系统、污水系统不变。增加了水煤浆卸浆系统、炉前供浆设施、冲洗水系统、雾化水煤浆所需的压缩空气系统、排渣系统、烟气除尘脱硫系统等水煤浆锅炉必须的附属设施。具体改造后的 14 MW 燃油锅炉系统流程如图 1 所示。

2.3.1 炉膛及水冷壁的改造

由于水煤浆含有 30% 以上的水份, 难以引燃着火, 且要求着火时必须能迅速挥发水份, 为此设置了前置预燃室以提高和保持炉膛温度。改造时锅炉的室燃炉方式不变, 前墙仍布置两个喷燃燃烧器, 但炉膛内燃烧方式由微正压改为微负压。将原锅炉炉膛保温墙拆除, 设置一预燃室, 以保持水煤浆火焰稳定。燃烧室底部设置条形落灰口, 在原辐射受热面炉墙底部, 也增设了三个冷灰落灰口, 并沿锅炉炉膛底部纵向增设了刮板除渣机。由于锅炉改造后为负压燃烧, 所以在冲灰渣沟口设置钢制活动挡板, 以尽量减少外部空气漏入炉膛。另外, 在锅炉一侧重新设置 4 扇针对冷灰口的清灰门, 并在尾部增设压缩空气吹灰管等。原炉膛前部设有 7 根前水冷壁管, 妨碍了前置预燃室的设置。因此, 将平行排列的 7

根前水冷壁直管中的 4 根改为分别弯向炉膛两侧的弯管, 以让出预燃室所需的空间。

2.3.2 燃烧设备

燃烧器是燃油锅炉改烧水煤浆的关键设备。本次改造中专门设计了水煤浆燃烧器, 两个燃烧器布置的位置与原燃油燃烧器相同。水煤浆雾化介质采用压缩空气。燃烧器上设有一、二次风风量调节装置以及二次风旋流强度无级调节装置和中心风微量调节装置。利用高温烟气的回流热来强化水煤浆燃烧。燃烧器上设有独立的水煤浆枪孔、油枪孔, 还设有打焦和观察孔。

2.3.3 锅炉点火装置和点火顺序

鉴于水煤浆难以引燃着火这一特点, 故在锅炉启动时先点燃下部燃烧器的点火油枪, 当炉膛温度达到 900 °C 以上时, 便可点燃上部水煤浆浆枪, 待水煤浆稳定燃烧后, 即可投入下部水煤浆浆枪, 停止下部油枪运行。这样可以保证水煤浆在锅炉内稳定燃烧。水煤浆供浆压力为 0.4 ~ 0.7 MPa, 雾化用压缩空气压力为 0.6 ~ 0.9 MPa。

2.3.4 鼓、引风机系统的改造

原燃油锅炉改烧水煤浆后, 热水锅炉全部燃用水煤浆时需要风量为 19 200 m³/h, 风压 3 500 Pa。原鼓风机不能满足需要, 需更换新风机, 其型号为 G4-73, 主要特性参数为: Q=16 156 ~ 434 000 m³/h, H=1 400 ~ 6 865 Pa, N=18.5 ~ 850 kW, 最高温度不超过 80 °C。

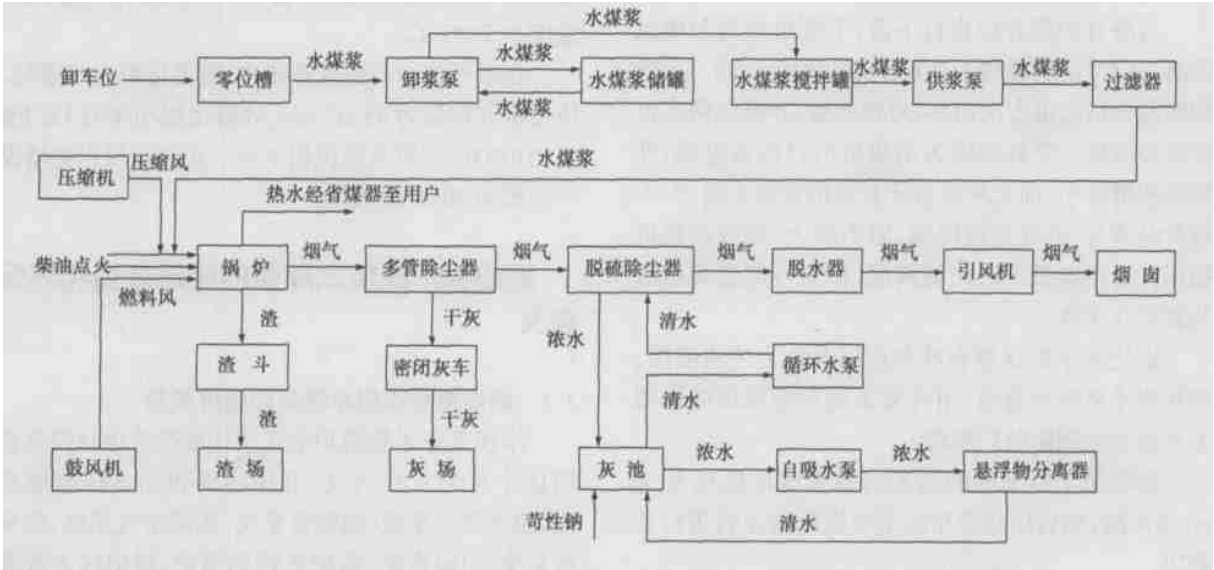


图 1 改造后的 14 MW 燃油锅炉系统流程图

此外, 由于锅炉改造后为负压燃烧, 多管除尘器及脱硫除尘器的阻力需要引风机克服, 因此需增加高压防腐引风机。高压防腐引风机能经受因燃煤引起的灰磨蚀, 表面耐磨、密封可靠。热水锅炉同高压防腐引风机的型号为 GGNO 12. 5D, 主要特性参数为: $Q=45\,000\sim55\,000\text{ m}^3/\text{h}$, $H=6\,500\sim7\,000\text{ Pa}$, $N=132\text{ kW}$, $T=80\text{ }^\circ\text{C}$ 。

2.4 水煤浆卸浆、供浆系统

系统由零位槽、卸浆泵、储浆泵、中间泵、供浆泵、在线过滤器、中间搅拌器等组成。因水煤浆是固液两相流体, 在制备、储存过程中不可避免地会有一些粗粒子及纤维混入, 而且在运输过程中, 也会有一些杂质掉进煤浆中。因而水煤浆供浆系统中的在线过滤器是保持系统正常运行的重要设备。为保持煤浆均匀、改善水煤浆的流变特性, 在储罐和供浆泵之间增设了专用的自清式过滤器和搅拌罐。

2.5 冲洗水系统

螺杆泵在长时间停用或检修时需要冲洗, 水煤浆燃烧器和水煤浆输送管道在停用和必要时也需要冲洗。因此在水煤浆输送系统和锅炉燃烧系统中均配备有冲洗水管道及冲洗设备。冲洗污水排入渣浆池循环使用。冲洗水来自星城供热站内部供水管道。为避免水煤浆进入供水管道, 在管道交接处设置止回阀。

2.6 除渣、除灰和烟气处理系统的改造

2.6.1 除渣、除灰系统的改造

灰渣自炉底开口自行下落, 下部由水封刮板机除渣。设计落灰量每天 0.6 t, 实际每天 2.2 t。运行初期刮板机皮带多次损坏, 对轮断裂, 并发生两次齿轮断裂事故。究其原因为刮板机出口挡板过低, 外部容积槽太小, 加之灰渣量比装灰槽容量大得多, 不能及时清灰, 造成灰渣堵塞, 阻力增大, 导致刮板机损坏。通过增加出口挡板高度, 扩大外部容积槽后装置运行正常。

燃烧室下部设置有冲灰沟以及水力冲渣喷嘴, 将灰渣冲至室外渣池, 用泥浆泵送至板框压滤机滤去水份后运到制砖厂制砖。

多管除尘器下部的细灰由刮板输送机送至 50 m^3 储灰罐, 然后用灰罐车运至水泥厂做原料进行再利用。

2.6.2 烟气处理系统的改造

燃油锅炉改烧水煤浆后, 单台热水锅炉的理论

计算排烟量为 $38\,200\text{ m}^3/\text{h}$, 出口烟气温度为 $180\text{ }^\circ\text{C}$, 烟气的含尘浓度为 $4\,870\text{ mg}/\text{m}^3$, 烟气中含二氧化硫浓度为 $760\text{ mg}/\text{m}^3$ 。锅炉出口烟气不能满足直接排放要求, 为满足环保要求, 并考虑粉煤灰的废物利用, 采用除尘脱硫系统分别对烟气进行处理。

热烟气先经 XD 多管旋风除尘器除掉大部分大颗粒灰尘, 并由 XSP 脱硫塔喷淋水进一步除去大颗粒灰粒。较细灰粒在脱硫塔上部喷雾层被吸收, 并相互碰撞变大由水带走。烟气中的 SO_2 、 SO_3 被碱液吸收, 反应生成 NaSO_3 、 NaSO_4 , 从而达到脱硫效果。脱硫后的烟气经脱水器除去水份后由引风机送入烟道。

多管除尘器除去的大部分灰用来制砖。由脱硫除尘器排出的灰渣送至沉淀池, 经沉淀处理后, 用泥浆泵送至板框压滤机滤出水份后运至制砖厂制砖。脱硫除尘、除渣系统的补充水来自锅炉排污水及离子交换器冲洗水, 系统在运行中不需要补充新鲜水。

2.7 压缩空气系统的改造

由于锅炉改烧水煤浆后, 需用压缩空气对进入燃烧器的水煤浆进行雾化, 在水煤浆储运系统中, 也需要一定量的压缩空气吹扫管道, 在烟气除尘与脱硫系统中, 需用压缩空气曝气, 故需新增加压缩空气系统。

对于燃浆量为 $2.4\text{ t}/\text{h}$ 的 14 MW 锅炉, 考虑管路的损耗量后, 用气量约为 $10\text{ m}^3/\text{min}$ 。故选用 1 台 SA—4100A 型风冷式螺杆空气压缩机。该机容积流量为 $10.9\text{ m}^3/\text{min}$, 排气压力为 1.0 MPa , 后冷却器出口温度小于 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 。

在烟气除尘与脱硫系统中, 需要压缩空气曝气, 压缩空气用量为 $45\text{ m}^3/\text{min}$, 故新增加功率为 132 kW 的 TGD200b 型罗茨鼓风机 1 台。在空压机东侧增设一容积为 30 m^3 储气罐。

3 燃油锅炉改烧水煤浆的经济效益和环保意义

3.1 燃油锅炉改烧水煤浆的经济效益

本次工业采暖锅炉水煤浆代油改造项目投资费用总计为 377.47 万元, 其中主要包括本体燃烧系统、脱硫除尘系统、储供浆系统、压缩空气系统、除灰渣系统、引风系统、锅炉热效率测定、锅炉仪表改造和电气改造等工程、技术、制作、安装、施工及材料费用。

按水煤浆价格 340 元/t, 热值 18.84~20.91 MJ/kg, 重油 1376 元/t, 热值 40.98 MJ/kg 计算, 可以得到两种燃料在同等热值时的用量比为 2.1 t 水煤浆比 1 t 重油。当燃尽率为 97% 时, 可以得出燃料用量产生的经济效益为 $1376 - 2.1/0.97 \times 340 = 640$ 元。

在实际运行中, 影响本次改造经济效益的主要因素还有: 改造后增加用电负荷 324.6 kW, 增加用水量 5 t/h; 为除去锅炉烟气中的 SO_2 , 设备防腐蚀增加 NaOH 用量 15 kg/h。故电的消耗为 $324.6 \times 0.45 = 146.07$ 元/h, 水的消耗为 $5 \times 3 = 15$ 元/h, NaOH 的消耗为 $15 \times 2.5 = 37.5$ 元/h, 合计为 199 元/h。此外还有掏灰人工、维修费用的增加等。但考虑到设备已经按满负荷计算, 所以这些可以忽略不计。

从而, 得出本次改造的直接经济效益, 为 $640 - 199 = 441$ 元/h。按一个供暖季节 120 天计算, 创造的经济效益为 $120 \times 24 \times 441 = 1\,270\,080$ 元。

由此可见, 燃油锅炉改烧水煤浆的经济效益十分显著, 3 个供暖季节即可收回投资, 如能进一步改善水煤浆燃烧技术, 将会产生更大的经济效益。

3.2 燃油锅炉改烧水煤浆的环保意义

燃油锅炉改烧水煤浆后, 由于水煤浆燃烧的火焰温度要比同煤种煤粉的火焰温度低 100~200 °C, 可实现低温燃烧, 低灰、低 SO_2 、低 NO_x 排放, 这样烟气环境污染的治理可以简化。经北京市环保局测试, 本次改造后锅炉烟气脱硫除尘后 SO_2 排放浓度

为 52 mg/m³, 烟尘排放浓度 29 mg/m³, 林格曼黑度 1 级, 低于北京市锅炉污染物综合排放标准中的二类指标^[3]。

4 结 语

北京燕化民用能源热力分公司星城供热站 14 MW 燃油锅炉改燃水煤浆后, 通过一个供暖季节的试运行和一个供暖季节的完善改进, 取得了满意的结果。截至 2003 年 3 月 20 日, 累计安全运行 1 407 h, 已燃水煤浆 2 155 t, 其中连续燃烧的最长时间为 192 h。改造后锅炉实际运行中燃料消耗量为 1.997 t/h, 锅炉热效率为 87.97%, 与设计值接近。计算分析表明了本次改造所产生的经济效益也是十分可观的。此外, SO_2 和烟尘排放浓度均满足国家环保要求。可见, 水煤浆技术在北京燕山石化民用能源热力分公司燃油锅炉改造中的应用是十分成功的。随着水煤浆技术的不断发展和完善, 其作为洁净的代油代气燃料应用前景亦将日益广阔。

参考文献:

- [1] 付 华, 赵继荣. 洁净的代油燃料——水煤浆[J]. 能源工程, 2000, 4: 22—24.
- [2] 赵保成. 工业采暖锅炉水煤浆代油改造技术研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2003.
- [3] 北京市质量技术监督局. 北京市地方标准锅炉污染物综合排放标准[Z]. 北京: 北京市环境保护局, 2002.

(上接第 619 页)

计算结果表明: 简单循环和联合循环的效率、热耗率的试验值和分析值均在合同要求的误差范围内, 证明该模型的精度能够满足工程的实际需要。

5 结 论

针对华能重庆燃机电厂建立了一套详细的在线性能分析及故障诊断系统, 得出了以下结论: ①对于各种变工况性能曲线, 采用 BP 网络进行数据拟合, 并将训练好的网络编入性能计算模型中; ②在分级故障的基础上运用基于 BP 算法的灵敏度分析方法对引起热经济性下降的原因进行诊断。运行分析表

明, 该模型对机组变工况性能模拟的精度能满足工程的实际需求, 能对常见热经济性故障进行实时诊断, 为运行人员提供详细的参考, 从而达到优化运行的目的。

参考文献:

- [1] AGAZZANI A. A tool for thermoeconomic analysis and optimization of gas, steam, and combined plants[J]. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 1997, 119: 885—892.
- [2] WEBBOS P J. Backpropagation through time: What it does and how to do it[J]. *Proceedings of the IEEE*, 1990, 78: 1550—1560.
- [3] 焦树建. 燃气—蒸汽联合循环装置[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [4] 曹 宏. 华能重庆燃机电厂性能考核试验[J]. 燃气轮机技术, 1994(12): 43—49.

is given of the basic process of its implementation and, on this basis, an expanded and balanced combustion control system proposed. The above work can serve as an exemplary case and provide reference for control version optimization in other thermal power plants and for the full utilization of system resources. **Key words:** primary air, pulverized coal, on-line monitoring, Symphony, realization

煤粉与水煤浆焦炭颗粒燃烧速度的分析和比较 = **Analysis and Comparison of the Combustion Speed of Coal Water Slurry and Pulverized-coal Coke Particles** [刊, 汉] / YU Hai-miao, ZHAO Xiang, CAO Xin-Yu, HUANG Zhen-yu (Education Ministry Key Laboratory on Energy Clean Utilization and Environmental Engineering under the Thermal Power Engineering Institute of Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(6). — 631 ~ 633.

Through the full-load combustion tests of a coal water slurry-fired boiler No. 2 at Maoming Thermal Power Plant and a pulverized coal-fired boiler No. 5 at Banshan Power Plant an analysis and a comparison was conducted of the combustion speed of coal water slurry (CWS) and pulverized-coal coke particles. With the help of a scanning electron microscope and by way of a BET nitrogen adsorption test and by using a granularity analyzer the fly ash samples of the combustion test were studied and analyzed. This is followed by a discussion of the causes, which may have led to the divergence in combustion speed of CWS and pulverized-coal coke particles. **Key words:** pulverized coal, coal water slurry, coke particle, combustion speed

水煤浆代油改造技术在工业采暖锅炉中的应用 = **The Application for Industrial Heating Boilers of a Modification Technology Involving the Conversion from Oil firing to Coal Water Mixture Firing** [刊, 汉] / ZHAO Bao-cheng, ZHU Liu-juan, GU Bo-qin (College of Mechanical & Power Engineering under the Nanjing Polytechnical University, Nanjing, China, Post Code: 210009) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(6). — 634 ~ 637.

The 14 MW heavy oil-fired industrial heating boiler of Beijing Yanshan Petrochemical Civilian Energy Sub-company has been converted to fire coal water mixture. In the light of the specific features of this conversion the authors have expounded the proper adjustment and modification of the boiler system under the condition of retaining the original facilities. The social economic benefits resulting from the above-cited modification are evaluated and analyzed. It can be shown that the coal water mixture as a kind of clean fuel enjoys a high potential of wide applications. **Key words:** industrial heating boiler, coal water mixture, modification

水煤浆技术在吉化炼油厂的应用 = **The Application of Coal Water Slurry Combustion Technology at Jihua Oil Refinery** [刊, 汉] / CAO Xian-bo, TAO Shu-cheng (Jihua Oil Refinery, Jilin, China, Post Code: 132000), LIU Jian-zhong, ZHOU Jun-hu (Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(6). — 638 ~ 641.

The conversion and modification of a 65 t/h oil-fired boiler at Jihua Refinery to fire coal water slurry is described along with a brief account of the latter's discharge, storage and transportation system, the boiler front system components, slag and dust removal system. Moreover, analyzed are the modified-boiler operating conditions, economic and social benefits achieved and future use prospects of such modifications. The actual results of conversion of the above-cited boiler indicate that its load can be higher than 60 t/h, combustion efficiency above 97% and thermal efficiency greater than 88.5%. **Key words:** coal water slurry, combustion, boiler, oil refinery

一种有效的船舶轴系安装新方法 = **A New Effective Method for Installing a Ship Shafting** [刊, 汉] / LI Nan (Mechanical Engineering Institute under the Dalian University of Science & Technology, Dalian, China, Post Code: 116023), NIU Ming-tian (Naval Representative Office Resident at Dalian Shipyard, Dalian, China, Post Code: