

# 水煤浆技术在吉化炼油厂的应用

曹献波<sup>1</sup>, 陶树成<sup>1</sup>, 刘建忠<sup>2</sup>, 周俊虎<sup>2</sup>

(1. 吉化炼油厂, 吉林 132000; 2. 浙江大学, 浙江 杭州 310027)

**摘要:**介绍了吉化炼油厂 65 t/h 油炉改烧水煤浆工程, 对厂区煤浆卸、储、运、炉前系统, 出渣除尘等也作了介绍, 并对改造后锅炉运行情况以及经济、社会效益和应用前景进行了分析。实际应用结果表明, 锅炉负荷可达 60 t/h 以上, 燃烧效率达到 97% 以上, 锅炉热效率达到 88.5% 以上。

**关键词:**水煤浆; 燃烧; 锅炉; 炼油厂

中图分类号: TK227 文献标识码: B

## 1 前言

随着能源科技和中国经济的快速发展, 优质能源需求不断增加, 石油、天然气消费呈现加速增长态势。我国自 1993 年成为石油净进口国, 产需缺口不断增大。而在未来的 10~20 年, 我国经济仍将高速发展, 石油需求将呈现强劲增长趋势, 供需将继续增加。因此, 寻找新的代油燃料, 替代我国大量的燃油锅炉每年消耗的几千万吨燃料油, 确保我国能源供应的稳定和社会经济的可持续发展, 是迫切要进行的工作。

我国的能源结构是煤炭资源十分丰富, 占化石能源资源的 80% 以上, 石油、天然气相对短缺, 因此我国一直提倡以煤代油的能源政策。如果把不清洁的燃料——煤转化成洁净的代油燃料, 无疑将是一种符合我国国情的、有重要社会效益的燃料。水煤浆正是这种能实现代油和优先发展的洁净燃料。

## 2 水煤浆燃料特性

水煤浆是 20 世纪 70 年代末发展起来的新型煤基流体洁净燃料, 由 68% 左右的煤粉、32% 左右的水和 0.5% 左右的化学添加剂组成, 其流动和储存特性类似重油, 并能象油一样雾化、燃烧, 因此是一种理想的代油燃料。其优点如下: (1) 水煤浆具有良好的流动性、稳定性、易运输, 可减少运输途中的损失,

节省贮煤场地, 特别是可以液体燃料方式用泵和管道输送; (2) 水煤浆加工方法简单并易贮存; (3) 燃料供给系统和控制系统远较煤粉系统简单; (4) 不存在自燃着火和粉尘飞散等问题; (5) 可以实现 100% 代油, 且与油一样易于雾化燃烧, 因此, 原有的燃油炉只要简单改造即可燃用水煤浆; (6) 在水煤浆加工过程中, 可以进行不同程度的脱灰, 脱硫处理, 燃烧温度又比一般煤粉燃烧温度低 100 °C~200 °C, 因此, 燃烧时排放的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 可大大减少, 成为一种很有潜力的洁净燃料。表 1 是我厂使用的水煤浆质量指标。

表 1 水煤浆特性参数(双鸭山煤样元素分析) (%)

分析项目	C <sub>ad</sub>	C <sub>daf</sub>	H <sub>ad</sub>	H <sub>daf</sub>	N <sub>ad</sub>	N <sub>daf</sub>	O <sub>ad</sub>	O <sub>daf</sub>	S <sub>t,ad</sub>	S <sub>t,daf</sub>
	75.25	88.52	3.94	4.46	0.96	1.09	10.34	11.72	0.2883	0.3100

表 2 双鸭山煤样发热量、灰熔点测定结果 (kJ/kg)

分析项目	Q <sub>bad</sub>	Q <sub>gr,ad</sub>	Q <sub>net,ad</sub>	ST
	30 267	30 100	26 092	1 300 °C

表 3 双鸭山煤浆理化性能测试结果

测试项目	结果
表观黏度/mPa·s	897
浓度/%	67.42
粒度分布≤75 μm	体积分布占 80% 以上
灰分/%	6.16
硫分/%	0.209
热值/kJ·kg <sup>-1</sup>	17 589
稳定性 d	30
灰熔点 ST/°C	1 300
pH 值	8

## 3 原锅炉概述

炼油厂 4 台燃油锅炉由北京锅炉厂制造, 按渣

收稿日期: 2004-02-18

作者简介: 曹献波(1969-), 男, 吉林省吉林人, 中国石油吉林石化公司炼油厂工程师。

油设计, 型号为 Y-65/3.9-1 型。锅炉采用中压单锅筒、自然循环、负压燃烧、平衡通风、II 型室内布置。炉膛为正方形截面, 其尺寸为 4.5 m × 4.5 m。锅炉采用全悬吊结构, 利用大直径下降管集中供水。炉膛为密节距水冷壁, 水平烟道及尾部烟道上部布置有过热器和包墙管。水平烟道里分两级布置了对流过热器, 两级之间装设喷水减温器, 以调节过热蒸汽温度。经济器为单级布置, 空预器为卧式, 尾部垂井装有钢珠除尘及蒸汽消防设备。原设计燃烧装置为 4 只重油燃烧器(后改为油/气两用), 分两排布置于炉室前墙, 并采用大风箱、切向可动叶片调风器。锅炉简图见图 1。

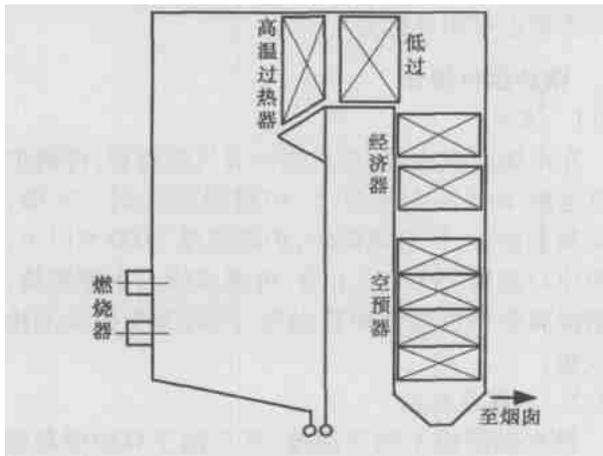


图 1 改造前锅炉示意图

原设计锅炉的主要技术参数(括号内数据为改造水煤浆后参数):

锅炉额定蒸发量 65 t/h(55 t/h)

额定蒸汽压力 3.9 MPa

额定蒸汽温度 450 °C(450 °C)

给水温度 150 °C(150 °C)

冷空气温度 30 °C(30 °C)

排烟温度 157 °C(148 °C)

热空气温度 220 °C(300 °C)

锅炉计算效率 91.2%(89.8%)

燃料种类 重油(渣油、焦油、瓦斯气、水煤浆)

燃料耗量 4 891 kg/h(8 890 kg/h 水煤浆)

## 4 锅炉和系统改造要点

### 4.1 锅炉系统改造

为了适应水煤浆燃烧, 锅炉体积需要扩大, 以降低锅炉容积热负荷, 为此炉膛整体向下延伸约 2 m。燃烧器由前墙布置旋流燃烧器改为四角布置直流燃

烧器, 该燃烧器为油/水煤浆两用燃烧器, 均等布风方式, 一次风喷口(即油/水煤浆两用燃烧器)2 层, 二次风口 3 层。锅炉启动点火时, 先点燃油(或燃料气), 使炉膛达到一定的温度水平后, 再投入水煤浆, 然后逐步增加水煤浆枪, 减少油枪。为了保证燃油时蒸汽参数和燃瓦斯气需要, 保留前墙上排两个旋流燃烧器。根据燃用水煤浆喷嘴的成功经验及电站锅炉的特点, 这次改造使用的喷嘴是浙江大学研制的撞击式多级蒸汽雾化型水煤浆喷嘴。

在受热面改造方面, 过热器和喷水减温装置不作改动, 为了提高热风温度, 对经济器和空预器的面积和布置进行调整, 即在经济器上下两组之间增加一级空预器, 同时上组经济器去除 6 排管子, 增加下级空预器的面积, 使空预器总面积约增加 2 000 m<sup>2</sup>。改造后的锅炉示意图见图 2。此外, 锅炉水冷壁和其他受热面增加吹灰装置, 经济器和空预器增加防磨装置。

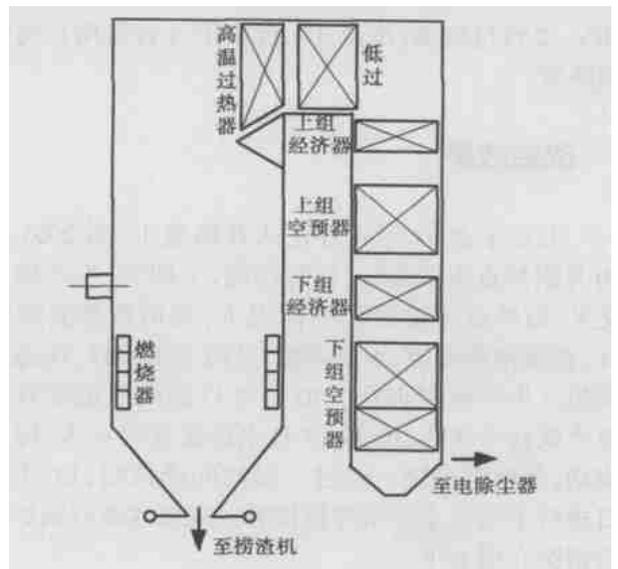


图 2 改造后锅炉示意图

炉底由原来平炉底改为冷灰斗, 并增加刮板式捞渣机。除尘器选用单室三电场静电除尘器, 干法出灰, 经刮板送入专用飞灰罐车, 直接运送并进行综合利用。

### 4.2 水煤浆系统改造

厂区水煤浆系统改造内容包括: 汽车罐车运输, 厂区内卸浆、贮浆、输浆及炉前供浆系统。动力厂制备的水煤浆由容量 30 m<sup>3</sup>的水煤浆专用罐车运至厂内储罐。整个水煤浆改造工艺流程见图 3。

厂区设置卸浆、输浆泵房一座, 由汽车运来的煤

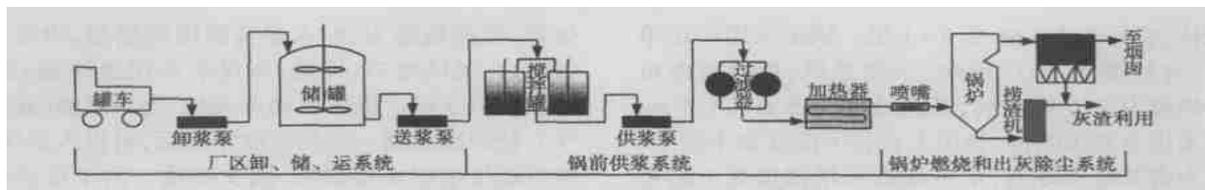


图 3 水煤浆工程系统示意图

浆先经罗杆泵送到贮浆罐，罗杆泵容量  $65 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程  $0.6 \text{ MPa}$ ，共 2 台。贮浆罐利用原  $500 \text{ m}^3$  油罐改造而成，贮浆罐考虑防沉淀设计搅拌系统，防冻结设计电伴热保温系统。贮浆罐里的水煤浆由 3 台输浆泵把煤浆送至炉前两台搅拌罐。

炉前设供浆泵房一座，供浆设备按流程主要有：两个  $25 \text{ m}^3$  带搅拌装置的搅拌桶，并列安装，采用岩棉保温，室内冬季热水采暖，通过系统循环可控制温度桶内水煤浆温度  $40 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ 。2 台罗杆泵（按设计 1 台工作，1 台备用），容量  $14 \text{ m}^3/\text{h}$ ，泵出口压力  $1.8 \text{ MPa}$ 。2 台过滤器（按设计 1 台工作，1 台备用），两台加热器。

## 5 改造效果

工程于 2003 年 4 月正式开始施工，到 2003 年 10 月锅炉点火试运行，在时间短，工期紧，生产施工交叉，旧炉改造难度大的情况下，我们根据安装实际，克服种种困难，不断调整，及时完善设计，使施工及投入生产顺利进行。10 月 9 日锅炉改造后首次点火就获得成功，10 月 17 日水煤浆首次点火，即获成功，并稳定燃烧。经过一段时间调试后，12 月 11 日进行了全烧水煤浆考核试验。现就改造后锅炉运行情况介绍如下。

### 5.1 全烧水煤浆锅炉主要技术指标

12 月 11 日进行的锅炉全烧水煤浆考核试验，锅炉主要技术指标如下：

参 数	实际运行
锅炉设计出力/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	55
锅炉最低出力/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	34
锅炉最高出力/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	65
蒸汽压力/ $\text{MPa}$	3.9
蒸汽温度/ $^\circ\text{C}$	450
燃烧效率/%	$> 97$
锅炉效率/%	$> 88.59$

主要参数说明锅炉改造后能满足运行要求，锅炉最低运行负荷曾达到  $34 \text{ t/h}$ ，最高曾达到  $65 \text{ t/h}$ 。

锅炉在上述负荷下，水煤浆着火迅速，燃烧稳定，燃烧效率和锅炉热效率分别达到  $97\%$  和  $88.5\%$  以上，与煤粉炉不相上下。同时，锅炉尾部飞灰、排渣和烟气成分能满足环保排放标准，特别是  $\text{NO}_x$  和排放  $\text{SO}_2$  排放明显低于常规燃渣油和煤粉锅炉，因此在环保方面也有明显优势。

### 5.2 锅炉运行操作

#### 5.2.1 点火

在水煤浆点火前，先点燃油或气体燃料，待锅炉负荷达到  $40\%$  左右或以上，炉膛温度达到一定值，根据我们经验，针对该锅炉，炉膛温度  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  以上，炉膛出口温度  $750 \text{ }^\circ\text{C}$  以上后，再逐步投入水煤浆枪，逐渐提高锅炉负荷和炉膛温度，同时逐步撤除油枪或气枪。

#### 5.2.2 水煤浆投枪

投水煤浆枪不同于油枪，更不同于煤粉燃料投入操作。水煤浆枪投枪次序如下：①插入水煤浆枪（先不要伸到很里面，待接好软管后再伸到位），在连接金属软管前，先把软管和阀门后的旧煤浆放掉，并把这段管路用水冲洗干净；②把水煤浆枪位置插到位；③检查煤浆供浆阀处关闭位置，（开少许蒸汽），三通阀连接水系统，缓慢打开水阀门、调节阀门和逆止阀，冲洗和湿润管路和枪；④水路通后，开（大）蒸汽阀门，调节雾化蒸汽压力至  $1.1 \sim 1.2 \text{ MPa}$ ；⑤确认水路和汽路接通后，缓慢打开供浆阀，快速切换三通阀，接通煤浆管路，切断水路后，并调整煤浆压力至  $1.0 \sim 1.1 \text{ MPa}$ ；⑥判断煤浆着火后，关上水路系统各阀门；

#### 5.2.3 吹灰

油炉改烧水煤浆后，因水煤浆燃料含有少量灰渣，在燃烧过程中形成飞灰，水煤浆的飞灰可能比煤粉还要小，因此还是比较容易粘附在受热面上，因此，在锅炉运行时需要坚持吹灰，保持受热面清洁，否则会影响锅炉出力。

#### 5.2.4 配风

燃烧器配风对组织好燃烧是非常重要的，根据

设计负荷要求,投水煤浆枪6根就能满足要求,安排在下层一次风口4根,上层一次风口2根(对角),相应的配风按均等配风的要求分布,即上二次风、中二次风和下二次风按设计要求全投。

## 6 经济效益和应用前景

### 6.1 应用单位效益分析

吉化炼油厂65t/h油炉改烧水煤浆后采用动力厂制备的水煤浆,水煤浆到厂价每吨340元,原燃料油按1500元/t计算,根据测试结果,约2.15t浆代1吨油,如1台65t/h锅炉按年运行6000h计算,则1台65t/h油炉改造后每年可节约燃料费2358万元,如3台(3台运行,1台备用)按6000h运行时间计算,则改造后全厂每年可节约燃料费用约7074万元,而根据设计概算,四台锅炉全部改造总投资为4000多万元,即投资一年内即可回收。

此外,1t渣油进一步深加工还可获利400~500元,如此1台锅炉每年节约的渣油深加工获利将达到1000万元以上。同时锅炉从燃用高硫份的重渣油改为低硫份的水煤浆,可大幅度减少SO<sub>2</sub>排放,也有明显的社会效益。

### 6.2 制浆单位效益分析

吉化动力厂设计年产 $25 \times 10^4$ t水煤浆,采用双鸭山洗精煤制备水煤浆浓度,如水煤浆浓度按65%,洗精煤价格为350元/t,则吨浆原料煤费用为218元。制浆过程中添加剂费用为20元/t,水、电、折旧、工资、管理等操作费用为50元/t,则水煤浆成本为288元(目前国内水煤浆出厂价格在300~350元/t),如制浆厂合理利率为50元/t,则水煤浆出厂价格出厂为338元/t。制浆厂年利润为1500万元。

### 6.3 应用前景分析

吉化炼油厂油炉改烧水煤浆工程是我国首台65t/h燃油设计锅炉改烧水煤浆,改造的成功经验和运行操作方法对其它锅炉改造有重要的指导意义和示范作用,可推广到全国众多的燃油锅炉,为逐步改变我国石油紧缺的局面,使水煤浆技术作为一种代油的战略储备技术,更好地发展、完善,同时带动

相关成套技术和设备的生产企业得到了发展的机会,促进了经济增长都有深远的意义。

目前我国仍有大量燃油工业窑炉、锅炉和电站锅炉在应用,每年烧掉的燃料油在 $4000 \times 10^4$ t以上,而国际油价继续居高不下,因此,燃料油不可能再烧掉。压缩燃烧用油,以煤代油将是我国长期的国策。水煤浆厂的建设也蒸蒸日上,目前全国已建成的水煤浆厂总产量约为 $500 \times 10^4$ t/a。随着这些大规模生产厂家的完工,水煤浆的价格会更趋于合理化。因此,水煤浆在我国锅炉上代油推广的前景是十分光明的。

## 7 结 论

吉化炼油厂燃料结构优化一期工程——65t/h油炉改烧水煤浆改造后运行时间已有半年,实际应用结果表明,尽管因受原有油炉结构限制等原因,存在着一些需进一步调整完善之处,改造取得了成功:锅炉主要参数能满足运行要求,改烧水煤浆后锅炉负荷可以达到60t/h(92%)以上,热效率在88.5%以上,燃烧效率在97%以上。水煤浆/油两用燃烧器既能满足水煤浆快速着火、稳定燃烧的目的,又能满足油燃烧的要求,并且在应急状态下仍可实现全油时负荷65t/h。水煤浆燃烧时,火炬明亮,没有明显大的火星。喷嘴着火延迟距离短,点火迅速、切换容易、运行可靠,喷嘴负荷调节范围大,调节方便,燃烧完全。此项改造具有十分明显的社会效益,年经济效益达到5000万元以上。是我国第一台中压65t/h燃油设计锅炉改烧水煤浆,对我国大量的燃油锅炉改烧水煤浆有重要的示范意义,为我国“以煤代油”的战略决策开辟了一条新的道路。

### 参考文献:

- [1] 岑可法. 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] 游小波. 万丰热电厂2号燃油锅炉改烧水煤浆工程实例[J]. 热能动力工程, 2002, 18(4): 414-417.
- [3] 黄隆琨. 我国精煤水煤浆生产应用现状及市场前景分析[J]. 中国电力, 2003, 36(4): 30-33.

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: