

# 万丰热电厂 2 号燃油锅炉改烧水煤浆工程实例

游小波<sup>1</sup>, 邱卓伟<sup>1</sup>, 柳学桂<sup>1</sup>, 刘建忠<sup>2</sup>

(1. 万丰热电厂, 广东 汕头 515000; 2. 浙江大学, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 概述和分析了燃油锅炉和燃煤锅炉的特性和区别, 同时介绍了万丰热电厂 2 号燃油锅炉改烧水煤浆的情况和主要参数及有关情况。

**关键词:** 燃油锅炉; 水煤浆; 设计研究

中图分类号: TQ038 文献标识码: B

## 1 前言

近年油价上涨和油源减少已影响到万丰热电厂的生存和发展。随着水煤浆技术的成熟, 以及国家对环保的要求, 用水煤浆代替燃料油已有应用前景。万丰热电厂经考察研究拟定 2 号燃油锅炉实施改烧水煤浆工程, 并于 2001 年 6 月成功投产。本文对 2 号燃油锅炉改烧水煤浆工程设计研究进行介绍。

## 2 原锅炉简介

2 号锅炉为 WGZ220/9.8-15 型燃油锅炉, 炉膛截面为 7 670 mm×5 960 mm, 前墙水冷壁下部折弯成 8° 倾斜形式斜炉底, 斜炉底上铺有耐火砖以利保护。炉顶和尾部竖井均用过热蒸汽管包覆, 形成炉顶棚及尾部包墙, 屏式过热器布置在炉膛上部, 高温和低温两级过热器分别布置在折焰角上部和转向室前部, 过热器的减温采用二级文氏喷水减温器, 经济器单级悬吊布置在尾部烟道内, 分上、下两组, 空气预热器采用复合热管式空气预热器。燃烧器为 8 只平流式调风燃烧器, 分上下两排布置于炉前墙。锅炉主要技术参数如下:

锅炉出力, 220 t/h; 排烟温度, 160 °C; 过热蒸汽压力, 9.8 MPa; 热风温度, 229 °C; 过热蒸汽温度, 540 °C; 锅炉计算效率, 92.58%; 给水温度, 215 °C; 燃料耗量, 15.7 t/h; 冷风温度, 20 °C; 炉膛出口温度, 1 207 °C; 炉膛容积热强度, 0.27 MW/m<sup>3</sup>; 燃料种类,

新加坡 180 号重油 ( $Q_{\text{net}}=40\ 090\ \text{kJ/kg}$ )。

## 3 油炉改烧水煤浆的有关技术问题

燃油炉与燃煤炉, 从锅炉热负荷、火焰长度、炉膛出口烟温、过量空气系数、对流受热面烟速、排烟温度等方面都具有自身特点, 以下就燃油炉与燃煤炉主要技术参数进行对比讨论。

### 3.1 锅炉的热负荷

炉膛容积热负荷  $q_v$ 、炉膛截面热负荷  $q_F$ 、燃烧器区域热负荷  $q_{th}$  是表征锅炉炉膛燃烧和传热特性的重要参数。表 1 列出我国电站锅炉典型的热负荷数值。

表 1 我国电站锅炉典型的热负荷数值

热负荷	$q_v/\text{MW}\cdot\text{m}^{-3}$	$q_F/\text{MW}\cdot\text{m}^{-2}$	$q_{th}/\text{MW}\cdot\text{m}^{-2}$
煤粉炉	0.14~0.2	2.3~3.37	1.4~2.32 极限 4.0
燃油锅炉	0.23~0.35	4.65~7.0	极限 5.2~5.8
油炉/煤炉	1.6~1.75	~2	1.3~1.45

### 3.2 火焰长度

锅炉设计中, 为保证燃料在炉内有足够的停留时间, 保证燃烧效率, 炉膛高度和燃烧器布置的设计必须满足火焰长度的要求。火焰长度  $L_{hy}$  指锅炉最上排燃烧器出口中心到炉膛出口窗中点的折线距离, 火焰高度  $h_{hy}$  为两者间的垂直距离。表 2 列出了燃油锅炉和燃煤锅炉火焰长度和高度的下限值。

表 2 火焰长度与高度的下限值 m

锅炉蒸发量	$D/t\cdot\text{h}^{-1}$	65(75)	130	220	400, 410	670
无烟煤	$L_{hy}$	11	14	17	21	24
	$h_{hy}$	8	11	13	17	18
烟煤	$L_{hy}$	10	12	16	19	21
	$h_{hy}$	7	9	12	14	17
燃油	$L_{hy}$	7	11	13	16	18
	$h_{hy}$	5	8	10	12	14

### 3.3 炉膛出口温度

由于煤中灰的存在, 炉膛出口温度过高时易引起对流受热面结渣堵塞; 对流受热面的材质也有限制, 也会因壁温过高而烧坏。因此, 在锅炉设计中都对炉膛出口温度有一限制。表 3 列出了我国不同燃料常见设计推荐值。

表 3 不同燃料品位推荐的炉膛出口烟温值

炉膛出口温度 $\theta_1'' / ^\circ\text{C}$	无烟煤	贫煤	烟煤	洗中煤	重油
	1100~1150	1050~1100	1100~1150	1050~1100	≤1250

### 3.4 过量空气系数

炉膛出口过量空气系数是由燃烧的要求决定的, 其值由燃料特性和燃烧方式决定。表 4 列出了炉膛出口过量空气系数。

表 4 炉膛出口过量空气系数

燃料与炉型	煤粉炉		燃油炉
	无烟煤、贫煤	烟煤、褐煤	重油、原油
炉膛出口过量空气系数 $\alpha_1$	1.20~1.25	1.20	1.02~1.10

### 3.5 对流受热面烟气流速

对流受热面烟气流速限制主要是对流受热面的磨损, 这与燃料中的灰分有关, 见表 5。

表 5 有灰和无灰燃料烟气的极限流速

受热面	折算灰分 $A_f / \%$				无灰烟气最佳流速 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
	< 5	6~7	9~10	30	
经济器过渡区	13	10	9	7	8~11
过热器					
碳钢	14	12	11	8	10~14
合金钢					15~20

### 3.6 万丰热电厂 2 号油炉主要技术参数

对照以上讨论的锅炉参数, 表 6 列出了万丰热电厂 2 号油炉的主要技术参数。

表 6 万丰热电厂 220 t/h 燃油炉主要指标参数

容积热负荷 $q_v / \text{MW} \cdot \text{m}^{-3}$	火焰长度 / m	炉膛出口烟温 $\theta_1'' / ^\circ\text{C}$	过量空气系数 $\alpha_1''$	经济器处烟速 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	排烟温度 / $^\circ\text{C}$
0.27	14	1207	1.05	8.8	160

由表 1~表 6 可见, 两种不同燃料锅炉主要参数对比可总结出:

(1) 油炉的热负荷普遍高于煤粉炉, 炉膛容积比煤粉炉要小 16%~40%, 炉膛高度比煤粉炉低 16%~36%。

(2) 燃油锅炉的火焰长度比煤粉炉低 1~3 m。

(3) 燃油锅炉大多设计成无灰斗的斜炉底。

(4) 燃油锅炉的炉膛出口烟温比煤粉炉高, 但改烧水煤浆后, 由于炉膛传热特性的变化, 炉膛出口温度将进一步升高, 限制锅炉出力。

(5) 燃油锅炉的炉膛出口过量空气系数比煤粉炉小 0.1~0.2, 说明燃油炉改烧水煤浆后所需燃烧空气量和烟量都将增加, 由于烟量的增加, 烟速就有可能超过其极限值, 从而会限制锅炉出力。

可见万丰热电厂 220 t/h 燃油炉的主要设计参数与常规煤粉炉相比还存在一定差距, 这给改造带来较大难度。

## 4 改造原则

在现有条件下, 本着安全、可靠的原则, 并考虑水煤浆的特点, 在保证一定负荷的情况下, 尽量减少改动量, 充分利用现有设备, 从而达到最佳经济效益。改造后锅炉保留原来的燃油系统, 既可燃用水煤浆, 又可燃油。此外, 锅炉改造后应能满足 50%~80% 负荷之间燃烧及调峰的要求。

## 5 燃料及燃料消耗量

### 5.1 燃料特性

万丰热电厂原燃料油为新加坡 180 号重油, 改烧水煤浆为山东八一制浆厂的水煤浆, 表 7 为油和水煤浆特性参数

表 7 燃料特性

水煤浆	$C^y$	$H^y$	$O^y$	$N^y$	$S^y$	$A^y$	$W$
	51.88	2.8	6.22	0.98	0.29	5.83	32
油	$C^y$	$H^y$	$O^y$	$N^y$	$S^y$	$A^y$	$W^y$
	84.83	10.84	0.81	0.45	2.83	0.01	0.02
水煤浆	$V_r$	$Q_{net} / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	浓度	粘度 ( $100\text{S}^{-1}$ ) CP			
	37.43	19906	32	1000			
油	杂质	$Q_{net} / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	比重 / $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	粘度 ( $50^\circ\text{C}$ ) cst			
	0.21	40156	0.9664	172			

注: 水煤浆煤粒粒度: < 200 $\mu\text{m}$ , 80%~85%

### 5.2 燃料消耗量

根据锅炉改造后的热力计算, 水煤浆和油消耗量见表 8。

表 8 锅炉水煤浆和油耗量  $t$

负荷(燃料)	小时	日	年	备注
80%(煤浆)	25.31	506.2	126550	年运行 5000 h
85%(煤浆)	26.96	539.2	134800	日运行 20 h
100%(油)	15.25	305	76250	

## 6 锅炉本体改造

### 6.1 锅炉改造后的主要技术特性参数

锅炉改造后可在 80% 负荷下全烧水煤浆或在 100% 负荷下全烧油, 也可以水煤浆和燃油混烧, 锅炉烧水煤浆或烧油时的重要参数列于表 9。

表 9 改造后锅炉主要特性参数

	水煤浆(80%)	水煤浆(85%)	重油(100%)
额定蒸发量/ $t \cdot h^{-1}$	176	187	220
过热蒸汽压力/MPa	9.8	9.8	9.8
过热蒸汽温度/ $^{\circ}C$	540	540	540
锅筒压力/MPa	10.91	10.91	10.91
给水温度/ $^{\circ}C$	200	200	200
排烟温度/ $^{\circ}C$	140.09	143.36	138.45
锅炉效率/%	91.19	91.01	93.55
热风温度/ $^{\circ}C$	323.79	323.68	331.34
燃料消耗量/ $t \cdot h^{-1}$	25.31	26.96	15.25
炉膛出口烟温/ $^{\circ}C$	1 136.5	1 158.8	1 091.2
容积热强度/ $MW \cdot m^{-3}$	0.17	0.19	0.22

### 6.2 锅炉的改造内容

锅炉改造后的结构见图 1, 改造内容如下:

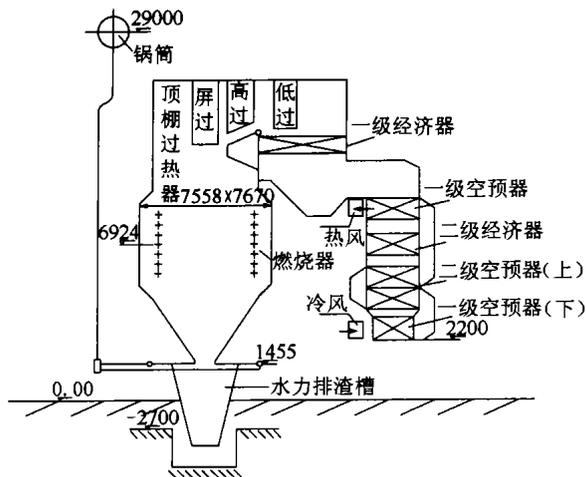


图 1 220 t/h(2 号炉)改烧水煤浆锅炉总体示意图

#### 6.2.1 水冷系统的改造

(1) 前后水冷壁各向外拉出 0.799 m, 炉膛原截面由 7 670 mm $\times$ 5 960 mm 改为 7 670 mm $\times$ 7 558 mm, 并与两侧墙构成四角大切角结构。为有利于水煤浆着火, 在燃烧器周围增设 50 m<sup>2</sup> 卫燃带; 同时将原为 8 $^{\circ}$  斜炉底改为 50 $^{\circ}$  冷灰斗结构; 新增一定数量的看火孔、吹灰孔、打焦孔、火焰检测孔等。

(2) 炉前四根  $\Phi$ 368 $\times$ 25 集中下降管向炉前移

动 2.685 m, 重新布置 36 根分散下降管并保持原 12 个循环回路不变。改造后炉膛设计压力 $\pm$ 4 kPa 不变, 刚性梁不产生永久变形。8 m 运行层侧向设置止晃装置, 将止晃力传递到构架上。

#### 6.2.2 燃烧设备的改造

(1) 燃烧器采用均等配风形式, 共七层, 自上而下分别为上二次风、上一次风、中上二次风、中一次风、中下二次风、下一次风、下二次风。三层一次风燃烧器为水煤浆和油两用燃烧器, 下二次风燃烧器喷口里设置 4 套高能点火装置配 4 套点火油枪。

一次风、二次风假想切圆为  $\Phi$ 900 mm, 上二次风反切, 切圆为  $\Phi$ 700 mm。此外, 上二次风还做成摆动式燃烧器, 上下各摆动 10 $^{\circ}$ 。在烧水煤浆时, 可根据需要采用下摆, 加强扰动有利于后期燃烧; 烧油时, 也可根据需要采用上摆, 避免改造后可能造成的炉膛火焰中心偏低带来的不利因素。

锅炉启动时, 处于下二次风喷口的燃油油枪首先投用启动锅炉到 30% 负荷, 再逐个投入主燃烧器, 待锅炉达到要求负荷且水煤浆能稳定燃烧时, 停用启动油枪。

(2) 水煤浆喷嘴设计采用浙江大学开发的撞击式多级雾化型水煤浆喷嘴。喷嘴易磨损处采用耐磨材料, 喷嘴使用寿命达 1 000 h 以上。水煤浆雾化汽源取自 1 号、2 号机一段抽汽。水煤浆喷嘴的技术参数见表 10。锅炉改造后原燃油系统保留, 油喷嘴仍采用蒸汽雾化喷嘴。

表 10 水煤浆喷嘴参数

设计容量	容量范围	浆压	雾化蒸汽压力	雾化细度 (SMD)	雾化汽耗率
2.8 t/h	1.8~3.3 t/h	1.1 MPa	1~1.2 MPa ( $\geq$ 300 $^{\circ}C$ )	95 $\mu$ m ( $<$ 粘度 1000 CP)	0.15~0.2 kg/kg

#### 6.2.3 受热面改造

为提高热风温度和减少排烟热损失, 将原单级布置的经济器改为双级布置, 并在两级之间增加一级空气预热器, 水煤浆因含有一定的灰分, 因此在经济器入口前面两排直管上和每个弯头迎风面均设置防磨盖板, 在上级高温空预器的管箱入口部分也设置防磨装置。

燃用水煤浆和油时, 为防止末级空预器结露, 采用加冷风旁路方法直接送至空预器出口热风箱与热风混合, 提高末级空预器壁温, 防止低温腐蚀。

#### 6.2.4 吹灰系统及设备

改烧水煤浆后为防止受热面积灰, 炉膛、过热

器、经济器、空预器均增设吹灰装置。炉膛加装12台短伸缩式吹灰器,过热器增加4台长伸缩式吹灰器,经济器和空预器增加2台固定旋转式吹灰器。全部吹灰器选用1台程控柜,可进行程控操作。

#### 6.2.5 燃烧系统辅助设备

根据对锅炉改烧水煤浆后烟气量和烟风阻力的计算,在80%负荷下运行时,现有送、引风机可满足锅炉运行的要求。

为适应环保要求,本次改造设计选用1台型号为BE85-3的单室、三电场静电除尘器,其效率可达98.5%以上,满足环保排放的要求。

## 7 结束语

万丰热电厂燃油设计220 t/h锅炉改烧水煤浆工程于2001年6月一次点火燃烧成功,6月16日顺利完成168小时试运行,标志着全国第一台燃油锅炉改烧水煤浆工程获得成功。改造后锅炉能在40%~80%(20 MW~40 MW)下稳定燃烧,锅炉各参数达到设计要求,预测锅炉最大负荷可到85%。性能试验测量结果表明,在上述负荷范围内,飞灰含碳量为1.74%~3.65%,炉渣含碳量为0.78%~2.5%,锅炉燃烧效率为99.5%以上,锅炉热效率为91.2%~92.11%。此外灰尘、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>排放浓度均满足国

家环保要求。以煤浆到岸价478元/吨,两吨煤浆代替一吨油计算,经济效益十分可观。成功经验说明,电厂燃油锅炉改烧水煤浆技术是可行的,经济上是有利可图的,我们认为可以推广应用。

\*参加本文工作的还有万丰热电厂的张传名,浙江大学的周俊虎。

#### 参考文献:

- [1] 岑可法. 水煤浆燃烧、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] CEN KEFA. Recent development of CWS combustion technology in China[A]. *Proceedings of The 20th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems*[C]. Washington: Coal & Slurry Technology Association, 1995. 731-739.
- [3] 詹隆. 水煤浆技术在中国的应用和发展[J]. 洁净煤技术, 1999, 5(增刊): 10-12.
- [4] 刘建忠. 水煤浆过滤装置的系列化设计与运行[J]. 煤矿机械, 2001(3): 5-7.
- [5] LIU JIANZHONG. Researches on the aerodynamic characteristics of CWS tangentially arranged burners in utility boilers[A]. *Proceedings of The 19th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems*[C]. Washington: Coal & Slurry Technology Association, 1994. 505-516.

(辉 编辑)

(上接第409页)

(2)锅炉各部分热力参数均在合理范围内并与原设计值接近。

(3)掺烧煤泥后,锅炉设备系统无须进行改造能正常运行,并能达到额定参数。

## 6 效益预测

掺烧煤泥项目投资概算1 819.46万元,实施后可降低发电成本,解决煤泥出路。统计分析,机组平均年发电量 $2.719 \times 10^9$  kWh,设备年利用4 945 h,年燃用煤泥33.4万吨,煤泥与现燃用原煤平均差价20.3元/t,则年节约燃料费: $33.4 \times 20.3 = 678.02$ 万元/a,三年收回投资有余,经济效益十分可观,如能进一步提高掺烧比例,将产生更大的经济效益。

## 7 结语

任何改造能正常运行并能达到额定参数。掺烧煤泥可以大幅度提高机组经济性,增强企业市场竞争力,还具有好的环保和社会效益。掺烧煤泥符合国家能源综合利用政策,具有典型示范作用和广阔发展前景。但应注意:改烧煤泥后所引起的其它情况,如:(1)煤泥水分较高容易粘结堵煤,应采取适当措施(如衬贴超高分子聚乙烯板(UHMW-PE)等),保证系统正常运行。(2)掺烧过程中,应保证煤泥与原煤均匀配比与混合。(3)在堆放与输送过程中,尤其应注意防治煤尘飞扬。(4)煤泥燃烧较原煤烟尘浓度大、粉尘细、含湿量高,烟尘特性发生变化,可能影响电除尘器效益。

#### 参考文献:

- [1] 徐州魏城电力有限责任公司锅炉掺烧煤泥综合利用技改工程可行性研究报告[R]. 上海:华东电力设计院,2000.
- [2] 锅炉掺烧煤泥校核计算报告[R]. 武汉:武汉锅炉厂,2000.

(辉 编辑)

锅炉掺烧煤泥是可行的,设备及系统无须进行

rules. The author has come up with a method called "rough set" (or RS for short) to serve as a new method of machine self-learning. The RS can automatically acquire diagnosis knowledge from a huge quantity of rotating machine data, decrease erroneous diagnoses and phenomena of missing diagnosis. Also described are RS working principles, its operating method and practical usage examples. **Key words:** fault diagnosis, rotating machine, machine self-learning, rough set

电子束湿法烟气脱硫工艺 = **Electronic Beam and Wet Method-based Flue Gas Desulfurization Technology** [刊, 汉] / CHOU Qiao-li (Dalian Bingshan Group Co. Design and Research Institute, Dalian, China, Post Code: 116033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(4). 405~407

A concept involving an electronic beam and wet method-based technology is proposed for flue gas desulfurization, which comprises three vertical, wet-type equipment items. Among them, a pressure-type fog-spray drying device is used to dry ammonium salt solution, rendering it into grain particles. It also enables flue gases containing SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> to be cooled and humidified. Then, the flue gases after being cooled, humidified and electron beam radiated by a vertical cooling and radiation tower are made into aerosol micro-particles of ammonium salt to be separated by a sieve-plate type adsorbing tower and washed clean to form an ammonium salt solution. The results of a feasibility study and preliminary design of the process indicate that the latter can attain a desulfurization rate of 98%, NO<sub>x</sub> removal rate of 70% and a dust collection rate of 99%. Moreover, the electron beam radiation dosage, circulating solution flow-rate and flue gas flow resistance are all reduced simultaneously. The technology under discussion also features a simple flow process, ease of control, a low requirement for equipment, power consumption and space, and a large particle size of by-products. **Key words:** electronic beam, wet method, flue gas desulfurization

电站锅炉掺烧煤泥可行性研究 = **Feasibility Study of Burning Peat as a Subsidiary Fuel in Utility Boilers** [刊, 汉] / DUAN Shi-fang (Xuzhou Ducheng Electric Power Co. Ltd., Xuzhou, China, Post Code: 221142) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(4): 408~409

A feasibility study of burning peat as a subsidiary fuel in utility boilers indicates such an approach is realistic. A normal operation of boilers with rated parameters can be achieved without any modification of related equipment and systems. This will result in sizable economic and social benefits as well as good environmental conditions. The burning of peat as an added fuel conforms to State policy regarding the comprehensive utilization of energy resources and has wide prospects of development in addition to playing an exemplary role in energy use. The author has also pointed out some issues worthy of due attention during the design and operation of boilers firing peat as a subsidiary fuel. **Key words:** boiler, peat, mixed burning, drying system

轻油预蒸发燃烧中的稳焰技术 = **Flame Stabilization Techniques during the Pre-evaporative Combustion of Light Oil** [刊, 汉] / HE Hong-zhou (Mechanical Engineering Institute under the Jimei University, Xiamen, China, Post Code: 361021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(4): 410~413

The technical principles of pre-evaporative combustion of liquid fuels are described and the problem of flame stabilization during the pre-evaporative combustion of light oil is analyzed. Also highlighted are several measures currently adopted for flame stabilization during the pre-evaporative burning of light oil. **Key words:** light oil, pre-evaporation, combustion, flame stabilization

万丰热电厂2号燃油锅炉改烧水煤浆工程实例 = **The Retrofitting of No. 2 Oil-fired Boiler at Wangfeng Power Plant for Burning Water-coal Slurry** [刊, 汉] / YOU Xiao-bo QIU Zhou-wei, LIU Xue-gui, et al (Wangfeng Thermal Power Plant, Shantou, China, Post Code: 515000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(4): 414~417

The specific features of and difference between oil-fired boilers and coal-fired ones are briefly described and analyzed. Meanwhile, a detailed account is given of the retrofitting of a No. 2 oil-fired boiler at Wangfeng Thermal Power Plant for burning water-coal slurry along with a description of its main operating parameters. **Key words:** oil-fired boiler, water-coal slurry, design study