

# 600 MW 褐煤机组掺烧烟煤对 MB 型风扇磨性能的影响

刘家利<sup>1</sup>, 张森<sup>1</sup>, 贾晓艳<sup>2</sup>, 屠竞毅<sup>1</sup>, 王志超<sup>1</sup>

(1. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054; 2. 西安益通热工技术服务有限责任公司, 陕西 西安 710032)

**摘要:**为掌握褐煤掺烧烟煤后对 MB 型风扇磨煤机提升压头、研磨出力、干燥出力及运行参数选取的影响,在 SO<sub>2</sub> 风扇磨煤机上进行了褐煤掺烧烟煤的半工业性试磨试验以及 MB3600/1000/4900 三介质风扇磨的热平衡计算,同时在一维火焰燃烧试验炉和煤粉气流着火温度试验炉上进行了相应的燃烧性能测试。结果表明,劣质褐煤掺烧合适比例的优质烟煤,可提高机组的带负荷能力,且磨煤机的提升压头和干燥能力也能满足运行要求。需要注意的是,由于烟煤的磨损性能较褐煤强,可能导致打击板寿命的降低。

**关键词:**低热值褐煤;烟煤掺烧;三介质风扇磨煤机;干燥出力;研磨出力;提升压头

中图分类号:TK229.6 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2017)05-0040-06

## Effect of bituminous coal blending on MB fan mill for 600 MW lignite unit

LIU Jiali<sup>1</sup>, ZHANG Sen<sup>1</sup>, JIA Xiaoyan<sup>2</sup>, TU Jingyi<sup>1</sup>, WANG Zhichao<sup>1</sup>

(1. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China; 2. Xi'an Yitong Thermal Technology Services Co., Ltd., Xi'an 710032, China)

**Abstract:** In order to comprehensively analyze the influence of lignite boiler with blending bituminous coal on the promotion pressure, grinding force, drying output and operation parameters of the MB fan mill, the semi-industrial test on a SO<sub>2</sub> fan mill and the thermal equilibrium computation for three medium fan mill MB3600/1000/4900 were carried out, and the combustion characteristic of mixed coal was tested on one-dimensional flame furnace and coal-air flow ignition temperature test furnace. The results show that through blending low calorific value lignite with a suitable proportion of high-quality bituminous coal, the load carrying capacity can be improved, and the drying capacity and promotion pressure also can fulfill the operation requirement. It is important to note that blending of bituminous coal will reduce the life of striking plate due to the stronger wear resistance of bituminous coal.

**Key words:** low calorific value lignite; bituminous coal blending; three medium fan mill; drying output; grinding force; promotion pressure

## 0 引 言

BQ 电厂 600 MW 超临机组设计燃用坑口煤,设计煤全水分为 39.7%、收到基低位发热量为 11.41 MJ/kg。煤矿投产后,发现矿区煤质参数和设计煤偏差较大,全水分 50% 左右,而收到基低位发热量低至 8.83 MJ/kg,为高水分低热值褐煤。对于低热值褐煤机组,锅炉主机及辅机设计如炉膛尺寸、制粉系统等与常规褐煤机组有所不同<sup>[1]</sup>,老挝 622 MW 机组由于燃用灰分较高的褐煤,为了保证燃煤的燃尽性能,将燃尽高度也即最上层燃烧器中

心到屏底距离较常规机组升高了 9 m,炉膛容积热负荷相应也较常规褐煤机组偏低;另外,由于设计煤和校核煤的热值低,可磨性较差,为了保证磨煤机的提升压头和研磨出力,机组配备了 8 台 MB4100/1250/420 型风扇磨煤机<sup>[2]</sup>。因此,即使都为褐煤机组,但因设计煤煤质的差异,锅炉主机及辅机的设计也是大相径庭的<sup>[3-4]</sup>。如果 BQ 电厂已设计机组直接燃用低热值褐煤,将对锅炉主机及辅机的安全经济运行造成影响,如制粉系统出力不足、锅炉达不到设计出力、燃烧稳定性下降、锅炉效率偏低等<sup>[5-6]</sup>。为了解决上述问题,电厂考虑通过掺烧当地烟煤的

收稿日期:2017-05-02;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.05.008

基金项目:国家能源应用技术研究及工程示范项目资助(NY20130303);中国华能集团公司总部科技资助项目(HNKJ15-H11)

作者简介:刘家利(1976—),女,四川新都人,高级工程师,硕士,从事燃煤特性与锅炉设备匹配性的研究。E-mail:liujiali@tpri.com.cn

引用格式:刘家利,张森,贾晓艳,等.600 MW 褐煤机组掺烧烟煤对 MB 型风扇磨性能的影响[J].洁净煤技术,2017,23(5):40-45,71.

LIU Jiali, ZHANG Sen, JIA Xiaoyan, et al. Effect of bituminous coal blending on MB fan mill for 600 MW lignite unit[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(5): 40-45, 71.

方式来提高煤质,使混煤的全水分、灰分以及发热量等煤质指标尽量和原设计煤接近。

赵长江<sup>[7]</sup>在 350 MW 超临界褐煤机组上进行了劣质烟煤的掺烧试验,该机组采用 MPS-HP-II 型中速磨直吹式制粉系统,采用分磨掺烧方式,即不同的磨煤机磨制不同的煤种,掺烧后获得了良好的燃烧经济性。但目前尚未见到采用三介质风扇磨的大型褐煤机组磨制褐煤和烟煤混煤的设计和运行经验,尽管混煤的煤质参数指标和设计煤接近,但已有的研究表明混煤的燃烧和研磨特性和单一煤种是有差别的<sup>[8]</sup>。掺烧烟煤后对风扇磨煤机提升压头、研磨出力、通风量、煤粉细度的影响,以及烟煤在较粗的煤粉下对锅炉燃烧稳定性、燃烧效率、污染物生成浓度等的影响,都需进行研究。

本文主要从制粉系统运行性能测试、热平衡计算并结合混煤的燃烧性能试验结果,分析褐煤掺烧烟煤后与已设计风扇磨系统的适应性,为新机组投运后实现安全、经济地掺烧烟煤提供科学决策依据与参考。

## 1 BQ 电厂 600 MW 超临界机组设备简介

### 1.1 锅炉原设计煤和校核煤煤质参数

BQ 电厂设计燃煤为褐煤,设计煤和校核煤的基本煤质参数见表 1。设计煤和校核煤的收到基低位发热量为 11.41 和 10.88 MJ/kg,与国内典型褐煤比较,属于低热值褐煤水平<sup>[9]</sup>。

表 1 原设计煤和校核煤的煤质参数

Table 1 Coal properties of original design coal and checking coal

煤种	$M_t/\%$	$M_{ad}/\%$	$A_{ar}/\%$	$V_{daf}/\%$	$Q_{net,v,ar}/$ (MJ · kg <sup>-1</sup> )	哈氏可磨 指数 HGI
设计煤	39.7	16.26	15.96	66.17	11.41	78
校核煤	42.4	17.46	16.40	61.36	10.88	81

### 1.2 锅炉设计特点

哈尔滨锅炉厂根据设计煤和校核煤的煤质参数,确定了锅炉的几何尺寸以及锅炉在 BMCR 工况(锅炉最大连续蒸发量)下的炉膛热负荷参数,见表 2。锅炉厂在设计时考虑了燃煤的低发热量特点,锅炉炉膛选用了较大的容积,并将燃尽高度提高至 27.197 m。

### 1.3 制粉系统特点

制粉系统采用高温炉烟、冷炉烟、热风三介质风

扇磨直吹式制粉系统,每炉配 8 台磨煤机,6 台运行 2 台备用,分离器采用单流惯性式。磨煤机型号为 MB3600/1000/490,在磨制设计煤种时,除备用磨外磨煤机磨损中后期总出力不小于锅炉最大连续蒸发量(BMCR 工况)时的燃煤消耗量的 110%;磨制校核煤时,7 台磨煤机检修前的总出力不小于锅炉最大连续蒸发量时的燃煤消耗量。制粉系统及磨煤机的参数见表 3。

表 2 锅炉基本设计参数(BMCR)

Table 2 Basic boiler design parameters(BMCR)

项目	数值
炉膛断面宽/m	20.402 3
炉膛断面深/m	20.072 3
最上层燃烧器中心到屏底距离/m	27.197
最下层燃烧器中心到冷灰斗上折点距离/m	4.746
炉膛容积/m <sup>3</sup>	27 600
炉膛容积热负荷/(kW · m <sup>-3</sup> )	56.1
炉膛截面热负荷/(MW · m <sup>-2</sup> )	3.777
燃烧器区壁面热负荷/(MW · m <sup>-2</sup> )	1.032
炉膛出口烟气温度/℃	895

表 3 磨煤机设计参数

Table 3 Design parameters of coal pulverizer

项目	数值
锅炉设计燃煤量/(t · h <sup>-1</sup> )	498.5
运行磨台数	6
煤粉细度 $R_{90}/\%$	45
煤粉细度 $R_{1000}/\%$	1.5
煤粉均匀性指数 $n$	1.0
煤粉水分 $M_{pc}/\%$	8.13
磨煤机出口温度/℃	150
高温炉烟温度/℃	1 093
热风温度/℃	346
冷炉烟温度/℃	136
磨煤机含粉气流通风量/(m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> )	250 000
磨煤机轴端密封风量/(m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> )	11 000
磨煤机轴端密封风温/℃	346
叶轮直径/mm	3 600
叶片宽度/mm	1 100
叶轮转速/(r · min <sup>-1</sup> )	490
带粉状态下的提升压头/Pa	1 900
当地大气压/kPa	99.87

## 2 掺烧煤种的煤质特性

由表 4 可知,混煤的全水分、收到基灰分及收

到基低位发热量和原设计煤接近。但需要注意以下几个方面:①空干基水分较原设计煤下降,主要是烟煤的空干基水分较低,在相同的磨煤机出口温度下,混煤的煤粉水分应较原设计煤偏低,将影响干燥剂的初始温度;②混煤的挥发分降低,可能

引起煤粉气流着火温度升高、煤粉燃尽率下降,影响燃烧稳定性和经济性;③混煤的哈氏可磨指数下降,可能引起磨煤机研磨出力下降和煤粉变粗等;④烟煤的磨损指数较高,掺烧后会加剧风扇磨打击板的磨损,降低风扇磨使用寿命。

表4 掺烧煤种及混煤煤质特征参数

Table 4 Coal characteristic parameter of blended coal and mixed coal

煤种	$M_t/\%$	$M_{ad}/\%$	$A_{ar}/\%$	$V_{daf}/\%$	$w(S_{t,ar})/\%$	$Q_{net,v,ar}/(MJ \cdot kg^{-1})$	HGI	冲刷磨损指数
原设计煤	39.7	16.26	15.96	66.17	0.12	11.41	78	—
褐煤	50.0	14.33	12.20	62.88	0.26	8.83	77	1.6
褐煤:烟煤=8:2	41.3	11.59	14.39	58.56	0.25	11.17	74	1.8
烟煤	6.3	3.34	23.74	43.43	0.30	21.75	46	3.1

### 3 掺烧烟煤对风扇磨制粉系统的影响

风扇磨磨制煤种由原设计的纯褐煤转变为褐煤和烟煤的混煤后,由于煤质发生了变化,将对制粉系统运行产生影响。

#### 3.1 掺烧方式

姚伟等<sup>[10]</sup>分析了各种掺烧方式的利弊及适用情况,对于本期三介质风扇磨,推荐采用“预混”掺烧方式,也即进入磨煤机前将煤样混合好,一方面可以充分利用每台磨煤机的干燥能力和研磨能力,且燃烧性能相对较差的烟煤在褐煤的引燃下可保证锅炉的稳燃性能。缺点是,烟煤只能磨制到和褐煤一样的煤粉细度,而烟煤在较粗的煤粉下可能导致混煤的燃尽率下降,降低锅炉的燃烧经济性。如果将混煤磨制过细,可能导致制粉系统出力不足和提升压头下降,同时还增加辅机电耗和供电煤耗、降低研磨件寿命以及增加制粉系统的爆炸倾向。

#### 3.2 磨煤机出口温度的选取

DL/T 466—2004<sup>[11]</sup>规定:对于风扇磨制粉系统,当采用烟气空气混合干燥方式时,磨煤机出口温度最高可选取为180℃,目前大型褐煤机组大多选取为150℃。试验褐煤的 $V_{daf}$ 超过60%,当煤粉细度 $R_{90}$ 为45%时,其煤粉气流着火温度IT为370℃,着火性能明显优于国内典型褐煤。尽管掺烧烟煤后混煤的燃烧性能有所变差,但掺烧20%质量比的烟煤后混煤的IT为450℃,混煤的着火温度仍和国内典型褐煤相当,表明混煤仍具有优良的燃烧稳定性。另外,也可考虑适当提高磨煤机出口风粉混合物温度来强化着火,但需通过提高磨煤机入口风温来实现,过高的磨煤机入口风温一方面会导致褐

煤爆炸倾向增加,另一方面会导致磨煤机内的温度超过组件耐高温水平,对磨煤机的寿命和安全运行不利;高温炉烟比例的增加还会导致磨煤机出口氧浓度下降,对混煤的着火不利;综合考虑,推荐磨制混煤时磨煤机出口温度在150℃左右。

#### 3.3 煤粉细度的选取

煤粉细度是影响煤粉在炉内燃烧的重要因素之一。由于褐煤燃烧性能优良,即使在较粗的煤粉细度下也可获得优良的燃烧经济性,目前国内褐煤机组的煤粉细度 $R_{90}$ 一般设计为45%,而烟煤的 $R_{90}$ 设计为15%~20%。因此,风扇磨磨制褐煤和烟煤的混煤,烟煤必然磨制过粗。另外,炉膛温度也是影响燃烧稳定性和经济性的重要因素之一,褐煤锅炉炉膛温度在1200℃左右,而烟煤锅炉的炉膛温度在1400~1500℃,烟煤在低温下燃烧效率会变差。再次,由于褐煤和烟煤的燃烧性能差异,燃烧性能优良的褐煤“抢风”,燃烧性能较差的烟煤在低氧、低温及粗煤粉下条件下燃尽更为困难,使固体未完全燃烧热损失增加。在一维火焰燃烧试验炉上进行了混煤的燃尽性能测试<sup>[12]</sup>,结果如图1所示。在煤粉细度 $R_{90}$ 为45%时,褐煤的燃尽性能优良,燃尽率为99.32%,掺烧烟煤后,混煤的燃尽性能有所下降,掺烧20%烟煤时,混煤的燃尽率为98.59%,对应的飞灰含碳量由纯烧褐煤时的2%升至4%,对锅炉效率影响较小,最终推荐混煤的煤粉细度 $R_{90}$ 控制在45%左右。

#### 3.4 煤粉水分的选取

在SO<sub>2</sub>型风扇磨煤机上进行了混煤试磨试验,图2为煤粉水分与磨煤机出口温度的相关性。受试验台干燥出力限制,磨煤机出口最高达120℃。相

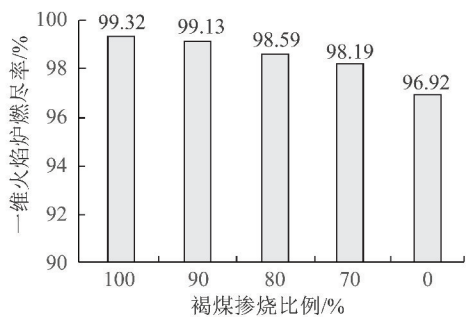


图 1 掺烧烟煤后的燃尽率变化

Fig. 1 Change of burn-out rate with the blending of bituminous coal

同磨煤机出口温度下,混煤的煤粉水分较纯褐煤低,在制粉系统热力计算时需注意选取合适的煤粉水分,该参数将影响风煤比及干燥剂初始温度的选取。根据图 2 试验结果,按插入法外推,在磨煤机出口温度为 150 °C 时,褐煤以及褐煤:烟煤=8:2 的煤粉水分分别为 5.37% 和 2.65%。

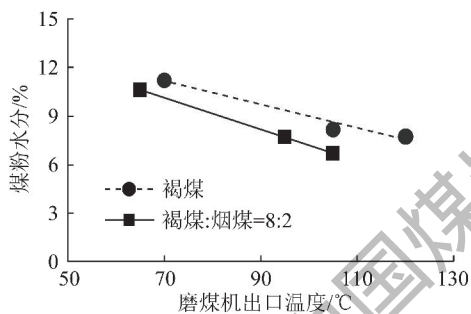


图 2 煤粉水分与磨煤机出口温度的相关性

Fig. 2 Correlation between pulverized coal moisture and outlet temperature of mill

### 3.5 混煤对磨煤机出口氧浓度的影响

电站磨煤机及制粉系统选型导则<sup>[11]</sup>规定:制粉系统气粉混合物中含氧量降低到 12% (褐煤) 和 14% (烟煤) 时,可以防止爆炸。氧浓度越低,制粉系统的防爆性能越好,但过低的氧量将导致煤粉的着火性能变差,对燃烧稳定性不利,国内大部分褐煤机组终端干燥剂氧浓度在 BMCR 工况下为 8% ~ 11%。根据煤粉气流着火温度的测定方法<sup>[13]</sup>,进行了褐煤:烟煤=8:2 的混煤在不同一次风氧浓度下的煤粉气流着火温度测试,试验时煤粉细度  $R_{90}$  为 45%,炉膛出口氧量为 3.5%,一次风率(纯空气)控制在 16%,通过惰性气体  $N_2$  的比例控制一次风中的氧浓度,结果如图 3 所示。可见,氧浓度对 IT 有明显影响,当一次风为纯空气时,IT 仅为 370 °C,当一次风氧浓度降低到 6% 时,IT 上升

到 520 °C,可见氧浓度越低,IT 越高,煤粉的燃烧稳定性下降,因此在保证风扇磨安全性和干燥能力的前提下,应尽量提高一次风的氧浓度。

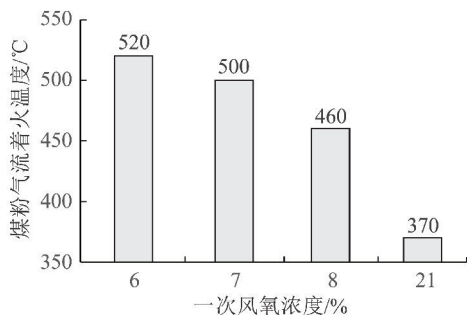


图 3 一次风含氧浓度对煤粉气流着火温度的影响

Fig. 3 Effect of primary air oxygen concentration on the ignition temperature of pulverized coal IT

### 3.6 混煤对干燥剂初始温度的影响

进行了磨煤机热平衡计算,原设计煤的部分参数为磨煤机厂家提供,变更煤种后的炉烟温度及热风温度均由锅炉厂家提供。混煤的煤粉水分按照试磨结果选取,进行了在 BMCR 工况下的磨煤机热平衡计算,炉膛出口过剩空气系数为 1.2,设备散热损失选取为 2.2 kJ/kg。计算的边界条件和计算结果分别见表 5 和表 6。可见,在磨煤机出口温度 150 °C 时,混煤的煤粉水分为 2.65%,较设计煤的煤粉水分 8.13% 出现大幅下降,将导致需要干燥的水分增多,干燥剂初始温度升高。在现有设备条件下,掺烧 20% 烟煤后,采用 6 台磨的运行方式,干燥剂初始温度由原设计的 737 °C 升至 909 °C,热炉烟份额由 51% 升至 62%,过高的磨煤机入口温度对磨煤机的安全运行不利,可考虑增加运行磨煤机台数到 7 台,此时要求的干燥剂初始温度在 800 °C 以下。另外,热炉烟温度由 1 093 °C 升高至 1 190 °C,会导致抽炉烟口的结焦速度增加以及高温炉烟的抽吸口面积减小,高温炉烟吸入阻力增加,抽吸量降低,造成风扇磨煤机的通风量降低。

### 3.7 混煤对磨煤机提升压头的影响

风扇磨煤机计算的主要性能参数有:设计出力、通风量、提升压头、装机功率以及电耗<sup>[14]</sup>。因此,较为准确地计算磨煤机在带粉状态下的提升压头乃是风扇磨煤机总体设计的关键。按照鲁文恭等<sup>[15]</sup>提供的试验和推算方法,即

$$H_{\mu 1} = H_{\mu 2} X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6$$

式中,  $H_{\mu 1}$  为计算磨煤机的提升压头;  $H_{\mu 2}$  为试验磨煤机的提升压头;  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$  分别为试验磨

表 5 制粉系统热力计算边界条件

Table 5 Boundary condition for thermal dynamic calculation of pulverized coal preparation system

煤种	锅炉燃煤量 $B_b/(t \cdot h^{-1})$	锅炉计算燃煤量 $B_j/(t \cdot h^{-1})$	磨煤机运 行台数	单台磨煤机出 力/ $(t \cdot h^{-1})$	磨煤机出口 温度 $t_2/^\circ C$	煤粉水分 $M_{pc}/\%$	冷炉烟 温度/ $^\circ C$	热风温 度/ $^\circ C$	热炉烟温 度/ $^\circ C$
设计煤	498.5	496.01	6	83.08	150	8.13	136	346	1 093
褐煤: 烟煤=8:2	519.40	516.8	6	86.57	150	2.65	164	336	1 190
褐煤: 烟煤=8:2	519.40	516.8	7	74.20	150	2.65	164	336	1 190

表 6 试验煤样的制粉系统热平衡计算结果

Table 6 Thermal equilibrium computation results of test coal on pulverized coal preparation system

项目	磨制煤种			项目	磨制煤种		
	设计 煤	褐煤: 烟 煤=8:2	褐煤: 烟 煤=8:2		设计 煤	褐煤: 烟 煤=8:2	褐煤: 烟 煤=8:2
锅炉一次风率/ $\%$	17.52	16.69	20.30	密封风的物理热/ $(kJ \cdot kg^{-1})$	25.18	25.15	29.34
入口干燥剂量 $g_1/(kg \cdot kg^{-1})$	1.532	1.316	1.572	漏入冷风的物理显热/ $(kJ \cdot kg^{-1})$	6.21	5.34	6.37
磨出口温度 $t_2/^\circ C$	150	150	150	磨煤机出口乏气带走的热量/ $(kJ \cdot kg^{-1})$	270.02	234.01	276.87
煤粉水分 $M_{pc}/\%$	8.13	2.65	2.65	加热燃料消耗的热量/ $(kJ \cdot kg^{-1})$	126.06	100.83	100.83
热炉烟的质量份额/ $\%$	51.1	62.0	50.3	蒸发水分消耗的热量/ $(kJ \cdot kg^{-1})$	927.16	1 071.19	1 071.19
热风的质量份额/ $\%$	14.6	0.5	10.9	设备散热损失/ $(kJ \cdot kg^{-1})$	2.20	2.20	2.20
冷炉烟的质量份额/ $\%$	34.3	37.5	38.8	干燥剂初温(按热平衡计算)/ $^\circ C$	736.82	909.15	793.67
磨煤机出口通风量( $150^\circ C$ )/ $(km^3 \cdot h^{-1})$	245	236	230	干燥剂初温(按炉烟、热风份额计算)/ $^\circ C$	735.98	909.64	794.14
干燥剂的物理热/ $(kJ \cdot kg^{-1})$	1 247.97	1 331.66	1 369.29	终端干燥剂中氧的体积分数/ $\%$	8.16	7.82	8.38
磨煤机工作时产生的热量/ $(kJ \cdot kg^{-1})$	46.08	46.08	46.08				

煤机和计算磨煤机的通风量、磨内煤粉浓度、大气压力、磨煤机磨损状态、磨煤机出口温度以及线速度不同引起的对磨煤机提升压头的修正, 如将计算磨的磨内煤粉浓度对提升压头的修正系数与试验磨的磨内煤粉浓度对提升压头的修正系数相除, 则得到煤粉浓度修正系数  $X_2 = K_{\mu 2} / K_{\mu 1}$  (下标 1 和 2 分别代表试验磨和计算磨),  $X_1 \sim X_5$  均采用相同的修正方法,

而  $X_6 = \omega_2^2 / \omega_1^2$ , 其中  $\omega_2$  和  $\omega_1$  分别为计算磨和试验磨的打击轮外缘线速度。

根据锅炉厂家和磨煤机厂家的核算, 磨煤机提升压头需达到 1 800 Pa 才能满足机组带负荷能力要求。结合制粉系统热力计算结果, 掺烧 20% 烟煤后磨煤机提升压头的变化见表 7, 可见, BMCR 工况掺烧 20% 烟煤, 7 台磨煤机运行, 磨损后期的提升压

表 7 掺烧烟煤后磨煤机提升压头的变化

Table 7 Change of promotion pressure with the blending of bituminous coal

项目	SO <sub>2</sub> 试验 磨煤机	MB3600/1000/ 490 计算磨煤机	项目	SO <sub>2</sub> 试验 磨煤机	MB3600/1000/ 490 计算磨煤机
含粉时磨煤机提升压头修正系数 $K_{\mu}$	0.893	0.902	通风量修订系数 $f_H$	1.0	0.87
叶轮线速率 $\omega/(m \cdot s^{-1})$	83.577	91.080	磨损引起的提升压头变化系数 $f_e$	0.90	0.90
煤量 $B_M/(t \cdot h^{-1})$	0.419	74.200	磨煤机出口温度对提升压头的修订系数 $f_t$	1.16	0.93
煤粉均匀性系数 $n$	0.83	0.90	大气压力对提升压头的修正系数 $f_p$	0.956	0.986
煤粉细度 $R_{90}/\%$	36.4	45.0	磨损后期提升压头 $H_{uh}/Pa$	2 153	1 850
磨煤机出口温度/ $^\circ C$	65	150	磨损前提升压头 $H_{uq}/Pa$	—	2 056
大气压/kPa	96.90	99.87			

头是 1 850 Pa,结合表 6 的热平衡计算结果,可见提升压头和磨煤机入口温度等均能满足运行要求。

### 3.8 掺烧烟煤对打击板寿命的影响

风扇磨打击板寿命可按实磨实测或根据下式计算所得的金属耗量来确定:

$$\delta = 20K_e \ln\left(\frac{100}{R_{90}}\right) \ln\left(\frac{B_M}{S}\right) \frac{S}{B_M} \quad (1)$$

式中, $K_e$  为煤的冲刷磨损指数; $B_M$  为磨煤机原煤出力,t/h。

打击板寿命  $T$  为

$$T = \frac{0.3G}{\delta B_M} \quad (2)$$

式中, $G$  为冲击板净重,g。

由于褐煤水分高热值低,6 台磨煤机运行只能带 75% ECR 负荷(锅炉额定负荷),而掺烧 20% 烟煤后在 7 台磨煤机运行时可带 BMCR 负荷,对 MB3600/1000/490 型磨煤机在 2 种工况下分别磨制不同试验煤样的打击板寿命进行了计算,该型磨煤机配备 12 个打击板,单个打击板的重量为 265 kg,面积为 0.5 m<sup>2</sup>,煤粉细度  $R_{90}$  为 45%,结果见表 8。磨制褐煤在 75% ECR 工况下打击板寿命为 2 392 h,掺烧烟煤后,由于烟煤的磨损指数高,哈氏可磨指数低,降低了打击板寿命,BMCR 工况下掺烧 20% 烟煤打击板寿命降低到 1 863 h。风扇磨打击板寿命的要求是 1 500 h 以上,能够满足设计要求。

表 8 风扇磨打击板寿命校核计算

Table 8 Checking calculation for striking plate life of fan mill

煤样	磨损指数 $K_e$	磨煤机出力 $B_M$ / (t · h <sup>-1</sup> )	循环倍率 $K_c$	磨煤机内煤量 $B_{M1}$ / (t · h <sup>-1</sup> )	磨耗量 $\delta$ / (g · h <sup>-1</sup> )	打击板寿命 $T$ / h
褐煤	1.55	72.08	1.267	88.02	5.534	2 392
褐煤: 烟煤 = 8 : 2	1.84	74.20	1.369	109.53	6.901	1 863

## 4 结 论

1) 采用三介质风扇磨的大容量高参数褐煤机组可通过掺烧一定比例的优质烟煤提高混煤煤质,从而提高机组的带负荷能力。

2) 风扇磨褐煤机组掺烧烟煤需注意对磨煤机提升压头、干燥剂初始温度、打击板寿命等的影响,结合锅炉运行要求选取合适的煤粉细度、磨煤机出口温度等。

3) 选择掺烧的烟煤应燃烧性能优良,哈氏可磨指数较高且磨损指数较低,有利于保证磨煤机研磨出力、不降低风扇磨打击版寿命以及保证锅炉的燃烧稳定性和经济性。

### 参考文献 (References) :

[1] 魏国华. 燃用超低热值褐煤大容量锅炉的设计与开发[J]. 锅炉制造, 2014(4): 11-13.  
WEI Guohua. The design & development of ultra low calorific value lignite-firing boiler[J]. Boiler Manufacturing, 2014(4): 11-13.

[2] 张向群, 丁永允, 曹阳, 等. 八角切圆褐煤锅炉运行优化调整[J]. 热力发电, 2016, 45(5): 100-106.  
ZHANG Xiangqun, DING Yongyun, CAO Yang, et al. Operation optimization for octagonal corner tangentially-fired boiler burning low heat value lignite coal[J]. Thermal Power Generation, 2016,

45(5): 100-106.

[3] 廖海燕, 温长宏, 段伟. 呼伦贝尔电厂制粉系统选型讨论[J]. 神华科技, 2010, 8(6): 46-49, 53.  
LIAO Haiyan, WEN Changhong, DUAN Wei. Discussion on type selection of pulverized coal preparation system for Hulunbeier power plant[J]. Shenhua Science and Technology, 2010, 8(6): 46-49, 53.

[4] 张昀, 李卫东, 许传凯, 等. 褐煤锅炉磨煤机选型和煤粉水分选取的探讨[J]. 中国电力, 2011, 44(8): 36-39.  
ZHANG Yun, LI Weidong, XU Chuankai, et al. Approach to moisture content in pulverized coal and pulverizer style selection for lignite utility boilers[J]. Electric Power, 2011, 44(8): 36-39.

[5] 王强, 贾海军, 杨俊梅, 等. 300 MW 机组锅炉褐煤掺烧技术探讨[J]. 内蒙古电力技术, 2010, 28(3): 21-23.  
WANG Qiang, JIA Haijun, YANG Junmei, et al. Discussion of lignite combustion technology to 300 MW unit[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2010, 28(3): 21-23.

[6] 赵永强. 电厂锅炉混煤掺烧技术研究[J]. 现代制造, 2013(33): 98-99.  
ZHAO Yongqiang. Boiler blended coal combustion technology research[J]. Modern Manufacturing, 2013(33): 98-99.

[7] 赵长江. 350 MW 超临界褐煤锅炉掺烧劣质烟煤试验研究[J]. 内蒙古电力技术, 2016, 34(5): 21-25.  
ZHAO Changjiang. Test and research of inferior bituminous coal blending on 350 MW supercritical lignite boilers[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2016, 34(5): 21-25.

(下转第 71 页)

- and analysis of the fushun-type oil shale retorting system[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(14): 2228-2234.
- [11] 聂其红, 孙绍增, 李争起, 等. 褐煤混煤燃烧特性的热重分析法研究[J]. 燃烧科学与技术, 2001, 7(1): 72-76.  
NIE Qihong, SUN Shaozeng, LI Zhengqi, et al. Thermogravimetric analysis on the combustion characteristics of brown coal blends[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2001, 7(1): 72-76.
- [12] 田宜水, 王茹. 基于多升温速率法的典型生物质热动力学分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(3): 234-240.  
TIAN Yishui, WANG Ru. Thermokinetics analysis of biomass based on model-free different heating rate method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(3): 234-240.
- [13] 王擎, 王海刚, 孙伯仲, 等. 油页岩及其半焦混烧特性的热重试验研究和动力学分析[J]. 化工学报, 2007, 58(11): 2882-2888.  
WANG Qing, WANG Haigang, SUN Baizhong, et al. Thermo-gravimetric study and kinetic analysis of blended combustion characteristics of oil shale and semi-coke[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2007, 58(11): 2882-2888.
- [14] 黄富, 李术元, 徐明, 等. 桦甸油页岩半焦燃烧特性及动力学研究[J]. 石油化工高等学校学报, 2011(3): 55-59.  
HUANG Fu, LI Shuyuan, XU Ming, et al. Combustion characteristics of the semi-coke from huadian oil shale[J]. Journal of Petrochemical Universities, 2011(3): 55-59.
- [15] TIWARI, PANKAJ, MILIND Deo. Compositional and kinetic analysis of oil shale pyrolysis using TGA-MS[J]. Fuel, 2012, 94: 333-341.

## (上接第45页)

- [8] 孙煜. 电厂锅炉混煤掺烧技术应用[J]. 电工文摘, 2015, 34(5): 68-70.  
SUN Yu. Boiler blended coal combustion technology research and practice[J]. Electrical Engineering Abstracts, 2015, 34(5): 68-70.
- [9] 刘家利, 杨忠灿, 相大光, 等. 燃用褐煤大型电站锅炉的设计特点[J]. 热力发电, 2010, 39(11): 8-12.  
LIU Jiali, YANG Zhongcan, XIANG Daguang, et al. Design features of lignite-coal fired large-scale utility boilers[J]. Thermal Power Generation, 2010, 39(11): 8-12.
- [10] 姚伟, 韩立芳, 薛宁, 等. 煤质变化对电站锅炉运行的影响[J]. 热力发电, 2005, 34(7): 22-26.  
YAO Wei, HAN Lifang, XUE Ning, et al. The influence of coal quality on the operation of power plant[J]. Thermal Power Generation, 2005, 34(7): 22-26.
- [11] DL/T 466—2004, 电站磨煤机及制粉系统选型导则[S].
- [12] DL/T 1106—2009, 煤粉燃烧结渣特性和燃尽率—维火焰炉测试方法[S].
- [13] DL/T 1466—2015, 煤粉气流着火的测试方法[S].
- [14] 马煜, 李学飞. 风扇磨煤机性能参数的计算与研究[J]. 矿山机械, 2011, 39(1): 75-77.  
MA Yu, LI Xuefei. Calculation and study on performance parameters of beater wheel mills[J]. Mining Machinery, 2011, 39(1): 75-77.
- [15] 鲁文恭, 杨忠灿, 张安国. 大型褐煤电站锅炉风扇磨煤机选型试验[J]. 热力发电, 2014, 43(12): 95-98.  
LU Wengong, YANG Zhongcan, ZHANG Anguo. Experimental study on fan mill type selection in large lignite-fired power plants[J]. Thermal Power Generation, 2014, 43(12): 95-98.