

# CFB 机组底渣余热回收方案的比较分析

苏银皎<sup>1</sup> 苏铁熊<sup>1</sup> 李永茂<sup>2</sup> 马理强<sup>1</sup>

(1. 中北大学 机械与动力工程学院, 山西 太原 030051; 2. 山西平朔煤矸石发电有限责任公司, 山西 朔州 036800)

**摘要:**以某厂 300 MW 循环流化床锅炉滚筒冷渣器和风水冷渣器联合排渣方式的机组为例,运用等效焓降法选取 3 种不同的底渣余热回收方案进行了计算分析、对比研究和实践验证。研究它们对机组热经济性的影响。结果表明:燃用煤的热值越低,底渣余热回收的利用空间越大,节能效果越明显。当选用最佳底渣余热回收方案时,机组热耗率可降低 3.54-8.76 kJ/(kW·h),标准煤耗降低 0.133-0.329 g/(kW·h)。机组经过优化改造后,实际运行结果与上述理论分析结果相吻合,可对其它机组的余热利用提供借鉴和参考。

**关键词:**循环流化床; 低热值; 冷渣器; 等效焓降; 热经济性

中图分类号: TK11+5 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.01.013

## 引言

循环流化床锅炉具有燃料适应性强和低排放量等特点,但是相较于普通煤粉炉,其燃用煤的灰分较高<sup>[1]</sup>,热值较低,所以灰渣量大,灰渣的物理热损失高,如果不能有效地利用这部分热能,不仅影响了机组的效率,而且会造成能源的浪费,长期运行更会增加机组的发电成本。所以要对 CFB 机组排出的底渣物理热进行回收利用,改善能源利用率,以实现机组节能生产<sup>[2]</sup>。冷渣器是循环流化床锅炉的关键设备之一<sup>[3]</sup>,冷渣器的冷却介质为水和空气,空气同时作为灰渣的流化介质,换热后温度升高的热空气夹带部分细小颗粒经由布置在锅炉二次风口附近的热风喷口进入炉膛,提高了燃烧效率和石灰石利用率,被加热的冷凝水返回锅炉的回热系统被重新循环利用,以此提高系统的热利用率。

## 1 研究对象

### 1.1 所选机组概况

以山西某电厂 2×300 MW 循环流化床机组为

例进行分析研究,其主要设备参数为:锅炉型号为 SG-1060/17.5-M802 型循环流化床锅炉,汽水系统采用亚临界参数、自然循环设计、一次中间再热;汽轮机为上海汽轮机有限公司制造的 N300-16.7/538/538 型亚临界、一次中间再热、单轴、双缸双排气、直接空冷凝汽式反动汽轮机;发电机是上海汽轮机有限公司生产的水、氢、氢冷发电机。

### 1.2 燃烧及排渣情况

燃烧过程中的灰分由炉膛下部以灰渣形式连同锅炉尾部以飞灰形式排出。根据燃煤粒度、煤的成灰特性不同,各类灰分所占份额会有所不同。就本锅炉的设计煤种和入炉煤粒度而言,底渣占总灰量的 40%,平均粒度为 500 μm 左右,飞灰占总灰量的 60%,平均粒度为 30 μm 左右。本锅炉冷渣器为外购件,在 0 米平台共布置 4 台冷渣器,其中两台滚筒冷渣器(每台处理渣量 25 t/h,进渣温度 860 °C,出渣温度低于 150 °C)靠近炉前,两台风水冷渣器(每台处理渣量 37 t/h,进渣温度 900 °C,出渣温度低于 150 °C)靠近炉后,冷却水采用凝结水。该电厂 2009 年投产运行,机组运行过程稳定,在同类型电厂中具有一定的代表性。

## 2 机组底渣物理热损失

该厂的 CFB 锅炉主要燃煤为煤矸石、风氧化煤、煤泥、中煤等,掺烧比例为 100%,入炉煤热值约 11 720 kJ/kg,额定工况下燃料消耗量 230.186 t/h,灰渣物理热损失为:

$$q_6 = \frac{A^y}{Q_r} \left[ \frac{\delta_{dz}(t_{dz} - t_0)c_{dz}}{100 - c_{dz}^c} + \frac{\delta_{fh}(t_{py} - t_0)c_{fh}}{100 - c_{fh}^c} \right] \quad (1)$$

式中:  $A^y$ —燃煤的应用基灰分,%;  $Q_r$ —锅炉输入热量,kJ;  $\delta_{dz}$ —底渣份额,%;  $\delta_{fh}$ —飞灰份额,%;  $t_{dz}$ —底渣温度,°C;  $t_{py}$ —排烟温度,°C;  $t_0$ —引风机入口温

收稿日期: 2015-06-11; 修订日期: 2015-07-17

基金项目: 山西省科技攻关项目(20140321022-02); 朔州市科技攻关项目(2013-33-38, 2013-33-40)

作者简介: 苏银皎(1991-),女,山西原平人,中北大学在读硕士研究生。

度, °C;  $c_{dz}$ —底渣比热  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $c_m$ —飞灰比热,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $c_{dz}^c$ —底渣含碳量, %;  $c_m^c$ —飞灰含碳量, %。通过现有参数, 由公式(1) 计算可知灰渣物理热损失为 1.524 7%。

每天该项热损失量:

$$Q = 24 \times 2 \times 230.186 \times 1000 \times 11720 \times 0.015247 = 19.74 \times 10^8 \text{ kJ/kg}$$

每天损失煤量:

$$m = 24 \times 2 \times 230.186 \times 0.015247 = 168.46 \text{ t}$$

因排渣热量造成锅炉效率下降, 影响机组煤耗<sup>[4]</sup>。为了减少该部分的热量损失, 需采用冷渣器回收该部分热量到汽机回热系统中。锅炉底渣在冷渣器中放出的热量:

$$Q_{dz} = c_{dz} G_{dz} (t_{dz(in)} - t_{dz(out)}) = 3.2 \times 10^7 \text{ kJ/h} \quad (2)$$

式中:  $Q_{dz}$ —底渣放热量,  $\text{kJ/h}$ ;  $G_{dz}$ —底渣流量,  $\text{t/h}$ ;  $t_{dz(in)}$ —底渣在冷渣器入口的温度, °C;  $t_{dz(out)}$ —底渣在冷渣器出口的温度, °C。

### 3 设计比较

为了便于分析比较, 选择 THA(汽轮机保证热耗率试验工况) 作为比较工况, 其基本热力参数如图 1 所示。

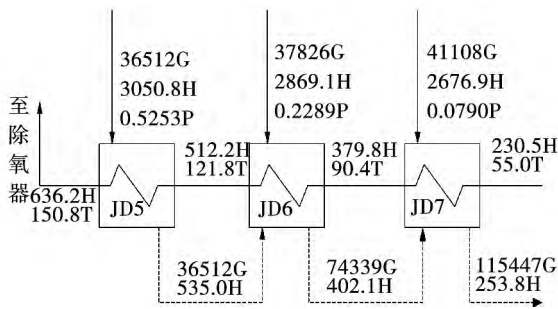


图 1 THA 工况下低加热平衡图

Fig. 1 The heat balance diagram of low-pressure heater on THA working condition

由图 1 所示参数, 并应用等效焓降法得到基础数据如表 1 所示。

#### 3.1 冷渣器余热利用方案

为了合理利用冷渣器排渣的热量, 该厂设计采用由轴封加热器出口的部分凝结水引至冷渣器, 在冷渣器内吸收热量后返回 6 号低压加热器入口, 冷渣器与 7 号低压加热器并联布置。但是由于进入 7 号低压加热器的凝结水量减少而造成 7 号低加振

动, 为此, 需要对冷渣器冷却水回水接入点进行优化改造, 为了充分比较底渣热量回收的效果, 现根据冷渣器的回水接入点不同, 分别对 3 种不同方案加以分析比较。

表 1 等效焓降基础数据

Tab. 1 The basic data calculated on the equivalent enthalpy drop method

项 目	7 号低加	6 号低加	5 号低加
抽汽放热/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	2 423.1	2 467.0	2 515.8
疏水放热/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	148.3	132.9	0.0
给水吸热/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	149.3	132.4	124.0
等效焓降/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	239.9	417.3	573.7
抽汽效率/ %	9.90	16.92	22.80

方案 1: 冷渣器与 7 号低加部分凝结水流量串联布置

如图 2 所示, 从轴加之后引出部分凝结水至冷渣器, 在冷渣器中吸收热量后返回 7 号低压加热器入口, 冷渣器与 7 号低加部分流量串联。

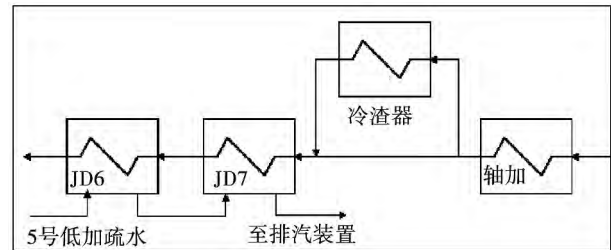


图 2 冷渣器与 7 号低加部分凝结水流量串联

Fig. 2 The slag cooler and No. 7 low-pressure heater arranged in series by part of the condensed water

方案 2: 冷渣器与 7 号低加并联布置

如图 3 所示, 从轴加之后引出部分凝结水至冷渣器, 在冷渣器中吸收热量后返回 6 号低压加热器入口, 冷渣器与 7 号低加并联。

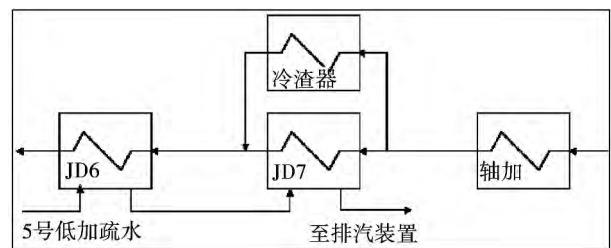


图 3 冷渣器与 7 号低加并联

Fig. 3 The slag cooler and No. 7 low-pressure heater arranged in parallel

方案 3: 冷渣器与 6 号低加并联布置

如图 4 所示, 从 7 号低加之后引出部分凝结水至冷渣器, 在冷渣器中吸收热量后返回 5 号低压加热器入口, 冷渣器与 6 号低加并联。

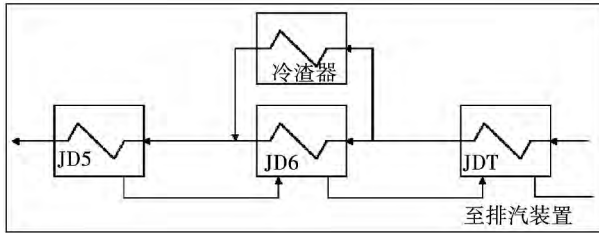


图 4 冷渣器与 6 号低加并联

Fig. 4 The slag cooler and No. 6 low-pressure heater arranged in parallel

由于冷渣器接入方式的不同, 导致整个系统的做功变化, 采用等效焓降理论进行热经济性分析计算。在方案 1 的冷却水量可以通过测点实测得到, 为了便于具体比较有关指标的变化, 3 种不同方案选取相同份额的冷却水进入冷渣器。在计算过程中需要确定冷渣器进口、出口水焓, 而水焓又与冷却水的温度和压力有关, 冷却水的温度由安装在凝结水管道上的温度测点得到, 由于只是定性的比较 3 种方案的优劣, 所以只需近似采用此温度下饱和水的比焓作为冷渣器进、出口水焓值即可。冷渣器的余热利用属于内部热水携带热量进、出系统, 所引起的做功变化为:

方案 1:

$$\Delta H_1 = \alpha_f (h_f - \bar{t}_0) \eta_1 \quad (3)$$

方案 2:

$$\Delta H_2 = \alpha_f [(h_f - \bar{t}_1) \eta_2 + \tau_1 \eta_1] \quad (4)$$

方案 3:

$$\Delta H_3 = \alpha_f [(h_f - \bar{t}_2) \eta_3 + \tau_2 \eta_2] \quad (5)$$

式中:  $\Delta H_1$ 、 $\Delta H_2$ 、 $\Delta H_3$ —各方案的做功增加值, kJ/kg;  $\alpha_f$ —冷渣器的冷却水份额,  $\alpha_f = D_{lz}/D_0$ , %;  $D_{lz}$ —冷渣器的冷却水量, t/h;  $D_0$ —主蒸汽流量, t/h;  $h_f$ —冷渣器出口水焓, kJ/kg;  $\bar{t}_0$ —轴加出口水焓, kJ/kg;  $\bar{t}_1$ 、 $\bar{t}_2$ —7 号和 6 号低加出口凝结水焓, kJ/kg;  $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 、

$\eta_3$ —7 号、6 号、5 号低加抽汽效率, %;  $\tau_1$ 、 $\tau_2$ —7 号、6 号低加中工质焓升, kJ/kg。

### 3.2 各方案经济性比较

为了更好的比较不同方案的优劣, 需要计算机组在同一负荷下的各项热经济性指标以进行比较<sup>[5]</sup>。由于循环流化床锅炉主要消耗劣质煤, 而劣质煤灰分较大导致燃煤的热值偏低, 锅炉燃烧不同热值的燃料底渣排放量不同<sup>[6]</sup>, 所以即使在同一负荷下也要根据热值的不同区分不同的工况。现对机组在同一方案相同负荷的情况下, 根据燃煤的热值由低到高的顺序采集现场数据, 并分为 3 种不同的工况进行比较。机组满负荷运行时的参数如表 2 所示。

表 2 机组运行数据

Tab. 2 The operation data of unit

项 目	工况 1	工况 2	工况 3
负荷/MW	298.75	301.92	299.46
总燃料量/t · h <sup>-1</sup>	266.66	235.44	217.58
当前燃煤热值/MJ · kg <sup>-1</sup>	9.91	12.56	13.57
主蒸汽流量/t · h <sup>-1</sup>	892.01	950.51	897.36
凝结水流量/t · h <sup>-1</sup>	753.7	808.08	770.12
凝结水压力/MPa	1.74	1.82	1.73
冷渣器的冷却水量/t · h <sup>-1</sup>	511.41	566.25	547.42
轴加出口水温/°C	53.1	62.9	61.5
轴加出口凝结水焓/kJ · kg <sup>-1</sup>	222.22	263.23	257.37

冷渣器回收总热量:

$$Q = (H_2 - H_1) \cdot G \quad (6)$$

机组热耗率降低值:

$$\Delta q = (\Delta H_i / H) \cdot q_0 \quad (7)$$

标煤耗降低值:

$$\Delta b = \Delta q / (\eta_g \cdot Q_s) \quad (8)$$

式中:  $H_1$ 、 $H_2$ —冷渣器进口、出口水焓, kJ/kg;  $G$ —冷渣器的冷却水量, t/h;  $\Delta H_i$ —冷渣器余热利用之后新蒸汽引起的做功变化, kJ/kg;  $H$ —引入余热利用前新蒸汽的等效热降, kJ/kg;  $q_0$ —引入余热利用前机组的热耗率, kJ/(kW · h);  $\eta_g$ —锅炉效率, 一般取 91%;  $Q_s$ —标煤的低位发热量, 取  $Q_s = 29\,270$  kJ/kg。

通过表 2 中数据, 再根据式 (6)、式 (7)、式 (8) 计算得到在同一负荷下, 采用不同方案冷渣器余热

利用之后机组的各项经济性指标。其详细结果如表 3 所示。

由表 3 可知在同一工况下 采用方案 1 时 冷渣器回收总热量虽然与方案 2 相同 但是其它 3 项指标都明显优于另外两种方案。在工况 1 时其节能效果更加明显。

表 3 各方案经济性分析结果

Tab. 3 The economy analysis of each scheme

参数		工况 1	工况 2	工况 3
冷渣器回收总 热量/ $\text{GJ} \cdot \text{h}^{-1}$	方案 1	32.76	14.71	13.30
	方案 2	32.76	14.71	13.30
	方案 3	11.64	11.96	11.53
引起做功增加 / $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	方案 1	3.635	1.532	-1.467
	方案 2	-3.807	-4.447	-4.812
	方案 3	-15.898	-17.643	-19.953
机组热耗率降低 值/ $\text{kJ} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	方案 1	8.76	3.69	3.54
	方案 2	-9.17	-10.72	-11.6
	方案 3	-38.31	-42.51	-48.08
标煤耗降低值 / $\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	方案 1	0.329	0.139	0.133
	方案 2	-0.344	-0.402	-0.436
	方案 3	-1.438	-1.596	-1.805

同时可以明显地看出 3 种冷渣器余热利用方案中 方案 1 为最优的利用方案 即部分凝结水进入冷渣器吸热后返回 7 号低加与之串联的方式。其各项指标都明显优于其它 2 种方案。

根据能级利用的观点<sup>[7]</sup> 余热利用介质的温度越高 能量的品质越高 经济性越高 因此被加热后的凝结水引入 6 号低加或 5 号低加出口比引入 7 号低加出口更为合理。但是根据热传递理论可知<sup>[8]</sup> 引入冷渣器的凝结水温越高 换热后平均温差越小 传热量越少 余热利用的效果越不好。

方案 1 中凝结水进入冷渣器吸热后返回 7 号低加与之串联的方式可以更加合理充分地利用汽轮机抽气能量和冷渣器的回收能量<sup>[9]</sup> 使得 6 号低加抽气量增加 5 号低加抽气量减小 以低品质的抽气代替高品质的抽气 降低了供电煤耗率。

而通过比较同一方案在相同负荷下 3 种不同工况的燃煤对底渣热量回收的影响可以看出 燃煤热值较低的煤时 循环流化床机组热耗率降低量越大 标煤耗降低量越多 机组的节能效果越明显。因此

大型循环流化床锅炉在燃用高灰分煤时 冷渣器对底渣热量的回收作用显得更加重要。

该厂通过技术改造后 采用了方案 1 所提出的冷却水回水接入方式 实际运行后 在机组全负荷运行时 标煤耗降低  $0.174 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$  与上述理论分析结果相吻合 可对其它机组的余热利用提供参考和借鉴。

## 4 结 论

(1) 对可行的 3 个冷渣器余热回收利用方案进行经济性分析 得到最优利用方案 1 即冷渣器与 7 号低加部分凝结水流量串联的方式 机组热耗率可降低  $3.54 - 8.76 \text{ kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})$  标准煤耗降低  $0.133 - 0.329 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

(2) 燃用热值为  $9.91 \text{ MJ}/\text{kg}$  和  $13.57 \text{ MJ}/\text{kg}$  的煤时 标煤耗降低值分别为  $0.329 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$  和  $0.133 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$  可见循环流化床机组燃用煤的热值越低 底渣余热回收利用空间越大 节能效果越明显。

## 参考文献:

- [1] 张 宁 孙奉仲 丁兴武 等. CFB 锅炉水冷排渣余热利用的分析与优化[J]. 热能动力工程 2006 21(3): 311-329.  
ZHANG Ning SUN Feng-zhong DING Xing-wu et al. The analysis of the CFB boiler water discharge of waste heat utilization and optimization [J]. Thermal Power Engineering, 2006, 21(3): 311-329.
- [2] 黄嘉骝 张爱军 魏铜生 等. 冷渣器冷却水回水接入点分析及改进方案[J]. 热力发电 2009 38(3): 75-77 80.  
HUANG Jia-si ZHANG Ai-jun WEI Tong-sheng et al. The analysis and improvement solutions of cold slag cooling water backwater access point [J]. Thermal Power 2009 20(3): 75-77 80.
- [3] 袁雄俊 卓伟宏 殷艳霞. 300 MW CFB 空冷供热机组冷渣器余热利用系统优化[J]. 电力建设 2011 32(1): 64-67.  
YUAN Xiong-jun ZHUO Wei-hong YIN Yan-xia. 300 MW CFB air-cooling heating unit cooled slag is waste heat utilization system optimization [J]. Power Construction 2011 32(1): 64-67.
- [4] 侯致福 杨玉环 高建强. 300 MW CFB 空冷机组冷渣器余热利用系统经济性分析[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2015 42(3): 85-89.  
HOU Zhi-fu YANG Yu-huan GAO Jian-qiang. 300 MW CFB air

cooling unit economy cooled slag is waste heat utilization system analysis[J]. Journal of North China Electric Power University( Natural Science Edition) 2015 42( 3) : 85 - 89.

[5] 李建锋,吕俊复,李 斌. 300 MW 循环流化床锅炉机组冷渣器的能效分析[J]. 燃烧科学与技术 2011 ,17( 4) : 355 - 342.  
LI Jian-feng ,LV Jun-fu ,LI Bin. 300 MW Circulating Fluidized Bed boiler unit efficiency analysis of cold slag[J]. Combustion Science and Technology 2011 ,17( 4) : 355 - 342.

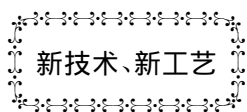
[6] 郑 宇,姜振东. 300 MW 循环流化床锅炉冷渣器热量回收//中国循环流化床发电生产运营管理( 2013) 会议论文集 [C] 2013.  
ZHENG Yu ,JIANG Zhen-dong. 300 MW Circulating Fluidized Bed boiler cold slag heat recovery//circulating fluidized bed power generation production operation management in China( 2013) 2013.

[7] 姜孝国,张 纁,杜守国. CFB 锅炉冷渣器及渣的热量回收 [J]. 锅炉制造 2002( 4) : 20 - 22.  
JIANG Xiao-guo ,ZHANG Wen ,DU Shou-guo. CFB boiler slag and slag heat recovery[J]. Boiler Manufacturing 2002( 4) : 20 - 22.

[8] 吴东垠,马玉峰. 燃煤锅炉在低负荷和煤种变化时的稳定燃烧和燃烬[J]. 中国能源 ,1999( 9) : 40 - 42.  
WU Dong-yin ,MA Yu-feng ,Coal-fired boiler at low load and the stability of the change of coal combustion and combustion [J]. China's Energy ,1999( 9) : 40 - 42.

[9] 李勤道,刘志真. 热力发电厂热经济性计算分析[M]. 北京: 中国电力出版社 2008.  
LI Qin-dao ,LIU Zhi-zhen. Thermal power plant heat economy analysis [M]. Beijing: China Power Press 2008.

( 陈 滨 编辑)



新技术、新工艺

## 怀特盖特电站第一个执行 GE 数据分析软件

据《Gas Turbine World》2015 年 5 - 6 月刊报道,位于爱尔兰科克郡的怀特盖特电站已经成为世界第一个安装“Reliability Excellence( 可靠性优秀)”GE 新的先进电站解析软件

使用该软件能帮助操作人员更有效和更可靠地运行装置,以便增加它的利用率。GE 借助于在一周的停机期间将整个装置安装了总计 141 个状态实时监控的传感器,GE 于 2014 年 6 月展开了该软件设计。

通过对 445 MW 功率的怀特盖特联合循环电站设备资产连续二十四小时昼夜不停地监控,GE 的“可靠性优秀”技术给电站操作人员提供了装置性能清单和综合的检查说明。这些解析数据正在被转换成运行建议,预期它们将有助于电站把注意力集中在把停机时间减到最少的维护作业上。

此外,软件全面的数据分析正帮助怀特盖特电站在它们成为进行费用大的非计划修理而可能迫使装置离线的严重问题以前查明运行的异常,包括燃烧动态性能恶化和零件破坏。

( 吉桂明 摘译)

the number of cycles or frequency corresponding to the stress amplitude corrected totals 12700 ,far greater than the frequency for starting up the boiler from the cold state during its service life period ,therefore ,ensuring that the boiler is always safe during its start-up and operation period. **Key words:** startup separator ,cold-state startup ,temperature field ,stress field ,life characteristics

变工况下超超临界机组抽汽过热度利用方案的比较分析 = **Comparison and Analysis of the Superheating Degree Utilization Versions for a Ultra-supercritical Unit Under the Off-design Operating Conditions** [刊 , 汉] LIU Ying-hua ( Shenhua Guohua ( Beijing) Electric Power Research Institute Co. Ltd. ,Beijing ,China ,Post Code: 100025) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31( 1) . -71 -75

In the light of the problem that the superheating degree of the recuperative steam extracted in the thermal systems of large-sized ultra-supercritical units is excessively high ,studied were the specific features of the change in the superheating degree of the steam extracted in the thermal system of a ultra-supercritical unit and compared and analyzed were the thermal performance and energy-saving effectiveness of two kinds of superheating degree utilization version ,i. e. externally installed type steam cooler and recuperative type small-sized steam turbine. It has been found that both externally installed type steam cooler and recuperative type small-sized steam turbine versions can effectively lower the superheating degree of the steam extracted from the ultra-supercritical unit under various operating conditions and reduce the coal consumption of the unit. The recuperative type small-sized steam turbine version can lower the superheating degree of the steam extracted from several stages at a same time ,thus its energy-saving effectiveness is better than that of the superheating degree utilization version by using a one-stage externally-installed type steam cooler. Under the design operating condition ,the recuperative type small-sized steam turbine version can save coal by 1.34 g/kWh ,two times higher than that of the externally-installed type steam cooler version. When the load goes down ,the energy-saving result of the externally-installed type steam cooler version slightly becomes good ,however ,that of the recuperative type small-sized steam turbine version conspicuously becomes poor ,thus the results achieved by adopting both energy saving versions get close to each other. **Key words:** ultra-supercritical unit ,off-design condition ,superheating degree utilization ,thermal performance analysis

CFB 机组底渣余热回收方案的分析比较 = **Analysis and Comparison of the Bottom Slag Waste Heat Recovery Versions for a CFB ( Circulating Fluidized Bed) Boiler Unit** [刊 , 汉] SU Yin-jiao ,SU Tie-xiong ,MA Li-

qiang ( College of Mechanical and Power Engineering ,North University of China ,Taiyuan ,China ,Post Code: 030051) ,LI Yong-mao ( Shanxi Pingshuo Gangue-fired Power Generation Co. Ltd. ,Shuozhou ,China ,Post Code: 036800) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31( 1) . -76 -80

With a 300 MW CFB boiler unit operating in a combined slag removal mode by adopting roller slag coolers and air-water slag coolers serving as an example ,the equivalent enthalpy drop method was used to calculate ,analyze ,contrast ,study and case verify the influence of the three bottom slag waste heat recovery versions chosen on the cost-effectiveness of the unit. It has been found that the lower the heating value of the coal burned ,the bigger the space for utilizing the bottom slag waste heat recovered and the more conspicuous the energy-saving effectiveness. When the optimum bottom slag waste heat recovery version is chosen ,the heat rate of the unit can reduce by 3.54 kJ/( kW · h) to 8.76 kJ/( kW · h) and lower the standard coal consumed by 0.133 g/( kW · h) to 0.329 g/( kW · h) . After the unit has been subjected to an optimization and reconstruction ,the actual operation results are in good agreement with the theoretically analytic results above-mentioned ,thus offering reference for the waste heat utilization of other units of the same kind. **Key words:** circulating fluidized bed ,low heating value ,slag cooler ,equivalent enthalpy drop ,thermal cost-effectiveness

驻波声场中可吸入颗粒物漂移的影响因素分析 = **Analysis of the Factors Influencing the Drift of Inhalable Particles in a Standing Wave Acoustic Field** [刊 ,汉] SONG Xiao-tong ,FAN Feng-xian ( College of Energy Source and Power Engineering ,Shanghai University of Science and Technology ,Shanghai ,China ,Post Code: 200093) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31( 1) . -81 -86

With the viscosity-caused entraining force ,unsteady forces and drifting forces received by the inhalable particle matters in a standing wave acoustic field being considered in a comprehensive way ,a kinetic model for particles was established and based on the step-variable four-order Runge-Kutta algorithm ,a program was self prepared to seek solutions. The drifting values of particles in various drifting forces were obtained and contrasted with the test values. To this end ,the key drifting force was determined. On this basis ,the factors influencing the drift of particles were analyzed. It has been found that the non-symmetrical drifting force is regarded as the factor dominating whether or not any drift occurs to the inhalable particle matters in the standing wave acoustic field and the influence of the acoustic radiation pressure is very weak. The drift of the particles causes their movement space to greatly expand ,the interval to reduce and the interaction to strengthen ,thus contributing to the acoustic agglomeration. Whether a particle drifts