

飞灰回燃对燃烧福建无烟煤 CFB 锅炉运行影响的研究

何宏舟

(集美大学能源与动力工程研究所, 福建 厦门 361021)

摘 要: 利用热天平实验研究了飞灰碳及其入炉煤的反应性, 从理论上分析了飞灰回燃对 CFB 锅炉燃烧效率的影响, 并通过工业试验测试了回燃飞灰量对锅炉返料器运行温度、飞灰的粒度分布及其含碳量、锅炉燃烧效率及其它运行参数的影响。研究表明, 燃烧福建无烟煤 CFB 锅炉飞灰碳的反应性高于其对应入炉煤, 回燃飞灰的含碳量、回燃飞灰量与入炉煤量的比值等参数对锅炉燃烧效率有重要影响。采取飞灰回燃技术有利于降低飞灰含碳、降低返料器运行温度和提高锅炉燃烧效率, 但当回燃飞灰量较大时会影响锅炉的稳定运行。

关 键 词: 福建无烟煤; CFB 锅炉; 飞灰; 回燃

中图分类号: TK229. 6 文献标识码: A

1 前 言

研究认为, 飞灰回炉再燃可以延长其未燃碳颗粒在高温区域的停留时间, 有利于提高灰中碳颗粒的燃尽率, 是降低锅炉飞灰碳含量、提高锅炉燃烧效率的有效途径^[1~2]。但这必须有一个前提条件: 回炉飞灰碳的反应活性应高于、至少不低于入炉煤。如果 CFB 锅炉与煤粉炉一样, 其飞灰碳的反应活性比入炉煤低^[3], 那么通过延长飞灰碳颗粒在高温区的停留时间对提高其燃尽度的效果就十分有限。已有研究发现, CFB 锅炉中的大颗粒入炉煤因在炉膛底部高温反应区域停留时间较长, 使得其煤焦颗粒的后期反应性下降, 是造成 CFB 飞灰碳来源的一个重要原因^[4]。福建无烟煤因自身细颗粒含量大, 加上严重的热破碎性, 对于燃烧福建无烟煤的 CFB 锅炉而言, 飞灰碳主要来源于入炉煤中的细粉和燃烧早期因破碎和磨蚀而产生、来不及在炉膛中燃尽的细小含碳颗粒, 其反应性可能较高。本文以燃烧福建天湖山煤的德化热电厂 CFB 锅炉为例, 比较飞灰碳和入炉煤的反应性, 研究飞灰回燃对降低以福建无烟煤为燃料工业锅炉飞灰碳含量、提高锅炉燃烧效率的作用效果。

2 飞灰碳与入炉煤的反应性比较

2.1 测 试

飞灰取自德化热电厂 CFB 锅炉尾部烟气后的静电除尘器处。由于飞灰中灰含量较多而碳含量较少, 为减少燃烧中灰和矿物质对残碳反应的影响, 减少燃烧扩散阻力, 测试前对飞灰碳进行必要的富集: 提取适量粒径为 200~400 目的飞灰并置于有一定密度 ZnCl₂ 溶液的量筒中, 通过旋转分离法取出浮于溶液上层的颗粒, 经过滤、多次清洗和烘干后制成分析灰(碳)样。入炉煤及其相应飞灰、富集碳飞灰的工业分析见表 1。

表 1 入炉煤、飞灰及富集碳飞灰的工业分析 (%)

	M _{ad}	A _{ad}	V _{ad}	FC _{ad}
入炉煤	7.0	20.81	3.18	69.01
飞灰	3.46	57.90	2.22	36.42
富集碳后飞灰	5.15	28.35	3.76	62.74

反应性测试在 Mettler TOLEDO TGA/SDTA 851° 热重仪上进行, 采用非等温试验方法。测试工况为: 样品(富集碳飞灰/煤)重 10±0.1 mg, 在流量为 100 ml/min 的空气气氛下由室温以 15 °C/min 的升温速率被加热至 1 000 °C; 热天平记录试样重量随时间和温度变化的情况, 经仪器自身的软件处理后可得 TG 和 DTG 曲线, 对曲线进行分析可得样品的燃烧反应性。试验采用高纯氮作保护气, 流量为 80 ml/min。

2.2 结 果

关于煤与焦的反应性研究有很多^[5~9]。本文采用 Best 所提出的特征温度法来比较反应性^[5]。定义 TGA 实验中, 失重份额对时间微分达 0.11 失重份额/

min 时所对应的温度为表征反应性温度 T_{cr} , 记失重份
 额对时间的微分为 $R = -\frac{1}{w} \times \frac{dw}{dt}$, 其中 w 为样品瞬
 时质量。则 $R = 0.11/\text{min}$ 所对应的温度即为表征反
 应性温度 T_{cr} 。根据此定义, 可得入炉煤和富集碳飞
 灰的热天平燃烧特征温度 T_{cr} 分别为 680°C 和 596°C ,
 这说明, 飞灰碳的反应性远高于其对应入炉煤。

为确认上述比较结果, 根据 Hurt 等人采用的方
 法对入炉煤和富集碳飞灰的反应性再作了分析^[3]:
 假定煤和飞灰碳在热天平中的燃烧为一级反应并遵
 循 Arrhenius 方程, 记燃烧速率为 $\frac{dm}{dt} = A_0 \exp[-E/RT]$, 则利用入炉煤和飞灰残碳的 TG 和 DTG
 曲线数据, 可在一定的燃烧区域范围内作得 $\text{Log}[-(dm/dt)/m] - 1000/T$ 曲线(如图 1 所示)。由图
 1 可见, 在所研究的反应区间内(TG 曲线上碳转化
 率介于 $5\% \sim 90\%$ 的燃烧区间), 德化电厂飞灰富集
 碳的反应性明显高于其相应的入炉煤。这样, 不同
 的研究方法所得结果均表明, 飞灰碳的反应性大于
 其相应的入炉煤。

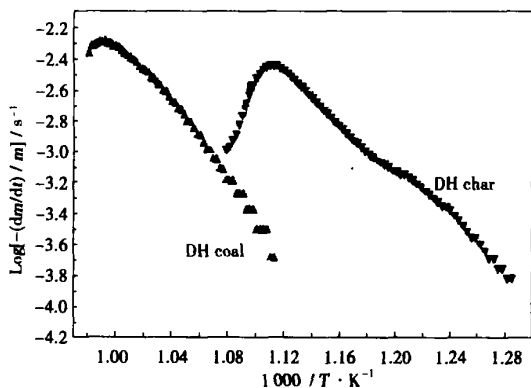


图 1 根据 TGA 数据所作的德化电厂
 入炉煤及其对应的富集碳飞灰的拟
 Arrhenius 方程曲线(反应区间: $5\% \sim 90\%$)

3 飞灰回燃对 CFB 锅炉燃烧效率影响预测

为便于分析飞灰回燃对锅炉燃烧效率的影响,
 不妨设:

- (a) 飞灰回燃前后锅炉的排渣份额不变,
 $\alpha = \alpha^0 = \text{const}$
- (b) 飞灰回燃前后炉渣含碳量保持不变,
 $C_{pz} = C_{pz}^0 = \text{const}$
- (c) 飞灰与炉渣仅由未燃烧的碳和不能燃烧的

灰组成, 即 $\text{Ash}\% + \text{Carbon}\% = 1$

(d) 从旋风分离器出口的飞灰含碳与回炉再燃
 飞灰含碳、剩余去灰场的飞灰含碳一致, 即 $C_{fh} = C_{hr}$
 $= C_{pf}$

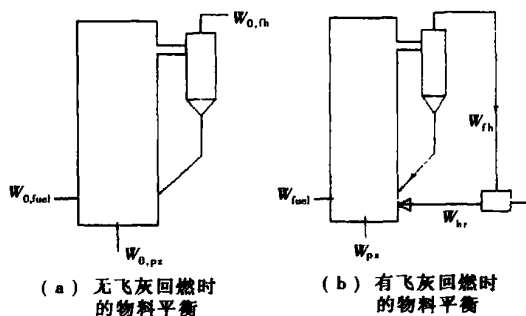


图 2 飞灰回炉再燃前后 CFB 锅炉的物料流示意图

如图 2 所示, 无飞灰回炉再燃时, 根据炉内碳平
 衡计算, 可得无飞灰回燃时锅炉的燃烧效率:

$$\eta^0 = 1 - \frac{W_{pz} C_{pz} + W_{fh} C_{fh}^0}{W_{fuel}^0 C_{fuel}^0} = 1 - \frac{C_{pz}}{C_{fuel}^0} A \alpha^0 -$$

$$A(1 - \alpha^0) \frac{C_{fh}^0}{C_{fuel}^0} \quad (1)$$

由假设(a)和(b), 得:

$$\eta^0 = 1 - \frac{A}{C_{fuel}^0} \alpha C_{pz} - \frac{A}{C_{fuel}^0} (1 - \alpha) C_{fh}^0 \quad (2)$$

在有飞灰回燃情况下, 由炉内碳的平衡计算, 得
 新的燃烧效率为:

$$\eta = 1 - \frac{W_{pz} C_{pz} + W_{fh} C_{fh} - W_{hr} C_{hr}}{W_{fuel} C_{fuel}} = 1 - \frac{C_{pz}}{C_{fuel}} A \alpha -$$

$$\frac{W_{fh} - W_{hr}}{W_{fuel}} \times \frac{C_{fh}}{C_{fuel}} \quad (3)$$

定义灰料比 $N = W_{hr} / W_{fuel}$; 再燃灰占总飞灰份
 额为 $\beta = W_{hr} / W_{fh}$ 。

则式(3)可改写为:

$$\eta = 1 - \frac{A}{C_{fuel}} \alpha C_{pz} - \left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \times \frac{NC_{fh}}{C_{fuel}} \quad (4)$$

于是, 飞灰回炉再燃前后燃烧效率之间存在有
 如下关系:

$$\eta = \eta_0 + \frac{(1 - \alpha_0) A C_{fh}^0}{C_{fuel}^0} - \left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \frac{NC_{fh}}{C_{fuel}^0} \quad (5)$$

$$\text{即: } \eta = \eta_0 + \frac{W_{fuel} (1 - \alpha_0) A C_{fh}^0}{W_{fuel} C_{fuel}^0} - N \left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \frac{C_{fh}}{C_{fuel}^0} \quad (6)$$

若假定排渣中不含回燃飞灰, 则由炉内灰的平
 衡计算, 可得:

$$W_{fh} (1 - C_{fh}) = W'_{fh} + W_{hr} (1 - C_{fh})$$

$$\text{即: } W'_{\text{fh}} = \frac{N}{\beta} W_{\text{fuel}} (1 - C_{\text{fh}}) (1 - \beta)$$

于是, 有:

$$\eta = \eta_0 + \frac{N}{C_{\text{fuel}}} \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right) [C_{\text{fh}}^0 (1 - C_{\text{fh}}) - C_{\text{fh}}] \quad (7)$$

若循环灰占飞灰总份额保持不变, 设 $\beta = 0.5$,

则得:

$$\eta - \eta_0 = \frac{C_{\text{fh}}^0 (1 - C_{\text{fh}}) - C_{\text{fh}}}{C_{\text{fuel}}} \times N \quad (8)$$

由式(8)可知, 当 N 一定时, 若 C_{fh} 越小, 则 $(\eta - \eta_0)$ 越大; 若 C_{fh} 一定, 则 η 随 N 的增大而增大。

4 飞灰回燃的工业试验

4.1 试验锅炉的主要技术参数介绍

试验在 YG-75/5.29-M4 型高温次高压循环流化床锅炉上进行。该锅炉采用惯性分离器和高温旋风分离器两级分离。锅炉的设计额定蒸发量为 75 t/h, 蒸汽温度 485 °C, 蒸汽压力 5.29 MPa。炉膛密相区有效截面积 10.2 m², 布风板至炉膛烟气出口的高度为 20.8 m。设计燃烧过量空气系数为 1.23, 流化速度 4.5 m/s, 热效率为 80%~85%。锅炉实际运行时, 炉膛烟气流速一般约为 4.0 m/s 左右。炉床温度 960~980 °C, 返料器运行温度在 960~980 °C 之间。

锅炉设计燃煤为福建天湖山无烟煤。其设计煤种与实际入炉煤的工业分析见表 2。

表 2 设计煤种与入炉煤的工业分析 (%)

	M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}	$Q_{\text{h, ad}}$
设计煤种	9.8	13.93	2.84	73.43	5 461
入炉煤	7.0	20.81	3.18	69.01	5 341

4.2 试验装置与过程说明

试验装置如图 3 所示。飞灰来自静电除尘器, 通过气力传输送到炉膛前增设的分离仓与储灰罐中。分离仓的主要作用是实现气与灰分离, 而储灰罐则发挥储存、缓冲和保证连续给灰的作用。储灰罐中的灰通过螺旋给料机回送入炉膛。

试验时, 通过调节螺旋给料机转速实现控制回燃灰流量。分别将给灰机(变比为 29:1)的转速设定为 0.250 r/min、300 r/min、350 r/min、400 r/min、450 r/min、500 r/min 和 550 r/min; 并根据运行情况, 同步调节给煤机转速, 以维持锅炉负荷基本不变。每个工况(不同回燃灰流量)连续运行 96 h, 其间每

隔 24 h 从锅炉电除尘器处取一定量飞灰进行分析, 共取 3 次, 飞灰烧失量取 3 次测量结果的平均值。

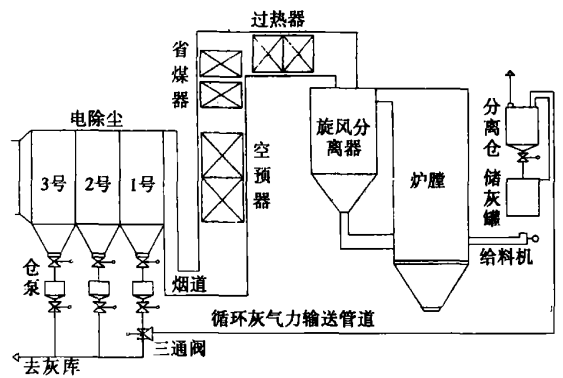


图 3 飞灰循环再燃系统示意图

4.3 试验结果分析

4.3.1 飞灰回燃前后灰粒径分布及其含碳量比较

图 4 和图 5 比较了采用飞灰回燃前后, 灰颗粒粒度分布及其可燃物含量的变化。

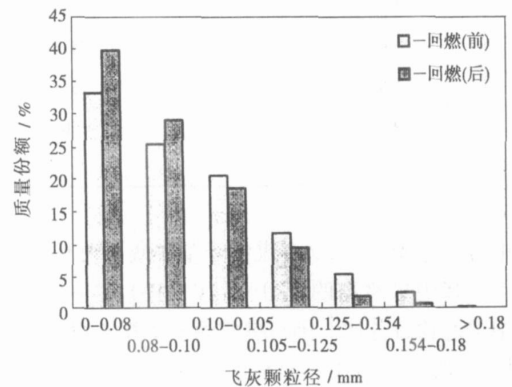


图 4 飞灰回燃前后灰颗粒的质量分布

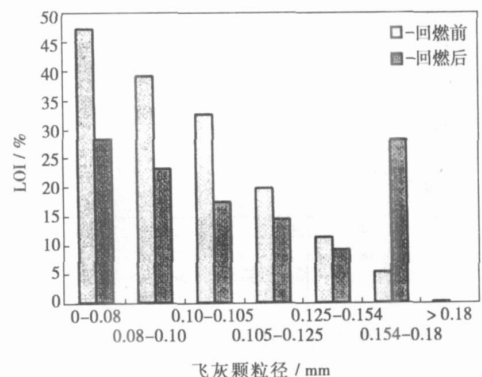


图 5 飞灰回燃前后灰颗粒可燃物含量变化

由图 4 可见, 采用飞灰回燃后, 飞灰份额往更细的颗粒档转移, 0.1 μm 以下颗粒档的飞灰质量份额均有所增加。当飞灰回燃量达 400 r/min 时, 飞灰中 0.08 ~ 0.10 μm 颗粒档飞灰份额由原来的 25.5% 增加到 29.09%, 增加近 4 个百分点; 0 ~ 0.08 μm 颗粒档飞灰份额由无飞灰回燃前的 33.27% 增加到飞灰回燃后的 39.77%, 增幅达 6.5 个百分点。与此同时, 由图 5 可见, 飞灰回燃后, 除了粒度在 0.154 ~ 0.18 μm 飞灰外, 其它各粒度档灰的含碳量均下降, 其中 0.08 ~ 0.10 μm 颗粒档飞灰含碳量由 39.17% 下降到 23.17%, 降低 16 个百分点; 而 0 ~ 0.08 μm 颗粒档飞灰含碳量则由 47.26% 降低至 28.39%, 降

幅达 40%。

4.3.2 回燃飞灰对降低飞灰含碳的影响

锅炉的运行工况随飞灰回燃量的变化情况见表 3。

由表 3 可见, 随着回燃飞灰量的增加, 飞灰可燃物含量降低。在保持主蒸汽参数(流量、温度)基本不变的情况下, 当循环飞灰量由 0 → 400 r/min 时, 飞灰烧失量则由 37.56% 降低至 21.68%, 飞灰含碳量降低了近 16% (由于试验中没有添加石灰石进行炉内脱硫, 此处飞灰的烧失量主要为其含碳量)。如果借用下式估算循环床锅炉的燃烧效率^[10]:

$$E = 100 \{ [B (100 - C) - CA] \{ B (100 - C) \} \}$$

表 3 锅炉运行工况及其相应飞灰烧失量

循环灰给料机转速 /r·min ⁻¹	给煤机转速 /r·min ⁻¹	主蒸汽流量 /t·h ⁻¹	运行温度/℃			飞灰烧失量 (LOI %)
			主蒸汽	炉膛(炉床~出口)	返料	
0	610	55.2	485~490	965~985	985~995	37.56
250	590	54.1	485~490	960~975	980~990	32.89
300	585	56.8	480~492	960~975	980~990	30.16
350	580	56.2	482~495	958~970	975~988	25.33
400	565	55.3	485~495	955~968	970~982	21.68
450	550	56.5	480~495	952~959	960~975	18.65
500	540	56	478~497	950~952	955~975	15.21
550			主蒸汽温度脉动, 锅炉运行不稳定			

其中: E—燃烧效率; A—煤空干基中灰百分比; B—煤空干基中可燃物的百分比 (V+Fc); C—灰空干基中可燃物百分比。则根据实测入炉煤原煤的工业分析数据, 可得到在不同灰回燃量条件下锅炉燃烧效率的变化情况(见图 6)。

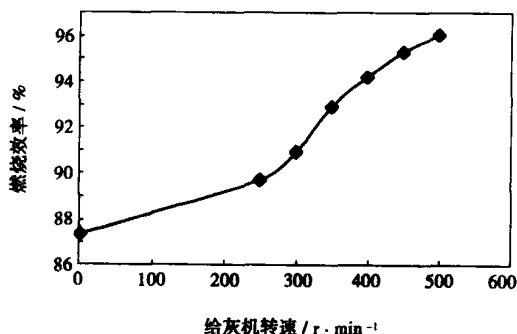


图 6 燃烧效率随给灰机转速的变化

由图 6 可见, 锅炉燃烧效率随着回燃飞灰量的增加而增加, 但当回燃飞灰量大于 400 r/min 后, 随

着循环再燃飞灰量的进一步增加, 燃烧效率的增幅变缓。

4.3.3 飞灰回燃对锅炉其它运行参数的影响

4.3.3.1 对锅炉给煤的影响

在保持主蒸汽参数(流量、温度)不变的情况下, 随着循环灰量的增加, 可以相应减少锅炉给煤量。由表 3 可见, 当循环飞灰量由 0 → 300 r/min 时, 炉膛给煤量可由 610 r/min 减少为 585 r/min, 节煤率为 4.1%; 而当循环飞灰量由 0 → 500 r/min 时, 炉膛给煤量可由 610 r/min 减少为 540 r/min, 节煤率可达 11.5%。

4.3.3.2 对返料温度的影响

由表 3 可见, 随着回燃灰量的增加, 返料温度有所下降。当循环飞灰量由 0 → 400 r/min 时, 返料温度降低了约 15℃。因此可以断定, 飞灰回燃还能有效地减少在返料器因发生回料温度超过灰熔点而结渣、进而堵塞的故障。

4.3.3.3 对炉膛传热的影响

随着回燃灰量的增加, 炉膛内烟气中颗粒(灰)

浓度大大增加, 传热系数增大, 可较大幅度地缩小炉膛上下区间的温差, 有利于锅炉的燃烧放热和汽水吸热。

但当循环再燃灰量较大时, 炉床温度脉动变得剧烈, 主蒸汽温度波动增加(达 20°C), 锅炉运行变得不稳定。因此从锅炉运行的稳定性和降低飞灰含碳角度综合考虑, 可能存在有一个最佳的灰回燃量。

5 结 论

燃烧福建无烟煤 CFB 锅炉飞灰碳的反应活性高于其相应入炉煤。理论分析发现, 采用飞灰回燃时, 灰料比越大, 回燃后飞灰碳含量越低, 则锅炉的燃烧效率提高得越多。工业试验结果则证实, 采用飞灰回燃确实能有效降低 CFB 锅炉飞灰含碳量, 有利于节约锅炉燃煤, 有利于强化炉膛传热, 提高热效率; 有利于降低返料温度, 降低返料器结焦故障风险。但从实际运行效果看, 再燃灰量也不宜过高, 因为它对进一步提高燃烧效率意义不大, 但却会影响锅炉稳定运行。

参考文献:

- [1] 赵长遂, 陈祥荣, 金保升, 等. 无烟煤飞灰循环流化床燃烧试验研究[J]. 东南大学学报, 1992, 22(3): 83—89.
- [2] 王智微, 孙献斌, 吕怀安, 等. 循环流化床锅炉飞灰再循环与燃

烧效率关系的分析[J]. 电站系统工程, 2001, 17(6): 337—339.

- [3] HURT R H, GIBBINS J R. Residual carbon from pulverized coal fired boilers: 1. size distribution and combustion reactivity[J]. *Fuel*, 1995, 74(4): 471—480.
- [4] LI Y, ZHANG J, LIU Q, *et al.* A study of the reactivity and formation of the unburnt carbon in CFB fly ashes[J]. *Development in Chemical Engineering and Mineral Processing*, 2001, 9: 3—4.
- [5] BEST P E, SOLOMON P R, SERIO M A. The relationship between char reactivity and physical and chemical structural features[J]. *Preprint am Chem Soc Div Fuel Chem*, 1987, 32(4): 138—146.
- [6] TSAI C Y, SCARONI A W. Reactivity of bituminous coal chars during the initial stage of pulverized-coal combustion[J]. *Fuel*, 1987, 66(10): 1400—1406.
- [7] SORENSEN L H, GJERNES E, JESSEN T, *et al.* Determination of reactivity parameters of model carbons, cokes and flame- chars[J]. *Fuel*, 1996, 75(1): 31—38.
- [8] ALONSO M J G, BORREGO A G, ALVAREZ D, *et al.* A reactivity study of char obtained at different temperatures in relation to their petrographic characteristics[J]. *Fuel Processing Technology*, 2001, 69: 257—272.
- [9] RRSSELL N V, BEELEY T J, MAN C K, *et al.* Development of TG measurements of intrinsic char combustion reactivity for industrial and research purposes[J]. *Fuel Processing Technology*, 1998, 57: 113—130.
- [10] MCHALE E T, SCHEFER R S, ROSSMEISSL N P. Combustion of coal/water slurry[J]. *Combustion and Flame*, 1982, 45: 121—135.

(何静芳 编辑)

技术改进

GE 公司升级改进的 LM2500+ 型机组

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2005 年 10 月号报道, GE 公司能源航改型发动机分部宣布了第四次增加其 LM2500 航改型燃气轮机额定性能的技术, 其机型为 LM2500+G4, 它是具有更大输出功率的 LM2500+ 的升级改进方案。改进采用 GE 的航空发动机和 LM6000 燃气轮机的技术。

自从 20 世纪 70 年代初投放市场以来已销售了 2000 多台机组, LM2500 已被证明是以工业和船用装置的形式应用于机械驱动或电力生产的一型高性能燃气轮机。在工业应用中, LM2500 总的运行时间已超过 4 千万小时; 在海军和商船应用中, LM2500 加上 LM2500+ 总的运行时间已超过 5 千万小时。

在宽广的运行条件下, 34.3 MW 的 LM2500+G4 的输出功率比其母型机组增加 12%, 其可靠性和效率与 LM2500 系列燃气轮机相当。

LM2500+G4 可以以简单循环和联合循环方式运行, 并且可以得到标准燃烧型和干式低排放燃烧型机组, 能够燃烧天然气、燃油或两者混烧。以联合循环方式工作, 相对于 LM2500+ 预期 LM2500+G4 能使装置的输出功率增加 8.5%, 热耗率减少 0.75%。

(吉桂明 供稿)

Key words: natural gas, small-scale combustion, combustion characteristics, heat conduction

飞灰回燃对燃烧福建无烟煤 CFB 锅炉运行影响的研究 = **An Investigation of the Impact of Fly-ash Reburning on the Operation of an Anthracite-firing CFB (Circulating Fluidized Bed) Boiler** [刊, 汉] / HE Hong-zhou (Institute of Energy and Power Engineering under the Jimei University, Xiamen, China, Post Code: 361021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 53 ~ 57

The reactivity of fly-ash carbon and that of other coals fed into a boiler was investigated and compared through experiments with the help of a thermobalance. A theoretical analysis was conducted of the impact of fly-ash reburning on the combustion efficiency of a CFB (circulating fluidized bed) boiler. Moreover, by way of industrial tests investigated and measured was the impact of the fly-ash quantity recycled for reburning on the following items: the operating temperature of a recycle-to-boiler device, fly-ash particle distribution and its carbon content, boiler combustion efficiency and other operating parameters. The results of the investigation indicate that the reactivity of fly-ash carbon of the CFB boiler burning Fujian anthracite is higher than that of other corresponding coals fed into the boiler. In addition, other parameters, such as carbon content of the reburnt fly ash, the ratio of the reburnt fly ash amount to other coals fed into the boiler, have a major influence on the combustion efficiency of the boiler. The use of fly-ash reburning technology will be conducive to reducing the carbon content of the fly ash and the operating temperature of recycle-for reburning device as well as enhancing the combustion efficiency of the boiler. However, a relatively large amount of fly ash assigned for reburning will affect the stable operation of the boiler. **Key words:** Fujian anthracite, circulating fluidized bed boiler, fly ash, reburning

燃煤飞灰伏安特性的实验研究 = **Experimental Study of the Volt-ampere Characteristics of Fly Ash Resulting from Coal Firing** [刊, 汉] / YUAN Yong-tao, QI Li-qiang (Institute of Environmental Science & Engineering under the North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 58 ~ 61

The dielectric character of fly ash is a major factor having an impact on the efficiency of electrostatic precipitators. By employing a self-developed direct-current high voltage test system the current leakage and specific resistance of the fly ash of various kinds of coal being fired were measured and analyzed, and a series of volt-ampere characteristic curves obtained. It has been found that the relation among the following three items, i. e., the voltage applied to the ash layer, the current leakage through the ash layer and fly-ash specific resistance, does not always conform to the classic Ohm's law, namely, $V/I \neq \text{constant}$. At the three segments of high, middle and low voltage the volt-ampere characteristic curves of the fly ash have different configuration features. With an increase in voltage the specific resistance of the fly ash assumes a descending tendency with the range of descending amount being within one order of magnitude ($10^1 \Omega \cdot \text{cm}$). The cause leading to the occurrence of this phenomenon consists in the high-resistance feature of the fly ash. Meanwhile, this is also closely related with the physical-chemical properties of the coal rank and fly ash. **Key words:** fly ash of coal fired, dielectric properties, specific resistance, electrostatic precipitator

考虑两相流音速时气固两相流激波研究 = **A Study of Two-phase Shock Waves with a Two-phase Flow Sonic Velocity being Taken into Account** [刊, 汉] / ZHAO Liang-ju, GAO Li-juan, YUAN Yue-xiang, et al (Institute of Power Engineering under the Chongqing University, Chongqing, China, Post Code: 400044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 62 ~ 65, 69

On the basis of a two-phase flow sonic velocity a gas-solid two-phase flow shock-wave model was set up, and calculations and analyses were performed. When compared with the calculation results of a shock wave model based on a single-phase flow sonic velocity it has been found that in the case of a relatively large gas-phase volume the sonic velocity difference as calculated by using the above two kinds of models is relatively small and the shock wave results for the two models are in good agreement. When the gas phase volume is relatively small, the sonic velocity value calculated through the use of the two-phase sonic velocity model is in better correspondence with the actual value, resulting in more rational shock wave re-