

1025 t/h“W”火焰锅炉燃烧特性试验研究

苗长信, 刘志超

(山东电力研究院, 山东 济南 250002)

摘要:介绍了英国 MBEL 设计生产的菏泽“W”火焰锅炉的燃烧系统设计特点及燃烧特性; 结合调试实际对其燃烧器配风、燃料的燃尽、 NO_x 及 SO_2 的排放等特性加以论述分析; 并针对锅炉的配风平行流场后期混合差、下炉膛卫燃带结焦、 NO_x 排放量偏高等问题进行了分析与探讨, 提出了初步的改进设想。

关键词: W 火焰锅炉; 设计特点; 燃烧特性; 改进设想

中图分类号: TK229.6; TQ038 文献标识码: A

1 前言

国内外在大型“W”火焰锅炉燃烧低挥发份无烟煤方面取得了成功的经验, 由于“W”火焰锅炉在燃用低挥发份煤种时, 具有稳燃能力强等优点, 应用前景广阔。迄今国内安装的 300 MW 级“W”火焰锅炉已有十几台, 其中 MBEL 设计生产的有 4 台, 菏泽 2 台锅炉是 MBEL 继岳阳后在国内投产的第二种 W 型火焰锅炉。MBEL 在取得岳阳锅炉设计运行经验后, 对菏泽炉膛结构及燃烧系统等作了较多的改进。国内对于大型“W”火焰锅炉的研究时间尚短, 对其燃烧特性的试验研究较少。结合菏泽锅炉燃烧系统设计特点及调试实绩, 对“W”火焰锅炉燃烧特性进行分析论述和探讨。

2 燃烧系统设计特点

2.1 燃烧系统结构特点

锅炉设计煤种为 85% 无烟煤加 15% 半无烟煤, 其煤质如表 1 所示。

锅炉的燃烧系统由磨煤机及分离装置、燃烧器及喷口、烟风系统及辅机、炉膛及燃烧室等组成。其

炉膛在 23 m 高度炉拱处分为上、下两个部分, 作为燃烧室的下炉膛截面为 $19\,320\text{ mm} \times 15\,630\text{ mm}$, 呈八角形; 以燃尽为主的上炉膛为 $19\,320\text{ mm} \times 7\,176\text{ mm}$, 呈长方形。炉膛容积为 $6\,557\text{ m}^3$, 下炉膛四周敷设 569 m^2 的卫燃带。狭缝式喷燃器分组布置在前后炉拱上, 三次风在下炉膛前后墙的下腹部引入(图 1 所示), 利用分级燃烧原理降低 NO_x 的生成。炉膛前后炉拱处各布置了 3 组直流垂直下射狭缝式喷燃器(如图 2 所示), 每组燃烧器由 4 只煤粉喷口、4 只乏气喷口、8 条狭缝式二次风喷口等组成。二次风喷口设在主煤粉喷口和乏气喷口的两侧(如图 3 所示), 每组燃烧器设有二支油枪。炉膛前墙下部设

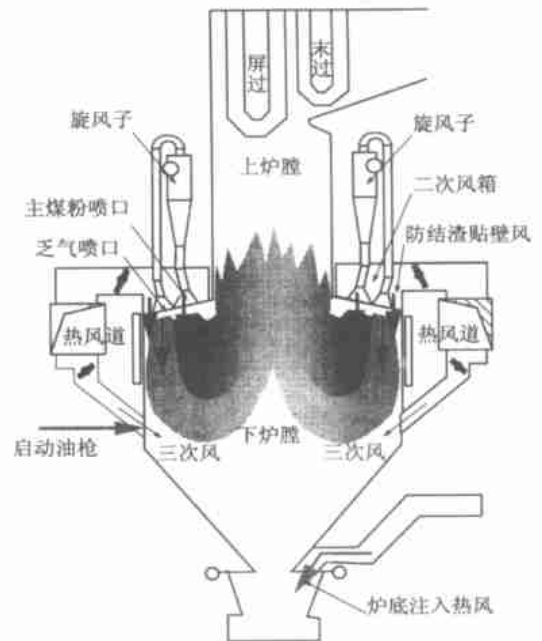


图 1 炉膛及燃烧系统示意图

表 1 锅炉设计煤质

	Car/ %	Har/ %	Oar/ %	Nar/ %	Sar/ %	Mt/ %	Aar/ %	Vdaf/ %	Ar/ %	$Q_{gr. ar}/ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$Q_{net. ar}/ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
数值	60.3	2.23	3.36	0.89	0.76	8.75	23.71	11.36	59.87	22 857	22 317

置三只启动油枪。在炉膛后墙的炉底处设置了炉底注入热风,用以负荷改变时调整汽温。

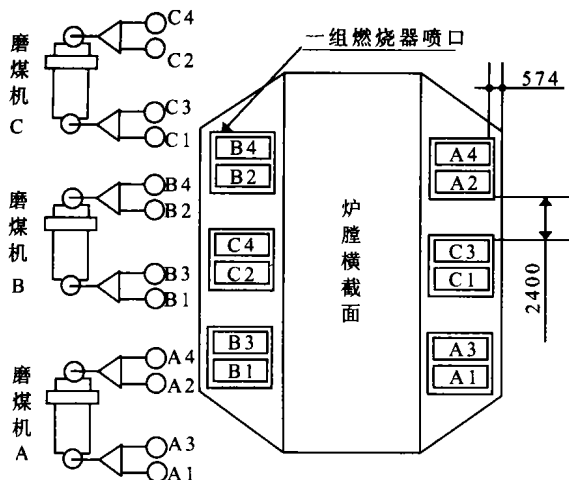


图 2 燃烧器布置示意图

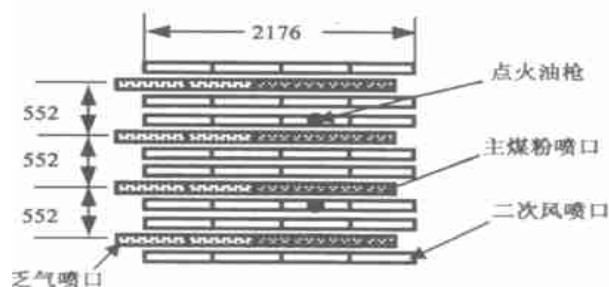


图 3 燃烧器喷口示意图

锅炉配备正压直吹式制粉系统,由 6 台皮带秤、3 台双进双出滚筒式磨煤机、煤粉分离器、拱部旋风子、狭缝式燃烧器等组成。原煤按照设定的风煤比例送入磨煤机,在磨煤机中经破碎研磨后经出口分离器分离,不合格的大颗粒煤粉经落粉管重新落口磨煤机再研磨,合格的煤粉送往炉拱上部的旋风子。在旋风子中约占 35%的一次风量携带被分离出的约 85%的较粗煤粉,通过主煤粉喷口垂直射入下炉膛燃烧,其余的约 65%的一次风量携带约 15%的细煤粉通过乏气喷口垂直射入下炉膛燃烧。另外还在旋风子下部与上煤粉喷口之间设置有节流孔板,以调整各组喷口流量偏差;在煤粉管道与分叉管前,设置了煤粉导向月牙孔板装置,以调整煤粉浓度偏差。

2.2 燃烧器及配风设计特性

菏泽锅炉燃烧器在岳阳锅炉的基础上进行了改进,所采用的下射狭缝式喷口,增大了煤粉射流的周

界面积,对吸收炉膛中的辐射热和对流换热有利。在 BMCR 下的设计一、二、三次风率分别为 20.4%、69.3%、7.2%,炉底注入热风率为 3.2%;主煤粉喷口的风速为 10 m/s,乏气风喷口风速设计为 20 m/s,二次风速为 40 m/s,防结渣贴壁风速为 10 m/s。主煤粉喷口采用了较低的出口气流速度和较高的煤粉浓度,这对稳定火焰前锋,维持煤粉气流着火较为有利,较高的二次风速可以提高射流火焰的射流刚性。同时二次风速度快,动量较大,可以挟带已着火的风粉下射到炉膛腹部。从前后墙分级给入的三次风,设计风速为 20 m/s,从下炉膛处送入,以补充燃烧所需的其余空气量,相当于常规燃烧方式锅炉的上部燃尽风。

3 燃烧特性试验分析

3.1 燃烧配风及煤粉燃尽特性

燃烧器的配风组织合理与否直接影响着各组燃烧器的配风均衡和燃料燃烧的质量。锅炉每台磨煤机的一端分别对应一组燃烧器。每组燃烧器的配风由一组拱部二次风(SA)与布置在炉膛下部的三次风(TA)组成,而二、三次风处于同一风箱。每组燃烧器的配风按以下关系进行:

$$[(SA + TA) + (PA - BA)] / \alpha = K(PA - BA) \quad (1)$$

式中:SA—单组燃烧器的二次风质量流量, kg/s; TA—单组燃烧器的三次风质量流量, kg/s; PA—单台磨煤机总一次风质量流量, kg/s; BA—单台磨煤机总旁路风质量流量, kg/s; α —理论过剩空气系数; K—配风系数(调试确定)。

MCR 负荷下变氧量调试结果表明:飞灰可燃物含量与氧量密切相关,并与氧量呈指数关系变化。氧量变化对锅炉燃烧敏感性较强,尤其是对煤粉的燃尽度影响较大(如图 4 所示)。经济器出口氧量高于 4.5%后,飞灰及炉渣可燃物含量较低且变化范围较小,飞灰可燃物一般在 4%以下,炉渣可燃物一般在 8%以下。但氧量过低时,炉渣及飞灰可燃物含量较高且影响显著,如氧量为 2.4%时其炉渣及飞灰可燃物含量均超过 15%。

由测试结果得出 MCR 工况下飞灰可燃物 $C_{fh}(\%)$ 与氧量 $x(\%)$ 又如下关系:

$$C_{fh} = 34.412 \times e^{-0.4917x} \quad (2)$$

式中: C_{fh} —飞灰可燃物含量, %; x —排烟氧量, %。

调试结果还表明:在 MCR 工况下改变二、三次

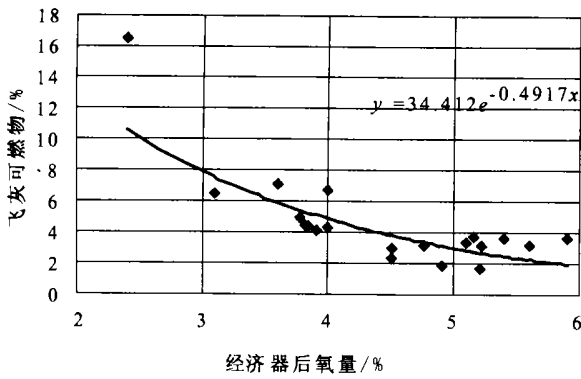


图 4 氧量变化对飞灰可燃物的影响

风的比例对燃料燃尽及汽温均有一定的影响, 比较合理的三次风开度调整范围在 15% ~ 35% 之间。在进入每组燃烧器总风量不变的情况下, 加大三次风量时二次风量会相应减少, 改变三次风开度即改变了配风比例。从炉拱处下射的二次风是燃烧所需热空气的主要来源, 同时也是起到携带已着火的风粉混合物向下引射达到下炉膛足够深度的作用, 从而延长火炬行程。从前后墙下部引入的三次风, 起着调节火炬长度并补充完全燃烧所需空气量的作用。三次风量增大可加强后期燃烧, 炉渣可燃物含量下降(如表 2 所示), 反之则会导致炉渣可燃物升高。但三次风量过大时火炬行程会缩短, 甚至会使飞灰可燃物升高, 同时也会加大减温喷水量或导致汽温超温。综合上述影响因素及效果, 运行中控制三次风量宜适中, 并应根据炉底注入热风量及汽温参数调整。

表 2 三次风 TA 开度对燃料燃尽的影响(SA 开度 100%) %

三次(TA)风开度	10	15	22	30
省煤器出口平均氧量	4.43	4.5	4.27	4.52
飞灰可燃物平均值	3.11	4.03	4.49	3.79
炉渣可燃物含量	12.70	5.81	7.03	3.31

3.2 低负荷燃烧稳定性

设计最低稳燃负荷为 50% MCR(150 MW), 调试时曾经运行两台磨煤机, 采用滑压运行方式, 不投油稳燃负荷在 178 MW 时能够连续稳定运行, 汽温汽压无异常, 绝大部分火检强度在 80% 左右, 个别火检信号强度略有波动。通过初步的低负荷稳燃试验, 可以推测该锅炉尚有继续降低负荷稳定燃烧的潜力, 其最低不投油稳燃负荷尚需在考核试验后确定。

3.3 NO_x 排放特性

由于炉膛温度较高(实测炉膛下腹部的烟气温度 1 400 °C 以上), 又敷设有大量的卫燃带, 为提高煤粉燃尽性能, 运行中必须控制较高的经济器出口氧量(O₂=4.0% ~ 5.0%), 较高的炉膛温度和过多的空气量使 NO_x 增加。实测 NO_x 排放特性表明: NO_x 排放值与氧量呈指数关系(如图 5 所示)。经整理后得到 NO_x 排放值(换算到 O₂=6% 时)与锅炉氧量的关系式如下:

$$NO_x = (20.9 - X)^{-1} \times 14881.5e^{0.0644x} \quad (3)$$

式中: NO_x—换算到 O₂=6% 时的排放值, mg/m³; X—同一测点下的氧量测值, %。

在额定工况下, 变氧量试验中测得 NO_x 排放值为 1 070 ~ 1 730 mg/m³(换算到 O₂=6%)。正常运行工况下(预热器出口 O₂=5.0 ~ 6.0%)修正后的 NO_x 排放值为 1 290 ~ 1 470 mg/m³, 此值远超过常规煤粉锅炉的排放标准(650 mg/m³)。

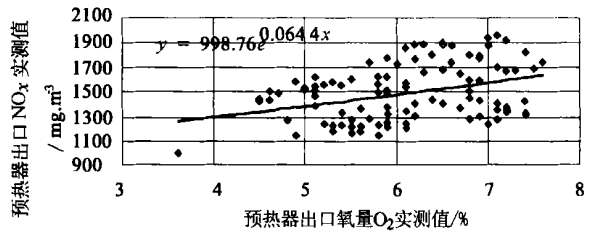


图 5 预热器出口 O₂ 与 NO_x 实测值

3.4 SO₂ 排放特性

SO₂ 排放与燃料的含硫量有关, 同时也受锅炉氧量高低的影响。从实测的预热器出口 SO₂ 的排放特性看, SO₂ 排放值与锅炉氧量呈指数关系(如图 6 所示), 表明随着氧量的增加 SO₂ 的转化率也在增加, 因此, 降低氧量运行可以减少 SO₂ 的排放量。

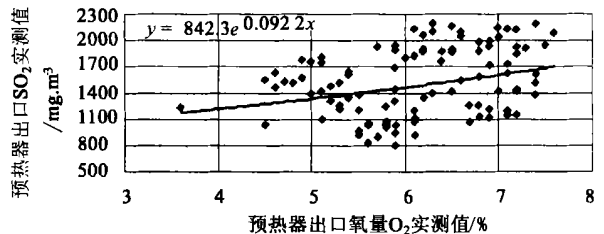


图 6 预热器出口 O₂ 与 SO₂ 实测值

3.5 炉膛的结渣特性

由于荷泽锅炉下炉膛四周敷设有大量的卫燃带, 所占下炉膛辐射受热面积的比例约 45%, 与岳阳锅炉^[1]相当。采用了悬挂式耐火砖结构的卫燃

带,用来向进入下部燃烧室的高温煤粉气流辐射热量,着火区几乎处于准绝热状态。虽然这能够尽可能地提高燃烧区的温度水平,提高火炬温度,但容易致使炉膛结焦。

锅炉设计煤质的灰熔点 ST 为 $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$,校核煤种的 ST 为 $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$,所掺河南煤的灰熔点 ST 较低。掺混河南煤比例稍多时,炉膛结焦现象加重,冷灰斗处不时有大焦块脱落,有时会引起碎渣机跳闸故障。运行中力图通过燃烧调整缓解炉膛结焦,但效果不明显。由于设计看火孔位置原因,运行中无法观察炉膛的结焦现象,只能通过捞渣机处的落焦量判断其结焦程度,通过对停炉后的脱落焦渣的体积估算,炉内卫燃带平均结焦厚度接近 100 mm 。

在实际运行中由于煤质波动较大,入炉煤的 $V_{ad}=9.48\% \sim 13.78\%$,灰份在 $A_{ad}=21\% \sim 36\%$,收到基低位发热量在 $20\ 026 \sim 25\ 871\text{ kJ/kg}$ 之间变化。运行观测表明:煤质变化对燃料的燃尽性能影响并不大,但煤质变差时炉底落焦量明显增多,有结焦加重的迹象。

4 存在问题的分析与探讨

根据菏泽“W”火焰锅炉燃烧特性试验得出:正常运行中煤粉细度在 $R_{75}=10\%$ 左右,经济器后氧量控制在 $4.0\% \sim 5.0\%$,三次风开度调整范围 $15\% \sim 35\%$,炉底注入热风开度为 $30\% \sim 0\%$,燃烧器配风系数 $K=3.3$ 时,锅炉的 q_2+q_4 热损失之和较小,汽温气压等参数正常,与岳阳锅炉相比^[1] 燃烧效率有较大的提高;目前存在的问题主要有:(1)下炉膛卫燃带结焦,脱焦时夹杂有较多的耐火砖;(2)低氧量或低负荷运行时,燃料的燃尽度差;(3) NO_x 排放量远超过常规煤粉锅炉的排放标准。

4.1 关于下炉膛结焦问题

结焦可归结有以下诸因素:(1)除下炉膛前后墙冷灰斗拐角以上 2.8 m 高的位置未敷设卫燃带外,拐角以上的大部分水冷壁敷设了卫燃带;(2)下炉膛腹部烟气温度高达 $1\ 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,卫燃带表面温度会更高,为结焦提供了温床;(3)一次风乏气喷口边沿距离前后墙只有 574 mm ,喷口射流扩散后冲刷前后墙卫燃带;(4)混煤比例不稳定,有时掺烧灰熔点偏低的煤种较多。要消除结焦问题,应在卫燃带布置方式及数量、燃烧器倾角及炉膛结构设计上深入

研究。由于在焦渣脱落时夹杂有较多的卫燃带耐火砖,当卫燃带耐火砖大量脱落后,势必将影响到燃料的燃尽、稳燃、汽温等特性。

4.2 关于燃尽度差的问题

此种“W”火焰燃烧方式,锅炉每组燃烧器呈独立的配风体系,两组燃烧器间隔过大($2\ 400\text{ mm}$),相邻燃烧器组的射流相互不受干扰,炉内几乎为平行流场,气流横向混合性能较差而影响风煤的后期混合,过剩氧量很难参加燃烧。在设计氧量下运行时,飞灰可燃物较高。因此,合理的调整配风,控制氧量高于设计值,且每组燃烧器的风煤配比均衡,才能获得较高的燃尽度。

4.3 关于 NO_x 排放量偏高问题

NO_x 排放量偏高是“W”火焰燃烧方式普遍存在的问题,就该锅炉而言,大致归结有以下诸因素:(1)下炉膛敷设有大量的卫燃带,炉膛温度水平高;(2)为提高燃料的燃尽度,必须加大氧量运行;(3)每组燃烧器的燃烧火焰集中,容易产生局部高温;(4)下炉膛腹部处仅布置有一级三次风,分级燃烧不够。由于上述原因, NO_x 排放水平明显高于具有降低 NO_x 措施的常规煤粉燃烧方式。

综合“W”火焰锅炉燃烧特性,上述所存问题相互矛盾。若要提高其燃料的燃尽度,需要加大过剩空气量,提高炉膛温度,但是过高的炉膛温度和过多的空气量又会造成 NO_x 的增加。就该锅炉而言,根据式(3)测算,即便运行中能够实现低氧燃烧方式,如将预热器出口氧量降低到 3% , NO_x 排放也只能降到 100 mg/m^3 左右,无法达到常规煤粉锅炉的排放标准。因此,应当根据“W”火焰锅炉燃烧特点,采取综合措施降低 NO_x 排放量。解决这一矛盾有以下途径:改进燃烧器布置方式,将集中火炬改为分散燃烧,增加分级燃烧级数,并在下炉膛腹部或在下炉膛出口处增设高速蒸汽射流,达到降低炉膛温度的同时又促使平行烟气流作横向或旋转混合,以利于燃烧过程中过剩空气量的充分利用,从而起到提高燃料的后期燃尽性能和降低 NO_x 的双重作用,可行与否尚待深入研究和探讨。

5 结论

从论述的MBEL“W”火焰锅炉燃烧特性分析看
(下转第 631 页)

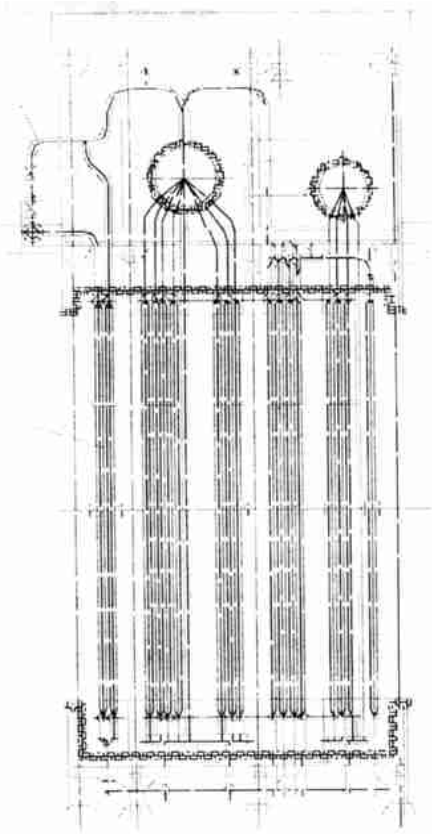


图 4

余热锅炉示意图见图 4。减温管由锅筒至过热器的饱和蒸汽连通管引出, 直径 DN100。过热器受热面管束管子直径 $\Phi 32 \times 3$, 6 排, 共计 273 根, 与烟气两回程叉流流动; 出口混合集箱规格 $\Phi 219$, 过热器集箱与管子材料均为 12Cr1MoV。

采用电动调节阀, 信号接入 DCS。该厂运行人员曾在冬季和夏季做过两次饱和蒸汽减温系统测试, 过热蒸汽温度完全控制在电厂运行人员设定的运行值范围内。一般情况下, 启动过程中控制参数主要根据汽轮机缸壁温度进行设定。汽轮机并网前, 为防止汽轮机上下缸温度不均, 可划分为冷态、温态、热态。汽轮

机并网后, 过热蒸汽温度的设定值按不同状态以不同升速率逼近额定值。汽轮机稳定运行后, 过热蒸汽温度的设定值稳定在额定值。控制时间取决于两路蒸汽流的混合过程, 数值为 3~8 s。该系统操作简便, 控制参数清晰, 减轻了电厂运行人员的运行操作工作强度, 大大降低了运行人员对运行经验的依赖性。余热锅炉从 1998 年 12 月交付电厂运行至今, 饱和蒸汽减温系统未出现任何故障, 得到用户的高度评价。

6 饱和蒸汽减温的技术性能评析

(1) 占地少, 系统简单。便于布置, 一次投资小, 可靠性强, 故障率极低。

(2) 滞后性小, 调节灵敏, 运行可靠。

(3) 对电厂给水水质要求低, 适应性广。

(4) 负荷调节范围大, 适应燃机余热锅炉快速启动、增减负荷的动态要求。缩短整个联合循环系统的启动时间。

(5) 蒸汽阻力小, 锅筒压力低, 蒸发器传热温压高, 蒸汽产量大。

(6) 过热蒸汽品质比采用喷水减温优良, 有利于改善汽轮机叶片腐蚀状况, 提高汽轮机寿命。

综上所述, 燃机余热锅炉饱和蒸汽减温是一种可靠地保证燃机余热锅炉热力稳定性及保证汽轮机安全稳定运行的方法, 是提高整个联合循环系统装置可用性的重要保证措施。

(何静芳 编辑)

(上接第 602 页)

出, “W”火焰锅炉能够燃用挥发份较低的煤种、具有燃烧效率高、煤质波动适应范围宽、燃烧稳定性强等特点。合理的改变燃烧配风比例, 通过优化燃烧可以降低飞灰及炉渣可燃物含量, 提高燃烧效率, 是燃烧调整的主要手段之一。但“W”火焰与四角燃烧方式相比, 其对风量分配的均衡性要求更高, 对氧量变化的敏感性更强, 炉内的平行流场不利于风煤的充分混合, 难以实现低氧量运行。

由于下炉膛燃烧室温度水平高, 燃烧火焰集中, 运行氧量偏大等是导致 NO_x 及 SO_2 排放水平高于常规煤粉燃烧方式的主要原因。下炉膛卫燃带结焦与炉膛结构设计、卫燃带布置方式、燃烧器结构特性

及混煤比例等因素相关, 借助燃烧调整难以彻底消除结焦问题。测算表明: 仅靠低氧量燃烧, NO_x 排放值降低幅度有限。要解决“W”火焰锅炉的结焦、燃料燃尽、降低 NO_x 排放等的矛盾问题, 应采取综合治理措施。

参考文献:

- [1] 袁 颖, 相大光. 我国 W 火焰双拱锅炉燃烧性能调查研究[J]. 中国电力, 1999, 11: 12-15.
- [2] 阎维平, 高正阳. 300 MW 机组 W 型火焰锅炉燃烧调整试验研究[J]. 动力工程, 1999, 19(1): 21-23.

(辉 编辑)

and transverse speed pulsation of the drag reducing fluid has been conspicuously suppressed. **Key words:** drag-reducing fluid, turbulence structure, surfactant solution, phase Doppler anemometer

220 t/h 电站燃油炉改烧水煤浆炉内传热及排放特性的试验 = **Heat Transfer and Emission Characteristics Tests of a 220 t/h Oil-fired Utility Boiler Retrofitted for Firing Coal-water Slurry** [刊, 汉] / WANG Ling, ZHAO Xiang, CAO Xin-yu, HUANG Zhen-yu, et al (Institute of Thermal Energy Engineering under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 589 ~ 591

Heat transfer performance and pollutant emissions were measured and tested for an oil-fired 220 t/h utility boiler being retrofitted to fire coal-water slurry, a new type of clean fuel as a replacement for oil. Measurements were taken of the temperature field, flame emissivity, superheater tube wall temperature, exhaust gas temperature and composition. These data represent some special features of coal-water slurry combustion and may serve as reference data during the design and retrofitting of a boiler for firing coal-water slurry. **Key words:** coal-water slurry, flame emissivity, pollutant emission, boiler

高硫石油焦燃烧污染物排放特性的试验研究 = **Experimental Investigation on Pollutant Emission Characteristics Resulting from the Burning of Petroleum Coke with a High Sulfur Content** [刊, 汉] / YUAN Gui-cheng, LIU Wu-biao, ZHANG Chun-lin, LIU De-chang (National Key Laboratory of Coal Combustion under the Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 592 ~ 594, 606

On a hot-state test rig a desulfurization test was conducted for the burning of high-sulfur petroleum coke. On this basis discussed was the influence of such factors as combustion temperature, calcium/sulfur ratio and excess oxygen content on SO₂ and NO_x emissions. As a result, a theoretical and practical basis is provided for the industrial application of petroleum coke with a high sulfur content. **Key words:** petroleum coke with a high sulfur content, combustion test, SO₂ emissions, NO_x emissions

无烟煤与贫煤混煤燃烧和 NO_x 排放特性的实验研究 = **Experimental Research on the Burning of Anthracite Mixed with Lean Coal and Its NO_x Emission Characteristics** [刊, 汉] / FANG Li-jun, HUI Shi-en (Institute of Energy and Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049), GAO Zheng-yang, YAN Wei-ping (Department of Power Engineering, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 595 ~ 598

By using a thermobalance and a small-sized pulverized-coal combustion test rig an experimental study was conducted for a multitude of test items. The latter include the combustion characteristics of anthracite, lean coal and the blends of the above two coals in three different proportions, NO_x generation mechanism at different combustion-air supply rates, and burn-out characteristics. Through the processing and analysis of the test data it is concluded that there exists some difference in combustion performance between the anthracite and lean coal with the performance of the blends of these two coals exhibiting intermediate characteristics. A proper selection of excess air factor can lead to a high-efficiency combustion of anthracite and lean coal blended in different ratios and to low NO_x emissions. With respect to coals being blended in three different ratios a suitable range of excess-air factor values is proposed to attain a high-efficiency combustion and low pollutant emissions. This may serve as a guide for the cost-effective and clean operation of power plants firing the above coal blends. **Key words:** burning of anthracite mixed with lean coal, combustion characteristics, NO emissions, burn-out characteristics

1025 t/h“W”火焰锅炉燃烧特性试验研究 = **Experimental Study of the Combustion Characteristics of a 1025 t/h**

“W” Flame Boiler [刊, 汉] / MIAO Chang-xin, LIU Zhi-chao (Shandong Electric Power Research Institute, Jinan, China, Post Code: 250002) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 599 ~ 602, 631
Presented are the design features and combustion characteristics of a W-flame boiler designed and manufactured by British MBEL Co. and installed at Heze Power Plant. In connection with the commissioning test results expounded and analyzed are the air distribution of burners, the characteristics of fuel burn-out and NO_x and SO₂ emissions. In addition, there existed a whole range of problems, such as the poor mixing of combustion-air distribution in a parallel-flow field at a later stage, the slag formation on a lower furnace refractory-belt, and the excessive amount of NO_x emissions. To deal with these problems, the authors have made some preliminary recommendations to alleviate them. **Key words:** W-flame boiler, design features, combustion characteristics, proposals for improvement

内置过滤元件流化床的最小流化速度= Minimum Fluidizing Speed of a Fluidized Bed with Built-in Filtration Elements [刊, 汉] / ZHANG Shi-hong, LIU De-chang, ZHENG Chu-guang (National Key Laboratory of Coal Combustion under the Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 603 ~ 606

With a novel fluidized-bed granular filter (FBGF) serving as an object of application an experimental investigation was conducted of the minimum fluidizing speed of a fluidized bed with built-in filtration elements. It has been discovered by the investigation that the greater the effective area of immersed material layer of the filtration element, the greater the minimum fluidizing speed. In this regard a dimensionless magnitude has been defined as the ratio between the following two items: the effective surface area of a filtration element immersed in the bed material, and the fluidized bed cross-section area. And, by means of regression obtained was an empirical expression of the minimum fluidizing speed of a fluidized bed with built-in filtration elements. This has laid a solid basis for the further study of a fluidized-bed granular filter. **Key words:** minimum fluidizing speed, fluidized bed with built-in filtration elements, granular filter

连续转子轴承系统的非线性动力学行为研究= Research on the Nonlinear Dynamic Behavior of a Continuous Rotor-bearing System [刊, 汉] / JING Jian-ping, SUN Yi, XIA Song-bo (School of Energy Science & Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), LI Jian-zhao (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 607 ~ 610

By using a finite element method a nonlinear continuous rotor-bearing system model has been set up for a rotor-bearing system. With the use of respectively a direct integration method and modality synthesis method the rotor nonlinear dynamic behavior under unbalanced conditions was analyzed. The results of comparison of the above two methods indicate that the direct integration method is more effective for solving nonlinear vibration problems. The rotor-bearing system was analyzed by using a simple discrete method. The results of the analysis are quite different from those obtained under the finite-element analysis method. The results of the latter method show that the dynamic response of a rotor-bearing system is of a typical oil-whip process with its nonlinear dynamic-motion behavior being of a Hopf bifurcation form. **Key words:** continuous rotor system, nonlinearity, finite element, oil whip

多股流板翅式换热器温度交叉的数值分析= Numerical Analysis of the Temperature Crossover of a Multi-stream Plate-fin Heat Exchanger [刊, 汉] / LU Hong-bo, CUI Guo-min, LI Mei-ling (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the Shanghai University of Science & Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 611 ~ 613

With a parallel multi-stream plate-fin heat exchanger serving as a target of study the authors have presented an energy equation for both the fluid and fins of the said heat exchanger, taking into account the bypass effect of the fins. A numerical solution is conducted of the energy equation under the conditions of changing the fluid parameters and flow modes of