

循环流化床外置换热器冷态实验研究

牟晓哲, 宋国良, 孙运凯, 吕清刚
(中国科学院工程热物理研究所 北京 100190)

摘 要: 在一种带新型滑板式灰控阀的外置换热器冷态实验台上, 结合电容层析成像(ECT)颗粒浓度最新测量技术, 对灰控阀的分流调节特性及外置换热器内的物料流动特性进行了冷态实验研究, 实验结果表明: 埋管床风量从 320 m³/h 上升至 480 m³/h 时, 埋管床侧平均压降下降 0.16 kPa, 导管处截面颗粒平均浓度增加 1.03 倍, 促进了埋管床物料向提升管内的输送; 空床风量从 70 m³/h 上升至 140 m³/h 时, 空床平均压降下降 0.83 kPa, 埋管床侧平均压降增加 0.13 kPa, 返料管截面颗粒平均浓度降低 3.8%, 促进了空床内物料向埋管床内的输送; 滑板阀开度从 10% 增加到 40% 时, 外置换热器床内平均压降升高 0.32 kPa, 促进了物料向外置换热器的分流。

关 键 词: 外置换热器; 滑板式灰控阀; 调节特性; 流动特性

中图分类号: TK223.1 文献标识码: A

引 言

随着循环流化床锅炉容量的增大, 造成燃烧室内布置受热面困难, 同时存在受热面磨损严重等问题。目前, 国内外循环流化床锅炉多采用在物料循环回路中布置外置换热器(EHE)的方法来解决大型化后带来的受热面布置问题^[1~2]。

外置换热器灰调节方式主要有机械式和气动式两种。机械式以 Lurgi 型循环流化床锅炉的锥形阀为代表, 目前我国引进型 300MW 循环流化床锅炉外置换热器上得到了应用^[3~5], 日本三井造船株式会社在其开发的 MSFB(多种燃料流化床)锅炉的外置换热器中采用了另一种机械阀——滑板式闸阀^[6]; 气动式以西安热工研究院开发的外置换热器为代表^[7]。

已有的外置换热器研究中, 缺乏关于外置换热器流化风对床内物料输送影响的报道, 国内多家研究机构提出了气动式的外置换热器灰调节方法, 但都存在各股流化风对物料调节的机理不明确等问

题, 这对外置换热器的稳定运行是十分不利的。因此, 加强外置换热器理论研究, 自主研发运行安全可靠、灰调节简单可行的外置换热器, 将有利于我国大型循环流化床锅炉技术的发展。

设计了一种带滑板式灰控阀的外置换热器结构, 在冷态实验中采用电容层析成像(ECT)技术并结合压力测量, 研究了不同运行参数下, 滑板式灰控阀的物料分流特性和外置换热器内物料的流动与分布情况, 以掌握外置换热器优化运行的调节特性与运行规律。

1 实验研究

1.1 实验系统

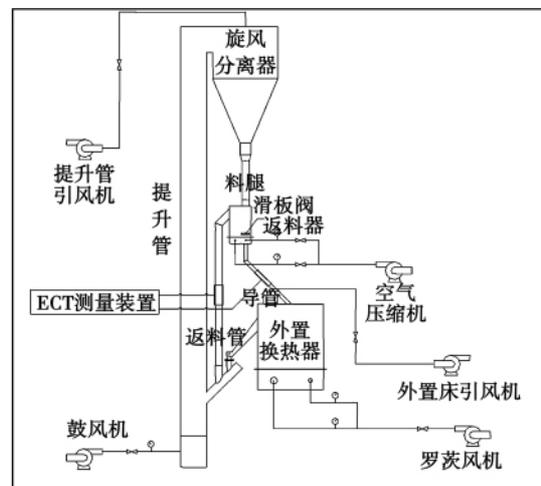


图 1 带外置换热器的 CFB400 实验台系统图
Fig. 1 Diagram of a CFB 400 test rig system with a heat exchanger being externally installed

图 1 为带外置换热器的 CFB400 循环流化床实验系统示意图, 实验系统由提升管、旋风分离器、返料器、外置换热器、滑板阀和返料器返料管等组成,

收稿日期: 2012 - 01 - 13; 修订日期: 2012 - 03 - 12

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向基金资助项目(KGCX2 - YX - 399 + 3)

作者简介: 牟晓哲(1987 -), 男, 山东烟台人, 中科院工程热物理研究所硕士研究生。

其中外置换热器导管和返料器返料管处加装了 ECT 测量传感器, 用于测量外置换热器物料分流量和返料器返料量, 如图 2 所示。提升管内径 400 mm、高 6 000 mm。



图 2 ECT 传感器安装位置图

Fig. 2 Installation location drawing of an ECT probe

返料器横截面尺寸为 310 mm × 150 mm, 高为 460 mm, 流化风由空气压缩机提供, 返料器结构如图 3 所示。返料器的结构特点为: 在位于返料器下降段的布风板上开有一个孔口, 一根垂直于布风板的管道(简称孔口管)穿过松动风风室到达返料器外部, 用于物料的分流。孔口管内径为 40 mm, 伸出布风板上表面 50 mm, 以保证滑板的滑动不受风帽的影响。滑板阀由孔口管、阀板、阀杆构成。阀板两侧由一对燕尾槽限制, 以保证阀板下平面紧贴孔口管。在实验过程中, 通过手动调节阀板位置以控制孔口开度, 从而调节物料的分流量。

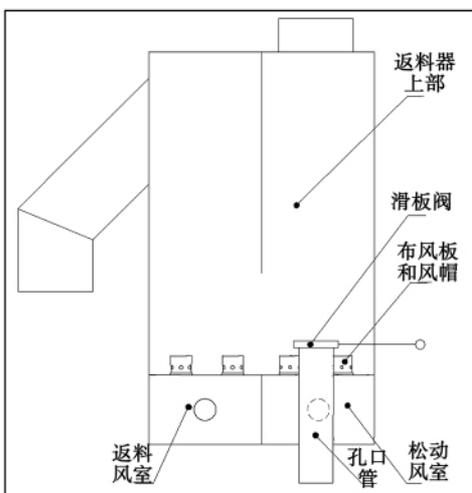


图 3 返料器与滑板阀一体化结构示意图

Fig. 3 Schematic drawing of the integrated structure of a material return device and a sliding plate valve

外置换热器有效尺寸为长 1 100 mm, 宽 1 000 mm, 高 900 mm。由隔板将床体分为空床与埋管床两部分, 其中空床的跨度为 200 mm, 设置空床有利于改善外置换热器内的物料掺混。埋管床跨度 900 mm, 其中布置埋管, 以模拟外置换热器中的受热面管路。外置换热器的结构如图 4(a) 所示, 经由孔口管分流的物料由导管引入外置换热器空床, 在流化风的作用下, 越过隔板进入埋管床, 最后经回料口返回提升管。外置换热器主体框架为普通碳钢结构, 前后板为有机玻璃, 便于观察外置换热器内物料的流动情况。外置换热器测点布置如图 4(b) 所示, 在外置换热器空床处、埋管床靠近隔板处与埋管床返料侧处设置了三对压力信号测点 (ΔP_{23} 、 ΔP_{45} 和 ΔP_{78}), 用于实验数据的采集。此外, 外置换热器上还设置了其它压力测点, 以反映实验台的运行情况。

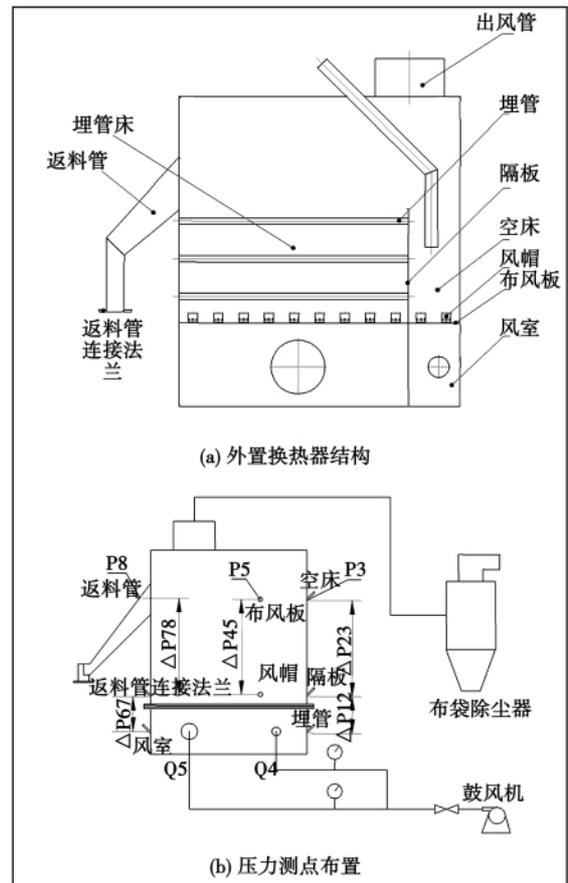


图 4 外置换热器结构与压力测点布置示意图

Fig. 4 Schematic drawing of the externally mounted heat exchanger structure and pressure measurement point arrangement

1.2 实验物料

实验用的物料为河砂, 料径分布如图 5 所示, 粒

径范围为 0 ~ 500 μm ,中位粒径为 270 μm ,真实密度为 2 620 kg/m³ ,堆积密度为 1 635 kg/m³ ,经实验测量 ,实验物料的临界流化风速为 0.088 m/s。

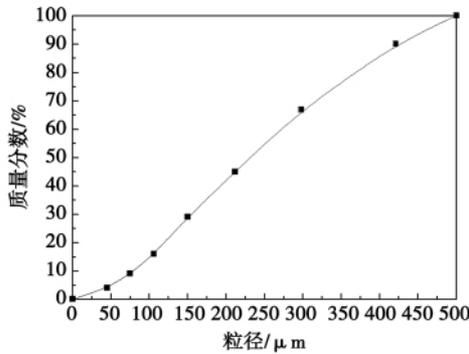


图 5 实验用河砂的粒径分布

Fig. 5 Particle diameter distribution of sand for use in the test

1.3 电容层析成像测量原理

电容层析成像 (Electrical Capacitance Tomography, ECT) 是一种比较成熟的工业成像方法 ,测量方法是非侵入式的^[8] ,能够实时提供横截面内介电常数的分布 ,响应速度快 ,具有不干扰流场、不受流动中颗粒浓度、加速度和管道不透明等因素制约的诸多优点。由于实验台在空间和结构的特殊性 ,传统的物料浓度测量方法不能适用 ,而 ECT 方法的诸多优点 ,使它不受空间和管道倾斜的制约 ,完成实验测量。因此 ,采用 ECT 方法 ,用于测量管道的物料浓度。

1.4 实验工况

实验工况组 1: 一次风量为 2 050 m³/h ,滑板阀开度为 20% ,外置换热器流化风对外置换热器物料分流与输送的影响 ,如表 1 所示。

实验工况组 2: 一次风量为 2 050 m³/h ,外置换热器空床风量为 140 m³/h、埋管床风量为 480 m³/h ,研究滑板阀开度对外置换热器物料分流与输送的影响如表 2 所示。

1.5 实验方法

两组实验工况分别用于研究外置换热器两床的流化风(工况组 1 表 1)和滑板阀开度(工况组 2 表 2)对床内物料流动及其外置换热器物料分流的影响。外置换热器床内物料的流动情况通过各工况下采集到的压力信号反映 ,外置换热器的物料分流状况通过 ECT 测量方法 ,采集进入外置换热器和直接进入提升管的两条物料通道中的物料浓度来反映。

表 1 工况组 1 的实验工况

Tab. 1 Test operating conditions in the operating condition group 1

工况编号	空床风量/m ³ ·h ⁻¹	埋管床风量/m ³ ·h ⁻¹
1 号	70	320
2 号	70	400
3 号	70	480
4 号	105	320
5 号	105	400
6 号	105	480
7 号	140	320
8 号	140	400
9 号	140	480

表 2 工况组 2 的实验工况

Tab. 2 Working condition 2

工况编号	滑板阀开度/%
10 号	10
11 号	20
12 号	30
13 号	40

实验中 ,首先调节一次风量、返料风和松动风 ,建立提升管的循环回路 ,待回路建立后 ,调节外置换热器的两股流化风并同时开启滑板阀 ,建立外置换热器与提升管循环回路的物料交换 ,此后 ,按照既定工况的要求 ,调节埋管床风量、空床风量和滑板阀开度。实验参数达到工况要求运行 20 min 后 ,认为系统达到稳定工况 ,开始进行实验参数的测量和采集。

实验中需要测量的参数是空床压降 ΔP₂₃、隔板处压降 ΔP₄₅和埋管床压降 ΔP₇₈ ,以及运用 ECT 测量方法所得到的电容信号。在每个稳定工况下测量压降 10 min ,稳定时间段内的测量平均值作为该工况下的实验数据;同时 ECT 测量装置连续采样 10 000 幅(约 5 min) ,且同时采集两个测量通道 ,以便更好的反应各工况下物料分流的实时状态。通过数据处理 ,将采集到的原始电容信号转化为物料输送管道的截面颗粒浓度。

2 实验结果及分析

2.1 流化风对外置换热器物料分流的影响

在工况组 1 中的 9 个工况下 ,分别采集 ECT 数据 ,处理实验数据后所得到的管道颗粒平均浓度 β (β 的含义是 ,ECT 管道测量段物料颗粒体积占对

应管道段体积的份额) 随外置换热器流化风量的变化关系如图 6 和图 7 所示。

由图 6 与图 7 可知, 在保持提升管流化风量与滑板阀开度一定的情况下, 外置换热器埋管床风量的上升可使外置换热器物料分流量和返料器返料量均有明显上升, 实验台的系统循环量增加; 外置换热器空床风量增加对外置换热器的物料分流有促进作用。

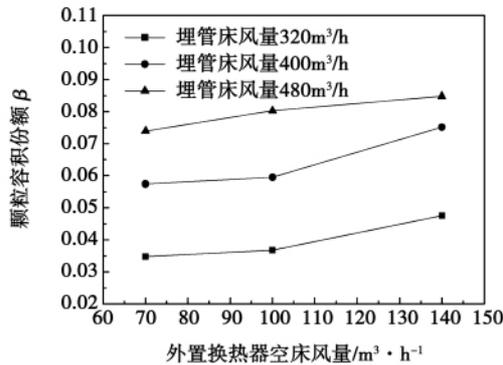


图 6 不同流化风量下导管处截面颗粒平均浓度(工况组 1)

Fig. 6 Particle average concentrations(operating condition group 1) in a section at the guide pipe under various fluidized air quantities

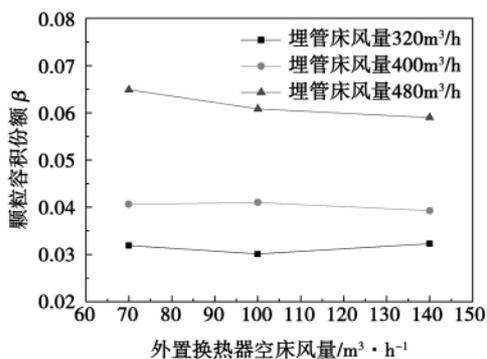


图 7 不同流化风量下返料管截面颗粒平均浓度(工况组 1)

Fig. 7 Particle average concentrations(operating condition group 1) in a section at the material return pipe under various fluidized air quantities

空床风量上升, 使更多的空床物料进入埋管床, 空床物料量减小, 导管内物料进入空床所遇到的阻力也相应减小, 从而使得物料分流量升高。埋管床风量上升使得更多的物料进入提升管, 使得系统循

环量增加, 而滑板阀开度一定, 对物料的分配影响不大, 因此两条输送通道中的物料量均上升。

2.2 滑板阀开度对外置换热器物料分流影响

在工况组 2 中的 4 个工况下, 分别采集 ECT 数据, 两管道截面颗粒浓度随外置换热器流化风量的变化关系如图 8 所示。

实验结果表明, 随着滑板阀开度的增加, 外置换热器分流量明显上升, 相应地, 由返料器直接返回提升管的物料流量明显下降。

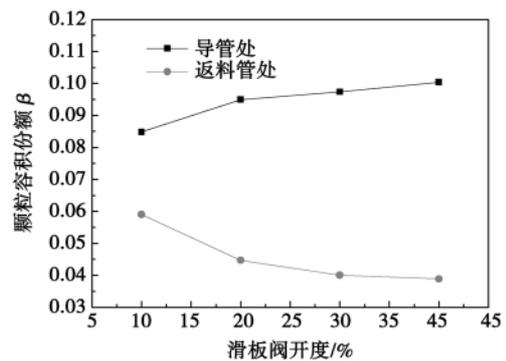


图 8 物料分流与外置换热器流化风量的关系(工况组 2)

Fig. 8 Relationship between the material split flow rates and fluidized air quantities of the externally mounted heat exchanger(operating condition group 2)

滑板阀开度增加, 使分流通道的孔口面积增大, 更多的物料通过导管分流至外置换热器; 由于仅改变了滑板阀的开度, 系统循环量不变, 因此返料器直接返料量减少。

2.3 外置换热器流化风对床内压降的影响

图 9 与图 10 给出了工况组 1 下, 空床压降 ΔP_{23} 和隔板处压降 ΔP_{45} 的变化曲线。

空床压降 ΔP_{23} 随着空床风量的上升呈明显的递减趋势, 随着埋管床风量的上升呈递增趋势, 如图 9 所示; 隔板处压降 ΔP_{45} 随着空床风量的上升呈递增趋势, 随着埋管床风量的上升呈下降趋势, 如图 10 所示。

实验工况中, 空床表观风速均超过物料的临界流化风速, 料层压降反映了床内的物料量。当空床风量增加时, 空床进入埋管床的物料量增加, 埋管床返回提升管的物料流量略有升高, 系统逐渐达到新的平衡。空床风量上升的最终结果是: 使得空床内的物料量减少而埋管床内的物料量增加, 即相应的空床压降 ΔP_{23} 下降, 隔板处压降 ΔP_{45} 升高。

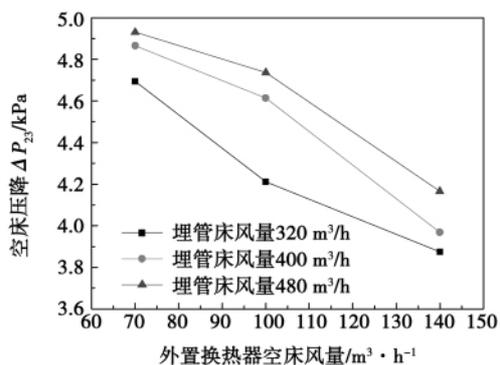


图 9 空床压降与外置换热器空床风量的关系
Fig. 9 Relationship between the pressure drop when the bed is empty and the fluidized air quantities of the externally mounted heat exchanger

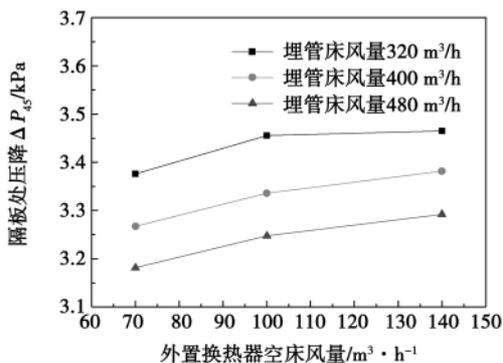


图 10 隔板处压降与外置换热器空床风量的关系
Fig. 10 Relationship between the pressure drop at the partition plate and the fluidized air quantities of the externally mounted heat exchanger

当埋管床风量增加时,由埋管床返回提升管的物料量增加,系统的循环量相应增加,在一定滑板阀开度下,造成了物料分流量的增加。在空床风量一定的情况下,当埋管床风量上升时,埋管床风压的增加抑制了由空床进入埋管床的物料量,故更多的物料由导管进入空床使得空床料层高度升高。埋管床风量上升的最终结果是:空床内的物料量增加而埋管床内的物料量减少,即相应的空床压降 ΔP_{23} 上升,隔板处压降 ΔP_{45} 下降。

图 11 给出了工况组 1 埋管床压降 ΔP_{78} 的变化曲线。外置换热器流化风对 ΔP_{78} 和 ΔP_{45} 的作用是一致的,这是由于两组压力测点均置于外置换热器埋管床侧,因此流化风的作用效果相同。

2.4 滑板阀开度对床内压降的影响

图 12 给出了工况组 2 的 4 个工况下,外置换

热器内 3 处压降的变化曲线。由图 12 可知,随着滑板阀开度的增加,各处压降均有上升的趋势。在工况组 2 的外置换热器流化风较大,因此外置换热器的返料能力较强,滑板阀开度增加,分流至外置换热器的物料量增加,但没有达到外置换热器的最大返料能力,不会影响床内物料输送。因此,滑板阀开度增加的最终结果是,外置换热器内的料层高度增加,即 ΔP_{23} 、 ΔP_{45} 和 ΔP_{78} 均上升。

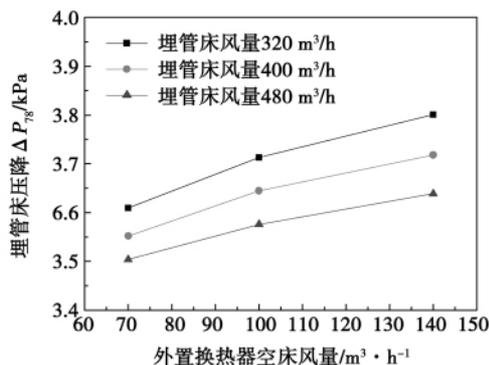


图 11 埋管床压降与外置换热器空床风量的关系
Fig. 11 Relationship between the pressure drop of the tube-embedded bed and the fluidized air quantities of the externally mounted heat exchanger

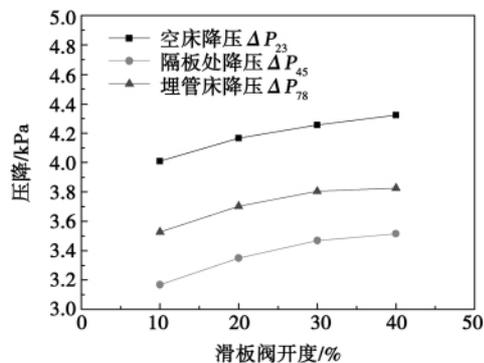


图 12 外置换热器内压降与滑板阀开度的关系
Fig. 12 Relationship between the pressure drop inside the externally mounted heat exchanger and the opening degree of the sliding plate valve

上述实验中,相同工况下外置换热器各处的压降存在如下关系: $\Delta P_{23} > \Delta P_{78} > \Delta P_{45}$,分析原因如下:隔板处压降 ΔP_{45} 所在位置虽然也位于埋管床,但受隔板及来自空床的物料堆积的影响,隔板处的物料流化不如埋管床其它部位剧烈,因此隔板处压降 ΔP_{45} 略低于埋管床压降 ΔP_{78} ;外置换热器中的物料由空床输运至埋管床,由于埋管床床面较大,即使

在小的埋管床风量下,埋管床回送的物料量也很大,空床床面较小,为达到物料运输的平衡,料层高度必然高于埋管床,因此空床压降 ΔP_{23} 高于埋管床压降 ΔP_{78} 。

3 结 论

(1) 外置换热器埋管床风量的上升可使实验台的系统循环量增加,外置换热器物料分流量和返料器返料量均有明显上升;外置换热器空床风量增加对外置换热器的物料分流有一定的促进作用;

(2) 外置换热器流化风量对床内压力影响明显,其中埋管床风量升高可以促进埋管床物料向提升管内输送,间接促进空床内物料的堆积,当埋管床风量从 $320 \text{ m}^3/\text{h}$ 上升至 $480 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,埋管床侧平均压降下降 0.16 kPa ,空床压降有所升高,导管处截面颗粒平均浓度增加 1.03 倍;空床风量升高可以促进空床内物料向埋管床内输送,当空床风量从 $70 \text{ m}^3/\text{h}$ 上升至 $140 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,空床平均压降下降 0.83 kPa ,埋管床侧平均压降增加 0.13 kPa ,返料管截面颗粒平均浓度降低 3.8% ;

(3) 随着滑板阀开度的增加,外置换热器物料分流量增加,床内各压降呈单调递增趋势。当滑板阀开度从 10% 增加到 40% 时,外置换热器床内平均压降升高 0.32 kPa 。

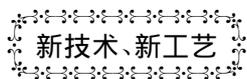
参考文献:

[1] Wu Y, Lu J, Zhang J, et al. Conceptual design of an 800 MW supercritical pressure circulating fluidized bed boiler and its performance prediction [C]//Proceedings of the 8th CFB International

Academic Publishers, Hangzhou, 2005.

- [2] 周一工. 循环流化床外置换热器研究[J]. 热电技术, 2003, 87(6): 8-13.
ZHOU Yi-gong. Study of a CFB externally mounted heat exchanger [J]. Thermoelectric Technology, 2003, 87(6): 8-13.
- [3] 董志乾. 300 MW CFB 锅炉外置换热器特性分析[J]. 中国电力, 2008, 41(01): 63-67.
DONG Zhi-qian. Analysis of the characteristics of an externally mounted heat exchanger for a 300 MW CFB boiler [J]. China Electric Power, 2008, 41(01): 63-67.
- [4] 蒋茂庆. 我国首台引进的300 MW 循环流化床锅炉及其关键技术[J]. 热力发电, 2004(09): 1-3.
JIANG Mao-qing. China first introduced 300 MW circulating fluidized bed boiler and its key technologies [J]. Thermal Power Generation, 2004(09): 1-3.
- [5] 杨磊. 循环流化床外置换热器结构与布置特性的探讨[J]. 电站系统工程, 2007, 23(06): 1-4.
YANG Lei. Exploratory study of the structure of a CFB externally mounted heat exchanger and its arrangement characteristics [J]. Power Plant System Engineering, 2007, 23(06): 1-4.
- [6] 牛天况. 300 t/h 燃煤、油和气的三井循环沸腾床锅炉的经验. 锅炉技术, 1994(5): 1-10.
NIU Tian-kuang. Experience of a 300 t/h coal, oil and gas-fired MES circulating fluidized bed boiler [J]. Boiler Technology, 1994(5): 1-10.
- [7] 孙献斌. 循环流化床锅炉紧凑式分流回灰换热器冷态试验研究[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2009, 5(01): 24-26.
SUN Xian-bin. Cold-state experimental study of the compact type split flow and ash return heat exchanger for a CFB boiler [J]. Journal of Shenyang Engineering College (natural science edition), 2009, 5(01): 24-26.
- [8] Wang H G, Yang W Q, Senior P, et al. Investigation of batch fluidized bed drying by mathematical modelling, CFD simulation and ECT measurement [J]. AIChE J, 2008, 54: 427-444.

(陈滨 编辑)



新技术、新工艺

汽轮机汽耗量的确定

据《Электрические станции》2012年2月刊报导,汽轮机新蒸汽流量测量的误差是影响确定其热耗率精度的一个最重要因素。

提供了汽轮机汽耗量计算的方法,该数值仅取决于发电机的功率以及在汽轮机和回热系统内载热体(蒸汽、给水、凝水)的参数。

为了实现这种方法,除了规定的汽轮机试验国家标准外,不需要进行任何补充测量。

必须确定汽轮机的热耗率时,在任何情况下都可以应用上述方法。

验收试验时,可以利用该方法对每个试验工况计算耗量并与其测量值比较。

(吉桂明 摘译)

bility analytic programme presented was a combined cycle unit model applicable for the stability analysis of an electric power system on the basis of an analysis of the mathematical model for conventional combined cycle units. The authors have applied the genetic algorithm in the model parameter discrimination process and developed a software for discriminating a model for combined cycle units based on Delphi platform. The application cases show that the simulation results by using the model are in agreement with the actually measured signals, proving that the model under discussion and the discrimination algorithm are effective, thus laying a foundation for subsequent primary frequency modulation and dynamic characteristics analysis of a combined cycle unit. **Key words:** combined cycle unit, genetic algorithm, parameter discrimination, Delphi

圆柱管排流体诱导振动及换热特性数值分析 = **Numerical Analysis of the Cylindrical Tube Bank Fluid-induced Vibration and Heat Exchange Characteristics** [刊, 汉] / SU Yan-cai, GE Pei-qi, YAN Ke (Education Ministry Key Laboratory on High Efficiency and Clean Manufacturing, College of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012, 27 (5) . - 554 ~ 559

Based on the Workbench and CFX simulation technology, numerically analyzed were the fluid-induced lined and staggered cylindrical tube vibration at various intervals and heat exchange characteristics. The research results show that within the range of the study, the fluid induces the lined cylindrical tube vibration and there exists a critical value of the cylindrical tube interval $L_1 = 3.5 d$. When the interval is less than L_1 , the downstream cylindrical tube vibration amplitude and frequency will decrease with a decrease of the interval. When the interval is bigger than L_1 , the downstream cylindrical tube vibration frequency will no longer change with an increase of the interval. When the downstream cylindrical tube is located in the tail portion of the wake vortex caused by the upstream cylindrical tube, the vibration amplitude is relatively small and the area-averaged heat exchange effectiveness is relatively good. Under a same operating condition and at an identical interval, the fluid-induced downstream lined cylindrical tube vibration amplitude and frequency are bigger than the staggered cylindrical tube vibration amplitude and frequency. In a certain range of the interval, the heat exchange effectiveness of the fluid-induced downstream lined cylindrical tubes is superior to that of the staggered ones. **Key words:** cylindrical tubes in a line arrangement, cylindrical tubes in a staggered arrangement, vortex-excited vibration, vibration-based heat exchange

循环流化床外置换热器冷态实验研究 = **Cold-state Experimental Study of a CFB (Circulating Fluidized Bed) Externally-installed Heat Exchanger** [刊, 汉] / MU Xiao-zhe, SONG Guo-liang, SUN Yun-kai, LU Qing-

gang (Engineering Thermophysics Research Institute ,Chinese Academy of Sciences ,Beijing ,China ,Post Code: 100190) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(5) . - 560 ~ 565

On an externally installed heat exchanger cold-state test stand provided with a new type sliding plate ash control valve in combination with the latest electrical capacitance tomography(ECT) particle concentration measurement technology ,experimentally studied in the cold state were the split-flow regulating characteristics of the ash control valve and the material flow characteristics of the externally installed heat exchanger. The test results show that when the air quantity of the embedded tube bed increases from $320 \text{ m}^3/\text{h}$ to $480 \text{ m}^3/\text{h}$,the average pressure drop in the side of the embedded tube bed will decrease by 0.16 kPa and the average particle concentration in a section at the guide tube will increase by 1.03 times ,promoting the transmission of the material in the embedded tube bed to the riser. When the air quantity of the empty bed increase from $70 \text{ m}^3/\text{h}$ to $140 \text{ m}^3/\text{h}$,the average pressure drop of the empty bed will lower by 0.83 kPa ,that in the side of the embedded tube bed will increase by 0.13 kPa and the average particle concentration in a section of the material return tube will decrease by 3.8% ,accelerating the transmission of the material in the empty bed to the embedded tube bed. When the opening degree of the sliding plate valve increases from 10% to 40% ,the average pressure drop of the externally installed heat exchanger will be up by 0.32 kPa ,facilitating the the flow division of the material into the externally installed heat exchanger. **Key words:** externally installed heat exchanger ,sliding plate ash control valve ,regulating characteristics ,flow characteristics

惯性粒子分离器流道型线分析与改进 = **Analysis and Improvement of the Profile of an Inertia Particle Separator** [刊 ,汉]/GAO Bing-bing ,WANG Tong ,FU Yao ,GU Chuan-gang (Education Ministry Key Laboratory on Power Machinery and Engineering ,Shanghai Jiaotong University ,Shanghai ,China ,Post Code: 200240) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(5) . - 566 ~ 571

To facilitate an analysis and improvement of the performance of an inertia particle separator at the inlet of a helicopter ,on the basis of a self-developed parameterization modeling software for separators ,chosen were seven important parameters for controlling the sectional area at the outlet of the main flow passage of a separator and eliminate the sectional area of the passage outlet etc. With the prototype of the currently available separators serving as the reference specimen ,a meticulous numerical analysis and comparison were conducted of the performance of the separator under various geometric parameters. On the basis of a comparison of the particle separation efficiencies and total pressure losses obtained by using the calculation model ,presented were two improved models. Compared with the prototype model ,the improved models can lead to a very big enhancement of the separation efficiency for large-sized particles ,i. e. increasing from the original 20% to over 95% while the total pressure loss increases by only about