

PFBC 气控 L 阀排渣机构的运行特性

荣德刚 沈湘林 章名耀

(东南大学热能工程研究所)

〔摘要〕增压流化床(PFBC)燃气蒸汽联合循环发电是高效、低污染的新型燃煤发电方式。本文以我国 PFBC-CC 中试电站的连续排渣方案为背景,探讨了系统压力、L 阀出入口差压、连续与脉冲供给松动风及水平管管径对气控 L 阀排渣机构运行性能的影响。

关键词 增压流化床锅炉 排渣机构 气动控制

分类号 TK229.64

0 前言

增压流化床(PFBC)燃气蒸汽联合循环发电是高效、低污染的新型燃煤发电方式。作为 PFBC 关键技术之一的炉渣连续排放技术,普遍被各国研究人员所重视。

气控 L 阀以其结构简单、无转动部件而在加压、高温、带有固体物料的 PFBC 排渣系统中得到应用。通过调节 L 阀松动风量可实现对炉渣排放速率的控制,从而保证 PFBC 锅炉正常运行。

试验装置如图 1,试验台主要包括加料斗、受料斗、高 3 米的下料立管及气控 L 阀(见图 2),另外还包括料斗的充、放压管路。系统在 $1 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5$ Pa 压力范围内运行;其重要的差压信号如:加料斗与受料斗之间的差压、下料立管及 L 阀的局部差压等,经差压变送器传送至多笔记录仪记录;L 阀松动风流量由浮子流量计测定;物料流量则通过计时称重获取。

试验用物料的有关参数见表 1。

表 1 试验用物料的有关参数

名称	堆积密度	颗粒密度	平均粒径	粒度范围	自然堆积角
PFBC 炉渣	1.34g/cm ³	2.46g/cm ³	1.12mm	0~6mm	36°

1 加压环境对 L 阀供料规律的影响

尽管人们对 L 阀的研究已颇为深入,但有关系统压力变化对 L 阀供料规律影响情况的报道却很少。为此,我们将系统压力分别维持在 1×10^5 、 2.25×10^5 、 4×10^5 及 6×10^5 Pa 四种不同状态进行了试验。

如图 3,内径 $\Phi 50$ mm 的 L 阀在连续供气条件下,其供料特性曲线 G_s (L 阀松动风流量) - G_s (物料流量) 受系统压力变化的影响显著。图中,每一条曲线对应于不同的压力状

收稿日期 1994-01-22 收修改稿 1994-03-30

本文联系人 荣德刚 男 29 讲师 210096 南京

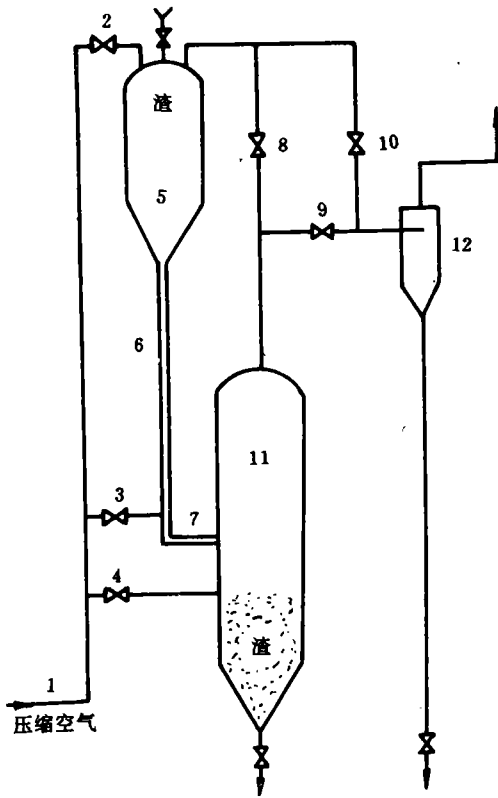


图 1 PFBC 排渣系统冷态试验装置

- 1. 气源 2. 加料斗充压风管路 3. L 阀松动风管路
- 4. 受料斗充压管路 5. 加料斗 6. 下料立管
- 7. L 阀 8. 料斗均压管路 9. 受料斗压力调节阀
- 10. 加料斗压力调节阀 11. 受料斗 12. 除尘器

态。由图可见，随着系统压力的升高，L 阀临界排料（起始排料）所需的松动风量依次增大；即曲线起始点所对应的 G_s 由 $5.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 上升到 $15 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ；同时，L 阀达到最大排料量所需的松动风量也逐渐增大，相应于图中曲线的峰值向 G_s 增大的方向移动；而 L 阀的起始物料流量和最大物料流量在此压力范围内却变化不大。

L 阀临界排料所需的松动风量取决于 L

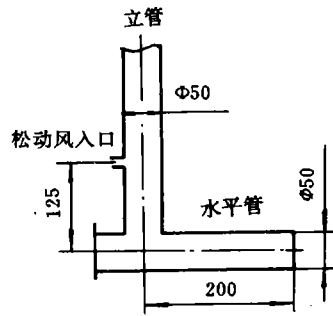


图 2 L 阀结构简图

阀水平管管径物料的临界流化速度。当水平管中气流的速度大于管内物料临界流化速度后，L 阀才有可能开始排料。在加压环境下，虽然物料的临界流化速度有所下降，但由于气体密度增加，使管内气流达到当地临界流化速度所需的气量 (Nm^3/h) 随压力升高而增加。这意味着加压后，L 阀临界排料所需的松动风量将随压力升高而增大。图 3 证实了上述推断。

DGeldart 建议 L 阀的起始物料流量按下式估算：

$$\frac{G_s}{D} = 3352 \frac{U_{ext}}{U_{mf}} - 2965 \quad (1)$$

式中 G_s 为物料通量 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]， D 为管径 (m)， U_{ext} 为以松动风量和水平管截面为基准的表观气速 (m/s)， U_{mf} 为物料的临界流化速度 (m/s)；当 $U_{ext}/U_{mf} = 1$ 时， G_s 即为 L 阀的起始物料通量。式 (1) 显示，气体压力的变化并不影响 L 阀的起始物料流量。尽管本试验中 $G_{s_{min}} = G_s \times 3600 \times D^2 \times \pi/4$ 的预估值为 137 kg/h ，而试验结果 $G_{s_{min}}$ 为 $500 \sim 1000 \text{ kg/h}$ ，两者相差甚远。

L 阀最大物料流量通常用 L 阀上部料斗下注口的重力流来近似表示。由于气体密度远小于物料颗粒的密度，因此，在试验的压力

范围内,通过料斗孔的重力流流量不会有明显变化,L 阀的最大物料流量也基本稳定。

L 阀的最大供料量可由 Carleton 公式给出:

$$g = \frac{4V_s^2 \cdot \sin\beta}{D} + \frac{15\rho^{1/3}\mu^{2/3}V_s^{4/3}}{\rho_p d_p^{5/3}} \quad (2)$$

式中 g 为重力加速度, D 为管径, V_s 为固体物料在管内的表观流速, β 为料斗半锥角, ρ 、 ρ_p 分别为气体及物料的密度, μ 为气体粘度, d_p 为颗粒平均粒径。

利用公式(2) 进行计算,其结果所反应的趋势与试验结果相符。虽然在具体数值上两者最大相差达到了 100%。这种差异可能缘于公式中没有考虑颗粒的某些特性(如形状因子,空隙率等);另一方面也由于实验中存在各种随机的误差。

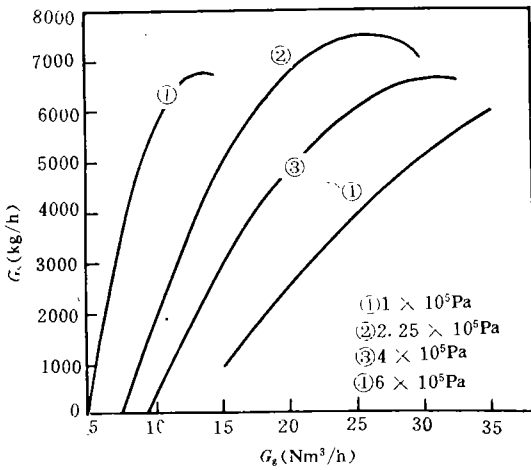


图 3 不同压力下 L 阀松动风量与物料流量的关系

图 4 反映了不同压力下 L 阀松动风量与排料固气比的关系。随着系统压力的升高,排料固气比的峰值渐次下降,显示出加压后 L 阀松动风运行的经济性下降。

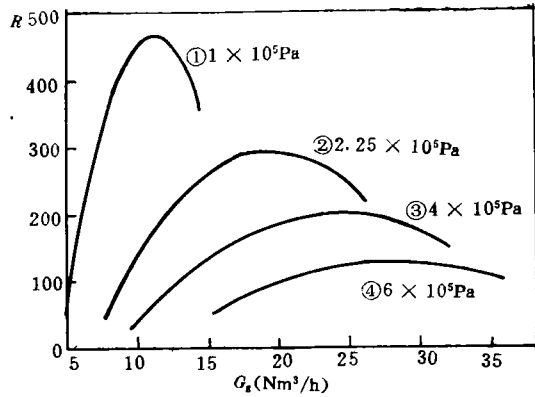


图 4 L 阀松动风量与排料固气比的关系

2 L 阀出入口间的差压对 L 阀供料规律的影响

L 阀出入口间的差压直接关系到 L 阀的稳定性与安全运行。为此,我们在系统压力为 $2.25 \times 10^5 \text{ Pa}$ 附近,对不同差压范围内 L 阀的供料量进行了测量,结果如图 5、6 所示。当差压在 $\pm 2 \times 10^4 \text{ Pa}$ 范围内时,L 阀工作稳定,排料量随正向差压的增大而增大,随反向差压的增大而减小。

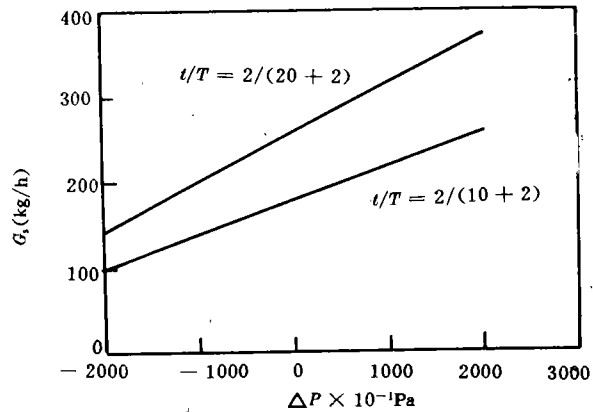


图 5 L 阀排料量与其出入口差压的关系

表 2 $P = 2.25 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时 L 阀稳定运行的极限工况

水平管管径 (mm)	50	40	20	备 注
正向极限(自流) ($\Delta P \times 10^{-1} \text{ Pa}$)	8000	4800	3500	不开松动风
反向极限(气截) ($\Delta P \times 10^{-1} \text{ Pa}$)	- 5000	- 4000	- 3500	连续供给 松动风

L 阀稳定工作的区间;(b) 临界自流状态时,L 阀弯头压降同均压状态下开启 L 阀松动风使物料起始流动时的弯头压降相当;即:无论 L 阀内物料产生的原因是上下差压引起的自流,还是松动风加入后引起的流动,L 阀临界排料时的弯头压降基本不变,见表 3。

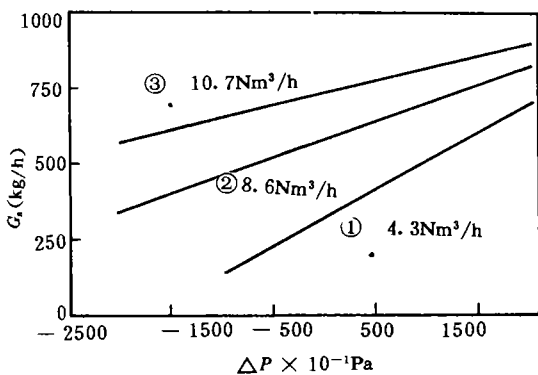


图 6 L 阀排料量与其出入口差压的关系

图 6 表示了水平管管径为 $\Phi 20 \text{ mm}$, 采用连续供给松动风方式, 并且气量不同时, L 阀出入口差压变化对物料流量的影响。由图 6, 松动风流量越小, 排料量对差压变化越敏感, 表现为图中直线 ①、②、③ 的斜率顺序减小。原因是相同的差压产生的渗透气流量相对稳定, 当松动风流量较小时, 渗透流在管内气流总流量中占的份额相对较大, 因此松动风流量越小时, 差压变化对排料量的影响就愈大。

表 2 列出了系统压力(指受料斗压力)维持在 $2.25 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时, L 阀稳定运行的极限工况。所列数据的测定过程都是从 L 阀出入口差压为 0 开始逐步升压(或降压)直至极限情况的。表 2 还显示出水平管径减小将使 L 阀稳定运行的范围缩小。

实验中发现, 自流一旦产生, 要使物料停止流动, L 阀出入口的差压必须小于自流的极限差压值; 而反向气截产生后, 要使物料重新向下流动, L 阀出入口的差压必须大于产生气截时的极限差压。另外, 实验中还发现 (a) 松动风采用脉冲方式供气能有效地拓宽

表 3 L 阀临界排料时的弯头压降

水平管管径(mm)		20		40		
系统压力 ($P \times 10^{-6} \text{ Pa}$)		0.11	0.225	0.11	0.225	0.4
弯头压降 ($\Delta P \times 10^{-1} \text{ Pa}$)	加松 动风	240	240 ~ 360	120	180	300
	自流	240 ~ 270	150 ~ 480	120	180	300

3 松动风连续供气和脉冲供气方式的比较

如前所述, L 阀存在一个起始(临界)排料点, 此时的物料流量称为起始排料量, 对于 $\Phi 50 \text{ mm}$ 的 L 阀, 其值为 $500 \sim 1000 \text{ kg/h}$, 而中试电站提出的设计参数为 500 kg/h ; 可见, 用连续供给松动风方式控制 $\Phi 50 \text{ mm}$ 的 L 阀已无法满足设计要求。通常, 缩小 L 阀水平管管径能使 L 阀的起始排料量下降, 从而拓宽调节范围, 但为了满足排除大颗粒的要求, 这一管径又不能过小。因此, 采用脉冲供气方

式来对 L 阀排料量进行调节就不失为一种变通办法。

如图 7, 对于 $\Phi 50$ mm 的 L 阀, 采用脉冲供气后, 排料量可调范围由 $500 \sim 6\,900$ kg/h, 拓展为 $0 \sim 6\,900$ kg/h, 并且调节手段在原来单一调节的基础上又加入了脉冲间隔和脉冲时间, 调节性能大为改善。现把脉冲时间 / (脉冲间隔 + 脉冲时间) 定义为脉冲系统: t/T 。可见图中曲线 ⑤ ($t/T = 2/22$) 在 $G_s = 0 \sim 500$ kg/h 范围内的调节性能良好。

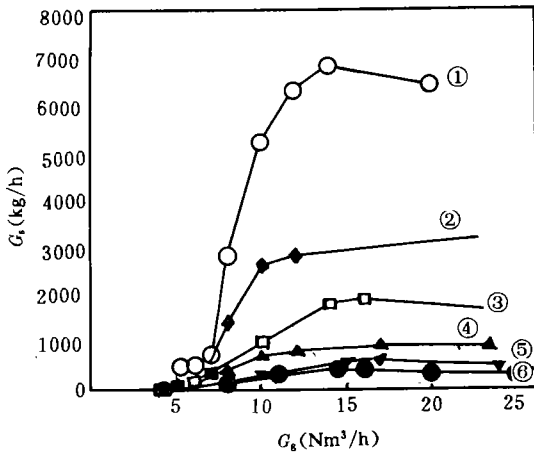


图 7 松动风脉冲系数不同时 L 阀的供料规律

- ① $t/T = 1$ ② $t/T = 2/3$ ③ $t/T = 2/6$
- ④ $t/T = 2/12$ ⑤ $t/T = 2/22$ ⑥ $t/T = 1/22$

图 8 表示水平管径为 $\Phi 50$ mm 的 L 阀, 其排料固气比随脉冲系数的变化关系。图中, 曲线 ①、②、③ 均存在峰值, 当松动风量逐渐增大时, 此峰值逐渐增大并向脉冲系数减小的方向移动, 同时峰值右侧的曲线渐趋平坦。这表明松动风量一定时, 选择恰当的脉冲系数可使松动风的利用率最高; 而当松动风量变化时, 增大风量将使脉冲系数对 L 阀排料固气比的影响逐渐减小。留心图 8 中的曲线 ③, 在 1×10^5 Pa, 松动风量为 $4 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 时,

$\Phi 50$ mm 的 L 阀已能用脉冲供气方式排料, 而采用连续供气时, L 阀排料所需的最小松动风量为 $5 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 这意味着脉冲供气方式可以使松动风的调节范围有所扩展。

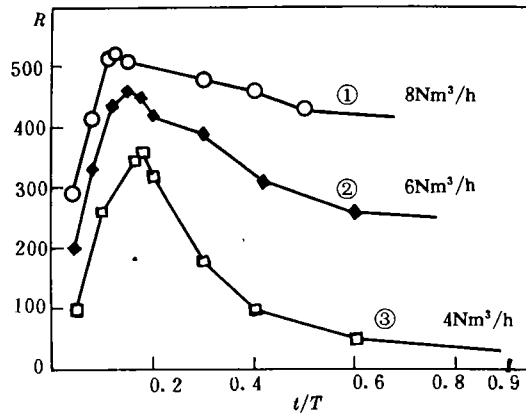


图 8 脉冲系数与排料固气比的关系

4 水平管管径分别为 $\Phi 20$ 、 $\Phi 40$ 与 $\Phi 50$ 时, L 阀供料规律的比较

保持立管直径不变, 在内径 $\Phi 50$ 的水平管内嵌入内径 $\Phi 20$ 或 $\Phi 40$ 的套管进行试验, 发现连续供气时 L 阀的起始排料量随水平管管径的缩小而有所下降: 由 500 kg/h 降至 350 kg/h 和 180 kg/h ; 相应的最小松动风量也有所减小, 由 $5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 降至 $2.3 \text{ Nm}^3/\text{h}$; 最大排料量由 7000 kg/h 降至 3000 kg/h 。脉冲供气情况下, $\Phi 20$ 、 $\Phi 40$ 和 $\Phi 50$ 的 L 阀也均能稳定工作。

值得注意的是水平管管径缩小后, L 阀相对容易发生自流现象(失控)。因为管段的阻力降随管径的减小而增大, 管内气速加大, 自流就易于发生。

图9反映了松动风量相同时,水平管管径较大的L阀具有较大的排料固气比。因为水平管径缩小后,气固混合物经过L阀弯头的阻力增大,引起松动风向上的窜气量增加,故此,排料量相同时水平管小的L阀需要的松动风量就大,其排料固气比就小。

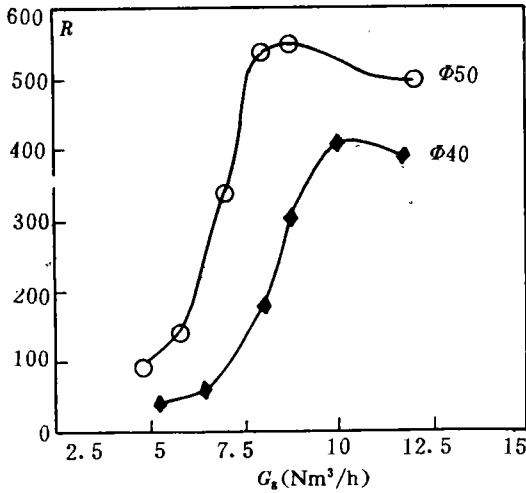


图9 水平管管径的变化对L阀供料规律的影响

5 结论

有关PFBC气控L阀排渣机构运行特性的试验研究表明:

(1)在 $1 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5$ Pa 压力范围内,L阀的起始排料量和最大排料量受系统压力的影响不大;而L阀松动风运作的经济性有所下降。

(2)L阀出入口间的差压在一个较大的范围内不影响L阀稳定排料。

(3)脉冲供气方式将拓宽L阀供料量的可调区间。

(4)水平管管径较小的L阀使采用连续供给松动风方式控制L阀进行小排量工作成为可能。

(5)L阀供料方式的弱点为定量规律欠理想,且相对于机械阀而言容易发生自流。

参 考 文 献

- 1 D. Geldart and P. Jones. The behaviour of L-valves with granular powders. Powder Technol. 1991, 66, 163-174
- 2 陈士明. 南京工学院硕士论文,(1987)

冷凝器管子修理的新方法

据“Power”1994年1月号报道,对于已堵塞或已漏泄冷凝器管子的处理方法,通常是堵管。但是,这只是一种权宜之计。电站为了保持在线生产能力,正在探讨一些更为有效的途径,以便恢复热力性能并延长冷凝器的使用寿命。

冷凝器管子修理方法的选择与现场的具体条件密切相关。为了补充可供选择的方案,正在试验一种沿管子整个长度复盖环氧树脂基涂层的修理方法,另一种探索的应用是给管子加上铜/镍衬里。

兼顾到传热和耐磨蚀性,优化确定了涂层的厚度。不需要拆除水室,通过“球形复盖”工序安装衬里。由CTI工业公司(美国康涅狄格州斯特拉特福德市)研制的球形复盖工艺规程包括从水箱中的一个分段盘管把铜/镍衬里压配合入冷凝器的管子。 (学牛 供稿)

JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL ENERGY AND POWER

1995 Vol. 10 No. 1

- △ **The Present status and Future Prospects of Nuclear Power Generation Technology**.....Ji Guiming, Li Jie(*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(1): 1~7

This paper briefly describes the development and application of nuclear power generation both in China and around the world. Taking the former Soviet Union as an example, the authors list the main technico-economic characteristics of some major nuclear power plant equipment. In conclusion, a projection is given of the future advancement and potential development of nuclear power engineering projects. **Key words:** *nuclear power station, nuclear reactor, steam turbine, equipment*

- △ **The Development of the Test Stand of a Saturator, a Key Component in HAT Cycle**.....Jin Haiming(*Xi'an Jiaotong University*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(1): 8~12

The necessity of studying the properties of a saturator in HAT cycle has been pointed out by the author. The establishment of the saturator performance test stand at its preliminary stage created the experimental conditions for gaining an in-depth understanding of the saturator properties and undertaking the further study of the HAT cycle. **Key words:** *HAT cycle, saturator, Properties*

- △ **The Analysis of Factors Exercising an Influence on a Photoelectric Method Used for Measuring the Minute Solid Particle Concentration and Velocity in Gas-Solid Dual Phase Flows**.....Chen Yuandi, Wen Long(*Xi'an Jiaotong University*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(1): 13~18

A photoelectric detection method with the use of an optical fibre probe can be employed to measure the minute solid particle concentration and velocity in gas-solid dual phase flows, but both the construction of the optical fibre and the variation of the minute solid particle diameter may significantly affect the result of measurement and calculation. This paper gives a brief description of several types of optical fibre probes and their measurement performance and analyses the effect of minute solid particle on measurement outcome with an effective method for correcting invalid results being presented. **Key words:** *gas-solid dual phase flow, photoelectric detection, optical fibre probe construction, minute solid particle diameter*

- △ **Operating Characteristics of PFBC Pneumatically Controlled L Valve Slag Removal Mechanism**.....Rong Degang(*Thermal Energy Engineering Institute under South-Eastern University*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(1): 19~24

PFBC(pressurized fluidized bed combustion)combined gas-steam turbine plant power generation is a new type of coal-fired power generation system noted for its high efficiency and low environmental pollution. Against the background of the continuous slag removal version of a home-made PFBC-CC intermediate-test power station the author makes an exploratory study of the effect of system pressure, L valve inlet-outlet differential pressure, continuous and pulsating feeding of vibrating air

flow as well as horizontal tube diameter on the operating performance of the pneumatically controlled L valve slag removal mechanism. **Key Words**: *pressurized fluidized bed boiler, slag removal mechanism pneumatic control*

- △ **An Experimental Study of Embedded Tube Heat Transfer and Heat Resistance Control in a High-temperature Fluidized Bed**……Yan Weiping. (*North China Institute of Electric Power*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 25~30

Presented and analysed in this paper is the surface temperature of a horizontally embedded tube in a high-temperature fluidized bed and the experimental result regarding the effect of power bed material on the embedded tube outer side heat transfer coefficient. It has been shown that the heat transfer factor is closely related to the surface temperature, but the degree of correlation depends on the particle diameter and sieve range adopted. The adding of powder bed material will lead to an increase in heat transfer coefficient, but the degree of increase is also related to the controlled heat resistance.

Key words: *high-temperature fluidized bed, embedded-tube heat transfer coefficient, surface temperature, particle diameter*

- △ **The Effect of Tertiary Air on In-furnace Thermal Load Distribution**……Guo Hongsheng, Xu Tongmo (*Xi'an Jiaotong University*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 31~35

An experimental study has been conducted of the thermal load distribution in a tangentially fired boiler furnace with burners installed at the four corners of the boiler. The variation of the thermal load distribution is compared for cases with or without the use of tertiary air. With the help of a self-made radiation type heat-flux meter the test has been performed on a small-size hot-state simulation test rig with lean coal of Tongchuan serving as the test fuel. The test results have shown that the injection of tertiary air can lead to a quickening of the damping tempo of the infurnace thermal load along the furnace height. **Key words**: *radiation heat transfer, combustion*

- △ **The Study and Application of Self-forming Type Coal for Industrial Boilers**……Hui Shi'en (*Xi'an Jiaotong University*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 36~40

With a view to solving the problem of an increasing amount of fine coal dust, fly ash and unburned coal siftings loss and serious atmospheric pollution the author has proposed the fabrication of a type of self-forming coal and its combustion mode. As a result of a great deal of experimental investigations the main factors affecting the self-forming coal without binding agents have been ascertained. The said coal has found wide applications in industrial production and undergone further experimental verification in its practical use. **Key words**: *industrial boiler, self-forming coal, study*

- △ **Some Comments on the Feedwater Deaeration of Small-sized Industrial Boilers**……Gao Yang (*Beijing Petro-Chemical Engineering Co*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 41~44 **Key words**: *boiler, deaeration, thermal deaeration*

- △ **An Analytical Solution of Irreversible Aerodynamic Parameters of Variable Specific Heat**……Yu Qing, et al. (*Harbin Institute of Technology*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 45~48