

# 锅筒式锅炉差压式水位计的温度补偿研究

杨 飞, 陈广华

(北方交通大学 机电学院, 北京 100044)

**摘 要:** 差压式水位计的参比水柱因为布置在大气环境当中, 势必受到环境变化的影响; 而目前的差压式水位计设计, 仅对参比水柱设固定的 50 °C 的温度补偿, 或者不设补偿。本文作者通过数值计算分析了亚临界锅筒式锅炉差压式水位计参比水柱温度受环境温度影响的情况, 并给出了简单的计算公式, 以使差压式水位计达到更加准确的水平。

**关键词:** 锅筒式锅炉; 水位计; 温度补偿

中图分类号: TK223.1<sup>+</sup>3 文献标识码: A

## 1 引言

亚临界锅筒式锅炉的水位监视远传仪表一般采用单室平衡容器的差压式水位计。如图 1 所示该种水位计的正压头从平衡容器引出, 平衡容器上部和锅筒的容汽空间相通, 负压头锅筒水侧连通管引出, 在不考虑动态特性时根据静力学原理, 可以给出水位基本公式:

$$h = \frac{(\rho_a - \rho_s)gL - \Delta P}{(\rho_a - \rho_s)g} \quad (1)$$

式中:  $h$ ——被测水位, m;  $\Delta P$ ——测量压差, Pa;  $\rho_a$ ——平衡容器及参比水柱水的平均密度, kg/m<sup>3</sup>;  $\rho_s, \rho_g$ ——分别为锅筒中蒸汽和水的密度, kg/m<sup>3</sup>;  $g$ ——重力加速度, m/s<sup>2</sup>;  $L$ ——平衡容器水位高度, m。

由于锅筒压力变化时, 锅筒饱和水和饱和蒸汽的密度随着变化, 影响水位测量信号的准确性, 因此应对水位信号进行压力校正; 对此已经有比较成熟的研究和校正办法。但是, 平衡容器及参比水柱水的平均密度  $\rho_a$  是其平均水温度  $t_a$  的函数, 而  $t_a$  在实际使用的时候只是定值为 50 °C 的温度补偿(自动化设计手册, CE 等锅炉制造国外厂家, 国内锅炉制造厂家), 或者不进行温度补偿。根据山东电力公司 15 台 200 MW 及以上机组锅筒水位测量与保护情况的调查, 其中 8 台机组无温度补偿, 其他机组则定值温度补偿值为 50 °C。

在锅炉工作时, 平衡容器及水柱温度变化比较

大时, 将使水柱密度发生变化, 从而使水位测量产生比较大的误差, 从而影响锅炉的安全运行, 为此有必要对平衡容器及水柱的平衡温度进行分析, 以便进行补偿。

## 2 平衡容器的平衡室温度分析

为了确切地计算温度的变化, 这里以 300 MW 机组(上海锅炉厂)所使用的差压式水位计为例, 如图 1, 从平衡室到参比下降管, 凝结水从对应压力下的饱和温度下降到环境温度。因此, 可以考虑平衡室与下降管为两部分传热系统, 平衡室为一部分, 下降管为另一部分。

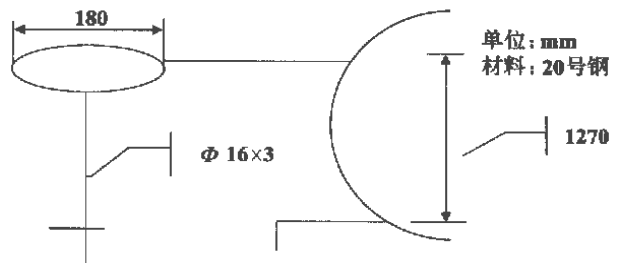


图 1 锅筒式单室平衡容器汽水系统图

设锅炉锅筒压力 18.3 MPa(300 MW 机组), 对应饱和温度为 358.304 °C, 在稳定工况下, 在平衡室内蒸汽的凝结放热系数约在 5 000 W/(m<sup>2</sup>·°C) 以上, 而平衡室的对外自然对流换热系数约为 14 W/(m<sup>2</sup>·°C), 设凝结液膜温度为  $t_m = 0.5(t_s + t_w)$ , 则凝结放热量可以达到 15 000 ~ 25 000 W, 而平衡室的自然对流放热量约为 100 ~ 110 W; 因为凝结放热的能力远大于自然对流放热, 平衡室的对外换热量与室内凝结放热可以放出的热量平衡, 可以认为平衡室内水的温度是稳定不变的, 可以维持在对应压力下的饱和温度, 实际测量的结果也是如此, 所以不再进行详细计算。

### 3 平衡容器参比水柱温度的计算

计算将该水柱考虑为一维稳态导热问题, 边界条件为第 3 类边界条件, 即:

细长圆柱的导热 —— 对流系统

一维稳态导热的基本微分方程为:

$$Q = -\lambda f \frac{dt}{dx} \quad (2)$$

对流换热可以近似表现为:

$$Q = \alpha U \Delta x (t_i - t_\infty) \quad (3)$$

两式中:  $Q$  为热量,  $\alpha$  为换热系数,  $\lambda$  为导热系数,  $U$  为管子的周长,  $f$  为截面积,  $t_\infty$  为环境温度,  $t_i$  为节点温度,  $\Delta x, dx$  为节点距离。

应用热平衡方法得出有限差分方程式:

$$\lambda f (\frac{dt}{dx})_{i-1} = \alpha U \Delta x t_i + \lambda f (\frac{dt}{dx})_{i+1} \quad (4)$$

采用中心差分方法, 建立节点差分方程, 计算在 0 °C、10 °C、20 °C、30 °C、40 °C, 环境条件下参比水柱的温度变化, 计算采取 10 个节点, 编制的计算机程序略, 其计算结果见表 1。

表 1 在不同环境条件下, 参比水柱各节点温度

节点位置/mm	环境温度/°C				
	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
	节点温度/°C				
1 212	0.048	10.04	20.04	30.04	40.04
1 136.25	0.08	10.07	20.07	30.07	40.07
984.75	0.25	10.24	20.23	30.23	40.22
833.25	0.75	10.73	20.71	30.69	40.67
681.75	2.25	12.19	22.13	32.06	42.00
530.25	6.74	16.55	26.36	36.17	45.98
378.75	20.13	29.57	39.01	48.44	57.88
227.25	60.14	68.47	76.79	85.10	93.43
75.75	179.7	184.68	189.67	194.65	199.64
0	358.3	358.3	358.3	358.3	358.3

根据以上数据可以近似绘制图 2 曲线。

由于绘图误差, 应该注意各个环境温度变化的趋势, 即水柱温度迅速从饱和下降到环境温度, 在总长度中接近环境温度的长度约占总长度的 1/2, 水柱温度变化的趋势接近符合对数变化曲线的规律。

根据表 1 的计算结果, 将各个节点的温度与位置处理, 可以得出在不同环境温度下, 参比水柱的平均温度, 见表 2。

表 2 参比水柱在不同环境温度下的平均温度

	环境温度 / °C				
	0	10	20	30	40
平均温度	56.16	67.09	78.02	88.95	99.89

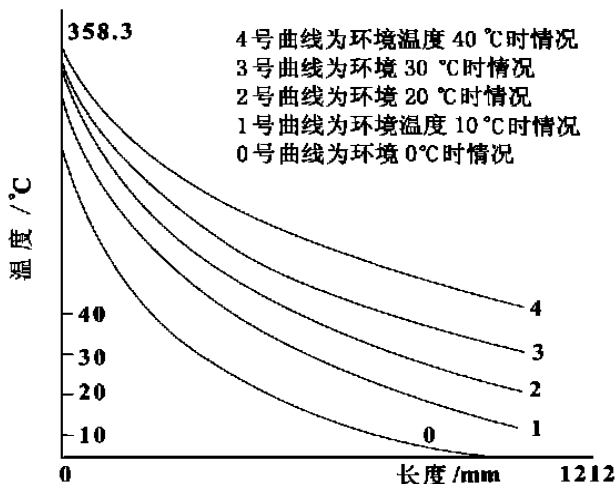


图 2 不同环境温度下, 各个节点的温度响应

### 4 综合分析

锅炉在正常运行时, 锅筒水位在一定范围内变化是不会影响其安全运行的, 从各个锅炉制造厂家提供的高低水位报警限值可以看到这个范围在 200 mm ~ 330 mm 之间。锅炉的最佳水位还是正常水位, 锅炉厂家规定了锅炉正常运行时, 锅筒水位的允许偏差值, 见表 3。

表 3 外国锅炉厂家水位允许偏差表

锅炉制造厂家	水位允许偏差	资料来源
CE	±50 mm	石横电厂
B&W	±50 mm	北仑港电厂
F&W	±100 mm	利港电厂

根据锅炉制造厂家(CE 公司)提供的在不同汽压下就地水位计误差的修正值资料表明, 当水位测量误差在 50 mm 范围内, 可以不进行修正, 即水位的允许误差以不超过 50 mm 为宜。按照已有的计算资料介绍, 在锅炉压力 17 ~ 18 MPa 时, 平均温度相差 10 °C, 由此引起的水位差值约为 10 mm。通过计算可以发现随着环境温度的变化, 参比水柱的温度虽然最后总是与环境温度一致, 但是其变化速度是不一样的, 因此平均温度会有明显的变化。因此如果不对参比水柱进行温度补偿, 或者只是简单地设定为 50 °C 温度补偿, 是不够准确的, 可能影响的水位差值是 50 mm ~ 100 mm, 超过或者逼近误差极限。因此, 应该考虑根据不同的环境温度进行比较准确的温度补偿。关于补偿方程, 笔者利用表 2 给出的数据使用一元线性回归分析给出以下的线性公式:

$$y = 1.09x + 56.158$$

# 循环流化床锅炉密相区内颗粒的横向扩散研究

杨海瑞, 吕俊复, 刘青, 岳光溪

(清华大学热能工程系, 北京 100084)

**摘要:**以热粒子作为示踪粒子,用热电偶测量示踪粒子沿径向的变化,在长900 mm、宽100 mm、高5 200 mm的循环流化床密相区进行了颗粒的横向扩散的研究。循环流化床密相区内颗粒横向扩散可用一维扩散模型来描述,模型的计算结果与实验数据吻合很好。根据实验数据拟和得到颗粒的横向扩散系数 $D_{sr}$ ,实验表明随着流化风速的增大和静止床高的增加,横向扩散系数 $D_{sr}$ 增大;随颗粒粒径的增大,横向扩散系数 $D_{sr}$ 减小。最后给出了以流化风速、静止床高和颗粒粒径为影响因素的横向扩散系数 $D_{sr}$ 的经验式。

**关键词:**循环流化床; 横向扩散系数; 热示踪粒子

中图分类号: TQ021.1 文献标识码: A

## 1 引言

颗粒混合、流体流动和化学反应机理构成了设计工业流化床的基础。五六十年代早期,通常认为气固流化床内物料混合均匀,流化床内各点的温度均匀。随着大型流化床越来越广泛的应用,人们注意到床内温度和反应物浓度不是均匀分布的,尤其在水平方向存在明显的梯度。对于我国目前广泛使用的正压集中给煤流化床锅炉,如加入的燃料过多而不能迅速扩散,就会出现给煤口区域燃料堆积。在燃煤流化床内,煤粒挥发份生成的速率与床内颗粒混合的速率相近<sup>[1]</sup>。在脱挥发份期间,如果煤粒未能充分扩散开来,则会出现给煤区局部缺氧严重,使得炉膛内燃烧恶化,增加了可燃气体的不完全燃

烧损失,引起料腿燃烧或尾部受热面的积灰复燃。

随着流化床容量的增加,床面积增大,每个给煤点给煤量的增加,这种情况更加突出。其本质是如何使燃料及时扩散到相应的床面上去,以保持可燃物浓度的均匀分布。这说明,床内燃料的横向扩散能力成为确定给煤点间距的基础,而横向扩散系数是表征燃料横向扩散能力的重要参数。

有关循环流化床颗粒混合的研究文献并不多,已有的实验一般采取注入示踪粒子并在不同距离处测量示踪粒子的浓度变化的方法。Rhodes以食盐为示踪粒子,定时骤然停机进行采样,用蒸馏水溶解示踪粒子,从溶液的导电性与示踪粒子的浓度之间的关系确定后者浓度<sup>[2]</sup>。Ambler应用放射性粒子为示踪粒子<sup>[3]</sup>,Avidan用磁性粒子为示踪粒子<sup>[4]</sup>,Kojima采用FCC荧光染色和光导纤维技术,分别进行了颗粒扩散的研究<sup>[5]</sup>。已有的大部分实验均集中于流化床提升管内颗粒整体混合特性的研究。示踪粒子注入口位于提升管的底部,而测量点则远离密相区。密相区的流场、混合机理目前尚不清楚。Westphalen在实验中发现密相区的混合在强度上远远大于上部区域<sup>[6]</sup>。由于此区域的混合特性在很大程度上影响了进料口的数目和间距的设计,本文将着重研究密相区颗粒横向扩散的规律,并寻找合适的模型来描述横向扩散现象。

收稿日期: 2000-06-27

作者简介: 杨海瑞(1972-),男,北京人,清华大学博士研究生。

此外,参比水柱的管道应该裸露在环境温度中,即从单室平衡容器以下至水侧取样孔高度的管道不得施加伴热或者保温(根据实测,有保温的管道管壁温度达130℃,而没有保温时仅为30℃)。如果环境有结冰的可能时,则应加强锅筒小室的密封和防冻。至于水侧取样孔以下引到变送器的两根管道应包在同一保温层内,这段管道如果有结冰的可能时,应加伴热防冻。

## 参考文献:

- [1] 翁中杰. 传热学[M]. 上海: 上海交通大学出版, 1987.
- [2] 《热工自动化设计手册》编写组. 热工自动化设计手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [3] 徐士良. QBASIC常用算法程序集[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.

(何静芳 编辑)

自由表面摩擦和蒸发对过冷下降液膜传热的影响 = **The effect of Free Surface Friction and Evaporation on the Heat Transfer of Sub-cooled Falling Liquid Film** [刊, 汉] / SHI Jin-sheng, CHEN Yu-zhou (China National Atomic Energy Research Academy, Beijing, China, Post Code: 102413) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(4). — 383 ~ 385, 392

A theoretical analysis was conducted of the heat exchange characteristics of a falling liquid film under the condition of evaporative heat dissipation and of the presence on the free surface of a reverse shearing force. As a result, obtained was a non-dimensional relation of the film thickness and heat exchange factor. Also discussed was the influence of shearing force, liquid film Reynolds number, wall surface heat flux and evaporation rate on the flow and heat transfer. **Key words:** falling liquid film, reverse flow, heat transfer

均衡燃烧控制系统总体设计及关键技术问题研究 = **A Study of the Integrated Design of a Harmonious Combustion Control System and Its Related Technical Issues** [刊, 汉] / LI Yi-guo, SHEN Joing, LU Zhen-zhong (Power Engineering Department, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(4). — 386 ~ 388

In light of the problems currently existing in the boiler combustion process of a 200 MW power plant in China the authors have designed a harmonious combustion control system. On the basis of the functional requirements of the system and the specific control mode of an inverter proposed is an integrated design scheme of the combustion control system. The communication control of the inverter represents a key issue in implementing the above design scheme. Briefly discussed is a method of the inverter output control realized through the use of a master-slave type of multi-machine communication mode. **Key words:** harmonious combustion, inverter, communication

单元机组运行经济性在线数学模型研究 = **Research on an On-line Mathematical Model for the Evaluation of the Cost-effectiveness of a Monoblock Unit Operation** [刊, 汉] / ZHANG Xiao-tao, WANG Ai-jun (Power Engineering Department, North China Institute of Water Resources and Hydropower, Zhengzhou, Henan Province, China, Post Code: 450045), WANG Pei-hong (Power Engineering Department, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(4). — 389 ~ 392

On the basis of the real-time information system of a power plant developed is an on-line practical-for-use mathematical model for evaluating the operation cost-effectiveness of a monoblock unit. The model can not only conduct an on-line monitoring of the major economic indexes of the monoblock unit, but also diagnose and analyze its operating cost-effectiveness. Its use at a power plant has been proved to be quite fruitful. **Key words:** on-line monitoring, performance diagnosis, cost-effectiveness, mathematical model

锅筒式锅炉差压式水位计的温度补偿研究 = **Temperature Compensation Study of the Differential-pressure Water Gage Used for a Drum Boiler** [刊, 汉] / YANG Fei, CHEN Guang-hua (Power Engineering Department, Northern Jiaotong University, Beijing, China, Post Code: 100044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(4). — 393 ~ 394

Due to its location in an atmospheric air environment the reference water column of a differential-pressure water gage is inevitably subjected to the influence of the change in environmental conditions. In the design of the present-day differential-pressure water gage either no temperature compensation or a temperature compensation of only 50 °C fixed value has been set for the reference water column. Through a numerical calculation analyzed was the influence of the ambient temperature the reference water column temperature of the differential-pressure water gage of a sub-critical drum boiler is being subjected to. Moreover, a simple calculation formula is given to facilitate the achievement of a higher level of precision for the differential-pressure water gage. **Key words:** drum boiler, water gage, temperature compensation

循环流化床锅炉密相区内颗粒的横向扩散研究 = **A Study of the Transverse Dispersion of Solid Particles in the Dense-phase Zone of a Circulating Fluidized Bed Boiler** [刊, 汉] / YANG Hai-rui, LU Jun-fu, LIU Qing, et al (Thermal Energy Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(4). — 395 ~ 398

With hot particles serving as tracer ones the radial variation of the latter was measured by the use of thermocouples. A study of the particle transverse dispersion has been conducted in the dense-phase zone of a circulating fluidized bed,