

角管式热水锅炉辐射受热面 水动力特性分析

计德忠 孟昭鹏 吴少华 (哈尔滨工业大学)
孙绍增 李争起 杨明新 秦裕琨
高喜强 (黑龙江省劳动厅) 吕 薇 (哈尔滨理工大学)

〔摘要〕 文中给出了角管式热水锅炉侧墙水冷壁水动力计算方法,分析进入侧墙下集箱工质流量对水冷壁水动力特性的影响。

关键词 角管式热水锅炉 侧墙水冷壁 水动力特性
分类号 TK222

1 前言

角管锅炉由于结构紧凑,水循环回路复杂,水动力计算比较特殊,用常规的水循环计算方法已无法满足设计要求。本文提出了一套角管式热水锅炉的水动力计算方法。

为保证角管锅炉运行的安全性,防止管壁温度过高,产生汽化或过冷沸腾,在管组出现严重的流量偏差时,不能采用管组平均流量的方法进行水动力计算,而应逐根管进行流量计算。图 1 为角管式热水锅炉一种典型结构,由图中可知,侧墙水冷壁各管的流量偏差较大,同时侧墙水冷壁的下集管又作为前、后墙水冷壁下集箱的供水管,由于角管的影响,增加了角管热水锅炉侧墙水冷壁计算的复杂性,因而在角管锅炉设计中,需用一种用于角管锅炉水冷壁各管内工质流速及温度的计算方法,以保证锅炉运行的安全可靠。

本文研究角管式热水锅炉的侧墙冷壁的水动力特性,将图中角管锅炉的侧墙水冷壁

简化为如图 2 所示,不考虑侧墙水冷壁下集箱对其它各下集箱的供水,仅考虑影响水冷壁各平行并列管的流量及温度分布的因素,在受热面热流密度、工质压力、管径及受热面的连接方式等因素的基础上,建立数学模型,给出计算方法。

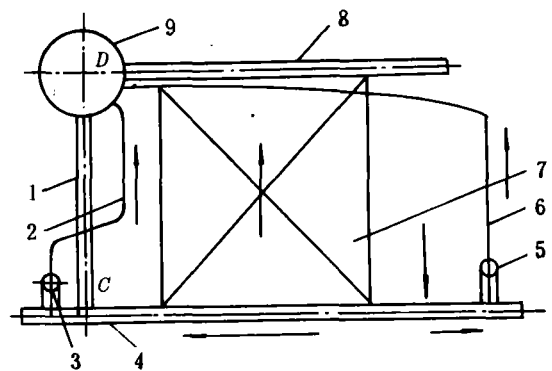


图 1 角管式热水锅炉典型结构

- 1 角管 2 前墙水冷壁 3 前墙水冷壁下集箱
4 侧墙水冷壁下集箱 5 后墙水冷壁下集箱
6 后墙水冷壁 7 侧墙水冷壁
8 侧墙水冷壁上集箱 9 锅筒

收稿日期 1994-12-03

2 数学模型

在图2所示中,角管中工质只能向上流动或保持静止,此时侧墙水冷壁为下集箱一端进水,上集箱另一端出水的Z型布置,为此要建立“Z”型结构管组的水动力计算数学模型。

为建立数学模型,在并联管组上集箱、下集箱及管子取控制体如图3~图5所示。参考这些控制体,列出一系列方程式,即为求解各根侧壁管内工质流速与温度的数学模型。

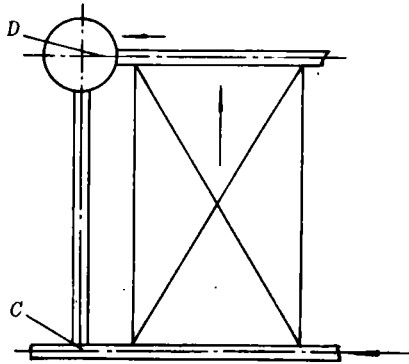


图2 角管热水锅炉侧墙水冷壁简化结构

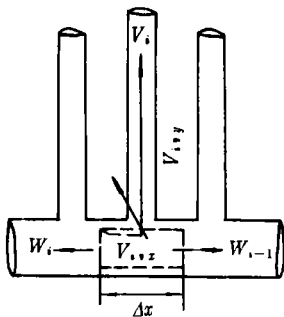


图3 下集箱控制体

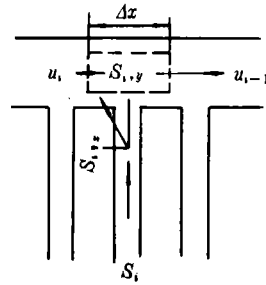


图4 Z型布置上集箱控制体

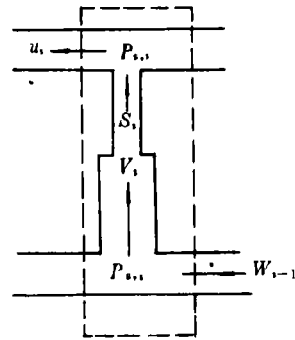


图5 Z型布置支管控制体

2.1 连续性方程

下集箱连续性方程

$$D_i^2 [\rho_{s,i-1} w_{i-1} - \rho_{s,i} W_i] = \rho_{s,i} d_i^2 v_i$$

上集箱连续性方程

$$D_s^2 [\rho_{s,i} u_i - \rho_{s,i-1} u_{i-1}] = \rho_{s,i} d_s^2 s_i$$

支管连续性方程

$$\rho_{s,i} v_i - \rho_{s,i} s_i = 0$$

2.2 集箱内工质沿主流方向的动量方程

下集箱内工质沿主流方向的动量方程

$$p_{s,i-1} - p_{s,i} = \rho_{s,i} w_i^2 - \rho_{s,i-1} w_{i-1}^2 - \rho_{s,i} c_f w_{i-1}$$

$$(w_i - w_{i-1}) + \lambda \frac{\Delta x}{D_x} \frac{1}{2} \rho_{s,i} \bar{w}_i^2$$

上集箱内工质沿主流方向的动量方程

$$p_{s,i-1} - p_{s,i} = \rho_{s,i} u_i^2 - \rho_{s,i-1} u_{i-1}^2 + \rho_{s,i} c_h u_{i-1}$$

$$\times (u_i - u_{i-1}) + \lambda \frac{\Delta x}{D_s} \cdot \frac{1}{2} \rho_{s,i} \bar{u}_i^2$$

2.3 支管内工质流动的伯努力方程

$$P_{i,j} - P_{i,c} = \frac{1}{2} \bar{\rho}_i \bar{v}_i^2 \sum \zeta_i + \bar{\rho}_i g h_i$$

2.4 集箱的热平衡方程式

由于角管锅炉的上、下集箱均不受热, 由此可得:

上集箱热平衡方程式

$$c_p \rho_{s,i} u_i t_{s,i} A_s = c_p \rho_{s,i-1} t_{s,i-1} A_s + c_p P_{i,c} S_i t_{i,c} A_i$$

下集箱热平衡方程式

$$t_{x,i} = t_{x,i-1} = t_{x,j}$$

2.5 支管热平衡方程式

$$Q_i = A_c c_p [\rho_{s,c} S_i t_{s,c} - \rho_{s,j} v_i t_{i,j}]$$

以上方程即为求解工质物性参数的方程组, 即工质为“Z”型流动时的数学模型。方程中:

D_x, D_c ——为上、下集箱直径, m;

w_{x-1}, w_x ——为第 i 根水冷壁管前后水冷壁下集箱工质流速, m/s;

v_i, s_i ——为第 i 根水冷壁管进、出口工质流速, m/s;

$\rho_{x,i}, \rho_{x,i-1}$ ——为第 i 根管前、后处下集箱工质密度, kg/m³;

$\rho_{i,j}, \rho_{i,c}$ ——为第 i 根水冷壁管工质进、出口的工质密度, kg/m³;

$\rho_{s,i-1}, \rho_{s,i}$ ——为第 i 根水冷壁管前、后处上集箱工质密度, kg/m³;

u_{x-1}, u_x ——为第 i 根水冷壁前、后处上集箱内工质流速, m/s;

$p_{s,i-1}, p_{s,i}$ ——为第 i 根水冷壁管前、后处上集箱工质压力, Pa;

$\bar{\rho}_i$ ——为第 i 根水冷壁管的长度及高度, kg/m³;

l_i, h_i ——为第 i 根水冷壁管的长及高度, m;

A_x, A_s, A_i ——为上、下集管及第 i 根水冷壁管的流通截面积, m²;

c_f, c_h ——实验系数;

$p_{x,i-1}, p_{x,i}$ ——为第 i 根水冷壁管前、后处下

集箱工质压力, Pa;

$P_{i,j}, p_{i,c}$ ——为第 i 根水冷壁管前、后处进、出口工质压力, Pa;

\bar{v}_i ——为第 i 根水冷壁管内工质平均流速, m/s;

$\sum \zeta_i$ ——为第 i 根水冷壁管内的总阻力系数;

Q_i ——为第 i 根水冷壁管的吸热量, kW;

3 计算方法及计算步骤

工质在受热面中的流动取决于图 2 中所示的 C、D 两点间的压差。当 $\rho_s g h_i < \Delta p_{CD} < \rho_x g h_i$ 时, 角管中的工质保持静止状态; 当 $\Delta p_{CD} > \rho_x g h_i$ 时, 角管中的工质向上流动, (式中 ρ_x 为钢管中热水的平均密度, h_i 为 C、D 两点间的高度差)。

假设角管中工质为静止, 水冷壁管中工质按“Z”型布置流动, 其边界条件为: 下集箱入口处工质温度为 $t_{x,0}$ ℃ 及工质流速为 $W_{x,0}$ m/s, 下集箱另一端工质流速为零。

锅炉水动力计算是锅炉热力计算完成后, 锅炉结构数据已知的条件下进行的, 因而根据上面建立的数学模型及边界条件, 即可进行水动力计算, 求得 Δp_{CD} 。

3.1 若 Δp_{CD} 满足: $\rho_i g h_i \leq \Delta p_{CD} \leq \rho_x g h_i$, 则说明假设正确, 角管中工质静止。

3.2 若 Δp_{CD} 满足: $\Delta p_{CD} > \rho_x g h_i$, 则说明假设错误, 角管中工质向上流动, 此时边界条件发生了变化; 下集箱进口处工质温度为 $t_{x,0}$, 工质流速 $w_{x,0}$, 下集箱另一端工质温度为 $w_{x,n}$, 此进水冷壁管工质的流动已并非“Z”型流动, 应根据以上数学模型及边界条件, 求得角管中工质流速及水冷壁管各管内工质流速及水温, 并完成其水动力计算。

3.3 若 $\Delta p_{CD} < \rho_i g h_i$, 说明角管中工质作下降流动, 水冷壁内工质的流动应为“Z”型和“U”

型的组合形式,此时计算的关键是打出压力平衡点,而边界条件为下集箱入口水温 $t_{x,0}$, 进口水速为 w_0 。

由上述计算步骤,可编写计算程序,计算框图如图 6。

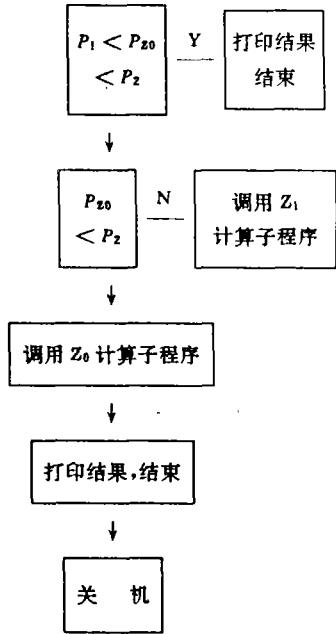
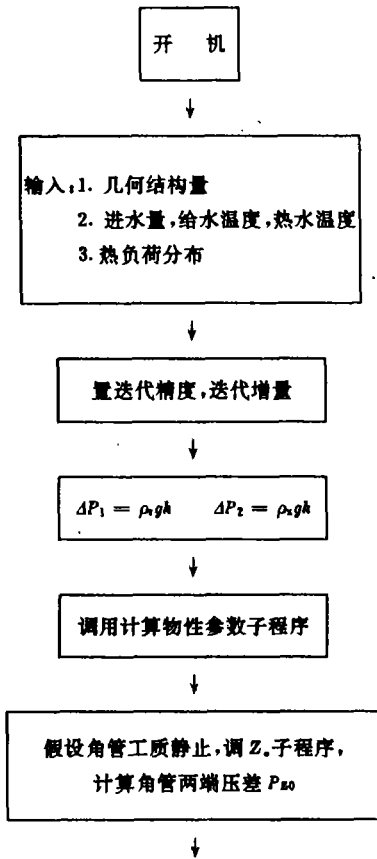


图 6 计算框图

4 计算实例与结果分析

对表 1 所给数据的角管热水锅炉侧墙水冷壁进行水动力计算,在结构一定的情况下,通过改变进入水冷壁下集箱的给水量 G ,得出角管锅炉水冷壁水动力特性随 G 变化的关系。

表 1

名 称	单 位	符 号	数 值	名 称	单 位	符 号	数 值
下集箱内径	mm	D_x	209	侧壁管长度	m	L_z	3.98
上集箱内径	mm	D_u	209	侧壁管高度	m	H_z	4.2
角管内径	mm	D_j	149	侧壁管节距	mm	Δx	90
角管长度	mm	L_j	359	热负荷	kW	Q	821.1
侧壁管根数	根	n	21	下集箱水温	℃	t_x	80
侧壁管内径	mm	D_2	47	锅筒水温	℃	t_r	95

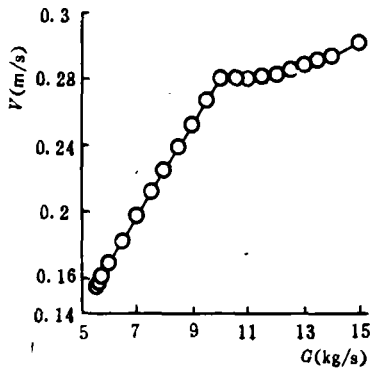
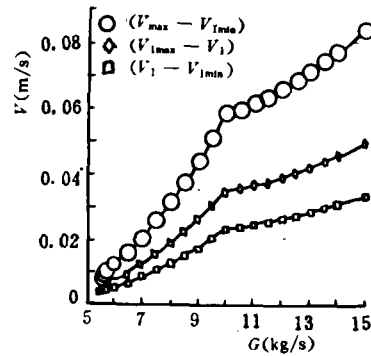
图7 水冷壁管内工质平均流速与 G_0 关系图8 水冷壁管内工质流速偏差与 G_0 关系

图7和图8表明角管式热水锅炉侧墙水冷壁水动力特性。由图中看出,随 G_0 增大,侧墙水冷壁上、下集箱间压差偏差加大,引起水冷壁管中工质流量偏差增加,而且最大偏差管为靠近角管的水冷壁管。同时角管两端工质静压差加大。随 G_0 进一步增大,当 $G_0 > 10$ kg/s 时,角管中工质由静止变成上升流动,此时由于角管的作用,水冷壁上、下集箱间工质静压差的偏差及水冷壁管中工质流速的偏差随 G_0 变化的变化率小于角管中工质静止时的变化率。

由图中还可以看出由 $G_0 = 5.5$ kg/s 开始,随 G_0 增加,角管中工质由静止变成上升流动,此时没考虑角管中工质可能下降流动的情况,因为角管中工质可能下降流动的情况是发生在 $G_0 < 5.5$ kg/s 的情况下。而此时由图中看出当 $G_0 = 5.5$ kg/s 时,水冷壁管中工质流速已为 0.155 m/s,因此 G_0 不应小于 5.5 kg/s,即角管中工质不能下降。但 G_0 也不宜过大,因为随 G_0 增加,集箱内工质压差偏差及水冷壁管中工质流速偏差增加。当 $G_0 =$

5.5 kg/s 时,最大工质流速偏差已达 0.085 m/s,其相对偏差值为 28% 。

5 结论

角管中工质只能保持静止或做上升流动,不能做下降流动;

进入下集箱的工质流量有一定范围,不能太大也不能太小;

此计算方法解决了角管热水锅炉侧墙水冷壁比较复杂的回路水动力计算的问题。

参 考 文 献

- 1 黄承懋. 锅炉水动力学及锅内传热, 机械工业出版社, 北京, 1982年
- 2 杨明新. 热水锅炉, 机械工业出版社, 北京, 1986年
- 3 庞韵等. 不均匀受热并联管组流动与温度工况的数值解. 上海机械学院学报, 1989, 11(3): 25-30

(渠源汤 编辑)

作者简介 杨明新 男 1935年生,教授,多年来从事教学与科研工作。所承担的“自然循环热水名炉水动力研究”流化床与拱型管板螺纹烟管锅炉的研制获省部科技进步二、三等奖五项。目前正进行角管锅炉水动力研究。出版了“热水锅炉”专著,以及节能技术,锅炉结构与设计等书。

翅片形式对强化换热影响的研究及其效应评价=A Study of the Effect of Fin Shapes on Intensified Heat Exchange and the Evaluation of the Said Effect [刊,中]/Luo Zhongyang, Yin Chungeng, et al (Zhejiang University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(5). -257~261

An experimental study is conducted of the effects of fin shapes on convection heat exchange and flow characteristics. By combining the above two effects and on the basis of a thermodynamic system energy analysis an evaluation is made of the effectiveness of the various fin shapes on the intensified heat exchange. **Key words:** intensified heat exchange, heat exchange characteristics, resistance characteristics, entropy.

反切风消减锅炉烟道两侧烟气参数偏差的探讨=A Preliminary Study on the Reduction and Elimination of Flue Gas Parameters Deviation at Both Sides of a Boiler Gas Duct through the Introduction of Anti-tangential Air [刊,中]/Zhang Xuan, Xu Tongmo, et al. (Xi'an Jiaotong University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(5). -262~266

Through the cold-state model test of a high-capacity boiler obtained is the flow field distribution within the boiler and at the furnace outlet horizontal gas pass. An experimental study and analysis is conducted with respect to the reasons and governing laws of flue gas parameter deviation at both sides of the boiler gas duct caused by a remnant rotation with main focus on the mechanism of eliminating such a deviation by way of introducing anti-tangential air and the search for a rational version. This research work of the authors can provide useful guidance in eliminating excessively high temperature-related tube explosion failures of superheaters and reheaters caused by flue gas parameter deviations. **key words:** anti-tangential air, flue gas parameter deviation

角管式热水锅炉辐射受热面水动力特性分析=An Analysis of the Radiant Heating Surface Hydrodynamic Characteristics of a Corner-tube Hot-water Boiler [刊,中]/Ji Dezhong, Meng Zhaopeng, et al (Harbin Institute of Technology), Gao Xijiang (Heilongjiang Provincial Labor Bureau)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(5). -267~271

This paper describes a method for calculating the hydrodynamic properties of the side water wall of a corner-tube hot-water boiler. An analysis is given of the effect of the flow rate of working medium entering a side-wall lower header on the water wall hydrodynamic characteristics. **Key words:** corner-tube hot water boiler, side water wall, hydrodynamic characteristics

腔体式吸收器与真空管吸收器的热性能比较=Comparison of Thermal Properties of Cavity Type Absorbers and Vacuum Tube Absorbers [刊,中]/Chou Qiaoli, Ge Xinshi, et al (China National University of Science & Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(5). -273~277

An analysis is performed of the thermo-physical characteristics of cavity type absorbers with tube bundle construction and ring-casing construction used in a parabolic solar energy collector as well as a vacuum tube absorber. The thermal resistance network in the said absorbers is shown in an illustration and the general control equation of the solar energy collector is also provided. Based on the above the authors have conducted a numerical analysis and comparison of the thermal properties for the above-cited