

单相流体在Z型布置并联管中的等温流动

陆慧林 杨励丹 (哈尔滨工业大学)

程 韧 (国家物资总局燃料局节能服务中心)

〔提要〕 本文基于质量守恒和动量守恒定律, 导出了Z型布置并联管组的流动支配方程, 得到了压降和速度的计算式。并提出了用结构特性系数 ϕ^2 表征流体在并联管组中流动的特点。最后对计算结果进行了分析和讨论。

主题词 锅炉 液相 等温流 计算

符 号

A 、 A^* 、 A_0 —分配、汇合集箱和并联管截面积, m^2 ;

D 、 D^* —分配、汇合集箱直径, m ;

H —并联管高度, m ;

L —集箱有效长度, m ;

n —并联管数量;

P 、 P^* —分配, 汇合集箱压力, Pa ;

V_0 —并联管内工质速度, m/s ;

W 、 W_x 、 W_x^* —集箱内工质速度和分配、汇合集箱轴向速度, m/s ;

ρ —流体密度, kg/m^3 ;

τ —摩擦切应力, $\tau_w = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho$, Pa ;

λ —沿程阻力系数;

ξ —并联管总阻力系数。

一、前 言

在锅炉的过热器和省煤器非沸腾段中流体的流动都属于单相流体在并联管组中的强制流动。若并联管组中各根管子的吸热量和流量分配不均匀, 便会产生热偏差^[1]。若热偏差超过允许值时, 就会烧坏管子, 影响锅炉正常运行。因此这个问题在锅炉设计中具有相当重要的实际意义。单相流体在并联管组中流量分配问题在化工、核动力、石油等技术部门也经常遇到(如热交换器设计等^{[4]、[5]、[6]})。

很多学者进行了这方面研究^[2、4、5、6、7]。在研究过程中都假定沿集箱工质速度线性变化, 并且不考虑并联管的影响。本文基于质量守恒和动量守恒定律, 导出了集箱的支配方程, 得到Z型布置并联管组压降和流量分布的计算式。提出用结构特性系数 ϕ^2 表征流体在并联管组中的流动特点。

本文收到日期: 1987—12—30, 修改定稿: 1988—05—05

二、基本方程

Z型并联管组压降分布如图1所示。为讨论方便，作如下假设：（1）流体在集箱中的流动为均匀流动；（2）并联管组各管的总阻力系数 ξ 相同；（3）并联管各管间相对距离 $\frac{S}{L} \leq 0.123$ (S 是管间距)，则可以认为集箱内工质速度变化是连续的。

a) 分配集箱基本方程

取微元体 Δl 如图2(a)所示，根据质量守恒定律，得

$$\rho \cdot A \cdot W = \rho \cdot A \left(W + \frac{dW}{dl} \cdot \Delta l \right) + \rho \cdot A_0 \cdot V_0 \quad (1)$$

其中，微元体长度 $\Delta l = \frac{L}{n}$ ，整理得

$$V_0 = - \frac{A}{A_0} \cdot \frac{L}{n} \cdot \frac{dW}{dl} \quad (2)$$

由假设（1），根据动量守恒定律，得

$$\begin{aligned} P \cdot A - \left(P + \frac{dp}{dl} \cdot \Delta l \right) \cdot A - \tau_w \cdot \pi \cdot D \cdot \Delta l \\ = \rho \cdot A \cdot \left(W + \frac{dW}{dl} \cdot \Delta l \right)^2 - \rho \cdot A \cdot W^2 + \rho \cdot A_0 \cdot W_x \cdot V_0 \end{aligned} \quad (3)$$

将上式展开，忽略二阶无穷小量，整理得

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dl} + \frac{\lambda}{2 \cdot D} \cdot W^2 + 2 \cdot W \cdot \frac{dW}{dl} + \frac{A_0}{A} \cdot \frac{n}{L} \cdot V_0 \cdot W_x = 0 \quad (4)$$

根据文献[1]、[5]和[7]，轴向分速度 W_x 与集箱工质速度有如下关系：

$$W_x = C_f \cdot W \quad (5)$$

式中系数 C_f 由实验确定。对圆形截面， $C_f = 1.24$ [7]。

于是，式(4)整理得：

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dl} + \frac{\lambda}{2 \cdot D} W^2 + (2 - C_f) \cdot W \cdot \frac{dW}{dl} = 0 \quad (6)$$

b) 汇合集箱基本方程

与上分析相同，如图2(b)所示。根据质量守恒，有

$$V_0^* = \frac{A^*}{A_0} \cdot \frac{L}{n} \cdot \frac{dW^*}{dl} \quad (7)$$

根据动量守恒有

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp^*}{dl} + \frac{\lambda}{2 \cdot D^*} \cdot W^{*2} + 2 \cdot W^* \cdot \frac{dW^*}{dl} - \frac{A_0}{A^*} \cdot \frac{n}{L} \cdot V_0^* \cdot W_x^* = 0 \quad (8)$$

与上相同，轴向分速度 W_x^* 与集箱速度 W^* 有如下关系：

$$W_x^* = C_h \cdot W^* \quad (9)$$

式中系数 C_h 由实验确定。对圆形截面， $C_h = 0$ [7]。

将式(9)代入式(8), 整理得:

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp^*}{dl} + \frac{\lambda}{2 \cdot D^*} \cdot W^{*2} + (2 - C_h) \cdot W^* \cdot \frac{dW^*}{dl} = 0 \quad (10)$$

c) Z型布置并联管组的基本方程

根据质量守恒, 有如下关系:

$$\rho \cdot V_0 = \rho \cdot V_0^* \quad (11)$$

将式(2)和(7)代入上式, 整理得:

$$\frac{dW^*}{dl} = -\frac{A}{A^*} \cdot \frac{dW}{dl} \quad (12)$$

积分得:

$$W^* = \frac{A}{A^*} \cdot W_0 \cdot \left(1 - \frac{W}{W_0}\right) \quad (13)$$

将式(12)和(13)代入式(10), 整理得:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp^*}{dl} + \frac{\lambda}{2 \cdot D^*} \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot W_0 \cdot \left(1 - \frac{W}{W_0}\right)^2 \\ & - (2 - C_h) \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot W_0 \cdot \left(1 - \frac{W}{W_0}\right) \cdot \frac{dW}{dl} = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

将式(6)减去式(14), 合并得:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d(p-p^*)}{dl} + \left[\frac{\lambda}{2 \cdot D} \cdot W^2 - \frac{\lambda}{2 \cdot D^*} \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot W_0^2 \cdot \left(1 - \frac{W}{W_0}\right)^2 \right] + \\ & + \left[(2 - C_f) \cdot W + (2 - C_h) \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot W_0 \cdot \left(1 - \frac{W}{W_0}\right) \right] \frac{dW}{dl} = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

根据假设(2), 在忽略加速压降时, 并联管两端压降($P - P^*$)为:

$$(P - P^*) = \xi \cdot \frac{(\rho \cdot V_0)^2}{2} \cdot V + H \cdot \rho \cdot g \quad (16)$$

将式(2)代入上式, 并微分得:

$$\frac{d(P - P^*)}{dl} = \xi \cdot \left(\frac{A}{A_0} \cdot \frac{L}{n}\right)^2 \cdot \rho \cdot \frac{dW}{dl} \cdot \frac{d^2W}{dl^2} \quad (17)$$

将代入上式式(15), 得:

$$\begin{aligned} & \xi \cdot \left(\frac{A}{A_0} \cdot \frac{L}{n}\right)^2 \frac{dW}{dl} \cdot \frac{d^2W}{dl^2} + \left[\frac{\lambda}{2 \cdot D} W^2 - \frac{\lambda}{2 \cdot D^*} \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot W_0 \cdot \left(1 - \frac{W}{W_0}\right)^2 \right] \\ & + \left[(2 - C_f) \cdot W + (2 - C_h) \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot W_0 \cdot \left(1 - \frac{W}{W_0}\right) \right] \frac{dW}{dl} = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

上式第一项表示并联管总压降, 第二项表示集箱摩擦压降, 第三项表示流体沿集箱速度变化而产生的压降, 通常集箱摩擦压降相对并联管组压降是很小的, 故第二项可以忽略。并

令 $\eta = \frac{l}{L}$, $\bar{W} = \frac{W}{W_0}$, 则式(18)整理得:

$$\frac{d^2(1 - \bar{W})}{d\eta^2} - \phi^2 \cdot (1 - \bar{W}) = \psi \quad (19)$$

式中, ψ ——常数, $\psi = \frac{(2-C_f)}{\xi \cdot \left(\frac{A}{A_0} \cdot \frac{1}{n}\right)^2}$;

ϕ^2 ——结构特性系数, $\phi^2 = \left[\left(\frac{2-C_h}{2-C_f}\right) \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 - 1\right] \cdot \psi$ 。

式(19)边界条件:

$$\begin{aligned} \eta = 0 \quad \text{时, } \bar{W} &= 1.0; \\ \eta = 1.0 \quad \text{时, } \bar{W} &= 0; \end{aligned} \quad (19a)$$

式(19)就是描述单相流体在并联管组内等温流动的支配方程, 它可根据边界条件(19a)求解。

三、方程(19)的解

二阶常系数微分方程(19)的解, 取决于结构特性系数 ϕ^2 , 当 ϕ^2 取不同值时, 解的形式不同。 ϕ^2 的取值范围可分为三种情况: $\phi^2 > 0$, $\phi^2 = 0$, $\phi^2 < 0$ 。其中 $\phi^2 < 0$ 的情况无实际意义, 故不予讨论。

$$a) \quad \text{特性系数 } \phi^2 = \left[\left(\frac{2-C_h}{2-C_f}\right) \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 - 1\right] \cdot \psi > 0$$

根据边界条件式(19a), 方程(19)的特解是:

$$\bar{W} = 1 - \frac{sh\phi\eta}{sh\phi} + \frac{\psi}{\phi^2} \left[1 - \frac{sh\phi\eta}{sh\phi} - \frac{sh\phi(1-\eta)}{sh\phi}\right] \quad (20)$$

根据式(2), 并联管内速度分布:

$$\frac{V_0}{W_0} = \left(\frac{A}{A_0} \cdot \frac{1}{n}\right) \cdot \left[\frac{\phi ch\phi\eta}{sh\phi} + \frac{\psi}{\phi^2} \left(\frac{\phi \cdot ch\phi\eta}{sh\phi} - \frac{\phi \cdot ch\phi(1-\eta)}{sh\phi}\right)\right] \quad (21)$$

根据式(16), 并联管压降分布:

$$\frac{P-P^*}{\xi \cdot \frac{W_0^2}{2} \cdot \rho} = \left(\frac{A}{A_0} \cdot \frac{\phi}{n}\right)^2 \cdot \left[\frac{ch\phi\eta}{sh\phi} + \frac{\psi}{\phi^2} \cdot \left(\frac{ch\phi\eta}{sh\phi} - \frac{ch\phi(1-\eta)}{sh\phi}\right)\right]^2 + \frac{H \cdot \rho \cdot g}{\xi \cdot \frac{W_0^2}{2} \cdot \rho} \quad (22)$$

根据式(6), 分配集箱压降分布可表示为:

$$-\frac{dp}{\frac{W_0^2}{2} \cdot \rho} = \frac{\lambda \cdot L}{D} \cdot \bar{W}^2 d\eta + (2-C_f) \cdot 2 \cdot \bar{W} \cdot d\bar{W} \quad (23)$$

上式积分, 整理得:

$$\begin{aligned} \frac{P_0 - P_{f\eta}}{\frac{W_0^2}{2} \cdot \rho} &= \frac{\lambda \cdot L}{D} \cdot \left\{ A' \cdot \left[\eta + \frac{(sh2\phi\eta - 2\phi\eta)}{\phi(2sh\phi)^2} \right] - \frac{B}{\phi sh\phi} \cdot (ch\phi\eta - 1) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{E}{\phi(2 \cdot sh\phi)^2} [sh2 \cdot \phi(1-\eta) - sh2\phi + 2\phi\eta] + \right. \end{aligned}$$

$$+ \frac{F}{\phi(2 \cdot sh\phi)^2} [2\phi\eta \cdot sh\phi + sh\phi(1-2\eta) - sh\phi] + (2-C_f) \cdot (\bar{W}^2 - 1) \quad (24)$$

式中, A' ——系数, $A' = \left(1 + \frac{\psi}{\phi^2}\right)^2$;

B ——系数, $B = 2 \cdot \left(1 + \frac{\psi}{\phi^2}\right)^2$;

E ——系数, $E = \left(1 - \frac{\psi}{\phi^2}\right)^2 - 2$;

F ——系数, $F = 2 \cdot \frac{\psi}{\phi^2} \cdot \left(1 + \frac{\psi}{\phi^2}\right)$ 。

同理, 根据式(10), 汇合集箱压降分布为:

$$\begin{aligned} \frac{P_{h\eta} - P_0^*}{\frac{W_0^2}{2} \cdot \rho} = \frac{\lambda \cdot L}{D^*} \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot \left\{ \eta - 2 \cdot \left[\eta - \frac{ch\phi\eta}{\phi sh\phi} + \frac{\psi}{\phi^2} \left(\eta - \frac{ch\phi\eta}{\phi sh\phi} + \frac{ch\phi(1-\eta)}{\phi sh\phi} \right) \right] \right. \\ \left. + \left(\frac{1}{\phi sh\phi} + \frac{\psi}{\phi^2} \left(\frac{1}{\phi sh\phi} - \frac{ch\phi}{\phi sh\phi} \right) \right) \right\} - (2-C_f) \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot (2 \cdot \bar{W} - \bar{W}^2) \end{aligned} \quad (25)$$

$$b) \text{ 特性系数 } \phi^2 = \left[\left(\frac{2-C_h}{2-C_f} \right) \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 - 1 \right] \psi = 0$$

这时描述集箱内速度分布的二阶常系数微分方程(19)简化为:

$$\frac{d^2(1-\bar{W})}{d\eta^2} = \psi \quad (26)$$

上式积分可得集箱内无因次速度分布:

$$\bar{W} = (1-\eta) + \frac{\psi}{2} \cdot \eta \cdot (1-\eta) \quad (27)$$

并联管内速度分布:

$$\frac{V_0}{W_0} = \left(\frac{A}{A_0} \cdot \frac{1}{n}\right) \cdot \left[1 - \frac{\psi}{2} \cdot (1-2 \cdot \eta)\right]$$

并联管压降分布:

$$\frac{P - P^*}{\xi \cdot \frac{W_0^2}{2} \cdot \rho} = \left(\frac{A}{A_0} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 \left[1 - \frac{\psi}{2} (1-2\eta)\right]^2 + \frac{H \cdot \rho \cdot g}{\xi \cdot \frac{W_0^2}{2} \cdot \rho} \quad (29)$$

分配集箱压降分布:

$$\frac{P_0 - P_{f\eta}}{\frac{W_0^2}{2} \cdot \rho} = \frac{\lambda \cdot L}{D} \left[\eta + A'\eta^2 + \frac{A'^2 - 2B}{3} \cdot \eta^3 - \frac{A' \cdot B}{2} \cdot \eta^4 \right] + (2-C_f) \cdot (\bar{W}^2 - 1) \quad (30)$$

式中, A' ——系数; $A' = \left(\frac{\psi}{2} - 1\right)$;

B ——系数, $B = \frac{\psi}{2}$ 。

汇合集箱压降分布:

$$\frac{P_{h\eta} - P_0^*}{\frac{W_0^2}{2} \cdot \rho} = \frac{\lambda \cdot L}{D^*} \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot \eta^3 \cdot \left(\frac{A'^2}{3} - \frac{A' \cdot B}{2} \cdot \eta + \frac{B^2}{5} \cdot \eta^2\right) - (2 - C_h) \cdot \left(\frac{A}{A^*}\right)^2 \cdot (2 \cdot \bar{W} - \bar{W}^2) \quad (31)$$

四、分析和讨论

图3表示分配集箱内流体速度变化曲线。图中实线是 $\phi^2 > 0$ 的情况, 虚线是表示 $\phi^2 = 0$ 的情况。由图可见, 当 $\phi^2 = 0$ 时, 在 ψ 值较小时, 无因次速度 \bar{W} 随 η 值的变化几乎呈线性变化, 但随 ψ 值增大, 偏离了线性分布。当 $\phi^2 > 0$ 时, 随 ψ 值增大, 无因次速度分布偏离线性分布愈严重。

图4表示并联管内流体速度分布曲线。图中实线表示 $\phi^2 > 0$, 虚线表示 $\phi^2 = 0$ 。由图可见, 当 $\phi^2 = 0$ 且 ψ 值较小时, 并联管内流体速度趋于均匀分布。在 $\phi^2 = 0$ 和 $\phi^2 > 0$ 时 ψ 值愈大, 则并联管内流体速度分布愈不均匀, 说明在并联管组中各根管内的流量相差大。图5表示并联管内流体压降分布曲线。

上述计算结果表明, 当 ϕ^2 一定时, 随 ψ 值减小, 并联管内流体分布愈均匀。由式(19)可见, 通过增加并联管阻力系数、加大分配集箱直径的方法, 可使 ψ 值减小。

由上分析可知, 保证并联管内速度均匀分布的条件是:

$$\phi^2 = 0, \psi = 0 \quad (32)$$

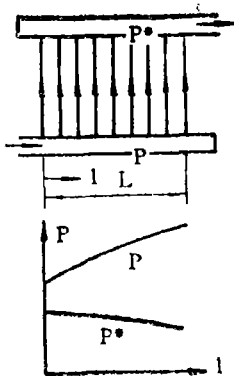


图 1 压降分布

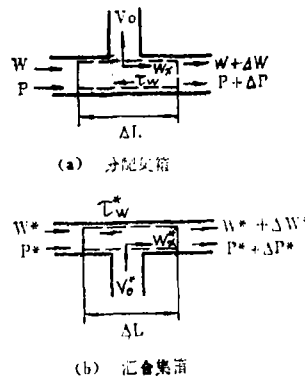


图 2 计算示意图

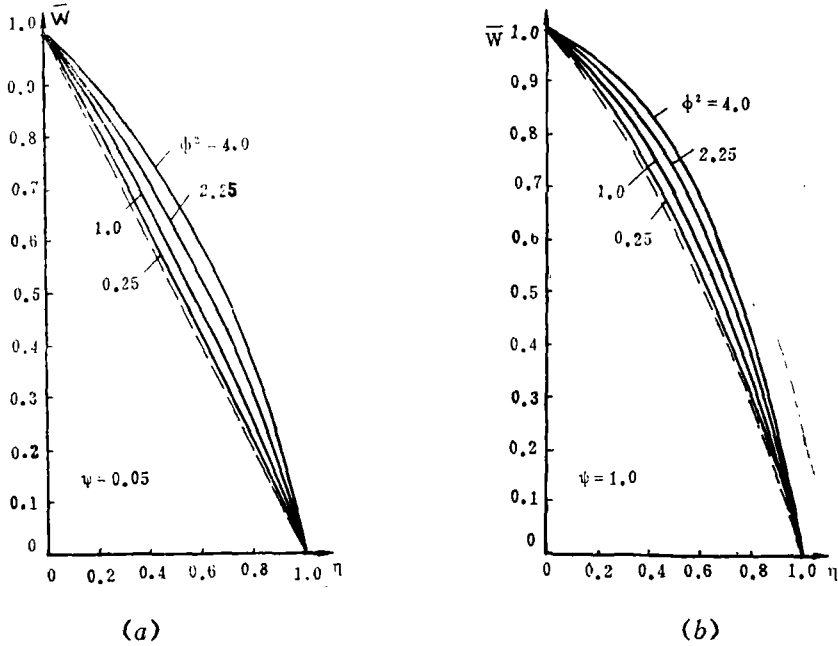


图 3 分配集箱中流体无因次速度变化规律

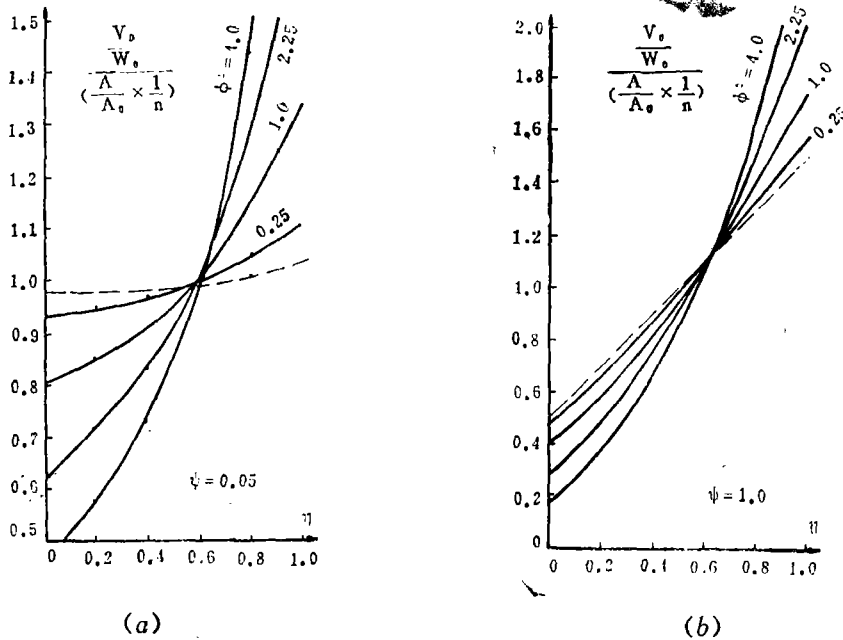


图 4 并联管内流体速度变化规律

此时有:

$$\bar{W} = (1 - \eta) \tag{33}$$

$$\left(\frac{V_0}{W_0}\right) / \left(\frac{A}{A_0} \cdot \frac{1}{n}\right) = 1.0 \tag{34}$$

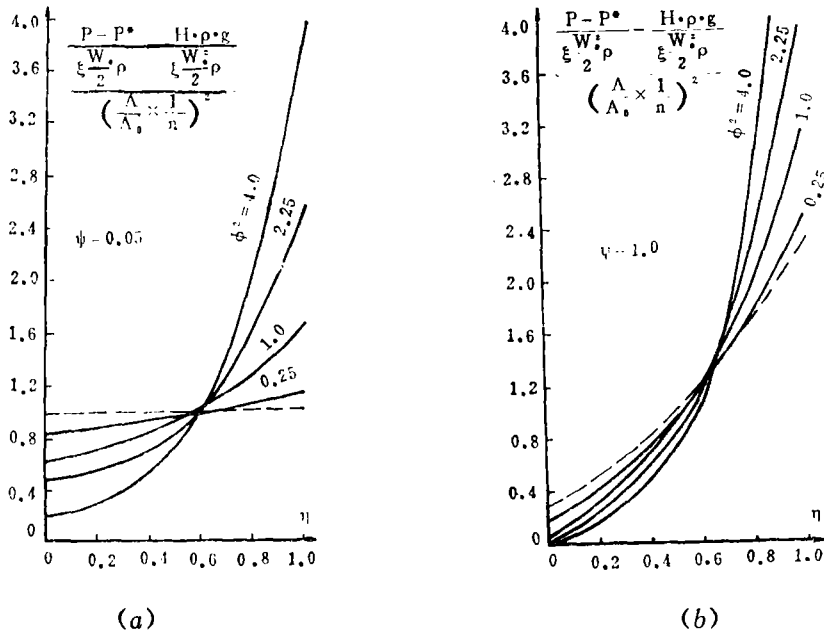


图 5 并联管内流体压降变化规律

实际上 ψ 不可能为 0，但在任一 ψ 值下， $\phi^2 = 0$ 对管内流体流速分布均能改善。由式 (19) 可得：

$$\frac{A}{A^*} = \left(\frac{2 - C_h}{2 - C_f} \right)^{0.5} \tag{35}$$

这一点在并联管组设计中很重要。如取 $C_f = 1.24$ 及 $C_h = 0$ ，自式 (35) 可算得分配集箱与汇合集箱的截面积比为 0.616，即汇合集箱的直径应为分配集箱直径的 1.27 倍，此时可使 Z 型布置并联管组中流体流量分配偏差最小。

工质在集箱内流动时实际速度变化是非连续的。若将集箱长度分成 N 等分，在这些离散点上方程 (19) 是适用的，并按龙格—库塔方法求解，可得到各离散点上的工质速度 \bar{W}_1 。计算结果表明，当 $\frac{S}{L} \leq 0.123$ 时，速度 \bar{W}_1 与假设工质在集箱内速度是连续变化时得到的工质速度 \bar{W} 之间的相对误差

$$\frac{|\bar{W}_1 - \bar{W}|}{\bar{W}} \cdot 100\% \text{ 不大于 } 1.0\%。$$

五、结 论

1. 本文基于质量守恒和动量守恒定律，导出了 Z 型布置并联管组的流动支配方程，得到了集箱和并联管内流体速度和压降计算式 (20) ~ (31)。
2. 并联管组的流动特征可用结构特性系数 ϕ^2 表示。

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, 1982.
- [2] Kunz,J.: Jets from manifold tubes. *ASME*. Vol. 53, 1931.
- [3] Keller, L.D. The manifold Problems. *J. Appl. Mech.*, p.77, 1949.
- [4] Hearter.H.A: Flow distribution and pressure change along slotted or branched ducts. *ASME*, No.1, 1963.
- [5] Bajure.R.A: A model for flow distribution in manifolds. *ASME*. No.1, 1977.
- [6] 洛克申B.A.等: 锅炉机组水力计算(标准方法), 电力工业出版社, 1981.

新技术新产品信息

No.R88—37 新型菱镁玻纤瓦 新型菱镁玻纤瓦是以无机材料为基材的新型建筑材料。该产品具有强度高、重量轻、防火、防水、保温、隔热、耐寒、耐腐蚀、不老化、经久耐用等特点。

该产品横向抗折 $\geq 200\text{kg}$ (石棉瓦为120kg)、纵向抗折 100kg (石棉瓦为70kg); 表面吸水率 $< 1.5\%$; 冰融试验: 在 $-40^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 情况下冻120分钟, 再在 $< 10^\circ\text{C}$ 的水中浸泡30分钟为一个循环, 共测定25个循环, 无起层、无裂纹。干湿试验: 在 60°C 下烘干120分钟, 再浸泡水中60分钟为一个循环, 共测定25个循环, 无起层和开裂现象。规格为 $1800 \times 720 = 5 \pm 1\text{mm}$, 重: $14 \pm 1\text{kg/片}$ 。

新型菱镁玻纤瓦是代替瓦楞铁、石棉瓦、粘土瓦等理想的新型建筑材料。瓦面光滑, 呈乳白色, 可制做成各种彩色花纹, 美观实用, 使用时不必再刷油漆或其它涂料。可按用户要求进行设计和加工。

No.R88—38 RPJ型油气燃烧器 RPJ型与RPY型互为姐妹型, 同样可适用于重油、原油、渣油和天然气等燃料。目前有配 2t/h , 4t/h , 6t/h , 10t/h , 20t/h , 30t/h 的系列设计, 调风器结构与RPY型相同, 喷雾器采用机械压力雾化或Y型蒸汽雾化, 调节范围达到1:3, 炉膛出口空气过剩

系数 ~ 1.1 , 调风器阻力损失 $150\text{mmH}_2\text{O}$ 以下采用更换雾化片的方式, 适于采暖、热水锅炉房。鉴定试验在 6t/h 炉上进行时, 锅炉额定负荷效率达 89.7% 。1988年4月通过黑龙江省省级成果鉴定。已批量推广。

No.R88—39 SZN型水管锅炉 为双锅筒(或双大集箱)纵置式双炉排逆向燃烧的自然循环水管锅炉。现有SZN0.1—0.9、SZN1—7、SZN6—4/95、SZN30—4/95、SZN60—4/95、SZN90—7/95六种锅炉。本型锅炉具有传热好、效率高、钢耗省、结构简单、制造容易、工作可靠、炉内除尘好等一系列优点。锅炉效率为 $72 \sim 75\%$, 钢耗量为1.73吨/蒸吨。1986年通过省级技术鉴定, 获得《技术鉴定证书》, 目前已有数以百计的锅炉在东北地区推广应用, 经济效益显著, 运行效果良好。

No.R88—40 SZL—13水管锅炉 为双锅筒纵置式链条炉排自然循环水管锅炉。本锅炉结构上有两大特色: 一是采用大块链条炉排片, 二是采用炉排下双侧进风的送风方式。锅炉效率高(达 76.5%)、工作安全可靠, 是传统的普通快装链条锅炉无法比拟的。1986年通过省级技术鉴定, 获得《技术鉴定证书》, 目前已在黑龙江省推广应用, 运行效果良好。

(如需以上技术或产品请与编辑部联系)

Isothermal Flow of Single-Phase Fluid in Parallel Tubes with Z Arrangement

Lu Huilin, Yang Lidan

(Harbin Institute of Technology)

Cheng Ren

*(Energy Saving Service Center, Fuel Department
under the State Material Bureau)*

Abstract

Based upon the laws of conservation of energy and mass, a governing equation for flows in parallel tubes with Z arrangement is derived and formulas for calculation of the pressure drops and velocities in the tubes are obtained. A characteristic structure factor featuring fluid flow in parallel tubes is proposed. Finally, the calculated results are analysed and discussed in this paper.

Key words: single-phase flow, Z type

Failure Diagnosis Techniques & MVC-2M Marine Plant Vibration Severity Monitor

Weng Weixiong, Liu Jinyuan, Guo Xueying, Xu Zukang, Zhao Qiwen

(Harbin Marine Boiler and Turbine Research Institute)

Abstract

This paper gives a brief description of the significance and role of the mechanical equipment vibration diagnosis techniques with a detailed explanation of the features and operating principle of the MVC-2M series vibration severity monitor.

Key words: vibration, failure diagnosis, failure monitoring system