

等雷诺数法在板式换热器 传热试验中的应用

欧阳新萍 陶乐仁
(上海理工大学)

[摘要] 在换热器的传热性能试验中,对流换热系数的测定是重要的一个组成部分,对流换热系数的测定方法有很多种,但都有各自的应用范围和条件。对于板式换热器而言,用等雷诺数法来获得其对流换热系数是比较合适的一种方法,文中介绍了等雷诺数法的原理及其在板式换热器中的应用。通过实例,介绍了具体的试验及计算方法。

关键词 等雷诺数法 板式换热器 传热试验

中图分类号 TK 172

0 引言

在换热器的传热性能试验中,除了要测得换热器的传热系数及流动阻力以外,往往还要进一步得到换热系数及其计算式。换热系数的测定方法有很多种,如壁面温度测定法、分离法等雷诺数法、瞬态法等。对于板式换热器而言,由于板片较薄、通道窄小,直接测量板片的温度比较困难,不宜采用壁面温度测定法。分离法则要求换热面两侧流体的对流换热系数相差较大,而板式换热器往往应用于液—液、液—蒸汽之间的热交换,两侧换热系数相差不大,故也不宜采用分离法。等雷诺数法要求换热面两侧流体通道几何相似,试验中两侧流体的雷诺数相等。板式换热器换热面两侧流体通道的结构相同,满足等雷诺法的基本应用条件,只要我们在试验中保持冷、热流体的雷诺数相等,即可用等雷诺法来获得对流体换热系数。

1 等雷诺数法在板式换热器 传热试验中的应用原理

对于具有冷热通道几何相似的板式换热器,如果两侧流体的流动雷诺数范围相同,冷、热通道流体的对流换热系数可用同一形式的准则方程式描述:

$$Nu = C Re^m Pr^n \quad (1)$$

分别用下标 1、2 表示热流体和冷流体,由式 (1) 可得:

$$T_1 = C Re_1^m Pr_1^{0.3} (\lambda_1 / d_1) \quad (2)$$

$$T_2 = C Re_2^m Pr_2^{0.4} (\lambda_2 / d_2) \quad (3)$$

传热热阻方程为:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{T_1} + \frac{W}{\lambda_w} + \frac{1}{T_2} \quad (4)$$

将式 (2)、(3) 代入式 (4),如传热在等雷诺数条件下进行,即: $Re_1 = Re_2 = Re$,则式 (4) 可整理成:

$$C Re^m = \frac{1}{(1/k) - (W/\lambda_w)} \left(\frac{1}{(\lambda_1/d_1) Pr_1^{0.3}} + \frac{1}{(\lambda_2/d_2) Pr_2^{0.4}} \right) \quad (5)$$

令式(5)等号右边部分以 P 表示, 然后在等式两边取对数, 整理得:

$$\ln P = \ln C + m \ln (Re) \quad (6)$$

式(6)是一个线性方程, 通过一系列工况点的试验, 可得到一系列的关于 $(\ln P, \ln Re)$ ($i = 1, 2, \dots$) 的数据, 按式(6)进行线

性回归, 即可得到 C, m 的数值, 再按式(2)、(3)计算, 可得到 T_1, T_2 的数值。

2 试验及计算结果

对 BR4 型板式换热器进行了传热性能试验, 该型板片的技术参数如表 1 所示, 换热器及试验装置如图 1 所示。

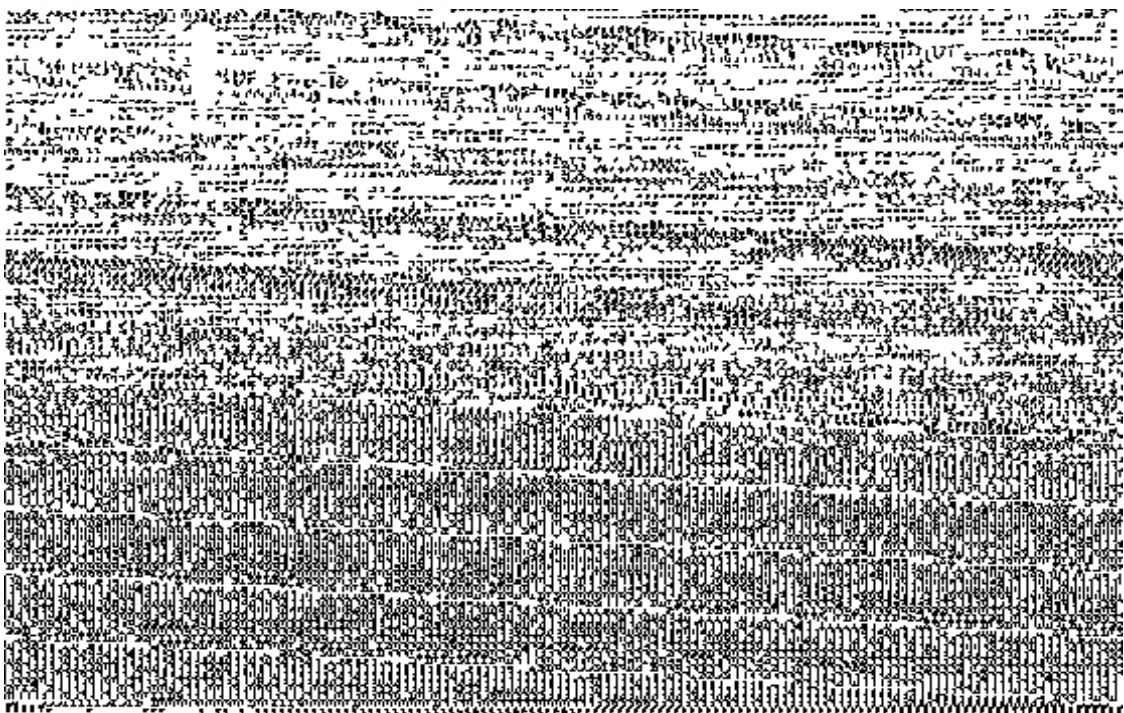


图 1 换热器及试验装置图

测量冷、热流体的进、出口温度及流量(流速), 按下式分别计算冷、热流体的换热量:

$$Q_1 = G_1 C_{p1} (t_1' - t_1'') \quad (7)$$

$$Q_2 = G_2 C_{p2} (t_2'' - t_2') \quad (8)$$

对每个工况计算热平衡 Z

$$Z = (Q_1 - Q_2) / Q_2 \quad (9)$$

如果热平衡的绝对值 $|Z| < 3\%$, 认为试验数据可靠, 予以采纳。按下式计算传热系

数:

$$K = Q_2 / (A \cdot \Delta t_m \cdot h) \quad (10)$$

式中, 温差修正系数 h 的查取可参考文献 1。2 值得注意的是, 如果试验的板片数较少(如 5~10 片), 则还要考虑温差的端部效应。因为对于板式换热器, 中间通道的流体与两侧板片进行热交换, 而最边上两个通道的流体只与一侧板片进行热交换。因此边上通道流

体的温差与中间通道流体的温差不同,此即板式换热器中温差的端部效应,也要考虑温差的修正。端部效应的温差修正可参考文献 3

为了保证冷、热流体的雷诺数相等,我们在试验中保持冷热流体的流速基本相等,并且冷、热流体之间的温差取得较小,且冷、热流体采用相同的工质——水,这样,冷、热流体的物性也基本相等,从而保证冷、热流体的雷诺数基本相等。值得注意的是,尽管静态的板式换热器冷、热两侧通道几何相似,但流体运行以后,如果冷、热流体的压力不同,有些型号的板式换热器板片会有一些变形(这种微小变形是允许的),从而会影响冷、热通道几何相似这一等雷诺数法的基本应用条件。因此,在试验过程当中,应该保持冷、热通道流体的压力基本相等,这可由换热器进出口处的阀门来调节,由压力表监视。

试验数据如表 2所示。根据表 2中的数据,采用等雷诺数法,得到该型板式换热器的对流换热系数准则方程式:

$$Nu = 0.0864Re^{0.792}Pr^n \quad (11)$$

式中,当流体被加热, $n = 0.4$,当流体被冷却, $n = 0.3$

该准则式的应用范围: $Re = 1000 \sim 20000$

3 结 论

用等雷诺数法对板式换热器进行传热性能试验是可行的,但要保证等雷诺数法的基本应用条件。如板片两侧的压力维持相等;冷、热流体选同一工质、每个工况保持基本相同的流速;试验的温差选取较小。这样才能保证试验的准确性。

表 1 BR4型板片及试件参数

外型尺寸 $L \times B$	1385 × 488mm	单片有 效面积	0.41m ²	试件板片数	5
试件流程	(2 × 1) / (2 × 1)	试件传 热面积	1.23m ²	板片厚度W	0.8mm
板间距 b	5.4mm	当量直径d _H	9.2mm	角孔直径	120mm
波纹角度	120°	波纹深度	5.1mm	波纹间距	16mm
波纹形状	人字型	板片材料	不锈钢	流道截面积	0.00189m ²

表 2 BR4型板式换热器试验数据

工况点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
热水进口温度(°C) t'_1	55.40	55.25	55.35	55.15	55.20	55.25	55.10	55.30	55.20	55.00
热水出口温度(°C) t''_1	45.85	46.35	46.75	46.70	46.60	46.70	47.30	47.55	47.40	47.50
冷水进口温度(°C) t'_2	40.10	40.05	40.25	40.15	40.10	40.15	40.30	40.15	40.15	40.05
冷水出口温度(°C) t''_2	49.60	49.25	48.95	48.90	48.75	48.50	48.30	47.95	47.75	47.50
热水质量流量(kg/s) G_1	0.289	0.392	0.563	0.660	0.765	0.936	1.237	1.485	1.680	1.940
冷水质量流量(kg/s) G_2	0.284	0.383	0.576	0.650	0.757	0.948	1.219	1.516	1.700	1.890
热水放热量(W) Q_1	11525	14553	20223	29127	45533	42040	26648	03354	72160	733
冷水吸热量(W) Q_2	11266	14715	20906	23703	33233	03040	69649	35453	95958	707
热平衡(%) Z	2.30	-1.10	-3.27	-1.74	0.45	1.18	-1.06	-2.68	1.41	3.45
对数平均温差(°C) Δt_m	5.89	6.15	6.45	6.41	6.47	6.65	6.90	7.37	7.35	7.47
温差修正系数	0.74	0.76	0.80	0.83	0.85	0.87	0.90	0.92	0.93	0.93
传热系数[W/(m ² ·°C)] K	2143	2560	3294	3623	4038	4642	5328	5914	6418	6866
热水流速(m/s) V_1	0.155	0.210	0.302	0.354	0.410	0.502	0.663	0.796	0.901	1.040
冷水流速(m/s) V_2	0.152	0.205	0.308	0.348	0.405	0.507	0.652	0.811	0.910	1.010

(下转 130页)

* * HHH→ 图标菜单的子菜单名

[THIS IS HEATING ICON]

[R (B02)] ^ C ^ C INSERT; B02; \

[R (B03)] ^ C ^ C INSERT; B03; \

[R (B05)] ^ C ^ C INSERT; B05; \

[R (B08)] ^ C ^ C INSERT; B08; \

中断前面命令,插入图块 B08. DWG

显示幻灯片库 R. SLB中的 B08. SLD幻灯片

→ 图标菜单标题

→ 点取此项时,将名为

B02. DWG的块文件插入

图形,插入比例采用

交互式方式,由用户输入比例和角度,以下同理

此时,已完成结合幻灯片的菜单设计,储存修改后的 ACAD. MNU文件,退出文本编辑软件. 进入 AUTOCAD的图形方式下进行测试,会看到下拉式菜单区增加了 ICON菜单,可随时按用户要求插入适当比例的图形

总之,以上介绍的只是一种方法,用户可以根据自己需求,建立不同类别的多个子菜单

参考文献(略)

(上接第 120页)

Pr: 普朗特数

符号说明

Q: 换热量	W
G: 质量流量	kg /s
C _p : 比热	J/(kg · °C)
i, i': 流体的进、出口温度	°C
下标 1 2分别表示热冷流体	
k: 传热系数	W/(m ² · °C)
λ _w : 壁面导热系数	W/(m · °C)
Nu = T _d λ, Re = Vd ρ	
T: 对流换热系数	W/(m ² · °C)
d: 当量直径	m
λ: 流体导热系数	W/m · °C
V: 流速	m/s
ρ: 粘度	m ² /s

参考文献

- 1 王中铮,史美中.热交换器原理与设计.南京:东南大学出版社,1988
- 2 (日本)尾花英郎.热交换器设计手册.北京:烃加工出版社,1987
- 3 兰州石油机械研究所.换热器.北京:烃加工出版社,1988
- 4 周聘冠.换热器原理及计算.北京:清华大学出版社,1987

作者简介: 欧阳新萍 男 1964年生 工程师:上海理工大学冷暖工程应用研究所副所长(联系地址: 200093 上海军工路 516号上海理工大学 407信箱)

the structural features specific to the raw material return feed valve used during the present test. An analysis is conducted of the transport characteristics curves and gas-solid ratio curves obtained from the test, thus creating a fine basis for realizing the industrial application of the steam-gas-electricity triple production. Key words: steam-gas-electricity triple production, return feed valve, maximum gas-solid ratio, start-up air flow

供热供电煤耗计算方法 = A Method for Calculating Coal Consumption of Heat and Electricity Supply [刊, 中] / Chen Yingmao (Nantong Thermal Power Plant) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 112~ 114

Based on the computation of specific examples this paper proposes a simple and practical method for coping with the existing discrepancies encountered during the calculation of coal consumption for heat and electricity supply. Also given are some points requiring special attention in the evaluation of norms of coal consumption for electricity supply. Key words: coal consumption of heat and electricity supply, computation

遗传算法在透平性能在线诊断神经网络中的应用 = The Application of Genetic Algorithms to Neural Networks for the Diagnosis of Turbine Online Performance [刊, 中] / Gao Hongtao, Huang Zhongyue (Dalian University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 115~ 117

In applying neural networks for the diagnosis of turbine online performance it is of vital importance to select proper input variables for the neural networks from a variety of related processing variables and environmental ones in order to ensure success. Genetic algorithms have been employed in this paper to guide the search for an optimal combination of inputs for the neural networks used to diagnose the turbine online performance with a view to achieving the criteria of fewer inputs, faster training and more accurate recall. The results of the present study have shown that the neural networks with fewer inputs selected by the genetic algorithms are capable of making an accurate diagnosis of the turbine online performance. Key words: neural network, genetic algorithm, turbine performance, failure diagnosis

等雷诺数法在板式换热器传热试验中的应用 = The Application of Equal Reynolds Number Method in the Heat Transfer Test of Plate Heat Exchangers [刊, 中] / Ouyang Xinping, Tao Leren (Shanghai University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 118~ 120

The determination of convection heat exchange factors constitutes a major element in the heat transfer performance test of heat exchangers. A multitude of methods can be used to determine the convection heat transfer factors with their respective application scope and conditions. So far as plate heat exchangers are concerned, equal Reynolds number method can be considered as a fairly appropriate one. The present paper describes the working principle of the equal Reynolds number method and its use for the plate heat exchangers. Specific examples are given to illustrate their test and computation methods. Key words: equal Reynolds number method, plate heat exchanger, heat transfer test

工业锅炉计算机辅助设计系统的尝试 = A Preliminary Attempt in the Application of a Computer Aided Design System for Industrial Boilers [刊, 中] / Li Juru, Dong Shen, Wang Wenyu (Harbin Architectural Engineering University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 121~ 123

This paper deals with a computer aided design system for industrial boilers, which integrate