

文章编号:1671-6833(2012)03-0076-04

三角形布管方式下两种换热器传热与流阻性能研究

古新, 刘冰, 董其伍, 刘敏珊, 王永庆

(郑州大学 河南省过程传热与节能重点实验室, 河南 郑州 450002)

摘要:采用CFD数值模拟方法和折流板换热器、帘式折流片换热器周期性全截面计算模型,对两种换热器在正三角形布管方式下的传热系数、阻力、综合性能随 Re 数的变化情况进行了数值研究。研究结果表明,两种换热器对应的换热系数和壳程压力损失均随 Re 数的增加而增大,折流板换热器的传热系数大于帘式折流片换热器,约是帘式折流片的1.32倍,但其阻力大幅高于帘式折流片换热器,是帘式折流片换热器的2.4倍左右,两种换热器的综合性能均随 Re 数的增大而下降,帘式折流片换热器的 $\alpha/\Delta P$ 几乎是折流板换热器的2倍,体现了帘式折流片换热器在保持较高的传热效果的情况下,具有显著的流动减阻性能。

关键词:换热器;折流板;帘式折流片;数值模拟

中图分类号: TK124

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.03.019

0 引言

由于管壳式换热器结构坚固、可靠性高、易于制造、传热效率高等特性而成为化工领域目前应用最广泛的换热设备之一^[1]。近年来,强化传热技术发展十分迅速,尤其是壳程扰流结构的发展。大体上分为横向流、纵向流和螺旋流。横向流的代表是折流板换热器,它存在传热死区多、阻力大、易结垢等问题。纵向流主要是折流杆换热器,它虽然克服了横向流的一些弊端,但它在低 Re 下传热效果不佳。螺旋流主要是螺旋折流板换热器,它的壳程流速比较均匀,壳程压力比较小,但它的制造和安装非常复杂,所以也没有得到广泛应用^[2-3]。

后来提出了斜向流,其代表是帘式折流片换热器,它充分利用了横向流和纵向流换热器的双重优势,既充分利用了横向流的强烈冲刷管束的作用,从而提高了传热性能,消弱了流动死区,又由于它在总体上还是纵向流的趋势,所以充分利用了纵向流的优势,即减小了壳程压力损失、提高了抗振性能和除垢防垢效果^[4]。笔者在前人研究的基础上,研究了折流板与帘式折流换热器的传热与流阻性能。

1 数值模拟及分析方法

1.1 流体动力学控制方程

流体流动受物理守恒规律的支配,包括^[5-6]

质量守恒方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0; \quad (1)$$

动量守恒方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \text{div}(uU) &= \text{div}(u \text{grad} u) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \text{div}(vU) &= \text{div}(v \text{grad} v) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}; \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \text{div}(wU) &= \text{div}(w \text{grad} w) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}; \end{aligned} \quad (2)$$

能量守恒方程:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \text{div}(UT) = \text{div}\left(\frac{\lambda}{\rho c_p} \text{grad} T\right) + \frac{S_T}{\rho}. \quad (3)$$

1.2 几何模型

管壳式换热器一般都具有周期性的特点,即壳程沿流动方向可以划分为进口段、周期性充分发展段和出口段。一般来说,换热器壳程大部分换热段都处于周期性充分发展段,此区域的流体流动和传热性能基本上反映了换热器的整体性能。故数值模拟常常选择此区域进行分析求解。在简

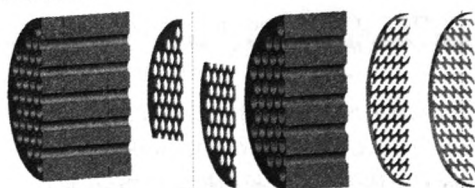
收稿日期:2011-12-19;修订日期:2012-02-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51006092)。

作者简介:古新(1978-),男,郑州大学副教授,博士,主要从事重大过程装备强化传热机理和结构的教学和科研工作, E-mail: guxin@zzu.edu.cn.

化了换热器的几何结构后,可建立周期性全截面计算模型,由于结构的对称性,为了计算快捷,建模时取相对称的半个实体即可^[7],如图1和图2所示。

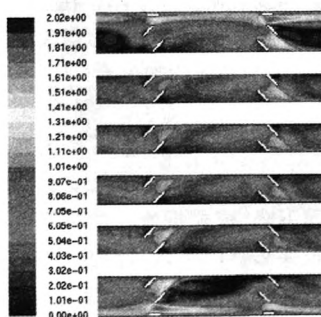
换热器壳体尺寸为 $\Phi 273\text{ mm} \times 6\text{ mm}$,换热管尺寸为 $\Phi 19\text{ mm} \times 2\text{ mm}$,73根,布管方式均为三角形布管。以常温下的水作为壳程介质,换热管壁保持 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温,对不同 Re 数下的折流板和帘式折流片换热器壳程流体流动和传热特性进行数值模拟分析。



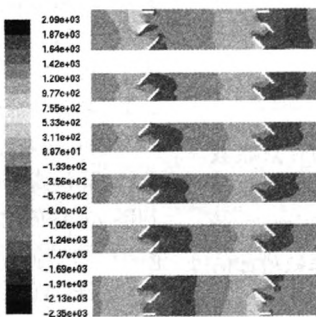
(a) 折流板换热器 (b) 帘式折流片换热器

图1 两种类型换热器

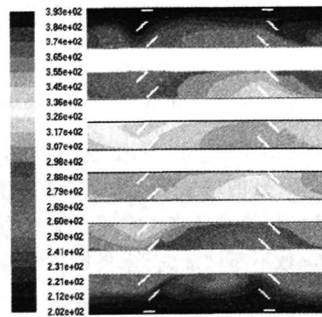
Fig.1 Heat exchanger of two types



(a) 速度云图



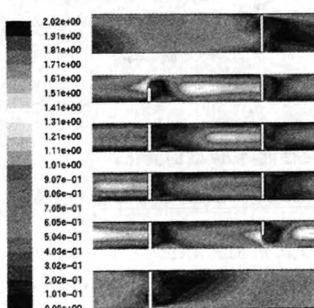
(b) 压力云图



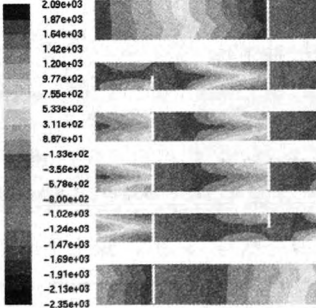
(c) 温度云图

图2 帘式折流片换热器

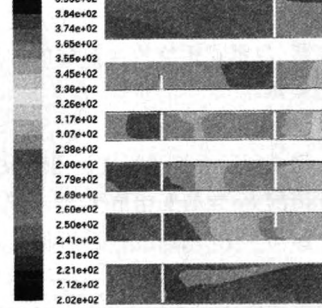
Fig.2 Shutter baffle heat exchanger



(a) 速度云图



(b) 压力云图



(c) 温度云图

图3 折流板换热器

Fig.3 Baffle-plate heat exchanger

1.3 计算方法和边界条件

计算区域网格划分时采用分块划分、结构化和非结构化网格相结合的方式,近壁节点采用壁面函数法处理,稳态隐式格式求解,采用标准 $k-\epsilon$ 湍流模型计算湍流参量的影响;控制体积界面的物理量均应用二阶迎风差分格式获取;压力速度耦合采用SIMPLE算法。进出口为周期性边界条件;壳体壁面和管束支撑装置采用不可渗透、无滑移绝热边界条件。能量方程收敛精度达到 10^{-7} ,其他方程收敛精度达到 10^{-4} 以下。

2 数值模拟结果

笔者是在壳程 Re 分别为4 000,6 000,8 000,10 000,12 000,14 000,16 000,折流板和帘式折流片间距均为100 mm,帘式折流片为对称方式布置,倾斜角度为 45° 情况下进行的模拟分析。

图2,3为 Re 为10 000时,帘式折流片换热器和折流板换热器对称面上的速度、压力、温度分布云图。

从图 2,3 云图可以看出,帘式折流片换热器实现了流体的斜向流动状态.流体总体上还是纵向流动,由于折流片的斜向导流作用,斜向冲刷管束.由这些云图可知,流体流经折流片和折流板时,由于流通面积突然缩小,故速度迅速增大,对换热管产生了强烈的冲刷作用,并形成了高压区.流过折流片和折流板之后,流速下降,压力降低.由云图可知,折流板前后的速度、压力、温度变化范围均大于帘式折流片前后的变化范围.

2.1 传热性能分析

图 4 为折流板换热器和帘式折流片换热器对应于不同 Re 数时,传热系数的变化趋势图.

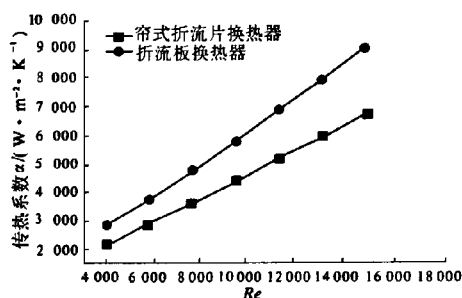


图 4 传热系数随 Re 的变化

Fig. 4 Curves of heat transfer coefficient and Re

从图 4 中可以看出,两种换热器的传热系数均随 Re 数的增加而增大,相同 Re 数下,折流板换热器的传热系数高于帘式折流片换热器.并且,随着 Re 数不断增加,折流板换热器传热系数增加的幅度大于帘式折流片换热器.

这是由于折流板垂直于筒体轴向方向布置,壳程流体总体上呈“Z”字型流动,横向冲刷管束,在低 Re 数下就能达到湍流状态,在壳程近壁区域减薄并破坏了边界层,故传热得到了大大的强化.帘式折流片换热器其壳程流体是斜向流动,湍动作用没有折流板强烈,折流片的扰流作用也不及折流板,故帘式折流片换热器的传热系数低于折流板换热器.

2.2 壳程压降损失

图 5 所示为折流板换热器和帘式折流片换热器压降随 Re 数的变化情况.

从图 5 中明显看出,折流板换热器的压降远远高于帘式折流片换热器,其压降是帘式折流片换热器的 2.4 倍左右.随着 Re 的增加,两种换热器的压降均增大,且折流板换热器压降增加的幅度大于帘式折流片换热器.

究其原因,随着 Re 数的增大,两种换热器壳

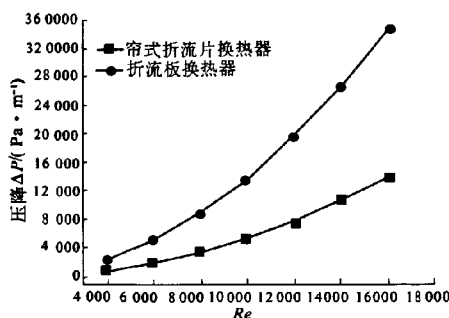


图 5 压降随 Re 数的变化

Fig. 5 Curves of pressure drop and Re

程流体流动的湍动效果均被加强,从而使得因流体返混及折流板、折流片阻挡而造成的沿程阻力损失增加,表现为压降均呈增大的趋势.折流板换热器壳程流体受到折流板的横向阻挡,还得反复翻越折流板,故其流体流动阻力是相当大的.对于帘式折流片换热器,由于折流片的导向和扰动作用,壳程流体倾斜流动,总体上还是纵向流动趋势,其流动比较平缓,折流片附近几乎不存在任何流动死区,从而抑制了可能造成较大阻力损失的因素,极大地减小了壳程整体阻力损失.

2.3 综合性能分析

图 6 为两种换热器的综合性能随 Re 数的变化情况.从图中可以看出,两种换热器的综合性能均随 Re 数的增大而下降,帘式折流片换热器的 $\alpha/\Delta P$ 几乎是折流板换热器的 2 倍,说明帘式折流片换热器的综合性能优于折流板换热器.

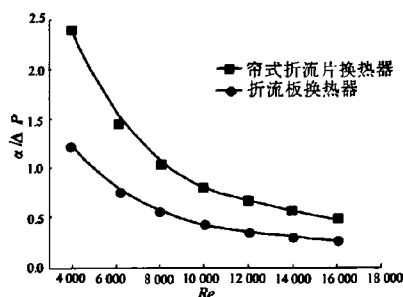


图 6 综合性能随 Re 数的变化

Fig. 6 Curves of comprehensive performance and Re

这主要是因为帘式折流片换热器充分利用了横向流对换热器强烈的冲刷作用引起的边界层消弱的优势,又充分利用了纵向流换热器的优势,削弱了折流板换热器壳程流体因受到折流板横向阻挡和翻越折流板导致的压力损失,壳程流体在倾斜通道中受迫形成射流,对主流区流体的吸卷和

扰动作用强烈,有助于进一步提高主流区的湍动程度和平均流速。虽然其传热系数稍低于折流板换热器,但其压降却远远小于折流板换热器,故其综合性能优于折流板换热器。

3 结论

三角形布管方式下两种换热器的传热系数均随 Re 数的增加而增大,相同 Re 数下,折流板换热器的传热系数高于帘式折流片换热器的传热系数,约是帘式折流片的 1.32 倍,且随 Re 数的增大,折流板换热器的传热系数增加幅度稍微大点。

折流板换热器的压降远远高于帘式折流片换热器,其压降是帘式折流片换热器的 2.4 倍左右。随着 Re 数的增加,两种换热器的压降均增大,且折流板换热器压降增加的幅度大于帘式折流片换热器。

以 $\alpha/\Delta P$ 作为衡量标准,两种换热器的综合性能均随 Re 数的增大而下降,帘式折流片换热器的 $\alpha/\Delta P$ 几乎是折流板换热器的 2 倍,说明帘式折流片换热器的综合性能优于折流板换热器。帘式折流片换热器的这种结构特点对于节能降耗的研究改造具有重要意义。

参考文献:

- [1] 张少维,周荣兰,桑芝富. 折流板间距对换热器性能影响的数值研究[J]. 南京工业大学学报,2005,27(3):65-68.
- [2] 赖学江,戴勇,黄素逸. 花板换热器与单弓形折流板换热器对比实验研究[J]. 化学工程,2008,36(12):14-17.
- [3] Zhang Jian-fei, Li Bin, Huang Wen-jiang. Experimental performance comparison of shell-side heat transfer for shell-and-tube heat exchangers with middle-overlapped helical baffles and segmental baffles [J]. Chemical Engineering Science, 2009, 64 (8): 1643 - 1653.
- [4] 古新,董其伍,刘敏珊,等. 导向型折流栅强化换热器壳程传热的数值模拟[J]. 核动力工程,2010,31(2):113-116.
- [5] 陶文铨. 数值传热学[M]. 2版. 西安:西安交通大学出版社,2001:488-490.
- [6] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [7] 古新,董其伍,刘敏珊. 周期性模型在管壳式换热器数值模拟中的应用[J]. 热能动力工程,2008,23(1):64-68.

Performance Investigation of Heat Transfer and Flow Resistance in Two Kinds of Heat Exchangers of Tube Bundle Arrangement with Equilateral Triangles

GU Xin, LIU Bing, DONG Qi-wu, LIU Min-shan, WANG Yong-qing

(Key Laboratory of Process Heat Transfer and Energy Saving of Henan Province, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In this paper, CFD numerical simulation and periodic whole cross-section computation model of baffle-plate heat exchanger and shutter baffle heat exchanger which tube bundle arrangement with equilateral triangles are adopted to study the changes of the performance of heat transfer coefficient, flow resistance, comprehensive performance with Re . The simulation results indicate that two kinds of heat exchangers' heat transfer coefficient and shell-side pressure loss increases with the increase of Re , baffle-plate heat exchanger' heat transfer coefficient is greater than shutter baffle heat exchanger, it is about 1.32 times larger than shutter baffle heat exchanger, but the pressure drop is much greater than shutter baffle heat exchanger, it is about 2.4 times larger than shutter baffle heat exchanger, their comprehensive performance decline with the increase of Re , $\alpha/\Delta P$ of shutter baffle is almost 2 times larger than baffle-plate heat exchanger, this reflects shutter baffle heat exchanger has significant flow drag reduction performance in the case of higher heat transfer.

Key words: heat exchanger; baffle-plate; shutter baffle; numerical simulation