

折流杆换热器的数值模拟及优化设计

马雷 王英双 杨杰 刘志春 刘伟

(华中科技大学能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要 在折流杆换热器的基础上, 以水为流动介质, 采用数值计算的方法, 对不同折流杆杆型与间隔组合的折流杆式换热器进行流动与传热特性的分析。结果表明, 折流杆杆型为椭圆杆, 折流杆间隔为 120 mm 时, 性能最好。

关键词 换热器; 折流杆; 数值模拟; 强化传热

中图分类号: TK123 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2011)03-0462-03

Numerical Simulation of Rod Baffle Heat Exchangers and its Optimum Design

MA Lei WANG Ying-Shuang YANG Jie LIU Zhi-Chun LIU Wei

(School of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract In this paper, the flow and heat transfer characteristics with water on combinations of rod baffle with different types and distances is analyzed on the method of numerical simulation on the basis of rod baffle heat exchanger. The simulation result indicates that the rod baffle type of ellipse as well as rod baffle distance of 120 mm shows the best performance.

Key words heat exchanger; rod baffle; numerical simulation; heat transfer enhancement

0 引言

折流杆换热器用折流杆代替传统的折流板支撑管束, 这使得制造和安装更加方便, 重量和成本更低, 与传统的折流板式换热器相比, 壳程流体由折流板支撑时的横向冲刷管束变为纵向冲刷管束, 有效地控制了当雷诺数较大时换热器管束间流体的诱导振动, 减小了壳程阻力, 提高了传热效率, 并具有较强的抗结垢能力以及较长的使用寿命^[1~3], 这些已获得了工程界的认同。我国在 20 世纪 80 年代引进折流杆换热器, 对其开展了大量的研究工作, 并应用于实际生产中。但是对于折流杆换热器强化传热机理方面的研究, 目前国内外还比较少。为了充分发挥折流杆换热器的优越性, 本文从折流杆杆型和折流杆间距着手, 对折流杆换热器进行流动与传热特性的分析与优化设计。

1 物理模型

在折流杆换热器中, 根据换热管在壳体内, 布置的对称性, 取四根管所包围的流体流动空间计算模型, 如图 1 所示。

为了简化计算, 对计算单元流道内流体的工况做如下假设^[4]: (1) 流体的热物性参数如 ρ, μ, c_p, λ

等均为定值; (2) 流动状态为稳态流动; (3) 流体为不可压缩流体, 各向同性, 且为连续介质; (4) 流体为牛顿流体; (5) 忽略重力的影响。

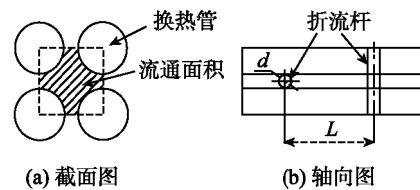


图 1 计算单元
Fig. 1 Flow unit duct

本文采用 FLUENT 软件进行模拟, 管壁温度取为定值 350 K; 每两根管子之间的计算单元流体边界为对称边界; 流体进口温度为 20°C。换热管型号为 $\frac{\partial(\rho u \phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v \phi)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w \phi)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + S$ 25×2, 间距为 32 mm, 管长 1.2 m; 折流杆直径为 6 mm, 间距采用 80 mm, 100 mm, 120 mm 三种。

本文采用两根折流杆夹一根换热管的形式, 折

收稿日期: 2010-12-06; 修订日期: 2011-01-31

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (No.2007CB206903); 国家自然科学基金 (No.51036003; No.50721005) 资助项目

作者简介: 马雷 (1986-), 男, 吉林长春人, 博士研究生, 主要从事强化传热与换热器的理论和实验研究。

流杆杆型分别采用圆杆、方杆、椭圆杆。圆型折流杆的参数如前所述; 方型折流杆的边长为 6 mm, 其余尺寸与圆型相同; 椭圆型折流杆的短轴为 6 mm, 长轴为 9 mm, 采用横放的来流方式, 其余尺寸与圆型相同。计算过程采用水作为工作流体。

2 数值模拟结果及分析

2.1 相同折流杆间距时, 不同折流杆杆型的比较

通过对雷诺数 3000~21000 范围内的数值计算, 图 2~4 显示相同折流杆间距时, 不同折流杆杆型下 Nu 数的比较。由图中曲线可看出, 随着 Re 数的增加, 折流杆的扰流作用更加强烈, 且相同折流杆间距时, 方杆的换热最强, 其 Nu 数明显高于圆杆和椭圆杆, 这是因为计算单元内, 在方杆的扰动下能产生更多的涡, 增加了流体核心流区域的扰动, 使核心流区域的流体温度更加均匀 [5,6], 从而使换热效果明显增强。

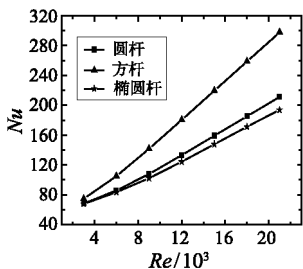


图 2 折流杆间距为 80 mm 时不同折流杆型 Nu 比较
Fig. 2 Comparison of Nu for distance of 80 mm with different rod baffles

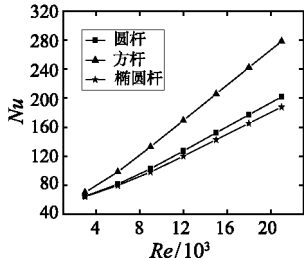


图 3 折流杆间距为 100 mm 时不同折流杆型 Nu 比较
Fig. 3 Comparison of Nu for distance of 100 mm with different rod baffles

图 5~7 显示了相同折流杆间距时, 不同折流杆杆型下 f 的比较, 由图中曲线可以看出, 方杆的阻力系数最大, 而椭圆杆的阻力系数最小, 圆杆阻力处于两者之间。这是因为椭圆杆形状更接近流线型, 对流体流动的阻碍最小, 从数据中可以得到, 方杆的阻力系数是圆杆和椭圆的 2 倍左右。

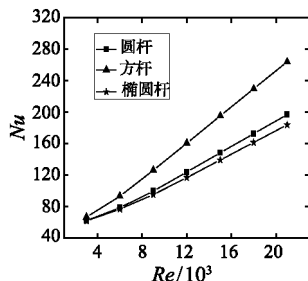


图 4 折流杆间距为 120 mm 时不同折流杆型 Nu 比较
Fig. 4 Comparison of Nu for distance of 120 mm with different rod baffles

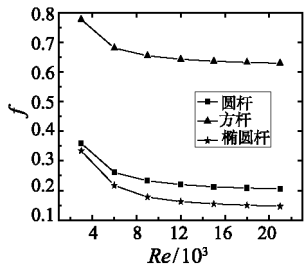


图 5 折流杆间距为 80 mm 时不同折流杆型 f 比较
Fig. 6 Comparison of f for distance of 80 mm with different rod baffles

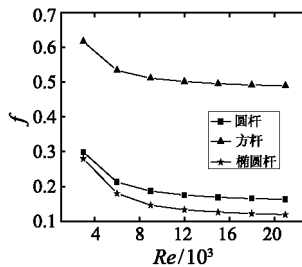


图 6 折流杆间距为 100 mm 时不同折流杆型 f 比较
Fig. 6 Comparison of f for distance of 100 mm with different rod baffles

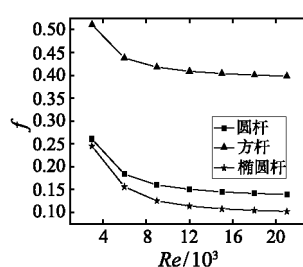


图 7 折流杆间距为 120 mm 时不同折流杆型 f 比较
Fig. 6 Comparison of f for distance of 120 mm with different rod baffles

本文中采用性能评价指标 $h/\Delta P$ 来评价不同折流杆换热器的换热与流动的综合性能, 由图 8~10 所示, 相同折流杆间距时, 椭圆型折流杆换热器的效果最好, 而方型折流杆的效果最差, 这是因为方型折流杆对流体的阻力作用远大于其相应换热增强的能力。

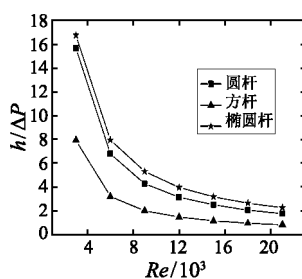


图 8 折流杆间距为 80 mm 时不同折流杆型 $h/\Delta P$ 比较
Fig. 8 Comparison of $h/\Delta P$ for distance of 80 mm with different rod baffles

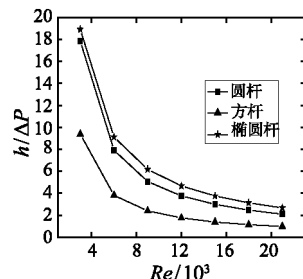


图 9 折流杆间距为 100 mm 时不同折流杆型 $h/\Delta P$ 比较
Fig. 9 Comparison of $h/\Delta P$ for distance of 100 mm with different rod baffles

2.2 相同折流杆杆型时, 不同折流杆间距的比较

图 11~13 显示了相同折流杆杆型, 不同折流杆间距对 Nu 的影响, 由曲线易得, 折流杆间距为 80 mm 时, Nu 最大, 即绕流效果最好, 因为对于 1.2 m 的换热管, 在计算单元内, 折流杆间距越小,

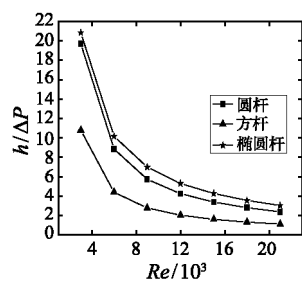


图 10 折流杆间距为 120 mm 时不同折流杆型 $h/\Delta P$ 比较
Fig. 10 Comparison of Nu for spacing of 120 mm with different rod baffles

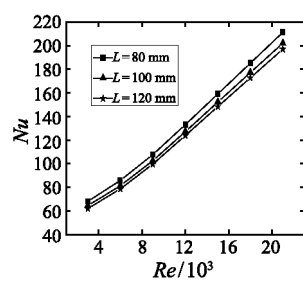


图 11 折流杆杆型为圆杆时不同折流杆间距 Nu 比较
Fig. 11 Comparison of Nu for round rod with different distance

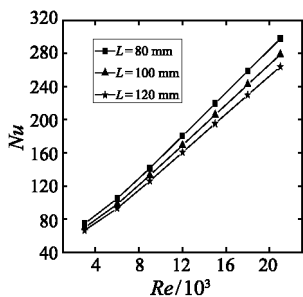


图 12 折流杆杆型为方杆时不同折流杆间距 Nu 比较
Fig. 12 Comparison of Nu for square rod with different distance

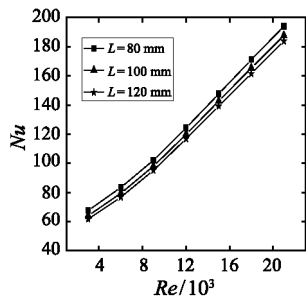


图 13 折流杆杆型为椭圆杆时不同折流杆间距 Nu 比较
Fig. 13 Comparison of Nu for elliptical rod with different distance

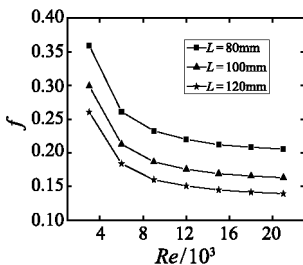


图 14 折流杆杆型为圆杆时不同折流杆间距 f 比较
Fig. 14 Comparison of f for round rod with different distance

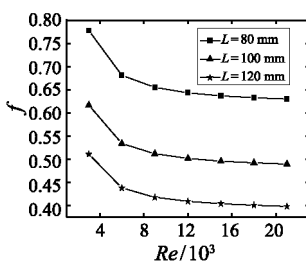


图 15 折流杆杆型为方杆时不同折流杆间距 f 比较
Fig. 15 Comparison of f for square rod with different distance

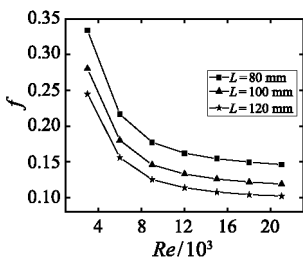


图 16 折流杆杆型为椭圆杆时不同折流杆间距 f 比较
Fig. 16 Comparison of f for elliptical rod with different distance

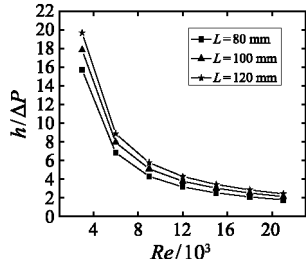


图 17 折流杆杆型为圆杆时不同折流杆间距 $h/\Delta P$ 比较
Fig. 17 Comparison of $h/\Delta P$ for round rod with different distance

折流杆数目就越多, 就能造成更大的扰动, 使 Nu 更大。图 14~16 显示了相同折流杆杆型, 不同折流杆间距对 f 的影响, 由曲线显然可以看出, 折流杆间距为 80 mm 时, 阻力最大, 而为 120 mm 时阻力最小, 原因正如上述, 折流杆间距越小, 折流杆的数目就越多, 虽然可以造成更大的扰动, 但是却是以增大阻力为代价的。

图 17~19 显示了相同折流杆杆型, 不同折流杆

间距对综合性能评价指标 $h/\Delta P$ 的影响, 由图中曲线可以看出, 相同折流杆杆型时, 当折流杆间隔为 120 mm, 综合效果最好。

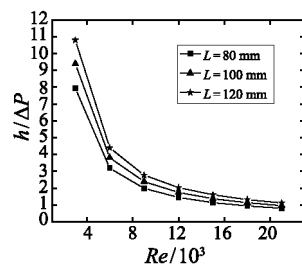


图 18 折流杆杆型为方杆时不同折流杆间距 $h/\Delta P$ 比较
Fig. 18 Comparison of $h/\Delta P$ for square rod with different distance

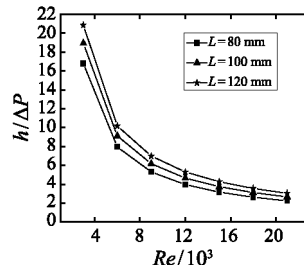


图 19 折流杆杆型为椭圆杆时不同折流杆间距 $h/\Delta P$ 比较
Fig. 19 Comparison of $h/\Delta P$ for elliptical rod with different distance

3 结 论

(1) 不同折流杆杆型中, 椭圆折流杆的效果最好, 方型折流杆的效果最差。

(2) 不同折流杆间距时, 当间隔为 120 mm 时, 效果最好, 相比间隔 80 mm 和 100 mm 更节省材料, 由于考虑到对换热管的支撑, 本文只算到 120 mm。

参 考 文 献

- [1] Yong-Gang Lei, Ya-Ling He, Rui Li, et al. Effects of Baffle Inclination Angle on Flow and heat Transfer of a heat Exchanger with Helical Baffles [J]. Chemical Engineering and Processing, 2008, 47(12): 2336-2345
- [2] Yong-Gang Lei, Ya-Ling He, Pan Chu, et al. Design and Optimization of heat Exchangers with Helical Baffles [J]. Chemical Engineering Science, 2008, 63(17): 4386-4395
- [3] Q W Dong, Y Q Wang, M S Liu. Numerical and Experimental Investigation of Shell side Characteristics for Rod Baffle heat Exchanger [J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28(7): 651-660
- [4] 王英双, 马雷, 韦杰, 等. 折流杆换热器中折流杆形状对流动和传热特性的影响 [J]. 水电能源科学, 2010, 11(28): 128-130
WANG Yingshuang, MA Lei, WEI Jie, et al. Effects of Flow and Heat Transfer Characteristics with Different Rod Shapes in Rod Baffle Heat Exchanger [J]. Water Resources and Power, 2010, 11(28): 128-130
- [5] LIU Wei, LIU Zhichun, et al. Flow mechanism and heat Transfer Enhancement in Longitudinal-flow Tube Bundle of Shell-and-tube Heat Exchanger [J]. China Series E, 2009, 52(10): 2952-2959
- [6] LIU Wei, YANG Kun. Mechanism and Numerical Analysis of Heat Transfer Enhancement in the Core Flow Along a Tube [J]. China Series E, 2008, 51(8): 1195-1202