

文章编号:1007-6492(1999)02-0018-03

纵流壳程换热器数值模拟的应用研究

王定标¹, 董其伍², 刘敏珊², 李培宁¹

(1. 华东理工大学机械工程学院, 上海 230037; 2. 郑州工业大学化工学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 提出采用数值模拟的方法研究纵流壳程换热器, 以克服实验研究方式的不足. 利用相似理论, 确定换热器的数值模拟模型, 分析了各结构参数变化对其传热和流动性能的影响, 结果表明: 单排管间布杆、减小折流栅间距、增大管束长径比均有利于传热, 但同时也增大了流动阻力; 并利用最小二乘法, 进一步回归出纵流壳程换热器层流下的传热和流动阻力的准数关联式, 显示出采用数值模拟方式对换热器进行研究和开发的显著优点.

关键词: 纵流壳程换热器; 数值模拟; 结构参数; 传热; 流体流动; 准数关联式

中图分类号: TQ 051.5

文献标识码: A

由于换热器固有的复杂性, 换热器传热理论研究还远远满足不了其应用的需要^[1]. 目前换热器包括纵流壳程换热器的研究都采用实验方式^[2,3]. 这种实验方式存在着很多不足, 如实验条件受到限制, 实验费用高, 不易改变模型的结构参数, 有测量误差等. 而数值模拟方式可克服这些不足. 因此, 本文在文献^[4]的基础上, 应用数值模拟方式进行了较深入研究.

1 纵流壳程换热器模型

根据相似理论^[5], 确定纵流壳程换热器模型,

如图1所示. 筒体内径 D_i 为 $\Phi 145$ mm, 换热管 $\Phi 14 \times 2$ mm, 换热管为 37 根, 管间距 19 mm, 换热管采用正方形排列, 折流圈规格 $\Phi 143 \times \Phi 134$ mm, 折流杆 $\Phi 5$ mm. 管程通入热流体为 100°C 水蒸气, 壳程分别通入空气或水. 为拓宽其结构参数变化的范围, 本文研究了折流杆布置形式为单排管间布杆或双排管间布杆, 折流圈间距 L_b 分别为 40, 60, 80, 100, 150, 200 mm, 管束长径比 L_t/D_i 分别为 2, 6, 9, 13, 20 的情况. 由于结构的对称性, 可取横截面的 1/2 进行纵流壳程换热器三维结构的数值模拟计算.

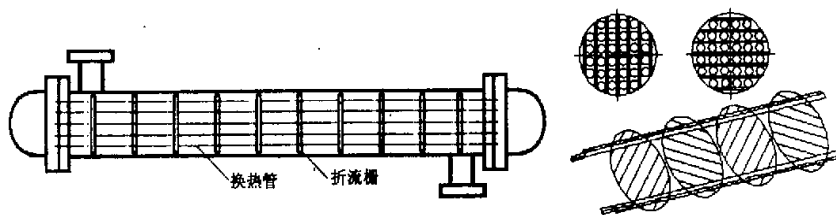


图1 纵流壳程换热器模型图

2 数值模拟及结果分析

对纵流壳程换热器模型进行数值模拟, 可获得换热器内传热和流动的速度场、压力场、温度场, 分析数值模拟结果, 得到纵流壳程换热器各结构参数(单、双排管间布杆、折流栅间距、管束长径

比等)变化对传热和流动性能的影响关系.

2.1 单、双排管间布杆的影响

图2、图3为管束长径比(管束长度与壳体直径之比)为 13, 单排管间布杆、双排管间布杆对换热器壳程传热性能和流动阻力的影响. 从图2、3可以看出, 在相同的雷诺数(Re)下, 采用单排管

收稿日期:1999-01-12; 修订日期:1999-04-09

基金项目:国家“九五”科技攻关项目(96-A01-01-07)

作者简介:王定标(1967-), 男, 浙江省萧山市人, 郑州工业大学讲师, 华东理工大学博士研究生, 主要从事高效能过程装备的研究与开发.

间布杆比双排管间布杆传热性能好,但其流动阻力降也相应增大.这是由于采用单排管间布杆时,同一横截面上折流杆数目增多,流体流经该截面时,由于流体绕流,使其尾流区旋涡增多,湍动程度加剧,使管壁上的边界层减薄,因此提高了壳程流体的传热性能,同时,折流杆的增多,流体流通的截面积减小,湍动加剧,由于流体粘性而产生的摩擦阻力损失也增大.

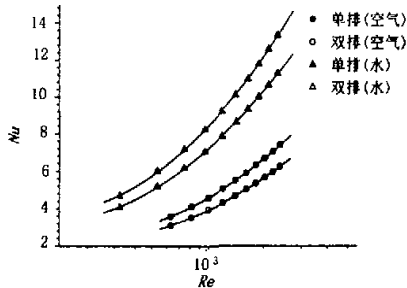
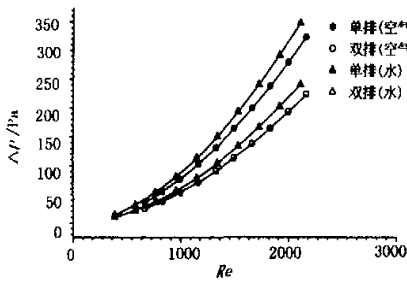
图2 单、双排布杆对 Nu 数的影响

图3 单、双排布杆对流动阻力的影响

2.2 折流栅间距变化的影响

图4、图5给出了管束长径比为13时,折流圈间距对传热及流动阻力的影响关系.从图4可见,在相同的 Re 下,随着折流圈间距的减小,壳程传热的努塞而特准数 Nu 越大,换热器的传热性能越好.这是由于流体流经折流圈时,随着雷诺数的增大,在杆圈处表面产生边界层分离,在杆圈表面上下两侧产生的旋涡分离并形成尾流中的卡门涡街,使管子外表面的边界层减薄,换热管热量传递的热阻力减小,有利于传热,因而,壳程给热系数增大,提高了换热器的传热性能.从图5可见,随着折流圈间距的减小,壳程流动阻力增大,这是由于折流圈的增多,尾流区旋涡产生和破裂的程度加剧,在增大传热的同时,摩擦阻力也相应增大.

2.3 管束长径比的影响

图6、图7表示单排管间布杆、在折流圈间距为60 mm, Re 为2000时管束长径比对传热和流动

阻力的影响.从图6可见,管束长径比对传热的影响很小,随着管束长径比的增大,其 Nu 数呈现较小的增大.从图7可见,管束长径比对流动阻力的影响基本呈线性关系变化.随着管束长径比的增大,流动阻力基本上按线性比例增大.

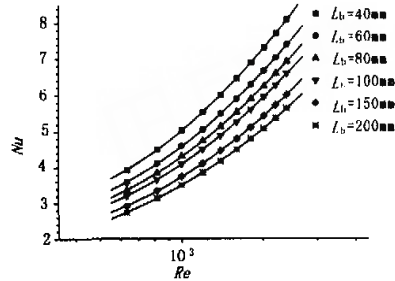
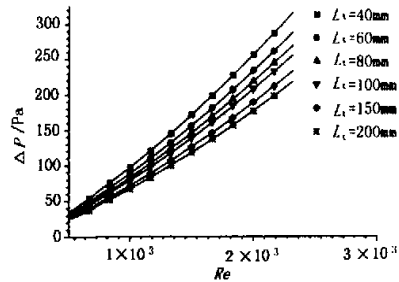
图4 折流圈间距对 Nu 数的影响

图5 折流圈间距对流动阻力的影响

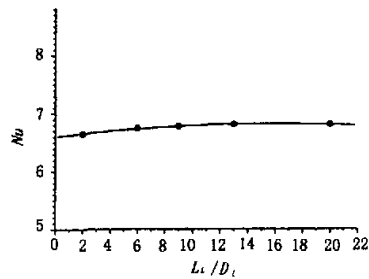
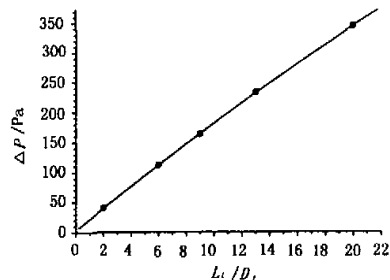
图6 管束长径比对 Nu 数的影响

图7 管束长径比对流动阻力的影响

3 准数关联式

根据相似理论中的量纲分析法,推导出换热器壳程传热准数关联式和流动阻力关联式.

$$Nu = C_L Re^{a_1} Pr^{a_2} (L_b/de)^{a_3} (L_t/D_i)^{a_4} (\mu/\mu_w)^{a_5}, \quad (1)$$

$$\Delta P/(\rho U_S^2) = f Re^{b_1} (L_b/d_e)^{b_2} (L_t/D_i)^{b_3}. \quad (2)$$

式中: Pr 为普朗特准数; L_b 为折流圈间距, m; L_t 为换热管长度, m; D_i 为壳体直径, m; de 为定性直径, m; d_o 为换热管外径, m; P_t 为管间距, m; c_p, μ, λ 分别为壳程流体的比热、粘度、导热系数; U_S 为壳程平行流流速, m/s; ΔP 为流动阻力(或压力降), Pa; $C_L, a_1 \sim a_5, f, b_1 \sim b_3$ 为待定值.

采用最小二乘法拟合数值模拟结果,可得其在层流状态下的关联式.对于单排管间布杆:

$$Nu = 0.09642 Re^{0.6045} Pr^{1/3} (L_b/de)^{-0.2156} (L_t/D_i)^{0.01276} (\mu/\mu_w)^{0.14}, \quad (3)$$

$$\Delta P/(\rho U_S^2) = 584.62 Re^{-0.5937} (L_b/de)^{-0.2312} (L_t/D_i)^{0.9331}; \quad (4)$$

对于双排管间布杆:

$$Nu = 0.09297 Re^{0.5953} Pr^{1/3} (L_b/de)^{-0.2156} (L_t/D_i)^{0.01276} (\mu/\mu_w)^{0.14}, \quad (5)$$

$$\Delta P/(\rho U_S^2) = 447.592 Re^{-0.6101} (L_b/de)^{-0.2312} (L_t/D_i)^{0.9331}. \quad (6)$$

将式(3)~(6)与文献[3]中的湍流状态下的传热及流动阻力准数关联式联合使用,大大拓宽了纵流壳程换热器工程开发、设计应用的范围.

4 结论

(1) 应用数值模拟方式研究了纵流壳程换热器各结构参数的变化对其传热性能和流体流动性能的影响关系.从数值模拟结果中可知,采用单排管间布杆、减小折流圈间距、增大管束长径比均有利于传热,但同时也相应增大了流体流动的阻力.

(2) 利用相似理论,回归出纵流壳程换热器在层流状态下的壳程传热和流动阻力的准数关联式,为纵流壳程换热器工程设计提供依据.

参考文献

- [1] ROETZEL W, LEE D. Experimental investigation of leakage in shell and tube heat exchangers with segmental baffle[J]. Int J Heat Mass Transfer, 1993, 36(15): 3765 - 3771.
- [2] GENTRY C C. ROD baffle heat exchanger technology[J]. CFP, 1990, 86(7): 48 - 57.
- [3] 王定标. 折流杆换热器性能研究及工程应用[D]. 郑州: 郑州工业大学, 1992.
- [4] 王定标. 纵流壳程换热器层流下的数值模拟研究[D]. 上海: 华东理工大学, 1999.
- [5] 王丰. 相似理论及其在传热学中的应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.

Application Study of Numerical Simulation for Longitudinal Flow of Shell - side Heat Exchanger

WANG Ding - biao¹, DONG Qi - wu², LIU Min - shan², LI Pei - ning¹

(1. College of Mechanical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 230037, China; 2. College of Chemical Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The numerical simulation method is put forward to research and develop longitudinal flow of shell - side heat exchanger (LFSHE), in order to overcome the shortcoming of the main method of experiment for the shell - and - tube heat exchangers. Numerical simulation model is established by using theory of similarity, the various structure parameters which affect the characteristics of heat transfer and fluidflow in LFSHE are studied. The results show that baffle rods placed in single pitch of tubes, decrement of baffle spacing and increment of length - to - diameter ratio are favorable to heat transfer, but flow resistance is increased at the same time and the modulus formulas of heat transfer and flow resistance in laminar flow have been derived by using least - squares method. Marked advantage of numerical simulation method is showed in the research and development of heat exchangers.

Key words: longitudinal flow of shell - side heat exchanger; numerical simulation; structure parameters; heat transfer; fluid flow; modulus formulas