

文章编号:1671-6833(2014)06-0001-04

# 三角区漏流对螺旋折流板换热器综合性能的影响

刘敏珊, 许伟峰, 靳遵龙, 王永庆, 王 丹

(郑州大学 河南省过程传热与节能重点实验室, 河南 郑州 450001)

**摘 要:**对螺旋角为  $15^\circ$ 、 $20^\circ$  的  $1/3$  椭圆螺旋折流板换热器进行数值模拟, 研究连续搭接相邻折流板间三角区漏流对换热器传热及阻力性能的影响. 通过分析换热器存在三角区漏流与堵住三角区无漏流模型的模拟计算结果可知: 三角区漏流使壳侧流体流动短路现象严重; 三角区漏流使换热器整体传热系数、壳程压降、综合性能降低; 堵住三角漏流区后, 传热系数增加  $8.5\% \sim 11\%$ , 壳程压降增加幅度不大, 综合性能增加  $8.1\% \sim 11.1\%$ .

**关键词:** 换热器; 螺旋折流板; 漏流; 数值模拟

**中图分类号:** TQ051.5; TK223.3 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.06.001

## 0 引言

针对传统管壳式换热器的缺点<sup>[1-3]</sup>, 如壳程流体流动存在流动死区、流阻大、传热系数较低、易结垢和振动等, 科研人员提出螺旋折流板换热器的概念, 并由 ABB 公司于 1994 年实现了产业化<sup>[4]</sup>. 与弓形折流板换热器相比, 螺旋折流板换热器壳程流体呈螺旋状流动, 不但能够很好地解决弓形折流板换热器存在的问题; 同时, 螺旋流动增加了壳程流体流动的扰动, 从而达到强化传热的效果<sup>[5]</sup>. 目前, 工程中由于受螺旋面加工工艺的限制, 大都采用若干块椭圆形或扇形平板搭接成近似的螺旋曲面. Lutch 等<sup>[6]</sup>设计了  $1/4$  螺旋折流板换热器, 但此方案较适合于正方形布管. 陈亚平等<sup>[7]</sup>提出了一种适合于正三角形排列布管的三分螺旋折流板方案. 由于折流板是由椭圆形或扇形平板连续搭接形成的近似螺旋面, 相邻搭接折流板间存在三角间隙(简称三角区), 壳程流体流动在三角区产生漏流<sup>[8]</sup>. 笔者针对三角漏流区采用大型 CFD 分析软件 FLUENT, 考察三角区漏流对螺旋折流板换热器综合性能的影响, 为换热器的性能优化设计提供参考.

## 1 几何模型

$1/3$  螺旋折流板分为椭圆和扇形两种, 均由椭圆切割得到. 笔者采用  $1/3$  椭圆螺旋折流板, 对螺旋折流板换热器漏流的研究主要存在于相邻搭接折流板间的三角区. 为了单独考察三角区漏流的影响, 取折流板与管束和筒体间的间隙为  $0\text{ mm}$ , 即假设折流板与管束和筒体之间不存在间隙. 在计算中, 假定进口段、出口段充分发展, 忽略进口及出口对整体特征参数的影响.

建立两种  $1/3$  椭圆螺旋折流板模型(见图 1), 模型 a 为螺旋折流板间存在三角漏流区; 模型 b 为堵住螺旋折流板间的三角区(保持其他结构参数不变, 采用  $1\text{ mm}$  厚度板将三角区堵住), 不产生三角区漏流. 对应 a、b 两种折流板模型, 建立螺旋角为  $15^\circ$ 、 $20^\circ$  两组换热器模型: a1、b1; a2、b2.

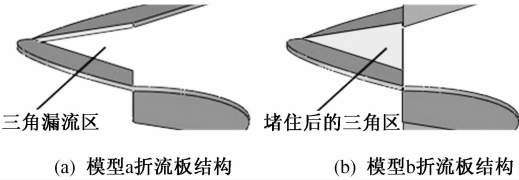


图 1 螺旋折流板结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of helical baffles

其中, a1、a2 分别为螺旋角  $15^\circ$ 、 $20^\circ$  时螺旋折

收稿日期:2014-06-20; 修订日期:2014-09-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51376163); 中国博士后科学基金特别资助项目(201104400)

作者简介:刘敏珊(1943-), 女, 河南商丘人, 郑州大学教授, 博士生导师, 主要从事过程装备传热与节能技术研究.

通讯作者:靳遵龙(1973-), 男, 河南淮阳人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事过程设备流体流动与强化传热方面的研究工作, E-mail: zljn@zzu.edu.com.

流板间存在三角漏流区的换热模型,b1、b2 分别为螺旋角 15°、20°时堵住折流板间三角区的换热器模型.换热器的整体及内部结构尺寸如表 1 所示.

表 1 换热器的结构尺寸

Tab.1 Structural parameters of heat exchanger

| 筒体内径/mm | 螺旋角/(°) | 换热器长度/mm | 换热管直径/mm | 管孔距离/mm | 折流板厚度/mm |
|---------|---------|----------|----------|---------|----------|
| 200     | 15,20   | 510      | 25       | 32      | 4        |

2 网格划分及边界条件

2.1 网格划分

螺旋折流板换热器内部结构复杂,网格划分采用正四面体与金字塔形的非结构化网格.采用换热器整体传热系数作为评价模型网格划分的指标并进行网格无关性验证,通过网格独立性分析及计算时间综合考虑,最终确定模型 a1、b1、a2、b2 的网格单元数分别为 388 万、539 万、339 万、461 万.

2.2 边界条件设置

壳程进口采用速度进口,进口流体温度为 20 ℃;出口采用压力出口,出口压力和温度保持默认;管壁温度设置为 80 ℃ 恒壁温;湍流模型采用  $k-\varepsilon$  模型方程;压力和速度耦合采用 SIMPLE 算法;动量和能量离散采用二阶迎风格式.

3 流场分布

笔者考察了存在三角漏流区与堵住三角区时壳程流体流动三角区附近流线分布(图 2)及壳程流体流动整体流线分布(图 3).可以看出:①螺旋折流板换热器存在三角漏流区时,部分流线直接通过三角区,壳程流体流动在三角区产生漏流;壳程中心部位部分流线几乎与壳程中心轴线平行,流体流动短路现象严重;②堵住三角区后,三角区不再产生漏流,减少了壳程流体流动的短路现象,流线沿螺旋折流板螺旋流动增强.

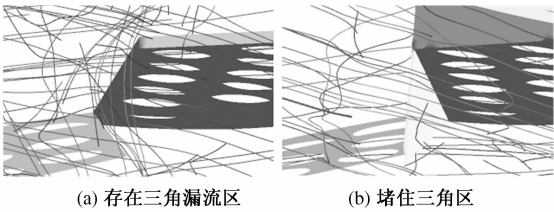


图 2 壳程流体流动三角区附近流线分布  
Fig.2 Streamline distribution of shell-sided fluid flow near the triangle

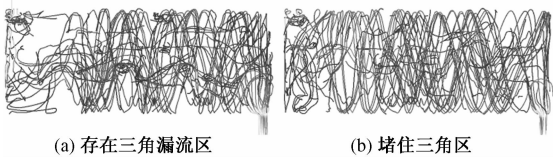


图 3 壳程流体流动整体流线分布  
Fig.3 Overall streamlines distribution of shell-sided fluid flow

4 模拟结果分析

4.1 漏流对换热器传热性能影响

图 4 为不同模型换热器壳程传热系数随壳程雷诺数的变化曲线.从图 4 可以看出,漏流使换热器传热性能下降;堵住折流板三角区,能有效改善换热器的传热性能.

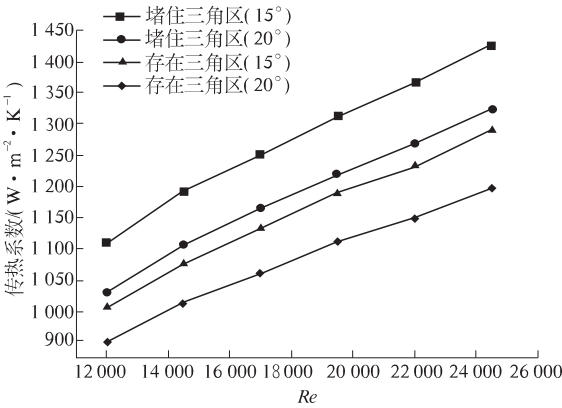


图 4 传热系数随壳程雷诺数的变化曲线  
Fig.4 Heat transfer coefficient varies with different Reynolds number in shell side

具体原因分析如下:①三角区堵住之后,三角区不再产生漏流;由壳程流体流动整体流线分布(图 3)可以看出,壳程流体流动短路现象有所改观,增加了壳程流体与换热管管束的接触时间;②垂直管束方向分别取 a1、b1 模型  $Z=0.25\text{ m}$  的截面,两种换热器截面速度矢量如图 5 所示.由图 5 可以看出,三角区堵住后,壳程流体流动近螺旋运动增强,增加了壳侧流体流动的扰动程度;螺旋流动斜向冲刷换热管管壁,使换热管管束外壁面边界层减薄,减小了管程与壳程之间的传热热阻.综合以上因素:堵住三角区,换热器的传热系数增大,可使换热器传热性能增加 8.5%~11%.

4.2 漏流对换热器压降影响

图 6 为不同模型换热器进出口压降随壳程雷诺数的变化曲线.从图 6 可以看出,三角区堵住后,换热器整体压降有所升高,但升高幅度不大.

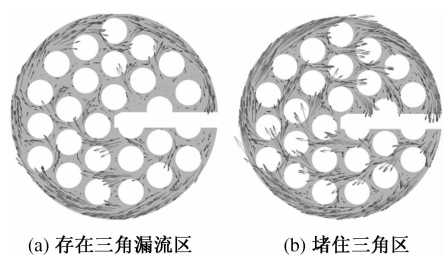


图 5 截面速度矢量图

Fig.5 Velocity vector of section

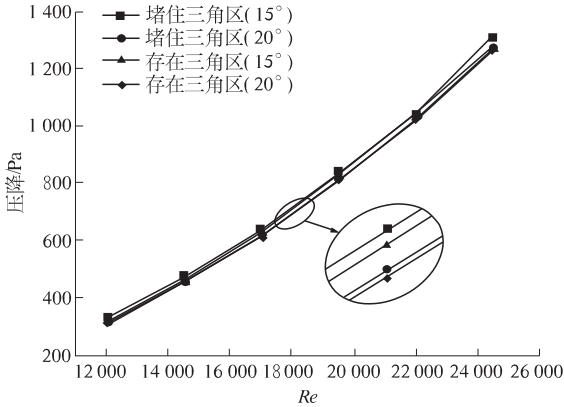


图 6 壳程压力损失随壳程雷诺数的变化

Fig.6 Curve of pressure drop varies with different Reynolds number in shell side

具体原因分析如下:①三角区堵住后,壳程流体流动不再产生三角区漏流,但壳程流体流动有与三角区构成的三角平面垂直方向的流动分量(图 7),流体垂直冲击用于堵住三角区的封板,产生动能损失,流动阻力增大;②王良<sup>[9]</sup>关于 1/4 椭圆螺旋折流板螺旋角为 10° 和 15° 时换热器加与不加阻流板的性能实验得出:增加阻流板后,流体对阻流板产生冲击,壳程压力损失显著增大.笔者模拟计算结果得出,堵住 1/3 椭圆螺旋折流板换热器三角区后,壳程流动流阻变化较小,所以堵住 1/3 椭圆螺旋折流板三角区,对于改善螺旋折流板换热器壳程流体流动三角区漏流现象,提高换热器性能,具有现实意义.

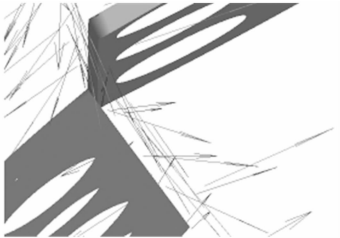


图 7 三角漏流区速度矢量图

Fig.7 Velocity vector of triangle leakage area

但值得提出的是,垂直管束方向分别取 a1、

b1 模型  $Z=0.25\text{ m}$  的截面,两种换热器截面压力分布如图 8 所示.由截面压力分布可以看出,堵住三角区后,截面整体压力分布变化较大,需进一步对其进行研究.

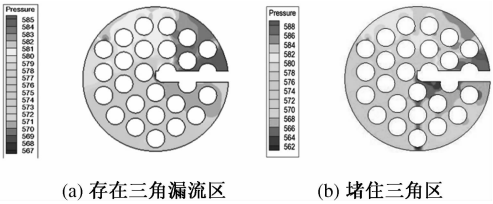


图 8 截面压力分布图

Fig.8 Pressure distribution of section

4.3 漏流对换热器综合性能的影响

用  $Nu/\sqrt[3]{\Delta P}$  作为考查换热器综合性能的参数.图 9 为不同换热器模型综合性能随壳程雷诺数的变化曲线.由图 10 可以看出,三角区漏流使换热器综合性能下降;堵住三角区后,可有效增强换热器的综合性能.通过实验模型数值模拟计算结果对比分析得出,堵住三角区可使换热器综合性能提高 8.1% ~ 11.1%.

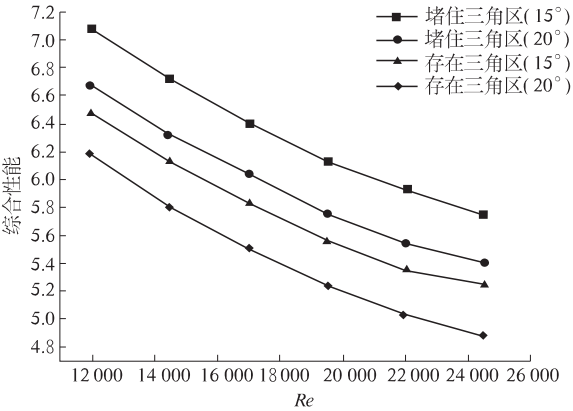


图 9 换热器综合性能随壳程雷诺数的变化

Fig.9 Curve of comprehensive performance varies with different Reynolds number in shell side

具体原因分析如下:①堵住三角区后,三角区不再产生漏流,减小了壳程流体流动短路现象,提高了壳程流体流动的扰动程度,强化了传热;②堵住三角区后,换热器整体压降有所升高,但与壳程传热系数的升高幅度相比,压降升高幅度较小.综合以上因素表明:堵住三角区的换热器综合性能增强.

5 结论

通过对 1/3 椭圆螺旋折流板换热器存在三角漏流区与堵住三角区两种情况进行数值模拟并分

析可知:

(1)三角区漏流使换热器传热系数降低,堵住三角区可使换热器传热性能提高 8.5% ~ 11%,能有效改善换热器的换热性能,强化传热.

(2)三角区漏流使换热器整体压降降低,堵住三角区后,压降升高,但升高幅度不大,说明三角漏流区的存在对换热器整体压降影响较小.

(3)通过与文献中 1/4 椭圆螺旋折流板螺旋角为 10° 和 15° 换热器加与不加阻流板的性能实验的结论进行对比可知:堵住三角区后,1/3 椭圆螺旋折流板换热器堵板对换热器整体压降影响较小,因而在工程实际应用中,堵住 1/3 椭圆螺旋折流板三角漏流区,具有现实意义.

(4)三角区漏流使换热器综合性能降低,堵住三角区后,换热器综合性能提高 8.1% ~ 11.1%.

三角区漏流使换热器的传热系数、整体压降、综合性能降低.实际应用中可以根据具体应用情况,综合考虑所需传热效果与压降因素,并考虑增加堵板后壳测流动对换热管管束振动的影响,对三角区进一步优化,改善漏流区的作用,提高换热器综合性能.

## 参考文献:

[1] 董其伍,张焱.换热器[M].北京:化学工业出版社,

2008:3-9.

- [2] MASTER B I, CHUNANGAD K S, BOXMA A J, et al. Most frequently used heat exchanger from pioneering research to worldwide application [J]. Heat Transfer Engineering, 2006, 27(6): 4-11.
- [3] 潘振,陈宝东,商丽艳.螺旋折流板换热器的研究与进展[J].节能技术,2006,24(1):82-85.
- [4] 王秋旺,罗来勤,曾敏,等.交错螺旋折流板管壳式换热器壳侧传热与压力降性能[J].化工学报,2005,56(4):598-601.
- [5] 王欢,张国富,宋天民,等.不同螺旋角螺旋折流板换热器传热性能对比试验[J].节能技术,2009,27(6):519-521.
- [6] LUTCHA J, NEMCAANSKY J. Performance improvement of tubular heat exchanger by helical baffles [J]. Chemical Engineering Research & Design, 1990, 68(3):263-270.
- [7] 陈亚平.适合于正三角形排列布管的螺旋折流板换热器[J].石油化工设备,2008,7(6):1-5.
- [8] 孙海涛,陈亚平,吴嘉峰.周向重叠三分螺旋折流板换热器壳侧传热性能[J].化工学报,2012,63(5):1361-1366.
- [9] 王良,罗来勤,王秋旺,等.螺旋折流板换热器中阻流板对换热器沿程压降的影响[J].工程热物理学报,2001,22(增刊):173-176.

## Impact of Triangle Leakage on Comprehensive Performance of Heat Exchangers with Helical Baffles

LIU Min-shan, XU Wei-feng, JIN Zun-long, WANG Yong-qing, WANG Dan

(Key Laboratory of Process Heat Transfer Energy Saving of Henan Province, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** A numerical simulation of trisection-ellipse heat exchangers with helical baffles is carried out, and the helix angles are 15° and 20° respectively, and we studied the impact of triangle leakage between continuously overlapped and adjacent baffles on heat transfer and resistance performance of heat exchangers. Through the comparative analysis about the simulation results of existing triangle leakage and that of blocking triangle area without leakage, the results show: triangle leakage makes a more serious short circuit flow for the shell-sided fluid; Triangle leakage makes heat transfer coefficient, shell-sided pressure drop and comprehensive performance of heat exchanger reduce. When triangle leakage is blocked, heat transfer coefficient increases by 8.5% ~ 11%, shell-sided pressure drop increases marginally, comprehensive performance increases by 8.1% ~ 11.1%.

**Key words:** heat exchanger; helical baffle; leakage; numerical simulation