

# 曲面弓形折流板换热器壳程压力降的数值模拟

高宏宇, 钱才富

(北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

**摘要:**采用 Fluent 软件数值模拟了一种新型折流板换热器——曲面弓形折流板换热器壳侧流体的流动状态, 计算了壳程压力降, 并与普通弓形折流板换热器进行了比较。结果发现: 在流量一定的情况下, 曲面弓形折流板换热器的壳程压力降明显低于普通弓形折流板换热器的壳程压力降, 而且随着曲面折流板曲率半径和折流板圆缺口高度的减小, 曲面弓形折流板换热器的壳程压力降降低的百分比增大。

**关键词:**数值模拟; 折流板; 曲面折流板; 压力降

**中图分类号:** TQ051.5; TQ050.2    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-4837(2010)02-0024-04

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-4837.2010.02.005

## Numerical Simulation of Pressure Drop in Shell Side of Curved Baffle Heat Exchanger

GAO Hong - yu, QIAN Cai - fu

(College of Mechanical and Electronical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Fluid flow in the shell side of a new baffle heat exchanger——curved baffle heat exchanger is numerically simulated using the software of Fluent with the stress on the calculation of the pressure drop, and comparison with vertical baffle heat exchanger. It is found that for the same volumetric flow rate, the pressure drop in the shell side of the curved baffle heat exchanger is remarkably lower than that of the traditional one. And the pressure drop percentage decreases even more for a smaller curvature radius of the curved baffle and height of the baffle cut.

**Key words:** numerical simulation; baffles; curved baffles; pressure drop

### 1 引言

管壳式换热器是过程工业中应用较广的一种换热设备, 该换热器结构简单、运行可靠, 且有成熟的设计标准和规范。不过传统的管壳式换热器大多采

用弓形折流板, 这种折流板所引起的压力损失较大, 同时, 由于流动死区的存在, 使得换热器整体传热效率降低<sup>[1]</sup>。

目前, 对换热器进行壳程强化传热的方式主要有<sup>[2]</sup>: (1) 改变管子外形或在管处加翅片, 如采用螺旋管、外翅片管等; (2) 改变壳程挡板或管束支撑结

构,使壳程流体形态发生变化,以减少或消除壳程流动与传热的滞留死区,使换热面积得到充分利用,如采用螺旋折流板、空心环等。在研究方面,文献 [3~6]用数值模拟的方法对管壳式换热器壳程流的特性进行了研究;文献 [7~9]则对波纹管的传热强化效果及波纹管的等效刚度进行了数值模拟和试验研究,并开发出了新型的波纹管换热器。

针对文献 [7~9]中提出的一种新型换热器——曲面弓形折流板换热器,用数值模拟其壳程流场,计算壳程压力降,并与传统换热器进行了比较。

2 有限元模型建立及求解

2.1 几何模型及尺寸

曲面弓形折流板换热器是专利技术<sup>[10]</sup>,其结构如图 1 所示,它巧妙地利用流场特性,采用曲面状弓形折流板(凸面面向来流方向),使被导流后的壳程流体流线趋于光滑,且和两曲面状弓形折流板之间的流道一致,明显改善了壳程流体流速分布。

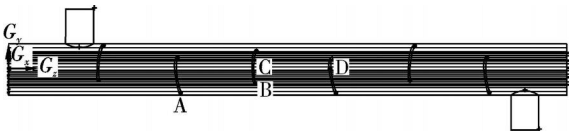


图 1 曲面弓形折流板换热器示意

文中所分析的曲面弓形折流板换热器参数见表 1,管子在管板上以正三角形排列,如图 2 所示。

表 1 换热器几何参数	
参数	数值
壳体直径 (mm)	148
换热管数量 (根)	31
壳程进出口接管直径 (mm)	80
折流板间距 (mm)	225
折流板块数 (块)	6
换热管长度 (mm)	1625
换热管直径 (mm)	16
折流板厚度 (mm)	3

2.2 GAMB II 建模<sup>[11,12]</sup> (Fluent 自带的建模工具)

文中只研究壳程流域,以水为介质,并假设折流

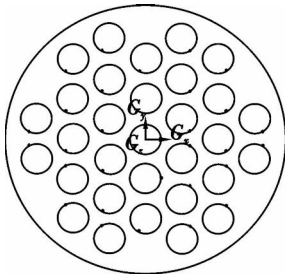


图 2 管子分布示意

板与换热管及换热器筒壁无间隙。根据表 1 的几何参数,应用 Fluent 软件中的 GAMB II 建立曲面弓形折流板换热器和普通弓形折流板换热器的几何模型并划分网格,由于模型网格数比较多,所以将模型从中间沿垂直于换热管壁方向切分成两部分。采用四面体和金字塔形网格,划分网格间距为 4 mm,网格数在  $1.8 \times 10^6 \sim 2 \times 10^6$  之间。

设置进口边界类型为 Velocity inlet (速度入口),出口边界类型为 Pressure outlet (压力出口),壳体壁面为不可渗透、无滑移绝热边界 Wall。求解的条件采用 Segregated (非耦合求解法)、Implicit (隐式算法)、3D (三维空间)、Steady (定常流动)、Absolute (绝对速度)。

文中分析所设置的初始流体入口边界条件见表 2。湍流强度  $I$  定义为相对于平均速度  $u_{avg}$  的脉动速度  $u'$  的比值,采用经验式进行计算:

$$I = \frac{u'}{u_{avg}} = 0.16 (Re_{D_H})^{-1/8}$$

表 2 初始边界条件				
序号	入口流量 ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	入口速度 ( $m \cdot s^{-1}$ )	湍流强度 $I$ (%)	直径 (mm)
1	3	0.166	4.9	80
2	5	0.276	4.6	80
3	7	0.387	4.4	80
4	9	0.497	4.3	80
5	11	0.608	4.2	80
6	13	0.718	4.1	80
7	15	0.829	4.0	80
8	17	0.939	3.9	80
9	19	1.050	3.9	80

### 3 模拟结果及分析

和普通弓形折流板换热器相比,曲面弓形折流板换热器的壳程流体流线更为光滑,由此引起的壳程压力降的变化是本文研究的重点。同时,为了考察几何参数的影响,文中研究了曲面折流板曲率半径分别为  $0.75D$ ,  $1D$ ,  $1.5D$  和  $2D$  ( $D$  为筒径,下同) 等 4 种情形。图 3 是缺口高度为  $20\%D$  时,在不同流量下各种折流板形式所对应的进出口压力降。从图 3 可以看出,在缺口高度一定的情况下,传统弓形换热器的进出口压力降高于曲面弓形换热器,同时,曲面弓形换热器进出口压力降随着折流板曲率半径的减小而减小。

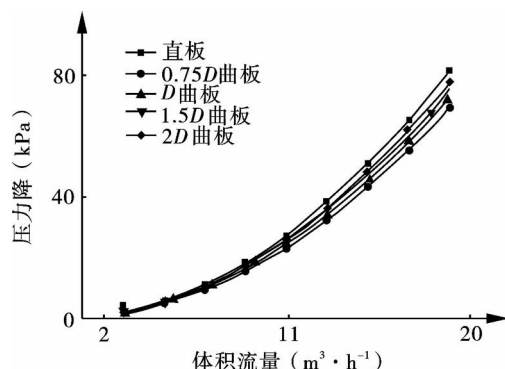


图 3 缺口高度为  $20\%D$  时,进出口压力降随流量的变化

考虑到折流板缺口高度不同对壳程压力降的影响,文中模拟了折流板缺口高度分别为  $27\%D$ ,  $20\%D$  和  $15\%D$  3 种尺寸的折流板结构。取曲率半径为  $0.75D$  的曲面折流板和普通折流板为研究对象进行比较,观察压降减小百分比 (如图 4 所示,其中  $P_V$  和  $P_C$  分别代表传统弓形折流板和曲面弓形折流板换热器进出口间压力差)。可以看出,每种圆缺尺寸在不同流量下压降减小的百分比基本一致,平均分别为  $8.73\%$ ,  $14.74\%$  和  $18.31\%$ ,其中以缺口高度为  $15\%D$  的曲面弓形折流板效果最好。

考虑到折流板间距不同可能导致压力降的变化,文中模拟了折流板间距从  $100 \sim 275$  mm 共 8 种不同情况 (每次递增  $25$  mm),且每种情况分别在 9 种不同流量 (见表 2) 下进行模拟,并与普通弓形换热器进行比较,得出进出口压力差,并计算曲面折流板压力降减小的百分比,结果如图 5 所示,其中折流

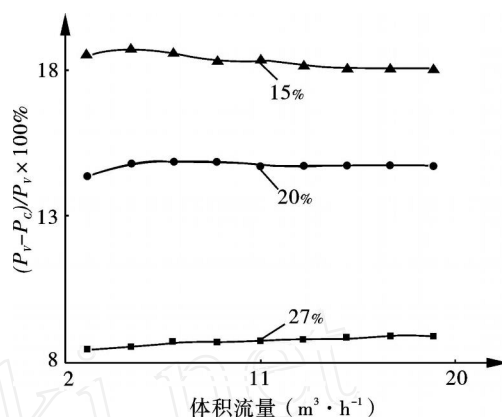


图 4 不同缺口高度下,压降减小百分比随流量的变化  
板曲率半径为  $0.75D$ ,圆缺高度为  $15\%D$ 。从图中可以看出,压降百分比变化范围在  $16.8\% \sim 18.8\%$  之间,基本保持一致,说明折流板间距的变化对换热器进出口压降的影响相对较小。

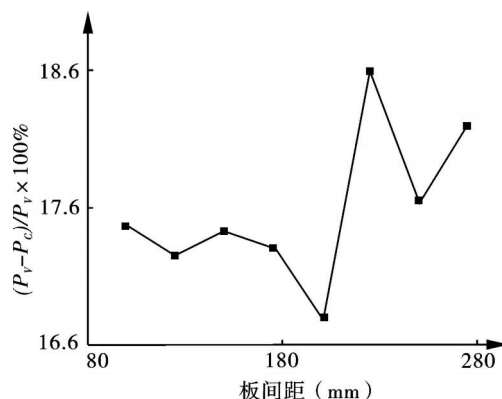


图 5 不同折流板间距下,压降减小百分比随流量的变化

需要指出的是,前面所述的压力降指的是分析模型的进出口间压力降,包含了进出口管路及进出口处的压力损失,若排除这些损失,只计算单纯的折流板损失,那么曲面折流板压力损失减小的幅度会更大。

为了更好地了解流体流动状态,文中对不同位置流场进行了观测 (流量均为  $7 \text{ m}^3/\text{h}$ ,圆缺高度为  $15\%D$ ,折流板间距为  $225$  mm,曲面折流板曲率半径为  $0.75D$ )。图 6 所示为换热器第 3,4 块折流板之间沿换热器轴线 (如图 1 中  $C$ ,  $D$  两点连线) 的速度分布图。从图中可以看出,流速随远离第 3 块折

流板距离的增大而逐渐增大。同时可以看出,在与第 3 块折流板相距小于 170 mm 各处传统弓形换热器速度很小,几乎为零;而曲面折流板速度变化连续、均匀。说明曲面换热器在折流板背侧靠近中心位置处流动死区相对较小,这将对提高换热效率有一定帮助。

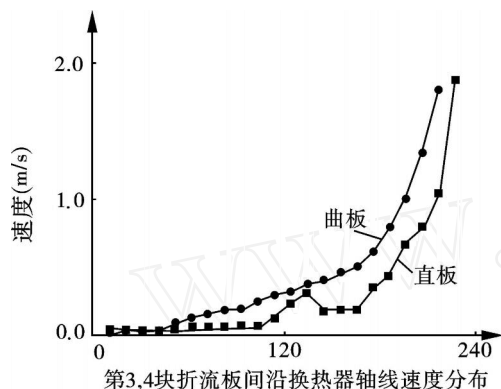


图 6 第 3,4 块折流板间沿换热器轴线速度分布

图 7 所示为换热器第 2,3 块折流板斜截面中线处 (如图 1 中沿 A, B 方向, B 点处速度高) 速度分布。可以看出,流体在 A 点附近速度较小,且在 A 处达到最小;越接近 B 点 (折流板缺口处) 流速越大。曲面换热器在靠近第 2 块折流板处流速较传统换热器的大,说明曲面换热器在折流板与壳体连接处附近死区较小。

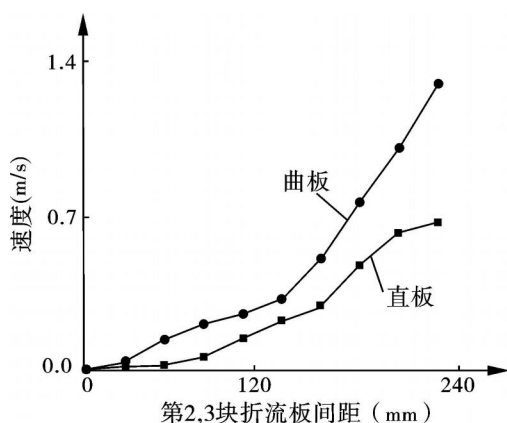


图 7 第 2,3 块折流板间斜截面中线处速度分布

#### 4 结语

采用 CFD 技术,针对曲面弓形折流板换热器的壳程流场进行了数值模拟,并就压力降问题与传统弓形换热器进行了对比分析。结果表明曲面弓形折流板换热器的压力降明显小于传统弓形折流板换热器,从而验证了本文提出的曲面弓形折流板换热器在减小压降方面所体现出的优越性。

#### 参考文献:

- [1] 胡岩. 管壳式换热器数值模拟研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
- [2] 来诚锋, 段滋华. 新型管壳式换热器的技术研究 [J]. 化工进展, 2006, 25: 382 - 386.
- [3] 邓斌, 陶文铨. 管壳式换热器壳侧湍流流动的数值模拟及实验研究 [J]. 西安交通大学学报, 2003, 37 (9): 889 - 924.
- [4] 黄文江, 张剑飞, 陶文铨. 弓形折流板换热器中折流板对换热器性能的影响 [J]. 工程热物理学报, 2007, 28 (6): 1022 - 1024.
- [5] 熊智强, 喻九阳, 夏文武. 管壳式换热器数值模拟的流动模型比较 [J]. 武汉化工学院学报, 2006, 28 (3): 48 - 50.
- [6] 熊智强, 喻九阳, 熊智斌. 管壳式换热器流场数值模拟方法 [J]. 武汉工程职业技术学院学报, 2006, 18 (3): 45 - 49.
- [7] 肖金花, 钱才富, 黄志新, 等. 波纹管内的流动与传热强化研究 [J]. 北京化工大学学报, 2006, 33 (3): 68 - 72.
- [8] 肖金花, 钱才富, 黄志新. 波纹管传热强化效果与机理研究 [J]. 化学工程, 2007, 35 (1): 12 - 15.
- [9] 肖金花, 钱才富, 王凤林. 波纹管对高黏度介质的强化传热研究 [J]. 北京化工大学学报, 2007, 34 (1): 53 - 57.
- [10] 钱才富, 范德顺, 徐鸿. 一种曲面弓形折流板管壳式换热器 [P]. 中国: CN200720104282.5, 2007 - 04 - 17.
- [11] 韩占忠, 王敬, 兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
- [12] 王福军. 计算流体动力学分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

收稿日期: 2009 - 10 - 10

作者简介: 高宏宇, 男, 通讯地址: 100029 北京市朝阳区北三环东路 15 号北京化工大学机电工程学院, E-mail: gaohongyu07@163.com.