

文章编号: 1009- 671X (2007) 09- 0014- 05

折流板结构对管壳式换热器壳程流动与传热的影响

胡 岩, 孙中宁

(哈尔滨工程大学 核科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 利用 Fluent 软件, 对弓形折流板换热器和连续螺旋折流板换热器壳程的流场、流动阻力和换热进行了数值模拟分析, 并对计算结果进行了实验验证. 结果表明, 弓形折流板换热器壳程存在明显的流动滞流区, 螺旋折流板换热器中的流场分布则比较均匀. 在相同的流量条件下, 螺旋折流板换热器壳程的流动压降大约只有弓形折流板换热器的 32%, 换热能力则略低于弓形折流板换热器, 但单位压降下的换热系数有很大的提高, 大约是弓形折流板换热器的 1.3 倍. 数值计算结果与实验值符合良好, 说明采用的数学模型是合理的, 较真实地反映了换热器的实际情况.

关键词: 弓形折流板换热器; 螺旋折流板换热器; 数值模拟

中图分类号: TK 124 文献标识码: A

The influence of baffle structure on shell side fluid flow and heat transfer for shell-and-tube heat exchanger

HU Yan, SUN Zhong-ning

(College of Nuclear Science & Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract Velocity fields, flow resistance and heat transfer in shell side of shell-and-tube heat exchanger with the segmental baffles and the continuous helical baffle were simulated using Fluent software. An experiment was performed to validate the calculated results. The results show that there are obvious stagnation region in the segmental-baffle heat exchanger and uniform velocity fields in continuous-helical-baffle heat exchanger. At the same flow rate, the pressure drop in the continuous-helical-baffle heat exchanger is about 32% of that of segmental-baffle heat exchanger, but the heat transfer rate is slightly lower. The heat transfer coefficient of continuous-helical-baffle heat exchanger under the identical pressure drop is larger than that of segmental-baffle heat exchanger about 1.3 times. The calculated values are well agreed with experimental results. This implies that the mathematical models used in this paper are reasonable and the actual condition of heat exchanger is well simulated.

Keywords segmental-baffle heat exchanger; continuous-helical-baffle heat exchanger; numerical simulation

传统的弓形折流板管壳式换热器具有结构简单、适用性广、制造成本低等优点, 在石油、化工等众多领域得到广泛应用. 这种换热器的主要缺点是换热效率较低, 壳程压力损失较大, 存在流动死区, 容易结垢等. 针对这些缺点, 近年来人们进行了许多研究和改进, 其中比较有代表性的是螺旋折流板换热器的研制^[1], 这种换热器通过改变折流板的支撑方式或将支撑板制成螺旋面, 使壳程流体呈现螺旋状流动.

由于管壳式换热器的应用领域日益广泛, 其自身结构也日趋多样化, 因此, 传统的实验手段和理论分析方法已经很难满足研究和开发的需要^[2]. 与此同时, 随着计算机硬件技术的不断进步和先进数值算法的发展, 计算流体力学 (CFD) 和计算传热学 (NHT) 得到了迅速发展, 并得到广泛应用. 和实验研究相比, 利用 CFD/NHT 方法进行换热器研究具有费用低、速度快、能模拟较复杂过程等优点, 而且可以比较容易地分析不同参数对换热器性能的影响.

收稿日期: 2007- 07- 05

作者简介: 胡 岩 (1978-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 传热传质, E-mail: zhongninsun@yahoo.com.cn

响, 进而获得相关变量的详细信息^[3].

文中利用商用 CFD 软件 flent 对弓形折流板换热器和连续螺旋折流板换热器壳程的流动与传热进行了数值模拟, 并与实验结果进行对比, 以验证数值模拟方法的可行性和有效性.

1 数值计算的相关设置

1.1 换热器结构参数

所研究的换热器包括 3 种弓形折流板换热器和 4 种螺旋折流板换热器, 结构如图 1、2 所示. 这些换热器具有相同的外形尺寸, 其中壳体内径 148mm, 长度 1 400mm; 进、出口接管长度 100 mm, 内径 80 mm; 折流板厚度 3 mm; 换热管为 $\varphi 16 \times 1$ mm 的 B30 铜镍合金管, 采用三角型排列. 其他结构参数如表 1 所示.

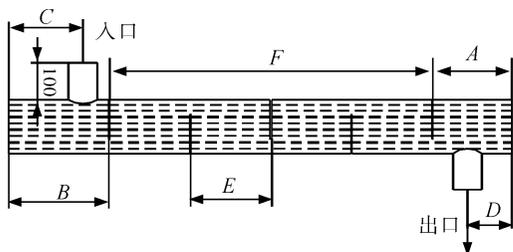


图 1 弓形折流板换热器壳程结构示意图

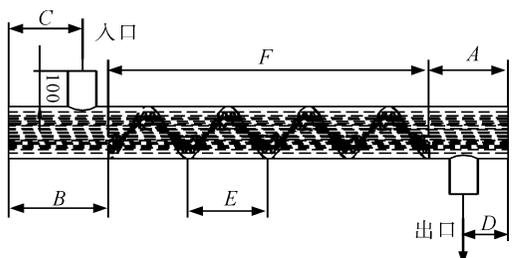


图 2 螺旋折流板换热器壳程结构示意图

表 1 换热器结构尺寸

序 号	A /mm	B /mm	C /mm	D /mm	E /mm	F /mm	螺旋升 角 β /($^{\circ}$)
弓形折 流板换 热器	G_1	220	277	206	124	225	900
	G_2	466	456	206	124	475	475
	G_3	117	320	206	124	240	960
螺旋折 流板换 热器	L_1	220	277	206	124	180	900
	L_2	220	277	206	124	225	900
	L_3	220	277	206	124	300	900
	L_4	117	320	206	124	240	960
							27.3

1.2 模型的建立及网格划分

弓形折流板换热器和螺旋折流板换热器都是内部有相互交错的三维复杂几何体, 因此采用分块划分的方法将壳程区域进行分割, 然后分别对分割后的子块进行非结构化网格划分, 这里采用的是四面

体和金字塔网格, 如图 3 所示. 另外, 在对换热器进行结构模拟建模时, 考虑了换热器入口和出口部分对于换热器整体流动特性的影响.

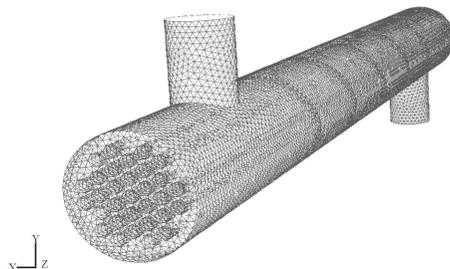


图 3 螺旋折流板换热器网格示意图

1.3 计算求解设置

使用分离式求解器进行稳态隐式格式求解, 速度和压力的耦合方式采用基于交错网格的 SIMPLE 算法, 对近壁区域采用标准壁面函数法处理. 对于弓形折流板选用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型, 对于螺旋折流板选用可实现的 $k-\varepsilon$ (realizable $k-\varepsilon$ model) 湍流模型. 后者与前者相比, 可实现的 $k-\varepsilon$ 湍流模型中湍流粘度计算公式引入了与旋转和曲率有关的内容^[4-5].

以水为工作介质, 且冷水走管程, 热水走壳程. 假设入口来流的速度均匀分布, 忽略温度对物性参数的影响, 使用速度入口和压力出口边界, 给定静压和适当的回流条件; 壳体壁面和折流板采用不可渗透、无滑移绝热边界. 对于弓形折流板换热器选用一阶迎风格式, 对于螺旋折流板换热器选用二阶迎风格式.

2 换热器壳程流动特性

2.1 壳程流场分布

对弓形折流板换热器 G_1 和螺旋折流板换热器 L_1 、 L_2 、 L_3 的壳程流动进行数值模拟, 入口给水流量范围: $7 \sim 16 \text{ m}^3/\text{h}$.

图 4 为弓形折流板换热器内壳程流场典型纵剖速度分布图. 可以看出, 流体的轴向流动由于受到折流板的阻挡而呈现整体的“Z”型流动, 流体流经折流板时流速发生剧烈变化, 其中在流通截面突变的圆缺处形成高速流动区, 而在折流板背面则形成回流滞流区. 流体的这种流动特征一方面会造成较大的流动阻力损失, 同时也使换热效率降低.

与之相对应, 螺旋折流板换热器壳程的流场分布

表现出很大的不同(如图 5所示):在螺旋折流板的导流作用下,壳程流体整体呈螺旋柱塞状流动,流动速度变化均匀,在折流板附近几乎不存在流动死区。

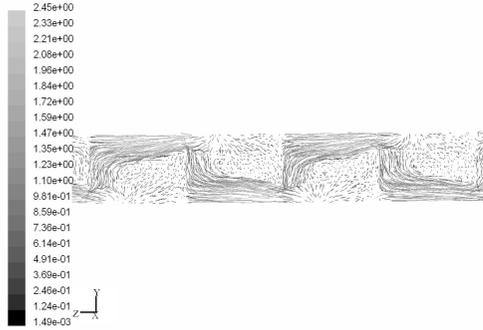


图 4 弓形折流板换热器壳程流场分布纵剖图

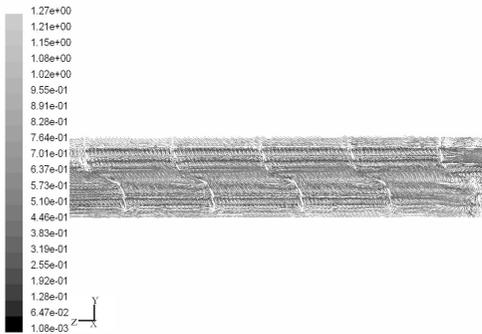


图 5 螺旋折流板换热器壳程流场分布纵剖图

进一步对比分析弓形折流板和螺旋折流板换热器横截面上的速度分布。在靠近第一块弓形折流板下游 ($z = 400 \text{ mm}$) 及螺旋折流板换热器相应位置截取流场分布图,如图 6、7所示。可以看出,弓形折流板换热器在折流板缺口位置上的流体流速大大高于其他各处,在折流板与换热器壳体相切的附近区域内存在明显的周向对称环流,而在管束中部区域存在较大范围的滞流区。

与弓形折流板换热器相比,螺旋折流板换热器壳程的流场分布要均匀得多,在管束外围存在比较强烈的环周向流动,在每根换热管周围也都存在小范围的近似环流,没有明显的滞流区。

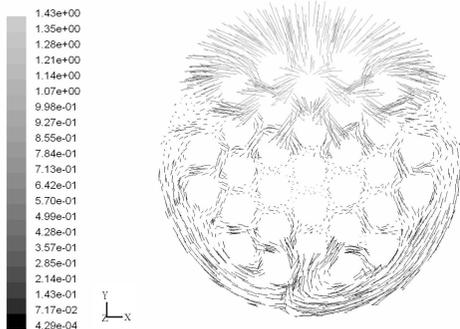


图 6 弓形折流板换热器横截面速度分布图

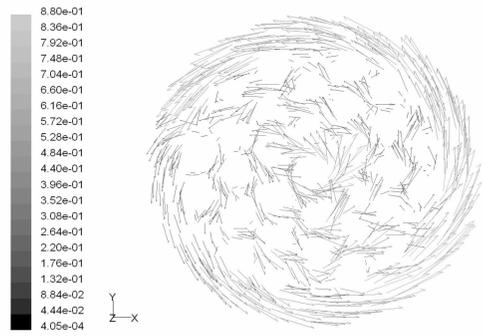


图 7 螺旋折流板换热器横截面速度分布图

2.2 壳程流动压降

壳程流体流动压降直接影响到动力消耗,是反映换热器性能的重要指标之一。图 8为进口流量相同时,螺旋折流板换热器与弓形折流板换热器壳程进出口总压降的比较,其中 G_1 的折流板间距与 L_2 的折流板螺距相同。从图中可以看出,弓形折流板换热器和螺旋折流板换热器的进出口压降均随流量的增加而呈递增趋势,其中弓形折流板换热器的壳程进出口压降大大高于螺旋折流板换热器,在相同隔板节距、螺距条件下,螺旋折流板换热器的进出口压降仅为弓形折流板换热器的 32% 左右。这主要是由于在弓形折流板换热器中,折流板垂直于主流方向布置,流体在壳程运动时冲击折流板后改变流向,形成很大的速度梯度,同时由于流通截面积的突变,在折流板缺口处形成流体流动速度突变,并且在折流板背面形成回流区,这些都造成很大的局部阻力损失。与之相比,在螺旋折流板换热器中,螺旋折流板的导流作用使壳程流体整体呈螺旋状流动,折流板附近无明显的流动死区,流动速度变化比较平缓,折流板对流体流动的阻挡作用减弱,流体对管束的横向冲刷作用降低,这些都是流动阻力降低的重要原因。

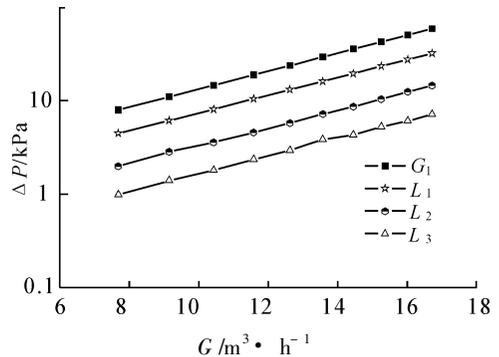


图 8 换热器壳程进出口压降比较

3 换热器壳程换热特性分析

对具有相同隔板间距 螺距的弓形折流板换热器 G_3 和螺旋折流板换热器 L_4 的壳程换热进行数值模拟, 得到 2 个换热器的壳程流体出口温度, 如图 9 所示. 可以看出, 在相同的管侧冷却水换热条件下, 弓形折流板换热器壳程的出口水温比螺旋折流板换热器的略低, 即弓形折流板换热器的换热量略高于螺旋折流板换热器. 这说明, 尽管由于弓形折流板的存在使换热器壳程存在明显的滞流区, 但强烈的流体横向冲刷仍使弓形折流板换热器壳程的换热系数略高于螺旋折流板换热器, 同时也伴随着显著的压降增加 (如图 8 中 G_1 的流动压降最大). 综合考虑换热和流动压降 2 方面的因素, 用换热器壳程的换热系数 α 与流动压降 ΔP 之比 $\alpha/\Delta P$ 进行换热器的性能评价, 结果如图 10 所示. 可以看到, 螺旋折流板换热器壳程单位流动压降下的换热系数大约是弓形折流板换热器的 1.3 倍, 这说明采用螺旋折流板后换热器的综合性能得到显著提高.

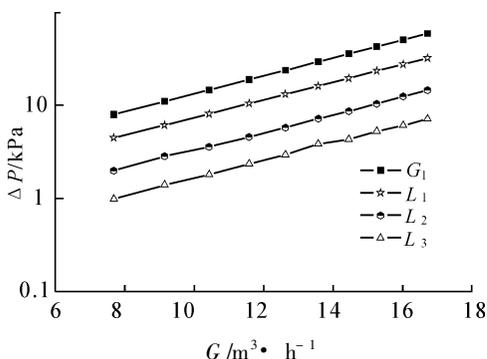


图 9 换热器壳程出口水温比较

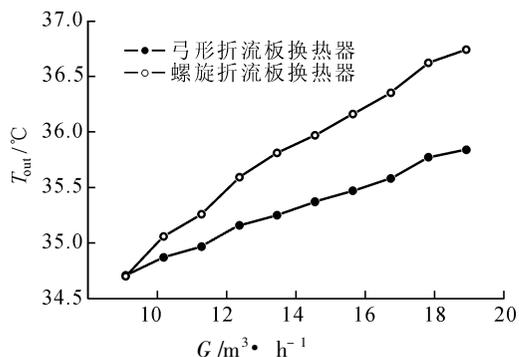


图 10 换热器壳程单位压降下的换热系数比较

4 实验验证

为了进一步验证数值计算的准确性, 对螺旋折流板换热器 L_4 分别进行了流动阻力和传热实验, 实

验值与计算值的对比如图 11 所示. 由图中可以看到, 在实验范围内, 换热器壳程进出口间的流动压降实验值与计算值之间的偏差在 $-2.45\% \sim 6.8\%$, 壳程流体出口温度实验值与计算值之间的偏差在 $0.06\% \sim 3.4\%$. 考虑到实验换热器与计算模型间必然存在的差异以及实验误差的存在, 可以认为数值计算较真实地反映了换热器的实际情况.

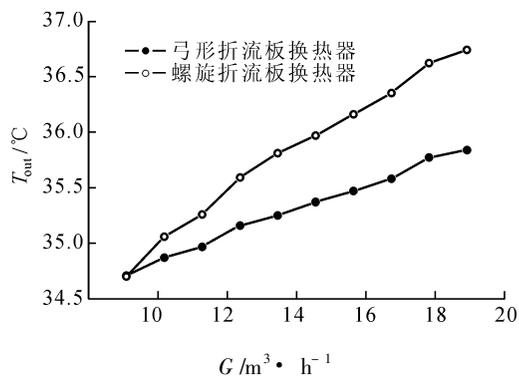


图 11 数值模拟计算结果与实验值的比较

5 结 论

1) 在弓形折流板换热器中, 壳程流体流动属于返混流, 呈整体的“Z”型流动, 在折流板圆缺处形成高速流动区, 在折流板背面形成流动死区. 而在螺旋折流板换热器中, 由于折流板的导流作用, 壳程流体整体呈螺旋柱塞状流动, 这种流动使流速变化均匀, 可以有效消除折流板附近的流动死区, 对减小壳程流动阻力损失有利.

2) 在相同的流量条件下, 螺旋折流板换热器壳程的流动压降大大低于弓形折流板换热器的壳程压降, 而换热系数则略有下降, 但单位压降下的换热系数显著增加, 大约是弓形折流板换热器的 1.3 倍, 说明螺旋折流板换热器的综合换热性能优于弓形折流板换热器.

3) 通过对螺旋折流板换热器壳程流动压降和出口流体温度实测值与计算值的比较表明, 数值计算中采用的标准 $k-\epsilon$ 和 Realizable $k-\epsilon$ 湍流模型是合理的, 可以较好地模拟管壳式换热器壳程的真实流动与传热状况, 所得结果符合工程计算的要求.

参考文献:

[1] KRAL D, STELK P, PLOEGH J, et al Helical baffles in shell and tube heat exchangers, part 1: experimental verification [J]. Heat Transfer Engineering, 1996, 17

(1) : 93- 101.

of Heat and Fluid Flow, 2002, 23(3): 222- 231.

[2] 吴金星, 王定标, 董其伍, 等. 纵流式换热器壳程层流流动与传热的数值模拟 [J]. 石油机械, 2002, 30(7): 15- 18

[4] 王福军. 计算流体动力学分析 - CFD 软件原理与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004

[3] PATANKAR S V. Computational modeling of flow and heat transfer in industrial applications[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2002, 23(3): 222- 231.

[5] Fluent Inc. Fluent user's guide[Z]. Lebanon: Fluent Inc, 2003

[3] PATANKAR S V. Computational modeling of flow and heat transfer in industrial applications[J]. International Journal

[责任编辑: 张晓京]

- ★ 《中国期刊网》、《中国学术期刊 (光盘版)》全文收录期刊
- ★ 《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊
- ★ 万方数据 —— 数字化期刊群全文收录期刊

科技开创精彩 应用成就未来

——欢迎订阅《应用科技》

把握科技, 铸就成功, 尽在《应用科技》!

《应用科技》是哈尔滨工程大学主办的科技月刊, 国内外公开发行。作为信息交流和成果推广的载体, 《应用科技》报道了大量国内的新技术、新产品、新材料、新工艺, 其中许多成果已经成功转化, 在推动技术应用和科技成果转化方面做出了突出的贡献。本刊以极强的科学性、创新性和实用性, 受到广大科研人员一致认可和好评。

读者对象: 科研机构的科研人员、致力于科技开发和成果应用的社会各界人士。

精品栏目: 现代电子技术、计算机应用、自动化技术、机械工程、应用化学等。

欢迎订阅, 同时面向全国诚征理事单位和广告代理!

国内刊号: CN23- 11911/U

邮发代号: 14- 160

刊社地址: 哈尔滨市南通大街 145号 1号楼

邮 编: 150001

电 话: (0451) 82519357 82534001

E-mail heuyykj@vip.sina.com