

内插自振弹簧换热管脉冲流强化换热数值分析

徐建民,胡小霞,彭 坤,余海燕,黄 伟

(武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430205)

摘 要:针对脉冲流影响内置弹簧换热管换热效果的问题,运用计算流体动力学技术模拟研究了在内置弹簧换热管中分别通入稳态流和不同参数脉冲流情况下的换热情况,得到了不同情形下的管内温度场和压力场。研究表明:通入脉冲流后,内插自振弹簧换热管出口平均压力呈现与脉冲流周期相同的正(余)弦波动,且波动幅值随着脉冲流频率的增大而增大。相对于通入稳态流而言,通入脉冲流时的速度边界层厚度减小,从而增大了强化传热系数。管内对流传热系数随着振幅的增大而增大,但频率对传热系数的影响却很小。

关键词:内置弹簧;脉冲流;强化传热

中图分类号:TQ051.501

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.09.015

0 引言

20世纪80年代就有人研究得出了换热管中内插自振弹簧能够强化传热,而且具有比其他管内插物引起的阻力小的优点^[1-3]。1985年,Uttarwar和RajaRao研究了管内插入7种不同尺寸螺旋线圈强化层流区加热油的情况^[4]。1990年,Mackly实验证实脉冲流对带内肋片圆管强化效果显著,结果表明:内插螺旋线圈强化层流区换热,换热系数可提高3.5倍,而强化紊流区换热时,换热系数只能提高30%~50%^[5-6]。

大量研究发现,直通道中脉冲流动强化换热传质作用很小,但对于通道中有周期性几何结构时,情形不同^[7]。流体的扰动和掺混是强化传热、传质的一个主要因素,利用脉动流动技术能够显著的增强流体扰动和相互掺混,从而达到强化传热的目的^[8-10]。

本文拟应用Fluent 6.3软件对等壁温条件下,内插自振弹簧换热管中分别通入稳态流和脉冲流时,管内的速度场和温度场,进而分析不同参数的脉动流对内插自振弹簧强化换热的影响。

1 计算模型及边界条件

在数值模拟计算中,由于内插自振弹簧换热管管内的流体流动有轴向流、径向流和周向流,又因弹簧自身的结构特点,所以对内插自振弹簧进行三维建模。取弹簧长 $l' = 300$ mm,节距 $p = 6$ mm,弹簧圈直径 $d = 15$ mm,弹簧丝直径 $e =$

1.0 mm,换热管长 $l = 500$ mm,换热管内径 $D = 22$ mm,如图1所示。为了便于计算和建模,管壁厚度为零,温度恒定为293 K,弹簧壁面温度恒定为293 K,流体工作介质为水,温度为333 K。

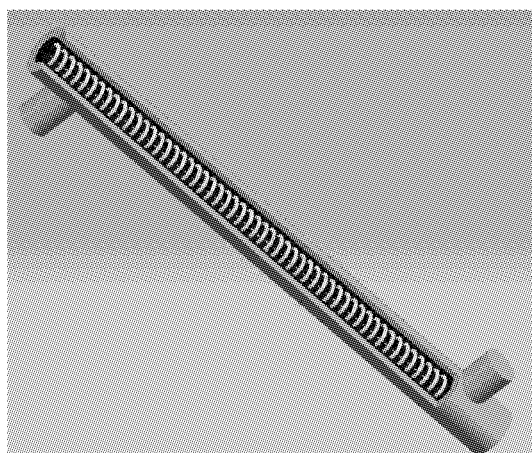


图1 换热管内插自振弹簧示意图

Fig. 1 Schematic diagram of self-vibration spring heat exchange tubes within the interpolation

该模型的网格划分如图2所示。计算时选用离散格式,压力与速度的耦合计算采用SIMPLEC方法,压力计算采用STANDARD,忽略重力的作用,对流项采用二阶迎风格式^[11]。流体入口定义为速度输入,并通过UDF输入正弦脉冲流动如式(1),出口定义为压力出口。

$$v = v_0 + v_0 A \sin 2\pi ft \quad (1)$$

式(1)中: v 为脉冲流瞬态入口速度(m/s), v_0 为稳态流速度(m/s), A 为脉冲流振幅, f 为脉冲流频率。显然,当 $A = 0$ 时,演变为稳态流。计算时,取

收稿日期:2012-07-11

作者简介:徐建民(1965-),男,湖北武汉人,教授,硕士。研究方向:新型高效化工设备的研究与开发。

$v_0 = 0.05 \text{ m/s}$, f 分别取 2, 4, 6, 8, 10 (Hz), A 分别取 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 (mm), 并设定脉冲流强化换热系数 $R = k_m/k_w$, 其中, k_m, k_w 分别为脉冲流和稳态流条件下传热系数.



图2 局部模型的网格划分

Fig.2 Mesh generation of local model

2 计算结果分析

2.1 出口中心处压力分布图

图3表示当振幅 $A = 0.1 \text{ mm}$, $f = 2, 4, 6, 8, 10$ (Hz) 时, 内插自振弹簧换热管流体出口横截面平均压力随相位 ($2\pi ft$) 波动图. 从图3中可以看出, 在脉冲流振幅一定时, 随着脉冲流频率的增大, 出口截面中心处压力的波动振幅也增大.

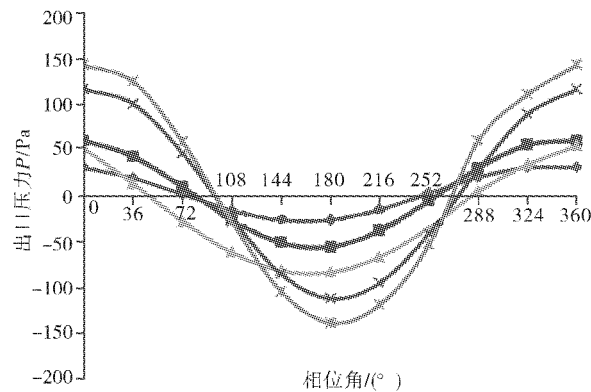


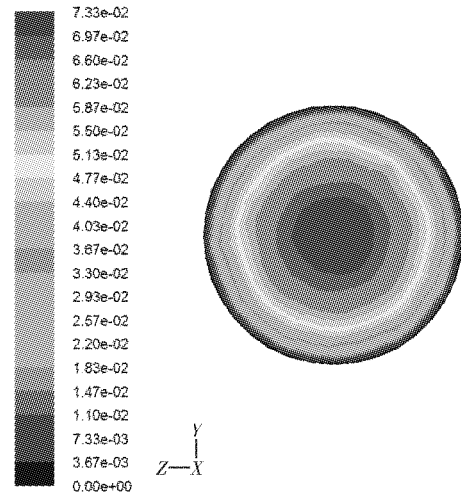
图3 出口中心处压力波动图

Fig.3 The outlet center pressure distribution

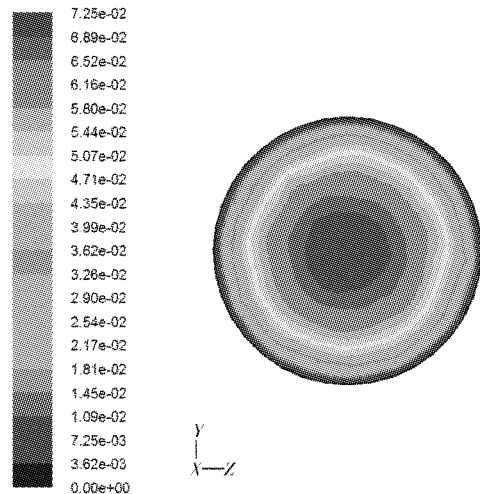
注: $\rightarrow 2$; $\rightarrow 4$; $\rightarrow 6$; $\rightarrow 8$; $\rightarrow 10$

2.2 脉冲流参数对流场的影响

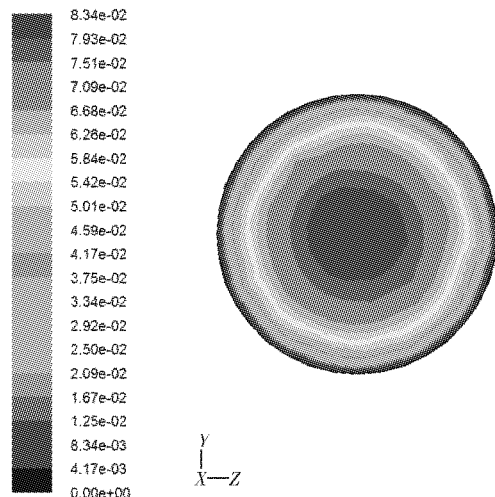
为了分析脉冲流参数对流场的影响, 在换热管 $x = 250 \text{ mm}$ 处, 分别截取当振幅 $A = 0, 0.1, 0.3$ (mm) 时的速度云图, 如图4所示; 当振幅 $A = 0.5, 0.7, 1.0$ (mm) 时的速度云图, 如图5所示. 从图4和图5中可以看出, 在内插自振弹簧换热管中, 通入脉冲流比通入稳态流时, 管近壁面的温度梯度要小, 而且振幅越大, 边界层越薄. 由于对流换热的热阻主要集中在边界层, 边界层是对流换热热阻的控制层, 要提高对流换热系数, 就得降低边界层热阻, 降低边界层热阻的最佳途径是改变其流动状态, 使壁面流体的流动方向不断变化. 向换热管中通入脉冲流正是为了满足这种要求, 减薄了边界层厚度, 提高了换热能力, 而且振幅越大, 换热能力越强.



$A = 0$



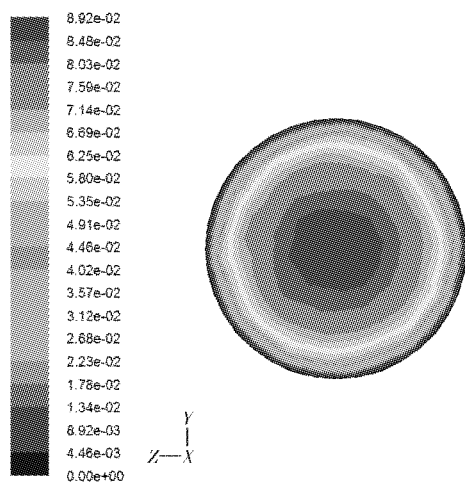
$A = 0.1 \text{ mm}$



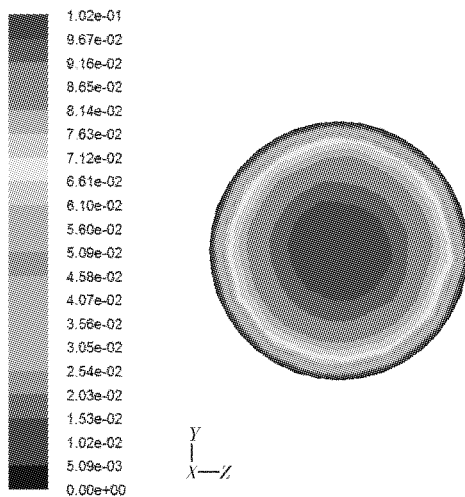
$A = 0.3 \text{ mm}$

图4 A 为 0 和 0.1 及 0.3 时速度云图

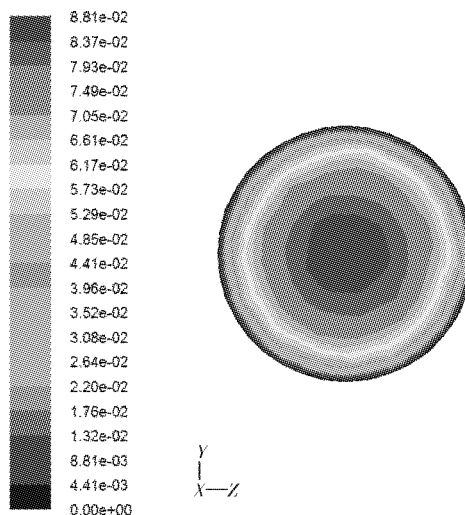
Fig.4 Speed of cloud images



A = 0.5 mm



A = 0.7 mm



A = 1.0 mm

图 5 A 为 0.5 和 0.7 及 1.0 时的速度云图

Fig. 5 Speed of cloud images

2.3 脉冲流参数对温度场的影响

图 6 表示在内插自振弹簧换热管中通入脉冲流的情况下,当振幅一定时,传热系数随频率的变化曲线.由图 7 可知,当振幅为 0.1 和 1.0 时,传热

系数随着频率成正弦周期性变化,当振幅为 0.3, 0.5 和 0.7 时,传热系数随频率的变化很小,几乎不受频率的影响.

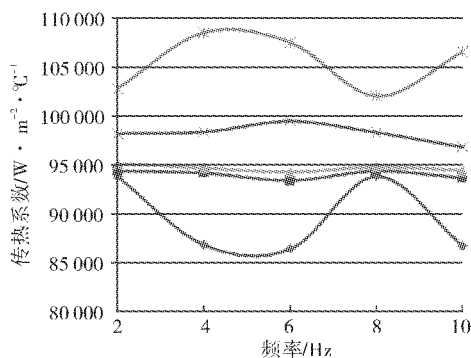


图 6 传热系数随频率的变化曲线图

Fig. 6 The curve of heat transfer coefficient variation with frequency

注: — 0.1; — 0.3; — 0.5; — 0.7; — 1

图 7 表示在内插自振弹簧换热管中通入脉冲流的情况下,当频率一定时,传热系数随振幅的变化曲线.由图可知,当脉冲频率一定时,传热系数随着振幅的增大而增大,当振幅大于 0.5 mm 后,变化更明显,传热效果更好.

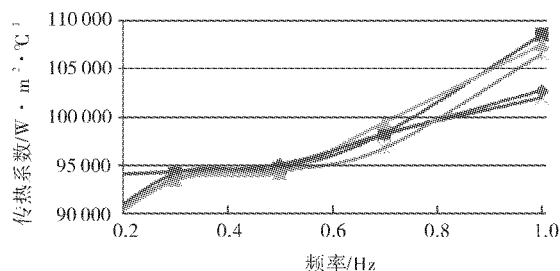


图 7 传热系数随振幅的变化曲线图

Fig. 7 The curve of heat transfer coefficient variation with swing

注: — 2; — 4; — 6; — 8; — 10

3 结 语

研究运用 Fluent 软件对内插自振弹簧分别通入稳态流和不同参数脉冲流情况下的流场和温度场进行了分析,总结如下:

(1) 内插自振弹簧换热管出口平均压力呈现与脉冲流周期相同的正(余)弦波动,波动大小随着频率的增大而增大.

(2) 向内插自振弹簧换热管中通入脉冲流,能减小速度边界层厚度,降低热阻,进而提高换热能力.

(3) 脉冲流振幅越大,速度边界层厚度越小,热阻越低,换热效果越好.

(4) 内插自振弹簧换热管的换热效果受脉冲流频率的影响不大,但受脉冲流振幅的影响很大,

随着振幅的增大,换热效果增强。

参考文献:

- [1] Cheng C H, Hong J L. Numerical prediction of lock-on effect on convective heat transfer from a transversely oscillating circular cylinder [J]. Int J Heat Mass Transfer, 1997, 40(8): 1825-1834.
- [2] Hemida H N, Sabry M N, Abdel-Rahim A. et al. Theoretical analysis of heat transfer in laminar pulsating flow [J]. Int J Heat Mass Transfer, 2002, 45 (8): 1767-1780.
- [3] 吴峰,李青. 热声理论的研究进展[J]. 武汉工程大学学报, 2012, 34(1): 1-6.
- [4] 张锁龙,张琳. 内置螺旋弹簧换热管的换热研究[J]. 石油机械, 2002(30): 5-7.
- [5] 何雅玲,杨卫卫,赵春风,等. 脉动流动强化换热的数值研究[J]. 工程热物理学报, 2005, 26(3): 495-497.
- [6] 俞接成,李志信. 环形内肋片圆管层流脉冲流动强化对流换热数值分析[J]. 清华大学学报, 2005, 45(8): 1091-1094.
- [7] 刘建清,田茂诚,王海兴,等. 脉动水流诱导复合曲梁振动特性的试验研究[J]. 水动力学研究与进展, 1998, 13(4): 467-472.
- [8] 徐建民,熊雯,皮威. 内插螺旋弹簧换热管传热性能试验研究[J]. 石油化工设备, 2010, 31(3): 9-12.
- [9] 杨文灏,喻九阳,吴艳阳,等. 螺旋槽管脉冲流强化对流换热数值及场协同分析[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(9): 46-48.
- [10] 明廷臻,周程,刘伟. 管内填充环状金属多孔介质强化传热优化分析[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(3): 62-66.
- [11] 黄晓艳,王华. R245fa 传热特性的实验研究[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(3): 67-71.

Numerical analysis of interpolation vibration spring heat exchange tubes under pulse flow

XU Jian-min, HU Xiao-xia, PENG Kun, YU Hai-yan, HUANG Wei

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

Abstract: The effect of pulse flow on the performance of heat exchange tube with built-in spring was investigated using software FLUENT. The temperature field and the pressure field under different pulse flow were obtained. Results indicate that the average export pressure shows the same vibration period with that of pulse flow and the fluctuation amplitude increases with the increment of the frequency of pulse flow; comparing with the case of steady flow, the thickness of velocity boundary layer decreases significantly and thus the heat transfer coefficient is enhanced greatly; the vibration amplitude of pulse flow has great effect on the heat transfer enhancement, while the frequency of pulse flow shows little influence on the heat transfer enhancement.

Key words: built-in spring; stream of pulses; enhanced heat transfer

本文编辑:陈小平