

文章编号:1674-2869(2014)03-0058-05

内置分段式弹簧换热管内流场的数值模拟

徐建民,雷 斌,李智勇,黄 伟,陈 聪

(武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430205)

摘 要:针对内置弹簧换热管在强化传热过程中产生较大阻力的问题,提出了一种插入分段式弹簧的方法,并通过 Fluent 软件对内置不同长度的弹簧换热管某一截面处的流动特性进行数值模拟,分别取每段弹簧的长度分别为 50 mm、100 mm、150 mm、200 mm,得到了在内置不同长度弹簧的换热管内某一截面处的速度场;然后分别取不同丝径和圈径的分段式弹簧,对换热管内某一截面的流体径向速度场进行数值模拟,研究弹簧的丝径与圈径对强化传热的影响.结果表明:在换热管两端插入分段式弹簧使得管内流体径向速度提高了 2~3 倍,加快了管内壁区域流体的流动,使得边界层变薄,不仅加强了边界层流体的扰动,而且一定程度上降低了流体流动的阻力,从而提高了换热效率.在雷诺数相同时,内置分段式弹簧换热管相对于光管 Nu 数提高了 2~4 倍;随着丝径和圈径的增大,强化传热效率得到提高而流动阻力随着相应增加.

关键词:分段式弹簧;强化传热;数值模拟

中图分类号:TQ051.501

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2014.03.012

0 引 言

管内插入螺旋弹簧作为一种无源技术已被一些学者进行了研究,并证明了该技术能够很好的实现强化传热,但是弹簧结构对管内流体压降与阻力的影响尚不清楚,该研究尚不多见.本文决定对螺旋弹簧进行分段式处理后,通过数值模拟的方法来系统研究分段式弹簧强化传热特性.

已有很多学者对内置螺旋弹簧换热管强化传热特性进行数值模拟^[1-3],多数采用 FLUENT 软件对流体流动传热的速度场、压力场、温度场进行数值模拟,但是对分段式弹簧换热管数值模拟方法的研究并不多.数值模拟更能给研究人员带来直观的分析数据,且运用起来方便,高效,深受学者的青睐.

运用 FLUENT 软件对不同内置分段式弹簧换热管的速度场进行数值模拟,有利于观察流体流动状态和研究内置分段式弹簧换热管管内流体的传热特性,得到不同长度的分段式弹簧对流动传热性能的影响规律.

1 建立模型和边界条件

1.1 计算模型

拟采用 4 种不同尺寸的内置分段式弹簧换热管与光管流动与传热进行三维数值模拟,该模拟

选取长度 500 mm 的管长作为模拟区域,换热管直径为 20 mm,弹簧丝径为 1 mm,弹簧节距为 3 mm,弹簧圈径为 16 mm.分段式弹簧的尺寸如表 1 所示.

表 1 各段弹簧长度

Table 1 The length of each segment of the spring mm

序号	两端分别内置弹簧长度
1	50
2	100
3	150
4	200

由于计算模型中弹簧呈螺旋结构,并且横截面很小,划分网格有一定的困难,经过反复的尝试,最终选择适应性较好的 Tet/Hybrid(四面体)类型,该类型网格包含四面体网格单元,但是在合适的位置也包含六面体、锥体,划分方式选用 TGrid(主要采用四面体单元)方式,为提高结果的精确度,对弹簧壁面的网格加密.划分网格的局部模型如图 1 所示.

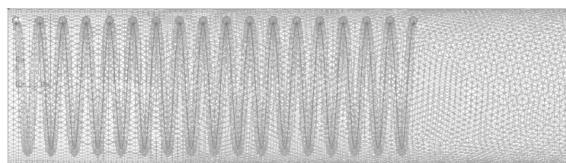


图 1 划分网格局部模型

Fig. 1 Mesh generation of local model

1.2 边界条件

流体入口定义为速度入口边界,速度从 0.3 m/s

收稿日期:2014-01-08

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.

增加到 1.1 m/s,入口流体的温度为 333 K,换热管的壁面定义成无滑移的静止的刚性壁面,壁面温度恒定为 293 K,流体出口定义为压力出口边界.采用标准 $\kappa-\epsilon$ 湍流模型,压力与速度的耦合采用 SIMPLE(基本)方式,对流项采用一阶迎风离散格式,定义收敛条件为残差的绝对值小于 1×10^{-6} .

2 模拟结果

2.1 流动特性

在内置分段式弹簧换热管内,弹簧呈螺旋结构,对流体起到一个引导作用,使得流体随着产生螺旋运动;弹簧在流体的冲击作用下会发生振动,流体受到弹簧的振动作用,轴向速度,径向速度以及弹簧周围流体的切向速度会有所增大,因此弹簧就会产生离心力,对近壁区域流体产生扰动,减薄边界层,从而改善传热效果;弹簧的螺旋结构增加了流体的湍流强度,充分扰动边界层,进一步提高传热效率^[4-6].

2.2 4 种不同分段弹簧长度下在 $x=30\text{ mm}$ 截面处的径向速度场

当流体入口速度为 0.3 m/s 时,内置不同尺寸分段式弹簧换热管内 $x=30\text{ mm}$ 截面处的径向速度分布如图 2 至图 6 所示.

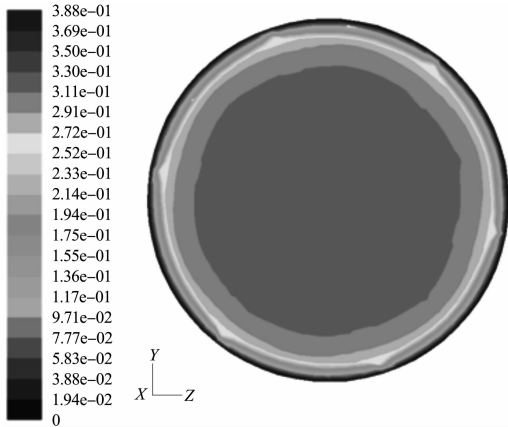


图 2 光管速度分布图

Fig. 2 Velocity profile of light pipe

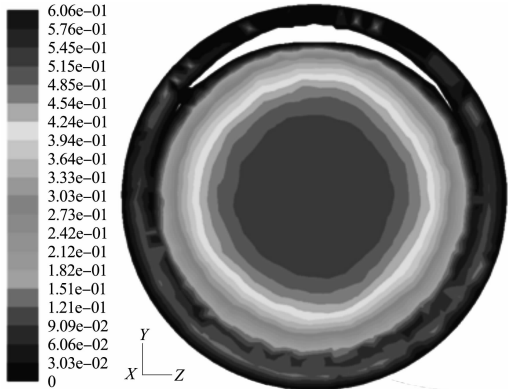


图 3 1# 管速度分布图

Fig. 3 Velocity profile of 1# pipe

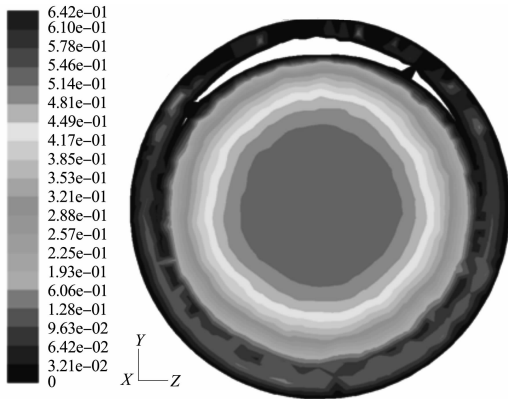


图 4 2# 管速度分布图

Fig. 4 Velocity profile of 2# pipe

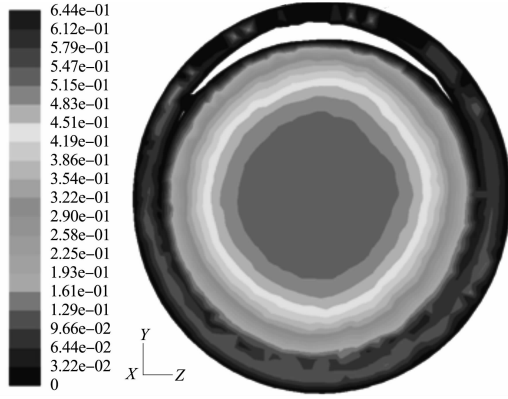


图 5 3# 管速度分布图

Fig. 5 Velocity profile of 3# pipe

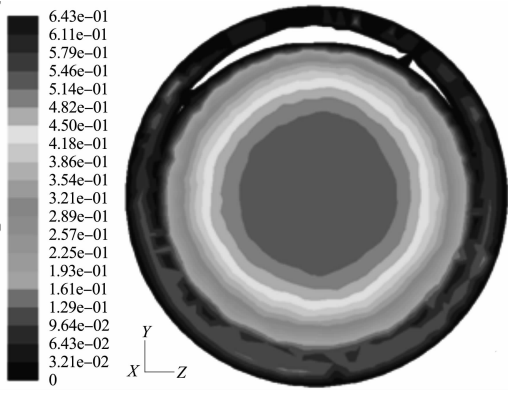


图 6 4# 管速度分布图

Fig. 6 Velocity profile of 4# pipe

从图 2 至图 6 可以看出,换热管内置分段式弹簧可以明显提高流体的径向速度,并在换热管壁面区域加强流体扰动,破坏边界层,边界层在弹簧的振动作用下产生分离,使得边界层变薄,从而达到强化传热的效果.同时插入分段弹簧的长度对径向速度影响不大,因此综合流体流动阻力考虑,为了减小弹簧对流体的阻碍,采用长度较小的分段式弹簧(换热管的两端插入弹簧,中间湍流区域没有弹簧)可以更好地提高强化传热效果.

2.3 弹簧丝径的影响

入口速度为 0.3 m/s 时,丝径分别取 1.0 mm、1.4 mm、1.8 mm,内置不同丝径的分段式弹簧换

热管管内 $x=30\text{ mm}$ 截面处的径向速度分布如图 7 至图 9 所示。

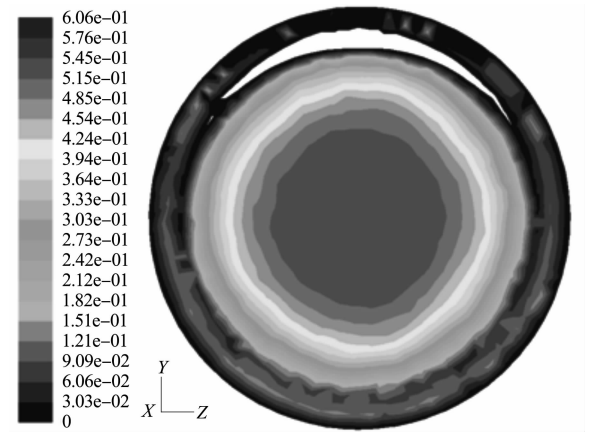


图 7 丝径为 1.0 mm 时 $x=30\text{ mm}$ 截面处速度云图
Fig. 7 Speed of cloud images(Wire diameter is 1.0 mm)

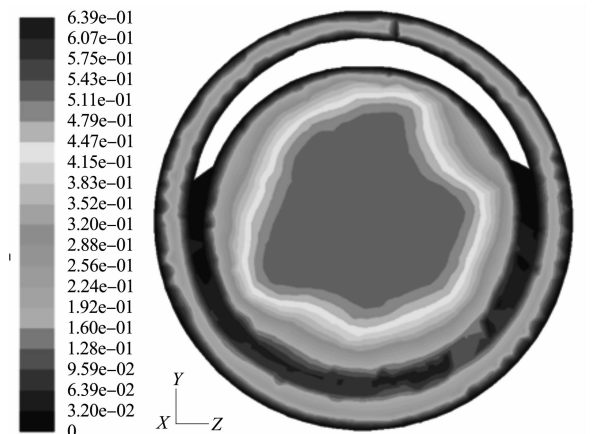


图 8 丝径为 1.4 mm 时 $x=30\text{ mm}$ 截面处速度云图
Fig. 8 Speed of cloud images(Wire diameter is 1.4 mm)

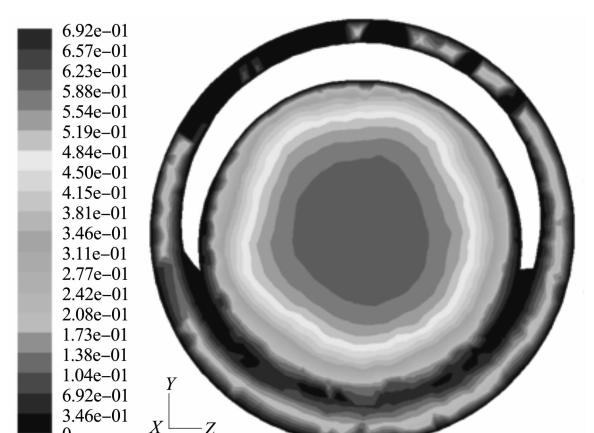


图 9 丝径为 1.8 mm 时 $x=30\text{ mm}$ 截面处速度云图
Fig. 9 Speed of cloud images(Wire diameter is 1.8 mm)

从图 7 至图 9 可以看出随着丝径的增大,弹簧的引流作用得到增强,边界层的速度增大,说明起到了扰动作用,并且加强了弹簧周围流体的运动,弹簧又使得流体产生了明显的螺旋运动,进而

迫使边界层分离,边界层的厚度随之减小,从而增强强化传热效果,但同时增大了阻力压降。

2.4 弹簧圈径的影响

入口速度为 0.3 m/s 时,圈径分别取 8 mm, 12 mm, 16 mm, 内置不同圈径的分段式弹簧换热管管内 $x=30\text{ mm}$ 截面处的径向速度分布如图 10 至图 12 所示。

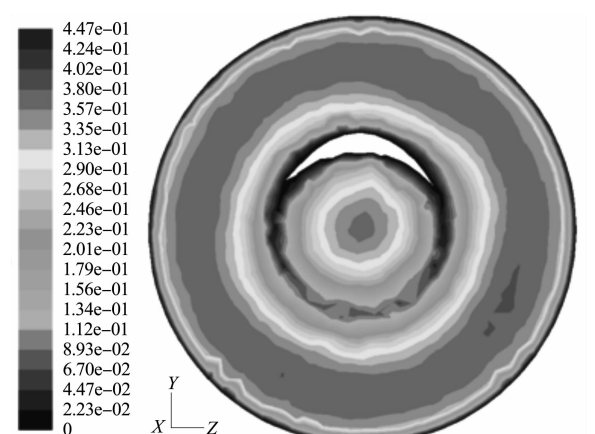


图 10 圈径为 8 mm 时 $x=30\text{ mm}$ 截面处速度云图
Fig. 10 Speed of cloud images(circle diameter is 8 mm)

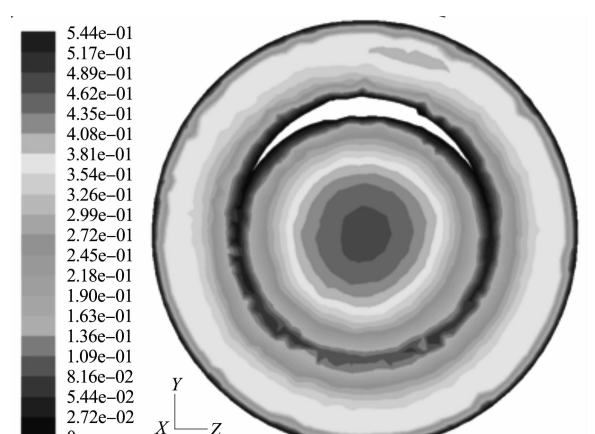


图 11 圈径为 12 mm 时 $x=30\text{ mm}$ 截面处速度云图
Fig. 11 Speed of cloud images(circle diameter is 12 mm)

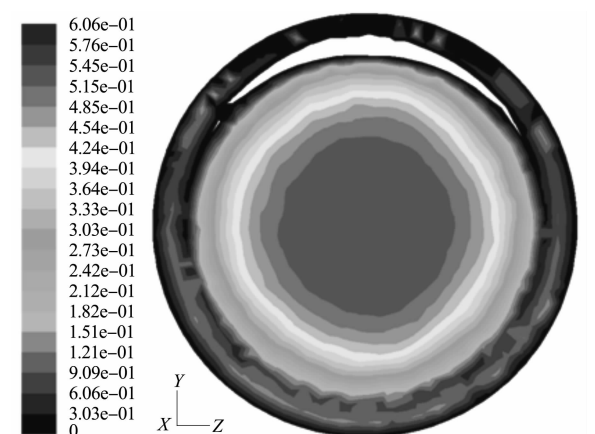


图 12 圈径为 16 mm 时 $x=30\text{ mm}$ 截面处速度云图
Fig. 12 Speed of cloud images(circle diameter is 16 mm)

从图 10 至图 12 可以看出随着弹簧圈径的增大,流体的速度也会增大,因为圈径大的弹簧离壁面区域近,流体的冲击使弹簧发生振动后,边界层的流体会产生扰动,加上流体在弹簧作用下产生的螺旋运动,使得边界层的流体运动更剧烈,可以较快的从层流阶段过渡到紊流阶段,减薄了边界层的层流底层,降低壁面热阻,进而提高了强化传热效率.

3 计算结果与数据分析

图 13 可以反映出每段弹簧的长度对强化传热有一定的影响,并与光管进行了比较,内置分段式弹簧对强化传热起到了促进作用. 随着雷诺数 Re 的增加,努赛尔数 Nu 随之增大,雷诺数 Re 相同时,随着插入弹簧的长度增加,努赛尔数 Nu 相应的增加,从而增大强化传热的效果.

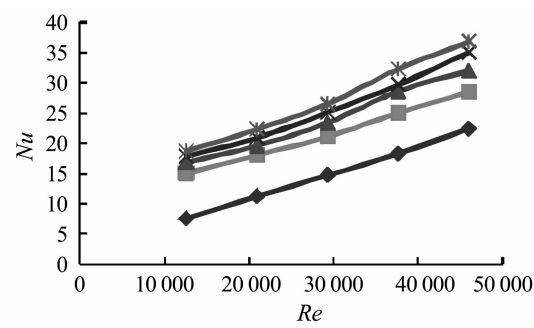


图 13 Nu 数随 Re 的变化曲线
Fig. 13 Nusselt number and Reynolds number variation graph

注: ◆ 光管; ■ 1#管; ▲ 2#管; × 3#管; * 4#管

图 14 可以反映出,内置分段式弹簧换热管相对于光管,阻力系数会增大,但是随着 Re 数的增大,阻力系数逐渐减小,且 1#管阻力系数最小,说明在两端插入的弹簧长度不宜过长,因为弹簧会增加流体流动阻力,在换热管完全紊流区,可以达到良好的传热效果,因此,采用分段式弹簧可以有效减小阻力,使流体呈现扰动、稳定流、扰动的状态,进一步提高传热效率.

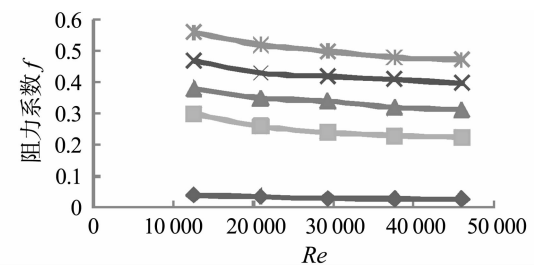


图 14 阻力系数随 Re 的变化曲线
Fig. 14 Resistance coefficient and Reynolds number variation graph

注: ◆ 光管; ■ 1#管; ▲ 2#管; × 3#管; * 4#管

4 结 语

a. 在内置分段式弹簧换热管的入口与出口端由于存在弹簧的振动,使得流体边界层破坏,加强了流体的扰动,使得两端管内侧边界层变薄,从而提高强化传热的效果.

b. 分段式弹簧的存在,可以明显起到强化传热的作用. 在相同的 Re 数下,与光管相比, Nu 数提高了 2~4 倍,但是阻力系数也会相应的增加,总体来说还是可以提高强化传热效率.

c. 内置分段式弹簧强化传热技术适用于低流速下的传热技术应用,并且两端弹簧尽量选择短些,有利于减小压降,兼并弹簧的振动作用,从而实现强化传热.

致 谢

衷心感谢武汉工程大学机电工程学院对本研究工作的支持与帮助.

参考文献:

[1] 徐建民,彭坤,胡小霞,等. 内置螺旋弹簧换热管内流动与传热三维数值模拟[J]. 化工进展,2012,31(12):2652-2655.
XU Jian-min,PENG Kun,HU Xiao-xia,et al. 3D numerical simulation of fluid flow and heat transfer in heat exchange tube with helical coil inserts [J]. Chemical Industry And Engineering Progress,2012,31(12):2652-2655. (in Chinese)

[2] 李丽霞. 插入扰动元件换热器换热特性数值模拟研究[D]. 西安:西安科技大学,2009.
LI Li-xia. Numerical simulation of the heat transfer performance in heat exchanger inserted by disturbance device [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology,2009. (in Chinese)

[3] 李行. 内置组合式扭带换热管内流动与传热的数值模拟[D]. 长沙:长沙理工大学,2011.
LI Xing. Numerical simulation of flow and heat transfer in heat exchanger tubes with modular twisted tape [D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology,2011. (in Chinese)

[4] 彭威,阎华,关昌峰,等. 内置组合转子换热管的综合传热性能[J]. 化工进展,2012,31(4):749-753.
PENG Wei,YAN Hua,GUAN Chang-feng,et al. Experimental study on the heat transfer enhancement of tubes with rotor assembly inserts [J]. Chemical Industry and Engineering Progress,2012,31(4):749-753. (in Chinese)

[5] 刑程,孟继安,李志信. 内插弹簧转子的管内换热及

转子旋转特性[J]. 工程热物理学报, 2010, 31(12): 2105-2108.

XING Cheng, MENG Ji-an, LI Zhi-xin. Heat transfer and rotating features of inserted spring rotors[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2010, 31(12): 2105-2108. (in Chinese)

[6] 徐建民, 胡小霞, 彭坤, 等. 内插自振弹簧换热管脉冲

流强化换热数值分析[J]. 武汉工程大学学报, 2012, 34(9): 66-69.

XU Jian-min, HU Xiao-xia, PENG Kun, et al. Numerical analysis of interpolation vibration spring heat exchange tubes under pulse flow[J]. Journal of Wuhan Institute Technology, 2012, 34(9): 66-69. (in Chinese)

Numerical simulation of flow field sectional spring inserted in heat exchange tube

XU Jian-min ,LEI Bin ,LI Zhi-yong ,HUANG Wei ,CHEN Cong

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

Abstract: To investigate the problem of the resistance increasing in the process of enhancing heat transfer, a method based on inserting the sectional spring was put forward. The flow characteristics of a cross-section were simulated using FLUENT software. The velocity fields within a cross-section of the inserted sectional springs with different length of the heat exchange tubes were obtained after the length of each sectional spring was set as 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm. By taking different wire diameter and circle diameter of the sectional springs, the radial velocity of fluid field within the heat exchange tube was simulated. The results show that inserting the sectional springs into both ends of heat exchange tube increases the radial velocity of the fluid 2-3 times, accelerates the fluid flow in the inner wall region, makes the boundary layer thinner, which not only strengthens the perturbation of boundary layer, but also reduces the flow resistance to some extent, thus improving heat transfer efficiency. Under the conditions of the same Reynolds number, the Nusselt number in the heat exchange tube of inserted sectional spring is higher 2-4 times than that in the plain tube. With the increase of wire diameter and circle diameter, heat transfer efficiency is improved and the flow resistance is increased.

Key words: sectional spring; enhanced heat transfer; numerical simulation

本文编辑: 陈小平