

# 关于U形管式换热器流阻对压力场影响的分析

梁雪娇, 韩文娟\*, 彭义敏, 杨丹丹

六盘水师范学院, 物理与电气工程学院, 贵州 六盘水  
Email: \*hanwenjuanying@163.com

收稿日期: 2021年2月22日; 录用日期: 2021年3月22日; 发布日期: 2021年3月29日

## 摘要

本文对U形管式换热器流阻对压力场的影响进行分析。研究方法是: 先对换热器的流阻知识进行介绍, 再对U形管式换热器的压力场进行模拟, 使用换热器的流阻理论对所模拟的压力场进行分析。研究结论: U形管式换热器管程越长、流体入口流速越大、管径越小, 进出口压降越大。通过模拟分析, 为U形管式换热器的优化设计提供一些参考信息。

## 关键词

U形管式换热器, 流阻, 压力场, 数值模拟, 研究

# The Analysis on the Influence of Flow Resistance on Pressure Field of U-Tube Heat Exchanger

Xuejiao Liang, Wenjuan Han\*, Yimin Peng, Dandan Yang

School of Physics and Electrical Engineering, Liupanshui Normal University, Liupanshui Guizhou  
Email: \*hanwenjuanying@163.com

Received: Feb. 22<sup>nd</sup>, 2021; accepted: Mar. 22<sup>nd</sup>, 2021; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The influence of the flow resistance on pressure field of U-tube heat exchanger is analyzed in this paper. The research methods are as follows. Firstly, the knowledge of flow resistance of heat ex-

\*通讯作者。

changer is introduced, then the pressure field of U-tube heat exchanger is simulated, and the simulated pressure field is analyzed by using the flow resistance theory of heat exchanger. The research conclusions are as followings. When the pipe length of U-tube is longer, the flow velocity of fluid at the inlet the U-tube is greater, the pipe diameter of U-tube is smaller, the pressure of fluid drop at the inlet and outlet of U-tube heat exchanger is greater. Through the simulation analysis, some reference information is provided for the optimal design of U tube heat exchanger.

## Keywords

U-Tube Heat Exchanger, Flow Resistance, Pressure Field, Numerical Simulation, Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

换热器是将某种流体热量以一定的传热方式传递给其它流体的设备[1], U形管式换热器是换热器中最基本的一种, 因具有热补偿性能好、传热性能好、承压能力强、结构简单、造价便宜等优点而得到很好地运用和发展[2], 在化工、石油、动力、制冷、能源等行业中得到广泛应用[3]。关于U形管式换热器的研究很多, 如Shabnam Gharibi、Emad Mort-ezazadeh等建立了U形管换热器的三维数值模型研究换热器性能[4][5], 曹永等对U型管内部流场情况利用RNGk-ε湍流模型进行了数值分析[6], 孙晓盟等建立U形管式换热器三维稳态流动数学模型求得了流场分布[7]; 流阻是换热系统的主要组成部分, 过大的流阻会提高对换热器管路的要求, 因此流阻也是评价换热器性能的重要指标。研究表明, 降低流道压力损失可降低换热系统的系统总体能量损失。关于换热器流阻的研究也很多, 如错列翅片紧凑式换热器湍流流动及换热性能的数值研究[8]、非对称翅片管换热器传热和阻力特性的数值分析[9]、平直翅片管式换热器结构参数的优化[10]等。笔者受这些研究思路的启示, 从贴近现状的工况着手, 建模、研究非流固耦合时U形管式换热器的压力场[11]和流阻情况, 能更好地认识U形管式换热器的工作原理, 从而能为U形管式换热器的优化设计提供一些参考信息。

## 2. 相关知识

### 2.1. 流阻介绍

换热器中流体流动阻力产生的主要原因是流体有黏性, 在流动过程产生内摩擦力, 流体的流动中受到摩擦力的阻碍即阻力, 所以黏性是流体产生流动阻力的内部因素。通常管道流动中流体的沿程阻力(也称沿程能量损失)满足关系式  $h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2g}$ , 式中  $h_f$  为沿程阻力,  $u$  为流体的流速,  $\lambda$  为沿程损失系数,  $d$  为管道的直径,  $l$  为管道长度。

### 2.2. 研究方法

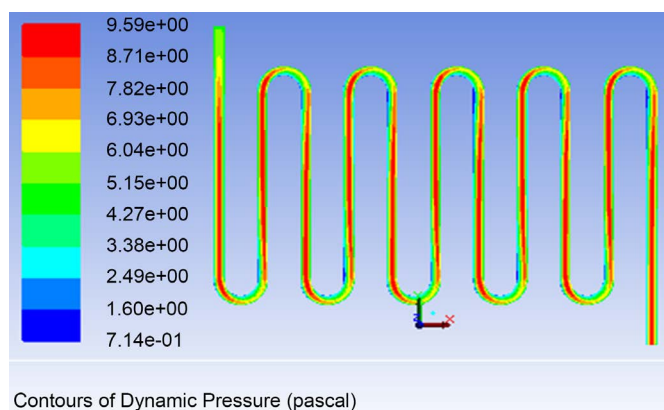
本文主要模拟稳态下U形管式换热器的压力场(压力场是各个时刻物体中各点压强所组成的集合)情况, 所采用的流体(雷诺数小于2000的层流情况)是水, 水可看作是不可压缩的流体。通过模拟计算, 得到不同参数时U形管式换热器压力场的模拟云图进行分析。本文研究U形管式换热器压力场的方法是:

在忽略流固耦合的前提下,运用 UG 建立不同尺寸的 U 形管式换热器流体几何模型,使用 ANSYS 软件进行模拟[8]计算,得到管程、流体速度、管径等不同参数压力场云图,最后运用控制变量法对不同参数条件下的压力场进行数值分析。模拟过程为:1 参照换热器设计手册,计算所需的建模数据;2) 草图建立→拉伸、求和、导出模型;3) 模型导入→命名→网格划分→模拟计算→结果分析。

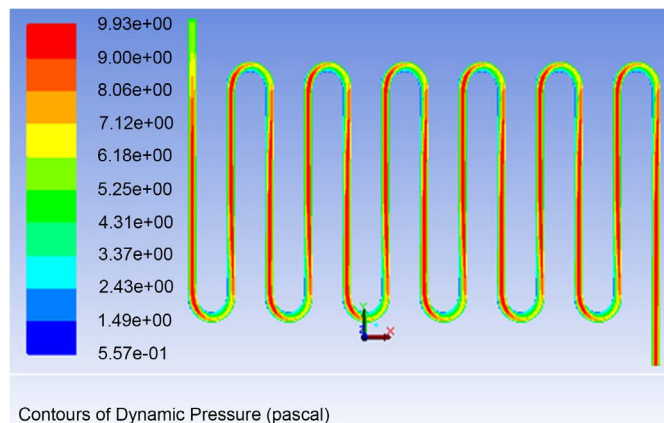
### 3. 模拟结果

#### 3.1. 管程不同时的压力场云图

对 U 形管式换热器的流体入口温度、壁面温度、管径、速度相同(取入口温度为 363 K,壁面温度为 293 K,管径为 6 mm,速度为 0.1 m/s),而管程不同时(管程分别取为 1780 mm、2096 mm)时所模拟的压力场云图见图 1、图 2。



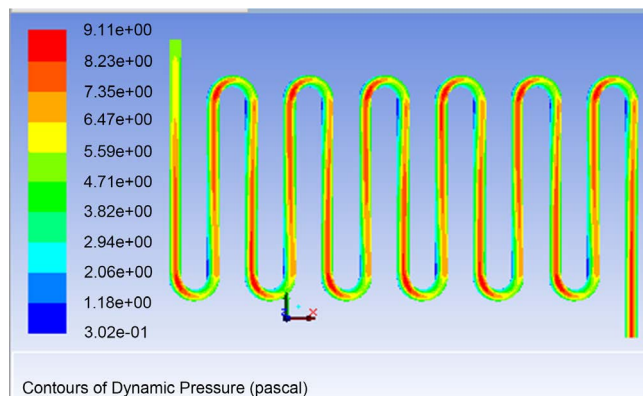
**Figure 1.** The graph of the pressure field when the pipe length of the U-tube is 1780 mm  
**图 1.** 管程为 1780 mm 时的压力场云图



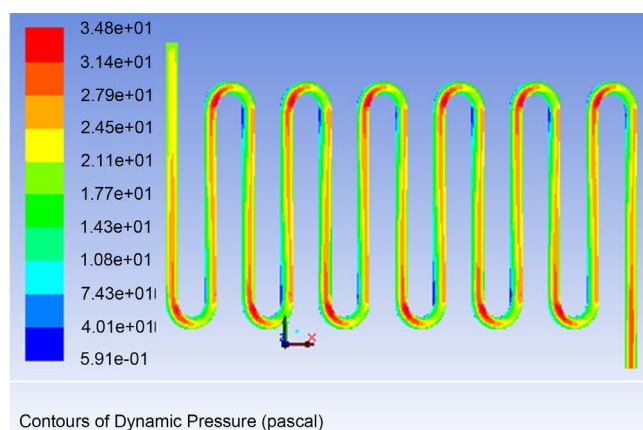
**Figure 2.** The graph of the pressure field when the pipe length of the U-tube is 2096 mm  
**图 2.** 管程为 2096 mm 时的压力场云图

#### 3.2. 流体流速不同时的压力场云图

流体管程、壁面温度、管径、入口温度相同(取流体管程为 2096 mm,壁面温度为 293 K,管径为 6 mm,入口温度为 363 K),而流体速度不同时(速度分别取为 0.1 m/s、0.2 m/s)时所模拟的流场云图见图 3、图 4。



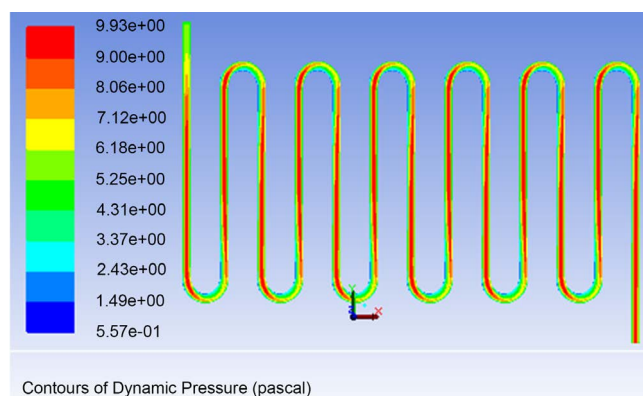
**Figure 3.** The graph of the pressure field when the flow velocity of fluid is 0.1 m/s  
**图 3.** 流速为 0.1 m/s 时的压力场云图



**Figure 4.** The graph of the pressure field when the flow velocity of fluid is 0.2 m/s  
**图 4.** 流速为 0.2 m/s 时的压力场云图

### 3.3. 管径不同时的压力场云图

流体管程、壁面温度、流体速度、流体入口温度相同(取换热器管程为 2096 mm, 壁面温度为 293 K, 流体速度为 0.1 m/s, 流体入口温度为 363 K), 而换热器管径不同时(管径分别取为 6 mm, 8 mm)时所模拟的压力场云见图 5、图 6。



**Figure 5.** The graph of the pressure field when the pipe diameter of the U-tube is 6 mm  
**图 5.** 管径为 6 mm 时的压力场云图

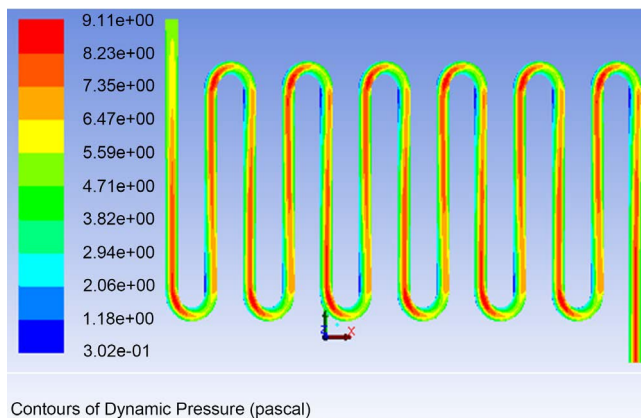


Figure 6. The graph of the pressure field when the pipe diameter of the U-tube is 8 mm  
 图 6. 管径为 8 mm 时的压力场云图

#### 4. 分析与结论

##### 4.1. 管程不同时导致的流阻对压力场的影响

将图 1、图 2 中管程为 1780 mm、2096 mm 时模拟的压力场整理对应的变化曲线见图 7、图 8。

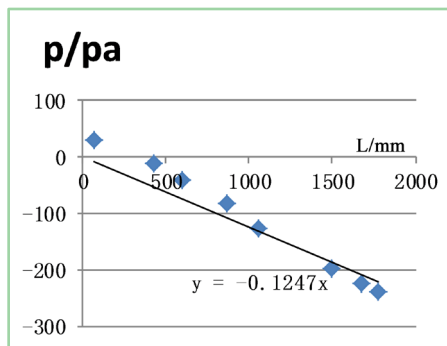


Figure 7. The graph of the pressure variation trend when the pipe length of the U-tube is 1780 mm  
 图 7. 管程为 1780 mm 时的压力变化趋势

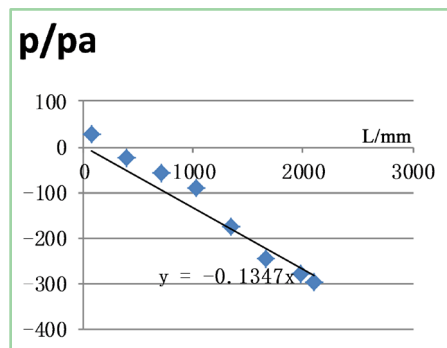
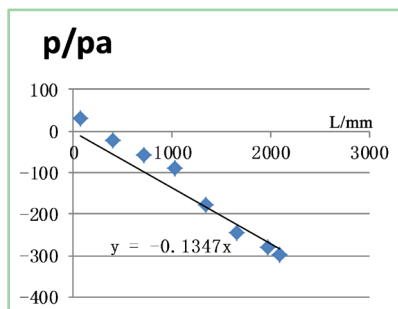


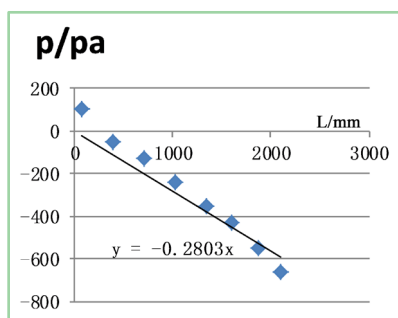
Figure 8. The graph of the pressure variation trend when the pipe length of the U-tube is 2096 mm  
 图 8. 管程为 2096 mm 时的压力变化趋势

如图 7、图 8 所示，从图中趋势线斜率可以看出，随着管程  $l$  的增大，斜率在减小，因为斜率为负，所以管程  $l$  越大，压强下降趋势越快，表明管道流体进、出口压降  $\Delta P$ （即进出口压力差  $\Delta P = P_{\text{进口}} - P_{\text{出口}}$ ，

以下同)越大。根据公式  $h_f = \lambda \frac{l u^2}{d 2g}$ ，随着管程  $l$  的增长，换热器管程越长，流体在管中停留的时间越长，而其余参数不变时，沿程阻力  $h_f$  越大，从而管道流体进、出口压降  $\Delta P$  越大。



**Figure 9.** The graph of the pressure variation trend when the flow velocity of fluid is 0.1 m/s  
**图 9.** 流体速度 0.1 m/s 时压力变化趋势

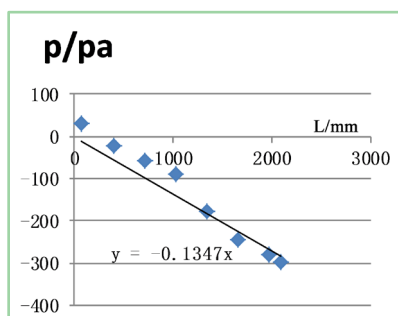


**Figure 10.** The graph of the pressure variation trend when the flow velocity of fluid is 0.2 m/s  
**图 10.** 流体速度 0.2 m/s 时压力变化趋势

如图 9、图 10 所示，从图中趋势线斜率可以看出，随着流速  $u$  的增大，斜率在增大，因为斜率为负，所以流速  $u$  越大，管道进出口压强下降趋势越快。根据公式  $h_f = \lambda \frac{l u^2}{d 2g}$ ，进口流体流速  $u$  越大，其余参数不变时，沿程阻力  $h_f$  越大，压强减小的快，从而管道流体进、出口压降  $\Delta P$  增大。

#### 4.3. 管径不同时导致的流阻对压力场的影响

将图 5、图 6 中管径分别为 6 mm、8 mm 时模拟的压力场整理对应的变化曲线见图 11、图 12。



**Figure 11.** The graph of the pressure variation trend when the pipe diameter of U-tube is 6 mm  
**图 11.** 管径为 6 mm 时压力变化趋势

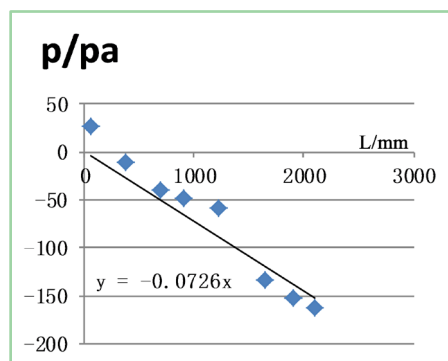


Figure 12. The graph of the pressure variation trend when the pipe diameter of U-tube is 8 mm

图 12. 管径为 8 mm 时压力变化趋势

如图 11、图 12 所示, 从图中趋势线斜率可以看出, 随着管径  $d$  的增大, 斜率在增大, 因为斜率为负, 所以管径  $d$  越大, 压强下降趋势越慢。根据公式  $h_f = \lambda \frac{l u^2}{d 2g}$ , 管径  $d$  越小, 其余参数不变时, 沿程阻力  $h_f$  越大, 压强减小的慢, 从而管道流体进、出口压降  $\Delta P$  减小。

由图 1、图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 在弯管段, 外侧压降大于内侧, 呈现周期性变化, 这是由于管道外侧流体与壁面形成的阻力大于液体内部, 所以相应压力减小的快, 从而管道外侧流体进出口压降增大。并且 U 形管式换热器由于流道距离长, 而且中间弯头多, 造成较大的沿程阻力和局部阻力, 从而导致流阻增大, 管道流体进、出口的压降  $\Delta P$  较大。

本文通过对 U 形管式换热器的压力场进行模拟, 可看出管程、进口流体速度、管径不同时导致的流阻对压力场均有影响, 即对管道流体进、出口压降  $\Delta P$  均有影响, 从而对流体的能量损失有影响, 模拟结论与理论吻合。所以在对 U 形管式换热器进行优化设计时需考虑管程、进口流体速度、管径等参数的匹配, 本文对 U 形管式换热器流阻对压力场的影响进行分析为 U 形管式换热器进行优化设计提供一些参考信息。

## 基金项目

六盘水师范学院大学生项目(LPSSYDXS19077); 2019 年教育部高等学校大学物理课程教学研究立项项目(DJZW201934xn); 贵州省教育厅基金项目(黔教合 KY 字[2019]133); 六盘水师范学院大学生项目(LPSSYDXS19078); 六盘水师范学院硕士学位培育点学科建设项目(LPSSYSSDYPY201704); 关于混合式教学模式下的大学物理课程教学实践和应用(2018520116)。

## 参考文献

- [1] 史中美, 王中铮. 热交换器原理与设计[M]. 第五版. 南京: 东南大学出版社, 2014.
- [2] 刘家杰. 换热器行业未来发展趋势探析[J]. 中国市场, 2016(3): 61-64.
- [3] 钱颂文. 换热器设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [4] Gharibi, S., Mortezaazadeh, E., Bodi, S.J.H.A. *et al.* (2018) Feasibility Study of Geothermal Heat Extraction from Abandoned Oil Wells Using a U-Tube Heat Exchanger. *Energy*, **153**, 554-567. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.003>
- [5] 宋小飞. 地源热泵 U 型管地下换热器的 CFD 数值模拟[J]. 北京科技大学学报, 2007(3): 329-333.
- [6] 曹永. U 型管内部流场运动数值分析[J]. 制冷与空调, 2014, 28(5): 611-614.
- [7] 孙晓盟, 王洪志, 林国庆, 等. U 型管式换热器进口截面流场数值模拟[J]. 当代化工, 2014, 43(6): 1117-1120.



- 
- [8] 候海焱, 魏琪, 张战. 错列翅片紧凑式换热器湍流流动及换热性能的数值研究[J]. 能源工程, 2002(4): 6-10.
  - [9] 任志文, 马挺, 曾敏, 王秋旺. 非对称翅片管换热器传热和阻力特性的数值分析[J]. 动力工程学报, 2017, 37(4): 386-393.
  - [10] 费继友, 田士博, 王枫, 李花. 平直翅片管式换热器结构参数的优化[J]. 大连交通学报, 2018, 39(6): 40-44.
  - [11] 董其伍. 换热设备 CAD 系统开发技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.