

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.01.007

烟熏炉螺旋管换热器换热仿真模型研究

刘红¹, 祝高永², 陈斐奇¹, 蒋兰芳³, 杨哲人¹

(1. 浙江工业大学机械工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 浙江瑞邦机械有限公司, 浙江 嘉兴 314006;
3. 浙江工业大学之江学院, 浙江 杭州 310024)

摘要: 换热器是肉食品热加工的烟熏炉的重要组成部分, 一般有螺旋板式与 U 型 2 种不同形式。目前根据热加工要求设计换热器时, 结构参数的选择存在一定的盲目性, 即换热器的尺寸是否满足要求完全凭经验及依赖事后验证。文中针对某一类型烟熏炉螺旋管式换热器进行流动传热分析, 建立换热器的一圈为基本单元的数值分析模型。借助 CFD 技术, 分析了不同圈数对出口温度分布的影响。结果显示不同圈数对换热器的温度分布影响较大, 且基本单元截面的温度值与基本单元数量呈二次函数关系。拟合不同圈数下各截面的温度值, 得到各基本单元的出口温度与基本单元个数(圈数)的函数关系。该函数关系能够有效地反映换热器温度降趋势, 从而指导具体的换热器设计。

关键词: 烟熏炉; 换热器单元; 计算流体力学(CFD); 出口温度分布

中图分类号: TK172 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2016)01-0028-03

Study on Simulation Model of Heat Transfer in Spiral Heat Exchanger of Smoked Furnace

LIU Hong¹, ZHU Gaoyong², CHENG Feiqi¹, JIANG Langfan², YANG Zheren¹

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. Zhejiang Ruibang Machinery Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang 314006, China;

3. Zhijiang College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310024, China)

Abstract: The heat exchanger is an important part of smoked furnace of processing furnace, and there are usually two different forms of spiral type and U type. At present there is certain blindness in thermal processing requirements, according to the design of heat exchanger design parameter. In other words whether the size meets the requirements relies on experience and verification. This paper focused on a certain type of flow and heat transfer analysis in smoked furnace and set up a analysis model numerical as the basic unit of the heat exchanger for a cycle. With the aid of the CFD technology, the paper analyzed the influence of temperature field in different cycle. The results show the different cycle has great effect on temperature field in heat exchanger, and the basic unit cross section temperature values are two function relation with the number of basic units. To fit the temperature value of each section under the different cycles, and it gets a number of each basic unit of the outlet temperature and the basic unit (cycles) function relationship. The function relationship can effectively reflect the heat exchanger temperature drop trend, so as to guide the design of the heat exchanger.

Key words: smoked furnace; heat exchanger unit; CFD(Computational Fluid Dynamics); outlet temperature field

换热器是热量传递的装置, 在工业生产中有着广泛的应用。常见的换热器结构形式有螺旋管换热器与

U 型管换热器。文献[1]介绍了 U 型管换热器的设计。文献[2]则讨论了螺旋管换热器的优点与基本结

收稿日期: 2015-04-22; 修回日期: 2015-08-10

基金项目: 中国博士后科学基金(2014M561786)。

作者简介: 刘红(1960), 男, 浙江杭州人, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 主要研究领域为工程分析与建模仿真、汽车配件及模具的理论与应用的研究。E-mail: hliu@zjut.edu.cn

构,即许多换热管加工成同心螺旋状、固定在盖板和壳体底板之间。文献[3-4]实验研究了纵向和横向螺旋管的自然对流传热性能,发现平均传热系数随管间距与管径的比、螺旋半径与管径的比以及管长与管径的比的增加而增加。刘俊红等^[5]研究了桩埋螺旋管式地热换热器传热模型,给出了实心圆柱面模型,并传统的线热源模型和空心圆柱面模型作了对比分析。陈志光等^[6]采用实验方法对螺旋管换热器的对流传热系数进行了测定,利用 Fluent 软件对螺旋管周围温度场进行了数值模拟。申亚欧等^[7]的计算结果表明:组件流量分配主要受组件自身流动阻力的影响,并列排列的换热器组件能有效展平流量分配;单个组件内壳侧流场受螺旋管层位置结构的影响,呈现出比较复杂分布。

本文针对某一类型烟熏炉螺旋管式换热器的分析设计,借助流体力学模拟软件 Fluent,通过建立换热器的管程的三维模型,获得换热器管程内流场信息,获得不同管程的影响规律,实现换热设备的快速设计。

1 烟熏炉螺旋管式换热器

1.1 换热器结构的基本参数

螺旋管式烟熏炉换热器的内部管程结构如图1所示。该换热器由上下2盘连接组成,2盘距离为60 mm,每盘圈数为13圈,管径为20 mm,管壁厚度为1.5 mm,展开长约21 000 mm;进气口位于盘管上侧,出水口位于下侧。

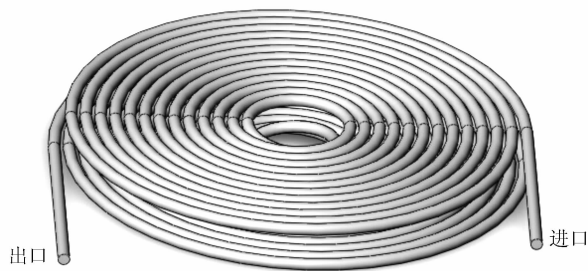


图1 螺旋管式换热器图

Figure 1 Spiral tube heat exchanger

1.2 换热器的工作原理

烟熏炉换热器也是一种蒸气汽水换热器,其工作原理如图2所示。压力 P_1 和 P_2 分别可由温度控制阀和疏水阀控制调节。疏水阀处可与管外环境相通,压力 P_2 一般为0.1 MPa(1个标准大气压)。换热开始时,蒸气从蒸气锅炉内流出,在温度控制阀处堆积,使得此处压力到达某个人为规定的值 P_1 ,即使得压力 $P_1 > P_2$,蒸气通过温度控制阀,顺着管程流动,进入换

热器,再通过疏水阀,最后循环进入蒸气锅炉。同时,冷空气进入换热器,加热后进入烟熏炉内,对食物进行加热。

但随着蒸气通过控制阀冷凝成水,蒸气压力也会逐渐减少, P_1 值减小;当达到冷凝水管的背压大于控制阀后的蒸气压力, $P_1 < P_2$,换热器内的冷凝水无法排除,发生了积水现象。这就是失流。简单地说,就是蒸气压力不足以使冷凝水通过疏水阀。发生失流后,可通过温度控制阀增加蒸气量,使蒸气压力上升, $P_1 > P_2$,从而换热器开始排放冷凝水。当然,当换热器内始终具有足够的压力使冷凝水都能通过疏水阀并及时排放,即 P_1 始终大于 P_2 ,就不会有失流,换热器正常工作。

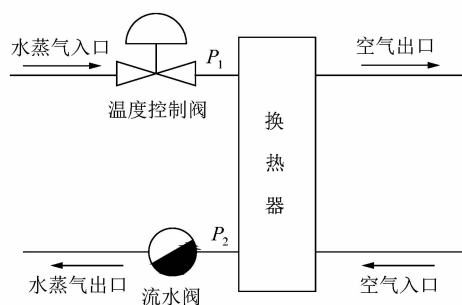


图2 换热器工作原理图

Figure 2 Working principle of heat exchanger

2 仿真与分析

计算流体力学(CFD)以计算机为工具,应用各种离散化的数学方式,对研究对象进行数值实验、模拟和研究,从而获得流体在特定条件下的时-空物理规律,近年来在换热器的研究中起到了重要作用^[8-9]。本文也采用 Fluent 流体软件进行仿真数值分析计算。

为了方便研究换热器的热效率,设一圈盘管为1个单元, n 圈盘管为 n 个单元($n=1,2,\dots,13$)。图3和图4分别是1个单元和2个单元的盘管。从图1可知螺旋管换热器是上下2层对称的盘管,每一层由13个单元组成,本文以上层为例,研究盘管圈数与壁面平均温度的数学函数关系。



图3 1个单元

Figure 3 One unit



图4 2个单元

Figure 4 Two unit

文中选择标准 κ - ε 模型,此模型具有计算快,精度合理,适用范围广的优点。因 P_1 和 P_2 的压力差约为 2 kPa,同时疏水阀 P_2 处压力为 0.1 MPa(1 个标准大气压),从而 P_2 表压为 0,即 P_1 处总压约为 0.1 MPa,此处水蒸气材料的特性与 0.1 MPa(1 个标准大气压)下的材料特性相似,所以可直接选用水蒸气。边界条件选择:入口选择压力进口,进口温度 375 K;出口为压力出口,并且给定适当的回流条件;管壁面设置为无滑移边界,钢材料,热对流传热,传热系数为 $50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,恒定壁面温度边界 300 K。定义收敛条件为:能量方程残差绝对值小于 1.0×10^{-7} ,其他方程小于 1.0×10^{-5} 。忽略重力的影响。

使用 1 个单元仿真计算时发现,在不考虑冷凝成水,水蒸气温度迅速降低时,出口处温度远远小于 373.15 K,表明水蒸气刚进入管道一小段时,已放出潜热并冷凝成水,因此后续的仿真计算介质已是水。不妨直接假设进口流体介质为 100 °C 水,其他设置保持不变。

表 1 给出不同单元数模拟得到的出口壁面平均温度的数据。

表 1 各壁面总温度值

Table 1 Each section of total temperature value

单元数	温度/K	单元数	温度/K
1	362	8	321
2	354	9	317
3	348	10	314
4	341	11	312
5	338	12	309
6	335	13	308
7	327		

对表 1 中的数据进行拟合,可得壁面平均温度关于圈数的拟合函数和曲线,如图 5 所示。

即最终函数为 $y = 0.2108x^2 - 7.5115x + 368.99$,其中 x 为圈数, y 为所需的出口温度。该模型有助于理解换热器结构尺寸与加热效率的关系,也有利于工程应用,可以检验所设计的盘管换热器是否合理。

3 结语

本文针对烟熏炉螺旋管式换热器的设计中存在的依赖经验、换热效率不确定的问题,将盘管分解成由若

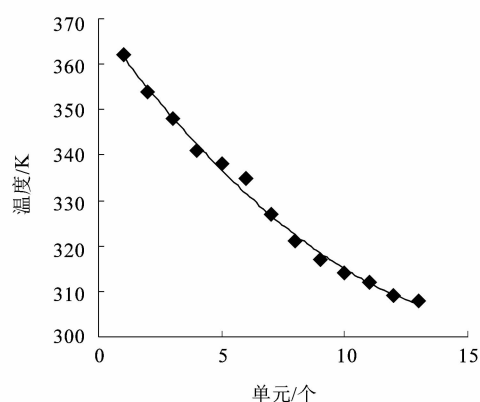


图 5 拟合函数图

Figure 5 Fitting function

干单元组成的组合体从而简化了螺旋管式换热器的建模,在此基础上根据仿真结果可以分析其换热效率。论文以某烟熏炉螺旋管式换热器为例,通过仿真建模分析得到了换热器的温度分布,建立了壁面温度降的关系模型,即换热器圈数与壁面温度的数学关系式。论文提出的分析方法与壁面温度降模型对烟熏炉螺旋管式换热器的设计有很好的实用价值。

参考文献:

- [1] 闪建平,张雷,陈雪静. U 型管式换热器的设计与校核[J]. 河北化工,2010,33(6):55-57.
- [2] 韩志航,孙奉仲,韩吉田,等. 螺旋管换热器防止蒸气随凝水排出的方案研究[J]. 热能动力工程,2004,19(6):645-647.
- [3] MOAWED M. Experimental investigation of natural convection from vertical and horizontal helicoidal pipes in HVAC applications [J]. Energy conversion & management,2005,46(18/19):2996-3013.
- [4] 孔戴,彭晓峰,杨震. 螺旋管紧凑型换热器传热性能分析[J]. 热科学与技术,2008,7(2):115-119.
- [5] 刘俊红,张文克,方肇洪. 桩埋螺旋管式地热换热器的传热模型[J]. 山东建筑大学学报,2010,25(2):95-100.
- [6] 陈志光,秦朝葵,戴万能. 螺旋管传热系数实验研究和温度场数值模拟[J]. 煤气与热力,2010,30(1):16-18.
- [7] 申亚欧,段日强,姜胜耀. 组件式螺旋管换热器壳侧流场计算[J]. 清华大学学报(自然科学版),2009,49(3):396-398.
- [8] 尹晔东,王运东,费维扬. 计算流体力学(CFD)在化学工程中的应用[J]. 石化技术,2000,7(3):166-169.
- [9] 李文敏. 基于 CFD 模拟的换热器传热性能分析与优化选型[D]. 青岛:中国海洋大学,2013:9-10.