

凹印机换热器结构性能的优化

李彦锋¹, 薛志成¹, 李征¹, 张嘉玲², 陈艳丽²

(1. 陕西北人印刷机械有限责任公司, 渭南 714000; 2. 西安理工大学, 西安 710048)

摘要: **目的** 大幅度优化凹印机的工作性能, 为干燥箱提供持续稳定的热源。**方法** 依据流体力学与传热学理论对换热器进行仿真分析, 研究翅片管换热器的换热效率与翅片高度、翅片间距、换热管排列方式的映射关系。**结果** 换热器的换热效率随翅片间距的增加而减少, 选择 3 mm 间距时效果较优, 较低的翅片高度使换热器结构更加紧凑; 在正三角形、转角正三角形、正方形、转角正方形排列方式中, 正三角形排列方式出口温度均匀且换热效率最高。**结论** 选取凹印机换热器的结构时尽量选择翅片间距小、翅片高度低、正三角形排列的换热器, 为企业选用最优性能的换热器提供理论依据。

关键词: 凹印机; 换热器; 结构优化

中图分类号: TS803.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0006-05

Optimization of Structural Performance of Heat Exchanger of Gravure Printing Machine

LI Yan-feng¹, XUE Zhi-cheng¹, LI Zheng¹, ZHANG Jia-ling², CHEN Yan-li²

(1. Shaanxi Beiren Printing Machinery Co., Ltd., Weinan 714000, China;

2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

ABSTRACT: The work aims to substantially optimize the working performance of the gravure printing machine, so as to provide sustainable and stable heat source for the drying box. The simulation analysis of heat exchanger was carried out according to the theory of fluid mechanics and heat transfer. The mapping relation between the heat exchange efficiency of finned tube's heat exchanger and the fin height, fin spacing and heat exchange tube arrangement was studied. The heat transfer efficiency decreased with the increase of fin spacing and 3 mm was a better spacing than others. The lower fin height made the heat exchanger more compact. Among the arrangement of equilateral triangle, corner equilateral triangle, square and corner square, the outlet temperature of equilateral triangle arrangement was uniform and its heat transfer efficiency was the highest. As for the selection of structural performances of heat exchanger of the gravure printing machine, the heat exchanger with small fin spacing, low fin height and in equilateral triangle arrangement should be preferably selected. It provides a theoretical basis for the heat exchanger with the optimal performance to be used by the enterprises.

KEY WORDS: gravure printing machine; heat exchanger; structural optimization

随着我国经济的快速发展, 凹版印刷作为印刷工业的重要组成部分, 在包装印刷领域占有主要份额。伴随印刷企业的日益增多, 竞争也日趋激烈, 低成本、节能环保的印刷设备是印刷企业尤为青睐的对象。在凹印过程中, 较厚的墨层(25~35 μm)使油墨靠自身的特性难以实现快速干燥结膜, 因此, 必须使用干燥装置对印品进行干燥^[1-2]。换热器作为凹印机干燥系统

的主要组成部分, 不同结构的换热器产生的换热效果不同, 从而影响印品的干燥效果^[3]。文中对凹印机换热器的翅片管结构性能进行分析及优化。

近年来, 众多专家和学者对提高凹印机换热器性能的研究探索从未停止过。Tian^[4]设计了一种新型废热回收热管换热器, 应用于回收染色印花工业设置机排出的高温废气热能。Starace^[5]提出了一种用于横流

收稿日期: 2017-01-24

基金项目: 国家自然科学基金(11272253, 11202159, 51305341); 陕西省自然科学基金(2016JM5023, 2016JQ5038)

作者简介: 李彦锋(1973—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为印刷装备、印刷企业管理。

紧凑型换热器设计的混合方法,有利于不同翅片对流量分布的研究。Huang^[6]采用多尺度热分析法研究汽车冷却系统中的换热器,为优化紧凑型热交换器提供基础。Prithiviraj 和 Andrews^[7-8]通过使用分布阻力方法模拟了管壳式热交换器的模型。王文斌^[9]等提出利用 Ansys 有限元分析软件研究换热器的热交换过程,剖析系统的热传递原理,对换热器进行优化建模,加载热载荷,得到换热器的温度场分布状态。文键^[10]等基于数值模拟的方法采取了旋转式螺旋折流板换热器优化机构,提升了换热器的综合性能。张晶^[11]等基于流体力学的计算方法对板式换热器整板和局部计算域进行了数值模拟,得到了冷热流体在换热器中的流动形态以及换热情况。

1 翅片高度及间距参数的研究

凹印机翅片管换热器的换热效率与换热器的翅片高度和翅片间距的关系十分紧密^[12-13],文中对换热器的翅片高度与翅片间距进行优化分析。

1.1 参数设置与模型建立

该算例以 FR300ELS 机组式凹版印刷机干燥系统中的换热设备为例。通过 Fluent 软件对基管尺寸相同、翅高及翅片间距不同的换热管进行模拟仿真,其尺寸见表 1。其中 3 种模型的基管直径、基管壁厚、管子长度、翅厚均为 25, 2, 600, 0.3 mm。

表 1 换热管基本尺寸
Tab.1 Basic dimensions of fin tubes mm

模型	翅高	翅片间距
1	12.5	5
2	12.5	3
3	17.5	3

根据翅片管换热器的传热特点及文中所研究凹印机使用换热器的要求,翅片与基管焊接而成,使用 Gambit 软件建立换热管模型,见图 1。

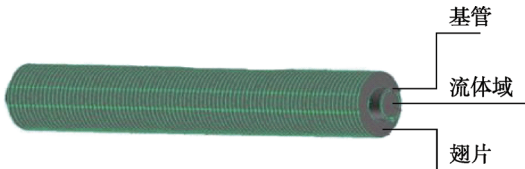


图 1 换热管模型
Fig.1 Heat exchange tube model

1.2 结果分析

使用 Fluent 对 3 种模型求解计算。通过数值模拟过程,分析翅片管的换热过程,查看管内流体流动状态,并观察基管及翅片的传热温度分布。文中以翅高

和翅间距为变量因素,对不同翅高及翅间距随换热管外表面温度进行分析,得到换热管外表面温度分布云图,见图 2。

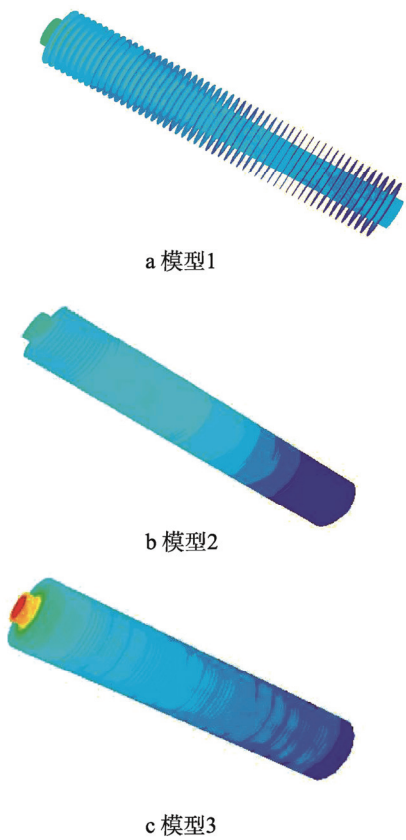


图 2 翅片管温度分布
Fig.2 Fin tube temperature distribution

由图 2 可知,翅片管外温度整体趋势为均匀降低。模型 1 和 2 的翅片高度相等、间距不等,沿换热器轴线方向外部温度均匀降低。模型 2 和 3 的翅片间距相等、翅片高度不等,模型 2 和 3 的翅片高度分别为 12.5, 17.5 mm,高翅片顶部的温度比低翅片底部温度低。仔细观察换热管入口的温度云图,图 2c 靠近翅片边缘处的温度较低区域明显比图 2b 中所占面积大,因此,翅片高度越高,传热效率越低。

1.3 翅片高度及间距参数优化

为了进一步分析,对翅片管结构参数进行优化。翅片间距与传热系数的关系曲线见图 3a,可知,翅片间距小于 3 mm 时,传热系数较小,这是因为在翅片间距小于 2 倍边界层厚度时,翅片间无气流通过,热传导的传热效果较差;当翅片间距大于 3 mm 时,传热系数随翅片间距增大而减小,这主要是由于翅片间距与翅片数量成反比关系。翅片高度与传热系数的关系曲线见图 3b,可知,翅片高度与传热系数成正比关系。随着翅片高度的增加,翅片面积也随之增大,使传热系数增大,但当翅片高度过高时,翅片热阻变大,不利于顶部传热。

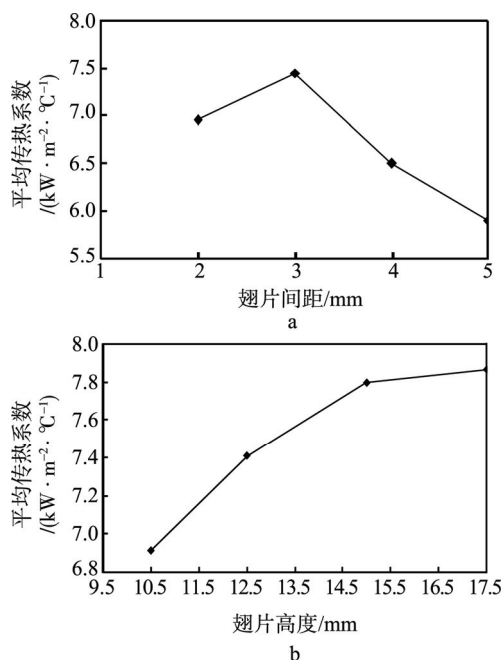


图3 翅片间距与高度和传热系数的关系

Fig.3 Effect of fin pitch and height on heat transfer coefficient

2 换热管排列模型

在换热器的研究过程中,换热管排列方式是换热器设计的一个重要方面,换热管排列有3种形式^[14-15]: 转角正方形、正方形排列; 转角正三角形、正三角形排列; 组合排列方式。凹板印刷机一般选用长方体的

换热器,因此文中重点分析前2种方式排列的换热器。

2.1 温度场分析

对4种排列的模型设置相同的速度入口、出流和壁面。为了对换热器出口的流动状态及温度进行分析,对所建换热器模型做垂直于换热管轴线的截面,分析该截面处空气进入换热器壳程的温度分布。出口处流体温度场变化放大云图见图4。

由图4可以看出从入口向出口的流动过程中,换热管前排的气流温度低于后排,前排换热管加强后排换热管的放热。由于正三角形排列与转角正方形排列属于错列流体,在换热管流动1周时将管壁温度基本带走。转角三角形和正方形排列属于直列流体,在流体流动时前排换热管阻挡后排换热管,导致局部过热、温度不均匀的情况,特别是正方形排列,若流速过快,一部分流体得不到加热就直接从出口流出,影响换热效果。为了能更好地观察出口温度分布,得到流体域出口处(宽度为10 mm)的温度曲线,见图5,可知每个翅片距流体域出口的长度随温度变化趋势。

由图5a可知,正方形排列出口温度散点分布较均匀,由于冷流体在每排换热管流动过程中均需绕过很大角度,使出口温度分布在330℃左右,第1和3排管数目较少,使左右两侧温度较低。图5b中,在小部分叠合的前后排管道出口处温度变化较平均,温度分布在325~335℃。由于离出口较近的第3排管中

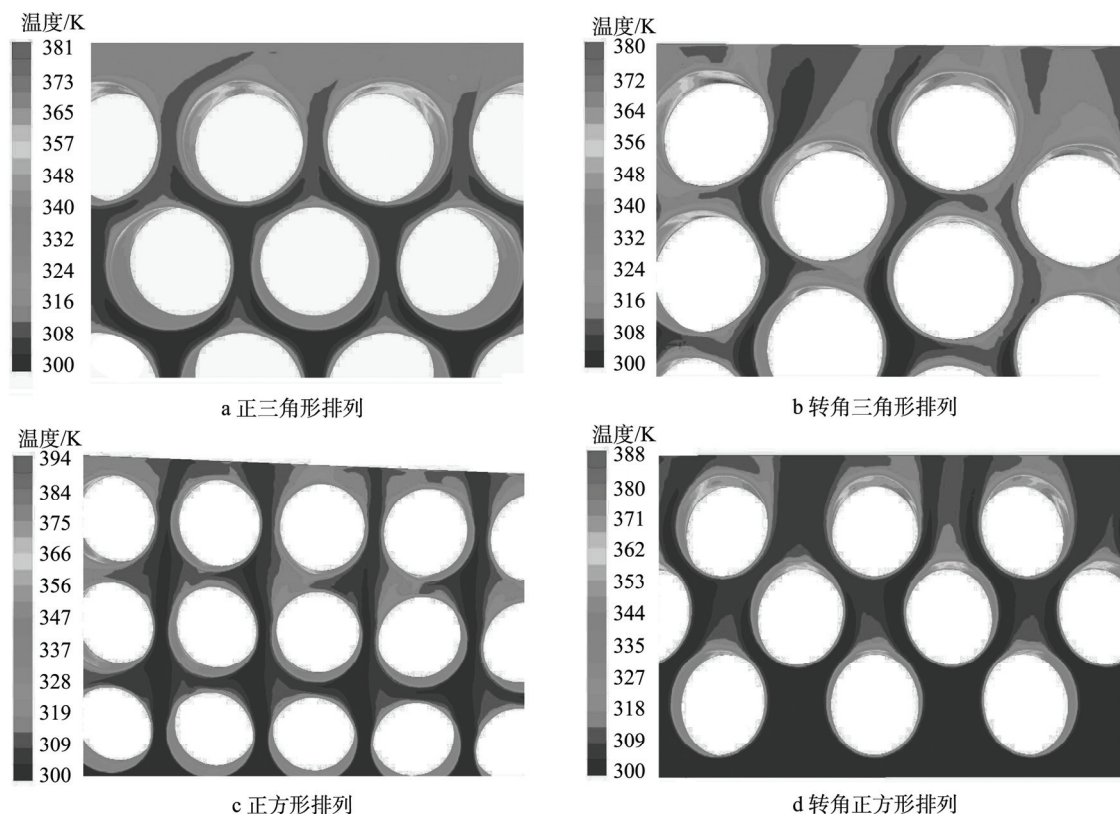


图4 换热器壳程温度分布放大云图

Fig.4 Amplification cloud picture of heat exchanger shell temperature distribution

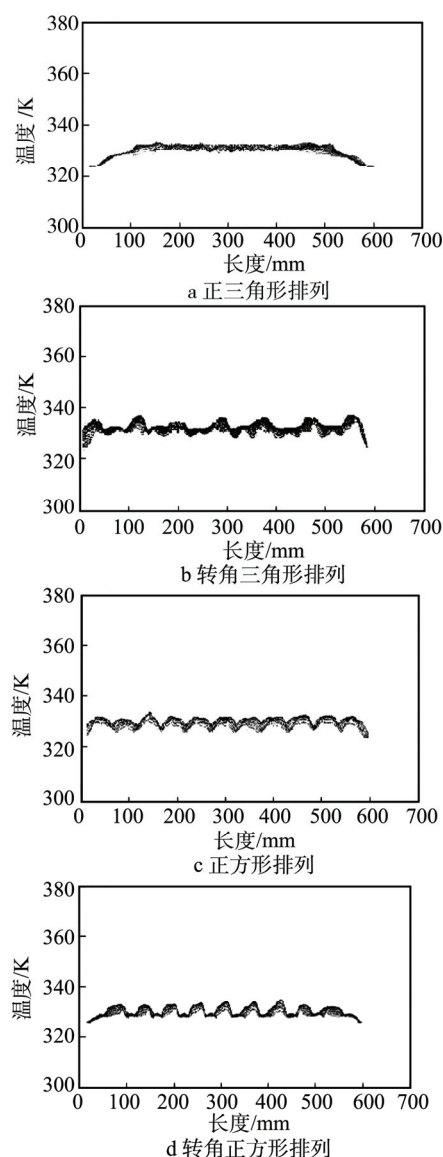


图 5 出口处温度分布

Fig.5 The temperature distribution at outlet

只有少量冷流体流经管排缝隙,使温度突然增高。图 5c 中,由于处在一条直线上的前后排换热管温度较低,而换热管叠合部分温度较高,均匀分布在 325~332 °C。图 5d 中,温度变化呈周期性,温度分布在 327~332 °C,是这 4 种排列方式中最低的。

2.2 流线图分析

流线就是在同一个时刻内多个不同的质点组成的曲线。流体围绕物体流动的区域可以分为 3 种:理想区域、边界层、分离层。这 4 种排列的温度流线见图 6,通过对不同排列方式的流线图进行分析,选出最优排列方式。

图 6a 为正三角形排列,该种排列管中心连线为等边三角形,冷流体从前排空隙流向下一排时要绕过 30°的角度,由于在风机作用下,流线均匀从后排换热管绕过,因此不会产生较多尾迹。由图 6b 可知,

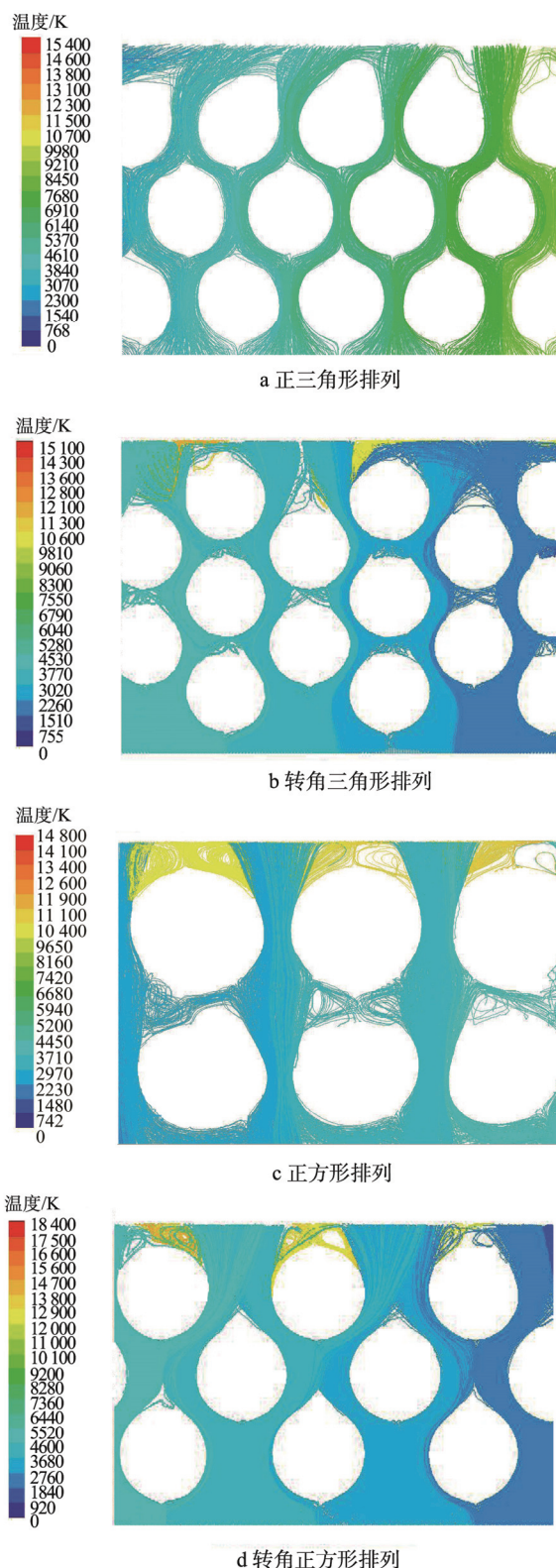


图 6 温度流线

Fig.6 The flow line of temperature

在流体流动方向上,前排换热管会对后排换热管产生阻挡,在有换热管排列的地方,由于前排管挡住流体的流动,既不易绕到两排换热管之间,也不易绕出该区域,产生局部湍流状态。由图 6c 可知,由于 3 排

换热管在同一水平线上, 流体不易在换热管之间流动, 因此产生涡流现象。由图 6d 可知, 由于换热管间距较大, 使得流体易经过每根换热管, 流线图无异常现象。综上, 转角正方形、正三角排列方式的换热器壳程内不易产生涡流, 不会产生温度较高的漩涡, 对安全使用换热器有很重要的意义。

3 结语

文中研究分析了凹版印刷机干燥所用的翅片管换热器的结构参数, 其性能的好坏直接影响干燥系统的干燥效果。文中对翅片管换热器重要参数, 即翅片高度、翅片间距及翅片管排列方式进行了仿真分析及参数优化, 得到了以下 2 个结论: 翅片间距对管外传热量影响不大, 翅片间距越小, 传出热量越多, 在加工条件允许的情况下, 间距越小传热量越高, 选择 3 mm 间距时效果较优, 翅片高度越低外廓传热效率越高, 选择高度较低的翅片设计出结构更加紧凑的换热器; 通过分析温度云图、出口温度散点图和流线图可知, 在正三角形、转角正三角形、正方形、转角正方形排列方式中, 换热管排列选择正三角形排列时其出口温度均匀, 无湍流涡流现象, 且换热效率最高。

参考文献:

- [1] 邓普君. 凹印基础知识[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2008.
DENG Pu-jun. Basic Knowledge of Gravure[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2008.
- [2] 汪波, 茅靳丰, 耿世彬, 等. 国内换热器的研究现状与展望[J]. 制冷与空调, 2010, 24(5): 61—64.
WANG Bo, MAO Jin-feng, GENG Shi-bin, et al. Present State and Perspectives of Research on Domestic Heat-exchanger[J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2010, 24(5): 61—64.
- [3] 汪维力, 陈文革. 凹版印刷机干燥系统探析[J]. 包装工程, 2008, 29(6): 98—100.
WANG Wei-li, CHEN Wen-ge. Analysis of the Drying System of Gravure Press[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 98—100.
- [4] TIAN E, HE Y L, TAO W Q. Research on a New Type Waste Heat Recovery Gravity Heat Pipe Exchanger[J]. Applied Energy, 2017(8): 586—594.
- [5] STARACE G, FIORENTINO M, LONGO M P, et al. A Hybrid Method for the Cross Flow Compact Heat Exchangers Design[J]. Applied Thermal Engineering, 2017(1): 1129—1142.
- [6] HUANG Y, LIU Z T, LU G D, et al. Multi-scale Thermal Analysis Approach for the Typical Heat Exchanger in Automotive Cooling Systems[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2014(9): 75—87.
- [7] PRITHIVIRAJ M, ANDREWS M J. Three Dimensional Numerical Simulation of Shell-and-Tube Heat Exchangers. Part I: Foundation and Fluid Mechanics[J]. Numer Heat Transfer Part A, 1998(3): 799—816.
- [8] PRITHIVIRAJ M, ANDREWS M J. Comparison of a Three Dimensional Numerical Model with Existing Methods for Prediction of Flow in Shell-and-Tube Heat Exchangers[J]. Heat Transfer Engineering, 1999, 20(2): 15—19.
- [9] 王文斌, 沈振军. 换热器热传递的有限元分析[J]. 工程设计学报, 2012, 19(3): 213—216.
WANG Wen-bin, SHEN Zhen-jun. Finite Element Analysis of Heat Exchanger's Thermal Transmission[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2012, 19(3): 213—216.
- [10] 文键, 杨辉著, 王斯民, 等. 旋梯式螺旋折流板换热器优化结构的数值模拟[J]. 西安交通大学学报, 2014, 48(11): 8—13.
WEN Jian, YANG Hui-zhu, WANG Si-min, et al. Numerical Simulation for Configuration Optimization of Heat Exchanger with Helical Baffles[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2014, 48(11): 8—13.
- [11] 张晶, 文珏, 赵力, 等. 基于计算流体力学数值模拟的板式换热器传热与流动分析及波纹参数优化[J]. 机械工程学报, 2015, 51(12): 137—145.
ZHANG Jing, WEN Yu, ZHAO Li, et al. Heat Transfer and Flow Analysis and Corrugation Parameters Optimization of the Plate Heat Exchanger Based on Computational Fluid Dynamics Numerical Simulation[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(12): 137—145.
- [12] 仇嘉, 魏文建, 张绍志, 等. 基于 CFD 数值模拟的板式换热器分配器性能研究[J]. 机械工程学报, 2010, 46(14): 130—136.
QIU Jia, WEI Wen-jian, ZHANG Shao-zhi, et al. Research on Performance of Distributors Used in Plate Heat Exchangers Based on CFD Numerical Simulation [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(14): 130—136.
- [13] 胡玉红. 管壳式换热器弹塑性有限元分析若干问题研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2010.
HU Yu-hong. Study on Some Problems of Elastic-Plastic Finite Element Analysis for Shell-and-Tube Heat Exchanger[D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2010.
- [14] 秦叔经, 叶文邦. 换热器[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
QIN Shu-jing, YE Wen-bang. Heat Exchanger[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [15] 韩占忠. Fluent 流体工程仿真实例分析[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009.
HAN Zhan-zhong. Fluent Fluid Engineering Simulation Examples and Analysis[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2009.