

# 板式换热器内 Cu - 水纳米流体流动和传热特性数值模拟

孙 斌, 张冠男, 左瑞良

(东北电力大学 能源与动力工程学院, 吉林 吉林 132012)

**摘 要:** 将 Cu - 水纳米流体作为冷流体, 应用到板式换热器系统中, 利用大型通用 CFD 软件对不同浓度 Cu - 水纳米流体板式换热系统进行三维数值模拟, 得到传热工质的温度场、换热系数及流场的空间分布, 分析了 Cu - 水纳米流体在板式换热器中流动与传热特性, 并将模拟结果与实验结果进行了对比。结果表明: 以 Cu - 水纳米流体为冷流体的板式换热器的换热效果明显优于以纯水为冷流体时的换热效果; 在提高纳米流体流速、增大纳米流体浓度的同时, 应充分考虑其粘度增加导致的压降增大对换热器性能的影响。

**关 键 词:** 纳米流体; 传热; 流动; 板式换热器

中图分类号: TK124 文献标识码: A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlge.2015.05.002

符号说明

$b$ —板片有效宽度/m;  
 $f$ —基液;  
 $d_e$ —当量直径/m;  
 $d_f$ —漂移速度/ $m \cdot s^{-1}$ ;  
 $k$ —流体导热系数/ $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ;  
 $L$ —流道长度/m;  
 $n$ —纳米粒子;  
 $m$ —纳米流体混合液;  
 $Nu$ —努赛尔数;  
 $Pr$ —普朗特数;  
 $Re$ —雷诺数;  
 $s$ —板间距/m;  
 $T$ —温度/K;  
 $u$ —流道间流速/ $m \cdot s^{-1}$ ;  
 $V$ —流速/ $m \cdot s^{-1}$ ;  
 $w$ —壁面;  
 $\alpha$ —流体热扩散率;  
 $\Delta P$ —压降/kPa;  
 $\Delta P_f$ —流道压降/kPa;  
 $\mu$ —动力黏度/ $kg \cdot (m \cdot s)^{-1}$ ;  
 $\nu$ —运动黏度/ $m^2 \cdot s^{-1}$ ;  
 $\rho$ —流体密度/ $kg \cdot m^{-3}$ ;

$\lambda_w$ ——波纹板片导热系数/ $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ 。

## 引 言

提高液体传热性能的一种有效方式是在液体中添加金属、非金属或聚合物固体粒子。文献[1]首次提出“纳米流体”的概念, 并通过实验发现在水中添加不到5%体积分数的铜纳米粒子形成的纳米流体的导热系数比水提高60%以上; 文献[2]将 $Al_2O_3$ -水纳米流体应用到热管中; 文献[3-5]将Cu-水纳米流体分别应用到小通道扁管及航天器热控系统中, 又分别将 $Al_2O_3$ -水和Cu-水纳米流体应用到微通道散热器中。文献[6]将纳米流体应用到内燃机冷却系统中。上述文献分别通过实验或数值模拟方法验证了纳米流体高效的强化传热性能。

文献[7]通过数值模拟和实验方法得到纳米流体的体积流量变化对板式换热器性能的影响低于压降的影响。文献[8]对由平板组成的换热器进行模拟研究, 得到了换热器流道内的温度场和速度场。文献[9]模拟了牛奶在人字形波纹区域流道内的流动与传热特性。文献[10]对人字形波纹板式换热器的主流区进行了计算和分析。文献[11]对固-液两相板式换热器进行研究; 文献[12]将纳米流体用于板式换热器, 模拟得到波纹板内流体的湍流和旋涡可以提高换热效率。

本研究则尝试将Cu-水纳米流体作为冷流体应用于板式换热器, 通过数值模拟方法得到纳米流体传热的温度场、换热系数及流场的空间分布, 分析Cu-水纳米流体在板式换热器中流动与传热特性。

收稿日期: 2014-08-27; 修订日期: 2014-10-14

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-2012-0727)

作者简介: 孙 斌(1972-), 男, 东北电力大学教授。

# 1 板式换热器模型

## 1.1 物理模型

研究对象为 BRQ035 - 20 型人字形板式换热器, 其参数如表 1 所示。

表 1 BRQ035 - 20 型板式换热器参数  
Tab.1 Parameters of plate heat exchanger  
type BRQ035 - 20

参 数	数 值
板片材料	316L 不锈钢
比热容/ $J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$	502
密度/ $kg \cdot m^{-3}$	7 930
外形尺寸/(mm × mm)	258 × 100
单片有效面积/ $m^2$	0.015
试件片数	20
传热面积/ $m^2$	0.15
试件流程	冷流体 9 通道/热流体 10 通道
板片厚度/mm	0.4
板间距/mm	2
当量直径/mm	4
角孔直径/mm	20
波纹角度/(°)	120
波纹深度/mm	2

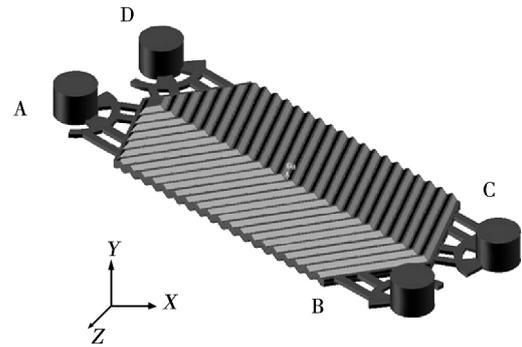
图 1 (a) 中模型为冷热流体单边逆向流动模型, 前侧流道为热流体, 从 A 端流入, 从 B 端流出; 后侧流道为冷流体, 从 C 端流入, 从 D 端流出。

## 1.2 网格划分

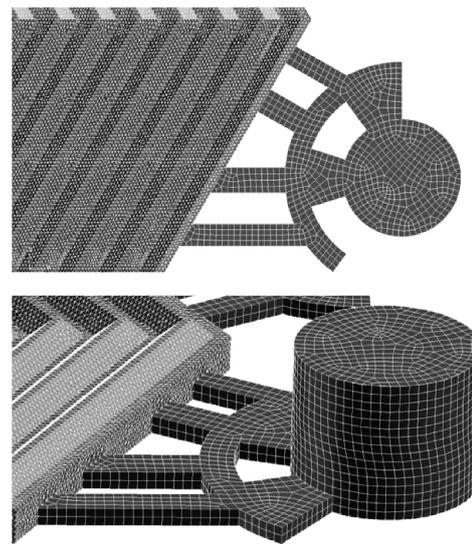
通过 Pro/e3.0 软件建立物理模型, 运用 Gambit 软件进行网格划分。由于换热器内部结构复杂, 不同流动区域选择不同的网格结构及步长。先将模型按照进出口、分流区和波纹换热区分成 10 个部分, 各自填充网格。进出口及分流区采用非结构化网格, 可以减少网格数量, 而且计算精度高。波纹换热区采用非结构化四面体网格, 梯次加密网格。网格结构如图 1 (b) 所示。

网格无关性验证: 当波纹换热区域网格步长达到 0.65 mm, 网格增加到 167 万以后, 继续增加网格数对计算结果影响较小。如表 2 所示, 当网格数增加到 249 万时, 努赛尔数  $Nu$  误差在 0.4% 左右, 表明增加网格数对计算结果影响较小。因此, 在保证

模拟准确性的基础上, 选用 167 万的网格进行计算, 计算速度较快。



(a) 物理模型



(b) 网格划分

图 1 板式换热器物理模型及网格划分  
Fig.1 Plate heat exchanger physical model and the grid division

表 2 网格无关性考核结果

Tab.2 Grid-independent appraisal results

网格数	$Nu$
1 676 646	54.936 1
2 003 638	55.196 6
2 493 647	54.769 5

## 1.3 控制方程及边界条件

将纳米流体假定为一种双组份混合物(基础流体加纳米颗粒), 纳米流体为牛顿不可压缩流体, 密度随温度变化服从 Boussinesq 假设, 其余物理量为常数, 忽略粘性耗散。

连续性方程:

$$\nabla \cdot (\rho_m V_m) = 0 \tag{1}$$

动量方程:

$$\nabla \cdot (\rho_m V_m V_m) = -\nabla P + \nabla \cdot [\tau] -$$

$$\rho_m \beta_m (T - T_0) g + \nabla \cdot \left( \sum_{k=1}^n \varphi_k \rho_k V_{dr,k} V_{dr,k} \right) \tag{2}$$

能量方程:

$$\nabla \cdot \left( \sum_{k=1}^n (\rho_k c_k) \varphi_k V_k T \right) = \nabla \cdot (k_m \nabla T) \tag{3}$$

体积分方程:

$$\nabla \cdot (\varphi_n \rho_n V_m) = -\nabla \cdot (\varphi_n \rho_n V_{dr,n}) \tag{4}$$

纳米流体平均速度  $V_m$  为:

$$V_m = \left( \sum_{k=1}^n \varphi_k \rho_k V_k \right) / \rho_m \tag{5}$$

式中:  $V$ —速度, m/s;  $\rho$ —密度, kg/m<sup>3</sup>;  $\Delta P$ —压降, kPa;  $\tau$ —切应变张量;  $T$ —温度, K;  $\varphi$ —体积分;  $c$ —比热, J/(kg · K);  $k$ —相数;  $n$ —纳米粒子;  $m$ —纳米流体。

纳米流体的密度  $\rho$  按式(6)计算:

$$\rho_m = (1 - \varphi) \rho_f + \varphi \rho_n \tag{6}$$

纳米材料为直径 50 nm 的 Cu 纳米流体的粘度按 Brinkman 提出的公式<sup>[13]</sup>计算:

$$\mu_m = \frac{\mu_f}{(1 - \varphi)^{0.25}} \tag{7}$$

纳米流体的导热系数采用 Maxwell - Garnetts 模型<sup>[14]</sup>计算:

$$\frac{K_m}{K_f} = \frac{K_n + 2K_f - 2\varphi(K_f - K_n)}{K_n + 2K_f + \varphi(K_f - K_n)} \tag{8}$$

式中:  $f$ —基液;  $K$ —导热系数, W/(m · K)。

进口采用速度入口条件,进口温度采用实验测得的数据,速度由流量计算得到;出口采用压力出口条件,具体数值由实验测量得到。外部边界为无滑移速度边界条件,冷热流道相接触的面设为换热面,其余各面设为绝热边界条件。计算时采用混合物模型,用 SIMPLE 算法进行稳态计算。能量方程的收敛残差为 10<sup>-6</sup>,其余变量的收敛残差为 10<sup>-3</sup>。

## 2 模型验证

采用稳态法对纳米流体在板式换热器中换热性能进行实验,实验用换热器的结构尺寸与数值模拟相同(如表 1 所示)。

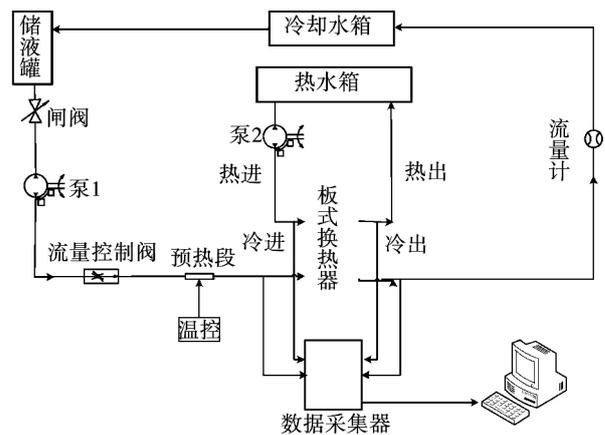


图 2 实验系统

Fig. 2 Experiment system

实验选用平均粒径 50 nm 的 Cu 纳米颗粒,纯度为 99%。分散剂选用十二烷基苯磺酸钠(SDBS),采用两步法配制纳米流体。将纳米颗粒与去离子水直接混合后添加适量的分散剂,然后进行超声振动,使纳米颗粒与去离子水充分混合均匀,达到稳定。将实验结果和模拟结果进行对比,结果如图 3 所示。由图可知,换热系数的计算结果与实验结果基本一致,其最大误差为 4.86%,小于 5%。因此,模型计算得到的结果是准确、可靠的。

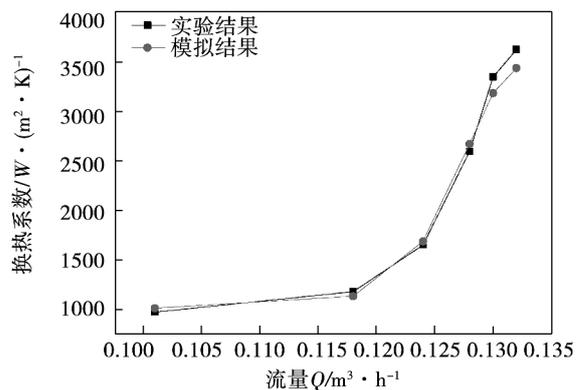


图 3 实验数据与模拟结果对比

Fig. 3 Comparison of experimental data and simulation results

## 3 计算结果分析

### 3.1 数据处理

冷热流体的对流换热系数可用相似准则方程表示:

$$Nu = CRe^m Pr^n \tag{9}$$

其中,  $Nu = Kd_e/\lambda_w$ ;  $Re = ud_e/\nu$ ;  $d_e = \frac{4bs}{2(b+s)}$ ;  $Pr = \nu/\alpha$ 。

对模拟计算数据进行线性分析, 得到流体对流换热系数的准则方程:

$$Nu = 0.38Re^{0.8} Pr^{0.3} \tag{10}$$

纯水的模拟结果与准则方程计算值比较如图 4 所示。

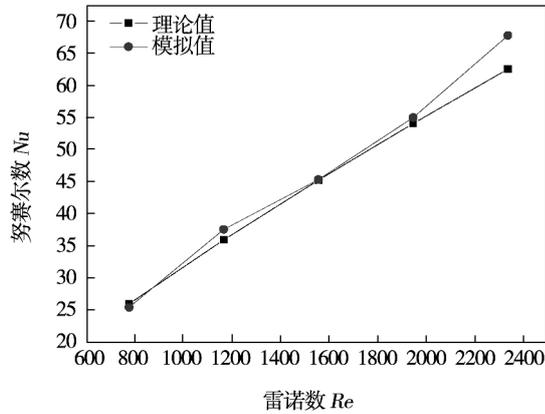


图 4 努赛尔数  $Nu$  模拟值与准则方程计算值比较  
Fig. 4 Comparison between simulation values and criterion equation calculated values of  $Nu$

由图 4 可知, 当  $750 \leq Re \leq 2400$  时, 模拟结果与计算结果吻合较好, 总体误差基本控制在 4.95% 以内。

### 3.2 流动与传热分析

图 5 为  $Y=1 \text{ mm}$  ( $X=0 \text{ mm}$ ,  $Z=0 \text{ mm}$ ),  $V=0.3 \text{ m/s}$  时, 板式换热器冷流体通道内部温度纵向分布曲线(坐标原点取换热器中心点)。从图 5 中可以看出, 入口处温度基本一致, 以 Cu - 水纳米流体作为冷流体时的出口温度高于纯水, 且随着 Cu - 水纳米流体浓度的增大, 出口温度升高。以 0.5% Cu - 水纳米流体为冷流体的板式换热器出口温度为 299.35 K, 比以水为冷流体的出口温度高 1.09%。

图 6 为 Cu - 水纳米流体出口温度与雷诺数  $Re$  关系, 以水为冷流体的板式换热器出口温度明显低于 Cu - 水纳米流体, 随雷诺数  $Re$  和纳米流体浓度的增大, 板式换热器冷侧出口温度也升高。

图 7 为进口速度  $V=0.3 \text{ m/s}$  时纯水和浓度为 0.5% 的 Cu - 水纳米流体换热系数分布。由于固体的导热性能优于水, 因此在水中添加纳米粒子会提

高其导热性能, 图中 Cu - 水纳米流体的换热系数明显高于纯水。传热面右侧下方为冷流体出口, 此处换热系数相对较高, 是由于分流区进入波纹区时, 流道发生了变化, 使流体通过时与壁面碰撞后对流场产生扰动, 从而增强了扰流带来的强化传热效果。

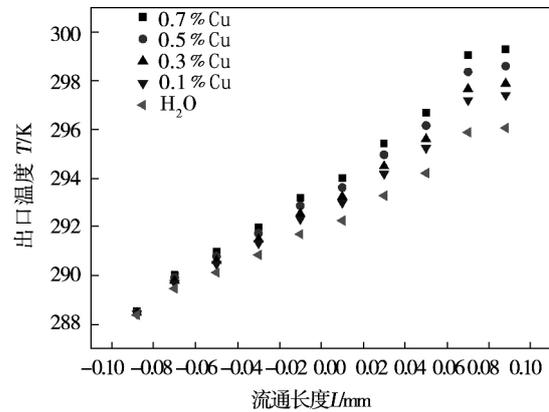


图 5 出口温度纵向分布  
Fig. 5 The vertical distribution of outlet temperatures

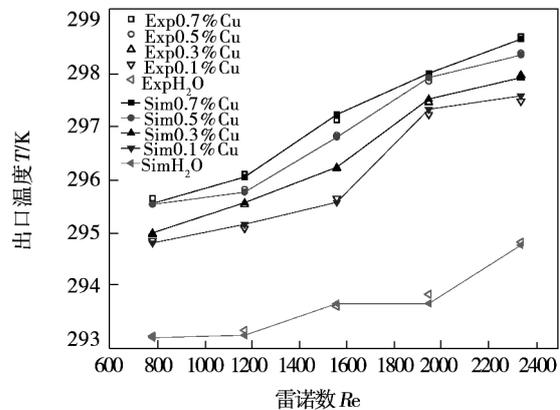


图 6 冷侧出口温度与  $Re$  数关系  
Fig. 6 The relationship between vertical distribution of outlet temperatures and  $Re$  number

图 8 所示的是纯水和浓度为 0.5% 的 Cu - 水纳米流体在入口速度为 0.3 m/s,  $Y=0.18 \text{ mm}$  截面的速度场。由于物理模型相同, 两种液体的流场分布基本一致。板式换热器分流区与波纹区交接处流速较高, 与图 7 中该区域较高的换热系数相对应, 进一步证明流道变化对流场产生了扰动。

### 3.3 努赛尔数 $Nu$ 与压降分析

图 9、图 10 分别为 Cu - 水纳米流体作为冷流体的板式换热器内努赛尔数  $Nu$ 、流动压降与雷诺数  $Re$  的关系。其中, 流道压降计算式为:

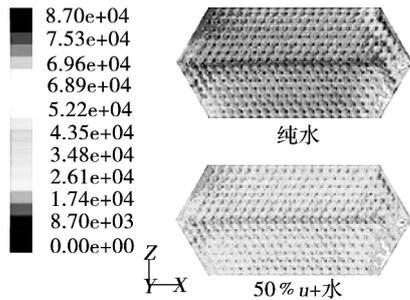


图 7 冷流道波纹传热面上的换热系数分布  
Fig. 7 Distribution of heat transfer coefficient on the corrugated heat transfer surface of cold runner

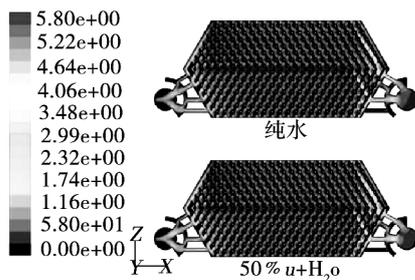


图 8 流道内 Y = 0.18 mm 截面上的速度分布  
Fig. 8 Velocity distributions of the section in the channel of Y = 0.18 mm

$$\Delta P_f = 0.3 Re^{0.65} \frac{L}{d_e} \rho u M \left( \frac{\mu_m}{\mu_w} \right)^{-0.17} \quad (11)$$

式中:  $\Delta P_f$ ——流动压降, kPa;  $L$ ——流道长度, m;  $d_e$ ——当量直径,  $\mu$ 。

由公式(11)可知压降与流体的密度和粘度有直接关系, Cu-水纳米流体浓度增加使其密度和粘度增大, 因此会导致压降增加。以 Cu-水纳米流体为冷流体时的板式换热器在相同  $Re$  数下,  $Nu$  数大于纯水, 压降也大于纯水。随着  $Re$  数的增大,  $Nu$  数和压降均增大。当  $Re$  数达到 2 000 以上时, 由于粘度较大, 在复杂的换热器流道内部容易形成沉淀, 阻碍流体流动, 使压降增大, 同时换热效果受到影响。当浓度达到 0.7%,  $Re$  为 2 300 时, 压降达到 150 kPa 以上,  $Nu$  数接近于 0.5% 浓度的 Cu-水纳米流体。由此可见, 在提高流速、增大纳米流体浓度的同时, 应充分考虑浓度增加导致的压降增大对换热器性能的影响, 而浓度为 0.7% 的 Cu-水纳米流体不能在板式换热器中起到很好的换热效果。

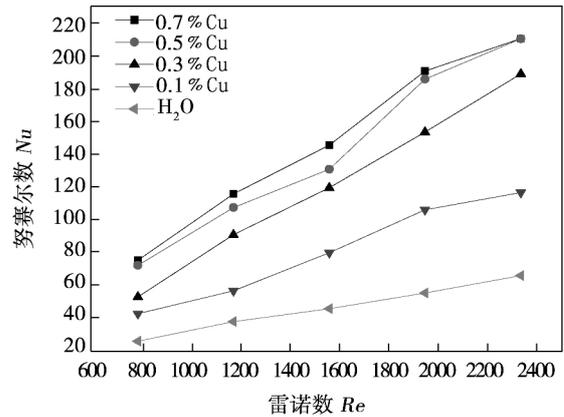


图 9 努赛尔数  $Nu$  与雷诺数  $Re$  关系  
Fig. 9 The relationship between  $Nu$  number and  $Re$  number

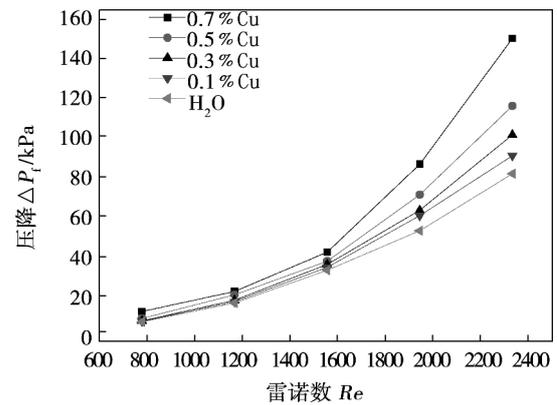


图 10 压降与雷诺数  $Re$  关系  
Fig. 10 The relationship between pressure drop and  $Re$  number

#### 4 结 论

(1) 以 Cu-水纳米流体为冷流体的板式换热器内部温度分布较均匀且出口温度高于纯水, 随着纳米流体浓度的增大, 出口温度逐渐升高, 换热效果明显优于纯水。

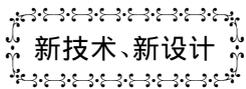
(2) 分流区与波纹区交界处(如图 1(b)所示)流道的变化使流体与壁面发生碰撞, 对流场产生了扰动, 从而对传热效果起到强化作用。

(3) 随着纳米流体 Cu 浓度的增大, 努赛尔数  $Nu$  逐渐增大, 而压降明显提高。因此, 在提高板式换热器换热性能的同时应平衡换热与压降之间的关系。

## 参考文献:

- [1] Eastman J A ,Choi S U S ,Li S. Development of Energy - efficient Nanofluids for Heat Transfer Applications [R]. Report of Argonne National Laboratory 2001.
- [2] Maiga S ,Nguyen C T ,Galanis N ,et al. Heat transfer behaviours of nanofluids in a uniformly heated tube [J]. Superlattices and Microstructures 2004 35: 543 - 557.
- [3] 李 强 ,宣益民. 小通道扁管内纳米流体流动与传热特性 [J]. 工程热物理学报 2004 25(2) : 305 - 307.  
LI Qiang ,XUAN Yi-min. Small channel nano fluid flow and heat transfer characteristics of flat tube [J]. Journal of engineering thermal physics 2004 25(2) : 305 - 307.
- [4] 李 强 ,宣益民. 航天用纳米流体流动与传热特性的实验研究 [J]. 宇航学报 2005 26(4) : 391 - 394.  
LI Qiang ,XUAN Yi-min. Space with nano fluid flow and heat transfer characteristics of experimental study [J]. Journal of aerospace 2005 26(4) : 391 - 394.
- [5] LiQiang ,XuanYimin. Enhanced Heat Transfer Behaviors of New Heat Carrier for Spacecraft Thermal Management [J]. Journal of Spacecraft and Rockets 2006 43(3) : 687 - 690.
- [6] 白敏丽 ,徐 哲 ,吕继组. 纳米流体对内燃机冷却系统强化传热的数值模拟研究 [J]. 内燃机学报 2008 26(2) : 183 - 187.  
BAI Min-li ,XU Zhe ,LV Ji-zu. Nano fluid numerical simulation study of heat transfer enhancement of internal combustion engine cooling system [J]. Journal of internal combustion engine 2008 26(2) : 183 - 187.
- [7] Pantzali M N ,Kanaris A G ,Antoniadis K D ,et al. Effect of nanofluids on the performance of a miniature plate heat exchanger with modulated surface [J]. International Journal Heat Fluid Flow 2009 30: 691 - 699.
- [8] Flavio C C G ,Raquel Y M ,Jorge A W G. Experimental and numerical heat transfer in a plate heat exchanger [J]. Classical Engineering Science 2006 61(21) : 7133 - 7138.
- [9] Carla S F ,Ricardo D ,Nobrega J M ,et al. Simulation of stirred yoghurt processing in plate heat exchangers [J]. Journal of Food Engineering 2005 69(3) : 281 - 290.
- [10] 崔立祺. 人字形板式换热器强化传热研究及场协同分析 [D]. 杭州: 江大学 2008.  
CUI Li-qi. Hevron plate heat exchanger improved heat transfer research and the analysis of field synergy [D]. Hang Zhou: hejiang university 2008.
- [11] YaoJunlei ,Performance study for the liquid-solid two phase flow of the wide channel the performance of plate heat exchanger [D]. Nan Jin: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics 2012.
- [12] Tiwari A K ,P. Ghosh et al. Numerical investigation on heat transfer and fluid flow in plate heat exchanger using nanofluids [J]. International Journal of Thermal Sciences 2014 85: 93 - 103.
- [13] Brinkman H C. The viscosity of concentrated suspensions and solutions [M]. Journal of Chemical Physics 1952 20: 571 - 581.
- [14] Maxwell J. A Treatise on Electricity and Magnetism [M]. Oxford University Press ,Cambridge ,UK ,1904 435 - 444.

( 丛 敏 编辑)



新技术、新设计

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.05.003

## BHEL 交付使用在印度东北部最大的联合循环装置

据《Gas Turbine World》2014 年 9 - 10 月刊报道 ,印度重型电气公司已交付用在离阿格尔塔拉约 50 km 的特里普拉( 位于帕拉塔纳) 的 2 × 363.3 MW 燃气轮机联合循环电站第 2 台机组。

OTPC( ONGC 热电公司) 的这个项目是在印度整个东北部该类电站中最大工程项目。帕拉塔纳项目的首台机组是在去年 1 月份交付使用的。

印度重型电气公司现在已经交付使用印度制造的联合循环电站用 9 台 GE Frame 9FA 燃气轮机( 255.6 MW 功率 36.9% 效率)。

印度重型电气公司从美国 GE 公司和德国 Siemens 公司引进技术和许可生产工业燃气轮机 ,不仅满足本国电力生产需要而且还出口到亚洲、非洲的许多国家。

( 吉桂明 摘译)

太阳能热发电系统中熔融盐技术的研究与应用 = **Study and Applications of the Melted Salt Technologies in Concentrating Solar Power Generation Systems** [刊, 汉] XU Hai-wei ( Clean Energy Technology Research Institute Co. Ltd. ,China Huaneng Group ,Beijing ,China ,Post Code: 102209) ,CHANG Chun ,YU Qiang( Chinese Academy of Sciences Key Laboratory on Solar Energy Heat Utilization and Photovoltaic Systems ,Electrical Engineering Research Institute ,Chinese Academy of Sciences ,Beijing ,China ,Post Code: 100190) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 ,30( 5) . -659 -665

Melted salts and their heat transfer and accumulation technologies are regarded as an important means to further enhance the solar energy heat power generation efficiency. A contrast was made of the advances in the study of the composition ,characteristics and latest low melting points of several main salts such as carbonate salt and nitrate salts etc. The emphasis was put on an exploratory study of the advances and applications of the melted salt heat transfer and accumulation technologies in both domestics and abroad and a melted salt heat transfer calculation correlation formula was given. It is believed that to use the melted salt technologies can enhance the operating parameter of the system to over 540 °C and heighten the power generation efficiency and heat accumulation efficiency by a large margin with the cost of power generation being reduced by 2% when compared with that of any power plant using heat conduction oil as the working medium. Therefore ,the tower type solar energy heat power generation systems adopting the melted salt technologies will have a wide application prospect. The focus for the future studies will be to continue developing and improving the low melting point melted salt formula ,studying the melted salt intensified heat exchange and accumulation and enhancing the reliability of heat accumulation systems. **Key words:** melted salt ,solar energy heat power generation ,low melting point ,heat transfer ,heat accumulation

板式换热器内 Cu-水纳米流体流动和传热特性数值模拟 = **Numerical Simulation of the Flow and Heat Transfer Characteristics of a Cu-water Nano-fluid Inside a Plate Type Heat Exchanger** [刊, 汉] SUN Bin , ZUO Rui-liang ,ZHANG Guan-nan ( College of Energy Source and Power Engineering ,Northeast University of Electric Power ,Jilin ,China ,Post Code: 132012) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 ,30( 5) . -666 -671

As a cold fluid ,the Cu-water nano-fluid was applied in a plate type heat exchanger system and a large-scale universal CFD ( computational fluid dynamics) software was used to perform a three dimensional numerical simulation of a Cu-water nano-fluid plate type heat exchange system at various concentrations and obtain the distribution in a space

of the temperature field ,heat exchange coefficient and flow field of the working medium for heat transfer. On this basis ,the flow and heat transfer characteristics of the Cu-water nano-fluid inside a plate type heat exchanger were analyzed and the simulation results were compared with the test ones. It has been found that the heat exchange effectiveness of the plate type heat exchanger with Cu-water nano-fluid serving as the cold fluid is obviously superior to that with pure water serving as the cold fluid ,however ,at the same time of increasing the flow speed and concentration of the nano-fluid ,full attention should be paid to the influence of the increase of the pressure drop arisen from an increase of the viscosity on the performance of the heat exchanger. **Key words:** nano-fluid ,numerical simulation ,heat transfer ,flow

R290 微通道内沸腾换热实验研究 = **Experimental Study of the Boiling Heat Exchange of R290 Inside a Micro-channel** [刊 ,汉] GE Qi-lin ,LIU Jian-hua ,ZHANG Liang ,ZHANG Hui-chen ( College of Energy Source and Power Engineering ,Shanghai University of Science and Technology ,Shanghai ,China ,Post Code: 200093) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 ,30( 5) . -672 -677

Experimentally studied were the boiling heat exchange characteristics of R290 in a horizontal stainless steel micro channel with an inner diameter of 2 mm. The mass flow rate was 200 to 600 kg/m<sup>2</sup>s ,the heat flux density ranged from 20 to 40 kW/m<sup>2</sup> ,the dryness fell in a range from 0.1 to 0.8 and the saturated temperature was 14 and 24 °C. It has been found that with a rise in heat flux density or dryness ,the boiling heat exchange coefficient will increase notably and with an increase of the mass flow rate ,the heat exchange coefficient will also increase by a small margin and to increase the saturated temperature will also result in a rise by a small margin of the heat exchange coefficient. The influence of the dryness and heat flux density on the heat exchange coefficient will be most remarkable.

**Key words:** micro channel ,R290 boiling heat exchange ,heat exchange coefficient

蒸汽中液滴粒径和浓度测量实验研究 = **Experimental Study of the Measurement of Particle Diameters and Concentration of Steam Droplets** [刊 ,汉] YUAN An-li ,SU Ming-xu ,LI Yong-ming ,CAI Xiao-shu ( Shanghai City Key Laboratory on the Multi-phase Flow and Heat Transfer in Power Engineering ,Particle and Two-phase Flow Measurement Research Institute ,Shanghai University of Science and Technology ,Shanghai ,China ,Post Code: 200093) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 ,30( 5) . -678 -683