

Study on Heat Transfer Enhancement of Bubble Disturbed Flow in Microchannel

Tongpu Yu, Wenyu Wu, Xiaokang Xiao, Guohua Liu

School of Energy and Environment, Anhui University of Technology, Ma'anshan Anhui
Email: liuguohua126@126.com

Received: Sep. 30th, 2016; accepted: Oct. 21st, 2016; published: Oct. 24th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

In order to effectively solve the problem of high-heat-flux heat transfer caused by the micro integration of electronic devices, in this paper, we propose to strengthen the heat transfer by using the idea of bubble flow. Specific approach is to use water and air bubble as fluid medium in the microchannel with periodic saw tooth structure, inertial confined flow over the zigzag micro structure surface, resulting in periodic bubble bouncing motion disturbance near the wall thermal boundary layer, so as to achieve the purpose of strengthening heat transfer. In this paper, we will systematic study the dip angle of the zigzag structure, effects of foaming frequency and main flow velocity on the movement and heat transfer of air bubbles, and reveal the characteristics of coupled flow and heat transfer between zigzag micro structure and air bubble, providing a new perspective to study the multiphase fluid-solid coupling efficient heat transfer.

Keywords

Microchannel, Thermal Boundary Layer, Bubble Bouncing Motion, Fluid-Solid Coupling

微通道内气泡扰流强化换热研究

余同谱, 吴文煜, 肖小康, 刘国华

安徽工业大学能源与环境学院, 安徽 马鞍山
Email: liuguohua126@126.com

收稿日期: 2016年9月30日; 录用日期: 2016年10月21日; 发布日期: 2016年10月24日

文章引用: 余同谱, 吴文煜, 肖小康, 刘国华. 微通道内气泡扰流强化换热研究[J]. 电力与能源进展, 2016, 4(5): 174-183. <http://dx.doi.org/10.12677/aepe.2016.45023>

摘要

为有效解决电子器件微集成化带来的高热流散热问题, 本文提出用气泡扰动流思想来强化换热。具体做法是在带周期性锯齿结构的微通道内, 以水与空气泡两相流为流体介质, 惯性受限流动过锯齿微结构表面, 产生周期性气泡弹跳运动扰动近壁区热边界层, 从而实现强化换热的目的。本文将系统研究锯齿结构倾角、发泡频率以及主流流速对气泡弹跳运动与换热的影响, 以揭示锯齿微结构与气泡弹跳运动的耦合流动换热特性, 为多相流固耦合高效换热研究提供新视角。

关键词

微通道, 热边界层, 气泡弹跳运动, 流固耦合

1. 引言

近年来, 能源危机和环境污染问题日益突出, 使得清洁能源的使用及提高能源使用效率得到空前关注。如热光伏电池、电动车和 LED 灯等的推广和使用。其中动力电池热管理及 LED 等电子器件的散热问题成为这些技术发展的瓶颈, 传统的散热方式无法满足日益攀升的散热需求。此外, 石油化工产业、空调产业以及食品医疗产业等领域也需要严格的热管理, 因此, 研究热量的疏散和冷却有重要的科学意义和工程应用价值。

微通道散热器具有比表面积大, 结构简单和散热能力强等优点, 已经被广泛地用于微电子器件的冷却。目前, 解决微电子器件冷却热管理问题最具潜力的方法是微尺度两相沸腾换热[1][2], 利用液体蒸发相变移除芯片中的热量, 从而使得器件能够安全可靠地运行。然而, 沸腾两相流很容易产生流动不稳定性而导致传热恶化, 国内外研究学者对此进行了精彩的研究[3]-[8]。强化换热的主要思路就是促进微通道内流动扰动分离, 使边界层得不到充分发展, 从而增强流体扰动来强化换热。因此, 经常通过改变散热表面结构如: 弯曲微通道、在通道表面加核化穴、凹槽或肋片等来实现流动扰动。

Tuckerman 和 Pease [9]最早提出了微通道换热器的概念, 其核心思想是在芯片底部加工微通道, 流经微通道的流体通过对流换热方式带走热量。他们采用化学刻蚀与精密加工方法在 0.5 mm 厚的硅基板上加工出槽宽和壁厚均为 50 μm 、通道高宽比约为 10 μm 、深 300 μm 的平行矩形通道, 以水为冷却介质, 在温升为 71 $^{\circ}\text{C}$ 、压力降为 350 kPa 的条件下获得了 790 W/cm^2 散热量。Xu 等人[10][11]设计出基于热边界中断的交错结构微通道散热器, 与传统微通道不同的地方在于, 向平行微通道中加入了横断通道, 阻碍边界层在流动方向上的充分发展, 产生连续的入口热边界层, 以达到强化传热目的。Xia 等人[12][13]研究了周期性变截面扩张-收缩-扩张和更复杂结构的微通道散热器, 与传统结构对比, 发现这两种结构具有更好的散热效果。此外, Chai 等人[14]在微通道两侧有规律地布置扇形凹槽表面结构, Ali 等人[15]设计出一种倾角为 20 $^{\circ}$ 的锯齿形结构微通道, 以及 Xie [16]建立的波纹形微通道等等, 它们都在一定程度上实现了流动扰动, 显著提升了换热效率。

本文基于气泡扰流强化换热思想, 设计出一种带周期性锯齿结构的微通道。根据数值模拟结果对微通道内气泡扰流强化换热的原理进行了验证分析, 得到锯齿结构的倾角、气泡频率以及主流流速对气泡弹跳运动与换热的规律。从本质上揭示了锯齿微结构与气泡弹跳运动的耦合流动换热特性, 为进一步实验研究提供了依据。

2. 物理模型

2.1. 计算模型和冷却介质特性

以锯齿状表面作为弹跳运动的接触面，设计出带周期性锯齿结构的微通道，底部加热面和锯齿结构由铜材料制造，结构如图 1 所示，几何参数为：当量直径 $550\ \mu\text{m}$ ，长度 $12.1\ \text{mm}$ ，底部固体换热面厚度为 $10\ \mu\text{m}$ ，锯齿的高度 h 为 $350\ \mu\text{m}$ ，而锯齿倾角 α 为需要研究的重要控制参数。

模拟中，以水与空气两相流为冷却介质，在标准大气压下，水、空气和铜的热物理性质列于表 1。为了简化计算，对模型做出以下假设：(1) 微通道雷诺数极小，流动模型为层流不可压缩流体，气相和液相的物性参数(密度、比热)为常数，不随时间改变；(2) 气相整体均为饱和相，其内部不存在温度梯度和热传导；(3) 微通道尺寸非常小， Bo 尺寸效应数远大于 1，忽略重力影响，且默认表面张力在流动过程起到主要作用；(4) 为了单独定性研究气泡流的碰撞弹跳对换热的影响，假定液相不发生相变换热，主要讨论气泡运动对流动和传热的影响；(5) 微通道内表面光滑，无滑移产生。

2.2. 控制方程和边界条件

气液两相在相间面上发生的传热和传质过程使得两相流动异常复杂，这给气液两相流的模拟带来了困难。目前关于气液界面的追踪方法主要有 *Level Set* 方法和 *Volume of Fluid (VOF)* 方法。*Level Set* 方法不需要显示追踪相界面的运动，界面通过 *LS* 函数进行捕获和追踪，缺点是难以保持体积守恒。*VOF* 方法是计算和追踪每个计算单元中特定相的体积分数而不是相界面本身，因此具有体积守恒性，它能够容易地处理具备复杂界面的拓扑变化的两相流动及传热。

本文采用 *VOF* 法对微通道中气液两相流进行数值模拟研究，通过求解区域内的动量和体积分数来模拟两相流流动，并且在每个计算单元中，相的体积分数和为 1。控制方程如下：

连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho v) = 0 \quad (1-1)$$

动量方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla(\rho v v) = -\nabla p + \nabla\left[\mu(\nabla v + \nabla v^T)\right] + F_{vol} \quad (1-2)$$

式中， v 为速度矢量， $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ； ρ 为流体密度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ； μ 为流体粘度， $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ； p 为压力， Pa ； g 为重力加速度； F_{vol} 表示区域表面张力的体积力形式， $\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$ 。在水平微通道中表面张力占主要作用影响，同时可以忽略重力作用。

体积分数方程

$$\frac{\partial \alpha_g}{\partial t} + \nabla(\alpha_g v) = 0 \quad (1-3)$$

$$\frac{\partial \alpha_l}{\partial t} + \nabla(\alpha_l v) = 0 \quad (1-4)$$

$$\alpha_l + \alpha_g = 1 \quad (1-5)$$

式中， α 为相体积分数，下标 g 表示气相， l 表示液相。

表面张力方程

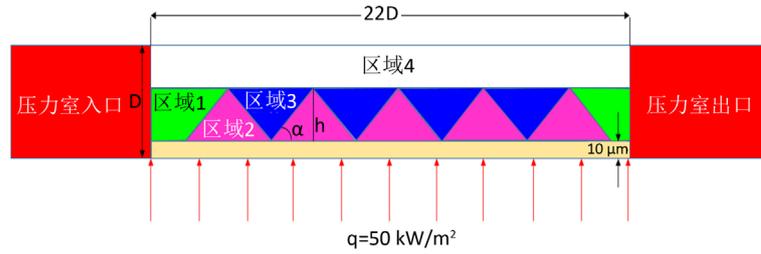


Figure 1. Zigzag microchannel structure model
图 1. 锯齿形微通道结构模型

Table 1. Physical property parameters of each material saturation state in a standard atmospheric pressure
表 1. 一个标准大气压下各物质饱和状态的物性参数

类别	状态	密度 ρ kg/m ³	热容 C_p kJ/(kg·K)	导热系数 λ W/(m·K)	运动粘度 ν 10 ⁻⁶ m ² /s
水	液态	995.7	4.12	0.62	0.805
空气	气态	1.165	1.00	0.027	16
铜	固态	8930	0.38	395.33	-

$$F_{vol} = \sigma \frac{\rho_g \alpha_g k_g \nabla \alpha_g + \rho_l \alpha_l k_l \nabla \alpha_l}{0.5(\rho_g + \rho_l)} \quad (1-6)$$

$$k_g = -k_l = -\nabla \left(\frac{\nabla \alpha_g}{|\nabla \alpha_g|} \right) \quad (1-7)$$

式中, σ 为表面张力, N·m⁻¹; k 为界面曲率, m⁻¹。

混合物物性方程

$$\rho = \rho_g \alpha_g + \rho_l \alpha_l \quad (1-8)$$

$$\mu = \mu_g \alpha_g + \mu_l \alpha_l \quad (1-9)$$

计算域内的所有固定表面均采用无滑移壁和光滑壁边界条件。入口采用速度入口边界条件(*velocity-inlet*), 速度值为常数。入口水温设为 300 K。出口采用压力出口边界条件(*pressure-outlet*), 出口表压设为 0 Pa 即自由出流。在铜衬底的背面沉积有一层铂薄膜, 提供了一个均匀的热流密度为 50 kW/m², 有效加热区域的长度覆盖 1、2、3 和 4 区域, 有效加热区域的宽度比微通道的宽度略窄。使用表面连续张力模型, 表面张力设为定值 71.2 dy/cm。由于在本研究的气泡弹跳模型中, 气泡与壁面属于弹性碰撞, 并且通过查阅文献发现[17], 当壁面处气泡与液体的接触角 $\theta > 4.67^\circ$ 时, 气泡在倾斜壁面上运动是滚动运动, 并始终与壁面存在一层液膜。因此, 将气、液和固三相交界面的接触角设为 0° 。在微通道入口处设置种子气泡发生器, 以一定的频率向微通道发射微气泡, 从而在时间序列上产生可控的气泡。

2.3. 网格划分和数值方法

基于 CAD 软件创建的二维模型, 使用前处理软件 *GAMBIT* 进行网格划分。对于锯齿结构表面, 计算域采用结构化的三角形网格。其余部分的计算域采用结构化的四边形网格。具体的网格划分如图 2 所示。

然后把网格导入 *FLUENT* 软件中进行计算, 该软件能够准确描述气液两相流换热模型。非稳态项用一阶隐式时间步进法进行处理, 时间步长设定为 2×10^{-6} s。压力和速度的耦合采用 *PISO* 算法, 压力项

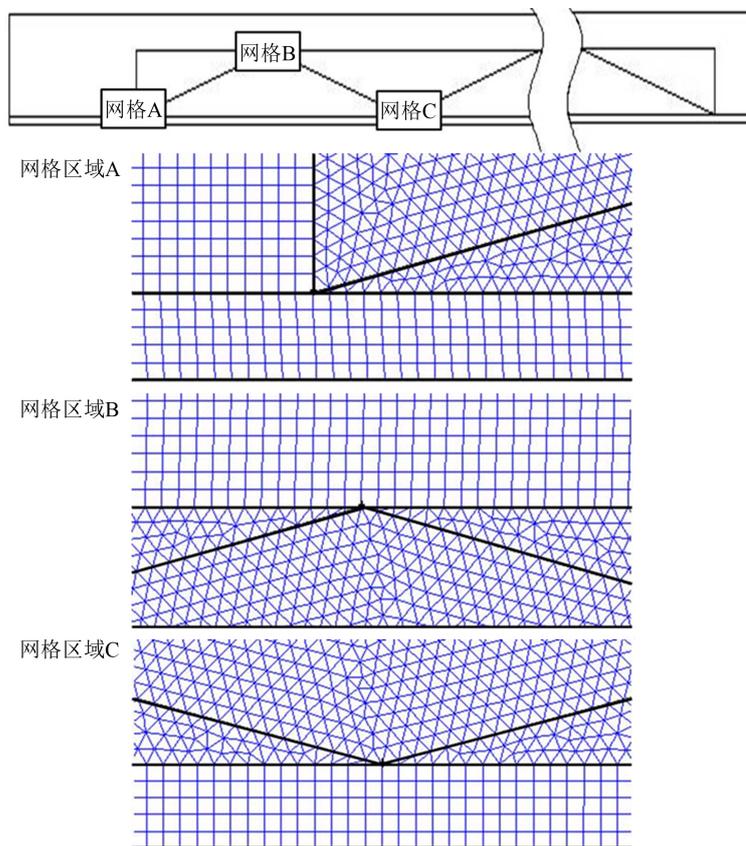


Figure 2. Grid system

图 2. 网格系统

采用 *PRESTO!* 格式, 动量方程采用二阶迎风格式, 气液相界面的处理采用几何重构方案 (*Geo-Reconstrcut*)。通过调节亚松弛因子以达到计算收敛。模拟结果用 *FLUENT* 自带的后处理器、*Tecplot* 软件以及 *Origin* 软件进行分析。

3. 结果与讨论

3.1. 气泡弹跳扰流原理

微通道中气泡沿壁面发生周期性弹跳是复杂的运动及传热过程。在不考虑相变的前提下, 气泡主要通过扰动温度边界层来强化换热, 而气泡本身运动则受到液相流体的影响。为了研究气泡弹跳运动及强化换热的规律, 本节将对气泡弹跳运动过程进行简单的介绍。以单个气泡弹跳运动过程加以说明, 如图 3 所示, 将单个气泡的运动周期分为冲撞段和弹跳段, 其中冲撞段对于强化传热起着关键性作用。在液相流体的惯性推动下, 气泡与锯齿壁面发生碰撞, 然后沿壁面向下滑移一段距离, 对凹槽底部的热边界层产生强烈的扰动, 从而强化了液膜内的对流换热(冲撞段)。随后在凹槽底部涡流的作用下上升进入主流区, 与上表面发生碰撞后, 继续与下一个锯齿壁面发生碰撞, 对应的过程称为弹跳段, 如此弹跳循环, 周而复始, 单位时间内与锯齿壁面发生碰撞的气泡数目越多, 对流换热效率越高。

3.2. 锯齿结构倾角对气泡弹跳运动与换热的影响

为了验证锯齿结构微通道的换热特性, 以矩形直微通道作为比较对象, 它们的深度和平均水力直径相同。在同样的工况下 ($u = 0.25 \text{ m/s}$, $q = 50 \text{ kW/m}^2$), 比较它们的流动与换热能力, 图 4 给出了两种类型

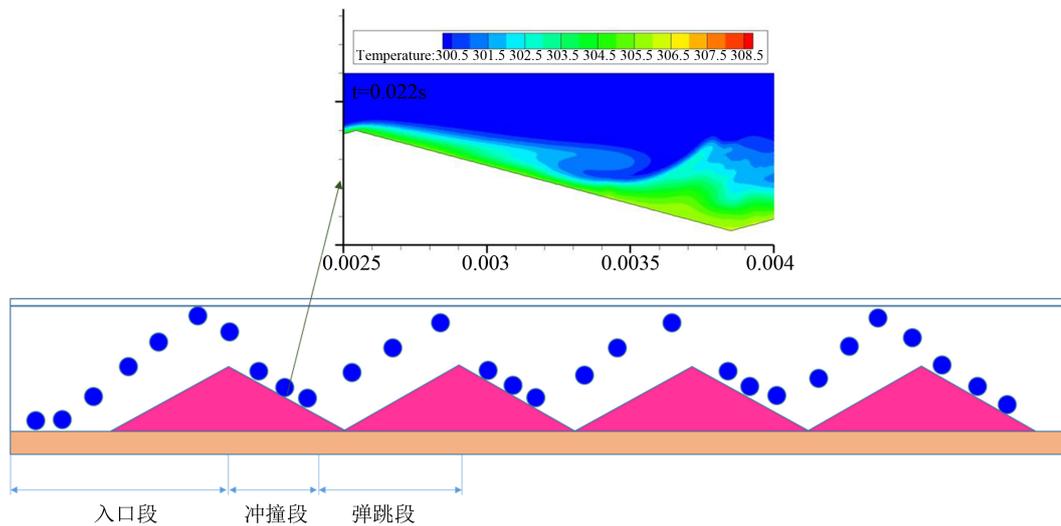


Figure 3. The process of single bubble bouncing motion
图 3. 单气泡弹跳运动过程

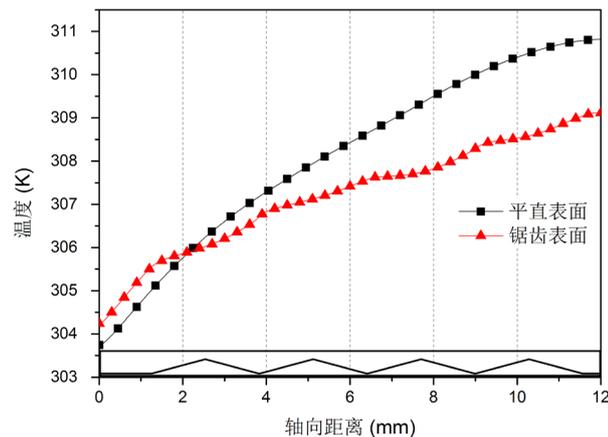


Figure 4. Temperature distribution along the axial direction of the rectangular microchannel and zigzag microchannel
图 4. 两种微通道沿轴向的加热面温度分布

微通道加热面温度的变化曲线。可以看出，相对于矩形直微通道，周期性锯齿结构微通道的加热面的温升要缓和些，这是因为锯齿结构在流向上阶段性的阻碍了热边界层的充分发展，从而温升呈现阶段性增长。因此，周期性锯齿结构微通道的换热效率比一般矩形直微通道要好。

为了研究两相流中气泡弹跳运动对上述温升阶段性增长的规律，我们对单个气泡进行模拟研究。在不改变锯齿高度 h 的情况下，依次改变不同锯齿结构倾角 α ，在上述同样的工况下，得到相应的微通道加热面温度分布曲线，如图 5 所示，并从中找出合适的锯齿倾角作为模拟对象。本研究选取了四种倾角的锯齿结构进行数值模拟，分别是 15° 、 20° 、 25° 、 30° 。分别记录了对应锯齿倾角下的气泡运动轨迹，可以发现， 15° 的锯齿倾角下的单气泡与锯齿壁面的碰撞次数较多，与锯齿壁面的耦合程度最好，换热效率最高。同时，该结果也为下面多气泡流模拟起到重要的基础作用。

3.3. 发泡频率对气泡弹跳运动与换热的影响

在通道入口时间序列上产生一连串的气泡，这些气泡连续不断地与锯齿壁面发生碰撞，使得近壁面

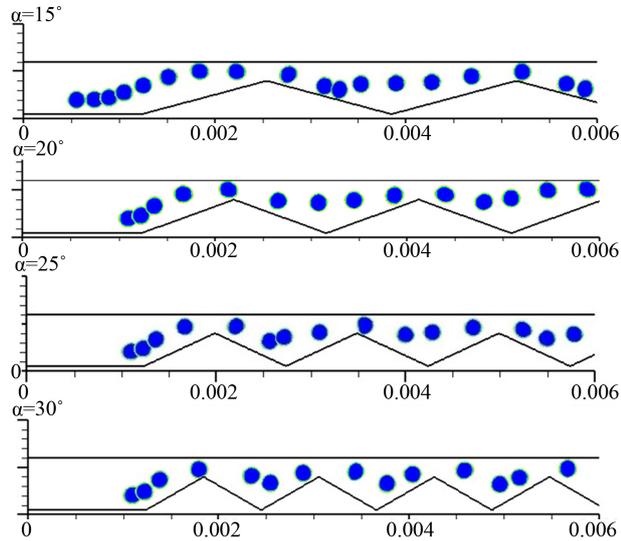


Figure 5. Single bubble motion trajectory under different saw tooth inclination angle

图 5. 不同锯齿倾角下单气泡的运动轨迹

热边界层处于持续扰动状态，从而强化了对流传热。本节讨论四种发泡频率(250 Hz, 167 Hz, 143 Hz, 125 Hz)时微通道内对流换热状况。

图 6 所示为不同发泡频率下微通道压降随时间的变化曲线。可以发现，微通道压降呈周期性脉动变化，并且随着发泡频率的增加，脉动幅度有效降低。当气泡流经微通道锯齿壁面狭窄的顶端位置时，就会对冷却介质的流动产生阻碍作用，因而压力骤增，这对应曲线图中的波峰。而当气泡流经冲撞段时，由于该区段底层漩涡区流速较低，因而压力也是最低的，即对应曲线图中的波谷。此外，在靠近微通道出口处压力迅速升高，这是由于气泡内高压气体对出口边界产生高压冲击所致的。图 7 为不同发泡频率下微通道加热面的平均温度随时间的变化曲线。其中在初始段 0~0.01 s 内，由于传热过程存在响应时间，加热面的平均温度变化趋势不大，对应的为多气泡流入口发展阶段。发现，在四种不同频率下，加热面的平均温度近似呈线性下降趋势，并且随着发泡频率的增加，温度下降得越快，在 0.06 s 后加热面的平均温度下降了 1 K 以上。此外，经实验研究发现，发泡频率太大或太小都不能很好起到强化传热的效果。太小则产生的气泡数较少，与锯齿壁面发生碰撞的次数随之减少，从而达不到理想的效果。过大则产生大量的气泡，由于气泡间的融合变成长长的气弹，严重影响换热效率。因此，只有在一定范围内提高发泡频率才能起到强化传热的目的。

3.4. 主流流速对气泡弹跳运动与换热的影响

在气泡弹跳运动过程中，气泡是在流体推动下运动的，因而冷却介质的流速对气泡的弹跳运动影响较大。为了比较不同主流流速对对流传热的影响，设置了四种不同的主流流速(0.2 m/s, 0.22 m/s, 0.27 m/s, 0.3 m/s)，并给出不同主流流速下加热面的温差分布曲线(初始温度与某时刻温度之差，大于 0 说明加热面温度在下降，反之，加热面温度在上升)，如图 8 所示。可以发现，增加主流流速对于降低加热面温度的效果十分显著。其中最大的温差波峰，即加热面温度下降幅度最大，换热效率最高，对应的是锯齿壁面底部漩涡区域。这是由于增加主流流速，单位时间内与锯齿壁面发生碰撞的气泡数目增多，对近壁面热边界层的扰动加强所致。因此，适当提高主流流速，强化的气泡流的冲撞过程，对于强化对流传热非常重要。

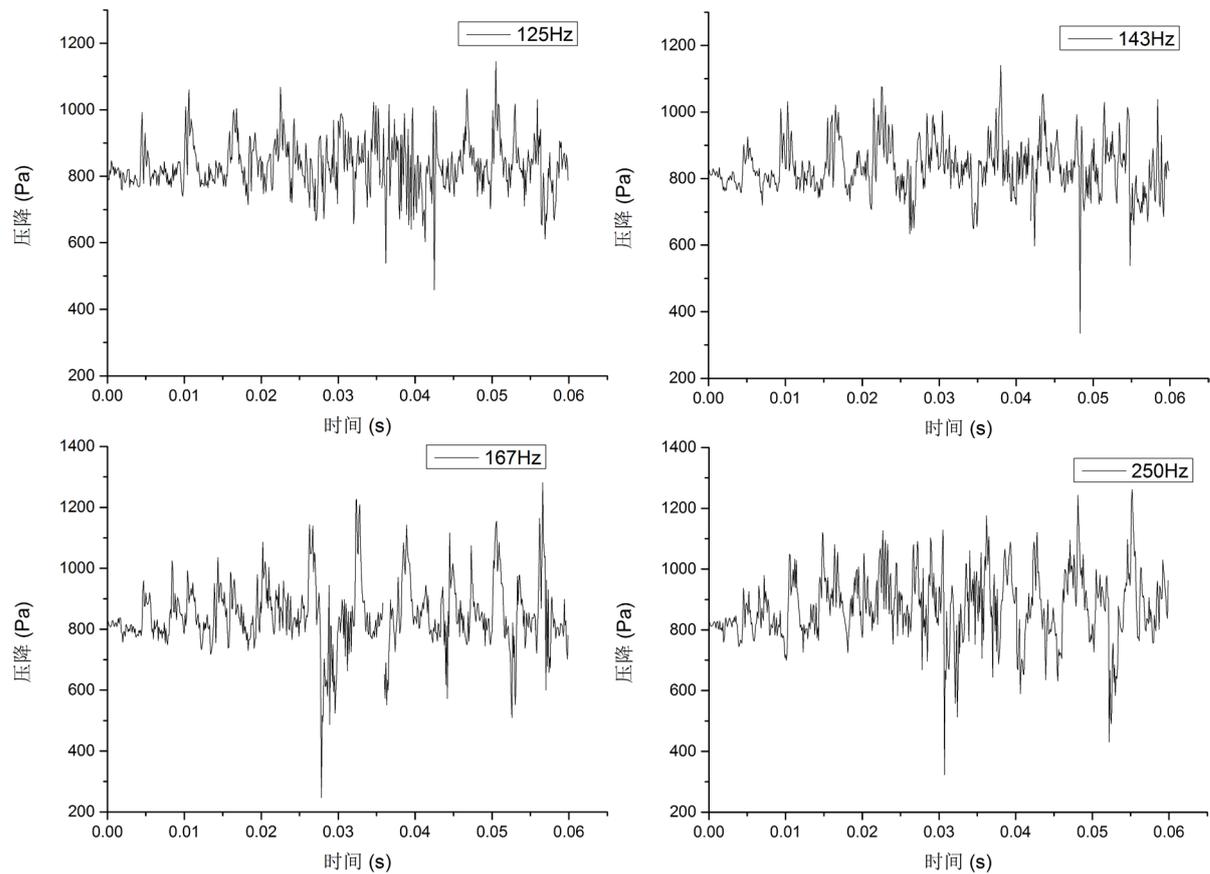


Figure 6. The pressure drop of the inlet and outlet of the microchannel varies with time at different foaming frequencies
图 6. 不同发泡频率下微通道进出口压降随时间的变化

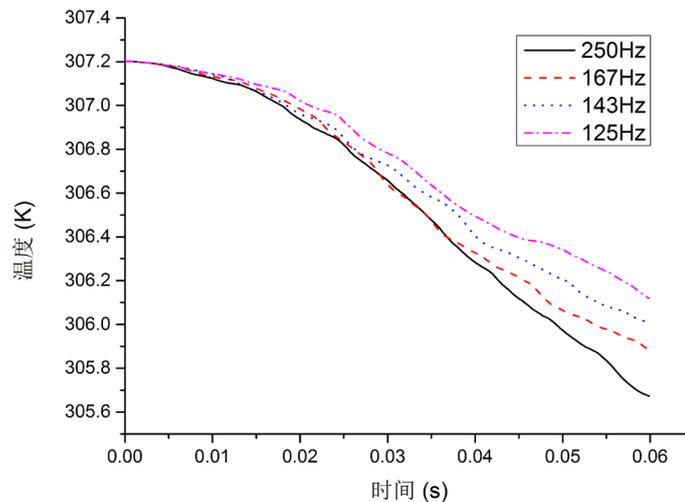


Figure 7. The average temperature of the heating surface changes with time at different foaming frequencies

图 7. 不同发泡频率下加热面的平均温度随时间的变化

4. 结论

本文针对带周期性锯齿结构的微通道内气泡周期性弹跳扰动流强化换热的物理机制进行模拟研究，

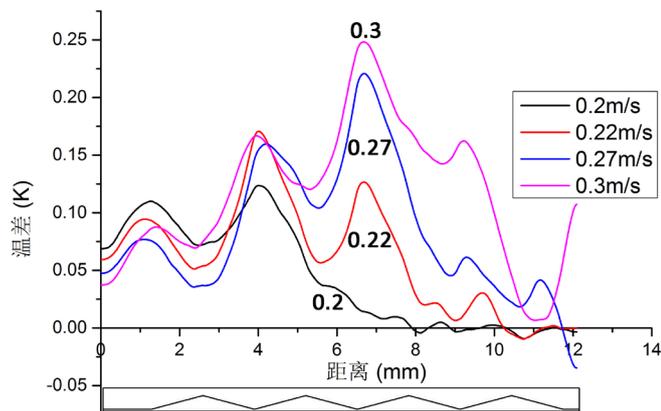


Figure 8. Temperature change curve of microchannel heating surface at different main velocity

图 8. 不同主流速度下微通道加热面的温差变化曲线

建立并验证了锯齿表面结构与气泡弹跳运动耦合特性。重点介绍了气泡弹跳运动强化传热的原理，同时说明了锯齿结构倾角、发泡频率以及主流流速对气泡弹跳运动与换热的影响。主要结论如下：

1) 对于带周期性锯齿结构的微通道，近壁面热边界层的发展呈间断性中断，壁面温升相对平缓。锯齿微结构与气泡弹跳运动的耦合程度较好，强化换热效率显著。

2) 通过比较不同倾角的锯齿结构中气泡弹跳运动轨迹，发现在 15° 锯齿倾角模型中，气泡的运动轨迹与冲撞段耦合最佳。因此本文选择 15° 锯齿倾角模型作为多气泡流模拟对象。

3) 经实验研究发现，发泡频率太小或太大都不能起到很好的换热效果。因此，只有在一定发泡频率范围内适当提高发泡频率，才能达到强化传热的目的。

4) 对比不同主流流速对气泡扰流换热的影响，发现温差下降最大的区域位于气泡冲撞段。适当提高主流流速有利于提高冲撞段换热，提高微通道换热效率。

基金项目

国家自然科学基金项目(No. 51576002)，安徽工业大学青年科研基金(QZ201415)。

参考文献 (References)

- [1] 王辉, 汤勇, 余建军. 相变传热微通道技术的研究进展[J]. 机械工程学报, 2010, 46(24): 101-106.
- [2] Yun, W.N. (2008) Forced Convective Flow Boiling and Two-Phase Flow Phenomena in a Microchannel. University of Florida, Florida.
- [3] Liu, G.H., Xu, J.L. and Yang, Y.P. (2010) Seed Bubbles Trigger Boiling Heat Transfer in Silicon Microchannels. *Microfluidics and Nanofluidics*, **8**, 341-359. <http://dx.doi.org/10.1007/s10404-009-0465-y>
- [4] Xu, L. and Xu, J.L. (2012) Nanofluid Stabilizes and Enhances Convective Boiling Heat Transfer in a Single Microchannel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **55**, 5673-5686. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.05.063>
- [5] Han, Y. and Shikazono, N. (2011) Stabilization of Flow Boiling in a Micro Tube with Air Injection. *Experimental Thermal and Fluid Science*, **35**, 1255-1264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2011.04.013>
- [6] Wang, G.D., Cheng, P. and Bergles, A.E. (2008) Effects of Inlet/Outlet Configurations on Flow Boiling Instability in Parallel Microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **51**, 2267-2281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.08.027>
- [7] Kuo, C.J., Kosar, A., Peles, Y., et al. (2006) Bubble Dynamics during Boiling in Enhanced Surface Microchannels. *Journal of Microelectromechanical Systems*, **15**, 1514-1527. <http://dx.doi.org/10.1109/JMEMS.2006.885975>
- [8] Lee, P.C. and Pan, C. (2007) Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow of Water in a Single Shallow Microchannel

- with a Uniform or Diverging Cross Section. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, **18**, 203-209.
- [9] Tuckerman, D.B. and Pease, R.F.W. (1981) High-Performance Heat Sinking for VLSI. *IEEE Electron Device Letters*, **2**, 126-129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.05.003>
- [10] Xu, J., Song, Y., Zhang, W., *et al.* (2008) Numerical Simulations of Interrupted and Conventional Microchannel Heat Sinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **51**, 5906-5917. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.05.003>
- [11] Xu, J.L., Gan, Y.H., Zhang, D.C., *et al.* (2005) Microscale Heat Transfer Enhancement Using Thermal Boundary Layer Redeveloping Concept. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **48**, 1662-1674. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.12.008>
- [12] Xia, G., Ma, D., Zhai, Y., *et al.* (2015) Experimental and Numerical Study of Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics in Microchannel Heat Sink with Complex Structure. *Energy Conversion and Management*, **105**, 848-857. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.042>
- [13] Chai, L., Xia, G.D., Wang, L., *et al.* (2013) Heat Transfer Enhancement in Microchannel Heat Sinks with Periodic Expansion-Constriction Cross-Sections. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **62**, 741-751. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.03.045>
- [14] Chai, L., Xia, G.D., Zhou, M.Z., *et al.* (2011) Numerical Simulation of Fluid Flow and Heat Transfer in a Microchannel Heat Sink with Offset Fan-Shaped Reentrant Cavities in Sidewall. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **38**, 577-584. <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.12.037>
- [15] Ali, M.M. and Ramadhyani, S. (1992) Experiments on Convective Heat Transfer in Corrugated Channels. *Experimental Heat Transfer*, **5**, 175-193. <http://dx.doi.org/10.1080/08916159208946440>
- [16] 谢公南, 王秋旺, 曾敏, 等. 几何因子对波纹通道内稳态流动与换热的影响[J]. 计算物理, 2007, 24(2): 192-196.
- [17] 鞠花, 陈刚, 李国栋, 等. 静水中上升气泡沿倾斜壁面的运动特性试验研究[J]. 水动力学研究与进展, 2011, 26(3): 327-332.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aepe@hanspub.org