

R141b在圆形微通道内的沸腾换热实验研究*

张宗卫¹, 徐文迪¹, 刘聪², 付东金¹, 周志豪¹

(1. 中国民航大学 航空工程学院, 天津 300300;

2. 中国民航大学 空中交通管理学院, 天津 300300)

摘要: 为提高换热强度、解决设备内部高热流密度散热问题, 采用实验方法研究R141b在不同直径 ($D=0.5\text{mm}$ 和 1.0mm) 水平圆形微通道内的沸腾换热特性, 分析了热流密度 ($q=2.0\text{kW/m}^2\sim 47.6\text{kW/m}^2$)、质量干度 ($x=0\sim 0.6$)、质量流速 ($G=111.11\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})\sim 333.33\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) 的变化对平均传热系数 h 的影响, 探究不同情况下影响沸腾换热的主导因素。实验研究表明: 平均传热系数 h 随热流密度 q 的增加而减小, 在不同范围内减小速率有明显差异; 热流密度 $q=2\text{kW/m}^2\sim 5\text{kW/m}^2$ 时质量流速 G 对平均传热系数 h 影响较明显, 热流密度较高时质量流速 G 对换热影响很小; 在质量流速 $G=111.11\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})\sim 333.33\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 质量干度 $x>0.3$ 时, 平均传热系数 h 随质量干度 x 增加而明显下降, 在设计微通道换热器时应尽量使R141b处于初始沸腾阶段以获得更好换热效果, 并采取一定措施预防干度过高引起的换热恶化。

关键词: R141b; 换热特性; 圆形微通道; 沸腾; 平均传热系数

中图分类号: TB61; V231.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4055 (2019) 06-1363-07

DOI: 10.13675/j.cnki.tjjs.180445

Experimental Investigation on Flow Boiling Heat Transfer of R141b in Circular Micro-Channel Heat Sinks

ZHANG Zong-wei¹, XU Wen-di¹, LIU Cong², FU Dong-jin¹, ZHOU Zhi-hao¹

(1. College of Aeronautical Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

2. College of Air Traffic Management, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: In order to intensify heat transfer and solve the problem of high heat flux and heat dissipation inside the equipment, the boiling heat transfer characteristics of R141b in horizontal micro-channels with different diameters ($D=0.5\text{mm}$ and 1.0mm) were studied experimentally. The effects of heat flux ($q=2.0\text{kW/m}^2\sim 47.6\text{kW/m}^2$), vapor quality ($x=0\sim 0.6$) and mass flow rate ($G=111.11\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})\sim 333.33\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) on the average heat transfer coefficient h were analyzed, and the dominant factors affecting boiling heat transfer were explored under different conditions. The experimental study showed that the average heat transfer coefficient h decreased with the increase of heat flux q in significantly different rate according to different range. The effects of mass flow rate G on the average heat transfer coefficient h are obvious when heat flux $q=2\text{kW/m}^2\sim 5\text{kW/m}^2$, while when the heat flux is high, the mass flow rate G has little effect on the heat transfer. At different mass flow rate ($G=111.11\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})\sim 333.33\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) when the vapor quality $x>0.3$, the average heat transfer coefficient h decreased with increasing vapor quality x . Micro-channel heat exchangers should be well-designed to insure R141b working under the initial boiling stage to achieve better heat exchange effect, and certain measures should be taken to prevent the

* 收稿日期: 2018-07-16; 修订日期: 2018-08-22。

基金项目: 中央高校基本科研业务费中国民航大学专项 (3122014C006); 中国民航大学科研启动基金项目 (2013QD11S)。

作者简介: 张宗卫, 博士, 研究领域为传热传质。E-mail: zongweizhang@gmail.com

通讯作者: 刘聪, 博士, 研究领域为发动机热防护。E-mail: l2008c@aliyun.com

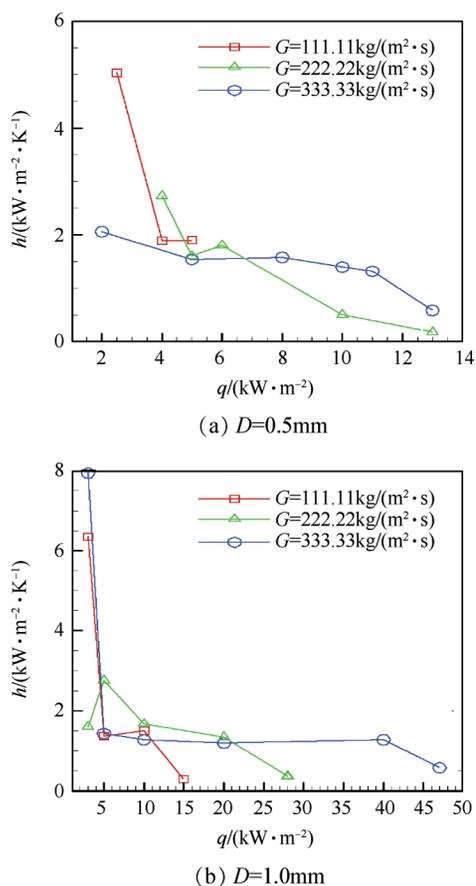


Fig. 5 Effects of heat flux on average heat transfer coefficient

微通道两相流中流动换热状况变化较剧烈,并且沸腾初期流动换热形式转变过程较迅速,因此少量实验数据出现轻微波动,本节通过分析流动与换热热间相互关系,探讨了平均换热系数 h 随热流密度 q 的整体变化趋势。工程中采用微通道换热时应考虑使 R141b 处于沸腾初始阶段,通过强制对流换热和沸腾换热共同作用以获得更好的换热效果。

随着热流密度的进一步增加,主流温度已经达到饱和温度,与壁面的温差基本保持不变,并且由于气膜覆盖阻碍换热,平均传热系数因而变化缓慢。历史研究^[10]表明当气体增加到一定份额,大量气泡在主流中央结合成气弹并且尺寸逐渐增长,流动形式开始向环形流转变,此时流动状态变化对传热系数的影响将在 4.3 节中进行论述。

4.2 质量流速对平均传热系数的影响

图 6(a) 为通道直径 $D=0.5\text{mm}$, 四种不同热流密度 $q=4\text{kW}/\text{m}^2\sim 13\text{kW}/\text{m}^2$ 时圆形微通道中平均传热系数 h 随质量流速 G 变化趋势。热流密度为 $q=4\text{kW}/\text{m}^2$ 时随质量流速增加换热增强,这是由于此时热流密度较小,工质处于沸腾初始阶段,沸腾对换热影响较

大,质量流速的增加使得气泡更容易脱离壁面,工质汽化吸收热量后以气泡形式进入主流,气液两相掺混更加均匀,因此换热能力增强;热流密度 $q=6\text{kW}/\text{m}^2\sim 13\text{kW}/\text{m}^2$ 工况下平均传热系数随质量流速有所上升或下降,但变化幅度较小。Bao 等^[8]在利用 R11 和 HCFC123 进行实验时,发现在与本实验相同的热流密度 ($q=5\text{kW}/\text{m}^2\sim 20\text{kW}/\text{m}^2$) 范围内,工质主要以核态沸腾进行换热,随质量流速 G 变化平均传热系数 h 基本不变。通过 4.1 节中热流密度对换热影响的分析可知,当热流密度为 $q=6\text{kW}/\text{m}^2\sim 13\text{kW}/\text{m}^2$ 时,覆盖在壁面上的气膜将换热分成两部分,形成壁面-气膜-液体的结构。此时壁面和液相流体无法直接换热,质量流速的增加难以对气膜与壁面之间的换热产生很大影响,因此质量流速的增加对整体换热影响较小。

图 6(b) 为 $D=1.0\text{mm}$, 四种不同热流密度 $q=3\text{kW}/\text{m}^2\sim 20\text{kW}/\text{m}^2$ 时圆形微通道中平均传热系数随质量流速变化趋势。与图 6(a) 中不同,在热流密度 $q=3\text{kW}/\text{m}^2$ 工况下质量流速的增加使换热强度迅速减弱,这是由于此时热流密度 q 较小,沸腾强度低,气泡生成速率较小,并且微通道直径增大使得气泡密度减小,沸

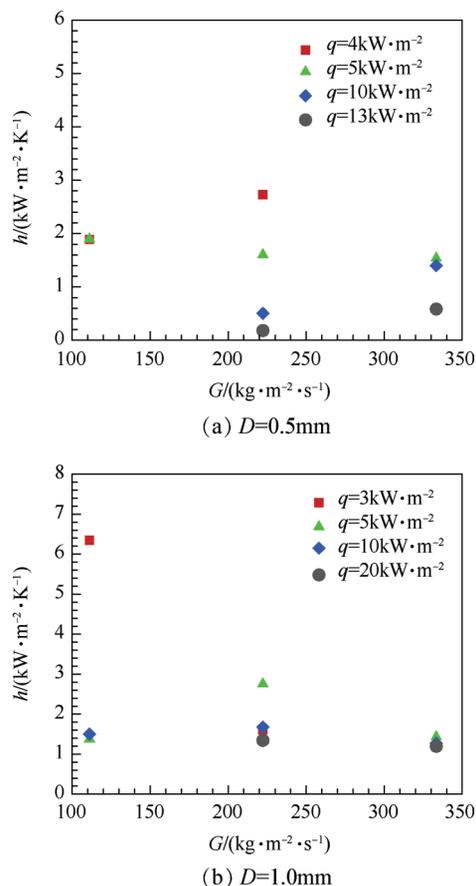


Fig. 6 Effects of mass flow rate on average heat transfer coefficient

