

# 制冷剂流动方向对微通道蒸发器房间空调器性能影响的对比试验研究

付 玉, 张忠斌, 黄 虎, 张若楠

(江苏省能源系统过程转化与减排技术工程实验室, 南京师范大学能源与机械工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 试验研究 UF(Upward Flow, 制冷剂在微通道蒸发器中自下而上流动)和 DF(Downward Flow, 制冷剂在微通道蒸发器中自上而下流动)2 种制冷剂流动方式下微通道房间空调器的制冷性能, 并对其名义制冷工况下制冷剂配液分布进行红外成像。试验结果表明, 随着室内空气干球温度的上升, 2 种方式的制冷量和能效比均不断上升; 名义制冷工况下, UF 方式优于 DF 方式, 前者的制冷量和能效比 EER 比后者分别高出 21.52% 和 14.94%; 红外成像分析表明, UF 方式分液效果优于 DF 方式。但是, UF 方式蒸发器尾部制冷剂分配较少, 换热效果下降。

[关键词] 制冷剂流动方向, 微通道蒸发器, 房间空调器, 环境温度, 红外成像

[中图分类号] TB657.2 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2015)01-0021-04

## Experimental Comparison on Micro-Channel Evaporator in Room Air Conditioner Under Various Refrigerant Flow Directions

Fu Yu, Zhang Zhongbin, Huang Hu, Zhang Ruonan

(Engineering Laboratory of Energy System Conversion and Emission Reduction of Jiangsu Province, School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** Experimental comparison on the performance is conducted between Upward Flow(the refrigerant flows from down to up)and Downward Flow(the refrigerant flows from up to down)in a room air conditioner using micro-channel evaporator. Refrigerant distribution of nominal refrigeration condition in the micro-channels is made in infrared thermographs. Experimental results show that the cooling capacity and EER improve with the increase of ambient temperatures. Experimental results reveal a mean increase of 21.52% in cooling capacity and an increase of 14.94% in EER in the unit using UF model than that using DF model under nominal refrigeration condition. The infrared thermographs elaborate that UF model is superior to DF. However, refrigerant distribution in the latter tubes becomes worse, which deserves more effort.

**Key words:** refrigerant flow direction, micro-channel evaporator, room air conditioner, ambient temperature, infrared thermographs

铜材价格的不断上涨使传统翅片管换热器的壁厚及其安全系数不断降低, 换热性能大打折扣, 作为铜材换热器的有效替代产品, 微通道换热器以其综合成本低、高效节能等优势在房间空调器等制冷设备中广泛应用<sup>[1]</sup>, 呈现出明显的优势。2010 年新能耗标准的实施进一步推动了微通道换热器在家用空调上的应用前景, 全铝微通道换热器逐步取代翅片管换热器是一种行业趋势<sup>[2,3]</sup>。

微通道换热器作为冷凝器使用的技术已基本成熟, 而其作为蒸发器使用时, 制冷剂气液两相流在各通路中的分液不均制约微通道蒸发器性能提升的一个瓶颈<sup>[4,5]</sup>。影响其分液效果的因素包括蒸发器分液歧管的结构、制冷剂的充注量和制冷剂的流动方向等几个主要方面<sup>[4-6]</sup>。红外热成像是一种运用光电技术检测物体热辐射的红外线特定波段信号后转换成可供人类视觉分辨的图像和图形, 并可进一步计算出温

收稿日期: 2014-07-14

基金项目: 江苏省高校自然科学基金(12KJB470010)、江苏省产学研前瞻性项目(BY2013001-05、BY2014001-02)、南京师范大学科技成果转化基金(2013-07)。

通讯联系人: 张忠斌, 实验师, 研究方向: 制冷空调设备性能优化和试验新方法。E-mail: zhangzhongbin@163.com

度值的技术手段. 红外成像通过揭示换热器表面的温度分布, 进而反应各通道内制冷剂的特性以及流量分布状况, 是优化微通道蒸发器性能的有效辅助手段, 但仍需获取大量图片和更加系列化的观察分析.

本文在室外机、室内机壳体和风机等其他条件不变的情况下, 采用微通道蒸发器替代翅片管蒸发器, 应用于一台 5HP 分体落地式房间空调器, 对制冷剂在微通道蒸发器中向上和向下 2 种流动方式进行样机的性能对比试验, 同时采用红外成像仪记录名义工况(干湿球温度分别为  $27.0\text{ }^{\circ}\text{C}/19.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )下蒸发器表面红外成像情况, 为制冷剂流动方向对微通道蒸发器性能影响的分析提供可视化支撑.

## 1 样机及其试验方法

试验样机是在一台 5HP 分体落地式房间空调器上改造而得, 其额定制冷量为  $12.0\text{ kW}$ , 采用 R22 制冷剂, 在其他条件不变的情况下, 将室内原有翅片管蒸发器替换为微通道蒸发器. 微通道蒸发器布置方式为 UF(Upward Flow, 制冷剂在微通道蒸发器中自下而上流动)和 DF(Downward Flow, 制冷剂自上而下流动)2 种. 试验样机的系统图及测点布置如图 1 所示. 本文采用焓差法对试验样机性能进行测试, 焓差试验室及仪器仪表的测量范围和精度参见参考文献<sup>[7]</sup>, 具体测试条件参见参考文献<sup>[8]</sup>.

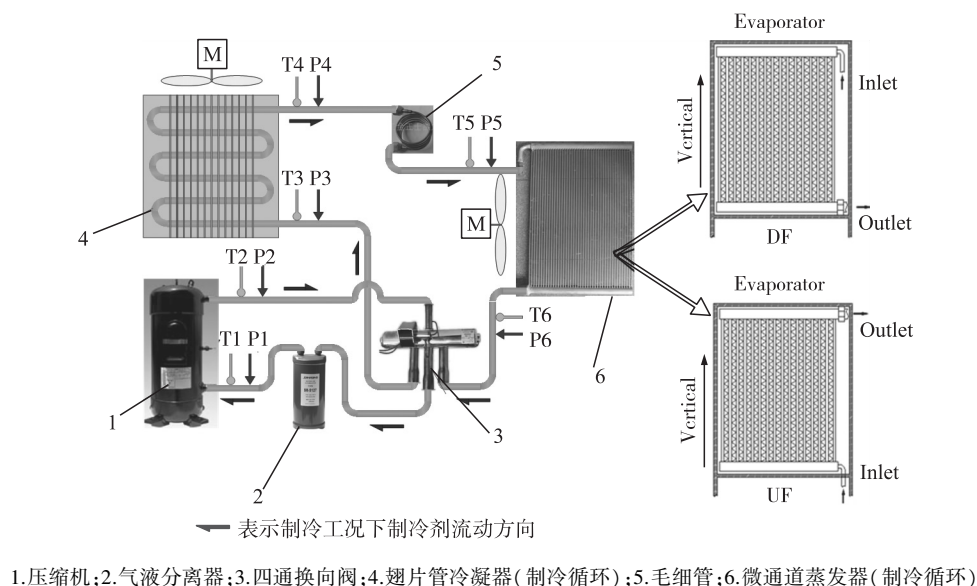


Fig. 1 Schematic diagram of the test unit with measurement points positioned

本试验对制冷剂在微通道蒸发器中的 2 种流动方式进行对比分析, 室外侧进风干湿球温度为  $35.0\text{ }^{\circ}\text{C}/24.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度恒为 47%, 在进风干球温度分别为  $23.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $25.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $27.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $29.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $31.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  5 种工况下进行试验. 同时采用红外成像仪记录名义工况(室内侧干湿球温度分别为  $27.0\text{ }^{\circ}\text{C}/19.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )下蒸发器表面的红外成像情况.

## 2 测试结果和数据分析

### 2.1 制冷剂流动方向对蒸发器进出口温度的影响

进风干球温度升高, 蒸发器进出口温度必然上升, 如图 2 所示. 与 DF 方式相比, UF 方式进口温度平均高  $6.41\% \sim 11.11\%$ , 出口温度平均高  $7.23\% \sim 14.10\%$ , UF 方式的平均温度明显高于 DF 方式. 因此, 在冷凝温度一定的情况下, UF 方式的制冷量会增加, 制冷性能提高.

### 2.2 制冷剂流动方向对压缩机吸排气压力的影响

进风温度由  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  增加至  $31\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, UF 方式排气压力增幅为  $9.03\%$ , DF 方式排气压力增幅为  $7.12\%$ , 如图 3 所示. 在同一进风温度条件下, UF 方式排气压力比 DF 高出  $4.02\% \sim 5.87\%$ , 两者差距较小, 表明制冷剂流动方向对排气压力的影响较小. 进风干球温度升高, 蒸发压力增加, 使压缩机吸气压力不断增加. 随着进风干球温度的升高, 2 种制冷剂流动方式下压缩机吸气压力的差距增大, 如图 3 所示. 相同进风温度条件下, UF 方式的吸气压力比 DF 方式高出  $12.53\% \sim 25.73\%$ , 表明制冷剂流动方向对吸气压力的影响

较大. 与 DF 方式相比,UF 方式的压比较小,输入功率小,制冷量更大. 由此可见,对微通道蒸发器而言,制冷剂自下而上的流动方式更优.

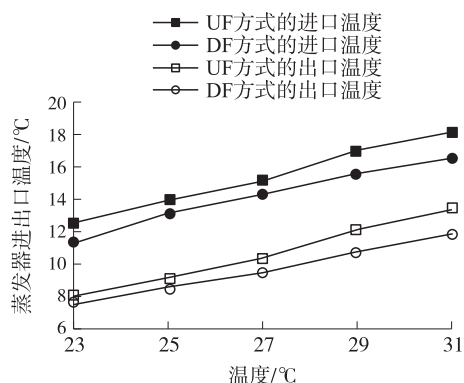


图2 制冷剂流动方向对蒸发器进出口温度的影响

Fig. 2 Effect of refrigerant flow direction on inlet and outlet temperature of evaporator

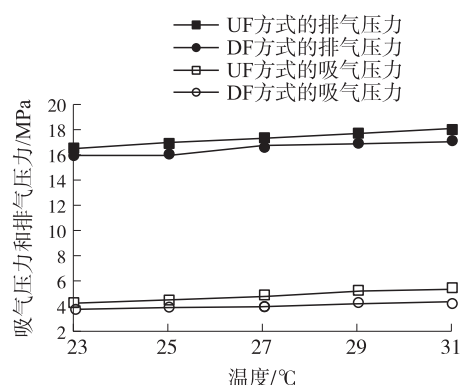


图3 制冷剂流动方向对吸排气压力的影响

Fig. 3 Effect of refrigerant flow direction on suction and discharge pressure of compressor

### 2.3 制冷剂流动方向对制冷量、输入功率和能效比的影响

两种流动方式下,制冷量均随进风干球温度的升高而增大,而输入功率波动幅度微弱且相差较小,如图4所示. 对于UF方式,进风干球温度低于27℃时,制冷量增幅为8.20%,增长缓慢;当进风干球温度高于27℃时,制冷量增长加快,增幅为16.99%,这是由于蒸发温度的提高使制冷剂单位质量制冷量增加. 对于DF方式,随着进风干球温度的上升,样机制冷量增幅为14.95%,相比于UF方式,增幅放缓. 对比分析可知,UF方式制冷量比DF方式高19.08%~31.13%,这可能是由于制冷剂两相流在压差的作用下自下而上流动时,与空气换热时间更为充分,换热效果更好,因此制冷量更大.

进风干球温度改变时,输入功率的变化比制冷量的变化更为显著,故EER的变化趋势与制冷量的变化趋势基本一致,如图5所示. 对于UF方式,当进风干球温度低于27℃时,EER增幅为3.46%;当进风干球温度高于27℃时,增幅为12.83%,增长较快. 对于DF方式,EER增幅为8.29%,相比于UF方式,增幅放缓. 综合对比分析UF方式和DF方式,前者EER比后者高出10.91%~19.6%,性能更优.

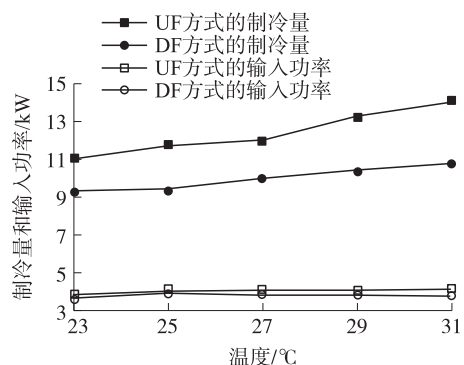


图4 制冷剂流动方向对制冷量和输入功率的影响

Fig. 4 Effect of refrigerant flow direction on cooling capacity and input power

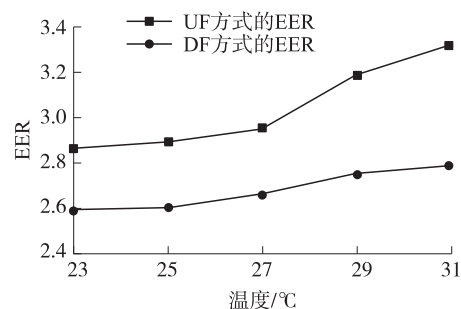


图5 制冷剂流动方向对能效比EER的影响

Fig. 5 Effect of refrigerant flow direction on EER

### 2.4 UF和DF方式下蒸发器的红外成像对比

蒸发器入口处的制冷剂为气液两相流,气液相的密度差等因素使制冷剂在进液歧管中分层,制冷剂沿进液歧管产生的压降使各个扁管中的流量分配不均. 如图6所示,UF方式下,靠近入口处扁管的制冷剂流量相对较大,基本处于两相状态,温度较低,而蒸发器尾部制冷剂分配较少. 这可能是由于制冷剂撞击分液管尾部时反弹,使制冷剂反冲回前端,造成尾部制冷剂流量较少,很早便处于过热状态,换热效果下降. 但相比于DF方式,UF方式下蒸发器的过热区域明显较小,蒸发器表面的温度分布相对较好,换热效果较好.

DF方式下制冷剂从右上侧进入蒸发器,如图7所示,可以看出靠近进液歧管入口处的几根扁管多为

气相制冷剂,流量较小,过热区域较大.而靠近后部的扁管内液态制冷剂流量大,基本处于两相状态,温度较低,温度分布变好,整体分液效果不如 UF 方式.



图 6 UF 方式蒸发器红外成像图

Fig. 6 Infrared thermographs of micro-channel evaporator in UF model

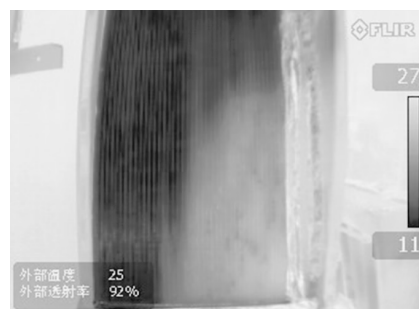


图 7 DF 方式蒸发器红外成像图

Fig. 7 Infrared thermographs of micro-channel evaporator in DF model

### 3 结语

(1)随着室内进风空气干球温度的上升,两种制冷剂流动方式下,机组制冷量、能效比 EER 等均增加,微通道蒸发器换热效果增强.

(2)在名义制冷工况下,与 DF 方式相比,UF 方式蒸发器平均蒸发压力高出 12.17%,且压降较小,制冷量高出 21.52%,机组能效比 EER 高出 14.94%,换热效果更为理想.

(3)红外成像结果表明,受气液两相流及沿进液歧管制冷剂压降变化的影响,制冷剂流量分配不均匀.DF 方式下过热区域更大,蒸发器制冷剂分配更不均,UF 方式分液效果明显优于 DF 方式.但是,UF 方式蒸发器尾部制冷剂分配较少,换热效果下降,如何通过控制分液歧管结构等措施来改善微通道蒸发器的分液效果,需要更为深入的研究.

#### [参考文献] (References)

- [1] Qi Zhaogang, Zhao Yu, Chen Jiangping. Performance enhancement study of mobile air conditioning system using microchannel heat exchangers[J]. International Journal of Refrigeration, 2010, 33(2): 301-312.
- [2] Spokoyiny M, Trofimov V, Qiu X L, et al. Compact heat sink with combined structures of dimples-protrusions with pin-fins or microchannels; review, simulation and experimental data[C]// Proceedings of the ASME International Heat Transfer Conference. Washington DC, 2010: 481-493.
- [3] Han Yanhui, Liu Yan, Li Ming, et al. A review of development of micro-channel heat exchanger applied in air-conditioning system[J]. Energy Procedia, 2012(14): 148-153.
- [4] 刘巍, 朱春玲. 分流板开孔面积对微通道换热器流量分配的影响[J]. 流体机械, 2014, 42(1): 6-10.  
Liu Wei, Zhu Chunling. Flow distribution characteristics of deflector with different opening area[J]. Fluid Machinery, 2014, 42(1): 6-10. (in Chinese)
- [5] 刘巍, 朱春玲. 分流板结构对微通道平行流蒸发器性能的影响[J]. 化工学报, 2012, 63(3): 761-766.  
Liu Wei, Zhu Chunling. Effects of deflector structure on performance of micro-channel evaporator with parallel flow[J]. CIESC Journal, 2012, 63(3): 761-766. (in Chinese)
- [6] 殷辉, 刘斌, 申志远. 微通道蒸发器在不同 R404A 充注量下的运行特性[J]. 低温工程, 2013, 193(3): 58-62.  
Yin Hui, Liu Bin, Shen Zhiyuan. Performance characteristics of microchannel evaporator with different R404A charge quantities[J]. Cryogenics, 2013, 193(3): 58-62. (in Chinese)
- [7] 张忠斌, 杜凯, 黄虎, 等. 制冷剂充注量对微通道蒸发器房间空调器性能影响的试验研究[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2014, 44(3): 1-6.  
Zhang Zhongbin, Du Kai, Huang Hu, et al. Experimental study on the impact of refrigerant charge on room air conditioner performance equipped with micro-channel evaporator[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2014, 44(3): 1-6. (in Chinese)
- [8] Huang H, Li Q, Yuan D, et al. An experimental study on variable air volume operation of ducted air-conditioning with digital scroll compressor and conventional scroll compressor[J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28(7): 761-766.

[责任编辑: 严海琳]