

L 型与 U 型热交换器性能理论分析与实验研究

戚文端, 李丰, 高浩, 张浩, 赵夫峰

广东美的制冷设备有限公司, 佛山 528311

Tel:18571516812, Email:hao.gao@midea.com

摘要: 房间空调器室外机管翅式热交换器主要存在 L 型折弯和 U 型折弯两种结构形式, 其对换热的主要影响差异因素为风速场以及局部阻力造成的压降和局部二次环流影响的扰动, 为探究两种不同形式热交换器对整机性能的具体影响, 本文对两种形式的热交换器的换热效果从理论分析、数值建模以及实际焓差室能力测试来进行分析比较。数值模拟以及能力测试结果显示, 在同一整机系统下, L 型与 U 型热交换器对整机能力以及能效的影响差异较小, 两者能力能效基本相当。

关键词: 房间空调器室外机, L 型热交换器, U 型热交换器, 能力能效

Theoretical analysis and experimental study on the performance of type L and U heat exchangers

Qi Wenduan Li Feng Gao Hao Zhang Hao Zhao Fufeng

(GD Midea Air Conditioning Equipment Co., Ltd , Foshan 528311)

Abstract There are two types of pipe fin heat exchanger in room air conditioner, which are mainly L bending and U bending. The main influence factors of heat transfer are wind velocity field, pressure drop caused by local resistance and disturbance of local two circulation, to explore the specific effects of two different types of heat exchangers on the performance of the machine. The heat transfer effect of the two types of heat exchangers is analyzed and compared from theoretical analysis, numerical modeling and actual enthalpy chamber capability test. The results of numerical simulation and ability test show that, under the same whole machine system, the difference between L and U heat exchangers has little effect on the ability and efficiency of the whole machine, and their ability energy efficiency is basically equal.

Keywords Room air conditioner L bending heat exchanger U bending heat exchanger Energy efficiency

1 前言

房间空调器已成为家庭必不可少的一部分, 其开发研究技术也比较成熟。空调室外机的结构布局是一个比较值得探究的部分, 如何在有效的空间里对冷凝器、风道、以及压缩机配管等部件进行合理布局, 使室外机的换热能力能达到其最大化还有很大潜力可挖, 如文章^[1]采取基于能量流分析的方法进行房间空调器外机风道系统优化设计, 实现气动噪声不增加条件下的室外机风道系统能效提高。冷凝器作为承担冷媒与空气换热的载体, 其强化换热与空气侧阻力的关系也是研究的热门对象, 如文章^[2]对纵向涡强化型换热器进行了实验研究, 在雷诺数 $4400 < Re < 11000$ 的范围内, 分析了不同来流速度对换热器传热阻力特性的影响。目前在市场上房间空调器室外机主要存在两种不同折弯形状的冷凝器, 一种是 U 型折弯的冷凝器, 一种是 L 型折弯的冷凝器, 其运行时的风速场和不同的折弯数, 以及增加的折弯处冷媒会形成局部的二次环流是影响其换热性能的主要因素, 为探究两种不同折弯的冷凝器对空调整机的能力影响, 本文从数值模拟, 以及在焓差室进行相同整机系统不同折弯换热器的基本能力测试, 来验证不同折弯形状的冷凝器对空调整机能力能效的影响。

2 理论分析及数值模拟

根据换热器计算过程, 空气侧的表面传热系数对总传热系数的影响起主要作用^[3], 空气侧表面换热系数 h_{outl} 为式 1.1 所示:

$$h_{outl} = \frac{C\lambda_f Re_f^n}{d_{eq}} \left(\frac{l}{d_{eq}} \right)^m \quad 1.1$$

其中 d_{eq} 为铜管当量直径, λ_f 为空气导热系数, l 为翅片宽度, Re 为雷诺数 C 、 m 、 n 为系数, 其中雷

诺数 1.2 所示:

$$Re = \frac{ud_{eq}}{\nu} \quad 1.2$$

其中 u 为风速, ν 为空气运动粘性系数。

由式 1.1 及式 1.2 可看出, 不同的风速场影响着空气侧的雷诺数, 从而影响到空气侧的表面传热系数。U 型冷凝器相对于 L 型冷凝器来说增加了一个折弯, 从冷媒侧来说, 折弯段相对于直管段局部阻力增加较多, 导致流动阻力增大, 损失能量增加, 但在整机系统中其压力损失占比较小, 同时折弯处冷媒局部形成二次环流, 增加了冷媒的扰动, 会使局部换热系数的增加。为探究其压力损失、局部扰动及风速等主要因素对冷凝器整体换热效果的综合影响, 采用换热器计算软件 HXSIM^[4], 对 L 型以及 U 型的冷凝器进行理论的建模运算, 软件根据设置不同换热器的结构形式, 以及翅片管的各参数, 进风的风速场进行模拟计算, 所以在相同整机系统下, 实测 L 型和 U 型两种不同换热器在额定制冷工况下运行时的风速场, 如图 1 及图 2 所示, L 型冷凝器的风速场风速基本集中在 1.3~1.5 m/s 附近, 风速均匀型比较好, U 型冷凝器在靠近中隔板的风速为 0.5~0.6 m/s, 其余部分集中分布在 1.6~1.8 m/s 附近。

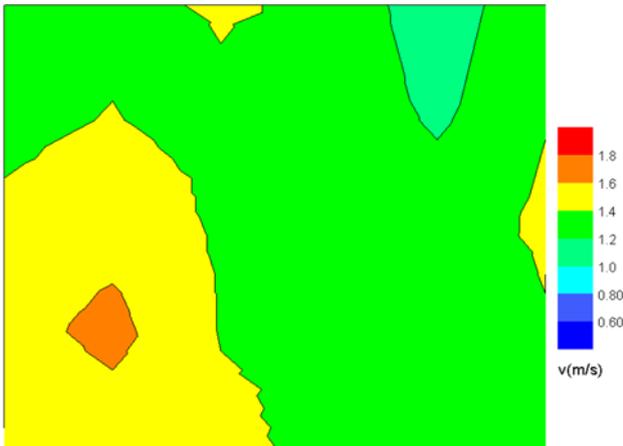


图 1 L 型冷凝器风速场分布图

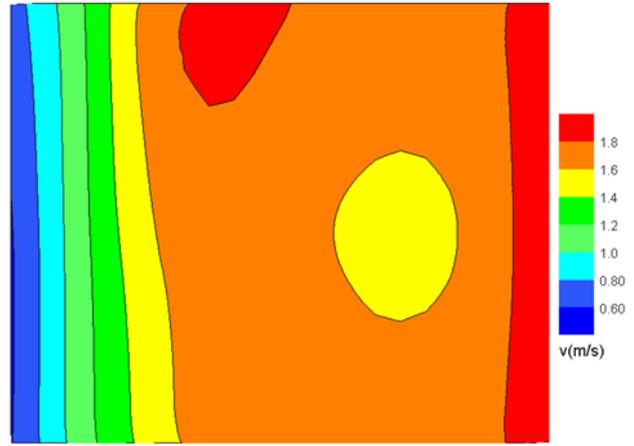


图 2 U 型冷凝器风速分布图

通过输入实测的风速分布, 流路同为两进两出型流路, 对 D7 管径 L 型冷凝器以及 D7 管径 U 型进行基本换热能力的计算。根据实验测试设定制冷剂为 R32 冷媒, 进口压力为 3.142MPa, 温度为 78 摄氏度, 冷媒质量流量为 17.2g/s, 所建模型如图 3、图 4 所示。

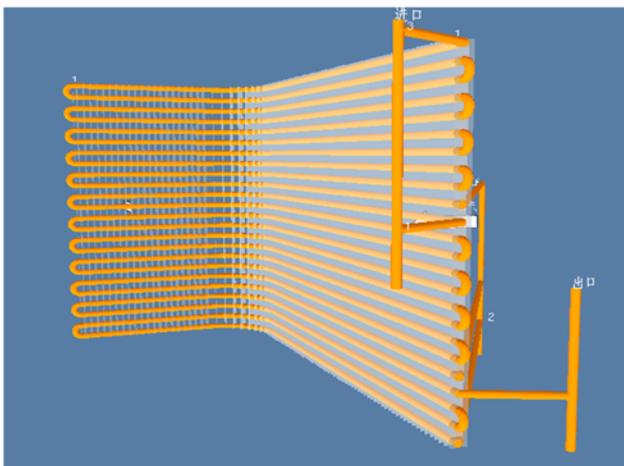


图 3 L 型冷凝器数值分析建模运算图

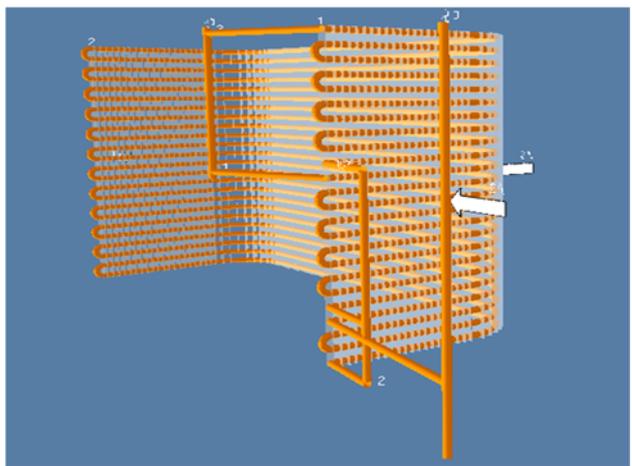


图 4 U 型冷凝器数值分析建模运算图

将 L 型以及 U 型冷凝器的冷媒侧总换热量、换热系数、冷媒侧压降, 空气侧总换热量、总换热系数、空气侧压降模拟结果如表 1 所示。

表 1 数值仿真结果

	冷媒侧总换热量 (W)	冷媒侧总换热系数 ($W/m^2 \cdot K$)	冷媒侧压降 (kPa)	空气侧总换热量 (W)	空气侧总换热系数 ($W/m^2 \cdot K$)	空气侧压降 (Pa)
L 型	5017.8	3043.5	13.1	5015.9	105.963	38.597
U 型	5138	3116.8	13.8	5135.8	108.495	41.946

通过表 1 可以看出，L 型的冷媒侧总换热量比 U 型低 2.3%，也在相同的胀高以及片型和流路下，总换热系数也相对较低，L 型的冷媒侧压降比 U 型冷媒测压降低 5.1%，压降的差异只要由 U 型冷凝器增加的一道折弯造成，在折弯处冷媒生成了二次环流，增强了冷媒的扰动以及局部换热，使换热量有一定提升。从数值模拟单个冷凝器热负荷的换热角度上来说，L 型冷凝器和 U 型冷凝器差异较小。

3 L/U 型冷凝器性能实验验证

为探究 L 型和 U 型冷凝器在换热能力以及压降引起的功耗差异在整机系统上对实际的制冷制热能力和能效的影响，保证室外机相同流路以及系统其他部件不变，分别采用 D7 管径 L 型冷凝器、D7 管径 U 型冷凝器在焓差室进行基本能力能效测试，测试工况如表 2 所示。

表 2 基本能力能效测试工况

工况	额定制冷	43℃制冷	48℃制冷	额定制热	2℃制热	-7℃制热
室内工况 (干湿球)	27.00/19.00	27.00/19.00	32.00/23.00	20.00/15.00	20.00/15.00	20.00/15.00
室外工况 (干湿球)	35.00/24.00	43.00/27.00	48.00/34.00	7.00/6.00	2.00/1.00	-7.00/-8.00

同工况下控制压缩机运行在相同频率，两种不同冷凝器外机运行能力情况如图 5 所示。

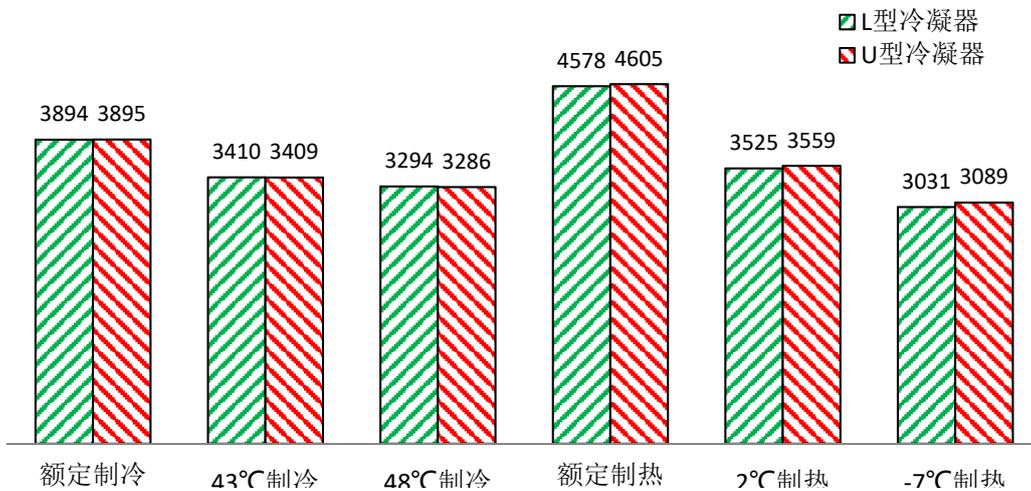


图 5 U 型和 L 型能力对比

在 3 个制冷工况下，L 型冷凝器和 U 型冷凝器能力差距均在 0.2% 以内，几乎没有差别。在三个制热工况下，U 型冷凝器外机与 L 型冷凝器外机相比，额定制热高 27W，差比为 0.59%；2℃制热高 34W，占比为 0.96%，其中 U 型冷凝器外机结霜周期为 58min53s，除霜时间为 4min56s，L 型冷凝器外机除霜周期 55min53s，化霜时间 4min10s；-7℃制热高 58W，占比为 1.88%，其中 U 型冷凝器外机结霜周期 1h56min49s，化霜时间 5min02s，L 型冷凝器外机结霜周期 1h43min49s，化霜时间 5min05s。由上可知，在同一整机系统下，L 型冷凝器与 U 型冷凝器在 6 个制冷制热工况下的能力表现基本相当。

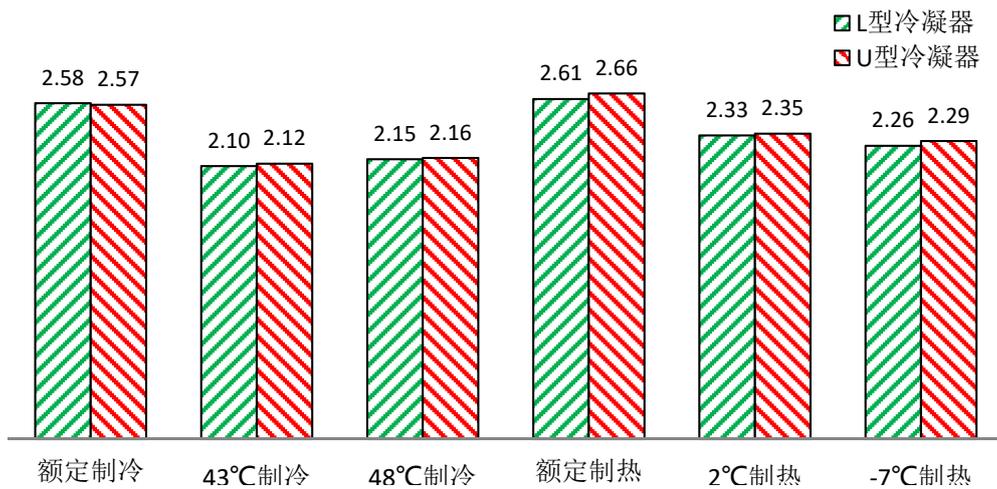


图6 U型和L型能效对比

两种不同冷凝器外机运行能效情况如图6所示,额定制冷工况下L型比U型能效高0.1,43°C制冷和48°C制冷下U型比L型高0.01~0.02,差距比例在0.94%以内;额定制热、2°C制热、-7°C制热三个工况中,U型冷凝器能效均比L型冷凝器高,幅度在0.02~0.05范围内,差比在0.85~1.88%内。由上可以看出,在同一个整机系统中,L型冷凝器与U型冷凝器的室外机能效比基本相当。

4 结论

通过实测风速场进行数值模拟以及实际焓差室基本能力测试可知,在同一整机系统下,房间空调器室外机选择L型冷凝器或U型冷凝器对整机实际制冷制热能力以及能效影响不大,两者能力能效基本相当。工程师在进行冷凝器选型时可根据实际外机尺寸需求及布局进行选择,长度空间较宽裕时选择L型冷凝器,宽度空间较宽裕时选择U型冷凝器。

参考文献

- [1] 王洪磊. 典型机电产品节能降耗设计的能量流建模、优化与应用[D]. 清华大学博士学位论文. 2011: 81-89.
- [2] 楚攀. 新型管翅式换热器的传热与阻力特性研究[J]. 企业技术开发. 2010, 29(17): 23-28.
- [3] 杨珊珊. 流程布置对管翅式冷凝器换热性能影响的研究[D]. 江苏科技大学硕士学位论文. 2016: 27-29.
- [4] 任滔, 丁国良, 王婷婷. 制冷剂-空气热交换器集成式数字化设计软件[J]. 制冷学报. 2012, 33(2):24-30.