

风速分布对单流路双排管蒸发器性能影响的模拟研究

黄东, 孙敏超, 贾杰楠, 吴蓓

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 利用 EVAP-COND 软件计算分析了风速均匀以及风速呈下三角、上三角、中三角分布对单流路双排管蒸发器性能的影响, 结果表明: 风速均匀分布时蒸发器换热量最大, 比最小值大 12%; 第 1 排管的换热量是产生差别的主要原因, 而它又取决于传热系数分布; 风速呈下三角分布时第 1 排管传热系数的峰值、最小值都比其他风速分布时的小, 蒸发器换热量最小; 风速呈上三角分布时第 1 排管传热系数的峰值最大, 最小值比呈下三角分布时的大, 蒸发器换热量仅次于风速均匀分布时的换热量. 风速分布形状对传热温差的影响程度远比对传热系数的影响要小.

关键词: 风速分布; 蒸发器; 蒸发器换热量; 传热系数

中图分类号: TB65 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)05-0036-04

Simulation of Effect of Air Velocity Distribution on Performance of Two-Row Finned Tube Evaporator with One Flow Path

HUANG Dong, SUN Minchao, JIA Jienan, WU Bei

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The effects of the airflow with the same flow rate and different air front velocity distributions on the performance of a two-row finned tube evaporator were numerically studied by the software EVAP-COND 2.1. The air velocity distribution was in four shapes, such as rectangle, two triangles with upper and lower right angles, and isosceles triangle. The results showed that the evaporator capacity for the rectangle shape was the greatest and was 12% more than the smallest one for the triangle shape with lower right angle. The heat transfer performance of the first row tube caused by the local heat transfer coefficients distribution made a major contribution to the difference in the evaporator capacity. The maximum and minimum values of the heat transfer coefficients in the first row tube were smaller for the triangle with lower right angle than those for the other three air velocity shapes, leading to the smallest evaporator capacity. Moreover, the maximum value of the heat transfer coefficients in the first row tube was the greatest for the triangle with upper right angle, and the minimum was bigger than that for the triangle with lower right angle. Hence, the evaporator capacity for the triangle with upper right angle was only smaller than that for rectangle shape. In addition, the air velocity distribution had a smaller effect on the air-and-refrigerant temperature difference than on the heat transfer coefficient.

Keywords: air velocity distribution; evaporator; evaporator capacity; heat transfer coefficient

在中、大型制冷装置中,翅片管式换热器的尺寸较大,多采用 V、W、I 字形布置,将风机置于顶部,这种相对位置关系易导致风速非均匀分布,而在小

型家用空调装置中,因风机与换热器的相对位置以及风道狭小、曲折等原因,也易造成风速非均匀分布现象. 风速非均匀分布会造成翅片管式换热器的换

热量显著衰减^[1-4]. 因翅片间距很小(1~2 mm)以及气液两相流测量难度较大,所以从空气侧和制冷剂侧对翅片管式换热器传热的局部特征进行实验研究的难度和工作量都较大,再加上风速非均匀分布会使局部特征更为复杂,从而更增加了实验研究的工作量和难度,而数值模拟则能更好地获取换热器的局部特征参数. 因此,本文采用数值模拟方法来研究风速分布形状对双排管单流路蒸发器性能的影响,并将以此为基础进一步研究对多流路并联蒸发器性能的影响.

1 模拟程序及运行条件

1.1 模拟程序简介

本文采用美国标准与技术研究所(NIST)的 Domanski 所设计的软件 EVAP-COND 2.1^[5]. 该软件历经 NIST 十几年的开发和完善,在翅片管换热器的数值模拟方面具有很强的代表性,在国际上也具有广泛的影响^[6-7]. EVAP-COND 软件的详细介绍,包括压降、传热系数关联式等,请参考文献^[8-9].

1.2 模拟的运行条件

作者前期的研究表明:支路数对冷凝与蒸发两用翅片管式换热器的性能影响十分显著,在特定条件下对应的最佳支路数为 2^[8]. 基于以上研究成果,本文将研究风速非均匀分布对单流路蒸发器性能的影响,所用翅片管式换热器的几何结构尺寸、风量等为文献[8]中相应值的一半(见表 1),风速分布分别为均匀、下三角、上三角、中三角 4 种形状(见图 1),且 4 种形状的总风量相同,仅风速分布形状不同. 制冷剂采用 R410A.

表 1 换热器的几何结构参数

带翅管长/mm	管内径/mm	管外径/mm	管间距/mm
400	8.82	9.52	25.4
排间距/mm	管排数	每排管数	翅片间距/mm
22	2	12	1.5
翅片厚度/mm	管内表面	翅片类型	空气流量/m ³ ·min ⁻¹
0.11	光管	平直翅片	6

蒸发器的出口压力和温度不仅会影响压缩机的流量,也反映了蒸发温度以及蒸发器内过热段的长度. 因此,本文将蒸发器的制冷剂出口状态作为模拟的收敛条件,如表 2 所示. 进口空气的干、湿球温度采用国标中标准制冷工况的数据. 空气和制冷剂的流动方向如图 1 所示.

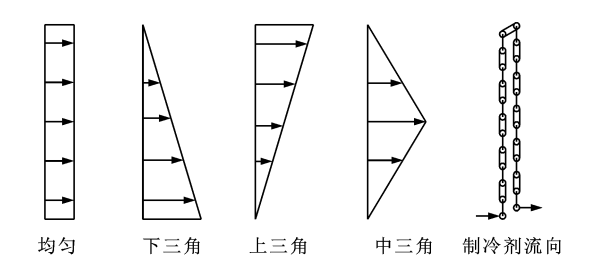


图 1 风速分布和换热器管路布置

表 2 蒸发器模拟的运行条件

制冷剂			进风	
进口干度	出口饱和温度/℃	出口过热 度/℃	干球温度 /℃	湿球温度 /℃
0.2	5	5	27	19

2 蒸发器模拟结果分析

为便于详细分析和比较,管路按图 1 中制冷剂流过的先后顺序进行编号,即进口管的编号为 1,后面的管编号依次类推. 研究表明:在翅片管式蒸发器、冷凝器中,当以管内表面为基准计算热阻时,因管外翅片面积远大于管内表面积,管外与管内面积之比远大于 1,从而补偿了空气侧换热系数小的缺点,使空气侧与制冷剂侧的热阻在数量级上相当,甚至在过热区和低干度区,主要热阻还位于制冷剂侧^[10-11]. 由此可见,必须从空气侧和制冷剂侧同步进行研究,才能使分析更加全面. 传热系数和传热温差都综合考虑了空气侧和制冷剂侧的影响,因此二者可以作为本文分析和比较的重要依据.

图 2、图 3 表明了蒸发器的换热量和制冷剂流量随风速分布的变化. 图 2 显示:风速均匀时蒸发器的总换热量最大,风速呈下三角分布时换热量最小,最大值比最小值大 12%;第 1 排管的换热量随风速分布的变化趋势、变化幅度与总换热量基本一致,但第 2 排管的换热量却与风速分布基本无关. 图 3 中蒸发器的制冷剂流量与图 2 中总换热量的变化趋势相一致,制冷剂流量的最大值比最小值大 11.9%.

由图 4 可见,在各种风速分布下,制冷剂沿程温度分布基本相同,但蒸发器过热段的长度略有差别:风速呈上三角分布时的过热段最长,风速呈下三角分布时的最短,风速呈均匀、中三角分布时的居中. 由图 5 可知,风速对第 1 排管空气出口温度的影响不大,各种风速分布下的出风温度基本相同,但对第 2 排管却存在显著影响:风速小的位置出风温度低,风速大的位置出风温度高. 编号为 13~24 的管位于第 2 排.

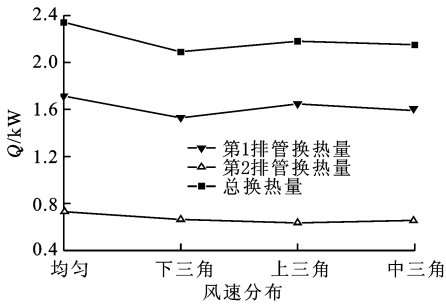


图 2 蒸发器换热量及每排管换热量随风速分布的变化

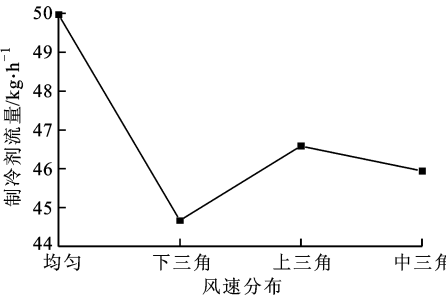


图 3 制冷剂流量随风速分布的变化

比较图 5 和图 1 可以明显看出,第 2 排管的空气出口温度随管编号的分布呈现出与其所对应的风速分布相类似的形状.由此可知,风速分布对制冷剂的温度分布和第 1 排管的空气出口温度分布基本无影响,但对第 2 排管的空气出口温度分布影响显著.因此,风速分布对第 2 排管的传热温差影响显著,对第 1 排管基本无影响,如图 6 所示.

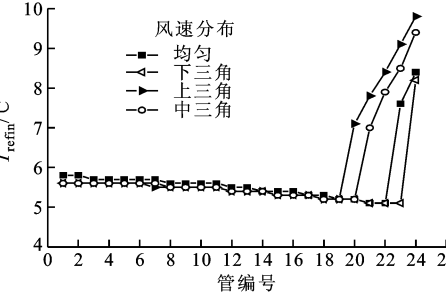


图 4 单管入口制冷剂温度对比

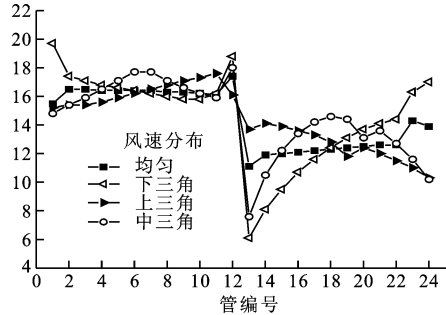


图 5 单管出口空气温度对比

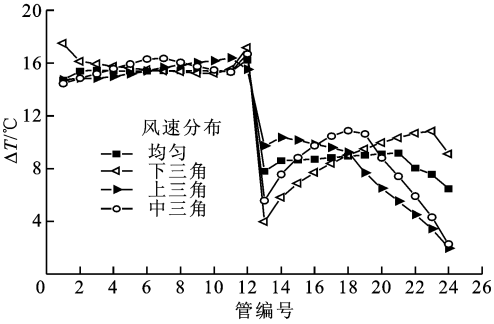


图 6 单管的制冷剂和空气间传热温差对比

由于风速会直接显著影响空气侧表面的传热系数,并进一步影响蒸发器的传热系数,因此风速分布对传热系数的影响极为显著,风速大的位置传热系数相应较大,风速小的位置传热系数也小.由图 7 可知,蒸发器第 1、第 2 排管的传热系数分布都呈现出与其所对应的风速分布相类似的形状,这与传热温差仅在第 2 排管受风速分布的影响有所不同.

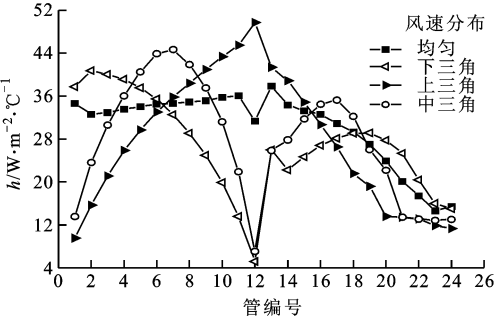


图 7 单管传热系数对比

由图 8 可知,风速大的管对应的换热量也大,风速小的管对应的换热量也小,第 1 和第 2 排每根管的换热量呈现出与风速分布相似的形状.但是,由上面的分析可知,第 1 和第 2 排管换热量相似的原因却是不同的:传热系数是第 1 排管换热量相似的主要原因,而传热系数和传热温差共同作用是第 2 排管换热量相似的原因.对比图 6、图 7 可知,风速分布对传热系数的影响幅度比对传热温差的大,尤其是对第 1 排

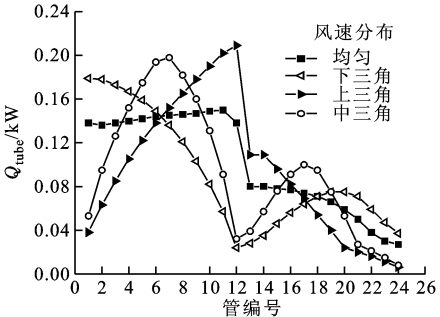


图 8 单管换热量对比

管传热系数的影响更为显著,从而导致风速分布对第1排每根管换热量的影响程度要比对第2排的更大(见图8)。

由对图2的分析可知,各种风速分布所对应的蒸发器换热量存在差别,此差别主要由第1排管换热量的差别所引起,而第1排管换热量的差别又取决于传热系数。因此,第1排管的传热系数分布是影响各风速分布所对应的蒸发器换热量的主导因素。每根管的传热系数由管外空气侧表面传热系数和管内制冷剂侧表面传热系数构成,空气侧表面传热系数主要受风速制约,而制冷剂侧表面传热系数受干度、流量、流型等因素的影响。当管内沿程干度增大时,制冷剂侧表面传热系数先增后减,先增是因干度增大提高了流速,后减是因干度较大时出现了缺液区沸腾恶化现象。学界通常认为,干度为0.80~0.85是沸腾恶化的转折点。在EVAP-COND软件中:当干度小于0.8时,管内制冷剂侧表面的传热系数采用气液沸腾相变换热公式;当干度大于1.0时,采用气体强制对流换热公式;当干度介于0.8和1.0之间时,采用沸腾相变和强制对流的线性拟合来计算传热系数。

显然,一方面沿程干度变化会引起制冷剂侧表面传热系数分布的变化,另一方面,不同的风速分布形状会引起空气侧表面传热系数分布的差别,二者共同作用必然会产生不同的传热系数分布,如图7所示。在第1排管中,制冷剂从管1进入,依次流过各管到达管12,各种风速分布下管12处的出口干度都小于0.80,因此第1排管的制冷剂侧表面传热系数沿程不断增大。对风速呈下三角分布而言,管1的制冷剂侧表面传热系数较小,但空气侧表面传热系数最大,两侧表面传热系数的差别很大,使第1排管传热系数的峰值最小,同时管12的制冷剂侧表面传热系数较大,但空气侧表面传热系数因风速接近0而较小,使得第1排管传热系数的最低值也最小,因此风速呈下三角分布时蒸发器换热量最小。对风速呈上三角分布而言,管12的制冷剂侧和空气侧表面传热系数都最大,因此第1排管传热系数的峰值最大,而管1的制冷剂侧表面传热系数最小,空气侧表面传热系数也最小,但两侧表面传热系数比较接近,使第1排管传热系数的最低值比风速呈下三角分布时的大,传热系数的平均值也较大,因此蒸发器换热量仅次于风速均匀分布时的换热量,是3种非均匀风速分布中最大的。风速呈中三角分布的情况介于呈上三角和下三角分布之间,这里不再赘述。

综上所述,将风速分布形状按蒸发器换热量从大

到小排列,依次为均匀、上三角、中三角、下三角。第1排管的换热量是产生差别的主要原因,而第1排管的换热量主要受传热系数分布的制约。第1排管的传热系数分布取决于空气侧和制冷剂侧表面传热系数的分布以及它们的差别幅度:风速呈下三角分布时传热系数最大值、最小值都比其他风速分布时的小,因此蒸发器换热量最小;风速呈上三角分布时的传热系数最大值比其他风速分布时的都大,且因空气侧和制冷剂侧表面传热系数的差别较小,使传热系数的最小值比呈下三角分布时的大,因此蒸发器换热量仅次于风速均匀分布时的换热量;风速呈中三角分布时的蒸发器换热量介于呈上三角和下三角分布时的换热量之间。

3 结 论

(1)风速均匀分布时蒸发器换热量最大,其他情况的蒸发器换热量按照风速呈上三角、中三角、下三角分布从大到小依次排列。

(2)第1排管换热量的差别是各种风速分布下蒸发器换热量产生差别的主要原因,而传热系数又是第1排管换热量产生差别的主导因素。

(3)第1排管的传热系数取决于空气侧和制冷剂侧表面传热系数的分布以及它们的差别幅度。风速呈下三角分布时,第1排管传热系数的峰值、最低值都比其他风速分布时的小,因此蒸发器换热量最小;风速呈上三角分布时,第1排管传热系数的峰值、最低值都比呈下三角分布时的大,蒸发器换热量仅次于风速均匀分布时的换热量;风速呈中三角分布时的换热量介于呈下三角和上三角时的换热量之间。

(4)风速分布对传热温差分布的影响程度远比对传热系数的影响程度小,甚至对第1排管传热温差基本无影响。

参考文献:

- [1] CHWALOWSKI M, DIDION D A, DOMANSKI P A. Verification of evaporator computer models and analysis of performance of an evaporator coil [J]. ASHRAE Transaction, 1989, 95(2): 1229-1236.
- [2] DOMANSKI P A. Simulation of an evaporator with nonuniform one-dimensional air distribution [J]. ASHRAE Transaction, 1991, 97(1): 793-802.
- [3] AGANDA A A, CONEY J E R, SHEPPARD C G W. Airflow maldistribution and the performance of a packaged air conditioning unit evaporator [J]. Applied Thermal Engineering, 2000, 20(6): 515-528.

- [4] LEE J H, KWON Y C, KIM M H. An improved method for analyzing a fin and tube evaporator containing a zeotropic mixture refrigerant with air maldistribution [J]. International Journal of Refrigerant, 2003, 26(2): 707-720.
- [5] DOMANSKI P A. EVAP-COND 2.1: simulation models for finned-tube evaporator and condenser [CP/OL]. Gaithersburg, USA: National Institute of Standards and Technology, 2006 [2006-08-12]. <http://www2.bfrl.nist.gov/software/EVAP-COND>.
- [6] DOMANSKI P A. Finned-tube evaporator model with a visual interface [C]//20th International Congress of Refrigeration. Sydney, Australia: International Institute of Refrigeration, 1999: 1-7.
- [7] DOMANSKI P A, YASHAR D, KIM M. Performance of a finned-tube evaporator optimized for different refrigerants and its effect on system efficiency [J]. International Journal of Refrigeration, 2005, 28 (6): 820-827.
- [8] 黄东, 陈群, 袁秀玲. 支路数对热泵空调中冷凝和蒸发两用换热器性能的影响[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41 (5): 543-548.
- HUANG Dong, CHEN Qun, YUAN Xiuling. Effect of circuit number on the indoor coil serving as both condenser and evaporator in heat pump [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(5): 543-548.
- [9] 黄东, 李权旭, 吴蓓, 等. 流路布置对热泵空调中冷凝和蒸发两用换热器性能的影响[J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(9): 1107~1112.
- HUANG Dong, LI Quanxu, WU Bei, et al. Effect of refrigerant circuitry on indoor coil serving as condenser and evaporator in heat pump. [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(9): 1107~1112.
- [10] LIANG S Y, WONG T N, NATHAN G K. Study on refrigerant circuitry of condenser coils with exergy destruction analysis [J]. Applied Thermal Engineering, 2000, 20 (6): 559-577.
- [11] LIANG S Y, WONG T N, NATHAN G K. Numerical and experimental studies of refrigerant circuitry of evaporator coils [J]. International Journal of Refrigeration, 2001, 24 (8): 823-833.

(编辑 葛赵青 荆树蓉)