

不均风速场对大中型热泵结霜工况性能的影响

龚建英, 袁秀玲, 黄东, 张兴群

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 针对一台名义制冷量为 50 kW 的风冷热泵冷热水机组, 研究了风速不均匀分布对机组结霜工况性能的影响. 实验结果表明: 风速的不均匀分布是系统反馈控制支路产生振荡的主导因素; 随着风速不均匀度增加, 结霜速度加快, 致使系统的稳定工作时间缩短, 系统的换热性能降低; 风速分布不均匀度为 0.93 与 0.18 时相比, 系统的稳定工作时间缩短了 34 min, 系统的制热量降低约 14.2%; 结霜振荡阶段, 霜层的阻塞作用成为影响系统性能的主要因素, 随着风速分布不均匀度的增加, 系统参数衰减加剧.

关键词: 风冷热泵冷热水机组; 风速分布不均匀度; 结霜; 稳定工作时间

中图分类号: TB65 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)09-1058-04

Influence of Airflow Maldistribution on Performance of Air-to-Water Heat Pump System under Frosting Conditions

Gong Jianying, Yuan Xiuling, Huang Dong, Zhang Xingqun

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

Abstract: The experiments for different airflow maldistribution degree (AMD) were conducted on a 50 kW unitary air-to-water heat pump. The results indicate that the airflow maldistribution at the face of finned tube heat exchanger is the dominant factor which results in the hunting of the thermostatic expansion valve. With AMD increasing, the process of frosting quickens and the stable work time of the heat pump shortens. The heating capacity decreases accordingly. When AMD was 0.93 and 0.18, the stable work time of heat pump reduced 34 minutes and the heating capacity decreased by 14.2 % accordingly. For the hunting stage, the frost block effect became the main factor degrading the refrigeration system performance.

Keywords: air-source heat pump chiller; airflow maldistribution degree; frosting; stable work time

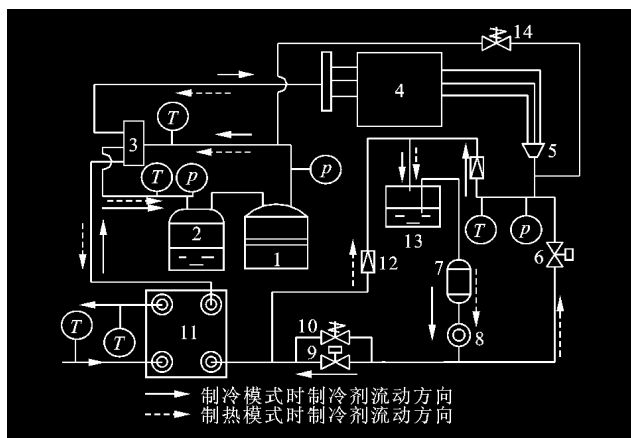
风冷热泵冷热水机组的结霜和除霜特性及其主要影响因素的研究对于机组的安全稳定运行以及改善机组性能具有重要作用^[1], 其中风速不均匀分布是影响结霜的主要因素之一. 由于大中型风冷热泵冷热水机组的风冷换热器体积大、支路数多, 其布置方式造成风速分布很不均匀, 风速分布的不均匀性给大中型风冷热泵冷热水机组的安全稳定运行带来很大影响^[2].

文献[3]建立了进风不均匀分布对蒸发器换热量影响的数学模型, 发现制冷剂支路的出口过热度

差别越大, 蒸发器换热性能越差. 文献[4]对环形风冷换热器进行了数值模拟, 比较了风速均匀和不均匀分布时空气侧压降和平均换热系数的变化. 文献[5]采用数值模拟的方法研究了来流风速与换热面不同夹角对蒸发器性能的影响. 以上研究主要针对家用空气-空气型热泵, 而有关风速不均匀分布对大中型风冷热泵冷热水机组结霜工况性能影响的研究较少.

本文通过实验方法, 研究了 3 种风速不均匀分布时, 名义制冷量为 50 kW 的风冷热泵冷热水机组

在结霜工况下系统的安全稳定工作性能,制冷剂采用 R22. 本文的研究对于结霜特性的深入研究和合理除霜方法的探讨具有参考价值.



1:压缩机;2:气液分离器;3:四通换向阀;4:风冷换热器;5:分液器;6:热力膨胀阀;7:干燥过滤器;8:示液镜;9:热力膨胀阀;10:电磁阀;11:板式换热器;12:单向阀;13:高压储液器;14:热气旁通电磁阀
图1 实验样机及系统布置点

1 实验装置及实验条件

样机(见图1)的名义制冷量为 50 kW,在压缩机的吸、排气口,风侧换热器的进、出口布置了压力和温度传感器,水侧换热器布置了进、出水温度传感器,气液分离器可以容纳 80%的机组充灌量.

实验主要是测量结霜工况下 V 型换热器来流风速不同分布时系统的温度、压力和水路流量以及风速,研究风速分布对系统结霜工况性能的影响. 实验在人工环境模拟室中进行. 测试时干球温度控制在 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,空气的相对湿度为 $85\%\pm 5\%$,利用数据采集系统进行测量,采集数据的周期为 5 s. 压力传感器的精度为 0.25 级,温度用热电偶测量,精度为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,水流量控制在 $4.8\sim 5.0\text{ t/h}$,风速采用 EE65 系列风速变送器,测量精度为 $\pm 0.3\text{ m/s}$.

为了便于描述来流风速分布的不均匀程度,定

义不均匀度

$$\sigma = \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i - \bar{v}}{\bar{v}} \right)^2 / (n-1) \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中: v_i 是测点的风速; $\bar{v} = \sum_{i=1}^n v_i / n$, 是风速的算术平均值; n 为来流风速的测点数.

风速的不均匀分布通过改变换热面前遮挡物不同的遮挡方式来实现,如图2所示. 图中 x 、 y 分别代表 V 型换热器长度和高度方向. 采用 3 种风速分布时,遮挡物距换热器表面的距离为 5 cm,换热器迎风面被遮挡面积相等,被遮挡面积约占换热器迎风面积的 30%. 风速测点布置为:在换热器长度方向取 $x=10, 110, 220, 330, 650, 970, 1\ 130, 1\ 280\text{ mm}$;高度方向取 $y=82, 242, 342, 442, 572, 682, 782\text{ mm}$,交叉后得到 56 个点,对这 56 个点的风速进行了测量,各点风速大小采用 10 次测量的平均值.

2 实验结果及分析

2.1 风速分布图

实验采用 3 种遮挡方式测量了来流风速分布,如图3所示.

2.2 结霜稳定阶段分析

由表1可以看出:随着不均匀度的增大,系统的稳定工作时间长度逐渐缩短. σ 为 0.93 比 0.18 时系统的稳定工作时间缩短了 34 min,这主要与结霜速度有关. 影响结霜速度的主要因素之一是空气和制冷剂间的温差,由于采用 3 种风速分布实验时,空气来流温度相同,因此蒸发温度的高低可以反映出结霜速度的快慢. 由图4可知: σ 为 0.93 时系统的蒸发温度最低,约为 $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$; σ 为 0.18 时蒸发温度最高,约为 $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$,相差约 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. 蒸发温度越低,则空气和制冷剂间的温差越大,结霜速度越快,换热器换热性能降低越快,如图5所示, σ 为 0.93 时制热量比 0.18 时降低约 14.2%. 风速分布的不均匀度越高,则系统的蒸发温度越低,空气和制冷剂的温差越大,结霜越快,系统换热性能越差.

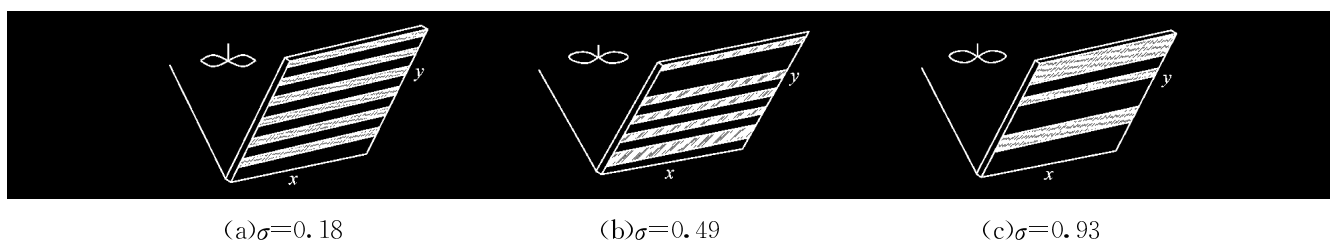


图2 换热器迎风面3种遮挡方式

表1 3种不同风速分布时系统稳定工作时间比较

σ	t_1/min	t_2/min	$\Delta t/\text{min}$
0.18	16	80	64
0.49	20	75	55
0.93	25	55	30

注: t_1 、 t_2 分别为机组启动后稳定工作的起止时间; Δt 为稳定工作时间, $\Delta t = t_2 - t_1$.

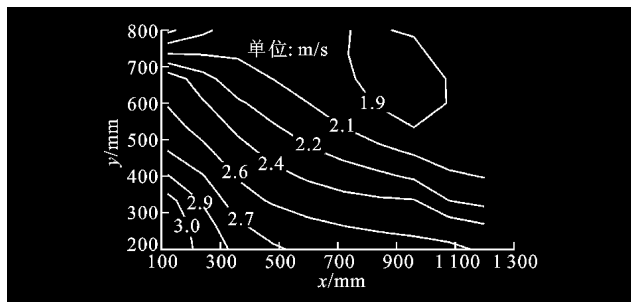
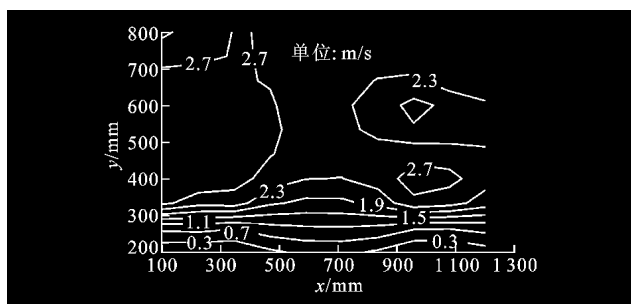
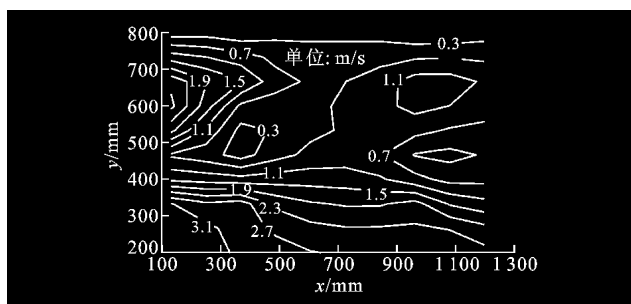
(a) $\sigma=0.18$ (b) $\sigma=0.49$ (c) $\sigma=0.93$

图3 3种风速分布图

2.3 结霜振荡阶段分析

对于中大型换热器, 来流风速的不均匀分布是导致热力膨胀阀控制发生振荡的主要原因. 图6中第1支路~第12支路沿V型换热器高度方向由下至上布置. 由图6可以看出, 第1支路、第8支路制冷剂出口温度较低, 第10支路和第12支路出口温度较高. 从图6a可知, 第1支路和第8支路出口温度出现间歇振荡, 第10支路、第12支路出口温度一

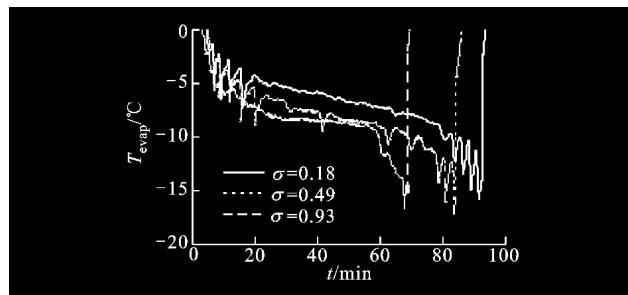


图4 3种风速分布时系统的蒸发温度比较

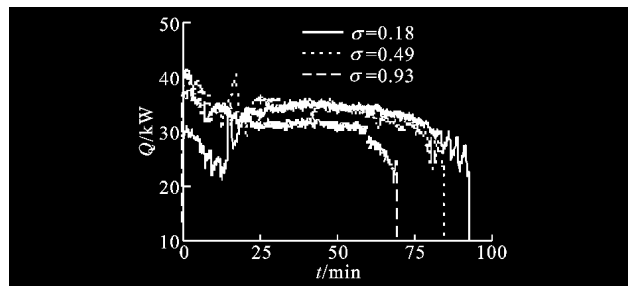


图5 3种风速分布时系统的换热量比较

直比较平稳, 说明第10支路和第12支路出口制冷剂的过热度足够大, 出口没有带液的情况. 根据图3a可知, 第10支路、第12支路迎面风速较第1支路和第8支路低, 说明第10支路、第12支路制冷剂流量较小, 较低风速可以保证其完全蒸发. 同样, 由于第1支路和第8支路制冷剂流量较大, 迎面风速虽相对较高, 却不一定能保证其中的制冷剂完全蒸发. 可见, 制冷剂和风速的不均匀分布相互作用, 造成某些支路出口制冷剂带有液体, 导致热力膨胀阀控制发生振荡, 引起这些支路的出口温度波动变化.

由图6c可知, 各支路制冷剂出口温度比较平稳, 各支路出口不带液, 说明这种情况下出口制冷剂过热度相对较大, 因此系统各参数几乎不存在振荡. 图4、图5中相应蒸发温度和系统换热量的动态变化具有相同的规律.

结霜振荡阶段, 系统运行参数随不均匀度增大衰减加剧, 如图4、图5所示. 主要是因为随着机组运行, 结霜量增多, 霜层对系统形成的阻塞作用越来越强, 此时空气流过风冷换热器的压降增大, 风压增大, 使风机的工作点发生偏移, 导致风量大幅度降低, 管外换热系数也随着降低, 霜层的阻塞作用逐渐成为影响风冷热泵冷热水机组性能的主要影响因素, 而霜层热阻对系统的影响越来越弱. 根据上述分析可知, 风速分布不均匀度越大, 换热器结霜速度越快, 使得霜层的阻塞作用对系统造成的影响越大. 因此, 在结霜振荡阶段, 风速分布不均匀度越大, 系统

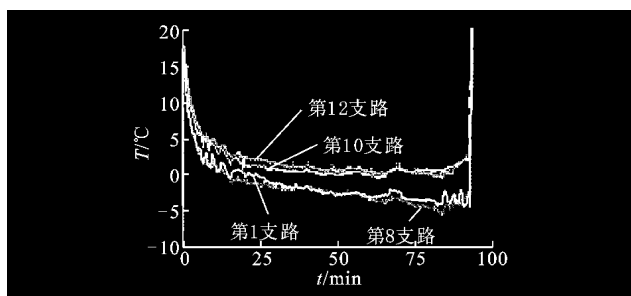
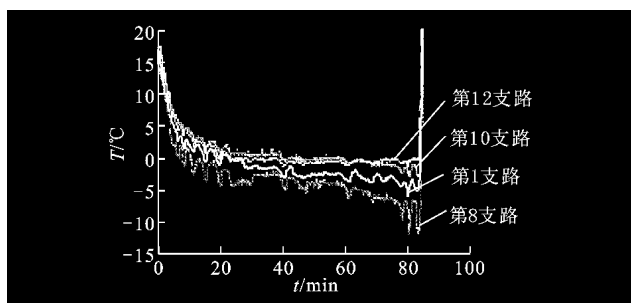
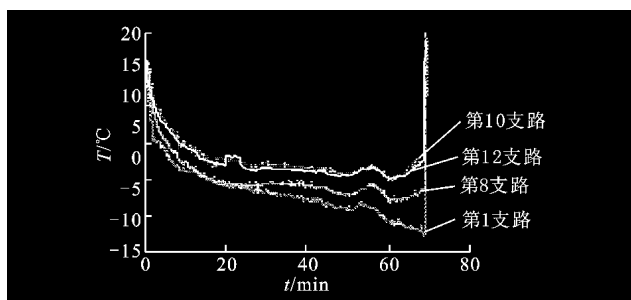
(a) $\sigma=0.18$ (b) $\sigma=0.49$ (c) $\sigma=0.93$

图6 3种风速分布时制冷剂各支路出口温度比较

制热量、制冷剂各支路出口温度、系统蒸发温度等系统各参数衰减的程度越剧烈。

3 结 论

(1) 结霜稳定阶段, 风速的不均匀分布是影响系

统稳定工作的主要原因。随风速不均匀度的增加, 空气和制冷剂间的温差变大, 使得结霜速度加快, 造成系统稳定工作时间缩短, 换热性能降低。 σ 为 0.93 比 0.18 时系统稳定工作时间缩短了 34 min, 系统制热量降低了 14.2%, 系统蒸发温度降低约 2 °C。

(2) σ 为 0.93 时, 过热度较高, 制冷剂各支路出口不带液。

(3) 结霜振荡阶段, 霜层的阻塞作用成为影响系统性能的主要因素。风速分布不均匀度越大, 系统的制热量、蒸发温度等参数衰减越剧烈。

参考文献:

- [1] 黄东. 风冷热泵冷热水机组结霜和初霜动态特性的研究[D]. 西安: 西安交通大学能源与动力工程学院, 2005.
- [2] 黄虎, 束鹏程, 李志浩. 风冷热泵冷热水机组设计中的若干问题[J]. 制冷, 1999, 18(2): 58-61.
Huang Hu, Shu Pengcheng, Li Zhihao. Some problems on the design of air-cooled heat pump chiller[J]. Refrigeration, 1999, 18(2): 58-61.
- [3] Domanski P A. Simulation of an evaporator with non-uniform one-dimensional air distribution[J]. ASHRAE Transaction, 1991, 97(1): 793-802.
- [4] Amaged E. Effect of airflow on pressure drop and thermal performance of heat exchangers in residential heat pump systems[J]. ASHRAE Transaction, 2003, 109(2): 9-14.
- [5] Chen Nan, Xu Lie, Feng Haidong, et al. Performance investigation of a finned tube evaporator under the oblique frontal air velocity distribution [J]. Applied Thermal Engineering, 2005, 25: 113-125.

(编辑 王焕雪)