

# 变频空调器的实验研究与性能分析

胡静<sup>1</sup>,杜明星<sup>2</sup>,杨昭<sup>3</sup>

(1.天津城建学院 能源与机械工程系,天津 300384;2.天津理工大学 自动化学院,天津 300191;3.天津大学 机械工程学院,天津 300072)

**摘要:**对直流变频空调器的启动特性、室外机换热器对系统性能的影响和系统的工作频率对能效比与制冷量的影响三个方面进行了实验研究,通过对实验结果进行分析与研究,进一步熟悉并掌握直流变频空调器的工作过程,并为变频空调研究与设计人员提供了一些切实可行的理论指导。

**关键词:**直流变频;换热器;工作频率;能效比

中图分类号:TK32;TB615

文献标识码:A

## Experimental research and performance analysis of inverter air-conditioner

HU Jing<sup>1</sup>, DU Ming-xing<sup>2</sup>, YANG Zhao<sup>3</sup>

(1. Dept. of Energy and Mechanical Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China; 2. School of Electrical Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300191, China; 3. School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** The start-up characteristics, influences of outdoor exchanger on system, and relationship between frequency and energy efficiency ratio (*EER*) and cooling capacity were studied mainly in this paper. On the basis of analyzing the experiment results, the work process of DC inverter air-conditioners could be further mastered, and some feasible theoretical instructions were provided for researchers and designers of inverter air-conditioners.

**Key words:** DC inverter; heat exchanger; work frequency; energy efficiency ratio (*EER*)

## 0 引言

随着现代永磁材料的性能不断提高和永磁无刷直流电动机技术的日趋成熟,无刷直流电动机也体现出效率高、性能好、结构简单、运行可靠、维护方便等优点,从而在各个工程领域得到了广泛的应用。直流变频空调器中采用了永磁直流无刷电动机驱动的压缩机作为核心部件,并且与微电脑和电子膨胀阀三者结合,克服了频繁启停带来的影响,实现了有效的节能和提供舒适的室内环境的显著特点。但就作者所搜集的资料显示,到目前为止,国内除个别空

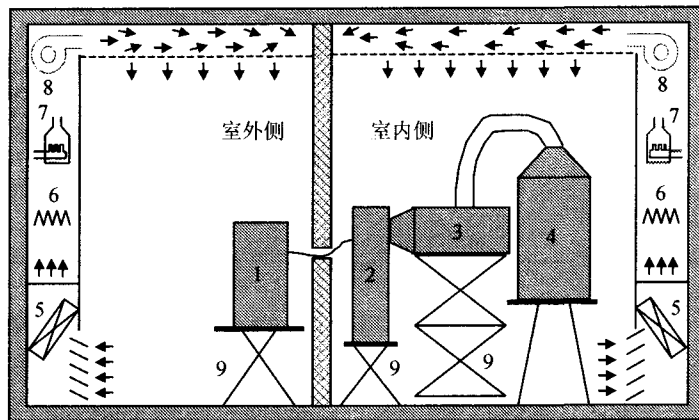
调厂家和高校掌握此项技术外,其他单位均处于研究阶段。基于此,本文分别从直流变频空调器的启动特性、室外机换热器对系统的性能影响和系统的工作频率对能效比(*Energy Efficiency Ratio*,简称为*EER*)和制冷量的影响三个角度进行分析与研究,进一步熟悉并掌握直流变频空调器的工作过程及设计原理,为变频空调器的设计提供有用的理论依据。

## 1 实验装置及测试样机

本文采用房间型量热计利用空气焓值法对直流

变频空调器进行制冷/制热能力测量实验。实验条件依据 GB/T7725—2004<sup>[1]</sup> 的要求设定,在 T1 气候类型制冷工况条件下,室内侧干球温度分别为  $27 \pm$

$1.0^\circ\text{C}$  和  $19 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ,室外侧干球温度分别为  $35 \pm 1.0^\circ\text{C}$  和  $24 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。房间型量热计的结构示意图如图 1 所示。



1 被测室外机;2 被测室内机;3 收风室;4 风量测量装置;5 蒸发器;6 加热器;7 加湿器;8 风机;9 支架

图 1 房间型量热计示意图

测试样机为某品牌 1.5 匹直流变频空调器,其原型机的额定制冷量为 3600W,额定制热量为 4200W,额定电压为 220V,  $EER/COP$  的标称值分别为:3.6W/W 和 3.0W/W,制冷制热条件下的额定工作频率分别为 55Hz/71Hz。

## 2 系统的启动特性对性能的影响

图 2 给出了直流变频空调器的启动特性曲线,从频率变化曲线中可以看出,空调在启动过程中经历了三个频率段和两个频率变化过程,三个频率段说明空调器的工作频率呈阶段性变化。而启动频率逐渐增大的工作方式能有效地避免压缩机突加给定电压而产生的阶跃响应,延长了压缩机的使用寿命,也在很大程度上有助于减轻对电网的冲击,降低启动能量,减小对电网的污染,从而降低了整个系统的能耗。从电子膨胀阀变化曲线可以看出,该系统在停机时,电子膨胀阀处于完全的关断状态,这样就阻止了系统中工质迁移现象的发生,即冷凝器中常温高压的液体将逐渐流入蒸发器,使蒸发器的温度和压力都升高。再次开机时,要重新建立压差也需要消耗压缩机额外一部分能量<sup>[2]</sup>。另外,在系统开机的很短时间内,电子膨胀阀迅速增大到最大,然后再随压缩机频率的变化而变化,这个过程可以避免压缩机带载启动现象的发生,即在停机的期间为了防止工质迁移,电子膨胀阀切断高低压侧,这虽然维持

了蒸发器的低温低压,但再次启动时,压缩机处于带载启动,电流冲击大,也会增加能量损失<sup>[2]</sup>。因此,在实现相同的制冷量的前提下,直流变频空调器的电子膨胀阀控制策略减小了不必要的损耗。

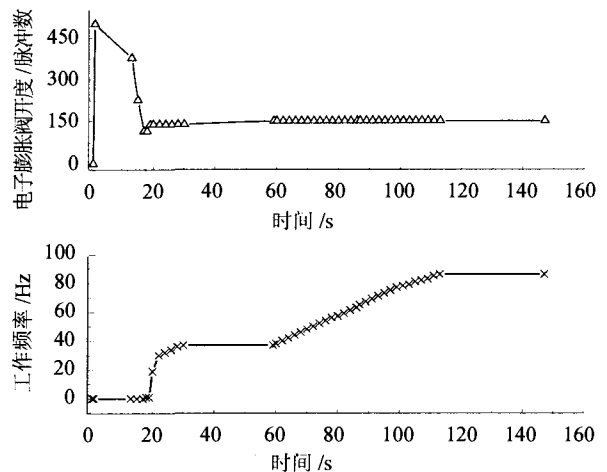


图 2 变频空调器启动特性曲线

## 3 室外机换热器结构对性能的影响

在空调器室外机换热器管路连接方式不变的情况下,改变换热器尺寸的大小分别测取制冷与制热工况下空调器的性能参数。被测样机的额定制冷/制热量为 3600/4200W,额定输入功率为 1100/1400W。方案 1 换热器的基本数据为:高 500mm,长

850mm,管排数为2,管列数为16,横向管排间距为15mm,纵向管排间距为21mm,翅片间距为2mm;方案2换热器的基本数据为:高550mm,长1000mm,管

排数为2,管列数为16,横向管排间距为15mm,纵向管排间距为21mm,翅片间距为2mm。实验测取的结果如表1所示。

表1 不同换热面积情况下的性能数据

测试方案	制冷工况				制热工况			
	频率 /Hz	膨胀阀开度 /脉冲数	制冷量 /W	EER /(W/W)	频率 /Hz	膨胀阀开度 /脉冲数	制热量 /W	COP /(W/W)
方案1	55	144	3253	3.75	75	112	4031	3.03
方案2	55	100	3612	4.28	75	93	4154	3.12

从表1中可以看出,室外机换热器面积增大后,空调器的制冷/制热量及EER/COP(Coefficient Of Performance,性能系数,简称COP)均有较为明显地改善。通过实验过程中对冷凝器出口温度的观察,发现采用方案2的冷凝器出口制冷剂温度约为42.2℃,而采用方案1时,冷凝器出口制冷剂温度约为46.1℃。由图3可知,过冷循环的制冷量 $q'_0 = q_0 + \Delta q_0$ ,而压缩机耗功却未变,因此 $EER' = q'_0/w = (q_0 + \Delta q_0)/w = EER + \Delta EER'$ , $\Delta EER'$ 的大小与过冷度有关,过冷度越大, $\Delta EER'$ 的值也就越大<sup>[3]</sup>。基于此原理,不难解释上述实验数据改善的原因。

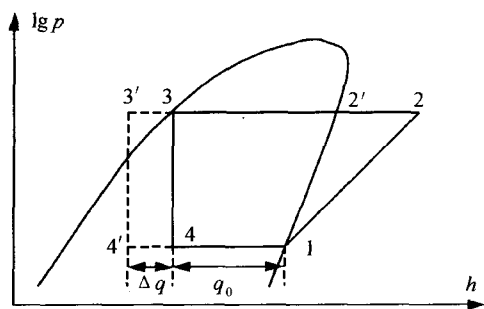


图3 过冷循环压焓图

#### 4 工作频率对性能的影响

在直流变频空调器的研制过程中,工作频率无疑对其工作性能产生重要影响。不同的频率段、在每个频率段上不同的工作频率对系统的性能影响是非常重要的。频率段的划分每个空调器生产商相差不大,若频率段过少,与定频空调器相比的优越性不能得到体现,若频率段过多,则软件编程过于复杂,系统可靠性变差,一般来说,频率段选择在5~9段较为适宜。而对于每个频率段上的工作频率,不同

的厂家差别较大,同时系统的工作性能好坏与其有着直接的关系。若要使系统实现较好的工作性能,应针对不同的气候类型,在各频率段设置不同的工作频率,这是目前提高有级直流变频空调器工作性能较好的途径之一。

本文在不同的工作频率下,测取了EER和制冷量的大小,并做出二者与工作频率的关系曲线,如图4所示。通过此曲线可以看出EER与工作频率近似为递减的关系,制冷量与工作频率近似为递增关系,即当空调工作频率较低时,系统的EER值较高,制冷量较低;随着工作频率的增大,系统的EER值随之减小,制冷量却随之增大。从图4还可以看出制冷量和EER与工作频率的关系曲线相交于一点,这一点兼顾了系统的制冷量和EER,所以此点可以作为额定工作频率设定的参考点,其他频率段的频率可以分布在此点两侧。

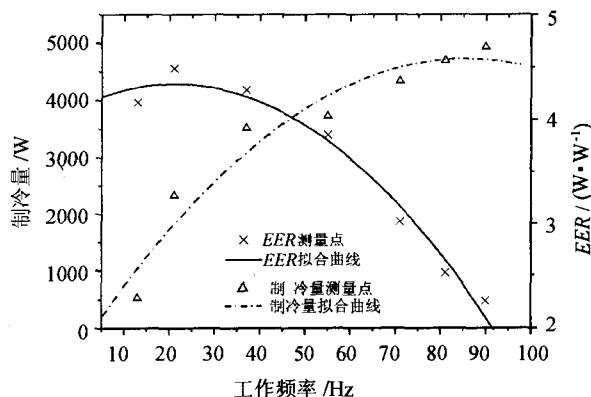


图4 工作频率与EER和制冷量的关系

由上述分析可知,变频空调器的工作频率对系统最关键的两个指标有着直接的影响,因此在变频空调器的设计中,工作频率段的划分和(下转第334页)

对比两种方式气流组织形式,检测仓内做汽车排放实验时为了达到检测需要的温度,相同的送风量,方式(2)使用了比方式(1)更低的送风温度,温度低 $1.5^{\circ}\text{C}$ 。两种的模拟结果的回风口温度都是在 $-6^{\circ}\text{C}$ 左右,把测点温度当成仓内平均温度。计算两种送风方式的能量利用系数<sup>[10]</sup>可知方式(1) $\eta = 1.67$ ,方式(2) $\eta = 1.5$ 。因此方式(1)在满足测试要求的情况下是更加节能的。并且方式(1)下送上回具有较高的通风效率。

## 4 结论

仓内的气流型取决于送、回风口位置和送风的运动参数。本文模拟的两种送风方式都能达到检测标准对仓内温度的要求。在汽车静放实验时,方式(2)的顶送顶回形式在温度场和速度场能得到更加好的均匀性。但在尾气排放实验时,由于车前主风机的模拟车速需要,经常强烈的扰动仓内气流,所以在均匀性方面送风形式成为次要因素。

然而在能耗方面,静放实验两种方式在满足检测要求的前提下区别不大。但在排放实验时,方式(2)为了达到检测点需要的温度,在和方式(1)同样的风量情况下需要更低的送风温度。因此从节能角

度来看方式(1)是比较经济的,所以整体认为方式(1)更为合理。

本文建立的数学模型和模拟结果均合理,这一技术对汽车尾气检测仓气流组织的设计具有一定的指导意义。

## 参考文献:

- [1] GB18352.3-2005. 中华人民共和国轻型汽车污染物排放限值及测量方法[S].
- [2] 魏春源,张卫正,葛蕴珊. 高等内燃机学[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001.
- [3] 王建昆. 柴油机原理[M]. 上海:上海交通大学出版社,1990.
- [4] 戴玉英. 汽车空调环境模拟试验室设计及特点[J]. 制冷与空调,2002,2(4):36-39.
- [5] 张行周,王浚. 汽车空调整车环境模拟试验室热湿负荷及主要参数的计算[J]. 汽车技术,2003(10):22-25.
- [6] Lustbader J A. Evaluation of advanced automotive seats to improve thermal comfort and fuel economy[A]. The Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition, Toronto, Canada,2005.13-16.
- [7] 帕坦卡 S V. 传热与流体流动的数值计算[M]. 张政译. 北京:科学出版社,1984.
- [8] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安:西安交通大学出版社,2001.
- [9] 韩占忠,王敬,兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,2004.
- [10] 金招芬,朱颖心. 建筑环境学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.

(上接第 328 页)

选择对系统的工作性能起着至关重要的影响。空调设计人员可以参照此类关系曲线进行工作频率的设置,即如果系统的  $EER$  不满足设计要求,而制冷量有一定的裕量,那么就可以损失一些制冷量来提高  $EER$ ;反之,如果系统的制冷量不满足设计要求,而  $EER$  有一定的裕量,那么就可以通过降低  $EER$  来提高系统的制冷量,二者相互影响,相互制约。

## 5 结论

通过对直流变频空调器的启动特性、室外机换热器对系统的性能影响和系统的工作频率对  $EER$  和制冷量的影响三个方面进行分析与研究,不难看出以下结论:

(1) 实验分析表明,直流变频空调器的启动特性能较好地实现平滑启动,不但能有效地防止启动

电流对电网的冲击,节约能源,而且还能避免压缩机带载启动对压缩机机体的影响。

(2) 通过改变室外机换热器的换热面积大小,可以增大系统循环的过冷度,能达到提高系统的制冷(热)量和  $EER/COP$  的效果,实验结果表明此方法可行。

(3) 实验测取了变频空调器的不同工作频率下的  $EER$  和制冷量的数值,得出了系统工作频率与  $EER$  和  $COP$  的关系曲线,为工作频率的设置提供了理论的参考。

## 参考文献:

- [1] GB/T7725-2004. 房间空气调节器[S].
- [2] 龙海峰,谢晶,徐世琼,等. 电子膨胀阀在冷藏库制冷系统中应用的展望[J]. 制冷,2003,22(3):39-43.
- [3] 徐德胜,邬振耀. 制冷空调原理与设备[M]. 上海:上海交通大学出版社,1996.41-64.