

变频空调系统调节特性研究

邵双全 石文星 李先庭 彦启森
(清华大学)

摘 要 本文通过仿真计算的方法,分析了各种影响空调系统性能的因素,分为扰动因素和调节因素,本文分析了各因素对空调系统性能影响的规律,为实现变频空调系统的优化设计、自动控制和故障诊断奠定了基础。

关键词 变频空调系统 频率 热交换器容量

STUDY ON THE ADJUSTING PERFORMANCE OF VARIABLE FREQUENCY AIR CONDITIONING SYSTEM

SHAO Shuangquan SHI Wenxing LI Xianting YAN Qisen
(Tsinghua University)

ABSTRACT All the factors which influence the performance of variable frequency air conditioning system and be separated into two types, the turbulence factors and the adjusting factors. The influence is studied by simulation. The results are very useful for optimizing the design, automatic controlling and diagnosis of exception.

KEY WORDS variable frequency air conditioning system frequency capacity of heat exchanger

1 引言

变频压缩机的使用,提高了空调器的部分负荷时的性能,用变容量的柔性控制代替了起停控制,同时也提高了室内的热舒适性。电子膨胀阀的出现在家用小型空调器中取代毛细管,对压缩机吸气过热度进行有效的控制,改善了变频空调的非标准工况下的性能,也增加了空调器的调控手段。两者的出现不仅使空调器的性能得到改善并将大大加快空调器机电一体化进程的^[1,2,3]。随着日本向中国开放变频压缩机市场,变频空调器成为空调器厂家新的经济增长点,所以,变频空调器的研究开发成为了国内空调器厂家和研究团体的热点课题。

由于变频空调系统性能的优劣不仅取决于制冷系统的优化匹配,还在很大程度上取决于控制系统特别是控制策略的好坏。变频空调控制系统的控制对象是一个多目标非线性系统,可采用模糊理论、人工神经网络理论、遗传算法等现代控制理论来实现。但仅仅控制室温等人体舒适性参数是不够的,必须综合考虑空调系统的可靠性、稳定性和

室内环境的舒适性因素,而这些因素都和制冷系统特性密切相关。所以研究空调系统的特性是开发变频空调系统及其控制系统的前提。本文利用变频空调系统仿真模型,利用其仿真结果分析了多种因素对变频空调系统性能的影响规律,为变频空调系统的开发提供了一定的理论指导。

2 影响因素

以压缩机为核心将影响制冷系统性能和制冷剂状态的因素分为两大类:扰动因素和调节因素,实际上制冷系统的运行过程即为扰动和调节因素的对立统一过程。

2.1 扰动因素

扰动因素是指被动影响制冷系统性能和制冷剂状态的因素。VRV系统中的扰动因素有以下内容:

室外环境工况 指室外环境的温、湿度条件。

室内环境工况 指各室内环境的温、湿度条件。

室内机风速 当将室内机风速的控制权交与用户时,室内机风速的改变对于制冷系统而言,将

成为被动影响制冷循环的因素。

室内机运行模式 按流经室内换热器的制冷剂状态不同,室内机的运行模式分为制冷(包括除湿)、制热模式两类,不包括送风模式。

2.2 调节因素

调节因素是指通过控制系统的调节部件主动影响制冷系统性能和制冷剂状态的因素。在 VRV 系统中的调节因素包括以下内容:

压缩机运行频率 压缩机运行频率是调节制冷循环、改善系统性能的主要因素。在变频空调系统中,通常利用压缩机频率直接控制室温。

电子膨胀阀开度 在变频空调系统中,室温和蒸发器出口过热度可以通过压缩机频率和电子膨胀阀开度实现解耦控制,故一般采用电子膨胀阀单独控制蒸发器出口过热度。

室外换热器风速 室外机换热器的风速是调节制冷循环状态、改善系统性能的主要因素之一。无论室外换热器作为蒸发器还是冷凝器使用时,对换热器的各种风速进行调节,可以分级控制换热器的容量,进而控制制冷循环的冷凝温度和蒸发温度等制冷剂状态参数。

此外,还有热气旁通除霜电磁阀等也是系统的调节因素。

3 调节特性分析

变频空调系统的性能不仅与压缩机的频率有关,而且与室内、外热交换器的容量和室内、外环境工况有密切的关系。根据文献[4,5]中提出的稳态仿真模型进行仿真计算,从仿真结果可以清楚地看到压缩机频率、热交换器容量和室内、外环境工况对变频空调系统的性能及制冷剂状态参数的影响规律。为分析方便,在图1~图5中将空调系统的性能参数和状态参数表示在同一图上,其中,冷凝和蒸发温度放大了100倍,能效比EER(制冷量和耗功量之比)放大了1000倍。

3.1 压缩机频率变化对空调系统性能的影响

对于已匹配完毕的空调系统,其室内外热交换器的容量范围已经确定。如图1所示,在室内外热交换器的容量和环境工况一定的条件下,当压缩机的频率上升时,制冷循环的冷凝温度和蒸发温度明显上升与下降,其压缩比增大,容积效率有一定程度的降低;蒸发温度下降,导致吸气比容增大。但由于转速提高对制冷剂循环量的影响大于由压缩比造成的负面影响,所以空调系统的制冷量、凝

负荷和功率都显著提高,其能效比将随频率的升高先迅速上升,在频率为30~40Hz时达到最大值,然后缓慢下降。

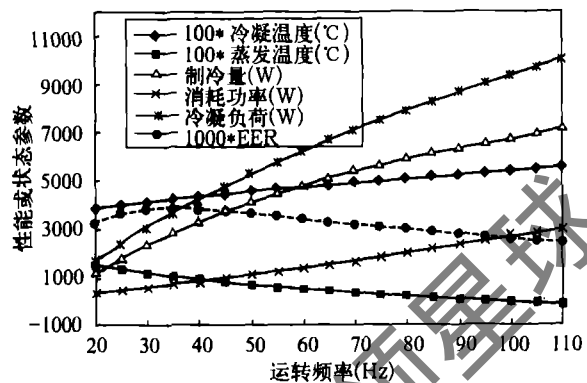


图1 压缩机频率对空调系统性能的影响

3.2 冷凝器容量变化对空调系统性能的影响

从图2中可以看出,当压缩机频率、室内热交换器容量、室内外环境工况一定时,逐渐增大冷凝器容量,其冷凝温度下降明显,但蒸发温度仅有微小程度的降低;由于压缩比逐渐降低,容积效率增大,制冷剂循环量增大,其制冷量、消耗功率、能效比都得到改善;但当冷凝器容量增加到一定值($F_{RC}K_cA_c$) * 后,制冷量和功率均趋于极限值,这说明无限制地增加冷凝器的容量(换热面积和风量),并不能很好地改善空调系统的性能指标,反而使其噪声迅速增大、成本提高,降低了空调器的综合性能。当压缩机频率增大时, $(F_{RC}K_cA_c)$ * 也相应增大,所以,对于变频空调系统应以多大的压缩机频率来设计热交换器问题,必须通过理论或实验研究来进行优化设计。

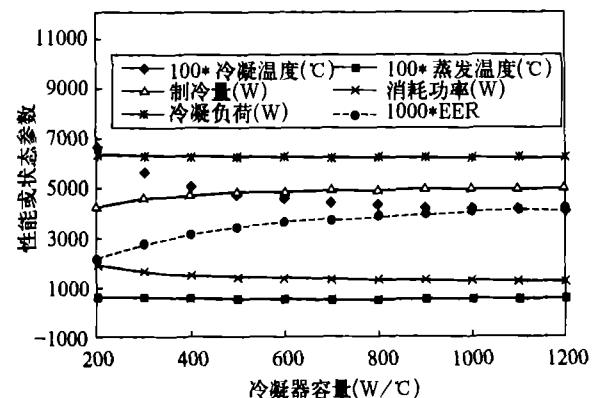


图2 冷凝器容量对空调系统性能的影响

3.3 蒸发器容量变化对空调系统的影响

当压缩机频率、室外热交换器容量和室内外环境工况一定时,图 3 示出了空调系统性能参数和冷凝、蒸发温度的变化趋势。当蒸发器容量逐渐增大时,冷凝温度有一定程度的提高,但趋势并不明显,然而,蒸发温度有较大幅度的提高;蒸发温度上升导致吸气比容减小和压缩比降低,增大了制冷剂循环量,制冷量、功率和能效比都呈上升趋势;因压缩比降低,单位质量流量制冷剂的耗功降低,空调系统有明显的节能效果。和冷凝器类似,在压缩机频率一定时,蒸发器容量也存在一最佳值,此最佳值将随压缩机频率的提高而增大。

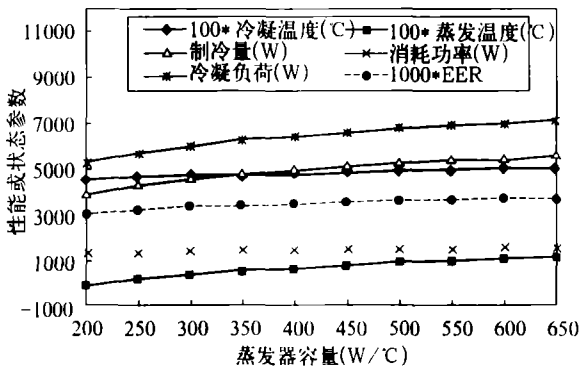


图 3 蒸发器容量对空调系统性能的影响

3.4 冷凝环境温度对空调系统性能的影响

在其它条件不变的条件下,如图 4 所示,当空调系统冷凝器工作环境的温度逐渐升高时,制冷循环的蒸发温度上升缓慢,冷凝温度上升迅速,故压缩比上升幅度较大,压缩机容积效率降低;蒸发温度的微小上升造成吸气比容有所降低;其综合效果使得制冷剂质量流量无较大程度的改变。由于冷

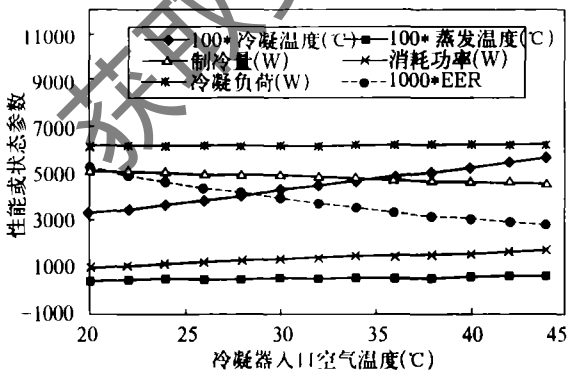


图 4 冷凝器入口空气温度对空调系统性能的影响

凝温度上升,单位质量流量制冷剂耗功有较大程度提高,故空调系统耗功增加;制冷剂在冷凝出口的焓值增大,单位制冷量减小,使得空调系统的制冷量降低,能效比大幅度下降。

3.5 蒸发器环境湿球温度对空调系统性能的影响

当蒸发温度低于其工作环境的露点温度时,蒸发器表面会出现水蒸气凝结现象,其结果会强化传热,其传热的推动力是环境空气与蒸发器表面饱和空气的焓差,或者说是空气湿球温度之差。

从图 5 可以看出,当其它因素固定不变时,蒸发器工作环境的湿球温度升高使得制冷循环的冷凝温度缓慢上升,但蒸发温度明显上升;由于其压缩比和吸气比容逐渐减小,制冷剂质量流量逐渐上升,制冷剂流量增加与单位质量压缩功减小程度基本一致,故空调系统的耗功量基本不变。冷凝温度变化平缓,冷凝器出口焓值并无较大改变;另一方面,蒸发温度提高使得单位制冷量增加,其综合效果是空调系统制冷量和能效比均有一定程度提高。

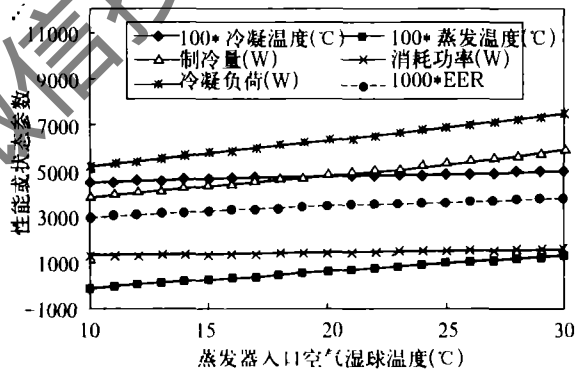


图 5 蒸发器入口空气湿球温度对空调系统性能的影响

4 结论

室内外热湿环境、压缩机频率和热交换器容量等因素直接影响空调系统的性能。明确各因素对空调系统性能参数和状态参数的影响规律,对变频空调系统及控制系统的开发具有明确的指导意义。通过仿真计算的分析结果可得出以下结论:

- (1) 增大冷凝器和蒸发器的容量(如提高风量,增大传热面积,改善热交换器结构等)可提高空调系统的能力。
- (2) 压缩机在低频区域工作时,有较高的能效比,在极低频运行时,能效比反而降低,所以适当选择变频压缩机的容量至关重要。
- (3) 压缩机运转频率强烈地影响着空调系统

的冷凝温度和蒸发温度;当频率不变时,无论因何
种因素使得冷凝温度(或蒸发温度)发生变化,则蒸
发温度(或冷凝温度)向相同方向变化。冷凝器环
境温度或容量变化对蒸发温度影响很小,而对冷凝
温度影响显著;蒸发器容量及蒸发环境湿球温度的
变化对蒸发温度影响显著,而对冷凝温度影响很

小。

(4) 由于空调系统工作的热湿环境不断变化,
为控制空调系统安全、稳定地运行,必须通过调节
可控部件如压缩机频率、电子膨胀阀开度、室内外
热交换器容量来消除对空调系统的影响。

参 考 文 献

- 1 彦启森. 空调技术的发展与展望, 中国暖通空调制冷 1998 年学术年会学术文集. P1~5, 1998, (10)
- 2 石文星. 变制冷剂流量空调系统特性及其控制策略研究. 清华大学博士学位论文. 2000.
- 3 田怀璋, 朱瑞琪, 刘星. 电子膨胀阀技术综述. 流体工程, 1997, 20(7). P55~60.
- 4 葛云亭. 房间空调器系统仿真模型研究. 清华大学博士学位论文. 1997.
- 5 石文星, 李先庭, 邵双全, 彦启森. 变频空调系统运行特性的研究. 2000 年中国家用电器技术大会论文集. 2000(9), P129~136.

(上接第 26 页)

- 11 中华人民共和国国家标准, 医院候诊室卫生标准(GB9671-1996)
- 12 中华人民共和国国家标准, 室内空气中氮氧化物卫生标准(GB/T17096-1997).
- 13 中华人民共和国国家标准, 室内空气中二氧化硫卫生标准(GB/T17097-1997).
- 14 Stolwijk, J. 1987. "The sick building syndrome." In: Practical Control of Indoor Air Problems. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc.
- 15 FAIRBORZ HAGHIGHAT, LISA DE BELLIS. "Material Emission Rates; Literature Review, and the Impact of Indoor Air Temperature and Relative Humidity". Building and Environment, 1988, 33(5):261~277.
- 16 Yuanqian Li, Jingmei Hu, Guojun Liu and Wenxian Mu, Determination of volatile organic compounds in residential buildings, the Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate-Indoor Air 96. 1997, 3:601-605.
- 17 Bluysen, P. M., E. De Oliveira Fernandes, E., P. O. Fanger, L. Groes, G. Clausen, C. - A, Roulet, C. A. Bernard, O. Valbjorn 1995. Final Report, European Audit Project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings, (contract JOU2-CT92-0022), TNO Building Construction Research, Delft, The Netherlands. March 1995.
- 18 BSE/ASHRAE Standard 62-1989R.
- 19 molhave L: 1990. Volatile organic compounds, indoor air quality, and health. Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate Indoor Air. 1990, 1(5):15~34.
- 20 许仲麟. 改善室内空气品质的重要手段——新风过滤处理的新概念. 暖通空调, 1997, 27(1).
- 21 朱能, 等. 空调系统在病态建筑中的特征分析. 暖通空调, 1999, 29(2).
- 22 中华人民共和国国家标准, 环境空气质量标准(GB3095-1996).
- 23 许钟麟. 空气净化技术原理. 上海: 同济大学出版社, 1998 年.
- 24 中华人民共和国国家标准, 洁净厂房设计规范(GB5073-98).
- 25 李绍箕, 石劲松. 一种新型光催化剂的性能及应用. 化学工程师, 2000, 10.
- 26 Hashimoto Kazuhito et al. J. Phys Chem., 1984, 88:4083~4088.
- 27 藤崎昭. 机能材料, 1998, 18(9):29.