

文章编号: 0253-4339(2013) 06-0090-07

doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2013.06.090

采用变频压缩机的风冷冰箱系统性能研究

王维 王瑞 秦宗民

(北京恩布拉科雪花压缩机有限公司 北京 101312)

摘要 通过实验及模拟手段,对采用变频压缩机的风冷冰箱在压缩机不同转速时的耗电量、功率及开机率进行了研究。同时还研究了压缩机在不同转速条件下,冰箱的冷藏室、冷冻室、果蔬室及制冰室等主要间室内的温度变化情况。实验结果表明:当压缩机在最优运转速度时,冰箱的各个间室温度变化能控制在良好的范围内,其中冷藏室平均温度为 4.1°C ,最大温度波动为 3.4°C 、果蔬室平均温度 6.1°C ,最大温度波动为 1.0°C 。在各个测试间室温度满足国家标准要求的条件下,变频压缩机可以使该风冷冰箱的耗电量达到 0.908kWh/d 左右(不带负载)。另外冰箱系统的软件模拟结果与实验数据相比,当压缩机转速为 3000r/min 时,最大偏差为 16.2% ,而在压缩机转速为 1900r/min 时,模拟和测试结果吻合较好,其偏差降为 8.6% 。此实验结果验证了模拟软件的可靠性,同时也表明冰箱系统模型仍需进一步优化。

关键词 变频压缩机; 风冷冰箱; 节能; 实验

中图分类号: TB61*5; TK124; TH45

文献标识码: A

An Experimental Analysis of a Frost-free Refrigerator using a Variable Capacity Compressor

Wang Wei Wang Rui Qin Zongmin

(Beijing Embraco Snowflake Co., Ltd., Beijing, 101312, China)

Abstract A frost-free refrigerator with a variable capacity compressor (VCC) is studied based on the results from experiments and simulation. Analyses are conducted in terms of the system energy consumption, power and running percentage under several different compressor speeds. Moreover, the temperature variation in fresh food storage, freezer, fruit vegetable and the ice-making compartments is also discussed under different compressor running speeds respectively. The experimental results show that the temperature variation in all the compartments could be kept in a reasonable scope when the compressor is running at an optimal speed. The average temperature of the fresh food storage compartment is 4.1°C with a maximum deviation of 3.4°C and the average temperature in the fruit vegetable compartment is 6.1°C with a max deviation of 1.0°C . With the help of VCC the energy consumption of this frost-free refrigerator can reach 0.908kWh/day when the temperatures in all the compartments reach the national standard requirement. What's more, compared to the experimental result the simulated system energy consumption is higher by 16.2% when the compressor runs at 3000r/min , however it drops to 8.6% when the compressor speed is set at 1900r/min . The comparison results prove the reliability of the simulation software and also indicate the importance of further work on system model optimization.

Keywords variable capacity compressor; frost-free refrigerator; energy saving; experimental analysis

低碳节能已成为冰箱行业发展的重要目标。随着国家冰箱能耗标准的升级以及欧洲 A++ 能耗标准的出台,各种节能降耗的新技术不断促进冰箱行业的发展。一方面,研究人员希望通过减少冰箱维护结构的漏热,从而降低制冷系统的热负荷,减少压缩机的运行时间,实现冰箱耗电量减小。文献[1]中数据表明,相比传统 HCFC-141b 发泡剂,同型号冰箱采用 C-Pentane 发泡剂可以获得 $40\% \sim 60\%$ 的能耗降低,而使用 HFC-245fa 发泡剂则能实现 $47\% \sim 63.7\%$ 能耗降低。节能发泡剂的使用已经成为冰箱节能降

耗的重要手段;同时,具有更高效绝热性能的真空绝热板(VIPs)能够使冰箱节能 25% ^[2-4]。另一方面,冰箱换热器的优化设计、节流机构性能改进、制冷系统的整体优化匹配都能够将冰箱能耗降到更低,其中采用高效压缩机被认为是实现节能降耗的最有效手段。Jakobsen 研究认为制冷循环损失中,压缩机及电机损失占该损失的 69% ^[5]。以恩布拉科雪花压缩机有限公司生产的 EM* 32(R600a 制冷剂,冷量 100W 左右)系列压缩机为例,传统变频压缩机的 COP(Coefficient of Performance)在 ASHRAE32 工况下可以从

收稿日期: 2012年12月14日

1.60 做到 1.93, 这可以实现压缩机性能 20.6% 的提升^[6]。在冰箱系统其它参数不变的情况下, 可以实现降低冰箱能耗近 20%。但是, 采用传统定频压缩机的冰箱系统是根据冰箱的最大热负荷选定压缩机, 在实际运行过程中, 压缩机的开机率大概为 40% ~ 50%, 频繁的启停运行增加了冰箱的能耗。变频压缩机技术通过持续改变压缩机的转速, 从而实现制冷系统冷量的改变, 实现其与冰箱热负荷的良好匹配, 减少压缩机的启停次数; 同时压缩机的低转速提高了制冷系统的蒸发温度, 减少不可逆损失, 实现系统节能, 另一方面低转速运行对于减少压缩机零部件的磨损及延长使用寿命更有利。文献[7]指出采用变频技术, 可以获得相比采用普通定频压缩机的同容积冰箱低 30% 的能耗。也有信息指出, 与传统定频压缩机系统相比, 变频压缩机最大可以实现 45% 的节能效果^[8]。变频技术对于食品保鲜方面具有重要意义, 王建涛介绍了变频技术保鲜的特点, 文章指出相对定频压缩机冰箱, 采用变频技术, 冰箱的箱内温度分布更均匀, 温度的波动范围小, 并且能获得比定频压缩机冰箱延长 3 ~ 5 倍的营养保鲜效果^[9]。虽然各专家学者对于使用变频压缩机的优势都进行了一些论述, 但是对于采用变频压缩机制冷系统的具体特性缺乏详细的分析。在此对采用变频压缩机的风冷冰箱进行了实验研究, 测试了变频压缩机在各个转速下的冰箱耗电量、开机率、系统功率的变化, 并分析了制冷系统中的蒸发器、冷凝器以及压缩机的工作特性; 同时对冰箱各个主要间室的温度变化进行讨论, 得到变频压缩机在风冷冰箱内的工作特性。最后, 采用模拟软件对该款冰箱系统的耗电量进行分析, 并与实验数据进行比较, 验证了软件的可靠性。

1 实验装置及测试设备

根据 GB/T8059.2—1995 中对 ST 型冰箱能耗测试要求(GB/T8059.2—1995), 实验在环境温度 $25 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$, 相对湿度在 45% ~ 75%, 实验室内环境空气流速不大于 0.25m/s 的条件下进行。冰箱系统功率、电流等电参数采用 WT230 功率计, 测试精度为 $\pm 0.5\%$, 温度点布置 Omega 产 T 型热电偶, 测量精度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$; 冰箱制冷系统的高、低压力采用 HBM 系列压力传感器, 测试精度都为 0.2 级。测试的所有温度点及制冷系统压力数值统一由 Agilent 34970A 数据采集器进行存储记录。

测试冰箱采用一款多门风冷冰箱, 制冷系统采用 R600a 制冷剂, 冰箱总内容积为 450L, 各个间室分别为冷藏室、冷冻室、果蔬室、制冰室。风冷冰箱的制冷

循环可以分为两大部分, 其一为制冷剂循环系统, 包括压缩机、冷凝器、节流结构(毛细管)、蒸发器, 如图 1(a) 所示; 另一部分为风循环系统, 包含冰箱内部冷风循环系统以及冰箱外部的冷凝风循环系统。其中冰箱内部冷风循环系统主要涉及蒸发器及冷风机、送风风道、回风风道; 冷凝风循环系统主要涉及冷凝进风口、冷凝器、压缩机(或压缩机及电控电路)、冷凝出风口及整体风道的设计及布局。根据冰箱的型式不同, 风循环系统的复杂程度不一而论。这里主要对测试冰箱内部的冷风循环系统进行介绍。如图 1(b) 所示, 各个间室被负载加热的“热空气”, 在风扇的作用下, 汇集在蒸发器的底部, 然后与蒸发器进行换热,

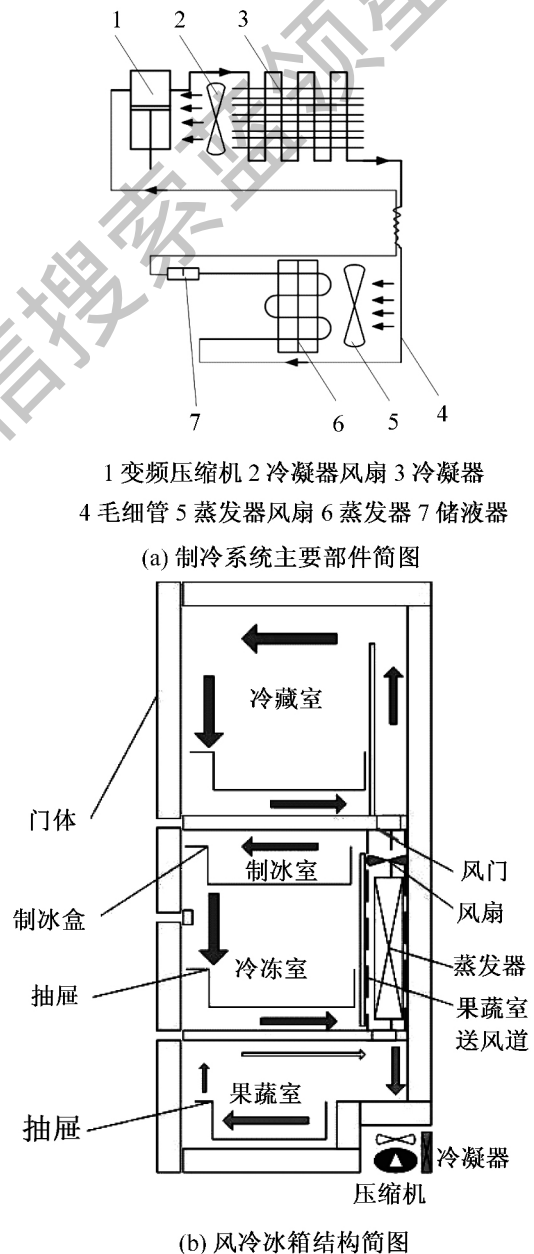


图 1 测试冰箱结构简图
Fig. 1 The structure of testing refrigerator

并降温到与蒸发器表面温度相近,变成“冷空气”在风扇推力的作用下,冷风一部分进入冷冻室、制冰室,另一部分通过风门控制进入冷藏室;进入冷冻室的冷风在冷冻室内循环并被负荷加热成为“热空气”,然后从冷冻室底部回到蒸发器的底部,另一部分进入冷藏室的冷空气,在冷藏室内循环并使冷藏室内储藏物降温,变热的空气继续沿着风道进入果蔬室,对该室内储藏物进行降温;最后已经被进一步加热的“热空气”也汇集到冷冻蒸发器底部,一起与从冷冻间室循环回来的“热空气”重新进入蒸发器被冷却,完成整个冷风的循环。在实际冰箱运行过程中,冷藏室内、果蔬室能更快达到设定温度,此时,在风门的作用下,系统停止为冷藏室及果蔬室提供冷风,全部冷风只能在冷冻室进行循环,直到冰箱内所有间室达到设定温度,系统才停止供冷。

测试冰箱的压缩机是恩布拉科雪花压缩机有限公司生产的 VEMC9C 型号压缩机,采用 VCC3 代变频技术。压缩机的主要参数如表 1,压缩在 ASHRAE32 工况下各个运转速度下的性能参数如表 2。

表 1 变频压缩机的主要参数

Tab. 1 Main parameters of variable capacity compressor

压缩机型号	制冷剂	气缸容积/cm ³	运行转速/(r/min)
VEMC9C	R600a	9.05	1200 ~ 4500

表 2 压缩机在各转速下的性能参数

Tab. 2 Performance parameters of compressor under different rotation speeds

转速/(r/min)	制冷量 ¹ /W	输入功率 ¹ /W	效率/(W/W)
1200	62.3	33.0	1.89
1600	85.4	43.9	1.94
2000	107.3	54.7	1.96
3000	210.0	117	1.79
4200	210.0	117	1.79

注:测试工况为:低背压 LBP - 国标 ASHRAE32,蒸发温度:-23.3℃,过冷温度:32.2℃,冷凝温度:54.4℃。

2 测试结果及分析

实验过程中,冷藏室及冷冻室温度分别设定在某一个固定档位,在不同的压缩机转速条件下,测试冰箱系统的整体性能,并比较分析了冰箱的耗电量(不带化霜循环及负载包)、各个测试间的温度变化情况,最终确定适合冰箱正常运行的压缩机转速,使得采用变频压缩机的冰箱系统达到最优的性能。

如图 2 所示,随着压缩机转速的增加,系统功率

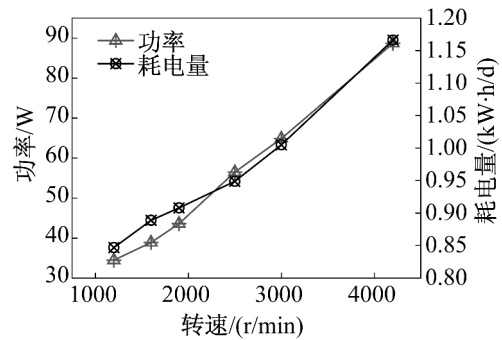


图 2 不同压缩机转速下测试冰箱耗电量及功率变化曲线

Fig. 2 Power consumption and power of testing refrigerator change with the rotation speed of compressor

及耗电量逐渐升高。其中冰箱系统功率以近似线性变化,但是冰箱的耗电量在压缩机转速分别为 1600r/min 和 2500r/min 时出现拐点,耗电量的增加变得更缓慢。从图中可以看出,直到压缩机转速增到 2500r/min,冰箱的耗电量才开始另一个更陡的增量变化。冰箱的耗电量由系统的功率以及开机率决定。系统的功率包括加热丝、冰箱控制板、风扇电机及压缩机变频器等产生的功率,以及主要运动部件—压缩机的功率。冰箱的开机率主要受到压缩机的制冷量与箱体内部热负荷的匹配影响。当制冷量大于箱体间室热负荷时,如果箱内温度达到设定值,则系统循环产生开停;反之,压缩机将持续运转不停机。如图 3 所示,在实验过程中,随着压缩机转速的提高,冰箱系统的开机率由 100% 逐渐降为 50%。当转速在 1600r/min 时,由于冷量太小,系统的蒸发温度高达 -22℃左右,温度没有达到温控器设定温度要求,压缩机持续运转。在耗电量数值的缓变区,即从 1600r/min 开始,压缩机转速越高,则制冷量越大,系统的开机率从 87% 降到 63%。压缩机相对较大的运行功率以及每次启动后制冷系统重新建立高低压力差所消耗的功,使得冰箱系统的耗电量呈现不断增加的趋势;另一方面,随着开机率的降低,系统风扇、加热丝的耗电被减小。但是压缩机运行耗电仍占据主要部分,在以上两个方面因素的共同作用下,产生了实验结果中的耗电量变化关系。

冰箱各个主要间室的温度由镀锡铜质圆柱(质量为 25g,直径和高均为 15.2mm)测得,实验中未放入负载包及“M”包进行测试。从图 4 中可以看出,冷藏间室及果蔬室内的温度随不同的压缩机转速变化很小,果蔬室内的平均温度稳定在 6℃左右,冷藏室的平均温度在 4.8℃左右。制冰室的温度基本在

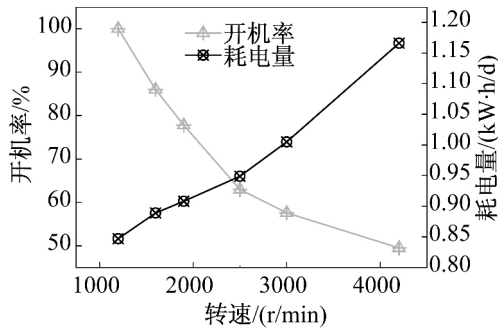


图3 冰箱开机率以及耗电量随压缩机转速的变化
Fig. 3 Running ratio and power consumption of refrigerator change with the rotation speed of compressor

-15℃以下,能够满足实际要求,但是在压缩机转速为1600r/min以及4200r/min时,制冰室温度都很接近,这是由于当压缩机转速低时,系统制冷量小,同时蒸发温度也相对较高,在压缩机转速为1200r/min时,系统不停机运行,可以使得制冰室内温度达到较低,当压缩机转速提高到1600r/min时,由于压缩机的制冷量大于箱体的实际热负荷,冰箱系统开始出现开停工作,由于制冰室内没有温度控制器,其内温度可以低至-15℃左右;在压缩机转速达到4200r/min时,虽然压缩机的冷量大,蒸发温度低,但是系统的停机时间变长同样使得制冰室的温度达到-15℃左右。对于冷冻室温度,虽然冷冻室内温度设定值不变,但是由于冰箱系统控制逻辑的原因,冷冻室的温度随着压缩机冷量的增大,降低至-19℃左右。根据国标中“三星”冷冻室温度的要求,可以判定,当压缩机转速在1900r/min时,冷冻室能够到达-17.8℃,同时冷藏室内平均温度为4.6℃,果蔬室的平均温度为6℃,基本满足“三星冰箱要求”。根据图2可以看出,此时的冰箱耗电量为冰箱的最低耗电量。

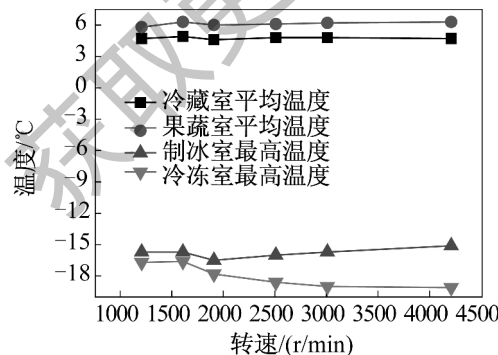


图4 冰箱各主要测点温度随压缩机转速变化
Fig. 4 Temperature testing points in the refrigerator change with the rotation speed of compressor

实验中,随着压缩机转速的增加,其吸气口温度

出现2℃左右的变化。如图5所示,吸气温度的变化并不大,但是随着转速增加,压缩机负荷的增大,排气温度由最初的40℃左右增加到56.7℃。实验过程中,压缩机的排气温度一直远低于允许的最高温度130℃。在压缩机电机绕组上的温度也是随着负荷的增加而增大,同时,绕组温度与压缩机排气温度也越来越接近。这是由于随着电机转速的增大,压缩机内部的润滑油循环量也增加,在油冷却循环作用下,压缩机内部的温度逐渐均匀,绕组温度与压缩机排气温度差异逐渐变小,在4200r/min时,排气温度与绕组温度几乎相等。

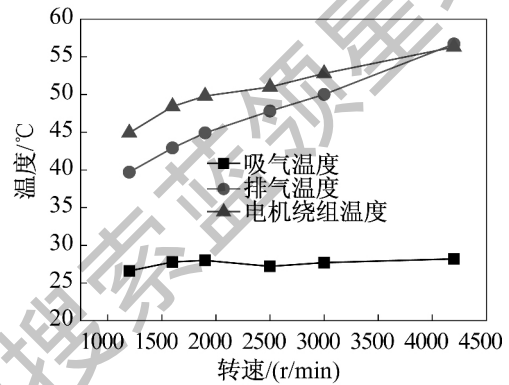


图5 压缩机主要测点温度随转速的变化
Fig. 5 Temperature testing points on compressor change with the rotation speed of compressor

压缩机的运行速度越高,系统的热负荷越大,冷凝温度越高,相应的冷凝器出口温度逐渐升高;但是蒸发温度却随着压缩机排量的增加逐渐降低。从图6中可以看出,虽然不同的压缩机转速条件下,制冷系统的制冷剂循环量不断变化,但是在蒸发器末端的储液器作用下,蒸发器进出口温度差小于0.5℃,说明系统内部的制冷剂充灌量合理,能够满足冰箱系统的正常工作,同时也可以得出,蒸发器的换热面积在不同的转速条件下都能够获得充分的利用。在测试过程中,冷凝器出口温度变化范围在4℃左右,即使在4200r/min的条件下,冷凝器出口温度在32℃左右,说明冷凝器散热面积能够满足系统需要,并且散热效果良好。压缩机的单位容积比功计算公式:

$$W = \frac{n}{n-1} p_{\text{suction}} v_b \left[\left(\frac{p_{\text{discharge}}}{p_{\text{suction}}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (1)$$

式中: W 为单位容积比功; $p_{\text{discharge}}$ 为排气压力; p_{suction} 为吸气压力; n 为多项指数; v_b 为制冷剂在气缸内吸气比容。由式(1)可知,压缩机的单位质量理论耗功与吸气压力 p_{suction} 、 v_b 制冷剂在气缸内的吸气比容以及压缩比成正比。随着压缩机转速的提高,从图6还可以看出系统的蒸发温度逐渐降低, p_{suction} 也相应

下降。此时, v_b 将增大, 同时系统的压力比 $\left(\frac{p_{\text{discharge}}}{p_{\text{suction}}}\right)$ 也逐渐提高。虽然吸气比容 v_b 的增加会减少系统制冷剂质量流量, 降低压缩机的负荷, 但是从图2可以看出系统的功率是呈逐渐升高的趋势, 测试结果表明在相同测试条件下, 由压缩机转速引起的压力比升高将最终导致压缩机的功率增大。

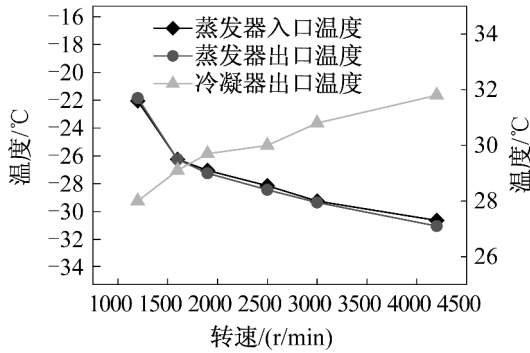


图6 蒸发器进、出口以及冷凝器出口温度随压缩机转速变化
Fig. 6 Temperatures of evaporator inlet, outlet and condenser outlet change with the rotation speed of compressor

为进一步研究系统的性能, 在图7中, 对系统的冷凝器出口过冷度、蒸发器出口过热度以及制冷系统的高低压力比作了进一步分析。当压缩机转速较低, 即小于1900r/min时, 蒸发器出口的过热度是负值, 这是由于此时制冷剂液体大部分存留在蒸发器内部, 在蒸发器管道阻力的作用下, 制冷剂的压力降较明显, 蒸发器出口实际温度比蒸发压力对应的温度更低。这也说明, 压缩机处在较低转速时, 系统的制冷剂充灌量偏多, 直接导致蒸发器出口温度低于蒸发压力。当转速大于3000r/min时, 蒸发器出口出现近1°C的过热度, 同时冷凝器出口过冷度大于2.5°C, 此时制冷剂向冷凝器转移。系统在测试过程中, 冷凝器出口始终处于1~4°C的过冷状态, 一定的过冷度可以保证制冷系统的稳定运行, 同时较低的过冷度又能够使冷凝器面积得到充分的利用, 减少制冷剂的充灌量。随着压缩机转速的增加, 系统的压力比逐渐升高, 而压缩机的单位容积效率随着制冷系统压比的增加而减小^[10]。当压缩机机转速在1900r/min时, 制冷系统压力比值为7.6。

在各个压缩机转速条件下, 冷藏室及果蔬室温度变化如图8。在压缩机转速为1600r/min时, 冷藏室以及果蔬室的温度波动较大。冷藏室最大温度波动为6.8°C, 果蔬室的最大温度波动为2.4°C。在该转速下, 压缩机产生的冷量可以使制冷系统产生开停运行, 但是冷量仍然偏小, 所以在压缩机停机的时候, 各

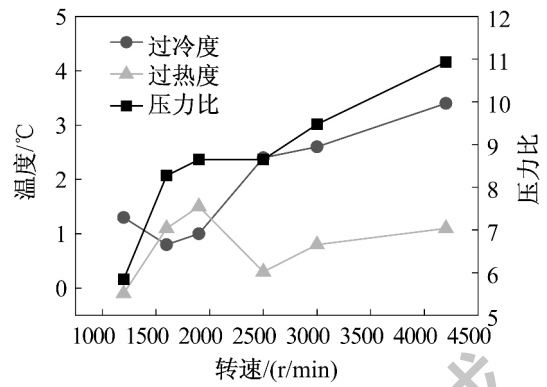


图7 冰箱系统过冷度、过热度以及压力比与压缩机转速的关系

Fig. 7 Subcooled and superheated temperature and pressure ratio change with the rotation speed of compressor

间室温度上升的较快, 最终导致各个间室的温度波动较大。压缩机工作在1200r/min时, 从图中可以看到冷藏室及果蔬室的温度波动都非常小, 由于在该转速下, 压缩机的冷量无法满足冰箱的需要, 压缩机处于持续运行状态, 所以该两个间室的温度波动比较小。当压缩机转速大于1900r/min时, 冷藏室的平均温度稳定在4.1°C左右, 最大温度波动可达3.4°C, 果蔬室平均温度稳定在6.1°C左右, 最大温度波动为1.0°C。

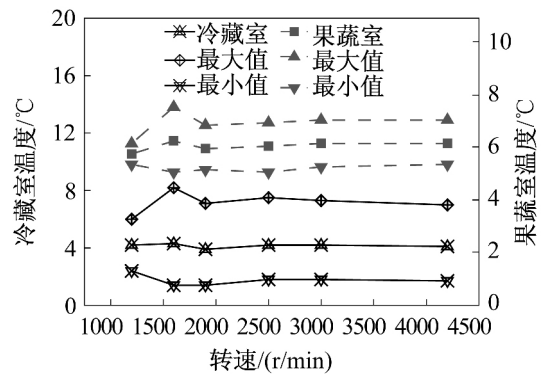


图8 冷藏室及果蔬室温度随压缩机转速变化
Fig. 8 Temperatures of food storage chamber and vegetable chamber change with the rotation speed of compressor

3 模拟结果讨论

根据耗电量测试要求, 当箱体各个测试点的温度在各个测试周期中的波动小于0.5°C, 则认为此时冰箱运行稳定。在实际循环中, 当冰箱运行稳定, 可以假设冰箱的热负荷与实际的制冷量分别为某个常量。每个运行周期的时间以及系统的开机时间、停机时间都非常接近。因此, 耗电量可以通过循环的开机率与系统运行功率估算^[11]。

$$\tau = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \cong [UA_{ff}(T_a - T_{ff}) + UA_{fv}(T_a - T_{fv}) + UA_{fz}(T_a - T_{fz}) + W_{fan}] / Q_e \quad (2)$$

式中: UA_{ff} 为冷藏室总传热系数; UA_{fv} 为果蔬室总传热系数; UA_{fz} 为冷冻室总传热系数; W_{fan} 为风机功率; W_k 为压缩机功率; T_a 为环境温度; T_{ff} 为冷藏室温度; T_{fv} 为果蔬室温度; T_{fz} 为冷冻室温度(国标中取 $T_{ff} = 5^\circ\text{C}$, $T_{fz} = -18^\circ\text{C}$, 取 $T_{fv} = 10^\circ\text{C}$); Q_e 为系统制冷量; t 为时间。单个循环耗电量计算公式如下^[12]:

$$EC = \frac{1}{t_{on} + t_{off}} \int_0^{t_{on}+t_{off}} (\sum W) dt \cong \tau(W_k + W_{fan}) \quad (3)$$

由于模拟的结果中, 冷冻、冷藏间室计算温度值与实际测试的结果存在差异, 为方便比较, 同时对实测耗电量以及模拟结果根据温度进行修正。如图9所示, 实测耗电量修正结果与模拟数值呈现相同的变化趋势, 模拟耗电量值与测试值存在一定偏差, 最大差异16.2%。修正后的冰箱耗电量测试值呈抛物线变化趋势, 可以看到在压缩机转速为1900r/min时, 耗电量值最低, 而模拟的结果在1600r/min以及1900r/min的两个转速下非常接近。数据表明, 在最佳转速点, 该模拟结果与测试值差异为8.6%。

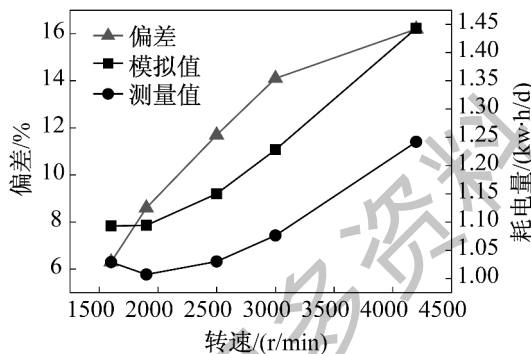


图9 耗电量模拟数值与测试结果的比较

Fig. 9 Comparison on simulated and tested results of power consumption

4 结论

研究了变频压缩机在不同运行转速下, 冰箱制冷系统的工作特性以及冰箱各个间室的温度变化情况。测试结果表明, 变频压缩机可以使该风冷冰箱的耗电量达到0.908kWh/d左右。根据实验的结果, 我们确定了满足箱体要求的最优压缩机运行转速。同时, 我们还建立了冰箱的模型并对冰箱的耗电量进行模拟, 在最优转速条件下, 模拟结果与实验测试值偏差仅为8.6%。最后, 通过对变频压缩机在风冷冰箱中的性

能研究, 可以得出变频压缩机较传统定频压缩机具有低能耗和对冰箱各间室温度控制稳定等诸多优点, 是一种绿色低碳的新型压缩机。

参考文献

- [1] 胡锋. 冰箱发泡剂路向何方[J]. 供应商情, 2005, 3: 3-5. (Hu Feng. Where is the future of Refrigerator foaming agent [J]. Supplier Information, 2005, 3: 3-5.)
- [2] Pradeep Bansal, Edward vineyard, Omar Abdelaziz. Advances in household appliances—A review [J]. Applied Thermal Engineering, 2011, 31(17/18): 3748-3760.
- [3] H F Eberhardt. Vacuum Insulation Panels (VIP) in energy efficient cooling appliances for improving the environment of our children's world [C]//Proceedings, 8th international vacuum insulation symposium, Würzburg, 2007.
- [4] Mitsuo Kudoh, Kiyoshi Ohira, Hirokazu Nakamura, et al. Simple method to support optimization of layouts for vacuum insulation panels (VIPs) for refrigerators [J]. Heat Transfer-Asian Research, 2006, 35(7): 453-462.
- [5] Jakobsen A. Energy analysis and optimization of a domestic refrigerator [C]//Final Proceedings of the 19th Int. Congress of Refrigeration, the Hague, 1995, III a, IIF-IIR: 337-344.
- [6] EM compressor Electrical Catalog [DB/OL]. [2013-01-14]. http://www.embraco.com.br/catalog/busca.aspx?modelo=EM&unidade_rendimento=1&unidade_medida=1&language=6.
- [7] 关志华, 周国勇, 潘坚, 等. 变频技术在冰箱上的应用 [J]. 家用电器科技, 1999, 5: 1-4. (Guan Zhihua, Zhou Guoyong, Pan Jian, et al. Variable frequency technology applied in Refrigerator [J]. Household Appliance, 1999, 5: 1-4.)
- [8] Information on VCC3 compressor available from webpage, VCC-Variable Capacity Compressor [DB/OL]. (2010), [2013-01-14]. <http://www.embraco.com/ingles/productos.htm>.
- [9] 王建涛. 冰箱制冷保鲜的现状分析与展望 [J]. 制冷与空调, 2006, 4: 123. (Wang Jiantao. Analysis and prospect of at present refrigerator for keeping fresh [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2006, 4: 123.)
- [10] Dagmar Jähnig. A semi-empirical method for modeling reciprocating compressors in residential refrigerators and freezers [D]. Madison, University of Wisconsin-Madison, 1999.
- [11] Paulo J Waltrich, Jader R Barbosa Jr, Christian J L Hermes. COP-based performance evaluation of domestic refrigerators using accelerated flow evaporators [C]//West Lafayette: International refrigeration and air conditioning conference at Purdue, 2010.

[12] Christian J L Hermes , Cláudio Melo , Fernando T Knabben , et al. Prediction of the energy consumption of household refrigerators via steady-state simulation [J]. Applied Energy , 2009 , 86(7/8) : 1311-1319.

作者简介

王维 ,男(1984 -) ,工学硕士 ,工程师 ,北京恩布拉科雪花压缩

机有限公司 ,(010) 80482255-570 ,E-mail: wei_wang@embra-co.com.cn。研究方向: 制冷技术及制冷系统的优化设计。

About the author

Wang Wei (1984 -) , male , Master degree , Beijing Embraco Snowflake Compressor Company Ltd. , (010) 80482255-570 ,E-mail: wei_wang@embra-co.com.cn. Research fields: Refrigeration technology and refrigeration system optimization design.

《制冷学报》增页通知

自 2014 年第 1 期开始,《制冷学报》将由原来的 104 页增加到 120 页,杂志定价调整为每册 15 元,全年 90 元,免邮费。海外地区每册 10USD,全年 60USD,邮费另计。《制冷学报》现已开始办理 2014 年订阅,详细订阅情况读者参考本刊封三的征订启事或登陆《制冷学报》网站(www.zhilengxuebao.com)、中国制冷学会网站(www.car.org.cn) 查询。

获取更多资料 微信搜索 蓝球