

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.02.019

# 变频冰箱性能影响因素的实验研究\*

王增杰, 徐 鸣, 黄跃进, 顾江萍, 沈 希\*  
(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

**摘要:** 为了使变频冰箱的控制策略能很好地适应各种复杂多变的工况, 针对影响变频冰箱性能的一些因素进行了实验研究。该实验以两温室的变频冰箱作为实验对象, 以冷藏室温度作为控制目标, 在不同工作环境温度和压缩机转速等变工况下, 从冰箱制冷系统制冷量与热负荷的关系角度, 根据冷冻室温度和冰箱能耗的不同变化分析了环境温度、压缩机转速等因素对变频冰箱性能的影响。研究表明, 环境温度会影响冰箱制冷系统的热负荷和两温室的温度匹配关系, 当冰箱处于不同环境温度时, 可以通过调节变频压缩机输气量和冷藏室目标控制温度来实现冰箱两温室温度的匹配控制和改善能耗的目的。

**关键词:** 变频冰箱; 控制策略; 环境温度; 压缩机转速; 热负荷

**中图分类号:** TB657; TM925.21; TH39 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2013)02-0202-04

## Influencing factors of performance of refrigerator with inverter

WANG Zeng-jie, XU Ming, HUANG Yue-jin, GU Jiang-ping, SHEN Xi  
(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** In order to make the control strategy of the refrigerator with inverter adopt to complex and variable condition better, the experiment was conducted in an investigation of some influencing factors of performance of a refrigerator with inverter. Refrigerator with two temperature was taken as experiment object, and the refrigeration temperature was used as the control objectives, under the variable condition of different ambient temperature and compressor speed, based on the relationship between the refrigerating capacity and heat load; the effect of the factors of ambient temperature and compressor speed on refrigerator cooling system was analyzed through the change of freezing temperature and power consumption. The results indicate that ambient temperature can affect the heat load of the refrigerating system and the matching of two temperature, for the purpose of matching control of refrigerator temperature and energy-saving can be realized through the change of gas volume of inverter compressor and target control temperature when in different ambient temperature.

**Key words:** refrigerator with inverter; control strategy; ambient temperature; compressor speed; heat load

## 0 引 言

当前的冰箱市场上, 直冷式单循环冰箱占据了主要地位。而在单循环冰箱中, 冷藏、冷冻蒸发器采用了串联的连接方式, 各室温度则是通过压缩机的开/停来控制的。由于冷藏室温度的控制要求较严格, 温度控制器一般置于冷藏室内。相对于冷藏室, 冷冻室温度的控制主要是通过冷藏、冷冻蒸发器的面积匹配来实

现的<sup>[1]</sup>。而冰箱冷藏、冷冻蒸发器的面积只能在特定的条件下进行匹配, 当冰箱运行工况发生改变时, 两者之间的匹配关系也会发生变化。因此对于输气量确定的定频压缩机, 研究者就很难去控制冷冻室的温度。而随着变频压缩机的出现, 研究人员通过控制压缩机转速的变化来改变输气量, 使冰箱温度控制的性能得到了改善。但要使冰箱温度控制设计得更加合理、冰箱能耗最少, 研究人员还需对变频制冷系统在

收稿日期: 2012-09-03

基金项目: 国家自然科学基金科学基金资助项目(51076143)

作者简介: 王增杰(1987-), 男, 浙江舟山人, 主要从事机电一体化技术方面的研究。E-mail: wangzj638571@163.com

通信联系人: 沈 希, 男, 博士, 硕士生导师。E-mail: sx@zjut.edu.cn

不同的工作环境温度下运行的特性进行深入的研究。

文献[2]研究了环境温湿度对制冷系统蒸发器热负荷的影响;文献[3]介绍了环境温湿度对陈列柜制冷系统的运行特性影响并做了相关的研究;文献[4]给出了不同环境温度对直冷式冰箱结构设计进行了影响分析;文献[5]对制冷压缩机变转速工况下进行了实验研究;文献[6]对变频压缩机的变工况运行的性能曲线进行了研究。

本研究参考以上文献的研究实验方法,以双温室的变频冰箱为研究对象,在不同的环境温度和压缩机转速等工况下,从冰箱制冷系统制冷量和热负荷的关系角度来分析冰箱箱内温度变化和能耗等特性,从而为变频冰箱的控制策略研究提供一定参考。

## 1 变频冰箱性能影响因素的分析

### 1.1 环境温度对普通冰箱热负荷影响

冰箱制冷系统的工作过程可以简单描述为压缩机产生制冷量去克服冰箱热负荷的过程。冰箱制冷系统稳定工作后,制冷系统的热负荷主要是箱体的漏热量  $Q_{漏}$  :

$$Q_{漏} = K \cdot F \cdot (t_1 - t_2) \quad (1)$$

式中:  $K$  一箱体传热系数,  $F$  一箱体传热面积,  $t_1$  一环境温度,  $t_2$  一箱内温度。

当冰箱箱体设计完成后,  $K \cdot F$  即确定,因此冰箱的热负荷与环境温度  $t_1$  及箱内温度  $t_2$  有关。冰箱的热负荷会随着环境温度的改变而不同,而且制冷系统的制冷量也随着环境温度不同而异,环境温度和冰箱性能的简单关系如图1所示。当环境温度发生变化时,冰箱内两室的漏热比也会发生改变<sup>[7]</sup>。以国际规定的温带型三星级冰箱为例:环境温度  $t_1$  取 32 ℃、16 ℃和 5 ℃。当  $t_1$  为 32 ℃时,冷藏室温度  $t_m$  为 5 ℃;  $t_1$  为 16 ℃、5 ℃时,  $t_m$  为 0 ℃。冷冻室温度均取 -18 ℃,则不同环境温度下两室的漏热量及漏热比如表1所示。

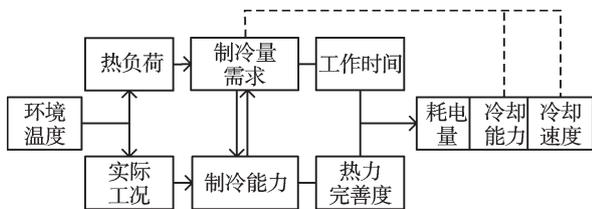


图1 环境温度与冰箱性能关系图

由表1可知,随着环境温度的降低,冷冻室与冷藏室的漏热量比会增大,也就是冷冻室需要的相对制冷量会相应的增加。所以环境温度低时很难达到冷冻室和冷藏室的温度要求,如:环境温度为 16 ℃时,冷藏室温度已达到 0 ℃时,冷冻室温度还未达到 -18 ℃。

表1 各环境温度下的冰箱温室漏热量及漏热比

环境 温度/℃	冷冻室漏热量	冷藏室漏热量
32	$Q_{冻漏} = K_{冻} F_{冻} [32 - (-18)]$ $= 50 K_{冻} F_{冻}$	$Q_{藏漏} = K_{藏} F_{藏} [32 - 5]$ $= 27 K_{藏} F_{藏}$
16	$Q_{冻漏} = K_{冻} F_{冻} [16 - (-18)]$ $= 34 K_{冻} F_{冻}$	$Q_{藏漏} = K_{藏} F_{藏} [16 - 0]$ $= 16 K_{藏} F_{藏}$
5	$Q_{冻漏} = K_{冻} F_{冻} [5 - (-18)]$ $= 23 K_{冻} F_{冻}$	$Q_{藏漏} = K_{藏} F_{藏} [5 - 0]$ $= 5 K_{藏} F_{藏}$
环境 温度/℃	漏热比( $Q_{冻漏}/Q_{藏漏}$ )	相对于 32 ℃ 的补偿系数
32	$(50/27)K_{定} = 1.85 K_{定}$	$1.85 K_{定}/1.85 K_{定} = 1$
16	$(34/16)K_{定} = 2.13 K_{定}$	$2.13 K_{定}/1.85 K_{定} = 1.15$
5	$(23/5)K_{定} = 4.6 K_{定}$	$4.6 K_{定}/1.85 K_{定} = 2.49$

注:  $K_{冻}$ ,  $F_{冻}$  一冰箱冷冻室的传热系数和传热面积;  $K_{藏}$ ,  $F_{藏}$  一冰箱冷藏室的传热系数和传热面积;  $K_{定} = K_{冻} F_{冻} / K_{藏} F_{藏}$ , 为定值。

因此,当实际工作的环境温度不同于设计的环境温度时,会对冰箱制冷系统造成一定的影响:①引起冰箱制冷系统热负荷的变化,使系统对制冷量的需求发生改变;②引起制冷系统的实际制冷能力的变化;③造成冰箱两温室漏热比的变化,使两室对冷量的需求发生改变,使两室的温度匹配发生改变。

### 1.2 变频冰箱应对环境温度影响的优势

由热负荷、制冷量与环境温度三者的关系可知,制冷系统的热负荷随环境温度增加而增加,系统的制冷量随环境温度增加而减小。为了能够达到所需制冷温度的要求,定速压缩机制冷系统设计时一般要求制冷系统制冷量要比最大负荷略大一些。但在实际的工作中,系统处于最大负荷的工作时间只有 10%~ 20%,在大多数的运转时间内系统的制冷量都大于热负荷<sup>[8]</sup>。当制冷量远大于热负荷时,箱内温度下降就会变快,因此制冷系统的停开次数就会增多,这对制冷系统的能耗是不利的。

而变频压缩机可以通过改变转速来调节输气量,产生不同的制冷量,制冷量与变频压缩机转速成正比关系。因此,变频冰箱可以很好地适应环境温度,通过改变压缩机转速产生不同的制冷量来满足冰箱热负荷的变化,可以实现制冷系统的最佳能量匹配,使得能耗得到改善。

随着变频压缩机产生制冷量的不同,冷藏与冷冻的蒸发器面积匹配关系会发生改变<sup>[9]</sup>。当压缩机的输气量增大时,冷冻室与冷藏室相比,冷冻室得到的相对制冷量会增大。因此,本研究可以通过改变变频压缩机的转速,也可以通过有效调节环境温度因素对冷藏室和冷冻室相对冷量的影响,使冷藏室冷冻室的温度匹配得到改善。

## 2 变频冰箱性能影响的实验分析

### 2.1 实验条件与方法

该实验的测试冰箱采用青岛海信集团的变频冰箱:该冰箱是直冷式单循环变频冰箱,只设置冷藏室的温度,它是“上冷藏室、下冷冻室”结构,其中冷藏室容量为 111 L,冷冻室容量为 75 L,制冷剂 R600a,充注量 50 g,变频压缩机的型号为 C-BHV120LH。笔者通过一套冰箱测控系统对冰箱进行实验分析,测试是在能设定各种环境温度的环境实验房里进行的,测控系统的原理如图 2 所示。

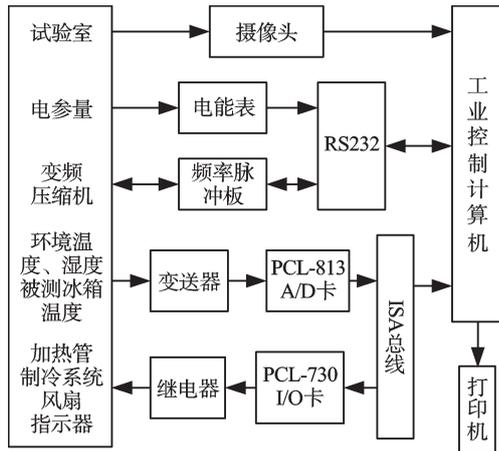


图 2 测控系统原理图

实验方法:以冷藏室温度为控制目标,改变变频冰箱的工作环境温度、压缩机转速等因素,通过记录冷冻室的温度和冰箱能耗等变化分析其对性能的影响。为了研究变频冰箱的性能影响因素,本研究进行了 8 个工况的测试,实验测试工况如表 2 所示。

表 2 实验测试工况

工况	环境温度 / $^{\circ}\text{C}$	压缩机转速 / $(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	冷藏室目标控制温度/ $^{\circ}\text{C}$
1	16	1 800	4~8
2	20	1 800	4~8
3	25	1 800	4~8
4	30	1 800	4~8
5	25	3 000	4~8
6	25	3 900	4~8
7	25	1 800	3~7
8	25	1 800	5~9

### 2.2 实验结果及分析

#### 2.2.1 不同环境温度对制冷系统影响的分析

首先,本研究给定冷藏室温度控制目标在  $4^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$ ,压缩机转速为  $1\,800\text{ r/min}$  工况时,在不同的环境温度下(即工况 1,2,3,4),冰箱冷冻室温度变化曲线、压缩机运转情况和耗电量分别如图 3、表 3 所示。

由图 3 和表 3 可知,当压缩机工作在  $1\,800\text{ r/min}$

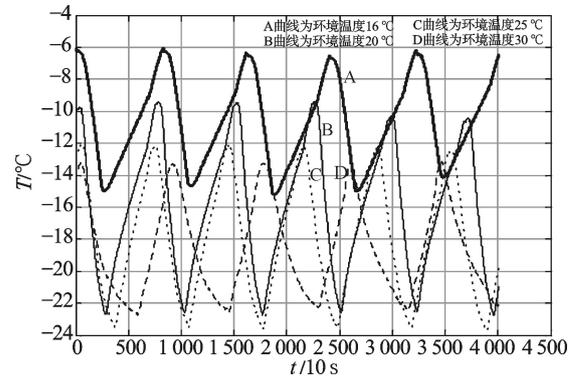


图 3 不同环境温度下冰箱冷冻室温度曲线

表 3 不同环境温度下冰箱制冷系统特性

环境温度 / $^{\circ}\text{C}$	冷冻室温度/ $^{\circ}\text{C}$		
	Max	Min	Ave
16	-6.5	-15.2	-10.85
20	-9.5	-22.2	-15.85
25	-12.2	-23.5	-17.85
30	-13.2	-22.4	-17.8
测试时间 / $24\text{ 小时}/^{\circ}\text{C}$	每温度周期运行时间 / $10\text{ s}$	压缩机运转比例 / $(\%)$	耗电量 / $(\text{kW}\cdot\text{h})$
16	242	30.1	0.330 0
20	278	37.9	0.425 5
25	370	52.9	0.578 6
30	592	69.2	0.731 0

时,随着环境温度的升高,冷冻室的平均温度会相应下降。但环境温度过高时,冷冻室平均温度会上升,压缩机的开停比例和耗电量会随着环境温度的上升而增加。

由上一节的漏热比分析可知,环境温度低时,冷冻室需要的相对冷量要比环境温度高时要多;当控制相同的冷藏室温度,环境温度低时,冷冻室得到的相对冷量就少。因此,冷冻室的平均温度会相对较低。冰箱冷冻室热负荷由环境温度与冷冻室温度差决定。当环境温度较高时,随着冷冻室温度的下降,热负荷会加大,压缩机在  $1\,800\text{ r/min}$  转速工作时产生的制冷量难以满足冰箱热负荷的要求,冷冻室温度就很难下降。因此,环境温度过高将导致冷冻室下限温度相对较高。

当以冷藏室温度控制为目标且当压缩机转速一定时,压缩机的制冷量与环境温度呈非线性关系。压缩机的制冷量随着环境温度的降低而增大,但当环境温度下降到一定程度时制冷量又会下降。当环境温度高时,热负荷高且制冷量低,因此冰箱运行时间多;当环境温度低时,虽然热负荷很低,但压缩机产生的制冷量也相对少,因此工作于  $16^{\circ}\text{C}$  和  $20^{\circ}\text{C}$  时的压缩机运行时间的差值不是很大。

#### 2.2.2 不同压缩机转速对制冷系统影响的分析

其次,本研究给定冷藏室温度控制在  $4^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$ ,

环境温度为25℃工况时,在不同的压缩机转速下,冰箱冷冻室温度变化曲线(即工况3,5,6),压缩机运转情况和耗电量分别如图4、表4所示。

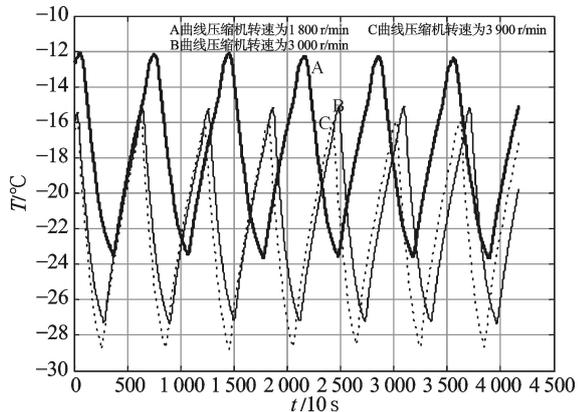


图4 不同压缩机转速下冰箱冷冻室温度曲线

表4 不同转速下冰箱制冷系统特性

转速 $/(r \cdot \text{min}^{-1})$	冷冻室温度/°C		
	Max	Min	Ave
1 800	-12.2	-23.5	-17.85
3 000	-15.2	-27.2	-21.2
3 900	-16.0	-28.7	-22.35
测试时间 24小时 $/(r \cdot \text{min}^{-1})$	每温度周期运行 时间/10 s	压缩机运转 比例/(%)	耗电量 $/(kW \cdot h)$
1 800	370	52.9	0.578
3 000	278	45.4	0.769
3 900	258	43.1	0.944

由图4和表4可知,当环境温度相同时,随着压缩机转速的升高,冷冻室平均温度会相应下降,压缩机运行的相对时间变小,耗电量增大。

变频压缩机工作于不同的工况下,会有不同的热力学性能。文献[11]已经对型号为C-BHV120LH的变频压缩机进行了热力性能分析。制冷量与变频压缩机转速成正比关系,压缩机转速越高则产生的制冷量越大,温度下降越快。因此如果压缩机以3 900 r/min工作时,冰箱单位周期运行的时间最短。而冰箱制冷系统的COP(Coefficient of Performance)在一定的工况下与变频压缩机的转速呈非线性关系,当转速为1 800 r/min时,COP最大。因此,当压缩机以1 800 r/min工作时,冰箱日耗电量最省。

冰箱冷藏室和冷冻室得到的相对制冷量会随着变频压缩机转速的不同而改变。当压缩机的输气量增大时,冷冻室与冷藏室相比,冷冻室得到的相对制冷量会增大。因此,控制相同的冷藏室温度的情况下,冷冻室平均温度会随着压缩机转速的增大而相应降低。

### 2.2.3 不同冷藏控制温度对制冷系统影响的分析

最后,本研究在给定压缩机转速为1 800 r/min,

环境温度为25℃时,设定不同的冷藏室温度(即工况3,7,8),冰箱冷冻室温度变化曲线、压缩机运转情况和耗电量分别如图5、表5所示。

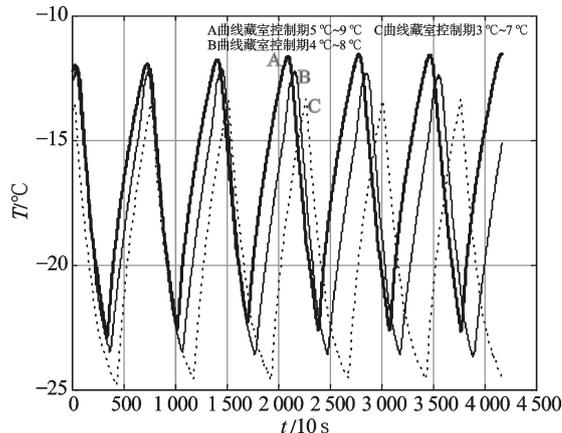


图5 不同冷藏控制温度下冰箱冷冻室的温度曲线

表5 不同低温热源制冷系统特性

冷藏室控制温度 $/^{\circ}\text{C}$	冷冻室温度/°C		
	Max	Min	Ave
5~9	-11.6	-22.6	-17.10
4~8	-12.2	-23.5	-17.85
3~7	-13.5	-24.6	-19.05
测试时间 24小时/°C	每温度周期 运行时间/10 s	压缩机运转 比例/(%)	耗电量 $/(kW \cdot h)$
5~9	332	48.3	0.532 0
4~8	370	52.9	0.578 6
3~7	430	57.3	0.612 5

由图5和表5可知,在相同环境温度和压缩机转速下,随着冷藏室目标控制温度的下降,冷冻室的平均温度也相应下降,压缩机的运行时间也相应的增加,耗电量也相应增大。

当冷藏室目标控制温度下降时,冷藏室的漏热量会相应增大,根据漏热比分析,冷冻室的漏热量也会增大,因此,冷冻室温度会相应降低。当以冷藏室温度控制为目标时,压缩机的运行时间由制冷量和冷藏室热负荷决定。当冷藏室目标控制温度降低时,漏热量相应增大,即热负荷增大;而在相同环境温度和转速下产生的制冷量相同,因此压缩机的运行时间会相应增多,能耗也会增多。

## 3 结束语

本研究对变频冰箱在不同工作环境下的性能进行了实验研究,并对实验测得的数据进行了分析。冰箱的热负荷会随着环境温度的不同而改变,其冷藏室和冷冻室的温度匹配关系也会发生变化。在冰箱控制策略的设计中应充分考虑环境温度的变化。研究

(下转第222页)

运行限速条件下列车的运行速度曲线比较光滑,并始终保持在规定的限速范围以下。通过对波形的比较分析说明,牵引电机直接转矩控制对定子磁链和转矩具有较好的控制效果。

## 4 结束语

通过对 CRH3 型高速动车组牵引传动系统的介绍,本研究在 Matlab/Simulink 环境下,基于 RT-LAB 软件搭建了整个系统的仿真模型,并利用 RT-LAB 实时仿真器和 GE CT11 系统以及列车通信网络(MVB)组成了硬件在环的仿真平台。该模型牵引电机采用直接转矩控制技术,依据列车的牵引控制策略,可以完成牵引、恒速运行、制动等不同运行工况的模拟。

仿真及实测得到的列车运行速度曲线平稳,控制效果比较好。而通过对比仿真结果与实测波形变化趋势的一致性,进一步说明了搭建的牵引传动系统硬件在环仿真模型的正确性。本研究在列车通信网络的背景下搭建的硬件在环仿真模型,以整个列车系统为对象来研究列车的牵引控制策略,为之后进一步的实时在线监测和故障诊断研究提供了基础。

### 参考文献(References):

- [1] 张曙光. 京沪高速铁路系统优化研究[M]. 北京:中国铁道出版社,2009.
- [2] 姜东杰. CRH3 型动车组牵引传动系统[J]. 铁道机车车

辆,2008,28(B12):95-99.

- [3] 宋雷鸣. 动车组传动与控制[M]. 北京:中国铁道出版社,2007.
- [4] 邹仁. 四象限变流器瞬态电流控制的仿真研究[J]. 机车电传动,2003(6):17-20.
- [5] 冯晓云. 交流传动及其控制系统[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [6] 刘益标,陈钧. 基于 DSP 的电梯同步电机的 DTC 控制系统[J]. 机电工程技术,2011,40(11):28-31.
- [7] 冯东. 高速列车同步牵引系统仿真研究[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2012.
- [8] 李夙. 异步电机直接转矩控制[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
- [9] 余丹萍,周盛,江全元. CRH3 型动车组牵引传动系统的直接转矩控制研究[J]. 机电工程,2010,27(10):62-67.
- [10] 李官军,冯晓云,王利军,等. 高速动车组恒速控制策略的研究与仿真[J]. 机车电传动,2007(5):12-14.
- [11] 路小娟. 动车组控制技术[M]. 成都:西南交通大学出版社,2011.
- [12] 常晓飞,符文星,闫杰. RT-LAB 在半实物仿真系统中的应用研究[J]. 测控技术,2008,27(10):75-78.
- [13] 朱帼蓉,陈慧民. CRH3 高速动车组牵引特性分析[J]. 上海铁道科技,2010(4):97-99.
- [14] 上海科梁科技发展公司. 实时分布式仿真与测试[Z]. 上海科梁科技发展有限公司,2004.
- [15] OPAL-RT Inc.. RT-LAB Version 10. 4 User Guide [Z]. OPAL-RT Inc.,2007.

[编辑:李辉]

(上接第 205 页)

者可以通过低温热源补偿和改变压缩机的制冷量的方法,来实现冰箱冷藏室冷冻室的匹配控制。根据热负荷来改变压缩机制冷量,可以实现能量的最佳匹配,实现温度准确控制和节能的目的。

### 参考文献(References):

- [1] 卢智利. 直冷式多路循环冰箱特性研究[D]. 上海:上海交通大学机械与动力工程学院,2006:3-8.
- [2] CORTELLA G, MANZAN M, COMINI G. CFD simulation of refrigerated display cabinets[J]. **International Journal of Refrigeration**, 2001, 24(3):250-260.
- [3] 谢堃. 环境温湿度对陈列柜制冷系统运行特性影响的实验[J]. 上海水产大学学报,2007,16(5):4-8.
- [4] 邵延年. 谈谈直冷式双门双温冰箱结构设计的合理性[J]. 家电科技,1986(6):4-7.
- [5] 傅烈虎. 变频制冷压缩机的实验研究[J]. 制冷与空调,

2008,8(3):44-46.

- [6] SHAO Shuan-guan, SHI Wen-xing, LI Xian-ting, et al. Performance representation of variable-speed compressor for inverter air conditioners based on experimental data[J]. **International Journal of Refrigeration**, 2004 (27) : 805-815.
- [7] 叶文浩. 双门双温直冷式冰箱不同环境温度下设计合理性浅谈[J]. 家电科技,1987(5):3-6
- [8] 石毅登. 采用变频技术的制冷装置的优势分析[J]. 制冷与空调,2004,4(5):59-62.
- [9] 李成武. 变频压缩机对冰箱节能的影响[J]. 家电科技,2010(9):78-80.
- [10] 丁国良. 全年供冷的风冷式冷水机组问题分析与解决[J]. 建筑热能通风空调,2004,23(2):7-12.
- [11] 吴晓杰. 变频冰箱系统动态特性及控制策略研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械学院,2011:13-23.

[编辑:李辉]