

蒸发器并联双循环冰箱的温度与分时运行控制策略

II. 实验验证

卢智利, 丁国良

(上海交通大学 制冷与低温工程研究所, 上海 200030)

摘要: 对于海尔 HRF 285 蒸发器并联双循环冰箱采用基于温度与分时运行控制策略进行了实验验证. 结果表明: 在突然向冷藏室或冷冻室放入大量食品, 或环境温度过高时, 该控制策略均能很好地控制冰箱箱内温度, 从而验证了该控制策略的有效性; 冷藏循环、冷冻循环最大运行时间对于冰箱箱内温度波动有很大影响. 对于 HRF 285 冰箱耗电量的测试表明, 采用该控制策略的冰箱耗电量比采用基于温度的冷藏室(冷冻室)优先控制策略的冰箱耗电量大 0.99% 左右. 耗电量的增大主要是冷冻循环、冷藏循环运行次数增多, 造成制冷剂迁移次数增多造成的.

关键词: 蒸发器; 双循环; 冰箱; 温度; 控制策略; 分时运行

中图分类号: TB 657.4 文献标识码: A

The Temperature and Time Sharing Running Control Strategy of Two Circuit Cycle Refrigerator/Freezer with Parallel Evaporators: II. Experimental Tests and Validation

LU Zhi li, DING Guo liang

(Inst. of Refrigeration and Cryogenics Eng., Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, China)

Abstract: A Haier HRF 285 two circuit cycle refrigerator/freezer with parallel evaporators based on the temperature and time sharing running control strategy was tested. The results show that the compartment temperature fluctuations can be controlled within rational range under the conditions that a lot of foods are put into fresh food compartment(FFC) or freezer compartment(FZC) at a time, or the ambient temperature is very high, therefore the new control strategy is validated. Tests were carried out when the maximum running time of FFC cycle was changed. It is found that this parameter has a great influence on the FZC temperature. The energy consumption of the unit was tested too. The daily energy consumption of the new control strategy increases about 0.99% compared with that of the existing control strategies of the FFC/FZC prior based on the temperature control. The energy consumption increase is contributed to the frequently start of FFC and FZC cycle.

Key words: evaporators; two circuit cycle; refrigerator/freezer; temperature; control strategy; time sharing running

收稿日期: 2004 11 28

作者简介: 卢智利(1976), 男, 江西崇仁县人, 博士生, 主要研究方向为制冷空调系统的数值仿真与换热器的换热强化.

丁国良(联系人), 男, 教授, 博士生导师, 电话(Tel.): 021 62932110; E-mail: glding@sjtu.edu.cn.

为了实现冰箱冷藏室、冷冻室的单独控制,减少冷藏室蒸发器的热力学不可逆损失,节约能源,蒸发器并联的双循环结构已经应用于冰箱^[1,2]。由于蒸发器并联的双循环冰箱不能同时对冷藏室、冷冻室供冷,因此,当冷藏室、冷冻室同时需要冷量时,怎样保证其温度在合理的范围内波动成为目前研究的一个难点。

冰箱在实际使用过程中,主要有如下3种动态情况发生:①突然向冷冻室内放置大量食品;②突然向冷藏室内放置大量食品;③环境温度过高及冷藏室、冷冻室温度设定得非常低。文献[3]中分析了蒸发器并联双循环冰箱采用基于温度的冷冻室(冷藏室)优先控制策略时箱内温度的波动情况。发现在上述3种情况下,基于温度的冷冻室(冷藏室)优先控制策略容易造成冷藏室(冷冻室)温度回升过高,导致储藏食品的变质;冷藏室(或冷冻室)的温度波动过大,主要是冷冻室(或冷藏室)运行时间过长造成的,因此有必要限制冷冻循环(或冷藏循环)的最长运行时间。继而提出了基于温度与分时运行联合控制的控制策略,并从理论上分析了该控制策略。由于该控制策略设定了冷藏、冷冻循环最大运行时间,故当突然向冷冻室(冷藏室)内放入大量食品,或环境温度过高,如果冷冻循环(冷藏循环)运行时间达到冷冻循环(冷藏循环)最大运行时间,此时无论冷冻室(冷藏室)温度多高,只要冷藏室(冷冻室)温度高于冷藏室(冷冻室)设定温度上限,电磁阀将切换到冷藏循环(冷冻循环),给冷藏室(冷冻室)制冷,从而保证了冷藏室(冷冻室)温度不至于回升得过高。

由于在冰箱稳定运行工况时,基于温度的冷冻室优先(冷藏室优先)控制策略和基于温度与分时运行联合控制的控制策略均能保证冷藏室、冷冻室温度在合理的范围内,因此在本文中不作论述。本文对上面提到的3种动态情况进行实验,以检验基于温度与分时运行联合控制的控制策略能有效地控制冰箱箱内温度。同时对冰箱的耗电量及冷却速度进行

实验测试。

1 实验设备及测试

1.1 实验设备

实验在海尔集团国家级冰箱性能实验室内进行。实验布置及测试按照文献[4]进行。冷藏室、冷冻室在垂直方向各安装3个热电偶,热电偶的连接点封装在圆柱形铜柱内。冷藏室、冷冻室的温度以各室的平均温度为定性温度。当冷藏室或冷冻室内放置有实验包时,所用单个实验包有2种尺寸:①100 mm×100 mm×50 mm,质量为0.5 kg;②100 mm×200 mm×50 mm,质量为1.0 kg。实验包的温度通过热电偶测量,热电偶的连接点放置在实验包的中心位置。使用铜康铜热电偶,精度±0.5℃。电参数采用青岛艾诺AN8720P电参数测试仪测试,电能测试精度为±0.5%。

用于测试的冰箱由青岛海尔集团生产,型号为HRF 285,上冷藏下冷冻结构,冷藏室200 L,冷冻室85 L,厨房嵌入式冰箱,采用基于温度与分时运行联合控制的控制策略^[3]。

1.2 实验测试内容

首先进行基本实验,分别测试冷藏室、冷冻室在不同的设定温度下箱内温度的波动范围。在对冷藏室进行测试时,冷冻室温度设定在环境温度(θ_A)以上,因此冷冻循环不会启动。但是冷冻室内放置了20 kg温度为-20℃的实验包,当实验包温度回升到-16℃时,进行更换,从而使得冷冻室温度与冰箱实际运行时比较接近。在对冷冻室进行测试时,冷藏室温度设定在环境温度以上,因此冷藏循环不会启动。但是冷藏室内放置了30 kg温度为2℃的实验包,当实验包温度回升到6℃时,进行更换,从而使得冷藏室温度与冰箱实际运行时比较接近。对照实验的目的是为确定冷藏室、冷冻室在各设定温度下的标准温度波动。实验结果如表1、2所示。符号定义同文献[3]。

表1 基本实验冷藏室温度

Tab. 1 Temperatures of FFC in baseline test

实验代号	设定参数			测量参数				
	$\theta_A / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{FFC}} / ^\circ\text{C}$	实验包 / kg	$\theta_{\text{Max}} / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{Min}} / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{Ave}} / ^\circ\text{C}$	$t_{\text{FFC Rec Max}} / \text{min}$	$t_{\text{FFC Cool Max}} / \text{min}$
B FFG 1	25	5	-	6.6	1.8	4.2	68	21
B FFG 2	25	3	-	3.7	-0.7	1.5		
B FFG 3	32	-3	-	-2.4	-4.6	-3.5		
B FFG 4	25	3	10	3.4	0.1	1.8		

表 2 基本实验冷冻室温度

Tab. 2 Temperatures of FZC in baseline test

实验代号	设定参数			测量参数				
	$\theta_A / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{FZC}} / ^\circ\text{C}$	实验包 / kg	$\theta_{\text{Max}} / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{Min}} / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{Ave}} / ^\circ\text{C}$	$t_{\text{FZC Rec Max}} / \text{min}$	$t_{\text{FZC Cool Max}} / \text{min}$
B FZC 0	25	-18	25	-18.1	-19.7	-18.9	28	14
B FZC 1	25	-18	-	-17.5	-20.9	-19.2		
B FZC 2	32	-26	-	-24.4	-28.2	-26.3		
B FZC 3	25	-18	10	-17.8	-19.8	-18.8		

通过理论分析发现^[3]: ① 冷藏循环最大运行时间 $t_{\text{FFG Max}}$ 应比冷藏室降温时间 $t_{\text{FZC Cool Max}}$ 稍微大一些; ② 冷藏循环最大运行时间 $t_{\text{FFG Max}}$ 最好能比 $t_{\text{FZC Rec Max}}$ 小一些; ③ 冷冻最大运行时间 $t_{\text{FZC Max}}$ 应比冷冻室降温时间 $t_{\text{FZC Cool Max}}$ 大一些; ④ 冷冻最大运行时间 $t_{\text{FZC Max}}$ 最好能比 $t_{\text{FFG Rec Max}}$ 小一些. 由于我国家用制冷装置国标^[4]规定的定性实验在环境温度 25 $^\circ\text{C}$, 冷藏室空箱测试, 且温度不能高于 5 $^\circ\text{C}$; 冷冻室内放满实验包, 测试时温度不能高于 -18 $^\circ\text{C}$. 因此, 冷藏-冷冻循环切换时间、冷冻-冷藏切换时间以该工况下的实验数据确定. 本文冷藏、冷冻循环最大运行时间分别设定为 25、14 min.

为了得出冰箱在上述 3 种情况下箱内温度的波动及耗电量情况, 进行了下列实验.

实验 1 冷却速度实验. 环境温度设定为 25 $^\circ\text{C}$. 冰箱为空箱, 在实验室内把门打开, 放置 24 h, 使冰箱与环境温度平衡. 然后关闭冰箱冷藏、冷冻室门, 给冰箱通电, 并把冰箱冷藏室设定在 3 $^\circ\text{C}$, 冷冻室设定在 -18 $^\circ\text{C}$, 直到冰箱稳定运行.

实验 2 冰箱在实验 1 工况下稳定运行后, 突然向冷冻室内放入 10 kg 实验包(实验包在实验室内放置 24 h, 与环境温度平衡), 直到冰箱达到稳定运行.

实验 3 冰箱在实验 1 工况下稳定运行后, 突然向冷藏室内放入 10 kg 实验包(实验包在实验室内

内放置 24 h, 与环境温度平衡), 直到冰箱达到稳定运行.

实验 4 环境温度 32 $^\circ\text{C}$. 冰箱空箱, 冷藏室设定在 -3 $^\circ\text{C}$, 冷冻室设定在 -26 $^\circ\text{C}$, 冰箱在该工况下稳定运行.

实验 5 为了验证冷藏循环最大运行时间对冷冻室温度的影响, 把冷藏循环最大运行时间设定为 40 min, 冷冻循环最大运行时间不变, 重复实验 3.

实验 6 耗电量实验. 环境温度设定为 25 $^\circ\text{C}$. 冷藏-冷冻循环切换时间设定为 25 min, 冷冻-冷藏切换时间设定为 14 min.

2 实验结果及分析

2.1 温度分析

实验 1 的结果如图 1 及表 3 所示.

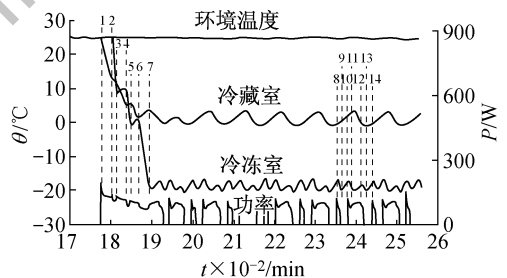


图 1 实验 1 的温度、功率曲线

Fig. 1 Temperature and power curves of Test 1

表 3 实验温度参数

Tab. 3 Temperature results of all tests

说明	FFC			FZC		
	$\theta_{\text{Max}} / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{Min}} / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{Ave}} / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{Max}} / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{Min}} / ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{Ave}} / ^\circ\text{C}$
实验 1 稳定运行特性(图 1 虚线 8 以后)	3.80	-0.60	1.64	-16.90	-20.50	-18.70
实验 2 稳定运行特性(图 2 虚线 6 以后)	4.33	-0.45	1.94	-18.20	-19.60	-18.90
动态运行特性(图 2 虚线 1.5 之间)	4.10	-0.20	2.00	-5.20		
实验 3 稳定运行特性(图 3 虚线 6 以后)	3.60	0.20	1.90			
动态运行特性(图 3 虚线 1.5 之间)	20.40			-16.50	-19.70	-18.10
实验 4 稳定运行特性	-0.40	-3.40	-1.90	-23.40	-26.60	-24.50
实验 5 稳定运行特性(图 5 虚线 7 以后)	3.90	0.30	2.10	-16.80	-20.20	-18.50
动态运行特性(图 5 虚线 1.6 之间)	18.50			-12.40	-16.80	-14.60

图 1 中,在虚线 1 处冰箱插电,根据控制策略(1)^[3],冷藏循环启动,冷藏室温度 θ_{FFC} 迅速下降.此时,冷冻室的温度 θ_{FZC} 维持为环境温度.在虚线 2 处冷藏循环运行 25 min,达到冷藏室最大设定运行时间 $t_{FFC Max}$,根据控制策略(4)^②,电磁阀切换到冷冻循环,系统给冷冻室制冷, θ_{FZC} 迅速下降(虚线 2、3 之间).在这段时间内, θ_{FFC} 略有回升.在虚线 3 处冷冻循环运行 14 min,达到冷冻室最大设定运行时间 $t_{FZC Max}$,根据控制策略(5)^②,电磁阀切换到冷藏循环,开始第 2 次给冷藏室制冷.在第 2 次给冷藏室制冷时, θ_{FZC} 继续下降一些,然后略有回升(虚线 3、4 之间).在虚线 4 处,冷藏循环运行时间达到 $t_{FFC Max}$,电磁阀切换到冷冻循环,开始第 2 次给冷冻室制冷.在虚线 5 处,冷冻循环运行到达 $t_{FZC Max}$,根据控制策略(5)^②,电磁阀切换到冷藏循环,开始第 3 次给冷藏室制冷.在虚线 6 处,冷藏循环运行了 23 min,此时 θ_{FFC} 已经降低到冷藏室温度下限 $\theta_{FFC L}$,根据控制策略(4)^①,电磁阀切换到冷冻循环,系统给冷冻室制冷,冷藏室温度渐渐回升.在虚线 7 处,冷藏室温度回升到其温度上限 $\theta_{FFC U}$,根据控制策略(5)^②,电磁阀切换到冷藏循环.经过这样几次交替制冷后,冷藏室、冷冻室都达到设定温度要求,冰箱渐渐进入稳定工况(周期性开停机).

取图 1 虚线 8~14 之间的一个周期进行分析.首先,在虚线 8 处,由于 θ_{FZC} 上升到 $\theta_{FZC U}$,冷冻循环被激发,根据控制策略(1)^[3],压缩机启动,电磁阀切换到冷冻毛细管.在虚线 9 处,冷冻循环大约运行 11 min, θ_{FZC} 达到 $\theta_{FZC L}$,而此时 θ_{FFC} 仍低于冷藏室第二温度上限 $\theta_{FFC U2}$ ^[3],根据控制策略(5)^③,不启动冷藏循环,压缩机停机.在虚线 10 处,压缩机停机约 21 min 后, θ_{FZC} 再次回升到 $\theta_{FZC U}$,根据控制策略(1),压缩机再次启动,给冷冻室制冷.在给冷冻室制冷大约 9.5 min 后(虚线 11 处), θ_{FZC} 达到 $\theta_{FZC L}$,此时, θ_{FFC} 达到 $\theta_{FFC U2}$,根据控制策略(5)^③,启动冷藏循环.在给冷藏室制冷 21 min 后(虚线 12 处), θ_{FFC} 达到 $\theta_{FFC L}$,根据控制策略(4),电磁阀切换到冷冻毛细管,给冷冻室制冷.由于此时冷冻室温度较低,故冷冻循环运行 8 min 后(虚线 13 处)冷冻室温度即达到温度下限 ($\theta_{FZC L}$).此时,冷藏室温度没有达到开机温度,因此,压缩机停机.在压缩机停机 22.5 min 后(虚线 14 处),冷冻室温度回升到冷冻室温度上限 $\theta_{FZC U}$,根据控制策略(1),压缩机启动,开始了另一个循环周期.

由表 3 可见,当冰箱在实验 1 工况下稳定运行时,冷藏室温度与 B FFG 2 实验温度非常接近、冷

冻室温度与 B FZG 1 实验基本相同.

实验 2 的实验数据如图 2 及表 3 所示.图 2 中,虚线 1 之前冰箱在实验 1 工况下稳定运行.在虚线 1 处,向冷冻室内加入 10 kg 实验包,加入的实验包温度与环境温度相同.加入实验包后, θ_{FZC} 迅速上升,实验包温度迅速下降.在虚线 2 处 θ_{FZC} 达到最高,在 -5.2°C ;之后, θ_{FZC} 逐渐下降.在虚线 3 处,实验包达到相变温度,实验包温度变化缓慢.到虚线 4 处,实验包全部凝结成固体,之后实验包温度又迅速下降.虚线 5 处,是加入实验包后冰箱首次出现停机.在虚线 6 后冰箱进入周期性运转.虚线 6、7 之间是稳定运行的一个运行周期.由图 2 及表 3 的实验数据可见,在冷冻室降温的过程中,冷藏室平均温度为 1.95°C ,最高温度 4.12°C .平均温度与最高温度均比标准温度(B FFG 2 实验)高 0.4°C 左右,这主要是因为冷冻室温度过高对冷藏室造成的影响.但冷藏室的这个温度完全是合格的.

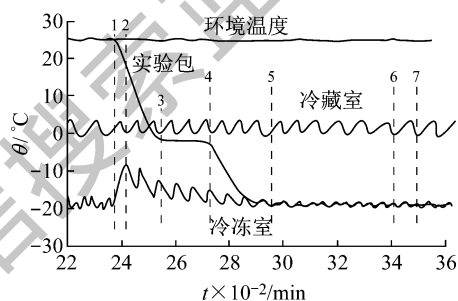


图 2 实验 2 的温度曲线

Fig. 2 Temperature curves of Test 2

实验 3 的实验数据如图 3 及表 3 所示.图 3 中,在虚线 1 之前冰箱在实验 1 工况下稳定运行.在虚线 1 处,在冷藏室内加入 10 kg 实验包,加入的实验包温度与环境温度相同.加入实验包后, θ_{FFC} 迅速上升,高于 $\theta_{FFC U}$,因此,压缩机启动,冷藏循环运行,给冷藏室制冷.在虚线 2 处 θ_{FFC} 达到最高 20.4°C .在虚线 1、5 之间,是冷藏室降温的动态过程.在该过程中,出现冷藏室、冷冻室分时运行的情况,即冷藏室运行 $t_{FFC Max}$,冷冻室运行 $t_{FZC Max}$.此时,冷冻室最高温度为 -16.5°C ,平均温度 -18.1°C .在虚线 5 处, θ_{FFC} 已经达到 $\theta_{FFC L}$.虚线 6 以后,冰箱在新的工况下达到平衡,进入周期性稳定运行.在冰箱动态运行过程中(虚线 1~5 之间)虽然冷冻室最高温度与平均温度比标准温度(B FZG 3 实验)高出 1.0°C 以上,但回升的温度并不高,而且平均温度也低于国标规定的 -18.0°C ,因此是一个合格的温度.

实验 4 的实验数据如图 4 及表 3 所示.由于环境温度高,冷藏室、冷冻室的设定温度低,在冷藏循

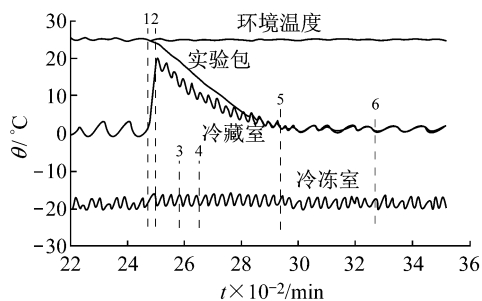


图3 实验3的温度曲线

Fig. 3 Temperature curves of Test 3

环最大运行时间及冷冻循环最大运行时间内,冷藏室温度、冷冻室温度均达不到冷藏室、冷冻室温度下限,因此,冷藏循环、冷冻循环将分时运行,即冷藏循环运行 $t_{FC Max}$ 时间、冷冻循环运行 $t_{FZC Max}$ 时间.表3实验4中,冷藏室平均温度 $-1.9^{\circ}C$,冷冻室平均温度 $-24.5^{\circ}C$,而B FFG 3实验冷藏室平均温度为 $-3.5^{\circ}C$,B FZG 2实验冷冻室平均温度 $-26.3^{\circ}C$,冷藏室、冷冻室平均温度分别比标准温度高 1.6 和 $1.8^{\circ}C$.虽然冷藏室温度与冷冻室温度均比设定温度高,但比设定温度高得并不是太多.对于单循环冰箱或双压缩机双循环冰箱,当环境温度太高或冷藏室、冷冻室温度设定的过低时,冷藏室、冷冻室温度也会出现同样的情况.因此,该温度是合理的.

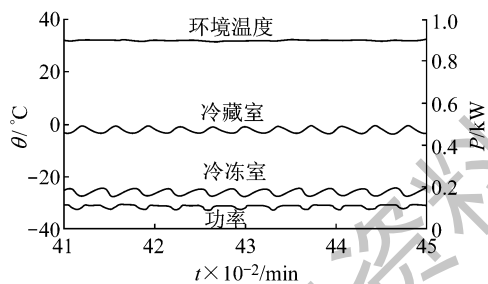


图4 实验4的温度、功率曲线

Fig. 4 Temperature and power curves of Test 4

为了测试冷藏循环切换温度对冰箱动态温度的影响,把冷藏循环最大运行时间改为 40 min ,冷冻循环最大运行时间不变,仍为 14 min ,进行了实验5.实验结果如图5及表3所示.在该情况下,将出现冷藏室、冷冻室分时运行的情况,即冷冻室将运行 $t_{FZC Max}$,冷藏室运行 $t_{FC Max}$.由于冷冻室得不到冷量的时间太长 ($t_{FC Max}$),冷冻室温度回升得过高,最高温度 $-12.4^{\circ}C$, (实验3中,冷冻室最高温度 $-16.5^{\circ}C$),而且,温度较高的时间较长,从而影响冷冻室的食物保鲜质量.由于此时冷藏室制冷时间长,故冷藏室最高温度将有所下降.实验3中,冷藏室温度最高为 $20.4^{\circ}C$,而本实验中冷藏室最高温度

为 $18.5^{\circ}C$.

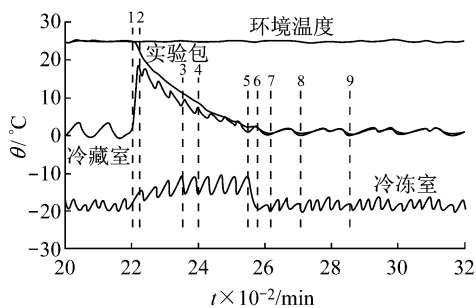


图5 实验5的温度曲线

Fig. 5 Temperature curves of Test 5

实际上,如果把冷藏循环切换时间定为无限大,把冷冻循环切换时间定为 0 ,该控制策略就是基于温度的冷藏室优先控制策略;而把冷藏循环切换时间定为 0 ,把冷冻循环切换时间定为无限大,那么该控制策略就是基于温度的冷冻室优先控制策略.

2.2 耗电量分析

一个好的控制策略,不仅能较好地控制冷藏室、冷冻室的温度,也能使得冰箱耗电量比较低.本文对于HRF 285冰箱采用基于温度的冷藏室优先控制策略及基于温度与分时运行联合控制的控制策略分别进行了实验,并进行了比较.

耗电量实验按照国家标准^[4]进行.要求在环境温度 $25^{\circ}C$ 下,冷藏温度不得高于 $5^{\circ}C$,冷冻室温度不得高于 $-18^{\circ}C$.通过测试发现,采用基于温度的冷藏室优先控制策略,每 24 h 冰箱耗电量为 $0.706\text{ kW}\cdot\text{h}$,冷藏室启动 16 次,冷冻室启动 39 次.采用本文提出的基于温度与分时运行的控制策略,每 24 h 冰箱耗电量为 $0.713\text{ kW}\cdot\text{h}$,冷藏室启动 20 次,冷冻室启动 47 次.采用本文的控制策略比采用基于温度的冷藏室优先控制策略耗电量增大 0.99% 左右.这主要是因为采用本文的控制策略,冷藏循环、冷冻循环运行次数均比基于温度的冷藏室优先控制策略的冷藏、冷冻循环运行次数多,特别是冷冻循环启动次数多,从而造成系统内制冷剂迁移次数增多,致使冰箱耗电量略有增加.

3 结语

(1) 采用基于温度与分时运行联合控制的控制策略,能合理地分配冷藏室、冷冻室的制冷时间,保证冰箱在动态运行过程中,冷藏室、冷冻室温度能控制在合理的范围内.从而证明该控制策略的有效性.

(2) 冷藏、冷冻循环最大运行时间的长短对于冷藏室、冷冻室温度有很大影响.由于冷藏、冷冻循

(下转第 281 页)

值 1、置信度为 $1 - 2P$ 的置信区间 $(\lambda, 2 - \lambda)$ 内近似服从正态分布^[5]。根据置信区间的计算公式可知:

$$u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1 - \lambda$$
$$\sigma^2 = \left(\frac{(1 - \lambda) \sqrt{n}}{u_p} \right)^2 = \frac{(1 - \lambda)^2 n}{u_p^2}$$

其中: σ 为均方差; n 为测试工件数目; u 为正态分布函数。即翅片 A 与 B 处抗拉强度之比 F_b 服从均值为 1、方差为 $(1 - \lambda)^2 n / u_p^2$ 的正态分布。该分布规律部分反映了翅片的性能不均匀程度, 可辅助判断翅片的质量。

需要指出的是, 由于油液阻尼作用, 阀门在开启过程的振动频率 f_a 将迅速减小, 在计算时推荐选取实测的最大频率; p_d 和 p_a 推荐取各组实测数据的算术平均值。此外, 计算未考虑壁面和油液对压力波的吸收作用, 故实际油压的比值可能与计算值有一定偏差, 但该方法作为判断翅片质量的辅助手段是可行的。

6 结 论

(1) 编制了板翅式机油冷却器的基本建模程序。以 28H12 型油冷器为例, 通过修改基本模型, 分别建立了油冷器的静压和脉动压力分析模型。

(2) 对 28H12 型油冷器进行了静压分析, 找出静压下最可能破坏的两个位置, 即底芯片与进、出油口相对底板上油道转角处的两处翅片最先被拉断。可采用在底芯片外贴金属板等手段加强这两个位置的刚度。

(3) 提出脉动压力导致破坏的观点, 通过计算

脉动压力场验证了该观点, 解释了实测中两个位置破坏几率不同的原因; 指出在油压爆破实验中, 盲板法兰相对油道转角处翅片的破坏几率高于进油口相对油道转角处的翅片为正常现象, 否则可能是产品质量问题。

(4) 提出了实验改进方案, 推导了翅片 A 与 B 处抗拉强度比值 F_b 的概率分布规律, 并建议通过该分布规律来辅助判断翅片的质量。

参考文献:

- [1] Kays W M, London A L. Compact heat exchangers [M]. 3rd ed. New York: McGraw Hill International, 1984.
- [2] 李国祥, 顾宏中, 陆家祥. 用红外热像仪对叉流板翅式换热器的传热测试[J]. 上海交通大学学报, 1997, 31(2): 104 - 106.
LI Guo xiang, GU Hong zhong, LU Jia xiang. Heat transfer measurement in a cross flow plate fin heat exchanger [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 1997, 31(2): 104 - 106.
- [3] Muzychka Y S, Yovanovich M M. Modeling the f and j characteristics of the offset strip fin array [A]. *Proceedings of the ASME—Heat Transfer Division* [C]. Nashville: ASME, 1999. 91 - 100.
- [4] Muzychka Y S, Yovanovich M M. Modeling the f and j characteristics for transverse flow through an offset strip fin at low Reynolds number [J]. *Journal of Enhanced Heat Transfer*, 2001, 8(4): 243 - 259.
- [5] 董治德. 概率论与数理统计 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1995.

(上接第 276 页)

环最大运行时间由冷藏室、冷冻室最大制冷时间及温度回升时间决定, 故与冷藏室、冷冻室发泡层厚度及箱内热容有关系。

(3) 采用基于温度与分时运行联合控制的控制策略, 冰箱耗电量比采用基于温度的冷藏室(冷冻室)优先策略耗电量略高, 这主要是增加了分时运行控制, 冷藏、冷冻循环运行次数明显增多, 从而造成系统内制冷剂迁移次数增多, 使冰箱耗电量略有增加。

参考文献:

- [1] Kim K, Kopko B, Radermacher R. Application of tandem system to high efficiency refrigerator/freezer [J].

ASHRAE Trans 1995, 101(2): 1239 - 1247.

- [2] Mahesh L, Haider I, Radermacher R. Experimental investigation of an alternating duty refrigerator/freezer [J]. *ASHRAE Trans* 1998, 104(2): 1103 - 1111.
- [3] 卢智利, 丁国良. 蒸发器并联双循环冰箱的温度与分时运行控制策略. I. 理论分析 [J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(2): 277 - 281.
LU Zhi li, DING Guo liang. The control strategy based on the temperature and time sharing running control of two circuit cycle refrigerator/freezer with parallel evaporators. I. Theoretical analysis [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2006, 40(2): 277 - 281.
- [4] GB/T 8059.2 1995, 中国家用电器国家标准——家用制冷器具 [S].