

替代工质 HFC152a/ HCFC22 冰箱 压缩机阀片厚度的优化*

郭航 刘志刚 鞠飙 何茂刚 张智

(北京工业大学热能工程系 100022)

摘要: 本文建立了冰箱压缩机的数学模型。对 QD75GA 型冰箱压缩机的工作过程进行了计算机模拟, 计算结果同实验数据吻合良好。在此基础上, 对使用替代工质 HFC152a/ HCFC22 的 QD75GA 型压缩机的结构参数进行了优化。并将优化前后的压缩机分别装在同一台冰箱上, 对冰箱的性能进行了对比测试, 实验结果表明, 对压缩机阀片厚度的优化提高了替代工质冰箱的性能。

关键词: 冰箱; 压缩机; 优化; 替代工质

Optimization of Thickness of Compressor Valves Using Alternative Refrigerant HFC152a/ HCFC22 in Refrigerator

Abstract A mathematical model of refrigerator compressor was established, and the working process of QD75GA refrigerator compressor was computer simulated in the present study. The calculation was found be in full accord with our previous experimental data. Based on the calculation, the optimal structural parameters of the QD75GA compressor charged with a nonazeotropic alternative working fluid, HFC152a/ HCFC22, were determined. Contrast test of refrigerator performance between the prototype and the improved compressor were carried out. The results showed that optimization of the thickness of the compressor valves improved the performance of refrigerator charged with HFC152a/ HCFC22.

Key Words refrigerator; compressor; optimization; alternative refrigerant

一、引言

CFC12 是使用量大, 性能优良的制冷剂, 但由于其对大气臭氧层有强烈的破坏作用, 国际社会已对其限期禁止生产和使

用。作为 CFC12 的替代物之一, 近共沸混合工质 HFC152a/ HCFC22 不仅有着良好的环保性能, 而且能耗、制冷能力、制冷剂成本等方面都较为接近 CFC12, 是适合象中国这样的发展中国家国情的一种替代方

* : 本工作承国家科委“八五”重点科技攻关项目和陕西省重点科技攻关项目资助

案^{[1]~[3]}。

在实现冰箱的制冷剂替代过程中,为了进一步提高使用替代工质的冰箱的性能和使用寿命,我们有必要对原先使用CFC12时的冰箱制冷系统的设备进行优化,使它们与替代工质的匹配达到最佳。

目前,国内大多数家用电冰箱均采用蒸气压缩式制冷循环,在这一循环中,压缩机就象冰箱制冷系统的“心脏”一样,它的性能好坏将直接影响到冰箱的整机性能。对于现有的针对CFC12设计的冰箱压缩机,在采用HFC152a/HCFC22制冷剂后,作用在阀片上的气流推力变小,这种变化使得压缩机阀片的运动规律变得恶化^[4]。

针对这一问题,在本文中,将对冰箱压缩机的吸、排气阀片的厚度进行优化,以使其适应新工质HFC152a/HCFC22。并将优化前后的压缩机分别装在同一台冰箱上,对冰箱的性能进行实验测定。

二、压缩机工作过程的计算机模拟及阀片厚度的优化

本文的优化对象为QD75GA型冰箱用全封闭制冷压缩机。压缩机工作过程的数学模型包括压缩机的热力学模型和阀片的动力学模型两个模块。

在压缩机的热力学模型当中包括了五个控制容积,即吸气消音器、吸气腔、气缸、排气腔、排气消音器(见图1)。

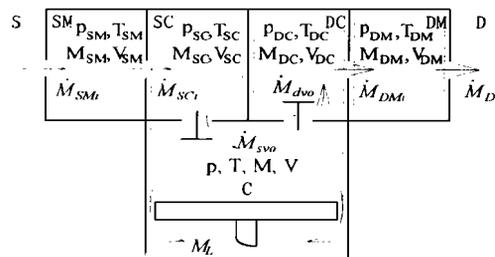


图1 压缩机控制容积示意图

在对每个控制容积进行热力学分析时,本文作如下假定及简化:

1. 任何瞬时,同一控制容积内各点的气体状态相同;
2. 各控制容积内气体的能量仅考虑内能;
3. 不考虑气阀通道内的换热;
4. 气体流经气阀时,忽略与外界功的交换,气体作稳定流动。

对于气缸,应用热力学第一定律,有:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dQ}{dt} - \frac{dW}{dt} + (h_{svo} + \frac{V_{svo}^2}{2}) \frac{dM_{svo}}{dt} - (h_{dvi} + \frac{V_{dvi}^2}{2}) \frac{dM_{dvo}}{dt} - (h_L + \frac{V_L^2}{2}) \frac{dM_L}{dt} \quad (1)$$

式中的热流量按文献[5]中的方法计算。

按照质量守恒定律,缸内气体质量变化率为:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{dM_{svo}}{dt} - \frac{dM_{dvo}}{dt} - \frac{dM_L}{dt} \quad (2)$$

式中制冷剂通过活塞—气缸间隙的泄露率 $\frac{dM_L}{dt}$ 按文献[6]中的方法计算。

类似的,可以建立起其它控制容积的热力学模型。

混合制冷剂HFC152a/HCFC22的热力性质由P—R方程计算^[7]:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(v+b) + b(v-b)} \quad (3)$$

其中: $a = \sum_i \sum_j x_i x_j a_{ij}$ $b = \sum_i x_i b_i$

在阀片的动力学模型当中,阀片的运动微分方程如下:

$$D^4 + c \frac{1}{t} + \bar{m} \frac{2}{t^2} = P(x, y, t) \quad (4)$$

由于本文研究的QD75GA型压缩机的阀片是簧片阀,而且其形状较为复杂,其运动形式属多自由度系统,因而(4)式是高阶的非线性方程。本文采用了有限元法求解(4)式。

压缩机热力学模型和气阀的动力学模型构成了完整的压缩机数学模型。使上述两个模型相互耦合,便可以在计算机上模拟出压缩机的工作过程以及阀片的运动规律。

利用本文的压缩机数学模型,我们对 QD75GA 型压缩机在以 CFC12 为工质时的工作过程进行了计算机模拟。计算工况按照国家标准中的规定确定。模拟计算的结果列于表 1 第三行中,该表第二行还同时列出了由生产厂家提供的该产品的性能数据。模拟计算得到的压缩机阀片运动规律示于图 2。

表 1 QD75GA 型压缩机模拟计算结果

压缩机	制冷剂	制冷量 (W)	耗功 (W)	C. O. P
QD75GA*	CFC12	190.0	168.0	1.131
QD75GA	CFC12	180.2	163.3	1.103
QD75GA	HFC152a/ HCFC22	172.8	148.1	1.167
优化后	HFC15a/ HCFC22	175.2	141.8	1.235

*: 厂家提供的该产品的性能数据

从表 1 中可见,模拟计算结果与厂方提供的实验数据较为吻合,从而验证了本文压缩机模拟软件的正确性。

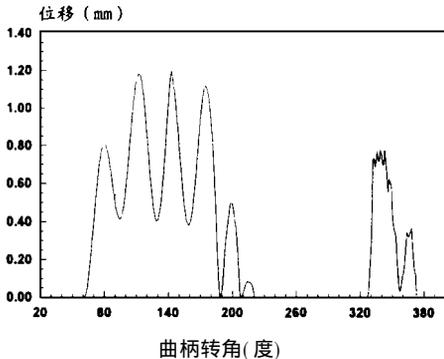


图 2 阀片运动规律(工质: CFC12)

随后,我们对以 HFC152a/HCFC22 为工质时的压缩机工作过程进行了计算机模拟。由于该工质为非共沸混合物(近共沸),因而冷凝和蒸发压力按泡点或露点温度控制,循环的性能将有一定的差别。本文冷凝、蒸发压力按照以下原则确定:冷凝压力为冷凝温度对应的泡点压力;蒸发压力为蒸发温度对应的露点压力。模拟计算结果见于表 1 第四行和图 3。

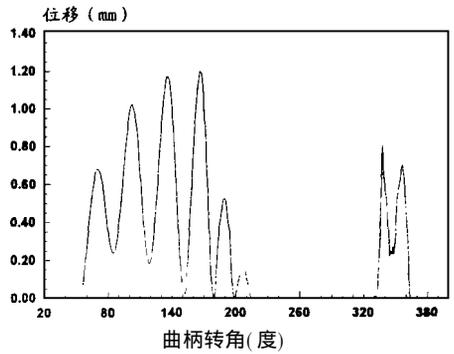


图 3 替代工质压缩机阀片运动规律

由表 1 中可以看到,更换工质后,制冷循环的性能指标已有改善。然而,对比图 2 和图 3 也可以看到,对于 QD75GA 型压缩机,由于工质的更换,作用在阀片上的气体力发生了变化,影响到了阀片的运动规律。为使压缩机更好地与替代工质相匹配,有必要对原机的结构参数进行优化。优化的目标函数为:

$$f = N_a / Q \quad (5)$$

式中: N_a 为压缩机电动机输入功率;

Q 为压缩机制冷量。

优化变量为吸气阀片厚度 s 和排气阀片厚度 d 。优化计算的目的是求解当目标函数最小时,优化变量的值。

优化计算的结果列于表 1 第五行及图 4 中。

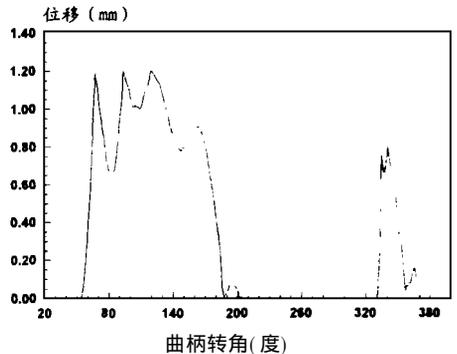
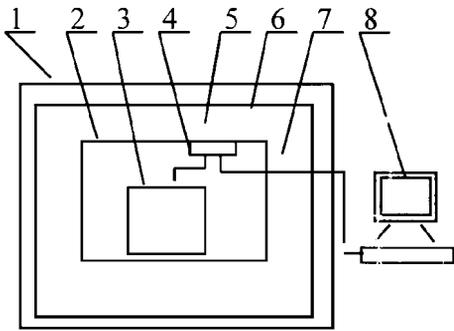


图 4 优化方案的阀片运动规律
(工质: HFC152a/HCFC22)

可见,优化后,无论压缩机的性能还是其阀片的运动规律均较优化前有改善,而以阀片运动规律的改善尤为明显。

三、实验系统

压缩机是冰箱制冷系统的重要部件,优化后的压缩机将在多大程度上改善替代工质冰箱的性能,这是本文研究所关注的问题之一。为此,本文对分别装有未优化和已优化压缩机的冰箱进行了性能实验,实验项目主要包括冷却速度实验和耗电量实验。实验系统如图 5 所示。



1. 隔热板 2. 台架 3. 电冰箱 4. 测试线
5. IMP 板 6. 恒温室 7. 信号线 8. 计算机

图 5 冰箱性能测试实验系统示意图

1. 恒温室: 按照国家标准的要求建立。当达到稳定运行状态时,恒温环境的温度波动范围 ± 0.3 ;在离实验台架 2m 高的范围内,其垂直方向的温度梯度 $1.5 / \text{m}$;恒温室内空气流速 0.25m/s 。

2. 温度测量: 采用铜—康铜热电偶,经标定,在 $-50 \sim 150$ 的范围内,误差为 ± 0.1 。温度测点分布于:冰箱冷冻室,冰箱冷藏室,压缩机进、出口,压缩机外壳,冷凝器进、出口及沿途数点,蒸发器进、出口及沿途数点。

3. 耗电量测量: 采用分度值为 0.001kWh , 2.0 级精度的电度表。

4. 数据采集与处理系统: 由信号采集

转换板 IMP(英国施伦伯杰仪器公司生产)、传输电缆、35954A 微机接口板、COMPAQ 微机部分组成。该系统测量精度高、抗干扰性强、可靠性高。

5. 实验冰箱: 长岭 BCD- 218 型双门双温三星级冰箱。气候类型: 亚热带型 (ST)。

6. 实验压缩机: 型号: QD75GA, 共四台(代号分别为 A、B、C、D), 均由西安远东公司制造。其中 A 为 QD75GA 原型机, D 为按照本文优化计算结果(改进了吸、排气阀片厚度)所制造的压缩机,而 B 和 C 则分别是改进了排气阀片厚度或是吸气阀片厚度的 QD75GA 型压缩机。

四、实验内容及结果

首先,本文对充灌工质为 CFC12 的 BCD- 218 型冰箱在其压缩机为 QD75GA 原型机时的冰箱性能进行了测试。随后,将充灌工质换成混合工质 HFC152a/HCF C22, 在冰箱制冷系统的其它部分不变的情况下,依次将压缩机换为 A、B、C、D, 进行冰箱的性能实验。

实验中, CFC12 的充灌量按冰箱铭牌值确定(130g), 而混合工质的充灌量则通过实验对其进行了优化,优化后的充灌量为 91g。本文实验中充灌时的误差为 $\pm 1 \text{g}$ 。冰箱性能实验的结果见于表 2。

表 2 冰箱性能实验结果

制冷剂	压缩机	冷却速度 (min)	耗电量 (kWh/24h)
CFC12	A	118.1	1.127
	D	110.1	1.051
HFC 152a/ HCF C22	A	108.7	1.068
	B	112.5	1.071
	C	112.1	1.057
	D	110.1	1.051

从表 2 中的实验结果可以看到,无论压缩机优化与否,替代工质 HFC152a/HCF C22 冰箱的性能均优于 CFC12 冰箱

的性能。另外从表2中还可以看到,对于工质 HFC152a/HCFC22 冰箱,其压缩机优化后,冰箱的耗电量较压缩机优化前略有下降。这也从一个方面验证了本文优化计算的正确性。这是因为,本文优化计算的目标函数正是 COP 值的倒数,而冰箱耗电量与 COP 间有着一定的联系,一般来说,COP 值高的耗电量低。

五、结论

1. 在家用电冰箱中,采用近共沸混合工质 HFC152a/HCFC22 替代 CFC12 后,在制冷系统未做任何改动的情况下,替代工质 HFC152a/HCFC22 冰箱的冷却速度和耗电量这两项指标就已经好于 CFC12 冰箱。这说明 HFC152a/HCFC22 是一种较理想的灌注式替代工质。但是,由于制冷剂的热物理性质发生了变化,致使原先针对 CFC12 设计的压缩机的阀片运动规律变差。

2. 使用 HFC152a/HCFC22 的压缩机的性能及其阀片运动规律可以通过对其吸、排气阀片厚度进行优化设计的方法得以改善。

3. 对于以 HFC152a/HCFC22 为制冷剂的冰箱,当对其压缩机的吸排气阀片进

行优化后,冰箱的性能略有改善,冷却速度基本相当,耗电量略有降低。优化之后,压缩机的阀片运动规律得到了较为明显的改善。

参考文献

- [1] 刘志刚、阴建民、张金明等,冰箱替代工质 HFC152a 和 HFC152a/HCFC22 的压缩机性能试验研究,制冷学报,1992年第1期
- [2] 刘咸定、刘志刚、阴建民等,近共沸混合工质 HFC-152a/HCFC-22 冰箱的研究,制冷学报,1991年第3期
- [3] 阴建民、刘志刚、刘咸定,对臭氧层无破坏的电冰箱工质研究,工程热物理学报,第13卷,第2期,1992
- [4] 吴业正、解国珍、陈中等,在冰箱中用混合制冷剂替代 CFC12 的研究,制冷学报,1992年第3期
- [5] 吴业正,往复式压缩机数学模型及应用,西安交通大学出版社,1989
- [6] R. T. S. Ferreira, D. E. B. Lillie, Evaluation of the Leakage through the Clearance between Piston and Cylinder in Hermetic Compressors, Proc. ICECP, 1984
- [7] D. Y. Peng, D. B. Robinson, A New Two-Constant Equation of State, Ind. Eng. Chem. Fundam., Vol. 15, No. 1, 1976

“第四届制冷空调设备推荐产品” 颁证大会在京举行

由中国制冷学会主办的“第四届制冷空调设备推荐产品”颁证大会于1998年6月13日在人民大会堂海南厅举行。中国制冷学会理事长何济海先生、中国科协学会部部长马阳先生和副理事长潘秋生先生、吴元炜先生、赵玉侠先生、郎四维先生等学会有关领导出席了颁证大会。

本着“企业自愿、严格审查、慎重推荐”的原则,经专家组审议,有32家企业的58个品种(详见附表)作为本届信得过推荐产品。

我们希望榜上有名的企业,要保持和发扬这个荣誉,也希望广大的制冷空调企业积极创造条件,愿1999年有更多的企业列入信得过产品的名单。

(学会秘书处)