

## 应用纳米添加剂的冰箱性能实验研究

傅烈虎<sup>1</sup>, 王瑞祥<sup>1,2</sup>, 丛伟<sup>1</sup>, 李青冬<sup>1</sup>, 吴业正<sup>1</sup>

(1. 西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安; 2. 北京建筑工程学院环境与能源工程学院, 100044, 北京)

**摘要:** 对 HFC134a/HC600a/矿物油/纳米添加剂体系应用于冰箱的性能进行了实验研究和分析。首先,测定了应用 HFC134a/HC600a/矿物油体系的冰箱在不同的充灌量条件下压缩机的吸、排气温度,蒸发温度,压缩机机壳温度,冷却速度,耗电量等指标。然后,在体系中添加 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 纳米添加剂后进行同样实验。实验结果表明:冰箱的冷却速度和耗电量均有一个最佳值;最大冷却速度和最小耗电量分别对应的制冷剂最佳充灌量不是同一个值;在相同条件下,添加纳米粒子后,压缩机机壳的温度约下降 2.2 °C,吸气温度变化不大,排气温度约降低 3.5 °C,蒸发器平均温度约降低 0.3 °C,冷却时间约缩短 148 s,同时耗电量略有减小,说明纳米粒子在强化传热和改善润滑性能等方面发挥了作用。

**关键词:** 纳米添加剂;冰箱;冷却速度;耗电量

**中图分类号:** TB651 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)07-0852-03

## Experiment Study on Performance of Refrigerator Using Nano-Particle Additive

FU Liehu<sup>1</sup>, WANG Ruixiang<sup>1,2</sup>, CONG Wei<sup>1</sup>, LI Qingdong<sup>1</sup>, WU Yezheng<sup>1</sup>

(1. School of Power and Energy Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. School of Environment and Energy Engineering, Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

**Abstract:** An experimental study was conducted on the performances of a refrigerator using the mixture of HFC134a/HC600a, mineral oil and nano-particles of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. The cooling speed and the power consumption of the refrigerator, the temperatures at the different selected points in the refrigerator were measured under the different charging amount, with and without adding nano-particles in the system. The experimental results show that there was an optimal cooling speed and an optimal power consumption of the refrigerator but their corresponding charging amounts were different. With nano-particles under the same conditions, the refrigerator performance rose. The temperature of the compressor shell decreased by 2.2 °C while the suction temperature changed slightly. Moreover, the discharge temperature decreased by 3.5 °C and the average evaporator temperature decreased by 0.3 °C. The cooling time decreased by 148 seconds and the power consumption decreased slightly. It seems that the nano-particles may be effective to enhance the heat transfer of the refrigerant and improving the property of the mineral oil.

**Keywords:** nano-additive (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>); refrigerator; cooling speed; power consumption

利用纳米粒子添加剂改善物质性质或利用纳米材料的特殊性质,从而达到优良的品质是近年来国

内外的研究热点。有关研究人员<sup>[1-3]</sup>已经开展了纳米粒子添加剂在制冷系统中应用的初步研究。研究表

明:特定介质的纳米粒子能够有效地改善 HFC 制冷剂与矿物基冷冻油的相溶性,制冷系统的效率得到了一定提高,压缩机回油率性能良好.利用纳米粒子添加剂改善制冷剂和冷冻油的热力学性质、传热特性、流动特性,从而达到优化参数、强化传热、改善油溶性、提高压缩机耐磨性、减少噪声等效果,将是提高制冷空调、热泵设备的效率和可靠性的重要创新手段之一.

## 1 实验步骤

主要的温度测点分别分布在压缩机进、出口,压缩机外壳,蒸发器盘管,冰箱冷冻室(位于冰箱中间腔体中心轴上,距下端 6 cm 处)等处.

步骤 1:将标定好的热电偶分别布置于冷冻室温度测点,蒸发器沿途及压缩机进、出口和外壳各点.

步骤 2:安装数据采集软件 Agilent Bench Link Data Logger Software for the Agilent 34970A,并用 RS-232 电缆线将 Agilent 34970A 测量仪器与计算机相连.检查测量仪器内部设置,并调节设置使其和软件相一致.

步骤 3:在冰箱压缩机启动之后,用质量差法将已按 1:4 的质量比配制好的 HC600a 与 HFC134a 混合工质<sup>[4-5]</sup>慢慢注入冰箱系统,充入的混合工质质量为 60 g.充灌完毕后,使压缩机停机 6 h 以上,根据国家标准要求,使冰箱内部温度与环境温度达到平衡<sup>[6]</sup>(温差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ ),即各测点稳定,恢复到室温,然后开启冰箱进行数据采集.在冰箱运行 3 h 后,记录此时待测点的温度值及耗电量和冷却时间(冰箱冷冻室内测点温度从室温降至 $-18^{\circ}\text{C}$ 所需时间).

步骤 4:在相同的环境条件下(室温波动小于 $2^{\circ}\text{C}$ ),改变充入混合工质的质量,分别测出混合制冷剂的总质量为 70、75、80、85、90 g 的条件下,所测各点温度值及耗电量和冷却时间.在改变充灌量时,冰箱本身的设备、部件(如毛细管等)均不做变动.根据耗电量,确定冰箱应用此混合工质时的最佳充灌量.

步骤 5:实验采用的纳米粒子为  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .使用“两步法”,将制备好的纳米粒子直接与矿物油混合,使纳米添加剂的质量分数达到 0.7%,然后利用超声振动使其混合均匀,达到稳定.

步骤 6:将压缩机从冰箱取出后竖直放置,让原冰箱系统中的矿物油自然滴入容器中,待压缩机内的矿物油完全滴尽后再将压缩机放回冰箱内,然后加入同体积的纳米添加剂矿物油,并按最佳充灌质

量充入混合工质,重复步骤(3).

## 2 实验数据与分析

### 2.1 制冷剂/矿物油体系

2.1.1 冰箱的冷却速度 本实验在环境温度为 $(28 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 之间进行测量.将实验冰箱在环境中至少放置 6 h,使冰箱内部温度与环境温度达到平衡(温差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ ).关闭冰箱门,使冰箱连续运行 3 h,测定在不同的充灌量  $m_c$  下冷冻室平均温度降到 $-18^{\circ}\text{C}$ 时所需要的时间.作者进行了多次重复实验,数据复现性较好,实验结果如图 1 所示.

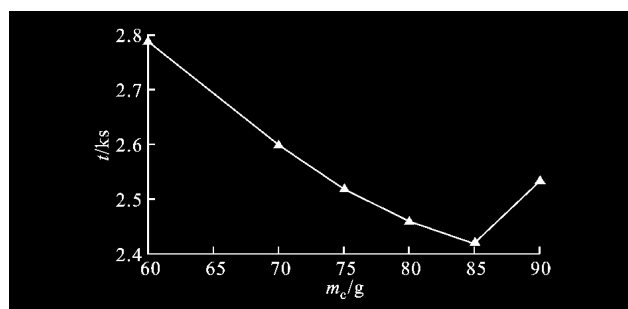


图1 降温时间随充灌量变化的曲线

从图 1 可以看出,随着混合工质充灌量的改变,冰箱的冷却速度也不断变化.事实上,当制冷剂充灌量过小时,进入蒸发器的液体制冷剂不足,在蒸发器中很快变成气态,导致蒸发器管道有相当长的一段处于气态单相换热,换热能力不足,从而导致冷却速度偏慢.当制冷剂充灌量过大时,进入冷凝器的液态制冷剂过多,冷凝压力和蒸发压力升高,从而使蒸发温度提高,传热温差减少,也造成冷却速度偏慢.在适当的充灌量下(85 g),冷却速度有一个最佳值.

2.1.2 冰箱耗电量 本实验耗电量是冰箱在相同环境条件下运行 3 h 后所测出的结果.从图 2 可以看出:随着充灌量的变化,冰箱所消耗的电量先减小后增大.如果仅考虑冰箱的节能效果,最佳充灌量应为 80 g.从图 1、图 2 还可以看出,随着混合工质充灌量的改变,冰箱的耗电量虽然也有一个最佳值,但该最佳值对应的充灌量与最佳冷却速度所对

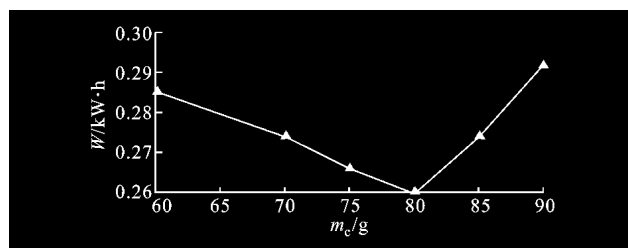


图2 耗电量随充灌量变化的曲线

应的充灌量并不一致,出现这一现象主要是由于冰箱的这两项性能指标所反映的内在参数不同.冰箱的冷却速度主要反映的是制冷能力,而耗电量则更多地与冰箱制冷系统的能效比有关,因此它们各自的最佳值所对应的最佳充灌量是不同的.

## 2.2 制冷剂/矿物油/纳米添加剂体系

由表1中的数据可以看出:

(1)应用 HFC134a/HC600a/矿物油/纳米添加剂体系的冰箱能够正常安全的运行,某些参数略优越于 HFC134a/HC600a/矿物油体系;

(2)应用 HFC134a/HC600a/矿物油/纳米添加剂体系的冰箱冷冻速度较快,蒸发器平均温度降低,压缩机出口温度有所下降,进口温度变化不大,且耗电量较少,纳米粒子的加入能够在一定程度上强化传热,提高换热效果,另外由于纳米介质的引入使原工质/矿物油体系的饱和蒸气压曲线变得平坦,使压缩机压力比变小,故而省功;

(3)应用 HFC134a/HC600a/矿物油/纳米添加剂体系的冰箱压缩机外壳温度较低,说明纳米粒子能够改善摩擦润滑性能.

表1 混合工质在最佳充灌量下应用纳米添加剂时的性能对比

|               | 制冷剂/矿物油 | 制冷剂/矿物油/纳米添加剂 |
|---------------|---------|---------------|
| 冷却时间/s        | 2 460   | 2 312         |
| 压缩机机壳温度(壁面)/℃ | 67.9    | 65.7          |
| 压缩机吸气温度(壁面)/℃ | 28.1    | 28.2          |
| 蒸发器平均温度/℃     | -37.4   | -37.7         |
| 压缩机排气温度(壁面)/℃ | 72.6    | 69.1          |
| 耗电量/kW·h      | 0.260   | 0.255         |

## 3 结 论

经过长达 72 h 的运转测试,结果表明:随着混合工质充灌量的改变,冰箱的冷却速度和耗电量均是先减小后增大,都存在一个最佳值,但最佳值各自对应的混合工质充灌量的值不同;在相同条件下,添加纳米粒子后压缩机壳温度下降,冷却速度加快,但耗电量反而减少.

从压缩机存油量来看,系统回油状况良好.纳米介质运用在冰箱制冷系统中,在一定程度上起到了强化传热、提高润滑性能及改善制冷剂与矿物油相容性的作用,是提高冰箱能效的一种潜力手段.纳米粒子的质量配比和纳米粒子种类是影响潜力的重要因素,分散剂的使用能够极大地提高纳米粒子的质量配比和分散稳定性,进而也会极大地增强纳米粒子发挥的作用,而这些有待进一步的研究和探索.

## 参考文献:

- [1] WANG Ruixiang, HAO Bo, XIE Guozhen, et al. A refrigerating system using HFC134a and mineral lubricant appended with N-TiO<sub>2</sub>(R) as working fluids[C]//Proceedings of the 4th International Symposium on HVAC. Beijing, China: Tsinghua University Press, 2003:888-892.
- [2] WANG Ruixiang, ZOU Debao, ZHANG Qinglin. An investigation on refrigerating system using HFC134a and mineral lubricant mixed with nano-particles TiO<sub>2</sub>(a) as working fluids[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Compressor and Refrigeration. Xi'an, China: Xi'an Jiaotong University Press, 2003:313-319.
- [3] ZOU Debao, WANG Ruixiang, ZHANG Qinglin. Investigation on the action of nanoparticles on the solubility and miscibility of mineral lubricant oil and HFC refrigerant [C]//Proceedings of the 4th International Conference on Compressor and Refrigeration. Xi'an, China: Xi'an Jiaotong University Press, 2003:461-469.
- [4] 徐明仿,杜维明,晏刚.混合制冷剂 R134a/R600a 应用于冰箱的研究[J].制冷与空调,2005,5(2):75-78.  
XU Mingfang, DU Weiming, YAN Gang. Study of the application of R134a/R600a mixture in refrigerator [J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2005, 5(2): 75-78.
- [5] 陈艳阳,任娜颖,晏刚.新型制冷剂研究及应用冰箱压缩机的设计[J].家电科技,2005(12):45-47.  
CHEN Yanyang, REN Nuoyin, YAN Gang. Research & application of new refrigerant and compressor design[J]. Science and Technology of Household Electric Appliance, 2005(12): 45-47.
- [6] 阎俊青,王云飞,陈蒲,等. GB/T8059.1-3 家用电器具:电冰箱[S].北京:中国标准出版社,1995.

(编辑 王焕雪)