

RC270 在冷冻冷藏箱系统中最佳充注量实验分析

周崇波¹, 杨学远², 徐厚达¹

(1.华电电力科学研究院 浙江 杭州 310030 ;2.西安交通大学 能源与动力工程学院 陕西 西安 710049)

摘要: 在 BCD- 228 冷冻冷藏箱系统中采用新型替代制冷剂环丙烷(RC270)进行了实验研究,测试不同充灌量、不同毛细管长度下的耗电量,确定了最佳充灌量,并在实验结果的基础上对毛细管长度进行优化设计,为环丙烷在冷冻冷藏箱中的推广应用提供了一定参考。

关键词: 环丙烷; 最佳充灌量; 毛细管; 优化

中图分类号:TB64

文献标识码:B

文章编号:1006-8449(2011)04-0034-04

0 引言

随着人们生活水平的不断提高,家用电器普及千家万户,尤其是空调、冰箱等制冷设备的大范围普及,家用电器的耗电量在国民生活、生产的总耗电量中占了很大比重,根据相关报道^[1],冷藏冷冻箱的耗电量占家用电器总耗电量的 32%。因此,家用电器的节能是缓解当今世界能源危机的有效途径,改善和降低制冷设备的能耗将带来巨大的社会效益和环境效益。对比国家 2003 年出台的《家用冷藏冷冻箱耗电量限定值及能效等级》新标准,能耗值较原来降低了 10% 左右^[2],而 2008 年出台的标准较 2003 年能效指数又降低了 15%~20% 左右,同时出于保护臭氧层和减少温室效应的环境要求,环保节能型制冷剂的研究是当前新型替代制冷剂的主要研究方向。本文对采用新型制冷剂环丙烷(RC270)的 BCD-228 冰箱制冷循环系统进行了实验研究,测试了最佳充灌量,并对毛细管长度进行优化实验。

1 RC270 基础物性

RC270 作为天然制冷剂加上良好的热力性质,使其成为被广泛关注的制冷剂,理论分析 RC270 比 R600a、R12 都要节能。RC270 在常温、常压下为无色、易燃、带有石油醚气味的气体,易溶于水,在 15℃ 时的溶解度为 27% (体积)。RC270 化学性质较稳定,在 400~500℃ 时才开始热解,无腐蚀性,常用的金属材料

均可适用。RC270 虽有可燃性和易爆性,可将其作为制冷剂的制冷机排气温度和电机温度远低于其燃点(497.8℃),另外对于一般小型家用空调或冰箱充注的制冷剂即使其全部泄漏在房间里,其容积浓度也不足 1%,远低于 RC270 的爆炸极限。不过 RC270 具有毒性,可使人麻醉或昏迷,曾作为医学麻醉剂,所以应加强防漏,其最高容许浓度为 400ppm。

表 1 RC270 的基础物性

项目	数值
分子量	42.08
1atm 沸点,℃	-32.8
凝固点,℃	-127.4
临界温度,℃	125.15
临界压力,kPa	5580
临界密度,kg/m ³	248
1atm 饱和蒸气密度,kg/m ³	2.288
1atm 气化潜热,kJ/kg	476.5
燃烧下限(体积百分比),%	2.4
ODP	0
GWP	很低

2 实验系统

对于环丙烷作为制冷剂的制冷循环系统的性能,上世纪 90 年代就有人开始进行研究。然而,多数文献

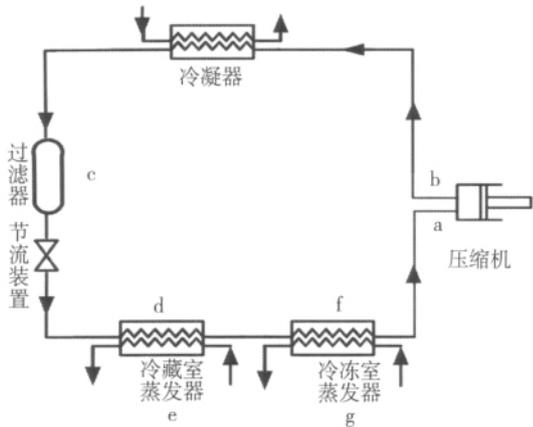


图1 制冷系统循环图

- a-吸气温度测点 b-排气温度测点 c-过滤器温度测点
- d-冷藏室蒸发温度测点 e-冷藏室平均温度测点
- f-冷冻室蒸发温度测点 g-冷冻室最高温度测点

仅仅停留在理论研究阶段^[3-6],未见实际循环的实验测试结果。本实验是在国家标准^[7](GB/T8059.2-1995)规定的冷藏冷冻箱测试实验台上完成的,采用传统的制冷循环系统,如图1所示,制冷剂由压缩机排出,进入冷凝器冷凝,再进入毛细管降温、降压,先进入冷藏室蒸发器,再进入冷冻室蒸发器蒸发吸热,最后回到压缩机,进入下一轮循环。

本实验台主要由恒温室、实验冷藏冷冻箱、实验测量仪器、环境控制系统、数据采集及处理设备部分组成。实验按国标规定进行耗电量试验,测试温度为25℃。

2.1 恒温室

恒温室是由隔热材料做成的,环境温度在10~43℃范围内可调,恒温室相对湿度小于等于90%可调,电源220V,频率50Hz。室内有可根据设定温度自动加热的加热器,使温度波动在±0.5℃之间,还有自动加湿装置以保证实验要求的湿度。

2.2 冷藏冷冻箱

实验样机为BCD-228卧式冷藏冷冻箱。冷藏室容积120L,冷冻室容积108L,2级能耗,气候类型ST型,三星级冷冻级别,额定电压220V,频率50Hz。箱左侧为冷藏室,右侧冷冻室。冷藏室、冷冻室、蒸发器均为管壁式结构,即将盘管用铝箔粘贴在箱胆外壁上。冷凝器采用双排丝管式,置于冰箱底部。

2.3 环境控制系统

环境控制系统采用的是某公司生产的两联间八工位环境控制系统,主要是控制室内环境的温度和湿度,根据设定值自动加热、加湿等功能,还可以显示每台待测冰箱的输入电压 U 、输入电流 I 、输入功率 P ,可同时测八个工位。

2.4 数据采集及处理设备

数据采集及处理系统包括数据信息采集卡、信号传输线、微型计算机、数据处理软件等部分,此系统具有可实时采集数据、传输速率快、精度高等优点。由此数据采集系统可以直接读取耗电量、压缩机平均输入功率、冷藏室冷冻室平均温度等信息。数据采集系统如图2所示。

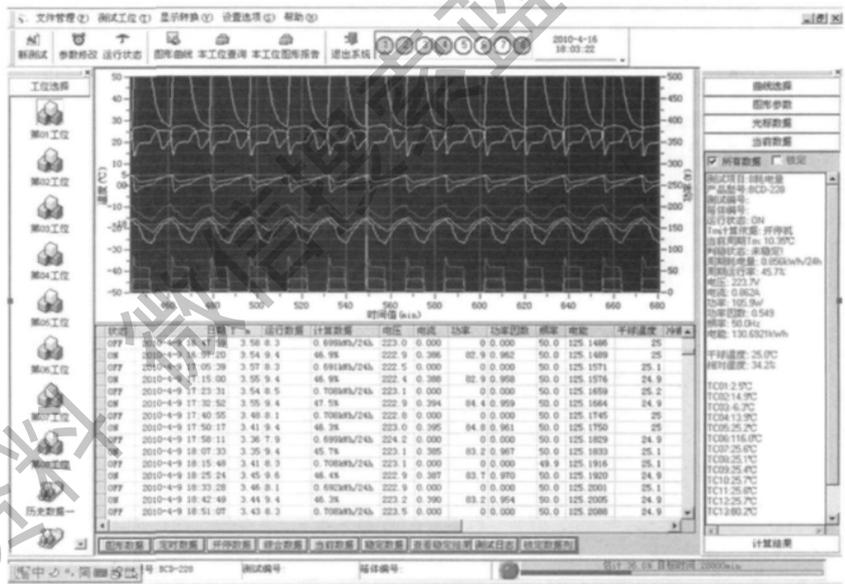


图2 数据采集系统

3 制冷性能测试

本文对RC270进行了耗电量、最佳充灌量测试以及毛细管长度优化实验。耗电量是在国标规定的条件及环境下,冰箱空载且稳定运行状态,冷藏室平均温度小于等于5℃,冷冻室最高温度小于等于-18℃条件下,测量各测温点的温度及系统的耗电量。实验样机的制冷性能测试是按国家标准GB8059.2-1995所要求的测试环境、测试条件及测试方法严格进行测试的。

3.1 最佳充灌量测试

本文测试了两根不同长度毛细管的不同充灌量实验。当制冷剂充灌量很小时,蒸发器内制冷剂流量就小,压缩机吸气量就小,导致瞬时功率小,然而流量小

制冷量就小,箱内温度不易降下来,压缩机运行时间就会增长,开停比增加,最终结果带来能耗增加。当制冷剂充灌量过量时,冷凝器中制冷剂流量就大,冷凝器散热面积有限,使得冷凝压力和温度都升高,蒸发器中的制冷剂流量增大,压缩机吸气量增加,负担加重,导致瞬时功率增大,最后同样带来能耗的增加。当制冷剂最佳充灌时,耗电量最低。基于此,本文进行了减少充灌量和剪短毛细管长度的实验,并且使冰箱各间室温度达到运行要求,各测点的温度以及耗电量值见表2。

表2 RC270 不同充灌量的耗电量实验结果

项目	制冷剂充灌量 /g						
	36	38	40	42	44	46	48
压缩机稳定输入功率 /W	101	97	90	111	119	138	146
冷藏室平均温度 /°C	2.94	3.84	4.58	1.94	4.61	1.79	0.69
冷藏室蒸发温度 /°C	0.60	1.99	2.94	-0.23	1.87	-0.47	-2.46
冷冻室最高温度 /°C	-20.9	-21.30	-21.37	-22.09	-22.61	-23.07	-22.56
冷冻室蒸发温度 /°C	-28.74	-28.67	-28.43	-30.11	-31.15	-30.77	-30.08
压缩机排气温度 /°C	60.56	57.85	56.38	60.82	63.80	68.98	70.93
压缩机吸气温度 /°C	21.02	22.32	22.81	20.56	21.91	21.53	21.42
过滤器温度 /°C	27.61	28.22	28.32	27.44	29.68	29.77	29.39
毛细管长度 /mm	3000	3000	3000	3000	3300	3300	3300
耗电量 /kWh/d	0.920	0.897	0.874	1.007	1.092	1.154	1.192

由表2可以看出,当系统运行稳定后,随着充灌量的增加,压缩机输入功率增加,能耗会相应增加。然而,由前面分析可知,充灌量不足时能耗也会增加,因此制冷系统的能耗应随制冷剂的充灌量增加,能耗先减少后增加。当毛细管规格为 $\Phi 1.6\text{mm} \times 0.64\text{mm} \times 3000\text{mm}$,制冷剂充灌量为40g,系统稳定运行压缩机输入功率90W时,耗电量最小为0.874 kWh/d。

根据能效指数计算公式^[1]:

$$\eta = \frac{E_{\text{est}} \times 365}{(M \times V_{\text{adj}} + N + CH) \times S_r} \times 100\% \quad (1)$$

式中 η —能效指数;

E_{est} —实测耗电量 /kWh/d;

V_{adj} —调整容积 /L;

M, N —参数 $M=0.697 \text{ kWh/L}, N=272 \text{ kWh}$;

CH —变温室修正系数;

S_r —修正系数。

当电冰箱内含有15L及以上容积、具有冰温区功能的变温室时, CH 取50 kWh,否则取值为零。

S_r 修正系数是当电冰箱容积小于等于100L或容积大于400L并带有穿透式自动制冰功能时, S_r 取1.1,否则取值为1。

新标准中调整容积的确定可分别由下式确定:

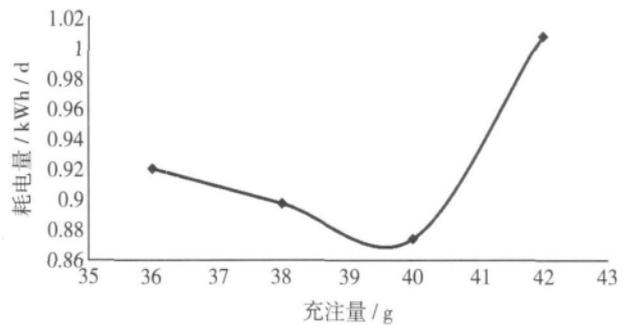


图3 毛细管长3000mm 充注量实验

$$V_{\text{adj}} = \sum_{c=1}^n V_c \times F_c \times W_c \times CC \quad (2)$$

式中 n —不同类型间室数量;

CC —气候类型修正系数;

V_c —一间室实测容积 /L;

F_c —参数,无霜系统为14,其他系统为10;

W_c —各类型间室加权系数。

调整容积的确定比旧的标准多了气候类型修正系数 CC ,对不同气候类型的冰箱规定了修正系数,对SN、N型, $CC=1$,对ST型, $CC=1.1$,对T型, $CC=1.2$ 。

通过计算,环丙烷在测试系统中最优能效指数为58.86%,达到目前国标规定的三级能耗。

3.2 实验结果分析

制冷系统的最佳充注量是确定制冷系统性能的最重要的指标,制冷剂的最佳充注量往往与节流元件的匹配与否,决定了系统能耗的多少。制冷剂的最佳充注量对系统部件的最佳匹配,系统的最佳运行影响很大,因此确定制冷剂的最佳充注量,并确定充注量于系统能耗之间的关系是本实验的重点。

本文主要进行了毛细管规格为 $\Phi 1.6 \times 0.64$,两组长度分别为3000mm、3300mm的实验。由前面分析可知在相同毛细管长度下,随充灌量的增加,系统的能耗先减小后增加,类似于抛物线规律。因此满足运行工况的条件下(冷藏室平均温度 $\leq 5^\circ\text{C}$,冷冻室最高温度 $\leq -18^\circ\text{C}$),对上述数据进行整理^[1],寻找最低能耗点,如图3所示。

图3由表2数据拟合出3000mm毛细管长度的最佳充灌量,由图可知最佳充注量坐标为(39.75, 0.871),也就是说系统的最佳充注量为40g左右,为39.75g。此时的能耗为0.871kWh/24h。

表2同时也给出了3300mm毛细管长度的最佳充灌量44g,当制冷剂充注量小于44g时,由于制冷系统

达不到工况要求(冷藏室平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$,冷冻室最高温度 $\leq -18^{\circ}\text{C}$),故此毛细管长度的制冷系统没有做更多实验数据。从图3可以得出,随着充灌量的增加,能耗先降低,当降低到最小值时能耗又增加。

4 结语

本文实测 RC270 制冷剂在 BCD-228 卧式冷藏冷冻箱系统中的最佳充灌量,并进行毛细管长度的优化设计。实验结果表明,制冷系统的能耗随充灌量的增加,逐渐降低直至最小值,然后逐渐增加,存在一个最佳充灌量,为 RC270 制冷剂在冷冻冷藏箱的推广应用提供了一定参考。由于压缩机、毛细管的几何尺寸、制冷剂充注量未能达到最佳匹配,本文仅对 RC270 测量了两种毛细管长度下能耗随充灌量的变化关系,有待进一步的实验测量以得到充灌量与毛细管长度对系统的最佳匹配,以探索新一代节能环保制冷剂。

参考文献:

[1] www.claonline.org/download/General/2001/211/The-S&L-Guidebook.

pdf[EB/OL].
 [2] 祁冰. 关注新旧版本冰箱节能标准的差异 [J]. 家电科技, 2003, (7): 34~36.
 [3] 吴之春, 马一太, 吕灿仁. 碳氢化合物与 R152a 的混合物替代小型制冷系统 R12 制冷剂的热力性能分析[J]. 制冷学报, 1994, 03: 48~53.
 [4] W K KOPKO. Beyond CFCs: Extending the search for new refrigerants[J]. *Int. J. Refrig*, 1990, 13: 79~85.
 [5] S DEVOTTA, S GOPICHAND. COMPARATIVE assessment of some flammable refrigerants as alternative to CFC12 [A]. *International Refrigeration Conference Energy Efficiency and New Refrigerants* [C]. Purdue, USA, 1992.
 [6] GEORGI S KAZACHKI. Thermodynamic evaluation of predicted fluorinated ether, ethane and propane azeotropes [A]. *International Refrigeration Conference Energy Efficiency and New Refrigerants* [C]. Purdue, USA, 1992.
 [7] GB/T 8059.2-1995, 家用制冷器具冷藏冷冻箱[S]. 中华人民共和国国家标准, 1995.
 [8] 新洲. 卧式冷藏冷冻箱双毛细管系统的理论和实验研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安交通大学, 2006-04.
 [9] GB12021.2-2008, 家用电冰箱耗电量限定值及能源效率等级[S]. 中华人民共和国国家标准, 2008.

收稿日期 2011-03-17

修回日期 2011-07-08

Experimental Analysis of the Best Charge on the RC270 Freezer and Refrigerator System

ZHOU Chong-bo¹, YANG Xue-yuan², XU Hou-da¹

(1. Huadian Electric Power Research Institute, Hangzhou 310030, China;

2. School of Energy & Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The performance of refrigeration substitute had been experimental studied detailedly when cyclopropane was used as refrigerant in the BCD-228 refrigerated container system, the power consumptions of different charge amounts and different capillary lengths were tested, the best charge amount and capillary length optimization of cyclopropane were optimized, the findings of this paper provide reference for the application of cyclopropane in the refrigerated container.

Key words: cyclopropane; best charge amount; capillary; optimization

作者简介: 周崇波(1984-),男,浙江温州人,硕士,从事电厂余热利用及热泵研究。

(上接第33页)

Study on the Classification of Evaporative Cooling Air Conditioning Terminology

XIA Qing, HUANG Xiang, YIN Qing-hai

(School of Environmental & Chemical Engineering, Xi'an University of Polytechnic, Xi'an 710048, China)

Abstract: This paper discussed the principle of classification for evaporative cooling air conditioning terminology, and described each classification content from general term, direct evaporation cooling, indirect evaporative cooling, compound evaporative cooling, water-side evaporative cooling, passive evaporative cooling, evaporative cooling climate adaptation area and indoor thermal comfort, evaporative cooling automatic control, evaporative cooling water treatment, evaporative cooling combined with other technologies etc aspects separately.

Key words: evaporative cooling; evaporative cooling air conditioning; terminology; classification

作者简介: 夏青(1987-),女,陕西榆林人,硕士研究生,研究方向:供热、供燃气、通风及空调工程。