

新型碳氢制冷剂 HCR22 在 R600a 食品 制冷系统的应用

Application of a new type of fluorine free refrigerant HCR22 in food refrigeration system

刘金光^{1,2} 熊旭波³ 王世清^{1,2}

LIU Jin-guang^{1,2} XIONG Xu-bo³ WANG Shi-qing^{1,2}

栾明川⁴ 张 岩^{1,2} 姜文利^{1,2}

LUAN Ming-chuan⁴ ZHANG Yan^{1,2} JIANG Wen-li^{1,2}

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 青岛市现代农业质量与安全工程重点实验室, 山东 青岛 266109; 3. 青岛澳维康生物科技工程有限公司, 山东 青岛 266071; 4. 青岛农业大学建筑工程学院, 山东 青岛 266109)

(1. Food Science and Engineering College, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China;

2. Qingdao Key Lab of Modern Agricultural Quality and Safety Engineering, Qingdao, Shandong 266109, China;

3. Qingdao Aoweikang Biological Engineering Technology Co. Ltd., Qingdao, Shandong 266071, China;

4. Architecture and Engineering College, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

摘要:为探讨新型碳氢制冷剂在食品制冷系统应用的可行性,基于 R600a 制冷系统,设计一套制冷系统测试装置,主要由制冷系统、温度监测系统和压力检测器等组成;用环境友好型碳氢制冷剂 HCR22 替代制冷剂 R600a,以制冷系数和制冷量为指标,对比了 2 种制冷剂的制冷效果。结果表明: HCR22 用于 R600a 系统,相比 R600a,充注量减少 13.33%,制冷系数提高 10.53%,系统节能 3.16%;系统运行 12 h, HCR22 和 R600a 的制冷量分别为 7 306.64, 6 796.68 kJ。该研究结果为新型制冷剂 HCR22 替代 R600a 提供了依据和支持。

关键词: HCR22; R600a; 制冷系统; 制冷

Abstract: In order to explore the feasibility of the application of new fluorine free refrigerant in the existing refrigeration system, a traditional one based on R600a refrigeration, a testing equipment of new refrigeration system was designed. This new testing equipment was dominated by a cooling equipment, temperature tester and pressure detector. In this study, the refrigerant R600a replaced by a new type of fluorine free refrigerant HCR22, and the coefficient of performance and cold storage capacity were taken as indexes, and

conducted an experiment for 12 h, the refrigerating capacity of two refrigerants in different quantity of charging ratio was studied. The results indicated that compared to R600a, the best filling ratio of HCR22 was less 13.33%, but the refrigeration coefficient was higher 10.53%, and the system energy was less 3.16%. When the refrigeration system was run for 12 h, the refrigeration ability of HCR22 was found better, and the cooling ability of HCR22 and R600a were 7 306.64 kJ and 6 796.68 kJ, respectively. This study provided evidences and technical support for the new type refrigerant HCR22 replacing the R600a refrigerant.

Keywords: HCR22; R600a; R12; refrigeration system; cold accumulation

制冷剂的发展,主要经历了 3 个阶段:19 世纪中期,首台机械制冷装置诞生,使用二乙醚作为制冷剂,之后,二氧化碳、氨等尝试用作制冷剂^[1];20 世纪初,氟利昂制冷剂的诞生被认为是完美的制冷剂,因其价格适中、无毒不燃和良好的热力学特性,被广泛用于制冷系统^[2];但后续研究^[3]发现,HCFC 和 CFC 分子上升至臭氧层后,能够对臭氧层造成破坏形成臭氧层空洞,此外,《蒙特利尔议定书》中也限制了 CFC 和 HCFC 类氟利昂制冷剂的使用^[4]。《蒙特利尔公约》和《京都协议书》签订后,碳氢制冷剂作为一种环保、高效、节能型制冷剂成为氟利昂制冷剂的新型替代剂^[5-6]。与氟利昂制冷剂不同,碳氢制冷剂属于天然冷剂,完全环保:只含

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31271963)

作者简介:刘金光,男,青岛农业大学在读硕士研究生。

通信作者:王世清(1961—),男,青岛农业大学教授,博士。

E-mail: wangshiqing@126.com

收稿日期:2016—10—21

有碳元素和氢元素,对臭氧层无损伤,对气候变暖影响极小;制冷更快:分子量小,冷凝传热系数更高;用量少:充注量仅为氟利昂制冷剂的30%~45%;但碳氢制冷剂有易燃性,在运输及使用中需避免明火和强烈碰撞^[7-10]。

现阶段,氟利昂制冷剂的替代剂主要有碳氢制冷剂(R600a、R290)和过渡型制冷剂(R134a、R407C和R410A)^[11]。德国等欧洲国家用R600a取代R12,中国冰箱大部分用R600a作为制冷剂^[12]。但家用冰箱R600a的充注量不能超过150g^[13],因此,美国和日本使用R134a替代R12,R134a特性与R12相近,但对系统干燥和清洁要求极高^[14]。

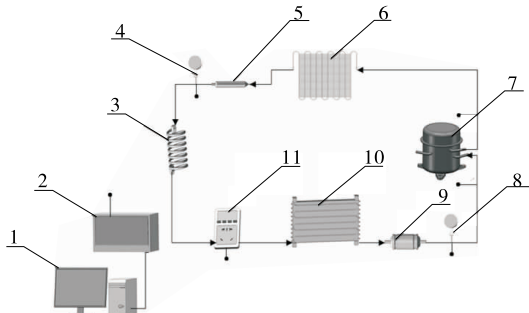
HCR22是一种新型碳氢制冷剂,是丙烷和丁烷的混合烷烃,可直接用于已有的制冷设备,无需更换压缩机、管道和冷冻润滑油^[15],相比R600a,HCR22更安全:分子量小,运输及维修中气压更低,噪声更小;等熵压缩比功小,减小了压缩机的负载^[16];制冷更迅速:凝固点低、蒸发潜热更大。HCR22在欧洲国家已初步试用:取代制冷剂R22用于空调制冷;取代制冷剂R404a和R410A用于低温冷藏库等。吴青松^[17]研究发现HCR22可直接用于制冷空调且运行负荷更低。因此,本研究尝试使用新型碳氢制冷剂HCR22替换现有的碳氢制冷剂R600a用于R600a制冷系统,通过对比2种碳氢制冷剂的制冷效果,以期验证HCR22制冷剂可直接用于R600a制冷系统,且制冷更安全、高效,并为HCR22制冷剂替代R600a制冷剂提供技术支持。

1 试验装置及试验设计

1.1 试验装置

本试验装置由制冷系统、温度监测系统和压力检测器等组成,见图1。制冷系统包括蓄水池、压缩机、冷凝器、膨胀阀和蒸发器等结构,压缩机工艺管口处焊接制冷剂充注阀;高压传感器安装于干燥过滤器与膨胀阀连接处,测量压缩机排气压力,低压传感器安装于压缩机工艺管口处,测量压缩机吸气压力;此外,系统中接入功率记录仪采集系统实时功率。蒸发器置于蓄水池中,蓄水池内蓄水200L。

R600a制冷系统:澳柯玛BC/BD-203HN(内部尺寸:946mm×577mm×841mm,有效容积:200L,压缩机型号:PZ99H1C,制冷剂:R600a)。



1. 计算机 2. 数据记录仪 3. 膨胀阀 4. 压力传感器 A 5. 干燥过滤器 6. 冷凝器 7. 压缩机 8. 压力传感器 B 9. 集液管 10. 蒸发器 11. 功率记录仪

图1 试验装置图

Figure 1 Refrigeration system

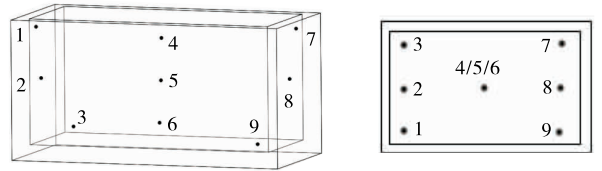
1.2 制冷剂供给

新型碳氢制冷剂:仁天和 HCR22,惠州仁天和节能环保科技有限公司;

普通碳氢制冷剂:金莱尔 R600a,襄阳金莱尔制冷化工有限公司。

1.3 温度测试点分布

试验设施测温点布置见图2,蓄水池内安装1~9号测温点,压缩机低压管口和高压管口分别布置10和11号测温点,测试压缩机的吸气和排气温度,12号测温点显示室内温度。各温度测试点的实时温度由TP-1000 64路温度记录仪收集、记录,精度为0.2℃,采集间隔为5s,试验周期为12h。试验期间室内温度保持在(15.0±0.5)℃。



(a) 蓄水池测温点布置图 (b) 蓄水池测温点布置俯视图

1~9表示安装在蓄水池内的测温点

图2 制冷系统温度测试点分布图

Figure 2 The thermocouples distribution of refrigeration system

1.4 试验原理

制冷系统中充入制冷剂后,蒸发器中低压液体工质吸收蓄水池中水的热量汽化,饱和工质蒸气经压缩机吸入后压缩成高温高压气体,进入冷凝器液化并释放出潜热,高压液体经毛细管节流降压后流入蒸发器。制冷系统利用电能,借助制冷剂的物态变化,将蒸发器周围的热量搬运到冷凝器并释放出来,伴随着制冷剂不断的蒸发吸热、液化放热两个过程达到制冷的目的。

本试验使用R600a制冷系统,选用HCR22和R600a新旧2种碳氢制冷剂,制冷系统压缩机最大功率运行,蓄水池内水从室温(15℃)开始蓄冷。

1.5 试验测试

试验装置置于室温(15℃)环境,对本试验制冷系统不同充注量制冷效果试验,获得系统最佳制冷效果时的充注量;比较2种制冷剂最佳充液时的降温曲线,分析其制冷效果的差异。

制冷剂选用R600a,充注量选择60,65,70,75,80g;制冷剂选用HCR22,充注量选择:50,55,60,65,70g。记录系统运行12h蓄水池的实时水温和系统压力、功率等数据。

1.6 测试指标

1.6.1 充注量 制冷剂充注过少,蒸发器的传热面积得不到充分利用,压缩机持续运转,能耗增加;制冷剂充注过多,冷凝温度持续升高,威胁电机运行^[18]。

1.6.2 压缩机吸气和排气压力 制冷循环中,压缩机对制冷剂进行抽吸、压缩和排出工作,吸气压力和排气压力值及比值大小是压缩机性能的重要参数;吸气压力还直接影响制冷

剂的比容以及压缩机工作电流和输入功率^[19]。

1.6.3 制冷量 本试验制冷系统测试装置工作 12 h 的制冷量可由式(1)计算:

$$Q_0 = C_0 M_0 \Delta T, \quad (1)$$

式中:

Q_0 ——制冷量, kJ;

C_0 ——常压水的比热容(15 °C), 4.18 kJ/(kg · °C);

M_0 ——常压水的质量, kg;

ΔT ——降温温差, °C。

1.6.4 制冷系数 制冷性能系数(COP)指单位功耗所能获得的冷量, 制冷系数越大, 表示制冷系统能源利用效率越高^[20]。本试验中用式(2)表示制冷系数 ϵ 。

$$\epsilon = \frac{Q_0}{W_0}, \quad (2)$$

式中:

ϵ ——制冷系数;

W_0 ——制冷系统做功, kJ。

同一制冷剂, 不同工况下制冷量换算见式(3)。

$$Q_{0(B)} = Q_{0(A)} \frac{\eta_{v(B)} Q_{v(B)}}{\eta_{v(A)} Q_{v(A)}}, \quad (3)$$

式中:

$Q_{0(A)}$ ——压缩机在 A 工况时的制冷量, kW;

$\eta_{v(A)}$ ——压缩机在 A 工况时的容积效率;

$q_{v(A)}$ ——压缩机在 A 工况时的单位容积制冷量, kJ/m³;

$Q_{0(B)}$ ——压缩机在 B 工况时的制冷量, kW;

$\eta_{v(B)}$ ——压缩机在 B 工况时的容积效率;

$q_{v(B)}$ ——压缩机在 B 工况时的单位容积制冷量, kJ/m³。

1.6.5 统计与分析 试验均重复 3 次, 取平均值, 试验数据统计分析采用 SPSS 统计软件, 差异显著水平为 0.05。

2 结果与分析

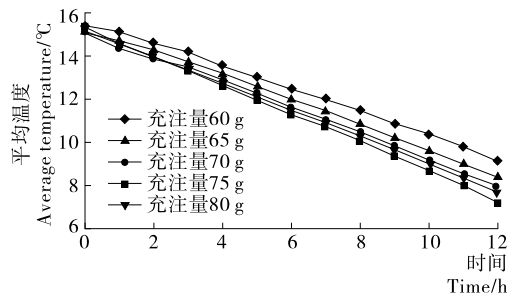
2.1 制冷剂充注量对制冷效果的影响

由图 3(a)可知, R600a 为制冷剂, 试验的前 4 h, 充注量为 70, 75, 80 g 时蓄水池温度相差甚微, 在此阶段系统制冷量无显著差异($P > 0.05$), 系统运行 4 h 后, 充注量为 75 g 时蓄水池温度显著低于其他充注量时的温度($P < 0.05$), 因此, 本系统 R600a 的最佳充注量为 75 g; 系统运行 12 h, 充注量为 60, 65, 70, 75, 80 g 时蓄水池的水温分别降低了 6.26, 6.74, 7.06, 8.13, 7.42 °C, 制冷量分别为 5 233.36, 5 634.64, 5 902.16, 6 796.68, 6 203.12 kJ。

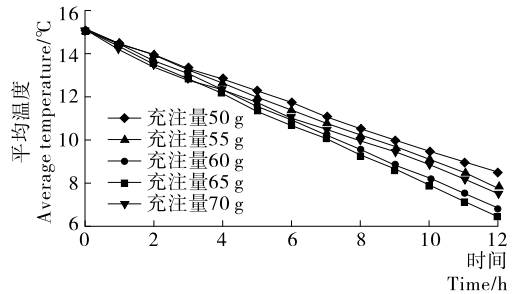
由图 3(b)可知, HCR22 为制冷剂, 系统运行 4 h 后, 充注量为 65 g 时蓄水池温度显著低于其他充注量时的温度($P < 0.05$), 系统运行 12 h, 65 g 充注量时蓄水池温度降低最大, 为 8.74 °C; 因此, HCR22 用于 R600a 制冷系统的最佳充注量为 65 g, 12 h 时的制冷量为 7 306.64 kJ。

2.2 制冷系统压缩机吸气和排气压力

表 1 和表 2 为制冷系统使用 R600a 和 HCR22 制冷剂的运行参数, 表 1 数据显示, 制冷剂为 R600a, 压缩机吸气温度



(a) R600a 充注量对系统制冷效果的影响



(b) HCR22 充注量对系统制冷效果的影响

图 3 R600a 制冷系统冷剂充注量对制冷效果的影响

Figure 3 Cooling effect of refrigerant filling quantity in R600a refrigeration system

表 1 制冷系统使用 R600a 制冷剂的运行参数

Table 1 Operating parameters of R600a in refrigeration system

R600a 充注量/g	吸气压力/MPa	排气压力/MPa	吸气温度/°C	排气温度/°C	功率/W
60	-0.01	0.46	0.71	55.89	111.50
65	-0.02	0.47	0.68	55.40	121.40
70	-0.02	0.46	0.69	55.60	115.10
75	-0.01	0.48	0.71	56.00	118.70
80	-0.01	0.51	0.72	56.20	124.70

表 2 制冷系统使用 HCR22 制冷剂的运行参数

Table 2 Operating parameters of HCR22 in refrigeration system

HCR22 充注量/g	吸气压力/MPa	排气压力/MPa	吸气温度/°C	排气温度/°C	功率/W
50	-0.02	0.36	0.67	60.00	109.00
55	-0.02	0.35	0.69	59.80	116.40
60	-0.01	0.36	0.72	60.40	113.70
65	-0.01	0.38	0.70	61.90	115.06
70	-0.01	0.40	0.72	62.30	122.50

为 0.68~0.72 °C, 排气温度为 55.40~56.20 °C, 吸气压力为 -0.02~-0.01 MPa, 排气压力为 0.46~0.51 MPa; 由表 2 可知, 制冷剂为 HCR22, 压缩机吸气温度为 0.67~0.72 °C, 排气温度为 59.80~62.30 °C, 吸气压力为 -0.02~-0.01 MPa, 排气压力为 0.35~0.40 MPa。

对比表 1 和表 2, HCR22 作为制冷剂, 相比 R600a, 压缩机吸气温度近似, 排气温度高 6.40~6.90 °C, 吸气压力相同,

排气压力低 0.06~0.16 MPa,最佳制冷效果时 HCR22 的系统能耗比 R600a 低 3.16%。

2.3 HCR22 和 R600a 最佳制冷效果对比

图 4 为 HCR22 和 R600a 最佳制冷效果对比。由图 4 可知,HCR22 和 R600a 最佳制冷效果对应的蓄水池温度分别降低了 8.74,8.13 °C,制冷量分别为 7 306.64,6 796.68 kJ。对比 2 条温度变化曲线可以看出,两者变化趋势近乎相同,均未出现温差的骤变,可见,HCR22 用于 R600a 制冷系统与 R600a 有同样的制冷稳定性,且 HCR22 的制冷量优于 R600a。R600a 制冷系统使用 HCR22 和 R600a 最佳制冷效果时的相关参数见表 3。

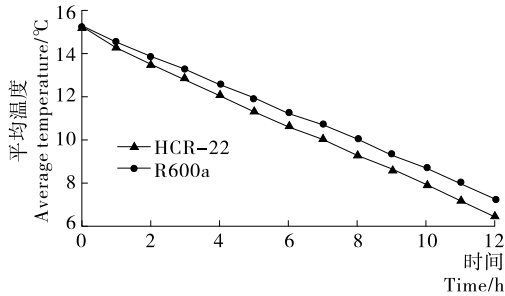


图 4 HCR22 和 R600a 最佳制冷效果对比

Figure 4 Comparison of the best cooling effect of HCR22 and R600a

表 3 HCR22 和 R600a 最佳制冷效果的相关参数

Table 3 The relevant parameters of the best cooling effect of HCR22 and R600a

制冷剂种类	制冷剂充注量/g	水的温度/°C	能耗/kJ	制冷系数
HCR22	65.00	8.74	4 970.50	1.47
R600a	75.00	8.13	5 127.84	1.33

由表 3 可知,R600a 制冷系统,HCR22 的制冷系数比 R600a 制冷剂高 10.52%,且 HCR22 最佳充注量比 R600a 最佳充注量少 13.33%,此外,制冷剂为 HCR22 时蓄水池温度低 0.61 °C。

综上所述:在制冷量和制冷稳定性方面,HCR22 制冷剂可以替代 R600a 制冷剂直接用于 R600a 制冷系统,且系统压力更低、制冷系数更高,充注量更少,制冷量更大。

3 结论

本试验将新型碳氢制冷剂(HCR22)应用于食品制冷系统,实现了制冷的环保、高效和节能。研究结果表明:

(1) HCR22 用于 R600a 制冷系统,相比 R600a,HCR22 制冷剂的制冷系数高 10.53%,且充注量减少 13.33%,节能 3.16%;系统运行 12 h,HCR22 和 R600a 使蓄水池的温度分别降低了 8.74,8.13 °C,制冷量分别为 7 306.64,6 796.68 kJ。

(2) 试验装置置于室温(15 °C)环境试验,压缩机达到制冷指定温度之后的情况如何,待后续研究。

HCR22 制冷剂能够弥补氟利昂类制冷剂对臭氧层破坏和引起气候变暖的缺陷,相比 R600a,HCR22 更安全,充注量更少,制冷系数更高。试验证明 HCR22 可直接替换 R600a 用于制冷系统,在碳氢制冷剂的运输和使用时,应远离明火、

避免碰撞,此外,今后试验需对 HCR22 制冷剂的其他性质进行研究以实现在其他制冷系统的替代,以期用新型碳氢制冷剂(HCR22)完全替代传统卤代烃制冷剂和现有的碳氢制冷剂。

参考文献

- [1] 刘洋漳. “绿色”制冷剂 R600a 特性及维修工艺探讨[J]. 科学中国人, 2015(11): 27-29.
- [2] 毛海萍. R22 氟利昂制冷剂的替代[J]. 压缩机技术, 2011(3): 27-29.
- [3] 李静, 刘玉柱, 程启源, 等. 氟利昂 R12 及其替代物的分子构型和特征光谱研究[J]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2016(4): 327-332.
- [4] BENEDICK, RICHARD E. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer[J]. International Negotiation, 1996, 1(2): 231-246.
- [5] KI J P, DONGSOO J. Performance of R290 and R1270 for R22 applications with evaporator and condenser temperature variation [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2008, 22 (3): 532-537.
- [6] 李干杰. 推出更多节能环保产品[R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2013.
- [8] 钟志锋, 胡杰浩, 李小燕, 等. 碳氢制冷剂在大中型商用设备的研究现状[J]. 制冷学报, 2015(1): 30-35.
- [7] AHAMED J U, SAIDUR R, MASJUKI H H. Investigation of environmental and heat transfer analysis of air conditioner using hydrocarbon mixture compared to R-22[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2014, 39(5): 4 141-4 150.
- [9] 秦延斌, 张华, 邱金友, 等. 碳氢制冷剂 R290 最新研究进展[J]. 制冷技术, 2015(6): 45-51.
- [10] 钟志锋, 胡杰浩, 冯卉, 等. 碳氢制冷剂在小型商用冷柜上应用分析[J]. 制冷学报, 2015(2): 8-13.
- [11] MACLAINE I L. Usage and risk of hydrocarbon refrigerants in motor cars for Australia and the United States[J]. International Journal of Refrigeration, 2004, 27(4): 339-345.
- [12] 于昊, 邓雅静. 碳氢制冷剂: 前景更加开阔[J]. 电器, 2014(3): 11-12.
- [13] 管志俊. R600a 冰箱压缩机噪声分析及解决方法[J]. 机械制造, 2011, 49(10): 39-41.
- [14] 时阳. 制冷技术与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2015: 79-106.
- [15] TASHTOUSH B, TAHAT M, SHUDEIFAT M A. Experimental study of new refrigerant mixtures to replace R12 in domestic refrigerators[J]. Applied Thermal Engineering, 2002, 22(5): 495-506.
- [16] MILLER F K, BRISSON J G. Proof-of-principle measurements of the superfluid joule-thomson refrigerator concept[J]. Journal of Low Temperature Physics, 2005, 141(3): 179-190.
- [17] 吴青松, 杨良根. 高新技术全新节能环保空调雪种 HCR22 碳氢制冷剂的应用分析[J]. 企业技术开发, 2011, 30(6): 11-13.
- [18] 居德祯. 小型制冷设备及家用电冰箱定量充液装置[J]. 流体机械, 2007(9): 61-63.
- [19] 卢柱华. 电冰箱压缩机产冷量测试中的“吸气压力”及其测定 [J]. 家用电器科技, 2012(5): 7-8.
- [20] 肖宇玲, 张艳超, 何济洲. 非卡诺制冷机在最大品质因子下的制冷系数[J]. 机械工程学报, 2013(24): 161-164.