

文章编号: 0253-4339(2012)01-0014-04

doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2012.01.014

R32制冷系统降低排气温度的方法研究

秦妍 张剑飞

(大连三洋压缩机有限公司 大连 116033)

摘要 从理论与实验两方面分析了R32替代R410A后, 制冷系统运行参数的变化, 提出了采用补气方法降低R32系统排气温度的方法。并以某厂家5HP空调器进行实验, 对比了同一系统采用两种不同的制冷剂后, 系统充注量、换热量、功率、COP、排气温度等参数的变化; 分析了不同工况下补气对系统排气温度、换热量、COP的影响。结果表明: R32替代R410A后, 系统能力及能效均有所提升, 同时排气温度也上升; 采用补气方法后, 能够有效降低排气温度, 同时在一定程度上增加换热量及COP。R32是一种具有潜力的替代制冷剂, 采用补气系统, 将打破排气温度过高对其应用的限制。

关键词 热工学; R32; 补气; 排气温度; 能效比

中图分类号: TB61⁺2; TU831.3⁺7

文献标识码: A

Study on the Method of Reducing Discharge Temperature of Refrigerant System with R32

Qin Yan Zhang Jianfei

(Dalian Sanyo Compressor Co., Ltd., Dalian, 116033, China)

Abstract This paper analyzed theoretically the change of refrigerant system after replacement of R410 with R32. Such replacement led to the increase of the discharge temperature of the system. The method of gas refrigerant injection was proposed to reduce the discharge temperature. Some experiments were made to investigate the variation of refrigerant system on charging rate, capacity, COP, discharge temperature after the replacement of R410A with R32. The results showed that, comparing with R410a system, the capacity, COP and discharge temperature of R32 were increased, and the R32 system with gas refrigerant injection can reduce effectively the discharge temperature, and increase the capacity and COP. It can be concluded that R32 is a promising refrigerant candidate, and the limitation brought by high discharge temperature of R32 can be broken with the gas refrigerant injection system.

Keywords Pyrology; R32; Gas injection; Discharge temperature; COP

随着工业的发展与制冷技术的不断进步, 人们关注制冷产品高能效低成本的同时, 对环境友好性的要求越来越高。特别是《蒙特利尔协议》中关于加速淘汰HCFCs的规定, 尽快寻找合适的R22替代制冷剂, 在ODP为零的前提下, 尽量降低GWP值, 是势在必行的工作。

R32作为R410A的一个组成部分, 早在上世纪九十年代就被国内广大学者所关注, 西安交通大学、清华大学等高校率先进行了R32的饱和蒸气压^[1]、饱和气体导热系数^[2]、饱和液体粘度^[3]、热力学性质^[4]的研究, 为R32作为替代制冷剂的研究提供了重要的基础数据。但是, 由于R32存在安全性的隐患, 长期以来一直没有被应用于产品。近年来, 随着低GWP要求的压力逐渐增大, ASHRAE对R32的安全归类标准从A2级降至A2L级, 大量研究机构和厂家又对R32展开了性能验证。从风冷到

水冷, 从定频到变频, 从空调到热泵热水器, 展开了大量实验研究和理论分析^[5-7], 结果表明, R32具有较好的应用前景。

1 R32的物理特性及循环特性

R32作为R410A组分的一种, 与R410A相比, 具有相近的压力、更好的传热性能和较低的粘度的特性。关于R22、R410A与R32物理特性与循环特性的具体数据详见表1和表2

从循环特性上看, R32与R410A压力接近, R32的容积制冷量提高10.87%, 容积压缩功增加7.97%, 整体能效提升2.69%, 但同时, 排气温度提高21.97℃, 从现有的实验研究结果看, 实际系统运行数据^[5-7]与理论分析接近。理论与实际测试结果证明, R32具有较好的传热性能和较高的能效, 而能否解决排气温度高的问题, 成为R32在实

际应用中广泛推广的一个技术壁垒。大金公司首先提出通过控制压缩机吸气干度的方式,以解决排气温度过高的问题。测试证明,在一定的温度范围内,适当降低吸气干度,可以起到降低排气温度的作用,同时通过了压缩机可靠性测试。但是,从压缩机安全性考虑,这种降低吸气干度的方法对于压缩机来说存在一定风险。基于此考虑,这里从理论和实验两方面分析补气的方法在降低R32系统排气温度方面的效果。

表1 R32、R22及R410A的物理性质对比

Tab.1 Physics character comparative of R32, R22 and R410A

项目	R22	R410A	R32
化学式	CHCLF ₂	R32/R125	CH ₂ F ₃
沸点/℃	-40.8	-51.5	-51.7
临界温度/℃	96	72.1	78.1
临界压力/MPa	7.99	7.93	5.81
可燃性	不可燃	不可燃	不可燃
毒性	无	无	无
GWP	1700	2100	675
ODP	0.034	0	0
摩尔质量	86.47	72.58	52.02
相对充注量	1	0.84	0.6

表2 R32、R22及R410A循环特性¹⁾对比

Tab.2 Refrigeration cycle character of R32, R22 and R410A

项目	R22	R410A	R32	R32/R2	R32/ R410A
吸气压力/MPa	0.625	0.998	1.018	62.88%	2.00%
排气压力/MPa	2.146	3.385	3.472	61.79%	2.57%
压比	3.43	3.39	3.41	-0.58%	0.59%
排气温度/℃	100.05	96.44	118.41	18.36 ²⁾	21.97 ²⁾
单位容积制冷量/(kJ/m ³)	3956	5595	6203	56.80%	10.87%
吸气比容/(m ³ /kg)	0.04	0.02813	0.03886	-2.85%	34.14%
单位质量制冷量/(kJ/kg)	158.24	157.39	241.05	52.33%	53.15%
单位容积压缩功/(kJ/m ³)	1169	1821.9	1967.06	68.27%	7.97%
COP	3.38	3.07	3.15	-6.82%	2.69%

注: 1) 工况ET=7.2℃, CT=54.4℃, SH=11.1K, SC=8.3K等焓效率=0.7; 2) 排气温度中第四、五列数据为R32与R22温度差。

2 R32系统降低排气温度的实验设计

2.1 实验系统设计

为了验证R32替代R410A的系统运行特性,同时考察补气对R32系统循环性能及排气温度的影

响,设计了一组实验,在焓差实验室利用5HP空调器进行测试。图1是焓差实验装置图,图2与图3分别是测试的制冷系统原理图及压焓图。

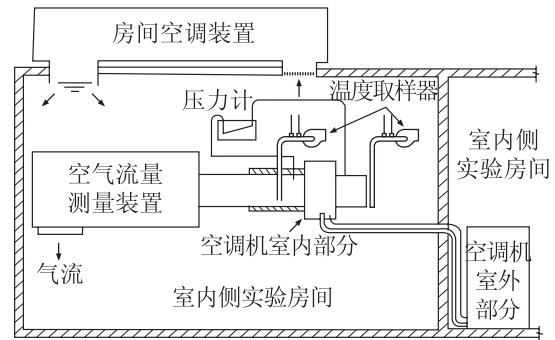


图1 焓差实验装置图

Fig.1 Equipment of enthalpy difference experiment

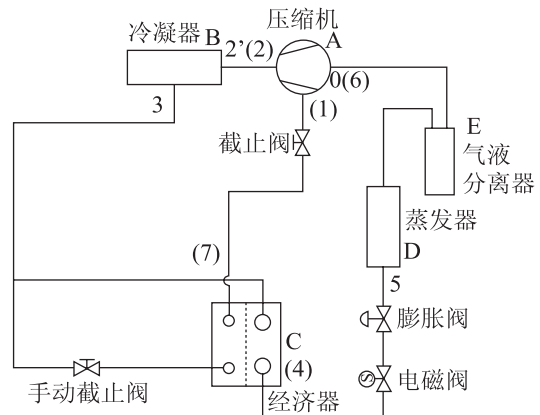


图2 测试系统原理图

Fig.2 Principle picture of experimental system

表3 实验工况表

Tab.3 Experimental conditions

序号	工况	室外温度/℃		室内温度/℃		测试项目
		干球	湿球	干球	湿球	
1	标准制冷	35	-	27	19	R410A
2	标准制热	7	6	20	15	R32
3	低温制热	-7	-8	20	15	补气/
4	低温制热	-15	-16	20	15	不补气

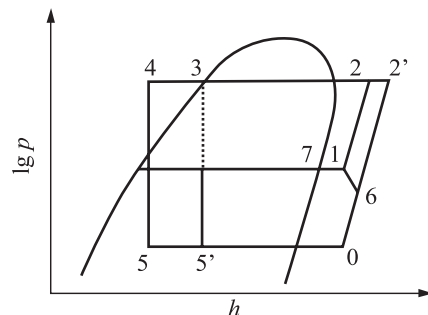


图3 测试系统补气工况压焓图

Fig.3 p-h picture of gas injecting system

补气形式的压缩机最初是针对低环境温度,大压比的工况而开发设计的。图2所示测试系统

中,当关闭经济器前端的截止阀时,系统为普通制冷循环;当经济器前端截止阀通电开启时,系统为补气系统。从冷凝器B出来的液体制冷剂一部分节流后对系统内主路循环制冷剂进行过冷,然后喷入压缩机中间腔对涡旋盘进行冷却。图3中0-2'-3-5'是普通制冷循环,0-6-1-2-4-5-0是补气增焓循环。

普通制冷循环中,制冷量是:

$$Q_0 = \dot{m}(h_0 - h_5')$$

式中, $\dot{m}$ 为进入蒸发器的制冷剂质量流量。

补气增焓循环中,制冷量是:

$$Q_0' = \dot{m}(h_0 - h_5)$$

两种循环中,经过蒸发器的制冷剂质量流量相同,补气增焓循环中,蒸发器入口处焓值更小,因此补气系统蒸发器焓差更大,即冷量较普通循环大。

在补气增焓循环中,由于在压缩机中间腔喷入制冷剂气体,压缩机排气由2'点变化至2点,温度降低。整个过程系统冷量增加,功率上升,压缩机排气温度下降。表3是实际测试工况设计。

2.2 测试需要解决的问题

搭建测试系统后,主要从三个方面进行实验验证,解决如下问题:1) R32系统最佳制冷剂充注量确认:根据COP最大化原则确认R32系统的最佳充注量,与R410A系统进行对比;2) R32与R410A系统运行特性比较:换热量、COP、排气温度对比;3) 补气对系统排气温度及其他运行性能的影响。

3 测试结果及分析

3.1 R32替代R410A系统充注量测试

一般观点认为,制冷剂的充注量与分子摩尔质量成正比。从现有的研究测试结果来看,在不改变系统的前提下,R32替代R410A后,制冷剂充注

量质量百分比在60%~82%左右浮动^[6-7]。测试首先根据COP最大原则确认两种制冷剂最佳充注量,结果如图4、图5。从测试结果看,R410A最佳充注量为4.0kg,R32最佳充注量2.9kg,R32大约为R410A的72.5%,与二者摩尔质量比71.9%接近。

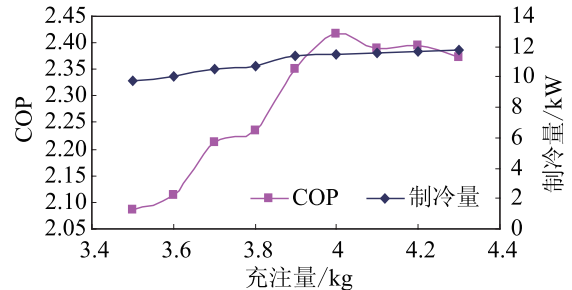


图4 R410A制冷剂充注量确认测试

Fig.4 Refrigeration charging confirm of R410A

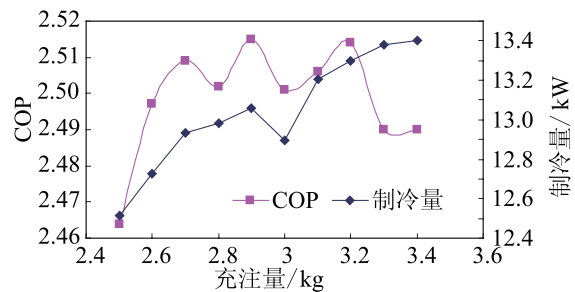


图5 R32制冷剂充注量确认测试

Fig.5 Refrigeration charging confirm of R32

3.2 R32与R410A系统循环特性分析

对被试机分别充注R32与R410A制冷剂,在空调标准制冷工况下对比两种制冷剂系统循环特性,测试结果如表4。

从表4数据中可见,在空调运行标准制冷工况下,R32与R410A相比,前者换热量高13%,功率高8.89%,COP高4.01%,排气温度高25℃,实测值与理论计算值接近。

3.3 补气对R32系统运行性能的影响

从上面的测试结果可以看到,由于R32替代

表4 R410A与R32测试对比
Tab.4 Comparison of R32 and R410A

项目	制冷剂	制冷剂充注量/kg	换热量(容积制冷量)/(kW/(kJ/m ³))	输入功率(容积输入功)/(kW/(kW/m ³))	COP	冷凝温度/℃	蒸发温度/℃	吸气/℃	排气/℃
实测	R410A	4	11.515	4.767	2.416	48.96	3.81	11.29	84.43
	R32	2.9	13.057	5.191	2.515	49.92	4.33	13.33	109.3
理论	R410A	—	4878	1742.052	2.8	—	—	—	89.89
	R32	—	5770	1919.312	3.01	—	—	—	115.74
对比	实测%								
	R32/R410A	-27.50%	13.39%	8.89%	4.10%	1.96%	13.65%	18.07%	24.87K
	理论%								
	R32/R410A	—	18.29%	10.18%	7.50%	—	—	—	25.85K

R410A后, 排气温度高20℃以上, 在标准测试工况下, 排气温度尚能满足压缩机工作范围, 在低蒸发温度、大压比的情况下, 压缩机排气温度过高, 将影响其使用寿命, 因此引入补气方式以降低压缩机排气温度。

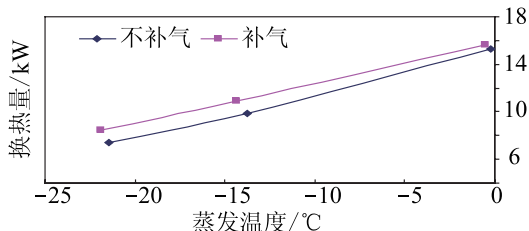


图6 R32在补气及不补气条件下换热量改进效果图
Fig.6 Capacity comparison of R32 at gas-injection and non-injection

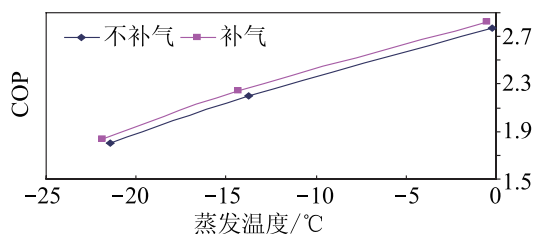


图7 R32在补气及不补气条件下COP改进效果图
Fig.7 COP comparison of R32 at gas-injection and non-injection

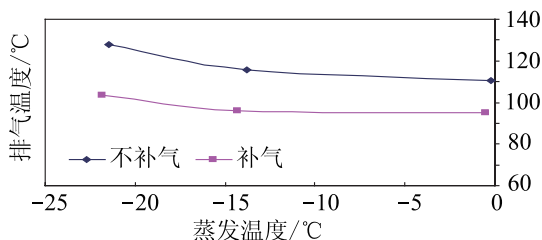


图8 R32补气及不补气条件下排气温度改进效果图
Fig.8 Discharge temperature comparison of R32 at gas-injection and non-injection

图6~图8是R32系统不同工况下, 补气对系统性能及排气温度的影响。从图中可以看出, 在蒸发温度0~-20℃时, 补气后系统换热量增加2%~14%, COP提升2%, 排气温度降低15℃以上, 排气温度控制在110℃以下, 而且蒸发温度越低, 系统性能提升越明显。

4 结论

从理论和实验角度分析了R32替代R410A的系统循环特性, 提出了采用补气方法以降低R32排气温度, 主要结论如下: 1) 在同一系统下, R32系统充注量是R410A的72.5%, 与二者摩尔质量比接近。2) 在空调运行标准制冷工况下, R32与R410A比较, 换热量提高13%, 功率提高8.89%, COP提高4.01%, 排气温度提高25℃, 实测值与理论计算

值接近。3) R32采用补气后, 排气温度降低15℃以上, 控制在压缩机安全运行范围内, 换热量及性能均有所提升, 且随着蒸发温度的降低, 提升效果越来越明显。

参考文献

- [1] 项红卫, 谭连诚. HFC32饱和蒸汽压的研究-实验测定和新型方程[J]. 制冷学报, 1994, 15(3): 6-10. (Xiang Hongwei, Tan Liancheng. HFC32 Saturated Steam Pressure of Experimental Measurement and Model Equation[J]. Journal of Refrigeration, 1994, 15(3): 6-10.)
- [2] 孙立群, 朱明善, 韩礼钟, 等. HFC32饱和气导热系数的实验研究[J]. 工程热物理学报, 1997, 18(4): 393-396. (Sun Liqun, Zhu Mingshan, Han Lizhong, et al. The Experimental Research of the Thermal Conductivity of Gaseous HFC-32 Near the Saturation Line[J]. Journal of Engineering Thermo-physics, 1997, 18(4): 393-396.)
- [3] 孙立群, 朱明善, 韩礼钟, 等. HFC32饱和液粘度的实验研究[J]. 工程热物理学报, 1996, 17(4): 393-396. (Sun Liqun, Zhu Mingshan, Han Lizhong, et al. Experimental Research of the Viscosity of Saturated Liquid HFC32[J]. Journal of Engineering Thermo-physics, 1996, 17(4): 393-396.)
- [4] 段远源, 项红卫, 史琳, 等. HFC32的热力学性质[J]. 工程热物理学报, 1998, 19(2): 137-140. (Duan Yuanyuan, Xiang Hongwei, Shi Lin, et al. Thermodynamic Properties of HFC-32[J]. Journal of Engineering Thermo-physics, 1998, 19(2): 137-140.)
- [5] 史琳, 朱明善. 家用/商用空调使用R32替代R22的再分析[J]. 制冷学报, 2010, (31) 1:1-5. (Shi Lin, Zhu Mingshan. Re-analysis on Using R32 to Substitute for R22 in Household/Commercial Air-Conditioning[J]. Journal of Refrigeration, 2010, (31) 1:1-5.)
- [6] 梅奎, 李明, 梁路军. R32和R410A循环特性对比研究[J]. 制冷与空调, 2011, 11(2):56-59. (Mei Kui, Li Ming, Liang Lujun. Comparative Research on the Cycle Performance of R32 & R410A[J]. Refrigeration and Air-Conditioning, 2011, 11(2):56-59.)
- [7] 矢岛龙三郎, 吉见敦史, 朴春成. 降低压缩机排气温度的方法[J]. 制冷与空调, 2011, 2(11):60-64. (Ruzaburo Yajima, Atsushi Yoshimi, Chun-cheng Piao. Measures to Reduce the Discharge Temperature of R32 Compressor, 2011 (11):60-64.)

通讯作者简介

秦妍, 女(1978-), 工程师, 大连三洋压缩机有限公司研发中心, 大连市甘井子区东海路78号, 116033, (0411) 62658250, E-mail: yan_qin@sanyocomp.com. 研究方向: 空调系统匹配, 换热器设计传热计算, 制冷剂替代研究。

About the corresponding author

Qin Yan (1978-), female, Engineer, Dalian Sanyo Compressor Co., Ltd. R&D Center, 78# Donghai Road, Ganjingzi region, Dalian, China, 116033, (0411)-62658250, E-mail: yan_qin@sanyocomp.com. Research fields: Refrigerating system matching, Exchanger calculating and designing, Refrigerant substitute.