

文章编号: 1671-6612 (2023) 01-137-05

R32 与 R410A 家用空调器性能对比分析

刘思哲 张 超

(中原工学院能源与环境学院 郑州 451191)

【摘 要】 根据中国 2030 年“碳达峰”与 2060 年“碳中和”的整体目标, 制冷空调产业制冷剂的更替速度不断加快。R32 作为 R410A 的一种过渡性替代制冷剂, 已经逐步在家用空调系统推广使用。采用实验研究的方法, 采用搭配 $\Phi 5\text{mm}$ 蒸发器的同一家用空调系统, 分别采用 R32 和 R410A 作为制冷剂, 在 7 种不同工况下对空调系统的性能进行了测试。实验分析结果表明: R32 可以在不改变空调系统结构的前提下直接替代 R410A; 且 R32 系统制冷(热)能力、能效比均高于 R410A; R32 系统排气温度略高于 R410A, 且全年能源消耗率也高于 R410A。研究结果为 R32 在家用空调系统中的更进一步推广应用奠定了良好的基础。

【关键词】 R32; R410A; 家用空调器; 性能对比

中图分类号 TM925.12/TB61⁺² 文献标识码 A

Performance study of R32 and R410A in Household Air Conditioners

Liu Sizhe Zhang Chao

(School of Energy and Environment, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou, 451191)

【Abstract】 According to the overall target of "carbon peak" in 2030 and "carbon neutral" in 2060, the replacement of refrigerants in the refrigeration and air-conditioning industry has been accelerating. The use of R32 as a transitional replacement refrigerant for R410A has been gradually promoted in domestic air-conditioning systems. In this paper, the performance of the same domestic air-conditioning system with $\Phi 5\text{mm}$ evaporator was tested under seven different working conditions using R32 and R410A as refrigerants. The experimental analysis results show that R32 can directly replace R410A without changing the structure of air conditioning system, and the cooling (heating) capacity and energy efficiency ratio of R32 system are higher than those of R410A; the exhaust temperature of R32 system is slightly higher than that of R410A, and the annual energy consumption rate is also higher than that of R410A. The research results lay a good foundation for the further promotion and application of R32 in domestic air conditioning system. The results of the study lay a good foundation for further application of R32 in domestic air conditioning systems.

【Keywords】 R32; R410A; home air conditioner; performance comparison

0 引言

目前我国的家用空调器市场中, 变频空调器因其节能的优异特性, 已经成为市场的主导产品。制冷剂作为空调器的重要部分, 合适的制冷剂可以让其达到事半功倍的效果。在生态环境日益恶化的

今天, 环保制冷剂的地位也逐步提高。目前我国市场上广泛用于替代 R22 的制冷剂主要是 R410A。但 R410A 作为氢氟烃类的制冷剂是温室效应的主要来源。那么作为 R410A 组成单元的 R32 在环保方面表现得更为出色^[1]。R32 作为一个弱可燃性、

作者简介: 刘思哲 (1998-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: 804044794@qq.com

通讯作者: 张 超 (1974-), 男, 博士, 教授, E-mail: 26785596@qq.com

收稿日期: 2022-11-07

低毒性的制冷剂,相较于 R410A, R32 的饱和蒸汽压力与 R410A 几乎持平,意味着两者可以在同一机组下使用, R32 还有比其更高的液相比容、气相比容以及汽化潜热,在同一个空气源热泵机组下, R32 所需要的充注量更少。所以 R32 比起 R410A 是更为合适的过渡制冷剂^[3]。同时,以往的家用空调器大多采用Φ7mm 换热器,但是近些年铜的价格水涨船高,液体动力粘度更小的 R32 可以采用理论换热效果更佳的小管径换热器。本文着重对 R410A 和 R32 两种制冷剂在搭配Φ5mm 蒸发器家用空调器的循环性能进行对比试验研究,为进一步用 R32 替代 R410A 的研究提供基础数据。

1 R32 与 R410A 制冷剂热物性对比分析

R32 和 R410A 的热力学性质较为接近。R32 的 GWP 为 675,相较于 R410A 来说更环保,ODP 为 0^[2],也就意味着 R32 并不会对臭氧层造成实质性的危害。R32 比 R410A 饱和蒸汽压力略高,液相比容在 44℃ 以下比 R410A 大,液体导热系数也比 R410A 大。表 1 为 R32 与 R410A 理论热工性能,其数据是 44℃ 热力和输运物性。

表 1 R32 与 R410A 理论热工性能

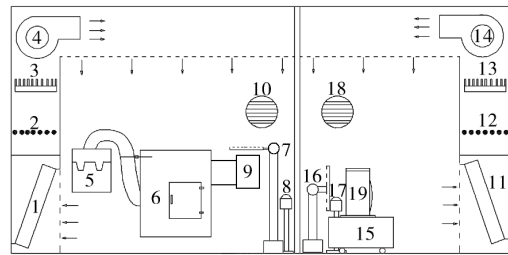
Table 1 Theoretical thermal performance of R32 and R410A

制冷剂	R410A	R32
相对分子质量	72.59	52.02
临界压力 (MPa)	4.81	5.78
44℃ 时饱和蒸汽压力	2.6624	2.7292
44℃ 时液体比热容(kJ/kg·	2.0386	2.2547
44℃ 时液体导热系数	83.345	111.57
44℃ 时液体动力粘度(uPa·	92.271	90.155
GWP	2100	675
相对充注量	1	0.71

2 实验装置

实验样机由江苏新科电器有限公司提供,在 KFRd-35GW-BpNXCA+1 (一级能效机)的机型上改装而成。机组由 1 台全封闭旋转式直流变频压缩机、室内外翅片管式换热器、节流阀、油分离器、气液分离器、储液器及四通阀等部件所组成。压缩机采用美芝压缩机,型号为 KSK103D33UEZ3,室内机换热器为管径为 5mm 的翅片管式换热器,节流阀采用规格为 1.3×750 毛细管作为节流阀,内

径为 1.3mm、总长为 750mm。依据 GB/T 21455-2019《房间空气调节器能效限定值及能效等级》^[3],通过对比 R410A 和 R32 在同一系统下的 APF 值(即全年能源消耗效率),以及不同工况下的实验数据,分析 R410A 和 R32 在空气源热泵系统下的优劣之处。本实验在新科 5HP 防爆焓差试验室进行,由合肥通用机械研究院有限公司监制,试验条件符合 GB/T 7725-2004 的要求,焓差室系统如图 1 所示。



- 1—室内蒸发器; 2—室内电加热; 3—室内加湿器;
- 4—室内循环风机; 5—室内风量测量箱;
- 6—室内出风采样箱; 7—壁挂机内机进风采样器;
- 8—室内冷媒检漏防爆系统; 9—被测壁挂机内机;
- 10—室内排风系统; 11—室外蒸发器; 12—室外电加热;
- 13—室外加湿器; 14—室外循环风机;
- 15—被测外机放置平台; 16—壁挂机外机进风采样器;
- 17—室外冷媒检漏防爆系统; 18—室外排风系统;
- 19—被测壁挂机外机

图 1 焓差实验室原理图

Fig.1 Schematic diagram of enthalpy difference laboratory

3 实验结果分析

依据 GB/T 7725-2004《房间空气调节器》^[4]和 GB 21455-2019《房间空气调节器能效限定值及能效等级》,确定了额定制冷、额定中间制冷、低温额定制冷、低温额定中间制冷、额定制热、额定中间制热以及额定低温制热 7 个实验工况,通过改变焓差实验室室内侧以及室外侧的干湿球温度来改变不同的工况。分别在不同工况下测定了两种不同制冷剂在同一个系统下的制冷(热)量,制冷(热)消耗功率, COP, 压缩机排气温度等性能参数。

对于同一空调系统而言,当使用 R32 制冷剂充注时可以充注相对较少的制冷剂量。由于 R32 与 R410A 的热物性差异, R32 的汽化潜热远大于 R410A,使用 R32 代替 R410A 时,所需要的充注量仅为 R410A 的 71%左右就能达到较好的性能状态^[6]。表 2, 3 为 R32 与 R410A 在同一个系统下不

同充注量的性能测试结果。

表 2 R32 制冷剂在样机的测试结果

Table 2 Test results of R32 refrigerant in the prototype

实验项目	额定制冷	中间制冷	低温制冷	低温中冷	额定制热	中间制热	低温制热
室外侧干湿球温度/℃	35/24	35/24	29/19	29/19	20/15	20/15	20/15
室内侧干湿球温度/℃	27/19	27/19	27/19	27/19	7/6	7/6	2/1
风量 (m ³ /h)	992.0	1003.0	991.4	689.1	976.7	893.2	902.7
制冷(热)量 (W)	3277.9	1544.4	3533.7	1610.7	4775.9	2281.6	4411.6
制冷(热)功率 (W)	936.76	408.59	834.11	218.14	1297.88	438.46	1607.12
能效 (COP)	3.50	3.78	4.24	7.38	3.68	5.20	2.75
压缩机频率 (Hz)	53	19	53	19	78	36	100
排气 (°C)	84.2	47.5	78.3	41.6	73.1	44.5	81.6
回气 (°C)	19.9	20.0	19.8	15.9	-0.8	1.8	-8.3
充注量 (g)	600	600	600	600	600	600	600

注: 表中低温制热: 除霜周期为 46.6min, 化霜时间为 5.4min。

表 3 R410A 制冷剂在样机的测试结果

Table 3 Test results of R410A refrigerant in the prototype

实验项目	额定制冷	中间制冷	低温制冷	低温中冷	额定制热	中间制热	低温制热
室外侧干湿球温度 (°C)	35/24	35/24	29/19	29/19	20/15	20/15	20/15
室内侧干湿球温度 (°C)	27/19	27/19	27/19	27/19	7/6	7/6	2/1
风量 (m ³ /h)	1053.9	1065.1	1048.6	726.5	1041.1	948.5	980.5
制冷(热)量 (W)	3087.5	1508.5	3203.0	1560.0	4750.4	2216.5	4350.6
制冷(热)功率 (W)	994.34	409.38	894.52	213.22	1382.48	425.30	1720.59
能效 (COP)	3.11	3.68	3.58	7.32	3.44	5.21	2.53
压缩机频率 (Hz)	53	19	53	19	78	36	100
排气 (°C)	77.8	45.1	69.3	39.6	70.7	38.6	76.9
回气 (°C)	10.7	20.4	8.1	18.0	-1.1	2.1	-5.7
充注量 (g)	860	860	860	860	860	860	860

注: 表中低温制热: 除霜周期为 44.8min, 化霜时间为 4.4min。

3.1 不同工况下制冷(热)量和制冷(热)消耗功率实验

由表 2、表 3 的实验结果可知, 除制冷剂充注量以外, 其余系统配置完全相同的情况下, 如图 2 所示 R32 系统的额定制冷量和低温额定制冷量分别高出 R410A 系统 6% 和 10%; 中间制冷量和低温中间制冷量较 R410A 系统高出 2.4% 和 3.25%; 额定制热量、中间制热量以及低温制热量也高出 R410A 系统 0.5%、2.9% 以及 1.4%。因为 R32 制冷剂的比热容高于 R410A, 所以其理论容积制冷(热)量也高于 R410A^[7], 呈现在数据上的就是不同工况

下的制冷(热)量较 R410A 均有不同程度的上升。

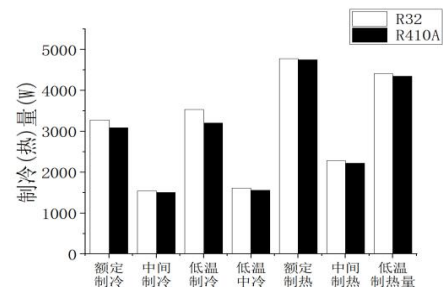


图 2 不同工况下制冷(热)量对比

Fig.2 Comparison of cooling (heat) capacity under different working conditions

R32 系统的额定制冷功率和低温额定制冷功率分别低于 R410A 系统 6% 和 7%；中间制冷功率较 R410A 系统几乎持平；低温中间制冷功率较 R410A 系统高出 2%；额定制热功率、低温制热功率分别低于 R410A 系统 6.5%、7%；中间制热功率较 R410A 系统高出 3%。

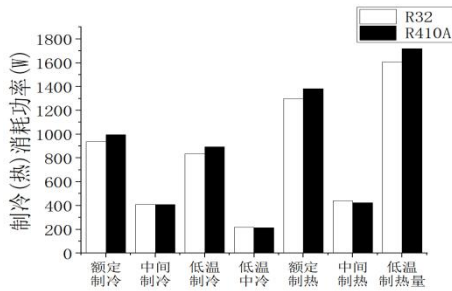


图 3 不同工况下制冷（热）消耗功率对比

Fig.3 Comparison of cooling (heat) power consumption under different working conditions

由于制冷（热）量和能效的差异，所以二者反映在 COP 上的数据如图 4 所示，R32 系统在额定制冷、低温制冷额定制热以及低温制热工况下的能效比较 R410A 系统具有显著升高；在中间制冷、低温中冷、中间制热工况下的能效比较 R410A 系统仅有微小的提升。试验结果表明 R32 系统在性能方面上整体优于 R410A。

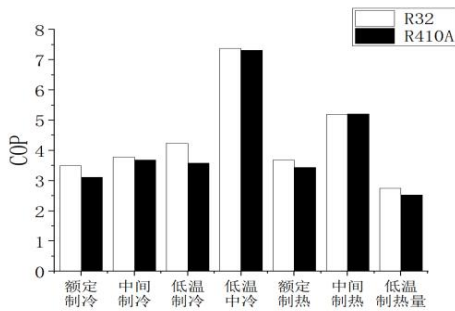


图 4 不同工况下 COP 对比

Fig.4 Comparison of COP under different working conditions

3.2 不同工况下压缩机排气温度对比分析

R32 系统在额定制冷和低温额定制冷的工况下压缩机的排气温度较 R410A 系统分别高出 6.4℃ 和 9℃；中间制冷和低温中间制冷工况下较 R410A 系统高出 2.4℃ 和 2℃；额定制热、中间制热以及低温制热工况下高于 R410A 系统 2.4℃、5.9℃ 和 4.7℃。由此可见，R32 系统在七种不同的工况下的

压缩机排气温度均高于 R410A 系统。根据 R32 与 R410A 的热物性差异，由于 R32 的比热容较大，具有更高的制冷（热）量，同时也有更高的排气温度^[8]。但是过高的排气温度会对压缩机造成不可逆的损害，所以 R32 的压缩机运行范围较 R410A 的会减少。

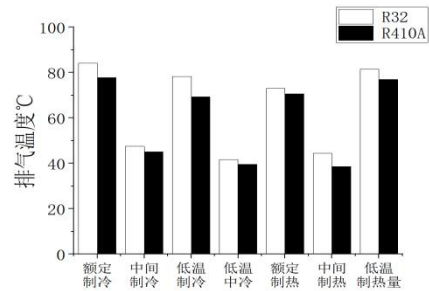


图 5 不同工况下压缩机排气温度对比

Fig.5 Comparison of compressor discharge temperature under different operating conditions

3.3 R32 与 R410A 系统全年能效对比分析

依据 GB 21455-2019《房间空气调节器能效限定值及能效等级》中对能源消耗效率的计算方法。全年能源消耗效率按式（1）计算。

$$APF = \frac{CSTL + HSTL}{CSTE + HSTE} \quad (1)$$

式中：CSTL 为制冷季节制冷量；CSTE 为制冷季节耗电量；HSTL 为制热季节制热量；HSTE 为制热季节耗电量。

制热、制冷能源消耗效率按式（2）~（7）计算。

$$SEER = \frac{CSTL}{CSTE} \quad (2)$$

$$HSPF = \frac{HSTL}{HSTE} \quad (3)$$

$$CSTL = \sum_{j=1}^p [L_c(t_j) \cdot n_j] + \sum_{j=p+1}^N [\Phi_{ful}(t_j) \cdot n_j] \quad (4)$$

$$CSTE = \sum_{j=1}^n \frac{X(t_j) \cdot P_{hal}(t_j) \cdot n_j}{PLF(t_j)} + \sum_{j=p+1}^m P_{hf}(t_j) \cdot n_j + \sum_{j=m+1}^n [P_{ful}(t_j) \cdot n_j] \quad (5)$$

$$HSTL = \sum_{j=1}^M [L_h(t_j) \cdot n_j] \quad (6)$$

$$HSTE = \sum_{j=1}^n \frac{X(t_j) \cdot P(t_j) \cdot n_j}{PLF(t_j)} + \sum_{j=1}^N P_{RH}(t_j) \cdot n_j \quad (7)$$

式中：L_c(t_j)、L_h(t_j)分别为环境温度为 t_j 时房间

冷负荷、热负荷, W ; n_j 为制冷/热各温度分区所需时长, h ; $\Phi_{fu}(t_j)$ 为制冷季节室外温度为 t_j 时空调器运行制冷能力; $X(t_j)$ 、 $PLF(t_j)$ 分别为房间热负荷与空调器运行时制冷量的修正系数; $P_{hal}(t_j)$ 为空调器以中间制冷能力运行时消耗的功率, W ; $P_{hj}(t_j)$ 为介于中间与额定制冷能力对应房间热负荷运行时消耗的功率, W ; $P_{fu}(t_j)$ 为额定制冷能力运行时所消耗的功率, W ; $P(t_j)$ 为空调器制热运行时消耗的功率, W ; $P_{RH}(t_j)$ 为空调器对应房间负荷制热能力不足时加入电热装置的消耗电量, kW/h 。

表 4 R32 和 R410A 季节能源消耗率

Table 4 Seasonal energy consumption rates for R32 and R410A

制冷剂	SEER (制冷季节能源消耗效率)	HSPF (制热季节能源消耗效率)	APF (全年能源消耗效率)
R32	5.51	3.81	4.77
R410A	5.17	3.77	4.58

注: CD 系数默认为 0.25。

4 结论

本文针对家用空调器 R32 与 R410A 性能对比问题, 采用实验研究的方法, 对室内机搭配 $\Phi 5mm$ 换热器的同一个空调系统, 分别采用 R32 和 R410A 作为制冷剂, 在 7 种不同工况下对空调系统的性能进行了测试。依据热物性差异以及对所得实验数据进行分析研究得出了以下结论:

(1) R32 比 R410A 有更高的单位容积制冷量, 所以 R32 系统可以采用排量较小的压缩机。

(2) R32 的基本物理性质与 R410A 均比较接近, 具备替代的基本条件, 而且液态导热系数、动力粘度均比 R410A 优秀, 可采用更小管径的换热器, 有助于提升系统能效。

(3) 在所测工况下, R32 系统的压缩机排气温度均高于 R410A, 所以在使用 R32 制冷剂时, 需要注意排气温度的上升是否超过压缩机可以承受的阈值。

(4) 性能方面 R32 系统的所测得制冷(热)量以及能效比均高于同一系统下 R410A, 大部分工况下的制冷(热)消耗功率低于 R410A, 其全年能源消耗率也较 R410A 有明显上升, 所以 R32 的节能效果更为显著。

总的来说, R32 可以在家用空调器中使用小管径换热器的前提条件下替换 R410A, 不仅节约成

根据上述计算公式综合七种工况下的实验数据, 可得出同一个系统下 R32 系统和 R410A 系统的制冷季节能源消耗效率、制热季节能源消耗效率和全年能源消耗效率(即空调器在制冷和制热季节期间, 从室内空气去除的冷量与送入室内的热量总和与同期内耗电量的综合之比)^[9], 能源消耗效率越高意味着能耗越低, 更加节能。计算结果表明, 无论是制冷或者制热的季节能源消耗效率还是全年能源消耗效率, R32 的表现较 R410A 更好, 全年能源消耗效率比 R410A 高出 4%。

本, 在提升制冷(热)量的同时还能消耗更少的功率, 拥有更高的能效比, 满足“碳达峰”与“碳中和”的大趋势。

参考文献:

- [1] 史琳, 朱明善. 家用/商用空调用 R32 替代 R22 的再分析[J]. 制冷学报, 2010, 31(1): 1-5.
- [2] 周子成. R32 制冷剂[J]. 制冷, 2014, 33(2): 37-44.
- [3] GB 21455-2019, 房间空气调节器能效限定值及能效等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [4] GB/T 7725-2004, 房间空气调节器[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [5] 张云, 谢培钦, 陈孚江, 等. R32 热泵型变频空调性能与能效的试验研究[J]. 流体机械, 2021, 49(8): 15-20.
- [6] 王朝鑫, 朱兴旺, 龚毅. R32 灌注式替代 R410A 家用空调的试验研究[J]. 流体机械, 2011, 39(7): 65-67.
- [7] 王斯焱, 李锡宇, 吴治将. R32 替代 R410A 在家用空调器的试验研究[J]. 制冷, 2016, 35(3): 17-22.
- [8] 杨明洪. R32 涡旋压缩机排气温度控制方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2015.
- [9] 徐志亮, 熊军, 陈绍林, 等. R32 与 R410A 对变频空调器 APF 影响的对比分析[J]. 家电科技, 2018(11): 22-23, 21.
- [10] 刘畅, 尔驰玛. 低 GWP 制冷剂 R32 在家用空调中替代 R410A 的实验研究[J]. 制冷与空调, 2015, 15(11): 73-76, 81.