

文章编号: 1671-6612 (2021) 03-328-06

# 压缩机转速与回油率对空调性能影响的试验研究

崔 嵩 孟亚鹏 张 明

(泛亚汽车技术中心有限公司 上海 200120)

**【摘 要】** 以焓差法原理为基础, 利用焓差室搭建汽车空调压缩机试验台架, 通过控制系统制冷剂侧、水侧和空气侧相应参数, 对相应工况下某型压缩机转速及回油率对系统性能的影响进行研究。结果表明: 该型压缩机在 800rpm~1100rpm 转速下, 回油率为 5.5% 时即可保证压缩机排气温度低于 90 °C, 且在此区间内增大压缩机转速能够提高系统制冷量, 并能增大系统的制冷效率; 回油率对压缩机功耗和制冷量均有影响, 将回油率由 3.5% 提升至 5.5% 可有效降低压缩机功耗, 不同转速下取得最大制冷量的回油率则有所不同; 相同回油率条件下增大压缩机转速可以提高系统制冷效率, 而在相同转速下系统制冷效率会随回油率增大呈现先增后减的趋势。

**【关键词】** 压缩机; 转速; 回油率; 制冷效率; 试验研究

中图分类号 TK05 文献标识码 A

## Experimental Study on Influence of Compressor Speed and Oil Recycle Content on Air Conditioning System

Cui Song Meng Yapeng Zhang Ming

(Pan Asia Technical Automotive Center Co., Ltd, Shanghai, 200120)

**【Abstract】** By setting up vehicle compressor platform in the enthalpy chamber, based on enthalpy difference method and used the satisfied way to control the parameters of air, water and refrigerant, then the influence of compressor speed and oil recycle rate can be experimented and the results can be used to evaluate the performance of compressor. The results show that when compressor speed between 800-1100rpm, 5.5% oil recycle content can make compressor exhaust temperature below 90 °C and increasing compressor speed can increase cooling capacity and cooling coefficient of performance in this range; oil recycle content can influence compressor consumption and system cooling capacity, increasing oil recycle content from 3.5% to 5.5% has advantages to decrease compressor consumption but the oil recycle content when system has the best cooling capacity in different speed is different; increasing compressor speed can increase cooling coefficient of performance and the cooling coefficient of performance will increase first then decrease with oil recycle content increase in the same compressor speed.

**【Keywords】** Compressor; Speed; Oil Recycle Rate; Coefficient of Performance; Experimental Research

作者(通讯作者)简介: 崔 嵩 (1994.9-), 男, 硕士, 工程师, E-mail: Song1\_Cui@PATAC.com.cn

收稿日期: 2020-12-02

## 0 引言

压缩机转速与回油率对压缩机自身及整个汽车空调系统性能具有较大影响。通过搭建具有油循环回路的压缩机试验系统台架, 利用焓差室及环境箱给予各主要部件环境参数, 通过充注制冷剂, 调

节膨胀阀等方式调节系统参数, 换热器主要工作部件制冷剂侧相关参数可完成对相应条件下压缩机不同转速及回油率的试验<sup>[1-5]</sup>。本试验选用定排量斜盘压缩机, 使用的制冷剂为 R134a, 排量为 133cc; 适用的润滑油为 ZXL-100PG 润滑油。对此压缩机

进行试验, 基于试验数据可有效对压缩机转速及回油率对系统性能的综合影响进行评估。

### 1 试验原理及台架说明

#### 1.1 焓差实验室试验原理

焓差室通过焓差法实现对换热器换热能力的测量。焓差法是一种测定空调制冷制热能力的试验方法, 基于能量守恒, 当空气流经换热器的時候, 空气侧焓值变化与换热器内制冷剂侧焓值变化相同, 且换热器进出风两侧的空气状态均为气态, 方便进行焓值测量<sup>[6]</sup>。因此, 通过在换热器进出风侧布置干湿球温度计, 并控制流经换热器的空气流量即可算得空气流经换热器时的换热量, 从而实现蒸发器或冷凝器换热能力的测量。

#### 1.2 试验台架说明

压缩机性能试验台架基于空调系统循环进行搭建, 试验系统循环图如图 1 所示: 试验台架在焓差室中进行搭建, 系统台架包括压缩机试验台架, 蒸发器辅助台架, 模拟冷凝器的水冷换热器辅助台架, 此外包括节流阀和管路等部件; 系统中需要在压缩机吸气和排气侧布置温度传感器和压力传感器, 在膨胀阀进口侧和出口侧布置温度传感器和压力传感器, 以便监测系统中制冷剂在制冷循环中各主要部件进出口状态点的物性参数; 同时, 制冷剂循环回路和油循环回路中应分别布置质量流量计, 系统中还布置有液视镜以观察制冷剂是否存在不足。需要特别说明的是: 本系统压缩机两侧连接有油循环回路, 通过控制油循环回路中流量调节阀开度实现调节压缩机回油率的目的; 此外, 不同于常规空调试验台架, 本系统冷凝器采用水冷式冷凝器以达到更大的制热量调节范围从而满足不同型号及功率的压缩机在不同工况下的试验需求<sup>[7]</sup>。

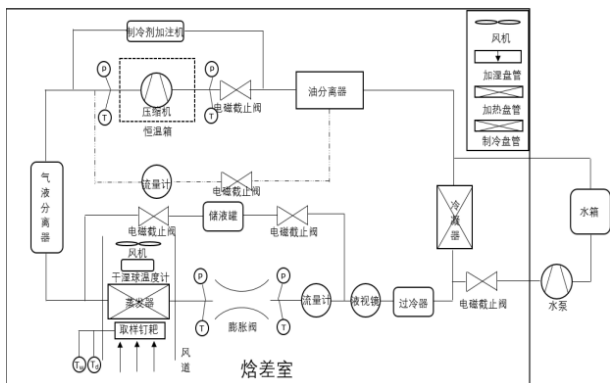


图 1 压缩机试验台系统循环示意图

Fig.1 Schematic diagram of compressor test bench system cycle

### 2 参数测量及调节方法

#### 2.1 主要参数的测量和计算

系统运行时, 大部分参数通过布置于系统中得传感器直接测得, 此类参数主要包括: 各状态点得制冷剂温度, 压力; 制冷剂循环流量; 油循环流量; 空气干球温度和湿球温度等。基于以上传感器所测参数, 通过相关计算, 可得如下参数:

(1) 制冷剂各状态点焓值: 通过该状态点制冷剂的温度和压力, 通过系统中嵌入的程序调用制冷剂物性参数表查表获得。

(2) 空气湿度: 通过干湿球温度计所测干湿球温度进行空气  $h-d$  图查表获得。

(3) 蒸发器的制热量计算: 蒸发器制热量根据空气侧参数进行计算, 蒸发器进出风温度可由指蒸发器前后的温度传感器测得, 流经蒸发器的风量可通过布置在风道内的流量传感器得到。因此, 蒸发器的制冷量可根据如下公式进行计算<sup>[8,9]</sup>。

$$Q_{evp} = m_{air} \cdot (h_{evp,out} - h_{evp,in}) \quad (1)$$

(1)

式中,  $Q_{evp}$  为系统制冷量,  $m_{air}$  为空气质量流量,  $h_{evp,out}$  为蒸发器出口空气焓值,  $h_{evp,in}$  为蒸发器进口空气焓值。

(4) 压缩机功耗及效率计算: 压缩机功耗通过压缩机电流和电压进行计算。压缩机制冷效率 COP (coefficient of performance) 可通过如下公式进行计算<sup>[10]</sup>。

$$COP_{cooling} = \frac{Q_{evp}}{W_{com}} \quad (2)$$

式中,  $COP_{cooling}$  为系统制冷 COP,  $W_{com}$  为压缩机功耗。

(5) 过冷度过热度计算: 空调系统中, 过热度是指蒸发器出口制冷剂温度与蒸发器出口处制冷剂压力下的气态饱和温度的差值, 可通过布置于蒸发器出口处的温度传感器和压力传感器测得的数据计算得到。过冷度是指冷凝器出口处的制冷剂温度与冷凝器出口处的制冷剂压力下的液态饱和温度之间的差值。计算公式如下<sup>[11]</sup>。

$$T_{subcooled} = T_{cond,out} - T_{sat}(P_{cond,out}) \quad (3)$$

$$T_{superheated} = T_{evap,out} - T_{sat}(P_{evap,out}) \quad (4)$$

式中,  $T_{subcooled}$  为系统过冷度,  $T_{cond,out}$  为冷凝器出口制冷剂温度,  $T_{sat}(P_{cond,out})$  为冷凝器出口制冷剂压力对应饱和温度,  $T_{superheated}$  为过热度,  $T_{evap,out}$  为蒸发器出口制冷剂温度,  $T_{sat}(P_{evap,out})$  为蒸发器出口制冷剂压力对应的饱和温度。

2.2 参数调节方法

表 1 试验工况参数及其调节方式

参数	调节方式
膨胀阀前制冷剂温度(°C)	调节过冷器功率/小幅度调节制冷剂充注量
压缩机吸气压力 (bar)	调节制冷剂回路膨胀阀开度
压缩机排气压力 (bar)	调节冷凝器水侧电动调节阀
压缩机吸气温度 (°C)	调节焓差焓差室风机转速
压缩机转速 (°C)	调节皮带轮或电机转速
回油率	调节油循环回路阀门开度
蒸发器进口空气干湿球温	调节焓差室温度和湿度

表 2 压缩机转速及回油率试验工况条件

Table 2 Condition of compressor speed and oil recycle rate experiment

压缩机转速 (rpm)	回油率 (%)	压缩机吸气温度(°C)	膨胀阀进口过冷度 (°C)	压缩机箱体温度(°C)	焓差室干球温度(°C)	焓差室湿球温度 (°C)	吸气压力 (bar)	排气压力 (bar)
800	1.5, 3.5	25.77	5.00	50.00	35.00	26.22	4	19
	5.5, 7.5							
900	1.5, 3.5	25.77	5.00	50.00	35.00	26.22	4	19
	5.5, 7.5							
1000	1.5, 3.5	25.77	5.00	50.00	35.00	26.22	4	19
	5.5, 7.5							
1100	1.5, 3.5	25.77	5.00	50.00	35.00	26.22	4	19
	5.5, 7.5							

上述条件下分别进行共 16 组试验, 分别得到各工况下排气温度, 制冷剂质量流量 (油分离器将油分离后), 系统制冷量, 压缩机功耗和制冷 COP, 试验结果如表 3 所示。试验过程中系统内制

度 (°C)

试验在给定膨胀阀前制冷剂温度, 压缩机吸排气压力, 压缩机吸气温度, 蒸发器进风干湿球温度的条件下, 改变压缩机转速和回油率进行多组试验。在确定液视镜无气泡从而保证制冷剂充足的前提下, 试验工况各参数及其调整方式如表 1 所示。

3 试验结果分析

对某型空调压缩机按表 2 所示工况下进行试验, 其他状态参数相同情况下, 取压缩机转速为 800rpm、900rpm、1000rpm、1100rpm 四个转速工况, 并在每个转速工况下分别进行回油率为 1.5%、3.5%、5.5%和 7.5%的四组试验, 以研究定压缩机转速以及回油率对系统性能的综合影响。各工况参数中, 温度点测量值与设定值最大允许偏差为  $\pm 0.50^{\circ}\text{C}$ , 压力点测量值与设定值最大允许偏差为  $\pm 1.0\%$ 。

冷剂最低温度在  $0^{\circ}\text{C}$  以上, 最高温度  $100^{\circ}\text{C}$  以下, 此温度范围内对表 3 试验数据进行分析可得到压缩机转速和回油率对系统和压缩机性能的综合影响。

表 3 试验结果数据

Table 3 Experiment result data

压缩机转速 (rpm)	回油率 (%)	排气温度 (°C)	制冷剂质量流量 (kg/h)	系统制冷量 (W)	压缩机功耗 (W)	制冷 COP
800	1.5	96.64	64.9	2265.6	992.37	2.283
800	3.5	92.40	65.9	2302.8	981.58	2.346
800	5.5	86.83	69.8	2437.8	944.51	2.581
800	7.5	84.26	70.1	2445.0	939.66	2.602

900	1.5	94.09	79.4	2774.6	1116.53	2.485
900	3.5	91.00	81.1	2833.4	1115.95	2.539

续表 3 试验结果数据

压缩机转速 (rpm)	回油率 (%)	排气温度 (°C)	制冷剂质量流量 (kg/h)	系统制冷量 (W)	压缩机功耗 (W)	制冷 COP
900	5.5	84.88	86.0	2957.8	1072.44	2.758
900	7.5	82.91	82.9	2929.3	1078.53	2.716
1000	1.5	93.37	93.0	3226.3	1242.31	2.597
1000	3.5	89.20	96.0	3349.7	1242.01	2.697
1000	5.5	84.91	98.0	3367.6	1199.28	2.808
1000	7.5	83.05	97.6	3319.2	1203.04	2.759
1100	1.5	91.30	105.6	3678.8	1354.99	2.715
1100	3.5	87.26	110.0	3833.3	1310.97	2.924
1100	5.5	84.17	109.0	3813.2	1317.16	2.895
1100	7.5	82.70	107.6	3775.8	1330.44	2.838

3.1 转速及回油率对压缩机排气温度影响分析

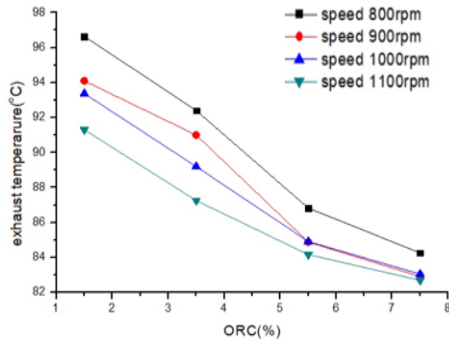


图 2 定转速条件下压缩机排气温度随回油率变化曲线

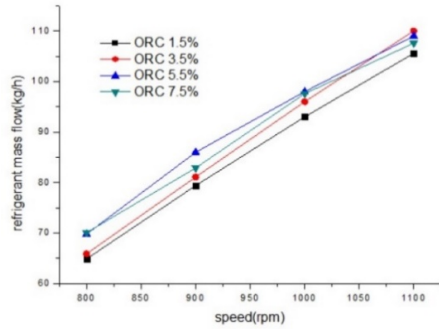
Fig.2 Change trend of compressor exhaust temperature with oil recycle rate in different compressor speed conditions

压缩机排气温度在给定压缩机转速条件下随回油率变化曲线如图 3 所示。结果表明: 在上述工况下, 对此压缩机, 低转速将会导致高的排气温度, 在回油率为 1.5% 时, 与压缩机转速为 1100rpm 的工况相比, 压缩机转速为 800rpm 的工况下排气温度要高出 5.34°C, 达到 96.64°C。此时压缩机存在过热的风险; 回油率对空调系统性能的影响主要体现在对排气温度的降低上, 试验温度条件下, R134a 制冷剂与 ZXL-100PG 润滑油始终具有良好的相溶性, 增大压缩机回油率能够有效增加压缩机工作过程中的润滑油流量, 从而有效降低压缩机的排气温度。以转速为 800rpm 的工况为例, 与回油率为 1.5% 时相比, 回油率为 7.5% 条件下压缩机排气温度下降了 12.38°C, 有效降低了排气温度, 避免了

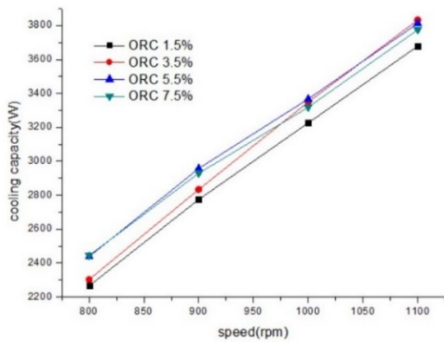
过热风险; 虽然增加回油率可以有效避免压缩机因过热损坏, 但是可以发现, 随回油率不断增大, 其对排气温度降低的效果越来越不明显, 且对此压缩机, 在回油率为 5.5% 条件下转速为 800rpm ~ 1100rpm 时排气温度均低于 90°C, 可以避免过热, 继续增加回油率会导致存在过设计从而增加成本。

3.2 转速及回油率对系统制冷性能影响分析

定回油率条件下系统制冷剂质量流量及系统制冷性能随压缩机转速变化曲线如图 4 所示, 结果表明: 上述工况下, 对此压缩机, 制冷剂质量流量和制冷量随压缩机转速变化趋势接近, 可以表明: 转速在 800rpm ~ 1100rpm 范围内, 增大压缩机转速是增大制冷量最直接的方式, 其效果是通过增大制冷剂质量流量达成的; 回油率主要通过影响压缩机排气温度影响制冷剂质量流量, 在压缩机转速为 800rpm 和 900rpm 条件下, 增大回油率可以提升系统制冷量, 将回油率由 1.5% 增至 7.5%, 制冷量分别提 7.9% 和 5.6%, 而对于压缩机转速为 1000rpm 的工况, 回油率为 3.5% 时系统制冷量大于回油率为 5.5% 时的制冷量, 在转速为 1100rpm 的工况下, 则在回油率为 3.5% 时具有最大的系统制冷量。



(a) 制冷剂质量流量变化曲线



(b) 系统制冷量变化曲线

图 3 定回油率条件下制冷剂质量流量和系统制冷量随转速变化曲线

Fig.3 Change trend of refrigerant mass flow rate and cooling capacity with compressor speed in different oil recycle rate conditions

### 3.3 转速及回油率对压缩机功耗影响分析

定回油率条件下压缩机功耗随压缩机转速变化曲线如图 5 所示, 结果表明: 在上述工况下, 对此压缩机而言, 除回油率为 3.5% 时转速从 1000rpm 变为 1100rpm 的工况外, 压缩机功耗与转速近似呈正比关系; 在转速为 800rpm~1100rpm 范围内, 相同转速下, 回油率为 1.5% 和回油率为 3.5% 时压缩机功耗接近, 回油率为 3.5% 和回油率为 5.5% 时压缩机功耗接近, 但是将回油率由 3.5% 提升至 5.5%, 对于除 1100rpm 的转速外, 压缩机功耗均有一定程度的下降, 在 800rpm, 900rpm 和 1000rpm 条件下下降比例分别为 3.77%, 3.9% 和 3.44%, 可以看出: 对于压缩机节能而言, 选择 5.5% 的回油率效果较好。

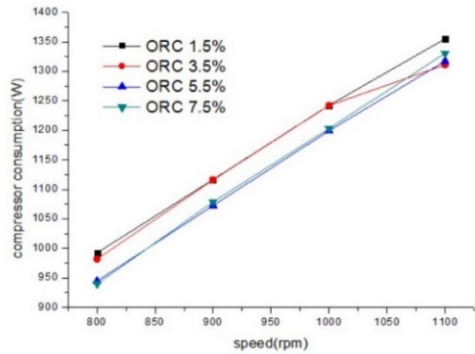


图 4 定回油率条件下压缩机功耗随转速变化曲线

Fig.4 Change trend of compressor consumption with compressor speed in different oil recycle rate conditions

### 3.4 转速及回油率对系统制冷 COP 影响分析

定转速条件下系统制冷 COP 随回油率变化的曲线如图 6 所示, 结果表明: 在上述工况下, 对此压缩机而言, 在转速为 800rpm~1100rpm 范围内, 相同回油率条件下, 系统制冷 COP 随压缩机转速的升高而增大, 此时较大的转速能使系统具有更高的效率; 在回油率为 1.5%, 3.5%, 5.5% 和 7.5% 条件下, 将压缩机转速由 800rpm 提升至 1100rpm, 系统制冷 COP 分别提升了 18.9%, 24.6%, 12.2 和 9.1%; 适当提高回油率能够起到增大制冷 COP 的目的, 但是过大的回油率会导致系统 COP 出现下降, 在压缩机转速为 900rpm 和 1000rpm 时, 系统制冷 COP 在回油率由 5.5% 增至 7.5% 时出现下降, 在压缩机转速为 1100rpm 时, 系统制冷 COP 在压缩机回油率由 3.5% 增至 5.5% 时出现下降。

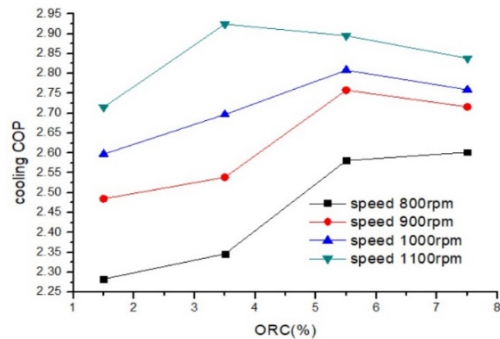


图 5 定转速条件下制冷 COP 随回油率变化曲线

Fig.5 Change trend of cooling COP with oil recycle in different compressor speed conditions

## 4 结束语

利用基于焓差试验室的试验台对压缩机在不

同转速及回油率工况下进行了试验, 分析了试验中各参数的调节方法及原理, 并得出转速及回油率综合情况下对于系统压缩机性能的影响, 结论如下:

(1) 此压缩机在转速 800rpm~1100rpm 时, 增大压缩机转速能降低排气温度; 增大回油率可降低排气温度, 对此压缩机, 回油率为 5.5% 可保证压缩机排气温度低 90°C, 无需继续增大回油率来避免压缩机过热。

(2) 此压缩机在转速 800rpm~1100rpm 范围内制冷剂质量流量均与转速存在较好的线性关系, 可通过提升转速起到增大制冷量的目的; 回油率也对制冷量有影响, 但不同转速下取得最大制冷量时的回油率不相同。

(3) 此压缩机在转速 800rpm~1100rpm 范围内压缩机功耗与转速存在较好的线性关系, 且将回油率从 3.5% 提升至 5.5% 时可以起到一定降低压缩机功耗的作用, 除 1100rpm 转速时外能耗下降均在 3.5%~4% 之间。

(4) 此压缩机在转速 800rpm~1100rpm 范围内时制冷 COP 随压缩机转速增大明显增大, 在回油率为 1.5%, 3.5%, 5.5% 和 7.5% 条件下, 将转速由 800rpm 提升至 1100rpm, 系统制冷 COP 分别提升了 18.9%, 24.6%, 12.2 和 9.1%; 适量的回油率可以增大制冷 COP, 但是过大回油率会导致制冷 COP 下降, 对于不同转速, 取得最大制冷 COP 的回油率不同。

#### 参考文献:

- [1] 万腾, 王文静, 李武成, 等. 汽车空调压缩机制冷技术及工作能力试验研究[J]. 压缩机技术, 2019, (1): 32-35.
- [2] 赵惠麟, 何立江, 等. 汽车空调变排量压缩机耐久台的研制[J]. 制冷与空调, 2013, 13(1): 102-105.
- [3] Henry Nasution, MHZ Yamani, K Sumeru. Performance Study of DC Compressor for Automotive Air conditioning System[J]. Advanced Material Research, 2013: 674-677.
- [4] 朱向东, 许树学, 马国远, 等. 电动车空调用压缩机的性能测试[J]. 制冷与空调, 2019, 19(2): 84-88.
- [5] Kopelowicz, H j Barreto, A R Moutella, et al. Simulation and Experimental Evaluation of an Innovative Rotary Compressor with Variable Speed Displacers[J]. Thermal Engineering, 2008, (7): 55-59.
- [6] 吴晓磊. 空气焓差法测量空调器性能的影响因素[J]. 现代制造技术与装备, 2018(7): 180-182.
- [7] 王春慧, 任春立. 制冷压缩机试验装置改造的研究[J]. 节能, 2017, (8): 69-71.
- [8] 吴业正. 制冷原理及设备[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2015.
- [9] 王慧中, 常银玲, 张天坤. 相似换热器的设计与经验公式修正[J]. 制冷与空调, 2018, 18(4): 99-102.
- [10] 吴业正, 李红旗, 张华. 制冷压缩机[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- [11] 阙雄才, 陈江平. 汽车空调实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.