

降低汽车空调涡旋压缩机排气温度的结构分析

唐景春 左承基

合肥工业大学,合肥,230009

摘要:为了减少汽车空调用涡旋式制冷压缩机排气过程的等容压缩功率损失,降低涡旋压缩机的排气温度,提高其制冷性能指标,对静涡旋盘排气口内壁作了勾内环槽的结构改型。通过数值方法模拟了具有内环槽结构的排气口中气体流动的静压力场,并通过性能对比实验验证了排气口结构改型后涡旋压缩机的制冷性能指标。模拟计算及性能实验结果表明,排气口结构改型后涡旋压缩机的各项制冷性能指标得到了明显提高。

关键词:汽车空调;涡旋压缩机;排气温度;数值模拟;性能实验

中图分类号: TB652

DOI: 10.3969/j.issn.1004-132X.2012.02.028

Structural Analysis to Reduce Discharge Temperature for Vehicle Air-conditioning Scroll Compressor

Tang Jingchun Zuo Chengji

Hefei University of Technology, Hefei, 230009

Abstract: In order to reduce the discharge temperature on vehicle air-conditioning scroll compressor, it is necessary that the isovolumetric recompression process of discharge gas must be reduced. The inner slot structure in exhaust port of fixed scroll was built for improving the performance of the vehicle air-conditioning. The static pressure of gas in exhaust port with inner slot structure was simulated. The performance for two kinds of scroll compressor were analyzed based on experimental results. The results show that the scroll compressor cooling performance is improved accordingly.

Key words: vehicle air-conditioning; scroll compressor; discharge temperature; numerical simulation; performance experiment

0 引言

涡旋式制冷压缩机由于具有体积小、容积效率高、动力性能好等诸多优点,在当代汽车空调系统中得到了广泛的应用。汽车空调涡旋压缩机的外压力比取决于汽车空调系统实际运行工况,随着汽车室内外环境温度的变化而波动,而汽车空调涡旋压缩机的内压力比则取决于涡旋盘圈数等结构参数,这就导致了汽车空调涡旋压缩机的内压力比与外压力比不相等。汽车空调涡旋压缩机的小型轻量化要求使得其涡旋盘的圈数小于 3。尽管有些研究者在涡旋型线修正方面作出了卓越的贡献,使开始排气角度增大,提高了压缩机的内压力比。但是随着开始排气角度的增加,排气孔口面积缩小,排气流速增加。为了减少排气的流动损失,排气孔口处气体的马赫数应在 0.3 左右,这要求有足够的排气孔口面积。在实际设计过程中,应综合考虑,以取得更高的综合性能指标,所

以部分汽车空调涡旋压缩机排气欠压缩现象仍然存在。在压缩机排气的瞬间,制冷剂气体将会经过排气等容压缩过程,从而产生附加功耗,使得压缩机排气温度升高。排气温度过高,将导致制冷剂分解、密封及绝缘材料老化、润滑油结碳,还会使节流阀和干燥过滤器堵塞^[1-2]。

提高涡旋压缩机排气阀前的静压力,改善压缩机的排气欠压缩过程,降低排气温度,提高汽车空调制冷系统的性能系数 COP 值,是汽车空调涡旋压缩机的结构设计时必须考虑的重要问题^[3-5]。本文对涡旋压缩机静涡盘排气口的内壁进行了勾内环槽的结构改进,利用 FLUENT 软件对建立的制冷剂排气动力学模型进行静压场数值模拟,并通过压缩机制冷性能对比实验验证排气口结构改型的合理性。

1 结构改型后排气口气流组织分析

按照表 1 所示的 GB/T21360-2008《汽车空调用制冷压缩机》中规定的名义试验工况,从 R134a 的压-焓图可查得:饱和温度 63℃ 所对应

收稿日期:2011-02-18

基金项目:江苏省动力机械清洁能源与应用重点实验室开放基金资助项目(QK09001)

的排气压力 $p_d = 1.83\text{MPa}$ ，饱和温度 -1°C 所对应的吸气压力 $p_s = 0.28\text{MPa}$ ，两者之比(压缩机的外压力比)为 6.16。研究对象——涡旋压缩机的动静涡旋盘基本结构参数如下：齿形型线为圆的渐开线，基圆半径为 2.8mm，开线起始角为 43° ，涡旋圈数为 2.75。根据涡旋压缩机的型线几何理论计算及热力循环性能计算可得压缩终了压力 p_i 与吸气压力 p_s 之比(压缩机的内压力比)为 3.84。显然内压力比小于外压力比，在压缩机排气瞬间会产生等容压缩过程，产生的附加功率损失为

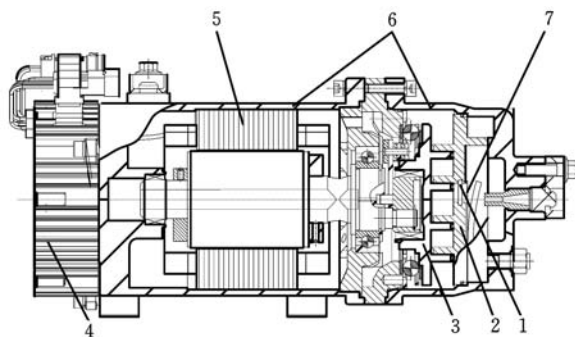
$$P_r = \frac{n}{60} [V_i(p_d - p_s) - \int_{p_i}^{p_d} V dp]$$

式中， n 为压缩机转速， r/min ； V_i 为压缩腔压缩终了容积， m^3 ； V 为压缩腔瞬时容积， m^3 ； p 为压缩腔瞬时压力， Pa 。

表 1 汽车空调压缩机名义试验工况

压缩机型式		压缩机转速 (r/min)	吸气压力对应的饱和温度 ($^\circ\text{C}$)	排气压力对应的饱和温度 ($^\circ\text{C}$)	吸气温度 ($^\circ\text{C}$)	制冷剂过冷温度 ($^\circ\text{C}$)	压缩机环境温度 ($^\circ\text{C}$)
开启式	曲轴连杆活塞式	1800	-1.0	63.0	9.0	63.0	≥ 65
	斜盘活塞式						
	旋转式						
	涡旋式						
半(全)封闭		由额定电压决定					

等容压缩附加功率损失产生的热量使压缩机排气温度升高。为了减少等容压缩附加功率损失，降低压缩机的排气温度，对图 1 所示的涡旋压缩机静涡旋盘的排气口内壁作了勾内环槽的结构改型。



- 1. 排气口内环槽 2. 定涡旋盘 3. 动涡旋盘 4. 控制器
- 5. 电机 6. 压缩机壳体 7. 排气阀片

图 1 汽车空调涡旋压缩机结构图

由于汽车空调系统在稳定工况下运行时，制冷压缩机吸气压力、压缩终了压力及排气背压是恒定的，所以排气流动可以看成是二维定常流动。考虑压缩机传热等因素，排气流动的连续性方程、动量方程和能量方程的矩阵形式为^[6-7]

$$\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \frac{1}{2} \rho u^3 + \frac{\kappa}{\kappa - 1} p u \end{bmatrix} + \frac{\partial}{\partial y} \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho v^2 + p \\ \frac{1}{2} \rho v^3 + \frac{\kappa}{\kappa - 1} p v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\rho \psi \\ \rho q \end{bmatrix}$$

$$\psi = 2f |u| |u|/D \quad q = \alpha \pi Du \Delta T / (\rho q_0)$$

式中， ρ 为气体密度， kg/m^3 ； u, v 为气体流速， m/s ； κ 为气体等熵指数； ψ 为单位质量气体所受到的摩擦力， N/kg ； f 为气流摩擦因数； D 为排气孔口的当量直径， m ； q 为单位质量气体与外界的换热量， W/kg ； α 为局部传热系数， $\text{W}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ； Δt 为孔口与外界传热温差， $^\circ\text{C}$ ； q_0 为通过孔口的气体流量， m^3/s 。

利用 GAMBIT 建立排气口的二维有限元模型，通过 FLUENT 的耦合、隐式求解器计算排气定常流，FLUENT 的后处理功能所显示的排气口流体流动静压力场如图 2、图 3 所示。对于一台几何容积排量及转速一定的压缩机而言，在不同工况下运行时，气体体积流量不变。由于气体流经内环槽时截面积变大，流速变小，根据气体流动的伯努利能量方程可知，气体的静压力得到提高。对比分析图 2、图 3 的模拟结果，可以看出，涡旋压缩机排气口内环槽对制冷剂气体的流动起到了扩压的作用，所以排气阀前的静压力高于结构改型前排气阀前的静压力，使排气阀片开启瞬间发生的定容压缩现象得到削弱，减少了此过程产生的附加功损失，从而可以降低压缩机的排气温度。

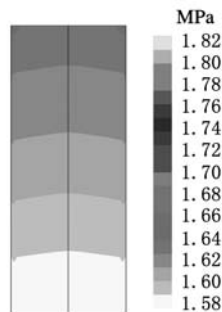


图 2 静涡旋盘排气口结构改型前排气静压场

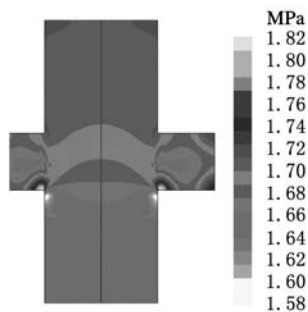


图 3 静涡旋盘排气口结构改型后排气静压场

2 结构改型后压缩机性能对比实验

依据表 1 的试验工况,在汽车空调制冷压缩机性能试验台上,对几何容积排量为 60mL 的涡旋压缩机进行了性能对比实验^[8-9],实验结果数据列于表 2。

表 2 国标试验工况下压缩机性能对比实验

测点名称	排气口结构 改型前	排气口结构 改型后
压缩机吸气温度(°C)	8.81	8.85
压缩机吸气压力(kPa)	281.85	281.82
压缩机排气温度(°C)	84.44	84.08
压缩机排气背压(kPa)	1803.74	1803.57
测试机环境温度(°C)	64.65	65.05
制冷剂质量流量(kg/h)	80.54	81.54
压缩机制冷量(kW)	2.54	2.58
输入功率(kW)	1.59	1.53
制冷系数	1.60	1.69
等熵效率(%)	56.85	60.23
容积效率(%)	93.79	94.98

从表 2 的实验数据可以看出,在改型前进行压缩机性能实验时,压缩机环境温度为 64.65°C,传热使得压缩机吸气温度为 8.81°C;在改型后进行压缩机性能实验时,压缩机环境温度为 65.05°C,传热使得压缩机吸气温度为 8.85°C。根据热力学可知压缩机排气温度 T_d (K) 与吸气温度 T_s (K) 的关系为

$$T_d = T_s (p_d/p_s)^{1-1/m_t}$$

其中, m_t 为温度多方指数。压缩机的各项内部损失(包括定容压缩附加功损失)均会使温度多方指数 m_t 增大,由上式可知,这将导致压缩机排气温度的升高。排气口结构改型前实验得出的压缩机排气温度为 84.44°C,排气口结构改型后实验得出的压缩机排气温度为 84.08°C,从中可以看出:改型后较改型前,吸气温度高而排气温度低,这说明排气口结构改型后压缩机温度多方指数变小,即减小了压缩机内部损失。

表 2 的实验数据表明,排气口具有内环槽结构的涡旋压缩机,在排气温度降低的同时,制冷剂质量流量、制冷量、制冷系数、等熵效率、容积效率

等制冷性能指标,均优于排气口结构改型前的涡旋压缩机。

3 结论

(1)排气口具有内环槽结构的汽车空调涡旋压缩机,减少了排气等容压缩附加功率损失,降低了排气温度。

(2)汽车空调涡旋压缩机的排气口结构改型后,各项制冷性能指标得到了相应的提高。

参考文献:

- [1] 缪道平,吴业正. 制冷压缩机[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 刘振全. 涡旋式流体机械与涡旋压缩机[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [3] Cui M M. Comparative Study of the Impact of the Dummy Port in a Scroll Compressor[J]. International Journal of Refrigeration, 2007, 30(5): 912-925.
- [4] Liu Yangguang, Hung Chinghua, Chang Yuchoung, et al. Mathematical Model of Bypass Behaviors Used in Scroll Compressor[J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29(5/6): 1058-1066.
- [5] Qiang Jianguo. Study on Basic Parameters of Scroll Fluid Machine Based on General Profile[J]. Mechanism and Machine Theory, 2010, 45(2): 212-223.
- [6] Cui M M. Numerical Study of Unsteady Flows in a Scroll Compressor[J]. Journal of Fluids Engineering, 2006, 128(5): 947-955.
- [7] Wang Baolong, Shi Wenxing, Li Xianting. Numerical Analysis on the Effects of Refrigerant Injection on the Scroll Compressor[J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29(1): 37-46.
- [8] Blunier B, Cirrincione G, Herve Y, et al. A New Analytical and Dynamical Model of a Scroll Compressor with Experimental Validation[J]. International Journal of Refrigeration, 2009, 32(5): 874-891.
- [9] Jang Kitae, Jeong Sangkwon. Experimental Investigation on Convective Heat Transfer Mechanism in a Scroll Compressor[J]. International Journal of Refrigeration, 2006, 29(5): 744-753.

(编辑 张 洋)

作者简介:唐景春,男,1966年生。合肥工业大学机械与汽车工程学院副教授。研究方向为制冷压缩机的结构优化及热动力学分析。发表论文 20 余篇。左承基,男,1955年生。合肥工业大学机械与汽车工程学院教授、博士研究生导师。