

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2018.03.015

变压比工况下涡旋制冷压缩机内部流动特性研究

吴 凯^{1,2}, 孙帅辉¹, 杨立博³, 郭鹏程¹

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 中国能源建设集团西北电力试验研究院有限公司, 陕西 西安 710032; 3. 西安陕鼓动力股份有限公司, 陕西 西安 710075)

摘要: 本文通过对某涡旋制冷压缩机流体域进行结构化网格划分,使其径向间隙(30 μm)处的网格层数达到13层,结合动网格技术建立了该涡旋制冷压缩机的三维瞬态数值模拟模型,并进行了外特性验证实验,结果表明该模型可以准确预测其性能。在此基础上,采用该模型对该涡旋制冷压缩机在变压比工况下的内部流动特性进行了研究,结果表明:在2.63~4.58的压比范围内,随着压比的增大,绝热效率先增大后减小,且绝热效率在压比略高于理论压比时取得最大值;压比对排气质量流量具有较大影响,排气口的流速随压比的增大逐渐下降,当压比达到4.18时,排气口出现较为明显的回流;排气开始前,各压比条件下压力的变化率基本相同,但排气开始后,高压比下压力升高较快,低压比的排气损失较大,而高压比的回流损失较大;泄漏速度随压比的增大而增大,造成内侧间隙处的高温区面积增大。

关键词: 涡旋制冷压缩机; 结构化网格; 压比; 流场分析

中图分类号: TH45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2018)03-0338-06

Internal flow characteristics of scroll refrigeration compressor under different pressure ratio conditions

WU Kai^{1,2}, SUN Shuaihui¹, YANG Libo³, GUO Pengcheng¹

(1. School of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Northwest China Electric Power Test Research Institute Co. LTD., Xi'an 710032, China; 3. Shaanxi Blower CO. LTD., Xi'an 710075, China)

Abstract: Structured meshes were generated in the fluid domain of a scroll refrigeration compressor and with the number of mesh layers of the radial clearance (30 μm) reaching 13 layers, a three-dimensional transient numerical simulation model was established based on dynamic grid technology, and the model was verified experimentally, with the results showing that the model could predict its performance accurately. In addition, the internal flow characteristics of the scroll refrigeration compressor under different pressure ratios were investigated using this model. The results showed that the adiabatic efficiency first increased and then decreased with increasing of the pressure ratio within the pressure ratio range of 2.63~4.58, and it was up to the maximum when the pressure ratio was slightly higher than the theoretical pressure ratio. The pressure had a great influence on the discharge mass flux, and it decreased gradually with increasing of the pressure ratio, with the backflow occurring at the discharge port when the pressure ratio was larger than 4.18. The slope of pressure diagram was almost the same under different pressure ratios before discharging process. However, the pressure increased more quickly at a higher pressure ratio when the discharge process began. It had a larger exhaust loss at the low pressure ratio, while it had a larger backflow loss at the high pressure ratio. The velocity of leakage increased with the increase of pressure ratio, increasing the area at a high temperature in the inner clearance.

Key words: scroll refrigeration compressor; structured mesh; pressure ratio; flow field analysis

收稿日期: 2017-11-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51406163);中国博士后基金资助项目(2015M580866);陕西省重点研发计划资助项目(2017ZDXM-GY-081);陕西省教育厅服务地方专项计划资助项目(17JF019)

作者简介: 吴凯,男,硕士生,研究方向为流体机械流体动力学与优化设计。E-mail:wukai0412@126.com

通讯作者: 孙帅辉,男,副教授,研究方向为流体机械流体动力学与优化设计。E-mail:shh_sun@foxmail.com

涡旋制冷压缩机广泛应用于空调制冷系统,当环境温度发生变化时,制冷系统的蒸发温度和冷凝温度发生变化,造成涡旋压缩机的外压比发生变化,因此涡旋制冷压缩机需要在不同的压比工况下工作。

涡旋压缩机是按照额定压比进行型线设计的,工作压力不等于额定压力都会造成附加损失^[1],进而对其性能产生影响。王宝龙等^[2-3]研究了蒸发温度的变化对涡旋压缩机性能的影响,指出有制冷剂泄漏时其压缩机功耗及 COP 随着蒸发温度的升高而变大。文献[4-6]研究了压比变化对涡旋压缩机效率的影响,研究发现,随着压比的增大,泄漏增大,容积效率降低^[4-5],而等熵效率随压比的升高先增大后减小^[6]。Cuevas 等^[7-8]通过实验测定了涡旋制冷压缩机在变转速下及多个压比工况下的性能,指出文中所采用的压缩机在压比为 2.2~2.6 之间取得最高的容积效率与等熵效率,随压比的增大,其内泄漏增大,润滑条件变差,容积效率和等熵效率都随之降低。文献[9-10]分别研究了压比变化对涡旋压缩机排气量及输入功率影响。

一维稳态仿真模型和外特性实验的研究能较好地揭示压缩机性能随压比的变化,但对于压比变化造成的压缩机性能变化原因及内在机理却无法清楚表达。近年来研究者们借助 CFD 方法对涡旋式流体机械的内部流场进行模拟,以期更准确地研究其内部流动状态与机理。Cui^[11-13]较早利用 CFD 软件对涡旋压缩机进行数值模拟。王君、查海滨等先后采用非结构化^[14]和结构化动网格技术^[15]对涡旋式流体机械进行了数值模拟,比较了数值模拟的精度^[16],并对压缩机内的流场和泄漏规律进行了研究^[17]。一方面,由于非稳态模拟中动网格技术的需要,研究者大多采用非结构化网格^[11-14],间隙处的网格层数很少,很难对涡旋式流体机械的内部流场特别是间隙处的流场进行精确模拟。另一方面,当前对于涡旋式流体机械的数值研究多局限于单一工况的数值模拟,对于涡旋压缩机在变压比工况下的内流场的研究还鲜有报道。

本文借助 PumpLinX 流场计算软件,生成高质量的结构化六面体网格^[18],保证间隙处有足够的网格层数,建立了某涡旋制冷压缩机的三维瞬态数值模拟模型,实现了对涡旋压缩机内部三维瞬态流场的精确模拟。在此基础上,研究了该涡旋制冷压缩机在变压比工况下的内部流动特性及变化规律,对于涡旋制冷压缩机在变压比工况下的运行效率和运行可靠性的研究具有理论指导意义,对于涡旋制冷

压缩机的结构优化具有一定的借鉴意义。

1 数值计算模型

1.1 物理模型及网格

根据表 1 所示的某涡旋压缩机的实际结构参数建立模型,并抽取流体域模型,见图 1。涡旋压缩机的流体域模型包括吸气管、排气管及工作腔等。涡旋压缩机的流体域模型建立完成后,利用 PumpLinX 进行网格划分并进行流场计算。

表 1 涡旋压缩机几何参数

Tab. 1 Structure parameters of scroll compressor

参数	值	参数	值
基圆半径/mm	2.578	进气管直径/mm	20
涡旋圈数	2.75	排气管直径/mm	8
涡旋齿厚/mm	3.6	啮合间隙/mm	0.03
涡旋齿高/mm	40	排气角/°	111.5
理论压比	2.63	回转半径/mm	4.470

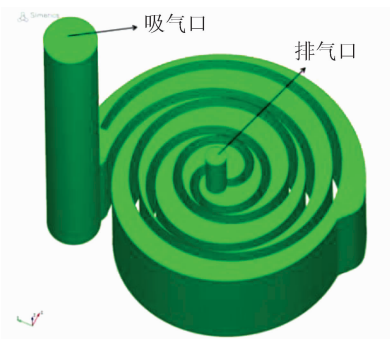


图 1 三维流体域模型

Fig. 1 Fluid domain model of scroll compressor

1.2 边界条件设置及网格无关性验证

进口给定压力及温度,出口给定压力,具体参数按表 2 进行设置。

表 2 运行工况

Tab. 2 Operation conditions

工况	压比 ϵ	吸气 压力/MPa	吸气 温度/K	排气 压力/MPa
工况一	2.63	0.816	308.0	2.146
工况二	3.00	0.715	308.0	2.146
工况三	3.43	0.627	307.7	2.146
工况四	3.62	0.590	307.7	2.135
工况五	3.92	0.549	307.7	2.151
工况六	4.18	0.513	307.8	2.145
工况七	4.58	0.474	307.8	2.169

表 2 中工况一为该压缩机的理论压比。工质为 R22,由 NIST 调取 R22 的物性参数,通过程序写入 PumpLinX。转速设定为 2 880 r/min。由于涡旋压

缩机的转速很高,一般认为,在其运行过程中,热量来不及从腔内传递出来,因此计算采用绝热模型。湍流模型为 RNG $k-\epsilon$ 模型。压力速度耦合方程用 SIMPLEC 算法求解。

网格无关性的验证结果见图 2,采用表 2 中的工况三,从 16 万到 65 万分别计算了 6 种网格数量,并对不同网格数量下的容积效率进行了计算。当网格数量由 56 万增加到 65 万的时候,容积效率由 86.80% 增加到 86.85%。因此最终采用的计算网格单元数为 56 万。图 3 为涡旋压缩机垂直于 z 轴的某截面网格,在径向间隙处的网格层数达到 13 层,沿着齿高方向共有 22 层网格。吸气管及排气管流域采用笛卡尔网格,保证了间隙处流场的精确模拟。

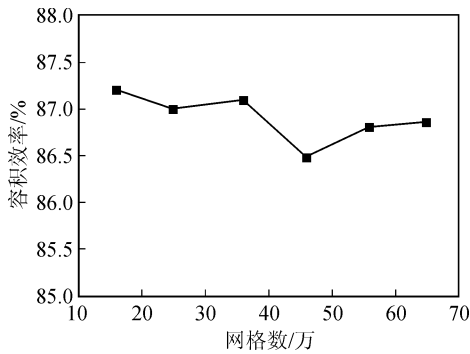


图 2 网格无关性验证
Fig. 2 Grid independence check

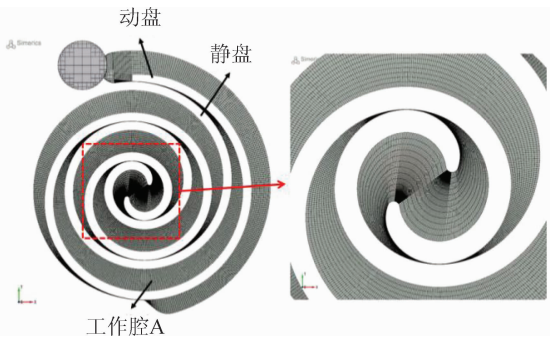


图 3 截面网格
Fig. 3 The grid in the cross section

2 实验验证与流量曲线

2.1 数值模拟与实验结果对比分析

按照表 2 给定的 7 种工况,进行变压比数值模拟,为了对数值结果的可靠性进行验证,采用本文所述的涡旋制冷压缩机样机,进行外特性验证试验。图 4 为试验系统原理图。对样机在高压比工况(表 2 中的工况三~工况七)下进行性能测试试验,具体可参考文献[19]中在无喷液工况下涡旋压缩机的性能测试结果。

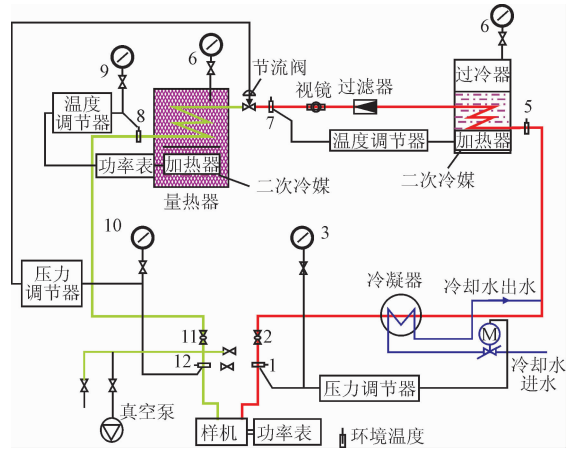


图 4 试验系统原理图
Fig. 4 Test system schematic diagram

图 5 是不同压比下排气温度及容积效率的实验值和模拟值的对比情况。由图 5 可知,排气温度的模拟值略高于实验值,最大误差为 9 K;容积效率的模拟值下降幅度小于实验值下降幅度,高压比下二者存在较大误差,最大误差约为 5.72%。

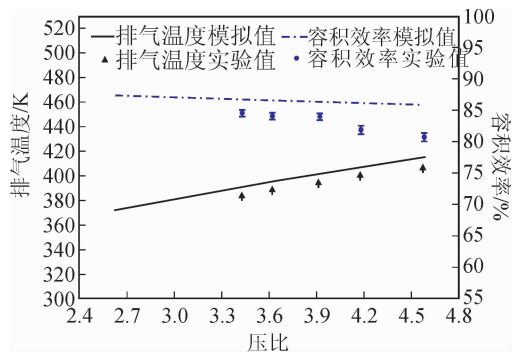


图 5 排气温度、容积效率
Fig. 5 Discharge temperature and volumetric efficiency

图 6 给出了该涡旋制冷压缩机的绝热效率随压比的变化曲线图。

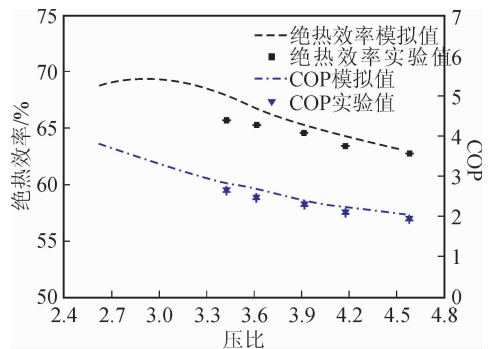


图 6 绝热效率及 COP
Fig. 6 Adiabatic efficiency and COP

由图 6 可见,当压比为 3 时,绝热效率的模拟值最高,为 69.25%;当压比大于 3 时,绝热效率随着压

比的增大而减小。图 6 也给出了 COP 的实验值和模拟值的对比结果。由图可知,COP 的实验值和模拟值均随压比的增大而减小,且模拟值略高于实验值。

由图 5~6 的实验值和模拟值对比结果可知,模拟值均高于实验值。由于实验样机采用了轴向背压柔性结构,轴向间隙运行中受到背压的作用可以认为趋于 0,因此在数值模拟计算中将轴向间隙设置为 0。但由于热变形的影响,其实际的轴向间隙分布不均匀,并且不为 0。因此模拟的泄漏量小于涡旋压缩机实际工况下的泄漏量,导致容积效率的模拟值高于实验值。

另外,涡旋压缩机在实际工况下是有油的,由于油在涡旋压缩机运行过程中会带走一部分热量,因此排气温度的模拟值高于实验值。总的来讲,数值模拟结果与实验结果具有较好的一致性,具有较高的精度。

2.2 进出口流量曲线

图 7 和图 8 分别为不同压比下一个周期内的进出口质量流量曲线图。可以看出,进出口质量流量随曲轴转角的变化均有较大波动,且随着压比的增大,涡旋压缩机的进、出口质量流量均减小。

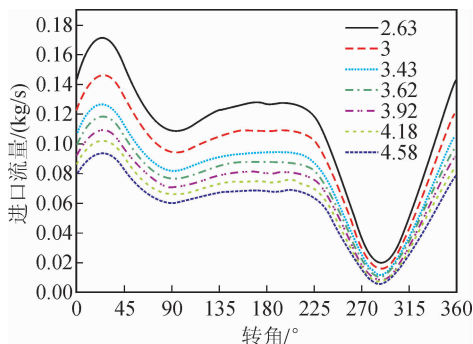


图 7 不同压比下的进口流量

Fig. 7 Inlet mass flux at different pressure ratios

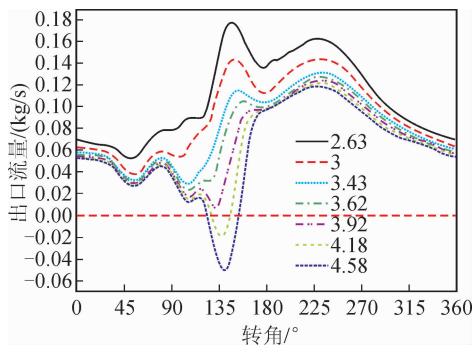


图 8 不同压比下的出口流量

Fig. 8 Outlet mass flux at different pressure ratios

由图 7 可知,各压比下进口质量流量的变化规律基本相同。随着吸气压力的减小,涡旋压缩机的

进口质量流量逐渐降低。涡旋压缩机在各个压比下,曲轴转角约为 30°时进口质量流量达到最大值,曲轴转角约为 300°左右时进口质量流量达到最小值,说明压比对吸气过程的影响较小。

图 8 给出了不同压比下的排气流量曲线。在低压比下,排气流量的最小值在 50°左右,此时是因为动盘末端遮挡排气口,流阻增大,流量降低。当压比为 3.43 及 3.62 时,此时由于压缩机处于弱欠压缩工况,在排气开始前,排气腔内部分流体向最后一对工作腔倒流,但还未影响排气口处的流动,因此排气流量在排气开始前取得最小值。当压比超过 3.92 时,压缩机处于强欠压缩工况,当排气开始后,排气腔内工质继续向最后一对工作腔内倒流,并持续一定的回转角度,导致出口质量流量在 130°达到最小值。特别地,当进出口压比超过 4.18 时,出口存在明显的回流现象;压比为 4.58 时最大瞬时回流质量流量达到 0.049 66 kg/s,是平均质量的 83.02%。由图 7~8 分析可知,涡旋压缩机在高压比下进气质量流量有明显降低,且出口存在较为明显的回流现象,造成较大的回流损失,排气量降低,并导致压缩功的增大,进而导致绝热效率降低,这与图 6 所示的绝热效率的变化规律一致。

3 流场分析

由图 8 的分析可知,曲轴转角至 130°左右时,压比超过 3.92 时,出口有较为明显的回流现象,以下将分析转角在 130°时的流场分布情况。

3.1 压力场

图 9 为 130°时不同压比下的 $x-y$ 平面上的压力云图。

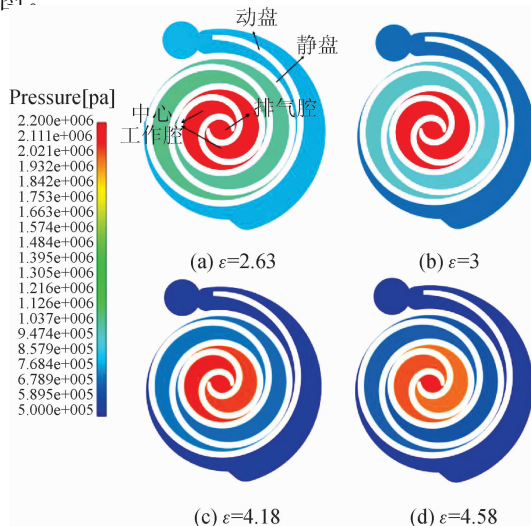


图 9 130°时不同压比下的 $x-y$ 平面上的压力云图
Fig. 9 The pressure contours at different pressure ratios on the $x-y$ surface at 130°

由图 9 可知,除径向间隙处存在较大的压力梯度外,同一工作腔内的压力分布较为均匀,一对工作腔内的压力对称分布。随着压比的增大,中心工作腔内的压力逐渐降低,排气腔内压力变化不大。

图 10 为不同压比下工作腔 A(如图 3 所示)内的压力随工作过程角的变化,图中 P_d 为排气压力。由图 10 可知,压比分别为 2.63 和 3 时,达到排气压力的时间明显小于其他压比下所用时间。在排气开始前,在高压比下,压力的变化率基本相等,由于高压比下吸气压力较低,因此在各个转角下,腔内的压力较低,达到排气压力的角度也较大。在排气开始(开始排气角为 471.5°)后,由于此时高压比下工质在出口的倒流,导致排气腔内质量增大,压力升高较快,因此高压比下排气腔的压力变化率较大。另外,在给定转速下和给定排气压力下,各个压比达到的最高压力基本相同,低压比排气损失反而较大,但高压比由于存在回流损失,导致压缩功增大,COP 反而降低。

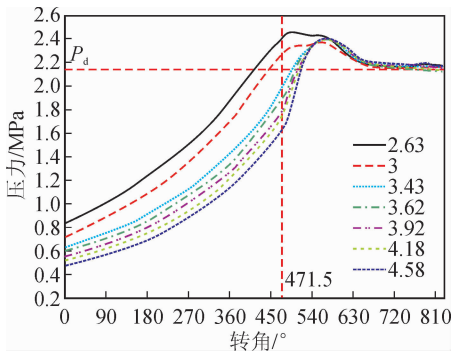


图 10 不同压比下工作腔 A 内的压力变化

Fig. 10 Pressure variation curves of working chamber A

3.2 速度矢量场

图 11 为 130° 时不同压比下间隙处的 $x-y$ 平面上的速度矢量。

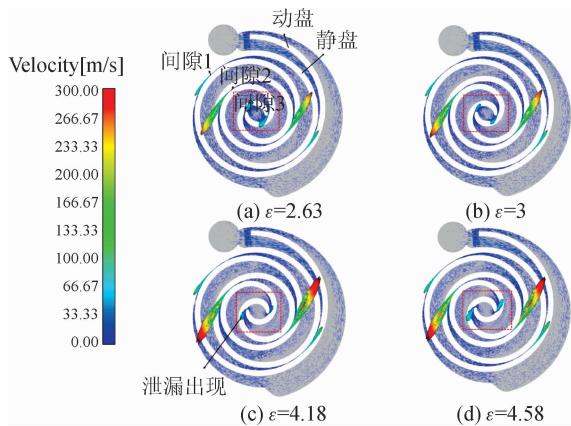


图 11 130° 时不同压比下间隙处的 $x-y$ 平面上的速度矢量

Fig. 11 Velocity vector contours of radial clearance at different pressure ratios on the $x-y$ surface at 130°

由图 11 可知,在此转角下,间隙 1 处的速度分布在各压比下的差异不大,而间隙 2 处的泄漏速度随着压比的增大而增大,表明间隙 2 处的泄漏量随着压比的增大而增大。特别地,在间隙 3 处,压比为 2.63 和 3 时的速度朝向排气腔,而当压比高于 4.18 时,在间隙 3 处出现泄漏,并随着压比的增大,间隙 3 处的泄漏速度增大。

此外,随着压比的增大,一方面由于吸气密度的降低,吸气量逐渐降低,另一方面由于泄漏量逐渐增大,导致涡旋制冷压缩机容积效率的降低(如图 5 所示容积效率的变化)。

图 12 为 130° 时不同压比下 $y-z$ 平面上的速度矢量分布。由于随着排气腔内密度的增大,体积流量的下降,所以工质在排气腔内的流速明显低于在其他腔内的流速。见图 12(a),理论压比下,排气管内工质的流速最高。见图 12(b)~(d),随着压比的增大,涡旋压缩机的吸气质量减小,因此工质在排气管内的流速降低。特别地,当压比达到 4.18 时,在排气管内出现回流现象,当压比增大到 4.58 时,这种回流现象变得更加明显,回流速度显著增大,这与图 8 所示的出口质量流量的变化曲线是一致的。

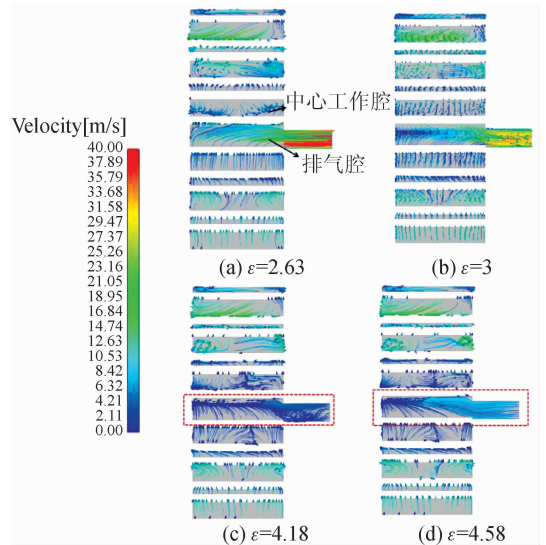


图 12 130° 时不同压比下 $y-z$ 平面上的速度矢量

Fig. 12 Velocity vector at different pressure ratios on the $y-z$ surface at 130°

3.3 温度场

图 13 为 130° 时不同压比下的 $x-y$ 平面上的温度云图。低压比下中心工作腔内的平均温度明显低于其他压比下的平均温度,在低压比下,排气腔内的温度低于中心工作腔内的温度,这种温度的差异随压比的增大而减小。此外,随着压比的增大,由于泄漏逐渐增大,泄漏工质携带着上游工作腔内的热量传播到下游工作腔,因此同一工作腔内啮合点侧的

高温区面积随压比升高而增大,工作腔内工质的平均温度随压比的增大而增大。

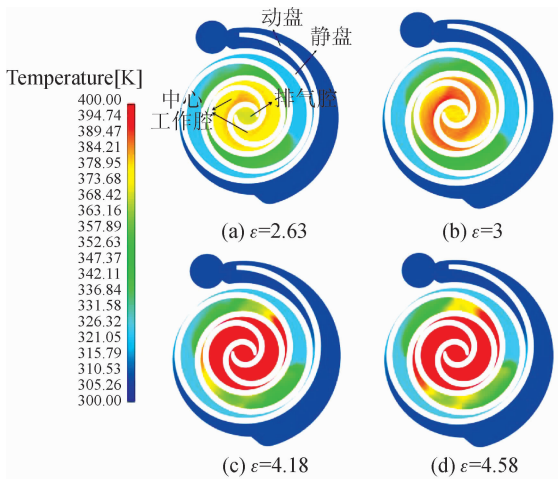


图 13 130°时不同压比下的 $x-y$ 平面上的温度云图

Fig. 13 The temperature contours at different pressure ratios on the $x-y$ surface at 130°

4 结 论

本文建立了某涡旋制冷压缩机的三维非稳态数值计算模型,采用了结构化网格,其径向间隙处的网格层数达到 13 层,保证了模拟的精确性,利用该精确模型对其在不同压比下的工作过程进行了模拟研究,并对模拟结果进行了实验验证,主要结论如下。

1) 数值模拟结果和实验结果有较好的一致性。绝热效率在压比稍高于理论压比时取得最大值。压比高于 3.92 时,涡旋制冷压缩机的性能显著变差。

2) 压比对吸气过程影响较小,对排气过程影响较大。排气量最小值的位置角随压比的增大而增大。当压比增大到 4.18 时,排气管出口出现回流,造成较大的回流损失。

3) 排气开始前,各个压比下,压力的变化率基本相同,但排气开始后,高压比下压力升高较快。高压比的回流损失较大,低压比的排气损失较大。

4) 排气腔温度在低压比下低于中心工作腔而在高压比下高于中心工作腔。同一工作腔内侧泄漏间隙处高温区面积随压比升高而增大,工作腔内工质的平均温度随压比的增大而增大。

参考文献:

[1] 邓定国,束鹏程. 回转式压缩机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
 [2] WANG Baolong, HAN Linjun, SHI Wenxing, et al. Modulation method of scroll compressor based on suction gas bypass [J]. Applied Thermal Engineering, 2012, 37: 183-189.

[3] 王宝龙,韩林俊,石文星,等. 基于制冷剂泄出的涡旋压缩机容量调节技术 [J]. 制冷学报, 2010, 31(2): 7-10. WANG Baolong, HAN Linjun, SHI Wenxing, et al. Modulating technology for scroll compressor with refrigerant release [J]. Journal of Refrigeration, 2010, 31(2): 7-10.
 [4] 李丽芬,洪丽娟. 低内压比涡旋式 R410A 压缩机在屋顶机的应用 [J]. 制冷与空调, 2015, 15(2): 79-81. LI Lifen, HONG Lijuan. Application of scroll R410A compressor with low internal volume ratio to rooftop unit [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2015, 15(2): 79-81.
 [5] 赵远扬,李连生,马丽强,等. 散热对无油涡旋空气压缩机性能影响的实验研究 [J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(1): 5-8. ZHAO Yuanyang, LI Liansheng, MA Liqiang, et al. Experimental study of heat transfer effect on oil-free scroll air compressor [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(1): 5-8.
 [6] SUN Shuaihui, ZHAO Yuanyang, LI Liansheng, et al. Simulation research on scroll refrigeration compressor with external cooling [J]. International Journal of Refrigeration, 2010, 33(5): 897-906.
 [7] CUEVAS C, LEBRUN J. Testing and modelling of a variable speed scroll compressor [J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29(2-3): 469-478.
 [8] CUEVAS C, LEBRUN J, LEMORT V, et al. Characterization of a scroll compressor under extended operating conditions [J]. Applied Thermal Engineering, 2010, 30(6-7): 605-615.
 [9] 屈宗长,朱杰,李心伟,等. 多级涡旋压缩机压力比与喷油量的优化 [J]. 西安交通大学学报, 1995, 29(11): 44-49. QU Zongchang, ZHU Jie, LI Xinwei, et al. The optimization of the pressure ratios and the mass of oil-injection of a multi-stage scroll compressor [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1995, 29(11): 44-49.
 [10] 丛丽,沈建芳,周易,等. 旋转式压缩机变压比工况下高效节能特性解析 [C]. 中国制冷学会 2007 年学术年会论文汇编, 2007: 837-840.
 [11] CUI M M. Numerical study of unsteady flows in a scroll compressor [J]. Journal of Fluids Engineering, 2006, 128(5): 947-955.
 [12] 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.
 [13] CUI M M, SAULS J. Investigation of suction process of scroll compressors [C]// In Proceedings of International Compressor Engineering Conference at Purdue, 2006, C110.
 [14] WANG Jun, ZHA Haibin, MCDONOUGH J M, et al. Analysis and numerical simulation of a novel gas-liquid multiphase scroll pump [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2015, 91: 27-36.

参考文献:

- [1] 张慧芳, 朱雅玲. 居民收入结构与消费结构关系演化的差异研究——基于 AIDS 扩张模型 [J]. 经济理论与经济管理, 2017, (12): 23-35.
ZHANG Huifang, ZHU Yaling. An evolutionary difference research of the relationship between income structure and consumption structure — Based on AIDS extension model [J]. Economic Theory and Business Management, 2017, (12): 23-35.
- [2] 江克忠, 刘生龙. 收入结构、收入不平等和农村家庭贫困 [J]. 中国农村经济, 2017, (8): 75-90.
JIANG Kezhong, LIU Shenglong. Income structure, income inequality and rural family poverty [J]. Chinese Rural Economy, 2017, (8): 75-90.
- [3] 孙皓, 胡鞍钢. 城乡居民消费升级的消费增长效应分析 [J]. 财政研究, 2013, (7): 56-62.
- [4] 江静. 中国城镇居民消费性服务支出的影响因素分析 [J]. 北京工商大学学报(社会科学版), 2014, (2): 24-31.
JIANG Jing. An analysis of factors affecting consumer services expenditure of China's urban residents [J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Social Science), 2014, (2): 24-31.
- [5] 孟庆一. 发展生活性服务业 引领消费结构转型升级 [N]. 中国经济时报, 2015-11-27(2).
- [6] SONG Ningning, LIU Yiqing. Convenient way of extend linear expenditure system modeling without regression [J]. Open Journal of Statistics, 2015, 5(6): 519-524.
- [7] 徐秋艳, 李秉龙. 基于 AIDS 模型的中国农村居民消费结构分析 [J]. 统计与信息论坛, 2015, (1): 71-75.
XU Qiuyan, LI Binglong. A time series analysis of China rural residents consumption structure based on AIDS model [J]. Statistics & Information Forum, 2015, (1): 71-75.
- [8] 谭涛, 张燕媛, 唐若迪, 等. 中国农村居民家庭消费结构分析: 基于 QUAIDS 模型的两阶段一致估计 [J]. 中国农村经济, 2014, (9): 17-31.
- [9] 温涛, 田纪华, 王小华. 农民收入构成对消费结构的总体影响与区域差异研究 [J]. 中国软科学, 2013, (3): 42-52.
WEN Tao, TIAN Jihua, WANG Xiaohua. Research on the effect of farmers' income structure on the overall consumption structure and regional difference [J]. China Soft Science, 2013, (3): 42-52.
- [10] 唐琦, 夏庆杰, 李实. 中国城市居民家庭的消费结构分析: 1995—2013 [J]. 经济研究, 2018, (2): 35-49.
TANG Qi, XIA Qingjie, LI Shi. An analysis of the consumption structure of Chinese urban households: 1995—2013 [J]. Economic Research Journal, 2018, (2): 35-49.
- (责任编辑 王绪迪)
-
- (上接第 343 页)
- [15] 王君, 宋永兴, 姜营, 等. 基于结构化动网格的涡旋压缩机内部流场模拟 [J]. 工程热物理学报, 2016, 37(2): 309-313.
WANG Jun, SONG Yongxing, JIANG Ying, et al. Numerical simulations of internal flow fields for scroll compressors based on structured dynamic meshes [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2016, 37(2): 309-313.
- [16] WANG Jun, SONG Yongxing, LI Qiang, et al. Novel structured dynamic mesh generation for CFD analysis of scroll compressors [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2015, 229(8): 1007-1018.
- [17] 查海滨, 宋永兴, 王君, 等. 一种涡旋压缩机泄漏间隙内气体泄漏模型 [J]. 工程热物理学报, 2016, 37(7): 1438-1443.
ZHA Haibin, SONG Yongxing, WANG Jun, et al. A gas leakage model in the leakage clearance of scroll compressor [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2016, 37(7): 1438-1443.
- [18] GAO Haiyang, DING Hui, JIANG Yu. 3D transient CFD simulation of scroll compressors with the tip seal [C]//9th International Conference on Compressors and Their Systems, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015, Paper 012034.
- [19] SUN Shuaihui, GUO Pengcheng, FENG Jianjun, et al. Experimental investigation on the performance of scroll refrigeration compressor with suction injection cooling [C]// Proceedings of 4th Joint US-European Fluids Engineering Division Summer Meeting, 2014, Paper V01BT10A047.
- (责任编辑 王绪迪)