

Development Trend of Scroll Compression Heat Pump Systems

Ning Zhang¹, Lu Sha², Zhenqian Zhan³

¹The Department of Integrated Management, China Patent Development Corporation, Beijing

²The Department of Danfoss Refrigeration and Air Conditioning, Asia-Pacific Technology Training Center, Tianjin

³Shanghai Golden Dragon Refrigeration Technology Co., Ltd., Shanghai

Email: zhangning_1@sipo.gov.cn, Shalu@danfoss.com, zhanzhenqian@163.com

Received: Apr. 12th, 2013; revised: May 10th, 2013; accepted: May 18th, 2013

Copyright © 2013 Ning Zhang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Some new technical methods are developed in order to increase the running scope of scroll compression heat pump systems. The most popular three ones are introduced in this article. They are 1) how to establish a heat pump system with economizer and auxiliary injection circuit; 2) how to adjust the system capacity through refrigerant release and injection; 3) how to get variable volume ratio by designing three discharge valves. The principles of these methods and solving technical problems are introduced and the scroll compressor efficiency has been improved.

Keywords: Scroll Compressor; Low Temperature Heat Pump System; Economizer; Auxiliary Injection Circuit; Refrigerant Release; Discharge Valve

涡旋压缩机在低温热泵领域应用的发展趋势

张宁¹, 沙陆², 詹振乾³

¹中国专利技术开发公司, 北京

²丹佛斯制冷空调部亚太区技术培训中心, 天津

³上海金龙制冷技术有限公司, 上海

Email: zhangning_1@sipo.gov.cn, Shalu@danfoss.com, zhanzhenqian@163.com

收稿日期: 2013年4月12日; 修回日期: 2013年5月10日; 录用日期: 2013年5月18日

摘要:为拓宽涡旋压缩机在低温热泵领域的应用, 主要采用了几种技术手段。本文综述了涡旋压缩机在热泵系统中的几种发展趋势, 即设置补气回路和经济器; 结合制冷剂泄出技术和喷射技术对压缩机容量进行调节以及在压缩机上设置多个排气阀并将排气压力制冷剂引入背压腔; 同时介绍了其技术原理和主要需要解决的技术问题, 提高了涡旋压缩机的效率。

关键词: 涡旋压缩机; 低温热泵; 经济器; 补气回路; 制冷剂泄出; 排气阀

1. 引言

近年来, 热泵因其一机两用、环保高效的特点发展越来越快。即使在金融危机的时候, 欧洲每年热泵的市场增长率一直高居40%以上, 其中普通的冷暖空调供热三分之一左右, 地源和空气源热泵占据一半以

上, 仅2008年市场容量就达到50万台以上。伴随着行业的快速发展, 节能的需求日益强烈, 其中对于压缩机的节能需求也越来越高。涡旋压缩机因效率高、噪音低、体积小、质量轻、运行平稳等特点在制冷、空调领域尤其是小型系统中得到广泛应用。但由于在恶劣工况下容易出现润滑性能下降, 出现高压比、过

压缩和压缩不足等缺陷,使得涡旋压缩机的容积效率下降,导致制热性能差,因此在热泵领域尤其是低温热泵领域的应用受到一定的限制。

为了增加涡旋压缩机在热泵领域的应用范围,研究人员致力于从热泵系统设计和压缩机设计两方面着手进行改进,使涡旋压缩机在热泵领域更稳定可靠地运行并获得更高的效率。

2. 在热泵系统中增设补气回路和经济器

为兼顾正常工作情况及极端工作情况下的系统性能,有研究人员提出利用带辅助进气口的涡旋压缩机实现带经济器的准二级压缩来提高热泵在低温工况下的制热性能^[1-6],如图1所示。

在该热泵系统中,压缩机和冷凝器之间并联有补气回路;补气回路中制冷剂与主回路中制冷剂在经济器中进行热交换,使主回路制冷剂过冷却,提高了经济性,同时由于压缩机出口温度降低,提高了系统的安全性;压缩机上带有辅助进气口,补气回路制冷剂经经济器后变为蒸气,从辅助进气口喷入压缩机。

如果补气回路中电磁阀关闭,则机组按照普通热泵运行;如果该电磁阀打开,则补气回路参与运行,机组按照带经济器的准二级系统工作。由此在不影响普通工况性能的条件下,实现低温工况下的安全经济运行,扩大机组低温工作范围。针对个别温度更低工况,可在节流机构和涡旋压缩机补气喷射口之间另外并联一喷射管路^[7]。这样可以有效地降低涡旋压缩机的压力比,提高其运行效率。

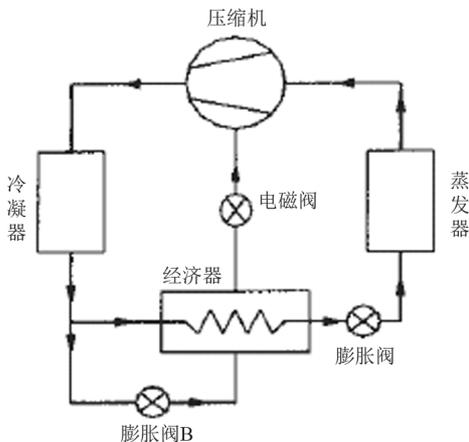


Figure 1. Heat pump system with economizer and auxiliary injection circuit
图1. 带补气回路和经济器的热泵系统

但在该系统中,涡旋压缩机的效率取决于辅助进气口的最佳开设位置、大小和形状,以及制造的可行性等,准确地计算还需进一步的研究和实验验证。

3. 结合制冷剂泄出和喷射技术对涡旋压缩机容量进行调节^[8-11]解决设计工况与运行工况偏差问题

涡旋压缩机在低温制热运行时,极易出现过压缩和压缩不足的情况,而降低压缩机和热泵系统效率,为解决这种工业难题,研究人员和部分压缩机供应商,提出通过结合制冷剂泄出和喷射技术来提高压缩机的效率、系统容量和性能。

涡旋压缩机的制冷剂泄出技术是指在压缩机中段的适当位置与制冷系统低压侧之间设置可以控制的旁通通道。当压缩机需要减容时,泄出通道接通,压缩腔中部分的制冷剂不再参与压缩而是通过泄出通道返回低压侧。这样不但减小了涡旋压缩机的有效压缩圈数,降低了压比,减小了过压缩损失,同时也降低了压缩机的排量,减小系统制冷/制热量,节约了功耗。

在制冷剂泄出系统中利用高压侧与低压侧的压差驱动喷射器来增加制冷剂泄出支路的制冷剂流量,就可以大范围内调节系统的制冷剂排气量,实现热泵系统容量调节。

如图2所示,当压缩机提供压比和流量小于系统需求压比和制冷剂流量或与其基本相当时,制冷剂泄出回路不投入使用。当系统运行于过压缩或者过大制冷剂流量工况时,泄出回路投入使用,此时,调节阀打开,压缩机中制冷剂除部分被压缩为高温高压气体

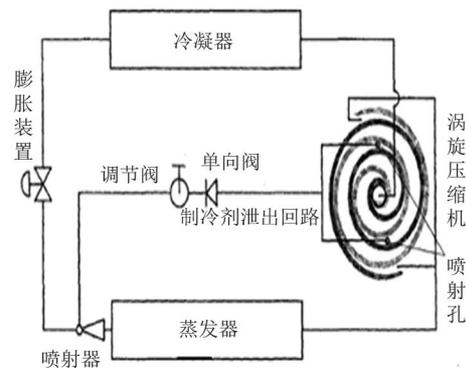


Figure 2. Heat pump system with refrigerant release and injection circuit
图2. 带制冷剂泄出回路和喷射器的热泵系统

进入冷凝器参与循环外，其余通过制冷剂泄出回路被喷射器引射流回蒸发器。泄出单向阀防止引射口压力较大时，制冷剂通过泄出回路逆向流入压缩机。单向阀可设置于压缩机壳体内。

但在该系统中，泄出孔的开设以及泄出量的控制等技术还处于研究模拟和实验验证阶段，这也成为该领域的研究热点。

4. 采用带多个排气阀并将排气压力制冷剂引流到背压腔室，解决过压缩和压缩不足的问题^[12]

压缩机的研究人员和制造商致力于采用更简便的方式扩大涡旋压缩机在低温热泵领域的应用范围。例如丹佛斯涡旋技术有限公司推出了 HHP 型热泵用压缩机 Performer-H 系列产品。该系列压缩机主要采取如下方式提高压缩机性能。

4.1. 3-D 柔性压缩机技术

涡旋盘的配合采用 3-D 柔性压缩机技术，动静涡旋盘之间无论在轴向还是径向，当发生过压缩的时候，涡旋盘可以脱离开，以防止刚性的涡旋盘发生不可恢复的损伤。停机状态时，动涡旋盘和静涡旋盘脱离开，再次启动时，相当于无负荷启动，所以能够保证启动电流小，启动噪音低。运转起来形成压缩之后，中间和排气的压力导通到动涡旋盘背面的密封空间，支撑动涡旋盘与静涡旋盘之间形成密封的状态。而该压力随着动涡旋盘的旋转，取压点也随之移动，压力可以是排气压力和背压的综合压力，或者单独的中间某个压缩压力，随着涡旋盘的运行具有自适应的特点，如图 3 所示。

4.2. HOOP 热油保护

压缩机涡旋盘的供油采用专门的供油通道，如图 4 所示。在压缩机需要润滑的 4 处中，下轴承、主轴承和动轴承的润滑由曲轴的偏心孔依靠向上的离心力提供，再通过油孔到达需要润滑的地方；涡旋盘之间的润滑油不是靠制冷剂流速带动，而是在曲轴末端设有专门的供油通道，将下面离心力支持上来的油直接通过该通道供向动涡旋盘吸气口的方位，保证了压缩机涡旋盘之间的润滑不会受工况变化的影响，防止由工况变化导致冷媒流速变化、进而影响供油。HHP

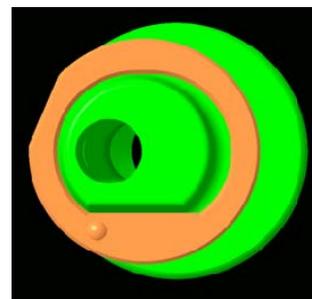


Figure 3. Scroll compressor in heat pump system with 3-D flexible design

图 3. 热泵用压缩机的 3D 柔性设计

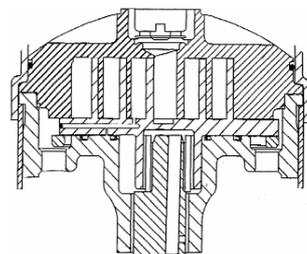
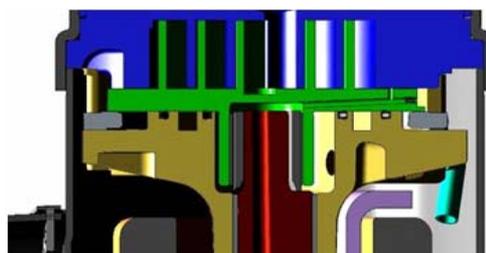


Figure 4. Oil supply design in HHP compressor

图 4. HHP 压缩机供油设计



压缩机的供油量只和压缩机本身的转速和通道的设计有关。此外，压缩机设有专门的滴油通道，多余的润滑油滴落下来可以激发电机上的保护器。当涡旋盘处于压缩过程，由于过热度过高、压比过大等原因导致温度过高时，可以通过油间接反映在保护器上，即实现热油保护。

4.3. 阀片排气阀设计

压缩机执行完压缩后的压力与实际的背压正好相等是涡旋压缩机最理想的状态，也是整个系统效率最优化的状态，而普通涡旋压缩机不具有压比可调性，很难实现该状态。HHP 压缩机针对热泵应用专门设计了具有 3 个舌簧片式的排气阀，中间的排气阀片处于排气结束的位置，两边的阀片和中间压缩腔相通，如图 5 所示。这种结构可以防止 HHP 压缩机像普通压缩机一样出现过压缩或欠压缩，影响系统性能。



Figure 5. Discharge valves in HHP compressor
图 5. HHP 压缩机的排气阀结构

通过 3 个排气阀片结构，背压较高时，两边的阀片由于背压作用不能打开，只有完全压缩完成时，中间阀片打开，完成排气；背压较低时，压缩到中间过程即可达到背压，从而打开两边的阀片，释放压缩完成的气体。

通过将 3 个排气阀结构和自适应柔性设计相结合，能够将热泵工况下压缩机的效率最优化，同时拓宽压缩机的运行范围，如图 6 所示。HHP 压缩机的蒸发温度范围最低可至 -25°C ，而在此极端低温的工况条件下，对应的冷凝温度仍可达到 50°C 。

2010 年国内的热泵生产厂商使用 HHP038 压缩机 (11.7 KW, $-7^{\circ}\text{C}/50^{\circ}\text{C}$) 生产普通风冷热泵机组，用于供应生活热水；按照标准 GB/T23137-2008 进行测试，使用循环加热式，在表 1 所列的各工况下，将水从初始温度加热到 55°C ；测量计算出这段加热过程中的制热量、电量消耗，并按加热时间平均计算出这段过程的平均制热能力、功率消耗、制热 COP 等参数。

所有的测试工况下未对机组的充注量和过热度等做任何调试，保留样机原始使用普通压缩机的状态，如图 7 所示。从图 8 所示的测试结果可以看出，HHP 压缩机在高环境温度制热时比普通压缩机具有明显优势，其更能适应高环境温度时的低压比，即其作为热泵用压缩机除了在低温高压比方面的可靠性之外，在能效方面也具有一定优势。

5. 结论

增设补气回路、形成准二级压缩，解决了涡旋压

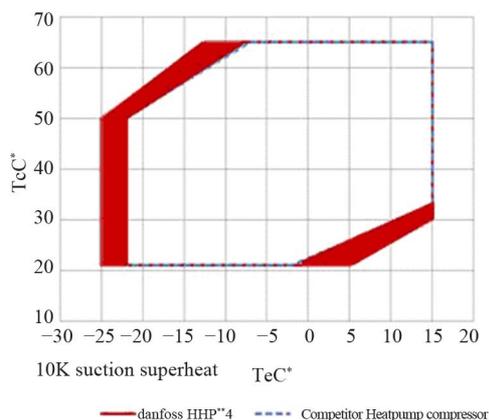


Figure 6. Running scope of HHP compressor
图 6. HHP 压缩机运行范围

Table 1. Testing conditions of heat pump system (Unit: $^{\circ}\text{C}$)
表 1. 热泵机组测试工况 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

测试工况	环境温度	进水温度	出水温度
最大运行工况	43	29	55
自定义工况 1	35	20	55
名义工况	20	15	55
最小运行工况	7	9	55
低温运行工况	-7	9	55
自定义工况 2	-15	9	55



Figure 7. Testing pictures of HHP heat pump system
图 7. HHP 热泵机组测试图

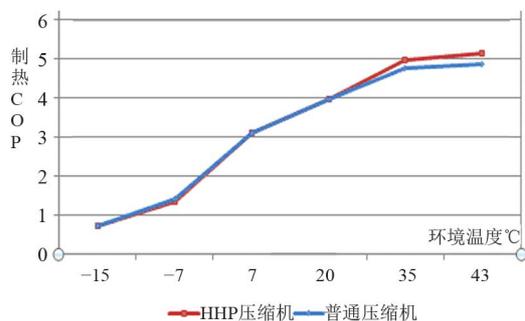


Figure 8. COP comparison of HHP heat pump system in different conditions

图 8. 各工况下制热 COP 对比

气压力制冷剂引流到背压腔室解决了设计工况与运行工况的偏离，避免了过压缩和压缩不足，确保了涡旋压缩机在低温领域的安全运行。通过上述的几种方法，既能有效地拓宽涡旋压缩机在低温热泵领域的应用，同时能够使热泵工况下压缩机的效率达到最优化。随着变频技术的发展及推广，数码涡旋等概念应运而生，涡旋压缩机的运行工况范围在与变频技术的结合中也进一步拓宽^[13-18]。相信随着实验和工艺加工水平的逐渐进步，涡旋压缩机在低温热泵上的应用也会日渐成熟。

参考文献 (References)

[1] 柴沁虎, 马国远等. 带经济器的涡旋压缩机制冷循环热力学分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 43(10): 1401-

- 1404.
- [2] 马国远, 彦启森. 涡旋压缩机经济器系统的性能分析[J]. 制冷学报, 2003, 3: 20-24.
- [3] 李园园, 马麟. 低温热泵用涡旋压缩机性能的试验研究[J]. 制冷与空调, 2008, 8(2): 63-67.
- [4] 湖北东橙新能源科技有限公司. 带经济器的低温空气源热泵系统[P]. 中国专利: 201020261648, 2011-5-18.
- [5] 广东长菱空调冷气机制造有限公司. 一种具有准两级压缩涡旋压缩机热泵系统[P]. 中国专利: 201010291522, 2011-1-19.
- [6] 大连中星科技开发有限公司. 低温准双级空气源热泵装置[P]. 中国专利: 200920203070, 2010-5-19.
- [7] 大连三洋压缩机有限公司. 一种低温热泵系统[P]. 中国专利: 201010101194, 2010-7-14.
- [8] 王宝龙, 韩林俊等. 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.
- [9] 清华大学. 主回路上设有喷射器的容量可调涡旋压缩机制冷系统[P]. 中国专利: 200710178486, 2008-4-30.
- [10] 清华大学. 中间回路上设有喷射器的容量可调涡旋压缩机制冷系统[P]. 中国专利: 200710178489, 2008-4-30.
- [11] 艾默生环境优化技术有限公司. 具有蒸汽喷射系统的压缩机[P]. 中国专利: 200610115719, 2007-2-28.
- [12] 丹佛斯涡旋技术有限责任公司. 带三个排气阀且将排气压力制冷剂引流到背压腔室的涡旋压缩机[P]. 中国专利: 201210023409, 2012-8-8.
- [13] 廖全平, 李红旗. 涡旋变频压缩机[J]. 流体机械, 2002, 30(2): 35-37.
- [14] 广东美的电器股份有限公司. 风冷热泵冷热水机组[P]. 中国专利: 201220415742, 2013-3-13.
- [15] 珠海格力电器股份有限公司. 低温空调热泵系统及使用该系统降低温度调节波动的方法[P]. 中国专利: 200510101708, 2006-7-12.
- [16] 珠海格力电器股份有限公司. 一种压缩机系统[P]. 中国专利: 200520059404, 2006-7-5.
- [17] 广东吉荣空调有限公司. 一种能在宽温范围内运行的高精度恒温恒湿空调机[P]. 中国专利: 201010153545, 2010-8-25.
- [18] 广州万宝集团有限公司. 一种适合于低温环境下运行的空调热泵设备[P]. 中国专利: 200720047817, 2008-2-20.