

文章编号: 0253-4339(2012)04-0052-04

doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2012.04.052

滚动转子式补气压缩机在热泵系统中的实验研究

马敏 黄波 耿玮 朱福祥

(上海日立电器有限公司 上海 201206)

摘要 介绍了滚动转子式补气压缩机的设计,并将其在热泵系统中进行了实验研究。分析了不同制热工况下滚动转子式补气压缩机的性能,对比了带闪发器与过冷器的经济器热泵系统、滚动转子式与涡旋式补气压缩机的性能。结果表明:随着室外环境温度的下降,滚动转子式补气压缩机补气后制热量提升比例逐步增大;滚动转子式补气压缩机制热实验中,带闪发器系统的制热量较高;在超低温制热工况下滚动转子式补气压缩机制热量提升18%左右,与涡旋式补气压缩机相比制热量相当,性能略高。

关键词 热工学;滚动转子式压缩机;补气;经济器

中图分类号 TB61⁺4; TH45; TQ051.5

文献标识码: A

Performance Investigation of the Vapor-Injection Rotary Compressor for Residential Heat Pump Systems

Ma Min Huang Bo Geng Wei Zhu Fuxiang

(Shanghai Hitachi Electrical Appliances Co., Ltd., Shanghai, 201206, China)

Abstract The paper introduces the design of vapor-injection rotary compressor. Compared to the conventional system, a heat pump system with the vapor-injection rotary compressor has been developed and tested under several conditions. The vapor-injected rotary compressor has been tested with the system of flash tank and internal heat exchanger. The vapor-injected rotary compressor has also been tested compare to the vapor-injected scroll compressor under the same conditions. The results show that when the outdoor temperature decreases, the heating capacity increasing ratio of the vapor-injection rotary compressor is enlarged; The system with flash tank has a better heating capacity compared to the internal heat exchanger. The vapor-injection rotary compressor can effectively increase the heating capacity by 18% for low ambient heating application, and has a comparable performance with scroll compressor.

Keywords Pyrology; Rotary compressor; Enhanced vapor-injection; Economizer

空气源热泵在实际使用过程中会产生以下问题:一是制热量随着环境温度的降低而逐步衰减。随着环境温度下降,压缩机吸气侧的制冷剂比容逐步增大,换热器内制冷剂流量也随之降低,压缩机有效容积得不到充分利用,机组的制热能力和COP也相应下降。而此时所需的热量(房间热负荷)却随着环境温度的下降而迅速上升,因此系统制热量将不能满足采暖热负荷需求。二是机组压缩机的运行可靠性问题。在低温环境下,系统会出现回液、高排气温度等问题,使可靠性降低^[1]。

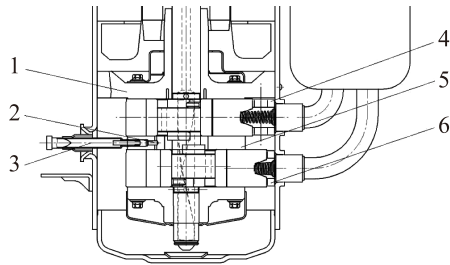
目前最常见的一种解决方案是在空调系统中增加辅助电加热以补偿低温环境制热能力的不足^[2]。但该方案既不经济也不节能,有时还会存在安全隐患。补气系统通过分流冷凝器后的制冷剂流量,压缩机吸入一部分中间压力的气体,提高制热

工况下的制冷剂流量,有效改善和提升低温环境下系统的制热能力。

1 滚动转子式补气压缩机的设计

上海日立专门设计了适用于低温环境强劲制热的滚动转子式压缩机。如图1所示,滚动转子式补气压缩机除了常规的吸气口和排气口外,还具有第二个吸气口,即蒸气喷射口,制冷剂蒸气通过蒸气喷射口和位于中间板上的喷射孔同时喷射到压缩机的上下两缸压缩腔,以增加制冷剂流量,达到增加系统制热量,提高运行可靠性的目标。中间板上喷射孔的位置和孔径的大小在很大程度上决定了系统最优制冷剂中间喷射的压力和流量,喷射孔位置要考虑避免压缩气体在上下气缸间窜动;避免排气倒灌进喷射孔;应尽量考虑减小逆流量以降低压缩

机功耗等。低温喷焓滚动转子压缩机对此进行了优化设计, 以实现最佳的喷射效果。



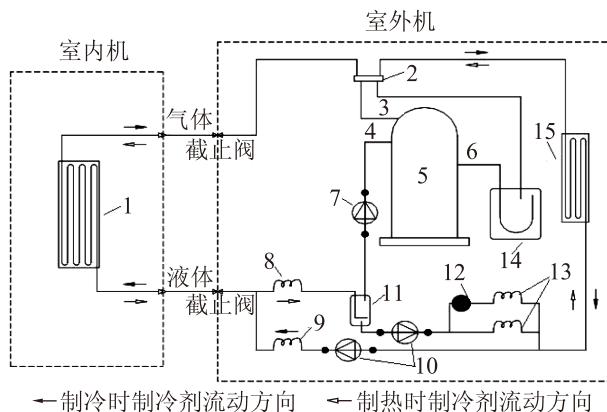
1上缸盖 2喷射孔 3喷射口 4上气缸 5中间板 6下气缸

图1 双缸滚动转子式压缩机喷射结构

Fig.1 Injection part of the twin rotary compressor

2 实验装置及方案

图2为某品牌空调(带补气)的工作流程图, 在该空调系统上进行滚动转子式补气压缩机的实验研究, 并与某品牌低温强热涡旋压缩机进行空调实验对比。



1室内换热器 2四通阀 3排气口 4喷射口 5压缩机 6回气口
7单向阀 8制热主毛细管 9制冷毛细管 10单向阀 11闪发器
12电磁阀 13制热次毛细管 14气液分离器 15室外换热器

图2 某补气空调系统图

Fig.2 Schematic of the flash tank vapor injection system

3 实验结果及分析

3.1 滚动转子式补气压缩机制热量

表1 不同制热工况下补气前后性能参数对比

Tab.1 The contrast of the performance before and after injection under different tests

性能参数		室内干/湿球温度: 20/15℃		
		室外: 7/6℃	-7 /-8℃	-15 /-16℃
制热量/W	有补气	8282	5487	4645
	无补气	7573	4834	3925
制热量提升比/%		9.4	13.5	18.3
功率/W	有补气	2581	2152	2021
	无补气	2367	1971	1818

COP	有补气	3.21	2.55	2.30
	无补气	3.20	2.45	2.16
(吸气温度/压力) /(℃/MPa)	有补气	-1.10 /0.342	-13 /0.183	-20.8 /0.097
	无补气	-0.83 /0.348	-7.9 /0.184	-20.6 /0.099
(排气温度/压力) /(℃/MPa)	有补气	77.67 /1.842	77.56 /1.457	60.70 /1.303
	无补气	81.69 /1.885	83 /1.444	64.61 /1.349
补气压力 /MPa	有补气	0.663	0.514	0.35
	无补气	0.982	0.83	0.69

从表1实验数据可见, 补气后压缩机功率上升, 通过补气增大压缩机排气量及压缩功率的同时, 机组的制热能力也随之增大, 随着室外环境温度的下降补气后制热量提升比例逐步增大, 能效也得到提高; 补气后排气温度下降, 冬季制热的运行中高压压缩比运行工况导致的排气温度过高的问题得到有效的解决, 提高了机组运行的可靠性。

从图3可知, 在室外温度0℃以下时, 滚动转子式补气压缩机的制热能力增大均在10%以上; 在超低温-15℃时制热量提升至18%左右; 随着室外温度的下降制热量提升的百分比越来越大, 说明滚动转子式补气压缩机在超低温工况下运行时补气效果尤为明显。

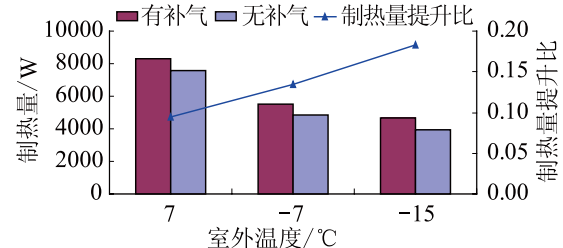
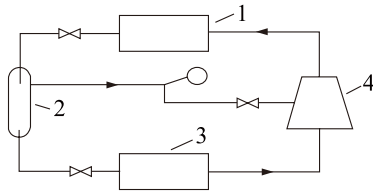


图3 不同工况下补气前后制热量对比

Fig.3 The contrast of the capacity before and after injection

3.2 带闪发器与过冷器的经济器系统对比

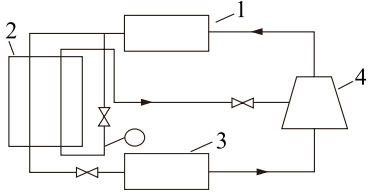
过冷器和闪发器是经济器的两种基本形式。闪发器是一种简单的压力容器, 从冷凝器出来的液体经过膨胀阀中间节流进入闪发器后, 分成两部分: 一是主回路部分的中间压力饱和液体, 再经膨胀阀二次节流后进入蒸发器蒸发吸热, 然后进入压缩机主吸气口; 二是喷射部分的中间压力饱和蒸汽, 被压缩机第二吸气口(压缩机喷射口)吸入, 以增加制冷剂流量, 提高系统制热量。带过冷器系统与闪发器系统基本原理相似, 过冷器(一般为板式换热器)结构相对复杂, 能在较宽范围内控制中间喷射压力^[3]。



1冷凝器 2过冷器 3蒸发器 4压缩机

图4 带闪发器的系统流程示意图

Fig.4 Schematic of the FTC system



1冷凝器 2过冷器 3蒸发器 4压缩机

图5 带过冷器的系统流程示意图

Fig.5 Schematic of the IHXC system

如图6、图7所示,在额定制冷工况下(室外温度35℃),带闪发器系统(FTC)与带过冷器系统(IHXC)补气前后制冷量与EER均相当;在超低温制热实验(室外温度-15℃)中,补气前后带过冷器系统的制热量较闪发器稍小,性能略低:补气前带过冷器系统制热量较闪发器系统低84W,性能下降0.4%;补气后带过冷器系统制热量较闪发器系统低76W,性能下降1%左右。从实验结果来看,带过冷器系统的制热量比带闪发器系统略小,性能略低。从成本考虑,闪发器是一种更好的选择。

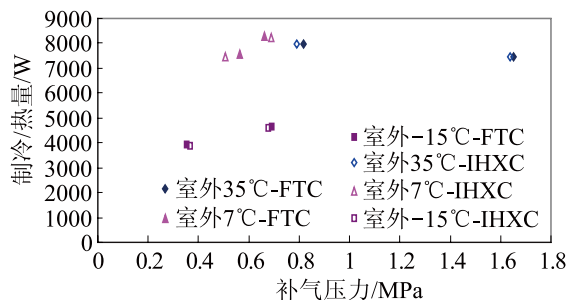


图6 闪发器与过冷器系统制冷/热量对比

Fig.6 The contrast of the cooling/heating capacity between FTC and IHXC system

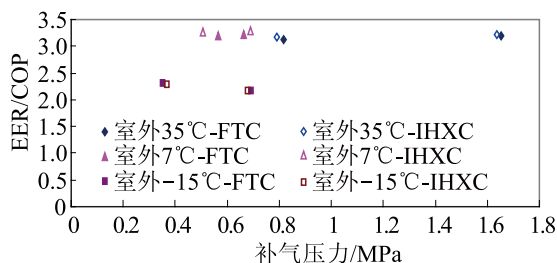


图7 闪发器与过冷器系统性能对比

Fig.7 The contrast of the performance between FTC and IHXC system

3.3 滚动转子式与某涡旋补气压缩机性能对比

在同一空调系统上进行不同工况下滚动转子式与涡旋式补气压缩机的性能实验,实验数据见表2:额定制冷工况下,滚动转子式与涡旋压缩机性能相当;制热工况下室外环境温度7℃时,滚动转子式制热量比涡旋式高52W,性能高1.6%;室外环境温度-7℃时,滚动转子式制热量与涡旋式相当,性能高2.4%;室外环境温度-15℃时,滚动转子式制热量与涡旋式相当,性能高3.1%。由实验结果可见滚动转子式补气压缩机制热量与涡旋式补气压缩机制热量相当,性能略高。涡旋压缩机系固定容积比压缩机^[4],当实际工作过程偏离设计工况时,系统将不可避免出现欠压缩或过压缩的情况;而滚动转子式压缩机则不会有这种顾虑。

表2 滚动转子式与涡旋式性能对比

Tab.2 The performance of the rotary and scroll compressor

性能参数		测试工况		20/15℃			
		室内干/湿球温度: 27/19℃	室外: 35/24℃	7/6℃	-7/-8℃	-15/-16℃	
制冷/热量/W	涡旋式	7204	8230	5490	4632		
	转子式	7209	8282	5487	4645		
功率/W	涡旋式	2270	2603	2204	2079		
	转子式	2283	2581	2152	2021		
EER/COP	涡旋式	3.18	3.16	2.49	2.23		
	转子式	3.17	3.21	2.55	2.30		
补气压力/MPa	涡旋式	1.667	0.658	0.52	0.341		
	转子式	1.671	0.663	0.514	0.35		

注: 1) 以上实验数据额定制冷工况下系统处于无补气状态;制热工况下处于有补气状态。

4 结论

从以上实验结果可以得出如下结论:

- 1) 随着室外环境温度的下降滚动转子式补气压缩机补气后制热量提升比例逐步增大,得到提高;在超低温工况下运行时补气效果尤为明显。
- 2) 在滚动转子式补气压缩机制热实验中,带过冷器系统的制热量较闪发器略小,性能略低。从成本考虑,闪发器是一种更好的选择。
- 3) 在同一空调系统上进行滚动转子式与涡旋式补气压缩机的性能对比,结果表明滚动转子式补气压缩机制热量与涡旋式补气压缩机制热量相当,性能略高。

(下转第60页)

- Appl Phys Lett, 2001, 79 (14): 2252-2254.
- [4] Kang H, Kim S, Myung. Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle[J]. Exp Heat Trans., 2006, 19 (3): 181-191.
- [5] X Han, Wilson J K, Critser. Effects of nanoparticles on thenucleation and devitrification temperatures of polyol cryoprotectant solutions[J]. Micro fluid Nano fluid, 2008, 4 (4): 357-361.
- [6] Masuda H, Ebata A, Teramae K, et al. Altenration of Thermal Conductivity and Viscosity of Liquid by Dispersing Ultra-fine Particles (Dispersion of Y-A1203, SiO₂ and TiO₂ Ultra-Fine Particles) [J]. Netsu Bussei (Japan), 1993, 4: 227-233.
- [7] Wang X W, Xu X F, Choi SU S. Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture[J]. Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 1999, 13 (4): 474-481.
- [8] 范庆梅, 卢文强. 纳米流体热导率和粘度的分子动力学模拟计算[J]. 工程热物理学报, 2004, 25 (2): 268-270. (Fan Qingmei, Lu Wenqiang. Simulation of thermal conductivity and viscosity of nanofluids by molecular dynamics[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2004, 25 (2): 268-270.)
- [9] Hu Z S, Dong J X. Study on anti-wear and reducing friction additive of nanometer titanium oxide[J]. Wear, 1998, 216: 92-96.
- [10] Rubinsky B. Thermal stresses during solidification processes[J]. ASME Journal of Heat Transfer, 1982, 104: 196-199.
- [11] Rabin Y, Steif P S. Analysis of thermal stresses around a cryosurgical probe[J]. Cryobiology, 1996, 33: 276-290.
- [12] 胥义, 高才, 华泽钊. 用DSC测定兔主动脉血管冻结相变区间的表观比热容及其影响因素[J]. 制冷学报, 2005, 1: 38-43. (Xu Yi, Gao Cai, Hua Zezhao. Apparent specific heat measurements of rabbit artery during freezing phase transition by DSC[J]. Journal of Refrigeration, 2005, 1: 38-43.)
- [13] 高才, 周国燕. 乙二醇和丙三醇水溶液冻结特性的研究[J]. 物理化学学报, 2004, 20 (2): 123-128. (Gao Cai, Zhou Guoyan. Freezing characteristics of the glycol and the glycerol solution[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2004, 20 (2): 123-128.)
- [14] 高才, 王文华. 不同结晶度的乙二醇及其水溶液玻璃化转变与焓松弛[J]. 物理化学学报, 2004, 20 (7): 701-706. (Gao Cai, Wang Wenhua. Glass transition and enthalpy relaxation of the glycol with different crystallinity and its water solution[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2004, 20 (7): 701-706.)
- [15] 刘振海. 分析化学手册(热分析) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [16] 北京化学试剂公司. 化学试剂、精细化学品产品目录 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [17] 高丕英, 李江波. 物理化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [18] Marzio D, Arthur E A. Configurational entropy approach to the kinetics of glasses[J]. J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol., 1997, 102 (2): 135-157.

作者简介

刘连军, 男(1987-), 硕士研究生, 上海理工大学能源与动力工程学院, 18721063870, E-mail: liulianjun6@126.com. 研究方向: 纳米低温保护剂的热物性研究。

About the author

Liu Lianjun (1987-), male, master, College of Energy & Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, 18721063870, E-mail: liulianjun6@126.com. Research fields: The effect of nanoparticles on thermodynamic parameters of cryoprotective agents.

(上接第54页)

参考文献

- [1] 唐华杰, 吴兆林, 周志钢. 涡旋式压缩机经济器系统的应用研究[J]. 流体机械, 2007, 35 (9): 55-58. (Tang Huajie, Wu Zhaolin, Zhou Zhigang. Application Research on Scroll Compressor with Economizer for Heat Pump[J]. Fluid Machinery, 2007, 35 (9): 55-58.)
- [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. (Ma Guoyuan, Yan Qisen. Performance Investigation of vapor-injected scroll compressor with the system of flash tank[J]. Journal of Refrigeration, 2003, (3): 20-24.)
- [3] Xudong WANG. Performance Investigation of Refrigerant Vapor-Injection Technique for Residential Heat Pump

Systems[C]//International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, 2008: No. 2119.

- [4] 王宝龙. 制冷剂喷射涡旋压缩机及其应用研究[D]. 北京: 清华大学建筑技术科学系, 2006.

通讯作者简介

马敏, 女(1982-), 工学硕士, 上海日立电器有限公司, (021) 50554560, E-mail: mam@shcc.com.cn. 研究方向: 高效滚动转子压缩机的开发与设计。

About the corresponding author

Ma Min (1982-), female, master, School of Power Engineering, Shanghai Hitachi Electrical Appliances Co., Ltd., (021) 50554560, E-mail: mam@shcc.com.cn. Research fields: optimization research for high-efficiency rotary compressor.