

文章编号:0253-4339(2014)02-0059-04

doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2014.02.059

反循环除霜对热泵用螺杆制冷压缩机性能影响的实验研究

吴华根 邢子文 束鹏程

(西安交通大学能源与动力工程学院 西安 710049)

摘要 双螺杆制冷压缩机由于其独特的优势已广泛应用于热泵产品中。针对风冷热泵用双螺杆制冷压缩机在反循环除霜过程中的性能特性进行了实验研究,研究表明:在进行反循环除霜时对压缩机的冲击比较大,压缩机排气压力急剧下降到 0.65 MPa 才逐渐上升,而吸气压力先直线上升,接着快速下降,甚至到 0.1 MPa,然后才逐步上升,并和排气压力一样出现了较为强烈的波动;压缩机功率出现了类似排气压力的变化趋势;吸、排气温度的变化则缓和许多,排气温度先是由 90 °C 下降到 75 °C,然后逐渐上高,最高至 100 °C 左右,然后下降并逐渐趋于稳定,而吸气温度先升高并保持一段时间,然后逐渐下降;系统制热量逐渐下降,随后向循环水提供冷量,随着制冷工况的进行,供冷量先增加后逐渐降低并趋于稳定。对反循环除霜对制冷压缩机影响的研究为提高风冷热泵中压缩机的可靠性提供了实验依据。

关键词 反循环除霜;风冷热泵;螺杆制冷压缩机;实验研究

中图分类号:TB652;TQ051.5

文献标识码:A

Experimental Study on Effect of Reverse Cycle Defrost on the Performance of Screw Refrigeration Compressor

Wu Huagen Xing Ziwen Shu Pengcheng

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, China)

Abstract Twin-screw refrigeration compressor has been widely applied because of its unique advantage in air-source heat pump. In this paper, the performance variation of the twin-screw refrigeration compressor during the reverse cycle defrost process has been studied by experiment. The results showed that the twin-screw refrigeration compressor would receive a marked impact because of the reverse cycle defrost behavior of the system. The discharge pressure of compressor would drop sharply to 0.65 MPa and then rise gradually during the first half of reverse cycle defrost process, but the suction pressure would rise perpendicularly and then decrease rapidly, even to 0.1 MPa, after that it would go up gradually in this period of time. In the second half of reverse cycle defrost process, the discharge pressure and the suction pressure would have a strong oscillation and then tend to be steady. During the reverse cycle defrost process, the variation of the discharge temperature and the suction temperature would be slow and lag behind the changing of pressure. The discharge temperature would drop firstly from 90 °C to 75 °C, and then up to 100 °C, finally, decrease and tend to be steady. However, the suction temperature would rise and keep the high temperature for some time, and drop finally. The consumption power of compressor would have the similar experience as the discharge pressure. The heat capacity of this system would decrease and offer cooling capacity to environment. At that time, the frost on the fins would be melted.

Keywords reverse cycle defrost; air-source heat pump; twin-screw refrigeration compressor; experimental study

风冷热泵作为中央空调的冷热源,自 90 年代以来在我国得到了广泛的应用。风冷热泵的优点在于一机二用,冬天可提供热量,夏天可以提供冷量,提高了机组的利用率,并把空气作为低温热源,这对低品位热能的开发和利用具有重要的意义,可以说该类热泵技术是一种节能技术,非常适合在我国的推广应用。当然从风冷热泵冷热水机组实际运行的效果看,在气温偏低且相对湿度较高的地区,冬季制热运行时性能不太理想,主要原因是蒸发器结霜及除霜造成风

冷热泵机组供热能力下降。当环境温度低于 0 °C 时,霜就有可能在风侧换热器的翅片上形成,阻碍了通风量,降低换热器的效率,这就需要进行周期性除霜^[1]。因此除霜技术的发展对于风冷热泵机组的推广将有重大的推动作用。O'Neal 等^[2]研究了短管节流器孔径尺寸对空气源热泵除霜性能的影响。Krawkow 等^[3]提出了反循环除霜的理想模型,阐明了除霜基于以下四个阶段:预热阶段,融霜阶段,蒸发阶段以及烘干阶段。黄虎等^[4]在对风冷热泵冷热水机组除

霜过程内部状态变化进行定性分析的基础上,建立了机组除霜过程动态仿真数学模型。黄东等^[5]研究了反循环除霜时风机预先启动和正常启动对机组性能的影响。刘志强等^[6]在热气除霜实验研究的基础上,提出了风冷热泵热气除霜过程的动态特性模型,重点模拟了这一过程中霜层侧的传热传质和制冷剂侧压力变化情况。梁彩华等^[7]针对现有逆向除霜方式的不足,提出了一种新型的显热除霜方式。Huang 等^[8]通过实验研究了环境参数对于除霜时带有经济器补气压缩机的空气源热泵的性能影响。汤晓亮等^[9]利用时间-温差法对风冷冰箱的除霜技术进行了研究,并取得了较好的效果。张杰等^[10]对小型空气源热泵的几种除霜方式进行了比较分析,认为相变蓄能除霜有较好的优势。国内外的研究成果极大的推动了热泵技术在我国的应用。

目前,常用的除霜方式有反循环除霜、热气旁通除霜、热水除霜、相变蓄能除霜等。本文主要对反循环除霜对于螺杆压缩机性能特性的影响进行研究,即当化霜开始时,将风冷热泵的制热工况转变为制冷工况运行,把压缩机排气直接进入风侧换热器,使得风侧换热器盘管温度升高,从而对翅片进行除霜时,螺杆压缩机的压力、温度、功率等参数的瞬态变化情况,这对在热泵的实际运用中如何更好的保护压缩机提供了实验依据,对于提高热泵的运行性能也富有指导意义。

1 实验装置

1.1 热泵机组

为了达到本文实验的目的,西安交通大学自己设计建成了风冷热泵性能测试实验平台。该实验平台主要包括压缩机、蒸发器、冷凝器以及膨胀阀,还包括其他的辅助器件,图 1 显示的是风冷热泵实验样机的主件流程。该热泵机组的名义制热量为 145 kW。系统中双螺杆压缩机设计转速为 2960 r/min,阴阳转子齿数为 5、6 齿,名义排气量为 3.5 m³/min。

1.2 实验及测试装置

热泵系统运行时,当蒸发器翅片的温度低于 0℃,环境相对湿度大于 60% 时,翅片表面就可能发生结霜现象。本实验中,翅片结霜现象如图 2 所示。随着霜层的增厚,整个换热器的性能下降,导致系统的整体性能不断下滑,这就需要进行反循环除霜来使热泵系统能够恢复正常的运行。依靠此实验平台,螺杆压缩机在反循环除霜过程中的吸、排气压力,吸、排气温度,功率进行了动态测试,经由压力和温度传感器探测,并有数据采集卡采集,然后输入电脑进行整

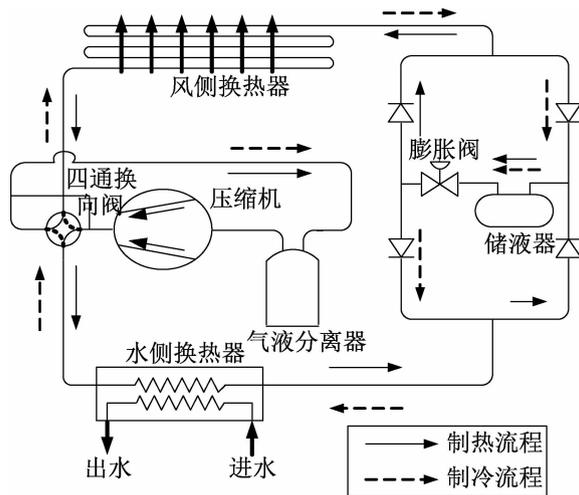


图 1 风冷热泵流程图

Fig. 1 Schematic diagram of air-source heat pump



图 2 风侧换热器结霜图

Fig. 2 Frost on heat exchanger

理和分析。

2 实验结果及分析

为了研究反循环除霜对压缩机性能的影响,在风冷热泵结霜工况下人为延长结霜时间,再进行反循环除霜,并对压缩机的吸、排气压力和温度,压缩机功率,制热量进行了测试。

图 3 所示为反循环除霜时,压缩机的吸、排气压力的变化情况。图中横坐标是时间,在横坐标是 395 s 时,四通阀切换风冷热泵由制热工况转为制冷工况运行,压缩机的排气直接喷入风侧换热器(蒸发器)进行除霜,除霜时间为 5 min。

在结霜过程中,压缩机的吸气压力有所下降,下降幅度不大,这是因为随着霜层的增厚,制冷剂在蒸发器内获得的热量越来越少,导致吸气压力缓慢的下降。当四通阀切换时,压缩机吸气管道和排气管道就会发生压力平衡现象,压缩机的排气压力有了急剧的下降,在短短的 30 s 内从 1.845 MPa 迅速降到 0.638 MPa,吸气压力则先急剧的上升,紧接着快速下降,甚

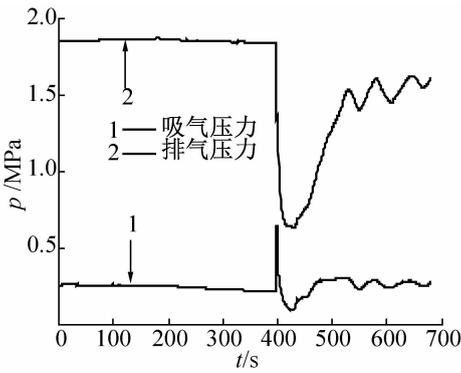


图 3 除霜过程中压力的变化

Fig. 3 Pressure variation during defrost process

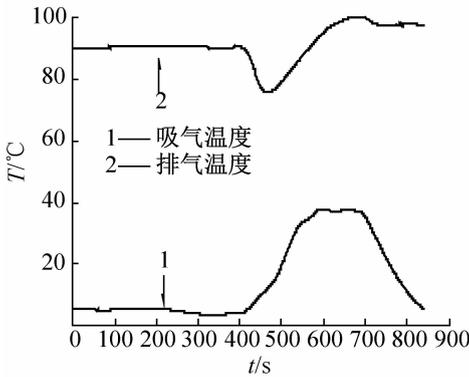


图 4 除霜过程中温度的变化

Fig. 4 Temperature variation during defrost process

至到了 0.1 MPa,接近于真空吸气。这是因为四通阀切换时,刚排出的高温高压制冷剂准备进入冷凝器的气体被压缩机抽回,导致吸气压力上升,但是在系统压力的平衡前,汽液分离器中的液体都被蒸发完,而系统压力尚未平衡,压缩机吸气量越来越少,导致吸气压力进一步下降。这种状况对于压缩机来说是极其不利的,在吸气压力和吸气量如此低的情况下,排气压力必然随之下降,由于吸、排压力之间的压差下降过快,就会引起压缩机的供油量减少,压缩机转子的温度会升高的很快,转子变形量增大,提高了压缩机噪声,并且压缩机的轴承的润滑效果也会下降,降低了轴承的寿命,这对压缩机性能来说是极为有害的。在反循环除霜过了 2 min 后,压缩机的吸排气压力都出现了较大的震荡,尤其是排气压力,这种吸排气压力的剧烈变化对压缩机的工作非常不利。

除霜时压缩机吸、排气温度的变化如图 4 所示。从图上可以看出,在反循环除霜开始时,由于温度平衡的时间要比压力平衡长,所以没有马上出现温度的大幅度变化,过了几十秒后,压缩机的排气温度开始下降,吸气温度开始上升。而且吸、排气温度的变化程度与压力相比则缓和许多,排气温度先是由 90 °C

下降到 75 °C,然后逐渐升高,最高至 100 °C 左右,然后下降并逐渐趋于稳定,而吸气温度先升高到 37 °C 并保持一段时间,然后逐渐下降。

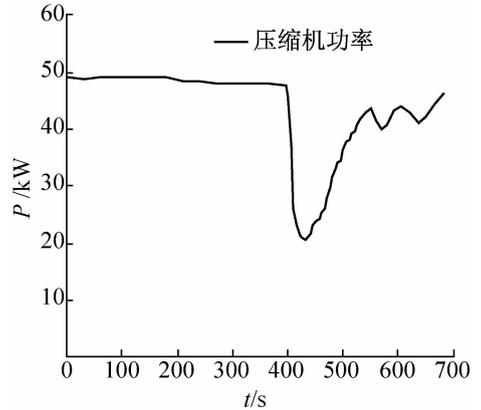


图 5 除霜过程中压缩机功率变化

Fig. 5 Compressor power variation during defrost process

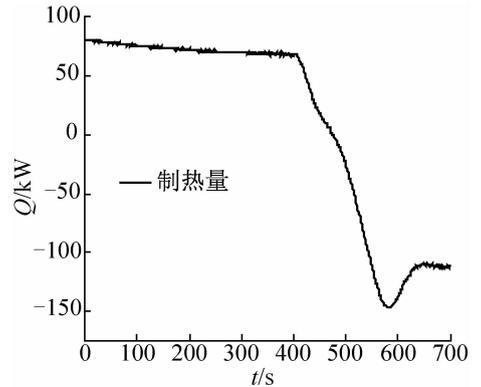


图 6 除霜过程中压缩机制热量变化

Fig. 6 Heat capacity variation during defrost process

反循环除霜过程中压缩机的功率变化如图 5 所示。在结霜阶段,压缩机功率出现了轻微的减小。当反循环除霜开始时,压缩机功率就有明显的下降,当吸、排气压力达到最小值的同时压缩机功率值也为最小。这主要是由于压缩机的质量流量有了大幅度的下降引起的,压缩机流量减少,所消耗的压缩机功也随之减少。随着制冷工况的进一步延续,吸、排气压力回升,压缩机的流量逐步上升,压缩机功率也随着上升。

图 6 给出了制热量在除霜过程中的变化情况。随着霜层增厚,制热量逐步下降,当制热量大约只有名义制热量的一半时,除霜开始。从图中可以看出,由于温度的平衡要比压力平衡的时间长,因此除霜开始一段时间以后制热量才有了明显的下降。随着除霜过程的进行,热泵系统由向外界提供热量逐步转为提供冷量。除霜过程中,由于风侧换热器的翅片上的霜导致冷凝效果加强,因此大大增加了机组的制冷

量。由此可见,反循环除霜将会导致房间在较长的时间内得不到热量的供应,反而会被提供冷量,极大的降低了房间的温度,并不利于房间舒适性要求,这也是众多研究者们探索其他除霜方式的原因之一。

针对大中型螺杆型风冷热泵而言,在反循环除霜切换四通阀时,螺杆压缩机的吸、排气压力有剧烈的变化,并在后续的除霜过程中有较大的波动,因此针对该特性进行研究寻找适合大中型风冷热泵用螺杆制冷压缩机的除霜方式将显得非常重要。文献[11]提出了在小型空气源热泵中利用串联蓄热除霜模式可以提高吸气压力,降低压力的波动。而且从已有的相关研究文献来看相变蓄能除霜方式可缓解反循环除霜时吸气压力过低和热气旁通除霜时间较长的问题。因此研制合适的相变材料作为蓄能介质(具有良好的蓄热特性和放热速度)和研究其控制特性,将有可能较好的降低除霜过程中多压缩机的冲击,使该方法成为大中型空气源热泵的除霜应用中的重点。

3 结论

总的来说,反循环除霜方式有利于风侧换热器的霜层被迅速除去并被烘干,但是该方式对于螺杆压缩机的冲击较大,压缩机的吸排气压力将会产生很大的波动,吸气压力甚至降到了 0.1 MPa,而排气压力也会迅速下降,最低点只有正常工况下的三分之一左右,这会极大影响压缩机运行时的供油量,引起供油量的不足,严重时可能造成压缩机及其轴承的损伤。另外,由于反循环除霜,会导致房间供热量不足,舒适性降低。因此探索柔和、高效的除霜方式必然成为热泵技术中的研究热点。

参考文献

[1] Takao Nishimura. Heat pumps—status and trends in Asia and the Pacific [J]. International Journal of Refrigeration, 2002, 25 (4):405-413.

[2] O' Neal Dennis L, Peterson Kurt, Anand NK. Effect of short-tube orifice size on the performance of an air source heat pump during the reverse-cycle defrost [J]. International Journal of Refrigeration, 1991, 14(1):52-57.

[3] K I Krakow, S Lin, L Yan. An idealized model of reversed-cycle hot gas defrosting [J]. ASHRAE Trans., 1993, 99 (2): 317-338.

[4] 黄虎,李志浩,虞维平. 风冷热泵冷热水机组除霜过程仿真[J]. 东南大学学报, 2001, 31(1):52-56. (Huang Hu, Li Zhihao, Yu Weiping. Dynamic Simulation of Air Cooled Heat Pump/Chiller under Defrosting Condition [J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edi-

tion), 2001, 31(1):52-56.)

[5] Huang Dong, Yuan Xiuling, Zhang Xingqun. Effects of fan-starting methods on the reverse-cycle defrost performance of an air-to-water heat pump [J]. International Journal of Refrigeration, 2004, 27(8): 869-875.

[6] 刘志强,汤广发,赵福云. 风冷热泵除霜过程动态特性模拟和实验研究[J]. 制冷学报, 2003, 24(3):1-5. (Liu Zhiqiang, Tang Guangfa, Zhao Fuyun. Investigation and Simulation of Air-source Heat Pump during Reverse Cycle Defrost [J]. Journal of Refrigeration, 2003, 24(3): 1-5.)

[7] 梁彩华, 张小松, 巢龙兆, 等. 显热除霜方式与逆向除霜方式的对比试验研究[J]. 制冷学报, 2005, 26(4): 20-24. (Liang Caihua, Zhang Xiaosong, Chao Longzhao, et al. Experimental Comparison of Sensible Heat Defrost and the Conventional Reverse Cycle Defrost [J]. Journal of Refrigeration, 2005, 26(4):20-24.)

[8] M J Huang, N J Hewitt. The experimental analysis of the effect of ambient factors on the defrosting of economised vapour injection compressor air source heat pump in marine climates [J]. International Journal of Refrigeration, 2013, 36(3): 820-827.

[9] 汤晓亮,王铁军,杨帆,等. 风冷冰箱除霜控制技术研究与应用[J]. 制冷学报, 2013, 34(2):49-54. (Tang Xiaoliang, Wang Tiejun, Yang Fan, et al. Study on Defrosting Control technology of Air Cooled Refrigerator [J]. Journal of Refrigeration, 2013, 34(2): 49-54.)

[10] 张杰,兰菁,杜瑞环,等. 几种空气源热泵除霜方式的性能比较[J]. 制冷学报, 2012, 33(2):47-49. (Zhang Jie, Lan Jing, Du Ruihuan, et al. The Performance Comparison of Several Defrosting Modes for Air-source Heat Pump[J]. Journal of Refrigeration, 2012, 33(2): 47-49.)

[11] 胡文举,陈镇凯,姜益强,等. 空气源热泵相变蓄能除霜系统蓄热模式及除霜特性的研究[J]. 建筑科学, 2011, 27(12): 31-35. (Hu Wenju, Chen Zhenkai, Jiang Yiqiang, et al. Study on Thermal Energy Storage Modes and Defrosting Dynamic Characteristics of a PCM based Air Source Heat Pump [J]. Building Science, 2011, 27(12): 31-35.)

作者简介

吴华根,男(1977-),副教授,博士,西安交通大学能源与动力工程学院,029-82664845, E-mail: hgwu@mail.xjtu.edu.cn. 研究方向:压缩机及制冷技术,余热回收利用。

About the author

Wu Huagen (1977 -), male, Ph. D./Associate Professor, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, 029-82664845, E-mail: hgwu@mail.xjtu.edu.cn. Research fields: Technology of Compressor and Refrigeration, Energy recovery from low temperature heat resource.