

空气源热泵蓄能除霜动态实验台的搭建及研究

董建锴, 姜益强, 胡文举, 姚 杨

(哈尔滨工业大学 热泵空调技术研究所, 哈尔滨 150090, djkheb@163.com)

摘 要:为解决现有空气源热泵除霜时由于能量来源不足而存在的各种问题,提出空气源热泵蓄能热气除霜的新方法,并对其实验流程进行设计.完成实验台的搭建以及常规热气除霜与蓄能热气除霜的对比实验.结果表明:蓄能热气除霜的实验流程是可行的,可以有效缩短除霜时间 150 s 左右;提高吸气压力 180 kPa 左右;恢复供热的时间也明显缩短;其除霜效果明显优于常规除霜.

关键词:蓄能热气除霜;实验台搭建;空气源热泵

中图分类号: TU831.6

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)02-0223-04

Dynamic test – rig structure and research of ASHP energy storage defrosting

DONG Jian-kai, JIANG Yi-qiang, HU Wen-ju, YAO Yang

(Institute of Heat Pump and Air Conditioning of Technology, Harbin Institute of Technology,
Harbin 150090, China, djkheb@163.com)

Abstract: In order to solve the problems caused by the lack of energy source in the defrosting process of traditional ASHP, an energy storage based defrosting method for ASHP is presented and the corresponding experimental rig is developed. Experimental results show that the defrosting time can be decreased by 150 s, the suction pressure can be increased about 180 kPa, and the recovering time of heating supply is obviously shortened. It can be concluded that the developed defrosting method and the designed experimental rig are feasible.

Key words: nergy storage hot gas defrosting; test-rig structure; air source heat pump

空气源热泵在冬季制热运行时,室外侧换热器存在结霜问题^[1-2].随着霜层的形成将出现蒸发温度和制热量下降、风机性能衰减,严重时将出现停机现象.现有的除霜方法很多,主要有自然除霜、电加热除霜、水力除霜、热气除霜等几种方式^[3-5].但关于蓄能除霜的方法却较少.现有的蓄能除霜大多以水作为蓄热材料.松下公司设计的带热水供应的热泵型空调器系统,在除霜时由贮能罐提供部分除霜热量^[6].东芝公司设计的热泵供热水兼利用热水除霜的装置,水箱分为上下两部分,除霜时位于水箱上部的热水提供除霜所需的部分热量^[7].日立公司也设计出了热水供应兼顾补充除霜热量的系统^[8-9].国内方面,上海交通大学开展了蓄能除霜和热水器复合空调器的冬季

运行实验研究^[10].北京工业大学对填充了 DX40 相变材料的空气源热泵蓄能除霜系统性能进行了研究^[11].上述系统未能针对热泵除霜问题作出最佳设计,没能有效解决除霜所需能量来源的问题.基于能量的时空合理利用理论,本文提出了相变蓄能热气除霜新方法^[12].

为了对新系统的可行性和可靠性进行研究,搭建了空气源热泵蓄能除霜动态实验台.重点对除霜过程中,四通阀换向瞬间系统各部件的动态特性变化以及系统吸排气温度和压力的动态变化进行研究,实现了测量量的实时传输和数据自动采集,便于探索蓄能热气除霜系统的动态运行机理与规律.

1 实验系统及测点布置

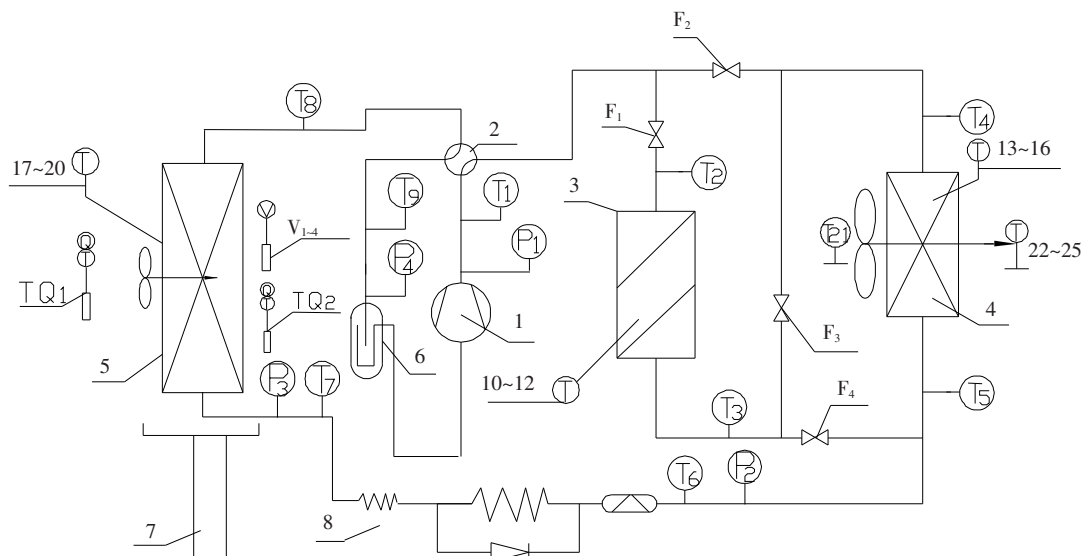
空气源热泵蓄能除霜新系统主要由压缩机、室内机、室外机、节流机构、四通换向阀、气液分离器和相变蓄能换热器组成.其系统原理见图 1.

收稿日期: 2008-08-18.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50606007).

作者简介: 董建锴(1982—),男,博士研究生;

姚 杨(1963—),女,教授,博士生导师.



1. 压缩机; 2. 四通换向阀; 3. 相变蓄能换热器; 4. 室内机; 5. 室外机; 6. 气液分离器; 7. 量筒; 8. 毛细管。

图1 蓄能热气除霜实验系统及测点布置图

本实验在制热、蓄热、除霜和恢复供热等多工况运行时可实现多种制冷剂流程的选择. 实验中可按如下模式组合成不同的系统:

1) 制热兼蓄热. 可实现室内机与蓄热器的串联运行和并联运行两种模式.

串联运行模式: 阀门 F_1 和 F_3 保持打开, 阀门 F_2 和 F_4 保持关闭.

并联运行模式: 阀门 F_1 、 F_2 和 F_4 保持打开, 阀门 F_3 保持关闭.

2) 余热蓄热. 室内机关闭, 制冷剂只流经蓄热器. 此时阀门 F_1 、 F_3 和 F_4 保持打开, 阀门 F_2 保持关闭.

3) 释热除霜. 除霜流程可选择蓄热器除霜、室内机与蓄热器串联除霜、室内机与蓄热器并联除霜 3 种模式.

蓄热器单独除霜模式: 阀门 F_2 和 F_3 保持关闭, 阀门 F_1 和 F_4 保持打开.

室内机与蓄热器串联除霜模式: 阀门 F_1 和 F_3 保持打开, 阀门 F_2 和 F_4 保持关闭.

室内机与蓄热器并联除霜模式: 阀门 F_1 、 F_2 和 F_4 保持打开, 阀门 F_3 保持关闭.

作为蓄能除霜动态实验台, 在仪表的选择、测点的布置位置以及方式等方面均提出了特殊的要求. 从实用经济的角度出发, 确定了各测点布置, 如图 1 所示.

1) 温度测点. $T_1 \sim T_9$ 为制冷剂温度测点. 测量时直接将铂电阻插入焊接在管路中的 $\Phi 5$ 的铜管里, 内灌入氧化银粉末作为导热剂. $T_{17} \sim T_{20}$ 温度测点通过将铂电阻贴在制冷剂管壁进行温度测

量; $T_{10} \sim T_{12}$ 为相变材料温度测点, 将其内置于蓄能换热器内的蓄热材料中; T_{21} 悬置在室内机空气入口, 测量室内机进口空气温度; $T_{22} \sim T_{25}$ 悬置在室内机空气出口, 测量室内机出口空气温度. 其布置原则采用等面积法^[13].

2) 压力测点. P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 分别为压缩机排气压力、毛细管节流前压力、毛细管节流后压力、压缩机吸气压力.

3) 温湿度测点. TQ_1 、 TQ_2 为室外机进出口温湿度测量. 通过焓差法得到室外机从环境中的取热量.

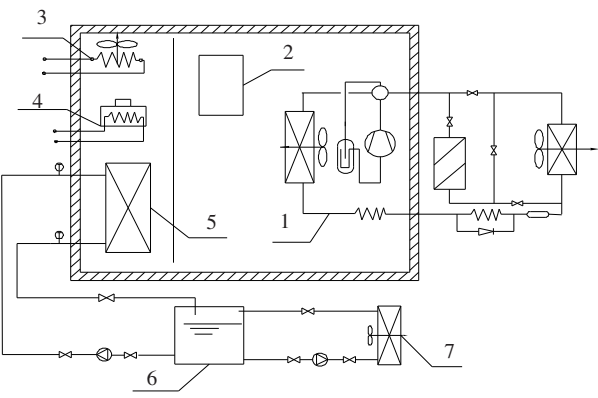
4) 风速测点. $V_1 \sim V_4$ 为室外机出口风速. 风速测点布置原则按照等面积法^[13], 在室外机的出口部分加以 500 mm 长的风罩, 以便于实验测量.

2 系统实验设备及装置

按照功能不同, 实验设备可划分为 3 部分: 人工小室及温湿度调节系统、热泵空调机及蓄能系统、实验参数检测记录系统.

2.1 人工小室及温湿度调节系统

人工气候小室可以模拟空调器室外机的实际运行环境, 以哈尔滨工业大学建筑热能工程系已有的房间热平衡法多功能实验台为基础. 该房间内部尺寸为: 3.2 m × 3.0 m × 2.4 m, 其围护结构为 160 mm 厚高密度苯板, 外壁和内壁分别为 3 mm 厚纤维板和 1.5 mm 厚铝板, 铝板表面刷油漆, 小室保温、隔湿性能良好. 小室空气处理系统主要有空气冷却、空气加热系统和空气加湿系统 3 部分组成. 其实验原理图如图 2 所示.



1. 实验样机;2. 转轮式除湿机; 3. 红外线加热器; 4. 超声波加湿器;5. 风机盘管; 6. 乙二醇溶液蓄冷水箱; 7. 室外换热器。

图 2 蓄能热气除霜系统原理图

模拟室外小室降温可通过以下两种方式实现:一是选用冷量为 4 500 W 的移动冷水机组,提供 7 ℃ 冷冻水,用于小室空气的初步冷却;之后通过热泵机组的自身运行,将小室内热量取走. 二是利用哈尔滨地区冬季有利的室外低温冷源,通过由室外换热器、乙二醇溶液蓄冷水箱及管路构成的系统将室外空气冷量引入小室,从而实现模拟室外低温环境的目的. 乙二醇溶液系统冷热量向小室内的输入最终均由一台风量为 800 m³/h 的风机盘管完成.

模拟室外小室升温可通过以下方式实现. 首先通过乙二醇溶液加热系统实现初步加热,然后再通过可调功率的红外线加热器,来实现加热量的微调.

本实验湿度的调节通过加湿器来实现. 选择两台加湿量为300g/h的超声波加湿器,其中1

台加湿器电源也接入变压器. 当湿度波动大时,通过开停其中 1 台加湿器来控制加湿量;当需要微调加湿量时,通过改变电压来控制加湿量.

空气湿度的降低可通过转轮式除湿机来实现.

2.2 热泵空调机及蓄能系统

该系统由 1 台 KFR-23GW/T 型分体热泵型房间空调器改造而成. 该空调器额定制热量为 2 500 W,制冷量为 2 300 W,室外侧换热器采用平片型翅片管,管径 9.52 mm,分液路数为 1,蓄能换热器由耐高温有机玻璃双套筒及内嵌并联的双排蓄热盘管组成. 蓄热器外径为 250 mm,高为 150 mm. 其外形如图 3 所示. 除霜时产生的化霜水量可以由量筒测量.



图 3 蓄能换热器

2.3 实验参数检测记录系统

需要检测的实验参数有温度、湿度、压力、风速、电流和电压等,分别由铂电阻温度传感器、温湿度传感器、压力传感器、风速传感器以及电流传感器和万用表来检测完成^[15]. 所选传感器的性能参数如表 1 所示.

表 1 传感器性能参数

名称	量程范围	输出信号	精度	供电电压	特性
4 线制 Pt1000 温度传感器	-50 ~ 500 ℃	电阻信号	±0.1 ℃	自带电源	4 线制铂电阻其中两根线用来测量,两根线用来补偿,从而可以有效地抵消导线长度引入的测量误差. 启动时间 2.7 s;连续测量 0.7 s 更新一次数据
温湿度传感器	0 ~ 100% RH/ -40 ~ 85 ℃	0 ~ 100% RH = 0 ~ 1 V/ -40 ~ 85 ℃ = -0.4 ~ 0.85 V	±1% RH/ ±0.3 ℃	5 VDC	
压力传感器	0 ~ 3.0 MPa	1 ~ 5 VDC	0.25 级	24 V ± 2.4 VDC	
风速传感器	0 ~ 20 m/s	0 ~ 10 VDC	±(0.3 m/s + 测量值的 3%)	24 VDC ± 10%	
电流传感器	0 ~ 20 A	1 ~ 5 VDC	±0.2%	±12 VDC	过载度为 150% FS 角度依赖性低,安装简单,可根据应用要求调整 响应时间 ≤ 350 ms

实验参数的记录主由安捷伦 34980A 多功能数据采集仪完成,其由 34980A 多功能数据开关、

34924A 数据采集卡和 34924T 终端接线盒 3 部分组成. 该仪器可以实现多通道多参数的实时测量.

其外形如图 4 所示。



图 4 安捷伦 34980A 多功能数据采集仪

3 实验结果

2008 年 4 月对空气源热泵蓄能热气除霜系统进行了初步实验研究. 实验过程中选用 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 作为相变蓄热材料^[14]. 控制除霜终止的条件为室外机翅片管表面最低温度达到 25 ℃. 对

常规热气除霜系统和蓄能热气除霜系统的除霜特性进行了对比实验,结果如表 2 所示.

由表 2 可以看出,蓄能热气除霜相对于传统的热气除霜,其优点主要为:

- 1) 蓄能热气除霜可缩短除霜时间 45% 左右,可以减少除霜过程中的能耗损失.
- 2) 压缩机排气压力得到明显提高,可避免传统除霜因吸气压力过低而出现的保护性停机. 排气压力的提高,使冷凝温度提高,增大了除霜时的温差.
- 3) 提高了室内送风温度,避免了除霜时吹冷风现象的出现.
- 4) 除霜结束后,室内恢复供热的时间缩短 20% 左右.

表 2 常规热气除霜与蓄能热气除霜实验结果对比

除霜方式	除霜时间 /s	除霜时吸气 压力平均值/kPa	除霜时排气 压力平均值/kPa	除霜时室内侧换热 器出风温度/℃	除霜后室内机 恢复供热时间/s
常规热气除霜	334	210	1 060	平均温度为 27.6 ℃, 最低温度为 16.3 ℃	360
蓄能热气除霜	180	390	1 600	平均温度为 31.3 ℃, 最低温度为 28.0 ℃	300

4 结 语

完成了空气源热泵蓄能热气除霜实验台的流程设计、仪器选择、数据采集等实验台搭建工作. 本实验台完全可以验证蓄能热气除霜新系统的不同流程实验,测定四通阀换向瞬间系统压力和温度等的动态变化. 蓄能热气除霜系统较之常规热气除霜有着明显的优越性. 随着对这一新理论的深入研究和积极实践,必将带来空气源热泵除霜方面的变革.

参考文献:

[1] SAUER J, HARRY J, HOWEL R H. Heat Pump Systems[M]. Krieger Pub Co, 1991.

[2] 姚杨. 空气源热泵冷热水机组冬季结霜工况的模拟与分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2002.

[3] 何俊杰,江乐新. 空气源热泵热水机组除霜方式的研究[J]. 现代机械,2007,1:1-3.

[4] 罗鸣,谢军龙,沈国民. 风冷热泵机组中的热气除霜方法[J]. 节能,2003,5:12-14.

[5] SHI Jianchun. The influence of two different throttle mode to defrosting[J]. Fluid Machinery,2004,7:60-65.

[6] Matsushita Denki Sangyo KK (matu). Heat Pump Type Air Conditioning and Hot Water Supply Equipment, Uses Heat Exchange Device to Exchange Heat Between Hot Water of Storage Tank and Refrigerant in Outdoor Heat Exchanger;Japan, JP2004218944-A [P]. 2004.

[7] Toshiba Kiki KK (tski). Hot-water Supply Apparatus Circulates Hot Water Obtained From Upper Portion of Tank Storing Hot Water, Through Heating Circuit, to Lower Portion of Tank, Through Defrosting Circuit of Evaporator of Heat Pump; Japan, JP2004183908-A [P]. 2004.

[8] Hitachi Home &Life Solution KK. Heat Pump Type Water Heater Controls Hot Water Supply Circuit to Provide Hot Water Supply over Entire Day and Night During Defrosting of Evaporator in Heat Pump Circuit; Japan, JP2005106416-A [P]. 2005.

[9] TAKEUCHIA N. Heat Pump Hot-water Supply Apparatus for e. g. Bathtub, Has Expansion Valve Which is Opened After Opening Fluid Circulation Selector Valve at Time of Defrost Startup; Japan, JP2005147610-A [P]. 2005.

[10] 王少为,刘震炎,赵可可,等. 蓄能和热水器复合空调器冬季运行实验研究[J]. 流体机械,2004,32(9):45-48.

[11] 陈超,欧阳军,王秀丽,等. 空气源热泵机组冬季除霜热量补偿新方法[J]. 制冷学报,2006,27:37-40.

[12] 姚杨,姜益强,马最良,等. 蓄能式热气除霜新系统:中国,ZL 2005 1 0009975. 1[P]. 2006.

[13] 方修睦. 建筑环境测试技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

[14] 徐云龙,刘栋. 六水氯化钙相变材料过冷性质的研究[J]. 材料工程,2006,增刊1:218-221.

(编辑 刘 彤)