

回收利用冷凝热的恒温恒湿型空调机试验研究

曹锋¹, 王凯¹, 邢子文¹, 束鹏程¹, 薛继亮²

(1. 西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安; 2. 广东省吉荣空调设备公司技术部, 522000, 广东 揭阳)

摘要: 对采用电加热、并联式及串联式回收冷凝热 3 种再热方式的恒温恒湿空调机组运行特性进行试验研究, 分析讨论了设定不同温、湿度值对 3 种再热方式控制精度的影响, 对 3 种再热方式的功耗进行了对比分析. 试验分析表明: 电加热是温、湿度控制精度最高、耗能最高的一种再热方式; 与采用冷凝热回收系统相比, 采用电加热方式的恒温、恒湿空调机组能耗降低 30% 左右, 是一种节能的再热方式, 并联式系统的功耗略低于串联式系统; 当并联式冷凝热回收系统设定的温度为 18 ~ 28 °C、相对湿度在 45% ~ 70% 的范围内时, 温度和相对湿度的控制精度可以达到 ± 1.0 °C 和 $\pm 8\%$; 对于串联式系统, 当设定温度低于 18 °C 时, 系统控制存在盲点, 但当设定温度升高至 23 °C 后, 机组控制精度明显提高, 控制精度高于并联式系统.

关键词: 空调机; 回收冷凝热; 节能

中图分类号: TK172 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)05-0524-04

Experimental Study on Constant Temperature and Humidity Air-Conditioner with Recovering Condensing Heat

CAO Feng¹, WANG Kai¹, XING Ziwen¹, SHU Pengcheng¹, XUE Jiliang²

(1. School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Technique Department, Guangdong Jirong Air-Conditioning Equipment Co., Jieyang, Guangdong 522000, China)

Abstract: Experiment was conducted to investigate the operation characteristics of a constant temperature and humidity air-conditioner with electricity heating, serial and parallel connection condensing heat recovering. The influence of setting value of temperature and relative humidity on the control accuracy was analyzed. Comparison of the power consumption for the air-conditioner using the three heating ways was performed. The methods for improving the control accuracy of constant temperature and humidity air-conditioner with condensing heat recovered were also discussed. The experimental results show that the temperature and humidity control accuracy with electricity heating mode is the highest, while the energy consumption is the greatest. By adopting condensing heat recovered, the power consumption of the constant temperature and humidity air-conditioner can be reduced by about 30%. The energy consumption with the parallel connection mode is slightly lower than that with the serial connection mode. When the setting value of temperature and relative humidity is 18-28 °C and 45%-70%, the control accuracy with the parallel connection mode can be in the range of ± 1 °C for temperature and $\pm 8\%$ for relative humidity. With the serial connection mode, when the setting temperature is below 18 °C, the system control of the temperature and humidity can not reach the accuracy required. However, the control accuracy is improved obviously and is higher than that with the parallel connection type when the temperature is higher than 23 °C.

Keywords: air-conditioner; recovering condensing heat; energy conservation

恒温、恒湿空调机是一种为空间提供恒定温度及恒定湿度环境的空调机组,为确保环境温度、湿度控制在一定的精度范围内,需要空调机组根据回风空气状态参数对循环空气进行除湿、降温、加热、加湿等。目前,用于空气除湿、降温后再热的方式有很多种,如电加热器、热水加热及蒸汽加热等^[1-2]。热水及蒸汽加热需要有额外热源,所以最常用的方式还是电加热,但电加热方式会损耗大量的电,为提高恒温、恒湿空调机的运行经济性,采用回收冷凝热是一种可行的方式。国外学者^[3-5]对采用冷凝热回收系统的控制方式进行了理论研究,提出了一种用于串联式冷凝热回收系统的控制方式。本文对恒温、恒湿空调机分别采用电加热、串联式及并联式冷凝热回收系统时的控制精度及耗电量进行了对比试验研究,对采用串联式及并联式冷凝热回收系统存在的问题进行了探讨。

1 试验条件和方法

试验样机由空气处理侧及室外机侧组成,如图1所示,空气处理侧包括送风机、加湿器、电加热器、冷凝热回收换热器、蒸发器及膨胀阀组成。送风机风量为 $11\,500\text{ m}^3/\text{h}$,加湿器采用可以连续调节的电极式加湿器,额定加湿量为 8 kg/h 。电加热是为对比试验而专门设置的,可单独控制开关,加热量为 27 kW ,采用晶闸管无级调节加热量。冷凝热回收换热器采用翅片式换热器,设计换热量为 30 kW ,蒸发器为翅片式换热器,设计换热量为 55 kW 。空气处理侧设备外观如图2a所示。

室外机侧主要由压缩机、冷凝器、储液器、过滤器、电磁阀及截止阀件组成,如图1所示。为方便压缩机能量调节,压缩机采用2台并联式涡旋压缩机,冷凝器为翅片式换热器,设计换热量为 70 kW ,冷凝风机为2台风量为 $13\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 的轴流风机,设备外观如图2b所示。

试验样机分别放置于标准焓差环境室内侧及外侧,室外侧环境温、湿度由焓差室的空调系统进行调节,稳定在干球温度为 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 、湿球温度为 $24\text{ }^\circ\text{C}$ 的工况。室内侧温、湿度由恒温、恒湿机组空气处理侧自行调节,使环境温度控制在 $18\sim 28\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度在 $45\%\sim 70\%$ 的范围内,以进行相关的试验分析。

为模拟实际负荷量,采用在室内侧放置电加热及加湿器的方式,设置3组电加热,功率为 20 、 15 、 15 kW ,加湿器的加湿量为 5 kg/h ,电加热及加湿器采用间断开启方式,每运行 30 min 关闭 10 min ,3

种再热方式试验时采用相同的热、湿负荷模式。

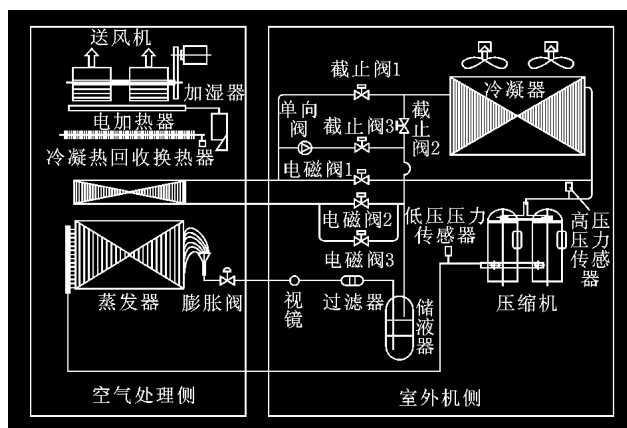


图1 试验系统结构简图



(a)空气处理侧



(b)室外机侧

图2 试验样机外观图

试验系统可分别实现电加热方式、串联式冷凝热回收系统、并联式冷凝热回收系统的试验研究。为实现并联式与串联式系统的更换,系统设置了截止阀1、2和电磁阀1、2、3,单向阀及截止阀3是为研究并联式系统运行中出现的过压问题而设置的。当采用串联式冷凝热回收系统时,电加热关闭,截止阀1打开,截止阀2关闭,电磁阀1关闭,电磁阀2打开,电磁阀3关闭,冷凝热回收换热器与冷凝器串联式运行。当采用并联式系统时,电加热关闭,截止阀1关闭,截止阀2打开,电磁阀1开启,电磁阀2开启,电磁阀3根据加热量的大小控制开闭。采用电加热方式时,系统中截止阀1关闭,截止阀2、3打开,电磁阀1、2、3均处于关闭状态,冷凝热回收换热器

不起作用,完全采用电加热方式实现再热。

2 系统控制

恒温、恒湿空调机采用温度优先控制策略,其中压缩机由温度和湿度共同控制,当温度高、湿度大时,则增载;当温度低、湿度小时,则减载直至停机,甚至启动加热。电加热或冷凝热回收的加热量由电加热器/热回收换热器的前、后温差信号进行控制,电加热控制采用无级调节,冷凝热回收的换热量大小通过启停冷凝风扇调节冷凝器换热量而进行调节,冷凝风扇启停由冷凝压力传感器采集冷凝压力值进行控制。对于并联式系统,如果2台冷凝风扇均开启,要进一步减少冷凝热回收的加热量可以通过关闭电磁阀3调节。具体控制逻辑如表1所示。

表1 控制逻辑

温度	湿度	压缩机	再热	加湿
高	大	增载	送风温差控制	否
高	小	增载	送风温差控制	是
低	大	增载	送风温差控制	否
低	小	减载→停	送风温差控制	是
合适	合适	保持	保持	保持

3 试验结果与讨论

3.1 温、湿度控制精度

图3、图4为室内环境温度 t 分别设定为18、23、28℃、相对湿度 ϕ 设定为55%时,温度和湿度的变化图。在工况稳定后,每隔5 min记录一次温度、湿度等参数。为进一步对比分析,试验同时测试了室内环境温度为20、25℃,相对湿度设定为55%时的温、湿度控制精度,如图5、图6所示。从图5、图6可以看出,当温度设定在23℃左右时,机组的温、湿度控制精度最高,温度控制精度小于 ± 0.5 ℃,相对湿度控制精度小于 $\pm 6\%$,此设定为控制精度拐点。这是由于当温度为23℃、相对湿度为55%时,正是机组的设计工况点。

对3种再热方式进行对比、分析可以看出:电加热由于采用了无级调节加热,是控制精度最高的一种再热方式;对于串联式冷凝热回收方式,当设定温度较低时,系统控制存在盲点,在设定温度为18℃时,由图3可以看出,环境控制温度基本在20℃左右,无法满足18℃的控制要求。这是由于采用串联式方式时,制冷工质无论任何工况都需要流经串联

式冷凝热回收换热器,当蒸发器后温度已达到要求,无需再热时,冷凝热回收换热器依然会与处理空气进行热交换,以至存在调控盲点,但当设定温度升高至23℃左右时,机组控制精度有明显好转,控制精度高于并联式系统。并联式冷凝热回收系统在18~28℃的温度范围内有比较好的控制精度,这是由于在机组系统中设置了单向阀,当冷凝热回收换热器充满液态制冷剂时,液体可以沿单向阀流向储液器,较好地解决了并联式系统中当电磁阀1、2、3关闭时,常出现的冷凝热回收换热器高压保护问题。

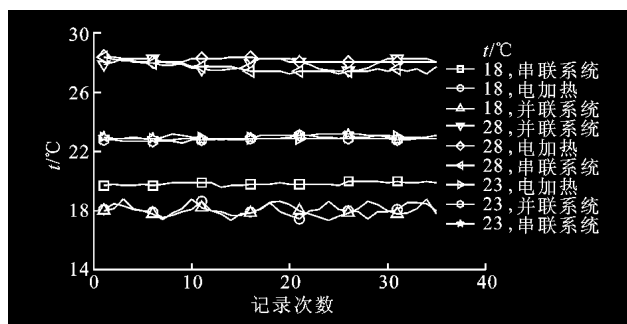


图3 温度控制精度

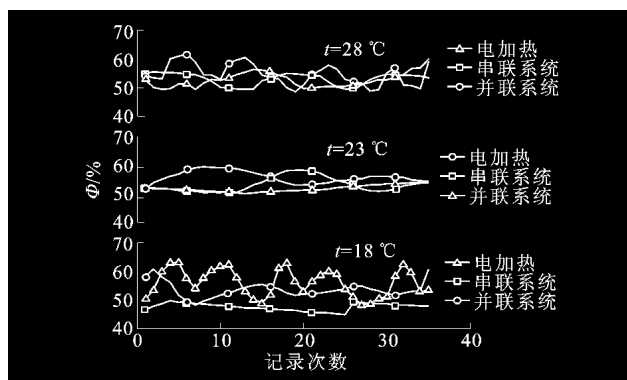


图4 湿度控制精度

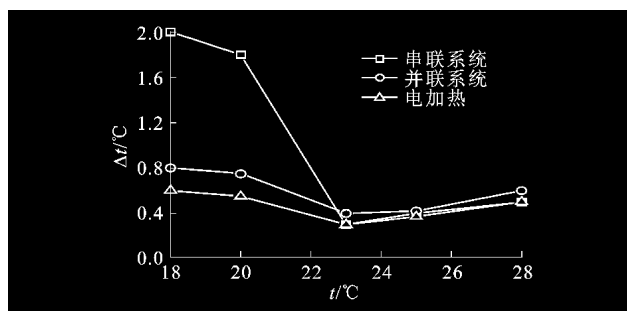


图5 设定温度与温度控制精度的关系

3.2 设定相对湿度的影响

图7、图8分别给出了温、湿度控制精度与设定相对湿度的关系图,给出了设定温度为18、28℃时3种再热方式的对比:对于设定温度为28℃时,随着相对湿度的增加,温度控制精度提高;3种再热方式中,当相对湿度较低时,并联式系统的控制精度受

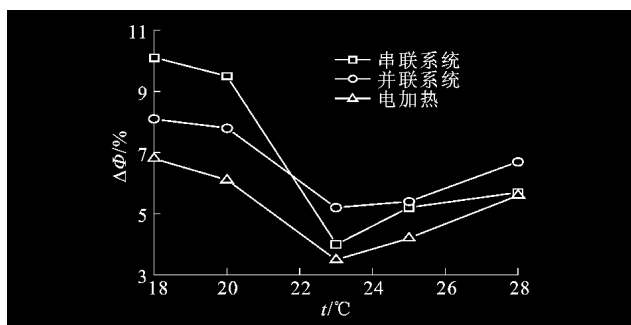


图6 设定温度与相对湿度控制精度的关系

相对湿度影响较大,温度控制精度较差,而电加热和串联式系统控制精度相当;对于设定温度为 18°C 时,总体趋势是随着相对湿度的增大,湿度控制精度变差;对于串联式冷凝热回收系统,当相对湿度设定在 70% 时,湿度控制误差达到 15% ,这主要是由串联式系统的控制盲点引起的,而对于并联式系统和电加热系统则基本相当,但在低温、高湿设定点时,温、湿度控制精度变差。

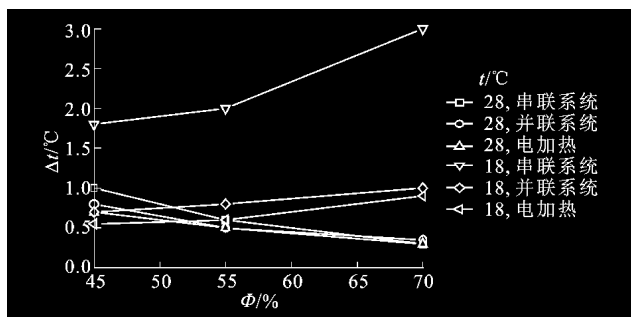


图7 设定相对湿度与温度控制精度的关系

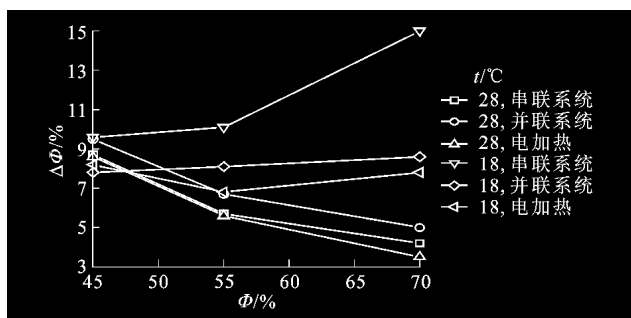


图8 设定相对湿度与相对湿度控制精度的关系

综合分析采用冷凝热再热方式的恒温、恒湿机组,可以通过以下2种措施进一步提高其控制精度.一方面,采用变频冷凝风机连续调节冷凝热负荷,以改变样机采用启停风机变级调节冷凝热负荷造成的温度变化;另一方面,采用电动调节阀无级调节进入冷凝热回收换热器的制冷剂流量,精确控制冷凝热回收加热量,提高温度控制精度,以达到电加热控制精度要求的目的。

3.3 3种再热方式的功耗对比

从图9可以看出:当设定的温、湿度为 23°C 、 55% 时,冷凝热回收系统的耗电量明显小于电加热系统,低 30% 左右.这一方面是由于消除了电加热带来的能效损耗,另一方面是由于采用冷凝热回收换热器,等于增加了冷凝器的换热面积,降低了冷凝压力,有利于减小压缩机的功耗,从而使并联式系统更利于冷凝压力的降低,因此并联式系统功耗略低于串联式系统.图10给出了设定相对湿度为 45% 、 55% 、 70% 时,功耗与设定温度的关系图.由图10可见:对于设定相对湿度为 55% 、 70% 时,设定的温度越低,功耗越大,对于串联式系统,由于设定的温度较低,处于控制盲点区,温度一直无法低于设定温度,因此压缩机一直处于满载状态,功耗要比并联式系统高得多;当设定相对湿度为 45% 时,随着设定温度的提高,功耗略有提高,这是由于在高温、低湿情况下,为达到较低的相对湿度,压缩机需要增加负荷以加大除湿量。

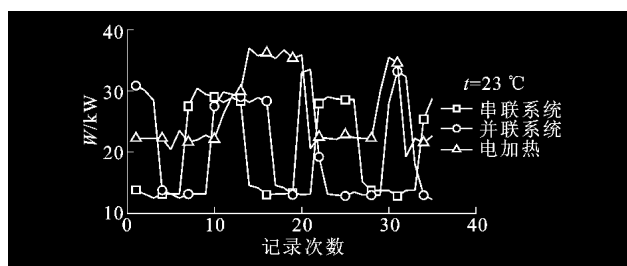


图9 功耗对比

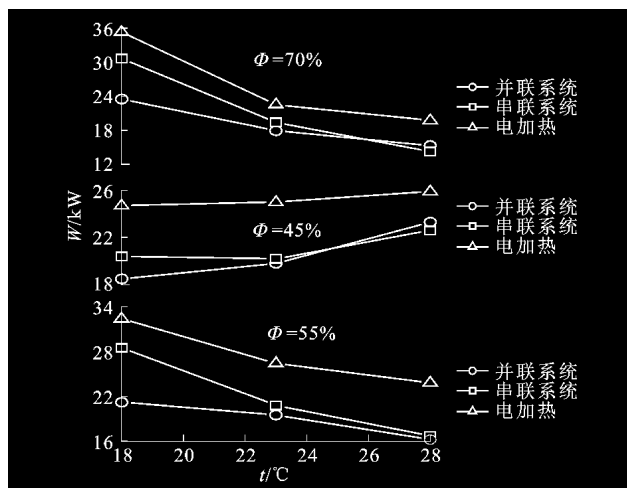


图10 设定温度与功耗的关系

从图10还可看出:在设定温度为 28°C 时,随着设定相对湿度的减小,能耗增加;当设定温度为 23°C 时,功耗变化不大;当设定温度为 18°C 时,随着设定相对湿度的增加,功耗增大.总的来讲,电加热方式的功耗比冷凝热回收系统平均高出 30% 左右,

换句话说,采用并联式或串联式冷凝热回收系统可使恒温、恒湿空调机组功耗降低30%左右。

4 结 论

(1)电加热是控制精度最高的一种再热方式,采用并联式或串联式冷凝热回收系统可使恒温、恒湿空调机组功耗降低30%左右,是一种节能的再热方式,并联式系统的功耗略低于串联式系统。

(2)并联式冷凝热回收系统在温度为18~28℃、相对湿度为45%~70%的范围内,有比较好的控制精度,温度控制精度基本可以达到小于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,相对湿度控制精度小于 $\pm 8\%$,满足GB/T 17758-1999《单元式空气调节机》关于温、湿度控制精度的要求。冷凝热回收系统中设置的单向阀,较好地解决了并联式系统中常出现的冷凝热回收换热器的高压保护问题。

(3)对于串联式冷凝热回收方式,当设定温度较低时,系统控制存在盲点,但当设定温度升高至23℃左右时,机组的温、湿度控制精度有明显好转,控制精度高于并联式系统。

参考文献:

- [1] ENGDAHL F, JOHANSSON D. Optimal supply air temperature with respect to energy use in a variable air volume system [J]. *Energy and Buildings*, 2004, 36 (3):205-218.
- [2] JASSIM R K, KHIR T, GHAF FOUR N. Thermo-economic optimization of the geometry of an air conditioning precooling air reheater dehumidifier [J]. *International Journal of Energy Research*, 2006, 30(4):237-258.
- [3] PAARPORN S. Runaround loop heat recovery with dehumidification system [J]. *ASHRAE Journal*, 1999, 4(6):6-8.
- [4] BRUSEWITZ G H, STONE M L. Microcomputer controlled desiccant dehumidifier [J]. *Transactions of the ASAE*, 1987, 30(2):459-463.
- [5] GHADDAR N, GHALI K, NAJM A. Use of desiccant dehumidification to improve energy utilization in air-conditioning systems in Beirut [J]. *International Journal of Energy Research*, 2003, 27(15): 1317-1338.

(编辑 王焕雪)