

文章编号:0253-4339(2020)05-0076-07
doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2020.05.076

具有调温除湿功能空调系统的实验研究

刘宇 马国远 王磊 周峰

(北京工业大学环境与能源工程学院 北京 100124)

摘要 为综合考虑温度和湿度的需求,本文提出一种具有升温 and 调温除湿功能的房间空调系统,并根据机组在空调和除湿模式下的系统运行性能,找到最佳的除湿模式和压缩机控制方案。结果表明:该机组可实现空调模式、升温除湿模式和调温除湿模式;调温除湿模式比升温除湿模式的出风温度低约 7%,出风相对湿度低约 27%;前者的除湿量约为后者的 2.8 倍,单位功率除湿量约为后者的 2.6 倍;当室外温度 $<18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,启用升温除湿模式,压缩机可采取变频调节方式;当 $18\text{ }^{\circ}\text{C}\leq\text{室外温度}\leq 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,启用调温除湿模式,压缩机可采用“容量调节+变频”方式。该系统可有效解决长江中下游地区的房间空调器除湿后送冷风的问题。

关键词 房间空调器;除湿;调温除湿;单位功率除湿量

中图分类号:TB657.2;TU831.3

文献标识码:A

Experimental Study on Air Conditioning System with Temperature Regulation and Dehumidification

Liu Yu Ma Guoyuan Wang Lei Zhou Feng

(College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, 100124, China)

Abstract To comprehensively consider temperature and humidity requirements, this paper proposed a room air conditioning system with adjustable temperature and dehumidification functions. Furthermore, the performance of the system in air conditioning and dehumidification modes were examined. The results indicated that the device can realize the air conditioning mode, dehumidification mode with rising temperature, and dehumidification mode with regulated temperature. In the dehumidification mode, under all test conditions, the outlet temperature of the dehumidification mode with regulated temperature was approximately 7% lower than that of the dehumidification mode with rising temperature, and the relative humidity of the outlet was approximately 27% lower. Furthermore, the former mode exhibited a dehumidification amount of approximately 2.8 times of that in the latter mode, and the unit power of dehumidification was approximately 2.6 times of that in the latter mode. Hence, dehumidification mode with rising temperature should be used when the outdoor temperature is lower than $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the compressor can be adjusted via variable frequency. Dehumidification mode with regulated temperature should be used when the outdoor temperature is between $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the compressor can be controlled with the "capacity adjustment + variable frequency" method. The system can effectively solve the problem of lower supply air temperature owing to the dehumidification in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Keywords room air conditioning; dehumidification; dehumidification with regulated temperature; specific dehumidification

中国很多地区雨水充沛,有些地区甚至全年潮湿,例如:华南、华中、西南、华北及其他沿海地区全年湿度偏高,华东地区春夏,特别是 5、6 月份梅雨季节更是闷热潮湿^[1]。为处理室内空气湿度,目前新型除湿方式主要有溶液除湿^[2-7]及固体吸附剂除湿^[8-13]两种,这两种除湿方式的机组运行方式复杂、体积过大,且除湿吸附剂需要再生,影响系统连续运行,因此不宜应用于家用住宅。

传统的房间空调器主要用来调节温度,能够有效处理显热负荷,虽然带有除湿功能,但由除湿原理可知,在处理潜热负荷的过程中需要将蒸发温度设置低于露点温度,从而导致系统 COP 较低,且在除湿过程中往往会伴随着降温。为综合考虑过渡季节温、湿度的需求,保证除湿后送风温度不降低,有学者提出除湿再热系统^[14-18],即用添加的辅助换热器的冷凝热给降温除湿后的新风再热。但上述系统中,仍需对系

基金项目:国家重点研发计划(2018YFF0212404)和国家自然科学基金(51776004)资助项目。(The project was supported by the National Key R & D Program of China (No. 2018YFF0212404) and the National Natural Science Foundation of China (No. 51776004).)

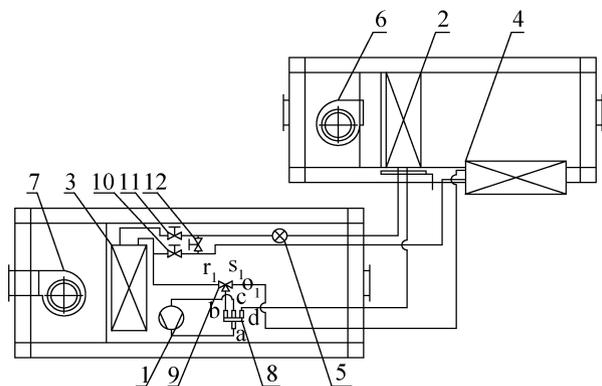
收稿日期:2019-11-04;修回日期:2020-01-07

统运行稳定性及送风参数的舒适性进行深入研究。

本文提出一种可以实现温度、湿度独立控制功能的具有调温除湿功能的空调系统,即在常规空调系统中,在室内增设辅助换热器作为除湿后再热环节使用,可实现调温除湿及升温除湿功能。通过实验测试,空调模式、升温除湿和调温除湿模式均可稳定运行,分析不同工况下出风参数和除湿能力的影响因素,找到最佳的除湿模式和压缩机控制方案。本机组能够适用于长江中下游地区的全年使用,可以大幅度提升该地区初春、初冬等过渡季节阴冷天气的室内舒适性,对具有升温除湿和调温除湿功能的房间空调器的研发具有重要意义。

1 系统循环机理

本文提出一种新型房间空调器设计,即在原有空调系统中,室内侧增设一个辅助换热器,工作原理如图 1 所示,其中室内风机、室内换热器、辅助换热器置于室内侧,其余置于室外侧。本系统可实现 3 种工作模式,即空调模式、升温除湿以及调温除湿模式,具体控制方式如表 1 所示。



1 压缩机;2 室内换热器;3 室外换热器;
4 辅助换热器;5 节流阀;6 室内风机;7 室外风机;
8 四通换向阀;9 三通阀;10、11、12 电磁阀。

图 1 具有调温除湿功能的空调系统原理

Fig.1 Principle of air conditioning system with temperature regulation and dehumidification

表 1 3 种工作模式

Tab.1 Three working modes

工作模式	四通阀连通	电磁阀打开	电磁阀关闭
空调	o_1-r_1	11	10, 12
调温除湿	o_1-s_1	10, 11	12
升温除湿	o_1-s_1	12	10, 11

按空调模式运行时,室内增设辅助换热器被旁通,无制冷剂通过,其工作模式与传统空调模式相同。升温除湿模式时,室外换热器不参与循环,增设的换热器做冷凝器使用。压缩机排出的高温高压制冷剂气体流入室内辅助换热器释放冷凝热,节流后进入室内蒸发器,蒸发后的低温低压制冷剂蒸气回到压缩机压缩后进入下一循环,即仅在室内循环。室内空气先经过室内蒸发器冷却除湿,再进入辅助换热器中加热,从而实现等温或者升温除湿功能。

调温除湿模式时,室外换热器与辅助换热器串联,均做冷凝器使用。压缩机排出的高温高压制冷剂气体先流入室内辅助换热器中释放一部分冷凝热,再进入室外换热器中,冷凝后的制冷剂液体经节流后,进入室内蒸发器,蒸发后的制冷剂蒸气回到压缩机进行下一循环。室内空气与上述升温除湿模式下的流动方式相同。

2 实验仪器及方法

实验系统在某品牌空调器的基础上进行改进,制冷剂为 R410A,压缩机最大运行频率为 90 Hz。原空调器额定制冷量为 5.1 kW,额定制热量为 6.2 kW。在原空调器系统中添加辅助换热器,辅助换热器结构参数如表 2 所示。图 2 所示为具有内循环除湿功能的空调系统原型及实验装置。将实验装置分别置于焓差实验室的室内环境模拟室和室外环境模拟室中。

表 2 辅助换热器几何参数(单位:mm)

Tab.2 Auxiliary heat exchanger geometry (Unit: mm)

铜管外径	铜管壁厚	铜管内径	铜管距	铜管长度	铜管排距	铝翅片厚度	铝翅片间距
7.56	0.35	6.86	21	730	17	0.1	1.8

空调模式的测试条件按空调标准工况进行实验,即制冷模式时,室内干球温度 27 °C、湿球温度 19 °C,室外干球温度 35 °C、湿球温度 24 °C;制热模式时,室

内干球温度 20 °C、湿球温度 15 °C,室外干球温度 7 °C、湿球温度 6 °C。除湿模式测试时,考虑的影响因素包括室外空气温度 14~24 °C(间隔 2 °C)、相对湿



(a) 室内机



(b) 室外机

1 室内换热器;2 辅助换热器;3 电箱;4 室外换热器。

图 2 具有调温除湿功能的空调系统实验装置

Fig.2 Experimental device of air conditioning system with temperature regulation and dehumidification

度 70%~90% (间隔 10%) 及压缩机频率 50~80 Hz (间隔 10 Hz), 各因素进行正交试验。除湿模式实验时室内外空气干、湿球温度保持一致, 即按全新风系统工作进行测试。实验过程中记录了用于分析系统性能的温度、湿度、输入功率等参数。所有实验结果均是在系统稳定运行的情况下获得的。实验采用的数据测试仪器及其精度如表 3 所示。

表 3 测试仪器的主要参数

Tab.3 The main parameters of the test instruments

名称	品牌	型号	精度
热电偶	OMEGA	TT-T	0.2 °C
压力传感器	Huba	520	0.1 °C
湿度传感器	—	3001-TH-I20-1-PVC	0.5 %
功率仪器	青智	8904F	±(0.16%读数+0.04%量程)
数据采集器	Agilent	HP34970A	0.004%
风速仪	Testo410-1	410-1	±0.5%

主要计算参数为:除湿量和单位功率除湿量。除湿量计算式为:

$$G = \frac{1.2\rho q\Delta d}{1000} \quad (1)$$

式中: G 为除湿量, kg/h; Δd 为除湿前后含湿量差值, g/(kg 干空气); q 为新风量, m³/h; ρ 为空气密度, kg/m³。

单位输入功率除湿量(kg/(h·kW)):

$$\text{单位功率除湿量} = \frac{G}{W} \quad (2)$$

式中: W 为压缩机功率, kW。

GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》^[19] 规定, 冬季最低室内设置温度 18 °C, 当室外温度低于 18 °C 时, 天气寒冷通风换气次数较低, 因此送风温度至少需要达到 18 °C, 相对湿度需满足 30%~50%; 而夏季室内设置温度为 26 °C, 即超过 26 °C 就需要制冷, 因此送风温度还应满足使室内温度不超过 26 °C, 可将送风温度上限设置为 26 °C, 由于室外温度在 20~24 °C 时, 通风换气次数增大, 新风与送风温度均低于 26 °C, 即混合后仍可满足要求, 此时相对湿度应满足 40%~60%。因此在实验工况下, 除湿再热后送风的参数应满足表 4 所示的范围。

表 4 送风参数舒适区范围

Tab.4 Air outlet parameter range in the comfort zone

室外干球温度/°C	送风干球温度 t /°C	送风相对湿度/%
14~18	18 ≤ t < 26	30~50
20~24	进风温度 ≤ t < 26	40~60

3 实验结果与讨论

3.1 空调模式

在标准工况下, 分别对制冷和制热模式进行测试, 实验结果如表 5 所示。由表 5 可知, 本系统可实现制冷与制热功能, 制冷 COP 为 3.05, 制热 COP 为 2.81。与原空调器额定制冷量、制热量相比, 制冷量和制热量略小, 主要原因是原空调器为变频机, 实验中连接变频器以控制压缩机频率, 将原机中室外变频风机换为定频风机, 风机略小, 因此运行时室外冷凝压力较高; 系统增加辅助换热器及其连接管路, 因此管路阻力增大; 由除湿模式切换至空调模式时, 有部分制冷剂停留在辅助换热器各连通管路中。

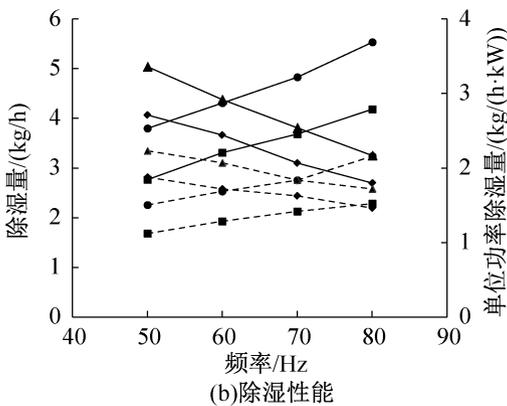
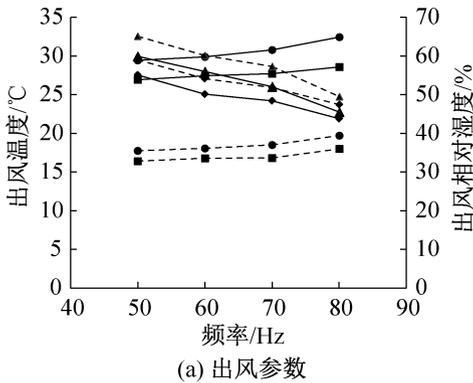
表 5 空调模式实验结果

Tab.5 Experimental results of air conditioning mode

室内工况/°C	室外工况/°C	制冷/制热量/kW	功耗/kW	COP
27/19	35/24	4.21	1.38	3.05
20/15	7/6	4.95	1.76	2.81

3.2 升温除湿模式

图 3 所示为进风温度为 14 °C 和 24 °C 分别在相对湿度为 70% 和 90% 的出风参数和除湿性能随压缩机运行频率的变化。由图 3(a) 可知, 升温除湿模式下, 系统能有效降低出风相对湿度, 出风温度与进风温度相比均有不同程度的提高, 即可以实现升温除湿功能。随着相对湿度的升高, 出风温度增大, 出风相对湿度升高, 这是由于相对湿度升高, 新风含湿量增加, 除湿冷负荷增大, 辅助换热器再热负荷增大, 因此再热量增大。例如, 在进风温度为 24 °C, 压缩机频率为 50 Hz 时, 进风相对湿度从 70% 提高至 90% 时, 出风温度从 26.94 °C 提高至 29.46 °C, 出风相对湿度从 55.14% 升至 59.98%。



出风温度 出风相对湿度
(除湿量) (单位功率除湿量)

- 24 °C/90% ●—— ▲——
- 24 °C/70% ■—— ◆——
- 14 °C/90% ●····· ▲·····
- 14 °C/70% ■····· ◆·····

图 3 升温除湿模式系统性能随压缩机频率的变化
Fig.3 System performance of temperature rising dehumidification mode as a function of compressor frequency

随着压缩机频率升高, 系统除湿和再热能力均提高, 即出风温度升高, 出风相对湿度降低。进风温度从 14 °C 升至 24 °C, 出风温度提高 10.53~12.74 °C,

出风相对湿度降低 3.43%~5.23%, 这是由于室外温度越低, 蒸发温度越低, 因此系统性能越低, 除湿能力下降。

由图 3(b) 可知, 随着进风干球温度的升高, 除湿量增多, 单位功率除湿量增大。例如, 14 °C/70% 的工况下, 压缩机频率从 50 Hz 增至 80 Hz, 除湿量从 1.68 kg/h 升至 2.28 kg/h, 单位功率除湿量从 1.88 kg/(h·kW) 降至 1.46 kg/(h·kW), 这是由于压缩机频率升高时, 功耗和除湿量均增大, 但后者增幅较低, 因此单位功率除湿量降低。

随着相对湿度的升高, 单位功率除湿量和除湿量均增大。例如, 进风温度为 24 °C, 压缩机频率为 50 Hz 时, 相对湿度从 70% 升至 90%, 除湿量从 2.76 kg/h 升至 3.80 kg/h, 单位功率除湿量从 2.71 kg/(h·kW) 升至 3.36 kg/(h·kW)。GB/T 19411—2003《除湿机》^[20] 规定, 除湿量范围在 1~5 kg/h 时, 单位功率除湿量应不小于 1.6 kg/(h·kW), 即除 14 °C/70% 的工况在 80 Hz 时低于除湿标准, 其余工况均满足。

由图 3 还可知, 进风温度为 14 °C 时, 只有在压缩机频率为 80 Hz, 才能满足出风温度至少为 18 °C, 出风相对湿度在 30%~50% 的要求; 进风温度为 24 °C 时, 压缩机频率为 50~80 Hz 时能满足出风相对湿度在 40%~60%, 但出风温度均高于 26 °C, 不满足综合出风参数的要求。

综合考虑升温除湿模式下, 出风温度和出风相对湿度同时满足舒适区的要求, 将实验所测各工况下满足要求的压缩机运行频率整理如表 6 所示。22 °C/90% 存在出风温度和相对湿度不能同时满足的情况, 即出风相对湿度可满足在舒适区范围内, 但出风温度在所测试压缩机频率内均高于 26 °C, 因此在 22 °C/90% 和 24 °C 工况时升温除湿模式不能满足要求。

表 6 升温除湿的压缩机控制频率

Tab.6 Compressor control frequency in temperature rising dehumidification mode

相对湿度/%	压缩机控制频率/Hz				
	14 °C	16 °C	18 °C	20 °C	22 °C 24 °C
90	80	80	80	60~70	
80	80	80	80	60~80	50~60
70	80	80	80	50~80	50~70

3.3 调温除湿模式

图 4 所示为调温除湿模式下系统的出风参数和

除湿性能随压缩机频率的变化。由图 4(a)可知,调温除湿模式下,本系统亦能有效降低出风相对湿度,出风温度与进风温度相比均有不同程度的提高。在进风温度为 24 °C,压缩机频率为 50 Hz 时,进风相对湿度从 70% 提高至 90% 时,出风温度从 24.90 °C 提高至 27.42 °C,比升温除湿模式低约 7%;出风相对湿度从 47.56% 升至 45.03%,比升温除湿模式低约 27%,这是由于随着压缩机频率升高,系统除湿和再热能力均提高,即出风温度升高,出风相对湿度降低。

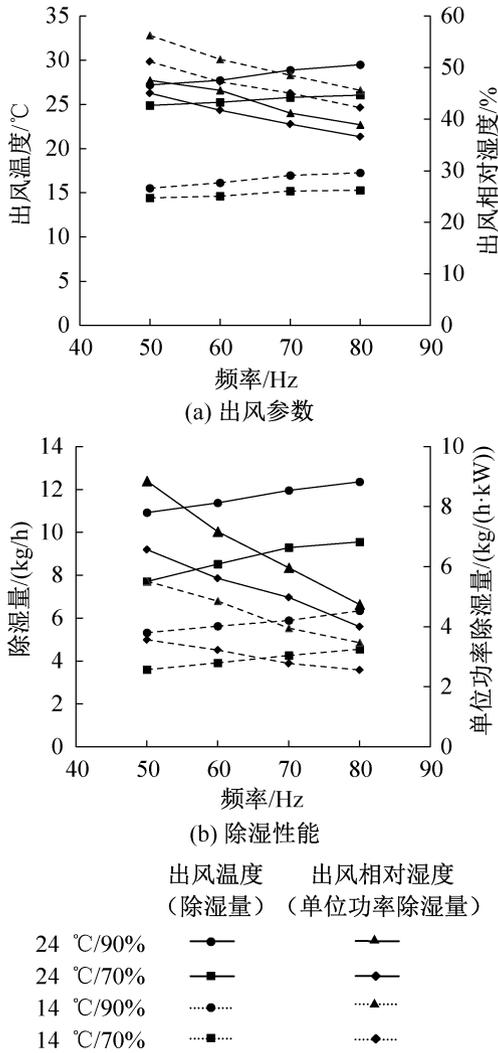


图 4 调温除湿模式系统性能随压缩机频率的变化

Fig.4 System performance of temperature regulation and dehumidification mode as a function of compressor frequency

进风温度从 14 °C 升至 24 °C,出风温度提高 10.53 ~ 12.74 °C,出风相对湿度降低 3.43% ~ 5.23%。由图 4(b)可知,例如,进风温度为 24 °C,压缩机频率为 50 Hz 时,相对湿度从 70% 升至 90%,除湿量从 7.71 kg/h 升至 10.92 kg/h,约为升温除湿模式的 2.8 倍;单位功率除湿量从 6.57 kg/(h·kW) 升

至 8.85 kg/(h·kW),约为升温除湿模式的 2.6 倍。GB/T 19411—2003《除湿机》^[20]规定,除湿量范围在 5 ~ 10 kg/h 时,单位功率除湿量应不小于 1.7 kg/(h·kW),调温除湿模式下所测试工况下的单位功率除湿量均可满足除湿机标准要求。

由图 4 还可知,进风温度为 14 °C 时,在压缩机频率为 50 ~ 80 Hz 内均不能满足出风温度大于等于 18 °C;进风温度为 24 °C 时,出风相对湿度均在 30% ~ 50% 范围内,但相对湿度为 90% 时,出风温度在 50 Hz 下最低为 27.21 °C,又由于调温除湿出风温度均低于升温除湿,因此未得到满足舒适区的出风参数,针对调温除湿增加压缩机频率为 30 Hz 和 40 Hz 的实验,以进风温度为 24 °C 为例,其出风参数范围如图 5 所示。由图 5 可知,压缩机频率为 30 Hz 时,24 °C/90% 的工况下,出风温度为 25.98 °C,相对湿度为 55.35%,满足舒适区要求。

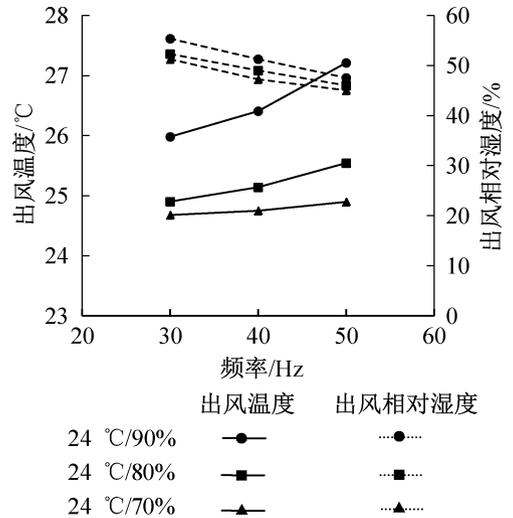


图 5 系统性能随压缩机频率的变化 (30~50 Hz)

Fig.5 System performance varies with compressor frequency (30~50 Hz)

综合考虑调温除湿模式下,出风温度和出风相对湿度满足舒适区的要求,将实验测得全部工况下满足要求的压缩机运行频率整理如表 7 所示。

表 7 调温除湿的压缩机控制频率

Tab.7 Compressor control frequency in temperature regulation and dehumidification mode

相对湿度/%	压缩机控制频率/Hz					
	14 °C	16 °C	18 °C	20 °C	22 °C	24 °C
90		60~80	60~80	50~80	50~70	30
80		80	60~80	50~80	50~70	30~60
70			60~80	50~70	50~70	30~60

16℃/90% 尽管存在满足存在相对湿度在 30%~50% 范围内的压缩机频率,但在测试压缩机频率内不能满足出风温度达到 18℃,因此调温除湿在这些工况内不能满足出风参数全部落在舒适区内。

3.4 除湿模式控制方案

对比两种除湿模式,升温除湿为室内两个换热器的循环,产生的冷凝热全部用来加热除湿后的空气,而调温除湿为室外换热器和室内辅助换热器串联作为冷凝器使用,有一部分热量在室外换热器侧散出,因此升温除湿的出风温度较高;升温除湿模式下,室外换热器相当于被短路,室内侧压力较高,且辅助换热器散热量较低,与调温除湿相比对系统性能有一定的影响,因此调温除湿的除湿能力要高于升温除湿模式。

为得到除湿模式在各工况下除湿后的出风参数同时满足等温或升温除湿以及人体舒适要求,结合表 6 和表 7,综合考虑升温除湿和调温除湿的工作性能,得出各工况下出风参数满足舒适区的最优压缩机运行功率控制方案如表 8 所示。由表 8 可知,当室外工况为 18℃ 以下时,即温升需求量大的除湿工况应启用升温除湿模式此时压缩机应采取变频调节方式;当 18℃ ≤ 室外温度 ≤ 24℃ 时,即除湿需求量大,温升需求量较小的除湿工况下,应启用调温除湿模式压缩机应采用“容量调节+变频”方式。

表 8 除湿模式控制方案

Tab.8 Dehumidification mode control scheme

控制方案	除湿模式	压缩机频率/Hz
14,16℃/70%、80%、90%	升温除湿模式	80
18℃/70%、80%、90%	调温除湿模式	60
20,22,24℃/70%、80%、90%	调温除湿模式	30

4 结论

本文通过控制进风温、湿度以及压缩机频率,对系统在空调模式和除湿模式的性能进行实验测试,分析其对出风参数及系统性能的影响,得到如下结论:

1) 本系统可以实现空调模式、升温除湿模式和调温除湿模式。空调模式时系统能够正常运行,可实现常规空调功能;升温除湿和调温除湿模式均能实现温度、湿度独立控制的功能,前者具有温升速度快、幅度大的特点,后者具有除湿性能优的特点。本机组能够适应长江中下游地区全年使用,特别是温度、湿度

独立控制功能的实现可以大幅提升该地区初春、初冬等过渡季节阴冷天气的室内舒适性。

2) 升温除湿和调温除湿模式下的除湿量和出风温升均与进风温、湿度及压缩机频率成正比;单位功率除湿量与进风温、湿度成正比,与压缩机频率成反比;出风相对湿度与进风温度和压缩机频率成反比,与进风相对湿度成正比。调温除湿模式比升温除湿模式在所有测试工况下的出风温度低约 7%,出风相对湿度低约 27%;除湿量约为后者的 2.8 倍,前者的单位功率除湿量约为后者的 2.6 倍。

3) 为使得除湿再热后的出风参数满足舒适度的要求,可采取的控制方案为:当室外温度 < 18℃ 时,开启升温除湿,即升温除湿模式,压缩机可采取变频调节方式;当 18℃ ≤ 室外温度 ≤ 24℃ 时,开启调温除湿模式,压缩机可采用“容量调节+变频”方式。

参考文献

[1] 陆东铭, 卢云. 带有再热除湿功能的房间空调器的设计研究[J]. 家电科技, 2018(11):40-43. (LU Dongming, LU Yun. Design and research of room air conditioner with reheating[J]. Journal of Appliance Science & Technology, 2018(11):40-43.)

[2] 李刚, 余灿明, 池兰, 等. 太阳能溶液除湿空调系统的室内热舒适性模拟[J]. 太阳能学报, 2019, 40(8):2279-2288. (LI Gang, SHE Canming, CHI Lan, et al. Indoor thermal comfort simulation of solar energy liquid desiccant air conditioning system[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2019, 40(8):2279-2288.)

[3] 周君明, 张小松, 孙博. 太阳能溶液除湿空调系统再生技术的研究进展与能耗分析[J]. 制冷学报, 2019, 40(2):154-160,166. (ZHOU Junming, ZHANG Xiaosong, SUN Bo. Research progress on regenerative technology and energy analysis of solar liquid desiccant air-conditioning system[J]. Journal of Refrigeration, 2019, 40(2):154-160,166.)

[4] FU Huangxi, LIU Xiaohua. Review of the impact of liquid desiccant dehumidification on indoor air quality[J]. Building and Environment, 2017, 116:158-172.

[5] RAFIQUE M M, GANDHIDASAN P, BAHADARAH H M S. Liquid desiccant materials and dehumidifiers—a review [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2016, 56:179-195.

[6] 李帅. 太阳能溶液除湿空调系统基础研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012. (LI Shuai. Solar liquid desiccant air conditioning system basic research[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.)

[7] 魏志刚, 李德英, 胡文举, 等. 太阳能除湿溶液再生方式及装置的分析与研究[J]. 区域供热, 2014(3):16-

19. (WEI Zhigang, LI Deying, HU Wenju, et al. Analysis and research on the regeneration mode and device of solar desiccant solution[J]. District Heating, 2014(3):16-19.
- [8] 曹伟, 葛天舒, 郑旭, 等. 除湿换热器串联换热器强化除湿降温性能实验研究[J]. 制冷学报, 2017, 38(4):59-66. (CAO Wei, GE Tianshu, ZHENG Xu, et al. Experimental investigation on thermal performance of desiccant coated heat exchanger in series with heat exchanger[J]. Journal of Refrigeration, 2017, 38(4):59-66.)
- [9] 袁野, 葛天舒. 新型一体式除湿热泵空调循环夏季工况实验研究[J]. 制冷学报, 2018, 39(5):59-66. (YUAN Ye, GE Tianshu. Experimental investigation under summer conditions on novel integrated dehumidification heat pump air-conditioning cycle[J]. Journal of Refrigeration, 2018, 39(5):59-66.)
- [10] 江宇, 黄溢, 葛天舒, 等. 新型热湿独立控制空调系统的实验研究[J]. 化工学报, 2014, 65(增刊2):188-194. (JIANG Yu, HUANG Yi, GE Tianshu, et al. Novel temperature and humidity independent control system[J]. CIESC Journal, 2014, 65(Suppl. 2):188-194.)
- [11] 陆繁莉, 葛天舒, 代彦军, 等. 新型半解耦除湿热泵系统的降温除湿性能[J]. 化工学报, 2018, 69(增刊2):55-60. (LU Fanli, GE Tianshu, DAI Yanjun, et al. Cooling and dehumidification performance of a novel semi-decoupled solid desiccant heat pump[J]. CIESC Journal, 2018, 69(Suppl. 2):55-60.)
- [12] AYNUR T N, HWANG Y H, RADERMACHER R. Field performance measurements of a heat pump desiccant unit in dehumidification mode[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(2):2141-2147.
- [13] AYNUR T N, HWANG Y H, RADERMACHER R. Integration of variable refrigerant flow and heat pump desiccant systems for the heating season[J]. Energy and Buildings, 2010, 42(4):468-476.
- [14] 韩星, 张旭, 刘金涛, 等. 不降温除湿功能房间空调器的设计与性能试验[J]. 暖通空调, 2011, 41(4):156-160. (HAN Xing, ZHANG Xu, LIU Jintao, et al. Design and measurement of the non-cooling dehumidification room air-conditioners[J]. Journal of HV & AC, 2011, 41(4):156-160.)
- [15] 王倩. 房间空调器除湿特性与应用基础研究[D]. 广州:华南理工大学, 2015. (WANG Qian. Study on dehumidification characteristics and application fundamentals of room air conditioners[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.)
- [16] 刘敏, 王远鹏, 石靖峰, 等. 变频多联式空调系统再热除湿性能的实验研究[J]. 制冷学报, 2016, 37(2):101-106. (LIU Min, WANG Yuanpeng, SHI Jingfeng, et al. Experimental investigation on reheat dehumidification performance of multi-split variable refrigerant flow rate air-conditioning system[J]. Journal of Refrigeration, 2016, 37(2):101-106.)
- [17] 盛俊, 缪小平, 魏皖, 等. 新型可调温房间除湿空调器在潮湿季节的应用研究[J]. 建筑科学, 2018, 34(8):100-105. (SHENG Jun, MIAO Xiaoping, WEI Huan, et al. Research on application of room dehumidifier air conditioner with adjustable temperature in the wet season[J]. Building Science, 2018, 34(8):100-105.)
- [18] 程恰, 周国梁, 兰娇, 等. 新型电动汽车热泵系统除湿再热性能实验研究[J]. 制冷学报, 2018, 39(5):105-111. (CHENG Qia, ZHOU Guoliang, LAN Jiao, et al. Experimental research on dehumidifying and reheating characteristics of a novel heat pump system for electric vehicle[J]. Journal of Refrigeration, 2018, 39(5):105-111.)
- [19] 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范:GB 50736—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012. (Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings: GB 50736—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.)
- [20] 除湿机:GB/T 19411—2003[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003. (Dehumidifiers: GB/T 19411—2003[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003.)

通信作者简介

周峰,男,副研究员,北京工业大学环境与能源工程学院,(010)67391613, E-mail:zhoufeng@bjut.edu.cn。研究方向:制冷空调环保节能技术、余热回收技术、热管节能技术。

About the corresponding author

Zhou Feng, male, assistant researcher, College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, +86 10-67391613, E-mail:zhoufeng@bjut.edu.cn. Research fields: environment protection and energy-saving technology of refrigeration and air-conditioning, waste heat recovery technology, energy-saving technology of heat pipe.