

文章编号:0253-4339(2021)01-0105-06
doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2021.01.105

多联式空调换热器自动清洁功能研究

邓赛峰 刘敏 刘合心 陈华

(宁波奥克斯电气股份有限公司研发中心 宁波 315100)

摘 要 为研究空调的除尘和杀菌能力,使空调提供品质优良的空气,本文设计了基于变制冷剂流量型多联式空调系统换热器的自动清洁功能。首先通过换热器产生凝结水实现室内机除尘清洗,然后通过换热器产生高温实现室内机杀菌。通过选用空调中常见的翅片管式换热器,以室内机的凝结水量和盘管表面温度为指标,实验分析了室内风机转速、压缩机频率、室外温度、运行时长等对换热器除尘和杀菌能力的影响。结果表明:在除尘阶段,随着室内风机转速的增加,凝结水量先增加后降低,在相同的条件下运行 20 min,室内风机转速为 350 r/min 时凝结水量达到最优值 186 g,可以达到最优的清洁效果,增加运行时长、提高压缩机运行频率可提高凝结水量;在杀菌阶段,降低室内风机转速可提高换热器的盘管温度,转速为 200 r/min 时盘管温度达 58.6 ℃,提高室外温度有利于提升杀菌阶段的盘管温度,但会降低除尘阶段的凝结水量。

关键词 多联式空调;蒸发器;清洁;除尘;杀菌

中图分类号:TB657.2;TM925.1

文献标识码:A

Experimental Investigation on Self-cleaning Heat Exchanger in VRF System

Deng Saifeng Liu Min Liu Hexin Chen Hua

(R & D Centre, Ningbo AUX Electric Co., Ltd., Ningbo,315100,China)

Abstract Providing healthy air has become an important indicator of air conditioners. In this study, a self-cleaning heat exchanger was designed in a variable refrigerant flow air-conditioning system, and the potential of dedusting and sterilization of the evaporator was investigated experimentally. Firstly, the dust removal and cleaning of the indoor unit were realized by the condensed water generated by the heat exchanger. Secondly, the high temperature generated by the heat exchanger was used to sterilize the indoor unit. A fin-and-tube heat exchanger was utilized in this study, and the amount of condensate water and tube temperature of the evaporator were used as the indicators. The influence of key parameters such as the fan's rotating speed, compressor frequency, ambient temperature, and operating time on the dedusting and sterilization of the evaporator were analyzed. The experimental results show that the amount of condensate water first increases and then decreases with an increase in fan speed during the dedusting phase, reaching 186 g at a fan speed of 350 r/min when operated under the same condition for 20 min. The condensate water increased with the increase in operating time and the frequency of the compressor. During the sterilization phase, the tube temperature increased with a decrease in the fan speed and reached 58.6 ℃ at a rotating speed of 200 r/min. Higher outdoor temperatures are beneficial to the tube temperature during the sterilizing stage, but will decrease the amount of condensate water in the dust removal stage.

Keywords VRF system; evaporator; self-cleaning; dedusting; sterilization

空调运行一段时间后,换热器表面容易沉积灰尘等杂质,不但影响换热性能,而且会在表面滋生细菌或病毒,严重时危害用户的身体健康^[1-2]。因此,能提供洁净空气的自动清洁空调逐渐成为智能空调的重要品类,清洁技术的研究也成为空调领域的重要课题^[3]。

鞠培玲等^[4-5]研究发现灰尘会增加换热器空气侧压降,严重影响换热性能,空调换热器使用 5 年后换热量衰减达 11.2%~19.3%。丁国良等^[6]介绍了换热器表面灰尘的去除方法,指出采用气流定向技术

可以去除表面疏松的灰尘,而结冰膨胀再融化的方式可以实现紧密灰尘的脱离,达到较好的换热器清洁效果。此外,微生物的污染也会影响空调换热器的压降和换热性能,造成能力严重衰减^[7-8]。严汉彬等^[9]分析了各类真菌、细菌等微生物生长的温湿度条件,指出在 30~40 ℃ 温度区间内,每升高 1 ℃ 能灭活 6% 的真菌,当温度超过 50 ℃ 时,空调系统的微生物将停止生长。相关研究指出,菌类和病毒对温度敏感,当温度达到 56 ℃ 持续 30 min 可以使冠状病毒失去

活性^[10]。

空调设备中常用的清洁方法是过滤除尘和杀菌^[11-12],如采用高密度滤网,缺点是产生的风阻大,影响室内机的风量和能力。目前对多联式空调系统清洁方法的研究较少。

在这种背景下,本文基于多联式空调系统,提出采用目标参数控制法调节室内机的管温,通过制冷时管温降低形成凝结水冲刷灰尘,制热时管温升高达到高温环境的方式,进行空调换热器的除尘和杀菌,通过具体的实验验证,对多联式空调系统的自动清洁功能进行研究。

1 功能原理

1.1 功能设计

采用目标参数控制方法,调节室内风机转速、运行时长、压缩机频率、室外温度等参数,使空调分段式运行制冷和制热模式,分别对应自动清洁功能的除尘和杀菌两个阶段。

空调进入自动清洁功能后,按照预设的顺序,先进入除尘阶段(即制冷模式),除去换热器表面的灰尘或杂质,然后控制四通换向阀动作,再进入杀菌阶段(即制热模式),一方面将换热器烘干,保持其清洁干燥,另一方面利用盘管的高温将无法去除的细菌等微生物灭活。

1.2 清洁原理

进入除尘阶段,通过控制制冷的运行参数,使室内机的盘管温度降至空气的露点以下,在换热器表面析湿凝露,继续降低盘管温度至冰点以下,使凝结水结冰或结霜,冻结换热器表面的杂质,利用冰的物理膨胀特性使杂质从换热器表面脱离。

进入杀菌阶段,空调切换到制热模式,室内机的盘管温度升高,使换热器表面的冰冻层融化,形成大量凝结水冲刷换热器翅片带走表面的灰尘,随排水管排出。控制盘管温度继续升高,首先烘干换热器,

然后形成高温环境,达到使换热器表面的细菌、真菌等微生物灭活的目的,从而实现空调的整个自动清洁过程。

2 评价指标

基于上述清洁原理,分别用室内机的凝结水量和盘管温度作为换热器清洁能力的评价指标,凝结水量越大表示除尘效果越好,盘管温度越高表示杀菌效果越好^[9]。

除尘阶段的实验效果如图 1 所示。翅片表面形成大量凝结水(如图中圆圈所示),沿着翅片间隙滑落,冲刷翅片表面的灰尘等杂质,进而达到除尘清洗的目的。

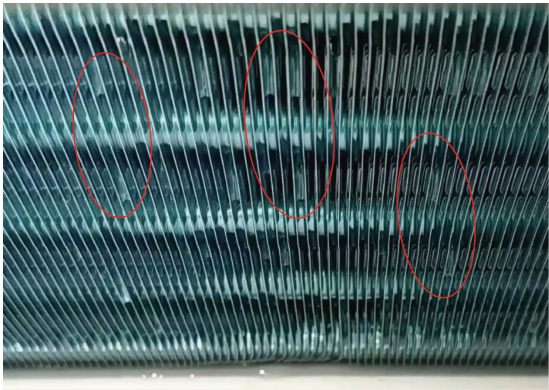


图 1 凝结水冲刷翅片
Fig. 1 Condensed water rinse the fins

实验过程的凝结水量用容器收集后称重,盘管温度用温度传感器进行采集。

评价指标的影响因素主要有:室内风机转速、清洁运行时长、压缩机频率、室外环境温度等。根据多联式空调的常用参数,设定基准值,例如为减少清洁中室内机的能量耗散,室内机设定为低风档转速。通过分析不同条件下的凝结水量和盘管温度,得到各因素对自动清洁功能的影响趋势。影响因素的取值范围如表 1 所示。

表 1 影响因素的取值范围
Tab.1 The value range of influencing factors

因素	风机转速/(r/min)	运行时长/min	压缩机频率/Hz	外环温度/℃
基准值	350	20	50	27
实验值	200、250、300、 350、400	8、12、16、 20、24	35、40、45、 50、55	18、21、24、 27、30

3 实验设备

选用一套容量为 16 kW 的一拖四多联式空调机

组,如图 2 所示,搭配转速可调节的风管式室内机,容量分别为 2.2、3.2、4.5、6.3 kW。机组以常用的 R410A 作为系统制冷剂。

选用 25 kW 焓差式控制实验台,用于提供实验所需的室内工况和室外工况,控制精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。利用温度传感器采集室内机的盘管温度,精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,数据的记录间隔为 5 s。电子称型号为 JTS-30CW,测量精度 $\pm 1\text{ g}$ 。

操作步骤:1)在室内机排水口处放置容器,用于收集排出的凝结水;2)连接室内机盘管的温度传感器,开启检测软件;3)工况稳定后,开启空调分别运行制冷和制热模式;4)调节相应的控制目标参数;5)运行结束后,对室内机的排水量进行称重,并记录室内机的盘管温度。



图 2 实验设备
Fig. 2 The experiment apparatus

4 实验结果及分析

为更直接的反映室内机的清洁效果,以容量为 3.2 kW 的室内机为例来分析各因素对除尘阶段和杀菌阶段清洁指标的影响。

4.1 除尘阶段的因素分析

4.1.1 室内风机转速的影响

室内风机的转速决定了通过换热器的风量,直接影响室内机的能力输出,是空调系统中重要的参数。

室内风机转速对凝结水量的影响如图 3 所示。由图 3 可知,随着室内机转速的增加,室内机凝结水量存在最优值。转速由 200 r/min 升至 350 r/min,凝结水量由 95 g 升至 186 g。转速升至 400 r/min,凝结水量反而有所降低。

这是由于随着室内机转速的提高,经过换热器的风量增加,使更多的水蒸气在换热器表面冷凝,故室内机的凝结水量增加。但是风量增加的同时室内机盘管温度随之升高,当转速高于 350 r/min 时,室内机盘管与空气的传热温差减小,导致凝结水量出现降低。

因此,对于本文的实验系统而言,室内风机转速设定为 350 r/min 时,凝结水量最大,可以达到最优的清洁效果。

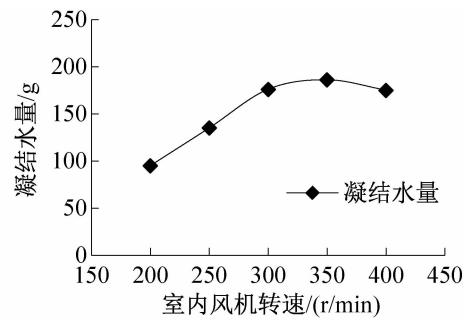


图 3 室内风机转速对凝结水量的影响
Fig. 3 Effect of indoor fan speed on condensate water

4.1.2 运行时长的影响

时间条件是空调系统中常用的重要控制参数。当其它条件相同时,自清洁的运行时长对换热器凝结水量的影响如图 4 所示。其余参数一定时,室内机的凝结水量与运行时长呈线性关系,运行时长由 8 min 增至 24 min,凝结水量增加了 150%。随着室内空气与换热器的持续换热,空气中的水蒸气遇到较冷的换热器表面不断凝结,形成凝结水冲刷翅片。可见,除尘阶段的运行时间越长,凝结水量越大。设计清洁功能时应尽量增加除尘阶段的运行时长,增加除尘效果。

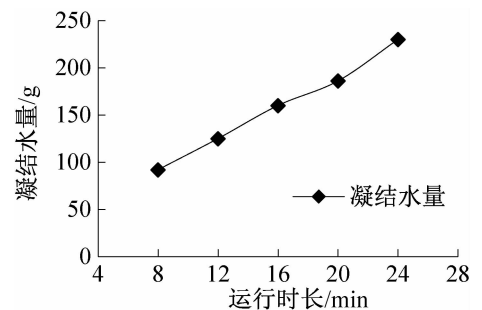


图 4 运行时长对凝结水量的影响
Fig. 4 Effect of operating time on condensate water

4.1.3 压缩机频率的影响

压缩机的运行频率决定了室内机的输出能力,对换热器凝结水量的影响如图 5 所示,压缩机频率由 35 Hz 升至 55 Hz,室内机的凝结水量由 95 g 增至 220 g,提升 131.5%。在相同的基准条件下,提高压缩机的运行频率,降低了室内机换热器的蒸发压力,从而增加空气侧与制冷剂侧的传热温差,使空气中更多的水蒸气在换热器表面形成凝结水,冲刷翅片上的灰尘,得到更好的清洁效果。

因此在除尘阶段应提高压缩机的运行频率,以增加换热器的凝结水量,提高清洁效果。

4.1.4 室外温度的影响

室外温度受天气、季节等因素的影响而变化较

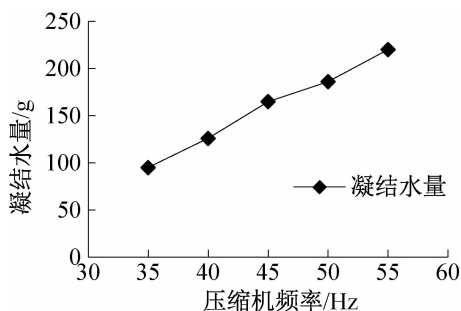


图 5 压缩机频率对凝结水量的影响

Fig. 5 Effect of compressor frequency on condensate water

大,其对凝结水量的影响如图 6 所示,其余参数一定时,凝结水量随室外温度的升高而降低。

这是因为室外侧温度越高,室外换热器的换热效果越差,使室内机的蒸发压力升高,盘管温度上升,从而减少空气中水分的凝结。因此除尘阶段应根据室外温度的变化进行设计,例如在温度低于 30 ℃ 时增加除尘阶段的运行,以提高除尘效率。

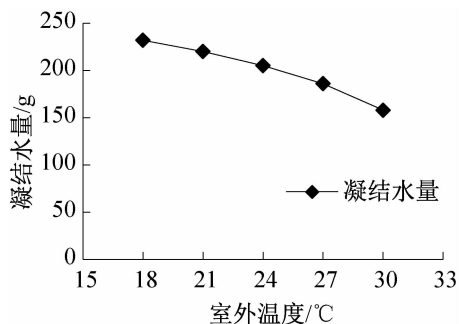


图 6 环境温度对凝结水量的影响

Fig. 6 Effect of ambient temperature on condensate water

4.2 杀菌阶段的因素分析

4.2.1 室内风机转速的影响

杀菌阶段空调切换为制热模式,与除尘阶段类似,室内风机的转速影响室内换热器的风量,直接影响盘管温度的高低,其它参数一定时,其对室内机盘管温度的影响如图 7 所示。室内风机转速提高后室内机的盘管温度呈下降趋势。风机转速为 200 r/min 时盘管温度可达 58.6 ℃,转速提高至 400 r/min 时盘管温度降低了 5.4 ℃。

风机转速的提高增加了室内换热器的风量,增加与换热器的热交换量,从而使盘管温度降低。因此为使换热器维持在较高的温度环境,应设定较低的室内风机转速,以获得较好的杀菌效果。

4.2.2 运行时长的影响

运行时长对室内机盘管温度的影响如图 8 所示。室内机的盘管温度随运行时长的增加而逐渐升高,时

长大于 12 min 后稳定在 54.6 ℃。因为室内机的送风量一定时,随着制冷剂循环的稳定,换热器的空气侧与制冷剂侧趋于换热平衡,使盘管温度达到稳定值。

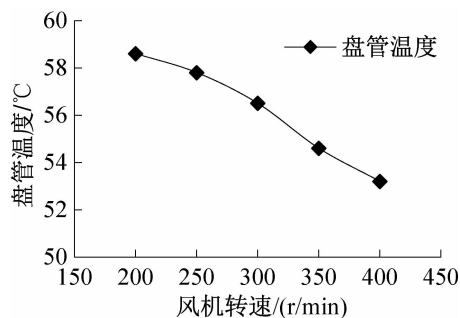


图 7 风机转速对盘管温度的影响

Fig. 7 Effect of indoor fan speed on tube temperature

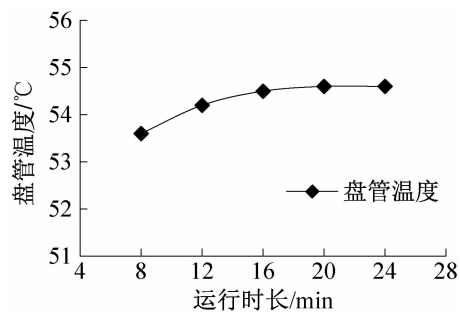


图 8 运行时长对盘管温度的影响

Fig. 8 Effect of operating time on tube temperature

因此为了达到理想的杀菌效果,应设定杀菌阶段的运行时长大于 12 min,使换热器维持在稳定的高温环境下。

4.2.3 压缩机频率的影响

压缩机频率对盘管温度的影响如图 9 所示,室内机的盘管温度随压缩机运行频率的增加而升高,压缩机在 55 Hz 时,室内机的盘管温度提升了 55.2%,达到 57.6 ℃。

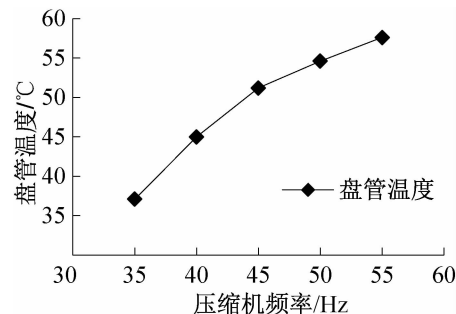


图 9 压缩机频率对盘管温度的影响

Fig. 9 Effect of compressor frequency on tube temperature

在杀菌阶段,提高压缩机的运行频率,排气温度

和排气压力会随之提高,高温高压的气态制冷剂进入室内机的换热器,提升换热器的盘管温度。因此在空调的杀菌阶段中,应提高压缩机的运行频率,以提升换热器的杀菌效果。

4.2.4 室外温度的影响

室外的温度条件同样会影响杀菌阶段室内机的盘管温度,从而影响换热器的杀菌效果。不同的室外温度对盘管温度的影响如图 10 所示。

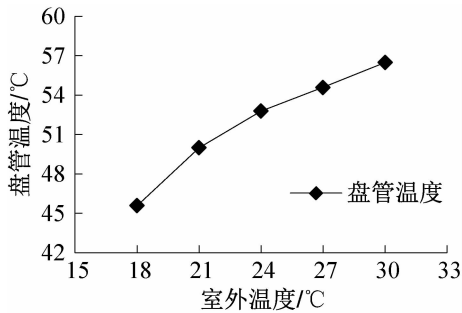


图 10 环境温度对盘管温度的影响

Fig. 10 Effect of ambient temperature on tube temperature

在相同条件下,室内机盘管温度随室外温度的升高而升高,室外温度为 30℃ 时室内机的盘管温度达 56.5℃。随着室外温度升高,压缩机的排气压力和排气温度随之升高,从而提升室内机的盘管温度。

因此应根据不同的室外温度设定不同的杀菌控制,例如室外温度较高时,增加杀菌阶段的运行,以达到理想的杀菌效果。

此外,室外环境温度对除尘阶段和杀菌阶段的影响趋势相反,应根据不同的环境温度设定不同的自动清洁功能。如温度较高时主要采取杀菌控制策略,温度较低时主要采取除尘控制策略,以达到最优的自动清洁效果。

5 结论

本文在一定条件下,利用参数控制法,对多联式空调系统的自动清洁功能进行研究,分析了室内机转速、运行时长、压缩机运行频率等因素对室内机凝结水量和盘管温度的影响,得到如下结论:

1) 除尘阶段的凝结水量随室内风机转速的升高先增加后降低,在 350 r/min 时达到最优值 186 g,凝结水量与运行时长呈正比。因此除尘阶段的风机转速设定为 350 r/min,合理增加运行时长可以提升换热器的除尘效果。

2) 杀菌阶段的盘管温度随室内风机转速降低而升高,转速为 200 r/min 时盘管温度为 58.6℃,运行 12 min 以后盘管温度趋于稳定,因此杀菌阶段应控制

室内风机在较低转速,且运行时长应大于 12 min,以达到理想的杀菌效果。

3) 相同工况下,压缩机频率由 35 Hz 增至 55 Hz,凝结水量和盘管温度分别提升了 131.5% 和 55.2%,因此在除尘阶段和杀菌阶段应重视提高压缩机的运行频率。

4) 室外温度对凝结水量和盘管温度的影响趋势相反,建议根据不同的温度区间设计不同的自动清洁功能,例如温度较低时侧重运行除尘阶段控制,温度较高时侧重运行杀菌阶段控制,以保证机组能耗和清洁效果最优化。

多联式空调系统的控制较为复杂,经常是同步调节多个参数。设计自动清洁功能,在保证室内机凝结水量和盘管温度最优的同时,各参数对系统可靠性的影响需要综合评估,此外不同的室内机组搭配也需要进一步研究。

参考文献

- [1] 曾伟城,沈志相. 论空调系统清洁清洗的重要性[J]. 制冷技术,2010,30(1):45-46. (ZENG Weicheng, SHEN Zhixiang. Discussion on importance of cleaning in HVAC system[J]. Chinese Journal of Refrigeration Technology, 2010,30(1):45-46.)
- [2] Building environment design-indoor air quality-methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy: ISO/TC205 ISO/DIS 16814 [S]. Geneva:ISO, 2005.
- [3] 陈莉. 智能自清洁空调成为行业新的增长点[J]. 电器,2017(7):61. (CHEN Li. Intelligent automatic cleaning air-conditioner becomes a new growth point of the industry[J]. China Appliance,2017(7):61.)
- [4] 鞠培玲,庄大伟,詹飞龙,等. 空调换热器长期运行性能衰减的加速实验研究[J]. 制冷学报,2019,40(4):10-16. (JU Peiling, ZHUANG Dawei, ZHAN Feilong, et al. Accelerated experimental investigation on long-term performance degradation of heat exchangers in air conditioners [J]. Journal of Refrigeration,2019,40(4):10-16.)
- [5] 鞠培玲,詹飞龙,庄大伟,等. 翅片管换热器在析湿工况下的积灰特性及对空气侧压降的影响[J]. 制冷学报,2018,39(6):10-16. (JU Peiling, ZHAN Feilong, ZHUANG Dawei, et al. Effect on particle deposition characteristics and air-side pressure drop of fin-and-tube heat exchangers under dehumidifying conditions[J]. Journal of Refrigeration,2018,39(6):10-16.)
- [6] 丁国良,詹飞龙,庄大伟,等. 制冷空调换热器的研究进展(三)—换热器长效性能[J]. 家电科技,2019(6):44-51. (DING Guoliang, ZHAN Feilong, ZHUANG Dawei, et al. Development of heat exchanger for refrigeration and air-conditioning(3)—long-term performance of heat exchangers

- [J]. *Journal of Appliance Science & Technology*, 2019 (6):44-51.)
- [7] 浦晖,丁国良,马小魁,等. 微生物污垢对翅片管换热器空气侧换热和压降特性的影响[J]. *上海交通大学学报*, 2008, 42(3):404-408. (PU Hui, DING Guoliang, MA Xiaokui, et al. The effects of biofouling on airside heat transfer and pressure drop for fin-and-tube heat exchanger [J]. *Journal of Shanghai Jiao Tong University*, 2008, 42 (3):404-408.)
- [8] 詹飞龙,丁国良,赵夫峰,等. 空调换热器长效性能衰减的研究进展[J]. *制冷学报*, 2015, 36(3):17-23. (ZHAN Feilong, DING Guoliang, ZHAO Fufeng, et al. A review of researches on long-term performance degradation of heat exchangers in air conditioners [J]. *Journal of Refrigeration*, 2015, 36(3):17-23.)
- [9] 严汉彬,丁力行. 控制空调系统微生物污染的温湿度条件分析[J]. *制冷与空调(北京)*, 2011, 11(2):14-17. (YAN Hanbin, DING Lixing. Analysis of conditions of temperature and humidity to control microbial contaminant in air-conditioning system [J]. *Refrigeration and Air-conditioning*, 2011, 11(2):14-17.)
- [10] 中国新闻网. 两部门印发新型冠状病毒肺炎诊疗方案

(试行第七版)[EB/OL]. (2020-03-04)[2020-06-20]. <http://www.chinanews.com/gn/2020/03-04/9113100.shtml>.

- [11] 任峰,刘太奇. 过滤除菌用净化材料的研究与应用[J]. *化学世界*, 2007(2):121-124. (REN Feng, LIU Taiqi. Investigation and application of material used to filtrate pathogen [J]. *Chemical World*, 2007(2):121-124.)
- [12] 朱旭芬. 现代微生物学实验技术[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2011. (ZHU Xufen. *Modern experimental technique of microbiology* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2011.)

通信作者简介

邓赛峰,男,宁波奥克斯电气股份有限公司,15888506792, E-mail:saifengdeng@126.com。研究方向:多联机系统节能技术及功能开发。

About the corresponding author

Deng Saifeng, male, Ningbo AUX Electric Co., Ltd., +86 15888506792, E-mail: saifengdeng@126.com. Research fields: energy saving technology and new function development of VRF air conditioning system.

(上接第 98 页)

- [22] 杨世铭,陶文铨. 传热学. [M]. 4 版. 北京:高等教育出版社, 2006. (YANG Shiming, TAO Wenquan. *Heat transfer* [M] 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2006.)
- [23] YE H Y, LEE K S, PARK J S, et al. Frost retardation on fin-tube heat exchangers using mass transfer characteristics with respect to air velocity[J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2014, 79:689-693.
- [24] SHENG Wei, LIU Pengpeng, DANG Chaobin, et al. Review of restraint frost method on cold surface[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 79:806-813.
- [25] 盛伟,兰庆云,刘鹏鹏,等. 铝表面结霜的实验研究及 CFD 模拟 [J]. *流体机械*, 2019, 47(4):83-88, 63. (SHENG Wei, LAN Qingyun, LIU Pengpeng, et al. Experimental research and CFD simulation of frosting on aluminum surface [J]. *Fluid Machinery*, 2019, 47(4):83-88, 63.)
- [26] 于渥,郝柏林,陈晓松. 边缘奇迹:相变和临界现象 [M]. 2 版. 北京:科学出版社, 2016. (YU Lu, HAO Bailin,

CHEN Xiaosong. *Marvels on the edge: phase transitions and critical phenomena* [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2016.)

- [27] 胡珊. 复杂表面结霜的实验与数值研究[D]. 北京:清华大学, 2014. (HU Shan. *Experimental and numerical investigations of frost formation on complex surfaces* [D] Beijing: Tsinghua University, 2014.)

通信作者简介

盛伟,男,副教授,河南理工大学机械与动力工程学院, (0391) 3987546, E-mail: weisean@163.com。研究方向:制冷新技术理论与应用。

About the corresponding author

Sheng Wei, male, associate professor, School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, +86 391-3987546, E-mail: weisean@163.com. Research fields: new refrigeration technology theory and application.