

文章编号: 1671-6612 (2019) 02-203-05

# 风冷多联机在西安地区的除霜应用研究

王继前<sup>1</sup> 狄育慧<sup>1</sup> 冯璐<sup>2</sup> 徐青松<sup>2</sup>

(1. 西安工程大学 西安 710600; 2. 陕西建工安装集团有限公司 西安 710048)

**【摘要】** 通过现场抽样调查西安地区多联机冬季除霜现状, 得出西安地区现有多联机系统冬季运行结霜特点, 并提出两种判断结霜除霜控制的理论, 为合理使用多联机提供参考。

**【关键词】** 多联机; 结霜; 除霜; 控制理论; 参考

中图分类号 TB65 文献标识码 A

## Study on Defrosting Application of Air-cooled Multi-connection in Xi'an Area

Wang Jiqian<sup>1</sup> Di Yuhui<sup>1</sup> Feng Lu<sup>2</sup> Xu Qingsong<sup>2</sup>

(1. Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710600; 2. Shaanxi Construction & Installation Group limited comp, Xi'an, 710048)

**【Abstract】** Through on-the-spot investigation of the current status of multi-line winter defrosting in Xi'an area, the characteristics of the existing multi-line system winter frost operation in Xi'an area have been derived, and two theories for judging the frosting and defrosting control have been proposed, providing reference for rational use of multiple connections.

**【Keywords】** Multi-line; Frosting; Defrost; Control theory; Reference

## 0 引言

西安作为新审批的中心城市, 新建建筑与已有建筑的改造有很大空间。冬季空气环境污染已经限制发展城市集中供热, 所有在新建城区推广采用热泵、地热、燃气等清洁能源供热。而多联机布置灵活, 安装方便、节能、维护成本低、无需独立机房等优点被用户青睐。而除霜是影响多联机持续供热的关键因素, 建设单位在选择系统方式时对于多联机的冬季除霜非常关注, 目前采用较多的除霜方法是逆循环和热气旁通除霜<sup>[1]</sup>。然而除霜过程中存在除霜能量来源不足, 除霜时间长<sup>[2]</sup>, 除霜室内环境舒适性下降<sup>[2]</sup>等问题; 试验表明划分智能除霜区间有利于提高多联机的利用效率, 减少能源浪费, 增加低温制热的热舒适性<sup>[3]</sup>, 对于蓄能除霜, 翅片管型比螺旋盘管型相变蓄能器对供热过程的影响更小, 系统结霜时间缩短<sup>[4]</sup>; 相变蓄能系统除霜时压缩机排气温度

比另外两种系统高, 使得冷凝温度升高, 更有利于缩短除霜时间, 且室内温度相对稳定, 系统能耗也随之减少<sup>[5]</sup>; 而蓄能换向除霜方法由于缩短了除霜时间和提高了恢复供热室内送风温度, 有效地提高了室内热舒适性<sup>[6]</sup>; 有学者研究了制约变频空气源热泵多联机快速除霜的因素, 提出除霜的改进方法, 为多联机系统除霜优化提供了指导<sup>[7]</sup>。虽然多联机的除霜控制和除霜技术不断进步, 但是“误”除霜现象仍然经常发生, 有学者指出室内侧换热器双温度传感器法的工作原理及其在消除误除霜方面存在缺陷<sup>[8]</sup>以及做了空气源热泵“误除霜”事故简析<sup>[9]</sup>。

## 1 多联机结霜的机理与特点

### 1.1 多联机结霜的机理

多联机在冬季运行过程中, 由于室外机换热器翅片温度比较低, 一旦室外换热器表面温度同时低

作者简介: 王继前 (1992.5-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: 2568299176@qq.com

通讯作者: 狄育慧 (1964.2-), 女, 博士, 教授, E-mail: 470836165@qq.com

收稿日期: 2018-05-24

于空气的露点及冰点温度,就会结霜<sup>[10,11]</sup>,由于霜层的存在使得室外机换热器与环境温度之间的传热热阻大,降低室外机换热器吸收能量的速率,因此,如果不能及时有效地除霜,则多联机冬季运行效率将会大大降低。

## 1.2 结霜的温度和湿度条件

传统除霜控制认为,结霜的环境温度条件范围为 $-5^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ ,超出此范围机组不会结霜;实测研究显示,基于此结霜区域控制的 ASHP 机组在环境条件为日平均温度均超过 $5^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不低于60%下连续运行5天之后,换热器表面霜层覆盖率已超过60%,供热能力衰减高达43.4%<sup>[12]</sup>。进一步研究表明,环境温度在 $-15^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ 范围内,均有可能结霜。

西安气候属暖温带半湿润大陆性季风气候,冬季寒冷少雨雪,1月平均气温降至 $-0.5^{\circ}\text{C}$ ,受冬季强寒潮的影响,极端最低气温可降至 $-10^{\circ}\text{C}$ 以下,冬季空调室外计算干球温度 $-5.6^{\circ}\text{C}$ ,冬季空调室外计算相对湿度66%。其温湿度环境符合理论研究的

结霜条件。

## 2 抽样项目多联机结霜的特点

### 2.1 室外机结霜及除霜过程

本文抽取 A、B 和 C 三个流行品牌的多联机的实际运行测试,用优利德 UT330UB 温湿度记录仪记录室外机进风口的温湿度变化曲线,用 testo Comfort Software Basic 5.0 记录对应的室内机的送、回风口的温湿度变化,红线曲线表示温度,另一条是相对湿度曲线;

图1是A机组在西安市某办公大楼上的应用;图2是B机组在西安市某学校行政楼上的应用;图3为C机组在某银行的应用。测试中,A机组的两次结霜时间分别为4h和1h左右,造成差距的原因是上午天气为阴天,下午为降雪天气;B机组多联机的一个结霜过程结霜时间约3h,当天晴天,机组在阴面,地面有积雪;C品牌从第一次除霜结束到第二次除霜开始用时1h左右,第二次除霜结束到第三层除霜开始用时1h左右,夜晚有过降雪,当天阴天。

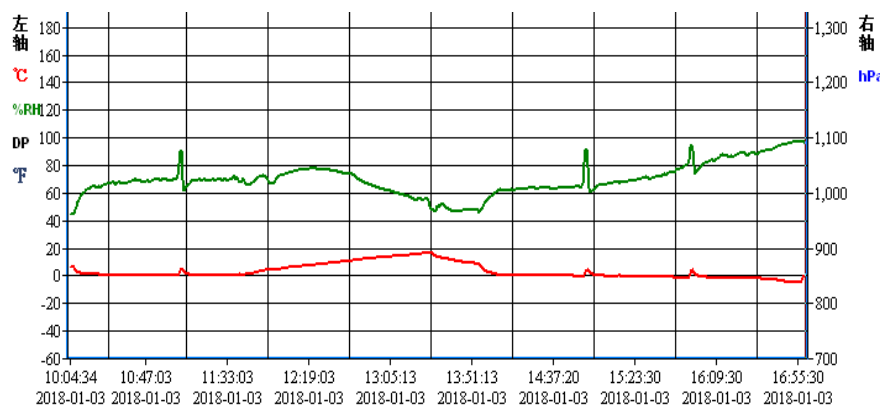


图1 A 机组结霜及除霜室外机进风口温湿度曲线

Fig.1 A Unit frost and defrost outdoor unit inlet temperature and humidity curve

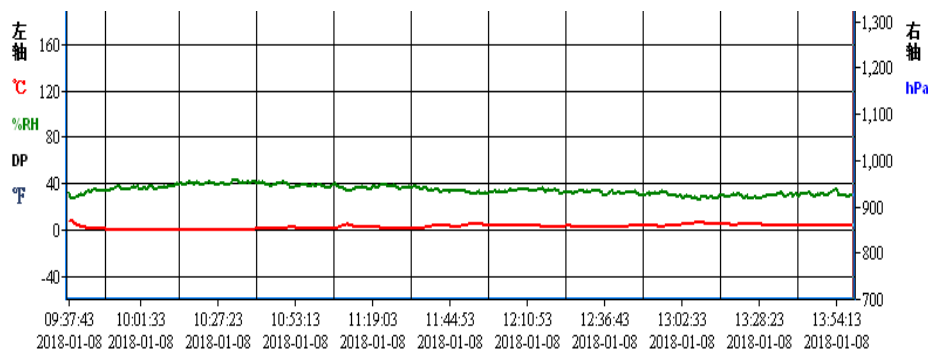


图2 B 机组结霜及除霜室外机进风口温湿度曲线

Fig.2 B Unit frost and defrost outdoor unit inlet temperature and humidity curve

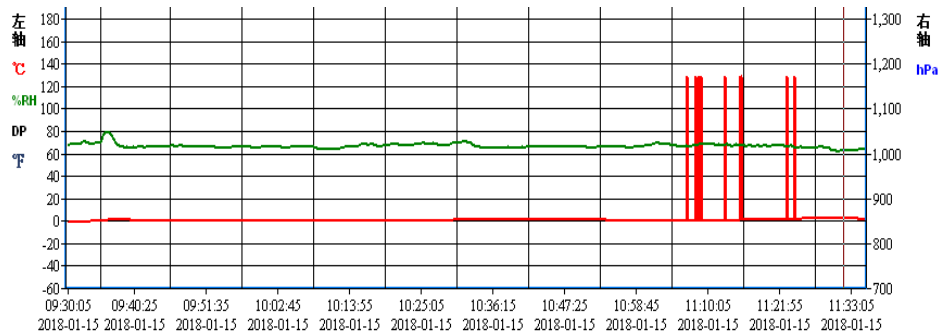


图 3 C 机组结霜及除霜室外机进风口温湿度曲线

Fig.3 C Unit frost and defrost outdoor unit inlet temperature and humidity curve

从 A 品牌机组可知环境温度保持在 $-5^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度保持 50%时室外机翅片就容易结霜;从 B 品牌机组可知环境温度处于 $0^{\circ}\text{C}$ 左右,相对湿度处于 40%左右时,机组结霜周期缓慢,霜层较薄;从 C 品牌机组可知相对湿度 $\geq 60\%$ ,温度在 $-2^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$ 时,机组结霜速度快,霜层饱满而均匀;如果环境温湿度不在上述范围,则机组不会结霜或者有少许的霜层,并结霜周期则非常缓慢;

结霜一段时间或者霜层达到一定厚度时,机组进行除霜,除霜时,由于 A 机组第一次霜层较薄,除霜时间为 140s,第二次霜层厚且均匀,除霜时间为 230s; B 机组虽然结霜周期长,但因为环境湿度较低,因此霜层较薄,除霜时间为 135s;而 C 机组因为环境温湿度均匀,结霜时间均匀且霜层厚且均匀,除霜时间为 260s。

综上,不同品牌的机组的结霜周期既和机组本身的运行性能有关,也和机组所处环境的温湿度紧密相关,除霜控制方式和除霜方式也存在不同。

## 2.2 除霜效果对比

测试人员总结了 A、B 和 C 三个品牌的多联机的结霜和除霜情况,并进行了对比,详细内容参见如表 1 所示。

表 1 三个品牌机组结霜除霜比较

Table 1 Comparison of frosting and defrosting of three brand units

| 品牌 | 除霜控制方式  | 除霜方式  | 除霜效果 |
|----|---------|-------|------|
| A  | 温差控制    | 逆循环除霜 | 干净   |
| B  | 时间-温差控制 | 逆循环除霜 | 干净   |
| C  | 温差控制    | 逆循环除霜 | 干净   |

从表 1 中可以看出:三种不同品牌的多联式空调机组的除霜控制方法存在差异,除霜方式相同,除霜效果较好,具体的说, B 品牌除霜控制方式更

为先进,可以有效减缓除霜次数,对室内环境的舒适度影响最小; A、C 品牌机组除霜控制方式和除霜方式相同,因被测机组所处的温湿度环境不同,所以结霜时间和除霜时间不进行比较。

## 2.3 误除霜现象

观察三个品牌的多联机的结霜和除霜过程,发现多联机在除霜时存在“误除霜”现象,这主要是和多联机的除霜控制方式有关,多联机的除霜控制方式是机组利用时间、温度、压力等传感器进行判断除霜控制点的方式。

利用红外热成像仪进行跟踪拍摄,温度的变化从蓝色到红色逐渐升高,颜色越深,温度的绝对值越大,图 4 和图 5 分别展示了 A、B 品牌的多联机的“误除霜”现象, C 品牌的多联机在测试时未出现“误除霜”现象。

由于“误除霜”现象会引起整个机组运行过程中的换热效率降低,有霜不除时室外机进风口换热速率降低,从而导致室内外换热不足,影响了室内热舒适性;无霜除霜时,室外机换热进风口翅片上并未结霜,而机组却要执行除霜控制系统下的除霜过程,浪费机组能量,影响室内热舒适性,降低机组使用寿命。

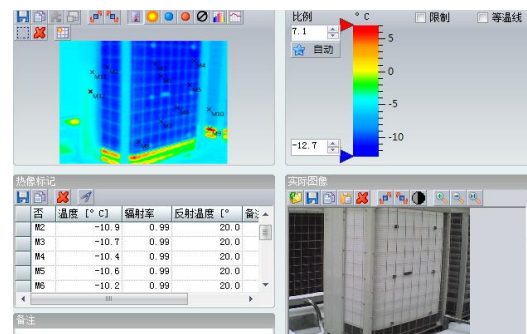


图 4 A 品牌机组有霜不除现象

Fig.4 A brand unit has frost not removed

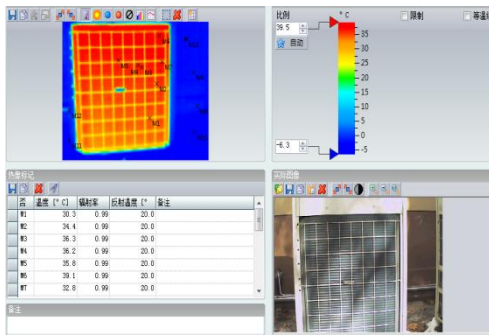


图5 B品牌机组无霜除霜现象

Fig.5 B brand unit frost-free defrost

### 3 提出两种新型判断结霜除霜理论

#### 3.1 行业内现有的判断结霜的方法

现有常用多联机空调系统除霜方法有电热除霜；逆循环除霜；热气旁通（显/全热）；蓄能除霜；而这些除霜方式的判断方法都是间接测量方法，均不同程度受到测量传感器、算法、阈值的影响。不同程度存在着除霜判断延迟、“误除霜”等现象。

#### 3.2 基于图像识别技术的判断结霜的方案

国内图像识别技术已经进入到了高级阶段—拥有视觉的机器，在某些应用场景，机器视觉比人类的生理视觉更具优势，它更加准确、客观和稳定，因此提出利用图像识别技术记录多联机室外机翅片结霜状态，结霜厚度，结霜分布，结霜量的大小，从而进行除霜控制点的判断；除霜控制点准确，当图像感知到机组翅片表面的结霜达到程序设定的结霜厚度或结霜量时，机组就开始进行除霜，这样可以避免机组出现“无霜除霜”或者“有霜不除”的“误除霜”现象。

通过实验室结霜过程图像的基础信息与现场图像采集图片对比判断。与现有判断结霜技术相结合形成复合技术提高判断的准确率。

#### 3.3 翅片背风侧风速传感器判断结霜的方案

翅片结霜后堵塞了翅片的间隙，导致翅片间气流减小，因此提出测量气流减小的趋势就能判断翅片的结霜程度。测量翅片气流风速有两种方法第一种在翅片迎风侧，另一种在翅片背风侧。迎风侧容易受到环境气流的影响，背风侧在翅片结霜后不受环境气流影响，因此应采用和背风侧测量。

在测量传感器方面，由于翅片结霜过程不是均匀结霜，因此产品在定性阶段模拟自然工况实验室试验是确定传感器最佳安装位置的方法。

## 4 总结与展望

综上所述，多联机在西安地区结霜及除霜研究，有以下特点：

（1）室外换热器表面温度同时低于空气的露点及冰点温度，就会结霜；西安地区的气候环境满足多联机结霜的温湿度条件；结霜周期和厚度与机组性能及所处环境的温湿度紧密相关；

（2）不同品牌的多联机的结霜周期和霜层厚度既和机组本身的运行性能有关，也和机组所处环境的温湿度紧密相关；

（3）常规除霜方式及控制方式会出现“误除霜”现象，不同除霜控制方式影响机组除霜是否精准，因此提出两种新型判断结霜除霜理论，有望实现精准控制除霜。

### 参考文献：

- [1] Lin Daoguang, Li Xiaohua, Tang Jingli. Defrosting for air source heat pump[J]. Building Energy Saving, 2013,41(4):30-33.
- [2] 董建锴,姜益强,姚杨,等.空气源热泵相变蓄能除霜特性实验研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2011,38(1):18-22.
- [3] 王新利,熊美兵,冯明坤,等.多联机空调器智能除霜控制研究[J].制冷,2014(2):29-31.
- [4] 董建锴,张龙,姜益强,等.不同相变蓄能器对多联机空气源热泵蓄能除霜性能影响[J]. 太阳能学报,2016,37(9):2856-2861.
- [5] 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.
- [6] 曲明璐,邓仕明,董建锴,等.空气源热泵蓄能换向除霜对室内热舒适的影响[J].暖通空调,2013,43(4):76-79.
- [7] 黄东,袁秀玲.风冷热泵冷热水机组热气旁通除霜与逆循环除霜性能对比[J]. 西安交通大学学报,2006,40(5):539-543.
- [8] 韩志涛,姚杨,马最良,等.空气源热泵误除霜特性的实验研究[J].暖通空调,2006,36(2):15-19.
- [9] 王伟,李林涛,盖铁静,等.空气源热泵误除霜事故简析[J].制冷与空调,2015,15(3):64-71.
- [10] JK Dong, SMDeng, YQJiang, et al. An experimental study on defrosting heat supplies and energy consumptions during a reverse cycle defrost operation for an air source heat pump[J]. Applied Thermal

- Engineering, 2012,37:380-387.
- [11] W Wang, Q C Guo, W P Lu, et al. A generalized simple model for predicting frost growth on cold Flat plate[J]. International Journal of Refrigeration, 2012,35(2):475-486.
- [12] W Wang, Y C Feng, J H Zhu, et al. Perform-ances of air source heatpump system for a kind of mal-defrost phenomenon appearing in moderate cli—mate conditions[J]. Applied Energy, 2013,112(4):1138-1145.

---

#### （上接第 187 页）

到了暖通工程项目的成败和经济性优劣。地板送风空调送风系统成功的关键与设计、施工、运行管理等建筑活动三个环节紧密相关。本文根据实际项目设计要点及期间费用进行详细探讨以供业内人士在选择空调系统形式时参考。

#### 参考文献:

- [1] 刘福金.高层建筑供暖系统的设计要点分析[J].城市地理,2015,23(4):15-16.
- [2] 曾应贤,吴全胜.高层建筑暖通空调设计要点分析[J].建材与装饰,2015(48):195-196.
- [3] 刘金平,郭燕芳.地板送风终端单元空调房间速度场和温度场的数值模拟[J].暖通空调,2007,37(1):14-19.
- [4] 王庆莉,龙惟定.地板送风与置换通风的差异[J].建筑热能通风空调,2004(5):10-13.
- [5] 麦岚,何焰.架空地板送风系统在办公楼中的应用[J].制冷空调与电力机械,2004(5):51-57.
- [6] 肖伟,蔡亮.地板送风房间的气流组织与热舒适性[J].工业建筑,2008(38):41-43.
- [7] 孔琼香,俞炳丰.办公楼地板送风系统应用与研究现状[J].暖通空调,2004,34(4):26-31.
- [8] 马仁民.地板送风技术条件与舒适条件的研究[J].暖通空调,1995, 25(6): 45-48.
- [9] Bauman F S, Webster T. Outlook for Underfloor Air Distribution [M].ASHRAE Journal, 2001,43(6):18-27.
- [10] Sodec F, Cralg R. The Underfloor Air Supply System-The European Experience [M].ASHRAE Trans, 1990,96(2):690-695.