

文章编号: 1671-6612 (2019) 03-323-05

低冰点溶液在风冷多联机上的除霜应用特性研究

王继前¹ 狄育慧¹ 冯璐² 徐青松²

(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】 结合西安地区风冷多联机在冬季工况下的温湿度状况, 总结已有多联机空调系统的除霜方式的特点和不足, 提出一种利用喷淋低冰点溶液进行多联机空调系统除霜及其延缓除霜的方式。通过试验发现利用喷淋低冰点溶液进行除霜的效果良好, 并可以延缓下一阶段的结霜过程。

【关键词】 多联机; 低冰点溶液; 除霜; 提出

中图分类号 TB65 文献标识码 A

Study on Defrosting Application of Low-freezing-point Solution on Air-cooled Multi-connection

Wang Jiqian¹ Di Yuhui¹ Feng Lu² Xu Qingsong²

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

【Abstract】 Combining the conditions of temperature and humidity of air-cooled multi-line in winter conditions in Xi'an area, summarizing the features and deficiencies of existing defrost methods of multi-line air-conditioning systems, and proposing a method of defrosting and delaying defrosting in a multi-line air-conditioning system using spraying low-freezing point solution. Through tests, it has been found that the use of spraying low-freezing point solution has a good effect of defrosting, and can delay the next stage of the frosting process.

【Keywords】 Multiple online; Low-freezing point liquid; Defrost; Put forward

0 引言

多联式空调机组因具有节能环保、运行费用低、节省空间以及安全可靠等优点得到越来越广泛的应用^[1]。同时也面临着在低温潮湿环境下供热时室外机容易结霜, 霜层的存在降低了多联机的供热能力的问题^[2], 朱乐琪^[3]等通过模拟与实测研究了除霜周期内的实际制热量与除霜时间, 单位室外机制热量等的变化关系。Jang 等^[4]在多联机逆循环除霜的基础上, 提出了分环路除霜方式。Tu 等^[5]认为时间-盘管温度法控制除霜并不适用于多联机, 应该采用时间-盘管温度-冷凝温度的方法来对多联机除霜加以控制。间断制热蓄能除霜及不间断制热蓄能除霜与常规复叠式空气源热泵低温级热气旁通除霜方式对比表明蓄能除霜方法的除霜时间较旁通除霜减少 71.4%~77.6%,

系统除霜能耗降低 65.1%~85.2%, 机组除霜运行更稳定、可靠^[6]; 多联机空调器智能除霜控制有利于提高多联机空调系统的利用效率, 减少能源浪费, 增加低温制热的热舒适性^[7]; 美的公司阐明了多联机空调系统结霜原理, 分析结霜、除霜相关因素, 总结除霜控制方法, 提出新型除霜控制策略^[8]。

多联机空调系统常用的除霜方法有三大类: 热力除霜、附加外场和广义除霜; 其中热力除霜包括电热除霜、逆循环除霜、热气旁通(显/全热)和蓄能除霜; 附加外场除霜包括高压电场除霜及超声波除霜; 广义除霜包括无霜型。

众多的除霜方式在不同的地区、不同的温湿度环境下的适用性有所不同, 有学者研究了不同除霜方式之间存在的区别^[9], 详见表 1。

作者简介: 王继前 (1992.5-), 男, 在读硕士研究生, 主要研究多联机的应用, E-mail: 2568299176@qq.com

通讯作者: 冯璐 (1982.5-), 男, 高级工程师, 陕西省建筑业协会绿建专家, E-mail: 59925310@qq.com

收稿日期: 2018-05-26

从表 1 可知, (1)逆循环除霜系统除霜时的排气压力较小, 运行热气旁通除霜模式时, 排气压力平均值为 1.30MPa, 基本能满足机组正常运行需要, 不会出现“奔油”现象, 提高了系统的可靠性。蓄能除霜较热气旁通除霜模式, 除霜时的排气压力有所增加, 且比逆循环除霜高出了 50%, 使得冷凝温度提高, 传热温差加大, 更有利于除霜; (2)蓄

能除霜时间因四通阀不用换向, 除霜热能直接来自蓄能换热器而大大缩短, 且除霜后室内恢复正常供热时间较传统的逆循环除霜缩短了约 160s。除霜结束时室外侧换热器翅片表面温度达 30℃, 比逆循环除霜和热气旁通霜要都要高 6℃, 热气旁通模式除霜系统, 由于系统除霜的功耗全来自压缩机的输入功率, 所以除霜时间较另外两种除霜时间有所延长。

表 1 常规除霜方式比较

Table 1 Comparison of conventional defrosting methods

除霜方式	热能来源	除霜时间 s	除霜平均排气压力 Pa	除霜结束室外机翅片温度℃	恢复供热时间 s
电热除霜	电加热元件供热	由结霜量决定	—	28	—
逆循环除霜	压缩机反转供热	390	1.05	24	280
热气旁通除霜	压缩机排气热量	510	1.30	23.5	210
蓄能除霜	制冷剂冷凝放热	270	1.55	30	180

如此众多的除霜控制及除霜方法主要以热力除霜为主, 存在着需要消耗机组本身热能进行除霜的不足之处, 因此我们提出利用低冰点溶液融霜除霜的方式, 并进行了验证性试验。

1 低冰点溶液除霜研究

1.1 低冰点溶液除霜原理

多联机在冬季低温高湿工况下运行, 当室外换热器表面温度同时低于空气的露点及冰点温度, 就会在进风口翅片上产生霜层, 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, 则多联机运行效率将会大大降低。

有学者提出无霜型空气源热泵^[10]。通过喷淋除湿溶液对进入室外肋片管换热器的空气进行除湿, 从而降低空气的露点温度, 破坏结霜条件, 以此达到无霜运行; 采用盐溶液喷淋的方式对热泵机组室外换热器进行除霜^[11], 并运用冷冻方式对除霜完成后的稀溶液进行再生。该机组在除霜时不停机, 仍可继续供热; 在空气源热泵喷淋溶液除霜及进行冷冻再生系统的研究^[12]表明: (1) 溶液喷淋可实现快速除霜并保持机组持续制热; (2) 除霜过程近似零能耗, 可有效提高热泵机组的制热性能;

而低冰点溶液的共同特性是其冰点较低, 低温工况下不易结冰, 常见的低冰点溶液有甲酸

钠, 乙二醇, 丙三醇, 汽车玻璃水等; 将低冰点溶液喷淋至风冷多联机室外机结霜区域, 利用低冰点溶液比霜层更低的冰点使得霜层融化, 从而达到除霜的目的; 并且当低冰点溶液与融霜水混合后会有效降低下一个循环的结霜点, 以及能够有效延缓结霜。

1.2 试验设备及低冰点溶液的选择

如图 1 所示主要设备有: 空调机组室内、外机各一台作为测试对象; 喷液器一台及喷嘴若干作为喷淋低冰点溶液试验设备; 室外机进风口安置 UT330ABC 温湿度自动记录仪, 记录室外机结、除霜过程中进风口的温度和相对湿度的变化曲线; 在室内机出风口处安置 testo Comfort Software Basic 5.0 温湿度自动记录仪, 用于记录室内机结霜及除霜过程中出风口的温湿度变化曲线;

蓝星汽车玻璃水溶液的冰点为-30℃, 由一元醇、表面活性剂、缓蚀剂和去离子水构成; 具有较低冰点, 同时具有防静电和清洁洗涤等特性, 因此选择为试验低冰点溶液。

向喷液器加一定量的玻璃水, 选择合适的喷嘴, 安置好记录仪器之后, 开启室内机, 调整好送风温度, 观察室外机结霜过程, 记录机组的结霜时间和除霜时间, 拍照记录除霜前后翅片表面的霜层状况; 当室外机翅片上的霜层达到一定的厚度时, 喷淋低冰点溶液进行除霜, 喷嘴对准结霜区域喷淋玻璃水溶液, 观察翅片表面化霜过程。



(a) 室外机



(b) 结霜后



(b) 玻璃水



(c) 喷淋时



(c) 喷液器

图 1 溶液除霜设备

Fig.1 Solution defrosting device

1.3 结霜与除霜过程及效果



(a) 未结霜时



(d) 喷淋后

图 2 机组结霜及除霜过程

Fig.2 Unit frosting and defrosting process

图 2 反应了空调机组的结霜及低冰点溶液除霜过程, (a) 图为机组开启之前, 表面干燥无杂物, 开机运行, 在一定的低温和相对湿度的工况下, 翅片表面逐渐生成霜层; (b) 图为机组运行一段时间翅片表面结霜, 该翅片结霜霜层较厚, 左侧为正常结霜现象, 右侧为结霜前喷淋了玻璃水的结霜状态, 对照显示其结霜量显然比正常结霜量少; (c) 图为结霜到一定程度时, 用喷液器向机组翅片结霜区域喷淋玻璃水除霜, 待低冰点溶液将结霜翅片全部润湿之后, 停止喷液, 等待化霜, 霜层融化后沿着翅片表面流走, 除霜完成; (d) 图为喷淋除霜完成后翅片表面状况, 翅片表面干净, 除霜效果良好, 由于有少许低冰点溶液附着在翅片表面, 可以有效减缓下一循环的结霜时间, 增长结霜周期, 减少除

霜次数，有助于提高室内热舒适性；

试验记录发现，机组结霜周期长，而用玻璃水喷淋除霜的时间较短，平均结霜时间为 100min，(c) 图喷淋时间为 1min，翅片表面达到无附着溶液液滴状态时间 (d) 图为 2min，即除霜时间为 2min，结霜时间长，除霜时间短，除霜效果好，该除霜方式不需要压缩机停机除霜，除霜时保持不间断向室内供热；

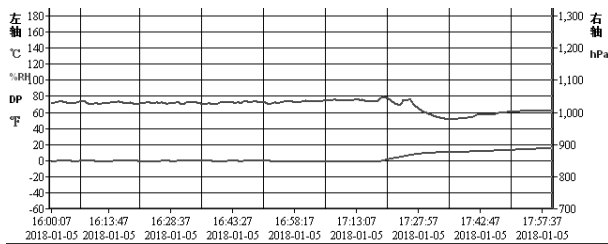


图 3 某品牌室外机结霜除霜过程

Fig.3 Frost defrosting process of a brand of outdoor unit

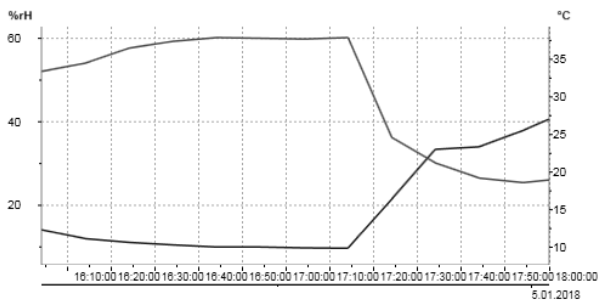


图 4 某品牌室内机结霜除霜过程

Fig.4 Frost defrosting process of a brand indoor unit

图 3 为机组结霜和玻璃水除霜过程中室外机进风口温湿度变化曲线，图中左下曲线为温度曲线，左上曲线为湿度曲线，机组进风口温度保持在 0℃左右，机组进风口相对湿度处于 75%左右，符合机组结霜的温湿度工况，如图机组运行 80min 后开始除霜，喷淋玻璃水除霜时，因为玻璃水很快融化翅片表面霜层，并迅速被周围的空气带走，使得翅片表面的相对湿度有所下降，除霜时玻璃水的温度高于环境温度和翅片霜层的温度，因此霜层融化后机组翅片的温度有所降低；在 85min 后机组翅片相对湿度和温度开始趋于稳定，但相对湿度依然低于除霜前的相对湿度，温度高于除霜前的温度，这主要是由于有一部分玻璃水和化霜水的混合物附着在机组翅片上造成的，并且这种现象也会有效的增长下一循环的结霜周期，有利于机组运行。

图 4 为机组结霜和低冰点溶液除霜过程中室内机送风口温湿度变化曲线，左上开始的曲线为室内机送风口处的温度，左下开始的曲线为相对湿度曲线，从机组上一个除霜完成开始，室内机送风口温度从上一个除霜循环结束的 33℃不断升高至 37.5℃后保持稳定，相对湿度从 12%缓慢下降至 10%保持稳定，65min 后室外机未开始除霜，室内机送风口温度急剧下降，10min 下降至 23℃左右，相对湿度从 10%迅速上升至 33%左右，分析主要是由于室外机翅片霜层达到饱和，换热达到临界点，导致室内温湿度变化较大；运行 80min 后机组开始除霜，室内机送风口温度再次逐渐降低至 20℃左右保持稳定，相对湿度再次逐渐上升至 40%左右，分析主要是室外机翅片喷淋低玻璃水除霜，造成室外机进风口湿度增加，霜层融化，换热空气直接来自环境，西安地区下午 17 时以后的环境温度迅速降低并低于翅片表面霜层温度造成；虽然如此，但可以保持持续送热风，对室内热湿环境影响较小；

2 提出新的除霜控制策略

现有的除霜控制方法均存在除霜控制点不清晰导致出现“误除霜”问题，因此在利用低冰点溶液进行除霜的验证性试验基础上提出利用风速识别控制除霜和成像识别控制除霜的策略；

2.1 风速识别除霜控制

风速识别除霜控制的原理是：在风冷多联机室外机翅片内侧设置风速传感器，则机组进风口的风速会随着翅片表面霜层的厚度增大而减小，风速传感器向除霜控制器发送风速信号，当风速传感器的综合风速减小到设定阈值时，到达除霜控制器所设定的除霜点时，除霜控制器向除霜系统的开关发送除霜信号，开始除霜；当除霜进行一段时间后，机组进风风速达到正常的工作速度之后，风速传感器经检测和综合后的风速向除霜控制器发送风速信号，除霜控制器根据设定值判断后发送停止除霜指令，结束除霜，进入下一循环。

2.2 成像识别除霜控制

成像识别除霜的原理是：于风冷多联机室外机翅片表面设置成像传感器，用于获取室外机翅片表面结霜图像信息，成像传感器通过成像信号传输线连接有除霜控制器，除霜控制器通过除霜控制线连接于除霜系统；成像传感器将室外机机组

翅片表面结霜信息传送至除霜控制器;除霜控制器接收成像传感器传递的翅片表面结霜图像信息,并与除霜控制器存储单元的预设阈值对比,若超过预设阈值,除霜控制器控制除霜系统进行除霜处理,否则不进行除霜处理。

上述两项除霜控制策略有一定的理论可靠性,但也存在缺少以实际项目验证的缺点,也是今后一项需要完成的工作。

3 结语

综上,利用喷淋低冰点溶液进行除霜的应用研究具有以下特点:

(1) 低冰点溶液除霜较常规热力除霜而言,不需要消耗机组本身热能,减少机组负荷,同时具有融霜,洗涤等功能,在有效除霜的同时可以洗涤继续翅片表面的杂物,提高机组换热效率;

(2) 利用喷淋低冰点溶液进行除霜的装置是一套单独的装置,可以根据机组结霜量合理除霜,不会产生“误除霜”现象;

(3) 低冰点溶液进行空调机组的除霜,除霜周期短,除霜效果好,并有效减缓下一循环的结霜周期,机组无需停机或反转运行,并保持室内不间断供热,具有很好的使用意义。

(4) 融霜的前置条件是如何经济有效地判断除霜,已有的研究都是根据结霜的原理以及机组工况进行的研究,但是对于结霜的图像识别以及结霜对于循环空气影响研究较少。本文提出理论原理,为以后的研究提供基础。

由于试验条件及设计不足,多联机的除霜控制及低冰点喷淋技术还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘光磊,明月.多联机空调技术及其设计探讨[J].制冷,2011,30(3):70-75.
- [2] 周鹏飞,贺群妮.多联机空调系统运行性能的影响因素分析[J].制冷技术,2012,32(3):62-65.
- [3] 朱乐琪.上海地区多联机合理制热规模及除霜能力研究[D].上海:同济大学,2007:74-75.
- [4] Jang Ji Young, Bae Heung Hee, Lee Seung Jun, et al. Continuous heating of an air—source heat pump during defrosting and improvement of energy efficiency[J]. Applied Energy, 2013,110:9-16.
- [5] Tu Qiu, Xu Jingqing, Feng Yuhai, et al. Determination criterion of defrosting condition for variable refrigerant flow air conditioning system[J]. Energy and Buildings, 2012,48:61-70.
- [6] 曲明璐,李天瑞,樊亚男,等.复叠式空气源热泵蓄能除霜与常规除霜特性实验研究[J].制冷学报,2017,38(1):34-39.
- [7] 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.
- [8] 万永强.多联机空调系统结霜分析与除霜控制策略思考[J].企业导报,2016,(13):161-161.
- [9] 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.
- [10] 姚杨,姜益强,高强.无霜空气源热泵系统初步实验研究[J].建筑科学,2014,28(2):198-199.
- [11] 余延顺,孙成龙,孙家正,等.一种冷冻再生的溶液除霜型热泵机组[P].CN201510218768.0, 2017-05-17.
- [12] 孙家正,余延顺.空气源热泵溶液除霜及冷冻再生系统[J].暖通空调,2018(2):102-106.

(上接第322页)

2011,21(1):5-36.

- [4] 高晓明,崔峰青,韩新,等.地铁隧道不同排烟风速对火灾烟气控制的模拟分析[J].灾害学,2010,(25):150-153.
- [5] 卢艳艳.区间隧道火灾半横向排烟研究[D].重庆:重庆大学,2013.
- [6] 朱常琳,李昂,常睿.地铁区间隧道半横向排烟方式的数

值模拟研究[J].工业安全与环保,2015,(25):150-153.

- [7] 吴萍,雷波.点式排烟模式下地铁隧道火灾的排烟效率研究[C].2014 铁路暖通年会,2014:190-196.
- [8] Quintiere JG. Scaling application in fire research[J]. Fire Safety Journal, 1989,15:3-9.
- [9] Karlsson B, Quintiere JG. Enclosure Fire Dynamics[M]. USA: CRC Press, 2000.