

文章编号:0253-4339(2014) 06 – 0081 – 05  
doi:10. 3969/j. issn. 0253 – 4339. 2014. 06. 081

# 隔断装置对冷风机电热融霜影响的实验研究

王 栋<sup>1,2</sup> 陶乐仁<sup>1</sup> 刘训海<sup>1</sup>

(1 上海理工大学能源与动力工程学院 上海 200093; 2 安徽工业大学建筑工程学院 马鞍山 243002)

**摘 要** 为了解决冷风机融霜时周围温度场遭破坏、能量损失、制冷负荷增加等问题,设计了一套电动隔断装置。在库温为 -18℃ 的这一典型工况下,对增加隔断装置后,冷风机电热融霜情况进行了研究,并与未增加隔断装置的实验数据进行了对比,讨论了电热融霜时,有无融霜隔断装置对融霜过程中冷库库温变化、融霜结束时冷风机周围温度场分布及融霜能耗的影响。结果表明:增加隔断装置后,融霜对冷库库温影响变小,库温最大变化量降低了 5℃;冷风机周围的温度均匀性得到提高,最大温差降低了 10℃;融霜能耗降低了 1/3。应用隔断装置可以提高电热融霜的能量利用率。

**关键词** 冷库;除霜;隔断装置;实验研究

**中图分类号:** TB657. 1;TB69 **文献标识码:** A

## Experimental Study on Electricity Defrosting of Air-cooler with Partition Device

Wang Dong<sup>1, 2</sup> Tao Leren<sup>1</sup> Liu Xunhai<sup>1</sup>

(1. School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Technology, Ma Anshan, 243002, China)

**Abstract** During the electricity defrosting of air cooler, some issues would arise, such as that temperature field would be damaged, energy would be lost, the refrigeration load would be increased, so a set of electric isolation device was designed. At the typical operating condition that cold storage temperature is -18℃, electric defrosting of air cooler was studied after using the partition device. Then the questions that how the partition board to influence the cold storage temperature, the temperature field around the air-cooler and the consumption of electric heating defrosting was studied through comparing the experimental data whether the defrosting partition device was used or not. The results indicate that after using the partition device, the variation of cold storage temperature is reduced, the maximum change is decreased by 5℃; ambient temperature uniformity around the air cooler is improved, the maximum change is increased by 10℃; defrosting energy consumption is reduced by 1/3. So the energy utilization rate for electricity defrosting was improved when partition board was applied.

**Keywords** cold storage;defrosting ;partition device ;experimental study

制冷装置低温运行时,空气流经表面温度低于或等于 0℃ 的换热器,由于空气中含有一定的水蒸气,换热器表面将会出现霜层,冷风机表面上的积霜如不及时清除,将堵塞空气通道并减小传热面积,致使换热效率急剧下降,制冷装置运行性能下降。为保证系统持续高效率运行,必须及时地对冷风机表面进行除霜处理<sup>[1-3]</sup>。

制冷系统目前采用的除霜方式主要有:人工扫霜、水冲霜、热气融霜、热气融霜 + 水冲霜、电热融霜、压缩空气除霜和空气自然回温除霜等 7 种方法,各种方式都有各自的优缺点<sup>[4-5]</sup>。

目前电热融霜法和热气融霜法在冷风机的除霜中应用最广,采用电热融霜法,操作方便、易于实现自动控制、节约用水<sup>[6]</sup>。采用热气融霜法,由于融霜是从霜层内部向外扩展,对库温影响小,节约能源。但是无论采用哪种方式,融霜时的热量都可能会溢至周围冷环境(特别是电热融霜),这不但破坏了周围的温度场,也使得融霜的热量有所损失,且还增加了下一制冷周期的冷负荷<sup>[7-8]</sup>。蒸发器表面除霜是制冷系统所必需的节能工作之一,目前的除霜技术存在能耗较大或除霜设备成本过高等问题<sup>[9]</sup>。

以上海理工大学已建的 -40/-60℃ 双级和复

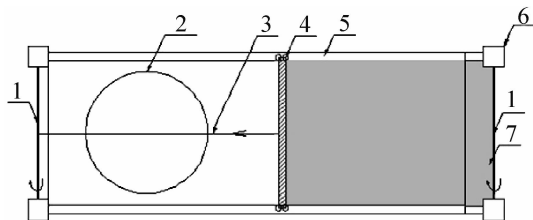
基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金(20103120110002)资助项目。(The project was supported by the Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (No. 20103120110002). )  
收稿日期:2014 年 3 月 23 日

叠低温冷库的冷风机为研究对象,对其融霜过程进行研究。本冷库为简化系统管路,节省辅助设备和机房空间,在冷风机融霜时采用电热法。然而,电热融霜对低温冷库温度场影响很大<sup>[10]</sup>,Faramarzi<sup>[11]</sup>通过实验得出:电热融霜时,输入热量中仅有15%~25%用于融霜,其余75%~85%将散失到了周围环境和盘管表面。这必将增加融霜能耗、破坏冷库温度场、增加制冷负荷。为解决这一问题,针对所研究的冷风机设计了一套电动隔断装置以阻止融霜时热量传至周围冷环境。

实验研究了在增加融霜隔断装置情况下,电热融霜过程中冷库库温的变化、融霜结束时冷风机周围温度场分布及融霜能耗,并与相同工况条件下未增加隔断装置的相关实验数据进行了对比及分析,得出了隔断装置对冷风机电热融霜的影响。

## 1 冷风机隔断装置的设计及实验过程简介

图1为电动控制的隔断装置原理简图,在冷风机正常运行时,通过电动机的控制,将防火布收缩起来,这样就不会影响冷风机的制冷效果。在融霜时,通过电动机牵引,展开防火布,即可阻断融霜时热量散发到周围环境。



1 牵引转轴 2 冷风机出风口 3 牵引丝 4 牵引拉杆  
5 滑轮导轨 6 可逆电动机×4 7 防火布

图1 实验采用的电动控制的隔断装置原理简图

Fig.1 Schematic of partition device

本实验是基于-40~-18℃温区冷库中的一台冷风机,经过多次实验筛选,隔断材料最终选定为0.35 mm厚墨绿防火布,因为在冷库低温环境下,该防火布在收缩及展开过程中能保持平整状态,此外,其厚度相对较薄,牵引阻力不大。电机采用宁波北仑恒峰电机制造有限公司生产的型号为YTCJ-25-4/80的可逆电动机。该电机功率为25 W,电机转速为1350 r/min,减速比为1:20,实验表明其能很好的提供牵引动力。

在实验过程中,冷风机周围布置有16个温度测点,在盘管内布置有1、2、3、4点;在冷风机风机座上、风机网罩上以及离风机网罩20 cm的出风口布置了5、6、7点,且在冷风机的左右二侧对称布置,以计算

其平均值。各测点距冷风机底面40 cm,以冷风机第二排盘管(电热融霜管位于此排)为0点位置,布置这些测点的目的为测出冷风机电热融霜过程中周围的温度分布情况,在冷库中央布置有测点9,用于测量冷库在降温、除霜过程中的温度变化,由于温度场存在不均匀性,特别是在库房的顶部区域,空气的分层现象较明显,库内高度方向上存在较大的温度梯度,为了较准确的测量出冷库内平均温度,采用文献[12]中介绍的方法,将库温测点9布置在库体中心距地面高度1.5 m处。图2表示了热电偶在冷风机周围的布置情况及冷风机在冷库中的安装位置。

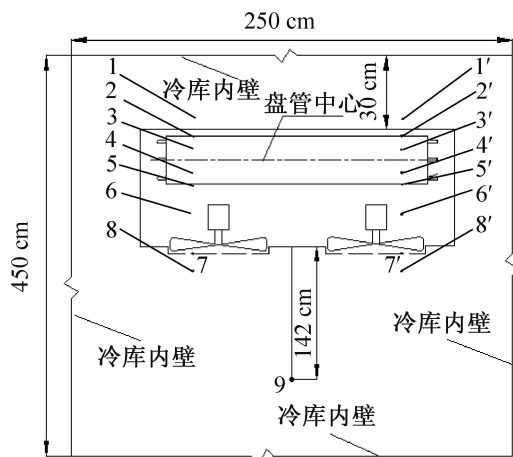


图2 冷风机内外温度测点的布置示意图

Fig.2 Schematic of temperature test-point distribution

## 2 实验结果与分析

整个实验分别研究了库温为-18℃、-25℃、-30℃、-35℃和-40℃这五种工况,由于各工况下隔断装置对融霜影响的趋势相似,为了讨论方便,本文仅针对通用冷库的温度,即以-18℃这一工况为例进行分析。

### 2.1 冷库内各温度测点的结果及分析

在初始时刻,将库内湿度控制在95%,库温稳定在-18℃,冷风机隔断幕布遮闭后分别进行融霜功率为2.0 kW,2.5 kW,3.0 kW,3.5 kW的融霜实验研究,比较其融霜情况。

表1给出了机组开启时以及融霜结束后的一些基本参数,由加湿器控制湿度,保证初始时刻湿度控制在95%±2%,最终库温在-18±0.5℃的条件下进行一系列的融霜实验研究。

图3为增加隔断装置后,融霜时库温的变化曲线,其表明:在不同的融霜功率下,库温变化趋势基本一致。融霜功率的大小没有对冷库中央的温度产生明显的影响。文献[10]介绍了本课题组的前期科研

成果,本实验为其后续研究,除增加了隔断装置外,二者实验条件完全一样,因此,本次实验数据与文献[10]的实验数据具有可比性。对照文献[10]的数据可知,在增加隔断装置后,在相同的融霜工况下,库温上升幅度至少减少5℃,这体现了隔断装置对融霜时稳定库内温度场的积极作用。

表1 -18℃工况下的融霜数据

| Tab.1 Defrosting data at the working condition of -18℃ |          |              |              |             |              |
|--------------------------------------------------------|----------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| 融霜功率/<br>kW                                            | 工况/<br>℃ | 初始相对湿度<br>/% | 初始库内温度<br>/℃ | 融霜水质量<br>/g | 融霜时间<br>/min |
| 2.0                                                    | -18.0    | 94.9         | 33.3         | 420.8       | 20.0         |
| 2.5                                                    | -18.1    | 95.0         | 32.6         | 436.9       | 15.0         |
| 3.0                                                    | -17.9    | 94.8         | 31.9         | 454.5       | 12.0         |
| 3.5                                                    | -18.3    | 95.2         | 32.7         | 478.0       | 10.0         |

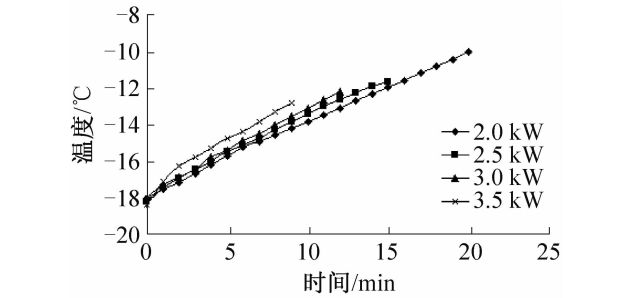


图3 融霜时库温变化曲线

Fig.3 Temperature variation of cold storage

随着融霜功率的不断增大,融霜时间不断缩短,对于电热融霜而言,依据布置在冷风机内盘管周围的热电偶的温度来判定融霜是否结束,当冷风机盘管周围热电偶的温度都大于0℃时,认为融霜已基本结束。在融霜开始前,如果库温、库内湿度等参数不变,融霜水质量应该保持不变,不随着融霜功率的变化而变化。然而,从表1中可看出,随着融霜功率的增大,融霜水质量也变大。原因为:融霜功率越大,电热管的表面温度越高,它与周围(冷空气、冷风机金属构件、集水盘等)的温差越大,这将使距离电热管较远部位的霜层,甚至集水盘内表面的薄冰层也被融化,因此,在融霜结束判据相同的情况下,功率越大,融霜时间越短,融霜的量(水量)也越大。

图4表示融霜结束后,冷风机内外的温度分布曲线。从图中可以看出,曲线的变化趋势基本一致,各测点的温度分布不均匀。对照图2可知,在前后幕布外侧的测点(1点、8点)温度明显比邻近测点(幕布内侧)低6~10℃,这体现了幕布对热量的隔断效果,冷风机内温度测点在不同的加热功率下,温度变

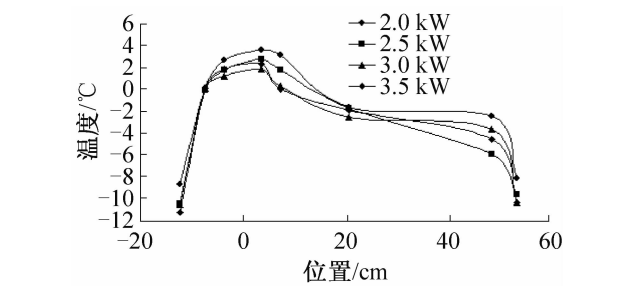


图4 电热融霜结束时冷风机周围温度分布曲线

Fig.4 Temperature distribution around air cooler

化趋势基本一致,盘管处分布有电加热管,因此,其温度最高,其余测点温度随距离的增大而降低。结合图2、图4还可看出,测点7虽然处于隔断幕布内侧,但其温度明显降低。原因为:隔断幕布在展开后,没有与冷风机出口完全贴紧,存在空气的“逃逸”流动,环境中的冷空气从隔断装置的缝隙处进入,导致7点的温度明显降低。

2.2 冷库内温度场的研究

图5和图6分别为不同的电热融霜功率在有无隔断装置的情况下,融霜结束时冷风机内外各测点温度分布曲面图,两图中不同的颜色代表不同的温度区间。电加热管位于后幕布内侧的冷风机盘管区(-7.3~7.3 cm),使得该区测点温度较高。

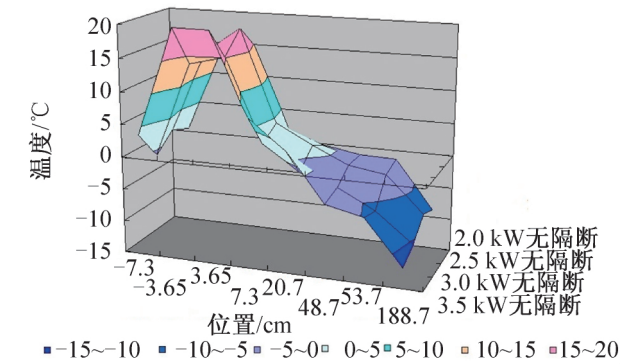


图5 没有隔断装置时电热融霜结束时冷库内温度分布曲面图

Fig.5 Temperature distribution of cold storage without partition device

对比两图可以看出,增加隔断装置后,各测点的温度值都有所降低。因为隔断装置阻止了热量流动到周围环境,融霜所耗的热能相应减少,进而使得融霜时间缩短,因此温度上升幅度相对较小;对于没有隔断装置的融霜,因有部分热量流动到周围环境中,所以融霜耗能更多,融霜时间延长,温度上升幅度大,盘管内部温度与边缘温度的温差也较大;从冷风机内部各测点温度均匀性方面来看,在增加隔断装置后,各温度测点最大温差由超过15℃降低到5℃内,同

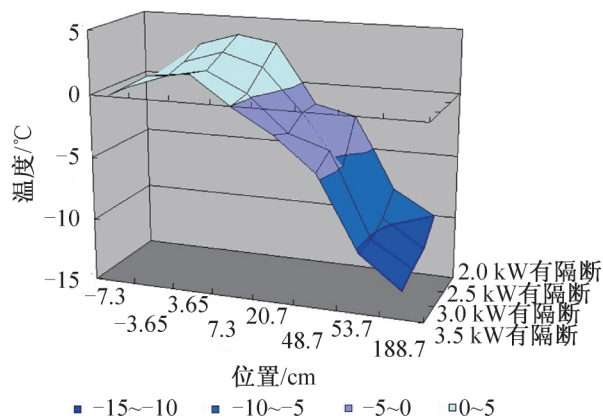


图6 有隔断装置时,电热融霜结束时冷库内温度分布曲面图

Fig. 6 Temperature distribution of cold storage with partition device

时,盘管区的温度波峰低了近18℃,这说明融霜热量的利用率得到了提高。对于前幕布内侧的风机区(20.7~48.7 cm),其与电加热管的距离较远,因此温度较低。在融霜结束后,增加隔断装置的冷风机风机区的温度较高,表明其内部温度分布较为均匀,说明电热管产生的热量并没有逸出冷风机而流动至冷库内部,提高了融霜热量的利用率。

## 2.3 融霜耗能对比

隔断装置大大缩短了融霜时间,提高了融霜效率,能耗显著降低,在相同的融霜功率下,融霜时间长短直接反映出融霜能耗的大小,增加隔断装置后,融霜时间缩短的比例如下:

融霜功率为2.0 kW时,融霜时间缩短了  $C = (25 - 20)/25 = 20.0\%$

融霜功率为2.5 kW时,融霜时间缩短了  $C = (22 - 15)/22 = 31.8\%$

融霜功率为3.0 kW时,融霜时间缩短了  $C = (18 - 12)/18 = 33.3\%$

融霜功率为3.5 kW时,融霜时间缩短了  $C = (16 - 10)/16 = 37.5\%$

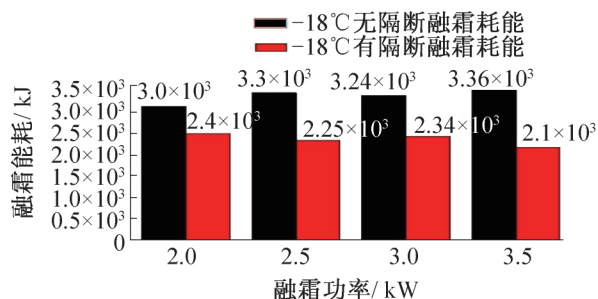


图7 有无隔断装置电热融霜的能耗对比

Fig. 7 Power consumption comparison of two different ways

图7表示在不同的电热融霜功率下,有无隔断装置两种情况下的融霜耗能比较。可以清楚地看到,在-18℃工况下,增加隔断装置后,电热融霜时,系统能耗减少了1/3左右,且融霜功率越大,能量节省效果越明显。而冷库在实际连续运行时,不断进行着制冷-融霜-再制冷的循环,在循环运行中,减少的能耗,在无装置的情况下将转化成库内的热量,从而成为了下一制冷周期的冷负荷,因此,隔断装置不仅能节省电热融霜的能耗,还能降低制冷系统的冷负荷。

## 3 结论

针对电热融霜方式,在增加融霜隔断装置情况下,通过一系列实验研究了其对库温变化、冷风机周围温度场分布、融霜能耗的影响,可以得出如下结论:

1) 增加隔断装置后,电热融霜时冷风机内温度波动平缓,没有大的温度峰值;增加隔断装置后库温变化更加平缓,温升较小。

2) 增加隔断装置后,电热融霜能耗明显降低,且能减小制冷系统冷负荷。

3) 增加隔断装置后,冷风机盘管周围测点的温度分布较均匀,这有利于缩短融霜时间,进而提高融霜过程中的能量利用率。

## 参考文献

- [1] 陈汝东, 许东晟. 制冷装置除霜方法的研究[J]. 同济大学学报, 1998, 26(5): 566-569. (Chen Rudong, Xu Dongsheng. Study on defrosting by refrigeration system under frosting conditions[J]. Journal of Tongji University, 1998, 26(5): 566-569.)
- [2] 程建杰, 陈汝东. 制冷装置的除霜研究[J]. 流体机械, 2004, 32(7): 64-66. (Cheng Jianjie, Chen Rudong. Study on defrosting of refrigerating plant[J]. Fluid Machinery, 2004, 32(7): 64-66.)
- [3] Y Xia, Y Zhong, P S Hrnjak, et al. Frost, defrost, and refrost and its impact on the air-side thermal-hydraulic performance of louvered-fin, flat-tube heat exchangers[J]. International Journal of Refrigeration, 2006, 29(7): 1066-1079.
- [4] 赵育川. 关于冷风机热气除霜节能的探讨[J]. 制冷技术, 1996(2): 28-31. (Zhao Yuchuan. Discussion saving energy about hot gas defrosting of air cooler[J]. Refrigeration Technology, 1996(2): 28-31.)
- [5] 庄友明. 食品冷库除霜方法及其能耗分析[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2006, 11(1): 62-65. (Zhuang Youming. Discussion and analysis of different defrosting ways and their energy consumption in food cold storage

(下转第95页)

- 2008, 36(1): 62-65. (Wang Rujin, Liu Daoping, Xue Xiangmei, et al. Parameter design and determination for bubble pump in single-pressure Einstein absorption refrigerator[J]. Fluid Machinery, 2008, 36(1): 62-65. )
- [11] 汤成伟, 刘道平, 祁影霞, 等. 单压吸收制冷系统气泡泵性能的试验研究[J]. 流体机械, 2009, 37(8): 49-53. (Tang Chengwei, Liu Daoping, Qi Yingxia, et al. Experimental study on the performance of bubble pump in single pressure absorption refrigeration system[J]. Fluid Machinery, 2009, 37(8): 49-53. )
- [12] 汤成伟, 刘道平, 祁影霞, 等. 单压吸收式 Einstein 循环制冷机中气泡泵的性能分析[J]. 制冷学报, 2009, 30(3): 35-39. (Tang Chengwei, Liu Daoping, Qi Yingxia, et al. Experimental investigation on bubble pump in Einstein refrigeration cycle[J]. Journal of Refrigeration, 2009, 30(3): 35-39. )
- [13] 平亚琴, 刘道平, 陈盛祥, 等. Einstein 循环制冷机导流式气泡泵的性能研究[J]. 热能动力工程, 2011, 26(6): 743-746. (Ping Yaqin, Liu Daoping, Chen Shengx-

iang, et al. Performance analysis of guided bubble pump in Einstein refrigeration cycle[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2011, 26(6): 743-746. )

#### 通信作者简介

赵荣祥,男(1989-),硕士研究生,上海理工大学能源与动力工程学院,15121048008,E-mail:onepiece\_zhao@163.com。研究方向:单压吸收式制冷技术。现在进行的项目有:上海市教育委员会科研创新项目(13ZZ117)——基于 Einstein 制冷循环的单压吸收式制冷技术的研究。

#### About the corresponding author

Zhao Rongxiang (1989-), male, master degree candidate, School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, 15121048008, E-mail:onepiece\_zhao@163.com. Research fields: single pressure absorption refrigeration. The author takes on project supported by the Innovation Program of Shanghai Municipal Education Commission (No. 13ZZ117): single pressure absorption refrigeration technology research based on Einstein refrigeration cycle.

(上接第84页)

- [J]. Journal of Jimei University(Natural Science), 2006, 11(1): 62-65. )
- [6] 朱树武, 魏立志, 钱江璐. 关于空气冷却器电加热融霜的讨论[J]. 制冷与空调, 2004, 4(2): 76-80. (Zhu Shuwu, Wei Lizhi, Qian Jianglu. The discussion of electricity defrosting on air cooler[J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2004, 4(2): 76-80. )
- [7] 许东晟, 陈汝东. 除霜和除霜控制研究[J]. 流体机械, 2006, 34(1): 69-73. (Xu Dongsheng, Chen Rudong. Study on defrost and defrosting control[J]. Fluid Machinery, 2006, 34(1): 76-80. )
- [8] Coley M B. The cost of frost[J]. Ashare Journal, 1983, 82(9): 29-31.
- [9] 郑捷庆, 庄友明, 张军, 等. 高电压技术在制冷设备除霜中的应用[J]. 高电压技术, 2007, 33(12): 97-100. (Zheng Jieqing, Zhuang Youming, Zhang Jun, et al. Application of high voltage technology in refrigeration equipment defrosting[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(12): 97-100. )
- [10] 刘训海, 姜敬德, 朱华, 等. 低温冷库电热融霜与热气融霜的对比试验研究[J]. 制冷学报, 2009, 30(3): 58-

62. (Liu Xunhai, Jiang Jingde, Zhu Hua, et al. Experimental comparison of electricity defrosting and hot gas defrosting in cold storage[J]. Journal of Refrigeration, 2009, 30(3): 58-62. )

[11] Faramarzi R. Efficient display case refrigeration [J]. Ashare Journal, 1999, 41(11): 46-54.

[12] 刘训海, 朱华, 周健健, 等. 低温冷风机热气融霜实验研究[J]. 低温工程, 2008(1): 57-60. (Liu Xunhai, Zhu Hua, Zhou Jianjian, et al. Experimental investigation of hot gas defrosting in cold storage[J]. Cryogenics, 2008(1): 57-60. )

#### 通信作者简介

王栋,男(1981-),博士研究生,上海理工大学能源与动力工程学院,18301971528,E-mail:wangdong224545@163.com。研究方向:制冷新技术及设备。

#### About the corresponding author

Wang Dong(1981-), male, Ph. D./ student, University of Shanghai for Science and Technology, 18301971528, E-mail: wangdong224545@163.com. Research fields: the new technique of refrigeration and equipment.