

文章编号:0253 – 4339(2014) 04 – 0104 – 04
doi:10. 3969/j. issn. 0253 – 4339. 2014. 04. 104

附加保温融霜装置的冷风机融霜实验研究

申 江 路坤仑 李慧杰 丁 峰

(天津商业大学 天津市制冷技术重点实验室 天津 300134)

摘 要 为了减小融霜热在融霜过程对冷库库温变化的影响,对库内冷风机增设保温融霜装置,并进行了实验研究。结果表明保温融霜和非保温融霜两种过程,库内上方区域温度均有较大变化。保温融霜过程温度变化相对较小,其整体波动温差比非保温融霜低 3.2 ℃,且保温融霜方式的融霜时间缩短近 300 s;证明保温融霜装置在融霜过程中能够起到稳定库内温度和缩短融霜时间的作用。

关键词 热气融霜;保温融霜装置;温度场

中图分类号:TQ051.5; TB657 **文献标识码:**A

Experimental Research on Defrosting Process of Cooling Fan
with Heat Insulation Defrosting Device

Shen Jiang Lu Kunlun Li Huijie Ding Feng

(Refrigeration Key Laboratory of Tianjin, Tianjin University of Commerce, Tianjin, 300134, China)

Abstract In order to reduce the effect of defrosting heat on the cold storage temperature change during defrosting process, a heat insulation defrosting device is additionally provided to the air cooler in the storage, and the experimental study on the defrosting process was carried out. The results showed that in the defrosting processes with and without heat insulation, the temperature of the upper area in the storage changed greatly. The temperature changes relatively small during the defrosting process with heat insulation, and the overall fluctuating temperature is 3.2 ℃ lower than that without heat insulation. In the meantime, the defrosting time with heat insulation is shortened by nearly 300s, which proves that the insulation defrosting device can stabilize the storage temperature and shorten the defrosting time in the defrosting process.

Keywords hot gas defrosting; heat insulation defrosting device; temperature distribution

近年来,国内冷藏链技术发展迅速,人们对冷藏食品品质的要求也逐年提高。冷库作为冷藏链系统中重要一环,不仅储量需达到要求,更要使得储藏食品的品质达标^[1]。在冷库的换热器融霜过程中,库内温度会发生剧烈波动,这不仅不利于食品的存储,有可能使其产生霉变、腐烂或变质,造成巨大的浪费,还可能会在冷库恢复初始温度的过程中消耗更多的能量^[2-4]。

在冷库的制冷系统中,结霜是一种普遍现象^[5]。在制冷过程中,湿空气流经等于或低于 0 ℃ 的换热器时,换热器表面就会出现结霜现象。研究发现,少量的结霜会增强换热器的传热效果,随着霜层厚度的不断增加,霜层的热阻增大,换热器导热性能降低^[6-7];如不及时清除,霜层热阻使传热性能迅速下降,霜层又使空气留到变窄,流动阻力快速增大,甚至堵塞空气通道,使冷库制冷装置的总体性能下降^[8]。因此

需要对换热器适时的除霜,从而保证制冷系统的正常运行。

1 保温融霜装置

对冷库内蒸发器的融霜方法有很多种:人工除霜,自然除霜,电热融霜,淋水融霜,热气融霜等^[9]。每种融霜方式虽然各有优缺点,但不管哪种融霜方式,在融霜过程中都会对冷库内的温度场造成很大影响。调查发现,冷库中冷风机采用较多的是电热融霜和热气融霜,这两种融霜过程是都是在风机停止运转后进行的。此时,制冷系统停止工作,融霜系统开启进行融霜,电热融霜和热气融霜产生的热量并不会完全被霜层吸收,其中有大量热量会扩散到冷库中,导致库温升高^[10]。为了减少融霜产生的热量对库内温度的影响,本文设计出一种应用于冷库内冷风机的保温融霜装置。

这种保温融霜装置的结构是在冷风机进出口增设可旋转百叶窗式阀门,冷风机外面用钢板包围,外层包裹保温材料。图 1 为保温融霜装置原理图,冷风机表面为 1.0 mm 厚钢板,阴影部分为夹心 50 mm 挤塑板,进出风口均有保温材料密封。风机为离心式风机,蒸发器是蛇形的翅片管式,融霜方式为热气融霜。图 2 为百叶窗式阀门正视图。图中的两片扇叶由电动执行器的控制,实现自由旋转,调节风的大小和方向。当叶片关闭时,可以近似认为空气无法通过风阀。

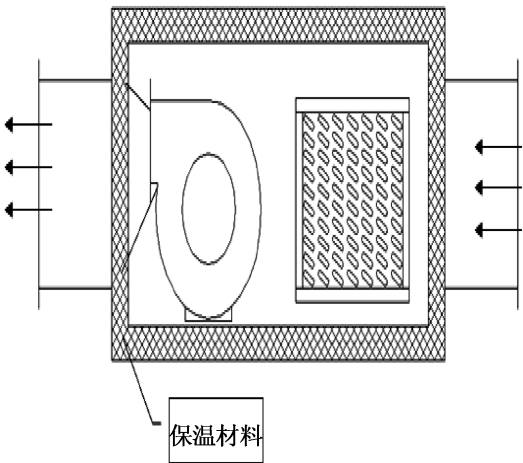


图 1 保温融霜装置原理图
Fig. 1 The picture of principle

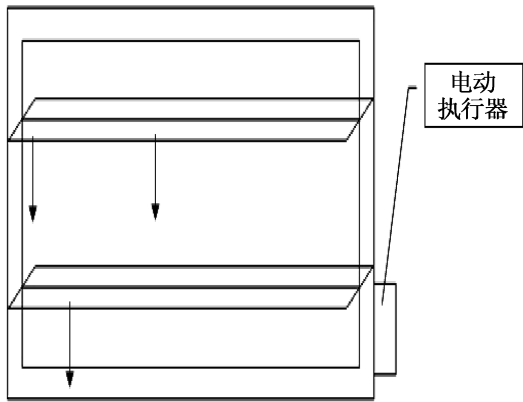


图 2 百叶窗式阀门正视图
Fig. 2 The door of the cooler

附加保温融霜装置的冷风机工作过程:蒸发器需要融霜时,制冷系统停止工作,风机停止运转,电动执行器控制风阀关闭,融霜系统开启,融霜热气进入蒸发器进行融霜;融霜结束后,融霜系统关闭,重新开启制冷系统,蒸发器及风箱内温度下降,直到冷风机箱内温度等于或低于库温时,打开风阀,风机开启,向库内输送冷风。

2 实验研究

本实验通过保温和非保温(常规)融霜冷库在融霜过程中的对比,观察冷库内温度场变化情况。实验采用 T 型热电偶进行温度测量,测量精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,接入数据采集仪 MX100 记录和保存数据;采用 KANOMAX 多点风速巡检仪测量冷风机进出口风速;采用 PT100 湿度传感器测量库内湿度,精度 $\leq \pm 2\%$ Rh;使用加湿器来保证库内所需湿度;使用 ACS-30A 电子计重秤测量融霜水质量,精度 $\pm 0.1\text{ g}$ 。

为了更准确测量冷库内的温度场的分布情况,选取垂直高度 0.0 m, 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m, 4.0 m 的 5 个平面布置温度测点,每个平面均匀的设置 12 个测点。另外在冷风机内壁及蒸发器管外表面布置温度测点,在风箱的进出风口布置风速测点,用以测量结霜过程中的风速变化。

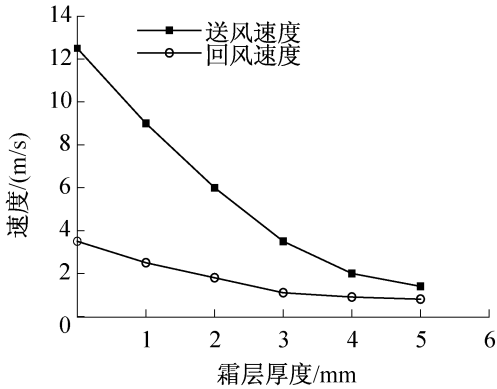


图 3 霜层厚度与冷风机送风、回风速度关系曲线
Fig. 3 Relationship between the thickness of the frost layer, the speed of supply and return wind

在实验中,为了保证非保温融霜和保温融霜实验条件的一致性,根据多次测量,绘制出冷风机送风和回风的速度与霜层的关系曲线图(图 3)。经反复实验并总结分析实验数据得出以下结论:融霜水质量与霜层厚度保持一致,冷风机内温度达到 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时可判定为融霜过程结束^[11]。因此采用风速判定霜层厚度,以融霜水质量及冷风机内温度两个指标判定融霜是否结束。

本实验环境参数为:室外日平均气温 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$,库内平均温度 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$,库内湿度 $85\% \sim 90\%$ 。

通过多次实验发现无论是保温还是非保温融霜的冷库,位于冷风机下方区域内的温度波动较小,温度波动主要集中在库内上方区域。

对霜层厚度为 2.4 mm 时的融霜实验数据进行分析。图 4 为非保温和保温融霜过程中,库内平均温度变化曲线,可以看出在融霜开始的前 60 s,两者温

度变化情况相差不大,非保温融霜库内平均温度略高保温融霜库内平均温度;随着融霜过程的进行,两者温差越来越大,保温融霜装置对抑制热量的扩散起到了很好的效果;非保温融霜库内平均温度的升高速度始终大于保温融霜;非保温融霜在 180 s 时,保温融霜在 300 s 时,温升均有所放缓,说明融霜初期融霜热量对库内平均温度影响较大。这是由于库内温升带来的空气对流增强换热效果。可以看出附加保温融霜装置可以降低融霜前期温升速度,延缓空气对流剧烈程度最高点的到来,并对库内平均温度波动影响有缓冲效果。在融霜快要结束时的第 360 s,两者波动温差相差达 3.2 ℃,说明保温融霜装置能够稳定融霜过程中库内的温度,减小融霜热对库内温度的影响。

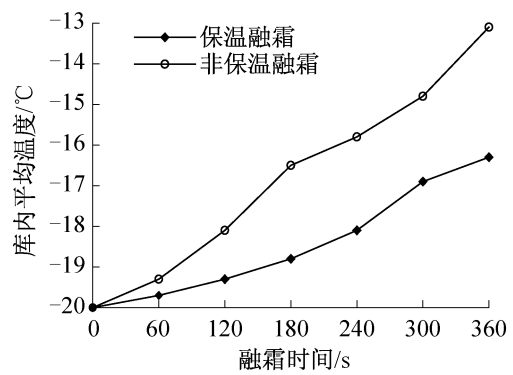


图 4 两种融霜方式库内平均温度波动曲线
Fig. 4 The average temperature fluctuation curve of two kinds of defrosting ways

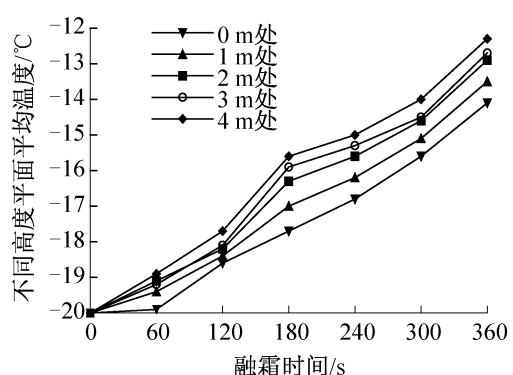


图 5 非保温融霜不同高度平面温度波动曲线
Fig. 5 The temperature fluctuation curve of the heat defrost different heights plane

图 5 和图 6 为非保温和保温融霜过程中不同高度平面上的温度变化曲线,可以看出融霜开始后的前 60 s,保温融霜的冷库库内 0.0 m 及 1.0 m 处温度仍保持在 -20 ℃;非保温融霜 60 s 时 0.0 m 处温度已经有所回升,1.0 m 处温升已达到 0.6 ℃,保温融霜的冷库底层(0.0 m)在 120 s 时温度才开始变化,说

明增加保温装置可以延缓融霜热量对库内下方区域温度的影响;库内上下两方区域在融霜快要结束时(360 s)的温差,保温融霜为 2.1 ℃,非保温融霜为 1.8 ℃,保温融霜比非保温融霜温差大。这是因为保温融霜过程中,下方区域温升较缓较小,上方区域温升相对较大,而非保温融霜过程,上下两方区域温度均升高较快,从而导致了保温融霜上下两方温差大于非保温融霜的温差,进一步证明增设保温融霜装置对底层温度的影响较小,有利于冷藏食品的保存。

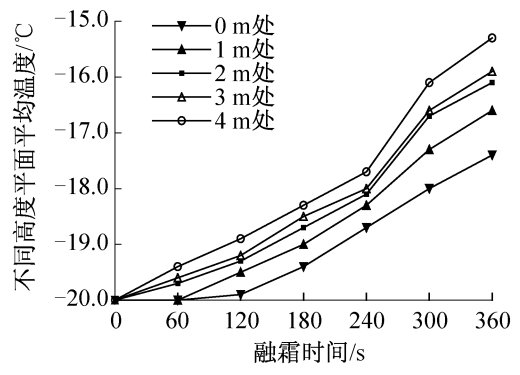


图 6 保温融霜不同高度平面温度波动曲线
Fig. 6 The temperature fluctuation curve of the none heat defrost different heights plane

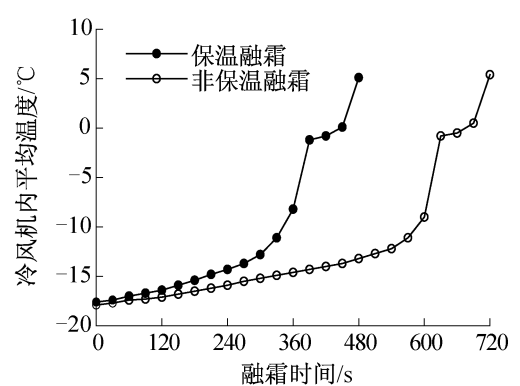


图 7 两种融霜方式过程下冷风机内平均温度曲线
Fig. 7 The average temperature curve in the cooling fan during the process of two types of defrosting

分析霜层厚度为 3.4 mm 时的融霜时间,绘制出两种融霜过程融霜时间与冷风机内平均温度的关系图,如图 7 所示。两种融霜过程冷库内平均温度变化趋势大致相同,均为融霜初期风机内温度上升缓慢,随着融霜过程的进行,温度上升速率增大,接近 0 ℃ 时温度大幅升高后变缓,一段时间后又迅速升高,产生这种现象的原因是在融霜过程中,附着在蒸发器管壁上的霜层内部先融化,热量向外扩散的较少,对库内温度影响较小,随着融霜的进行,霜层厚度减少,热量扩散速率增大,冷库内平均温度升高加快;接近 0 ℃ 时,薄薄的霜层起到了增强换热的作用,融霜热量

迅速扩散到冷库内,导致库内温度急剧升高,温度达到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时的一段时间内,霜层完全融化变为水,这段过程需要吸收大量的相变热,大量融霜热被霜层吸收,扩散到冷库内的变少,从而库内温升变缓;待相变热吸收完全后,融霜热扩散到库内,温度又急剧上升。

图 7 还可以看出保温融霜冷风机内温度回升快,进一步证明保温装置可以很好的阻止热量扩散到冷库内。这些没有扩散到冷库内的热量,被霜层外表面吸收,从而化霜速度加快,保温融霜比非保温融霜方式的融霜结束时间短了近 300 s 。

用同样的实验方法对不同霜层厚度的情况进行实验,可以发现:冷风机增设保温融霜装置以后,融霜时间变短,可以节约融霜能耗;保温融霜装置能够稳定冷库融霜的过程中库内的温度,有利于冷藏食品的存储。

3 小结

1)设计了一种冷库用冷风机保温融霜装置,并通过对比实验验证了该装置在冷风机融霜过程中稳定库内温度场及缩短融霜时间的作用。

2)实验研究发现,冷风机增设保温融霜装置的融霜过程,库温回升较为缓慢;对于霜层厚度 2.4 mm 的情况,在 360 s 时温升比非保温融霜低 $3.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,对库内底层温度影响较小。

3)保温融霜过程冷风机内温度回升较快,有效的促进了霜层融化,缩短融霜时间;对于霜层厚度 3.4 mm 的情况,保温融霜过程比非保温融霜过程快将近 300 s 。

参考文献

- [1] 申江. 制冷装置设计[M]. 北京:机械工业出版社,2010:1-5.
- [2] 郑晓峰. 冷库液体冷媒融霜的理论和实验研究[D]. 天津:天津商业大学,2008年6月.
- [3] 刘恩海,南晓红,何媛. 低温冷风机结霜特性的研究及其融霜方法的改进[J]. 制冷学报,2007,28(2):56-60. (Liu Enhai, Nan Xiaohong, He Yuan. Investigation of the Frosting Performance and Improvement of the Defrosting Method For an Air-cooler under Low Temperature Condition [J]. Journal of Refrigeration,2007,28(2):56-60.)
- [4] 李振华,李征涛,王芳,等. 冷库热气融霜与电热融霜的对比分析[J]. 制冷与空调,2011,25(6):577-579. (Li Zhenhua, Li Zhengtao, Wang Fang, et al. The Comparative Analysis of Hot Gas Defrost a and Electricity Defrost in

- Cold Storage[J]. Refrigeration and Air Conditioning,2011,25(6):577-579.)
- [5] 李敏. 冷库制冷工艺设计[M]. 北京:机械工业出版社,2009:48-49.
- [6] Sommers A D, Jacobi A M. Air-side heat transfer enhancement of a refrigerator evaporator using vortex generation [J]. International Journal of Refrigeration,2005,28(9):1006-1017.
- [7] 黄玲艳,刘中良,勾昱君,等. 一种新型抑霜涂料在翅片管式换热器上的应用研究[J]. 制冷学报,2008,29(6):1-4. (Huang Lingyan, Liu Zhong liang, Gou Yujun, et al. Application Study of New Anti-frosting Coating for Fin and Tube Heat Exchaanger[J]. Journal of Refrigeration,2008,29(6):1-4.)
- [8] Y Xia, Y Zhong, P S Hrnjiak. Frost, defrost, and refrost and its impact on air-side thermal-hydraulic performance of louvered-fin, flat-tube heat exchangers [J]. International Journal of Refrigeration,2006,29:1066-1079.
- [9] 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 [J]. Journal of Jimei University: Natural Science,2006,11(1):62-65.)
- [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 Electri-city Defrosting and Hot Gas Defrosting in Cold Storage [J]. Journal of Refrigeration,2009,30(3):58-62.)
- [11] 王栋. 电热融霜过程中冷风机周围温度场分析[J]. 制冷技术,2012,32(4):12-14. (Wang Dong. Analysis on Temperature Field around Air-cooler during Electric Defrosting Process [J]. Chinese Journal of Refrigeration Technology,2012,32(4):12-14.)

作者简介

申江,男(1960-),教授,天津商业大学机械工程学院院长,天津市天津商业大学机械工程学院制冷系,(022)26669745, E-mail:shenjiang@tjcu.edu.cn。研究方向:食品冷链技术,制冷系统优化及节能技术等。

About the author

Shen Jiang (1960-), male, Professor, Dean of Mechanical Engineering School, Tianjin University of Commerce, Dept of Refrigeration Technology, (022) 26669745, E-mail: shenjiang@tjcu.edu.cn. Research fields: Food Cold Chain Technology, Optimization and Conservati-on Technology of Refrigeration Systems.