

文章编号:1007-6735(2014)01-0071-04

干燥剂抑制冷冻冰柜内表面结霜的实验研究

孟微佳, 翁文兵, 王腾飞, 韩星, 刘红冰

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 对使用干燥剂抑制冰柜内表面结霜的方法进行研究,通过大量实验证明,这种方法具有一定的抑制冰柜内表面结霜的能力.通过比较干燥剂硅胶、蒙脱石和分子筛抑霜能力的差异,得出硅胶在冰柜使用半个月的时间里可以除掉44%的霜,减少0.4 kW·h耗电量.

关键词: 冰柜; 干燥剂; 抑霜
中图分类号: TB 61; TB 69 **文献标志码:** A

Experimental Study on Defrosting on the Inner Surface of the Cabinet by Desiccant

MENG Wei-jia, WENG Wen-bing, WANG Teng-fei, HAN Xing, LIU Hong-bing

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The method of using desiccant in cabinet to restrain frost was analysed and a large number of experiments proves its effectiveness. The anti frost ability of different desiccants, namely, silicone, montmorillonite and molecular sieve was compared. It is concluded silicone can get rid of 44% of the frost in cabinet in half a month, and the power consumption is reduced by 0.4 kW·h.

Key words: cabinet; desiccant; defrosting

冰柜在长期使用的过程中,由于冰柜内温度低,而且水蒸气大多以液态形式存在,这些液态附着在冰柜内壁上,当温度达到零度以下时,就会在内壁上形成冰晶,引起内壁面结霜,随着时间的延长,霜的厚度会逐渐增加.霜的厚度增加,会影响其传热效率,从而导致冰柜制冷率、制冷速度下降,压缩机工作时间延长,耗电量增加.根据市场调查,一般的除霜方法是,切断冰柜电源,将冰柜停放数日,任霜自然融化.这种方法固然可以达到除霜的目的,但是,同时影响了冰柜的使用,而且除霜前冰柜内壁面已经积累相当厚度的霜,制冷效果也已长期受到影响.

如何从冰柜使用之始,就能抑制霜的形成,减少结霜量,不仅对冰柜的实用性,而且对节能研究,都具有十分重要的意义.

冰柜内壁面霜层的形成主要是因为外界湿空气进入冰柜内部与冰柜内壁面接触,遇冷凝华而成.如果能够减少冰柜内部的含湿量,就可以相应地减少结霜量,本文以此为依据,研究各种吸湿能力强的干燥剂对冰柜结霜的影响.

国内方面,文献[1]研究了一种在冷风机上采用超声波技术除霜的方法,通过纵横波联合使用达到最优的除霜效果;文献[2]研究了扫频高压电流电场

收稿日期: 2013-05-05
第一作者: 孟微佳(1989-),女,硕士研究生.研究方向:建筑设备与自动化. E-mail:418332660@qq.com

除霜技术,认为该技术比静电场技术除霜效率更高,但耗能增加.国外方面, Hayash 等^[3]用显微摄像的方法拍摄了霜的生长过程,将霜层的生长划分为霜晶生长期、霜层生长期和霜层充分生长期,影响霜层生长的主要因素有:冷表面的温度,空气的温度、湿度,以及空气的流速等;文献^[4]发现通过超声波振动,在相同时间内,冷表面霜的沉积量减少了大约 60%.

国内外尚无使用干燥剂抑制冷冻冰柜内表面结霜的研究.

1 理论原理

1.1 冰柜结霜原理与特性分析

冰柜在使用时内部温度可以达到 -35°C ,水蒸气靠近冰柜内表面时极易凝华成霜,之后霜层会慢慢生长.霜层的生长问题与许多因素有关,包括冷表面温度,空气的温度、湿度,以及空气的流速等.温度分布不均匀对一些要求较高的食品保存不利,会影响食品的品质,缩短保存期限^[5].霜层厚度一般随冰柜内表面温度的降低而增加,随空气湿度的增加而增加.而冰柜在正常使用时,内表面温度变化不大,所以,空气的湿度的增加就成了冰柜内表面霜层厚度增加的主要因素.

冰柜内湿度的增加主要由两个因素构成:a.放入冰柜内部的食物或其它物品挥发的水蒸气;b.当打开冰柜门时,外界温度较高的空气迅速涌入,带入大量湿空气.因此,冰柜使用时间越长,其内部含湿量越高,这样就对冰柜内霜层的生长创造了良好的条件,因此,只要能够减少冰柜内的含湿量,就能够达到抑制霜层生长的目的^[6].

1.2 干燥剂的吸湿原理与特性

干燥剂是一种可以从大气中吸收潮气的除水剂,它的干燥原理就是通过物理方式将水分子吸附在自身的结构中或通过化学方式吸收水分子并改变其化学结构,变成另外一种物质^[7].由于冰柜的使用涉及食品安全,所以,本文主要研究采用物理方式的吸附剂.物理吸附常用的干燥剂有硅胶、蒙脱石和分子筛.

如图 1 所示,干燥剂 L3X 分子筛的吸附量在 323 K 时最多可达到 25%,根据文献^[8],温度越低,干燥剂的吸附量越大.

2 实验研究

实验以青岛海容型号 SD-360 的冷冻冰柜为

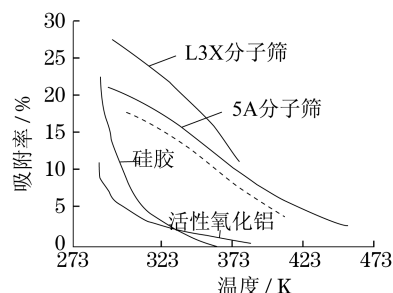


图 1 干燥剂性能曲线

Fig.1 Desiccant performance curve

研究对象,在内表面 6 个区域分别安装不锈钢丝网容器,对冰柜进行改造.放干燥剂的不锈钢丝网容器的安装是在冰柜门一段距离之下,且冰柜的高度为 85 cm,而容器的高度仅为 5 cm,占用面积不大,固定牢固,所以,不影响冰柜的使用.从冰柜俯视图的角度将冰柜划分为 A,B,C,D,E,F 这 6 个区域,具体分布如图 2 所示.由表 1 可知,冰柜较高位置的 A,F 区域结霜量最大,C,D 区域的结霜量较少,高低过渡区域(B,E 区域)的结霜量适中,所以,设计干燥剂的布置方案时,采用半开门区域 A,B,C 的质量分布来计算需要的吸附剂的质量,然后采用 F 区和 A 区质量相等,E 区和 B 区质量相等,D 区和 C 区质量相等的原则进行布置.经过计算 A(F)区,B(E)区和 C(D)区的质量分数分别为 21%,16%和 13%.再根据干燥剂特性曲线计算各区域吸附剂质量,得到 A(F)区域的吸附剂质量为 $3\,300 \times 21\% = 693\text{ g}$,B(E)区域的吸附剂质量为 $3\,300 \times 16\% = 528\text{ g}$,C(D)区域的吸附剂质量为 $3\,300 \times 13\% = 429\text{ g}$.依次向容器内放入硅胶、蒙脱石和分子筛干燥剂,分析各种干燥剂在不同工况下的抑霜能力.研究实际生活中冰柜的使用情况,往往时间过长,需要几个月甚至半年的时间,为了有利于研究,缩短实验时间,尽可能模拟冰柜的实际使用情况,实验过程中通过将冰柜门半开一定时间来模拟实际生活中冰柜使用时需要打开门的情形.如表 2 所示,半开门 50 min 的含义为:假设冰柜在实际使用情况下,从冰柜里取物时所需要开启冰柜门的时间为 0.5 min,1 h 内可以取物 10 次,每天 10 h,那么,每天冰柜的门处于开启状态的时间累计为 50 min,所以,100,250,500,750,1500 min 分别代表模拟冰柜在实际使用 2,5,10,15,30 d 的情况.

2.1 无干燥剂的冰柜结霜实验

实验保证环境状态温度为 27°C ,相对湿度为 70%,然后开启冰柜电源,冰柜门为全关闭状态.等

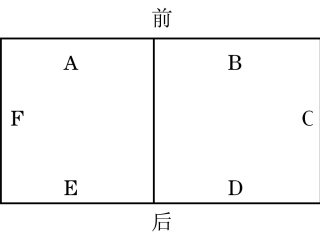


图 2 冰柜区域划分

Fig.2 Refrigerating cabinet area division

表 1 冰柜 6 个区域一个月的结霜量

Tab.1 Frost amountof refrigerating cabinet’s six areas in a month

区域	结霜量/g
A	778.1
B	590.5
C	493.5
D	431.0
E	418.3
F	603.6

4 h后,室内环境稳定在设定的状态点上,冰柜运行也已稳定,此时半开冰柜门,直到实验结束.称量冰柜内壁面的结霜量,并通过电功率表记录冰柜在半开门期间的耗电量.依据实验工况重复进行实验.

2.2 有干燥剂的冰柜结霜实验

做有干燥剂实验时,先用电子天平称量足够质量的干燥剂并放入相应的容器内.容器有 6 个,与将要放置的冰柜区域的分区号一致,即容器的编号同样为 A,B,C,D,E,F.将容器依据编号放置在所对应的区域,如图 1 所示.接着关闭冰柜门,先开启恒温恒湿机,再开启冰柜.冰柜运行 4 h 稳定后,半开冰柜门,直到实验结束.称量冰柜内壁面的结霜量,测量半开门期间的冰柜耗电量.依据实验工况,依次完成硅胶、分子筛和蒙脱石的相应实验.实验结果如表 2所示.

3 实验结果分析

3.1 抑霜能力分析

如图 3 所示,当冰柜内不放置任何干燥剂时,冰柜在半开门 50 min 的时间内,结霜量为 13.1 g;在半开门 1 500 min 的时间内,结霜量为 913.2 g.在半开门时间由短到长的过程中,结霜量呈上升趋势.当在冰柜内放入硅胶干燥剂时,半开门 50 min 的时间内,冰柜结霜量为 13.7 g,与无干燥剂的冰柜结霜量基本相同;而在半开门1 500 min时,冰柜结霜量

表 2 不同情况下冰柜结霜量
Tab.2 Frost amount of refrigerating cabinet in different conditions

半开门时间/min	硅胶/g	分子筛/g	蒙脱石/g	无干燥剂/g
50	13.7	13.3	12.9	13.1
100	15.6	28.6	40.7	38.2
250	30.2	59.2	49.9	104.7
500	154.3	143.8	100.6	275.9
750	304.1	287.7	243.4	390.5
1500	859.0	823.4	789.2	913.2

为 859 g,低于无干燥剂的冰柜结霜量.在半开门时间由短到长的过程中,放入硅胶干燥剂的冰柜结霜量均低于无干燥剂的冰柜结霜量,说明硅胶干燥剂对冰柜内表面有抑霜能力.无干燥剂的冰柜在半开门 100 min 时结霜量是 38.2 g,在冰柜内放入分子筛干燥剂,半开门 100 min 时冰柜的结霜量为 28.6 g;无干燥剂的冰柜在半开门 250 min 时结霜量为 104.7 g,在冰柜内放入分子筛干燥剂,半开门 250 min 时冰柜的结霜量为 59.2 g;无干燥剂的冰柜在半开门 500 min 时结霜量为 275.9 g,在冰柜内放入分子筛干燥剂,半开门 500 min 时冰柜的结霜量为 143.8 g,所以,分子筛干燥剂对冰柜内表面结霜同样有抑制能力.

蒙脱石干燥剂在不同的半开门时间内结霜量相对于无干燥剂的冰柜均有所减少,所以,蒙脱石干燥剂也有抑霜能力,如表 3 所示(见下页).

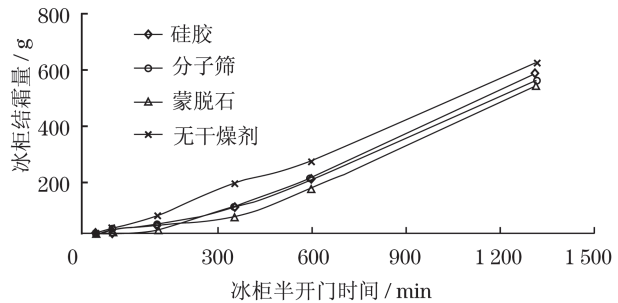


图 3 冰柜结霜量

Fig.3 Frost amount of refrigerating cabinet

如图 4 所示(见下页),在半开门 100 min 的时间内,放置硅胶、分子筛、蒙脱石的冰柜结霜量分别比无干燥剂的减少 22.6,9.6, - 2.5 g;在半开门 250 min 的时间内,放置硅胶、分子筛、蒙脱石的冰柜结霜量分别比无干燥剂的减少 74.5, 45.4, 54.8 g;在半开门500 min的时间内,放置硅胶、分子筛、蒙脱石的冰柜结霜量分别比无干燥剂的减少 121.6,132.1,175.3 g;在半开门750 min的时间内,放置硅胶、分子筛、蒙脱石的冰柜结霜量分别比无干

表3 不同情况下冰柜抑霜量

Tab.3 The defrosting amount of refrigerating cabinet in different conditions

半开门时间/min	硅胶/g	分子筛/g	蒙脱石/g
50	-0.6	-0.2	0.2
100	22.6	9.6	-2.5
250	74.5	45.5	54.8
500	121.6	132.1	175.3
750	86.4	102.8	147.1
1 500	54.2	89.8	124.0

干燥剂的减少 86.4, 102.8, 89.8 g; 在半开门 1 500 min 的时间内, 放置硅胶、分子筛、蒙脱石的冰柜结霜量分别比无干燥剂的减少 54.2, 89.8, 124.0 g.

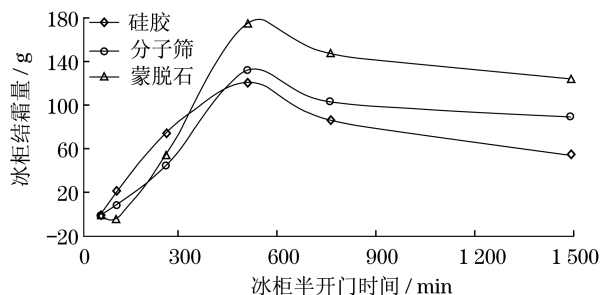


图4 冰柜抑霜量

Fig.4 Defrosting amount of refrigerating cabinet

当冰柜半开门时间较短时, 硅胶干燥剂抑霜能力较强, 随着时间的延长, 分子筛和蒙脱石的抑霜效果比硅胶好, 其中, 蒙脱石的抑霜能力增长最快. 当半开门时间在 500 min 时, 硅胶干燥剂的除霜量达到最大值, 能除去相当于无干燥剂情况下的 44% 的霜, 随后开始降低, 在半开门 150 min 时抑霜能力最低, 能够除去相当于无干燥剂情况下的 6%. 而分子筛和蒙脱石在半开门 500 min 时分别能除掉无干燥剂情况下的 48% 和 64% 的霜.

3.2 能耗减少分析

如图 5 所示, 冰柜在半开门 50 min 的时间内, 无干燥剂时耗电量为 0.546 kW·h, 放置有硅胶干燥剂时耗电量为 0.128 kW·h, 耗电量比无干燥剂时减少了 0.418 kW·h; 在冰柜半开门 1 500 min 时间内, 无干燥剂时的耗电量为 4.14 kW·h, 放置有硅胶干燥剂时耗电量为 3.85 kW·h, 比无干燥剂时减少了 0.29 kW·h. 在冰柜半开门 50~1000 min 的时间内, 冰柜耗电量在各个工况下耗电量的减少量在 0.418~0.29 kW·h 的范围内逐渐减少. 在冰柜内放置分子筛和蒙脱石时, 耗电量的减少量在冰

柜半开门 100, 250, 500 min 的工况下均在 0.4 kW·h 左右, 如表 4 所示, 因此, 可以判断短时间内使用干燥剂抑霜效果显著, 长期使用对结霜的抑制效果并不明显, 但能够减少一定能耗.

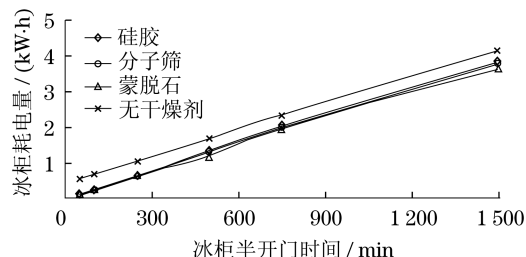


图5 冰柜耗电量

Fig.5 Power consumption of refrigerating cabinet

表4 不同情况下冰柜耗电量

Tab.4 Power consumption of refrigerating cabinet in different conditions (kW·h)

半开门时间	硅胶	分子筛	蒙脱石	无干燥剂
50	0.128	0.13	0.141	0.546
100	0.241	0.252	0.260	0.682
250	0.615	0.644	0.641	1.056
500	1.346	1.290	1.200	1.700
750	2.040	1.954	2.000	2.367
1500	3.850	3.785	3.674	4.140

4 结 论

通过对冰柜结霜原理的分析, 采用在冰柜内部放置干燥剂的方法对冰柜结霜进行抑制. 实验过程维持在特定环境状态下, 对比在冰柜内部放置干燥剂和不放置干燥剂两组实验结果, 分析冰柜内表面结霜量的差异. 最终得出硅胶、蒙脱石、分子筛这 3 种干燥剂对冰柜内表面结霜有抑制作用, 抑霜效果略有不同. 在冰柜使用半个月时间里, 硅胶减少了 44% 的霜, 分子筛减少了 48% 的霜, 蒙脱石减少了 68% 的霜, 能耗减少均在 0.4 kW·h 左右. 实验持续时间过长, 干燥剂的吸湿能力会相对降低, 对结霜的抑制能力也逐渐减弱, 在冰柜使用一个月的时间里, 硅胶减少了 6% 的霜, 能耗减少了 0.29 kW·h, 所以, 干燥剂在短期内有一定的抑霜能力; 长期使用虽然对冰柜结霜抑制效果不是最理想, 但也起到了一定作用, 对冰柜能够节约一定的能耗, 解决了冰柜在长期使用中因结霜影响其传热效率, 导致冰柜制冷率下降、制冷速度下降的问题.

(下转第 80 页)

- lettuce [J]. Energy Conversion and Management, 2008, 49(10): 2720 - 2726.
- [8] Tao F, Zhang M, Yu H Q, et al. Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(3): 545 - 549.
- [9] 申江, 刘洋, 周同华, 等. 几种蔬菜真空预冷的对比试验研究[J]. 制冷学报, 2005, 26(3): 12 - 15.
- [10] 王雪芹, 陈儿同, 林美英, 等. 茼蒿真空冷却的试验研究[J]. 制冷学报, 2005, 26(1): 11 - 13.
- [11] Ozturk H M, Ozturk H K. Effect of pressure on the vacuum cooling of iceberg lettuce [J]. International Journal of Refrigeration, 2009, 32(3): 402 - 410.
- [12] 韩志, 谢晶, 潘迎捷. 压力波动对卷心菜真空冷却效果的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 313 - 317.
- [13] 闫静文, 王雪芹, 刘宝林, 等. 真空预冷及贮藏方式对生菜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 261 - 263.
- [14] 王雪芹, 刘宝林, 闫静文. 卷心菜真空冷却过程的 CFD 传热传质模拟[J]. 制冷学报, 2012, 33(1): 65 - 68.
- [15] 刘洋. 蔬菜真空预冷工艺及其关键技术研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2005.
- [16] 陈儿同, 王艳, 徐彬凯, 等. 真空冷却中失水率问题研究[J]. 上海理工大学学报, 2009, 31(1): 95 - 98.
- [17] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6195 - 1986 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法(2,6-二氯酚酚滴定法)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
- (编辑: 石 瑛)

(上接第 74 页)

参考文献:

- [1] 阎勤劳, 朱琳, 张密娥, 等. 冷风机超声波除霜技术试验研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4): 74 - 76.
- [2] 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.
- [3] Hayashi Y, Aoki A, Adachi S, et al. Study of frost properties correlating with frost formation types[J]. Journal of Heat Transfer, 1977, 99(42): 239 - 245.
- [4] Kazunari A, Kazushi S, Hiroki S. Suppression of frosting on a metal surface using ultrasonic vibrations [C] // Proceedings of 1998 IEEE Ultrasonics Symposium. Sendai: IEEE, 1998, 1: 759 - 762.
- [5] 毛正荣, 赵巍, 张华, 等. 低温冷柜内空气的传热与流动特性研究[J]. 上海理工大学学报, 2003, 25(1): 21 - 23.
- [6] 刘中良, 黄玲艳, 勾昱君, 等. 结霜现象及抑霜技术的研究进展[J]. 制冷学报, 2010, 31(4): 1 - 6.
- [7] 赵荣义, 范存养, 薛殿华, 等. 空气调节[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [8] 基伊. 干燥原理及其应用[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1986.
- (编辑: 石 瑛)