

无霜冰箱基于湿度传感器的化霜控制方法研究

程琳

(合肥美菱股份有限公司 安徽合肥 230001)

摘要: 本文通过研究湿度传感器在家用无霜冰箱中的化霜控制技术,得到一种全新的研究方法。这种方法通过湿度传感器在冰箱运行过程中实时记录的干球温度、相对湿度,热力学计算方法,得到无霜冰箱运行过程中凝结在蒸发器表面的结霜量,用于指导无霜冰箱最佳化霜切入点。

关键词: 无霜冰箱; 湿度传感器; 结霜量; 化霜控制

Study on the control method of frost free refrigerator based on humidity sensor

CHENG Lin

(Hefei Meiling Co.,Ltd. Hefei 230001)

Abstract: In this paper, a new method for the study of frost control of frost free refrigerator based on humidity sensor. This approach by the humidity sensor in the running process of the refrigerator are recorded in real time dry bulb temperature, relative humidity, thermodynamic calculation method obtained during the operation of the refrigerator frost condensation in evaporator surface frost quantity, used to guide no frost refrigerator optimal frost point.

Keywords: Frost free refrigerator; Humidity sensor; Frost quantity; Frost control

1 引言

空调器除湿量的试验研究^[1]是比较成熟的课题,同样的原理,无霜冰箱制冷运行时蒸发器表面也会凝结水汽形成结霜层,蒸发器除霜方案的关键是如何准确找到除霜的切入点和退出点,若除霜太晚,在有限的时间内霜层难以除尽,残留在翅片表面的霜层在下一个结霜周期内形成“二次结霜”且容易形成冰块,导致冰箱工作状态恶化,化霜失效将导致下一周期冰箱无法正常制冷;若除霜过早,会造成频繁化霜增加不必要的能耗。因此,蒸发器化霜技术的优劣性对冰箱性能有着非常重要的意义。

无霜冰箱化霜控制一般采用规避法,冰箱长时间运行避开计算周期,集中化霜一次,此种

方法造成单次化霜能耗增量很高,蒸发器结霜量未知,所以可能并不是除霜的最好时机。

湿度传感器化霜技术能够从原理上解决这个问题,这是因为湿度传感器可准确检测所测点的相对湿度和干球温度,结合理论算法和经验公式,能够计算出每个制冷周期开机时刻经由进风风道—蒸发器—回风风道从间室负载和外界进入所带走的水量。这些水分被蒸发器凝结,形成霜层,进而能够较准确的推算结霜量。

本文通过实验研究了无霜冰箱基于湿度传感器技术的化霜控制方法,总结出无霜冰箱在运行过程中结霜量公式,综合实验数据找出无霜冰箱最佳化霜切入点,该计算方法和控制规则可以成为一个基础平台,指导无霜冰箱化霜规则的确定。

2 试验原理

由于具有同样的制冷原理,空调除湿量研究方法^[2]建同样适用于无霜冰箱。不同的是,空调是一个单循环过程,而无霜冰箱一般具有两个及以上的风道回路。涉及到不同状态的湿空气混合^[1]过程。

2.1 建立数学模型

假设: a.进、出蒸发器的干空气质量流量相等; b.吸入、吹出蒸发器的湿空气参数各点均匀一致。

2.2 蒸发器的吸风、出风、凝露水参数

(1) 吸风湿空气参数: 干球温度 $t_1(^{\circ}\text{C})$, 含湿量 $d_1(\text{g水蒸汽}/\text{kg干空气})$, 质量流量 $m_1(\text{kg/s})$, 比焓 $h_1(\text{kJ}/\text{kg干空气})$, 干空气流量 $m_T(\text{kg/s})$ 。

(2) 出风湿空气参数: 干球温度 t_2 ($^{\circ}\text{C}$), 含湿量 d_2 (g水蒸汽/kg干空气), 质量流量 m_2 (kg/s), 比焓 h_2 (kJ/kg干空气), 干空气流量 m_T (kg/s)。

(3) 结霜参数: 温度 t' ($^{\circ}\text{C}$), 比焓 h' (kJ/kg), 质量流量 m' (kg/s)。

3 求解

据能量守恒定律得:

$$m_T h_1 - m_T h_2 = m' h' + Q$$

$$m_T (h_1 - h_2) = m' h' + Q \quad (1)$$

$$m' = m_1 - m_2 \quad (2)$$

$$m_1 = m_T + m_T d_1 / 1000 = m_T (1 + d_1 / 1000) \quad (3)$$

$$m_2 = m_T + m_T d_2 / 1000 = m_T (1 + d_2 / 1000) \quad (4)$$

将式(3)与式(4)代入式(2), 得出:

$$m' = m_T (1 + d_1 / 1000) - m_T (1 + d_2 / 1000) = m_T (d_1 - d_2) / 1000 \quad (5)$$

将式(5)代入式(1), 得出:

$$m_T (h_1 - h_2) = m_T (d_1 - d_2) / 1000 h' + Q$$

$$m_T [(h_1 - h_2) - h' (d_1 - d_2) / 1000] = Q$$

$$m_T = Q [(h_1 - h_2) - h' (d_1 - d_2) / 1000] = 1000 Q (h_1 - h_2 - h' (d_1 - d_2) / 1000) \quad (6)$$

将式(6)代入式(5), 得出:

$$m' = Q (d_1 - d_2) / 1000 (h_1 - h_2 - h' (d_1 - d_2) / 1000) \quad (7)$$

其中, Q 是冰箱压缩机的制冷量(由实验室通过压缩机量热计测得), h_1 、 h_2 、 d_1 、 d_2 均可由进出风干球温度和相对湿度利用热力学公式计算得到, h' 可通过对蒸发器布置温湿度传感器干球温度和相对湿度利用热力学公式计算得到。也就是说, 只要测得蒸发器进出风干球温度、相对湿度、蒸发器表面干球温度、相对湿度, 即可通过热力学经验公式按式(7)计算得出家用无霜冰箱理论结霜量。

由上公式可见, 设法求出五个点的 h 和 d 即可得出除湿量 m (kg/s)。已知某点的干球温度 t 、相对湿度 ϕ , 利用以下公式求该点的焓值 h 和含湿量 d :

$$d = 622 \times P_v / B - P_v \quad (8)$$

$$\phi = P_v / P_s \quad (9)$$

$$\ln P_s = 12.062 - (4039.558 / (t + 235.379)) \quad (10)$$

$$h = 1.01t + 0.001d(2501 + 1.85t) \quad (11)$$

$M = 5m'$ (假设5s内能满足公式成立的稳态条件, 每5s采集一次数据)

$M = 5(m_1 - m_2 + m_3)$ (M : 蒸发器结霜量; m_1 : 冷藏制冷时冷藏室除湿量; m_2 : 冷藏制冷时从冷藏进入冷冻的水量; m_3 : 冷冻室单独制冷时除湿量)。

涉及湿空气混合^[1]设有质量 m_1 的湿空气(其中干空气的质量 m_{a1})状态参数为 t_1 、 h_1 、 ϕ_1 、 d_1 与质量为 m_2 的湿空气(其中干空气的质量 m_{a2})状态参数为 t_2 、 h_2 、 ϕ_2 、 d_2 , 混合后湿空气的质量为 $m_c = m_1 + m_2$ 。

$$\text{混合后湿空气: } h_c = (m_{a1} h_1 + m_{a2} h_2) / (m_{a1} + m_{a2}) \quad (12)$$

$$d_c = (m_{a1} d_1 + m_{a2} d_2) / (m_{a1} + m_{a2}) \quad (13)$$

4 试验方法

4.1 试验设备

盛思锐EK-H4温湿度测试仪, 精度为 $\pm 3\%$ 最小采集间隔1s, 数据处理软件版本EK-H4 Viewer v1.0。

4.2 试验条件

变频压缩机转速: 4500转~1200转, 制冷量误差范围 $\pm 5\%$;

实验室环境温度 25°C 、相对湿度60%Rh, 偏移不超过 $\pm 5\%$ 。

4.3 准备工作

4.3.1 压缩机量热计测得相同环温下不同转速对应制冷量(见表1)

4.3.2 湿度传感器的布点位置及空水瓶的安装

风冷无霜冰箱BCD-301W, 冷藏室容积: 197L; 冷冻室容积: 104L; 蒸发器表面积: 0.006286m^2 ; 空水瓶重量12.4g。

将同型号冰箱压缩机放入压缩机热量计, 环温调至 25°C , 测量其在冷藏制冷、冷冻制冷下不同转速的冷量。

将冰箱冷藏进风口, 回风口、冷冻进风口, 回风口、蒸发器上、中、下布置温湿度传感器探头, 采集间隔设定为5s采集一次。放置在 25°C 环境温度下通电, 在化霜水管出箱端连接一空水瓶, 并进行密封, 保证化霜水能完全滴落到水瓶中。具体布点位置如图1所示。

5 结果及分析

5.1 制冷过程分析

因冰箱控制规则为冷藏、冷冻交替制冷, 首先应将数据区分为冷藏制冷时间、冷冻制冷时间, 并将对应的压缩机冷量一一对应好(可通过软件编程实现, 也可人工输入)。

由于该冰箱的结构, 如图1所示: 蒸发器位于冷冻室, 单个风扇为两个间室共用, 冷藏室通过风门开启和关闭实现开停。所以当冷藏室制冷时, 冷冻室被动制冷, 此时进入蒸发器的湿空气状态应当是冷冻回风湿空气和冷藏回风湿空气状态参数的混合 h_c 、 d_c ; 出蒸发器的空气状态等同于冷藏进风口状态。

当冷冻室制冷时, 冷藏风门关闭, 此时进蒸发器的空气状态等同于冷冻回风口状态, 出蒸发器的空气状态等同于冷冻室进风口状态。

5.2 理论公式验证

冰箱测试持续几个化霜周期, 每个化霜周期需水量, 记录每个周期化霜水量。验证公式计算结果与实测结果的误差, 判定公式准确性, 见表2。

由表2可看出, 该热力学判定方法拟合的公式具有较好的一致性, 但存在误差。误差范围在3.26%左右, 故冰箱调整系数 $K=1-0.17=0.83$

5.3 化霜切入点预判

通过控制软件实现冰箱无化霜状态运行5天以上, 通过温度漂移、耗电量增量观察, 得到几个预估的化霜最佳切入点。通过以上公式和调整系数综合计算得这几个点的结霜量。

由以往经验, 预判准则暂定为:

(1) 冷冻最热点温度24小时内波动超过 $+0.3^{\circ}\text{C}$, 且之后无明显下降趋势; 从图2可以看到, 以冷冻最热点为例, 将其温度坐标精度提

表1 相同环温下不同转速对应制冷量

压缩机	冷量Q (W)		
	4500转	1680转	2010转
25 $^{\circ}\text{C}$	4500转	1680转	2010转
	188	77	93
32 $^{\circ}\text{C}$	4500转	1680转	2010转
	188	75.8	90.8
16 $^{\circ}\text{C}$	4500转	1200转	2010转
	187	52.8	93.4

表2 实测水量误差分析

实测水量	公式拟合结果	误差
301.9g	357g	18.25%
493g	567g	15%
286	338g	18.26%
294	343g	17%

高,且生成趋势图3后,即可大致判定切入点位置在第164个数据左右。

(2)压缩机开机率较平均开机率增大3%以上(目标开机率82%)且之后无明显下降趋势,如图3,预判位置也同样落在第164个数据左右。

经过分析发现,一般一、二同时出现;切入点预判为测试开始到第164个数据所在的时间,即系统连续制冷运行的第64小时。

通过修改控制软件,对这几个点进行摸底测试,可以发现,切入点处化霜对整个系统能耗有益,化霜周期耗电量增量同比减少5%。

5.4 反推结霜厚度

化霜切入点确定后,我们可以利用拟合公式计算出切入点结霜量。对该制冷系统切入点结霜量进行计算,结霜量 $M=201g$,已知蒸发器表面积 $S=6.286cm$,那么本冰箱最佳除霜系数 $N=201/6.286=31.9g/cm$ 。

在今后的制冷过程中,我们就可以以 N 作为无霜系统工作效率的界定值。 N 以上意味冰箱霜层过厚整体性能下降,单次除霜能耗过大; N 以下意味蒸发器霜厚还未影响整体性能,未到最佳除霜时机,若除霜则会造成能耗浪费。

6 结论

(1)通过湿度传感器计算无霜冰箱蒸发器结霜量的理论公式存在一定误差,需要通过以上实验过程确定其调整参数后使用。

(2)将无霜冰箱霜层厚度作为指导无霜冰箱化霜切入点指标,能使无霜冰箱在不同工况下的化霜动作更加智能和节能。

(3)基于湿度传感器的化霜控制技术,能够让无霜冰箱摆脱传统计时器控制,是一种基于热力学原理的、最了解无霜冰箱运行工况的化霜方法。

参考文献

- [1] 廉乐明,李力能,吴家正等. 工程热力学[M]. 中国建筑工业出版社,2000
- [2] 黄向红. 家用空调器除湿量的计算方法和实验测定[J]. 制冷学报,1994(4):32-35
- [3] 李玉春. 变频空调器除湿量的试验研究[J]. 制冷学报,2007(3):13-16

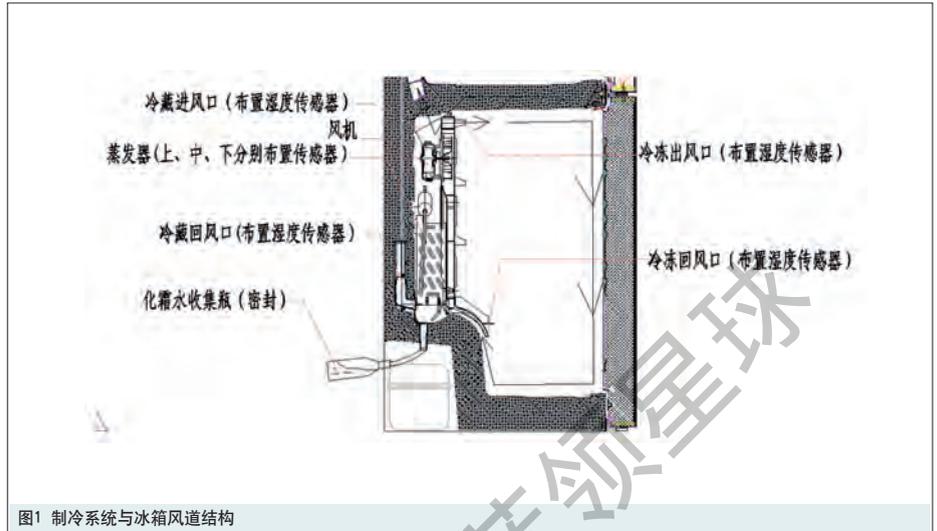


图1 制冷系统与冰箱风道结构

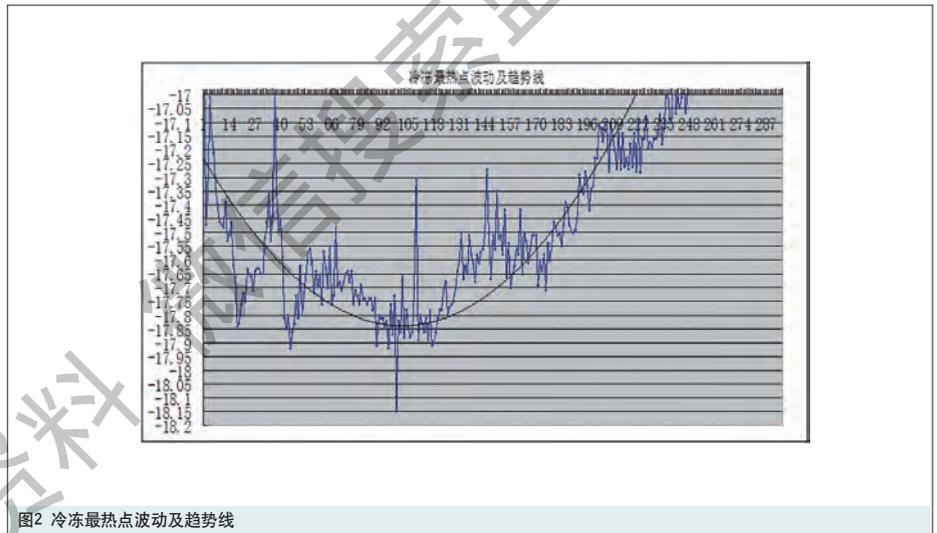


图2 冷冻最热点波动及趋势线

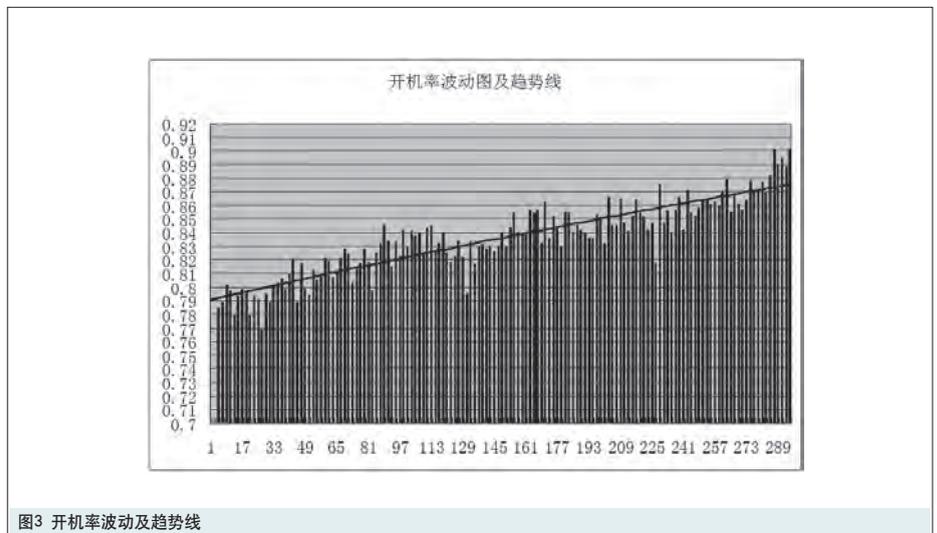


图3 开机率波动及趋势线