

# 家用无霜冰箱湿度控制原理及实际应用

程琳 阙苗 张波  
(合肥美菱股份有限公司 安徽合肥 210063)

**摘要:** 湿度控制在通风空调及除湿机领域已经有较为深入的研究。近些年来,随着人们生活水平和生活质量的提高,在冰箱使用过程中,人们除了对温度的高精度要求,对其湿度的控制需求也日益显现。冰箱内的相对湿度对食品保鲜是一个非常重要的参数。本文以不同类型的风冷冰箱为载体,对其冷藏室热力学过程进行深入分析,包括制冷过程、停机过程的温度、含湿量和相对湿度之间的关系;介绍了市场主流风冷冰箱冷藏室湿度控制原理。对其湿度控制的关键点进行了深入分析,包括结构、制冷系统、风循环系统等,为实际应用提供参考。

**关键词:** 风冷冰箱;冷藏室;热力学;湿度控制

## Household frost-free appliances humidity control principle and practical application

CHENG Lin KAN Miao ZHANG Bo  
(Hefei Meiling Co.,Ltd. Hefei 210063)

**Abstract:** The humidity control in the field of ventilation and air conditioning and dehumidifiers have a more in-depth study. In recent years, as people's living standards and quality of life improved, people in addition to precision requirements for temperature and humidity control requirements of its increasingly apparent. Relative humidity in the refrigerator for food preservation is a very important parameter. In this paper, the different types of frost-free refrigerator as the carrier, in-depth analysis of its refrigerator compartment thermodynamic processes, including the relationship between the cooling process, the shutdown process temperature, moisture content and relative humidity between; introduction to the mainstream market cooled in the refrigerator freezer humidity control principle. In-depth analysis, including structure, refrigeration systems, air circulation system, the practical application of the guide pointed out the direction of its key points and humidity control.

**Keywords:** Household frost-free appliances; Fresh food storage compartment; Thermodynamics; Humidity control

### 1 引言

家用无霜冰箱以其外观、性能的优势逐渐占领了冰箱市场的绝大部分份额,成为大众所认可的冰箱类型。近些年来,由于人们对食品保鲜性能要求的提升,对无霜冰箱冷藏室的湿度控制逐渐关注起来。

家用无霜冰箱冷藏室一般分为无蒸发器和有蒸发器两种。无蒸发器的单系统风冷冰箱冷藏

室相对湿度较低,一般为40%左右,有蒸发器的一般相对湿度在60%左右;我们知道,相对湿度对于食品保鲜来讲是一个非常重要的参数。干货需要相对湿度45%以下的环境保存,五谷杂粮需要相对湿度65%左右的环境保存,而果蔬则需要相对湿度90%以上的环境保存。难点在于,如何在一个冷藏室内做出多个相对湿度共存,满足不同食品对不同湿度的需求。

在工程应用上,空调系统和除湿机早已对相对湿度进行了深入的研究<sup>[1]</sup>。例如除湿机的研究中,对于确定的制冷系统来说,湿空气温度被降低的多少取决于空气通过冷却除湿机的风量。当通风量过小时,导致冷却湿空气的蒸发器温度过低而使其表面结霜,结霜使得蒸发器换热面热交换能力下降,除湿效率降低;当通风量过大时,蒸发器温度过高,湿空气不能被降低到所需

要的温度,析出水量减少,除湿效率也降低。因此,通风量的大小对冷却除湿机除湿量起着决定性的作用。要使冷却除湿机保持高效的除湿率,需要对进风口处通风量进行准确及时的控制,使得蒸发器表面保持一个比较合适的温度,既不结霜过多也不能温度过高。空调及除湿机的控湿原理,亦可用在无霜冰箱上。

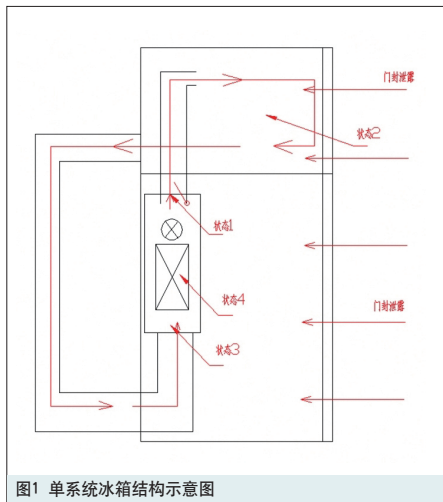


图1 单系统冰箱结构示意图

## 2 单系统无霜冰箱冷藏室湿度控制

### 2.1 单系统无霜冰箱的特点

单蒸发器风冷冰箱结构如图1所示,蒸发器位于冷冻室,冷藏室通过风门、风道从冷冻室引风来降温。其特点是:

- (1) 制冷期间蒸发器整体温度较低,一般维持在-25℃以下;
- (2) 停止制冷期间蒸发器温度回升幅度较小,维持在-10℃以下;
- (3) 蒸发器过热段较少,过热时间较短,见图2。

### 2.2 单系统无霜冰箱冷藏室热力过程分析

相同温度、相同体积的湿空气,含湿量d与相对湿度φ成正比<sup>[1]</sup>。可由公式1看出:

$$d = 622 \frac{\phi^* p_s}{B - \phi^* p_s} \quad g / kg(a) \quad (1)$$

Ps: 同温度下湿空气饱和分压力(是温度t的单值函数)。

$$p_s = (12.062 - \frac{4039.558}{t + 235.379})^e \quad (2)$$

公式1、2推导出相同含湿量、体积的湿空气,温度t与相对湿度成正比。

分析冷藏室制冷时其进出蒸发器的湿空气状态变化,由于此时风机的工作,间室内主要的空气流通由风机引起,门封条泄露视为常数可忽略不计,整个过程可用去湿冷却过程描述。去湿冷却过程中,冷源温度越低,去湿效果越明显。

#### 2.2.1 冷藏室制冷热力过程分析

冷藏请求制冷时,经过蒸发器冷却的低湿冷风,被风机送入冷藏风门处的点,其状态设为1点,其温度 $t_1$ ,含湿量 $d_1$ ,相对湿度 $\phi_1$ ;进入冷藏室后,此时假设冷藏室的空气状态为2,温度 $t_2$ ,含湿量 $d_2$ ,相对湿度 $\phi_2$ ;相混合后变为状态3点,由回风口返回冷源(蒸发器)其温度 $t_3$ ,含湿量 $d_3$ ,相对湿度 $\phi_3$ ;冷源(蒸发器)此时的状态为点4,温度是 $t_4$ ,迎风面积 $m'$ ,翅片总面积M,风量为H。

从状态1→状态2→状态3,其变化过程应是 $t_1 < t_2 < t_3$ ,  $d_1 < d_2 < d_3$ 。在此过程中,当风机开始运行,整个进一回风风道建立了一种动态的循环,

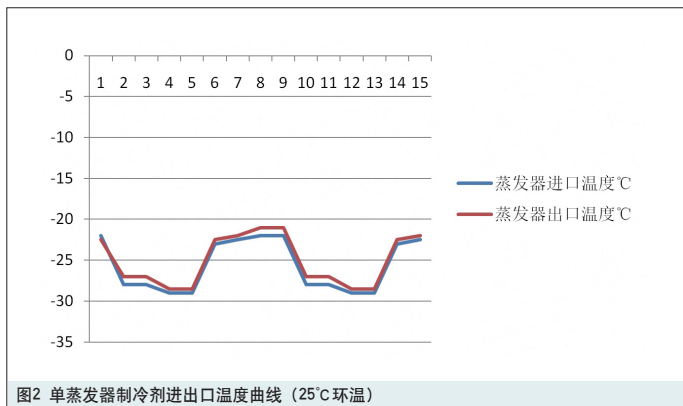


图2 单蒸发器制冷剂进出口温度曲线 (25℃环温)

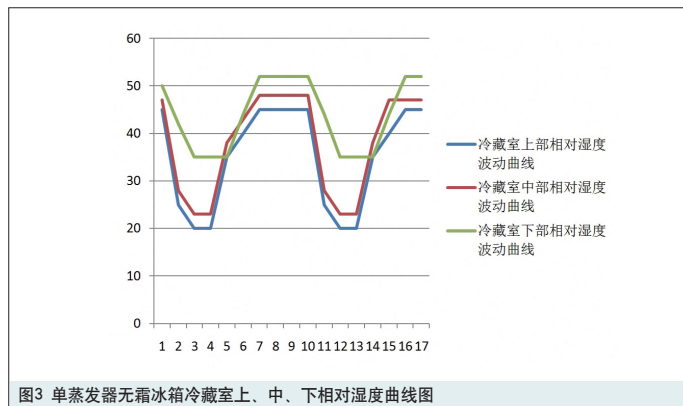


图3 单蒸发器无霜冰箱冷藏室上、中、下相对湿度曲线图

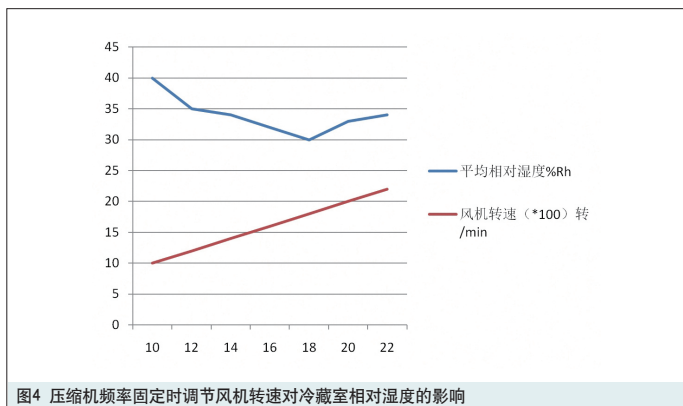


图4 压缩机频率固定时调节风机转速对冷藏室相对湿度的影响

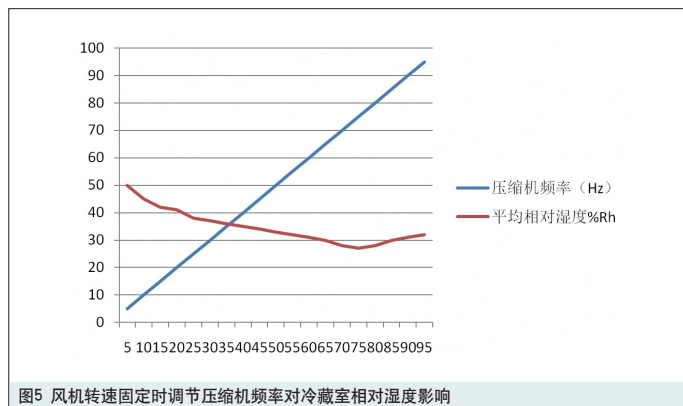


图5 风机转速固定时调节压缩机频率对冷藏室相对湿度影响

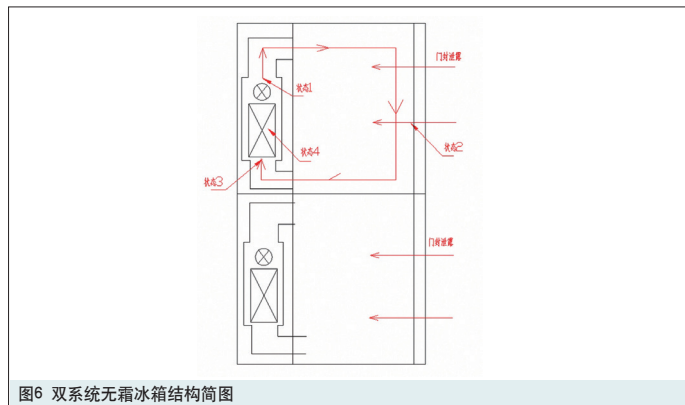


图6 双系统无霜冰箱结构简图

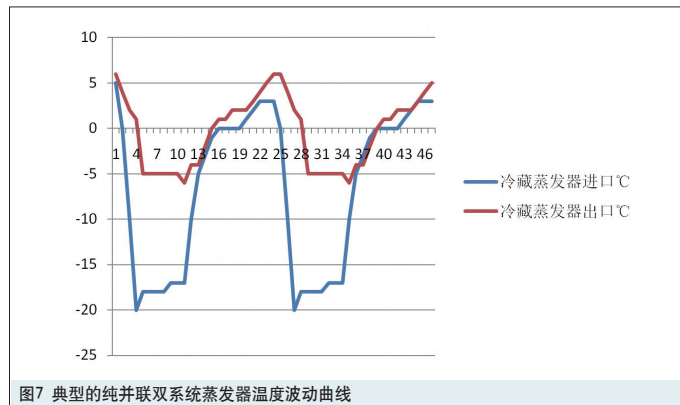


图7 典型的纯并联双系统蒸发器温度波动曲线

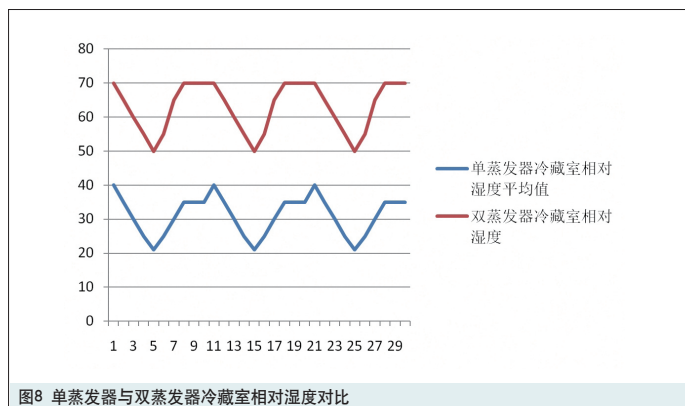


图8 单蒸发器与双蒸发器冷藏室相对湿度对比

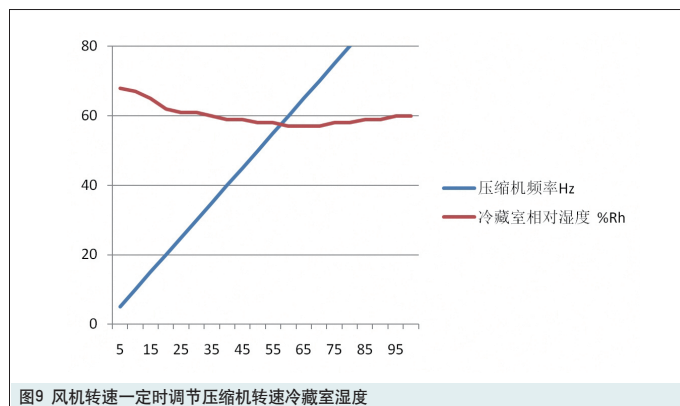


图9 风机转速一定时调节压缩机转速冷藏室湿度

状态1的低含湿量、低相对湿度的冷风将冷藏室内的高温高湿空气不断置换形成状态3的低温低湿环境。此时冷藏室内含湿量下降程度直接决定了下一阶段相对湿度上升程度。

状态3→蒸发器状态4→状态1，其变化过程应当是 $t_3 > t_1$ ， $d_3 > d_1$ 。高含湿量的冷风被蒸发器除去，而除湿量的大小与诸多因素有关。

李玉春等人试验研究中<sup>[2]</sup>提到了风量、变频器频率对除湿量的影响。冷源温度、迎风面积、翅片总面积、风量为均对除湿量有所影响。提高冷源除湿能力一般从降低蒸发器温度（即适当提高压缩机转速，降低蒸发器整体温度），合理调配风量——风机转速调节、进回风口面积、风道效率、增加翅片总面积、增加迎风面积等方面着手。两者结合既不能使蒸发温度过低，也不能使结霜量过多。

### 2.2.2 停机时热力过程分析

当冷藏室停止制冷时，风门关闭，冷藏室依靠自然升温，门封条并不是完全密封的，此时必然会导致与间室外的热空气进行混合，但其影响

可以视为一个定值，其最终状态由2点停机前最终含湿量 $d_2$ 、漏热量 $M$ ，冷藏室容积 $V$ 有关，此时 $d_2$ 与 $\phi_2$ 成正比。若4点除湿能力越弱，导致 $d_2$ 越大，则此时 $\phi_2$ 也会越大。

由于整个过程中热空气上升、冷空气下降的原理，高含湿量的冷空气沉降在冷藏室下部，冰箱冷藏室温度分布由上部较高，下部较低；而相对湿度的分布上部较低，下部较高，如图3。

### 2.2.3 单蒸发器无霜冰箱冷藏室湿度控制实例

下面以单系统风冷冰箱BCD-370W为例，将冷藏室温度设定为5℃，冷冻室-18℃，对冷藏间室湿度调节进行例示。状态一，压缩机频率固定（即蒸发温度固定）时，调节风机转速对冷藏室相对湿度的影响如图4。结合图4可看出，在不同的蒸发温度下，存在一个最佳风机转速匹配值，能够使蒸发器除湿能力达到最佳/最弱。状态二，风机转速固定时，调节压缩机频率对冷藏室相对湿度影响，如图5。结合图5可看出，压缩机频率越低，对于同样系统、同样状态的湿空气，

除湿能力越弱。而风机风速与压缩机频率也存在一个最佳除湿对应值。这与空调除湿量<sup>[3]</sup>的研究结果保持一致。

## 3 双系统无霜冰箱湿度控制

### 3.1 双系统无霜冰箱的特点

双系统风冷冰箱与单系统最大的不同是，在冷藏室有独立的蒸发器、风机和风道对冷藏室进行制冷，与冷冻室和其他间室并无关系。如图6。

由于这种系统一般是利用电磁阀控制，中低环温压缩机低转速运行时，制冷剂迁移过程中，较多的制冷剂被截留在冷冻室和其他间室，冷藏室系统本身存在较为严重的过热现象，且一般蒸发器面积较小，受冷藏室大环境温度较高影响（一般5℃左右）蒸发器整体温度也较高（正常制冷时，停机后温度一般可达到3~8℃）。如图7。

### 3.1 冷藏室制冷热力过程分析

其制冷时热力学过程同单系统冰箱相似，

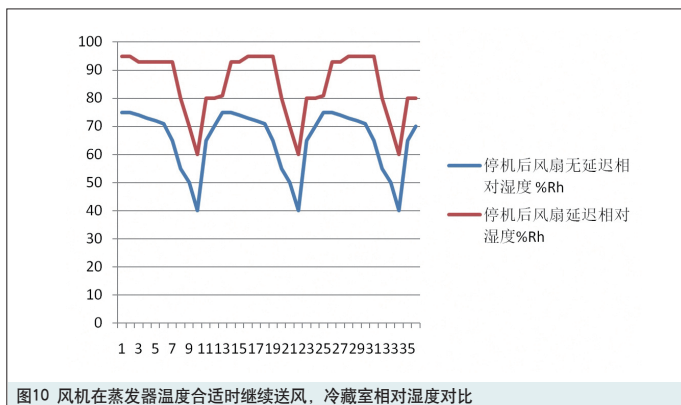


图10 风机在蒸发器温度合适时继续送风，冷藏室相对湿度对比

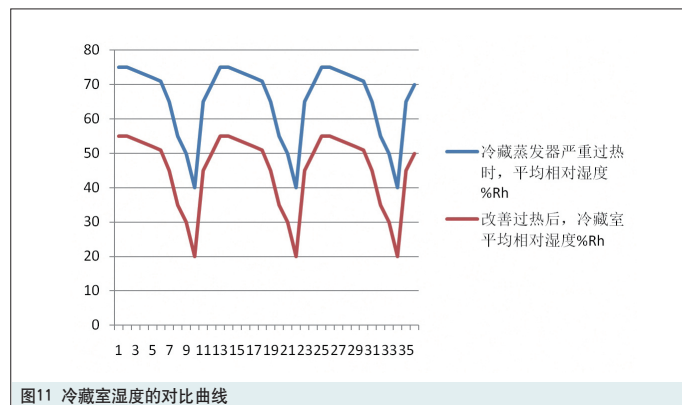


图11 冷藏室湿度的对比曲线

在此不做过多赘述。但由于蒸发过热、迎风面积过小、翅片总面积过小引起的蒸发器除湿能力不足现象，可由图8看出。

### 3.2 停机时热力过程分析

停机时，由于蒸发器位于冷藏室内，一般开机前温度可回升至 $0^{\circ}\text{C}$ 以上。制冷时凝结在蒸发器表面的霜有机会转化成水。假设此时出风口湿空气状态为1，温度 $t_1$ ，露点温度 $t_{d1}$ ，相对湿度 $\phi_1$ ；回风口湿空气状态为2，温度 $t_2$ ，露点温度 $t_{d2}$ ，相对湿度 $\phi_2$ ，蒸发器表面状态3，温度 $t_3$ ，迎风面积 $m$ ，翅片面积 $M$ ，风量 $S$ 。

(1) 状态1—2为湿空气混合，混合后 $t_2 > t_1$ ， $\phi_1 > \phi_2$ ；由于此时 $t_3 > t_{d2}$ ，忽略门封条漏热，状态2—3近似为等 $d$ 过程。

(2) 3—1可近似看做湿空气蒸发冷却过程，当蒸发器上的水温介于回风湿空气的干、湿球温度之间时，此时风扇开启，对湿空气进行一个降温、增湿过程。

## 4 双系统无霜冰箱BCD-639W湿度控制实例

当风机转速一定时，调节压缩机转速冷藏室湿度的曲线如图9。图9可看出，风量一定时，压缩机频率的变化对湿度有一定影响。当冷藏室停止制冷时，风机在蒸发器温度合适时继续送风，冷藏室相对湿度对比如图10。图10可见，由于此时蒸发器温度介于冷藏室湿空气的干球温度与湿球温度之间，是一个降温、增湿过程。改善蒸发器整体温度均匀性，降低温度，冷藏室湿度的对比曲线如图11。

## 5 结论

### 5.1 单系统无霜冰箱湿度控制关键点

在单系统风冷冰箱制中，由于蒸发器位置位于冷冻室，而冷冻室一直保持在 $-18^{\circ}\text{C}$ 以下的低温环境，对冷藏室的湿度一般都保持在 $25\sim 40\% \text{Rh}$ 之间。若想实现对冷藏室湿度调节，可以实现，但范围较小。需遵循以下几个方面：

(1) 蒸发器温度：低相对湿度对应低蒸发器温度，蒸发器各处温度保持均衡一致。

(2) 蒸发器设计：在保证蒸发器温度的前提下，适当增加蒸发器迎风面积、扩大风道体积、增加蒸发器翅片面积，减少蒸发器风阻，都是提高蒸发器除湿能力的好办法。

(3) 风量大小：由于一般冰箱的结构是早已固化好的，在条件允许的情况下，应当充分考虑到风道总通风体和风扇风量的匹配关系。

(4) 若想在一种系统中实现 $40\%$ 以上的高湿度，只有通过密封的方法，在冷藏室内，形成一个密闭空间，拒绝、减少冷风进入形成循环，密封区域湿空气的含湿量不外溢，相对湿度则可保持在一个稳定的水平。

(5) 由于高含湿量的冷空气下沉原理，一般冰箱上部的相对湿度低于下部。高湿区设置于冰箱下部，低湿区设置于冰箱中上部较为合理。

### 5.2 双系统无霜冰箱湿度控制关键点

在双系统风冷冰箱，一般冷藏室可以做到湿度 $40\%\sim 95\% \text{Rh}$ 范围内调节，若想实现对冷藏室或冷藏室某区域湿度调节，需遵循以下几个方面：

(1) 大幅度提高冷藏室大环境湿度的几个

方法：压缩机频率与风速匹配；停机时合理利用蒸发器内制冷剂回流至低压端，充分利用升华作用明显的阶段，用于增湿。

(2) 大幅度降低冷藏室大环境湿度的关键——保证蒸发器各部位在制冷过程中温度远低于冷藏室湿空气露点温度。建议采用以下几个方法：改变系统过热；增加送风控制程序，减少风机开启对蒸发器温度影响，保证蒸发器各部位在制冷过程中温度远低于冷藏室湿空气露点温度。

## 6 结束语

无霜冰箱对湿度的控制是比较灵活的，主要是由无霜冰箱的特点决定的。我们首先要对制冷系统进行分析，根据不同类型的系统来确定不同的控制方案。基于蒸发器温度与冷藏室内湿空气温度、含湿量、相对湿度的关系，在风道结构、蒸发器设计、冰箱结构、控制规则上进行优化，即能够实现对无霜冰箱的湿度控制。

### 参考文献

- [1] 廉乐明, 李力能, 吴家正, 谭羽飞. 工程力学(第四版). 中国建筑工业出版社. 1999:138-155.
- [2] 李玉春. 变频空调器除湿量的试验研究. 中国科学, 2007(9):339-357.
- [3] 王洋浩, 俞炳丰等. 变频空调器除湿运行模式风机风量的优化实验研究[J]. 西安交通大学学报, 2001, 35(7):768-770.
- [4] 陆紫生. 冷却除湿机的最佳设计参数及实例的分析[J]. 制冷, 2003, 22(4):49-52.