

# 风冷冰箱化霜加热控制方式的优化设计

韦刚 刘志成 赵渝生 陈瑞  
(合肥荣事达三洋电器股份有限公司 安徽合肥 230088)

**摘要:** 为保证制冷系统高效运行,风冷冰箱需要定期进行除霜。除霜过程包括对蒸发器加热、除霜、处理化霜水等主要步骤,在这个过程中,加热元件产生的热量融化霜层,但同时也带来箱内温度波动和能耗增加等副作用。本文针对化霜加热过程进行分析,探讨更加高效的加热控制方法。

**关键词:** 化霜加热管;控制程序;对流换热

## Research about the control procedure of defrost heater of frost-free refrigerators

Wei Gang Liu Zhicheng Zhao Yusheng Chen Rui  
(Hefei Rongshida Sanyo Electric Co., Ltd. Hefei 230088)

**Abstract:** To ensure refrigeration system run efficiently, the refrigerator cooled by forced air circulation need defrosting on a regular basis. The defrosting process should include several main steps such as heating the evaporator, melting the frost and disposal the defrosted water. In this process, the heater prevent the permanent formation of frost, but also can bring some side effects such as temperature fluctuations in the compartment and increase of energy consumption. This paper is dedicated to analyze the process of defrosting to explore more efficient method for controlling the heater.

**Keywords:** Defrost heater; Control procedures; Thermal convection

### 1 引言

风冷冰箱因其不需人工除霜、冷却速度快、箱内温度均匀等优点,在冰箱领域一直占有一席之地,近年来随着冰箱产品的结构化调整和国内消费水平的升级,风冷冰箱逐渐受到越来越多消费者的青睐,其市场份额正逐步扩大并延伸到常规主流产品线中。

风冷冰箱在运行过程中,蒸发器表面结霜到了一定程度,会影响换热效率,对于电脑控制型的风冷冰箱,系统会按控制程序自动开启化霜装置对蒸发器进行化霜,避免循环风量出现过大的衰减。风冷冰箱化霜系统主要由化霜加热器和化霜控制系统组成,随着电子技术的发展,电控风冷冰箱逐渐成为主流,其化霜控制系统通常包括温度传感器、控制板,以及温度保护装置,其

加热器主要有钢管加热器、铝管加热器、石英管加热器等类型。

化霜时,加热器消耗电能以产生热量,将蒸发器上的霜层融化。实际操作过程中,通常将加热器的断开条件提高,充分加热以保证化霜效果。但这种情况下会带来能耗升高和箱内温度波动幅度增大的问题,对于冰箱的品质产生一定的影响。本文就化霜过程中热量的流失情况进行分析,寻求改善方案,以促进风冷冰箱的精细化设计。

### 2 风冷冰箱化霜过程分析

#### 2.1 加热器热量散失途径

风冷冰箱化霜加热器的启动有多种不同方式,但其关闭通常都是由安装蒸发器附近的

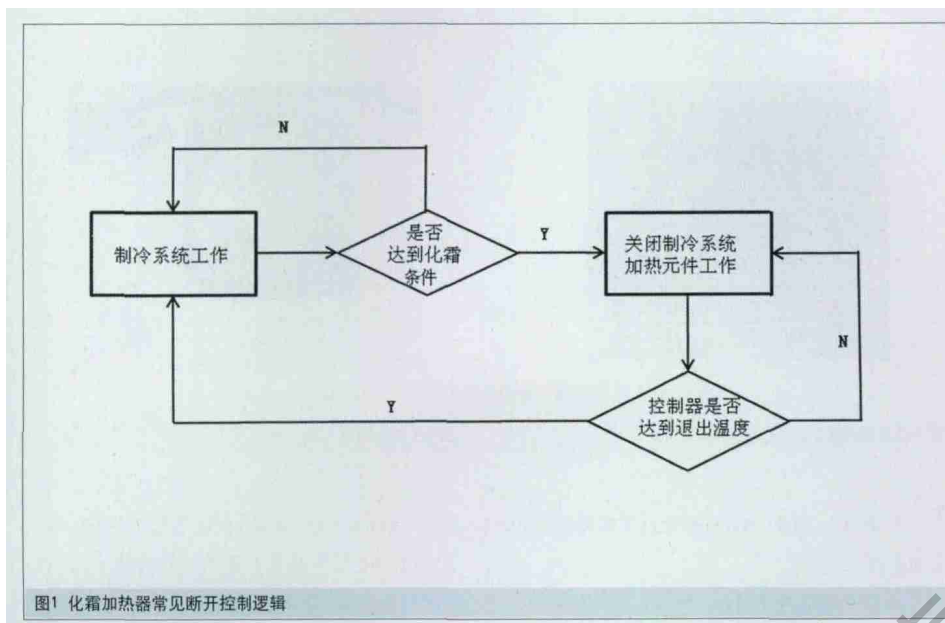
感温元件进行控制,常见的断开控制逻辑如图1所示。

由图1可以知道,风冷冰箱在化霜过程中,加热器是持续工作的,这种方式可以对蒸发器进行持续加热,保证霜层彻底融化。在实际加热过程中,加热器产生的热量,包括融化霜层、部件加热、逸出热量等散失途径,结合风冷冰箱结构特点(如图2所示)进行分析如下:

a、融化霜层:将蒸发器上的霜融化为水排出箱体;

b、部件加热:在除霜的过程中,蒸发器、箱体、风道等部件不可避免的同时被加热;

c、逸出热量:随着风道内空气温度升高,形成自然对流,热空气进入箱内,导致箱内温度升高。



除此之外，还存在蒸发器内的冷媒蒸发吸热现象，以及围护结构的温升吸热等热量散失途径。由于这些变化过程中，变量不易测量，也很难计算出相应的热量损失，在后续的实验分析过程中尽量使影响这部分热量变化的因素保持不变，并将其统一归类为其他途径，不作具体分析。

## 2.2 热量散失途径占比分析

### 2.2.1 分析样本选取

为了寻求改善的空间，需要对上述三种主要热量流失途径进行分析，了解其所占比例及影响因素。为便于数据采集和分析，以帝度品牌的某型风冷冰箱为例，该型号冰箱总容积为322L，全风冷，单蒸发器放置于冷冻室风道内。化霜期间，冷藏室风门关闭，将冷冻室单独作为研究对象进行分析。

### 2.2.2 试验方案简介

为评估各点温度变化情况，实验过程中采用T型热电偶对各点进行温度测试，各个布点位置如图3、图4所示。

为尽量减少实验条件变化所带来的影响，设置以下实验条件：

- a、实验环境温度:25℃;
- b、实验环境湿度: 75%;
- c、样机状态: 空载, 冷冻室使用铜柱布点测试空气温度, 布点方式参考澳洲标准《ASNZS4474.1-2007》;
- d、冰箱温度调至中间档位, 使库内温度尽量接近5/-18℃。冷藏室放置4个开口面积为200mm×150mm的水盘, 每只水盘内盛水0.5L, 运行至平稳后开始实验;

e、平稳运行后, 每24h进行一次除霜, 通过实验设备采集化霜功率, 加热时间, 各点温升, 化霜水温度等数据;

f、为保障实验条件一致性, 每次达到化霜周期后, 待压缩机正常开机运行20min后, 开始化霜。

### 2.2.3 测试数据整理

为获得充分的试验数据, 共进行5次化霜实验。通过各相关部分的温升及相关数据计算, 对各种热量流失途径进行计算, 计算方法如下:

1) 化霜加热管加热量 $Q_0$

$$Q_0 = P \times t$$

表1 现有化霜方式热量分配计算表

实验序号		1	2	3	4	5
总热量	化霜周期 (min)	20.00	23.00	22.50	22.50	22.50
	平均功率 (W)	182.60	180.50	181.00	181.00	180.00
	化霜加热管加热量 $Q_0$ (kJ)	219.12	249.09	244.35	244.35	243.00
蒸发器吸热	蒸发器初始平均温度 (°C)	-22.96	-27.14	-22.91	-26.01	-24.19
	蒸发器结束平均温度 (°C)	26.69	30.30	30.04	28.90	35.38
	蒸发器吸热量 $Q_1$ (kJ)	38.45	41.95	38.68	40.11	43.51
霜层吸热量	化霜水的质量 (kg)	0.171	0.180	0.175	0.167	0.169
	冰升至0°C的吸热量 $Q_{21}$ (kJ)	8.24	10.26	8.42	9.12	8.59
	冰的溶解潜热 $Q_{22}$ (kJ)	57.29	60.30	58.63	55.95	56.62
	化霜水的末期温度 (°C)	28.40	30.16	32.32	31.87	29.21
	化霜水的吸热量 $Q_{23}$ (kJ)	20.40	22.80	23.76	22.35	20.73
霜的总吸热量 $Q_2$ (kJ)	85.93	93.36	90.80	87.42	85.93	
冷冻室吸热量	冷冻室的初始平均温度 (°C)	-19.41	-18.09	-18.47	-18.78	-19.41
	冷冻室的末期平均温度 (°C)	-7.31	-5.12	-5.52	-5.84	-6.13
	冷冻室内空气吸热量 $Q_3$ (kJ)	2.30	2.52	2.52	2.52	2.58
其他热量	其他 $Q_4$ (kJ)	92.44	111.26	112.35	114.31	110.97

表2 新化霜方式热量分配计算表

实验序号		1	2	3	4	5
总热量	大功率化霜时间 (min)	13	14	13	13.5	13
	小功率化霜时间 (min)	7.5	13	17	12	16
	大功率 (w)	185.77	184.83	180.34	185.19	180.67
	小功率 (w)	94.07	93.29	91.35	92.74	90.46
蒸发器吸热量	化霜加热管加热量 $Q_0$ (kJ)	187.23	228.02	233.84	216.78	227.76
	冷冻蒸发器初始温度 (°C)	-25.63	-24.81	-28.31	-26.41	-26.53
	冷冻蒸发器末期温度 (°C)	20.47	24.74	24.89	20.52	23.69
霜层吸热量	蒸发器吸热量 $Q_1$ (kJ)	33.67	36.19	38.86	34.28	36.67
	化霜水的质量 (kg)	0.16	0.16	0.16	0.18	0.16
	冰升至0°C的吸热量 $Q_{21}$ (kJ)	8.50	8.49	9.75	9.76	8.97
	冰的溶解潜热 $Q_{22}$ (kJ)	52.93	54.61	54.94	58.96	53.94
	化霜水的温度 (°C)	24.59	23.14	25.34	26.68	24.11
霜的总吸热量 $Q_2$ (kJ)	77.75	78.94	82.15	88.44	79.21	
冷冻室吸热量	冷冻室的初始温度 (°C)	-18.92	-17.86	-18.03	-18.91	-19.53
	冷冻室的末期温度 (°C)	-10.65	-8.25	-9.13	-8.97	-10.09
	冷冻室内空气吸热量 $Q_3$ (kJ)	1.61	1.87	1.73	1.93	1.83
其他热量	其他 $Q_4$ (kJ)	74.20	111.03	111.11	92.12	110.05

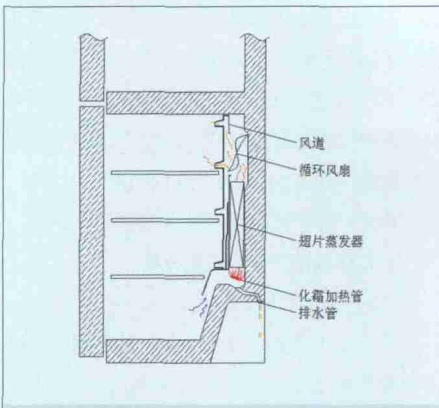


图2 风冷冰箱结构示意图



图3 蒸发器布点示意图



图4 风道内侧布点示意图

P—化霜周期内平均功率 (W)

t—化霜周期 (S)

2) 蒸发器吸热量 $Q_1$

$$Q_1 = c \times m \times \Delta t$$

C—铝的比热容, 0.88kJ/kg·°C

m—蒸发器的质量, 称为0.83kg

$\Delta t_1$ —蒸发器的始末温差

3) 霜层吸热量 $Q_2$ 计算

霜层吸热量 $Q_2$ 等于冰温升至0°C的吸热量

$Q_{21}$ 、冰的熔解潜热 $Q_{22}$ 、化霜水的吸热量 $Q_{23}$ 之和。冰的质量与化霜水的质量近似, 取为相等。

冰的比热容为2.1kJ/(kg·°C)、比潜热为335kJ/kg, 水的比热容为4.2 kJ/(kg·°C), 由以下公式计算出吸热量:

$$\text{霜的吸热量: } Q_2 = Q_{21} + Q_{22} + Q_{23}$$

$$\text{冰的吸热量: } Q_{21} = 2.1 \times m \times (0 - t_1)$$

$$\text{冰的熔解潜热: } Q_{22} = 4.2 \times m \times (t_2 - 0)$$

$$\text{化霜水吸热量: } Q_{23} = 4.2 \times m \times (t_2 - 0)$$

其中,  $t_1$ 、 $t_2$ 分别为冰的初始温度和化霜水的末期温度。

4) 空气吸收的热量 $Q_3$

冷冻室的容积为98L, 空气的比热容c为1.4036kJ/(kg·°C), 空气在-18°C时的密度为1.413kg/m<sup>3</sup>, 则冷冻室内的空气质量约为m=1.413×98/1000=0.1385kg

$$Q_3 = c \times m \times \Delta t$$

c—空气的比热容

m—冷冻室内空气的质量

$\Delta t$ —冷冻室内的平均温度的始末温差

5) 其他散热 $Q_4$

其他途径散热量 $Q_4$ 等于总加热量 $Q_0$ 减去以上各吸热量;

$$Q_4 = Q_0 - Q_1 - Q_2 - Q_3$$

通过以上方式整理, 各次化霜数据计算结果如表1所示。

根据表1计算结果, 整理出化霜热量分配示

意图, 如图5所示; 以第5次化霜数据为例, 针对化霜过程中蒸发器上下温差以及冷冻室出风口温度变化情况, 生成其随时间的变化曲线, 如图6所示。

### 2.2.4 热量散失途径分析

从热量传递的过程来看, 化霜加热管→蒸发器→风道上部→出风口→冷冻箱内, 整个热量传递过程以热空气对流为主要传递方式。在结构一定的情况下, 随着霜层逐渐融化, 循环阻力会逐渐减小, 同时, 由于化霜加热管持续加热, 为热对流提供了源源不断的动力。从图6曲线可以看出, 在化霜周期末期, 随着霜层融化过程结束, 空气循环阻力减小, 蒸发器上下温差出现减小的趋势, 但由于风道内热对流加剧, 出风口温升速率加大, 进而导致冰箱内温度迅速升高。

从以上分析可以看出, 减小箱内温度波动需要抑制风道内的热对流, 在结构一定的情况下, 最简便的方法就是缩小风道内的上下温差。

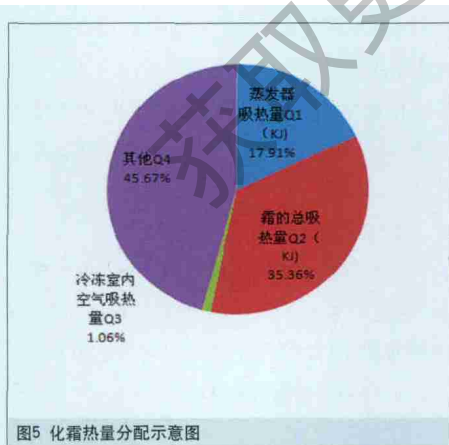


图5 化霜热量分配示意图

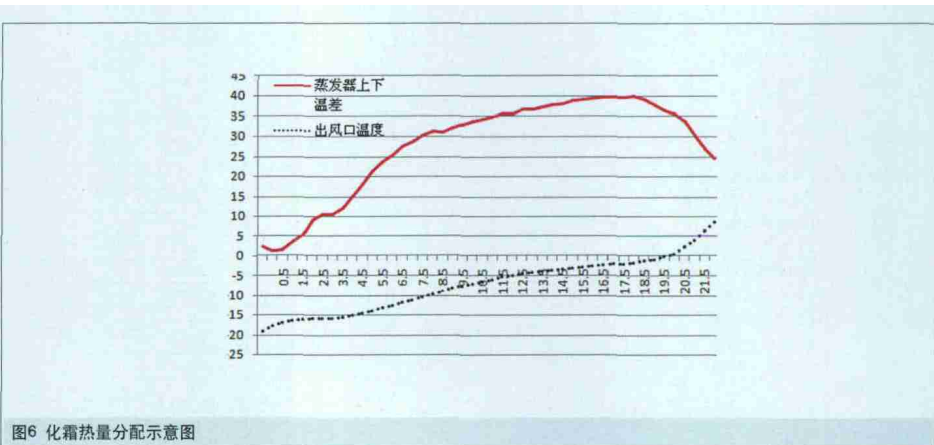


图6 化霜热量分配示意图



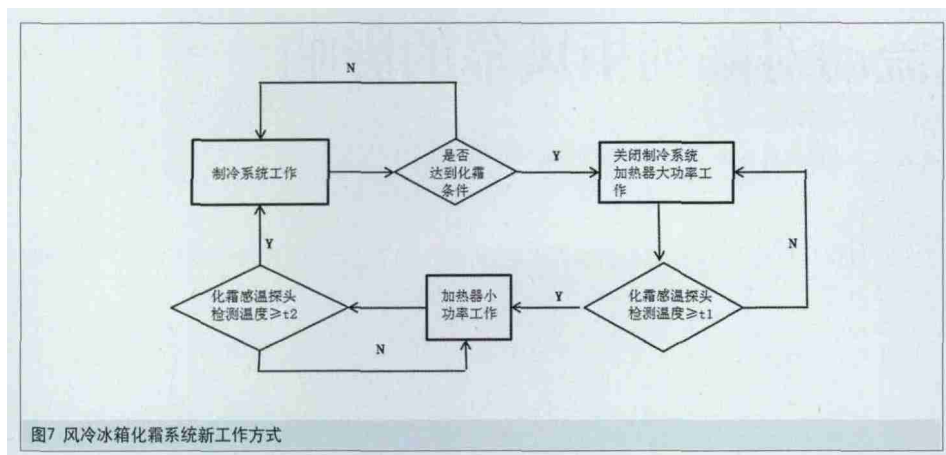


图7 风冷冰箱化霜系统新工作方式

但是,为了保证蒸发器表面的霜层能够顺利融化,又要求必须有一定的温差。经过以上分析,我们计划对化霜加热周期进行分段控制:在前期,为了迅速提高蒸发器底部温度,采取高功率,持续加热,将集中在底部的霜层快速融化;化霜后期,当化霜感温探头检测到达到一定温度,则减小化霜加热管功率,避免蒸发器上下端温差过大。既保证持续化霜,又能够抑制热对流的发生。

### 3 化霜控制程序优化

#### 3.1 新化霜控制程序

针对上述构想,我们对化霜周期控制进行改善,控制流程变更如图7所示。

#### 3.2 新化霜控制程序验证

变更化霜控制方案后,利用上述样机,在相同的条件下进行试验,所得数据重新计算整理如表2所示。

由表2数据生成热量分配示意图,如图8所示;以改善后第5次化霜数据为例,针对化霜过程中蒸发器上下温差以及冷冻室出风口温度变化情况,与图7所示曲线合并,生成两种方案随时间的对比变化曲线,如图9所示。

#### 3.3 新化霜控制程序效果分析

由改善后的图表分析,我们可以看到,采用新的控制方案后,出现了以下变化:

a、化霜过程中,加热管所产生的总热量减少,化霜结束后,各相关部位的温升幅度均有降低,有利于冰箱总体能耗的降低。

b、几种主要热量散失途径的分配比例发生了变化。从图表可以看出,蒸发器的温升减小,其所吸收的热量占比相应减少。同时,由于化霜加热管功率降低,其表面温度降低,在化霜水经过加热管表面的时候,避免了剧烈换热,减少了化霜水带走的热量,从而使化霜水吸收的热量占比也有所降低。

c、由于推动热对流的温差减小,从上部出风口逸出到冷冻间室的热量也减少,从而降低了化霜过程中的冷冻室升温幅度。对于抑制化霜过程中导致的箱内温度波动有利。

### 4 结语

通过以上改善,在不变更冰箱原有结构的情况下,通过控制程序的优化,有效减少了风冷冰箱化霜周期能耗,抑制了由于化霜导致的箱内温度波动,有利于减少冰箱整体运行能耗。同时,对于一些对化霜温升控制非常严格的国家和地区,此项改善能够有效地抑制箱内温升,使产品更好的符合其标准要求。在实际的操作过程中,可以通过降低控制板输出电压、或通过配置多根加热管来调节功率,也可以通过调节开停比率来降低加热量。由于化霜控制方案对于风冷冰箱的可靠性和经济性有着重要影响,需要通过实验来不断优化和选择合适的方案,实现风冷产品的精益设计,提高产品竞争力。

#### 参考文献

- [1] GB/T8059.4-93.家用制冷器具无霜冷藏箱、无霜冷藏冷冻箱
- [2] AS/NZS 4474.1:2007.家用电器性能.制冷设备

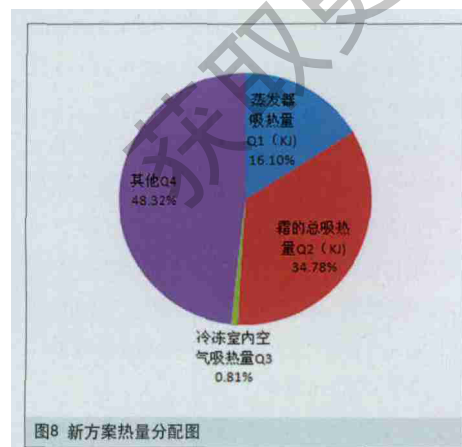


图8 新方案热量分配图

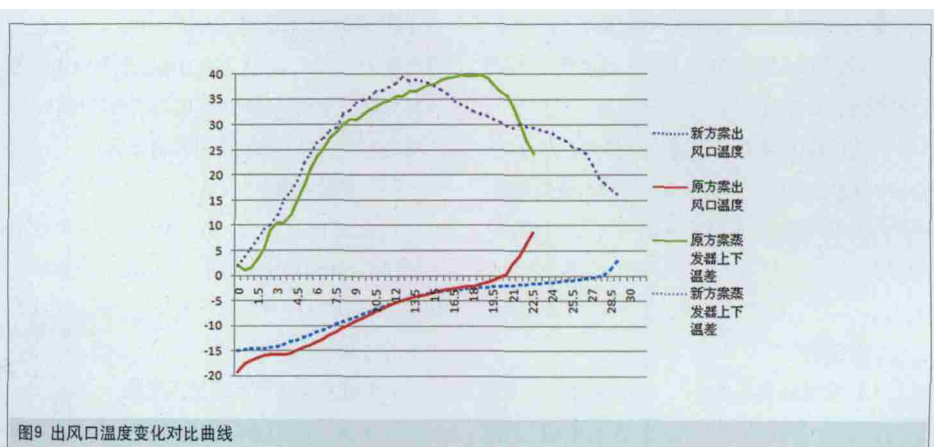


图9 出风口温度变化对比曲线