

# 无霜冰箱可靠性系统优化设计探析

陈涛

(合肥美菱股份有限公司, 230601)

**摘要:** 无霜冰箱采用除霜系统进行自动除霜, 除霜方式通常是电加热除霜, 根据温度控制器(或温度传感器)确定化霜退出点。根据节能、气候适应性、系统可靠性等方面的设计需要, 越来越多的风冷冰箱设计为智能控制结构, 采用直流风扇电机进行风路循环。为对无霜冰箱的可靠性进行相对全面的探析, 本文从制冷系统、控制系统、排水系统、试验方法等角度对无霜冰箱的可靠性设计进行分析。

**关键词:** 无霜冰箱 可靠性设计 制冷系统 控制系统 排水系统 试验方法

## Reliability Analysis of Frost-free Refrigerator Optimization Design

Chen Tao

(Hefei Meiling Co. Ltd., 230601)

**Abstract:** The frost-free refrigerator with automatic defrost system usually use electric heating for defrosting. According to the temperature controller (or temperature sensor) to determine exit points of frost. According to energy, climate adaptation, system reliability, the design needs, a growing number of air-cooled refrigerators are designed with intelligent control structure, using the DC fan motor to conduct cycle wind. In order to comprehensively probe the reliability of frost-free refrigerator, this article analyzes from the factors such as refrigeration systems, control systems, drainage systems and test methods.

**Keywords:** Frost-free refrigerator, Reliability design, Cooling system, Control system, Drainage system Test method

### 1 前言

无霜冰箱因无需手动除霜、储藏温度均匀、功能性强等优势, 在我国冰箱产量中的占比逐年攀升。尤其是大冰箱市场占有率的快速提升, 促使了我国无霜冰箱技术的发展。中怡康数据显示, 2008年, 180L以下小容量冰箱关注度下滑幅度最大, 300L以上大容量冰箱的关注度上升幅度最大。值得一提的是, 容积段为301~500L的冰箱的销量同比增长率达173%, 500L以上的冰箱销量的增幅也达到37%, 远远高于冰箱市场总体增长的幅度。而大容积段的冰箱, 基本上均采用全风冷技

术。因此, 无霜冰箱技术的研究也就成为各主流冰箱厂的核心技术研究项目, 而无霜冰箱的可靠性技术的研究则是无霜冰箱技术中的重中之重。

### 2 翅片蒸发器组件的可靠性设计

采取以下几点措施, 可实现对多款无霜冰箱的蒸发器进行优化设计。

(1) 优化翅片蒸发器的翅片排布方式, 排布总原则是上密下疏, 使蒸发器在结霜的情况下, 不致将翅片蒸发器的风路堵住, 从而影响制冷性能, 并对风扇电机的性能产生不良影响。

(2) 优化蒸发器室回风口与蒸发器翅片的相

**作者简介:** 陈涛(1977.9~), 男, 西安交通大学学士学位, 高级工程师, 合肥美菱股份有限公司海外开发部副部长。专业方向: 冰箱(柜)制冷系统的优化设计及节能技术研究。

对位置尺寸,使蒸发器结霜均匀,不会造成霜堵,提高了制冷性能和电气性能,冰箱的可靠性自然得到提升。

(3)将翅片蒸发器回风面的翅片间距适当增大,确保翅片蒸发器不会出现霜堵现象,避免对制冷性能及电气性能产生不良影响。

(4)将部分蒸发器盘管层数适当增加,蒸发器总高度适当增大,提高蒸发器对湿气的过滤能力,避免在电机体、风扇支撑、线体、冷藏进风道等部件上出现结霜或结冰现象,从而导致化霜失败。

(5)优化化霜控制器在蒸发器上的布置位置,确保化霜退出点的合理,确保蒸发器上的霜层可完全融掉。

总结上述几点,翅片蒸发器的可靠性设计准则为:不出现霜堵,且将湿气基本可完全过滤;化霜加热退出时,蒸发器上的霜层可完全融掉。

下面以图例来说明一款风冷冰箱的翅片蒸发器组件优化设计的方案。

图1中蒸发器之所以进行如图2所示的改进,主要依据如下几个设计要素:

(1)冷藏室回风口、冷冻室回风口在蒸发器下

部,而回风口处是霜层最先形成的地方,因而靠近回风口处的蒸发器翅片间距需要加大,避免形成霜堵。

(2)霜层从蒸发器底部逐层向上形成,因而由上向下的蒸发器翅片间距应由密变疏。

### 3 化霜控制系统的可靠性分析

在无霜冰箱的化霜控制系统设计方面,除合理匹配相应的控制参数外,还应充分考虑如下几个关键点的设计。

3.1 化霜保护器(通常称为温度控制器)的设计

化霜保护器的线芯选型为单线芯,在满足电性能的情况下,粗度尺寸尽量取小,以防止水汽在毛细现象下沿线芯进入化霜保护器的封装袋中;化霜保护器的封装要严,防止水汽的进入,否则,将会导致化霜保护器的失效,造成化霜失败;为保证感温相对敏感,化霜保护器通常贴附在蒸发盘管上,且确保图3所示中的装配方向。对于电控无霜冰箱,化霜传感器的固定方式推荐采用竖放结构,以便化霜传感器上的化霜水的及时排走。

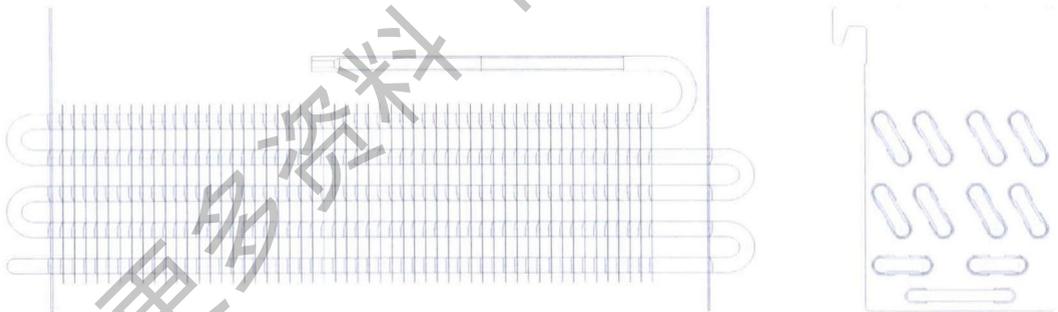


图1 某型号无霜冰箱蒸发器优化设计前的图示

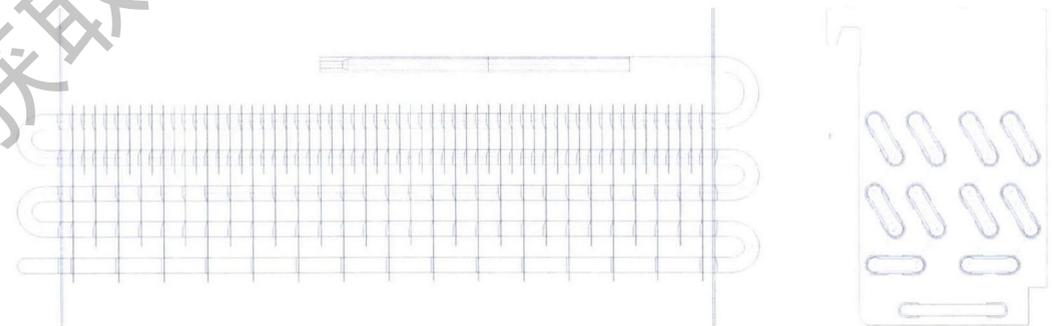


图2 某型号冰无霜箱蒸发器优化设计后的图示

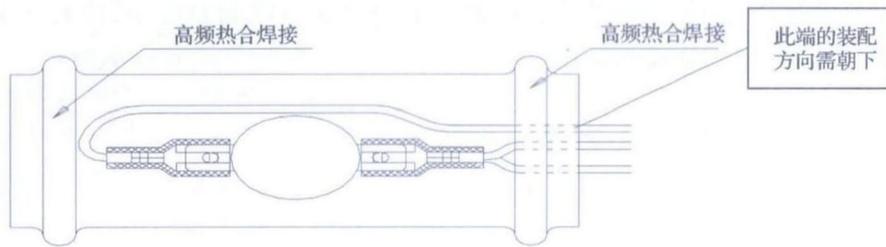


图3 化霜保护器(温度控制器)的示意图

### 3.2 化霜加热器的选型需遵循的原则

R134a 系统的无霜冰箱可根据需要选配石英管加热器、铝管加热器、钢管加热器等;R600a 系统的无霜冰箱一般选择铝管加热器或双层石英管加热器(也有选异形钢管加热器的),主要考虑加热器在干烧情况下的表面温度;大型蒸发器一般选择铝管加热器或异形钢管加热器,小型蒸发器一般选择石英管加热器,中型蒸发器推荐选用石英管加热器或钢管加热器;蒸发器卧放情况下,加热器选用铝管加热器或异形钢管加热器。

### 3.3 温度熔断器的设计选择

无霜冰箱的温度熔断器的热熔体的电气参数通常为最大断开温度为  $77^{\circ}\text{C}$ ,保持温度为  $52^{\circ}\text{C}$ ;温度熔断器的位置匹配需要通过湿烧试验和干烧试验来确定,位置匹配不对的话,将会造成化霜失败,甚而出现冰箱烧毁现象。

### 3.4 化霜定时器的设计选择

现在市场上,化霜定时器有日式、欧式、美式等三种类型,电压分压有电容分压与电阻分压两种,前者启动扭矩相对较大,目前通常都选用该类型定时器;化霜定时器的选型,还要注意气候类型的适应性问题,在高温高湿区域使用的无霜冰箱的化霜周期要选用化霜周期较短的定时器,而低温低湿地区使用的无霜冰箱选用 14 小时或 16 小时化霜周期的定时器即可,且可起到节电效能;化霜定时器所用润滑油牌号的选择及防润滑油挥发的设计,需要特别注意,以免造成化霜定时器的不良运转而卡死。

### 3.5 化霜规则的优化设计

电控无霜冰箱的设计,在很大程度上解决了机械式无霜冰箱气候适应性弱、化霜切入点及退出点不合理的问题;但化霜规则或其中的参数如

若选择不合适的话,均会造成化霜失败的现象发生;总的原则要求将开门次数、化霜时间、降温速度、储藏温度的异动等参数因素考虑到化霜规则中,以使化霜控制更贴近蒸发器除霜的实际状态需要,确保化霜的及时及化霜干净。

### 3.6 风扇电机的选配

风扇电机选配的好坏,不仅决定着制冷性能的优劣,也对风扇电机的可靠性有着举足轻重的影响;风扇电机参数的选配主要根据冰箱的风路结构、扇叶的结构尺寸来选配,要求风扇电机在满载情况下的功率不得超出其允许的最大输入功率,而且风扇电机润滑油要满足低温使用要求。

## 4 排水系统的优化设计

对于无霜冰箱来说,排水系统的设计如若不合理,将会出现较为严重的后果——蒸发器室出现冰堵,冰箱不能实现制冷功能。因此,无霜冰箱排水系统的设计需关注如下几点。

### 4.1 化霜接水盘(蒸发器室的化霜水接盘)的优化设计

为保证化霜水可顺畅地排到化霜水管漏斗里,化霜接水盘的倾斜度(相对于水管口的水平位置)不得低于  $8^{\circ}$ ,且表面需光滑洁净,必要时可在接水盘衬板上增加亲水膜。

### 4.2 水管堵头的优化设计

水管堵头属于小部件,往往被设计人员忽视细节。但如若设计不合理的话,不仅会影响冰箱的制冷性能,还会导致化霜水管冰堵。总体上,水管堵头的设计准则是:冰箱在制冷状态下,基本上可将水管出水口封紧,使湿热空气不致通过水管循环到蒸发器室;冰箱在化霜状态下,化霜水可及时地排出水管。水管堵头设计的建议结构为鸭舌

状或为奶嘴状。

#### 4.3 接水盘(压缩机室的化霜水接盘)的优化设计

接水盘设计尺寸如若偏小或固定位置不合理,将会造成接水盘溢水,轻者造成压缩机底板锈蚀或用户家的地板的腐蚀,重者可能发生电气安全事故;而接水盘结构尺寸设计过大,必将造成装配的困难和不必要的成本增加。当然,在进行接水盘设计时,要优先保证可靠性,再考虑成本。否则,将会使冰箱生产厂家得不偿失。

### 5 可靠性试验方法的提升

在我国,直冷冰箱技术日益成熟,且直冷冰

箱的控制系统相对简单,设计中只需考虑制冷性能与电气性能达到要求即可。而对于无霜冰箱来说,我国各冰箱厂所掌握的技术相对落后,且无霜冰箱的控制系统(尤其是化霜控制系统)较为复杂,便要求无霜冰箱的设计人员需要通过各种可靠性试验方法来保证设计的可靠性。因此,对可靠性试验方法的完善提升,就相当的可贵。

#### 5.1 化霜(残霜)试验方法的改进

对于在不同气候区域使用的冰箱,化霜(残霜)试验方法也会有所不同,下面将某北美客户的化霜试验方法与 AHAM 标准中所列的试验方法、判定方法以表 1、表 2 进行对比分析。

表 1 某北美客户及 AHAM 的化霜试验方法对比

| 序号 | 标准名称    | 试验电压 | 试验环境条件                            | 试验周期                              | 温度设定                           | 开门频次及角度  | 附件状态 | 负载放置方法                                     | 测试点布置方法              |
|----|---------|------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--|------|--|----------------------|
| 1  | 某北美客户标准 | 额定电压 | 25.5℃(85±5)% RH;32.2℃, 65% RH(交变) | 温度平衡后 15 天(每天前 16 小时开门,后 8 小时不开门) | 冷藏设为(3.3±1.1)℃; 冷冻设为(-15±1.1)℃ | 冷冻室门/冷藏室门开关次数:30/120 次;开关频率:隔 32 分钟/隔 8 分钟;开启角度:75~90°; 开门时间:12 秒。       | 齐全   | 冷冻室放 75% 的冷冻负载;冷藏室放一定量的水(并有滤纸悬于空中,以扩大蒸发面积) | 按 AHAM 通用测试要求布置温度测试点 |
| 2  | AHAM 标准 | 额定电压 | (32.2±1.1)℃, (75±2)% RH           | 温度平衡后 21 天(每天前 16 小时开门,后 8 小时不开门) | 冷藏设为 3.3±1.1℃; 冷冻设为(-15±1.1)℃  | 冷冻室门/冷藏室门开关次数:24/96 次;开关频率:隔(40±1)分钟/隔(10±1)分钟;开启角度:45~90°;开门时间:(12±1)秒。 |      | 不加负载                                       | 按 AHAM 通用测试要求布置温度测试点 |

表 2 某北美客户及 AHAM 化霜试验结果判定方法的对比

| 序号 | 标准名称    | 判定方法  | 判定标准   |
|----|---------|---|--|
| 1  | 某北美客户标准 | <p>a. 15 天的测试周期内,观察开门与不开门情况下的冷藏室温度状况、冷冻室温度状况。</p> <p>b. 化霜状况检查时,用相机将积霜/积水状态记录下来,以便工程师进行判定。</p> <p>c. 在测试周期内,抽取几个时间点检查抽屉、导轨等部件的使用功能。</p> | <p>a. 冷藏最高温度不应高于 9.4℃,不开门的情况下,冷藏平均温度在 1.7~3.9℃。</p> <p>b. 冷冻最高温度不应高于 -11.1℃,不开门的情况下,冷冻平均温度在 -18.9~-16.8℃。</p> <p>c. 化霜结束后,蒸发器的任何部位都不得有残留冰。</p> <p>d. 蒸发器室其他部位的残留冰/水的检查。</p> <p>e. 化霜试验周期内,抽屉、导轨等部件在任一时间点的使用功能不得丧失。</p> |

续表 2

| 序号 | 标准名称    | 判定方法   | 判定标准  |
|----|---------|--|---|
| 2  | AHAM 标准 | a. 21 天测试周期内,观察外接水盘是否有水溢出。<br>b. 在 21 天的测试周期的最后一个 16 小时开门周期后,设备要依据 ANSI C101.1 标准做电流泄漏试验。<br>c. 21 天测试周期结束后,应立即检查易看见的制冷表面出现的冰和雾,然后在记录中描述。<br>d. 做好各种事项的数据记录。 | a. 21 天测试周期内,外接水盘不应有化霜水溢出。<br>b. 在 21 天的测试周期的最后一个 16 小时开门周期后,泄漏电流符合相关标准要求。<br>c. 绝缘体中每干重的水含量。 |

由表 1、表 2 可以看出,两种试验方法及判定方法存在一定的差异,但将两者综合起来进行北美市场的无霜冰箱的化霜试验,应是一种不错的化霜试验方法。为了保险起见,建议模拟冰箱使用地四季的气候特征及用户的使用习惯对无霜冰箱进行 3 个月以上的化霜老化试验,并按上表的记录方法对试验过程进行记录,为更好的判定作准备。

### 5.2 化霜失败反验证的试验方法

如若化霜试验不合格,且多次对化霜系统进行改进,均不能完全改变化霜试验不合格的结果,可考虑进行试验的反验证。验证的方法是:模拟在某种试验判定方法的最恶劣条件状况下,进行各种试验环境条件下的化霜试验,如果该状况未影响冰箱的正常工作,则说明现设计的化霜系统是可靠的;否则,必须对化霜系统进行充分优化,直至化霜试验合格。

### 5.3 冻堵试验的方法

无霜冰箱的化霜水管如若出现冻堵,化霜水必将溢进冷冻室或冷藏室,冰箱的制冷功能也将逐渐丧失,其危害后果可想而知。所以,冻堵试验对于无霜冰箱来说,是相当重要的试验项目。具体的试验方法为:在不同的环境条件下,将化霜水管事先用水装满,待水结成实冰后再进行化霜循环;如若化霜水管的冰通过几个化霜周期后不能化掉,则试验结果不通过,必须进行相应的改进设计。

### 5.4 老化试验的方法

该方法在很多企业标准中应都会出现,但并不是所有企业都重视该项试验。老化试验的具体方法是:模拟冰箱使用地的四季气候特点和使用地用户的使用习惯,对冰箱进行长期(3 个月以

上)运行试验;如若出现制冷性能或电气性能异常的情况,则试验结果不合格,必须进行改进设计。

当然,可靠性试验项目还有很多,本文之所以特别强调上述几个试验方法,是因为上述试验方法对于无霜冰箱整机可靠性验证是极其重要的,但其中的试验条件或试验的操作方法容易被忽视。

## 6 结束语

通过制冷系统、控制系统、排水系统等方面的可靠性设计,再通过严格的可靠性试验验证,无霜冰箱的可靠性将会大大提升,为无霜冰箱的市场开拓打下坚实的基础。当然,做好无霜冰箱的可靠性设计,最重要的是要有严谨的态度、创新的思想、锲而不舍的精神,绝不可为赶进度而缩短产品开发周期。否则,可能会给企业带来不可估量的损失。

### 参考文献:

[1] 2009 年冰箱市场大容量冰箱继续被市场看好. 中国电子报. 2009-01-09

[2] 钟金华. 无霜冰箱的化霜控制方法. [P] 中国, 200710035695. 7

[3] 李秀良. 一种门开关计数冰箱化霜控制系统及其化霜控制方法, 中国, 200810218786. 9

[4] 程卓明、于绍飞等. 大容量风冷冰箱结霜化霜实验研究. 家电科技, 2009(21): 267.

[5] 杨学宾, 褚玉霞, 朱启建等. 无霜冰箱蒸发器化霜系统的改进设计. 家电科技, 2006(6): 69~70

[6] ANSI\_AHAM HRF-1-2004 Energy, Performance and Capacity of Household Refrigerators, Refrigerator-freezers and Freezers