

# 冰箱亲水翅片应用研究

李平 楼伟 程祥 郭昌民 叶茂

(TCL 家用电器(合肥)有限公司, 230601)

**摘要** 结霜现象普遍存在于低温制冷领域,霜层的增加会降低制冷系统的换热效率,而亲水性涂层可以有效抑制霜层的生长。因此本文以冰箱制冷系统为例,通过设置对照试验,研究了亲水性涂层对制冷系统结霜、化霜、制冷速度及能耗四个方面的影响。研究表明,使用亲水性涂层制冷系统结霜速度更慢,化霜更干净,制冷速度更快,能耗更节能。

**关键词:** 冰箱 亲水性 翅片蒸发器 节能

## Research of hydrophilic evaporator on refrigerator

Li Ping, Lou Wei, Cheng Xiang, Guo Changmin Ye Mao

(TCL Home Appliances (HeFei) Co.,Ltd , 230601)

### Abstract:

Frost formation is a universal phenomenon in the field of cryogenic refrigeration which will decrease the heat transfer efficiency of the refrigeration system. The hydrophilic coating can effectively inhibit the growth of frost. So, In this paper, we study the effect of the hydrophilic coating on the frosting, defrosting, cooling speed and energy consumption of the refrigerating system. The results showed that the refrigerating system frosting slower, defrosting cleaner, cooling speed faster and energy consumption lower which using hydrophilic coating.

**Keyword:** Refrigerator-freezer, Hydrophilic, Fin evaporator, Energy

---

## conservation

### 1 引言

结霜现象是低温制冷领域不可回避的问题。空气中的水蒸气遇到低温制冷表面会发生相变凝结成霜晶，霜晶覆盖制冷表面降低了制冷系统的换热效率，且霜晶增长到一定程度会阻断制冷系统的换热通道，导致制冷系统失效。在冰箱制冷领域，虽然普遍采用了定时加热的方式开发了无霜产品，但是化霜的同时也导致产品能源消耗增大。因此在节能减排的大环境下，如何抑制结霜是未来研究的重要课题。

亲水性材料是低温制冷领域抑制结霜的一个重要手段，早在 80 年代，就有学者通过实验证明，亲水涂层可吸附大量的水，并且贮存一部分潜冷，可使水达到 $-20^{\circ}\text{C}$ 而不结冰<sup>[2]</sup>。但因亲水材料的易挥发，反复使用性差，并未被广泛使用。后经国内外学者的不断创新和改良，研制了一种新型抑霜涂料<sup>[3]</sup>，抑霜效果比以往亲水涂料有明显改善，且具有良好的稳定性和重复使用性，其涂料成膜厚度仅为 0.03mm。

为验证亲水涂料在冰箱产品上的抑霜效果，特选取 TCL 风冷无霜产品 BCD-518W 分别装配亲水性翅片和普通翅片进行对比测试，从结霜过程、化霜过程、冷却速度、耗电量四个维度分析亲水性翅片的实际应用效果。

### 2 试验方法

准备两套普通铝翅片蒸发器，将其中一套翅片两侧表面附上约 0.03mm 厚的亲水涂层，另一套作为对照组。选取两台 TCL BCD-518W 箱体分别装配亲水性翅片和普通翅片，并用透明亚克力盖板替代原风道盖板，进行如下测试并观察记录测试结果。

#### 2.1 冷却速度试验

步骤一：冰箱产品按 GB/T 8059-2016 耗电量试验要求放置测温铜柱。

步骤二：环境温度设为  $32^{\circ}\text{C}$ ，冰箱开门放置在实验室内，直至冰箱内部温度与环境温度达到平衡（温差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）。

步骤三：关闭箱门，使冰箱连续运行，记录各间室温度达到规定的特性温度所需时间。

#### 2.2 长运试验（结霜及耗电量）

步骤一：冰箱产品按 GB/T 8059-2016 耗电量试验要求放置测温铜柱。

步骤二：环境温度设定为  $32^{\circ}\text{C}$ ，湿度常湿，冰箱开门放置实验室内，直至冰箱内部温度与环境温度达到平衡（温差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）。

步骤三：关闭箱门，档位设定 4/-18，通电运行，屏蔽化霜程序，每隔 20min 开门拍照，记录翅片结霜情况；通电 2h 后，则每隔 24h 开门拍照，记录冰箱翅片结霜情况。

步骤四：每隔 24h 按 GB/T 8059-2016 耗电量测试方法记录冰箱每日稳定功耗。

步骤五：重复步骤三、步骤四，直至冰箱制冷异常或运行 30 天后结束试验。

### 2.3 除霜能力试验

步骤一：环境温度设定为 30℃，湿度 87%，档位设定 4/-18。

步骤二：冰箱运行稳定后强制除霜，3 小时后冷藏每层搁架上尽最大量放入啤酒瓶，并盖上与环温相平衡的绒布，各间室门各留 15mm 的间隙，按此运行 24h。

步骤三：运行 24 小时后，去掉间隙，关闭各间室门运行 14 小时，然后开始开关门（冷藏门：5 分钟/次，开 20 秒；冷冻门：15 分钟/次，开 20 秒）试验 10 小时，然后再关门运行 14 小时，再开关门试验 10 小时，然后关门运行，直至除霜后检查翅片结霜情况。

## 3 试验结果

### 3.1 冷却速度

分别选取一台装配亲水性翅片和普通翅片的 BCD-518W 风冷冰箱产品，按冷却速度试验方法进行测试，试验结果如下。

表 1：冷藏间室降温速度

时间 (min)	温度 (°C)	
	亲水性翅片	普通翅片
0	31.7	31.6
10	30.2	31.1
20	26.6	29.4
30	22.2	27.1
40	17.7	24.4
50	13.4	21.3
60	9.6	18
70	6.3	15
80	3.4	12
90	0.8	9.1
100	-1.5	6.4
110	-3.4	4

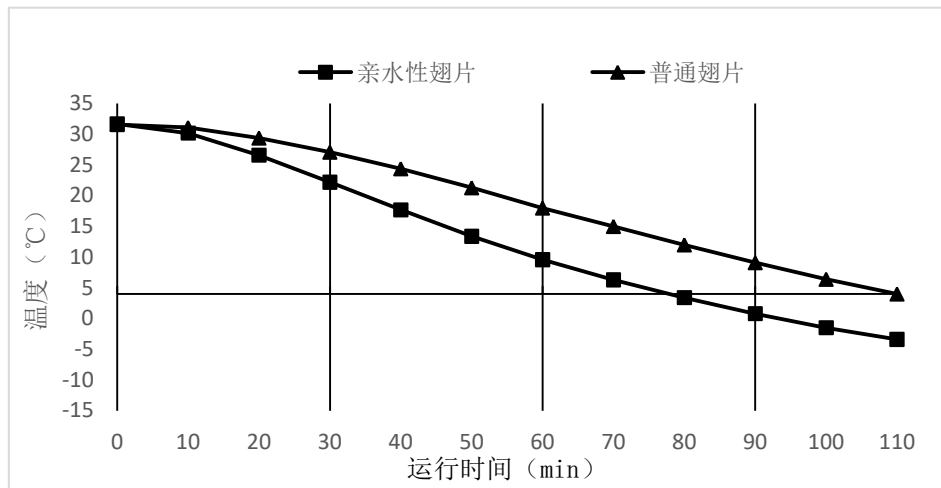


图 1: 冷藏间室降温速度

BCD-518W 风冷产品冷藏室设计储藏温度为 4℃，亲水性翅片和普通翅片的冷藏间室降温速度如表 1 所示。亲水性翅片将冷藏室温度从 32℃冷却至储藏温度仅需 78min，但普通翅片将冷藏温度从 32℃冷却至储藏温度需 109min。亲水性翅片的冷却速度为普通翅片的 140%，其冷却速度远大于普通翅片。且从图 1 可以看出，在制冷一定时间后，亲水性翅片与普通翅片的制冷能力达到平衡，冷藏室温差不再扩大。

表 2: 冷冻间室降温速度

时间 (min)	温度 (°C)	
	亲水性翅片	普通翅片
0	31.7	31.5
20	25	29.8
40	11.4	19.8
60	2	9.2
80	-3.6	1.6
100	-7.7	-3.5
120	-10.8	-7.2
140	-13.2	-10.1
160	-15.1	-12.4
180	-16.6	-14.3
200	-17.9	-15.8
220	-18.9	-17
240	-19.8	-18

260	-20.5	-18.8
280	-21	-19.5

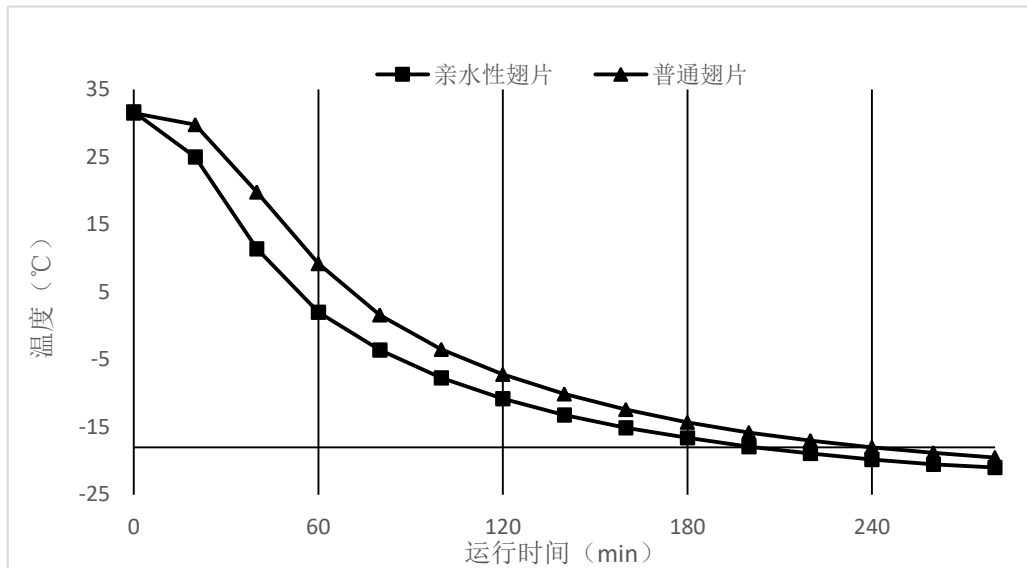


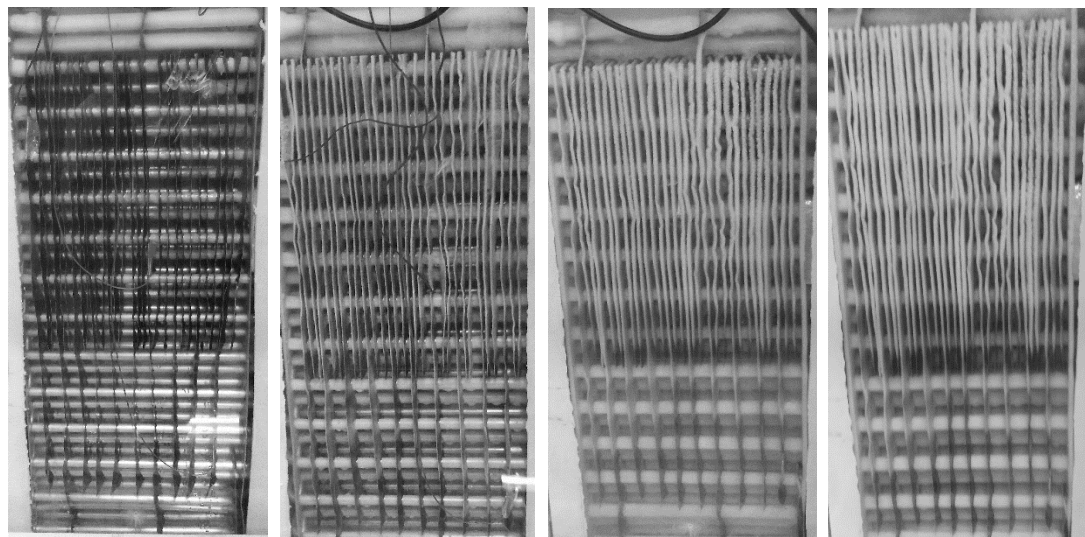
图 2: 冷冻间室降温速度

BCD-518W 风冷产品冷冻室设计储藏温度为 $-18^{\circ}\text{C}$ ，亲水性翅片和普通翅片的冷冻间室降温速度如表 2 所示。亲水性翅片将冷冻室从 $32^{\circ}\text{C}$ 冷却到储藏温度的时间为 $210\text{min}$ ，而普通翅片将冷冻室从 $32^{\circ}\text{C}$ 冷却到储藏温度的时间为 $240\text{min}$ ，亲水性翅片的冷却速度略大于普通翅片，为普通翅片的 $115\%$ 。从图 2 可以看出，前 $60\text{min}$ ，亲水翅片冷却速度远大于普通翅片，但是随着制冷时间延迟，冷冻室温度降低，因蒸发器大小相同，制冷量相同，两台冰箱冷冻室温差逐渐减小。由此说明，亲水性翅片的冷却速度大于普通翅片，但受限于制冷能力，最终冷冻室温度趋于平衡。

### 3.2 结霜过程

分别选取一台装配亲水性翅片和普通翅片的 BCD-518W 风冷冰箱，按长运试验方法进行模拟结霜试验，观察结霜过程。

如图 3 所示，冰箱产品通电运行 $1\text{h}$ 后，亲水性翅片表面干净无霜；普通翅片顶部表面出现连续大颗粒状冰珠。运行 $2\text{h}$ 后，亲水性翅片表面顶部开始出现薄膜状霜层，霜晶薄而细小；普通翅片表面布满连续大颗粒状冰珠。运行 $24\text{h}$ 后，亲水翅片表面维持薄膜状霜层，霜层略微增厚；普通翅片表面已结满霜层，且霜层表面呈颗粒状，霜层厚度约 $2\text{mm}$ 。运行 $240\text{h}$ 后，亲水性翅片顶部较密区域霜层厚度约为 $2\text{mm}$ ，霜层外表面出现颗粒状不规则冰珠，但底部较疏区域，翅片表面仅有薄膜状霜层；普通翅片表面霜层约 $6\text{mm}$ ，冷气循环通道已基本堵塞，制冷异常。运行 $720\text{h}$ 后，亲水性翅片顶部翅片霜层厚度仅为 $3\text{mm}$ ，底部仅有薄膜状霜层，制冷正常；普通翅片整个风道盖板内已全部结满霜层，制冷系统失效。



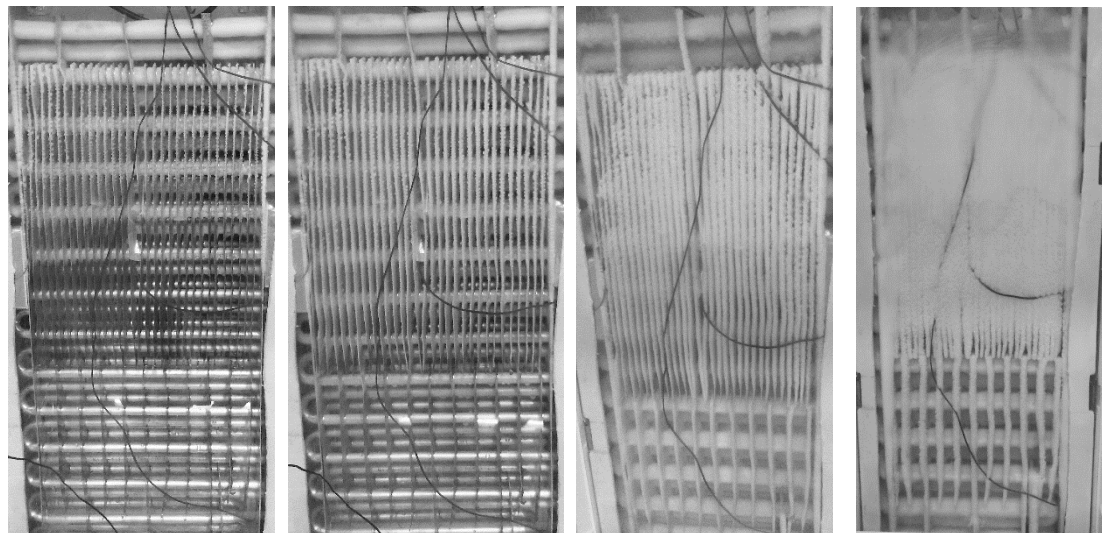
1h

2h

240h

720h

亲水翅片



1h

2h

240h

720h

普通翅片

图 3：长运试验过程图

亲水性翅片与普通翅片相比，能够有效的抑制霜晶的生长，正常运行模式下可保持 2h 内翅片表面不结霜。亲水性翅片 2h 后的结霜速度远小于普通翅片。在不进行化霜的前提下，普通翅片运行 240h 后制冷循环通道堵塞，制冷异常，而亲水性翅片运行 720h 仍能正常运行，且霜层均匀。因此通过亲水性翅片的抑霜作用，可以延长冰箱的化霜周期，从而降低冰箱化霜增量，降低冰箱运行能耗。

### 3.4 耗电量

分别选取一台装配亲水性翅片与普通翅片的 BCD-518W 风冷冰箱按长运试验方法进行测试，并每 24h 记录冰箱稳定功耗。两台冰箱的稳定功耗变化如图 4 所示，普通翅片冰箱运行前 96h，翅片结霜较少，稳

定功耗基本稳定；96h 后随着结霜量增多，稳定功耗开始略微增大；运行 168h 后，风循环通道逐渐堵塞，稳定功耗呈指数型增长。亲水性翅片冰箱因结霜缓慢，且结霜量较少，虽然稳定功耗一直处于逐步增长状态，但无指数型突变增长，且各时段稳定功耗低于普通型翅片。

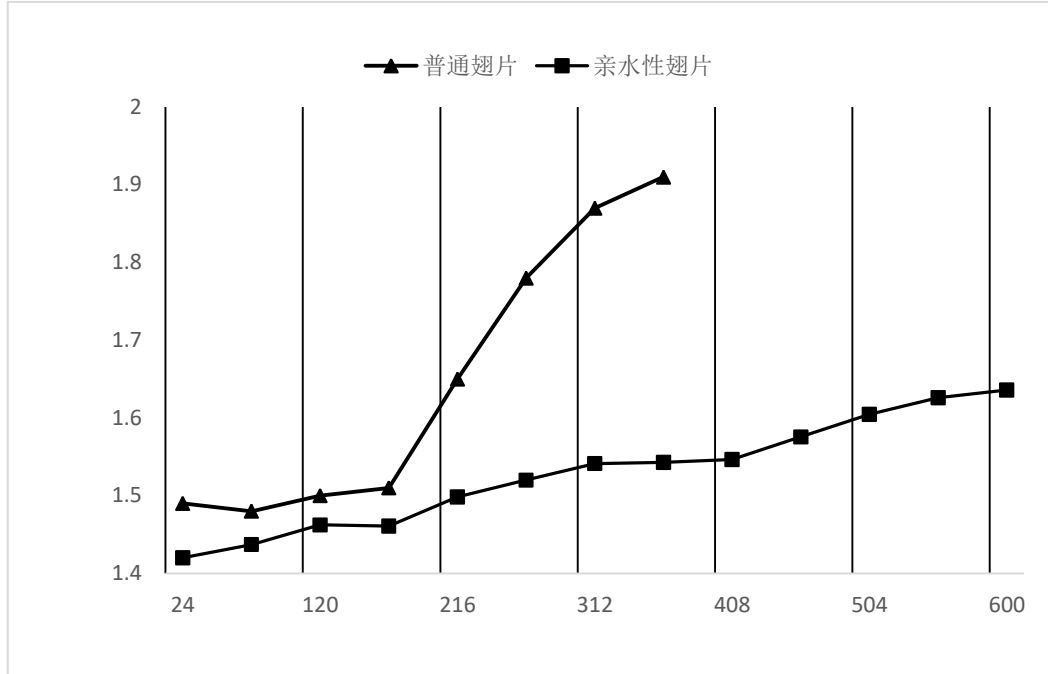


图 4: 长运稳定功耗对比

表 3: 长运稳定功耗对比

运行时间 (h)	普通翅片 (kWh/24h)	以普通翅片前 24h 耗电量为基准	亲水性翅片 (kWh/24h)	以普通翅片前 24h 耗电量为基准
24	1.49	100%	1.42	95.30%
96	1.49	100%	1.45	97.09%
168	1.51	101.34%	1.46	98.04%
240	1.72	115%	1.50	100.77%
360	1.91	128%	1.54	103.55%
600	-	-	1.63582	109.79%

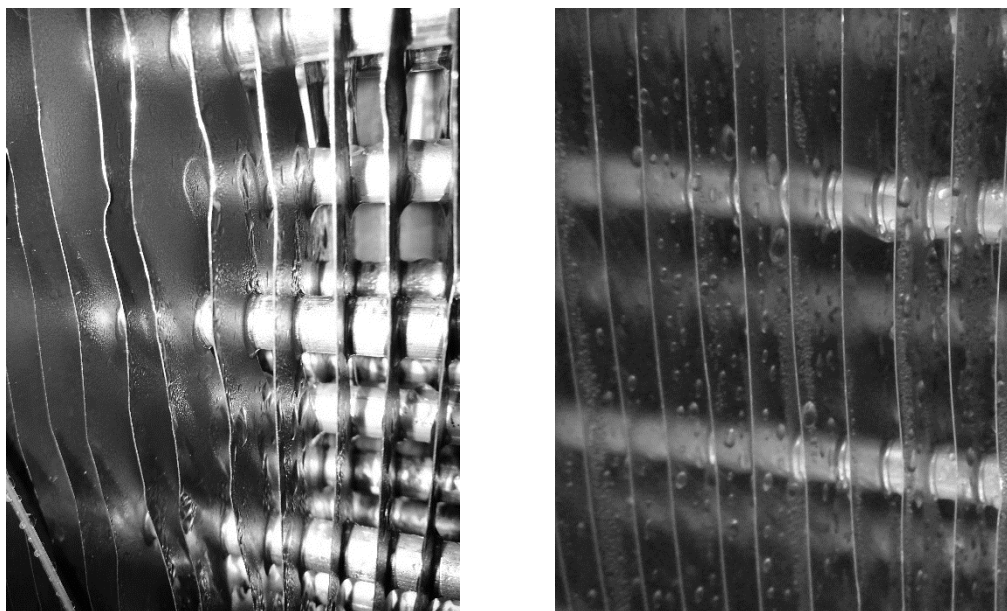
表 3 为长运试验稳定功耗对比，以普通翅片前 24h 耗电量为基准耗电量。运行 96h 后，普通翅片保持基准耗电量不变；亲水性翅片耗电量仅为基准耗电量的 97%，相比普通翅片能耗降低 3%。运行 168h 后，普通翅片耗电量为基准耗电量的 101%；亲水性翅片耗电量为基准耗电量 98%，相比普通翅片能耗降低 3%。运行 360h 后，普通翅片耗电量为基准耗电量的 128%，且制冷异常，失去制冷能力；亲水性翅片耗电量为基准耗电量 103%，相比普通翅片耗电量降低 25%。运行 600h 后，普通翅片制冷异常；亲水性翅片耗电量

仅为基准耗电量 109%，制冷正常。因此采用亲水性翅片，冰箱产品稳定功耗更低，且随制冷时间延迟，稳定功耗增长更缓。

### 3.4 化霜过程

分别选取一台装配亲水性翅片与普通翅片的 BCD-518 风冷冰箱按除霜能力试验方法进行试验，模拟冰箱的最大化霜能力，并记录其化霜过程。试验按正常模式（化霜退出温度 7℃）和低化霜退出温度模式（化霜退出温度 1℃）分别进行测试。

正常模式试验结果如图 5 所示。亲水性翅片化霜结束后翅片蒸发器周围无残冰，且翅片表面无凝水；普通翅片化霜结束后翅片蒸发器周围无残冰，但是翅片表面凝水严重，布满大小不一的颗粒状水珠，再次启动制冷时表面快速结成冰珠。因此亲水性翅片化霜效果更优异。低化霜退出温度测试结果如图 6 所示。亲水性翅片化霜结束后翅片蒸发器周围无残冰，且翅片表面无凝水；普通翅片化霜结束后翅片及管路表面均有颗粒状残冰。

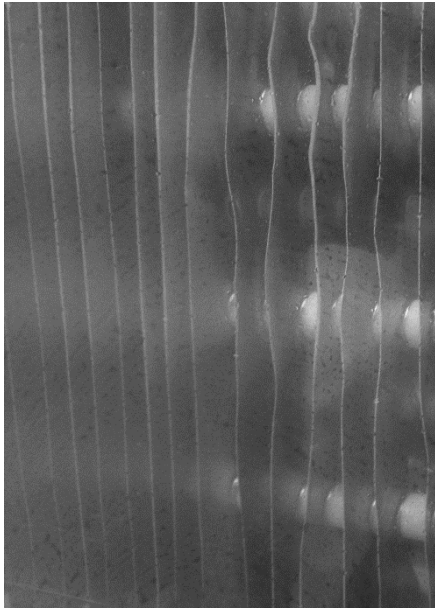


亲水性翅片

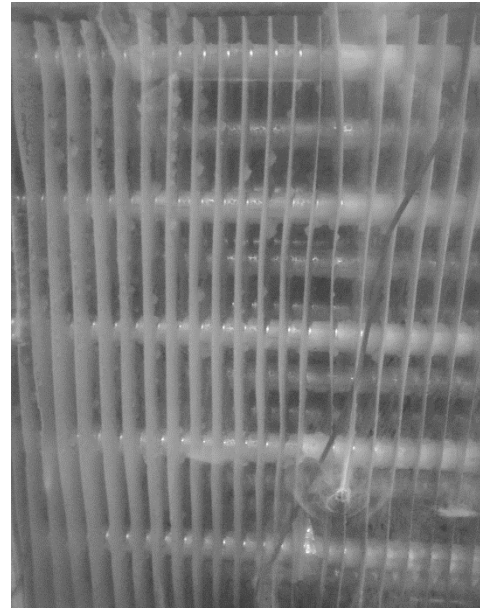
普通翅片

图 5 化霜退出温度 7℃化霜结果





亲水性翅片



普通翅片

图 6 化霜退出温度 1°C 化霜结果

根据除霜能力测试结果，采用亲水性翅片可以降低化霜退出温度，缩短化霜时间，降低化霜及化霜恢复期能耗增量，从而降低冰箱能耗。如表 4 所示，亲水性翅片化霜退出温度调整为 1°C 后，化霜时间缩短 30%，化霜及化霜恢复期时间缩短 17%，化霜及化霜恢复期能耗增量降低 15%。

表 4: 化霜过程对比

	亲水翅片	普通翅片
化霜退出温度	1°C	7°C
化霜时间	21min	30min
化霜及化霜恢复期时间	89min	107min
化霜及化霜恢复期能耗增量	109W	128W

## 4 结论

通过三个对照试验研究，可以得出以下结论：

- (1) 相同特征尺寸的亲水性翅片的制冷能力与普通翅片相当，但制冷效率远高于普通翅片。
- (2) 相同运行情况的亲水性翅片的抑霜效果远好于普通翅片。
- (3) 相同型号产品，亲水性翅片的稳定功耗远小于普通型翅片。
- (4) 相同型号产品，亲水性翅片的化霜时间短于普通翅片，化霜及化霜恢复期能耗增量小于普通翅片。

因此冰箱产品设计过程中，可以采用亲水性翅片来提高冰箱产品的制冷效率，延长冰箱产品的化霜周

---

期，降低冰箱产品稳定功耗和化霜及化霜恢复期增量，既达到了良好的抑霜效果，又响应了国家节能减排政策。

### 参考文献

1. GB/T 8059-2016. 家用和类似用途制冷器具[S]. 中国标准出版社，2016
2. D Highgate, C Knight, SD Probert. Anomalous ‘Freezing’ of water in hydrophilic polymeric structures [J]. Applied Energy, 1989, 34(4): 243-259.
3. 勾昱君, 刘中良, 黄玲艳, 王皆腾, 马重芳. 自然对流条件下新型亲水涂料的抑霜实验研究[J]. 制冷空调, 2007(12):47-52.

**通信作者简介:** 李平, 男, 1985年9月生, 毕业于哈尔滨理工大学热能与动力工程专业, 现任 TCL 家用电器(合肥)有限公司制冷性能开发高级经理, 主要从事冰箱制冷系统设计、开发及相关制冷技术研究等工作, [工作邮箱 liping7@tcl.com](mailto:liping7@tcl.com)