

# 对开门风冷冰箱能效提升研究

孙好雷<sup>1,2</sup>, 盛伟<sup>1</sup>, 高相启<sup>3</sup>, 兰庆云<sup>1</sup>, 王跃河<sup>3</sup>

(1-河南理工大学; 2-新飞电器有限公司; 3-河南新科隆电器有限公司)

**摘要** 针对冰箱新标准发布前开发的某款风冷冰箱在新标准执行后能效等级偏低的问题, 对该款冰箱更换变频压缩机, 同时兼顾 16°C 和 32°C 两个工况高效运行, 并对风道、除霜控制策略、冰箱开停控制等进行了改进, 通过以上措施该款冰箱室内温差减少 2°C 以上、化霜能耗降低 5% 左右、化霜间隔增加 20% 以上, 耗电量明显降低, 使该款冰箱达到新一级能效水平。

**关键词** 风冷冰箱 能效 风道 除霜

## ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OF AIR-COOLED REFRIGERATOR

SUN Haolei<sup>1,2</sup> SHENG Wei<sup>1</sup> GAO Xiangqi<sup>3</sup> LAN Qingyun<sup>1</sup> WANG yuehe<sup>3</sup>

(1. School of mechanical and power engineering, Henan Polytechnic University Jiaozuo 454000; 2. Henan Xinfei Electric Co. Ltd Xinxiang 453002; Henan Xin Kelong Electric Co. Ltd Xinxiang 453002)

**Abstract** In view of the problem that the energy efficiency grade of an air-cooled refrigerator developed before the new standard of refrigerators is implemented, the efficiency level of the new standard is low after the new standard is implemented. By changing the frequency conversion compressor of the refrigerator at 16 and 32 centigrade, the efficiency of the refrigerator is improved, the air duct is improved to reduce the indoor temperature difference, the defrosting control strategy is changed to reduce the energy consumption of the frosting and the hydrophilic treatment of the evaporator. In this section, the temperature difference of the refrigerator is reduced by 2 degrees centigrade, the energy consumption of the frost is reduced by about 5%, the interval of the frost is increased by more than 20%, and the consumption of the refrigerator can be reduced to a new level of new energy efficiency through the above measures.

**Keywords** Air-cooled refrigerator Energy efficiency Promote

## 0 前言

冰箱新的能效标准 GB 12021.2-2015 和 GB/T 8059-2016 发布后, 冰箱的测试方法和之前发生了明显的变化, 节能水平明显提高, 特别是一级能效的冰箱能耗要求下降 40% 左右<sup>[1]</sup>, 原有的一级能效冰箱按照新的标准测试只能达到 2 级甚至是 3 级的能效水平, 因此对原有的冰箱进行能效升级势在必行。

## 1、原有风冷冰箱能效状况分析

原有一款 BCD-560W 风冷对开门冰箱, 冷藏室容积 354L, 冷冻室容积 206L, 依据 GB 12021.2-2008 标准进行测试, 耗电量为 0.98kW·h/24h, 为一级能效冰箱<sup>[2][3]</sup>, 按照新的能效标准进行测试, 2 级能效就略显不足, 只能满足 3 级能效要求<sup>[4][5]</sup>, 离新的一级能效要求相去甚远。如果想使该冰箱能够满足新的一级能效标准, 在不改变箱体的情况下必须进行全面优化。

## 2、改进措施及分析

### 2.1 风道结构优化, 使箱内温度更加均匀

由于此款对开门冰箱内部上下距离超过 1.5m, 通过对原有风道进行优化, 改进送风方式, 增大送风面积, 减少循环风死角, 通过以上措施箱内温差由 5°C 左右减小到 3°C 左右。

### 2.2 气候类型优化, 增大基准耗电量

原有的冰箱最高温度气候类型为 ST 型, 冰箱箱标准能效指数

$$\eta_s = \frac{E_s}{E_{base}} \times 100\%$$

$E_s$  --- 标准耗电量

$E_{base}$  --- 基准耗电量

在标准耗电量不变的情况下, 基准耗电量越大冰箱的标准能效指数就越小, 虽然冰箱能效等级由标准能效指数和综合能效指数两个指标共同进行评价, 但综合能效指数要求较低, 而标准能效指数是冰箱最难达到的指标, 因此降低标准能效指数是提升冰箱能效等级的关键所在。

经实际测试原有的冰箱系统的确仅能满足 ST 气候类型要求, 在 T 型工况下该冰箱冷冻室不能满足储藏温度试验要求, 但差距不大, 而该冰箱 ST 气候类型一级能效的限定耗电量为  $0.814 \text{ kW} \cdot \text{h}/24\text{h}$ , 如果该冰箱能够做到 T 气候类型, 一级能效的限定耗电量为  $0.871 \text{ kW} \cdot \text{h}/24\text{h}$ , 所以如何使该冰箱能够满足 T 型工况尤为重要, 而在不能改变箱体情况下常用的方法为增加真空绝热板、增大压缩机排量等。真空绝热板价格较高, 而此款冰箱箱体又大, 如果增加真空绝热板, 成本上升非常明显。增大压缩机排量虽然能够使该冰箱在 T 型工况下满足储藏温度要求, 但是由于压机排量会增大该冰箱的标准耗电量, 标准耗电量增大又不利于减小标准能效指数。

经过最终对比发现, 只有冷冻室底部部分空间在 T 型工况测试时不能满足储藏温度试验要求, 最终采用将底部两个抽屉作为二星级室, 如图 1 虚线处所示, 冷冻室下方作为二星级间室, 上方作为四星级室, 冰箱右侧为冷藏室, 这样在没有增加成本的情况下冰箱的一级能效限定耗电量变为  $0.866 \text{ kW} \cdot \text{h}/24\text{h}$ , 基准耗电量增大了 6%。

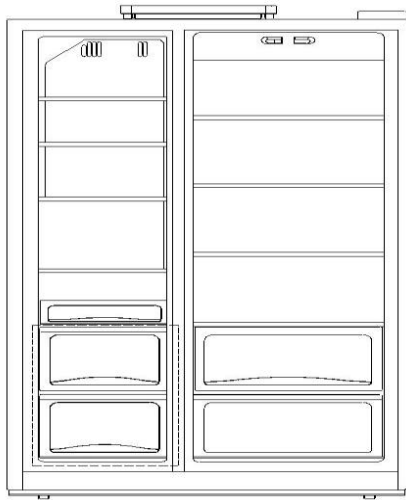


图 1 虚线处为二星级室

### 2.3 高效变频压缩机的选用

由于新的测试方法要求在  $16^\circ\text{C}$  和  $32^\circ\text{C}$  两个环温下共同测试进行加权计算, 定频压缩机已无法满足两个环温均高效运行的要求, 高效变频压缩机成为首选。

### 2.4 运行控制参数优化调整

#### 2.3.1 环温为 $16^\circ\text{C}$ 时的参数调整

在  $16^\circ\text{C}$  时整个箱体的热负荷较小, 通常冰箱在这个温度下开机率就不是很高, 而冰箱开机率越高在相同时间内压机开停次数就较少, 开停机的损失也就小了<sup>[6]</sup>, 冰箱耗电量就越低, 为了尽可能提高

冰箱的开机率, 降低冰箱耗电量<sup>[7]</sup>, 目前的变频冰箱压缩机最小制冷量依然严重富裕, 直接采用变频压缩机的最低转速就能轻松满足制冷要求, 该冰箱采用加西贝拉 VNX1116Y 变频压缩机, 最低转速为  $25\text{Hz}$  在稳定时直接按照最低转速进行控制即可。由于二星级室在冷冻室内不能单独进行调整, 将冷藏和冷冻室根据温度设定进行开停, 使箱内积分平均温度低于特效温度并留有足够的余量抵消化霜时产生的温升即可。

#### 2.3.2 环温为 $32^\circ\text{C}$ 时的参数调整

在  $32^\circ\text{C}$  时箱体热负荷明显增大<sup>[7]</sup>, 最低转速已经不能满足冰箱负荷要求, 这时既要考虑合理的开停, 又要使压缩机运行在高效转速范围, 通过压缩机控制规格书发现随着转速的降低冰箱压缩机在低于  $3000\text{rpm}$  时能效基本维持不变, 表 1 所示。所以满足冰箱特性温度提高开机率依然是最佳方案。

表 1 压缩机在不同转速下的制冷量和能效

测试工况	ASHRAE			
转速范围(RPM)	1600-4500			
转速(RPM)	1600	2400	3000	4500
制冷量 (W)	112	168	205	290
输入功率 (W)	60	91	111	171
COP(W/W)	1.85	1.85	1.85	1.65

#### 2.3.3 化霜优化

由于化霜的能耗作为冰箱耗电量的一部分, 所以化霜的能耗和化霜间隔都对冰箱的日耗电量有着重要的影响。

$$E_{daily} = P \times 24 + \frac{\Delta E_{df} \times 24}{\Delta t_{df}}$$

$E_{daily}$  --日耗电量, 单位为瓦时每天 ( $\text{W} \cdot \text{h}/\text{d}$ );

$P$  --稳定状态的功率, 单位为瓦 ( $\text{W}$ );

$24$  --每天的小时数;

$\Delta E_{df}$  --化霜及恢复期耗电量增量, 单位为瓦时 ( $\text{W} \cdot \text{h}$ );

$\Delta t_{df}$  --化霜间隔, 单位为小时 ( $\text{h}$ )

改进化霜策略、采用整体翅片提升化霜效率, 合理控制化霜温度, 减少无用的能耗, 使冰箱化霜期间的能耗降低 5%。无用化霜能耗不但会消耗电能, 而且会提升箱内的温度, 需要冷量将多余的热量进行移除。

减少蒸发器结霜量对蒸发器表面进行亲水处理可以减少结霜, 延长化霜间隔 20% 以上。

## 3. 参数改进及验证

### 3.1 不同频率对 $32^\circ\text{C}$ 耗电量的影响

由于 16℃ 采用的最低频率已能轻松满足间室温度的要求无须再反复调整，所以 32℃ 是频率调整的主要对象，表 2 为在不同频率下 1# 和 2# 冰箱的日耗电量。

表 2 压缩机不同频率下的日耗电量

频率: Hz	36	34	32	29	28	27
耗电量: kw · h/24 (1#)	1.125	1.122	1.121	1.12	1.114	1.1
耗电量: kw · h/24 (2#)	1.139	1.133	1.13	1.13	1.117	1.11

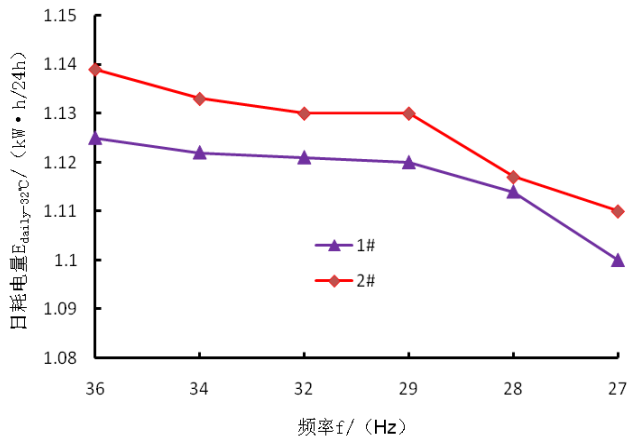


图 2 日耗电量与运行频率关系

### 3.2 间室内不同温度对日耗电量的影响

间室内平均温度必须低于特性温度，根据冰箱热负荷公式，间室内温度低于特性温度越多，箱体的热负荷也越大，所以间室温度内温度应该尽量接近特性温度，同时由于风冷冰箱化霜时会造成箱内温度上升。

$$T_{average} = T_{ss} + \frac{\Delta T h_{df}}{\Delta t_{df}}$$

$T_{average}$  -- 一个完整化霜控制周期内间室的平均温度，单位为摄氏度 (°C)；

$T_{ss}$  -- 稳定状态的温度，单位为摄氏度 (°C)；

$\Delta t_{df}$  -- 化霜间隔，单位为小时 (h)；

考虑到化霜及恢复期温度的上升，稳定时的状态的间室内各个温度点的平均温度应低于特性温度 0.2~0.4℃ 为宜。

### 3.3 冷冻室不同温度对化霜及恢复期增量的影响

由于该制冷系统只有一个蒸发器在冷冻室内，蒸发器的化霜主要依据冷冻室盘管的温度和压缩机逻辑运行时间进行综合控制，蒸发器上温度传感器的

温度的高低对化霜时间有直接的影响，最终反映在化霜及恢复期耗电量增量  $\Delta E_{df}$  上，如表 3 所示冷冻室温度越低化霜所消耗的电能越多。

1#	冷冻室温度/℃	-18.7	-18.6	-18.5	-18.4	-18.2
	化霜耗电量 wh	180.9	173.6	160.8	153.9	148.7
2#	冷冻室温度/℃	-18.7	-18.6	-18.4	-18.3	-18.3
	化霜耗电量 wh	215.2	203.5	191.4	190.3	179.6

温度的高低对化霜时间有直接的影响，最终反映在化霜及恢复期耗电量增量  $\Delta E_{df}$  上，如表 3 所示冷冻室温度越低化霜所消耗的电能越多。

表 3 冷冻室温度和化霜耗电量

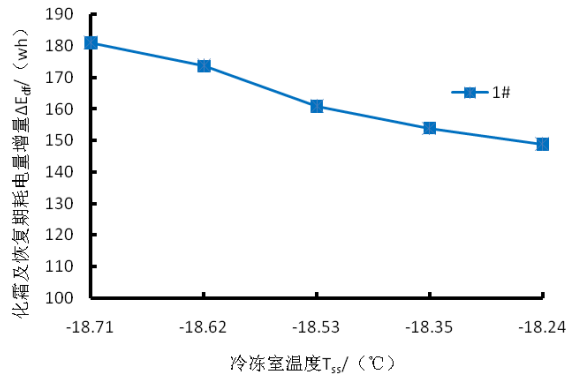


图 3 冷冻室平均温度与耗电量 (1#)

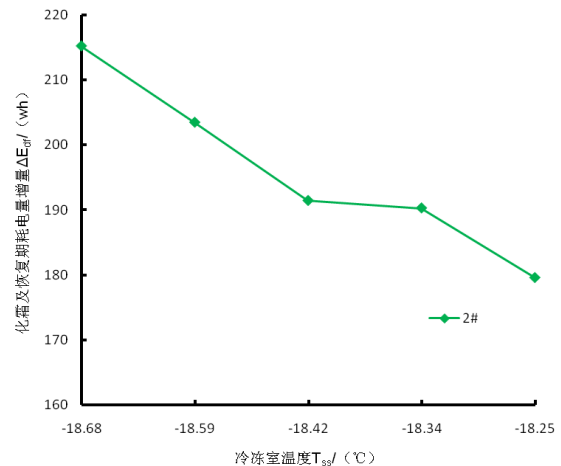


图 4 冷冻室平均温度与耗电量 (2#)

### 3.4 不同开停区间对耗电量的影响

根据控制逻辑将 -2℃ 到 2℃ 按照每 0.5℃ 划分为一个温区，按照控制逻辑设定值加上温区对应的温度，低于停机温区与设定值之和对应的温度时停机，高于设定值与开机温区之和对应的温度时开机，较大的开停温差虽能满足要求，但会导致停机时箱内温度较低，而箱内和室外的温差越大一方面会造成热负荷上升，另外一方面会造成制冷能效较低，经过对比测试发现，不同的开停温区虽然都能满足间室平均温度的要求，但合理的温度开停依然能够起

---

到节约冰箱能耗的效果,当开停温区差值为 2,即开机和停机时间室内温差为 1℃时冰箱的能效较高。

## 4 结论

本文分析了在新的标准下,提升冰箱的能效水平的方式和方法,通过多种途径将冰箱的耗电量从 3 级能效提升为 1 级能效,以上分析验证表明:

(1) 满足新的 1 级能效,冰箱须采用变频压缩机,定频压机已无法保证 16℃和 32℃两个测试工况下均高效运行;

(2) 冰箱的气候类型要尽可能满足 T 型,增大基准耗电量,同时优化化霜效率和化霜间隔减少不必要的能耗;

(3) 冰箱开停温差在 1℃比较合理,冰箱稳定状态的平均温度应低于特性温度 0.2~0.4℃;

## 参考文献

- [1] 泊松. 电冰箱新能效标准与节能关键技术探讨[J]. 家电科技, 2017(4):36
- [2] GB 12021.2-2008 家用电冰箱耗电量限定值及能源效率等级[S]
- [3] GB 12021.2-2015 家用电冰箱耗电量限定值及能源效率等级[S]
- [4] GB/T 8059.2-1995 家用制冷器具 冷藏冷冻箱[S]
- [5] GB/T 8059-2016 家用和类似用途制冷器具[S]
- [6] 沈维道, 蒋智敏, 童钧耕[M]. 工程热力学, 高等教育出版社, 2001
- [7] 吴业正. 制冷原理及设备[M]. 西安交通大学出版社, 2004