

# 浅析往复式冰箱压缩机节能的新方法

盛正堂 何四发 李勃 胡小强 翟竞魁 胡健  
(华意压缩机股份有限公司 江西景德镇 333000)

**摘要:** 随着冰箱节能的要求不断提升,国家冰箱测试能耗的新标准出台(要求更高),欧美等也纷纷提出节能的规划,都对冰箱的节能提出更高的要求,而压缩机为冰箱的心脏,对冰箱的能耗占取60%以上的比例,因此冰箱压缩机的节能方法对冰箱节能起着至关重要的作用。过去对冰箱压缩机的节能研究,国内外均开展了一系列研究,取得了许多进展,但是需要再进一步节能,难度越来越大。笔者从多个方面及目前压缩机行业最新进展和新的方法加以浅析。

**关键词:** 机械摩擦;冰箱和压缩机一体化技术;吸气过热;压缩机排油

## A brief analysis of the new energy saving method for reciprocating refrigerator compressor

SHENG Zhengtang HE Sifa LI Qing HU Xiaoqiang ZHAI Jingkui HU Jian  
(Huayi Compressor Co., Ltd. Jingdezhen 333000)

**Abstract:** with the update of energy saving requirement of freezer, the requirement of the new national energy consumption test standard for refrigerator is higher, furthermore The EU and the United States have also put forward new energy-saving plan, both have asked for higher standard for the refrigerator, as the heart of refrigeration system, the energy consumption of compressor power takes up over 60%, thus the energy-saving method of compressor plays a crucial role on the refrigerator energy saving. In the past few years, the research on the energy saving of the refrigerator compressor has been carried out at home and abroad, and made a lot of progress, but the progress has hit a bottleneck, and the difficulty increases. In this thesis, the author introduced and analyzed the latest development and new methods from different aspects of compressor industry to reduce the energy consumption.

**Keywords:** Abrasion of mechanical kits; Integrated technology of compressor and freezer; Suction overheat; Oil extraction of compressor

### 1 概述

往复式冰箱压缩机节能,主要从几个重要的方面入手,提升压缩机的能耗比COP,减少压缩机排油,改善压缩机的设计最佳设计工况(与实际工况一致)等。提升压缩机的COP可以从机械效率、电机效率、吸气过热、吸排气压力损失等方面进行,压缩机的排油可以从压缩机的油路等方面加以改善,压缩机设计工况源自冰箱实际

运行的工况点进行。

### 2 提升压缩机COP的方法

#### 2.1 简析压缩机COP的理论值

如图1所示,冰箱制冷系统的理论循环为0-1-2-5-6-3-4-0;实际循环为0-1-1''-2''-7-5-6-3-4-0-1-1''表示吸气管路流动阻力和吸气过热对压缩机入口点状态参数的影响。为了理解上

的方便,将1-1''分为1-1'和1'-1'',其中:1-1'表示吸气过热对压缩机入口点状态参数的影响;1'-1''表示吸气管路流动阻力对压缩机入口点状态参数的影响;2''-7表示排气管路流动阻力对压缩机出口点状态参数的影响。P5=P6=P3为标准冷凝压力;P4=P1为标准蒸发压力;1为压缩机进气管入口点;1''为吸气过程终了点;2''为压缩过程终了点。

单位质量的制冷剂通过蒸发器的制冷量  
(kJ/kg):  $q_{0m}=h_1-h_4$ 。

压缩机把单位质量的制冷剂从蒸发压力绝热压缩到冷凝压力的理论耗功(kJ/kg):

$$W_{is}=h_2-h_1。$$

由于实际压缩过程偏离等熵过程消耗的指示功(kJ/kg):  $W_i=h_2-h_1'$ 。

则压缩机的绝热指示效率:  $\eta_i=(h_2-h_1)/(h_2-h_1')$ 。

由原动机传到压缩机主轴上的轴功(kJ/kg):

$$W_e=w_i+w_m。$$

式中:  $w_m$ 为克服摩擦所耗的功, kJ/kg。

压缩机的机械效率:  $\eta_m=w_i/w_m$ 。

电机的输入功(kJ/kg):  $W_{el}=w_e/\eta_{m0}$

式中:  $\eta_{m0}$ ——电机效率。

性能系数:

$$COP = \frac{q_{0m}}{w_{el}} = \eta_i \eta_m \eta_{m0} \quad COP_0 = \eta_i \eta_m \eta_{m0} \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_1'}$$

## 2.2 吸气过热的影响

从上述内容可以知道, 吸气过热对压缩COP影响很大, 理论分析证明: 吸气过热度每增加10°C, COP降低2~3%, 减少吸气过热是提升压缩机COP的重要途径:

(1) 最新的直接吸气技术可以大幅度的减少吸气过热, 传统压缩机采用的都是半直接吸气方式, 一般的直接吸气结构COP可以提升1.5%, 直接吸气结构的新技术: COP可以提升高达3.0%以上(图2所示为最新结构之一)。表1为不同消声器的实验对比数据。

(2) 采用最新的隔热技术: 吸排气的温差采用隔热缸头结构(如图3所示), 可以有效减少排气温度对吸气的热传递, 从而减少吸气过热, 可使压缩机COP提升约1%。表2为不同缸头结构试验数据对比。

(3) 采用塑料阀板技术: 目前为最新技术, 可以使压缩机COP提升2%。

(4) 定点散热技术: 目前为最新技术, 且已获国家发明专利授权; 通过定点散热结构(如图4所示), 实现曲轴箱缸孔和活塞温度明显下降, 缸孔内低温制冷剂被加热的温度明显减少, 压缩机的效率提升约1.5%。表3为不同散热结构试验对比。

表1 不同消声器的实验对比数据

编号	型号	制冷量	功率	电流	COP	备注
半直接吸气消声器						
1#	HYE50M	96.5	50.0	0.23	1.93	
2#	HYE50M	97.2	50.6	0.23	1.92	
常用的直接吸气消声器						
1#	HYE50M	96.8	49.4	0.23	1.96	COP提升1.5%
2#	HYE50M	98.1	50.3	0.23	1.95	
最新的直接吸气消声器						
1#	HYE50M	96.8	48.6	0.22	1.99	COP提升3.0%
2#	HYE50M	98.1	49.5	0.22	1.98	

表2 不同缸头结构试验数据对比

编号	型号	制冷量	功率	电流	COP	备注
普通缸头结构						
1#	72YD	245	137.6	0.43	1.78	R134a
2#	72YD	246.1	137.5	0.43	1.79	
隔热缸头新技术						
1#	72YD	245.3	136.3	0.43	1.80	R134a, COP提升约1.0%
2#	72YD	246.5	136.1	0.43	1.81	

表3 不同散热结构试验对比

编号	型号	制冷量	功率	电流	COP	备注
目前普通结构						
1#	HYE55YT	158.4	95.4	0.43	1.66	
2#	HYE55YT	158.4	96.0	0.43	1.65	
最新的定点散热结构						
1#	HYE55YT	158.4	94.3	0.42	1.70	COP提升1.5%
2#	HYE55YT	158.4	94.9	0.43	1.68	

表4 不同曲柄连杆机构试验数据对比 (R600a)

编号	型号	制冷量	功率	电流	COP	备注
目前的曲柄连杆机构						
1#	HYD60	103.2	53.2	0.43	1.94	
2#	HYD60	104.1	53.9	0.43	1.93	
变形补偿的曲柄连杆机构						
1#	HYD60	102.9	52.5	0.43	1.96	COP提升约1.0%
2#	HYD60	104.3	53.5	0.43	1.95	

表5 不同流场消声器试验数据对比 (R600a)

编号	型号	制冷量	功率	电流	COP	备注
流场1						
1#	HYD60	104.5	53.3	0.43	1.96	
2#	HYD60	103.9	52.7	0.43	1.97	
流场4						
1#	HYD60	104.3	52.7	0.43	1.98	COP提升约1%
2#	HYD60	103.5	52.0	0.43	1.99	

## 2.3 机械摩擦影响

从上述公式可以看出, 摩擦功影响很大, 在提升机械效率的方法上有下面几点。

(1) 采用低粘度的冷冻油

ISO5: 与ISO7油相比COP可以提升1%;

ISO2: 目前正在开发ISO2最新的油, COP可以再提升1%, 但是在开发低粘度的油, 可以注意调整抗磨剂等成份配比, 及苛刻的使用寿命条件。

(2) 采用关节轴承结构

止推滚动轴承虽然可以提升COP, 但是存在单个滚珠滚动现象, 设计良好的关节轴承结构, 为目前国内最新技术(已获国家发明专利授权), 可以在此基础上提升1.5%以上。

(3) 缸孔变形仿真最新研究

理论分析和实践证明, 由于在压缩过程中, 活塞两端在吸排气压力差作用下和零件形状公差影响, 使活塞和气缸孔间的间隙在园周上分布不均匀, 在活塞外周上各点相应的密封长度上其

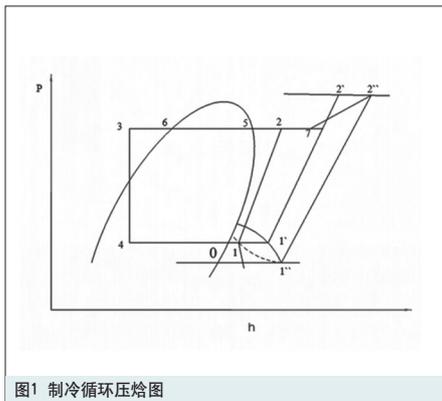


图1 制冷循环压焓图

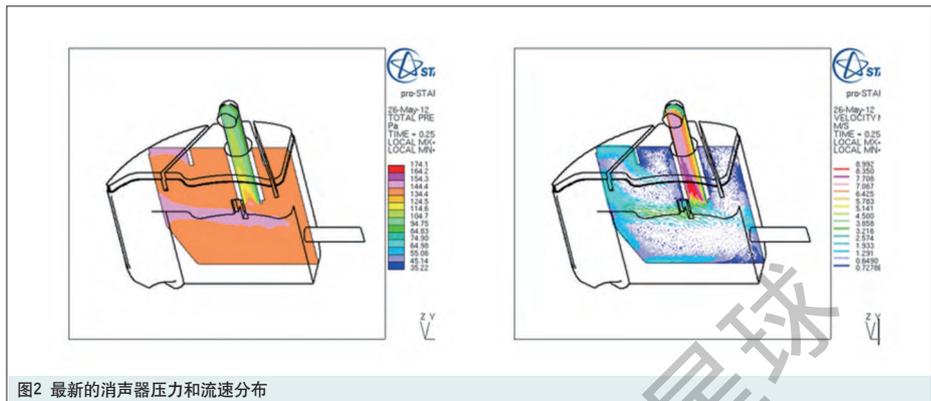


图2 最新的消声器压力和流速分布

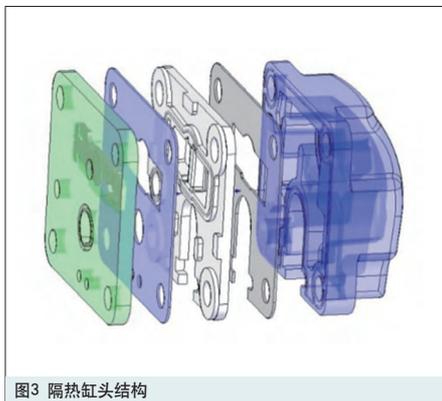


图3 隔热缸头结构

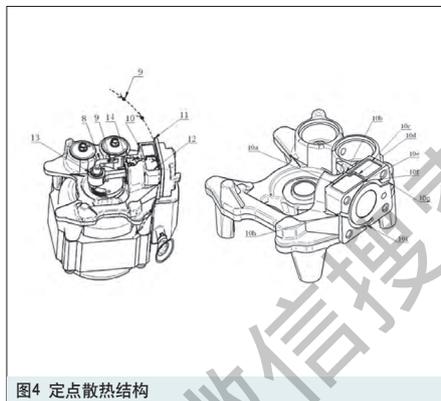


图4 定点散热结构

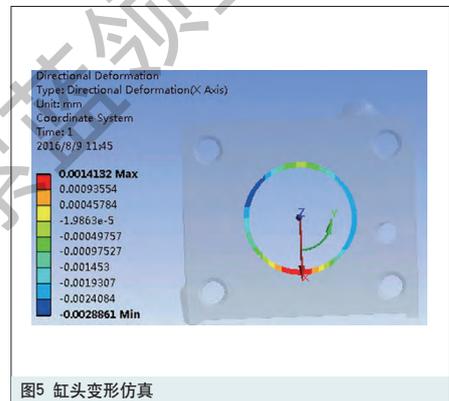


图5 缸头变形仿真

压力衰减的函数不同,导致径向压力不平衡,产生径向力,甚至产生边界摩擦和干摩擦,功率损失明显加大并伴发出极大的异常噪声。缸孔的4个螺栓扭矩的作用下,缸孔都会发生不同程度的变形(如图5所示),缸孔变形会加剧上述现象,最新研究发现,通过改变垫片的形状、结构等可明显改善缸孔变形现象,从提升压缩机COP。

#### (4) 变形补偿技术:最新技术

曲柄连杆机构变形补偿和缸头变形补偿技术,通过零件间变形补偿来使得综合变形和运动副摩擦最小化,从而提高压缩机效率(如图6所示)。表4为不同曲柄连杆机构试验数据对比(R600a)。

### 2.4 吸、排气压力损失

减少吸、排气压力损失,对提升压缩机COP很重要,特别是吸气压力损失显得尤为重要:

#### (1) 合理流道设计

对消声器要同时考虑消声的效果的同时,将吸气压力损失最少化,可以从各管道管径、腔结

构、压缩机的制冷剂的流速及消声器的传递损失综合衡量。可以采用fluent、virtual.lab等仿真软件进行可以进行总压损失计算。

#### (2) 基于消声器流场的研究

通过仿真和实验结合研究,发现通过改善消声器内部的流程场分布,可以明显改善提升压缩效率,COP提升幅度约有1.0%(如图7所示,流场4的效果明显高于其他几种形态)。表5为不同流场消声器试验数据对比(R600a)。

## 3 压缩机排油影响

### 3.1 压缩机排油的影响

目前绝大部分制冷压缩机,都是采用冷冻油进行润滑。但是,在压缩机工作时,冷冻油会有一部分形成油滴微粒与制冷剂蒸汽随着压缩机的气缸运动一起从排气口排出,进入制冷系统。进入制冷系统的润滑油会在换热器的流道壁内侧形成油膜从而降低传热效率,另外部分制冷剂溶解在油中不蒸发也影响了制冷效率;同时由

于冷冻油不产生相变,无制冷效果,使得系统制冷效率下降。在冰箱上的体现就是耗电量增加,制冷效果下降,回气管结霜等,严重的会导致毛细管油堵现象

### 3.2 改善压缩机排油的方法

#### (1) 合理的活塞与缸孔配合间隙

普通冰箱压缩机气缸孔和活塞配合间隙 $7.0\sim 9.0\mu\text{m}$ 由于高效型R600a压缩机采用低粘度润滑油,减小活塞与气缸孔的配合间隙,减少润滑油的排出量。从实际运用的情况看,配合间隙调整到 $5.0\sim 6.5\mu\text{m}$ 会取得比较好的效果。

#### (2) 有效密封面长度

活塞前端的密封面长度的设计对活塞与气缸孔之间的密封起到很大的作用,但为了降低摩擦损耗,需减少其密封面,因此在设计时必须要考虑两者之间的平衡。

#### (3) 减少缸孔减变形

缸孔变形主要是由于四个缸头螺栓在扭紧时而产生,目前几乎不可避免这种现象,改善由

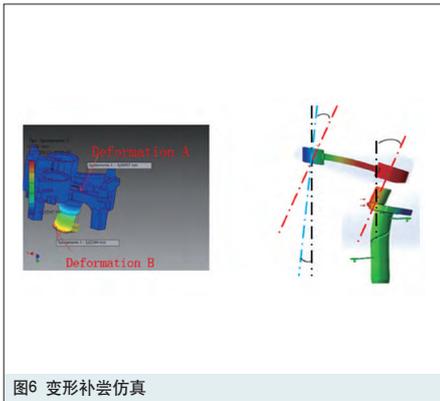


图6 变形补偿仿真

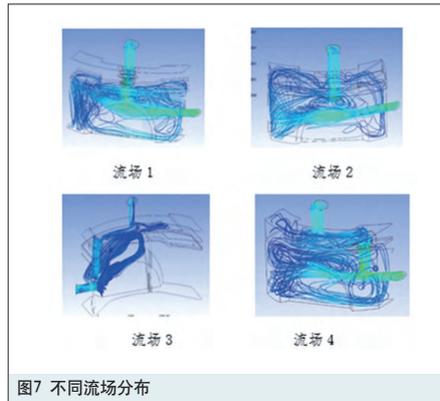


图7 不同流场分布

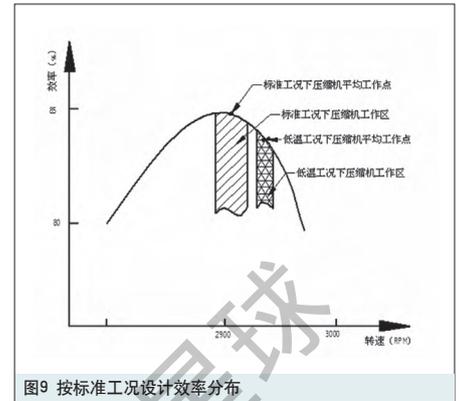


图9 按标准工况设计效率分布

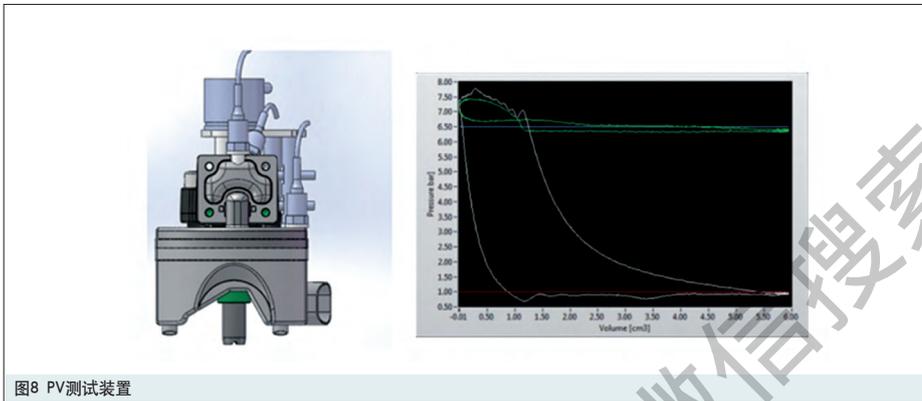


图8 PV测试装置

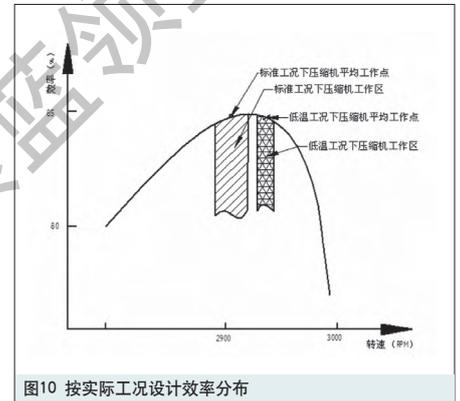


图10 按实际工况设计效率分布

轴箱铸造工艺减少气孔、缩松，提升曲轴箱的抗拉强度，改善缸头的结构（结构加强或补偿变形等），合理的螺栓扭矩（在能满足泄漏要求的烘干扭矩下，尽量小）等措施来提升其强度，达到减少缸头的变形，对减少排油作用有直接作用。

#### (4) 改善油路结构

绝大部分冰箱压缩机采用都是浇油润滑活塞的方式，传统的结果易产生油飞溅，被吸入压缩机缸内，优化油路结果，和改善油飞溅的形状有很明显的作用，优秀的油路结构比传统结果可以减少60%以上的排油。

#### (5) 消声器的密封

焊接的消声器与插接的消声器结构比较，采用焊接的消声器密封性更好，更利于减少排油。

### 4 PV测试技术的应用

PV测试技术是研究制冷压缩机运行性能以及进行状态检测的重要工具，准确地采集气缸内压力信号并对其进行统计或热力学分析，将实际

测试的PV曲线与理论PV图结合对比（如图8所示），从实际PV曲线上找出产品存在的问题，进行改进提高，是制冷压缩机产品设计、优化改进的重要依据。

### 5 冰箱和压缩机一体化设计技术

大部分压缩机设计都是根据ASHRAE工况即标准工况来设计，即蒸发温度是 $-23.3^{\circ}\text{C}$ ，冷凝温度是 $54.4^{\circ}\text{C}$ ，而实际冰箱设计运行工况很多都不在这个工况点上，出现压缩机效率最高点不能在冰箱实际工况上运行，目前许多冰箱公司采用工况是蒸发温度是 $-28^{\circ}\text{C}$ ，冷凝温度是 $40^{\circ}\text{C}$ ，及蒸发温度是 $-28^{\circ}\text{C}$ ，冷凝温度是 $35^{\circ}\text{C}$ 。这样出现压缩机设计效率高，但实际工作效率低的现象。

在某款型号的压缩机上，根据冰箱运行工况时的负载，在不增加电机成本的前提下，通过优化电机，提升了冰箱运行工况下电机效率1.82%。可见冰箱和压缩机一体化设计技术在节

能方面更具有优势。

### 6 总结

冰箱节能是一个持久的技术方向，可以从多个方面入手，压缩机的COP值，压缩机的排油，冰箱和压缩机的一体化技术等方面；压缩机的COP值提升可以从减少机械摩擦、吸排气压力损失、吸气过热和提升电机效率等方面入手；同时上述最新的技术和一体化技术是目前节能的趋势。

#### 参考文献

- [1] 温诗铸, 黄平. 摩擦学原理. 清华大学出版社第3版.
- [2] 郁岚. 热工基础与流体力学. 中国电力出版社.
- [3] 刘东. 小型全封闭制冷压缩机. 科学出版社.
- [4] 盛正堂. 超高效率复式冰箱压缩机的新技术止推关节轴承. 家电科技.
- [5] 盛正堂. 变频冰箱压缩机的摩擦分析和新技术——磁悬浮轴承. 家电科技.
- [6] 郝杰. 提高冰箱压缩机COP值的理论分析. 流体机械.
- [7] 黄跃进. 小型制冷压缩机排油量测试方法的研究. 压缩机技术.