

# R600a变频冰箱压缩机的油路设计

崔磊

(华意压缩机股份有限公司 江西景德镇 333001)

摘要:当今冰箱压缩机变频化趋势逐渐体现出来,而变频压缩机由于其变转速的特性,决定了其润滑油泵能力与定频压缩机的差异;本文旨在分析变频压缩机油路的特性,从润滑油的选择、压缩机离心泵泵油能力方面来讨论变频压缩机的油路设计方法。

关键词:变频冰箱压缩机;冷冻油;离心泵

## Oil pump system design of R600a inverter refrigerator compressor

Cui Lei

(Huayi compressor limited by share Ltd Jiangxi Jingdezhen 333001)

Abstract:The inverter refrigerator compressor trend gradually manifested,and inverter refrigerator compressor due to its characteristics of variable speed,determined its different oil pump system from fixed frequency compressor,this paper aims to analyze the characteristics of variable inverter refrigerator compressor oil pump system ,to discuss the oil pump system design method of inverter compressor from the aspects of selection of lubricating oil and compressor centrifugal pump.

Keywords: Inverter refrigerator compressor ;Refrigeration oil;Centrifugal pump

### 0 引言

近年来,国家对环保的要求不断提升,低碳绿色的去求成为大家普遍的认识。且这几年高效冰箱压缩机COP值迅速从1.7攀升至2.0。而且不断地摸索下,我们也认识到了冰箱实际运行工况对冰箱压缩机节能的影响,从而也提升了压缩机的性能。但定频压缩机有其瓶颈,压缩机的变频化则是冰箱压缩机的发展趋势;本文考虑的是变频压缩机在低转速下的油路润滑能力与定频压缩机有差异,需要重新设计与验证。

### 1 变频冰箱压缩机油路分析

油路设计是冰箱压缩机设计中的一个重要环节,不仅与冰箱压缩机的性能直接相关,甚至会决定压缩机的可靠性。良好的润滑以油膜形式形成边界摩擦,从而提高冰箱压缩机的性能。

#### 1.1 需要润滑部位

冷冻油存在于冰箱压缩机的底部,当压缩

机运行时,迅速通过油路到达冰箱压缩机各个运动副间,形成油膜减小摩擦阻力。需要到达的运动部件有曲轴、曲柄、连杆、活塞。图1中标识的绿色部分,就是摩擦主要发生的部位。

#### 1.2 冷冻油路经

压缩机运行后,冷冻油从压缩机的底部在离心作用下,由吸油管吸入,从曲轴长轴侧面排出,在进入螺旋通道经加速后到达曲拐与连杆配合面。或由连杆通道进入活塞销配合面至活塞配合面,或由连杆曲拐喷洒伞状油液飞溅入活塞配合面至活塞销配合面。微量的冷冻油会由压缩机进入制冷系统,参与循环并最终回流到压缩机底部。

### 2 冷冻油的选用

冷冻油的选用,可以从冷冻油的基本特性既黏度、成分、与冰箱压缩机的匹配性、可靠性等。当然,其基本的酸值、水分、介电强度是必须保

证在行业标准之内。

#### 2.1 变频压缩机应选择低粘度润滑油

压缩机的粘度直接影响着压缩机的COP<sup>[1-3]</sup>。因此,变频压缩机为了性能优势,应选择低粘度润滑油。

由压缩机理论可以得知:

$$COP=Q/W$$

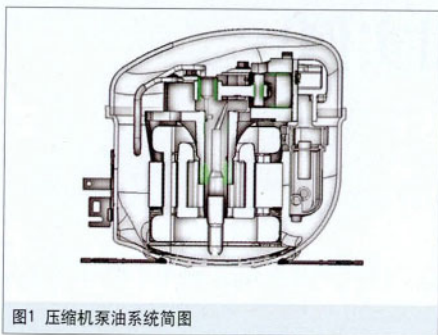
所以降低摩擦功率是提升COP的最直接的方式。

P(轴功率)公式如下:

$$P_e(\text{轴功率})=P_i(\text{指示功率})+P_m(\text{摩擦功率}) \quad (1)$$

机械效率:  $m = P_i / P_e$

其中,摩擦功率 $P_m$ 是由两部分构成:一是往复活塞做直线运动的活塞与活塞缸孔之间的直线摩擦功率 $P_{mp}$ ;另一个是运动副之间旋转摩擦力,包括长轴与轴孔,偏心轴与连杆,连杆与活塞销的摩擦功率之和,这个旋转摩擦功率是



Pmr.

有冷冻油参与运转并形成油膜后的机械摩擦力:

$$F = S \mu \frac{du}{dy} \quad (2)$$

其中,  $\mu$  是润滑油的运动粘度;  $S$  是接触面积,  $u$  是运动速度,  $y$  是配合间隙。

由上式可以看出,粘度的降低可以减小机械摩擦力  $F$ , 由此减少摩擦功耗  $P_m$ , 提升冰箱压缩机的 COP 值。

## 2.2 推荐选用合成冷冻油

目前的高效压缩机普遍使用的是 ISO5 冷冻油。在冷冻油成分的选择上, R600a 冰箱压缩机目前广泛使用的是环烷基矿物油、石蜡基矿物油及合成冷冻油。

笔者并不否认矿物油 (MO) 在 R600a 冰箱压缩机中的优良使用性能,但在目前能效比不断攀升的情况下,原来传统普遍使用的 ISO10 冷冻油已经不具备在高效压缩机上使用的条件。且在 MO 中,低粘度环烷基冷冻油具有闪点低的特性,会降低冰箱压缩机的可靠性;而石蜡基冷冻油,由于其倾点较高,会降低冰箱压缩机低温运行的效率,甚至降低制冷效果。

合成冷冻油由于其相对优秀的闪点与倾点,已经被企业广泛使用。从表 1 所列的三种类别的润滑油参数中得知,在当前合成冷冻油是较为理想的选择。

表1 三种类别润滑油典型参数的对比

项目	测试方法	环烷基矿物油A	石蜡基矿物油B	合成冷冻油C
黏度(40)	GB/T265	5.62mm <sup>2</sup> /s	5.56mm <sup>2</sup> /s	5.61mm <sup>2</sup> /s
闪点	GB/T3536	130	145	150
倾点	GB/T3535	-42	-31	-50

## 2.3 选用优质的添加剂

为了保证油膜的形成以及压缩机运行的可靠性,低粘度的润滑油必须依靠添加剂的作用。而优质的添加剂直接决定了润滑油的优劣。

笔者曾在对某两家合成冷冻油 C、D 选用的验证试验中,在同样的可靠性验证条件下,得到完全不同的结论:使用冷冻油 C 的压缩机各运动部件磨损轻微,而使用 D 冷冻油的压缩机各运动部件磨损严重,性能降低。后经过了解得知, D 冷冻油因使用较为劣质的添加剂所致。

## 3 离心泵泵油能力

现在冰箱压缩机普遍使用的泵油形式是采用曲轴吸油管离心泵油,见图 1。通过曲轴的旋转,使得润滑油通过离心作用上升到各个运动配合面。

### 3.1 泵油高度

泵油高度的计算公式:

$$h = \frac{1}{2g} \omega^2 (R^2 - r^2) \quad (3)$$

式中:  
 $h$ —泵油高度;  
 $\omega$ —角速度,  $\omega = 2\pi n/60$ ;  
 $R$ —油路的最大旋转半径;  
 $r$ —吸油管的入口半径。

泵油安全系数:

$$K = H/h \quad (4)$$

其中,  $H$ —泵油入口与出口高度差。

对于定频压缩机,当压缩机运行时,其角速度  $\omega$  是不变的,则泵油高度  $h$  是不变的。假定变频压缩机转速在 1200rad/min~4500rad/min,从式中可以得出,在同等结构下,1200 转速仅有定频 3000 转的 40%,则  $h$  也为定频压缩机的 40%;

为了满足低转速下压缩机离心泵油高度的要求,需要从变量  $R$ 、 $r$ 、 $H$  上入手。

### 3.2 减小入口半径

减小的程度是有限的,因为入口半径还决定着润滑油的流量。入口半径越小,流量太小也会造成润滑不足

润滑油泵油流量:

$$Q = (\frac{R^2}{8} - \frac{r^2}{8}) \times \omega^2 \times (g/RH) \quad (5)$$

由公式 (5) 可知,黏度越低,流量越大,但是入口半径越小,流量越小。

### 3.3 增加最大旋转半径

根据公式 (2) 可知,减小接触面积可以减少摩擦功率。所以高效压缩机的曲轴的外径都较小。甚至有采用曲轴外径为 10mm 的冰箱压缩机。

但是根据公式 (3) 又可知,最大旋转半径  $R$  增大可以增加泵油高度。所以变频压缩机的设计中,曲轴的轴径不能过小。因为过小的轴径会限制最大旋转半径尺寸  $R$ ,从而减小泵油高度。这个问题,在变频压缩机低转速 ( ) 下会显得尤为突出。按照公式 (3) 及笔者部分验证结论,初步认为曲轴的直径不小于 15mm 为佳。

### 3.4 变频冰箱压缩机的高度设计

由公式 (4) 可知,变频冰箱压缩机的泵油出入口高度差的减小,可以使原本泵油高度并不高的压缩机依然能达到润滑效果。所以目前变频压缩机安装高度普遍较低,一方面是为了减小安装空间,增加运输成本的优势。另一方面,也是为了低转速下的泵油高度考虑。

## 4 结论

R600a 变频冰箱压缩机使用冷冻油适用低粘度合成冷冻油,可以提升压缩机的机械效率,保证变频压缩机的能效比优势。

考虑变频压缩机变转速的特点,设计其油路时,要考虑低转速下泵油高度不足的特点。设计合理的吸油管孔径,且曲轴直径不宜太小,以不小于 15mm 为宜。压缩机的整体上油高度应比传统定频压缩机矮 30mm,在降低运输成本、减小安装空间的同时,也较容易满足低转速下的泵油能力。

### 参考文献

- [1] 缪道平. 制冷压缩机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000
- [2] 吴景华, 饶奇宇. 压缩机设计优化中冷冻油的选择 [J]. 家用电器科技, 2000, (1)
- [3] 何国庚, 方泽云, 邓成武. 润滑油对 R134a 冰箱压缩机性能的影响 [J]. 压缩机技术, 2005, (2)
- [4] B. Hamrock, D. Dowson. 最小油膜厚度的计算 [J]. 密封与润滑, 1979, (01)