

文章编号: 1006-2971(2005)02-0009-04

润滑油对 R134a 冰箱压缩机性能的影响

何国庚, 方泽云, 邓承武

(华中科技大学能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 分析了润滑油粘度对冰箱压缩机功率消耗的影响, 探讨了冰箱压缩机活塞与气缸间隙对其润滑与密封的影响。通过试验证明, 在合理的活塞与气缸间隙下, 将通常所用的润滑油改为更低粘度的润滑油, 不仅可以显著提高冰箱压缩机的性能指标, 而且满足可靠性的要求。

关键词: 润滑; 密封; 冰箱压缩机; 性能

中图分类号: TH45 **文献标识码:** A

Influence of the Lubricant on the Performance of R134a Refrigerator's Compressor

HE Guo-geng, FANG Ze-yun, DENG Cheng-wu

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper analyzes the influence of the lubricant viscosity on energy consumption of refrigerator's compressor, and investigates the effects of the clearance between piston and cylinder on lubrication and seal. The experiments indicate that the performance of the refrigerator's compressor will be improved and the reliability can be satisfied when the low viscosity lubricant is used under reasonable clearance between piston and cylinder.

Key words: lubrication; seal; refrigerator's compressor; performance

1 引言

润滑与密封是提高压缩机性能与运行可靠性的重要环节, 受到国内外众多研究者的高度重视。压缩机的润滑与密封就是依靠压缩机的润滑系统向压缩机各摩擦副提供润滑油来实现的。除了润滑和密封之外, 润滑油在压缩机中还起到带走摩擦产生的热量和磨屑的作用。

对于冰箱用的往复活塞压缩机, 其摩擦副主要有转动摩擦副(如各种轴承; 连杆大头与曲柄销; 连杆小头与活塞销等摩擦副)和往复摩擦副(如: 活塞与气缸之间的摩擦副)。由于摩擦需要输入更多的电功率, 能耗增加, 性能系数下降; 摩擦使摩擦表面磨损, 甚至会破坏相对运行件之间的合理间隙, 影响机器的正常工作。摩擦产生的热量使零件温度升高, 若温度升高太大, 润滑油的粘度会降低

到允许范围以外, 破坏油膜的承载能力, 甚至在零件的局部高温区油会碳化, 影响零件的正常运行。因此通过注入合适的润滑油以减少各运动副的摩擦, 使机器的磨损减少、能耗降低、并吸收摩擦热, 降低摩擦面的温度。而压缩机气缸与活塞间的间隙是缸内气体泄漏的主要通道, 往往是通过活塞与气缸壁之间的润滑油阻止气体向曲轴箱的泄漏, 特别是冰箱压缩机的活塞上没有活塞环, 润滑油的密封作用显得更加重要。关于润滑油对于冰箱压缩机的润滑与密封作用, 有许多研究者为此做出了许多成绩^[1~3]。本文针对 R134a 替代 R12 后, 润滑油对冰箱压缩机性能的影响进行研究。

2 润滑油对压缩机功率消耗的影响

通常在冰箱压缩机的输入功率中, 约有 10%~20% 的功率被用来克服压缩机各运行部件之间的摩擦阻力。由于目前的工艺水平、材料的限制, 要用提高加工精度和采用高强度材料来减少摩擦力以降低功耗, 有一定难度。因此有必要对润滑油进行

收稿日期: 2004-12-16

优化选择。

由压缩机的理论可知：

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

$$\text{机械效率 } \eta_m = P_i / P_e \quad (2)$$

P_m 主要是往复摩擦功率 P_{mp} 与旋转功率 P_{mr} 之和，前者是活塞与气缸间摩擦损失，后者是轴承摩擦损失和驱动润滑泵的功率。

$$\text{即 } P_m = P_{mp} + P_{mr} \quad (3)$$

对于封闭式压缩机而言， P_{mp} 约占 P_m 的 1/3； P_{mr} 约占 P_m 的 2/3。

由润滑原理可知：

润滑油的摩擦力

$$F = vS \frac{du}{dy} \quad (4)$$

式中 v —— 润滑油的粘度

u —— 速度

S —— 接触面积

y —— 配合间隙之间的距离

对于离心泵流量 Q

$$Q = \frac{\pi r^4}{8v} \left(\frac{1}{2} \times R\omega^2 \times \frac{g}{RH} \right) \quad (5)$$

式中 r —— 油孔半径

g —— 重力加速度

H —— 扬程

ω —— 旋转角速度

R —— 油孔偏心量

$$\Delta t = \frac{Fu}{Qc} \quad (6)$$

式中 Δt —— 润滑油温升

c —— 润滑油的比热容

ρ —— 为润滑油密度

Q —— 润滑油流量

$F \cdot u$ —— 摩擦功

由式 (1) — (4) 可知，降低润滑油的粘度 v 可以降低摩擦阻力 F ，从而使摩擦功率 P_m 减少，机械效率机械功率升高，压缩机的 COP 值也得以提高。从式 (5) 可知，降低润滑油的粘度 v 可以提高冰箱压缩机中离心油泵的供油能力，增加润滑油的供油量，而根据 (6) 式，润滑油供油量的增加将可降低润滑油的温升，换言之，就是有利于降低摩擦面的温度，防止润滑油摩擦面的温度过高而导致粘度下降，这对于保证压缩机的可靠性有极大的帮助。

3 活塞气缸间隙对润滑与密封的影响

实验上在影响冰箱压缩机的能效的诸多参数中，合适的活塞气缸间隙是一个非常关键的因素。活塞与缸壁之间的间隙的油膜在压缩和再膨胀过程中起到密封气体的作用。如果该间隙过大，会产生泄漏，造成容积效率的下降；若该间隙过小，会加大摩擦阻力，加大压缩机的功耗。因此有必要对活塞气缸间隙进行优化，以提高压缩机效率。

Hubert Bukac^[4] 对此进行了分析并得出了泄漏和摩擦两者对能效影响的公式。

活塞泄漏对能效的影响

$$\eta_L = 1 - Ah^3 - Bh \quad (7)$$

式中 η_L —— 活塞泄漏对能效的影响系数

h —— 活塞与气缸间的径向间隙

A 和 B —— 常量

粘性摩擦对能效的影响

$$\eta_N = 1 - \frac{C}{h} \quad (8)$$

式中 η_N —— 粘性摩擦对能效的影响系数

h —— 活塞与气缸间的径向间隙

C —— 常量

最终的能效结果是上述两个系数的乘积

$$\eta = \eta_L \eta_N = (1 - Ah^3 - Bh) \times \left(1 - \frac{C}{h} \right) \quad (9)$$

当能效最大时，则必须满足

$$\frac{d\eta}{dh} = \eta_L \eta_N = a_4 h^4 - a_3 h^3 + a_2 h^2 - a_0 = 0 \quad (10)$$

式中 $a_4 = 3A$ ， $a_3 = 2AC$ ， $a_2 = B$ ， $a_0 = C$

式 9 可以通过数学方法解出。效率与间隙的关系图，见图 1。

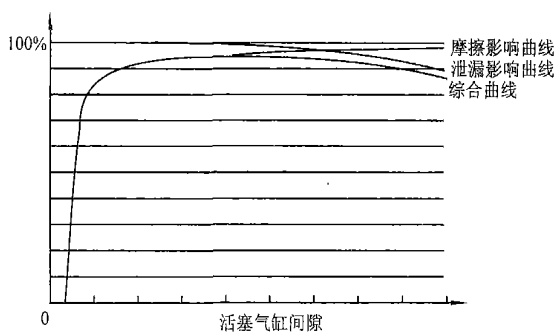


图 1 间隙对效率的影响

由式 (7) 可知，活塞与气缸之间的泄漏对能效的影响与活塞与气缸之间的间隙密切相关，间隙越大，则泄漏的影响越大，效率越低，压缩机的

COP 值越小; 相反从式 (5) 可知, 活塞与气缸之间的间隙越大, 由于润滑油的粘性所产生的阻力损失也就越小, 效率越高, 压缩机的 COP 值也得以提高。

4 不同粘度润滑油对压缩机性能与可靠性影响的实验研究

对于冰箱等用的全封闭压缩机制冷系统, 为简化系统, 往往不设置油分离装置, 这样润滑油从压缩机中出来后, 就随制冷剂一起流入系统其他设备。这部分流入系统的润滑油必须及时流回压缩机才能保证润滑, 否则会在冷凝器、蒸发器内形成油膜而阻碍传热。严重时减少润滑油回流, 破坏压缩机润滑。这就要求制冷剂与润滑油必须具有一定的溶解性, 以避免制冷剂与润滑油在冷凝器、蒸发器内的分离, 而且制冷剂在润滑油中的溶解度高, 则意味着系统中气体制冷剂量较小, 平衡压力低, 因而启动压缩机所需的电机必然小。而高互溶性伴随着高的溶解度, 因此好的互溶性成了对润滑油的主要要求。

过去冰箱用的 R12 压缩机常用润滑油是 32[#] 矿物油, 它们是互溶的。在用 R134a 替代 R12 后, 由于 R134a 属于 HFCs 物质, 具有强极性, 因而与矿物油不溶解。有关 R134a 与润滑油的研究, 许多研究机构 and 研究人员都作出了许多贡献, 目前, 与 R134a 相配的润滑油, 比较公认的是多元聚酯

类油 (POE)。我们对目前常用的几种冰箱压缩机的润滑油 32[#] 矿物油 (R12)、32[#] 烷基苯油 (R152a/R22) 以及 22[#] 酯类油 (POE) (R134a) 与 R134a 的溶解关系进行了实验研究, 试验结果如表 1 所示。全封闭压缩机需要润滑油来保护内部运动部件。为保证压缩机正常运转和系统的寿命, 应根据几项关键指标选择润滑油的类型与制冷剂的互溶性、稳定性、与结构材料的相溶性, 及油本身的润滑能力等。

表 1 R134a 在润滑油中的溶解性 (-50 ~ 93 °C)

油的类型	R134a 油中 R134a 百分比		
	30%	60%	90%
32 [#] 矿物油	2 层	2 层	2 层
32 [#] 烷基苯油	2 层	2 层	2 层
22 [#] 酯类油 (POE)	-50 °C ~ 93 °C	-50 °C ~ 93 °C	-50 °C ~ 93 °C

在一定温度下, 当溶液混浊或明显分为两层时, 认为不可溶。从上表可以看出矿物油、烷基苯油与 R134a 互溶性非常差, 酯类油 (POE) 与 R134a 的互溶性很好, 事实上酯类油 (POE) 已经成为 R134a 压缩机的主要润滑油之一。

目前, 为配套各类氢氟烃 (HFC) 制冷剂而特别研制的酯类油 (POE) 系列比较齐全, 从 ISO10 到 ISO220 都可提供, 且厂家也很多。通常冰箱用 R134a 压缩机的常用润滑油是 ISO22 酯类油 (POE), 下面是 Emkarate RL22H 和 Emkarate RL10H 两种酯类油 (POE) 的性能参数。

表 2 Emkarate RL22H 和 Emkarate RL10H 两种酯类油 (POE) 的性能参数

润滑油	粘度 40 °C 100 °C	羟值 mgKOH/g	倾点 °C	水份 10 ⁻⁶	密度 g/ml 20 °C	闪点 °C	酸值 mgKOH/g	色泽	互溶性 10% 油在 R134a; 高温 °C, 低温 °C
RL10H	9.9 2.7	< 4.5	-51	< 40	0.949	205	0.01	125	-31
RL22H	18.9 4.2	< 4.5	-52	< 40	0.995	240	0.02	100	> 80 -45

从性能标上看, RL10H 的粘度只有 RL22H 相同条件下粘度的一半左右, 密度略小, 闪点温度略低, 为 205 °C, 但在 R134a 冰箱压缩机中还是完全能够满足要求的, 而且 10% 的 RL10H 润滑油在 -31 °C 条件下与 R134a 完全互溶, 虽然该温度比 RL22H 的 -45 °C 要高一些, 但仍然基本上能够满足冰箱压缩机的使用条件。

根据润滑油粘度对压缩机耗电与润滑油温度的

影响分析, 以及活塞气缸间隙对压缩机润滑与密封的影响分析, 在对 QD70 压缩机的结构进行分析优化的基础上, 分别采用 Emkarate RL22H 和 Emkarate RL10H 两种润滑油, 对结构、工艺等完全相同的各 4 台 QD70 压缩机进行性能试验。试验在符合国家标准的冰箱压缩机性能试验台上进行, 相关性能参数平均值如表 3 所示。

从表 3 可知, R10HB 润滑油相对 R22HB 而

言, 制冷量增加了 1.2 W, 输入功率下降 6.45 W, COP 值高了 5.4%, 启动电压下降 12 V, 壳温下降 1.8 °C, 噪声基本不变。这充分说明使用低粘度的润滑油完全符合公式 1~5 的理论分析结果, 即降低润滑油的粘度, 使摩擦功率下降、机械效率升高, 启动电压降低, 摩擦热减小; 油温下降, 其容积效率升高, 制冷量升高。同时油的粘度降低可有效提高压缩机的启动性能, 这样可把电机设计中用于低压启动的能力转移到提高效率上去。

表 3 数据由 4 台相同型号 E1114CZ 压缩机
注入 ICI RL10H 的测试平均值

冷冻油	制冷量 W	输入功 率 W	电流 A	COP W/W	壳温 °C	噪声 dB (A)	低压启动 V
RL22H	163.3	145.8	1.05	1.12	74.1	40.5	164
RL10H	164.5	139.3	1.03	1.18	72.3	40.7	152
RL10H 比 RL22H	高 1.2	低 6.5	小 0.02	高 0.06	低 1.8	高 0.2	低 12

在选择低粘度润滑油时, 除了提高性能外, 更重要的是要能够保证压缩机的可靠性。两台采用 EmKarate RL10HB 的压缩机的寿命试验结果如表 4 所示。

表 4 寿命试验前后压缩机性能对照表

压缩机编号	M-1082401			M-1082393		
	试验前	试验后	试验后比 试验前	试验前	试验后	试验后比 试验前
制冷量, W	164.8	165.1	+0.2%	165.2	166.8	+1%
输入功率, W	142.1	138.6	-2.5%	143.6	139.8	-2.6%
COP	1.16	1.19	+0.03%	1.15	1.19	+0.04
噪声, dB (A)	40.5	40.7	+0.2	40.2	40	-0.2
绕组温度, °C	95.24	95.80	+0.56	95.12	96.90	+1.78
油色度	L0.5	L1	+L0.5	L0.5	L1	+L0.5

由表 4 可知, 两台压缩机在经过寿命试验后, 制冷量有所上升, 输入功率有所下降, 性能系数有所提高, 噪声、绕组温度等则变化不大, 说明寿命试验后, 压缩机各运动副之间的配合更好。拆缸检查, 两台压缩机的检查结果皆为: 各运动副磨损正

常, 能正常运转; 吸、排气阀片颜色正常; 阀板颜色浅黄。这说明寿命试验后, 压缩机一切正常, 没有任何异常现象的出现, 即采用低粘度润滑油后, 压缩机同样具有良好的可靠性。

同样, 采用低粘度润滑油的压缩机经过 20 万次停/开试验也表明, 在实验过程中, 压缩机一切运行正常, 没有出现机械损坏或试验比无法维持的现象, 噪声也正常; 试验后的解剖分析结果也表明各运动零件磨损正常。

5 结论

合适的润滑油对于保证冰箱压缩机的正常工作具有十分重要的作用, 而润滑油粘度的大小会影响压缩机的功率消耗, 进而影响压缩机的性能; 同时, 冰箱压缩机活塞与气缸之间的间隙也会显著影响压缩机的润滑与密封, 进而影响压缩机的性能乃至压缩机的正常工作。对于目前常用的 R134a 冰箱压缩机, 经过合理优化, 可以将原来常用的 22[#] 酯类油 (POE) 更换成 10[#] 酯类油 (POE)。实验结果表明, 这不仅使得压缩机的制冷量增加, 功率消耗减少, 性能指标上升, 启动电压降低, 噪声变化不大, 而且具有十分良好的可靠性和工作稳定性, 有利于压缩机的节能。

参考文献:

- [1] 缪道平, 吴业正. 制冷压缩机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 吴景华, 饶奇宇, 陈永安. 压缩机优化设计中的冷冻油选择 [J]. 家用电器科技, 2000, (1).
- [3] 金光熹, 周震. 压缩机润滑与密封技术的新进展. 流体机械 [J]. 1996, (3): 32-37.
- [4] Huber Bukac. Optimum Piston-Bore Fit for Maximum Compressor Efficiency, Proc. of 2000 Int. Compressor Engineering Conf. at Purdue, C-13.

作者简介: 何国庚 (1965—), 男, 工学博士, 副教授, 华中科技大学制冷与低温工程研究所, 主要从事制冷与低温技术、空调技术以及压缩机技术等方面的研究。

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告