

冰箱压缩机泵油系统 CFD 分析

CFD analysis of oil pumping system for refrigerator compressor

常利伟

(加西贝拉压缩机有限公司 浙江 嘉兴)

摘要: 本文中用 CFD 方法对应用于冰箱上的往复式制冷压缩机供油系统进行了流体动力学分析。在供油系统中,油池中的油通过位于曲轴底端的簧片式的离心泵来提供的。油流初始是作为曲轴内表面的爬行膜,上升至一定高度后进入曲轴外侧的螺旋通道。文中使用了 STARCD 的 VOF (Volume of Function) 模型来解决油流的自由表面问题的。从分析结果可以得到压缩机启动及稳定运转时相关的油流的动作的参数,比如达到稳定工况的时间及稳定后油的流量等。同时,可以得到压力等其他参数的分布,因此,CFD 分析具有其他分析手段不可替代的优势,CFD 方法对指导供油系统设计有一定的意义。

关键词: CFD 分析, 往复制冷压缩机 供油

Abstract: In this paper, we will present you with a hydrodynamic analysis about the oil pumping system for the refrigerator compressor. In the oil pumping system, oil in the bottom sump is pumped by the reed-type centrifugal pump at the bottom of the crankshaft. To solve the free surface of the oil flow, We utilized the VOF (Volume of Function) model in the commercial software STARCD. And we can obtain the time cost to become stabilization for the oil flow and the stable oil flux. At the same time, we can obtain the distribution of other parameters, such as the pressure, velocities, et. Therefore, CFD method has particular advantage on other solutions.

Keywords: CFD analysis, reciprocating compressor, oil pumping system

1 简介

供油系统的设计在冰箱压缩机的设计中是个十分重要的问题,它不仅与压缩机的性能有关,而且与压缩机的可靠性息息相关。良好的润滑能减少压缩机各摩擦副之间的摩擦损耗,从而降低电机的输入功,提高整机效率。如果电机启动后,存在相互摩擦的零件之间如果不能得到及时充分的润滑,会形成边界摩擦,进而发生严重磨损,影响压缩机的可靠性。理想的压缩机供油系统保证压缩机启动时,冷冻油能够在较短的时间内到达各摩擦副,同时能够保证压缩机在工作范围内有比较合适的冷冻油流量,保证各润滑副之间的充分润滑,又不发生各种压缩机过供油的现象。同时,冷冻油除了最明显的润滑作用外,还可以起到其他的作用,比如冷却,密封,防锈,降噪,以及在停机时保持低压平衡等。因此,对于一款成功的压缩机产品设计,一个较好的供油系统设计是必不可少的。

以前人们研究压缩机供油系统,主要靠一些实验和经验的积累。近几年来,随着封闭压缩机的多元化发展,及人们在压缩机性能、成本等各方面潜力的挖掘,泵油系统的受到了越来越多的关注,

其研究方法趋于多元化。同时随着三维商业软件的推广, CFD 分析方法在压缩机上的应用越来越多。文献[1]中, 利用 VOF 方法研究了使用 POE15#号油的涡旋压缩机在驱动电源频率为 60Hz 的供油, 其计算结果与实验结果相比, 曲轴顶部出口的流量有-17%的偏差。文献[2]中, 主要考虑了油池温度和不同压缩机转速的影响, 大约有最大 12.8%的偏差。文献[3]是关于往复式制冷压缩机的泵油系统分析, 作者研究了几何模型的影响。

本文工作的目的是完成冰箱全封闭往复制冷压缩机的供油系统的 CFD 分析。利用商业化的大型 CFD 三维分析软件 Star-CD, 分析计算冷冻油的热力工作过程, 主要分析冷冻油到达曲轴顶端出口所用的时间, 以及油流稳定后, 油道中油的流量。

2 模型

冰箱压缩机的摩擦副主要包括活塞与气缸, 连杆大头与短轴, 曲轴肩部与缸体, 长轴与主轴承, 连杆小头与活塞销等。往复制冷压缩机泵油系统组成几何模型如图 1 所示, 由油池, 螺旋桨片, 吸油管, 曲轴内部直管端, 螺旋油道, 及曲轴上段油路, 或者以及连杆上的油孔等构成。

在用于家用冰箱的往复式压缩机中, 多用靠电机驱动的旋转曲轴来提供动力将油池中的油通过螺旋油槽供给曲轴轴承。如图 1 所示, 靠电机带动的曲轴及吸油管高速旋转, 依靠吸油管内部的螺旋桨翼片搅动产生的离心力, 以及冷冻油的表面张力, 将壳体底部油池中的冷冻油泵起, 沿着油道循环流动。部分冷冻油从油道各油孔出口, 到达曲轴孔、曲轴轴肩、连杆、活塞销等部位, 进行润滑, 余下的油从曲轴顶部被甩出, 一部分油甩到活塞、气缸、连杆等运动部件上, 形成飞溅供油, 而大部分的冷冻油则直接甩到封闭外壳的内壁上, 流回油池, 形成循环油路。成功设计供油系统, 合理地设计油泵及流道, 详细理解油的流动是必要的, 其中重点是涉及气液接触的流动动力学。

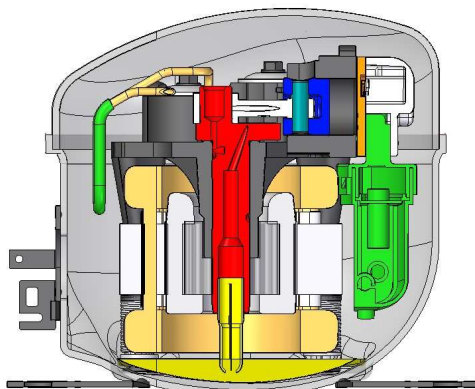


图 1 压缩机泵油系统简图

2.1 VOF 模型机理

对于不可压缩流体, VOF 模型方法可以解决气液分界面的自由表面问题, 气液两种流体的解析在时间上是连续的, 在空间上是通过一个标量 α_i 来表征的, 即每个计算单元中包含密度较重的成分相对于总的质量的百分比 α_i , 质量成分随着时间的推移, 通过解运动控制方程来获取的。

瞬时的质量成分 α_i 由下面的输送方程控制:

$$\frac{\partial}{\partial t} \alpha_i + \nabla \cdot (\alpha_i \cdot u) = 0$$

对于各单位网格内的混合流体，其物性参数密度，热传导率，黏度，比热可以分别用以下公式表示：

$$\rho = \rho_g(1 - \alpha_l) + \rho_l \alpha_l$$

$$k = k_g(1 - \alpha_l) + k_l \alpha_l$$

$$\mu = \mu_g(1 - \alpha_l) + \mu_l \alpha_l$$

$$c_p = [\rho_g c_{pg}(1 - \alpha_l) + \rho_l c_{pl} \alpha_l] \rho^{-1}$$

2.2 计算网格模型及模型假设

计算网格模型如图 2 所示。为了使计算

1. 几个非主要油路出口忽略；
2. 忽略压缩机启动阶段转速由低到高的过程，即电机启动时刻加速度无限大；以及电机与曲轴之间的转速差，设置 rpm 为常数 3000；
3. 假定流动为绝热；
4. 冷冻油中没有溶解的制冷剂，冷冻油及制冷剂均为常物性；
5. 几何模型有一些简化，曲轴中部的凹槽忽略不计。

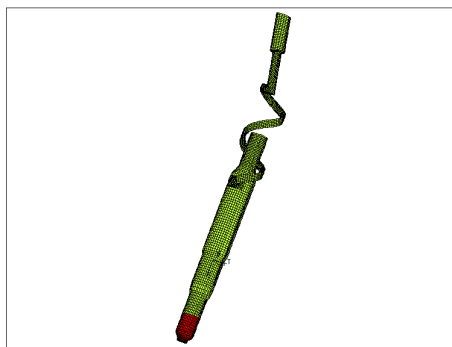


图 2 泵油系统中心旋转部分网格模型

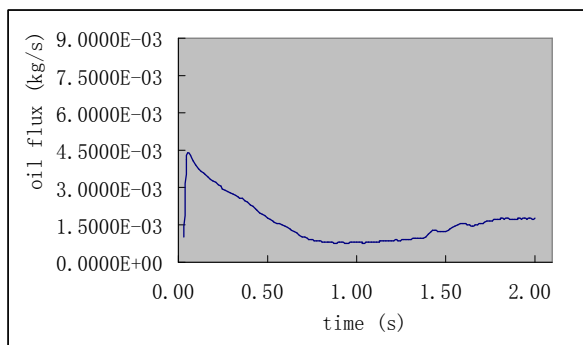


图 3 吸油管入口冷冻油流量收敛曲线

3 结果及分析

图 3 是求解过程中监测的吸油管入口的冷冻油流量随时间变化收敛曲线。开始求解 0.02 秒内，流量迅速增加。而后随着冷冻油液面的上升，监测面油流量有所变化，1 秒钟左右，液面到达曲轴上端面出口，但油流还未稳定。最终在压缩机启动后 1.7 秒左右，冷冻油流量趋于稳定，流量大致在 $1.7 \sim 1.8 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ 左右。

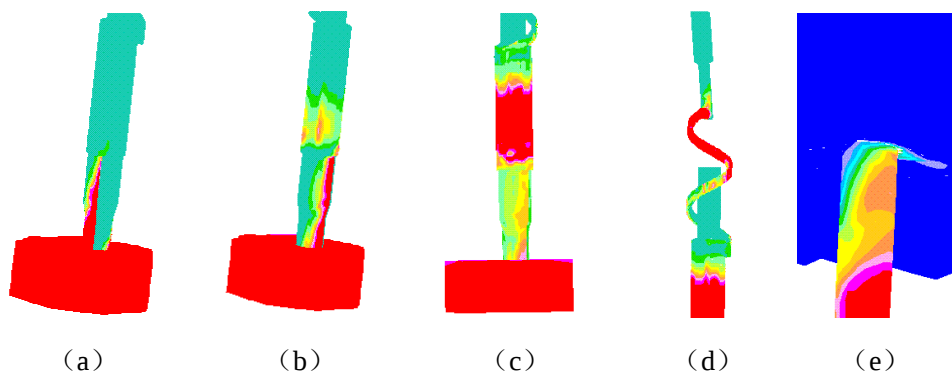


图 4 压缩机启动阶段冷冻油液面攀升过程

图 4 展示了随着时间的推移, 冷冻油在油道中不断向上攀升的过程。图 4 (a) 是 0.03 秒时油的分布, 液面已经明显上升。图 4 (b) 是 0.3 秒时油的分布, 液面继续上升, 高度已经超越吸油管, 上升至曲轴长轴中段。图 4 (c) 是 0.5 秒时油的分布, 冷冻油开始进入螺旋油槽。图 4 (d) 是 0.75 秒时油的分布, 冷冻油开始进入螺旋油槽。图 4 (e) 是 1 秒时的油流前沿的分布, 冷冻油已经从曲轴顶端出口流出, 流入上油池 (图 e 中蓝色部分)。本例中为了节省计算成本, 在模型上端设置一个上油池, 曲轴泵上来的油流入上油池, 经由侧面通道, 循环流回下油池。

4 结论

本文进行了冰箱用全封闭往复式制冷压缩机供油系统的 CFD 分析, 主要计算了压缩机启动时油流达到稳定所用的时间, 以及油流稳定后油的流量。分析结果对供油系统设计有一定的指导意义。同时, 本文由于时间仓促及其它原因, 还有很多需要改进的地方。同时, 我们还需要进行试验验证。

符号说明

p — 压力;	t — 时间;
u — 速率;	α_l — 重流体重量百分比;
μ_g — 气体动力黏度;	μ_l — 液体动力黏度;
ρ_g — 气体密度;	ρ_l — 液体密度;
k_g — 气体热传导率;	k_l — 液体传导率;
c_{pg} — 气体比热;	c_{pl} — 液体比热;

5 参考文献

- [1] Bernardi, CFD simulation of a scroll compressor oil pumping system, Int. Compressor Engineering Conference at Purdue, 2000
- [2] Cho, H., Yoo, B., Kim, Y., Chung, J. T., CFD simulation on the oil pump system of a variable speed scroll compressor, Proc. Int. Compressor Engineering Conference at Purdue, Paper C24-1, 2002
- [3] Antônio J LÜCKMANN, Marcus Vinícius C ALVES, Jader R BARBOSA Jr. *, Analysis of Oil Pumping in a Reciprocating Compressor, Proc. Int. Compressor Engineering Conference at Purdue, Paper C1309, 2008