

# 转子式压缩机流动仿真研究

## Investigation of the Fluid Simulation with Rolling Piston Compressors

梁社兵

(珠海格力电器股份有限公司机电技术研究院)

**摘要:** 运用 CFD 软件 STAR-CD 对压缩机 A 及 B 进行流动仿真分析。通过仿真分析得到压缩机 P-V 曲线、制冷量及制冷功率。仿真计算结果与试验测试结果吻合较好, 误差在 5% 以内。

**关键词:** 压缩机 P-V 曲线 制冷量 制冷功率 CFD

**Abstract:** Using the CFD software STAR-CD to simulate refrigerant flow in the rotary compressors (A&B). The compressor P-V diagram, cooling capacity and cooling power can be gained from simulation results. The simulation results are well agreement with the test results and the error is less than 5%.

**Key words:** Compressor, P-V Diagram, Cooling Capacity, Cooling Power, CFD

### 1 引言

压缩机作为空调产品的核心部件, 其性能直接影响空调器的品质, 因而对压缩机的研究越来越重要。近年来随着 CFD (Computational Fluid Dynamics) 技术的快速发展, 国内外各大压缩机厂家对压缩机内部制冷剂流动情况越来越关心。然而压缩机内部制冷剂流动非常复杂, 单纯靠试验的方法是很难观察到压缩机内部高温高压的流动情况, 而且 PIV 试验设备造价昂贵, 试验成本非常高, 所以应用 CFD 技术采用数值模拟的方法对压缩机内部流动情况进行分析是压缩机研究的一个新领域。

### 2 空调用滚动转子式压缩机的结构简介

目前空调用压缩机主要为滚动转子式压缩机, 其结构简单, 体积小, 重量轻。随着空调市场竞争日益激烈, 如何开发高性能的转子式压缩机已是空调压缩机行业面临的重大课题。滚动转子式压缩机的主要功能是实现制冷剂气体的吸入、压缩和排气过程, 其内部流动为三维、可压缩、湍流流动。滚动转子式压缩机的气缸结构仿真模型如图 1 所示。

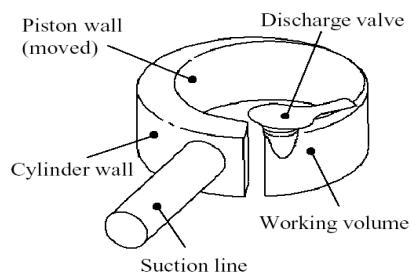


图 1 滚动转子式压缩

### 3 CFD 计算模型

#### 3.1 仿真模型

项目以 A 及 B 两款压缩机为研究对象。为了真实反映压缩机内部吸气、压缩及排气的三维可压缩湍流流动,建立了两种不同简化结构的三维仿真模型。第一种模型计算域包括了整个泵体结构,从气缸吸入孔开始至消音器出口,没有考虑电机及上盖部分的流动分布;第二种简化模型考虑了电机及上盖部分的流动,忽略了电机定子和转子之间的流动,计算域从气缸吸入口至压缩机排气管出口。另外仿真计算模型无法考虑润滑油对制冷剂流动的影响。仿真计算的有限元模型如图 2 所示。

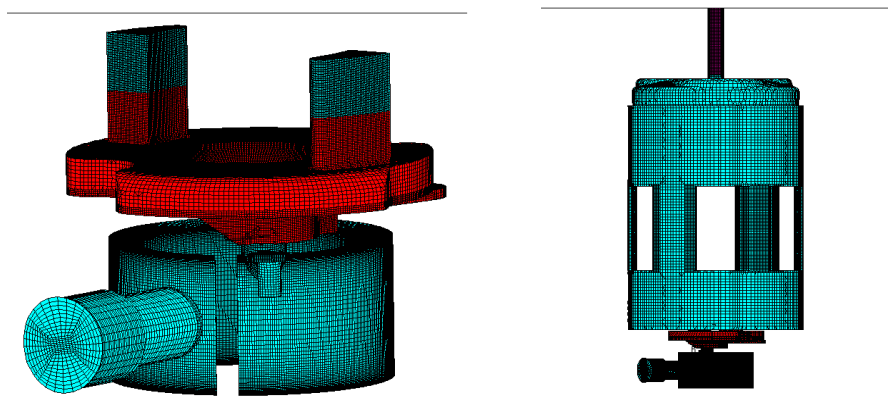


图 2 仿真计算有限元模型

#### 3.2 边界条件及控制

仿真计算模型的网格总数约 80 万左右,计算为非定常的可压缩流动计算。空间差分格式采用 MARS 二阶进度计算,密度项可采用 CD 方法,求解器采用 AMG 算法;湍流方程为标准 k-e/high Reynolds Number/chen/RNG;计算的 material 采用真实制冷剂气体,其物性参数由用户子程序给定。

#### 3.3 制冷剂物性拟合

仿真计算模型的材料采用实际气体,制冷工质的物性参数采用拟和的方法得到,STAR-CD 软件使用用户自定义的子函数来定义物性参数: Density.f—Density; coteet.f—Enthalpy; Conduc.f—Thermal Conductivity; vismol.f — Molecular Viscosity。

#### 3.4 阀片行程的拟合

仿真计算阀片行程需要由试验测试得到,通过拟和的方式将阀片行程的变化规律以方程的形式提供给 STAR-CD 的子函数进行调用。图 3 为测试阀片行程数据。

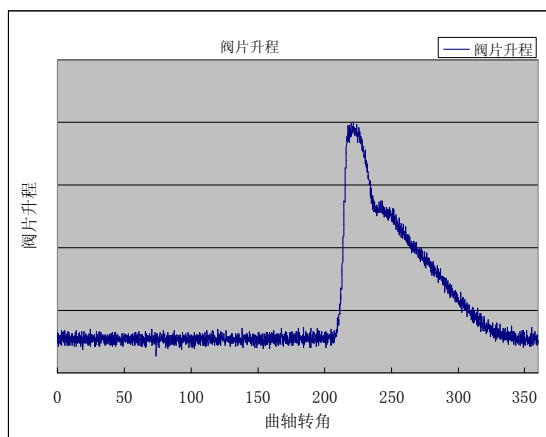


图3 测试B压缩机阀片升程曲线

## 4 仿真计算结果

### 4.1 P-V 曲线提取及与试验对比

仿真计算完成后,提取每一个时间步中压缩腔的容积 $V$ 及压缩腔的平均压力 $P$ ,提取的压力值为压缩腔的平均压力。图4~图7为仿真计算及试验测试结果对比图。

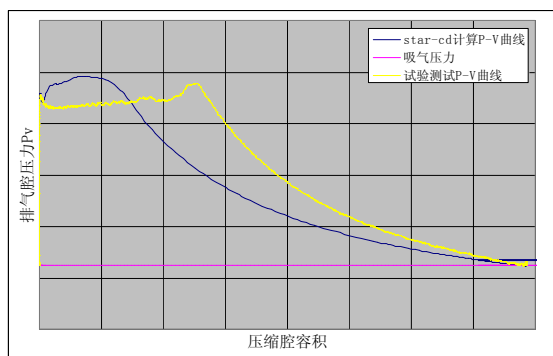


图4 压缩机B\_P-V曲线对比图

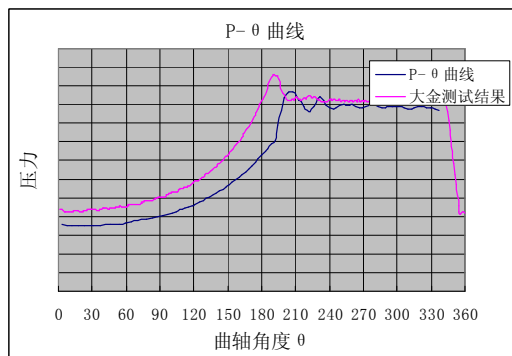


图5 A压缩机结果对比(40Hz)

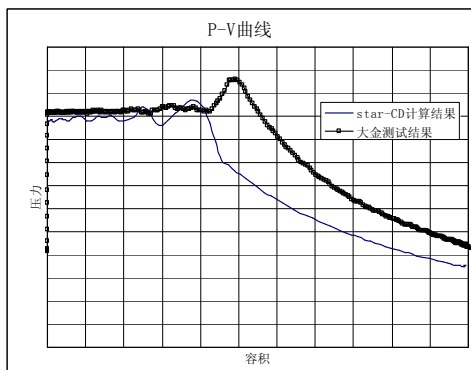


图6 A压缩机P-V曲线对比(40Hz)

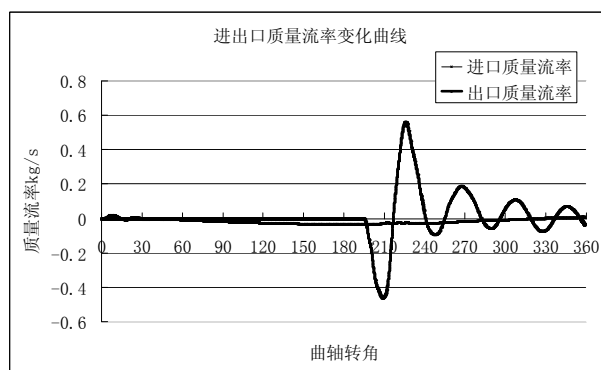


图7 A压缩机进出口质量流量曲线(40Hz)

#### 4.2 仿真计算制冷量及功率的提取

通过 star-cd 软件仿真计算得到制冷量  $Q=mq/T$ 。单位制冷量  $q$  的取值不受绝热指数影响，只取决于压缩机的测试工况。

得到 P-V 曲线后，P-V 曲线所围成的面积即为压缩机的指示功。

#### 4.3 仿真计算结果与试验结果对比

表 1 为仿真计算的制冷量及功率与试验测试结果对比，仿真计算结果与试验结果误差在 5% 以内，充分证明了 CFD 仿真计算在压缩机的研究中是可行的。

表 1 仿真计算与试验测试对比

| 机型 | 方案            | 制冷量（误差）     | 功率（误差）     | COP  |
|----|---------------|-------------|------------|------|
| A  | 仿真计算结果        | 3130        | 1067       | 2.93 |
|    | 试验测试结果        | 3067 (2%)   | 1056 (1%)  | 2.90 |
| B  | 仿真计算结果 (40Hz) | 2007        | 489        | 4.10 |
|    | 测试结果 (40Hz)   | 2100 (4.4%) | 498 (1.8%) | 4.21 |

以下各图为压缩机仿真计算的结果：图 8 为压缩腔内部绝对压力分布云图，图 9 为压缩腔内部温度分布云图，图 10 为排气口轴向截面速度分布图，图 11 为气缸中间截面轴向速度分布图。

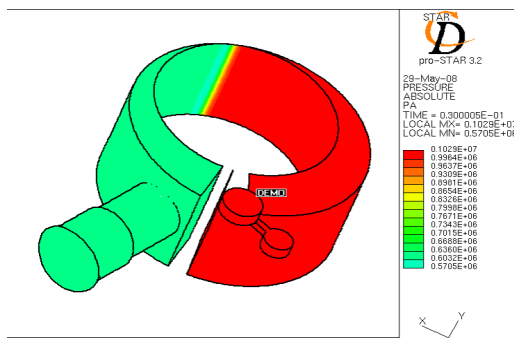


图 8 压缩腔内部压力分布图

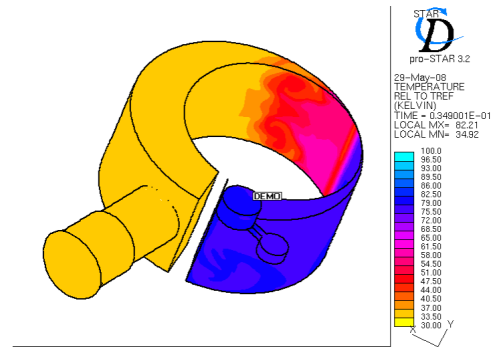


图 9 压缩腔内部温度分布图

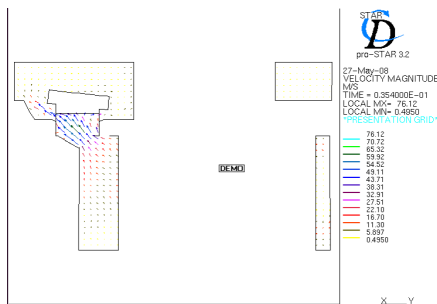


图 10 排气阀片截面速度分布图

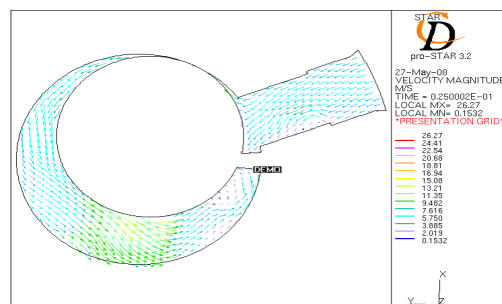


图 11 气缸中截面速度分布图

## 5 结论

本文通过仿真分析和试验测试的方式对比了试验和仿真之间的差异,验证了 CFD 数值模拟方法在压缩机流动研究中的重要作用。仿真计算的制冷量及制冷功率与试验测试误差均在 5%以内,满足工程计算的要求。仿真计算的 P-V 曲线趋势与试验测试基本一致,计算的数值均比试验测试值小,主要原因是目前的计算中暂时无法考虑气缸和滚子间径向间隙处油膜的密封作用。

## 6 参考文献

- [1] 王福军. 计算流体力学分析—CFD 软件原理与应用. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [1] 王硕渊, 谷波, 周易. 上下排气结构对空调压缩机效率的影响. 制冷与空调, 2007.7(3).