

基于 STAR-CD 的冰箱压缩机吸排气系统三维流固耦合仿真分析

STAR-CD Based Refrigerator Compressor Suction and Exhaust System Fluid Structure Interaction Analysis

武守飞 王宗槐 加西贝拉压缩机有限公司,314006

摘要: 为分析往复式冰箱压缩机吸排气系统性能,研究了基于 STAR-CD 的冰箱压缩机吸排气系统三维流固耦合分析方法。利用 STAR-CD 软件构建了吸排气系统三维流场分析模型,利用动网格技术控制气缸及排气阀片周围网格的运动。利用 MPCCI 软件实现结构场数据与流场数据的双向交互,从而实现冰箱压缩机吸排气系统仿真分析。通过分析获取了压缩机气缸内压力变化、吸排气阀片运动规律、排气系统质量流量等描述吸排气系统特性的关键技术参数。

关键词: STAR-CD MPCCI 冰箱压缩机 流固耦合仿真

Abstract: To analyze performance of refrigerator compressor suction and exhaust system, STAR-CD based compressor suction and exhaust system three dimension fluid structure interaction simulation method was researched. Three dimensional fluid field analysis model was built by STAR-CD. Moving mesh technology was used in piston position control and control of valve around mesh. MPCCI was used to transfer data between structure model and fluid model. Lots of important technique data was obtained, such as pressure of cylinder, motion of suction and exhaust valve leaf, mass flow of exhaust system.

Keywords: STAR-CD, MPCCI, Refrigerator compressor, Fluid structure interaction

1 引言

冰箱压缩机吸排气系统利用吸排气阀片两侧压力差控制阀片的启闭,通过活塞运动将低温低压制冷气体压缩成高温高压气体输送给冰箱系统,吸排气系统是影响冰箱压缩机效率和可靠性的重要因素^[1]。冰箱压缩机吸排气系统仿真分析属于典型的流固耦合问题,难以用流场或结构场单一软件进行求解。本文利用 STAR-CD 三维流体软件,结合 MPCCI 耦合平台、动网格技术及结构分析软件,实现了对冰箱压缩机吸排气系统的三维流固耦合仿真分析。通过仿真分析获取了压缩机气缸内压力变化、排气管路质量流量曲线、吸排气阀片运动规律等是描述冰箱压缩机特性的关键技术参数,为冰箱压缩机吸排气系统设计优化奠定了基础。

2 分析模型

实现冰箱压缩机吸排气系统流固耦合分析主要需构建吸排气系统的流场模型、阀片结构分析模型、流场与结构场的耦合分析模型。由于压缩机运行过程中吸气和排气不停的启闭,气缸容积不断变化,需利用 STAR-CD 的动网格技术对部分网格进行控制。

2.1 流场分析模型

冰箱压缩机吸排气系统流场主要包括吸气消声器、气缸、阀组、气缸盖、排气消声室、内排气管路等部分。界定完流场分析所包括的区域并构建相应几何模型后，可利用 STAR-CD 中的 pro-am 工具对其进行网格划分，也可以由外部导入网格。本文所建立的冰箱压缩机吸排气系统流场网格模型如图 1 所示。由于需要对气缸和阀片周围网格运动进行位置控制，这部分区域采用规则的六面体网格，其它部分为四面体网格，网格数量约 50 万。

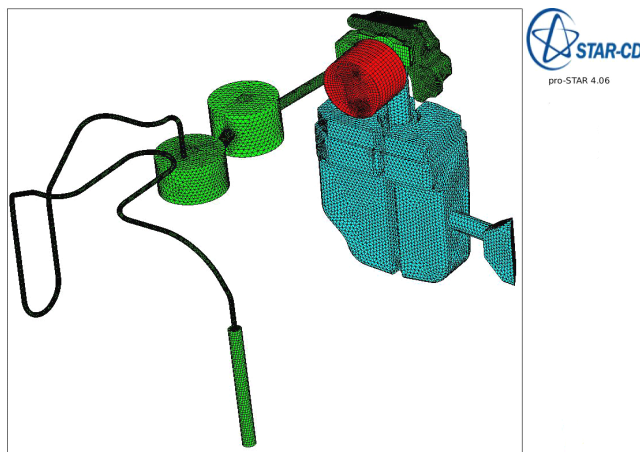


图 1 压缩机吸排气系统流场模型

为实现流固耦合分析，在流场建模中需将与结构场进行数据交互的边界进行单独定义。此处，采用 STAR-CD 边界区域定义工具分别对吸气阀片和排气阀片周围的边界区域定义为 suction_fluid、exhaust_fluid。

2.2 结构场分析模型

结构场分析模型主要包括吸气、排气阀片以及限制阀片运动的限位器等。为实现流场数据和结构场数据的交互，需注意结构场数据的位置，结构场区域位置应与流场相应位置对应。为实现数据传递，在阀片表面定义一层用于数据传递的壳单元，分别命名为 suction_struc、exhaust_struc。建立的阀片结构场模型如图 2 所示，网格数量约 1 万。

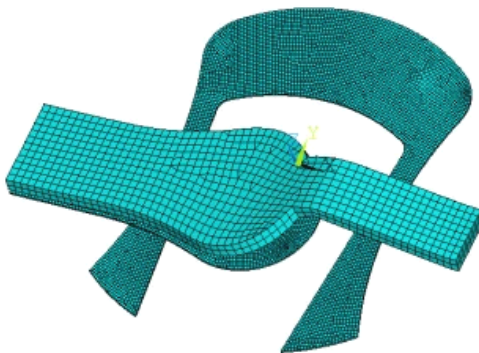


图 2 阀片结构场分析模型

2.3 气缸及阀片周围网格控制

STAR-CD 中用于控制网格运动的技术包括 Change grid、NEWXYZ 子程序、Cell removal/addition、Sliding mesh、Cell attachment and change of fluid type 等^[2]。气缸网格运动控制采用 Change grid，在 EVENT 事件中定义需控制的节点信息，利用 vfill 命令实现气缸内各层网格的均分。阀片周围网格控制主要利用 NEWXYZ 子程序实现，流场中阀片相关边界区域节点的位置直接由结构场传递而来，周围其它各层网格随着阀片位置的变化而产生相应移动，网格位置控制可避免阀片周围流体网格出现负体积。图 3 所示为阀片运动前后网格对比示意图。

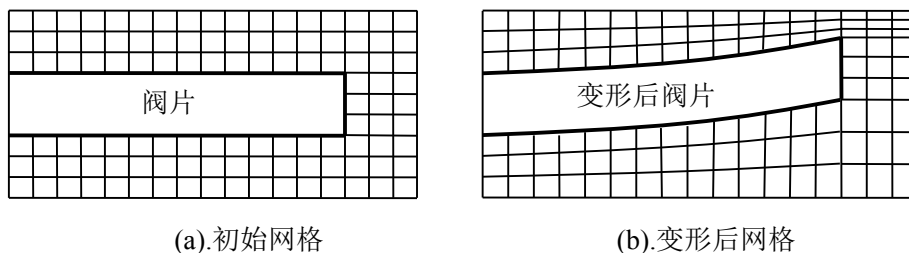


图 3 阀片周围网格的控制

3 边界条件及求解设置

3.1 流场计算边界条件及求解设置

流场中的气体为制冷工质，流场主要边界条件设置包括，排气口压力边界：1.4MPa，温度 373K；吸气消声器入口压力边界：0.0632MPa，温度 305K；汽缸盖、内排气管、排气消声腔、内排气管初始压力：0.77Mpa；吸气消声器初始压力：0.0632Mpa。

流场求解采用瞬态可压缩流体求解，湍流模型为 K-Epsilon/High Reynolds Number 模型，求解采用 PISO 算法，活塞的运动由动网格控制。时间步长为 0.1°。

3.2 结构场边界条件及求解设置

结构场计算时需在吸排气阀片根部施加固定约束，求解方法为瞬态大变形。结构场计算所需的载荷通过 MpCCI 由流场传入，计算时间与 STAR-CD 保持同步。

3.3 流固耦合求解设置

流场与结构场的交互数据由 MPCCI 实现。流场数据交互边界 suction_fluid 与结构场数据交互边界 suction_struc 相对应，流场数据交互边界 exhaust_fluid 与结构场数据交互边界 exhaust_struc 相对应，交互数据类型为 pressure 和 displacement，即流场计算中的压力数据传递到结构求解软件，结构软件求解所得出的阀片位移数据传递至流场计算软件，通过不断迭代实现流场与结构场数据的双向耦合和整个吸排气过程的求解。

4 分析结果

4.1 气缸内压力变化

计算所得的压缩机气缸内压力变化曲线如图 4 所示。由图可知排气过程中气缸内最大压力可达

0.95MPa，高出排气压力约 0.18Mpa；吸气过程中气缸内最小压力到 0.04Mpa，低于压缩机吸气压力。

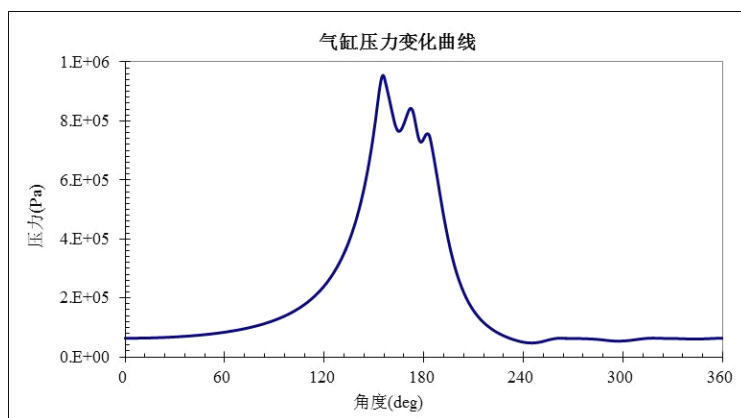


图 4 气缸内压力变化曲线

4.2 吸排气阀片运动规律

排气阀片运动规律如 5 所示，由图可知，排气阀片打开后迅速紧贴排气阀片限位器，未发生颤振，阀片运动规律较理想。

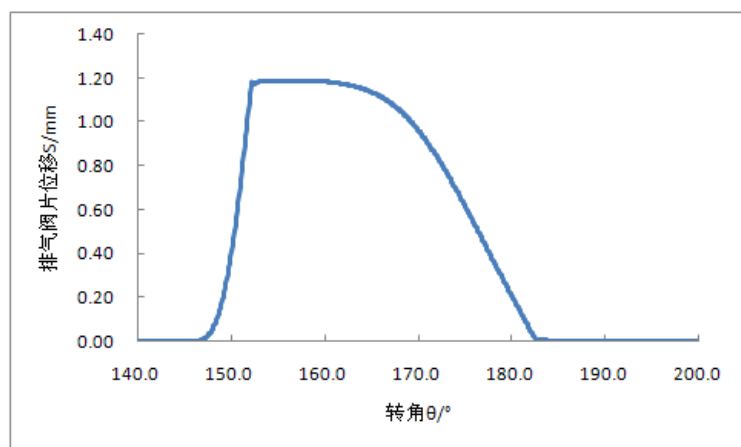


图 5 排气阀片运动规律

吸气阀片运动规律如 6 所示，由图可知，吸气阀片在压缩机运转的一个周期内存在多次启闭，这主要与其未设置限位器有关。

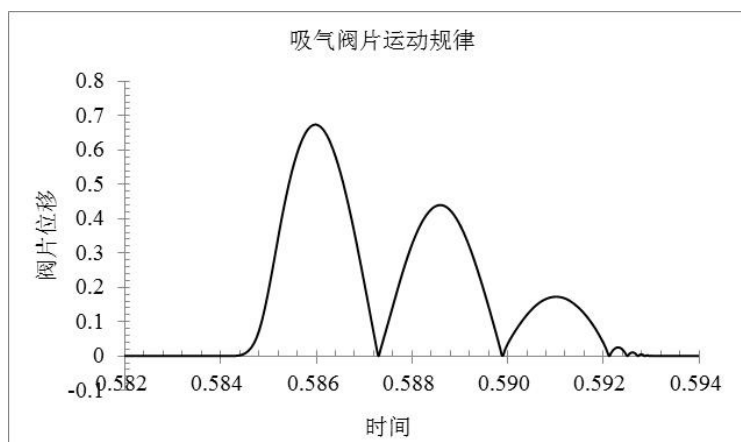


图 6 吸气阀片运动规律

4.3 排气管路质量流量

气缸排气口处的质量流量曲线如图 7 所示。由图可知，排气口附近质量流量曲线比较简单，主要原因在于排气阀片打开后，由于两侧压差作用使其紧贴限位器，且阀片未发生颤振。

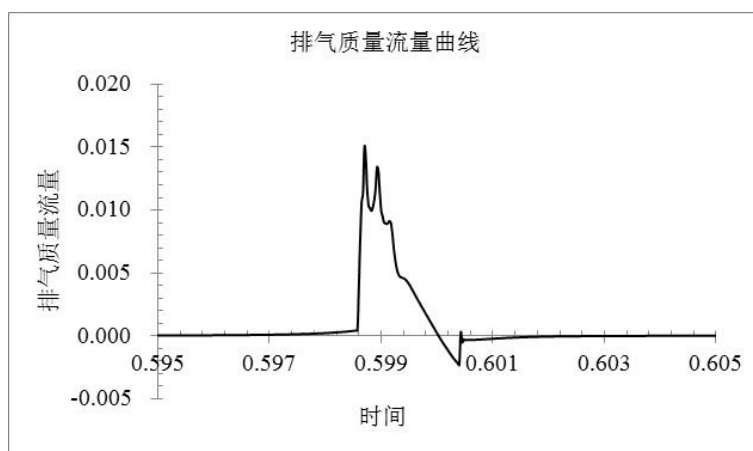


图 7 气缸排气口质量流量曲线

5 结束语

研究并掌握了基于 STAR-CD 的冰箱压缩机吸排气系统三维流固耦合分析方法，利用 STAR-CD 软件建立了吸排气系统流场分析模型，利用 STAR-CD 动网格技术实现了对气缸及阀片周围网格的控制，利用 MPCCI 软件实现了结构模型与流体模型数据的双向耦合。通过三维流固模型的求解，获取了冰箱压缩机气缸内压力变化、吸排气阀片运动规律、排气系统质量流量曲线等关键技术参数，为吸排气系统优化奠定了基础。

6 参考文献

- [1] 刘东.小型全封闭制冷压缩机[M].北京:科学出版社,1990.
- [2] CCM USER GUIDE STAR-CD VERSION 4.06