

文章编号: 1005-0329(2012)01-0017-05

涡旋压缩机的虚拟建模与运动仿真

李 超 余 洋 赵 嫄
(兰州理工大学,甘肃兰州 730050)

摘 要: 为了分析涡旋压缩机运动机构的动力特性和运动规律,根据涡旋压缩机的结构和工作原理,采用三维实体建模和虚拟样机软件对其运动机构进行了三维实体建模,通过涡旋压缩机的运动仿真,获得了准确的运动学参数曲线,保证了涡旋压缩机设计的正确性和可靠性,提高了整体设计效率和精度。

关键词: 涡旋压缩机; 虚拟建模; 运动仿真

中图分类号: TH45 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1005-0329.2012.01.005

Virtual Modeling and Dynamic Simulation of Scroll Compressor

LI Chao ,YU Yang ,ZHAO Man
(Lanzhou University of Technology ,Lanzhou 730050 ,China)

Abstract: To research the dynamic characteristics and movement rules of the movement mechanism of scroll compressor , according to the configuration and working principle of the scroll compressor , the virtual modeling software and the virtual prototype software was used to make the three - dimensional model of the movement mechanism , realized the kinematics simulation of the scroll compressor , and came to the accurate curves of kinematic parameters. It can assure the accuracy and the reliability in design of Scroll Compressor , raised the wholly design efficiency and precision.

Key words: scroll compressor; virtual modeling; dynamic simulation

1 前言

虚拟样机(Visual Prototype)技术是通过计算机等技术手段把产品资料集成到一个可视化环境中,实现产品的仿真分析。使用系统仿真软件,可以在各种虚拟环境中真实地模拟系统的运动,不断修改设计缺陷及改进系统,直至获得最优设计方案,最终做出比较理想的物理样机^[1]。

在众多的商业产品中,美国 MDI 公司的 ADAMS 软件是最具权威性、应用范围最广的虚拟样机仿真软件。它不但可以方便快捷地对虚拟样机进行静力学、运动学和动力学分析,而且其开放的程序结构和接口还使它成为特殊行业用户进行特殊虚拟样机分析的二次开发工具^[2]。本文采用 ADAMS 软件对高效低噪涡旋压缩机的运动机构进行仿真研究。

2 涡旋压缩机的结构与工作原理

涡旋压缩机主要由动涡旋盘、静涡旋盘、十字滑环、曲轴和支架体等零件组成,如图 1 所示。

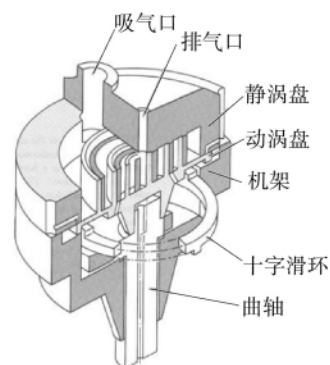


图 1 涡旋压缩机的基本结构

收稿日期: 2011-09-22 修稿日期: 2011-12-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50975132)

动、静涡旋盘偏心一定距离相错某一角度安置在一起。动静涡旋齿相互啮合后形成多个封闭容积，动涡旋在曲轴驱动和防自转机构限制下，实现回转平动运动。使动、静涡旋齿相互啮合形成的月牙形封闭容积发生周期变化，实现气体的吸入、压缩和排气，参见图 2 所示。

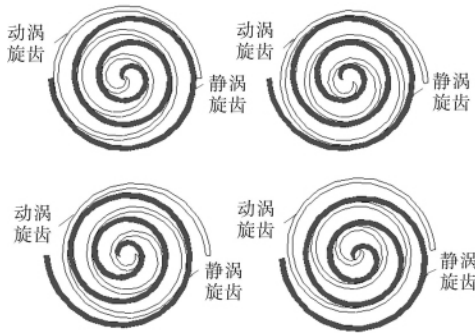


图 2 涡旋压缩机工作原理

3 公转型涡旋压缩机运动机构

图 3、图 4 示出涡旋式压缩机的运动机构模型。

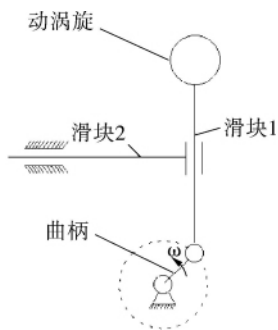


图 3 动涡旋公转运动机构模型

图 3 中由 1 个曲柄和 2 个滑块组成，偏心曲轴在带轮的带动下绕自身轴线作圆周运动，与动涡旋连接在一起的滑块 1 在滑块 2 的制约下只能做公转平动，而不能自转。该机构模型由 3 个活动构件、4 个低副组成。自由度可由下式确定^[3]：

$$F = 3n - (2p_l + p_h) \quad (1)$$

式中 n ——活动构件数

p_l ——运动低副

p_h ——运动高副

由式 (1) 可知，该机构只有 1 个自由度。这

样就保证与滑块 1 为一体的动涡盘作公转平动，其圆周公转的轨道形状是由曲柄限定的。

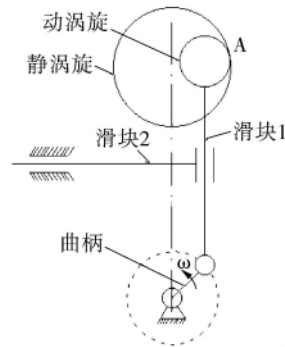


图 4 动静式涡旋压缩机机构模型

图 4 建立的是动静式涡旋压缩机机构模型，在此机构中包含 5 个构件（含固定构件支架），静涡旋与机架固定为一体，只有当动、静涡旋盘齿的工作表面加工精度达到整个工作表面上处处都能完美啮合时，那么动涡旋和静涡旋的型线贴合点 A 构成一虚约束。

4 涡旋压缩机虚拟样机的建立

4.1 虚拟样机的零件造型

通过 Solidworks 软件建立涡旋压缩机三维装配模型，然后由 model. x_t 文件格式导入 ADAMS 软件中建立运动学模型。

4.2 虚拟样机的装配

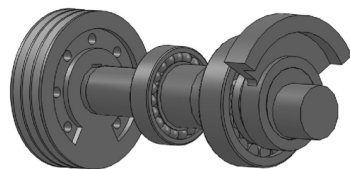


图 5 曲轴组件

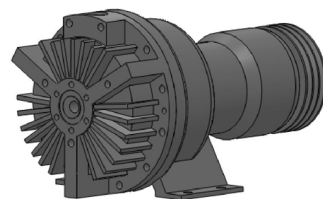


图 6 涡旋压缩机装配

涡旋压缩机各主要零部件实体建模之后,根据涡旋压缩机各个机构之间的装配关系进行虚拟装配。装配好的运动机构虚拟样机模型,如图 5、图 6 所示。

4.3 干涉检查

Solidworks 软件提供了干涉检查的功能。如果装配体之间发生重叠现象,在重叠区域内,会高亮的显示装配体装配的错误信息,以满足设计者快速地对其进行修改。

5 运动仿真

5.1 创建约束

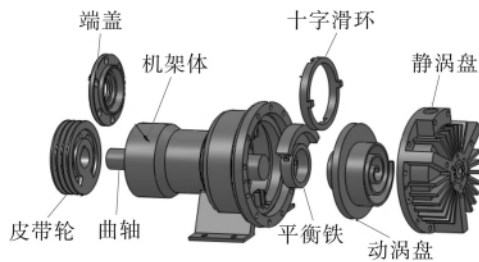


图 7 机构的连接关系

根据涡旋压缩机各个运动机构之间的约束关

系,在其虚拟样机模型装配好之后对其添加约束。按照前面对涡旋压缩机运动机构的分析,在 ADAMS 中对涡旋压缩机运动构件之间添加约束以及驱动。

在 ADAMS 模型设置曲轴转速设置为 2900r/min^[4]。机构的连接关系如图 7 所示。

零部件之间约束关系见表 1 所示。

表 1 各运动部件之间的约束关系

序号	零件	运动副类型
1	皮带轮	铰链
2	端盖、机架	固定
3	曲轴、皮带轮	固定
4	机架	相对地固定
5	平衡铁、曲轴	固定
6	十字滑环	点线
7	偏心轴、动涡盘	铰链
8	静涡盘	相对地固定

5.2 虚拟样机的仿真过程

图 8 示出涡旋压缩机运动机构的一个仿真运动周期中曲轴与十字滑环某时刻的运动状态。这与涡旋压缩机曲轴和十字滑环的实际运动规律相一致。

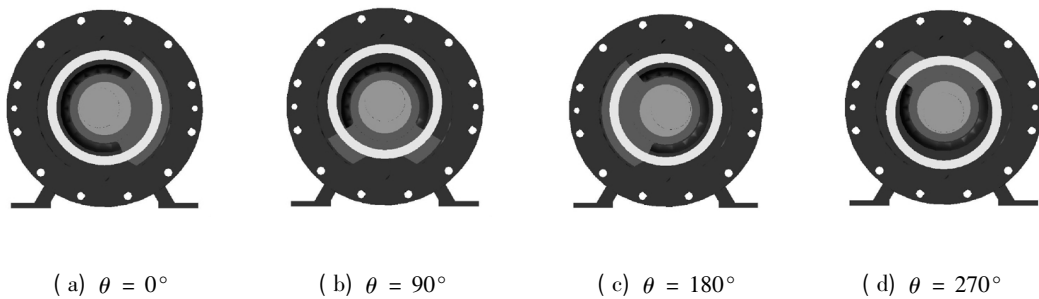


图 8 曲轴与十字滑环运动示意

5.3 十字滑环的理论动力学分析

如图 9 所示,十字环在 y 方向的两个键 A、B,与支架上对应的键槽滑动配合。在 x 方向的两个键 C、D,与动涡旋盘上对应的 2 个键槽滑动配合。十字环的中心只在 y 轴上作往复运动。文献[5]指出,当动涡盘中心 b 绕机体中心 a 转过角度 θ 时:

十字滑环相对于机体中心 a 的位移为:

$$\begin{aligned} S_y &= -r \sin \theta \\ &= -r \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (2)$$

动涡盘相对于十字环中心 c 的位移为:

$$\begin{aligned} S_x &= r \cos \theta \\ &= r \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

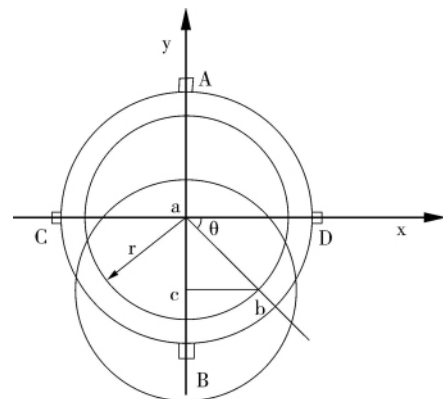


图 9 十字滑环防自传机构运动

由式(2)可求出十字滑环相对于机体中心 a 的速度、加速度。

$$V_y = \frac{dS_y}{dt} = -\omega r \cos(\omega t) = -\omega S_x \quad (4)$$

$$a_y = \frac{d^2S_y}{dt^2} = \omega^2 r \sin(\omega t) = -\omega^2 S_y \quad (5)$$

十字滑环的运动加速度与角度的关系曲线如图 10 所示。

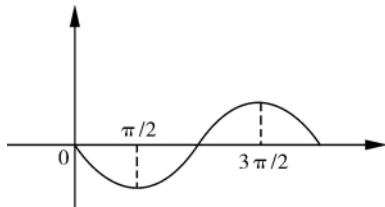


图 10 十字滑环运动规律

文献 [5] 指出,当曲轴 θ 角旋转 $0 \rightarrow 2\pi$ 过程中,十字滑环相对于机体中心位移、动涡盘相对于十字环中心位移分别按正弦和余弦分布,主轴的曲柄销中心 O 在 X 轴上的投影的运动是简谐运动,而十字滑环上任意一点的运动和偏心销轴中心 O 在 X 轴上的投影的运动相同,所以也是简谐运动。

式(5)和图 10、11 表明,在曲轴转角为 90° 、 270° ,十字滑环在机架滑槽中极端位置时,加速度最大,在中间位置最小。其加速度的大小与曲轴半径 r 、角速度 ω 的平方成正比。由于加速度的存在,使做往复运动的十字滑环存在惯性力,并引起振动,所以设计时,要尽量减小十字滑块的质量,以降低惯性力^[5]。

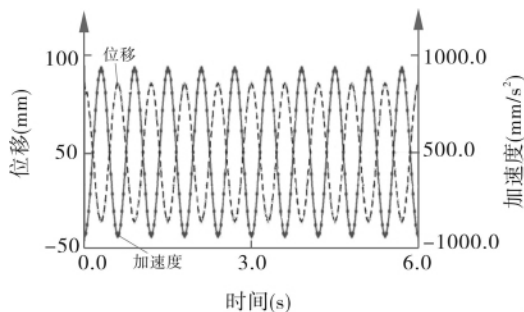


图 11 十字滑环质心位置与加速度示意

5.4 动涡旋盘运动机构分析

由图 3 可知动涡旋盘理论机构模型。

文献 [6] 指出,动涡旋盘的绝对运动就是十字滑环相对于支架体的牵连运动和动涡盘相对于十字滑环的相对运动的合成,其中心 b 的运动轨

迹是以支架体中心 a 为圆心,以 r 为半径的圆,运动方程为:

$$S_b = (-r \sin\theta)^2 + (r \cos\theta)^2 = r^2 \quad (6)$$

在 ADAMS 软件中,依次取动涡旋盘和曲轴上任意一点,即可得到动涡旋盘的运动轨迹。如图 12 所示,动涡旋盘运动轨迹是以曲轴偏心距 r 为半径的圆。从而验证了动涡旋盘公转平动的规律。图 13 为动涡盘运动规律。图 14 为动涡盘质心速度与位移示意。

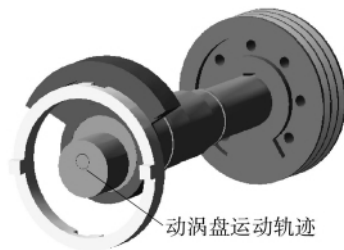


图 12 动涡盘运动轨迹

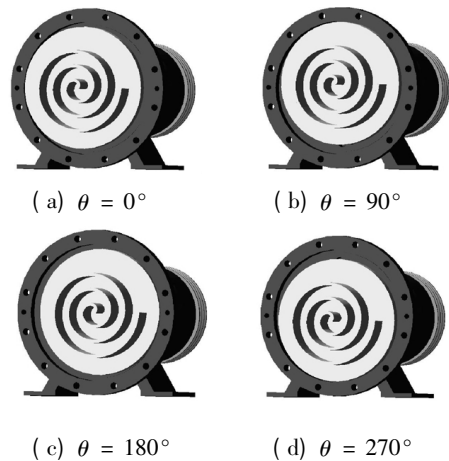


图 13 动涡盘运动规律

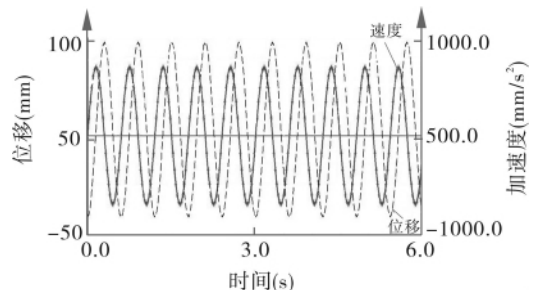


图 14 动涡盘质心速度与位移示意

5.5 涡旋齿啮合的运动规律

图 15 描述了曲轴旋转角度 θ 从 $0 \sim 270^\circ$ 变化时动、静涡旋齿的啮合过程。偏心曲轴在皮带轮的带动下,使得动、静涡旋盘不断形成月牙形封闭腔,在每一个周期内连续进行吸气、压缩、排气过程。

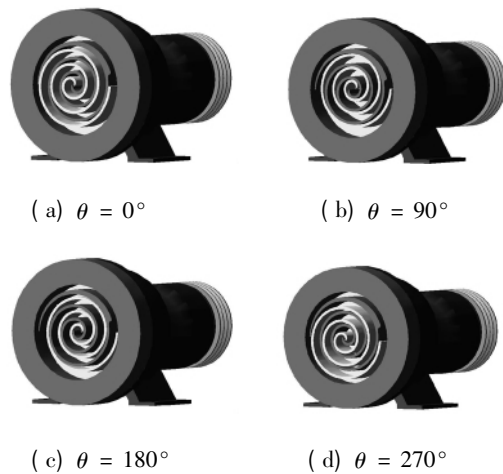


图 15 涡旋齿啮合示意

6 结语

以 Solidworks 软件和虚拟样机软件为技术平台,实现了涡旋压缩机的虚拟装配和运动仿真。该技术不仅可以高效、快速地建立涡旋压缩机的实体模型,同时可以准确地得到涡旋压缩机的运动学参数,为涡旋压缩机的运动学研究提供了新的方法。

参考文献

- [1] 郭卫东. 虚拟样机技术与 ADAMS 应用实例教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

- [2] 朱海荣, 彭培英, 王群辉. 基于 ADAMS 的往复式活塞式压缩机运动机构仿真研究 [J]. 机械设计与制造, 2010, 32(9): 83-84.
- [3] 刘振全. 涡旋压缩机理论机构模型 [J]. 机械工程学报, 1999, 24(2): 1-8.
- [4] 白亮亮, 唐良宝. 基于 ADAMS 活塞压缩机动平衡虚拟设计 [J]. 流体机械, 2008, 36(6): 43-45.
- [5] 赵嫚. 涡旋压缩机机构动力特性研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学硕士学位论文, 2006: 10-40.
- [6] 单彩霞. 涡旋压缩机防自转机构动力特性的研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学硕士学位论文, 2008: 33-34.
- [7] 胡跃华. 涡旋压缩机虚拟样机运动仿真研究 [J]. 煤矿机械, 2009, 30(2): 54-56.
- [8] 顾兆林, 郝永章. 涡旋式压缩机动涡盘防自转机构的综合分析 [J]. 流体机械, 1995, 23(8): 54-55.
- [9] 柏杰, 李连生. 涡旋式压缩机动力特性分析 [J]. 西安交通大学学报, 1994, 28(8): 83-88.
- [10] 王颖. 基于 ADAMS 的偏置曲柄滑块机构的运动学及动力学仿真研究 [J]. 科学技术与工程, 2010, 10(32): 42-45.
- [11] 李超. 驱动轴承内嵌式涡旋压缩机特性研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学博士学位论文, 2007: 1-2.
- [12] Schein C, Radermacher R. Scroll Compressor Simulation Model [J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, JANUARY 2001, 123/217.

作者简介: 李超(1958-), 男, 教授, 博导, 主要从事气体压缩机械理论及应用方面的研究, 通讯地址: 730050 甘肃兰州市兰州理工大学石油化工学院。

(上接第 30 页)

参考文献

- [1] Dickmann H-P, Secall Wimmel T, Szwedowicz J et al. Unsteady Flow in a Turbocharger Centrifugal Compressor: 3D-CFD Simulation, Impeller Blade Vibration and Vaned Diffuser-Volute Interaction [C]. ASME Paper GT2009-59046.
- [2] Kim S, Park J, Ahn K et al. Improvement of the Performance of a Centrifugal Compressor by Modifying the Volute Inlet [J]. ASME Journal of Fluids Engineering, 2010, 132: 091101.
- [3] Brune K-H, Schiffer H-P, Christmann R et al. Experimental Investigations of the Disturbed Inlet-Flow Structure Caused by Mixing Geometries and Its Influence on the Performance of a Turbocharger Centrifugal Compressor [C]. ASME Paper GT2009-59534.
- [4] Aungier R H. Mean Streamline Aerodynamic Performance Analysis of Centrifugal Compressors [J]. ASME Journal of Turbomachinery, 1995, 117: 360-366.
- [5] 张朝磊, 邓清华, 丰镇平. 级环境下离心压气机扩压器叶片气动优化设计 [J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(11): 32-36.
- [6] 朱大鑫. 涡轮增压与涡轮增压器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [7] 冀春俊, 范苏月, 王澄宇, 等. 压气机失速研究及设计方法的讨论 [J]. 内燃机与动力装置, 2010, (2): 1-4.
- [8] 孙晓东, 韩万金. 压气机叶片多工况气动优化设计研究 [J]. 汽轮机技术, 2010, 52(1): 24-26.

作者简介: 冀春俊(1962-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事叶轮机械气体动力学的研究, 通讯地址: 116023 辽宁大连市大连理工大学能源与动力学院。