

无油涡旋压缩机动力学分析与研究

邵 兵, 任 嵘

(兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

[摘 要]: 为了研究无油涡旋压缩机主要部件的动力学特性, 采用理论分析与软件仿真相结合的方法, 建立了无油涡旋压缩机的动力学模型, 通过动力学仿真分析了主要运动部件的受力情况。研究表明, 动涡盘所受的轴向气体力和切向气体力是影响气体泄漏的关键因素, 仿真结果也为后续进一步压缩机研究提供了参考。

[关键词]: 无油涡旋压缩机; 动力学; ADAMS; 仿真分析

中图分类号: TH455 文献标志码: A

文章编号: 1006-2971(2015)03-0017-04

DOI:10.16051/j.cnki.ysjjs.2015.03.004

Dynamics Analysis and Research of Oil-free Scroll Compressor

SHAO Bing, REN Rong

(School of Mechatronics Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: In order to study the dynamics characteristic of oil-free scroll compressor, the dynamics model was established based on theoretical analysis and dynamics simulation and the forces of the main moving parts were studied and analyzed. The conclusion shows that the axial gas forces and tangential gas forces are the key factors that influence the gas leakage, and the simulation results also provide references for subsequent research on scroll compressor.

Key words: oil-free scroll compressor; dynamics; ADAMS; simulation analysis

1 引言

涡旋压缩机自问世以来就以其高效可靠、结构紧凑、污染小而著称。随着能源危机和科学技术的飞速发展, 涡旋压缩机的研究理论日益丰富, 产品制造技术突飞猛进, 取得了大量的研究成果。

涡旋压缩机的主要零部件如动静涡旋盘、轴等的动力学特性, 直接影响到涡旋压缩机的工作效能和寿命。许多学者已经在动力学研究方面取得了不少理论成果, 其中江苏理工大学的张立群为了得到涡旋压缩机涡旋盘在实际工作环境下的变形规律, 首先对实际工况下的涡旋盘所载荷进行了分析, 然后据此建立了相应的有限元模型, 再使用有限元分析软件对静涡旋盘进行了相应的变形分析, 从而为涡旋盘改进提供了第一手资料^[1]; 兰州理工大学的刘振全教授也使用有限元分析的

方法建立了模型, 从而得出了涡旋盘吸气结束瞬间及主轴转动一周的应力及变形^[2]; 兰州理工大学的李超教授在前者的基础上进行了综合分析, 把涡旋盘在气体力、温度场和惯性力综合作用下的应力和变形分布情况进行整体研究, 得出了最大应力发生部位^[3]; 天津大学的赵树峰等则分析了整个载荷循环过程中, 压缩机涡旋盘所发生的应力及应变情况^[4]; 兰州理工大学的赵嫚、李超等人分析了轴承所受径向的载荷力和径向间隙问题及产生的倾覆力矩等相关参量对滚针轴承受力特征和性质的影响, 为动力学与摩擦学的耦合问题研究提供了一定的理论依据^[5]; 吉林化工学院的高艳等人推导了双头涡旋齿涡旋压缩机的运动构件的受力公式^[6]。以上研究多以有限元方法为基础进行分析研究, 而很少采用虚拟样机研究的方法进行动力学分析研究。

所以本文采用虚拟样机研究的方法对无油涡

收稿日期: 2014-11-28

旋压缩机主要零部件动涡旋盘进行了相应的动力学分析以及探究，从虚拟仿真结果中可以得出动涡旋盘在气体力作用下的受力变化，为样机的结构优化及进一步研究涡旋压缩机提供可靠依据。

2 涡旋压缩机理论基础

无油涡旋压缩机的主要零部件有相互啮合在一起的动、静涡旋盘、电机驱动的曲轴、壳体等。其中2个动、静涡旋盘对插在一起，在曲轴的与防自转机构的约束下，从而实现公转平动。随着动涡旋盘转动，使得形成的数对闭合的压缩腔容积周期性的由大变小，实现压缩过程，如图1所示。

涡旋压缩机基本参数，见表1。

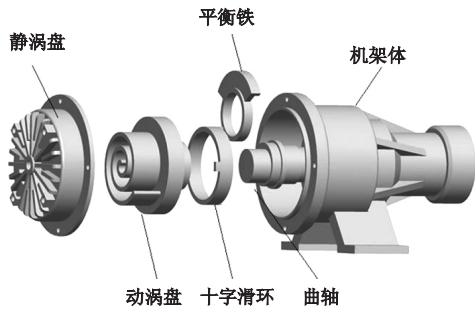


图1 涡旋压缩机基本机构

表1 涡旋压缩机主要变量参数表

变量名称	变量符号	变量数值
基圆半径	a	2.069 mm
涡旋齿高	h	30 mm
涡旋齿厚	t	4 mm
渐开线节距	$p=2\pi a$	13 mm
动静涡盘基圆中心距离	$r=p/2-t$	2.5 mm
渐开线发生角	α	55.4°
涡旋圈数	N	3.25
修正展角	ϕ	$\pi/8$
修正角	γ	$\pi/180$
开始排气角	θ^*	$2\pi - \pi/180$

3 运动部件动力学模型

涡旋压缩机动、静涡旋盘所受的力有气体力

和非气体力两大类。由于涡旋压缩机动、静涡旋盘是对插在一起的，因此所受气体力大小相等、方向相反。而静涡旋盘中产生的气体力则会作用到外壁上，这种冲击力使压缩机产生振动进而形成噪声。但是这些振动和噪声产生的相对影响比其他类型的压缩机还是很小的。即便是影响很小，只要气体力对无油压缩机的动涡旋盘产生作用，就会直接改变涡旋压缩机的容积效率和机械效率，因此对这些气体力的研究对提高压缩机工作能力有着不可或缺的作用。通常情况下作用在压缩腔涡旋盘上的气体力，根据作用方向的不同，可以分为轴向气体力、切向气体力以及径向气体力，以下以动涡旋盘为研究对象。

3.1 轴向气体力

轴向气体力是检测无油涡旋压缩机性能的重要因素，是涡旋盘受力中占主导地位的气体力，轴向气体力如果过大会使得动涡旋盘沿着轴向会发生脱离，轴向间隙相应的也会增大，进而增大了径向气体泄漏量^[7]。

由于 $r < 2a$ ，故基圆之间围城的面积 S_{L1} 为

$$S_{L1} = a^2/2 \{ (\pi - 4\alpha) + 2\cos^{-1}(\pi/2 - \alpha) - (\pi - 2\alpha)\sin[\cos^{-1}(\pi/2 - \alpha)] \} \quad (1)$$

当曲轴转角 θ 随着压缩过程进行变化时，其中心压缩腔内轴向气体力的作用面积 A 也在变化。

当 $0 \leq \theta < \theta^*$ 时

$$A = a^2/3 \{ (2.5\pi - \theta)^3 - (1.5\pi - \theta)^3 \} - S_{L1} \quad (2)$$

当 $\theta^* \leq \theta < 2\pi$ 时

$$A' = a^2/3 \{ (4.5\pi - \theta)^3 - (3.5\pi - \theta)^3 \} - S_{L1} \quad (3)$$

故轴向气体力为

当 $0 \leq \theta < \theta^*$ 时

$$F_a = \pi p_s p^2 \left[A' \rho_i / \pi p^2 + \sum_{i=2}^{3.25} (2i-1-\theta/\pi) \rho_i \right] \quad (4)$$

当 $\theta^* \leq \theta < 2\pi$ 时

$$F_a = \pi p_s p^2 \left[A' \rho_i / \pi p^2 + \sum_{i=2}^{3.25} (2i-1-\theta/\pi) \rho_i \right] \quad (5)$$

式中 ρ_i ——压力比， $\rho_i = \{ (5.5 - \theta/\pi) / (2i - 1 - \theta/\pi) \}^k$

k ——等熵指数， $k=1, 2$

θ_s ——吸气结束角， $\theta_s = \pi/s$

p_s ——吸气压力， $p_s = 1.01 \text{ Pa}$

θ ——主轴转角， $0 \leq \theta \leq 2\pi$

3.2 切向气体力

切向气体力垂直于动、静涡盘的基圆中心连线方向上,其径向方向上的气体力会推动涡盘转动。

切向气体力为

$$F_t = php_s \sum_{i=1}^{3.25} (2i - \theta/\pi)(\rho_i - \rho_{i+1}) \quad (6)$$

3.3 径向气体力

径向气体力方向沿两涡盘的基圆中心连线,其径向方向上作用的气体力导致动涡盘中心向静涡盘中心移动,使切向气体力随着径向间隙变大而增加。

径向气体力

$$F_r = 2ahp_s(p/p_d - 1) \quad (7)$$

式中 p_d ——排气压力, $p_d = 6.0$ Pa

4 动力学仿真分析

4.1 三维模型的建立

根据实验样机无油压缩机实体尺寸,用三维绘图软件Pro/E对涡旋压缩机进行建模,并在虚拟环境中完成装配,见图2。

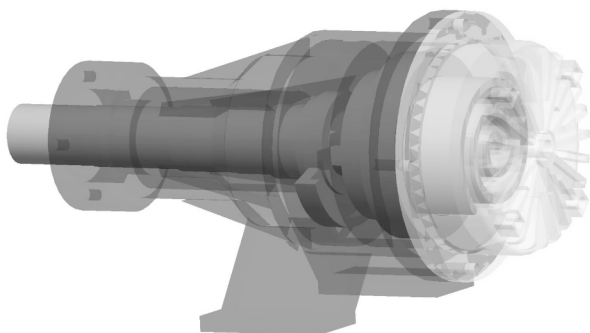


图2 建模实体图

4.2 添加约束及驱动方式

紧接着把前面已经建立好的虚拟样机导入ADAMS中,在ADAMS中进行仿真分析。以无油涡旋压缩机的实际运动情况为依据,在虚拟样机上添加约束和驱动方式^[8-9]。压缩机外壳与地面、静涡旋盘和外壳、平衡块和曲轴分别相对静止,分别给这几个部件添加固定副;曲轴作圆周运动,故添加转动副;动涡盘作公转平动运动,故施加圆柱副,而在十字滑环上施加移动副。

电机带动无油压缩机运动,故在曲轴上创建旋转驱动,曲轴转速为2890 r/min,即大小为

17340°/s。

4.3 施加驱动力

在无油涡旋压缩机的虚拟样机仿真分析中,需要施加的力主要是气体力,分别为轴向气体力、切向气体力和径向气体力。这3种气体力相对复杂,故根据3.1-3.3中气体力公式,借助STEP和IF函数来模拟气体力。

5 动力学仿真分析

经过以上步骤,无油涡旋压缩机仿真条件设置完毕,通过动力学仿真软件ADAMS动力学仿真,得到无油涡旋压缩机动涡盘所受气体力在一个周期内的变化曲线,如图3所示。

从图3可以看出轴向气体力对压缩机的作用大于切向气体力和径向气体力。

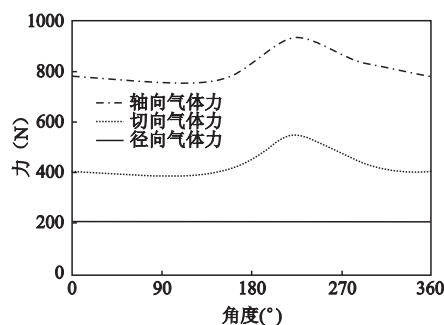


图3 动涡盘气体力随转角变化图

6 结论

(1) 通过对涡旋压缩机主要运动部件即动涡盘上所受的力气的仿真分析可知,轴向气体力随主轴转角变化幅度最大,对压缩机工作性能影响最大,径向气体力与主轴转角无关。同时,轴向气体力过大不仅会影响轴向间隙,还会导致径向气体泄漏量的变化;而径向气体力过大也会使径向间隙增大,从而径向间隙的气体泄漏量增加,必须控制气体力的作用,并采取措施改进。

(2) 因此,本文为后续研究平衡轴向气体力,降低摩擦功耗,防止泄漏量增大提供了参考;同时相比较理论计算,使用虚拟样机软件Pro/E和ADAMS进行建模仿真,能更形象反映运动特性,进而缩短了产品研发时间,为进一步分析、优化提供了技术支持。

(下转第44页)

流道中的泄漏流。

由以上含义我们可以看出，其中流路B所占有的百分比越大则越有利于换热，是我们所希望得到的，但在通常情况下流路B很难达到一个理想的百分比，此台冷却器流路B为0.558，已经达到了较为理想的数值。

(3) 对于一台冷却器，纯逆流状态是最理想的情况，但是对于多管程、壳程换热器很难做到，所以所设计出来的冷却器能否实现“换热”作用，需要一个判定的方法。当一台设备所有参数输入完毕并进行计算后，我们可以查看该冷却器的热交换曲线，如图2所示。

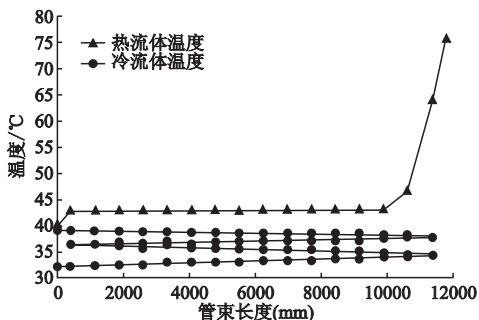


图2

图2中横坐标为管束长度，纵坐标为温度，如果冷热流体的2条曲线没有交点，则说明此台设备设计是合理的，换热过程可以实现，如果有交点（俗称“假点”），说明换热过程在实际工作中不可能实现，即使有足够的换热裕量也是难以实现的。图2中显示冷热流体2条曲线无交点，说明该冷却器可以在实际工作中实现换热效果。

3 结论

应用上述软件对压缩机级间冷却器进行工艺计算，能够保证：

- (1) 冷却器的换热面积和换热余量准确；
- (2) 分析出工艺流体在冷却器内发生的物性变化过程；
- (3) 准确计算出相变介质析出液体的含量，以及出口介质组分；
- (4) 根据运行报告提示，可以对冷却器的结构进行优化设计。

运用HTRI计算方法对冷却器进行工艺计算已经得到山西潞安（集团）有限责任公司项目组和设计院专家的一致认可。目前，为山西潞安（集团）有限责任公司油品合成装置项目往复压缩机所配套的冷却器在用户现场投入使用，经用户反馈，冷却器运行稳定、冷却效果良好。实践证明，利用HTRI软件进行冷却器工艺计算具有一定的实用价值和推广意义。

参考文献：

- [1] 郁永章,等.容积式压缩机技术手册[M].北京:机械工业出版社,2000:868-894.
- [2] 钱颂文,等.换热器设计手册[M].北京:化学工业出版社,2002:1-14.
- [3] 活塞式压缩机设计编写组.活塞式压缩机设计[M].北京:机械工业出版社,1974:439-516.

作者简介：李首霖(1987-)，男，本科，助理工程师，毕业于辽宁工业大学，就职于沈阳鼓风机集团股份有限公司往复机事业部，从事压力容器设计工作。

(上接第19页)

参考文献：

- [1] 张立群,刘振全.涡旋压缩机静涡旋盘实际工况下的变形分析[J].流体机械,2000,28(2):18-20.
- [2] 刘振全,戚智勇.涡旋压缩机动涡旋盘应力及变形的研究[J].流体机械,1995,23(10):23-26.
- [3] 李超,谢文君,赵嫚.多场耦合作用下动涡旋盘的变形和应力研究[J].流体机械,2013,41(8):16-20.
- [4] 赵树峰,陈旭,田涛.涡旋压缩机动涡盘的应力及变形分析[J].化工机械,2003,30(1):17-20.
- [5] 赵嫚,李超,俞树荣,等.涡旋压缩机驱动轴承的力学特

性研究[J].振动、测试与诊断,2013,33(1):18-20.

- [6] 高艳,刘跃卓,刘振全.双头涡旋齿涡旋压缩机运动构件受力模型研究[J].压缩机技术,2014,243(1):9-11.
- [7] 李连生.涡旋压缩机[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [8] 耿葵花,杜时光,唐萌,等.平动活塞式空气压缩机的虚拟仿真分析[J].机械设计与制造,2012,(11):28-30.
- [9] 李增刚.ADAMS入门详解与实例[M].北京:国防工业出版社,2007.

作者简介：邵兵(1969-)，男，甘肃天水，副教授，主要从事机械理论研究、涡旋压缩机等方面的研究工作。E-mail: bingshao1215@163.com