

# 轴向间隙对摆线转子泵性能影响的数值模拟研究

饶罗, 钟易成

(南京航空航天大学 能源与动力学院, 江苏 南京 210016)

**摘要:**基于给定的不同轴向间隙,利用 Pumplinx 数值分析软件,对摆线转子泵的内部流场进行三维非定常数值模拟研究,获得轴向间隙对摆线转子泵性能的影响规律。仿真结果表明:在转速不变的条件下,随着轴向间隙的增加,摆线转子泵的容积效率明显下降,但流量脉动幅度没有明显变化;在轴向间隙不变的条件下,随着转速的增加,摆线转子泵容积效率变大。

**关键词:**摆线转子泵;轴向间隙;数值模拟;性能影响;容积效率

**中图分类号:**TH326 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)05-0110-03

## Axial Clearance Effects on Performance of Gerotor Pump Using Numerial Simulation

RAO Luo, ZHONG Yicheng

(College of Energy and Power, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** Based on the given different axial clearances, the three-dimensional unsteady numerical simulation of the internal flow field of the gerotor pump is carried out by using the numerical analysis software Pumplinx to obtain the influence law of the axial clearance on the performance of gerotor pump. The simulation results show that under the condition of constant speed and with the increase of axial clearance, the volumetric efficiency of gerotor pump decreases drastically, the amplitude of flow pulsation, however, keeps nearly unchanged. Under the condition of constant axial clearance and with the increase of rotational speed, the volumetric efficiency of gerotor pump increases.

**Keywords:** gerotor pump; axial clearance; numerical simulation; performance influence; volumetric efficiency

## 0 引言

摆线转子泵在结构、传动、噪声、性能方面具有相对平衡的优势,主要由内外转子组成,内转子的每个齿始终与外转子滑动接触,形成密封容腔,内转子带动外转子以不同速度同向旋转,流体进入体积逐渐变大的容腔,随转子旋转输送到出口<sup>[1]</sup>。摆线转子泵工作时,轴向的运动部件和静止部件之间必然存在相对运动,在相对运动位置则必定存在轴向间隙。

目前摆线转子泵的研究主要集中在降低流量脉动、提高容积效率、齿廓建模方法研究和受力分析等<sup>[2-4]</sup>,尚缺乏进一步的泄漏机理研究。随着性能需求的提升,设计周期却越来越短,数值模拟方法使得设计过程的成本效益变得最优化。本文利用泵阀模拟专用软件 Pumplinx,对摆线转子泵内流场进行仿真计算,分析轴向间隙对摆线转子泵性能影响的规律。根据数值仿真的讨论结果,合适的轴向间隙可以为以后摆线转子泵的结构设计和性能优化提供参考。

## 1 几何模型

摆线转子泵设计参数在表 1 列出。几何模型如图 1 所示。利用 UG 软件参数化建模方法建立转子模型<sup>[5]</sup>,根

据转子的基本参数计算进排油腔大小端夹角<sup>[6]</sup>,分别为 24°和 16°,建立进排油腔模型。

表 1 摆线转子泵设计参数

齿数	厚度/mm	圆弧半径/mm	偏心距/mm	创成圆半径/mm
6×7	3	5	2.4	20

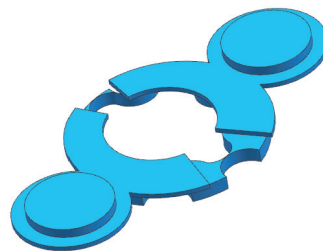


图 1 摆线转子泵几何模型

## 2 数值计算方法

在摆线转子泵数值计算中,数学模型不考虑能量方程,采用三维不可压缩非定常 N-S 方程,湍流模型  $k$  方程及  $\epsilon$  方程来求解流场,计算采用 SIMPLEC 方法。在 Pumplinx 中导入已经抽壳的摆线转子泵流体域 STL 文件,

第一作者简介:饶罗(1996—),男,四川达州人,硕士研究生,研究方向为机械与液压传动。

对进排油腔生成笛卡儿六面体网格,对转子采用自动结构化网格,网格总数 240 000,如图 2 所示。

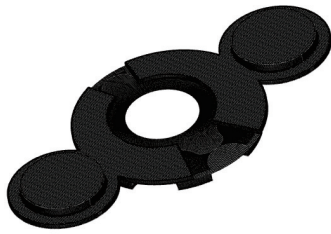


图 2 摆线转子泵网格模型

计算边界条件如下:进油腔进口设定为压力入口,压力为 0 MPa,排油腔设定压力出口,压力为 200 MPa;转子顺时针旋转速度为 2 000 r/min~6 000 r/min,介质为油,密度为 800 kg/m<sup>3</sup>,动力黏度为 0.007 Pa·s。

### 3 计算结果分析

给定 0.03 mm、0.05 mm、0.07 mm 3 个轴向间隙,然后分别计算 2 000 r/min、4 000 r/min、6 000 r/min 3 个不同转速下摆线转子泵的时均特性。查阅文献[7],可知理论流量按照下式计算:

$$Q_0 = \pi B(r_{a1}^2 - r_{f1}^2)n \quad (1)$$

式中: $r_{a1}$ 为内转子齿顶圆半径; $r_{f1}$ 为内转子的齿根圆半径; $B$ 为转子的厚度; $n$ 为内转子转速。

容积效率按照下式计算:

$$\eta = \frac{Q}{Q_0} \quad (2)$$

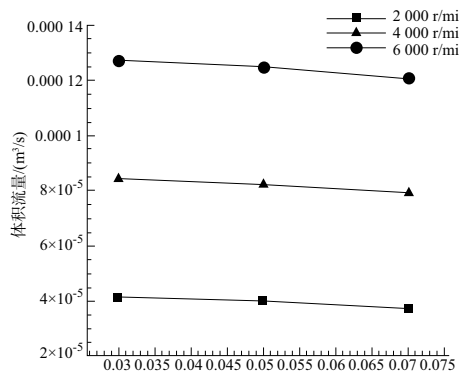
式中: $Q$ 为实际流量; $Q_0$ 为理论流量。

流量脉动率按照下式计算:

$$\delta = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_m} \quad (3)$$

式中: $Q_{\max}$ 为摆线转子泵瞬时流量的最大值; $Q_{\min}$ 为瞬时流量的最小值; $Q_m$ 为摆线转子泵瞬时流量的平均值。

图 3 给出了摆线转子泵体积流量和容积效率随轴向间隙的变化时的特性。在相同转速下,摆线转子泵流量和容积效率随着轴向间隙的增加而减小,这是因为轴向间隙会使摆线转子泵中的油液泄漏;在相同轴向间隙下,摆线转子泵体积流量和容积效率随着转速的增加而增大,由流量计算公式可知,这是因为摆线转子泵的流量和转速成正比。



(a) 体积流量

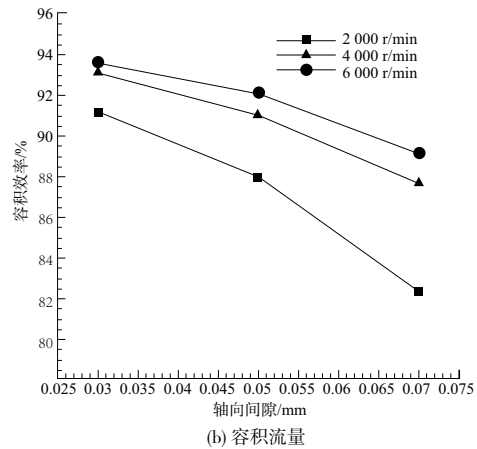


图 3 摆线转子泵时均特性

表 2 为摆线转子泵在各个轴向间隙和转速下的体积流量和容积效率。间隙从 0.03 mm 增加到 0.07 mm,转速从 2 000 r/min 增加到 6 000 r/min 时,摆线转子泵的流量分别下降了  $0.41 \times 10^{-5}$ 、 $0.50 \times 10^{-5}$ 、 $0.6 \times 10^{-5}$ ,容积效率分别下降了 8.84%、5.47%、4.42%。分析可以得到:1) 随着转速增加,轴向间隙对泄漏的影响加强;2) 随着转速增加,轴向间隙对容积效率的影响减弱。

表 2 摆线转子泵流量和容积效率

间隙/mm	转速/(r/min)	流量/(m <sup>3</sup> /s)	容积效率/%
0.03	2 000	$4.135 \times 10^{-5}$	91.18
0.05	2 000	$3.980 \times 10^{-5}$	87.98
0.07	2 000	$3.725 \times 10^{-5}$	82.34
0.03	4 000	$8.425 \times 10^{-5}$	93.11
0.05	4 000	$8.235 \times 10^{-5}$	91.01
0.07	4 000	$7.930 \times 10^{-5}$	87.64
0.03	6 000	$12.700 \times 10^{-5}$	93.58
0.05	6 000	$12.500 \times 10^{-5}$	92.11
0.07	6 000	$12.100 \times 10^{-5}$	89.16

图 4 为进排油腔和转子之间轴向间隙的油膜压力分布云图,由图可见油膜下侧红色区域为排油高压区,上侧蓝色区域为低压进油区(本刊黑白印刷,相关疑问请咨询作者),上下侧存在着较大的压力梯度。因此轴向间隙油膜上的油液将从高压区流向低压区,形成轴向间隙泄漏流,表明进出口压差是导致轴向间隙泄漏的主要原因。

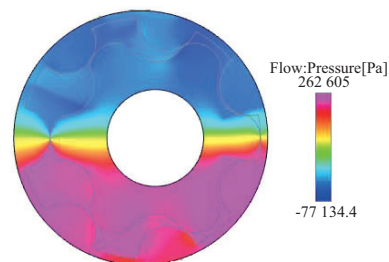


图 4 轴向间隙油膜压力分布云图

图5为转速4000 r/min,不同轴向间隙时,摆线转子泵瞬时流量脉动曲线。可以明显看到,摆线转子泵的瞬时流量呈周期性波动变化,这是因为内外转子周期性重复转动且相互啮合产生的,流量保持稳定性和重复性表明了数值

模拟的准确性,能够真实模拟摆线转子泵的实际工作情况。轴向间隙从0.03 mm到0.07 mm,摆线转子泵流量脉动幅度分别为4.87%、4.98%和5.04%,都在时均流量的5%左右,表明轴向间隙对于流量脉动的影响不大。

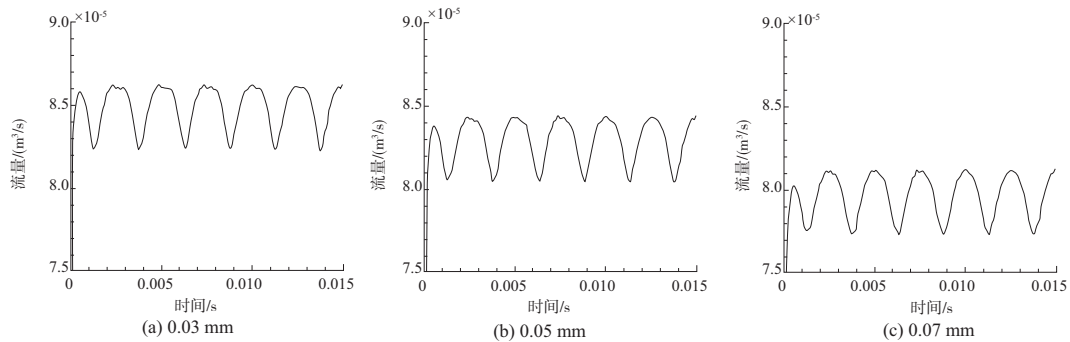


图5 不同轴向间隙瞬时流量脉动曲线

## 4 结语

利用数值分析软件 Pumplinx 计算分析了不同轴向间隙对摆线转子性能的影响,得出的主要结论如下:

- 1) 转速不变,摆线转子泵体积流量和容积效率随轴向间隙的增大而减小;轴向间隙不变,摆线转子泵体积流量和容积效率随转速的增加而变大。
- 2) 随着转速增加,轴向间隙对泄漏的影响加强,对容积效率的影响减弱。轴向间隙对流量脉动没有显著影响。
- 3) 轴向间隙油膜上的油液在压力作用下发生内泄,表明进出口压差是导致轴向间隙泄漏的主要原因。

### 参考文献:

[1] MANCÒ S, NERVEGNA N, RUNDO M, 等. 用于内燃机的转子

机油泵[J]. 国外内燃机, 2001, 33(4): 41-55.

- [2] 葛泽华. 微小型高转速摆线内啮合齿轮泵的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [3] 叶宪枝. 圆弧—摆线转子泵结构设计及流场特性仿真分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [4] 徐学忠. 内啮合摆线齿轮泵的理论研究与仿真[D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [5] 刘杰, 李华聪. 基于UG的摆线齿轮泵转子参数化建模方法研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(25): 6327-6330.
- [6] 徐学忠. 转子泵的设计理论[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2015.
- [7] 何存兴. 液压元件[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.

收稿日期: 2020-09-14

(上接第90页)

## 3 结语

针对推导工业机器人运动学过程时涉及复杂数学运算、计算繁琐这一问题, 本文以 IRS-300 六自由度工业机器人为算例, 运用 MATLAB 及其 Robotics Toolbox 作为分析工具, 进行了机器人的三维建模和运动学仿真。仿真结果表明: 1) 可大大提高进行运动学分析时的工作效率, 生成的仿真图形便于直观地了解机器人的运动形态和工作空间, 有良好的应用前景。2) 验证了求解正逆问题中逆解不唯一的结论, 得到了各个关节在机器人运动过程中角度、角速度、角加速度的变化曲线, 通过观察变化曲线表明该机器人各关节可以平稳地运行, 验证了机器人结构设计合理, 可以达到期望的位姿, 对机器人轨迹规划具有实际指导意义。

### 参考文献:

- [1] 陈珂, 冯卓群, 杨俊, 等. 一种六自由度机械手的结构设计[J]. 机械制造与自动化, 2020, 49(1): 138-140.
- [2] 黄晓辰, 张明路, 张小俊, 等. 机器人坐标系建立的改进 D-H 方法[J]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 313-318, 325
- [3] 张新敏, 朱学军, 赵晨晨, 等. 基于 MATLAB 的 HP20 机器人运动学分析与仿真[J]. 制造业自动化, 2014, 36(13): 12-15.
- [4] SAEED B, NIKU. 机器人学导论——分析、系统及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [5] 曲道奎. 中国机器人产业发展深度思考——机遇与挑战[J]. 机器人产业, 2019(5): 67-71.
- [6] 徐有胜. 一种六自由度串联机器人的运动学与动力学仿真分析[D]. 深圳: 深圳大学, 2017.
- [7] 云双. 基于特征点的水果空间位姿视觉测量方法及应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.

收稿日期: 2020-10-15