

文章编号: 1000-5013(2009)03-0244-04

振动片倾角对超声波电机性能的影响

林星陵, 洪尚任, 刘宏伟, 李强松

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 以振动片式驻波超声波电机为研究对象, 设计并制作两台不同结构尺寸的样机, 就不同倾角振动片对电机性能的影响进行对比实验. 结果发现, 振动片的角度值也存在一个最优的匹配范围, 预压力有一个最佳的匹配值, 以及换能器的预紧力大小对电机输出的影响十分敏感. 在一定条件下(如驱动频率、振动片倾角、定转子间的预压力等), 振动片式驻波超声波电机能够实现转子的反转效果. 说明一般认为该类型电机只能单向驱动结论并不准确. 此外, 转子的正反转效果与驱动频率、振动片倾角、定转子间预压力等因素有关.

关键词: 超声波电机; 振动片; 倾角; 输出特性

中图分类号: TM 359

文献标识码: A

超声波马机是一种原理和结构与传统电机完全不同的新型驱动装置, 具有与传统电机竞争的多种优势. 与其他形式的超声波电机相比, 这种目前研究较少却很有发展前景的振动片式驻波超声波电机, 是一种最简单的制作与装配方便, 尺寸小而输出转矩大, 有利于在商品化生产时降低成本的电机. 该类型电机可以实现反转效果, 又增加了其潜在的使用范围. 本文设计并制作了两台不同结构尺寸的实验样机, 就不同倾角振动片对电机输出特性的影响进行对比实验分析.

1 电机结构尺寸的设计

定子是超声波电机的关键部分, 其结构和尺寸参数的选择是否合理, 将直接影响电机的输出性能. 振动片式驻波超声波电机定子, 一般由压电换能器、变幅杆、振动片等部分组成. 目前尚无法用统一的解析算法, 来确定此类型电机定子的整体结构尺寸.

1.1 换能器和变幅杆

两种样机的外径都取 30 mm, 定子根据郎之万换能器原理设计^[1]. 通过实验比较不同倾角振动片样机的输出性能, 以及同一倾角下不同谐振频率样机的性能差异, 找出电机性能的变化规律.

1.2 振动片

1.2.1 结构方案 这类超声波电机属于模态复合型驻波电机, 是通过纵振动与弯曲振动的合成来形成振动片顶端的椭圆运动的. 压电换能器由驱动电源激励产生纵向振动, 变幅杆将振动的振幅放大后输出, 并带动输出端部的振动片一同振动. 为了使振动片产生横向的弯曲振动, 它和转子平面不能垂直. 这样, 振动片的纵向振动才可以在振动片的端部产生一个垂直于振动片的分力, 诱导振动片的弯曲振动. 采取平行四边形结构的设计方法^[2], 将振动片的截面设计为矩形, 并沿厚度方向弯曲, 会得到较大的振幅. 同时, 将此振动片沿圆周方向阵列, 就可以得到多振动片的定子振动头, 如图 1 所示.

1.2.2 厚度与长度尺寸的确定 根据弹性振动理论分析, 振动片可视为悬臂梁(一端固定, 一端自由), 因此, 可得振动片厚度 t 与长度 l 间的关系^[3-5] 为

$$\frac{t}{l^2} = \frac{4\pi f_0}{1.785^2} \sqrt{\frac{3\rho}{E}} \quad (1)$$

收稿日期: 2008-01-11

通信作者: 洪尚任(1944-), 男, 教授, 主要从事超声波电机原理与设计的研究. E-mail: srhong@hqu.edu.cn.

基金项目: 国务院侨办科研基金资助项目(04QZR10)

式(1)的设计参数 t, l, b 参见图 1. 在样机设计时, 可选择一种耐磨抗疲劳的模具钢(LD 钢)作为振动片材料. 由 $E=0.22\text{ TPa}$, $\rho=7.8\text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 可计算出几组 t 和 l 的对应值.

1.2.3 宽度尺寸的确定 由式(1)可知, 振动片的宽度 b 不影响谐振频率, 因此, 设计振动片的宽度, 主要考虑宽度对振动片弯曲刚度的影响. 实验中, 振动片宽度为 3 mm ^[4]. 振动片的设计位置既可在转子上^[6], 也可在定子上^[3-5], 文中采用后一种方案. 对 20, 60 kHz 两种不同的谐振频率样机, 分别制作了 4 种不同倾角振动片的振动头. 为加工与装配方便, 振动头上保留 3 个振动片, 所选择的振动片的 4 个倾角分别是 $90^\circ, 85^\circ, 75^\circ$ 和 60° . 其振动头的结构简图如图 1 所示.

2 电机输出特性分析

电机输出特性, 主要包括转速(n)、转矩(M)、驱动电压(U)、频率(f)、预压力(F)等. 两台电机的实验测试采用同一台驱动电源, 该电源的驱动频率、电压、相位等均可调节, 是自行设计制作的通用驱动电源. 转速测量采用 DM 6236P 型激光非接触/接触转速表. 实验测试时, 样机尚未完全磨合好, 转子运行并非处于最佳状态.

2.1 激励频率-转速

当振动系统达到共振时, 其振幅会达到最大值, 因此, 输出的转速(n)也会达到最大值. 通过实验来测试频率-转速特性, 可以获得该系统输出转速随实际的工作频率的变化趋势及电机的共振频率. 在工作电压为 200 V , 预压力为 0.5 N 下, 测试了谐振频率为 20, 60 kHz 的振动片在不同倾角时样机的激励频率-转速特性, 如图 2 所示.

从图 2 可以看出, 频率的变化对转速影响很大, 利用频率调节转速的可调范围较小, 约为 1 kHz . 从不同倾角振动片样机的输出效果分析, 在固有频率为 20 kHz, 采用 60° 倾角振动片, 以及在固有频率为 60 kHz, 采用 85° 倾角振动片的样机的输出特性比较好. 这说明, 固有频率不同的电机定子振动片与倾角存在一个与固有频率相适应的优值.

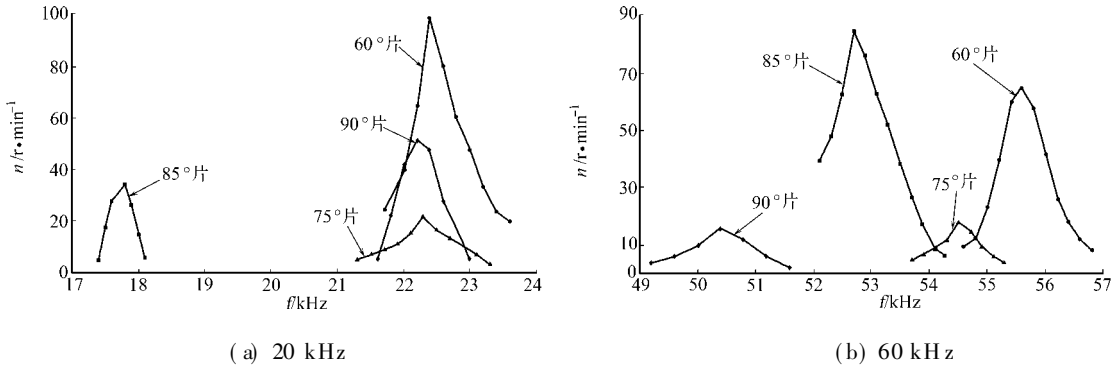


图 2 样机的激励频率-转速特性曲线图

Fig. 2 The characteristic curve between the excitation frequency and rotational speed of the prototype

2.2 驱动电压-转速

超声波电机是利用压电陶瓷来实现换能的. 根据压电陶瓷的逆压电效应, 当外加电场的电压发生变化时, 其形变也会发生变化, 导致整个振动系统的振幅发生改变, 从而影响其输出特性. 该项实验均在各自的实际谐振频率下测试的. 在预压力 0.5 N 条件下, 分别测试两台超声波样机的输出转速随输入电压的变化趋势. 通过调节电压控制电机输出转速的变化, 测得的超声波电机输出转速和驱动电压峰值电压值之间的关系, 如图 3 所示. 从图 3 中可以看出, 随着输入电压的增加, 电机输出的转速也随之增大, 电机的输出转速随电压值的变化规律呈现比较明显的近似线性关系. 这说明在一定范围内, 通过调节驱动电压, 可近似线性地控制电机的输出转速.

2.3 转矩-转速

电机转速和转矩(M)的关系, 如图 4 所示. 从图 4 可以看到, 超声波电机的转矩增加, 而转速减小.

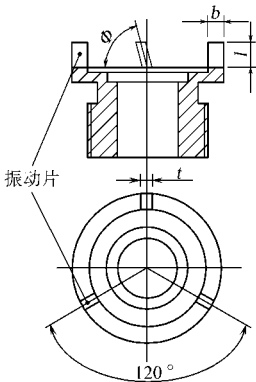


图 1 振动头的结构简图

Fig. 1 The structural sketch of the vibration head

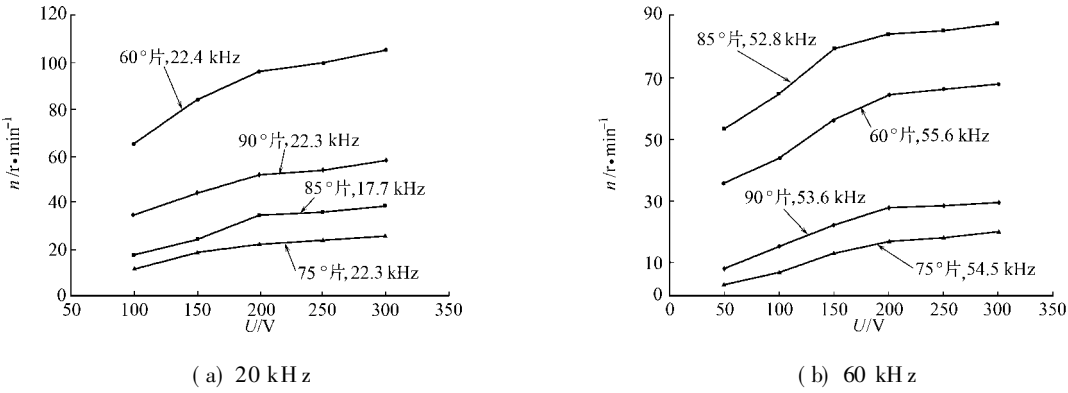


图 3 样机的驱动电压-转速特性曲线图

Fig. 3 The characteristic curve between the driving voltage and rotational speed of the prototype

这使得超声波电机在低速下不需要变速机构就可以输出较大转矩,充分地体现超声波电机的特点.

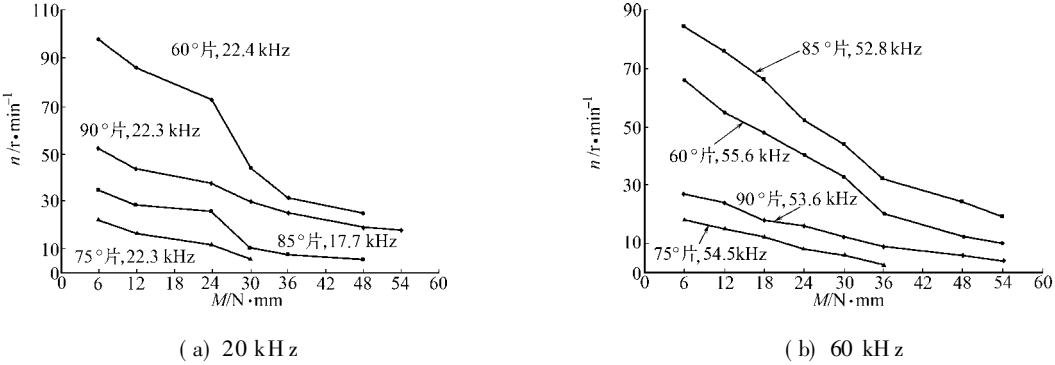


图 4 样机的转矩-转速曲线图

Fig. 4 The curve between the torque and the rotational speed of the prototype

2.4 预压力-转速

超声波电机的定、转子之间所加预压力的大小,直接影响到超声波电机的运行性能和输出特性.当预压力太大时,电机不能正常启动;预压力太小,定、转子之间的摩擦力较小,达不到电机理想的输出效果.在输入电压为 200 V 时,分别测试了 20 kHz 样机的 4 种倾角振动片方案的输出转速随预压力的变化,如图 5 所示.

从图 5 中可知,在输入电压、驱动频率不变的条件下,不同的预压力有不同的输出转速,输出转速随预压力变化存在一个最大值.当预压力太小时,由于振动片的振幅是微米级的,加上定转子本身的加工误差等因素,无法驱动转子;当预压力太大时,电机产生的力矩不足以驱动转子旋转.同时,预压力的大小还将影响电机的共振频率.所以要使电机高效、稳定运转,需要合理调节所施加的预压力.预压力越大,所需的驱动电压值也越大,输出的转速才能增大.预压力和电压两种因素之间是有相互影响的,这两因素相互配合,可以获得较好的输出特性.

2.5 电机的反转

一般认为,振动片式超声波电机只能单向驱动,转子不可以反转.但实验中发现,该类型电机在一定条件下能够实现转子反转效果,这说明该类型电机只能单向驱动结论并不准确.在工作电压为 200 V、预压力为 0.5 N 下,分别测试了谐振频率为 20, 60 kHz 样机的激励频率-正反转特性,结果如图 6 所示.从图 6 中可以看出,在振动片特定倾角及一定频率范围可实现转子的正反转.实验中还发现,适当改变定转子间的预压力可以实现正-反转的平稳过渡.这说明转子的正反转效果与驱动频率、振动片倾角、定转子间预压力等因素有关.

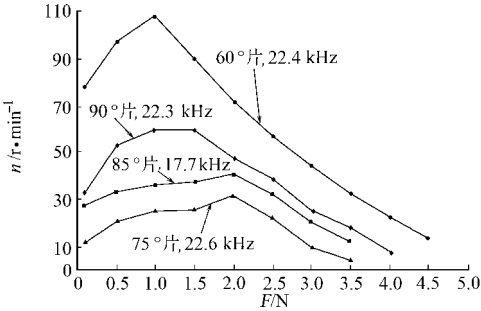


图 5 样机的预压力-转速曲线图

Fig. 5 The curve between the pre-pressure and the rotational speed of the prototype

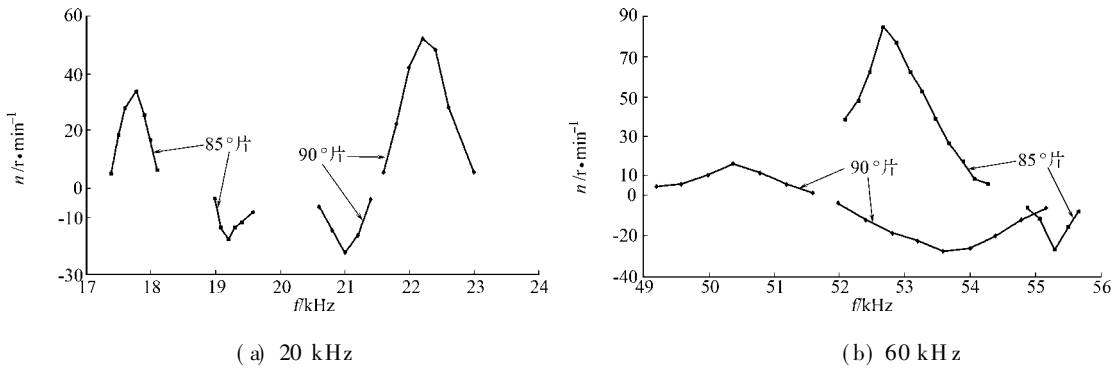


图 6 样机的激励频率-正反转特性曲线图
Fig. 6 The characteristic curve between the excitation frequency and the positive and reverse rotation of the prototype

3 结束语

振动片式驻波超声波电机的实验结果, 充分体现超声波电机所具备的良好性能特点, 如反应速度快、控制特性好、低速大扭矩、良好的断电自锁的能力等. 此外, 实验表明了振动片式超声波电机的 4 个特殊设计要求和输出特性. 至于影响正反转的各因素之间内在联系, 有待于进一步深入研究探讨.

参考文献:

[1] 林书玉. 超声换能器的原理及设计[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
[2] 许芦君, 洪尚任, 石菊荣. 超声波马达振动片的设计与实验[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2002, 23(1): 70-76
[3] 見城尚志, 指田年生. 超音波 - 入門[M]. 東京: 日本総合電子出版社, 1993.
[4] 石菊荣. 振动片式超声波马达的理论及实验研究[D]. 泉州: 华侨大学, 1999.
[5] 李强松. 驻波型超声波电机的设计制作及其实验研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2006.
[6] UCHIKI T, NAKAZAWA T, NAKAMURA K, et al. Ultrasonic motor utilizing elastic fim motor[C] // Proc of IEEE Ultrasonic Symposium Florida: [s. n.], 1991: 929-932.

The Influence of the Oblique Angles of Vibrating Reeds on the Characteristics of the Ultrasonic Motor

LIN Xing-ling, HONG Shang-ren, LIU Hong-wei, LI Qiang-song

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Taking the ultrasonic motor with vibrating reeds as the research object, 2 prototypes of this kind of motor with different structural parameters are designed and built, and comparative experiments about the influence of the vibrating reeds with different oblique angles on the characteristics of the motors are conducted. The experimental results have shown that there is an optimal range for the values of the oblique angles of vibrating reeds and an optimal value for the pre-pressure, and that the influence of the pre-pressure of the transducer on the output of the motor is very sensitive. Also the experimental results have indicated that the standing wave ultrasonic motor with vibrating reeds can make the rotor rotates reversely under certain conditions about some parameters such as driving frequency, oblique angles of vibrating reeds, the pre-pressure between the stator and rotor, from which it can be said that the general conclusion is not accurate that this kind of motor can only rotate in one direction, and in addition the effect of the positive and reverse rotations of rotors is related with the factors such as the driving frequency, oblique angles of vibrating reeds and the pre-pressure between the stator and rotor.

Keywords: ultrasonic motor; vibrating reed; oblique angle; output characteristics

(责任编辑: 鲁 斌 英文审校: 郑亚青)