

文章编号: 1000-5013(2010)06 0715- 03

双弯曲行波旋转型超声波电机的设计

王国焱¹, 洪尚任¹, 王国荣²

(1. 华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021;

2. 武汉大学 东湖分校 工学院, 湖北 武汉 430212)

摘要: 根据超声换能器的原理及设计理论, 研究圆柱定子双弯曲行波型超声波电机的驱动机理及设计方法. 分别测试激励频率、驱动电压和预压力对超声波电机样机转速特性的影响. 结果表明, 输入信号频率偏离谐振频率越大, 转速下降越多, 频率可调范围较小, 同时电机转速对输入信号频率变化较为敏感; 电机的输出转速随驱动电压变化趋势有明显的近似线性关系; 预压力对超声波电机的输出特性有较大的影响.

关键词: 超声波电机; 圆柱定子; 弯曲振动; 转速特性

中图分类号: TM 359.902

文献标识码: A

1 样机设计与制作

1.1 陶瓷片的极化及驱动机理

所设计的圆柱体弯曲振动超声波电机采用 4 片弯曲振动陶瓷片, 压电陶瓷元件极化及排列方式如图 1 所示^[1]. 压电陶瓷环电极分割为两部分, 并且相互反相极化, 压电陶瓷环按极性相反两两叠合成两组. 两组弯曲振动压电陶瓷片的分割线相互错开 90° 叠放, 以便激励两个正交的弯曲振动模式.

当两相相位互差的正交信号同时激励时, 在电机定子表面形成双弯曲行波. 通过定子和转子之间紧密接触产生的摩擦力驱动转子, 并输出力矩. 若将输入到两相的信号换相, 则可实现转子的反转^[2-4].

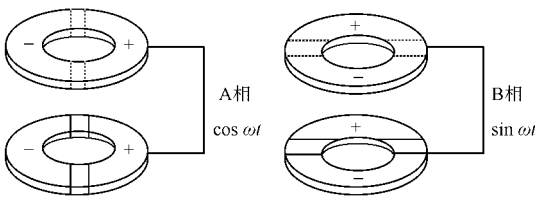


图 1 压电陶瓷极化图

Fig. 1 Chart of piezoceramics polarization

1.2 定子尺寸设计计算

定子采用夹心式换能器, 结构如图 2 所示^[5]. 弯曲振动夹心式压电换能器可以等效为两端自由的弯曲振动均匀的细圆棒, 其共振频率计算式^[5] 为

$$f_i = \frac{\pi c R}{8 L^2} (2i + 1)^2. \tag{1}$$

式(1)中: i 为圆棒不同的弯曲振动模式; L 为圆棒的长度; R 为圆棒横截面的回旋半径; c 为圆棒中纵振动的传播速度, $c = \sqrt{E/\rho}$, E 为弹性模量, ρ 为材料密度. 文中选择圆棒材料为 45# 钢, 外半径为 10 mm, $i = 1$. 若 $f = 20$ kHz, 则 $L \approx 72$ mm; 若 $f = 40$ kHz, 则 $L \approx 52$ mm.

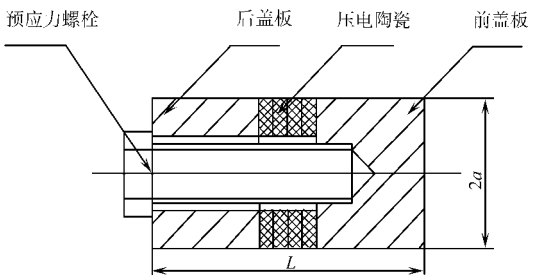


图 2 夹心式换能器结构

Fig. 2 Structure of sandwich transducer

当压电陶瓷片引入圆棒中间位置时, 必须对压电陶瓷片的影响进行圆棒长度修正. 圆棒修正长度 L_c 应该满足对称模式方程, 即

$$k_1 \tan(k_1 L_0) = k_2 \tan(k_2 L_c). \tag{2}$$

式(2)中: L_0 为压电陶瓷片的半长度; L_c 为压电陶瓷片引入圆棒后修正长度的一半; $k_1 = \omega/v_1$, $v_1 =$

收稿日期: 2009- 07- 29

通信作者: 洪尚任(1944), 男, 教授, 主要从事机电系统及超声波电机的研究. E mail: srhong@ hqu. edu. cn.

基金项目: 国务院侨办科研基金资助项目(04Q ZR10)

$\sqrt{\omega c_1 R_1}$, $k_2 = \omega/v_2$, $v_2 = \sqrt{\omega c_2 R_2}$; R_1 , R_2 分别为压电陶瓷片及圆棒的回旋半径; c_1 , c_2 分别为压电陶瓷片中的纵向等效声速及圆棒中的纵向振动传播速度; ω 为圆频率. 设计所用的 4 片压电陶瓷片叠加, 外半径 a 为 10 mm, 内半径 b 为 5 mm, 厚度 h 为 2 mm.

由式(2)可求得 L_c , 则由 $L_t = L - 2L_c + 2L_0$ 可求得, 对应于设计频率 f 为 20, 40 kHz, 计算修正后的换能器总长度 L_t 分别为 65, 46 mm.

2 结果分析

所设计和制作的圆柱定子双弯曲行波电机^[6], 其频率为 40 kHz 电机结构图和实物照片, 分别如图 3, 4 所示.

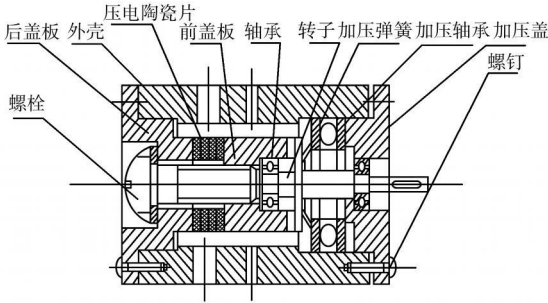


图 3 圆柱定子双弯曲行波电机结构图
Fig. 3 Structural picture of double-bended cylinder stator travelling motor



图 4 电机照片
Fig. 4 Photograph of the motor

2.1 激励频率-转速特性

在电源输入电压 10.5 V, 预压力 0.4 N 条件下, 测试电机的激励频率-转速特性, 结果如图 5 所示. 转速采用 DM 6236P 型激光非接触/接触转速表测试.

从图 5 可以看出, 电机的谐振频率为 41.75 kHz 时, 转速最大. 输入信号频率偏离谐振频率越大, 转速下降的越多, 频率可调范围较小, 同时电机转速对输入信号频率变化较为敏感.

2.2 驱动电压-转速特性

在频率为 41.50 kHz, 预压力为 0.5 N 的条件下, 测试电机的输出转速随输入电压的变化, 结果如图 6 所示. 由图 6 可见, 电机的输出转速随驱动电压变化趋势有明显的近似线性关系. 即驱动电压增大, 输出的转速随之增大.

根据压电陶瓷材料的性质, 由压电系数可知, 当加在它上面的电压增大时, 其变形也增大, 使得整个超声振动系统的振幅也随之增大, 引起弯曲挠度增大, 从而输出转速也会增大.

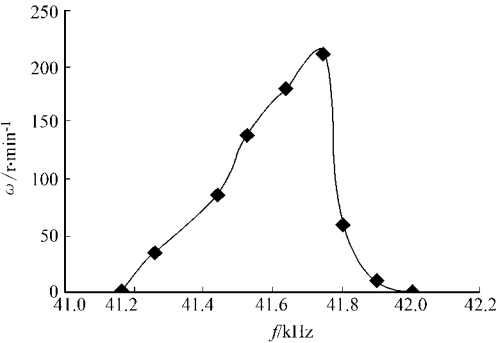


图 5 电机的激励频率-转速特性曲线图
Fig. 5 Curve of excitation frequency versus rotating speed characteristics of the motor

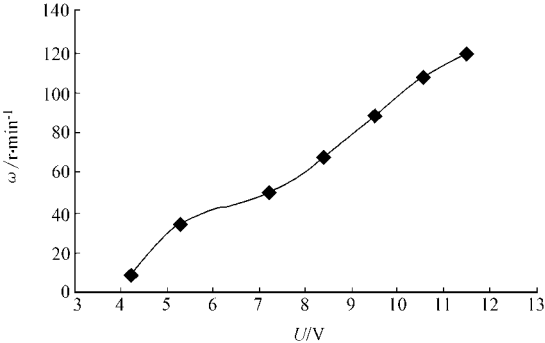


图 6 电机的驱动电压-转速特性曲线图
Fig. 6 Curve of driving voltage versus rotating speed characteristics of the motor

2.3 预压力-转速特性

在电源输入电压为 11 V, 输入信号频率为 41 kHz 条件下, 测试电机的输出转速随预压力的变化曲

线, 如图 7 所示.

由图 7 可知, 当预压力较小时, 定子和转子间接触范围较小, 主要集中在定子波峰点. 此时加大预压力, 定子和转子间接触范围开始增大, 驱动区越来越大, 转子的转速逐渐提高.

当预压力大到一定程度时, 定子与转子的接触范围已经增大到超过了等速点, 而定子在等速点以外的表面质点的周向速度小于转子. 此时, 接触区域开始出现阻碍转子运动的阻止区, 且定子和转子的径向滑动最剧烈的地方已经处于接触区域内. 如果再增加预压力, 转子的转速开始降低.

由此可见, 预压力对超声波电机的输出特性有较大的影响. 即每一种超声波电机的最高输出转速对应不同的预压力最佳值.

3 结束语

依据超声换能器原理及设计理论, 对其驱动机理及设计方法进行研究. 该类型电机除了具有一般超声波电机的特点外, 还具有结构简单紧凑, 设计计算简便, 易于小型化的特点, 而且输出性能好, 具备良好的发展前景.

参考文献:

[1] 杨志刚, 程光明. 双弯曲驻波旋转型超声马达[J]. 压电与声光, 1995, 17(6) : 50-54.
[2] 赵淳生. 超声电机技术与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 241-261.
[3] 胡敏强, 金龙, 顾菊平. 超声波电机原理与设计[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 169-184.
[4] 刘宏伟. 圆柱定子双弯曲振动超声波电机及电源的设计与实验研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2007.
[5] 林书玉. 超声换能器的原理及设计[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 91-100
[6] 刘宏伟, 洪尚任, 林星凌, 等. 振动片式压电电机定子的实验[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2009, 30(2) : 127-130.

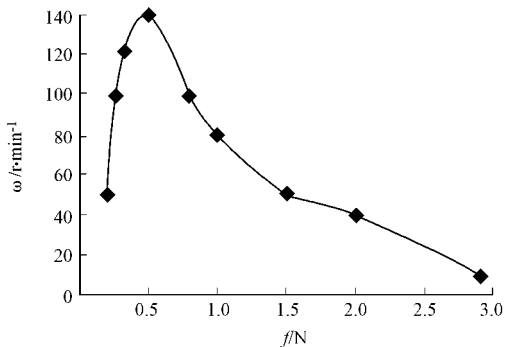


图 7 电机的预压力-转速特性曲线图

Fig. 7 Curve of precompression versus rotating speed characteristics of the motor

Design of Ultrasonic Motor Using Dual Bending Travelling-Wave Rotating Mode

WANG Guo-yan¹, HONG Shang-ren¹, WANG Guo-rong²

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;
2. Faculty of Engineering, Donghu College, Wuhan University, Wuhan 430212, China)

Abstract: According to the principle of ultrasonic transducer and the corresponding design theory, driving mechanism and the design method of ultrasonic motor, structure of which is dual bending travelling wave rotating mode of cylinder stator, have been studied. Experiments have been done to test the effects which excitation frequency, driving voltage and respectively have taken on the rotational speed characteristics of the prototype of ultrasonic motor. The results have shown that the greater the frequency of the input signal deviates from the resonant frequency, the more the rotational speed slows down, and the adjustable range of the frequency is a little small and the motor speed is very sensitive to the change of the frequency of the input signal; there is a clear approximate linear relationship between the output rotational speed of the motor and the trend of the change of driving voltage; and precompression has greater impact on the output characteristics of ultrasonic motors.

Keywords: ultrasonic motor; cylinder stator; bending vibration; rotational speed characteristics

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 郑亚青)