

一种驻波型超声马达的研究*

周桃生 柴荔英 何昌鑫 邝安祥

(湖北大学压电陶瓷技术研究所 武汉 430062)

1997年4月21日收到

摘要 研制出一种以长条片状压电陶瓷振子作为定子的驻波型超声马达。该马达具有整体结构简单、易于制作与调整、驱动电路合理、运行稳定的特点；由实验研究，测出了其主要性能参数。利用该马达已开发出特性优异的超声步进马达及时钟模型、小型走纸机。

关键词 长条片状压电振子，驻波型，超声马达

A standing wave type ultrasonic motor

Zhou Taosheng Chai Liying He Changxin Kuang Anxiang

(Institute of Piezoelectric Ceramic Technology, Hubei University, Wuhan 430062)

Abstract An ultrasonic motor using a piezoelectric ceramic rectangular bar as stator has been successfully developed. The motor, with a simple structure, is easy to be made and regulated. With a well-designed driving circuit, it can run stably for quite a long time. Its main performance parameters are reported in this paper. By using this motor, a novel ultrasonic step motor, a clock model, and a paper sheet forwarding device have been developed.

Key words Rectangular bar piezoelectric vibrator, Standing wave type, Ultrasonic motor

1 引言

压电超声马达是从工作原理、结构和材料都与传统马达截然不同的一种新型微电机。它利用压电陶瓷的逆压电效应，在驱动电路激励下，由压电振子(马达定子)把电能转换成超声振动，通过定子与转子之间接触摩擦力推动转子运动，输出机械能。与电磁马达比较，它具有许多优异特点：如结构简单、体积小、重量轻、外型设计自由度大；反应速度快，转矩大、惯性矩小；对磁场及放射线的抗干扰能力强而不

产生磁干扰；无需采用减速机构就可以获得稳定的低速运转等。又由于它不用铜铁材料、造型多样化、适合于当今电子产品发展的需要，将广泛地应用于照相机、录像机、计算机、传真机、制图仪、各种走纸系统、精密机床、测定仪器的导向机构、测试仪器的样品定位装置、机器人等场合，前景日益引人注目。

压电超声马达从原理上主要划分为驻波型与行波型两大类型，每一类型又可开发出许多具体结构上各具特色的马达^[1,2]。已开发出的驻波型超声马达品种不多，但转矩和效率得到

* 湖北省重点科研资助项目

了大的提高^[3]。本文主要研究以长条片状压电陶瓷振子作为定子的驻波型马达，研制出一种整体结构简单、易于制作与调整、驱动电路合理、运行稳定的连续旋转驻波型超声马达，并成功地利用其开发出步进驻波型马达及时钟模型、小型走纸机，显示出良好的应用前景。

2 结构与运行原理

2.1 马达结构与运行原理

设计制作的马达结构如图 1 所示。图中 1 是长条片状压电陶瓷振子（或称定子）；2 是固定架；3 是压力调节螺杆；4 是转子；5 是电极连接线；6 是驱动电路；7 是转子轴；8 是摩擦材料；9 是外壳。

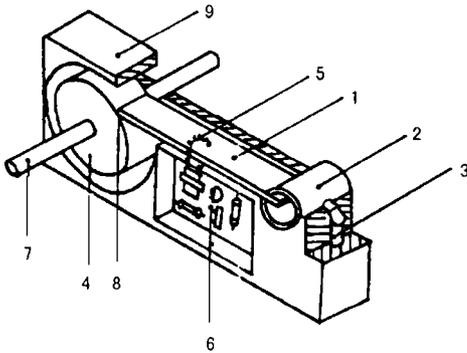


图 1 超声马达结构图

利用结构图可以定性说明该超声马达的运行原理。压电陶瓷振子 1 借助固定架 2 固定，利用逆压电效应，被驱动电路激励起沿长度方向的超声振动。另一方面，压电陶瓷振子靠压力调节螺杆 3 调节压力，压住转子 4。振动时，压电陶瓷振子沿斜面产生伸缩，形成弯曲振动驻波。结果，工作端按椭圆轨迹运动，靠摩擦力推动转子转动。研究表明：马达的转速正比于压电陶瓷振子的振幅和频率，反比于转子的直径。其中的比例系数决定于振子的材料参数、尺寸、激励电压、振子对转子的压力、振子与转子之间的接触角及摩擦系数等。

2.2 驱动电路及工作原理

压电振子只有在谐振时，才能产生大的推动力，推动转子转动。压电陶瓷振子谐振时的

输入阻抗特性如图 2(a) 所示。图中纵坐标表示压电陶瓷振子的输入阻抗，横坐标表示输入电压的频率， f_0 表示谐振频率。从谐振特性可以看出，压电振子谐振时输入阻抗最小，为串联谐振性质。

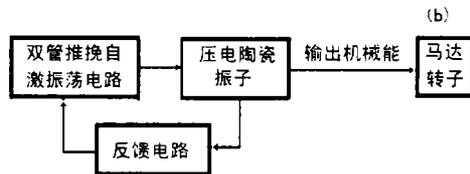
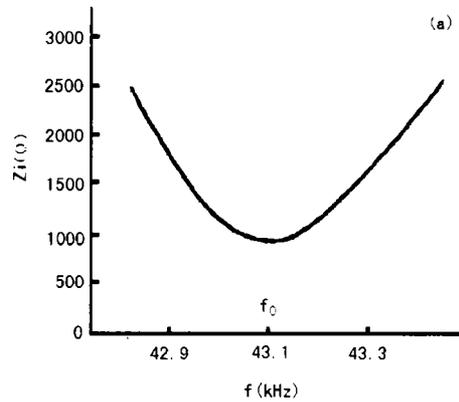


图 2 压电陶瓷振子的输入阻抗与驱动电路结构

(a) 压电陶瓷振子的输入阻抗

(b) 压电陶瓷振子驱动电路结构图

根据压电振子的这一谐振特性，我们设计了双管推挽自激式振荡电路来驱动超声马达，电路结构如图 2(b) 所示。这个电路的特点是把压电振子作为反馈元件接入电路中。当反馈电路调谐在压电振子的谐振频率附近时，压电振子输入阻抗小，反馈强，整个电路在压电振子谐振频率上起振工作，并输出振荡电压去激励压电振子大振幅振动，推动转子转动。又由于电路振荡频率随振子频率而变化，保证了驱动电路与压电振子同步，使压电振子工作稳定。

该驱动电路的特性表明，它具有较高的时间稳定性与温度稳定性，转换效率较高和输出

功率较大, 适合于作为压电马达的驱动电路。马达的实际运行情况也证实了电路的合理性。

3 性能测试的内容与方法

3.1 马达转速的测试

如图 3 所示, 通过安装在马达转轴上的旋针对光电门 1 的档光作用, 以及由时间继电器控制马达供电电源通断的时间, 可在计数仪上显示出马达的空载转速。利用此方法, 调整电源电压, 可测试马达转速与输入驱动电路电压的关系, 调整驱动电路频率, 可测试马达转速与驱动电压频率的关系。

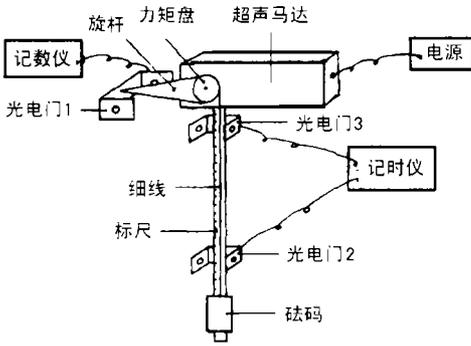


图 3 马达转速及力矩测量装置示意图

3.2 马达转速随力矩变化关系的测试

如图 3 所示, 在马达转轴伸出端固定一半径为 1cm 的力矩盘, 其上系细线吊砝码; 开启马达, 砝码先后通过光电门 2 和光电门 3, 由于砝码的档光作用, 计时仪记录砝码通过的时间。由该时间和标尺上两光电门间的距离可得到马达的转速。增减砝码改变力矩的大小, 可测出转速随力矩变化的关系。

4 主要特性与讨论

运用以上测试方法, 对研制的压电超声马达样品进行了测量。该类样品总尺寸 (含驱动电路部分) 为 70mm×30mm×14mm, 转子直径为 18.8mm, 压电陶瓷振子尺寸为 39mm×8mm×2mm, 马达总重 39g。以下仅述及其主要特性。

4.1 转速 - 输入电压特性

图 4 示出由实验测得的连续旋转驻波型马达的转速 - 输入驱动电路电压特性。图中纵坐标表示转速 n , 横坐标表示输入电压 v , 三条斜线分别是在外力矩 M 为 0g·cm、40g·cm、80g·cm 的条件下测得的 $n-v$ 关系。由图看出, 该马达的转速与输入电压 v 具有相当好的线性关系。这就为我们提供了一个调控该马达转速的重要途径。在一定负载下, 只要改变输入电压的大小, 就可方便地得到所需要的转速。另外, 还可看到该马达转速范围在 30-300 转/分, 且不用减速机构就可实现低速动转。改变有关因素, 可使转速范围扩大, 这要根据实际需要进行调整设计。

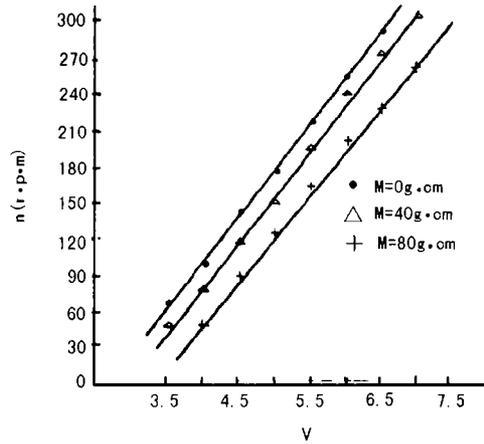


图 4 马达的 $n-v$ 特性

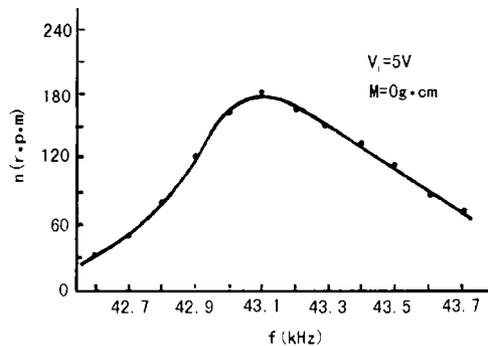


图 5 马达的 $n-f$ 特性

4.2 转速 - 频率特性

转速-频率特性如图 5 所示。图中纵坐标表示转速 n 、横坐标表示压电陶瓷振子驱动电压的频率 f ，图内的曲线是在外力矩为 0 的条件下测得的。从图可以看出，马达的转速随驱动电压频率而变化。在谐振频率 f_0 处转速最大，曲线大体上对称，偏离谐振频率转速逐渐下降，在谐振峰附近的变化较为平缓。可以说该特性曲线是压电超声马达的一个重要关系曲线，它为设计超声马达驱动电路提供了一个重要依据。

4.3 转速 - 转矩特性

图 6 示出马达转速 - 转矩特性。图中纵坐标表示转速 n ，横坐标表示转矩 M ，图内 n - M 关系曲线是在输入电压为 5V 条件下测得。该特性曲线表明，马达转速 n 随转矩 M 变化，转矩增大，转速降低，二者呈现较好的线性关系。实测该马达最大转矩为 350g·cm。

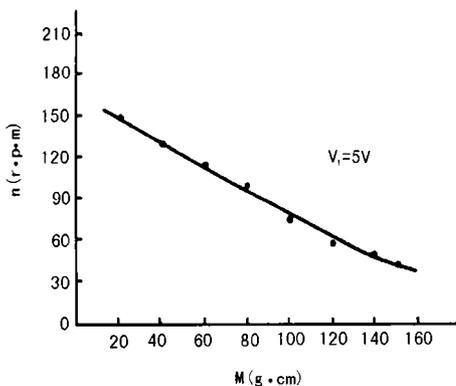


图 6 马达的 n - M 特性

4.4 步进特性及应用

利用脉冲信号控制该马达驱动电路的工作，则该马达可步进运行。这样，该马达具备连续旋转与步进运行两种功能（详细内容另文报道）。研制出的步进马达最小步距角小于

0.052°，远小于结构与驱动电路都相当复杂的电磁步进马达的步距角。其步距角随输入脉冲宽度连续可调，而传统的电磁步进马达仅存在一个固定的步距角。

该马达在步进运行时同样具有较强的负载能力，最大步进转矩为 350g·cm。利用该马达，我们研制出一种结构简单，较大钟面面积的时钟模型。将该马达应用在走纸装置上，还研制出一种新颖的小型走纸机。该走纸机体小量轻，制作简单而成本低，走纸速度调整范围宽，适应面广，可在各种仪器仪表的走纸系统中获得应用。

5 结论

研制出一种以长条片状压电陶瓷振子作定子的驻波型超声马达。该马达整体结构简单，易于制作与调整，驱动电路合理，运行稳定；具有好的 n - v 线性关系，调整输入电压就可方便地得到所需转速 n ，且不用减速机构就可获得 30 转 / 分左右乃至更低的转速；控制好，力矩大，尺寸为 70mm×30mm×14mm，转子直径为 18.8mm，重 39g 的该类超声马达，最大转矩可达 350g·cm。

采用脉冲信号控制该马达驱动电路工作，可得到步进特性优异的压电超声步进马达。初步开发了应用，研制出具有显著特点的时钟模型及新颖的小型走纸机。

高性能转子材料与摩擦材料，结构的完善与优化，驱动电路的更小型化有待进一步深入研究

参 考 文 献

- 1 内野研二. 固体物理, 1988, 23(8): 124-132.
- 2 Tomikawa Y, Ogasawara T, Takano T. *Ferroelectrics*, 1989, Vol.91: 163-178.
- 3 Kumada A. *Jpn.J.Appl.Phys.*, 1985, 24(2): 739-741.