

实验驻波马达。

由于同一结构中纵弯弯耦合振动模式的谐振频率低于纵弯扭振动模式，而且马达低频运行性能优于高频，所以我们又用有限元方法计算了三梁支架纵弯弯振动模式及四梁支架纵弯弯振动模式。当梁和腿的尺寸不变时，改变中间圆盘厚度，计算了纵弯弯振动模式的谐振频率随盘厚的变化，得到的结论是：频率随盘厚由低到高且趋于一极限值。定义梁的上表面弯曲位移的切向分量与腿的下表面的纵向位移之比为耦合振子的放大倍数 M ，当梁与腿尺寸不变时，改变盘厚则 M 随盘厚有一极大值。

为了降低梁的弯曲谐振频率，我们采用矩形梁代替梯形梁，在同样截面尺寸及同样梁高的条件下，矩形窄梁的弯曲谐振频率比较低。文章介绍了几种具体耦合振子的振动模式、相应的谐振频率、谐振频率随中部盘厚变化规律、放大倍数 M 随圆盘厚度的变化规律，并与实验进行了对比。实验方法是在耦合振子底部安放一很小的压电片，压电片驱动振子，通过测量阻抗及位相的变化可以测知振动模式所对应的谐振频率，当然将转子安放到耦合振子上可观测其运行状态是更直接的测定。

通过计算机及实验方法优化的耦合振子将进一步组成实验马达，以便提高马达的运行特性。文中参考文献 2 篇

F5 纵弯模式转换型超声马达的制造及分析测试

贺西平 程存弟 刘纯荣 鲍善惠

(陕西师范大学应用声学研究所 西安 · 710062)

超声马达以其转速低、力矩大、能抗电磁场干扰等优点，近年来引起了人们的研究兴趣。本文制造并研究了一种纵弯模式转换型超声马达。

在夹心式纵向振动换能器的顶端，用螺栓紧固一定子。该定子的外形如图 1 所示。在其顶端面上沿径向竖立有两个高度为 l ，宽度为 a ，厚度为 b 的小振片，并在每个小振片的同侧(或左侧、或右侧)挖一道有一定深度和宽度的小槽。在该定子的中心有一螺孔，以便装配一与转子相滑配的螺杆。当换能器被激励起时，经设计的沿径向的一对振动片将作与换能器纵向振动频率相同的弯曲振动，从而振动片顶端的轨迹是为两种振动合成的椭圆。由于这两振动片作弯曲振动的相位相反，故置于其上的转子将在摩擦力的作用下沿一定方向转动，如图 2 (a)所示。取振动片顶端为 $x-y$ 坐标系的原点 x 轴与纵振动方向重合。换能器纵振动的振幅为 A_1 ，弯曲振动的振幅为 A_2 ，两者的角频率都是 ω 。振动片静止时，其顶端位置在 O 点。换能器被激励后，振动片端头在 t 时刻位置为：

$$W = A_1 \sin(\omega t + \alpha)$$

$$V = A_2 \sin(\omega t + \beta)$$

$$\text{即端头轨迹为: } \frac{W^2}{A_1^2} - \frac{2WV}{A_1A_2} \cos(\beta - \alpha) + \frac{V^2}{A_2^2} = \sin^2(\beta - \alpha)$$

(1)

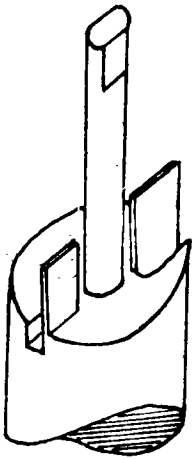
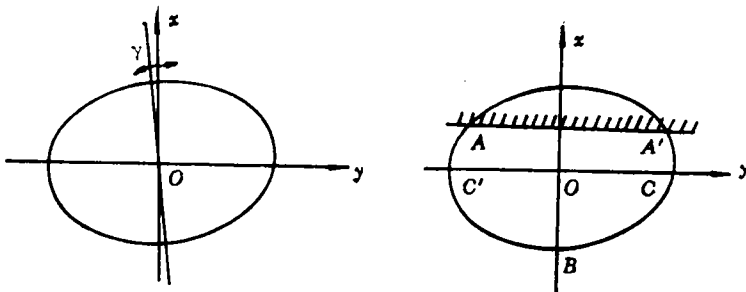


图 1 马达定子外形



(a) 振动片端头空载时的运动轨迹 (b) 加上转子后振动片端头的运动轨迹

图 2 振动片端头轨迹

式中, W 和 V 分别表示振动片端头在 t 时刻 x 、 y 轴方向上的位移。椭圆所在的主轴方向与坐标轴的夹角 γ 为:

$$\operatorname{tg} 2\gamma = \frac{2A_1 A_2}{A_1^2 - A_2^2} \cos(\beta - \alpha) \quad (2)$$

振动片可视为一截面均匀、一端固定的梁的振动情形, 取 45# 钢作为振动片的材料, 得其基频为: ^[1, 2]

$$f = \frac{0.83596}{l^2} b \times 10^3 \quad (3)$$

当有转子置于振动片之上, 振动片端头的运动轨迹是 $\overline{A'A} \rightarrow \widehat{AC'} \rightarrow \widehat{C'B} \rightarrow \widehat{BC} \rightarrow \widehat{CA'} \rightarrow \overline{A'A}$, 如图 2(b) 所示。

转子转动的驱动力矩由下式决定:

$$\overline{M} = \frac{2}{T} r \mu K \left\{ A_1 W [\cos(W\phi_c + \alpha) - \cos\alpha] - \frac{mg}{2ES} l \phi_c \right\} \quad (4)$$

式中, $K = \frac{ES}{l}$, $S = ab$ 为振动片的截面面积, ϕ_c 为在一个振动周期 T 内, 转子与振动片的接触时间。

转子置于振动片之上, 将会影响振动片弯曲振动的固有频率。这时振动片的运动方程变为:

$$EI \frac{\partial^4 V}{\partial x^4} + \rho S \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + N' \frac{\partial^3 V}{\partial x^2} = 0 \quad (5)$$

但是只要弯曲振动的最大振幅与梁回转半径之比是小量, 那末基频的增长就十分小^[2]。另外, 由于振动片有一定的宽度, 故在与转子相接触的过程中, 会有相对运动。这两点为振动片参数的最佳选取提供了指导。

在本文中, 选取 45# 钢为振动片材料, 取振动片的宽度为 9mm, 厚度为 1.5mm, 长度为 8.5mm, 其弯曲振动频率与纵向振头换能器的频率均为 17kHz, 定子的外径为 $\phi 30$ mm, 测得当加在换能器上的电功率为 1W 时, 转子的转速为 410 转/分, 扭矩为 35.4gcm, 故其总的机

电效率为: $\eta = \frac{P_0}{P_1} = \frac{2\pi n}{60} \times 35.4 \times \frac{9.8}{10^6} \times 100\% = 14.9\%$

实验表明, 本文研究的超声马达具有噪声小、力矩大、效率高的特点, 可望在实际中得到广泛的应用。文中参考文献 2 篇