

Research On The Drive Pump Wafer of Fluidic Gyro

LI Yan-jie, PIAO Lin-hua, LI Bai-hua

Beijing Key Laboratory for sensor, Beijing Information Science & Technology University, Beijing, china

Liyanjie2010@yahoo.cn

Abstract: In this paper, the deformation of drive pump wafer applied in the fluidic gyro is researched. First, the principle of the drive pump is analyzed. Then, the deformation of the drive pump wafer is calculated using the finite element method, the deformation curve equation is obtained, and the deformation surface is approximated a paraboloid. The measurement and calculation of the deformation volume, which can be used to select the drive pump and improve the performance of the fluidic gyro, is based on the deformation curve equation.

Keywords: Fluidic gyro; Drive pump; Wafer

射流陀螺驱动泵振子的研究

李言杰, 朴林华, 李白华

北京信息科技大学 北京市传感器重点实验室, 北京 100101

Liyanjie2010@yahoo.cn

【摘要】 本文研究了射流陀螺驱动泵振子的变形量。首先分析了射流陀螺驱动泵的工作原理, 然后采用有限元方法对驱动泵振子的变形量进行了计算, 拟合出变形曲线方程, 得出变形曲面近似于抛物曲面; 以此拟合曲线方程为基础, 建立了射流陀螺驱动泵振子变形体积的测试和计算方法, 并进行了测试与计算。利用此方法可以筛选驱动泵, 进一步提高射流陀螺的性能。

【关键词】 射流陀螺; 驱动泵; 振子

1 引言

射流陀螺是以气体作为敏感质量, 质量极小, 故有抗高过载, 耐强冲击, 寿命长等特点。由于压电泵具有结构简单, 体积小, 可控性好, 无电磁干扰等特点, 所以在微小型流体输送系统中有良好的应用前景。射流陀螺的工作原理就是利用驱动泵(压电泵)产生循环气流束(射流), 由热电阻丝构成的电桥电路检测出气流束在哥氏力作用下的偏移量, 输出与角速度成正比的电信号^[1]。射流陀螺能够敏感角速度的前提是驱动泵驱动气体在敏感元件内形成循环气体, 这就要求驱动泵振子应该有足够的变形量引起泵腔体积变化, 驱动气体定向流入、流出泵腔^[2]。气流不易循环, 一直是装调射流陀螺的难点, 因此对一定结构的敏感元件来说, 根据测试数据计算驱动泵振子的变形量的大小来筛选驱动泵, 对降低装调射流陀螺的难度, 具有重要的意义; 同时在一定的激励频率下, 驱动泵振子的变形量决定气流速度的大小, 从而直接影响传感器的灵敏度, 因此研究驱动泵振子的变形量, 对计算射流陀螺中的气流速度, 提高射流陀螺的性能也十分重要。

由于驱动泵振子的变形量实际上是加上一定约

束条件的压电陶瓷双晶片的变形量, 本文采用有限元方法, 利用 ANSYS 软件, 计算了压电陶瓷双晶片的变形情况, 得出变形曲线的拟合方程, 并以此建立射流陀螺驱动泵振子变形量的简单计算方法。

2 驱动泵的工作原理

驱动泵的结构如图 1 所示。它是由压电陶瓷双晶片粘在泵架上构成。泵架固定, 压电陶瓷双晶片在外加激励电压驱动下作周期性弯曲振动, 驱动气体在密闭腔体内形成稳定的连续气流束(射流)。如图 2 所示, 驱动泵的振子(压电陶瓷双晶片)向泵座方面弯曲时, 由泵座、泵架、振子形成的泵腔内部气体被压缩, 使泵腔内气体由振子上的小孔喷出, 通过正对的流体馈送口进入由喷嘴体上集流槽和壳体内壁围成的集流室, 然后在压力作用下, 继续由喷嘴体上的流体馈送管馈送到喷嘴入口。喷嘴产生层流气流束并射向相对端安装在热敏塞上的一对热电阻丝。该热电阻丝平行安放, 一旦有角速度信号输入, 原来从热电阻丝对称中心通过的气流束就会向某一方偏离, 造成对两热电阻丝不同的冷却, 从而由电桥检测偏离量的电信号。气流束通过热敏塞上的排气孔回到排气室。驱动泵振子受交变激励向泵座反方向鼓起时(图 2 虚线表示), 泵腔内压力减小, 吸收排气室的气体, 从而将排气孔排出的气体吸入泵腔, 形成流体循环运动, 气体运动状态图 2 所示。随着驱动泵振子周期性

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60772012); 新世纪优秀人才支持计划(NCET)资助项目; 北京市优秀人才培养资助项目; 北京市重点实验室开放课题资助项目; 北京市属高校人才强教计划资助项目(PHR); 北京市新世纪百万人才工程培养资助项目

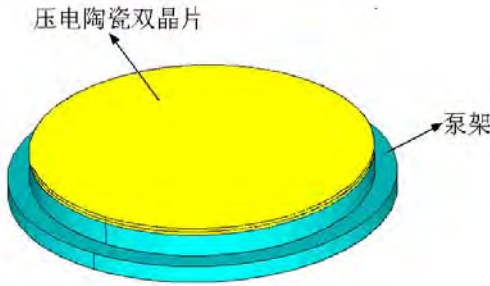


Figure 1. The structure of the drive pump

图 1 驱动泵结构

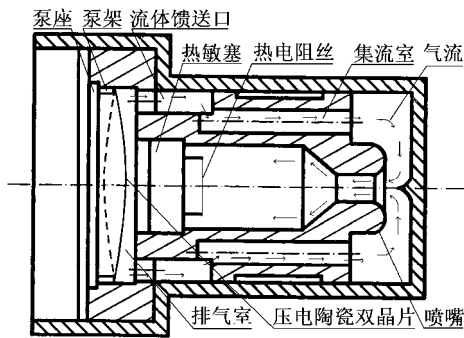


Figure 2. The sense organ of the fluidic gyro

图 2 射流陀螺的敏感元件

振动，气体不断地从流体馈送口送入集流室，又不断的从排气孔排出到排气室，从而形成一稳定的连续气流束。

3 驱动泵振子变形量的计算

由于射流陀螺驱动泵具有轴对称性，因此可采用柱坐标描述，坐标的选取如图 3 所示。取厚 0.2mm，直径 20mm 的 PZT-5 压电陶瓷圆片，两压电陶瓷圆片间的环氧树脂厚 0.05mm。为了减少计算时间，在

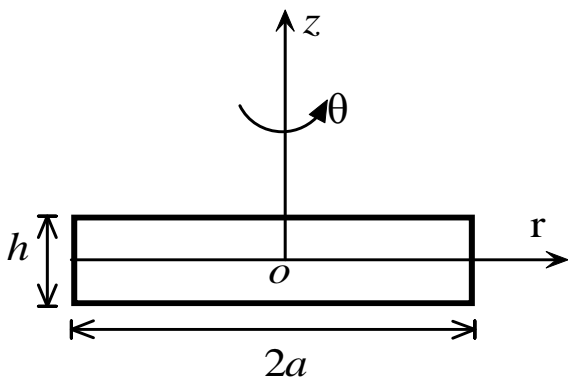


Figure 3. Piezoelectric ceramic bimorph

图 3 压电陶瓷双晶片

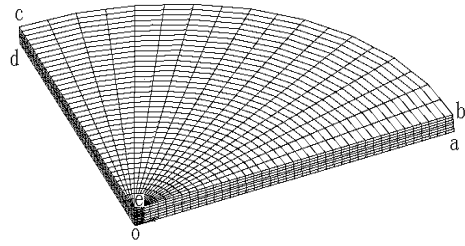


Figure 4. The ansys model of the drive pump

图 4 驱动泵有限元模型

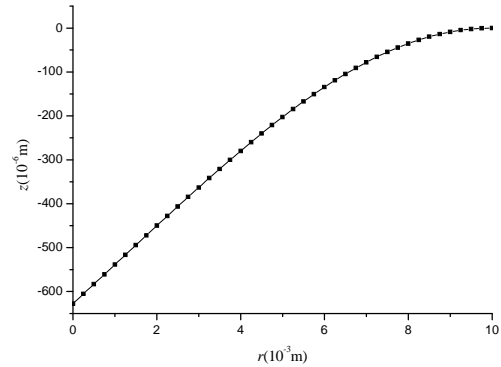


Figure 5. Displacement curve of piezoelectric ceramic bimorph

图 5 压电陶瓷双晶片位移曲线

ANSYS5.6 前处理中建立压电陶瓷双晶片的 1/4 有限元模型，如图 4 所示。将有限元模型划分为 2240 个单元，在平面 oabe 和平面 odce 加 θ 方向位移约束，曲面 abcd 在 θ 、 r 、 z 方向加位移约束（相当于泵架对压电陶瓷双晶片的约束边界条件）。

根据有限元的计算结果，在压电陶瓷双晶片上 or 方向取等距离的 40 个点，可得到它们沿驱动泵轴向位移变化，如图 5 所示。从图 5 可以看出， $r=0$ 处的位移最大，位移 $z_0=628 \mu m$ ，即压电陶瓷双晶片的圆心处变形量最大；靠近压电陶瓷双晶片圆周边缘，变形量逐渐减小，在 $r>8.5mm$ 处各点的位移均小于最大位移的 2%。因此在拟合变形曲线时，可以忽略 $r>8.5mm$ 处各点的位移，得到如图 6 所示的拟合曲线，它是一条抛物线，因此，驱动泵振子变形后的曲面可以近似看作是抛物曲面，这一点在 ansys 后处理图形显示中也得到证实。抛物线沿 z 轴旋转形成旋转体，旋转体的体积就是压电陶瓷双晶片弯曲振动一次的变形体积。抛物线方程通常表示为

$$z = Ar^2 + Br + C \quad (1)$$

图 5 中的拟合抛物线方程为

$$z = -3.68r^2 + 105.2r - 639.5 \quad (2)$$

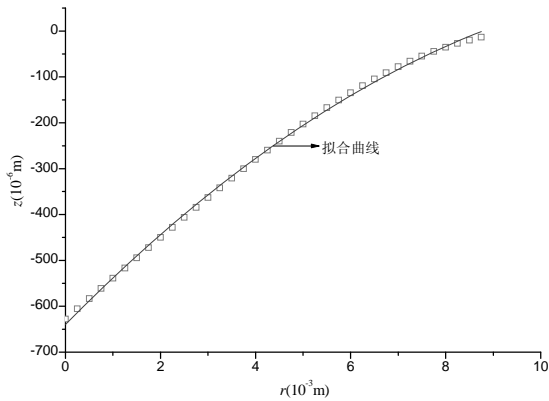


Figure 6. Displacement fitting curve

图 6 位移拟合曲线

Table 1. Displacement of piezoelectric ceramic bimorph

表 1 压电陶瓷双晶片的变形位移

r 10 ⁻³ mm	z _i (有限元计 算结果) 10 ⁻⁶ mm	z _i (拟合 曲线计 算结果) 10 ⁻⁶ mm	绝对误 差 10 ⁻⁶ mm	相 对 误 差 %
0	-628.8	-639.5	10.7	1.7
1	-539.2	-538.0	1.2	0.2
2	-450.0	-443.8	6.2	1.4
3	-362.8	-357.0	5.8	1.6
4	-280.1	-277.6	2.5	2.4
5	-202.5	-205.5	3.0	0.9
6	-134.9	-140.8	5.9	4.3
7	-78.0	-83.4	5.4	6.9
8	-35.0	-33.4	1.6	4.6

根据拟合抛物线方程，在压电陶瓷双晶片上 or 方向取等距离的 9 个点，以拟合曲线方程计算它们的位移 $z_i(i=0,1\cdots 8)$ ，并和有限元计算结果比较，如表 1 所示。由表 1 可知，抛物线方程与有限元法计算的数据误差较小，相对误差最小为 0.2%，最大为 6.9%，平均相对误差为 2.7%。

由方程 (2) 通过定积分可以得到压电陶瓷双晶片弯曲振动一次的变形体积 $V=3.241 \times 10^4 \mu m^3$ 。

4 驱动泵振子变形量的测试

根据以上分析，为了获知驱动泵振子的变形量，首先应确定抛物线方程中的待定系数 A、B 和 C。用

激光振动分析仪测量压电陶瓷双晶片上 $r=0$ 、 $r=4mm$ 和 $r=8.5mm$ 处的三点接触，测试该处的位移，代入抛物线方程，求解方程得到待定系数 A、B 和 C 的值，确定抛物线方程。再通过定积分计算驱动泵振子的变形体积。取一驱动泵样品，其振子由两个厚 0.2mm，直径 20mm 的 PZT-5 压电陶瓷圆片粘接而成，两压电陶瓷圆片间的环氧树脂厚 0.05mm。用百分表测得压电陶瓷双晶片上 $r=0$ 、 $r=4mm$ 和 $r=8.5mm$ 处的位移分别为 $z_1=-619 \mu m$ 、 $z_2=-275 \mu m$ 和 $z_4=-14 \mu m$ ，代入方程 (1)，求得待定系数 A、B 和 C，并得到如下抛物线方程

$$z = -3.4r^2 + 98.7r - 610.1 \quad (3)$$

根据 (3) 计算驱动泵振子的变形量体积为 $V=3.591 \times 10^4 \mu m^3$ ，这与代入有限元位移值得到的驱动泵振子的变形体积的相对误差为 9.6%。5 结论本文分析了驱动泵射流陀螺驱动泵的工作情况，并对驱动泵振子的变形情况进行了计算：

(1) 利用有限元方法计算了驱动泵振子的位移，并将位移曲线拟合成抛物线，认为驱动泵振子的变形曲面与抛物面接近；抛物线沿 z 轴旋转形成旋转体，旋转体的体积就是压电陶瓷双晶片弯曲振动一次的变形体积；提出由抛物线方程计算驱动泵振子变形量的方法。

(2) 由拟合的抛物线方程计算的驱动泵振子的位移与有限元法计算值相比，平均相对误差为 2.7%。

(3) 实际测试并计算了驱动泵振子的变形体积，与有限元计算值相比，相对误差为 9.6%。

References (参考文献)

- [1] Cheng Guangming, Yang Zhigang, Zeng Ping. Piezoelectric thin-film fluid pump preliminary study[J]. Piezoelectric and acoustooptics. 1998, 20 (4) : 23
程光明, 杨志刚, 曾平. 压电薄膜流体泵的初步研究[J]. 压电与声光, 1998, 20 (4) : 233
- [2] Li Qing, SU Zhong. Adaptive filtering for piezoelectric fluidic gyro[J]. Journal of Chinese Inertial Technology. 1998, 6: 31
李擎, 苏中. 压电射流陀螺的自适应滤波[J]. 中国惯性技术学报, 1998, 6: 31.
- [3] Wang Rongjin. Manual acoustic materials[M]. Bei Jing. Science Press. 1983.148.
王荣津. 水声材料手册[M]. 北京: 科学出版社, 1983.148.
- [4] Zhang Fuxue. air flow inertial sensors[J]. Electronic components and materials, 1999 (2) :31 - 38
张福学. 气流式惯性器件[J]. 电子元件与材料, 1999 (2) :31 - 38
- [5] Piao Linhua, Luan Guidong, Zhang Fuxue. Vibration Mode FEM Analysis of the Piezoelectric Pump[J]. Piezoelectric and acoustooptics. 2004 (12) : 503 -505
朴林华, 栾桂东, 张福学. 压电泵振动模态的有限元分析[J]. 压电与声光, 2004 (12) : 503 -505
- [6] Fuxue. Zhang., Modern piezoelectricity [M]. Beijing: Science Press.2002. 66-67
张福学. 现代压电学(下册)[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 66 -67

- [7] Piao Linhua, Zhang Wei, Lin Yu, Zhang Fuxue. Compensation Technology for Piezoelectric Fluidic Angular Rate Sensors. [J]. Electronic components and materials 2002, (7) 8~10

朴林华, 张伟, 林宇, 张福学. 压电射流角速度传感器的软件补偿技术[J]. 电子元件与材料 2002, (7) 8~10