

文章编号:1671-5497(2006)Suppl.2-0083-05

# 变正压力式压电双晶片惯性直线驱动器

曾 平,吴博达,王 涛,程光明,张宏壮

(吉林大学 机械科学与工程学院,长春 130022)

**摘要:**提出了以压电双晶片作为动力元件、通过控制移动机构和支撑面之间的正压力、利用摩擦力变化实现定向运动的新型惯性直线驱动器。分析了驱动器的工作原理,利用有限元分析软件对压电双晶片振子进行了模态分析,得到其动态特性。研制了惯性直线驱动器的样机并进行了性能测试,试验结果表明:该机构能够实现直线往复运动,频率为 10 Hz 时,最小稳定运动步长为 0.7 μm,最大移动速度为 1.2 mm/s,最大承载能力为 150 g。

**关键词:**仪器仪表技术;压电双晶片;变正压力;摩擦;惯性冲击;有限元分析

**中图分类号:**TN384; TH703.6      **文献标识码:**A

## Inertial linear actuator driven by piezoelectric bimorph with changeable pressure

Zeng Ping, Wu Bo-da, Wang Tao, Cheng Guang-ming, Zhang Hong-zhuang  
(College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

**Abstract:** A new type of inertial actuator driven by the piezoelectric bimorph was proposed. The actuator was able to realize the directional linear movement due to the orderly changing the friction controlled by the pressure between the movement mechanism and the support surface. The working principle of the actuator was analyzed and the dynamic characteristic of the piezoelectric bimorph was studied by the FEM modal analysis. The prototype of the actuator was developed and its performance was tested. The results showed that the actuator is able to realize the reciprocating linear movement and work with the minimum stable step of 0.7 μm, the maximum moving velocity of 1.2 mm/s, and the maximum loading capacity of 150 g at frequency of 10 Hz.

**Key words:** technology of instrument and meter; piezoelectric bimorph; changing pressure; friction; inertia impact; finite element method analysis

近年来,伴随着压电元件性能的不断改进,位移变形能力的提高,采用新结构、新形式、新原理的压电驱动机构不断涌现<sup>[1,2]</sup>,压电驱动机构的应用范围也在不断扩大,具有广阔的发展前景。惯性冲击式压电驱动机构以压电元件产生的惯性冲击力为驱动力,具有结构简单、响应特性好、无

电磁干扰、易于控制等特点,可作为微小机械的移动装置<sup>[3,4]</sup>。目前研究的惯性冲击式压电驱动机构主要是通过对压电元件施加波形不对称的电压信号(如锯齿波)以形成双向不同的惯性冲击力,从而与双向相同的摩擦力配合实现移动机构的定向运动<sup>[5-7]</sup>。这种驱动方式需要特殊的具有不对

收稿日期:2005-04-20.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50475010);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20050183020).

作者简介:曾平(1957-),女,教授. 研究方向:压电驱动与控制技术. E-mail:zengping321@163.com

称波形的电压信号,电路结构相对复杂。为此,作者提出通过控制移动机构和支撑面之间的正压力以形成双向不同的摩擦力,进而与具有对称波形的电压信号形成的双向相同的惯性冲击力相配合实现定向运动的新型惯性压电移动机构。分析了机构的工作原理,研制了以压电双晶片和惯性块作为动力元件,可在对称激励信号驱动下实现直线运动的变正压力式惯性驱动器,对其性能进行了试验研究。

## 1 驱动器结构与工作原理

### 1.1 驱动器结构

以压电双晶片和惯性块组成的压电双晶片振子为动力元件的驱动器的结构简图如图1所示。

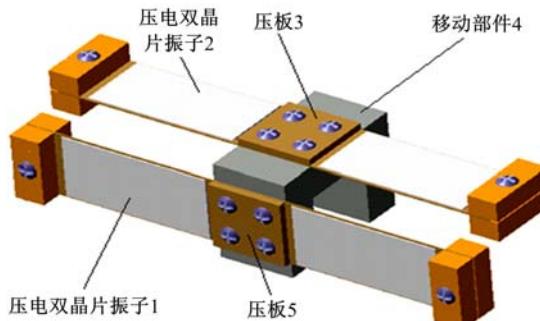


图1 直线驱动器结构示意图

Fig. 1 Sketch map of the linear actuator structure

图中的1、2为两边对称布置的悬臂梁式压电双晶片振子元件(以下简称振子1、2),它们具有相同的结构参数,为了方便安装,采用整体式结构;压板3和压板5为方形薄板,它们的作用是使压电双晶片振子形成悬臂梁结构且保证摆动臂长相等;移动部件4用来支撑机构并与支撑面发生作用,在其一侧和上部分别装配振子1和振子2。

### 1.2 驱动器工作原理

在图1所示的驱动器中,振子1产生直线运动方向的惯性力,起驱动作用,振子2在竖直方向振动,控制移动机构和支撑面之间的正压力,从而间接改变主体所受摩擦力的大小。

图2(a)、(b)分别为振子1、2外加驱动电压的波形图。通过对振子1、2的组合控制来实现驱动器的驱动,利用激励信号的相位关系来控制驱动器的前进方向。当分别对振子1、2施加相同相位的激励信号时,机构实现正向运动(设定方向);当分别对振子1、2施加相位相差 $180^\circ$ 的激励信号时,机构即可实现反向运动。

驱动器在图2(a)所示的电压信号作用下,驱动过程如图2(c)所示。具体过程如下:

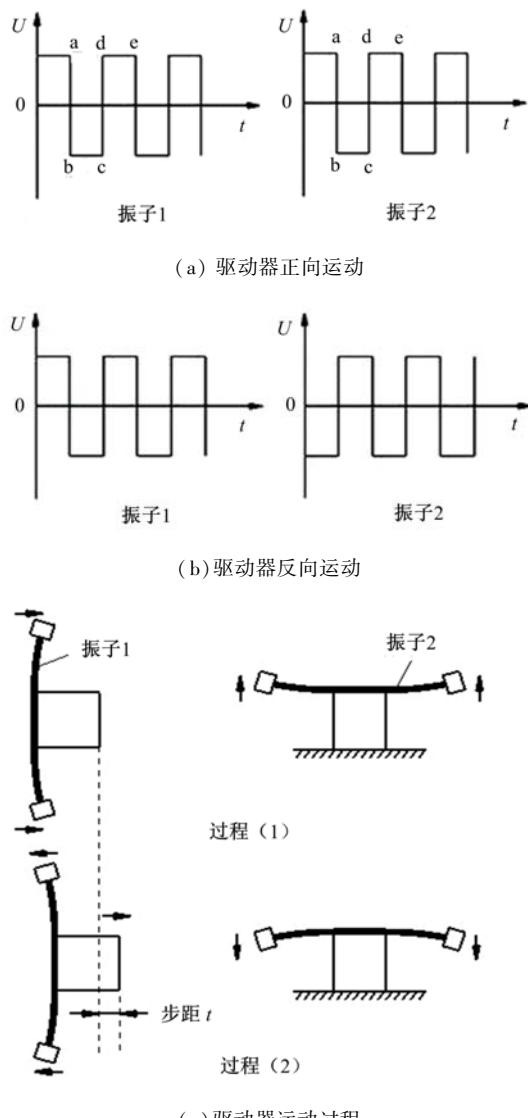


图2 驱动器的驱动电压波形及运动过程

Fig. 2 Driving electrical signal waveshape and driving process of actuator

(1)电压波形由a→b阶段,振子2快速向上弯曲变形,移动机构和支撑面之间的正压力变大,摩擦力增大,同时振子1快速向右弯曲变形,产生向左的惯性力,此时惯性力小于摩擦力,机构不动;当电压波形由b→c阶段,电压保持稳定,机构不产生动作。

(2)电压波形由c→d阶段,电压产生突变,振子2快速向下弯曲变形,产生向上的惯性力,这时移动机构与支撑面之间的正压力变小,相应的摩擦力也减小,而此时振子1快速向左弯曲变形,产生的惯性力将大于摩擦力,推动机构向右前进一步;电压波形由d→e阶段,电压保持稳定,机构

不产生动作。

重复(1)、(2)的过程,机构将获得连续的运动。当驱动器在图 2(b)所示的电压信号作用下时,振子 2 的振动时序反相,压电驱动器将做反方向运动。

上述驱动器的特点是结构简单、易加工制作、运动实现方便,正反向可控,可利用具有对称波形的电信号进行驱动。

## 2 振子的振动模态分析

压电双晶片振子是所设计的压电驱动器的核心动力部件,为了研究振子的动态特性,采用 ANSYS 分析软件对压电双晶片振子进行振动模态分析<sup>[8,9]</sup>。

由于驱动器上采用的压电双晶片振子为对称布置形式,取单侧的振子进行振动模态分析即可。多阶振型分析结果如图 3 所示。从分析结果可看出,第一阶振型是绕着固定端的摆振,且能够在振子的端部产生较大的位移,有利于形成惯性冲击力。对于其他两阶振型,端部的振动变形都很小,只对惯性冲击驱动起很小的作用。因此,要保证压电振子工作在最佳状态,驱动信号的工作频率应处于第一阶固有频率附近。

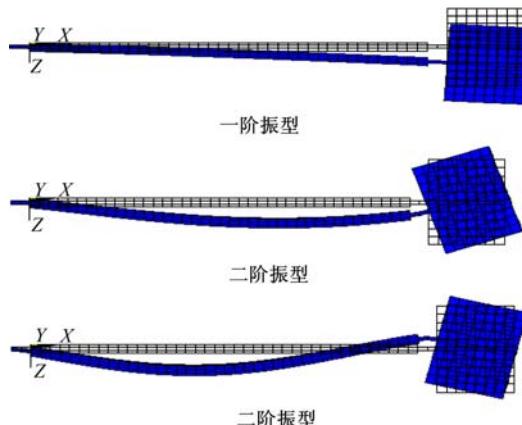


图 3 压电双晶片振子振型

Fig. 3 Dibrator model of piezoelectric bimorph

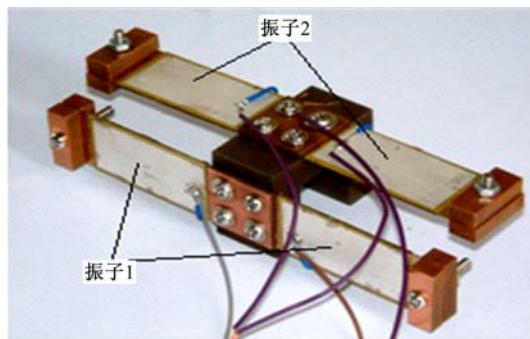
## 3 驱动器性能试验

### 3.1 驱动器样机参数及测试系统

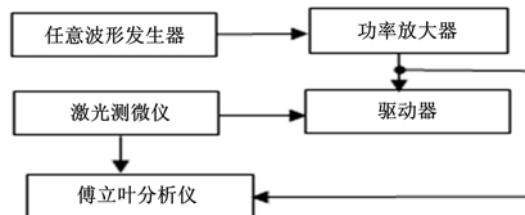
驱动器样机如图 4(a)所示。压电双晶片振子采用对称布置的整体式结构,基板尺寸为 120 mm × 20 mm × 0.4 mm;材料为铍青铜;压电双晶片尺寸为 40 mm × 20 mm × 0.35 mm;惯性块尺寸为 20 mm × 8 mm × 5 mm;质量为 6.3 g × 4。移动

部件材料为 45#钢,外廓尺寸为 40 mm × 30 mm × 20 mm。

图 4(b)为测试系统框图。由任意波形发生器输出的激励信号经过功率放大器放大后,施加



(a) 驱动器样机



(b) 驱动器测试系统

图 4 驱动器样机及测试系统

**Fig. 4 The prototype and testing system of actuator**  
到驱动器的压电元件上,带动驱动器运动。运动位移由激光测微仪测试,测得的位移按比例转换成电压信号通过 RS-232 接口实时传入多功能傅立叶分析仪进行实时显示。

### 3.2 驱动信号的选取

为了使压电双晶片振子获得较大的冲击力,需要选择合理的驱动信号。在此选用具有矩形波、正弦波 2 种常见对称波形的电信号对压电振子的端部变形量进行测试。图 5 为在 20 V 激励电压下、不同频率时的测试结果。从图中可以发现,相同激励情况下(电压、频率相同)矩形波驱动信号使压电振子产生的变形量大于正弦波驱动信号产生的变形量。正弦波信号虽然具有噪声低的优点,但其波形变化缓慢,产生的驱动力要小于矩形波信号产生的驱动力。因此选择矩形波信号为驱动源进行试验研究。

### 3.3 驱动器速度与频率及电压的关系

驱动器共采用 2 对相同的压电双晶片振子,需 2 路信号控制,振子 1 产生前进方向的驱动力,振子 2 控制主体和支撑面之间的正压力,为保证

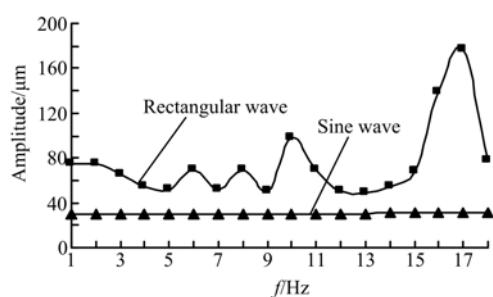


图5 压电双晶片振子的响应振幅

Fig. 5 Responsive amplitude of piezoelectric bimorph

运动的协调性,2路信号采用相同的频率。通过改变2路驱动信号的相位差,驱动器可以实现正反2个方向的运动,试验中约定,2路驱动信号相位差为0°时的运动方向为正向,相位差为180°时的运动方向为反向。

### 3.3.1 速度-频率关系

驱动器的速度与激励信号频率之间的关系如图6所示。测试中,2路激励信号电压相同。从图6可以看出,速度随着频率的不同呈现较大的变化。

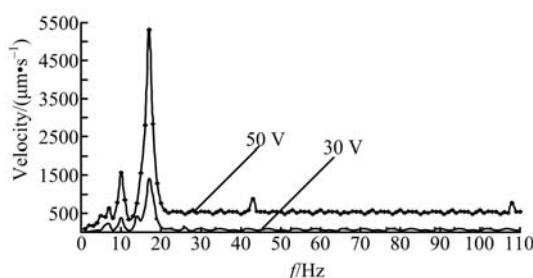


图6 驱动器速度-频率关系曲线

Fig. 6 Relationship between velocity and frequency

### 3.3.2 速度-电压关系

在频率一定的情况下变换电压,记录驱动器移动的速度。图7为3个不同频率下的试验结

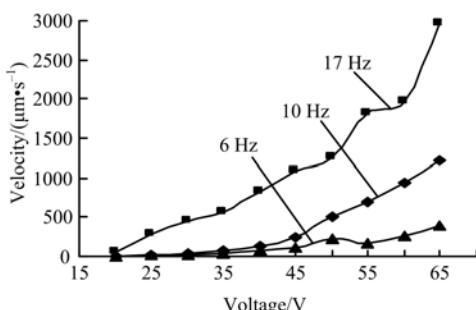


图7 驱动器速度-电压关系曲线

Fig. 7 Relationship between velocity and voltage

果,测试中2路信号电压相同。由图可知,驱动器的速度随着驱动电压的升高而增大,在低压下线性度比较好。

由上可知:驱动器的速度随激励信号频率的不同,呈现较大变化。因此,在频率一定的情况下,应采用改变激励信号电压幅值的方法来调节驱动器的速度。

### 3.4 样机性能测试

在定频调幅的控制方式下对驱动器进行了基本性能测试。测试中2路激励信号电压相同,激励信号频率为10 Hz,测试结果如表1所示。

表1 样机性能测试结果

Table 1 Testing results of actuator prototype performance

驱动 频率	最小稳定步长 (驱动电压)	最大移动速度 (驱动电压)	承载能力 (驱动电压)
10 Hz (20 V)	0.7 μm	1.2 mm/s	150 g (65 V)

## 4 结束语

研制了以压电双晶片和惯性块组成的压电双晶片作为动力元件、通过控制移动机构和支撑面之间的正压力、利用摩擦力变化实现定向运动的新型惯性直线驱动器。对样机的试验结果表明,该机构能够实现直线往复式运动,并且在频率一定的情况下,可以通过改变激励信号的电压幅值来实现驱动器的控制。当频率为10 Hz时,最小稳定运动步长为0.7 μm,最大移动速度为1.2 mm/s,最大承载能力为150 g。

## 参考文献:

- [1] James Friend, Akira Umehima, Takaaki Ishii, et al. A piezoelectric linear actuator formed from a multitude of bimorphs [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2004, 109(3):242-251.
- [2] Duan Zhi-yong, Wang Qing-kang. Development of a novel high precision piezoelectric linear stepper actuator [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2005, 118(2):285-291.
- [3] Liu Yung-Tien, Fung Rong-Fong, Huang Tai-Kun. Dynamic responses of a precision positioning table impacted by a soft-mounted piezoelectric actuator [J]. Precision Engineering, 2004, 28(3):252-260.
- [4] Liu Yung-Tien, Higuchi Toshiro, Fung Rong-Fong. A novel precision positioning table utilizing impact force of

- spring-mounted piezoelectric actuator-part I: experimental design and results [J]. Precision Engineering, 2003, 27(1):14-21.
- [5] 章海军, 黄峰. 压电陶瓷冲击驱动机构在微细进给与操作中的应用 [J]. 浙江大学学报:工学版, 2000, 34(5):519-521.  
Zhang Hai-jun, Huang Feng. Piezo impact drive mechanism for precise approach and manipulation [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering and Technology Edition), 2000, 34(5):519-521.
- [6] 马尚行, 章海军, 施洋. 新型冲击驱动器及其在扫描隧道显微镜中的应用 [J]. 中国机械工程, 2005, 16(3):205-208.  
Ma Shang-xing, Zhang Hai-jun, Shi Yang. A novel impact drive actuator and its application in scanning tunneling microscope [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 16(3):205-208.
- [7] 华顺明, 曾平, 王忠伟, 等. 新型二维压电移动机构 [J]. 吉林大学学报:工学版, 2004, 34(4):587-591.  
Hua Shun-ming, Zeng Ping, Wang Zhong-wei, et al. New planar locomotive device using bimorph [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2004, 34(4):587-591.
- [8] 朴林华, 栾桂冬, 张福学. 压电泵振动模态的有限元分析 [J]. 压电与声光, 2004, 26(6):503-505.  
Piao Lin-hua, Luan Gui-dong, Zhang Fu-xue. Vibration mode FEM analysis of the piezoelectric pump [J]. Piezoelectrics and Acoustooptics, 2004, 26(6):503-505.
- [9] 徐远, 杜建江, 王涛. 压电类智能层合结构的 ANSYS 仿真分析 [J]. 广西大学学报:自然科学版, 2005, 30(4):288-292.  
Xu Yuan, Du Jian-jiang, Wang Tao. The analysis of piezo-intelligent structure based on ANSYS [J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2005, 30(4):288-292.