

压电行走机构

吴文福, 韩 峰

(吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130022)

摘要:研制了一种以压电片为动力元件,通过行走足底部的微小局部椭圆运动,产生向前行走运动的机构。分析了该机构的行走机理,制作了具有不同振动角的 3 台实验机构。通过实验,分析了驱动电源频率、电压、振动角等因素对压电行走机构运动状态影响的规律,发现机构存在滑移动、跳移动、倒移动等新的运动现象。

关键词:机械设计;压电;振动;行走机构;行走机理

中图分类号:TH12 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2009)05-1192-05

Piezoelectric walking device

WU Wen-fu, HAN Feng

(College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: A walking device driven by piezoelectric patches was developed which moves forward by the slight partial elliptical movement of its feet soles. The walking mechanism of the device was analyzed and 3 experimental devices with different vibration angles were made. The effects of the voltage and the frequency of the driving power supply as well as the vibration angle on the movement behavior of the walking device were investigated experimentally. It was found that the device can walk in sliding, jumping and inversing.

Key words: mechanical design; piezoelectricity; vibration; walking device; walking mechanism

目前的行走机构主要有:车轮式、履带式、蠕动式、摩擦振动式等。压电陶瓷移动机构是近年来快速发展起来的一种位移机构,它是利用压电材料的逆压电效应,将电能转化为机械能的新型驱动装置,具有体积小、驱动精度高、分辨率高、频率响应高等优点^[1],并且不发热,噪声小,现在已广泛应用于航空航天微电子、精密加工测量、音响、机器人等许多领域。本文中的行走机构,是从机械设计和力学分析入手,吸取了前人研究的压电移动机构的经验^[2-3]而试验成功的一种新型压电振动式行走机构。通过实验,对行走机构的结

构进行了优化改进,并在实验过程中发现了机构行走运动的规律及一些特殊的运动状态。

1 结构及组成

新型压电行走机构结构简图如图 1 所示,主要包括载物台、弹性元件、驱动压电片、弹性减阻元件等。载物台 1 上可以安放砝码等作为实验中机构的载荷;弹性元件 2 用来放大振动幅值;驱动压电片 3 为整个机构移动提供动力;弹性减阻元件 4 可以增加机构移动时的摩擦力,并减小振动噪声。两足式压电振动行走机构在工作时利用压

收稿日期:2007-12-07.

基金项目:博士后科学基金项目(2005037704).

作者简介:吴文福(1965-),男,教授,博士生导师.研究方向:农业机械测试与控制技术,农产品加工技术,智能机械.

E-mail:wwfzlb@126.com

电陶瓷的谐振特性,通过激励压电片在共振频率下产生振动^[3],而与地面接触的两足底部产生微小的局部椭圆运动,使压电行走机构产生前进的运动^[4]。当改变输入电压信号的频率时,两个支撑足底部的局部椭圆运动也会产生相应变化,使机构出现左转、右转、跳跃甚至倒移动等特殊的现象。

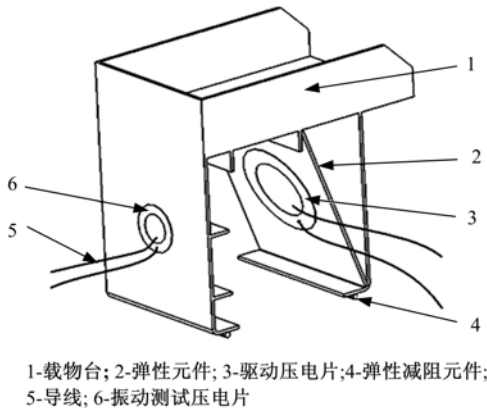


图1 压电行走机构简图

Fig. 1 Piezoelectric walking mechanism

2 实验设备及实验方法

本文目的是通过实验方法找出该机构在行走过程中驱动电压、频率、振动角、载荷等因素对其运动状态的影响,找出各因素与运动状态之间的关系。文中振动角指的是压电片振动方向与机构行走表面之间的夹角,如图2所示。

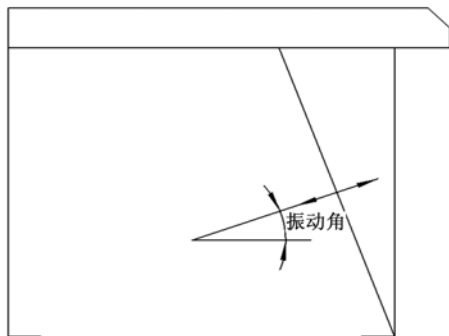


图2 振动角

Fig. 2 Vibration angle

2.1 实验设备

3个压电振动行走机构(振动角相同),SG-1648型功率信号发生器,HPV系列压电陶瓷驱动电源,示波器,砝码,计时秒表,万用表,卷尺等。

为了便于测定和计算行走装置的行走速度,在实验开始时制作了一个方形导槽,导槽的宽度

为55 mm,长度为300 mm。

2.2 实验步骤

(1)首先选定振动角为 20° 的实验装置,驱动电压取5个大小不同的值,由于驱动电压在30 V以下时没有运动现象,而电压高于110 V时,压电片易过热而降低寿命,所以电压选定为50、60、75、85、100 V^[5]。将驱动电压调到50 V,调节功率信号发生器输出频率,使机构工作在最佳谐振频率下。记录装置走过固定的距离所用的时间,反复做5次后取平均值作为最后的数据,计算出装置行走的速度。改变电压,重新测量机构的行走时间。

(2)改变机构的载荷,测试该机构在不同驱动电压下的行走时间。

(3)改变机构的振动角,分别选择振动角为 45° 和 60° 的实验机构,重复实验步骤(1)和步骤(2)中的实验,记录在不同电压下的行走时间。

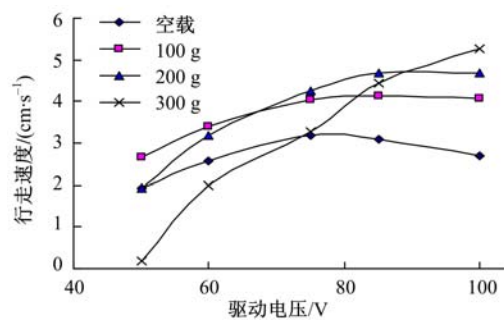
(4)固定驱动电压和载荷,调节功率信号发生器,使机构工作在不同的谐振频率下,测试机构在不同的频率下的运动状态。

3 实验结果与分析

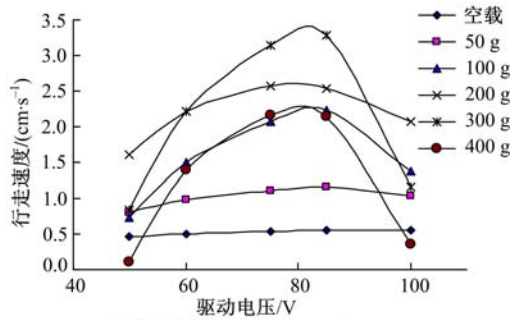
3.1 驱动电压的影响

行走机构的行走速度和驱动能力受几个因素的综合影响,为了测量驱动电压对行走装置的影响程度,先选择振动角为 20° 的行走装置为实验对象,载荷质量分别为空载、50、100、200、300 g,并将工作频率调节到行走装置的最佳共振频率,保持其他因素不变,由小到大调节驱动电压,根据测试数据得到驱动电压和行走速度之间的关系曲线如图3(a)所示。选择振动角不同的实验机构,振动角的改变将影响到该机构共振频率的变化,将工作频率调节到最佳的共振频率下,重复上面的试验,测得的电压-速度关系曲线分别如图3(b)、图3(c)所示。

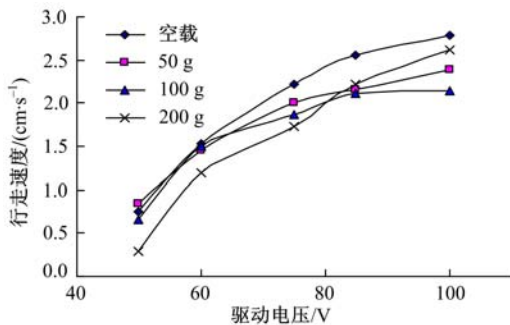
驱动电压对机构的行走速度影响较大,由图可见:①当驱动电压比较低(50 V)时,该机构处于滑移状态,行走速度低。随着驱动电压的升高,行走速度增大,当电压达到某一临界值时(振动角为 45° 时,临界电压为80 V),机构运动由滑移动变为跳移动,行走速度随驱动电压的增大而减小;机构由滑移动变为跳移动前的行走速度达到最大。②随着驱动电压的变化,载荷对临界值没有明显的影响。



(a) 振动角为20°(频率975 Hz)



(b) 振动角为45°(频率717 Hz)



(c) 振动角为60°(频率600 Hz)

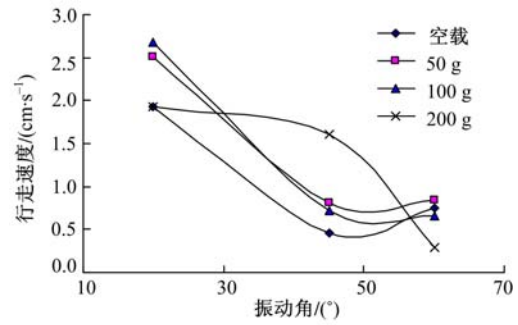
图 3 电压-速度关系曲线

Fig. 3 Voltage-velocity distribution

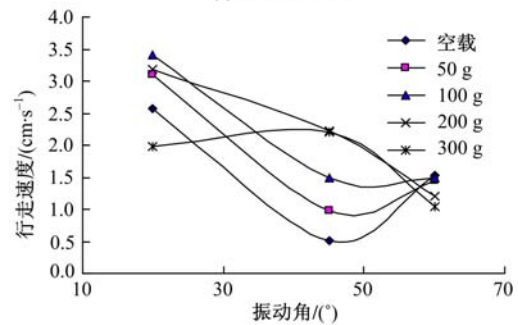
3.2 振动角的影响

选择振动角不同的行走机构(或改变弹性元件的粘贴角度,也可改变振动角),调节功率信号发生器输出频率,使机构工作在向前运动的最佳状态(振动角为 20°、45°、60°时的最佳谐振频率分别为 975、717、600 Hz),测出行走机构在不同振动角度时的行走速度。在不同的驱动电压和载荷下,行走速度与振动角之间的关系曲线如图 4 所示。

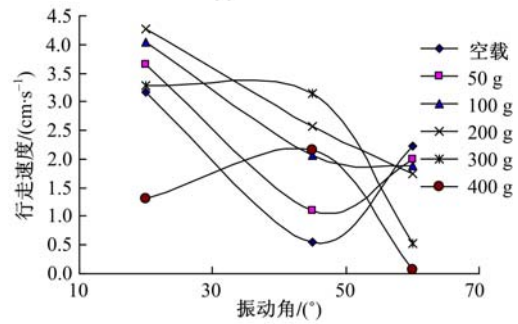
由图 4 可以看出,振动角对行走速度有较为明显的影响:①当载荷较小时,保持驱动电压和谐振频率不变的情况下,振动角为 20°时,装置的行走速度最大,随着振动角的增大,速度逐渐降低,当振动角为 45°时,速度达到最小值点,然后随着振动角的继续增大,速度逐渐增大。②当机构所



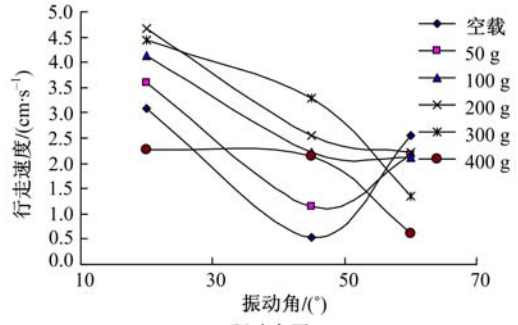
(a) 驱动电压50 V



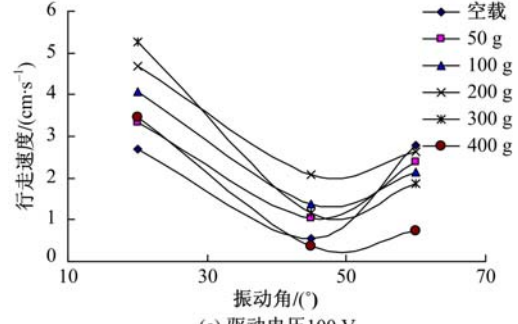
(b) 驱动电压60 V



(c) 驱动电压75 V



(d) 驱动电压85 V



(e) 驱动电压100 V

图 4 振动角-速度关系曲线

Fig. 4 Vibration angle-velocity distribution

承受的载荷较大时,速度随着振动角的增大没有明显变化,当振动角大于 45°时,行走速度呈现明显的下降趋势。③当驱动电压较高(100 V)时,振动角与行走速度之间的关系受载荷影响较小。

综上可知,振动角-行走速度关系曲线还与机构所承受的载荷有关。而驱动电压越高,其受载荷的影响越小。

3.3 载荷的影响

给行走机构加一定的载荷,通过实验确定载荷对装置行走状态和行走速度的影响^[6],实验中使装置始终工作在向前运动的最佳状态。首先测空载时的行走速度,然后逐渐加大载荷,图 5 为载荷与行走速度之间的关系曲线。

图 5 中 3 条曲线分别表示振动角为 20°、60°和 45°时的载荷-速度曲线。当载荷为零(即空载

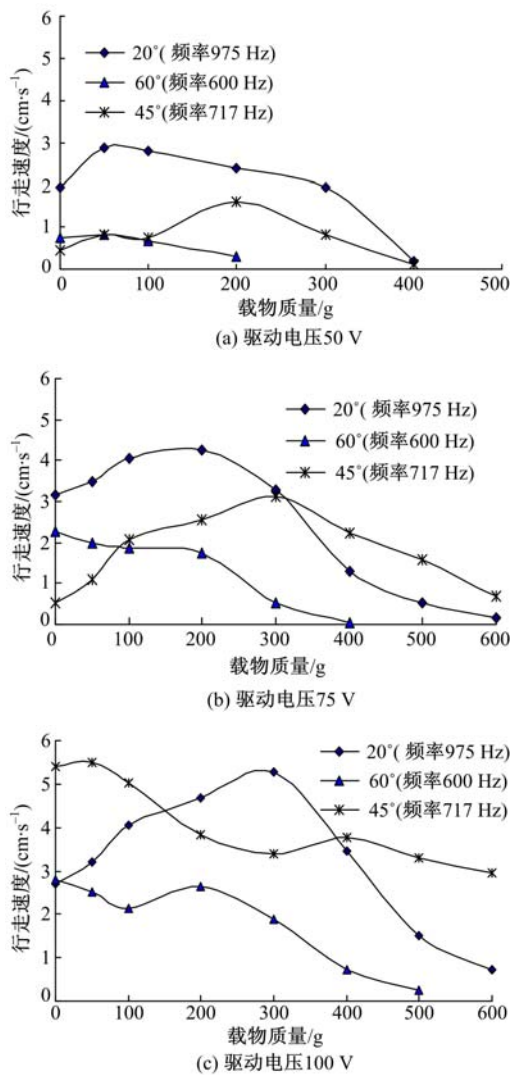


图 5 载荷-速度关系曲线

Fig. 5 Load-velocity distribution

状态)时,装置在谐振频率下容易出现跳移动现象。随着载荷的增加,行走状态逐渐由跳移动状态过渡到滑移动状态,且行走速度有所增加。由图可见:①振动角为 20°和 60°时,速度随着载荷的增加而增加,当载荷达到某一值时,速度达到最大,而后速度会随着载荷的增加而减小。②振动角为 45°时,行走速度随载荷的增加而慢慢降低,直至速度为零。

3.4 谐振频率的影响

在前面的实验中,数据的测量都是在机构工作在向前运动的最佳状态下进行的,而机构产生运动的谐振频率点(共振频率点)可能为 2 个或多个。在本实验中,选择驱动电压为 50 V,振动角为 20°的行走装置为实验对象,实验时为空载状态。调节功率信号发生器,使频率值由低到高依次增加,测得的速度曲线如图 6 所示。从图中可知,当电源信号频率到 650 Hz 时,机构开始移动;然后行走速度随着频率增加到 685 Hz 时达到最大(当电压为 50 V 时,速度 $v=56.8$ mm/s);然后速度下降,在频率为 700 Hz 左右时速度为零;随着频率的继续上升,机构出现倒移动,当频率为 725 Hz 时,倒走速度达到最大。之后,随着频率的增加,倒走速度逐渐下降,当频率达到 830 Hz 时,机构开始向前移动,当频率为 920 Hz 时,机构再次出现倒移动,频率达到 1017 Hz 时,倒移动速度达到最大,随着频率的增加,行走速度迅速下降,当频率为 1022 Hz 时,速度为零,频率值继续增加,机构没有出现行走现象^[7]。

由实验分析可知,机构在行走速度上会出现多个极值点,在这些极值点附近会出现正走和倒走的速度极值。其间机构也会呈现出左移、右移、左右摆动等不规则运动状态。由于在不同的工作频率下,机构便会出现不同的振动模态,这些极值

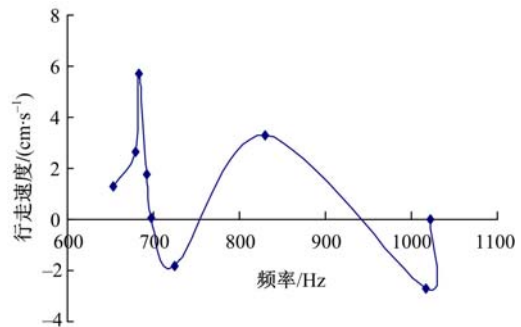


图 6 频率-速度关系曲线

Fig. 6 Frequency-velocity distribution

点也对应不同的固有振型,所以机构会出现不同的运动形式。

4 结 论

(1)机构在驱动电压、谐振频率、载荷、振动角等因素的影响下会出现滑移动、跳移动、倒移动等不同的行走状态。

(2)行走机构由滑移动变为跳移动前,行走速度达到最大,整个机构运行平稳,噪音较低;当运动状态变为跳移动时,行走速度降低,且噪音增大。

(3)当机构的振动角为 20° 和 60° 时,驱动电压越高,行走速度越快,且行走速度呈现出一定的线性关系;当振动角为 45° 时,在一定范围内,移动速度随着电压升高而增大,当电压达到 80 V 左右时,速度达到最大,当电压高于 80 V 时,速度随着电压的增高而降低。

(4)通过对 3 个不同振动角的行走机构进行试验表明,当振动角较小时,行走速度较快;随着振动角的增大,行走速度逐渐降低,当振动角为 45° 时,行走速度降到最低,然后速度随着振动角的增大而逐渐增大。

(5)谐振频率是影响行走速度的一个重要因素,机构的谐振频率点可能有多个,机构的行走速度在每一个谐振频率点出现一个极值,当行走机构工作在某一谐振频率点时,速度达到最大值;机构在不同的谐振频率点的工作状态不同,除行走速度不同外,行走的方向也可能不同。

参考文献:

- [1] 李欣欣,卢全国,程光明,等.压电型步进式精密直线驱动器的实验研究[J].压电与声光,2005,27(2):136-138.
Li Xin-xin, Lu Quan-guo, Cheng Guang-ming, et al. Experimental study on precision linear stepping actuator by piezoelectric [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2005, 27(2):136-138.
- [2] 程光明,杨志刚,曾平,等.压电式移动机构的研究[J].压电与声光,2003,25(2):106-108.
Cheng Guang-ming, Yang Zhi-gang, Zeng Ping, et al. Study of piezoelectric locomotive mechanism[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2003, 25(2): 106-108.
- [3] Lobontiu N, Goldfarb M, Garcia E. Piezoelectric-driven inchworm locomotive device[J]. Mechanism and Machine Theory, 2001,36(4):425-443.
- [4] 陈西平,杨志刚,程光明,等.谐振型压电式管内移动机构[J].吉林大学学报:工学版,2002,32(1):28-32.
Chen Xi-ping, Yang Zhi-gang, Cheng Guang-ming, et al. On the in-pipe locomotive mechanism using resonance piezoelectric vibrators[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2002,32(1):28-32.
- [5] 田忠静,吴文福,韩峰.浮动式压电振动送料装置的试验研究[J].压电与声光,2006,28(5):557-559.
Tian Zhong-jing, Wu Wen-fu, Han Feng. The experimental research on the floating piezoelectric vibratory feeder[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2006,28(5):557-559.
- [6] 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.
- [7] 杨志刚,陈西平,程光明,等.压电双晶片式管内移动机构的振动解析[J].压电与声光,2000,22(6):410-413.
Yang Zhi-gang, Chen Xi-ping, Cheng Guang-ming, et al. Vibration analysis of in-pipe locomotive mechanism with piezoelectric bimorph[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2000, 22(6): 410-413.