

环形压电双晶片驱动式振动送料器*

苏江^{1,2}, 沈燕虎¹, 杨志刚³, 乔忠智¹

(1. 吉林大学机械科学与工程学院 长春, 130025) (2. 吉林大学珠海学院机电工程系 珠海, 519041)
(3. 吉林大学链传动研究所 长春, 130025)

摘要 为了满足现代工业领域中对轻、薄、小产品平稳输送的要求,提出了一种采用环形压电双晶片作为驱动源的新型振动送料器。设计了振动送料器结构,分析了振动送料器的工作原理,测试了压电双晶片振子的性能,利用有限元软件 ANSYS 确定了压电双晶片振子的工作模式,研制了送料器样机并进行试验测试。试验结果表明:当振动频率为 86.5~91.5 Hz 时,送料器具备输送物料的能力;当系统共振时,输送速度最快,随着电压的增加,送料速度呈线性关系增加;与同型号的电磁振动送料器相比,研制的环形压电双晶片驱动式振动送料器消耗电流仅为其 16%,工作噪声下降 22 dB,输送稳定性好。

关键词 振动给料器; 压电双晶片; 振动模式; 性能
中图分类号 TH237.1

引言

自动送料装置作为生产线一个不可缺少的环节,其输送流程和效率在很大程度上决定了整个自动化生产程序的优劣。传统的振动送料器大多采用电磁铁作为驱动源,这种电磁振动送料器噪音大、质量重、能耗大、结构复杂、输送平稳性差^[1-3]。随着现代工业领域中产品愈来愈趋向于轻、薄、小,低碳环保设计理念深入人心,工人工作环境日趋改善,对送料器的体积、噪音、输送平稳性及节能等方面也提出了新的要求。近些年来,随着压电材料的不断发展,压电材料逐渐应用于越来越多的高新技术和工业生产领域。20 世纪 70 年代末期,日本科研人员研制成功了以矩形压电陶瓷作为驱动源的压电振动送料器^[4],这种送料器克服了传统电磁送料器的缺点,具有体积小、能耗低、噪音小和输送平稳等优点,在精密自动化生产线上得到了广泛的应用^[5-6]。我国在 20 世纪 90 年代开始了压电振动送料器的研究,虽然取得了一些成果,但是由于在结构上没有创新、技术不成熟,没有形成具有自主知识产权的产品^[7-9]。笔者提出一种新型压电驱动式振动送料器,利用环形压电双晶片作为驱动元件。针对这种新型压电振动送料器,分析了其工作原理,制造了样机并进行试验测试。

1 结构与工作原理

环形压电双晶片驱动式振动给料器主要包括料盘、顶盘、斜块、基座、底座和驱动部分(包括环形压电双晶片振子、连接轴、支撑弹簧片和主振弹簧片),结构如图 1 所示。其中,驱动源为环形压电双晶片振子,通过环形基座固定在底座上,连接轴两端穿过主振弹簧片并用螺母固定。主振弹簧片一端固定在底座上,另一端通过支撑弹簧片与顶盘连接,料盘通过螺栓固定在顶盘上。橡胶底脚安装在底座上,起减振作用。

环形压电式压电振动送料器的工作原理是当对环形压电双晶片振子施加一交流电压时,它就会发生弯曲振动。当压电双晶片振子向左弯曲时,在连接轴推力作用下,迫使主振弹簧片产生向左下方的弯曲变形(如图 2 中虚线所示)。当双压电晶片向右弯曲时,此时主振弹簧片释放弹性势能,迫使其急剧改变弯曲方向,向右上方运动,并超越原来的静平衡位置达到某一上限(如图 2 中实线所示)。如此往复循环,即得到主振弹簧片的高频微幅弯曲振动,这种振动由支撑弹簧片放大后传递到料盘,从而获得驱动物料输送的能力。

* 国家自然科学基金资助项目(51075175)
收稿日期:2013-03-06;修回日期:2013-05-27

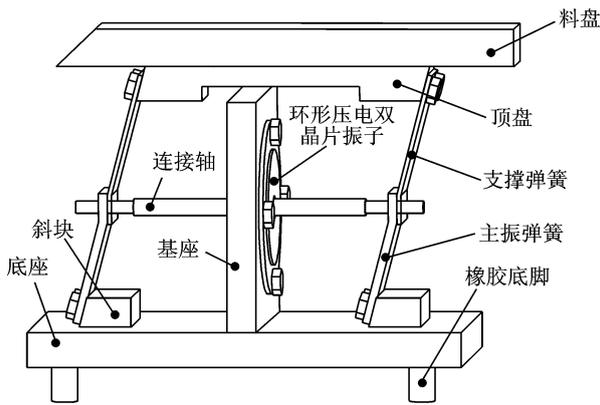


图 1 环形压电双晶片驱动式振动送料器结构

Fig.1 Structure of vibratory feeder driven by doughnut shaped piezoelectric bimorph

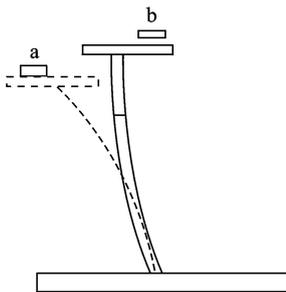


图 2 送料器工作原理

Fig. 2 Working principle of feeder

2 环形压电双晶片振子结构与性能测试

2.1 环形压电双晶片振子结构

环形压电双晶片振子是振动送料器的动力部分,为振动送料器提供振动激励,它的结构尺寸决定了整机的结构尺寸,其性能决定了整机性能,所以环形压电双晶片振子的设计至关重要。笔者设计的环形压电双晶片振子结构如图 3 所示。

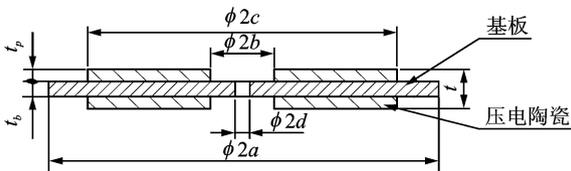


图 3 环形压电双晶片振子结构

Fig. 3 Structure of doughnut shaped piezoelectric bimorph vibrator

选用了 PZT 压电陶瓷片,使用环氧树脂胶水将两片环形压电陶瓷片分别黏接在金属基板的两侧制作成压电双晶片振子。因为基板工作时受交变应力

作用,基板材料取综合性能较好的 65 Mn,两片压电陶瓷引出的导线接电源的正极,基板上引出的导线接地。这里要求压电双晶片振子有足够的驱动能力和一定的变形能力,同时其结构尺寸不宜过大。根据以往对压电双晶片振子的相关研究^[10-11],本研究设计的环形压电双晶片振子参数如表 1 所示。

表 1 振子尺寸参数

Tab. 1 Size parameters of vibrator

a/mm	b/mm	c/mm	d/mm	t_b/mm	t/mm
46	7	31.5	2.1	1.8	3.8

2.2 环形压电双晶片振子性能测试

对设计的环形压电双晶片振子进行动态特性测试,测试系统工作框图如图 4 所示。测试系统由信号发生器、功率放大器、激光测位仪和傅里叶分析仪等组成。

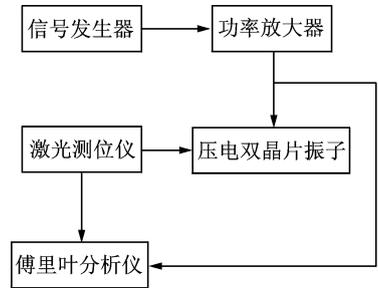


图 4 动态特性测试系统图

Fig. 4 Experimental testing system of dynamic characteristics

2.2.1 阻抗测试

将环形压电晶片振子固定到工作台上,利用精密阻抗分析仪对其进行阻抗分析,可以得到阻抗值最小为 26.3 Ω ,谐振频率为 2 613.349 Hz,相位角为 46.5°。

2.2.2 响应信号测试

向环形压电双晶片振子输入一正弦电压信号,信号幅值为 3 V,经功率放大器放大 10 倍,信号幅值变为 30 V,频率为 2 613.35 Hz。通过傅里叶分析仪可以看到信号源曲线和激光测位仪拾取信号的曲线,如图 5 所示。图 5 上半部分为激光测位移输出的位移信号,图 5 下半部分为压电双晶片振子所施加的正弦波电压激励信号,频率为 2613.35Hz,幅值为 30V(结果是经过 10 倍衰减后的结果)。可以看出,对压电双晶片振子施加正弦激励时,响应也是同频率的正弦波,相位差为 46.5°。

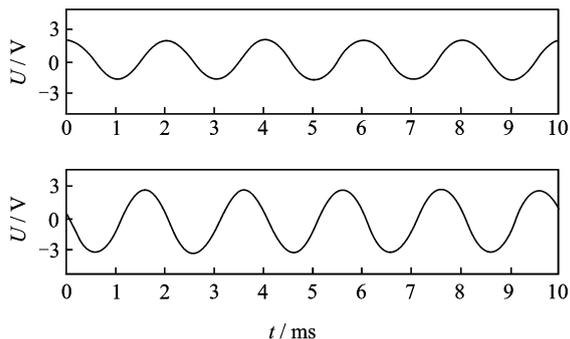


图5 振子正弦响应曲线

Fig. 5 Sine response curve of vibrator

2.2.3 幅频特性曲线

把电压固定在 30 V, 调节频率为 2.3~2.9 kHz, 每隔 20 Hz 记录一次振幅数值, 可以得到压电双晶片振子的幅频特性曲线如图 6 所示。振幅在开始阶段很小, 但随着频率的增大振幅逐渐增大, 当频率增大到 2.6 kHz 时, 振幅达到最大, 为 4.8 μm , 也就是说当所施加电压频率和压电双晶片振子的谐振频率相同时, 压电双晶片振子的振幅值最大, 振动最强烈, 这与利用精密阻抗分析仪分析的结果基本吻合。随后, 随着频率的增加振幅又逐渐减小。

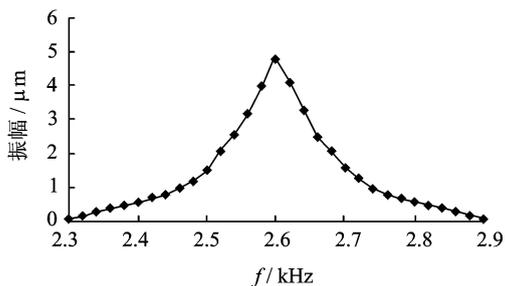


图6 振子的幅频特性曲线

Fig. 6 Amplitude frequency characteristic curve of vibrator

3 压电双晶片振子的模态分析

利用 ANSYS 软件对压电双晶片振子进行模态分析^[12], 模态分析就是为了确定振动送料器所用的压电振子振型。图 7 为压电双晶片振子振型分析结果。由图 7 可以看出, 一阶振型中心变形量最大, 二三阶振型中心点两侧变形量最大, 而四阶振型的中心点四周的 4 个点变形量最大。本研究的振动送料器是利用压电双晶片振子中心的变形, 所以选用其一阶振型。

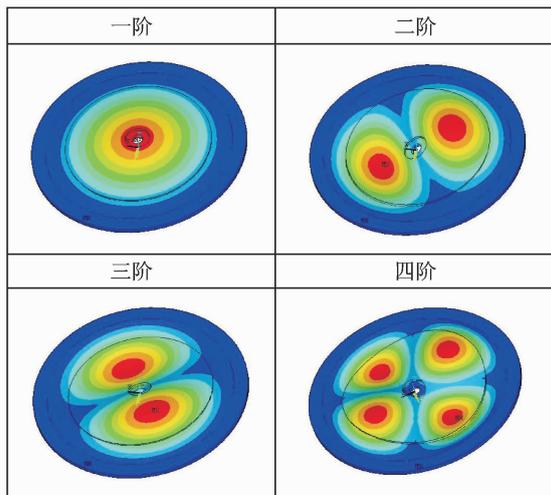


图7 压电双晶片振子的振型

Fig. 7 Vibratory mode of vibrator

4 样机性能测试

4.1 样机主要尺寸

制造环形压电双晶片驱动式振动送料器样机, 如图 8 所示。其中, 基板尺寸为 92 mm×1.8 mm, 压电陶瓷尺寸为 92 mm×1.8 mm, 主振弹簧尺寸为 65 mm×30 mm×2.5 mm, 支撑弹簧为 50 mm×30 mm×1 mm。



图8 振动送料器样机实物图

Fig. 8 Prototype of vibratory feeder

4.2 性能测试

将 M4 的螺母放入料盘中, 调节驱动电源电压为 180 V, 改变电源频率, 频率每增加 0.5 Hz 测量一次送料速度, 得到频率-送料速度特性曲线如图 9 所示。

当频率在 86 Hz 以下时, 送料速度为 0; 当频率为 89 Hz 时, 送料速度最快, 达到了 75 mm/s, 此时系统达到共振; 当频率大于 92 Hz 时, 送料速度又回到了 0。由于环形压电双晶片振子动态测试时的边

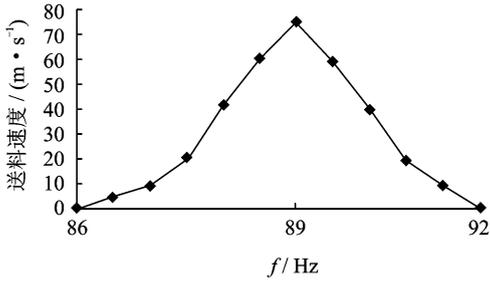


图 9 频率-送料速度特性曲线

Fig. 9 Frequency-feeding rate characteristic curve

界条件是自由的,而安装到系统中后,边界条件变成弹性边界条件且具有惯性负载,导致安装后共振频率大幅变小。结果表明:送料器系统共振时输送速度最快;驱动电源频率范围为 86.5~91.5 Hz 时,送料器具备输送物料的能力,送料器只能在小范围频率段工作。

调节驱动电源频率为系统共振频率 89 Hz,改变电源电压,每隔 20 V 测量一次送料速度,得到电压-送料速度特性曲线,如图 10 所示。

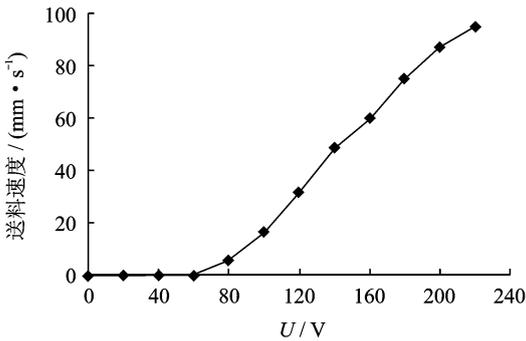


图 10 电压-送料速度特性曲线

Fig. 10 Voltage-feeding rate characteristic curve

当电压在 66 V 以下时,送料器的料盘表面有振动,但振幅微弱,送料速度近似为 0。当电压大于 66 V 时,随着电压的增加,送料速度呈线性关系增加。

4.3 对比试验

调节驱动电源信号频率使设计的振动给料器工作在共振条件下,与同型号的电磁式振动送料器做对比试验,当回路中电压为 220 V,测得的相关参数如表 2 所示。

由表 2 可以看出,电压相同时,研制的振动送料器电流仅为电磁式的 16%,噪声比电磁式低 22 dB。

表 2 送料器使用性能对比表

Tab. 2 Work performance contrast of feeder

类型	参数			噪声/dB
	I/mA	f/Hz	v/(mm·s ⁻¹)	
压电给料器	31	89	78	49
电磁给料器	193	50	89	71

虽然电磁式送料器速度较快,但物料在输送过程中出现较为明显的跳跃,输送稳定性较差。

5 结 论

1) 针对现代工业领域中对轻、薄、小产品的平稳输送的需要,研制了一种利用环形压电双晶片作为驱动源的振动送料器,测试了环形压电双晶片振子的性能,对其进行了模态分析。

2) 试验表明:环形压电双晶片驱动式振动送料器在较小的频率范围内具备输送物料的能力;共振条件下输送速度最快;随着电压的升高,送料速度呈线性增加。

3) 与同型号的电磁振动送料器相比,研制的环形压电双晶片驱动式振动送料器电能消耗仅为电磁的 16%,工作噪声下降 22 dB,输送平稳性好。

参 考 文 献

[1] Maul G P, Thomas M B. A system model and simulation of the vibratory bowl feeder[J]. Journal of Manufacturing Systems, 1997,16(5): 309-314.

[2] 詹启贤. 自动机械设计[M]. 北京:中国轻工业出版社,1997:225-227.

[3] 特殊陶业株式会社. 压电振动搬送装置:日本,52-61087[P]. 1977-05-04.

[4] 苏江. 振动送料器的现状及发展趋势[J]. 机械设计与制造,2010(7): 244-246.
Su Jiang. Current status and development trends of vibration feeder[J]. Machinery Design & Manufacture, 2010(7): 244-246. (in Chinese)

[5] Choi S B, Lee D H. Modal analysis and control of a bowl parts feeder activated by piezoelectric actuators [J]. Journal of Sound and Vibration, 2004, 275(3): 452-458.

[6] Ting Y, Jar H C, Lin C Y, et al. A new type of parts feeder driven by bimorph piezo actuator[J]. Ultrasonics, 2005,43(7):566-573.

[7] 焦其伟,崔文会,孙宝元,等. 压电式振动给料器的研制[J]. 传感器技术,2001,20(4):23-26.

- Jiao Qiwei, Cui Wenhui, Sun Baoyuan, et al. Research and produce of piezoelectric vibration feeder [J]. Transducer Technologies, 2001, 20 (4): 23-26. (in Chinese)
- [8] 杜玉明, 关志华, 吴瑞. 压电式振动给料机的技术反求 [J]. 机械设计, 1999(4): 18-20.
Du Yuming, Guan Zhizhua, Wu Rui. Technology reverse piezoelectric vibratory feeder[J]. Mechanical Design, 1999(4): 18-20. (in Chinese)
- [9] 田忠静, 吴文福. 压电振动送料装置的研究现状及其应用[J]. 机械设计与制造, 2011(11): 54-56.
Tian Zhongjing, Wu Wenfu. Research status and application of piezoelectric vibratory feeder device [J]. Machinery Design & Manufacture, 2011 (11): 54-56. (in Chinese)
- [10] 胡笑奇, 张建辉, 黄毅, 等. 一种仿生型无阀压电泵[J]. 振动、测试与诊断, 2012, 32(4): 132-135.
Hu Xiaochi, Zhang Jianhui, Huang Yi, et al. Bionic valveless piezoelectric pump[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2012, 32(4): 132-135. (in Chinese)
- [11] Smits J G, Dalke S I, Cooney T K. The constituent equations of piezoelectric bimorphs[J]. Sensors and Actuators A, 1991, 28: 41-61.

- [12] 侯志伟, 陈仁文, 刘祥建. V 型压电换能器的有限元分析与实验 [J]. 振动、测试与诊断, 2012, 32(6): 892-897.
Hou Zhiwei, Chen Renwen, Liu Xiangjian. Finite element analysis and experiment for V shape piezoelectric transducer[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2012, 32(6): 892-897. (in Chinese)



第一作者简介: 苏江, 男, 1980 年 5 月生, 博士研究生、讲师。主要研究方向为压电驱动技术, 机电一体化。曾发表《直线式振动送料器研究现状与发展趋势》(《制造技术与机床》2012 年第 7 期) 等论文。

E-mail: sujiang2002381@sohu.com

通信作者简介: 杨志刚, 男, 1956 年 7 月生, 教授、博士生导师。主要研究方向为压电驱动技术。

E-mail: yzg@jlu.edu.cn

《振动、测试与诊断》被《中国学术期刊文摘》收录

近日,《中国学术期刊文摘》(简称 CSA)通过对全国近 5000 种科技期刊的学术指标统计和专家评审综合评估,确定了 500 余种优秀科技期刊为收录源期刊,内容涉及自然科学、医药科学、农业科学、工程与技术科学等学科。本刊将于 2014—2015 年度被收录其中。