

压电陶瓷微位移驱动器在精密工件台上的应用研究

荆 涛

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

摘要 以压电陶瓷微位移原理为基础, 对精密驱动技术在精密定位工件台上的应用作了实验研究。一个是对工件台的微动台进行驱动, 另一个是对导轨直线进行误差补偿。设计了一个包括高压精密可调电源、压电微位移驱动器、作为反馈元件的光栅干涉仪、以及由 IBM PC 机和几个 8031 单片机的主从控制系统。

关键词: 误差补偿; 压电陶瓷; 微量位移

1 引言

由于压电陶瓷具有逆压电效应: 当其在两极施加外电压时, 压电陶瓷会沿极化方向产生微变形, 利用这个特性制成的压电驱动器具有许多突出优点, 它可在电压控制下获得较高的位移分辨率, 同时由于其频率响应高、动态反应快, 承载大, 良好的机械静压力特性, 结构简单及受外力干扰小, 能够提供推动工件台微位移的力并保证足够的动刚度。如配以高稳定性和小波纹低噪声的高压放大器, 组成的驱动系统可以应用到许多微米级和亚微米级精度的精密驱动和定位领域中去。

本文旨在通过微机、单片机、微驱动元件及光栅测量仪对工件台的微动台进行驱动, 并对导轨直线度进行误差补偿。

本文设计了包括高压精密可调电源, 光栅检测仪及 IBM PC 和 8031 单片机、压电陶瓷在内的闭环系统的定位工件台中的微动部分, 本文是整个精密定位工作台中主从系统中的从系统。

2 误差补偿原理及其应用

研究工件台的导轨直线度误差的补偿, 以误差补偿理论为基础, 尝试采用便于实现的方

法, 只需简单的补偿机构达到提高精度的目的。

本工件台采用光栅尺作为检测装置, 但直接用光栅尺检测出的信号分辨率不够, 必须对这个信号进行电子学细分, 但是由于在加工过程中, 随加工时间的延长, 主轴的热伸张, 外部环境振动及各种外界干扰, 引起导轨的直线度产生误差, 而导轨的直线度误差对于电子学细分的影响是十分巨大的, 所以必须对导轨的直线度误差进行补偿。

设计了一个伺服控制系统, 完成对导轨的在线测量, 并利用测得的信息对导轨实行直接控制, 这方法的特点是直接实时地对导轨进行测量, 并利用闭环系统进行控制。

本研究中采用电致伸缩材料压电陶瓷产生微量位移, 设想采用电容测微仪作为测头如果导轨向一方偏移量过大, 测头测得信号后输入微机处理, 输出一个修正量, 控制导轨, 使导轨回到原来位置, 当误差信号方向相反时, 原理相同, 因而, 使导轨沿直线运动, 可提高光栅尺测量信号的精度, 使此信号能达到电子学细分的条件, 从而提高精度。

3 微位移原理及系统设计

导轨偏移量的修正及其微动台的驱动最好采用直接驱动而无传动环节, 以确保其具有良好的动态特性和抗干扰能力, 采用直接驱动的微动台的位移分辨率及精度, 主要取决于输入位移的分辨率和精度, 因此如何产生微小位移是微位移技术中的重要问题, 虽然产生微小位移的方法比较多, 但比较理想的是利用电介质的机电耦合效应制成的微位移器件, 即压电和电致伸缩位移器件, 它们是近年来的新型器件。

压电陶瓷作为电致伸缩位移器件中的一种, 具有许多突出优点, 它可在电压控制下, 获得较高的位移分辨率; 同时由于其频率响应高, 动态反应快、承载大、良好的机械静压力特性; 结构简单及受外力干扰小; 能够提供推动工件台微位移的力并保证足够的动刚度。

压电陶瓷是具有压电效应的陶瓷材料。也就是说在经过极化处理的陶瓷体上沿其极化方向施加一个机械力(或释放压力)时, 陶瓷体就会产生充(放)电现象, 这就是正压电效应, 反之, 若在陶瓷体上施加一个与极化方向相同(或相反)的电场, 则会引起陶瓷片伸长(或缩短)的形变, 被称为逆压电效应。

压电陶瓷在外电场作用下, 应变与电场的关系可简化为:

$$S = dE + E^2 \quad (1)$$

S 为应变; d 为压电系数; m 为电致伸缩系数; E 为施加在晶体上的电场强度, 式中第一项为逆压电效应, 第二项为电致伸缩效应。

把压电陶瓷作为一个微位移发生器是利用了压电陶瓷的逆压电效应或电致伸缩效应。比较两种驱动器的性能, 本实验选用逆压电效应。

没有设置微位移驱动器时, 此时粗动台的移动由伺服电机控制, 整个移动和停止过程受计算机的指令要求来决定, 为了解决工件台定位的准确性, 一方面要借助工件台上的测距系统不断地将工件台的实际位置反馈达到伺服电机的控制接口; 另一方面要求运行中的伺服电机做到低速起动, 高速运行, 最后低速停准, 但是即使采取了这些措施, 要使工件台能够即时停准亦非易事, 因为伺服电机和工件台面都具有一定的惯量, 在工件台到达停准位置的瞬间, 工件台还要继续向前冲过一段距离, 距离的长短与伺服电机和工件台的动量有关, 为此控制接口就要设法使伺服电机反转, 让它返回到停准点上, 伺服电机的这种往复的调整过程有需

要进行多次调整才能最后停准,所费时间在某些定位点上竟达秒级以上而且停准点精度也不高。

如增加一层微动台的话,则工件台的定位过程就大不一样了,在驱动粗动台运动的过程中微位移驱动器是不工作的,而粗动台的运动仍由计算机控制伺服电机来实现,并利用测距系统将位置信号不断馈送到电机的控制接口,因此在这段过程中,伺服电机的控制属于闭环性质。一旦当工件台以低速将要到达或通过定位点时,控制接口即让电机停止工作,并通知微位移发生器投入工作,此时若因工件台的惯性使工件台向前冲过一段距离的话,则测距系统测得工件台过冲的距离,由控制系统控制微位移发生器,让压电陶瓷在原来的基础上相应缩短这一长度,同样,工件台未到达定位点时,测距系统测出相差的距离,由控制系统控制微位移发生器,让压电陶瓷相应伸长这一长度。从而补偿了工件台的移动偏差,由于压电陶瓷的响应速度快,它在伸长和缩短过程中元机械噪音和振动,每脉冲的位移当量可由设计者按实际情况进行调整,可做得十分微细,所以大大地提高了系统的调整灵敏度和调整速度降低了对光学机械的设计要求,比较容易地达到了所要求的精度。

4 系统电气结构设计

系统的电气结构包括误差检测装置—光栅干涉仪,计算机控制系统,A/D,D/A转换以及高精度可调高压驱动电源。

5 PC机与8031单片机的双向串行通信

本系统采用常见的主从分布式系统,它具有结构简单符合实际要求等特点。

主从分布系统必须遵循以下准则:

- (1) 有一处于主机地位的微处理器,它负责安排调度系统的任务;
- (2) 从机的运行受主机控制,但从机之间处于平等地位,可以并行地运行各自程序。

本系统采用IBM-PC机为主机,四个8031单片机为从机,分别控制X、Y两个方向的微动和X、Y两导轨的误差补偿。

6 精密定位工件台微动台自动补偿控制

6.1 自动补偿控制模型

根据定位精度要求和补偿执行部件压电陶瓷的电致伸缩特性,采用带位置反馈的闭环压控方式精确定位,系统的自动补偿控制框图如图1所示。

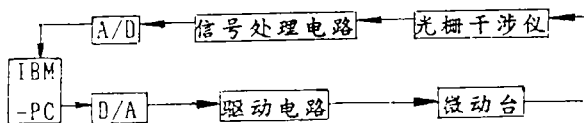


图1 系统自动补偿控制框图

补偿的驱动信号由计算机发出,经D/A后交给驱动放大电路,这部分电路的主要作用是提高驱动信号的电压到几百伏,最后加在压电陶瓷上,使

压电陶瓷产生机械位移，由于在驱动放大电路中采用了交流逆变升压，最后通过滤波得到直流高压，故这部分相当于一个二阶惯性系统，根据随机响应和扫频正弦响应，可拟合出这部分的开环传递函数。经过理论推导得到整个补偿控制系统的传递函数 $G(s)$ 为

$$G(s) = G_d(s)G_i(s) = k \cdot \frac{1}{(\tau_1s + 1)(\tau_2s + 1)} \cdot \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n \cdot s + \omega_n^2} \quad (2)$$

这是一个四阶系统，当它对阶跃输入响应时，由于最后一项的二阶系统在实平面内没有极点，故它对阶跃输入的响应影响极小，可以忽略。而前两项在实平面内都有负的实极点，故它们对阶跃输入的响应具有稳态的输出，原系统相当于一个惯性系统，其过渡过程也类似于一个惯性系统的过渡过程。

6.2 位移-电压特性

利用自制的程控高压可调精密直流电源，对微位移驱动器进行位移-电压特性实验框图如图 2。

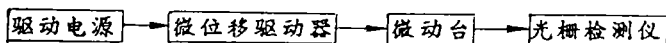


图 2 位移-电压特性实验框图

按图示连接仪器，驱动电源输出值从 0V 开始，每隔 5V，测一次伸长量，直至 220V，再从 220V 降压，每隔 5V，测一次缩短量，其位移-电压特性曲线如图 3。

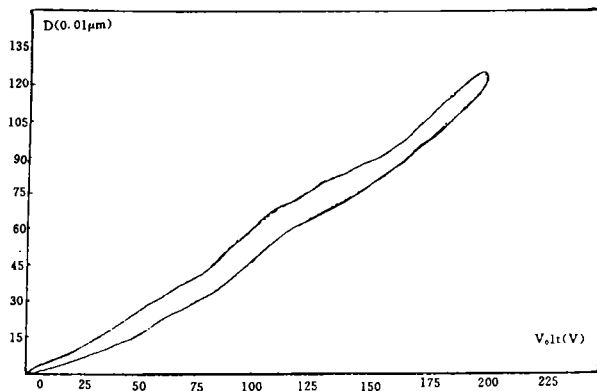


图 3 位移-电压特性曲线

对实验数据进行拟合得：

$$S = 1.32 \times 10^{-5}V^3 + 2.76 \times 10^{-5}V^2 + 6 \times 10^{-3}V \quad (3)$$

从图中可看出，压电陶瓷的滞环比较大，这在后面的控制算法予以弥补。但它的回零性很好，这对后面的重复定位比较有利。

6.3 控制算法

通过对系统特性的分析，采用简单的误差逐步递减控制与 PID 控制相结合的方法进行了闭环控制的实验。

7 实验结果

本工件台未加微动台时粗动台的最终定位精度只能达到 $1\mu\text{m}$ ，且工件台最后定位时间服

电机的往复调整过程需多次才能最后停准, 所费时间在某些定位点上竟达秒级以上。

而采用了微动台, 用压电陶瓷驱动, 最后定位精度可达到 $0.05\mu\text{m}$ 且定位所费时间也大大降低。

8 结 束 语

(1) 压电陶瓷微动台是一种位移分辨率高、结构简单、整体性强的理想微位移机构, 采用压电陶瓷作为驱动元件易实现闭环自动控制, 适于精密仪器中作为高精度的定位系统, 可实现亚微米级的高精度。

(2) 本微动台及其微机数字闭环系统, 通过理论分析和实验, 工作是稳定的, 位置控制精度优于 $0.05\mu\text{m}$, 能满足亚微米级定位精确度的要求。

Applied Research on Precision Positioning Workpiece Stage with Piezoelectric Micro-Displacement Actuator

Jing Tao

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun130021)

Abstract

Basing on the principle of micro-displacement of piezoelectric ceramic, Author have done the research work on the precise actuator technique, which is used for precise positioning workpiece stage. One is to actuate the fine stage of the workpiece stage, the other is to compensate the error of the straightness of the sliding guide. Author designs a principal and subordinate controlling system. The whole system includes a ajustable high precise power, piezoelectric micro-displacement actuator, a grating interferometer acting as the feedback element, and a controlling system organized by IBM-PC computer and several 8031 microcontroller.

Key Words: Error compensation, Piezoelectric ceramic, Microdisplacement