

Research on Dynamic Calibration of Piezoelectric Two-dimensional Force Sensor

Shengnan Gao Xiaohong Xing Weili Li Xiaoli Dou Burong Fan

Nanhang Jincheng College, Nanjing, Jiangsu, 211100, China

Abstract

Based on the piezoelectric effect of piezoelectric quartz crystal, a two-dimensional force sensor with good dynamic characteristics is studied with a single-type piezoelectric quartz crystal as the sensitive element, the force measurement is realized by measuring the charge generated by the piezoelectric quartz crystal. Firstly, based on the material mechanics, the measurement principle of the sensor is analyzed and the structure of the sensor is designed. Secondly, the sensor dynamic calibration experiment system was built, and the data obtained in the dynamic calibration experiment was analyzed in depth, and it was concluded that the dynamic characteristics of the sensor were good. Finally, it provides a new idea for the in-depth study and precise measurement of the dynamic calibration of the sensor.

Keywords

sensor; dynamic calibration; dynamic force; dynamic moment

压电式二维力传感器动态标定研究

高胜南 邢晓红 李卫丽 窆小丽 范卜榕

南京航空航天大学金城学院, 中国·江苏 南京 211100

摘要

基于压电石英晶体的压电效应,以单一切型压电石英晶片为敏感元件研究了一种动态特性良好的二维力传感器,通过测量压电石英晶体产生的电荷来实现力的测量。首先,基于材料力学分析了传感器的测量原理设计了传感器的结构。其次,搭建了传感器动态标定实验系统,对动态标定实验获得的数据进行了深入分析,得出传感器的动态特性良好的结论。最后,为传感器的动态标定的深入研究和精确测量提供了一种新的思路。

关键词

传感器; 动态标定; 动态力; 动态力矩

1 引言

由于测试技术的发展,静态量测量技术逐步成熟,力学量静态测量已经不能满足现代测试要求,因此要重视动态载荷的测量问题。为了使传感器能够准确测量动态载荷,这就要求传感器在测量动态信号时,能够准确地测量出信号的大小并且真实地再现信号的变化,所以要对传感器进行动态标定。

顾宝栋等人^[1]用区间算法分析了标定系统的精度,推

【基金项目】本论文受2020年度教育部产学合作协同育人项目——长三角民办应用型高校“新工科”师资能力提升平台建设项目的支持;本项目受2020年度校级课程思政项目资助。

【作者简介】高胜南(1988-),女,中国辽宁营口人,硕士,工程师,从事机械设计研究。

导出了标定精度的具体表达式,研究了系统附加质量随频率变化的特性。奥祺^[2]详细介绍了一种传感器的动态标定装置,当传感器在动态加载的情况下,对力传感器进行标定。Yusaku Fujii^[3]描述了在不同力的作用下,测量传感器的动态响应的三种方法。Rolf Kumme使用比较法对力传感器进行标定,即使用一种标准的力测量传感器对力测量装置进行了动态标定的方法。D.J.Mee^[4]分析了对力天平标定的不同的技术,使用持续时间短的超声速仪器。J.P.Damion不仅叙述了确定压力传感器的传递函数的不同方法,还详细介绍了对压力传感器进行动态校准时所使用的各种设备。A.Fisher、S.Watkins and J.Watmuff^[5]运用一种便携式标定系统校准压力测量系统,不仅快速而且准确。David J.Mee介绍了校准应力波力天平的各种技术方法。

论文设计了一种基于单一切型压电石英晶片的二维力传感器,不仅对传感器的测量原理进行了分析,还对传感器进行了动态标定,并研究了传感器的动态跟随特性。

2 测量原理

首先分析晶组受到的弯矩，如图1所示。在力矩的作用下，晶组所受的分布力呈线性变化。其中， M 为晶组所受力矩， R 和 r 分别为晶组的外圆和内圆半径， q 为晶组的均布载荷， F_1 和 F_2 分别为晶组左右两侧的集聚力， l_1 和 l_2 分别为集聚力 F_1 和 F_2 到晶组中心 O 的距离。

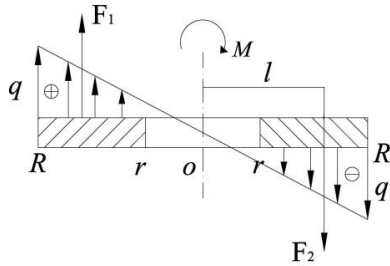


图1 石英晶组弯矩图

根据弯矩图可列弯矩方程表达式，如下式所示：

$$\frac{1}{2}qR \cdot \frac{2}{3}R - \frac{1}{2}\left(\frac{r}{R}q\right)r \cdot \frac{2}{3}r = \frac{M}{2}$$

解方程得：

$$q = \frac{3RM}{2(R^3 - r^3)}$$

所以，压电石英晶组左侧所受的集聚力 F_1 可以计算得到：

$$F_1 = \frac{3M}{4} \left(\frac{R+r}{R^2 + Rr + r^2} \right)$$

同理，可以求出压电石英晶组右侧的集聚力 F_2 。所以，根据如下表达式可以求出作用在压电石英晶组上的力矩 M ：

$$F_1 l_1 + F_2 l_2 = M$$

其中， l_1 、 l_2 可以由标定实验确定。从上式也可以看出，输入的力矩与传感器电压输出成线性关系。

3 传感器结构

根据传感器的测量原理，论文使用两片相同的单一切型的x0切型压电石英晶片制成压电石英晶组。压电石英晶片在同时受到力和力矩作用时，石英晶体上下两部分的电势为非对称分布，论文设计的压电石英晶组具有两片电极，这种结构的优势是可以测量二维力。相比于单电极，可以降低电极间的干扰，保证了电荷损失最小。在论文提出的传感器中使用的压电石英晶体的厚度为1mm，外圆直径为9mm。石英晶组的结构如图2所示。

4 传感器的动态性能

根据传感器的标定原理及方法，搭建了如图3所示的传感器动态标定实验系统。本实验是在传感器受到动态载荷时，对力传感器进行动态标定。标定系统由动态载荷输入部分与

数据采集两部分组成。标定过程中的动态载荷由激振器产生，激振器的输入信号是根据在matlab中的simulink模块中编辑的算法编译成软件controldesk能够识别的程序控制实时控制器输出的。通过编辑算法可以实现力的动态连续加载，并且能够控制力的大小和变化频率。本实验中是通过增大输入信号的频率来调节激振器的输出振幅，以实现动态力的加载。实时控制系统具有实时输出信号与采集数据的功能，并能同步显示采集的信号图形。传感器的输出端首先与电荷放大器相连，对输出信号进行放大，然后连接到实时控制器的数据采集端口。因为本实验的目的是研究在动态载荷输入发生变化时传感器输出的变化，所以可以通过使用激光位移测量系统测量连接在传感器之上的质量块的振动位移的变化来表征传感器所受动态载荷的变化。

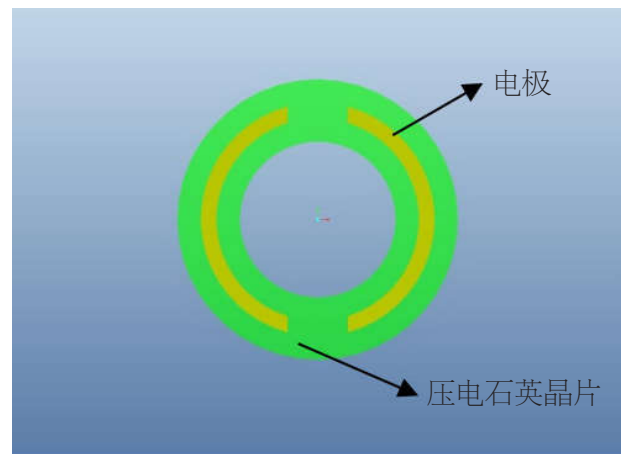


图2 压电石英晶组结构图



图3 传感器动态标定系统

4.1 动态力矩标定实验

论文设计的动态力矩标定实验的目的是确定传感器在受随时间连续变化的力矩的作用下传感器的输出的线性度。传感器上的质量块的振动位移变化量为传感器的输入信号，输出的电压值传感器的输入信号。如图4所示，横坐标表示的

是传感器输入的位移量，也就是作用在传感器上的力矩，纵坐标表示的是传感器输出的电压值，共测量7组数据，在图中用圆点标出，连接各点得到实际关系曲线，并应用二乘法得到拟合的关系曲线。从图中可以看出，传感器的输出与输入线性关系良好。

4.2 动态跟随性实验

设计动态跟随性实验是为了测试传感器的动态特性。输入的值随时间呈正弦函数变化，测量传感器输出的电压值。将传感器的输入力值信号与输出电压信号放在同一图中进行比较，放大部分信号如图5所示。下半部散点是传感器输入的力信号，上半部散点是传感器输出的电压信号。从图中可

以看出输出与输入是同步的，由此得出传感器具有良好的动态跟随性。

5 结语

论文根据材料力学分析了压电式二维力传感器的测量原理，提出了以单一切型压电石英晶片为敏感元件且具有双电极特殊结构的压电式二维力传感器。设计并搭建了包括实时控制系统，电荷放大器及上位机等仪器的动态标定实验系统。设计并完成了动态标定及动态跟随性实验。根据动态标定实验得到的数据，得出传感器不仅具有良好的线性度，而且具有良好的动态跟随性。论文设计的动态标定实验方法为力传感器的动态标定技术提供了新的思路。

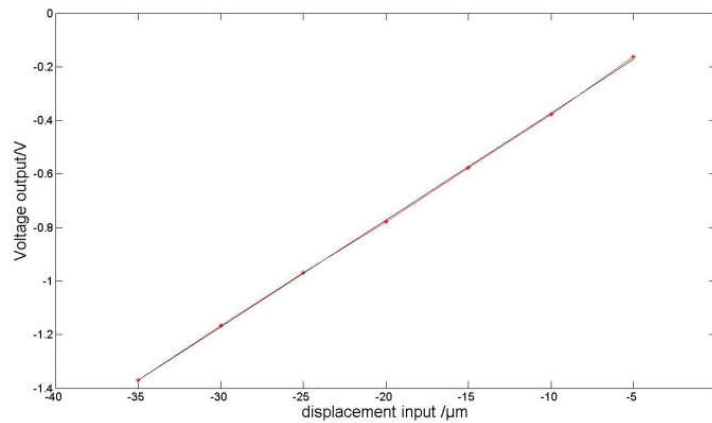


图4 传感器动态力矩输入与电压输出关系曲线

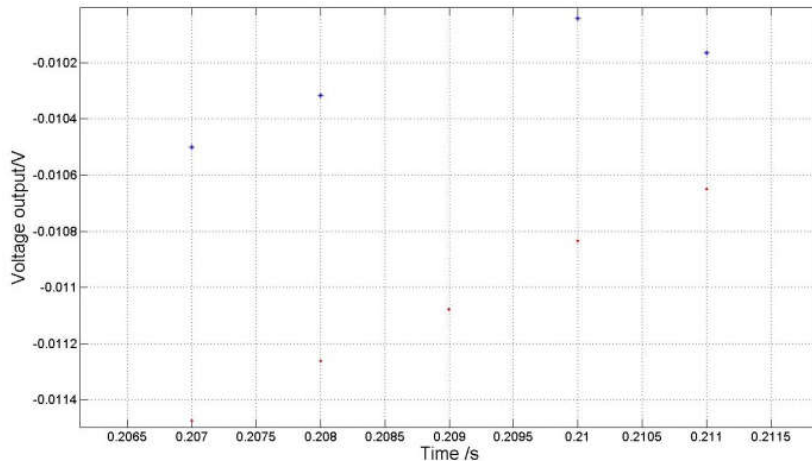


图5 传感器输出电压与输入力的比较放大图

参考文献

- [1] 奥祺.力传感器动态标定装置的研究[J].内蒙古科技与经济,2007(8):82-84.
- [2] 顾宝栋,陈怀海,申凡,等.力传感器动态标定及其精度分析研究[J].振动与冲击,2005(2):95-98.
- [3] Fujii, Yusaku. Toward dynamic force calibration[J]. Measurement, 2009(7):1039-1044.
- [4] Mee. David J. Dynamic calibration of force balances for impulse hypersonic facilities[J]. Shock Waves, 2003(6):443-455.
- [5] Fisher A, S Watkins, J Watmuff. Dynamic Calibration of Pressure Measurement Systems: An Improved Method[C]// In 18th Australasian Fluid Mechanics Conference, Launceston, Australia, 2012.