

光电稳定平台角位移高精度测量方法研究

张宇鹏^{1,2}

(1. 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室 长春 130033;

2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)

摘要: 为了实现对光电稳定平台方位和俯仰框架运动角度的高精度测量,本研究使用了一种新型的非接触式高精度电容传感器。利用偏心原理,合理布置电容式传感器的位置,使方位框架和俯仰框架的几何中心与电容式传感器的检测面旋转中心不重合。当方位框架和俯仰框架分别绕着方位轴和俯仰轴运动时,其检测面与传感器之间的距离会产生变化,通过距离的变化可以测量出方位框架和俯仰框架角度的变化。依据偏心原理设计了一套测量装置,测量结果表明电容式传感器测量的距离值与其对应的角度值有良好的线性度,电容式传感器的测量精度优于 $15''$,完全满足光电稳定平台方位框架和俯仰框架角位移的测量要求。

关键词: 光电稳定平台;电容式传感器;测量

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Research on high precision measurement of the photoelectric stabilized platform angular displacement

Zhang Yupeng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to achieve a high-precision measurement of the photoelectric stabilized platform azimuth and elevation angle of movement of the frame, the paper uses a novel high-precision non-contact capacitance sensor. According to the eccentric principle, the location of the capacitance sensor can be reasonably arranged, which avoids the geometric center of the azimuth and elevation frame framework overlap with the rotation center of the detection surface on the capacitance sensor. When the azimuth and elevation frame respectively move around their own axes, the distance between the detection surface and the sensor will change. Measuring the changes in the distance can find the changes in the orientation of the frame and the pitch angle of the frame. Based on the eccentric principle, a measuring device is designed. The measurement results show that the capacitance sensor has good linearity, and its accuracy is better than the $15''$, fully meet the photoelectric stabilized platform framework angular displacement measurement requirements.

Keywords: photoelectric stabilized platform; capacitance sensor; measurement

1 引言

随着光电稳定平台载荷指标的提高和对光电稳定平台体积重量要求的严格,传统的同轴式框架角位移测量方法,因为需要占用较大的平台体积,已经不能满足实际需求。因此需要采用全新的框架角位移测量方法提高光电稳定平台的载荷体积比。

最近几年,电容式传感器的广泛研究与设计使得电容

式传感器变得越来越普及^[1-2]。电容式传感器也被广泛的应用在航空航天领域。

目前,国内外的研究人员已经提出了一些高精度电容式传感器的测量方法:例如电路相位的检测法^[3]、A/D转换法^[4]、充放电电流法^[5]、开关电容检测法^[6]、 $\Delta-\Sigma$ 法^[7]、PWM法^[8]等,电容式传感器的测量方法会对其测量精度产生较大影响,另外测量电路对信噪比、传感器的灵敏度和非线性以及寄生电容也会产生比较直接的影响^[1-2]。

收稿日期:2015-05

考虑到光电稳定平台的实际结构特点,提出了利用偏心原理高精度测量光电稳定平台方位和俯仰框架角位移的方法。偏心法测量平台方位和俯仰框架角位移具有灵敏度高、线性度好、结构简单等优点。

2 偏心式角位移测量方法

传统的光电稳定平台框架角位移测量方法是在平台方位、俯仰轴上安装圆光栅编码器、旋转变压器和电涡流传感器等角位移测量元件,直接测量框架的角位移。传统方法虽然可以实现高精度的角位移测量,但其需要占用较大的平台体积。

依据的某光电稳定平台采用的是一种全新的非同轴式框架结构,传统的角位移测量方法已经无法应用,因此,提出了一种利用偏心原理的,以电容式传感器为测量元件的高精度角位移测量方法。电容式传感器的安装如图1所示。

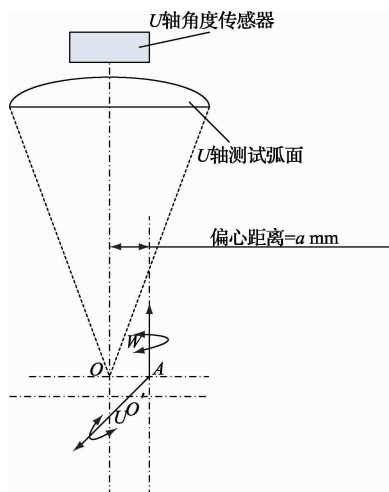


图1 电容式传感器的安装

偏心法角位移测量原理:

假设O点为框架被检测面的几何中心,其半径为120 mm,A点为框架被检测面的旋转中心,几何中心O与旋转中心A的偏心距离为a mm。当框架被检测面绕着其旋转中心A点做旋转运动时,其几何中心O点将沿着上图所示的虚线圆旋转,虚线圆的半径即为偏心距a mm。当框架被检测面绕着其旋转中心A点旋转θ度时,几何中心O点将运动到O'点,以O'点为中心画半径为120 mm的圆。取被测框架弧面上的一点H,当框架被检测面绕着其旋转中心A点旋转θ度时,H点的纵坐标和旋转中心A点的横坐标相交,得到新的A'点,再以A'点为中心画半径为a mm的虚线圆,此圆即为H点的几何中心运动轨迹,当框架被检测面绕着其旋转中心A点旋转θ度时,H点的垂直运动距离为 $2 \times (a \cdot \sin\theta)$,电容式传感器的检测到此距离的变化再转换成框架被检测面H点的角度变化。

图2为电容式传感器偏心法测量原理。

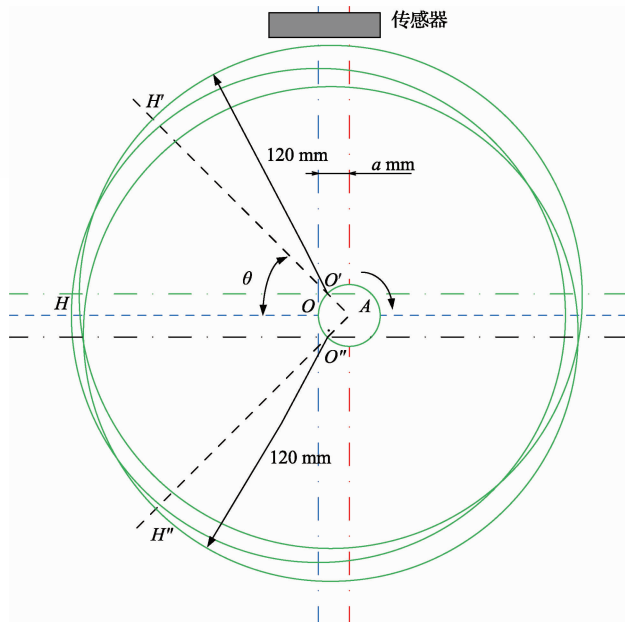


图2 偏心法测量原理

取 $a=1$ mm,对电容式传感器测量结果的线性度进行分析如表1所示。

表1 电容式传感器测量结果线性度分析

偏心距离 /mm	角度(°)	距离/mm	线性度 (Dis./Ang.)
1	5	0.087 135	0.017 428
1	4.5	0.078 479	0.017 385
1	4	0.069 437	0.017 414
1	3.5	0.061 032	0.017 487
1	3	0.052 325	0.017 399
1	2.5	0.043 589	0.017 416
1	2	0.034 816	0.017 389
1	1.5	0.026 168	0.017 448
1	1	0.017 431	0.017 503
1	0.5	0.008 608	0.017 519
1	0	0	
1	-0.5	-0.008 720	0.017 432
1	-1	-0.017 443	0.017 392
1	-1.5	-0.026 167	0.017 431
1	-2	-0.034 900	0.017 438
1	-2.5	-0.043 591	0.017 449
1	-3	-0.052 371	0.017 435
1	-3.5	-0.061 106	0.017 466
1	-4	-0.069 812	0.017 462
1	-4.5	-0.078 437	0.017 485
1	-5	-0.087 196	0.017 423

根据表1所示数据绘制的测量结果线性度曲线如图3所示。

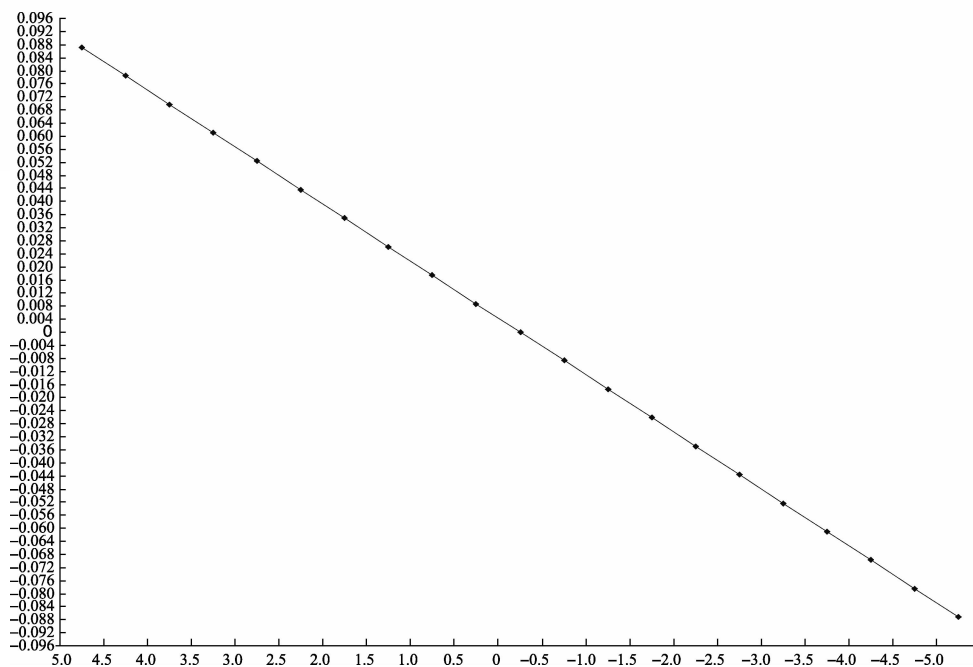


图3 偏心法测角线性度曲线

根据图3可知,模拟框架在 $\pm 5^\circ$ 的运动范围内运动时,电容式传感器测量结果的线性度可以控制在0.01%以内。

3 实验

3.1 实验装置设计

依据偏心法测量角位移的原理,以及所选用的电容式传感器的安装要求,设计了一套实验装置,用来模拟测量光电稳定平台框架结构的角位移。实验装置主要由电容式传感器、模拟测量弧面、角位移测量元件和减速机组成,图4为实验装置实物。

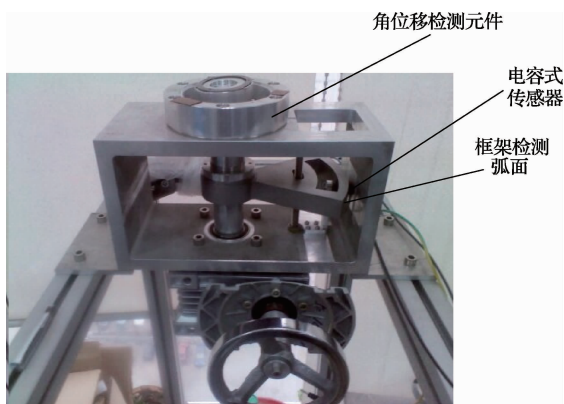


图4 实验装置实物

实验装置安装了2个电容式传感器,2个传感器分别测量2个对应的模拟测量弧面的垂直位移量。2个模拟测量弧面相对于2个电容式传感器的垂直位移量是呈相反方向变化的,这样就可以消除电容式传感器噪声对于测量精度的影响。

3.2 实验与结果

选用的电容式传感器的主要技术参数如表2所示。

表2 电容式传感器主要技术参数

参数	数值
通道	1
传感器带宽	1.24K/112.4/10.2 Hz
测量范围	500 μm
静态分辨率	$<0.002\%$ (RMS)
动态分辨率	$<0.003\%$ (RMS)
线性度	$<\pm 0.25\%$

使用所设计的实验装置,在 $\pm 5^\circ$ 的框架运动范围内,每 0.5° 作为一步测量,分别读取角位移检测元件编码器和电容式传感器的测量值。其中编码器的测量值作为标定数值,以此来验证电容式传感器的检测精度。实验测量结果如表3所示。

表3 测量结果

角度(°)	测量角度(°)	距离/mm	传感器输出/V	线性度(Dis./Ang.)
5	5.004 16	0.087 135	-3.273	0.017 428
4.5	4.495 98	0.078 479	-2.948	0.017 385
4	3.997 84	0.069 437	-2.616	0.017 414
3.5	3.479 88	0.061 032	-2.292	0.017 487
3	3.001 99	0.052 325	-1.968	0.017 399
2.5	2.510 24	0.043 589	-1.641	0.017 416
2	2.001 25	0.034 816	-1.321	0.017 389
1.5	1.504 01	0.026 168	-0.986	0.017 448
1	1.001 21	0.017 431	-0.658	0.017 503
0.5	0.498 73	0.008 608	-0.328	0.017 519
0	-0.000 96	0	-0.002	
-0.5	-0.497 28	-0.008 720	0.326	0.017 432
-1	-0.997 12	-0.017 443	0.654	0.017 392
-1.5	-1.501 52	-0.026 167	0.984	0.017 431
-2	-2.003 15	-0.034 900	1.314	0.017 438
-2.5	-2.501 89	-0.043 519	1.640	0.017 449
-3	-3.002 16	-0.052 371	1.968	0.017 435
-3.5	-3.495 28	-0.061 106	2.291	0.017 466
-4	-4.002 99	-0.069 812	2.631	0.017 462
-4.5	-4.497 82	-0.078 437	2.943	0.017 485
-5	-4.999 38	-0.087 196	3.275	0.017 423

由得到的实验数据可知电容式传感器在±5°的框架角运动范围内具有良好的线性度,经过换算可知电容式传感器的检测精度优于15",可以满足项目的实际使用需求。同时,经过5次重复实验发现,应用电容式传感器进行框架角位移测量还具有很好的重复性,据此可以用布置双传感器的方法来消除轴系跳动对于测量精度的影响。

实验证明了本研究所采用的测量方法相对于已有的同类研究具有更高的测量精度、更好的线性度和重复性。

4 结论

考虑到所依据项目光电稳定平台的实际框架结构特点,提出了利用偏心原理高精度测量光电稳定平台方位和俯仰框架角位移的方法。并依据偏心原理设计了一套模拟实验装置,利用该实验装置进行的模拟实验可知,模拟框架在±5°的范围内运动时,电容式传感器的检测精度优于15",满足本项目光电稳定平台框架角位移的测量精度要求。

研究的内容使光电稳定平台框架角位移的测量方式不再拘泥于传统的同轴式,减小了测量结构的体积和重量,这对于提高光电稳定平台的载荷体积比具有十分重要的意义。同时本文研究的测量方法与传统的同轴式测量方法具有相同级别的测量精度,具有较高的应用价值。

偏心法测量光电稳定平台框架角位移具有灵敏度高、线性度好、重复性好和结构简单等优点,但其只在较小的量程范围内才具有较高的测量精度,因此还需在后续的研究中探索如何能在较大的量程范围内实现高精度的角位移测量。

参考文献

- [1] 周华鹏,毛建国,顾筠,等.高精度电容式压力传感器测量方法[J].传感器与微系统,2010,29(2):104-107.
- [2] HEERENS E C. Basic principals highly reliable multiterminal capacitor sensors and performance of some laboratory testmodels [J]. Sensors and Actuators, 1982,83(13): 137-148.
- [3] WOLFFENBUTTLE R F, REGTIEN P P L. Capacitance-to-phase angle conversion for the detection of extremely small capacities[J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement,1987,36(4):868-872.
- [4] 徐梓皓,周召发,孙立江.基于卡尔曼滤波器的姿态角测量系统设计[J].电子测量技术,2014,37(1):1-4.
- [5] KONDO K, WANTANABE K. A switched-capacitor interface for capacitive sensors with wide dynamic range[J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 1989 (38): 736 -739.
- [6] YAMADA M, WATANABE K. A capacitive pressure sensor interface using oversampling $\Delta-\Sigma$ demodulation techniques[J]. IEEE Transaction On Instrumentation and Measurement, 1997(46): 3-7.
- [7] 李海星,惠守文,丁亚林.国外航空光学测绘装备发展及关键技术[J].电子测量与仪器学报,2014,28(5):469-477.
- [8] MOCHIZUKI K, MASUDA T. An interface circuit for high accuracy signal processing of differential-capacitance transducers[J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement,1998,47(4):823-827.
- [9] 苗亮亮,陈先中,侯庆文,等.高炉料面传感器布置的混沌捕鱼策略[J].仪器仪表学报,2014,35(1):132-139.
- [10] MARK E, SPENCER, MESA A. Oscillator circuit and method for measuring capacitance and small Charges in capacitance; US,5136262[P]. 1992;08-04.
- [11] 冯佳,李佩玥,徐立松,等.基于反馈的交流激励式电容测量电路设计[J].国外电子测量技术,2014,33(11):38-42.
- [12] 葛蕴萍.星载 SAR 辐射定标处理与评估系统的设计与实现[J].国外电子测量技术,2014,33(7): 53-58.

作者简介

张宇鹏,1985年出生,工学硕士,助理研究员。主要研究方向为光电仪器结构设计及优化分析等。
E-mail:bigbird5172@yeah.net