

基于 DVD 光学头的二维微小角度测量研究

韩彬, 黄强先, 伍婷婷, 李瑞君, 陈丽娟

(合肥工业大学仪器科学与光电工程学院, 安徽合肥 230009)

摘要: 为了实现精密平台二维角度的在线检测, 提出了一种基于 DVD 光学头的二维微小角度测量的方法。利用 DVD 光学头进行角度测量, 是基于激光自准直原理, 以四象限光电探测器作为检测元件, 以固定在被测物上的反射镜作为被测元件进行测量的一种角度测量方法。搭建了基于英国 RPI 精密转台的实验系统, 对测量方法进行了实验测试。结果表明: 基于 DVD 光学头设计的二维角度测量装置测量范围为 $\pm 110''$, 平均分辨率达到 $0.2''$ 。该测量方法稳定、可行, 且测量装置具有结构紧凑、成本低等特点。

关键词: 光学头; 二维角度; 微小角度测量; 自准直原理

中图分类号: TH712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-1841(2015)12-0107-03

Two-dimensional Small Angle Measurement Method Based on DVD Pick-up Head

HAN Bin, HUANG Qiang-xian, WU Ting-ting, LI Rui-jun, CHEN Li-juan

(School of Instrument Science and Opto-electronic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: In order to measure the two-dimensional angle of a precision stage, a method for measuring the micro-angle by using the DVD pick-up head was used. The measurement method was based on auto-collimation theory, which used the PSD in the DVD pick-up as detector and used the mirror as object. In order to verify the measurement method, the experiment system based on the RPI precision rotary table was set up. The experimental results show that the method is simple and reliable and the detection range is $\pm 110''$ and the resolution is $0.2''$. The measuring device has the advantages of compact structure and low cost.

Key words: DVD pick-up head; two-dimension angle; micro-angle measurement; auto-collimation method

0 引言

角度测量是计量科学的重要组成部分, 其在精密加工、航空航天、军事和通讯等领域都具有极其重要的意义和作用。

在纳米级测量系统中, 工作台的角度误差对其定位误差有着放大作用, 尤其在违背阿贝原则的测量系统中, 因工作台角度误差及阿贝臂引起的阿贝误差更是不可忽略, 需要对工作台角度误差进行检测与补偿。光学测角方法由于具有非接触、高准确度和高灵敏度的特点而备受人们的重视, 光学测角法的应用越来越广泛。目前常用的角度测量测角方法主要有光学分度头法、光电编码法、自准直法、莫尔条纹法、光学内反射法、激光干涉法等^[1-3]。而小角度测量仪器如自准直仪、激光干涉仪等^[4-5], 具有高测量精度的特点, 但由于具有体积大、系统结构复杂、造价昂贵、较难组成多位测角系统等不足, 在实际应用中有一定的局限性, 难以实现精密平台微小角度的在线测量。因此, 有必要研究一种结构紧凑、价格低廉、使用方便的高精度微小角度测量方法。

本文提出了一种基于 DVD 光学头读取头的二维微小角度测量方法。该方法利用 DVD 光学头内部自准直光路, 以四象限光电探测器作为检测元件, 实现了二维微小角度的测量。该测量方法具有体积小、结构紧凑、成本低廉等特点, 适用于与精密

平台结合的二维角度在线检测。

1 DVD 光学头及角度测量原理

光学头是 DVD 等光存储系统所需的关键组件之一, 是一种集成光学、机械和电路结构的小型精密设备, 其具有价格低廉、精度高的特点^[6]。

DVD 光学头工作时由半导体激光二极管发射出单一波长、相位一致的激光, 经光栅衍射后形成 3 束光, 经偏振分光镜、反射镜和准直镜后, 透过聚焦物镜聚焦在 DISC 的信息坑点上; 经 DISC 反射回来的激光沿原光路路径经准直透镜、偏振分光镜后, 激光到达四象限光电探测器的受光面上, 四象限光电探测器将光信号转换成电信号。四象限光电传感器会根据光点在四个象限上的光斑形状及光面积分布, 输出一个聚焦误差信号。根据像散原理, 该聚焦误差信号经过运算放大及补偿处理, 推动音圈马达, 将物镜推到碟片可以聚焦的位置, 达到锁焦的目的。此时读取头再根据四象限光电探测器上光斑在四个象限上的光强变化来获取碟片上的信息, 完成资料读取。

在利用 DVD 光学头进行角度测量时, 去除其前部聚焦物镜和音圈马达, 其测量原理如图 1 所示。让 DVD 光学头内射出的准直光束直接投射在一个被测平面反射镜上, 光束反射后进入 DVD 光学头, 经过其内部光路, 照射在四象限光电探测器上。当被测平面反射镜发生角度偏转时, 四象限光电探测器上光斑的位置变化产生相应的变化, 如图 2 所示。

当激光照射在四象限光电探测器上时, 平面反射镜角度的

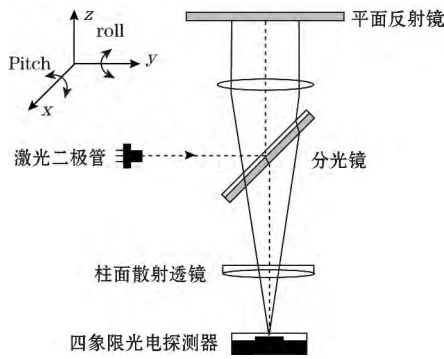


图1 DVD 光学头角度测量原理图

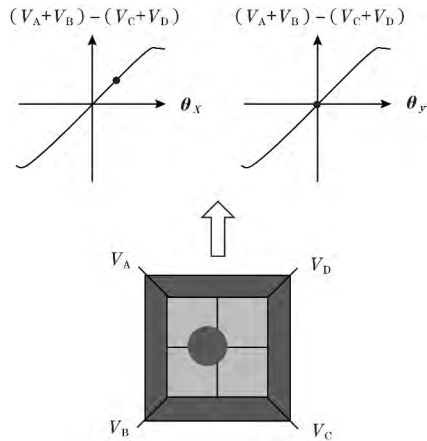


图2 四象限光电探测器光斑位置

变化引起聚焦光束在四象限光电探测器位置的变化,光电探测器将激光束的光信号转变为电信号,四个象限产生的输出电流分别为: I_A I_B I_C I_D , 正比于照射在各个象限中光斑的面积。根据式(1)和式(2),四路电流信号经过前直放大电路、差动放大电路、除法电路、滤波电路等相应的电路处理,输出两路稳定的电压信号,并且在一定范围内呈线性关系。该电压信号变化对应被测角度的偏转,从而实现二维角度的测量。

$$\theta_x = k_x \cdot (I_A + I_B - I_C - I_D) / \sum I \quad (1)$$

$$\theta_y = k_y \cdot (I_A + I_D - I_B - I_C) / \sum I \quad (2)$$

式中 $\sum I = I_A + I_B + I_C + I_D$

实验测得 DVD 光学头角度传感器 S 曲线如图 3 所示。

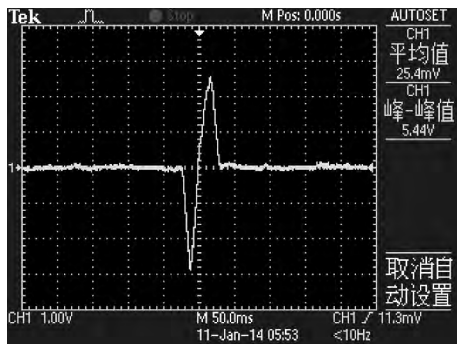


图3 DVD 光学头角度传感器 S 曲线

2 实验装置及系统

为了验证利用 DVD 光学头进行角度测量的可行性,搭建了基于英国 RPI 公司 AP300 精密转台的实验系统。

AP300 精密转台采用了全气浮轴承结构,减少了磨擦阻力。该转台的旋转及台面支撑电机直接驱动主轴,可实现转台角度的步进控制与测量,其水平旋转精度可达 $\pm 0.5^\circ$,旋转过程中的径向跳动及轴向跳动精度可达 $0.2 \mu\text{m}$ 。

将 DVD 光学头角度传感器固定在转台旁,反射镜固定在转台上随转台一起转动。实验前,通过光学头固定支架上的二维微调座调整 DVD 光学头的角度,使出射光垂直于反射镜,并且光学头角度传感器的一个测量方向与转台运动方向平行,反射光束照射在四象限光电探测器的中心。控制转台步进转动,当反射镜随着转台转动时,DVD 光学头内部的四象限光电探测器上光斑位置发生变化,四象限信号经过电路处理之后输出稳定的电压信号,该电压信号经过高精度数据采集卡通过数模转换变为数字量,再由上位机进行采集和处理。实验系统框图和实物图分别如图 4、图 5 所示。

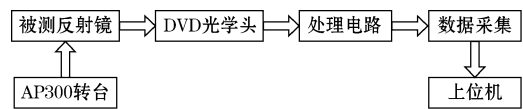


图4 实验系统框图



图5 DVD 光学头角度传感器实验系统实物图

3 实验结果及分析

3.1 标定

利用上述实验系统,对基于 DVD 光学头的角度测量系统进行标定实验。以 AP300 精密转台转动角度作为角度变化基准,用 DVD 光学头角度传感器检测固定在转台上的反射镜的转角,随着反射镜角度的变化,光斑在四象限探测器上的位置发生变化。同时记录下转台的旋转角度和 DVD 角度测量装置输出电压值,对得到的数据进行处理,以被测反射镜角度变化作为 X 轴,以测量装置处理电路输出电压作为 Y 轴,得到角度与电压的关系,对其进行多项式拟合。如图 6、图 7 所示,通过标定实验可以得到 DVD 光学头角度传感器的角度测量范围约为 $\pm 110^\circ$,其平均分辨率为 0.2° ,测量系统的灵敏度为 $51.42 \text{ mV}/(^\circ)$ 。

3.2 重复性测试

重复性是对同一被测量进行多次连续测量所得结果之间的一致性,是影响测量系统稳定性的关键,是表征其性能的重要指标。在进行定点重复性实验时,首先需要调整 DVD 光学头角度,使其两轴的角度值均在零点附近,保持 Y 轴角度不变,通过转台运动调节反射镜,使反射镜与 DVD 光学头 X 轴角度为 60° ,记下测量系统的输出角度值,再调节反射镜至零度,重

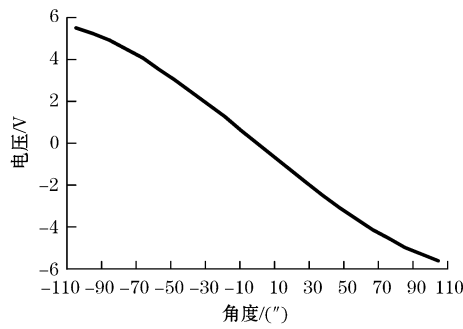


图 6 DVD 光学头 X 方向标定实验关系图

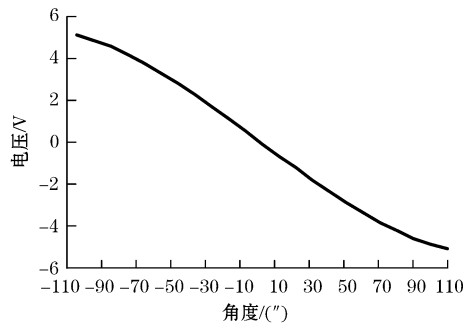


图 7 DVD 光学头 Y 方向标定实验关系图

复上述过程,得到 7 组数据。实验所得的数据如表 1 所示。

表 1 X 轴定点重复性实验数据 (")

设定值	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组	第六组	第七组
0	-0.09	0.18	0.24	0.05	0.12	0.48	0.09
60	59.92	60.44	61.04	59.03	60.27	60.22	59.72

对上述数据通过贝塞尔公式计算其标准差,并以其作为测量系统的重复性误差,可以得到其 X 轴在 0"和 60"位置处的重复性误差分别为 0.18"和 0.63"。

使用相同的方法,对 DVD 光学头角度传感器的 Y 轴进行定点重复性实验,得到的数据如表 2 所示。

对上述数据通过贝塞尔公式计算其标准差,并以其作为测

表 2 Y 轴定点重复性实验数据 (")

设定值	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组	第六组	第七组
0	-0.36	0.06	-0.08	0.14	0.44	-0.30	0.31
-60	-60.12	-60.54	-60.64	-59.55	-60.63	-59.72	-60.25

量系统的重复性误差,可以得到其 Y 轴在 0"和 -60"位置处的重复性误差分别为 0.30"和 0.44"。

4 结束语

本文以 DVD 光学头为基础,去除前端聚焦透镜,研究出一种新型微小角度测量方法,并设计相应的测量装置,该装置具有结构紧凑、成本低廉等特点。实验结果表明: DVD 光学头角度传感器的测量范围为 $\pm 110''$,平均分辨率为 0.2",灵敏度为 51.42 mV/(")。验证了利用 DVD 光学头进行角度测量的可行性及有效性。

参考文献:

[1] 陶卫,浦昭邦,孙运斌. 角度测量技术的发展. 激光杂志, 2002, 23 (2): 5-7.

[2] 黄银国. 激光自准直微小角度测量基础技术研究 [学位论文]. 天津: 天津大学, 2009.

[3] 钱建强,惠梅,王东生. 四象限光电池用于二维小角度测量的应用. 仪器仪表学报, 2002, 23 (3): 538-539; 544.

[4] 瑚琦,杨园园,高鹏飞,等. 基于面阵图像传感器的自动读值光电自准直仪. 仪表技术与传感器, 2011 (9): 20-23.

[5] 王贵甫,陈桂林,陈雨良. 基于激光干涉仪的角度测量技术. 传感器技术, 2001, 20 (1): 37-39, 47.

[6] 李瑞君,钱剑钊,龚伟,等. 基于 DVD 光学读取头的大量程高精度扫描探头. 合肥工业大学学报, 2011, 34 (12): 1761-1763; 1835.

作者简介: 韩彬 (1990—), 硕士研究生, 研究方向为精密测试技术及仪器. E-mail: hanbin0703@163.com

通讯作者: 黄强先 (1968—), 教授, 博士, 主要从事计量测试技术及仪器、微纳米测量技术及仪器、仪器精度理论等领域的研究. E-mail: huangqx@hfut.edu.cn

(上接第 106 页)

[6] 曲星宇, 崔宝侠, 段勇, 等. 基于 Type-2 FNN 数据融合的双进双出磨煤机料位检测. 控制与决策, 2011, 26 (8): 1259-1263.

[7] ZADEH L A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning - II. Information sciences, 1975, 8 (4): 301-357.

[8] KARNIK N N, MENDEL J M, LIANG Q. Type-2 fuzzy logic systems. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1999, 7 (6): 643-658.

[9] MENDEL J M. Type-2 fuzzy sets and systems: an overview. Computational Intelligence Magazine, IEEE, 2007, 2 (1): 20-29.

[10] MELIN P, CASTILLO O. A review on type-2 fuzzy logic applications in clustering, classification and pattern recognition. Applied soft computing, 2014 (21): 568-577.

[11] MENDEL J M. Type-2 fuzzy sets: some questions and answers. IEEE connections, 2003, 1: 10-13.

[12] MENDEL J M, JOHN R I, LIU F. Interval type-2 fuzzy logic systems made simple. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 2006, 14 (6): 808-821.

[13] BEZDEK J C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 1981.

[14] MENDEL J M. Uncertain rule-based fuzzy logic system: introduction and new directions. [S.l.]: Prentice Hall, 2001.

作者简介: 王丹 (1989—), 硕士研究生, 主要从事软测量及传感器信息融合方向的研究. E-mail: wd475212@163.com

通讯作者: 阎高伟 (1970—), 教授, 博士, 主要从事智能信息处理和多传感器信息融合方向的研究. E-mail: yangaowei@tyut.edu.cn