

# 补偿式光纤双法布里-珀罗微位移测量系统

朱若谷

(中国计量学院,杭州,310012)

**摘要:** 本文提出一种能补偿环境影响的,插入光纤传光介质的新型微位移测量系统和灵敏度阈的实验结果。由于采用平行双通道的结构,系统具有高精度、抗干扰的补偿法特点。该系统适合于微位移(纳米级)测量,可用于检定其它高精度位移传感器,几何量计量中定位,微细加工表面轮廓测量以及可以转换成微位移量或光程差的其它物理量测量中。

**关键词:** 补偿 双法布里-珀罗干涉仪 微位移测量

## Compensated optical fibre double Fabry-Perot system for measuring micro-displacement

*Zhu Ruogu*

(China Institute of Metrology)

**Abstract:** A new double Fabry-Perot interferometer system with optical fibre for measuring micro-displacement and experiment study about its sensitivity threshold has been introduced in this paper. This system has the characteristics of high accuracy, interference-free compensation due to parallel double-channel configuration. Meanwhile the system may be suitable for accurate measurement of micro-displacement, such as calibration of displacement sensors, location in geometrical metrology, and for measurement of topography of fine manufactured surfaces and other physical quantities which could be transferred into displacement or optical path difference.

**Key words:** compensation double Fabry-Perot interferometer micro-displacement measurement

### 一、引言

我们提出的补偿式光纤双法布里-珀罗微位移测量系统与以前完成的测量微小位移的新装置——双平凹被动法布里-珀罗干涉仪比较,增加了光纤传光介质,相应的光耦合器;信号处理部分增加有源滤波器(带宽可调),时间间隔测量器,幅值差分放大器,以及 A/D 转换,微机处理,从而构成一个比较完整的测量系统。

## 二、工作原理

根据对相调法布里-珀罗干涉术的分析结果和原来研究的基础上,发展成目前这种带微机补偿控制、拟合计算和数值显示的新型微位移测量系统<sup>[1,2]</sup>。图1表示测量系统原理。图中,法布里-珀罗腔构成的传感头与光电转换、前置放大和带通滤波等单元组合成一个整体,为简洁起见,激光器和Y光分路器、耦合器等光路部分在图中省略。

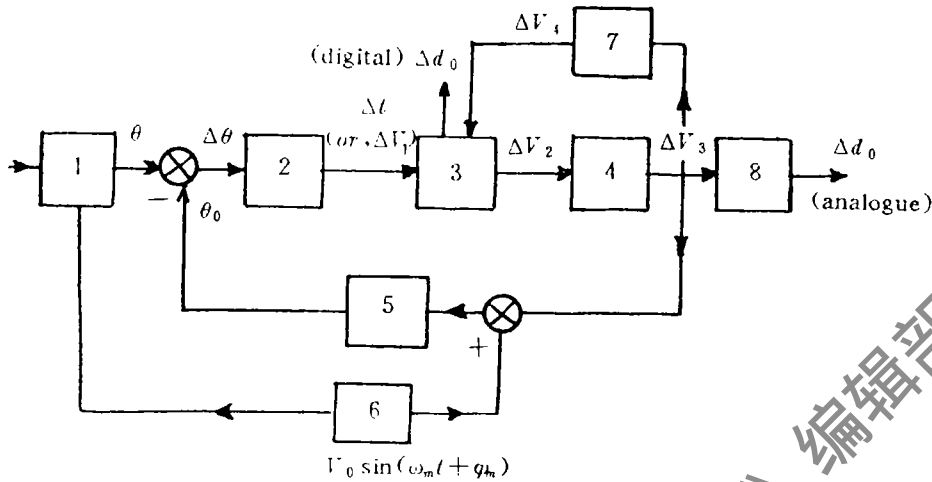


Fig. 1 Measurement system block diagram

该系统的工作过程为,微位移量  $\Delta d$  改变谐振腔长度引起测量用正弦调制 F-P 腔 1 光强中基波分量相位、幅值变化。该变化量与相同结构的参考 F-P 腔 5 信号比较,由时间间隔测量器或幅值差分放大器 2 给出比较值,该值经 A/D 转换输入控制用微机和数字式相敏功率放大单元 3 计算处理。然后,输出到执行单元 4 并由它控制参考 F-P 腔 5 的压电陶瓷电压值。最后,使差值趋于零或某一定值。微位移量可以直接由执行单元 4 的输出模拟表 8 显示或者该模拟量再经过取样、保持、A/D 转换 7,然后输入到微机和数字式相敏功率放大单元 3 存贮和数显。单元 3 在系统中还起着数值补偿作用,以保证系统在微位移量不变时的平衡。单元 6 为正弦相调源。系统的传递函数

$$W(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)} \quad (1)$$

式中,  $W_1(s)$  为开环传递函数,  $W_2(s)$  为负反馈环节传递函数。这类经典的随动系统已详细讨论过,这里省略<sup>[3]</sup>。

图 2 分别给出带通滤波前测量信号  $V_1$ 、参考信号  $V_2$  和对应的带通滤波后测量信号  $V$ 、参考信号  $V_0$ ,并省略直流和数字信号。下面讨论系统目前达到的灵敏度阈值实验结果。

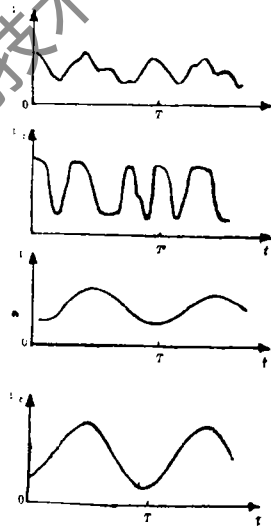


Fig. 2 Schematics of signal

### 三、实验结果

我们用图 3 所示的实验装置分别对基波时间间隔测量法和基波幅值测量法的灵敏度阈进行测试,给出了实验结果。图 3 中,1,2 分别表示相同的两组,SAC 为交流扫描源,BDC 为直流偏置源,C 为隔直电容,BS 为分光器,OF 为光纤, $L_1, L_2, L_3$  和  $L_4$  分别为耦合透镜,FP 为 Fabry-Perot 干涉微位移传感头,PM 为光电倍增管,PA 为前置放大器,BF 为可调有源带通滤波

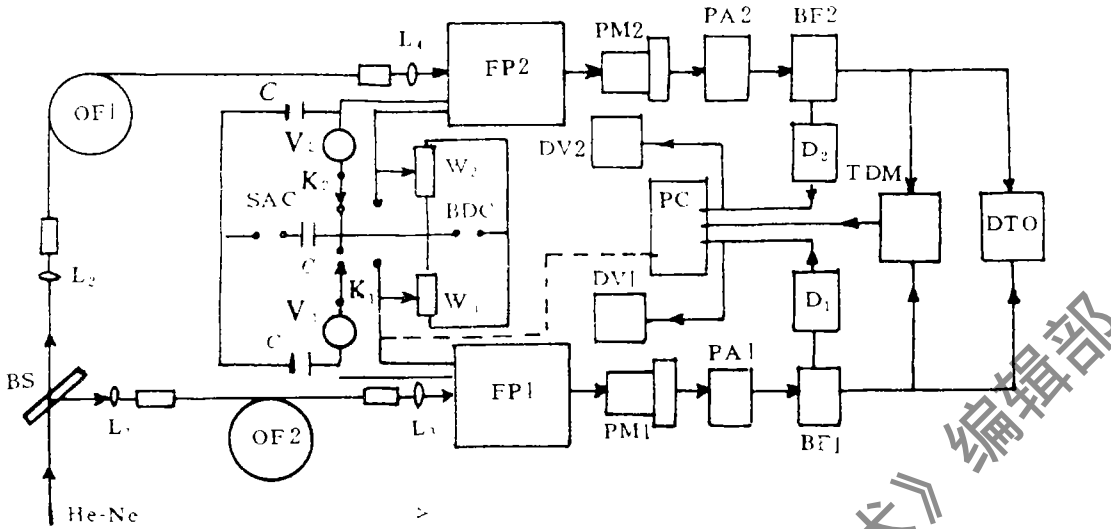


Fig. 3 Experimental setup of measuring micro-displacement

器,D 为有源检波器,K 为双掷开关,V 为交直流两用电压表,DV 为数字电压表,W 为调偏电位器,TDM 为时间间隔测量器,DTO 为双踪示波器,以及 PC 为个人计算机。

#### 1. 基波时间间隔测量法

用改变测量用 FP1 上压电陶瓷直流偏置电压  $V_b$  的方法给出模拟微位移量,然后由时间间隔测量器 TDM 测出带通滤波后两组信号的时间间隔值  $\Delta t$ 。表 1 给出部分实验数据,实验参数为氦氖激光波长  $\lambda=0.6328\mu\text{m}$ ,压电陶瓷半波电压值  $V_{\lambda/2}=140\text{V}$ , $A_1$  为  $\Delta t$  的拟合值。

表 1 为部分时间间隔测量数据及拟合值。由最小二乘法给出的时间间隔  $\Delta t$  拟合值  $A_1$  与压电陶瓷直流偏置电压  $V_b$  的拟合公式

$$A_1 = 116.533 + 4.274V_b + 0.0406V_b^2 \quad (2)$$

式中, $A_1$  单位为  $\mu\text{s}$ , $V_b$  单位为 V。实测灵敏度阈为  $0.26\text{nm}/\mu\text{s}$  或  $4.11 \times 10^{-4}\lambda/\mu\text{s}$ 。由于目前装置给出的时间间隔分辨率为  $1\mu\text{s}$ ,所以对应的位移变化为  $4.11 \times$

Table 1 Part of data with TDM and their approximations

| $V_b(\text{V})$ | $\Delta t(\mu\text{s})$ | $A_1(\mu\text{s})$ |
|-----------------|-------------------------|--------------------|
| 8.2             | 157.2                   | 154.3              |
| 9.4             | 159.2                   | 160.3              |
| 9.8             | 160.7                   | 162.3              |
| 10.2            | 163.0                   | 164.4              |
| 10.5            | 165.2                   | 165.9              |
| 11.4            | 170.9                   | 170.5              |
| 11.8            | 171.7                   | 172.6              |
| 12.2            | 174.4                   | 174.7              |
| 13.2            | 180.7                   | 180.0              |
| 14.0            | 186.8                   | 184.3              |
| 14.4            | 187.2                   | 186.5              |
| 15.2            | 190.4                   | 190.9              |
| 15.8            | 195.5                   | 194.2              |
| 17.0            | 199.4                   | 200.9              |
| 17.6            | 204.0                   | 204.3              |

$10^{-4}\lambda(\lambda=0.6328\mu\text{m})$ 。(2)式给出的平均灵敏度为  $0.426\text{nm}/\mu\text{s}$ , 均方差  $\sigma_n=0.016\text{nm}/\mu\text{s}$ 。

## 2. 基波幅值测量法

主要步骤同前,但这时用数字电压表测量基波幅值  $V_n$ ,表2给出部分实验数据,实验参数同前, $B_1$ 为  $V_n$ 的拟合值。

表2为基波幅值测量数据及拟合值。最小二乘法给出的基波幅值  $V_n$ 拟合值  $B_1$ 与压电陶瓷直流偏置电压  $V_b$ 的拟合公式

$$B_1 = 5.53 - 0.71V_b + 0.02V_b^2 \quad (3)$$

式中, $B_1$ 和  $V$ 的单位都是  $V$ 。实测灵敏度阈为  $2.38\text{nm}/V$ ,而系统目前达到的基波幅值分辨率为  $0.1V$ ,所以对应的实测位移灵敏度阈为  $0.238\text{nm}/0.1V$ 或  $3.7 \times 10^{-4}\lambda/0.1V(\lambda=0.6328\mu\text{m})$ 。(3)式给出平均灵敏度为  $3.87\text{nm}/V$ ,在相同基波幅值分辨率条件下,可以分辨的微位移量为  $6.2 \times 10^{-4}\lambda$ ,均方差  $\sigma_n=0.55\text{nm}/V$ 。

## 四、结 论

我们已经提出一种能补偿环境影响的、紧凑的光纤双法布里-珀罗微位移测量系统,并且在自己设计的实验装置上进行两种测量方法的灵敏度试验。结果表明两种方法的灵敏度阈接近,但是时间间隔测量法的均方差明显地小于幅值测量法的均方差。今后准备在现有实验系统基础上,进一步完善补偿措施,充分发挥微机控制的优点,使装置发展成光机电算一体化的实时测量仪器,从而满足微细机械加工中高精度计量的需要。最后值得重视的是该系统不但可用于检定其它高精度位移传感器、几

何量计量中定位、微细加工表面轮廓测量,而且也可以测量那些能转换成微位移量或微小光程差变化量的其它物理量和插入光纤介质传光后潜在的远传、微型化、抗电磁干扰的特点。

感谢国家技术监督局对本项目的资助。

### 参 考 文 献

- 1 朱若谷. 激光技术, 1985, 6(2): 91~95
- 2 朱若谷. 相位调制 Fabry-Perot 干涉术. 第四届全国高校光学学术与教学会议论文集, 第四届全国高校光学学术与教学会议, 北京, 1992, 北京: 中国计量出版社, 1992, 283~289
- 3 库佐柯夫 H T. 频率法自动调节理论. 北京: 国防工业出版社, 1966: 57

作者简介: 朱若谷, 男, 1946年出生。副教授。从事激光应用技术及新型传感器研究。

收稿日期: 1993-03-19 收到修改稿日期: 1993-08-30