

# 光纤干涉测距仪中倍增光纤长度的自标定\*

黄绍梅 叶声华 段发阶

(天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室 天津 300072)

**提要** 介绍了一种利用半导体激光器作光源,在光纤干涉测距中标定光纤光程差的自标定方法。它不需要借用外界仪器,仅利用自身的测量系统就可以精确地标定两组光纤的光程差。将标定结果引入测量系统,就可以实现测量系统的量程倍增,从而实现无长导轨的大距离、高精度测量。

**关键词** 自标定,量程倍增,距离测量

## 1 引 言

在扫描式光纤干涉绝对测距系统中<sup>[1]</sup>,利用扫描干涉仪和定位干涉仪相配合实现大范围绝对测距,由于扫描干涉仪测量范围较小(100 mm),为达到大范围(大于 1 m)测距目的,定位干涉仪中采用多组干涉光纤,利用各组光纤光程差值的不同实现测距。因此必须对各组光纤的光程差进行精确标定。此外,由于光纤的光程会受到环境温度、光纤形状等因素影响,因此最好能实现现场实时标定。本文提出一种光纤长度的自标定方法,也就是用自身测量系统标定出光纤组的光程差,而无须借用其他测量仪器。

## 2 系统原理

该测量系统是一套光纤干涉测距系统,它由两套干涉仪组成:定位干涉仪和扫描干涉仪。两套干涉仪由扫描导轨相连,其结构原理如图 1 所示。定位干涉仪主要完成目标的定位,它可以求出从定位信号出现到定位信号峰值点(即零光程点)的距离值。扫描干涉仪主要完成测量的计数功能,它可以测量从扫描导轨移动到定位信号出现的位移值,用接口卡和定位信号对其进行控制,锁存需要的位移值。因此,定位干涉仪和扫描干涉仪结合在一起就实现了整个系统的绝对测量。其测量原理如图 2 所示。所测距离值  $L$  表示如下

$$L = (S_2 - S_1) - n_1 \times \frac{\lambda}{8} + n_2 \times \frac{\lambda}{8} + OP_m$$

其中,  $\lambda$  是半导体激光器的波长,为扩大系统量程,引入了一段段光纤,  $OP_m$  是其光程差,需要精确标定。在这套测量系统中,通过插入多段不同光程差的光纤,实现了测量系统的量程倍增。没有进行倍增的系统由于受导轨长度的限制,不可能实现大距离测量,为实现大距离测量,在

\* 国家自然科学基金项目(59575088)和国家自然科学基金重点项目(59735120)资助。

收稿日期: 1999-04-16; 收到修改稿日期: 1999-07-11

定位干涉仪中插入多段不同光程差的光纤, 成倍地提高了它的量程。现以四倍程为例, 对量程倍增进行说明。将目标待测范围划分成四个区间, 每个区间有两个定位点, 如图 3 所示, 每相邻两个定位点之间的距离, 在单纯的扫描测量系统的可测范围之内, 其具体值由扫描测量给出,

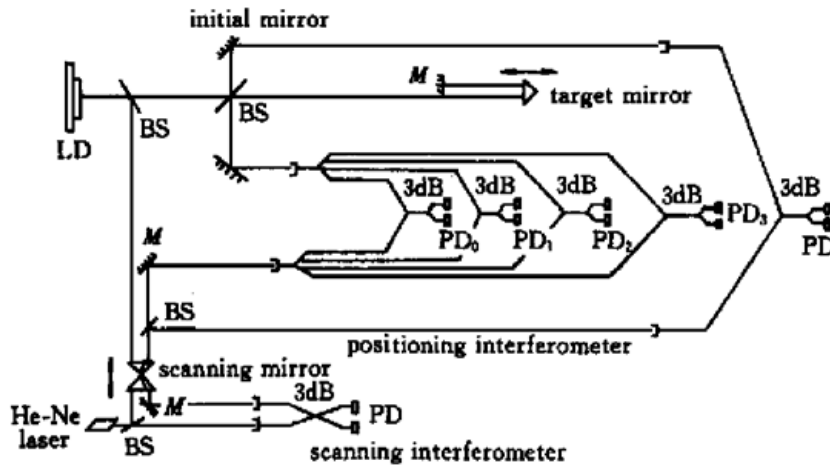


图 1 测量绝对距离的光纤干涉仪原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the optical fibre interferometer for measuring absolute distance

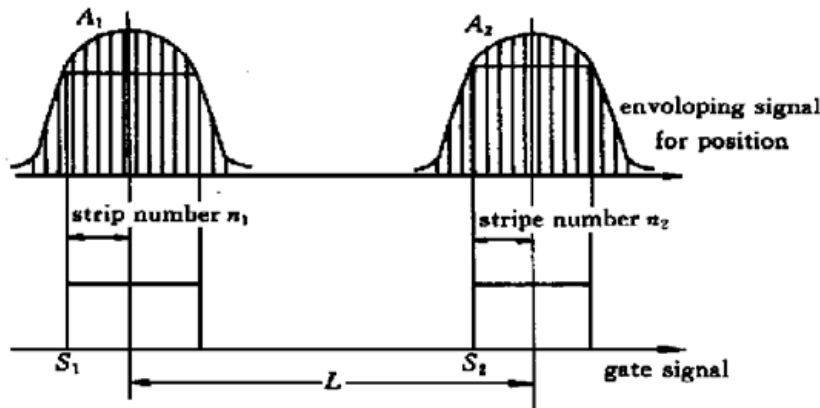


图 2 测量原理

Fig. 2 Schematic diagram of measurement

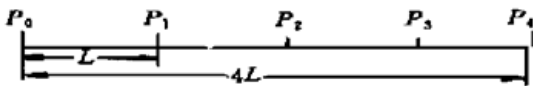


图 3 测量区间的划分

Fig. 3 Divided scope for measurement

而超出单个区间的就由标定光纤光程差给出。这样, 用具有不同光程差的光纤耦合干涉就可实现量程倍增。其具体的测量是: 目标光路的不同位置如图 3 所示, 四个干涉传感器的信号臂具有不同的光程长度, 即干涉仪信号臂有四个不同长度的预置值。具体测量如图 1, 当目标镜放在第一区间

的位置时, 扫描导轨移动扫描, 使信号臂与测量臂相调谐, PD<sub>0</sub> 输出目标定位信号。若目标镜移到下一个区间, 移动扫描导轨在 PD<sub>0</sub> 中不会再有定位信号输出, 但它会与第二个信号臂相调谐, PD<sub>1</sub> 产生定位信号输出。依次类推, 目标镜移到第三个区间, PD<sub>2</sub> 有定位信号输出, 目标镜移到第四个区间, PD<sub>3</sub> 有定位信号输出。这样, 即使扫描镜扫描范围有限, 由于有不同光程差的信号臂与测量臂相调谐, 目标镜的移动范围即使超出了扫描镜的测量范围, 它仍然会被具有不同长度的信号臂的定位干涉仪捕捉到, 给出目标镜当前的位置信息。

由以上分析可知, 要想实现整个测量系统的量程倍增, 就要对插入的一段段光纤光程差进行精确标定, 使整个测量系统在小扫描范围内实现大距离测量。下面介绍一种新的标定光纤光程差的方法, 即光纤长度的自标定方法。

### 3 光纤长度的自标定

光纤长度的自标定的实质就是光纤长度的测量, 它必须满足以下条件: (1) 测量系统本身具有长度基准; (2) 系统能完成光纤长度与长度基准的比对。从前面介绍的系统原理可知, 测量系统的长度基准为光波波长, 具有干涉扫描测量子系统, 因此具备自标定的条件。下面以四组不同光程差的光纤为例来阐述自标定方法。这套定位干涉仪的目标光路是四倍程, 参考光路是八倍程, 系统的测量范围即为扫描导轨可移动范围的两倍。本系统扫描导轨的移动范围为 100 mm, 可测范围为 200 mm。另外由于参考光路八倍程, 当扫描导轨移动 100 mm 时, 参考光路光程将改变 800 mm。

首先调整好目标镜和参考镜上插入的第一组相耦合干涉光纤的光程差, 可通过改变光路的空间位置, 使这两路光在扫描工作台移动刚过系统零位时发生干涉, 就是刚过绝对零点时, 出现第一组光纤的干涉信号, 记录此时测量的位移值。然后在目标镜和参考镜中插入第二组光纤, 这组光纤的光程差要比第一组光纤光程差大 750 mm 左右(为了保证信号更完整, 一般不取极限 800 mm), 这样, 再从起始位置移动扫描工作台, 一开始第一组光纤出干涉信号, 记录此时的位移值  $X_{11}$ , 然后第二组光纤出干涉信号, 再记录此时的位移值  $X_{12}$ , 这样利用我们的测量系统就可以精确地标定第二组光纤光程差大于第一组光纤光程差的值, 该值为:  $8 \times (X_{12} - X_{11})$ 。接着标定第三组光纤光程差大于第二组光纤光程差的值, 这时把目标镜远移稍小于  $4 \times (X_{12} - X_{11})$  处, 以保证扫描工作台刚过零位不久时, 第二组光纤就出干涉信号, 再从起始位置移动扫描工作台, 首先第二组光纤出干涉信号, 记录此时的位移值  $X_{21}$ , 继续移动扫描工作台, 然后第三组光纤出干涉信号, 再记录此时的位移值  $X_{22}$ , 这样又可以通过系统精确地标定出第三组光纤光程差大于第二组光纤光程差的值, 该值为:  $8 \times (X_{22} - X_{21})$ 。依此类推, 可以标定出第四组光纤光程差大于第三组光纤光程差的值。而且可以一直标定下去。这就是仅利用自身测量系统, 标定光纤光程差的方法。在这套系统中, 利用自标定方法实现了量程四倍增的光纤光程差的自标定, 从而也实现了测量系统的量程四倍增。

### 4 实验结果

光纤自标定实验数据如表 1 所示。 $B-A$  表示第二组光纤光程差大于第一组光纤光程差的值为: 752. 4576 mm,  $C-B$  表示第三组光纤光程差大于第二组光纤光程差的值为: 746. 3945 mm,  $D-C$  表示第四组光纤光程差大于第三组光纤光程差的值: 749. 7653 mm, 这样, 就可得第三组光纤光程差的值大于第一组光纤光程差的值为: 1498. 8521 mm, 第四组光纤光程差大于第一组光纤光程差的值: 2248. 6174 mm。可以把这些数据作为已知量引入系统, 从而实现测量系统的量程倍增。

表 1 光纤自标定实验数据

Table 1 Optic fiber self-calibration experiment results

| Group | 1st<br>/mm | 2nd<br>/mm | 3rd<br>/mm | 4th<br>/mm | 5th<br>/mm | 6th<br>/mm | 7th<br>/mm | 8th<br>/mm | 9th<br>/mm | 10th<br>/mm | Average<br>/mm | Mean square<br>deviation/mm |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|----------------|-----------------------------|
| B-A   | 752.4574   | 752.4579   | 752.4573   | 752.4576   | 752.4574   | 752.4573   | 752.4578   | 752.4575   | 752.4579   | 752.4573    | 752.4576       | 0.2775                      |
| C-B   | 746.3949   | 746.3941   | 746.3944   | 746.3943   | 746.3947   | 746.3945   | 746.3943   | 746.3949   | 746.3947   | 746.3943    | 746.3945       | 0.2819                      |
| D-C   | 749.7653   | 749.7649   | 749.7654   | 749.7652   | 749.7648   | 749.7651   | 749.7655   | 749.7654   | 749.7652   | 749.7655    | 749.7653       | 0.3724                      |

## 参 考 文 献

- 1 Huang Shaomei. Study on the Optic Fiber Interferometer for Distance Measurement, Master Dissertation, Tianjin University, 1998. 5~ 23 (in Chinese)

## Self-calibration of Multiplication Optic Fiber's Length in the Optic Fiber Interferometer for Distance Measurement

Huang Shaomei Ye Shenghua Duan Fajie

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments,  
Tianjin University, Tianjin 300072)

**Abstract** A method of self-calibrating optic fiber's optical path difference in the optic fiber interference measurement using LD as a light source is presented. It doesn't need other instrument, just depends on its own measurement system to accurately calibrate optic fiber's optical path difference. It can expand its measuring scope by using the calibrated length in the distance measurement system, and realizes long distance, high accuracy measurement without long guide.

**Key words** self-calibration, measuring range multiplication, distance measurement