

# GW—Ⅱ型光纤测微仪的研制

金泰义 李胜利 王延安 赵宇飞 徐育

(中国科学技术大学 精密机械与精密仪器系,合肥 230027)

**摘要** 介绍了一种新型光纤测微仪——GW—Ⅱ型光纤测微仪的研制。该仪器针对强度调制型光纤传感器抗干扰能力差,对被测面反射状况敏感、精度和稳定性不理想等亟待解决的问题,提出一种新颖的扰动补偿方法——双Y型双光路补偿,使仪器的抗干扰能力,精度和稳定性有显著提高。着重介绍以双Y光纤传感器为信号输入元件的测量系统的结构设计,补偿机理及相关的实验研究情况。

**关键词:** 光纤传感器,精密测量

## 1 系统原理

GW—Ⅱ型光纤测微仪从系统的结构和性能上来看,是一台机械、电子、光学、计算机一体化的仪器,是集检测和控制于一体的有一定智能功能的系统,符合仪器仪表与微处理器一体化的发展方向和设计思想。其原理框图如图1所示。

仪器采用新型双Y反射式强度调制光纤传感器,根据被测物体和传感器的距离不同,反射回来的光能量也不同的原理来检测物体位移变化。

光源采用性能稳定的红外发光二极管LED,接收器件采用光电探测器PIN。光源经过调制驱动后发出的脉冲红外光,从光纤传感器发射光纤的出射端射向被测物表面,反射光经两路接收光纤分别耦合。接收光纤将接收到的带有被测量信息的微弱调制光送到光电探测器PIN;光电转换器件将光信息变换为电信号,经I/V转换后转换为电压信号,再由各信号处理单元大幅度提高信噪比,由A/D转换后变为数字量。8098CPU控制模拟开关分时选通各路信号,经单片机计算、处理得位移量。为便于点、位控制,将测得量与目标量相比较后,得出控制量的大小,进而控制步进电机,实现闭环反馈控制。

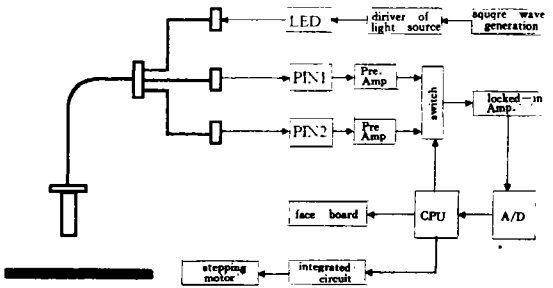


图1 系统原理框图

Fig.1 System block diagram

## 2 强度调制型光纤传感器研究中的主要问题

传统的强度调制型光纤传感器以结构简单、性能可靠、价格低廉等优点引人注目,同时也因抗扰动能力差、对被测面敏感等难以克服的弱点,限制了它的进一步发展和应用。研究表明,光路和电路元件,尤其是光源、传输光纤的特性变化、被测物反射面反射状况的差异是影响光纤传感器传感精度和稳定性,阻碍其发展和应用的主要因素。国外从八十年代初,就有不少学者致力于消除外界扰动对强度调制光纤传感器的影响。国内有关强度调制型光纤传感器补偿技术的研究,在八十年代中期随着光纤传感器研究的深入,成为热门话题<sup>[1] [6]</sup>。

在研制 GW-I 型光纤测微仪的过程中,我们采用了双 Y 结构强度调制型反射式光纤传感器。双 Y 光纤传感器的设计巧妙地把双光路比较法应用于光纤传感器干扰补偿之中,充分利用不同分布的光纤束光强响应曲线特点的不同,两路信号相比能有效地消除光源波动、光纤扰动、被测物反射状况变化、电路增益漂移等因素给测量带来的影响,降低了系统对光路和电路参数稳定性的要求,提高了系统的精度和稳定性。

## 3 双 Y 光纤传感器结构设计及其补偿机理分析

反射式光纤传感器接收到的光强信号强度随传感器与被测面的距离变化而变化,经电路变换为直流电平信号  $V(\text{DC}, V)$

$$V = \sigma \cdot \eta \cdot \alpha \cdot A \cdot I_0 \cdot S(z) \tag{1}$$

其中:  $V$ : 接收光强                       $I_0$ : 光源发光强度  
 $\sigma$ : 被测面反射率                       $\eta$ : 光路效率  
 $\alpha$ : 光电转换效率                       $A$ : 电路增益  
 $z$ : 位移值                                 $S(z)$ : 光强响应曲线

光路效率  $\eta$  包含光纤传输损耗、光纤和发光二极管及光电接收器件间的耦合系数等因素。

光强响应曲线  $S(z)$  是位移  $z$  的函数,同时受光纤束结构的影响。如图 2(a) 所示为随机分布光纤束,发送光纤和接收光纤任意排列,较易制作;与(b)、(c)所示同心圆型和半圆型光纤束相比,它接收到的光强大,半圆型分布的光纤束的接收灵敏度较差,但线性范围比随机型分布的大很多。

不同分布的光纤束光强响应曲线不同,双 Y 型光纤传感器正是利用这一特点设计而成的。

新型双 Y 光纤传感器的结构如图 3。

简单地说,双 Y 光纤传感器是一种随机分布和同心分布结合在一起的光纤束,任取一束随机分布的光纤作为发射光纤,其余两束作为接收光纤。这是典型的“双路+共路”系统;对于相同的探头、反射面、光路和电路,  $\alpha, \eta, A, I_0$  都可以认为近似相等;在精确挑选、配对使用的情况下,两个接收器件的光电转换效率  $\alpha$  也可认为近似相等。两组接收光纤接收到

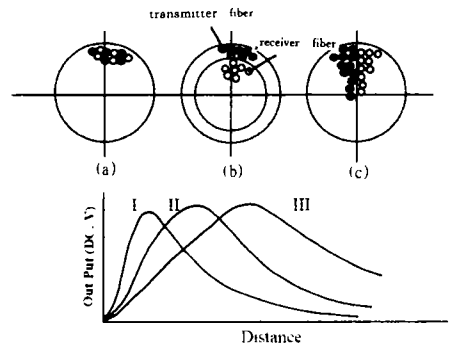


图 2 光纤束结构对  $S(z)$  影响  
 Fig. 2 Some fiber bundles and their responses

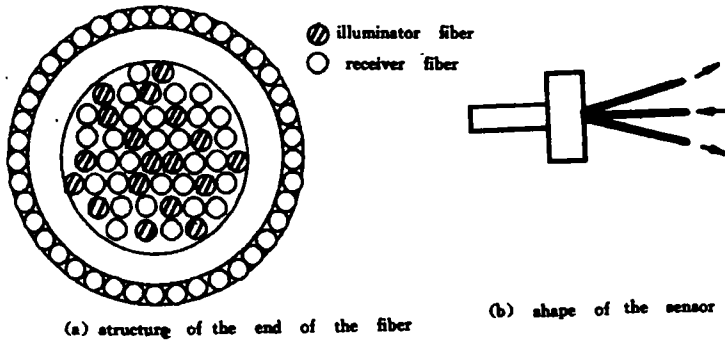


图3 新型双Y光纤传感器的结构

Fig. 3 Structure of a new type of dual-Y optic-fiber sensor

的光强信号可简单表示为:

随机分布接收到的光强信号:

$$V_1 = K \cdot S_1(z) \quad (2)$$

同心分布接收到的光强信号:

$$V_2 = K \cdot S_2(z) \quad (3)$$

其中:  $K = \sigma \cdot \eta \cdot \alpha \cdot A \cdot I_0$

数据处理算法:

$$V' = V_1/V_2 = S_1(z)/S_2(z) \quad (4)$$

显然,  $V' = S_1(z)/S_2(z)$  与含反射状况和器件参数因素的  $K$  无关, 仅仅是距离  $z$  的函数。因此, 用随机分布接收到的光强信号  $V_1$  和半边(或同心分布)接收到的  $V_2$  相比得到的  $V'$ , 就可以消除光源、光纤扰动、反射状况差别和电路增益漂移等因素的影响。

实验表明:  $V' = e^{\rho/z^{\alpha}}$ , 即  $\ln(V')$  与距离  $\ln(z)$  有良好的线性关系:

$$\ln(V') = \rho - \alpha \cdot \ln(z) \quad (\alpha, \rho \text{ 是通过实验确定的常数}) \quad (5)$$

## 4 实验研究

GW-I 型光纤测微仪研制成功后, 我们利用该仪器与万能测长仪对双 Y 型光纤传感器的多种特性进行了研究, 研究结果如下:

(1) 双 Y 光纤传感器光强响应特性研究:

[实验条件] 标定仪器: 万能测长仪 ( $1 \mu\text{m}$ ) 被测件: 钢片  
 测量范围:  $0 \sim 2400 \mu\text{m}$  位移增量:  $100 \mu\text{m}$   
 电路增益: 2 发光电流:  $35 \text{ mA}$

[数据分析] 进程:  $\alpha = 0.79063$ ;  $\rho = 6.84668$ ; 相关系数  $R = 99.657\%$   
 回程:  $\alpha = 0.80609$ ;  $\rho = 6.90376$ ; 相关系数  $R = 99.380\%$

(2) 双 Y 光纤传感器对被测物反射面反射状况变化的补偿:

[实验条件] 标定仪器: 万能测长仪 ( $1 \mu\text{m}$ ) 被测件: 铝片  
 测量范围:  $0 \sim 2400 \mu\text{m}$  位移增量:  $100 \mu\text{m}$   
 电路增益: 2 发光电流:  $35 \text{ mA}$

〔数据分析〕  $\alpha=0.81014$ ;  $\rho=7.02804$ ; 相关系数  $R=98.810\%$

(3) 双 Y 光纤传感器对光源光强变化的补偿:

〔实验条件〕 标定仪器: 万能测长仪( $1\ \mu\text{m}$ ) 被测件: 钢片  
 测量范围:  $0\sim 2400\ \mu\text{m}$  位移增量:  $100\ \mu\text{m}$   
 电路增益: 2 发光电流:  $45\ \text{mA}$

〔数据分析〕  $\alpha=0.79597$ ;  $\rho=6.88980$ ; 相关系数  $R=99.425\%$

(4) 双 Y 光纤传感器对电路增益变化的补偿:

〔实验条件〕 标定仪器: 万能测长仪( $1\ \mu\text{m}$ ) 被测件: 钢片  
 测量范围:  $0\sim 2400\ \mu\text{m}$  位移增量:  $100\ \mu\text{m}$   
 电路增益: 1 发光电流:  $35\ \text{mA}$

〔数据分析〕  $\alpha=0.81525$ ;  $\rho=6.90465$ ; 相关系数  $R=99.434\%$

Tab. 1

distance ( $\mu\text{m}$ )	experiment 1 (forward)		experiment 1 (backward)		experiment 2		experiment 3		experiment 4	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	330	14	290	10	228	6	340	12	168	6
200	566	43	563	42	423	30	641	49	282	20
300	664	72	666	70	498	51	753	80	330	34
400	693	99	694	97	519	72	786	109	344	48
500	694	122	696	122	520	90	790	135	346	60
600	686	141	687	141	513	105	780	157	340	70
700	671	158	672	157	502	117	767	175	334	78
800	656	170	656	169	490	126	748	189	326	84
900	638	180	638	180	477	132	732	200	316	88
1000	619	187	619	187	462	138	712	209	307	92
1100	599	193	600	193	447	142	693	214	298	94
1200	579	197	581	197	432	145	673	219	288	97
1300	559	200	562	200	418	147	653	224	278	98
1400	542	202	543	202	405	150	629	226	270	100
1500	523	204	523	204	390	150	609	228	260	100
1600	505	205	505	205	376	153	582	229	250	102
1700	487	205	487	206	363	153	563	229	242	102
1800	468	206	469	205	348	153	540	229	232	102
1900	450	205	450	205	336	151	520	229	223	100

distance ( $\mu\text{m}$ )	experiment 1 (forward)		experiment 1 (backward)		experiment 2		experiment 3		experiment 4	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
2000	433	204	433	204	321	150	500	227	214	100
2100	416	202	416	202	309	150	480	226	206	100
2200	400	201	399	201	295	147	461	224	198	99
2300	383	198	383	198	285	147	442	222	190	98
2400	367	196	367	196	273	144	423	219	182	96

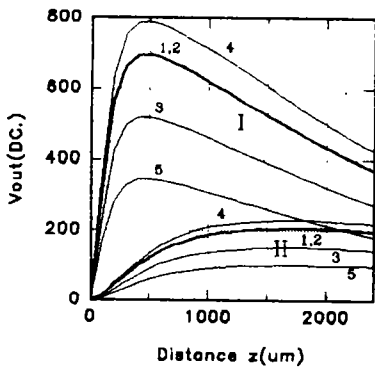


图 4 两种光纤分布的信号输出  
Fig. 4 Output of two fiber bundles of different type

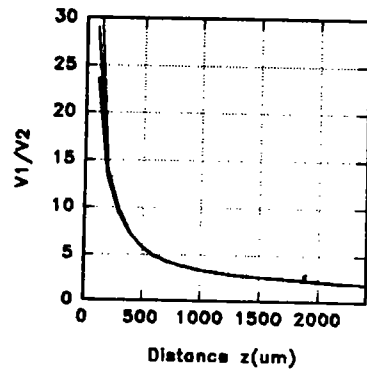


图 5 两种信号比值  $V'$  与距离  $z$  关系图  
Fig. 5 Relationship of the division of the output of two fiber bundles Vs distance

图 4 是随机分布和同心分布两束光分布接收到的信号；其中 I 是同心分布接收到的信号。图 5 是两路信号的比值  $V'$  与距离  $z$  的关系图。图 6 是在对数坐标下的结果。不同测量条件下随相分布，同心分布接收到的信号强弱不同，它随被测面反射状况、光源光强、电路增益等因素变化而变化，如图 a；进程曲线 1；回程曲线 2；被测面反射状况改变如曲线 3；光强变化如曲线 4；电路增益变化如曲线 5。两路信号的比值与上述因素无关，只与光纤束分布形式有关；对数坐标下获得的直线的斜率  $(-\alpha)$ ，截距  $\rho$  也非常接近，如图 b 和图 c。这说明双 Y 光纤束结构对影响强度调制型光纤传感器的多种扰动有极强的抑制作用。

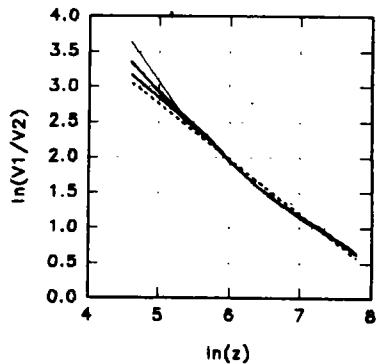


图 6 对数表示图  
Fig. 6 diagram in logarithm

## 5 结 束 语

GW-Ⅰ型光纤测微仪由于采用双Y型光纤传感器,克服了用传统强度型光纤位移传感器遇到的对被测面反射状况敏感,抗干扰能力差、稳定度不高等难题,使测微仪的精度和稳定性都有很大的提高。同时,双Y型光纤传感器的设计成功,为强度调制型光纤传感器的进一步发展和实用化以及新一代位移测控系统研制,提供了有力的技术保障。

### 参 考 文 献

- [1] 金泰义,徐 育等,GW-Ⅰ型光纤测微仪. 中国科学技术大学学报,1993,23(84),59-61
- [2] 金泰义,徐 育等,一种新型的以He-Ne激光器为光源的强度型光纤传感器. 磨床与磨削,1992,(3):13-14
- [3] 胡 刚,非接触式光纤测微仪的研制. 中国科学技术大学研究生毕业论文,1991
- [4] 袁子文,一种新型光纤测微仪的研制. 中国科学技术大学研究生毕业论文,1993
- [5] 刘瑞复、史锦珊主编,光纤传感器及其应用. 北京:北京机械工业出版社,1985
- [6] 朱延彬、徐 兢,一种新型光纤传感器的研究—对微位移的非接触测量. 光学仪器,1991,13(1),9-12

## Study of a New Type of Optic-fiber Micro-displacement Measuring Instrument(GW-Ⅰ)

Jin Taiyi, Zhao Yufei, Li Shengli, Xu Yu and Wang Zhengang

(Department of Precision Machinery and Precision Instrumentation, USTC, Hefei 230027)

### Abstract

This paper discusses the study of a new type of optic-fiber microdisplacement measuring instrument (GW-Ⅰ). Here it puts emphasis on an optic-fiber displacement sensor used which is compensated for variations in light-source intensity as well as for loss in the fibers. It is shown that the ratio of the output of a pair of detecting fibers is independent of the light-source intensity and loss in the fiber system. Results that confirm this are presented. It helps improve the precision and stability of the measuring instrument.

**Key words:** Optic-fiber sensor, Precision measurement

**金泰义** 教授,1960年毕业于北京工业学院,长期从事超精密测量、测控技术教学与科研工作。