

光纤位移传感器工作特性研究

【实验目的】

1. 了解光纤位移传感器的工作特性。
2. 学习用 Excel 程序或计算器求斜率和相关系数。
3. 学习用光纤位移传感器测量微小长度量。

【实验仪器】

CSY998 型传感器系统实验仪，待测工件，导线，计算器（机）等

【实验原理】

1 光纤的基本结构

单根光导纤维的结构如图 17.1 所示，它由纤芯、包层及护套组成。纤芯为直径很小的圆柱形透明介质纤维（某种玻璃或塑料）制成。环绕纤芯的是一层圆柱形套层，称为包层，它由折射率与纤芯略有不同的玻璃或塑料制成。然后，用一层护套将它们包覆。光纤的导光能力取决于纤芯和包层的性能，光纤的强度由护套来维持。使用时将几根或多根光纤沿长度方向封装在一起成为多股光纤，称为光缆。

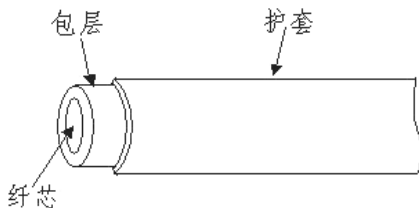


图 17.1 光纤结构图原理图



图 17.2 光纤传感器实物图

1. 探头 2. 光缆 3. 护套

2 光纤位移传感器工作原理

一束多股光纤（光源光纤）将光源发出的光投射到被测物体表面上，另一束多股光纤（接收光纤）用于接受被测物表面反射回来的光。两股光纤汇合处用有机玻璃固封，称作光纤位移传感器的探头，图 17.12 即为光纤传感器实物图。

如图 17.3 光纤位移传感器测量原理图所示，反射光经接收光纤、光电转换元件转换成电压信号后输出。输出电压的强弱决定于反射光强的大小。当光纤传感器探头的端口紧贴反射面时，光源光纤的出光口被挡住，接收光纤接收不到反射光，因此无电压信号输出。如图 17.4 所示，随着反射面逐渐远离光纤探头端口，反射面被光纤发出的光照亮的区域 A 越来越大，发射光锥与接收光锥重合的面积 B_1 越来越大，因而接收光纤端口

处被反射光照亮的区域 B_2 越来越大, 传输到光敏元件上的光强逐渐变大, 传感器输出的电压信号也随之变大。当反射面移到某一位置时, 接收光纤的整个端口 C 被全部照亮, 因而输出电压达最大值, 称为“光峰点”。此后当反射面继续远离时, 尽管接收光纤的整个端口 C 仍然被全部照亮, 由于单位面积内反射光的强度在减少, 因此随距离的增大,

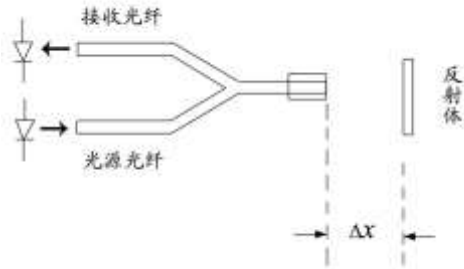


图 17.3 光纤位移传感器测量原理图

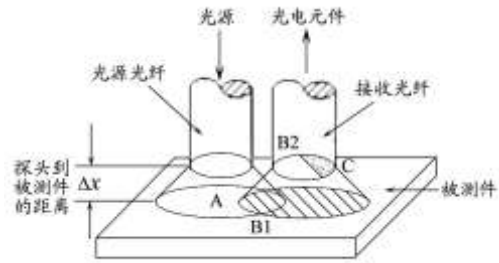


图 17.4 光锥原理图

传输到光敏元件上的光强越来越小, 传感器输出的电压值也就越来越小, 输出电压与距离的关系如图 17.5 所示。光峰点之前的区段称为上升沿, 光峰点之后的区段称为下降沿。在上升沿和下降沿, 各有一个区域, 输出电压与位移成线性关系。但上升沿斜率比较大, 意味着电压对位移的变化比较敏感, 灵敏度高, 故本实验利用该区段测量微小直线位移。

实际上, 输出电压的大小不仅与传感器端口到反射面的距离有关, 还与光源的发光强度、反射物体表面的反射率、电路增益、光路效率、光电转换效率等因素有关。因此, 每台仪器的光电转换器都是与仪器单独调配的, 不要互换使用。当上述因素一定且待测物体表面的反射率一定时, 电压的大小只是位移的函数。

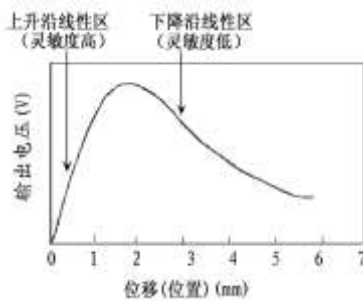


图 17.5 光纤位移传感器工作特性曲线

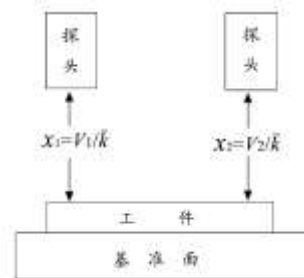


图 17.6 测量工件表面的高度差

当传感器端口到反射面的距离保持一定时, 输出电压与反射面的反光能力有关, 比如不同粗糙度的表面、不同光泽度的表面, 其表面反射光的能力不同, 会得到不同的输出电压, 因此, 该类型的传感器还可以测量物体的表面粗糙度、光泽度等。

取表面粗糙度或光泽度不同的一组标准样块, 由测量得出电压与这些量的关系曲线, 由关系曲线可推知待测样品的表面粗糙度或光泽度。

同学们可以自行拟定测量步骤，实现表面粗糙度、光泽度的测量。

本实验使用与“应变片式电阻传感器测位移及质量”实验相同的仪器，只不过使用的传感器不同，该仪器的介绍请见“应变片式电阻传感器测位移及质量”实验中相关的内容。该传感器系统实验仪中的光纤传感器如图 17.2 所示，光纤传感器的安置如图 17.7 所示。

【实验内容】

1. 测定光纤位移传感器的工作特性曲线

(1) 观察光纤位移传感器的结构。将工件放到圆台上，其表面用做反光面。光纤传感器探头对准反光面后，固定在 Z 型支架上。参见图 17.7。

(2) 因为光电转换器已安装好，所以可将电压信号直接送入数字电压表。电压表的切换开关置 20V 档，供电电压置 $\pm 2V$ 档，将光电变换器电路的增益调节到最大（顺时针向转动“增益”旋钮），开启电源的主、副开关。

(3) 使光纤传感器探头与反光面良好接触，尽量使电压表的读数为零。此时，传感器端口与反射面间的距离 ΔX 为零。（若电压表读数过大，应调节探头的取向。）

(4) 顺时针方向旋转测微仪，每隔 0.250mm 读一次电压表的数值，将其填入表格

17.1。计算 $\Delta V = V_{i+1} - V_i$

表 17.1

ΔX (mm)	0	0.250	0.500	0.750	1.000	...
V (V)						
ΔV (V)						

计算出峰值前的 ΔV 。

由测量得到的光纤传感器工作特性曲线如图 17.5 所示。

2. 测定仪器灵敏区的线性范围

(1) 表 17.1 中，有几组 ΔV 的值比较大，表明该范围内电压对位移的变化敏感（即为灵敏区）。

(2) 在仪器的灵敏区内，每隔 0.100mm 重复实验内容 1 中的测量，将数据填入表 2。若灵敏区比较小，可减小测量间隔（如 0.050mm），以获得比较多的数据。计算 ΔV ，找出其中线性好的区段。

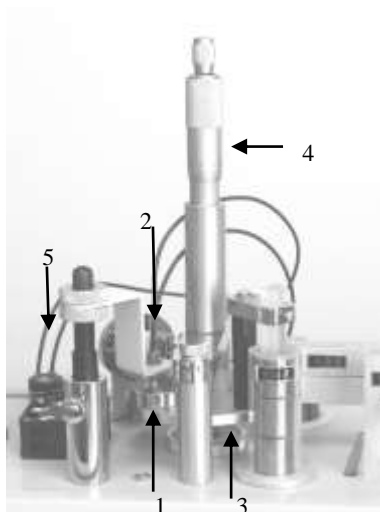


图 17.7 光纤传感器安置示意图

1. 样块 2. 光纤传感器 3. 工作圆台
4. 螺旋测微仪 5. 发光光纤与接收光纤

表 17.2

ΔX (mm)						...
V (V)						...
ΔV (V)						...

3. 用 Excel 程序或计算器求斜率和相关系数

(1) 用 Excel 程序计算斜率和相关系数

- ① 打开计算机进入 Excel 程序，在第一列输入电压值，第二列输入位移值。
- ② 左键单击单元格 C1，左键单击常用工具栏中的“ f_x ”，选“统计—SLOPE”。
- ③ 在“known-y’s”框中输入电压值，在“known-x’s”框中输入位移值；单击“确定”。单元格 C1 中为斜率 k 的值。
- ④ 左键单击单元格 C2，左键单击常用工具栏中的“ f_x ”，选“统计—CORREL”。
- ⑤ 在“Array 1”框中输入电压值，在“Array 2”框中输入位移值，单击“确定”。单元格 C2 中为相关系数的平方。
- ⑥ C2 中的数值应大于 0.997，小于该值时应缩小取值范围（去掉一个或几个电压、位移值），重新计算斜率和相关系数。

(2) 用计算器（scientific calculator）计算斜率和相关系数

用 Excel 程序计算斜率和相关系数快捷、准确。此项工作也可由计算器完成。

- ① 进入计算器的统计功能。
- ② 参照计算器的使用说明输入线性区段的所有位移、电压值，即可由计算器统计功能使用线性回归方式得到斜率 \bar{k} 及相关系数 r 。

4. 测量工件表面的高度差

参见图 17.6，利用表 17.2 线性区段里电压与位移的关系，测量工件表面的高度差。

- ① 将待测工件表面划分成 9 个区域，供比较工件表面相对高度用。
- ② 固定探头高度，将工件放到圆台上，由塞尺测量工件表面到传感器端口间的距离，调节测微仪，使该距离在上升沿灵敏区的线性范围内（电压值为线性区中间值附近）。使传感器端口对准工件表面上某一区域，读出电压值 V_1 。
- ③ 保持圆台到传感器端口间的距离不变，将工件另外的区域依次移至探头下方，工件表面的高度差会引起电压变化，记录下电压值 V_2 、 V_3 ... V_9 。注意： V_2 、 V_3 ... V_9 的值也应在上升沿灵敏区的线性范围内。

表 17.3

V_1 (V)	V_2 (V)	...						V_9 (V)

- ④ 则可由式(17.1)计算出工件表面的相对高度差。

$$H_i = \frac{|V_1 - V_i|}{\bar{k}} \quad (\text{mm}) \quad (17.1)$$

⑤关闭电源，把所有旋钮复原到初始位置。

5. 测量工件表面粗糙度

参照上述实验过程，请同学们自行拟定测量步骤，实现表面粗糙度的测量。

【数据处理】

1. 用表 1 中数据在毫米坐标纸上作 $V \sim \Delta X$ 关系曲线，找出满足线性方程式 $x=kV$ 的区域。

2. 由表 1 知仪器的灵敏区大约在_____ (V) ~ _____ (V) 之间；由表 2 知线性区大约在_____ (V) ~ _____ (V) 之间；灵敏区内线性段的斜率 $\bar{k} =$ _____。

3. 计算并简述工件表面不同区域的高度差。

4. 工作特性曲线线性区比较短，为了提高回归精度、增大测量范围，可采用非线性回归。

对于本实验中的特性曲线，其上升沿部分可用以二次多项式回归，即设位置 x 与电压的 V 关系为 $x = aV^2 + bV + c$ ，利用 Excel、Origin 等软件可方便求出其常数 a 、 b 和 c ，则有：

$$x_i = aV_i^2 + bV_i + c \quad (\text{mm})$$

得样品表面的高度差：

$$H_i = x_i - x_1 \quad (\text{mm})$$

【注意事项】

1. 实验时请保持反射面的清洁和与光纤探头端面的垂直度。
2. 工作时光纤端面不宜长时间直接照射强光，以免内部电路受损。
3. 注意背景光对实验的影响，避免强光直接照射反光表面，造成测量误差。
4. 切勿将光纤折成锐角，保护光纤不受损伤。
5. 每台仪器的光电转换器都是与仪器单独调配的，请勿互换使用。
6. 光纤探头在支架上固定时，应保持其端口与反光面平行，切不可相擦，以免使光纤探头端面受损。

【思考题】

1. 为什么做实验内容 2 时，应使工件表面到传感器端口间的距离在光纤位移传感

器工作特性曲线灵敏区的线性范围内？如果不这样做，式（17.1）是否成立？

2. 利用本实验所用光纤传感器能否设计出温度传感器？

【应用提示】

光纤在通讯、图像传输等方面的应用大家可能比较熟悉了。其实，光纤传感器在工农业、科研等领域有着更为广泛的应用。光纤传感器是利用光纤的转换功能或传输功能而研制的传感器，光纤的传输特性对某些外界条件的变换（如压力、应变、温度和电磁铁等）较为敏感，利用光纤的这些敏感反映可研制相应的传感器，可用于温度、应力、应变、粗糙度等 70 多种物理的测量，被誉为“万能传感器”，具有其他传感器不可媲美的诸多优点。