

浙江大学



本科实验报告

姓名：

学院： 生物医学工程与仪器科学学院

系： 生物医学工程

专业： 生物医学工程

学号：

指导教师： 陈凌翔

2025 年 5 月 4 日

浙江大学实验报告

课程名称： 生物医学传感与检测 实验类型：

实验项目名称： 光纤位移传感器的特性及其应用

指导老师： 陈凌翔

实验地点： 教 7 西裙楼 - 301 实验日期： 2025 年 5 月 4 日

一、实验目的和要求

- 1、了解光纤位移传感器的原理、结构及特性。
- 2、了解光纤位移传感器的动态响应，并用它来测量振动和转速。

二、实验内容和原理

反射式光纤位移传感器如图 9.1 所示。a、b 两束光纤混合后，形成 Y 型光纤。混合方式不同就有了不同分布的光纤，如图 9.2。本实验所用的光纤为半圆式结构，由数百根光导纤维组成，其中一半为传输发射光的光源光纤，一半为传输反射光的接收光纤。

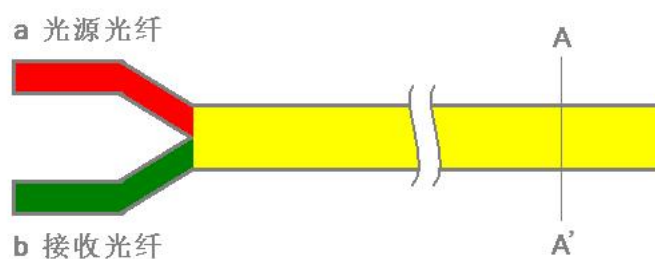


图 9.1 光纤位移传感器结构

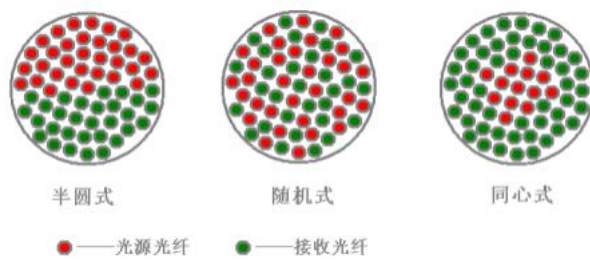


图 9.2 A—A' 截面

发光管发出的光（红外光），经光纤束 a 传送，照射到被测物表面，经反射与光纤束 b 耦合后被光电接收管检测到。距离 X 变化时接收管检测到的光强度不同，于是就可以测量位移。测量系统如图 9.3 所示，图 9.4 为输出电压与位移的特性曲线。

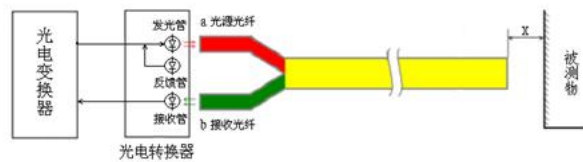


图 9.3 测量原理

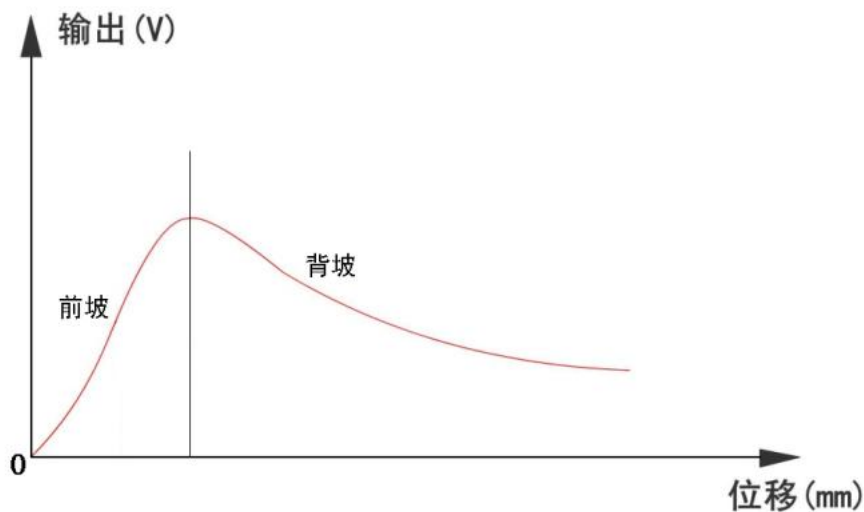


图 9.4 光纤位移传感器特性曲线

当振动台振动时，反光片与光纤探头之间的距离发生变化，使光纤的输出为具有振动台振动频率的正弦信号，经放大和整形后可测得振动幅值和振动频率。

三、主要仪器设备

光纤传感器、光纤变换器、测微头、振动台、反光片（铝测片）、数字电压表、低频振荡器、振动源、示波器。

四、操作方法和实验步骤

（一）静态特性

1. 实验接线如图 9.5。因光/电转换器内部已安装好，所以可将电信号直接经差动放大器放大。电压表的切换开关置 20V 档，开启电源。

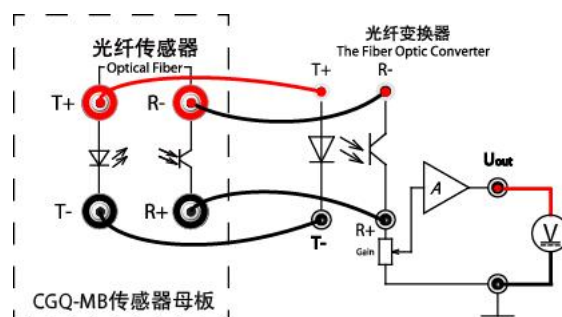


图 9.5 接线参考图

2. 安装好测微头，旋转测微头使其与振动圆盘吸合且高度居中，调节光纤变换器增益旋钮置于中间位置（电位从最左或最右反方向调节五圈）。
3. 光纤传感器探头安装在固定支架上，探头对准圆盘式工作台上的反光片（铝测片）。调节光纤支架高度，使光纤探头与反光片接触，旋转测微头，使电压表读数最小（尽量为零），此时为实验测量起点，反光片与光纤探头之间的距离记为 0。旋转测微头使反光片慢慢离开光纤探头，观察电压表读数由小-大-小的变化。表格中记录位移和电压读数，每次位移间隔 0.1mm，整个位移区间中有一段比较长的饱和区，因此主要记录前坡（从起点到饱和区，比较短）和背坡（从饱和区结束开始至少记录 4mm）
4. 作 $U-X$ 曲线，分别计算前坡、背坡的灵敏度和线性范围。

（二）动态特性及振动和转速测量

1. 利用静态实验中得到的特性曲线，由于前坡位移区间太小，因此在背坡的线性段选择一个合适的静态工作点。

2. 测微头与振动台面脱离。调节架子上光纤传感器探头与反光片的距离，通过电压表观察使其处于选好的工作点位置。
3. 将低频振荡的输出端接入振动源，开启电源，调节低频振荡器的频率与幅度旋钮，使振动台振动且振动幅度适中。

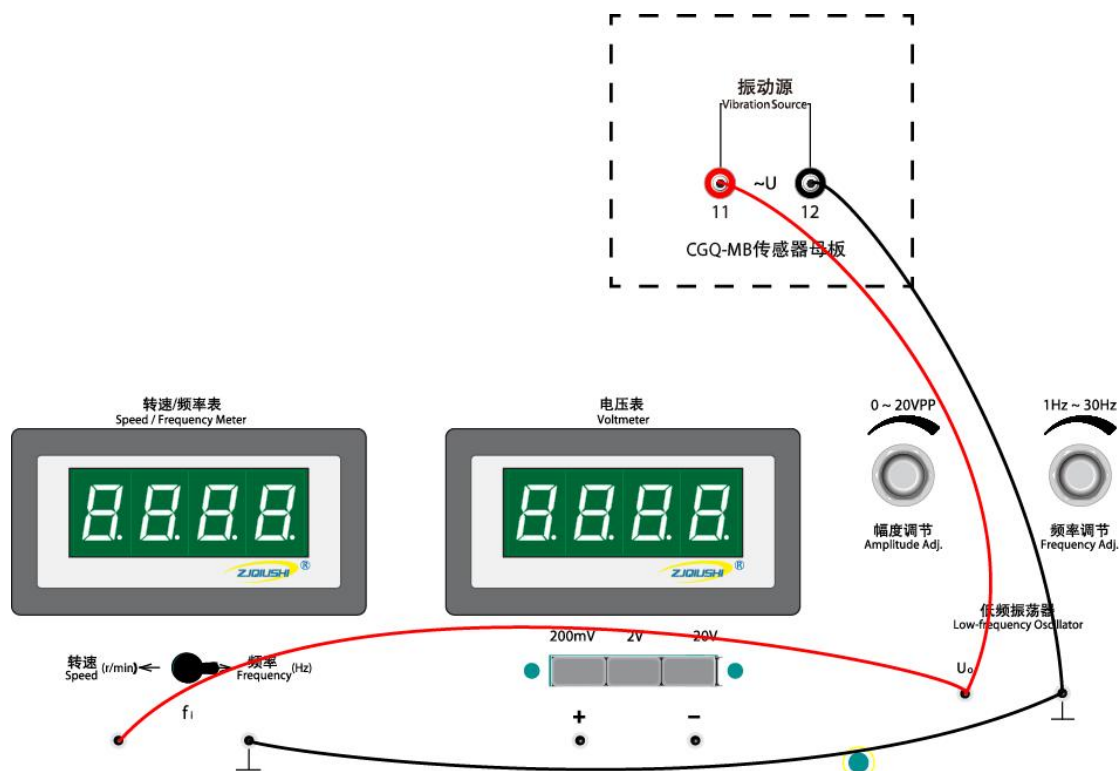


图 9.6

4. 保持低频振荡器输出幅值不变，改变低频振荡器的频率，用示波器的一个通道观察低频振荡器输出频率和幅值 V_{p-p} ，用示波器的另一个通道观察系统输出波形。比较两个通道波形、频率 f 、峰峰值 V_{p-p} 之间的关系。记录频率 f 和系统输出端的峰峰值 V_{p-p} ，作出圆盘振动台的振幅-频率特性曲线。
5. **转速测量。**按图 9.7 接线，转动源接直流电源 1.2-15V，电压表置 20V 档。将光纤探头转一角度置于转动圆盘上方对准反光部分，调节光纤探头高度，使电压表读数最大。直流电源接入转动源，转速/频率表置转速档。光纤输出信号经过变换器内部的整形电路整形后，在输出端得到方波输出，适当调节光纤探头高度可优化方波波形。改变直流电源电压旋钮可调节圆盘转速，读取一次方波频率计算圆盘转速，并与转速表上数据比对。

$$\text{圆盘转速} = \text{方波频率} / 8$$

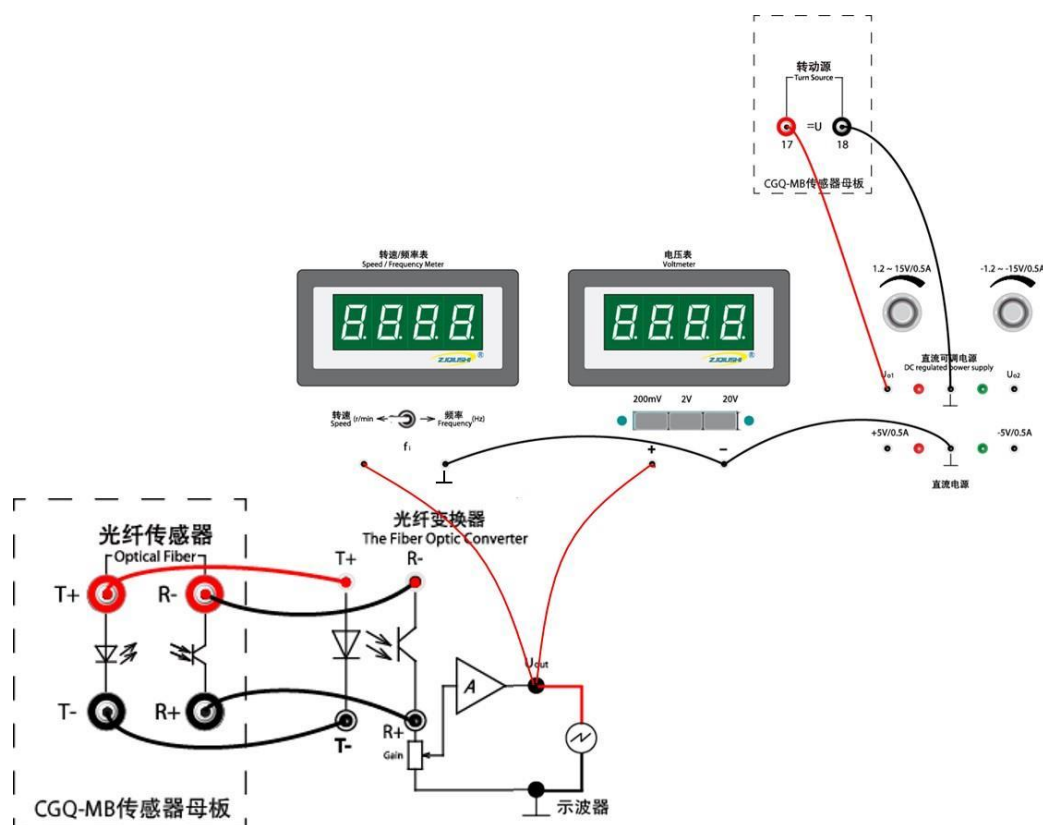


图 9.7

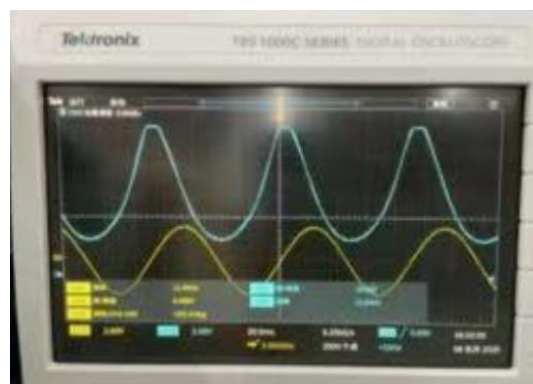
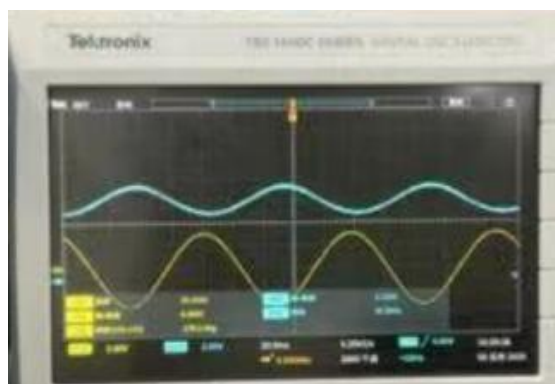
五、实验数据记录和处理

(一) 静态特性

X (mm):	U (V):												
0.0	0.00	0.1	0.32	0.2	2.24	0.3	3.79	0.4	5.75	0.5	7.72	0.6	9.57
0.7	11.43	0.8	12.89	0.9	13.91	1.0	13.90	1.1	13.90	1.2	13.90	1.3	13.90
1.4	13.90	1.5	13.90	1.6	13.90	1.7	13.90	1.8	13.90	1.9	13.90	2.0	13.90
2.1	13.90	2.2	13.90	2.3	13.90	2.4	13.90	2.5	13.90	2.6	13.90	2.7	13.90
2.8	13.90	2.9	13.90	3.0	13.90	3.1	13.90	3.2	13.90	3.3	13.90	3.4	13.90
3.5	13.90	3.6	13.90	3.7	13.90	3.8	13.90	3.9	13.90	4.0	13.90	4.1	13.90
4.2	13.88	4.3	13.88	4.4	13.88	4.5	13.88	4.6	13.88	4.7	13.88	4.8	13.88
4.9	13.88	5.0	13.88	5.1	13.88	5.2	13.88	5.3	13.88	5.4	13.88	5.5	13.88
5.6	13.88	5.7	13.88	5.8	13.88	5.9	13.88	6.0	13.88	6.1	13.88	6.2	13.88
6.3	13.88	6.4	13.88	6.5	13.88	6.6	13.88	6.7	13.88	6.8	13.88	6.9	13.88
7.0	13.88	7.1	13.88	7.2	13.88	7.3	13.88	7.4	13.88	7.5	13.88	7.6	13.61
7.7	13.34	7.8	13.03	7.9	12.74	8.0	12.47	8.1	12.21	8.2	11.95	8.3	11.69
8.4	11.44	8.5	11.21	8.6	10.97	8.7	10.73	8.8	10.51	8.9	10.29	9.0	10.07
9.1	9.88	9.2	9.66	9.3	9.45	9.4	9.25	9.5	9.07	9.6	8.88	9.7	8.70
9.8	8.51	9.9	8.34	10.0	8.17	10.1	8.01	10.2	7.84	10.3	7.67	10.4	7.53
10.5	7.39	10.6	7.25	10.7	7.11	10.8	6.97	10.9	6.83	11.0	6.69	11.1	6.56
11.2	6.43	11.3	6.30	11.4	6.19	11.5	6.07	11.6	5.95				

(二) 动态特性及振动和转速测量

f (Hz)	7	8	9	10	10.5	11	11.5	12	13
V _{pp} (V)	0.96	1.12	1.36	2.16	3.6	10.64	6.48	3.12	1.68

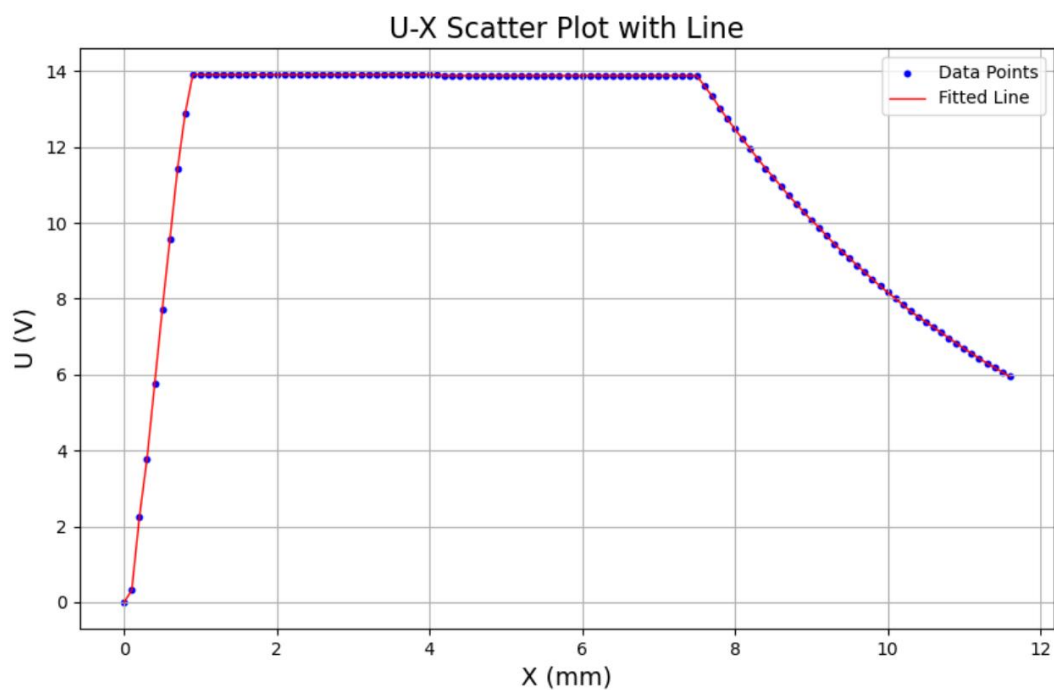


当圆盘转速 = 361r/min 时，方波频率 = 48.71Hz

当圆盘转速 = 420r/min 时，方波频率 = 55.58Hz

六、实验结果与分析

(一) 静态特性

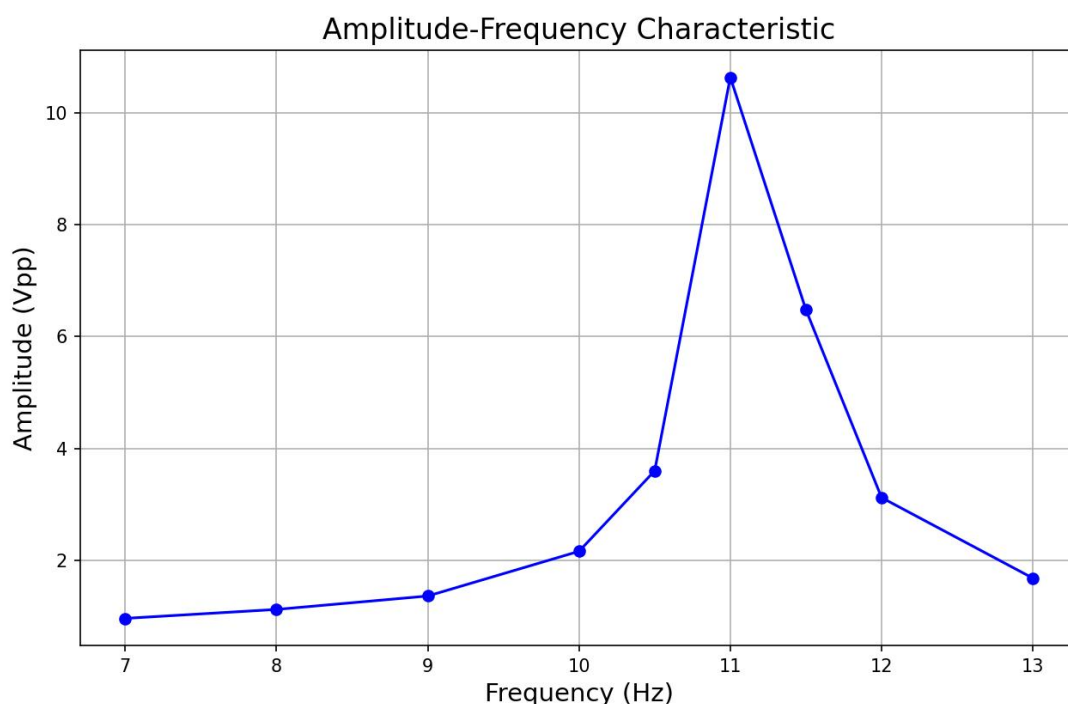


$$\text{灵敏度} = S = \Delta V / \Delta X = (V_2 - V_1) / (X_2 - X_1)$$

前坡灵敏度：16.88，线性范围：(0.0, 0.7)

后坡灵敏度：-1.89，线性范围：(8.1, 11.6)

(二) 动态特性及振动和转速测量



从振幅-频率特性曲线可以看出，在某一频率附近（约 11Hz）， V_{pp} 出现一个峰值，表明系统在该频率附近发生了共振。随着频率远离共振点， V_{pp} 迅速下降。

经计算：

$$361/60*8 = 48.13 \approx 48.71$$

$$420/60*8 = 56.00 \approx 55.58$$

符合公式：圆盘转速 = 方波频率 / 8

七、讨论、心得

1. 试以半圆式光纤的结构特点和光纤数值孔径的概念，解释所测得的特性曲线。

半圆式光纤一半是发射光纤，一半是接收光纤。这种结构决定了光纤位移传感器的工作方式是基于反射光强度的变化。当被测物距离探头较近时，反射光更容易被接收光纤接收，光强度较高。随着距离增加，耦合效率降低，光强度下降。光纤数值孔径（NA）决定了光纤能够接收或发射光线的角度范围。NA 越大，光纤能接收的光线角度范围越大，对光的收集能力越强。

对于特性曲线，当距离很小时，反射光大部分能进入接收光纤，输出电压随距离增加而迅速增大。这是因为随着距离增加，更多原本发散的光线能够进入接收光纤的接收角度范围内；

随着距离继续增加，到达一个最佳位置，此时接收光纤接收到的光强度达到最大值，但由于光强已经足够大，后续距离的增加对接收光强的提升不明显，导致输出电压变化很小，形成很长的饱和区。这可能是因为光纤位移传感器所使用的光电器件的量程限制，或者光信号经过放大后达到了放大器的饱和状态；

超过饱和区后，距离继续增加，进入接收光纤的光线越来越少，输出电压随距离增加而减小。这是因为反射光发散，只有一部分能进入接收光纤的接收角度范围内，而且随着距离增加，这部分比例越来越小。

2. 有哪些因素会影响特性曲线的斜率和线性范围？

(1) 光纤探头的结构： 发射和接收光纤的排列方式、光纤的芯径、数值孔径等都会影响光耦合效率，从而影响特性曲线的斜率和线性范围。

(2) 被测物表面的反射率： 反射率越高，反射光强度越大，特性曲线的斜率也会相应增大。如果反射面是漫反射，则线性范围会变小。

(3) 光源的强度和稳定性： 光源强度越高，反射光强度越大，特性曲线的斜率也会相应增大。光源不稳定会导致测量结果波动。

(4) 光纤变换器的增益： 增益越高，输出电压越大，但过高的增益可能会导致饱和，从而影响线性范围。

(5) 光纤探头与被测物表面的对准情况： 探头与表面垂直对准时，光耦合效率最高，特性曲线的斜率也会相应增大。

(6) 环境光的影响： 避免环境光直接照射到光纤探头或被测物表面，否则会引入噪声，影响测量精度。

3. 影响测量稳定性的因素有哪些？

(1) 光源的稳定性： 光源强度波动会导致输出电压波动，影响测量稳定性。

(2) 光纤连接的稳定性： 光纤连接松动或接触不良会导致光信号传输不稳定，影响测量稳定性。

(3) **温度变化：** 温度变化会影响光纤的传输特性和光电转换器的性能，从而影响测量稳定性。

(4) **振动干扰：** 环境振动会导致光纤探头与被测物之间的距离发生变化，引入测量误差。

(5) **电磁干扰：** 电磁干扰会导致测量电路产生噪声，影响测量稳定性。

(6) **光纤探头表面的清洁度：** 探头表面有灰尘或污渍会影响光耦合效率，从而影响测量稳定性。

(7) **被测物表面的稳定性：** 如果被测物表面不稳定（例如，表面粗糙度变化），会导致反射光强度波动，影响测量稳定性。

4. 圆盘转速为什么等于方波频率除以 8？

设圆盘转速为 N (r/min)，则圆盘旋转一周所需时间为 $60/N$ (s)。

由于圆盘上有 8 个反光片，所以每个反光片通过光纤探头所需时间为 $(60/N) / 8$ (s)。

方波频率 f (Hz) 等于每秒钟通过光纤探头的反光片数量，即 $f = 1 / [(60/N) / 8] = 8N / 60$ 。

因此，圆盘转速 $N = 60f / 8$ 。

本次实验，通过静态特性和动态特性的测量，我对光纤位移传感器的原理、结构和特性有了更深入的了解。我不仅掌握了光纤位移传感器的基本操作方法，还提高了数据处理和分析能力。更重要的是，我深刻体会到理论与实践相结合的重要性。