

浙江大学



《生物医学传感与检测》实验报告

项目名称：压电传感器的性能测试

姓名：

学号：

学院：生物医学工程与仪器科学学院

专业：生物医学工程

指导老师：陈凌翔

2026年4月30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: 探究型实验 指导老师: 陈凌翔

实验名称: 压电传感器的性能测试

学 生 一: 学 号: 专 业: 生物医学工程

学 生 二: 学 号: 专 业: 生物医学工程

实验地点: 玉泉教七西裙楼-303 日 期: 2026 年 4 月 30 日

目 录

一、实验目的	2
二、实验原理	2
三、实验器材	3
四、实验步骤	3
五、注意事项	4
六、原始实验数据记录	4
七、原始实验数据记录	4
八、数据处理与分析	4
8.1 示波器波形观察与对比	4
8.2 敲击试验台的毛刺现象	5
8.3 振幅—频率特性曲线与自振频率	6
九、问题和讨论	6
十、实验心得	6

一、实验目的

了解压电式传感器的结构、原理及应用。

二、实验原理

压电加速度计是根据压电原理制成的测量振动的传感器,图 1.1 是一种压电加速度计的结构示意图。

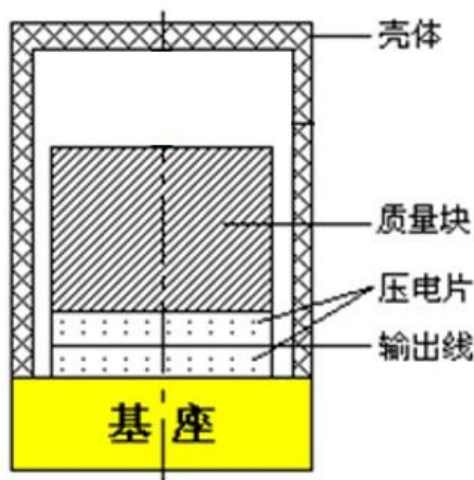


图 2.1 – 压电加速度传感器的结构示意图

压电元件固定在外壳基座上,其上的质量块施加预压力,当有一个振动激励该系统时,传感器内部的敏感质量块感受到振动后对压电元件施加作用力,作用力 F 可用下式表示:

$$F = ma$$

式中 m ——敏感块的质量; a ——敏感质量块的加速度。

由于压电元件的压电效应,压电元件受力后产生的电荷量与所其受到的力成正比,即

$$q = d_{ij}F = d_{ij}ma$$

式中 d_{ij} 压电材料的压电系数。

对于每只压电加速度计,其内装压电晶体的压电系数和敏感块质量均为常量,所以压电元件受力后产生的电荷量与加速度成正比。因此,只要测量压电加速度计输出的电荷量,即可确定振动所产生的加速度值,并可由此测量振动幅度。(振幅越大,加速度越大)

为了改善压电传感器的低频特性,常采用电荷放大器。电荷放大器由一个反馈电容 C_f 和高增益运算放大器构成,电荷放大器等效电路如下图 1.2 所示。

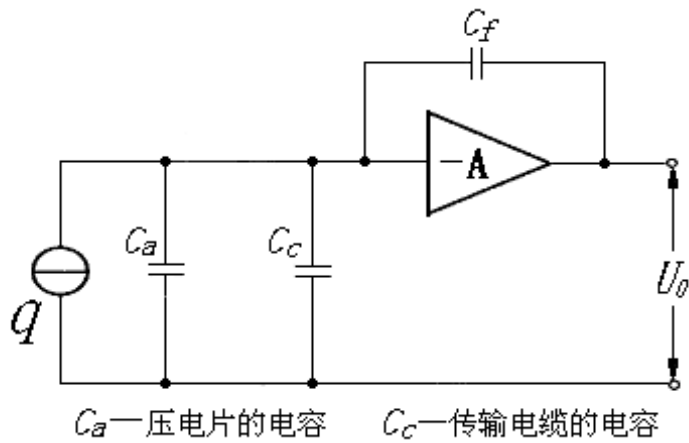


图 2.2 - 电荷放大器等效电路

当运算放大器的开环增益足够大时,电缆电容 C_c 和传感器电容 C_a 可以忽略,输出电压仅为输入电荷及反馈电容的函数:

$$U_o = -\frac{q}{C_f}$$

压电传感器不能用于静态测量,因为经过外力作用后产生的电荷,只有在测量电路具有无限大的输入阻抗时才能保存。而实际情况无法做到这样,这就决定了压电传感器只能测量动态的应力。在本实验中,当振动频率过低($< 3\text{ Hz}$)时,电荷放大器将无输出。

三、实验器材

压电加速度计、电荷放大器、低通滤波器、示波器、低频振荡器、转速/频率表、电源。

四、实验步骤

- (1) 观察压电加速度计结构,并将其安装在圆盘振动台上。
- (2) 压电加速度计与电荷放大器的接线用屏蔽线或者短线连接,实验接线参考图 1.3。

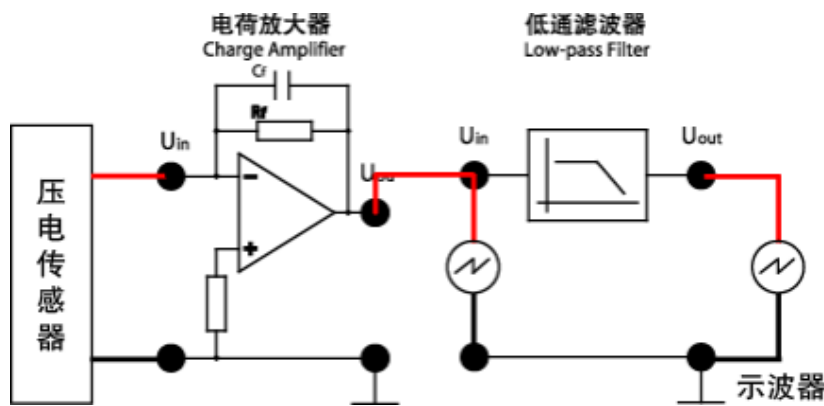


图 4.1 - 接线参考图

- (3) 将低频振荡器的输出端与频率表的输入端及振动源相连,图 1.4。

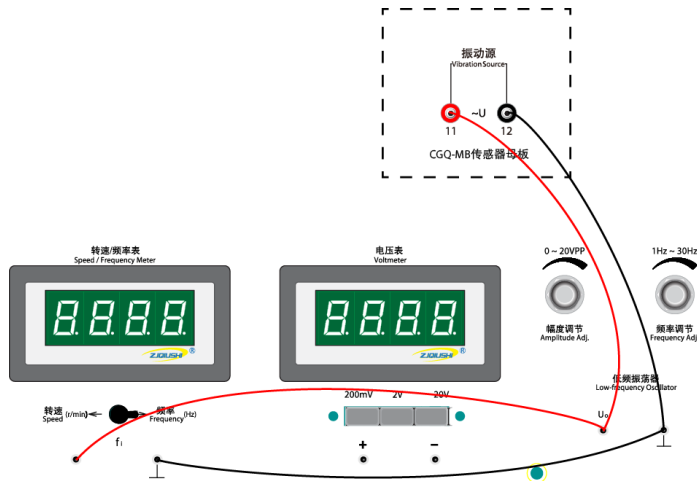


图 4.2 – 振动接线参考图

- (4) 将低频振荡器的频率打到 8-15Hz 范围内,频率表监测,调节低频振荡器的幅度旋钮,使整个频率范围圆盘工作台振动不至于过大。
- (5) 用示波器的两个通道同时观察电荷放大器与低通滤波器的输出波形,说明观察到的现象并解释原因。
- (6) 用手轻击试验台,观察输出波形的变化。可见敲击时输出波形会产生“毛刺”,试解释原因。
- (7) 保持低频振荡器的输出幅度不变,用频率表或示波器的一个通道读取低频振荡器的输出频率,改变输出频率 f ,从 8Hz 到 15Hz,用示波器的另一通道读取不同振动频率下测量系统输出电压的峰—峰值 V_{op-p} ,记录实验数据,填入表。
- (8) 根据实验结果,作出圆盘工作台的振幅—频率特性曲线,并指出圆盘工作台自振频率的大致数值。

五、注意事项

- (1) 圆盘工作台振动时应无碰撞现象,否则将严重影响输出波形。
- (2) 低频振荡器的幅度应适当,避免失真。
- (3) 仪器应可靠接地,以减小工频干扰。

六、原始实验数据记录

根据记录的实验数据，系统在不同驱动频率下的输出电压峰峰值如下表所示：

七、原始实验数据记录

根据记录的实验数据，系统在不同驱动频率下的输出电压峰峰值如下表所示：

表 7.1 – 不同振动频率下的输出电压峰峰值

频率 f (Hz)	8	9	10	11	12	13	14	15.3
输出峰峰值 V_{op-p} (V)	1.08	4.10	1.94	1.38	1.18	1.03	1.03	0.98

八、数据处理与分析

8.1 示波器波形观察与对比

用示波器的两个通道同时观察电荷放大器与低通滤波器的输出波形。

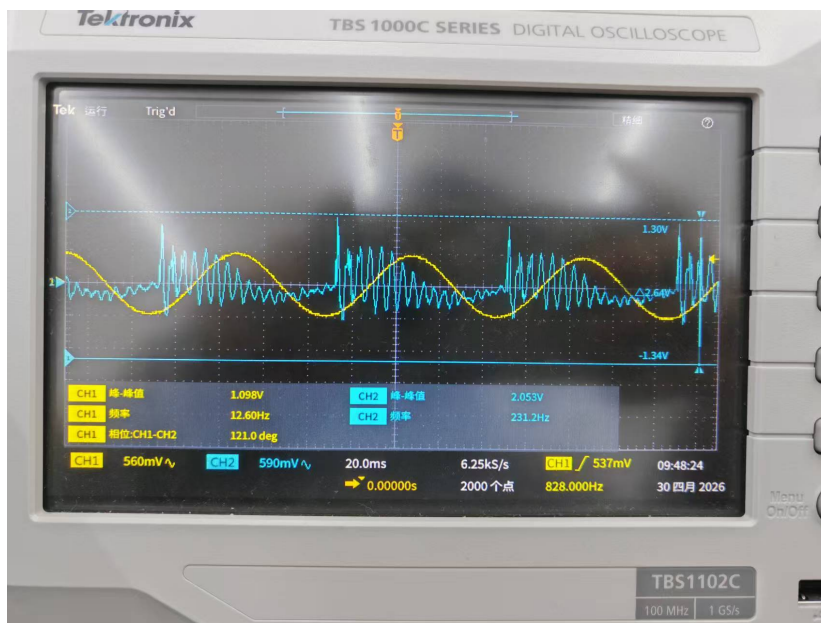


图 8.1 – 轻击试验台时的波形毛刺现象

观察到的现象：电荷放大器的直接输出波形上叠加了较多的高频干扰和噪声，波形较粗糙；而经过低通滤波器后的输出波形变得十分平滑，呈现为干净的低频正弦波。

原因解释：压电传感器和高阻抗的传输线路极易引入环境中的高频电磁干扰，且敲击或工作台机械运转的不规则振动也会产生高频泛音。低通滤波器有效滤除了这些高频噪声成分，仅保留了频率在 8-15Hz 附近的基础低频机械振动信号。

8.2 敲击试验台的毛刺现象

用手轻击试验台,观察到输出波形会产生“毛刺”。

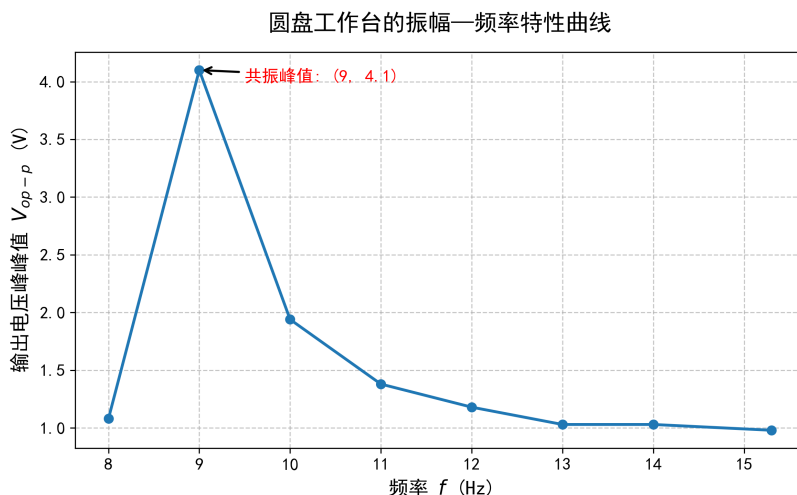


图 8.2 – 轻击试验台时的波形毛刺现象

这是因为手轻击试验台产生的是一种宽频带的瞬态机械冲击。压电加速度传感器本身的频率响应范围非常宽，能够极其灵敏地捕捉到这些高频的瞬态冲击振动。这些高频冲击信号转化为突变的电荷信号输出，在示波器上就表现为瞬间尖锐的突变电压，即“毛刺”。

8.3 振幅—频率特性曲线与自振频率

根据测量所得数据，绘制圆盘工作台的振幅—频率特性曲线如下：



共振频率分析：从数据和特性曲线上可以明显看出，当驱动频率 $f = 9\text{ Hz}$ 时，系统输出的电压峰峰值达到了最大值 4.1 V 。

这说明此时圆盘工作台的振幅最大，系统发生了共振现象。因此指出圆盘工作台的自振频率大致在 9 Hz 附近。

九、问题和讨论

1. 为什么电荷放大器与压电加速度计的接线必须用屏蔽线或者短线,否则会产生什么问题?

电荷放大器用于测量压电加速度计输出的极微弱电荷信号，且自身必须具备极高的输入阻抗。如果使用普通的非屏蔽长线进行连接，空间中复杂的电磁场（如 50 Hz 的工频干扰）极易耦合到传输线上并被高增益放大器放大，导致输出信号中混入严重的噪声干扰。同时，传输线过长会增加寄生电容（传输电缆电容 C_c ），从而降低测量系统的灵敏度和信噪比，严重时甚至引起信号的相移和波形失真。因此，必须使用屏蔽线或尽可能短的接线以削弱电磁干扰及寄生电容带来的负面影响。

十、实验心得

在本次压电加速度传感器的应用实验中，我深入探究了压电传感器的动态特性及其信号调理方法，收获颇丰。我不仅掌握了电荷放大器的工作原理，还学会了如何从示波器中提取并分析关键信号。观察低通滤波器前后的波形对比，让我直观地理解了信号去噪调理的必要性；敲击试验台产生的“毛刺”现象，则让我深刻认识到压电传感器极宽的频率响应特性以及对瞬态机械冲击极高的敏感度。

此外，通过编写代码绘制振幅-频率特性曲线，我们成功捕捉到了系统在 9 Hz 附近的机械共振点，这使我将抽象的机械共振理论与实际传感测量数据紧密结合在了一起。

最后，我要特别感谢陈凌翔老师和助教哥哥在实验操作和数据处理过程中给予的热情帮助和耐心点拨，使我的实验能够顺利、圆满地完成！