

浙江大学



《生物医学传感与检测》实验报告

项目名称：电阻应变式传感器性能测试及应用

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 9 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: 电阻应变式传感器性能测试及其应用

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 9 日

目 录

一、实验目的	2
二、实验内容和原理	2
2.1 实验内容	2
2.2 实验原理	2
三、实验器材	2
四、实验步骤	2
4.1 单臂电桥	2
4.2 半桥测量	3
4.3 全桥测量	3
五、注意事项	4
六、原始实验数据记录	4
七、数据处理与分析	4
八、问题讨论	6
九、实验心得	6

一、实验目的

观察了解金属箔式应变片的结构和粘贴方式；

测试悬臂梁变形的应变输出；

比较各种桥路的输出之间的关系。

二、实验内容和原理

2.1 实验内容

分别使用单臂、半桥、全桥的方式，测量不同方式的灵敏度。

2.2 实验原理

应变片是一种将试件上的应变转换成电阻变化的传感元件。测试时将应变片用粘合剂牢固地粘贴在测试件表面上。当试件受力发生机械变形时，应变片随之变形，其电阻也发生相应变化。通过电桥电路将电阻变化转换为电压变化。

电阻应变效应的关系式为： $\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}$ 式中 $\frac{\Delta R}{R}$ 为应变片电阻的相对变化， K 为应变片电阻的灵敏系数， $\frac{\Delta l}{l}$ 为应变片长度相对变化。

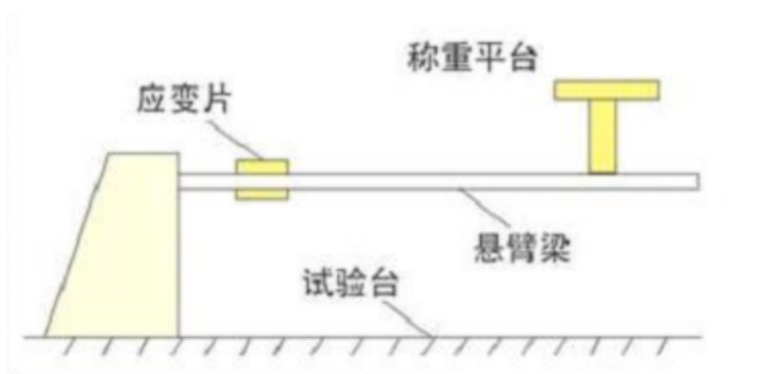


图 2.1 - 应变式传感器示意图

三、实验器材

双孔称重悬臂梁、金属箔式应变片（4 片，位于双孔称重悬臂梁上下表面）、砝码（5 个，每个 20g）、精密电阻 $R_1 = R_2 = R_3 = 350\Omega$ 、可变电阻 RW_1 、差动放大器、直流稳压电源、电压表（2V 量程）。

四、实验步骤

4.1 单臂电桥

（1）差动变换（放大）器 I 调零：用导线将差动变换器 I 的 U_{in1} 、 U_{in2} 、地短接，将差动变换器 I 的输出端与电压表的输入端正（+）相连，电压表的负（-）端接地；开启电源，调节差动变换器 I 的增益到最大位置（顺时针旋转到底），调整差动放大器 I 的调零旋钮使电压表显示为零，关闭电源。注意：在单臂、半桥和全桥实验中，放大器的增益要保持一致，不能改变，否则三种桥路输出电压没有可比性。

(2) 根据图接线, 电源可采用 $\pm 5V$, 电压表 2V 档。开启电源, 缓慢调节电桥平衡网络中的 RW1 使电压表显示为零(单臂单桥电路由于单个传感器与电阻结合有比较明显的温漂及线路噪声, 调零不易, 需要通电运行 2 分钟之后方可稳定)。

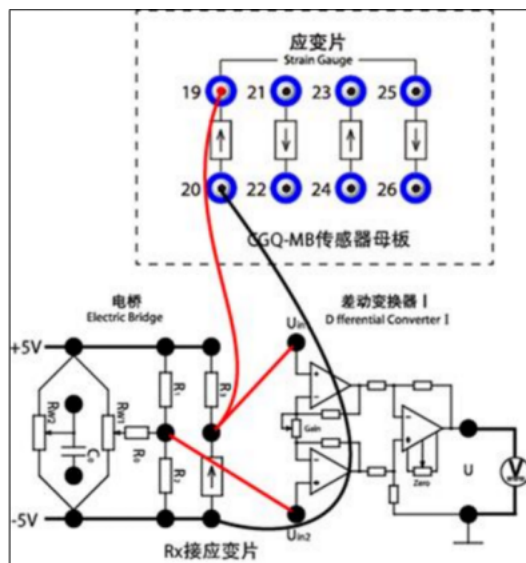


图 4.1 - 单臂电桥接线参考图

(3) 用手轻按一下应变片传感器上的托盘, 松开手后观察差动放大器 I 输出是否 ≈ 0 , 如果不是, 继续调节 RW1, 使输出 ≈ 0 。反复操作这个步骤 2-3 遍即可。

(4) 将砝码逐个轻轻地放在应变片传感器的托盘上, 注意不碰到导线以及实验仪的其他部位, 每放一个砝码 $\Delta m = 20g$ 记下一个电压数据。保持放大器增益不变继续以下实验。

4.2 半桥测量

按图 1.3 接线。从 RW1 调零开始, 重复单臂电桥实验步骤, 整理数据, 作出 $U - m$ 曲线。

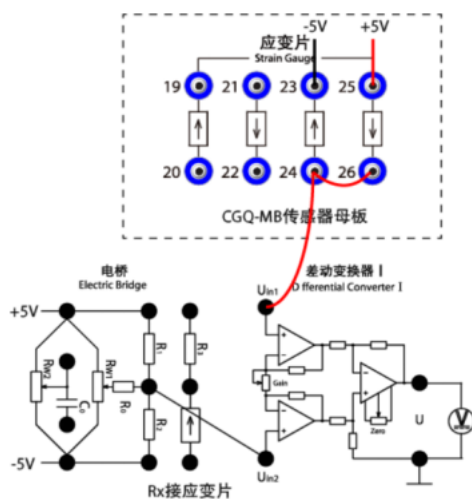


图 1.3 半桥测量接线参考图

4.3 全桥测量

按图 1.4 接线。从 RW1 调零开始, 重复单臂电桥实验步骤, 整理数据, 作出 $U - m$ 曲线。

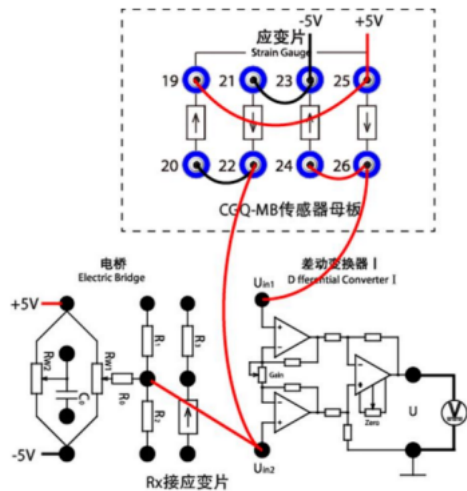


图 1.4 全桥测量接线参考图

五、注意事项

- 更换应变片时应将电源关掉，以免损坏片子。连好电路再开启电源。
- 实验完毕，关闭电源，所有旋扭转到初始位置。
- 存在温漂，一组实验记录尽量在短时间内完成。

六、原始实验数据记录

根据实验过程记录，以下为不同桥路接法下的输出电压（单位： V ）随载荷质量 m （单位： g ）变化的原始数据。为保证数据准确性，单臂和半桥的数据均选取了我们在排除初始误差后重新测量的第二组有效数据。

载荷质量 m (g)	0	20	40	60	80	100
单臂电桥 U (V)	-0.002	-0.004	-0.006	-0.007	-0.009	-0.011
半桥测量 U (V)	-0.003	-0.008	-0.012	-0.017	-0.022	-0.027
全桥测量 U (V)	-0.001	-0.010	-0.018	-0.027	-0.036	-0.046

表 1-电阻应变式传感器性能实验测试表

七、数据处理与分析

为方便对比三种桥路的灵敏度并消除初始调零误差，我们将各组初始电压平移至 0，并将电压转化为绝对变化量 $|\Delta U|$ （单位： mV ）。

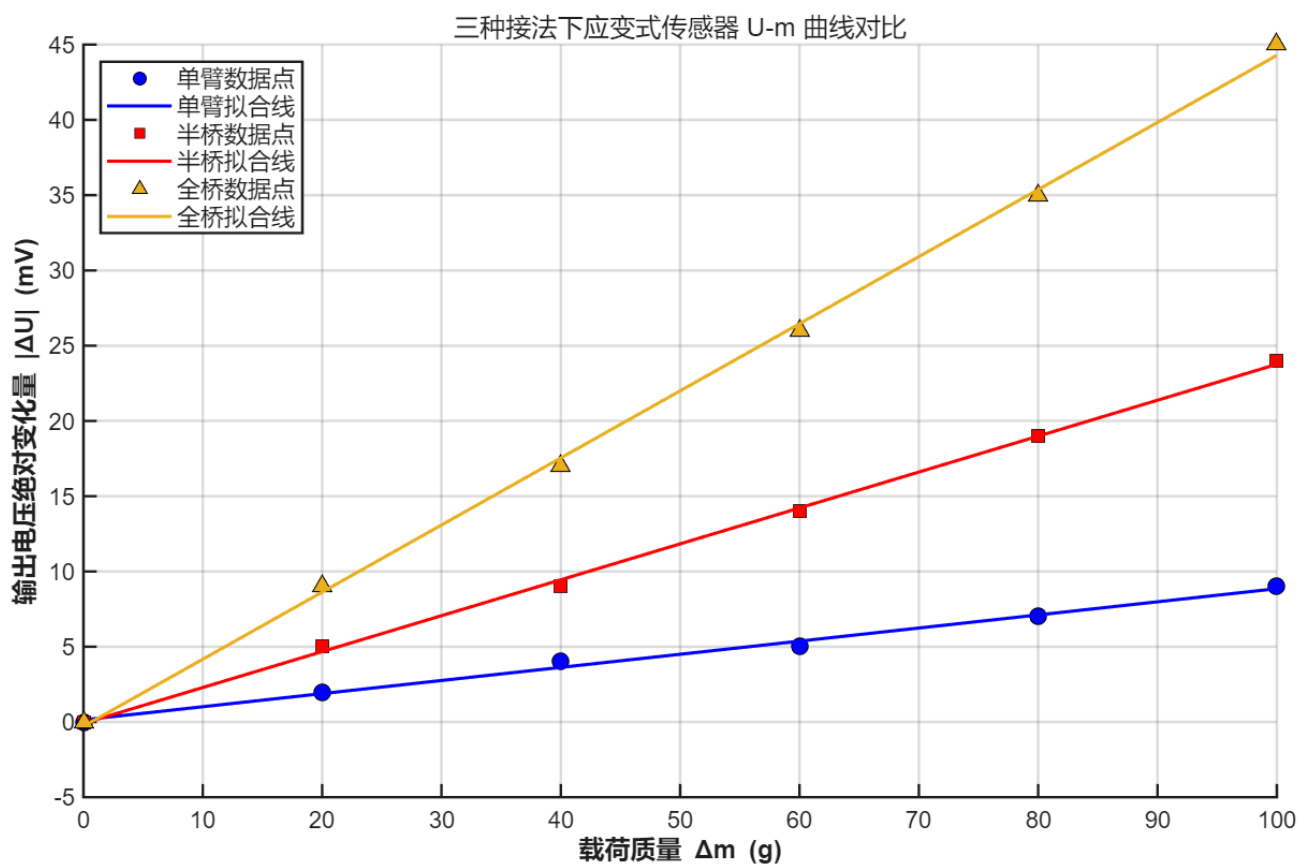


图 7.1 – 实验结果分析

根据实验数据进行线性拟合分析，计算灵敏度 $S = \frac{\Delta U}{\Delta m}$ ：

- 单臂电桥：拟合斜率即灵敏度 $K_1 \approx 0.089 \frac{V}{g}$
- 半桥测量：拟合斜率即灵敏度 $K_2 \approx 0.240 \frac{V}{g}$
- 全桥测量：拟合斜率即灵敏度 $K_3 \approx 0.451 \frac{V}{g}$

从理论上推导，相同应变下，单臂、半桥（双臂异号工作）和全桥的输出电压关系应为 1 : 2 : 4。
推导如下：

(1) 单臂电桥

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

$$U_O = \frac{E}{4} \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

$$\text{电压灵敏度 } K_{\text{单臂}} = \frac{E}{4}$$

(2) 半桥电路

∴

$$\Delta R_1 = \Delta R_2, R_1 = R_2, R_3 = R_4$$

$$U_O = \frac{E}{2} \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

$$\text{电压灵敏度 } K_{\text{半桥}} = \frac{E}{2}$$

(3) 全桥电路

∴

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4, R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

$$U_O = E \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

电压灵敏度 $K_{\text{全桥}} = E$ 在本实验数据中, 灵敏度比值约为 $S_1 : S_2 : S_4 = 1 : 2.7 : 5.1$ 。实验结果基本验证了桥臂越多 (全桥 > 半桥 > 单臂), 灵敏度越高的规律。基本符合理论推导关系, 有误差但也在合理范围之内。实际比值与理想 1 : 2 : 4 存在一定偏差, 其主要原因可能包括。

- (1) **单臂误差占比大**: 单臂电桥由于没有相邻桥臂进行温度补偿, 受环境温漂和线路噪声影响最为剧烈, 导致其自身的分母基准偏小。
- (2) **应变片粘贴不对称**: 悬臂梁上下表面的应变片位置无法做到绝对对称, 这在半桥和全桥差动计算时会引入非理想因子。
- (3) **非线性误差**: 单臂电桥的输出与电阻变化之间存在原理性非线性误差, 而差动电桥改善了这一特性。

八、问题讨论

已在“数据处理与分析部分”涉及

九、实验心得

在电阻应变传感实验中, 接线环节需要格外谨慎, 务必保证电路连接准确无误, 防止因连接错误造成测量数据失真或实验设备受损。建议在接线前对照电路图逐项确认每个连接点的正确性, 尤其要反复核查应变片的引线接法, 确保没有遗漏或接错。

放置砝码时也需注意位置的选择。由于杠杆原理的作用, 砝码处于应变片右侧不同位置会产生不同的力矩, 进而改变应变片的形变程度和电压表示数。为降低力矩偏差带来的干扰, 操作时宜将砝码集中摆放在同一固定位置, 尽量维持力臂一致, 这样测得的实验数据才更接近线性关系。

另外, 实验中的温度和环境变化也不可忽视。环境温度的波动可能引起应变片自身电阻值的漂移, 从而干扰测量准确性。因此在实验期间, 应尽量使周围温度保持稳定, 减少大幅度波动, 以保障结果的可靠性与重复性。

同时, 在本次探究悬臂梁电阻应变式传感器的实验中, 我不仅动手完成了电桥的搭建, 还对传感技术和电路理论有了极其深刻的体会, 尤其是对误差排查这一环节印象深刻。

我们在第一次测量单臂和半桥数据时, 发现记录的电压跳变极大, 比值也和理论相差较大。本着严谨求实的态度, 我们没有草率使用那组数据, 而是停下来重新检查。结果发现是由于初始调零不够彻底、导线接触不良加上环境温漂的共同影响所致。我们等通电预热稳定后, 重新精细调零并完成了第二组测试。虽然这让我们成为了最后一个离开实验室的组, 但最终数据呈现出单臂、半桥、全桥灵敏度依次倍增的规律, 且比值也叫符合理论实际。

从电路分析层面看, 本次实验让我直观地理解了惠斯通电桥中差动放大与补偿的精妙。半桥和全桥测量不仅仅是为了将灵敏度成倍提高, 更重要的是利用相邻桥臂电阻一增一减的特性, 巧妙地实现了非线性误差的抵消和温度干扰的补偿 (即共模抑制作用)。这也解释了为什么我们在做单臂电桥时调零最为困难。

最后，感谢实验中陈凌翔老师的帮助，我们得以解决一些操作过程中遇到的问题，可以说，这次实验总体是比较成功的！