



東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

传感器技术课程实 验学习报告

学生姓名: _____ 姜子玥

学生学号: _____ 71117201

东南大学计算机科学与工程学院、软件学院、人工智能学院

School of computer science & engineering

of software engineering of

artificial intelligence

Southeast University

二 0 二 零 年 六 月



实验一 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验

一、实验名称

金属箔式应变片——单臂电桥性能实验

二、实验目的

了解金属箔式应变片的应变效应及单臂电桥工作原理、性能与应用，掌握应变片测量电路。

三、实验内容及步骤

(一) 实验接线

将托盘安装到应变传感器的托盘支点上，根据图 1-1 接线示意图进行接线。

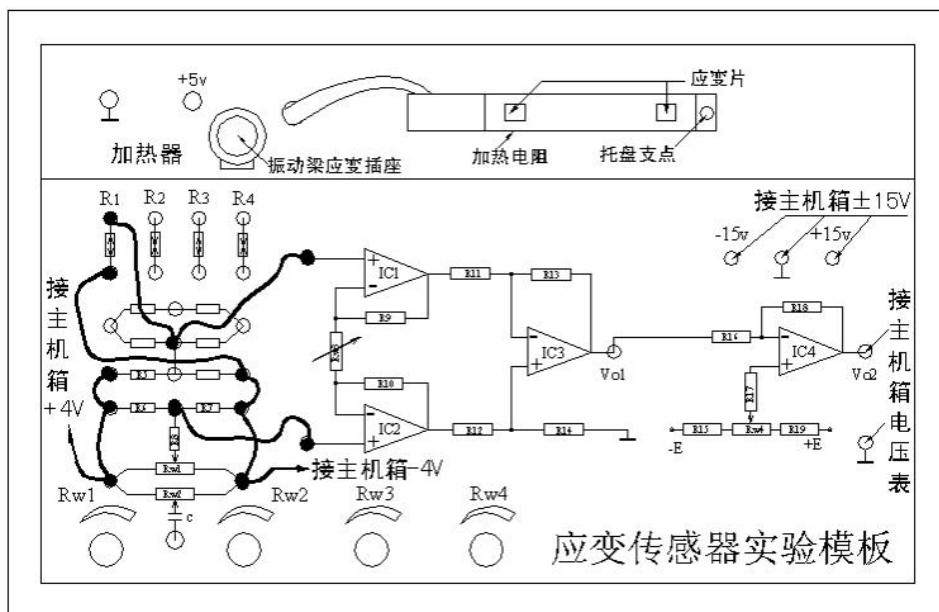


图 1-1 单臂电桥应变传感器实验模板、接线示意图

(二) 放大器调零

1. 将实验模板上差分放大器的两输入端口（运放 IC1、IC2 的+端）引线暂时脱开，再用导线将两输入端口短接（即差分放大器输入电压 $V_i = 0$ ）；
2. 调节差分放大器的增益电位器 RW3 大约到中间位置（先逆时针旋到底，再顺时针旋转 2 圈）；
3. 将主机箱电压表的量程切换开关打到 2V 档，合上主机箱电源开关；
4. 调节差分放大器的调零电位器 RW4，使电压表显示为零；
5. 将主机箱电压表的量程切换开关打到 200mV 档，调节差分放大器的调零电位器 RW4，使电压表显示为零。



(三) 电桥调零

1. 拆去差分放大器输入端口的短接线，将暂时脱开的引线复原；
2. 应变传感器的托盘上零负载，调节实验模板上的电桥平衡电位器 RW1，使电压表显示为零（根据输出电压的大小，可依次选择电压表 2V 档、200mV 档调零）

(四) 进行应变片单臂电桥实验

1. 在应变传感器的托盘上放置一只砝码，读取电压表数值并记录；
2. 在实验测量中，根据输出电压的大小，选择合适的电压表量程，本实验中选择 200mV 档；
3. 依次增加砝码、读取记录相应的电压表数值，直到 200g 砝码加完
4. 将实验结果填至表 1-1 中

重量(g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压(mV)	5.0	8.6	11.9	15.3	18.7	22.1	25.4	28.8	32.1	35.5

表 1-1

5. 根据表 1-1 绘制实验曲线，计算系统灵敏度 S 和非线性误差 δ
6. 实验完毕关闭电源

四、实验结果与分析

根据表 1-1 数据绘制得到实验曲线图如下图 1-2 所示：

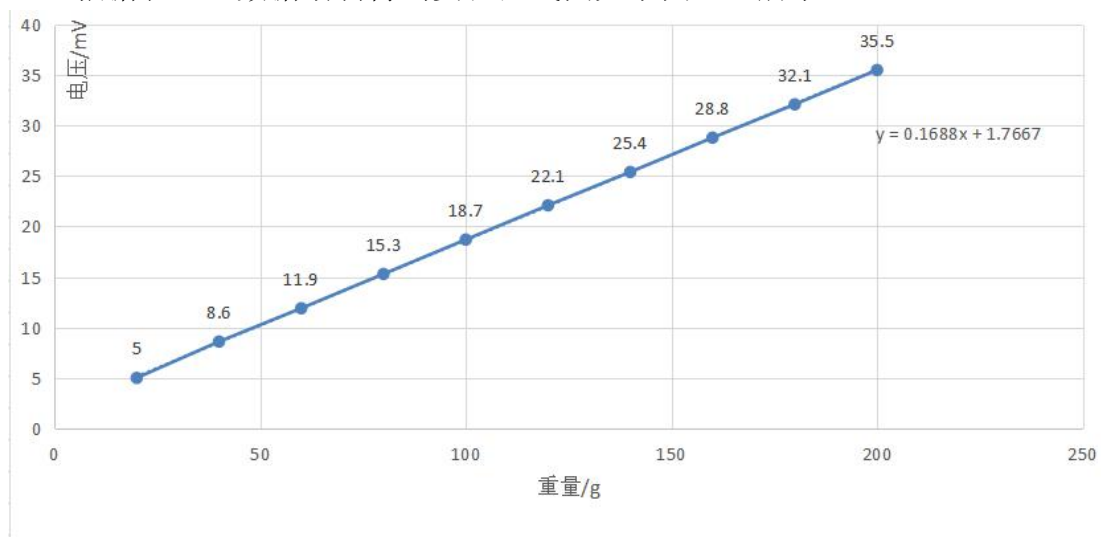


图 1-2 曲线图

根据图 1-2，系统灵敏度 $S = \frac{\Delta U}{\Delta W} = 0.1688$



東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

非线性误差 $\delta = \frac{\Delta m}{yFs} = \frac{0.1427}{200} \times 100\% = 0.07135\%$

五、思考题

单臂电桥工作时，作为桥臂电阻的应变片应选用：

- (1) 正（受拉）应变片；
- (2) 负（受压）应变片；
- (3) 正、负应变片均可以。

答：应该选（3）正、负应变片均可以，因为单臂电桥对应变计的受力方向没限制，不管应变计受拉还是受压，其阻值都会发生变化，从而使得桥路有电压输出。

六、学习体会

经过观看本实验的操作解说视频以及学习实验指导书，我了解到了金属箔式应变片的应变效应及单臂电桥工作原理、性能与应用，同时掌握了应变片测量电路。对于如何得到实验结果，对实验数据进行绘图从而得到实验结果有了更深的体会，操作技能也更加熟练。

实验三 金属箔式应变片——全桥性能实验

一、实验名称

金属箔式应变片——全桥性能实验

二、实验目的

比较全桥、半桥与单臂电桥的不同性能，了解其特点。

三、实验内容及步骤

（一）实验原理图

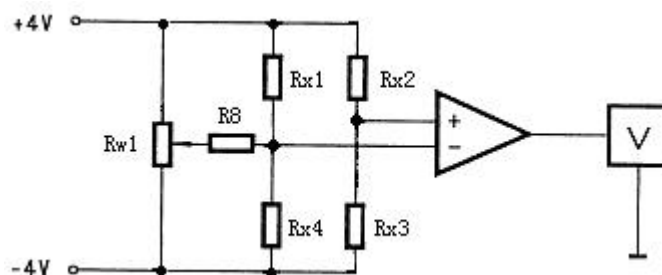




图 3-1 实验原理图

(二) 实验接线

将托盘安装到应变传感器的托盘支点上，根据图 3-2 接线示意图进行接线。

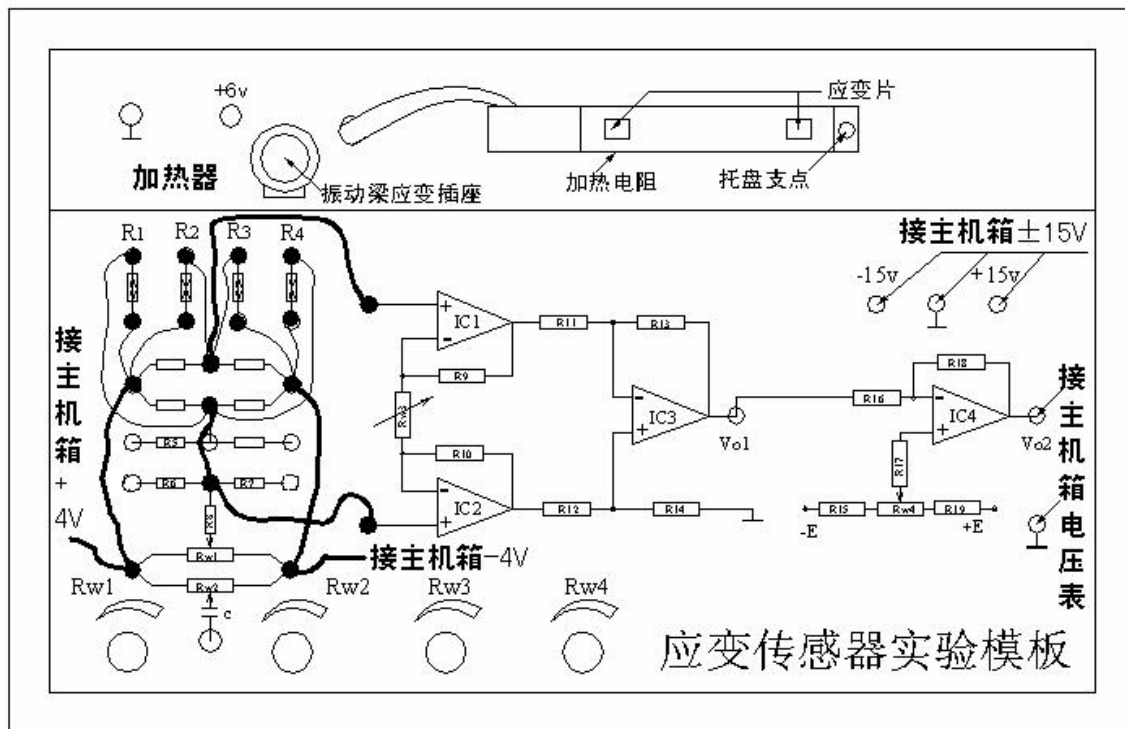


图 3-2 全桥应变传感器实验模板、接线示意图

(三) 放大器调零

在做实验一时，已经完成了放大器调零，所以不需要再进行放大器调零，即不需要再调节差分放大器的调零电位器 RW4。

同时，为了比较全桥、半桥与单臂电桥的性能，不要再改变差分放大器的增益，即不要再调节差分放大器的增益电位器 RW3。

如果没有做实验一，请参考实验一进行放大器调零。

(四) 电桥调零

应变传感器的托盘上零负载，调节实验模板上的电桥平衡电位器 RW1，使电压表显示为零（根据输出电压的大小，可依次选择电压表 20 V 档、2V 档、200mV 档调零）。

(五) 进行应变片全桥实验

1. 在应变传感器的托盘上放置一只砝码，读取电压表数值并记录；
2. 在实验测量中，根据输出电压的大小，选择合适的电压表量程，本实验中选择 200mV 档；
3. 依次增加砝码、读取记录相应的电压表数值，直到 200g 砝码加完
4. 将实验结果填至表 3-1 中

重量(g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
-------	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



电压(mv)	14.2	29.1	44.5	60.1	75.6	91.1	106.4	121.7	137.0	152.2
--------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------

表 3-1

5. 根据表 3-1 绘制实验曲线，计算系统灵敏度和非线性误差 δ
6. 实验完毕关闭电源

四、实验结果与分析

根据表 3-1 数据，绘制实验曲线如图 3-1 所示

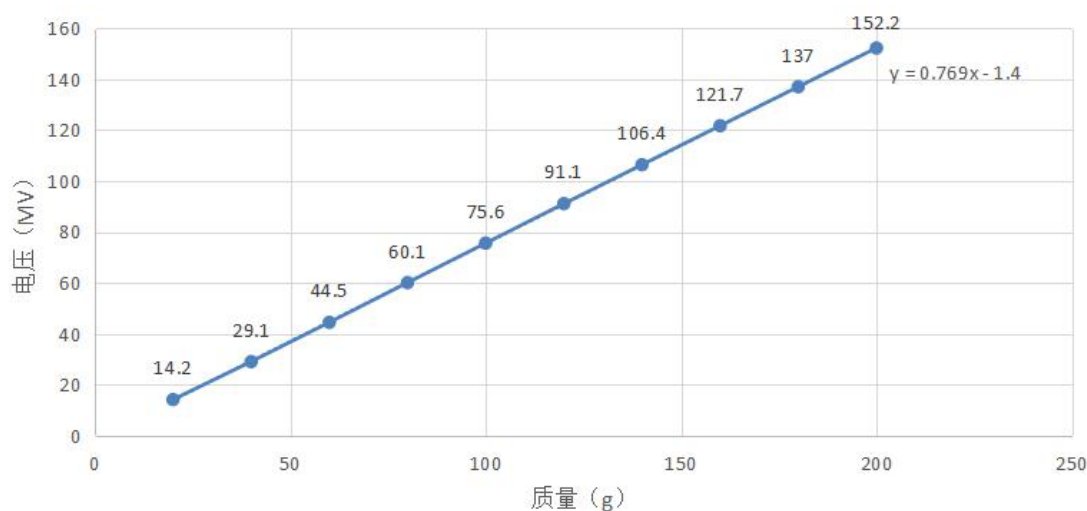


图 3-1 实验曲线

根据图 3-1，系统灵敏度 $S = \frac{\Delta U}{\Delta W} = 0.769$

非线性误差 $\delta = \frac{\Delta m}{yFs} = \frac{0.26}{200} = 0.0013$

五、思考题

1. 测量中，当两组对边（如 R_1 、 R_3 为对边）电阻值 R 相同时，即 $R_1 = R_3$ ， $R_2 = R_4$ ，而 $R_1 \neq R_2$ 时，是否可以组成全桥：

- (1) 可以；
- (2) 不可以。

答：选 (2) 不可以，因为电桥平衡的条件为 $R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4$ 。

2. 某工程技术人员在进行材料拉力测试时，在棒材上贴了两组应变片，如图 3-2，能否利用这四片应变片组成电桥？是否需要外加电阻？

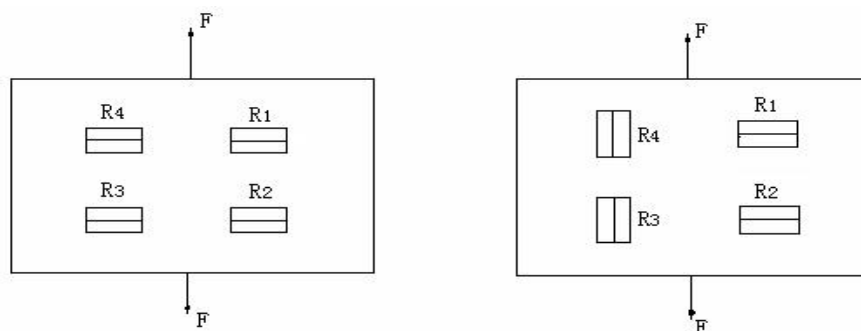


图 3-2 受拉力时应变式传感器圆周面展开图

答：能够利用它们组成电桥。

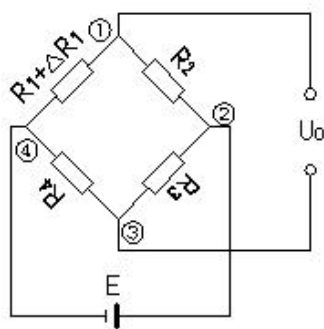
左图中 4 个应变片对称分布于测试棒上，检测试件横向拉力，如果一直试件泊松比则可知试件纵向应变。任意选取两个电阻接入电桥的对边，输出为两倍的横向应变，并选取外加电阻使电桥平衡；

右图中 R3、R4 应变片检测试件纵向拉力，R1、R2 检测横向拉力，可以选取 R3、R4 接入电桥对边，输出为两倍的纵向应变。需要接入与应变阻值相等的电阻组成电桥。

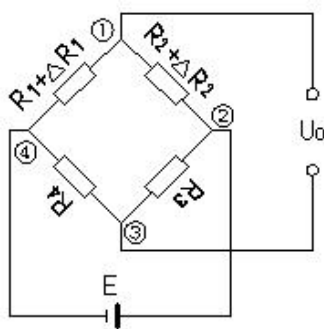
3. 金属箔式应变片单臂、半桥、全桥性能比较

基本原理如图 3-3 (a)、(b)、(c)。比较单臂、半桥、全桥输出时的灵敏度和非线性度，根据实验结果和理论分析，阐述原因，得出相应的结论。

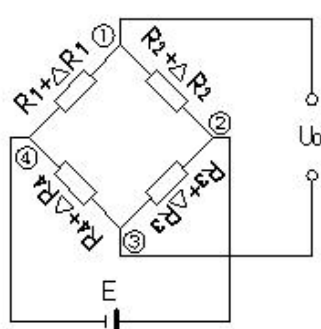
注意：比较实验中，(a)、(b)、(c) 放大电路的放大器增益必须相同。



(a) 单臂



(b) 半桥



(c) 全桥

图 3-3 应变电桥

答：单臂：



東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

$$U_0 = U_1 - U_3 = \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) E = \left(\frac{1 + \frac{\Delta R_1}{R_1}}{1 + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1}} - \frac{\frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{R_4}{R_3}} \right) E$$

设 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, 且 $\frac{\Delta R_1}{R_1} \ll 1$, $U_0 \approx \frac{\Delta R_1}{4R_1} E$

所以电桥的电压灵敏度: $S = \frac{U_0 R_1}{\Delta R_1} \approx kE = \frac{E}{4}$

半桥: $U_0 \approx \frac{\Delta R_1}{2R_1} E$
 $S = E$

全桥: $U_0 \approx \frac{\Delta R_1}{R_1} E$
 $S = E$

从以上可以看出, 在灵敏度方面全桥的灵敏度最高, 半桥次之, 单臂最差; 非线性度方面, 单臂的非线性度最高即线性度最差, 单桥次之, 全桥的非线性度最好。

理论上: 灵敏度: 单臂 $S = \frac{E}{4}$, 半桥 $S = \frac{E}{2}$, 全桥 $S = E$ 。

非线性度: 单臂 $\delta = \left| \frac{K_\varepsilon}{2 + K_\varepsilon} \right| \times 100\%$, 半桥 $\delta = 0$, 全桥 $\delta = 0$ 。

如前所述, 由于外界因素, 导致我们的非线性误差计算存在很大偏差, 但是根据理论分析来看, 全桥利用差动技术, 能够有效提高灵敏度、降低非线性误差、有效地补偿温度误差。

4. 金属箔式应变片的温度影响

电阻应变片的温度影响主要有两个方面: 敏感栅丝的温度系数, 应变栅的线膨胀系数与弹性体 (或被测试件) 的线膨胀系数不一致而产生附加应变。当温度变化时, 即使被测体受力状态不变, 输出也会有变化。

(1) 按照全桥性能实验步骤, 将 200g 砝码放在砝码盘上, 在数显表上读取数值 U_{01} ;

(2) 将主机箱中直流稳压电源 +5V、地 (⊥) 接于实验模板的加热器电源 +、地 (⊥) 插孔上, 数分钟后待电压表显示基本稳定后, 记下读数 U_{0t} ;



東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

(3) ($U_{ot} - U_{o1}$) 即为温度变化的影响。

温度变化产生的相对误差:

$$\delta = \frac{U_{ot} - U_{o1}}{U_{o1}} \times 100\%$$

(4) 如何消除金属箔式应变片温度影响?

答: 可以采用温度自补偿法或者桥路补偿法。

六、学习与体会

通过对实验视频以及实验指导书的学习, 完成了实验的整个流程; 更加理解了全桥、半桥与单臂电桥的不同性能以及其特点。单臂电桥的灵敏度最低, 半桥的灵敏度比单臂电桥和全桥的灵敏度高; 这次的实验为以后的应用打下理论和实践基础。通过思考题的练习, 对于相关知识点理解更加深刻。

实验四 电容式传感器位移实验

一、实验名称

电容式传感器位移实验

二、实验目的

了解电容式传感器结构及其特点。

三、实验内容及步骤

(一) 实验接线

1. 按图 4-1 将电容传感器装于电容传感器实验模板上, 实验模板的输出 V_{o1} 接主机箱电压表的 V_{in} 。
2. 旋转测微头, 使测微头刻度大概在中间位置的某整数上, 再将测微头固定在实验模板上。



V(v)	1.030								
------	-------	--	--	--	--	--	--	--	--

7. 将数据填入表 4-1 并作出 X—V 实验曲线。

表 4-1 电容传感器位移与输出电压值

8. 根据表 4-1 数据计算电容传感器的系统灵敏度 S 和非线性误差 δ 。

9. 实验完毕，关闭电源

四、实验结果与分析

根据表 4-1 作出 X-V 实验曲线如图 4-1 所示

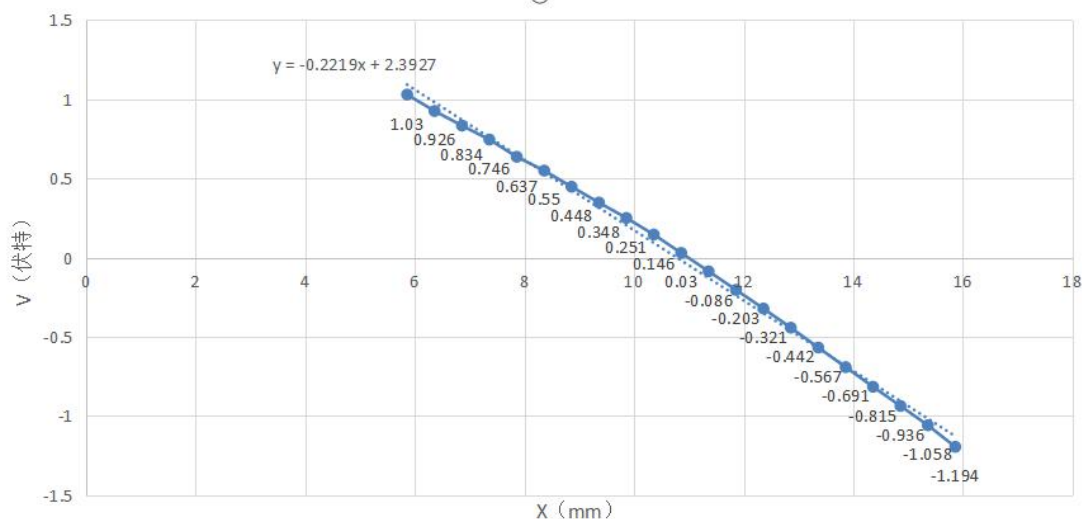


图 4-1 X-V 实验曲线

根据图 4-1，系统灵敏度 $S = \frac{\Delta V}{\Delta X} = 0.2219$

非线性误差 $\delta = \frac{\Delta X}{yFs} = \frac{0.067366}{10} = 0.0067366$ 其中 ΔX 表示输出值（多次

测量时为平均值）与拟合直线的最大偏差

五、思考题

试设计利用 ϵ 的变化测谷物湿度的传感器原理及结构？能否叙述一下在设计中应考虑哪些因素？

答：原理：测谷物的湿度时，稻谷的含水率不同，介电常数也不同，可确定谷物含水率，当电容的 A 与 d 为恒定值， $C = f(\epsilon)$ 中 ϵ 发生变化。



東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

结构：传感器为上下两个极板，谷物从传感器之间穿过

考虑因素：感应器是否与谷物接触的充分、谷物是否均匀的从传感器之间穿过以及直板传感器的边缘效应。

六、学习与体会

经过本次实验，对于电容式传感器结构及其特点有了更深的理解，电容式传感器有以下特点：

1) 结构简单，适应性强 电容式传感器结构简单，易于制造，精度高；可以做得很小，以实现某些特殊的测量，电容式传感器一般用金属作电极，以无机材料作绝缘支承，因此可工作在高温、强辐射及强磁场等恶劣的环境中，能承受很大的温度变化，承受高压、高冲击、过载等；能测超高压和低压差。

2) 动态响应好 电容式传感器由于极板间的静电引力很小，需要的作用能量极小，可动部分可以做得小而薄，质量轻，因此固有频率高，动态响应时间短，能在几兆赫的频率下工作，特适合于动态测量；可以用较高频率供电，因此系统工作频率高。它可用于测量高速变化的参数，如振动等。

3) 分辨率高 由于传感器的带电极板间的引力极小，需要输入能量低，所以特别适合于用来解决输入能量低的问题，如测量极小的压力、力和很小的加速度、位移等，可以做得很灵敏，分辨力非常高，能感受 $0.001\ \mu\text{m}$ 甚至更小的位移。

4) 温度稳定性好 电容式传感器的电容值一般与电极材料无关，有利于选择温度系数低的材料，又由于本身发热极小，因此影响稳定性也极微小。

5) 可实现非接触测量、具有平均效应 如回转轴的振动或偏心、小型滚珠轴承的径向间隙等，采用非接触测量时，电容式传感器具有平均效应，可以减小工件表面粗糙度等对测量的影响。

不足之处是输出阻抗高，负载能力差，电容传感器的电容量受其电极几何尺寸等限制，一般为几十皮法到几百皮法，使传感器输出阻抗很高，尤其当采用音频范围内的交流电源时，输出阻抗更高，因此传感器负载能力差，易受外界干扰影响而产生不稳定现象；寄生电容影响大，电容式传感器的初始电容量很小，而传感器的引线电缆电容、测量电路的杂散电容以及传感器极板与其周围导体构成的电容等“寄生电容”却较大，降低了传感器的灵敏度，破坏了稳定性，影响测量精度，因此对电缆的选择、安装、接法都要有要求。