

作业

- ❖ 试分析正余弦旋转变压器负载时产生误差的原因及解决办法？
- ❖ 说明感应同步器几种信号处理方式？
- ❖ 简述编码器四细分原理及作用？
- ❖ 分析M/T法与M法和T法的关系及其优缺点与应用场合？
- ❖ 简述测速发电机在控制系统中的作用？
- ❖ 简述编码器分辨率与最大输入速率的关系？举例说明在选择码盘时的注意事项及相关计算方法？
- ❖ 1-3题为全体同学必做题，1-6题为“自学同学”必做题！
- ❖ 提交时间12月20日前。

自动控制元件及线路 测量元件

阻容感传感器

哈尔滨工业大学空间控制与惯性技术研究中心 伊国兴

本课件部分内容参考仿真中心陈松林老师相关课件



目 录

1 电阻式传感器

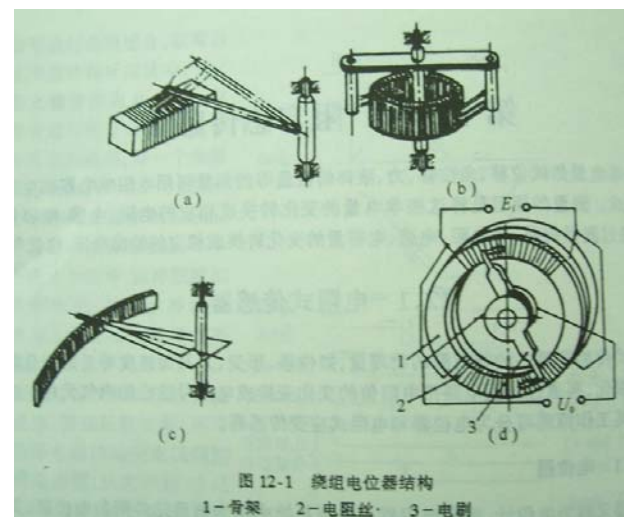
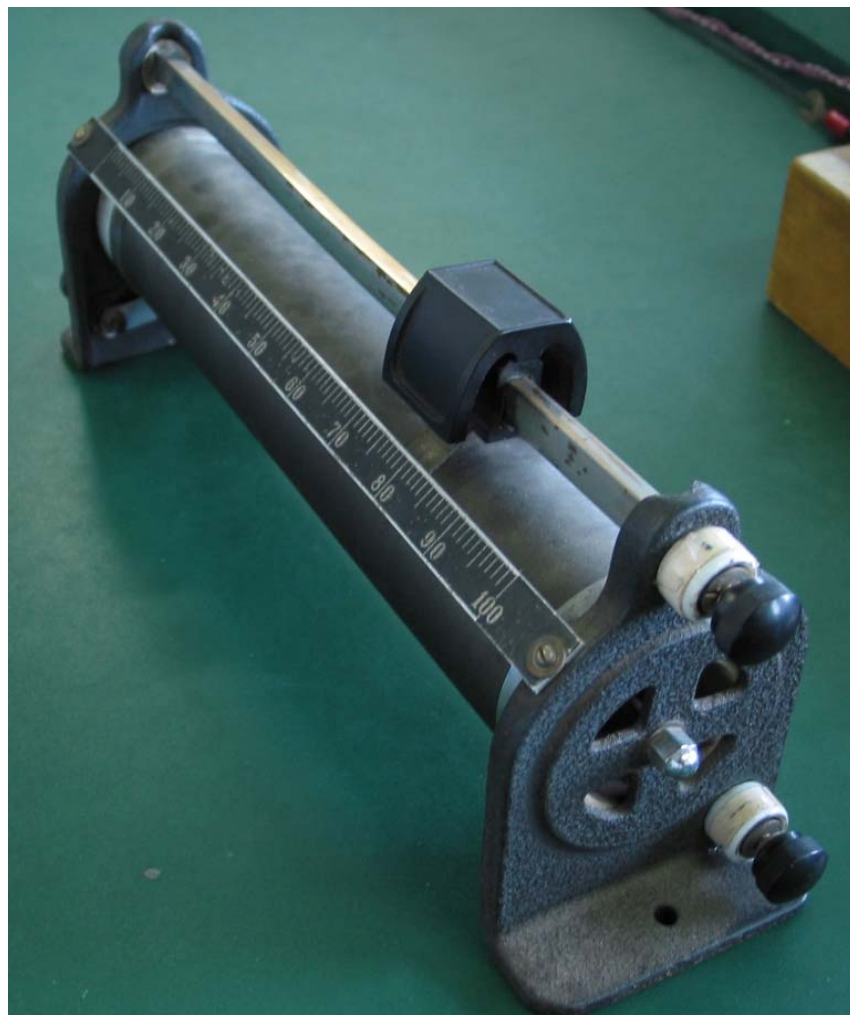
2 电感式传感器

3 电容式传感器

12.1 电阻式传感器

- ❖ 电阻式传感器的功能是将位移及与位移有关的物理量转换成电阻值，再通过测量电路把电阻值转换成电信号输出。
- ❖ 电阻式传感器按工作原理可分为电位器和电阻式应变传感器。

12.1.1 电位器



12.1.1 电位器

- ❖ 又称可变电阻器。作为测量元件，将位移转换为电压信号。
- ❖ **优点：**构造简单，性能稳定，精度较高，信号处理非常简单。位移传感器的首选元件。
- ❖ **缺点：**电刷和电阻元件之间存在滑动摩擦接触，电刷和电阻元件容易磨损。

12.1.1 电位器



一、电位器的分类

(1) 线绕式和非线绕式

(2) 旋转式电位器和线位移电位器

(3) 旋转式，多圈和单圈

12.1.1 电位器



二、电位器的结构

电位器由电阻元件及电刷等部分组成

1. 线绕电位器

由三部分组成

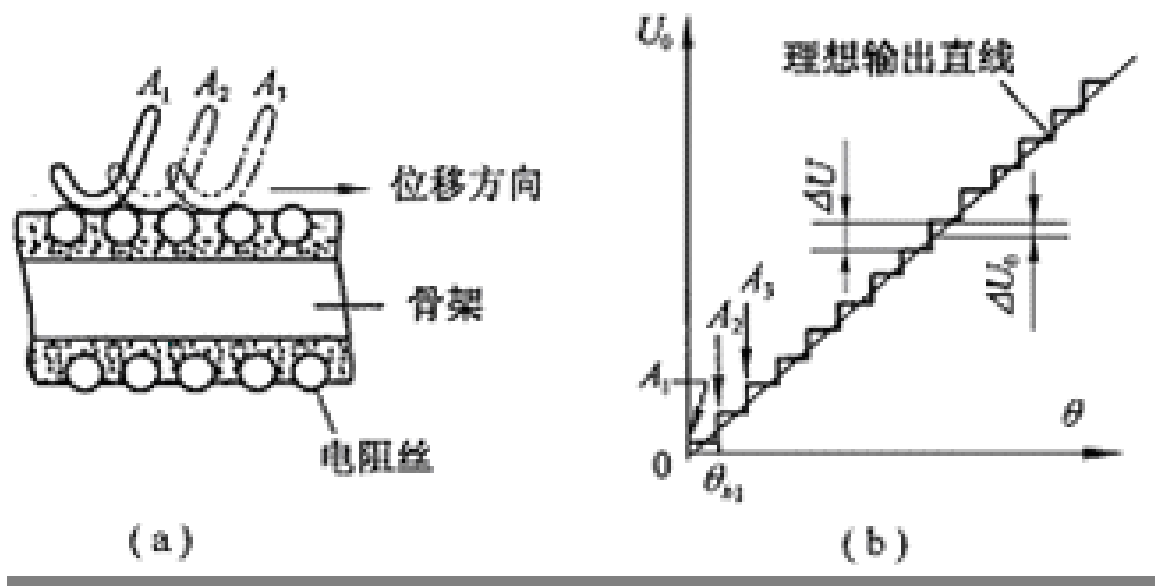
- (1) 绕组 由电阻丝缠绕在骨架上形成绕组
- (2) 骨架 多圈电位器的骨架是螺旋状的
- (3) 电刷 铜、银、铂铱、铂铑

12.1.1 电位器

二、电位器的结构

1. 线绕电位器

线绕电位器电阻值的变化不连续，一匝一匝突跳，所以有阶梯误差。



12.1.1 电位器

2. 非线绕电位器

- ❖ 这种电位器所用的电阻元件包括碳质电阻，金属陶瓷电阻，金属膜电阻和导电塑料电阻。
- ❖ 导电塑料的优点是旋转寿命长。表面特别光滑，所以分辨率非常高。
- ❖ 高性能的伺服系统中经常使用导电塑料电位器。

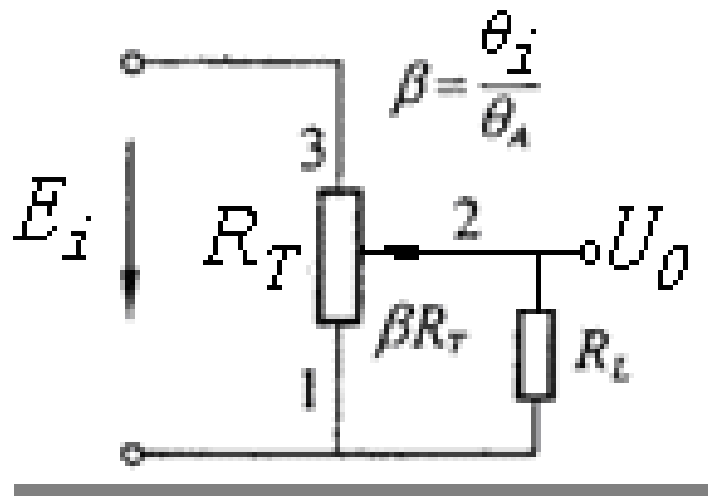
12.1.1 电位器

三、电位器的输出特性

测量单方向位移输出电压为单极性电压。图中 R_T 是电位器总电阻，1、2端电阻是 βR_T 。 θ_i 是电刷位置角，也是电位器角位移。 θ_A 是电位器的常数，测角范围。 E_i 是电源， U_0 是输出电压， R_L 是负载电阻。

$$U_0 = \frac{E_i \beta}{1 + (\beta - \beta^2) \frac{R_T}{R_L}}$$

理想输出值 $U_0 = E_i \beta = K \theta_i$



12.1.1 电位器

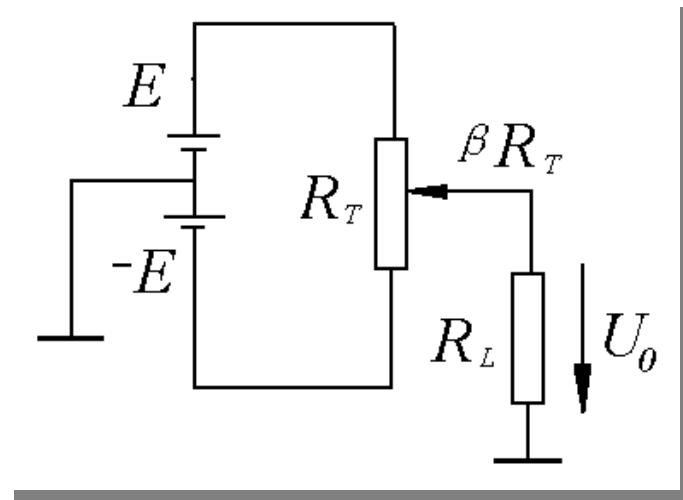
测量正、负方向位移

$$U_0 = \frac{K}{1 + (\beta - \beta^2) \frac{R_T}{R_L}} \theta_i$$

K 是常数,理想输出值

$$U_0 = K \theta_i$$

R_L/R_T 越大,误差越小。



12.1.2 应变式电阻传感器

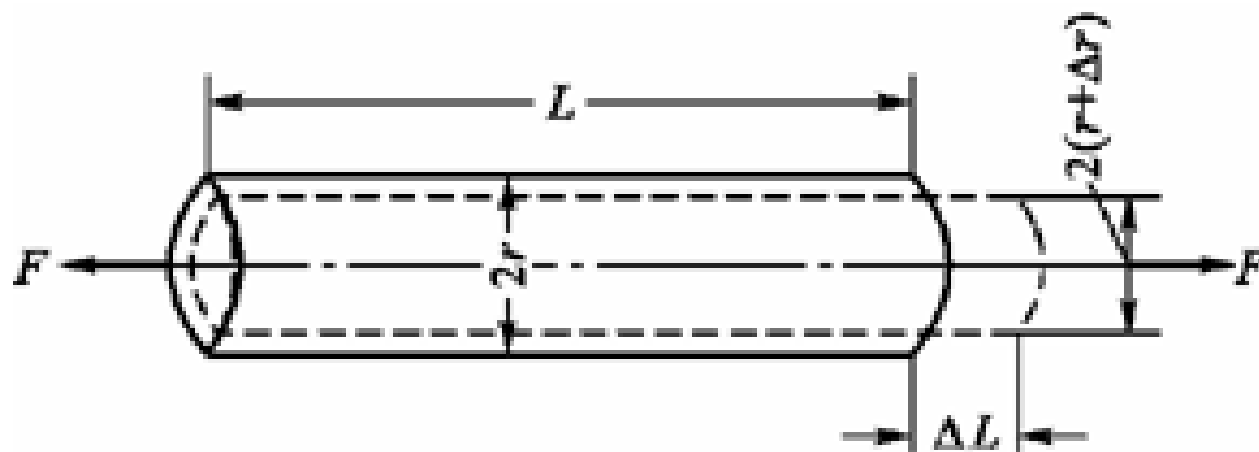
几个名词

- **应变**：物体在外部压力或拉力作用下发生形变的现象
- **弹性应变**：当外力去除后，物体能够完全恢复其尺寸和形状的应变
- **弹性元件**：具有弹性应变特性的物体
- **应变效应**：即导体或半导体材料在外界力的作用下产生机械变形时，其电阻值相应发生变化，这种现象称为“应变效应”

应变式电阻传感器中作为敏感元件的电阻元件称为**电阻应变片**。

12.1.2 应变式电阻传感器

一、工作原理



一根金属电阻丝，在其未受力时，原始电阻值为：

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

12.1.2 应变式电阻传感器

当电阻丝受到拉力 F 作用时，将伸长 Δl ，横截面积相应减小 ΔA ，电阻率因材料晶格发生变形等因素影响而改变了 $\Delta \rho$ ，从而引起电阻值变化量为：

$$dR = \frac{l}{A} d\rho + \frac{\rho}{A} dl - \frac{\rho l}{A^2} dA$$

电阻相对变化量：

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dA}{A}$$

式中： dl/l ——长度相对变化量（应变 ε ）

12.1.2 应变式电阻传感器

dA/A ——圆形电阻丝的截面积相对变化量，设 r 为电阻丝的半径，微分后可得 $dA=2\pi r dr$ ，则：

$$\frac{dA}{A} = 2 \frac{dr}{r}$$

材料力学：在弹性范围内，金属丝受拉力时，沿轴向伸长，沿径向缩短，轴向应变和径向应变的关系可表示为

$$\frac{dr}{r} = -\mu \frac{dl}{l}$$

μ 为电阻丝材料的泊松比， 负号表示应变方向相反

12.1.2 应变式电阻传感器

推得：

$$\frac{dR}{R} = \left(1 + 2\mu + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dl}{l}}\right) \frac{dl}{l}$$

进一步整理得

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu + K_y E) \frac{dl}{l} = K \frac{dl}{l} \quad K = 1 + 2\mu + K_y E$$

K_y 为压阻系数 (m^2/N), E 为弹性模量(N/m^2)。

12.1.2 应变式电阻传感器

$$K = 1 + 2\mu + K_y E$$

$1+2\mu$ ：应变片受力后材料几何尺寸的变化

$K_y E$ ：应变片受力后材料的电阻率发生的变化

金属材料： $1+2\mu \gg K_y E$ $K=1+2\mu=1 \sim 2$

半导体材料： $K_y E \gg 1+2\mu$ $K \approx K_y E=60 \sim 170$

大量实验证明，在电阻丝拉伸极限内，电阻的相对变化与应变成正比，即 K 为常数。

12.1.2 应变式电阻传感器

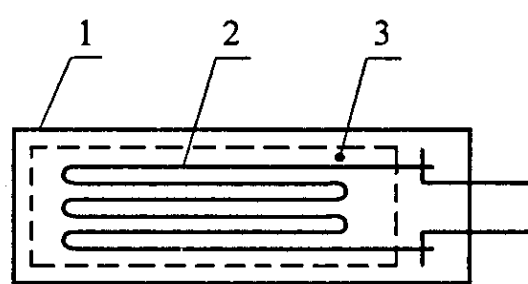


- ❖ 使用应变片时，要把应变片粘贴在被测物体上。
当物体受力产生形变时，应变片也发生同样的形变。采用电桥电路可测出 dR/R ，从而可求出 dL/L 。
- ❖ 应变片式电阻传感器的基本功能就是测出物体的微小形变。

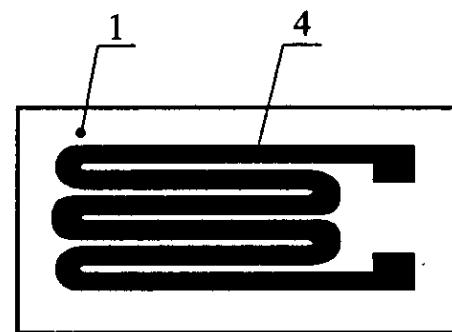
12.1.2 应变式电阻传感器

二、应变片的结构

1. 金属电阻应变片 丝式应变片，箔式应变片及薄膜式。



(a)



(b)

2. 半导体应变片 以半导体基片本身作感受元件，并在其上扩散成电阻，做成压阻式传感器。

12.1.2 应变式电阻传感器

三、应变式传感器

可直接测定试件的应变和应力，还可以测定与应变和应力有关的其它物理量，如力、转矩、压力、加速度、流量、流速等。

$$dl \rightarrow F \rightarrow ma \rightarrow a$$

通常由两部分构成，即弹性元件和应变片（丝）。弹性元件在被测物理量（如力、转矩、压力、加速度等）的作用下，产生一个与它成正比的应变，然后，用应变片（丝）作为敏感元件将应变转换为电阻值的变化。

12.1.2 应变式电阻传感器

应变式力传感器

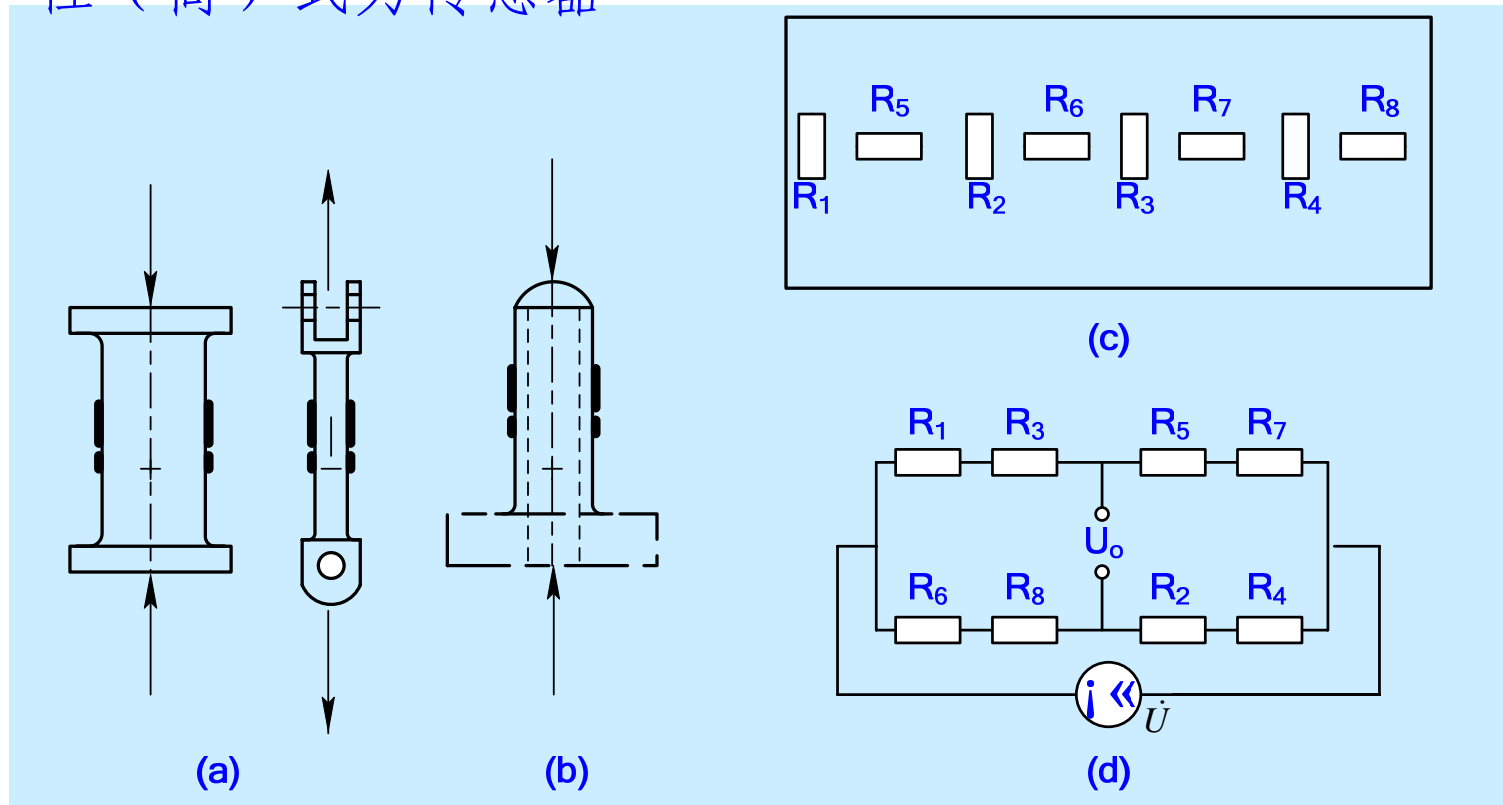
被测物理量：荷重或力。

主要用途：作为各种电子称与材料试验机的测力元件、发动机的推力测试、水坝坝体承载状况监测等。

力传感器的弹性元件：柱式、筒式、环式、悬臂式等。

12.1.2 应变式电阻传感器

1. 柱（筒）式力传感器

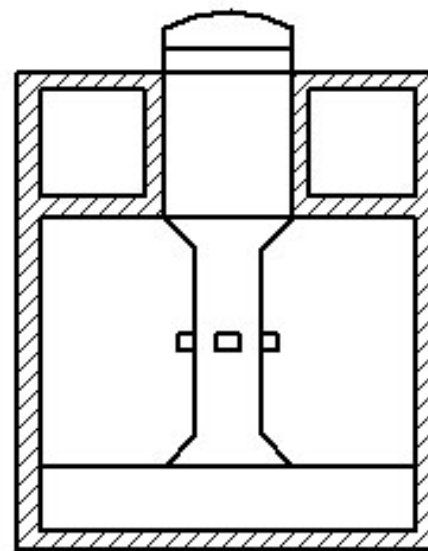


圆柱（筒）式力传感器

(a) 柱式 (b) 筒式 (c) 圆柱面展开图 (d) 桥路连线图

12.1.2 应变式电阻传感器

柱（筒）式力传感器

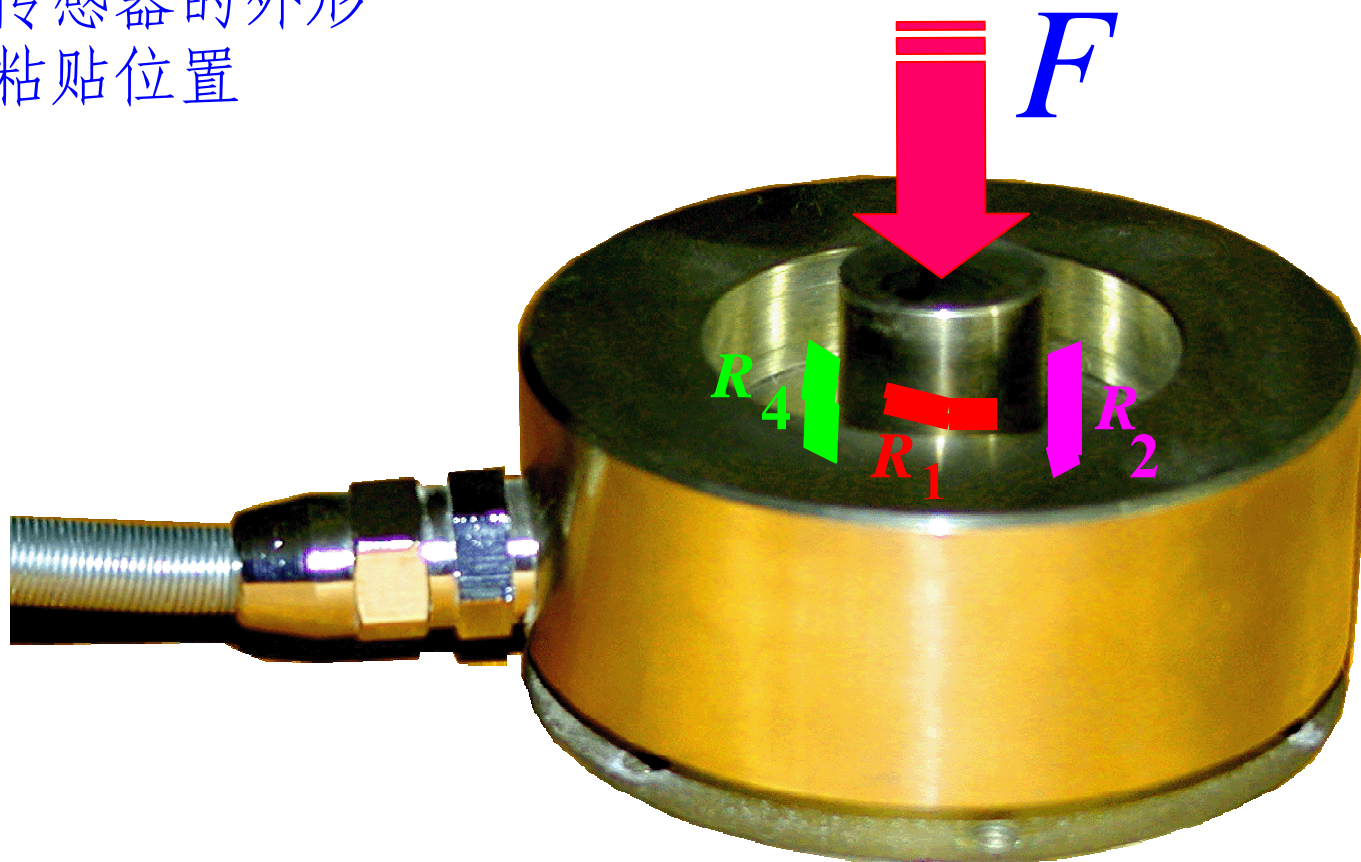


柱式测力传感器

特点：结构简单、可承受很大载荷；
多种截面形状：实心截面、空心截面。

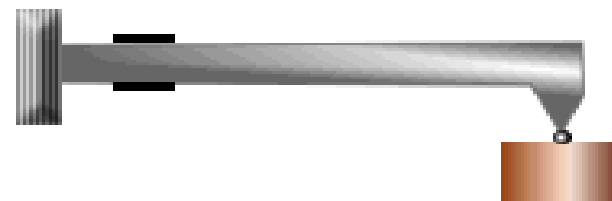
12.1.2 应变式电阻传感器

应变式荷重传感器的外形
及应变片的粘贴位置

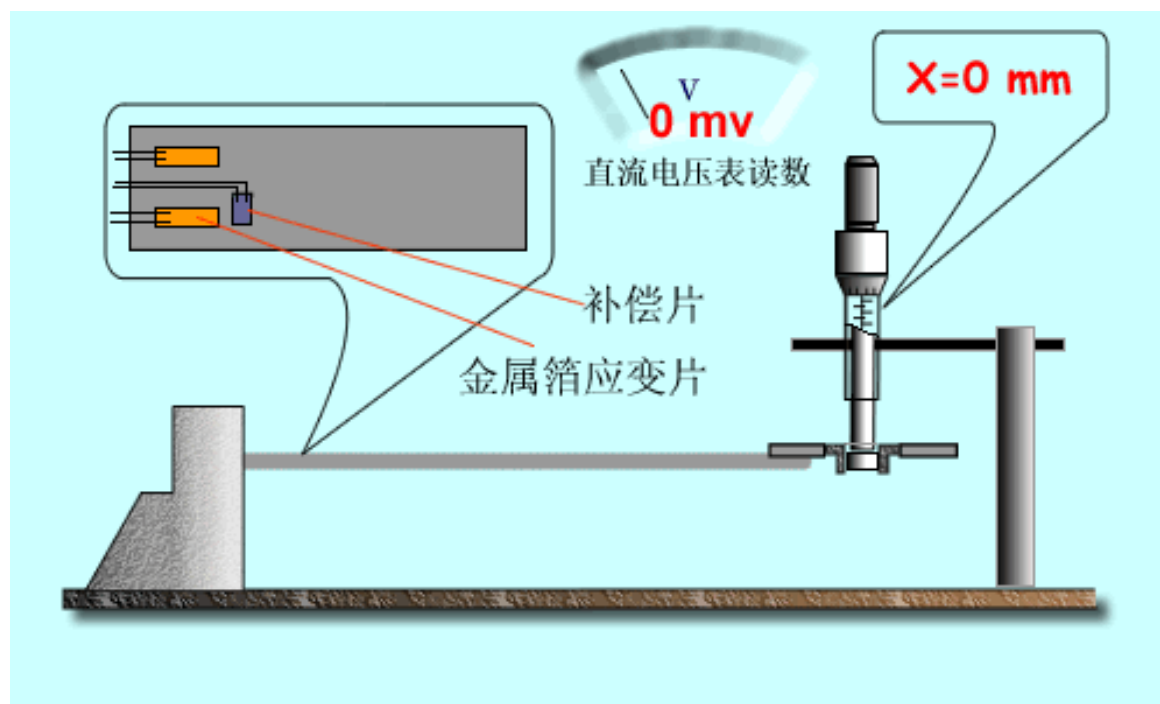


12.1.2 应变式电阻传感器

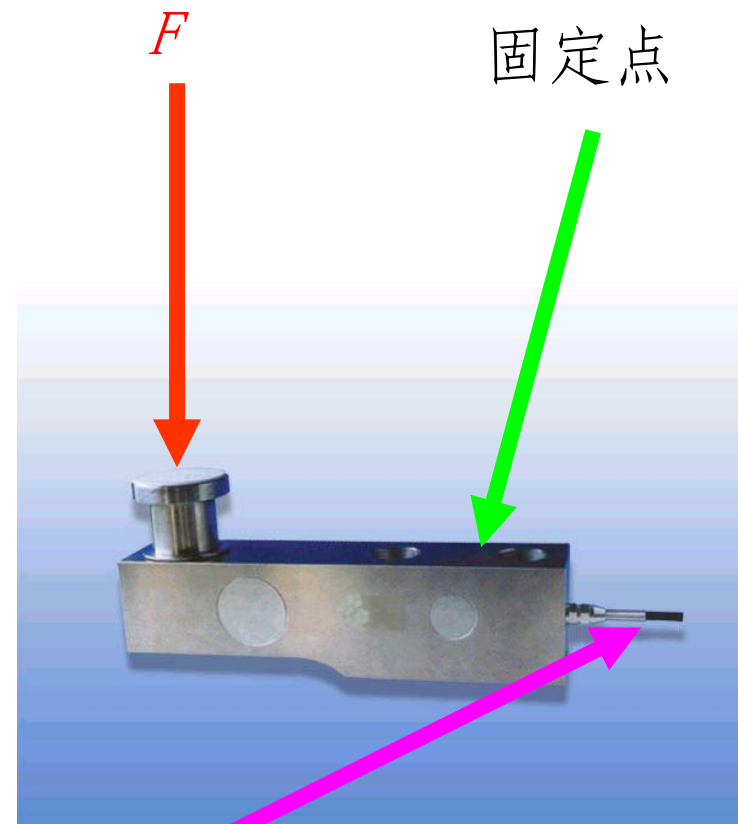
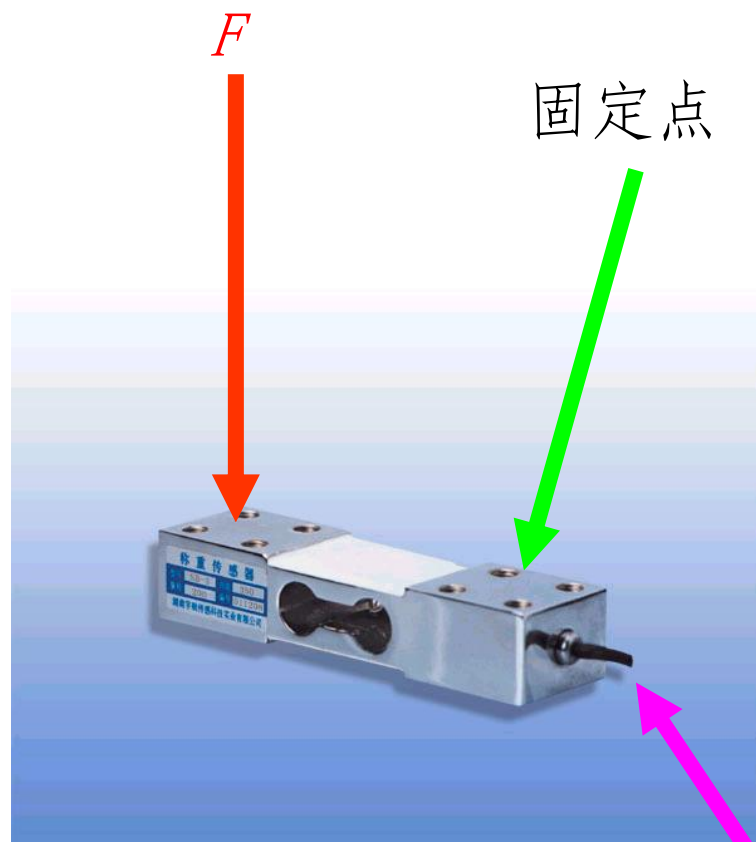
梁式弹性元件位移传感器



位移传感器



12.1.2 应变式电阻传感器

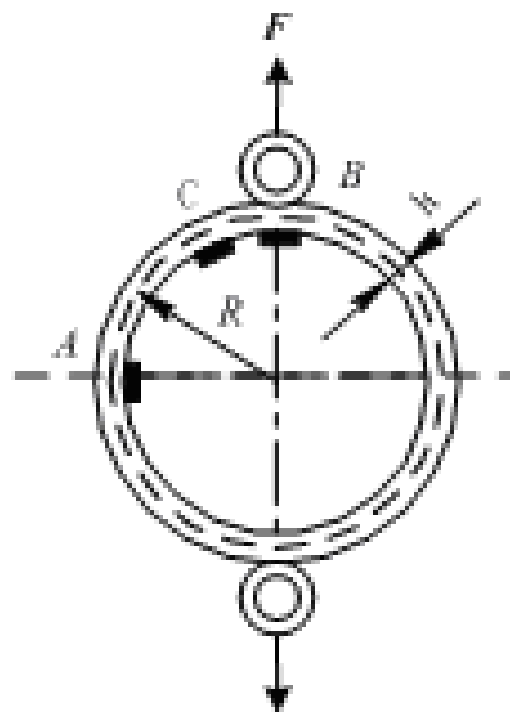


各种悬臂梁

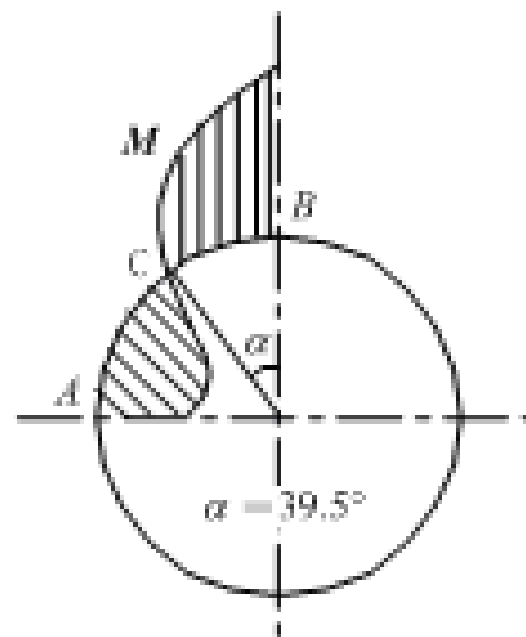
电缆

12.1.2 应变式电阻传感器

环式力传感器



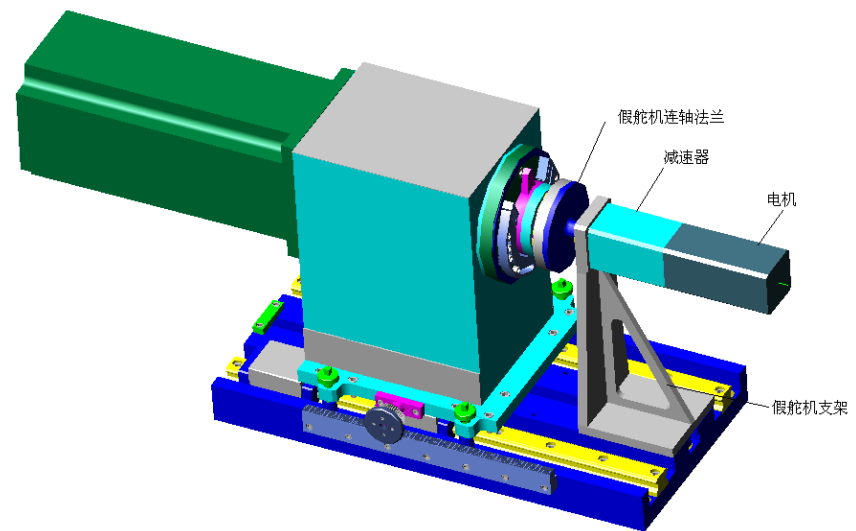
(a) 环式力传感器结构



(b) 应力分布图

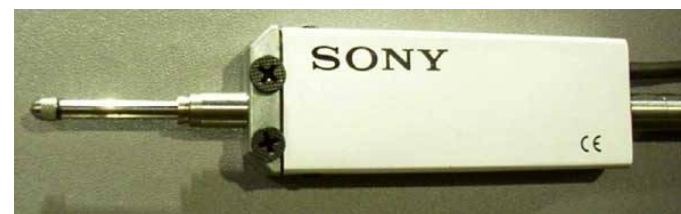
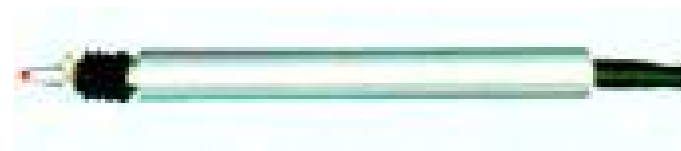
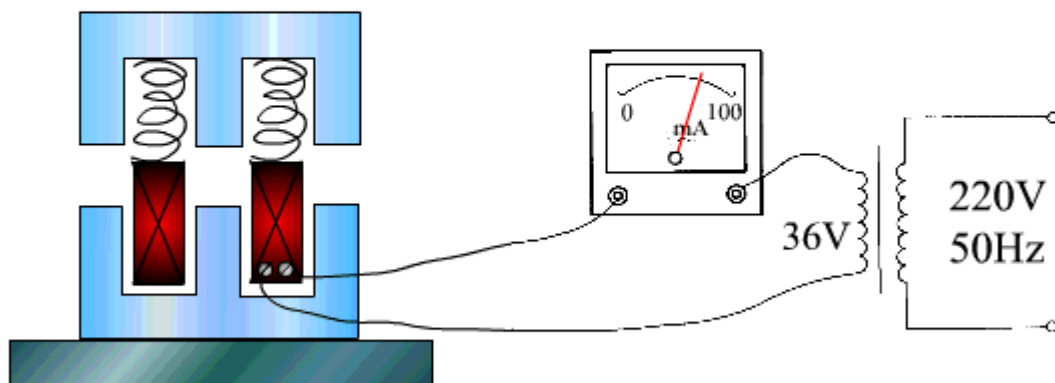
测出 A 、 B 处的应变，即可得到载荷 F 。

12.1.2 应变式电阻传感器



12.2 电感式传感器

把机械位移转换为感应电势，可以用来测量位移和振动、压力、流量、重量、力矩、应变等。



12.2 电感式传感器

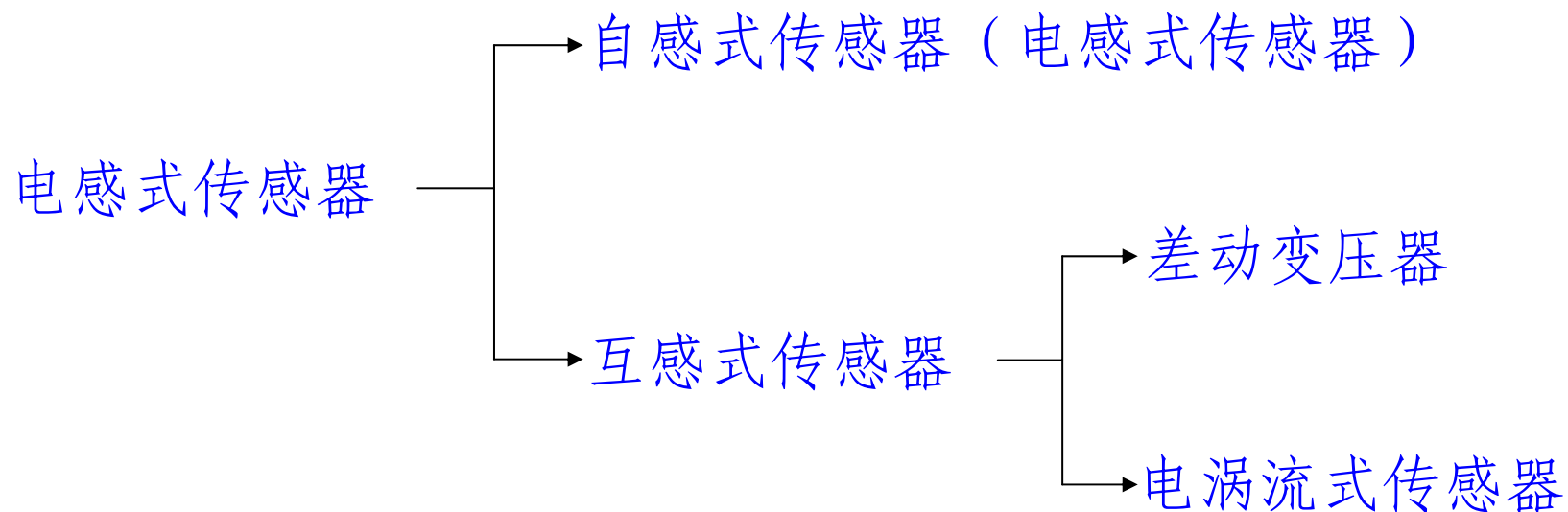
电感式传感器的工作基础：电磁感应

即利用线圈自感或互感的变化来实现非电量的测量



12.2 电感式传感器

电感式传感器的分类



变压器式传感器具有单独的激磁线圈和单独的磁场检测线圈，自感式传感器只有一组线圈，既供激磁用，又供检测磁场和电感用。

12.2 电感式传感器

电感式传感器的组成

电感式传感器的主体结构包括以下几个部分：

1. 产生交变磁场的**激磁线圈**。
2. **可变磁路装置**，改变磁阻或磁场。
3. 检测感应电势或磁场的**线圈**。

12.2 电感式传感器

电感式传感器的优缺点

优点:

具有结构简单，工作可靠；

测量精度高，零点稳定；

灵敏、分辨率高（位移变化可达 $0.01\mu\text{m}$ ）；

输出功率较大等。

缺点:

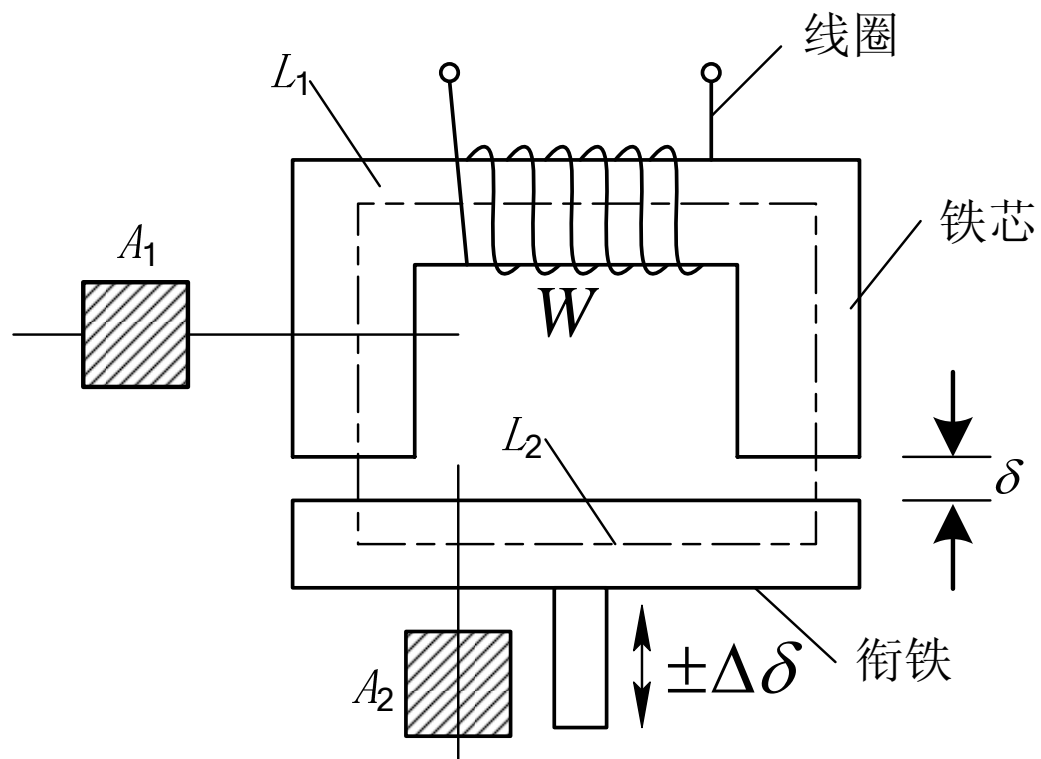
灵敏度、线性度和测量范围相互制约；

传感器自身频率响应低，不适用于快速动态测量。

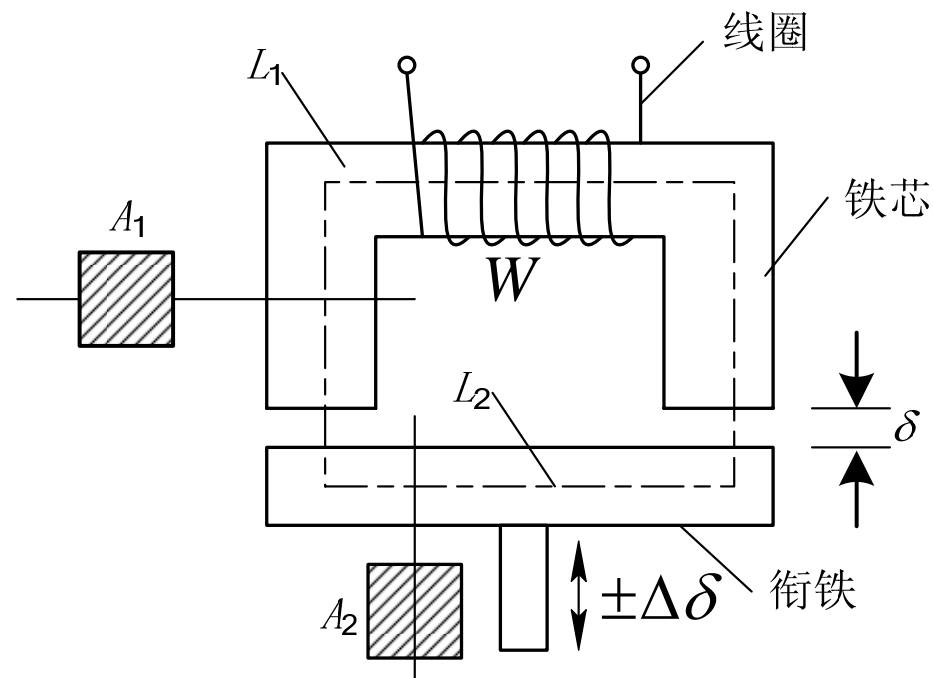
12.2 电感式传感器

变磁阻式传感器（自感式）

变磁阻式传感器由线圈、铁芯和衔铁三部分组成。铁芯和衔铁由导磁材料制成。



12.2 电感式传感器



当衔铁移动时，气隙厚度 δ 发生改变，引起磁路中磁阻变化，从而导致电感线圈的电感值变化，因此只要能测出这种电感量的变化，就能确定衔铁位移量的大小和方向。

12.2 电感式传感器

线圈中电感量可由确定: $L = \frac{\psi}{I} = \frac{W\phi}{I}$

根据磁路欧姆定律: $\phi = \frac{IW}{R_m}$ 式中, R_m 为磁路总磁阻。

气隙很小, 可以认为气隙中的磁场是均匀的。若忽略磁路磁损, 则磁路总磁阻为

$$R_m = \frac{L_1}{\mu_1 A_1} + \frac{L_2}{\mu_2 A_2} + \frac{2\delta}{\mu_0 A_0}$$

12.2 电感式传感器

通常气隙磁阻远大于铁芯和衔铁的磁阻， 即

$$\frac{2\delta}{\mu_0 A_0} \gg \frac{l_1}{\mu_1 A_1} \quad \frac{2\delta}{\mu_0 A_0} \gg \frac{l_2}{\mu_2 A_2}$$

则磁路总磁阻可重写为 $R_m = \frac{2\delta}{\mu_0 A_0}$

$$\varphi = \frac{IW}{R_m}$$



$$L = \frac{\psi}{I} = \frac{W\varphi}{I}$$

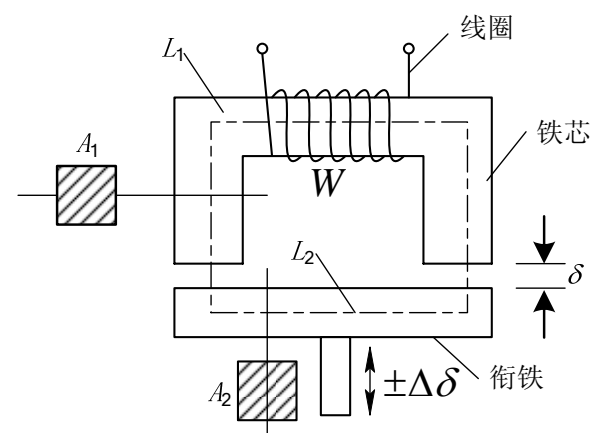
$$L = \frac{W^2}{R_m} = \frac{W^2 \mu_0 A_0}{2\delta}$$

12.2 电感式传感器

$$L = \frac{W^2}{R_m} = \frac{W^2 \mu_0 A_0}{2\delta}$$

上式表明：当线圈匝数为常数时，电感 L 仅仅是磁路中磁阻 R_m 的函数，改变 δ 或 A_0 均可导致电感变化，因此变磁阻式传感器又可分为变气隙厚度 δ 的传感器和变气隙面积 A_0 的传感器。

目前使用最广泛的是变气隙厚度式电感传感器。

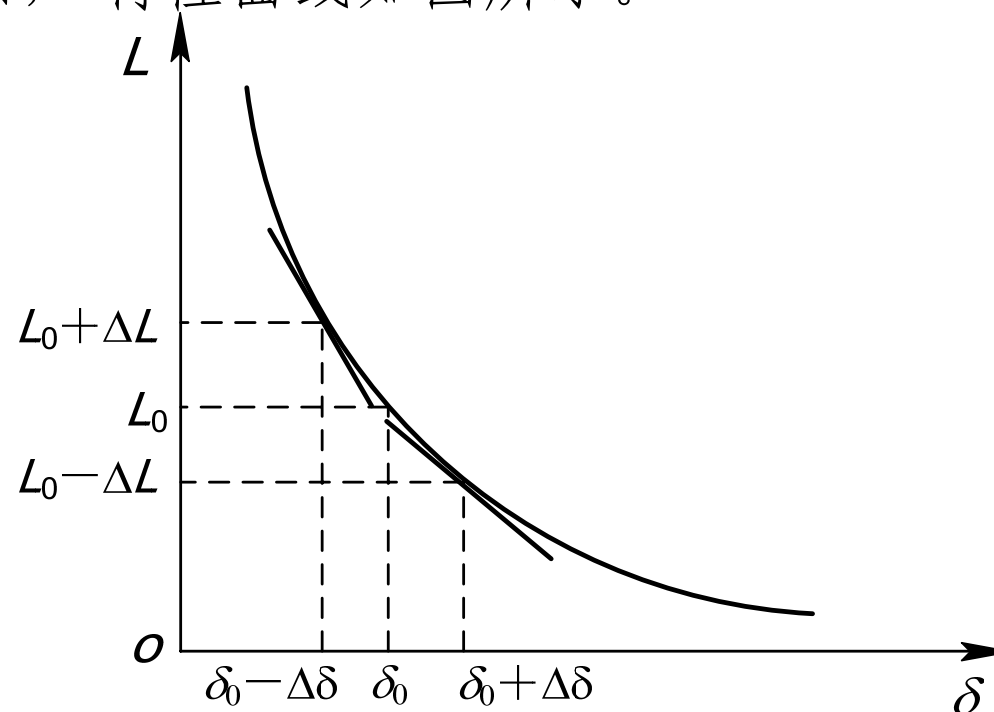


12.2 电感式传感器

输出特性

L 与 δ 之间是非线性关系，特性曲线如图所示。

$$L = \frac{W^2}{R_m} = \frac{W^2 \mu_0 A_0}{2\delta}$$



变隙式电压传感器的 $L-\delta$ 特性

12.2 电感式传感器

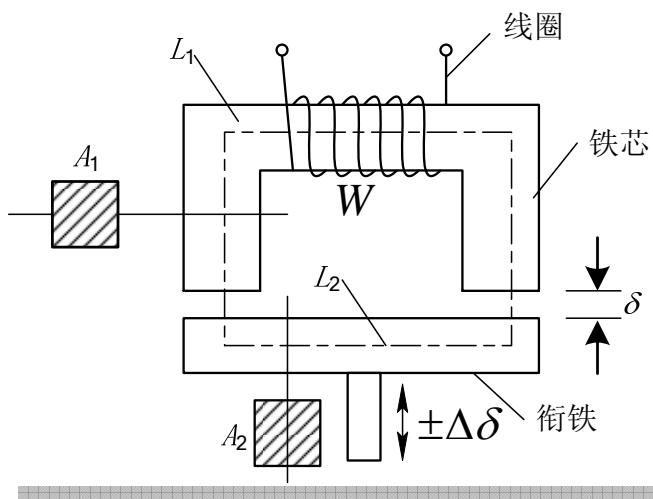
灵敏度为

$$K_0 = \frac{\frac{\Delta L}{L_0}}{\Delta \delta} = \frac{1}{\delta_0}$$

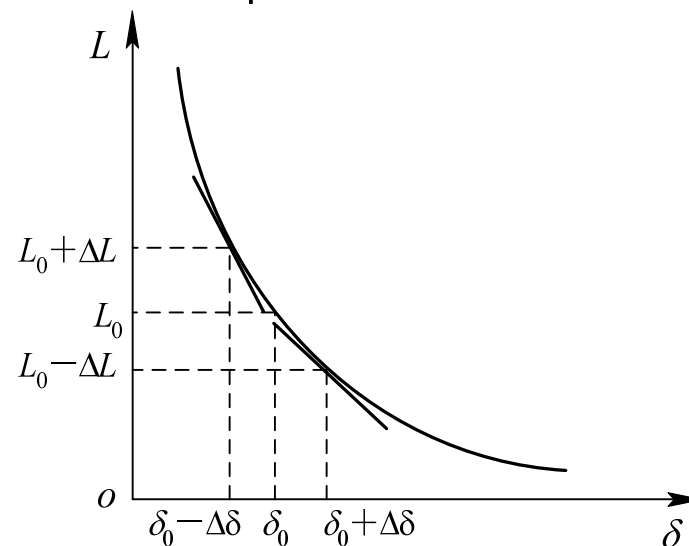
可见：变间隙式电感传感器的测量范围与灵敏度及线性度相矛盾，因此变隙式电感式传感器适用于测量微小位移的场合。

12.2 电感式传感器

- ❖ 衔铁上移
 - 切线斜率变大
- ❖ 衔铁下移
 - 切线斜率变小



$$K_0 = \frac{\frac{\Delta L}{L_0}}{\Delta \delta} = \frac{1}{\delta_0} \left[1 + \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right) + \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right)^2 + \dots \right]$$



$$K_0 = \frac{\frac{\Delta L}{L_0}}{\Delta \delta} = \frac{1}{\delta_0} \left[1 - \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right) + \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right)^2 - \dots \right]$$

12.2 电感式传感器

❖ 衔铁上移:

$$\left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)_{\text{非线性部分}} = \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^3 + \dots$$

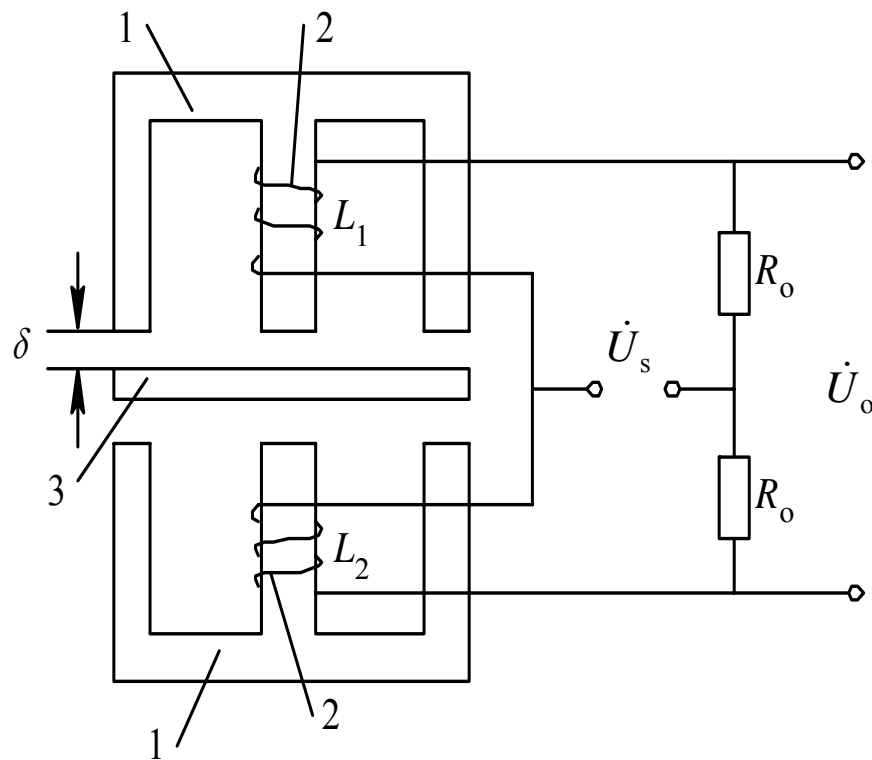
• 衔铁下移:

$$\left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)_{\text{非线性部分}} = -\left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^3 - \dots$$

• 无论上移或下移，非线性都将增大。

12.2 电感式传感器

为了减小非线性误差，实际测量中广泛采用差动变隙式电感传感器。



- 1—铁芯;
- 2—线圈;
- 3—衔铁

12.2 电感式传感器

灵敏度 K_0 为

比较单线圈式和差动式:

$$K_0 = \frac{\frac{\Delta L}{L_0}}{\Delta \delta} = \frac{2}{\delta_0}$$

① 差动式变间隙电感传感器的灵敏度是单线圈式的两倍。

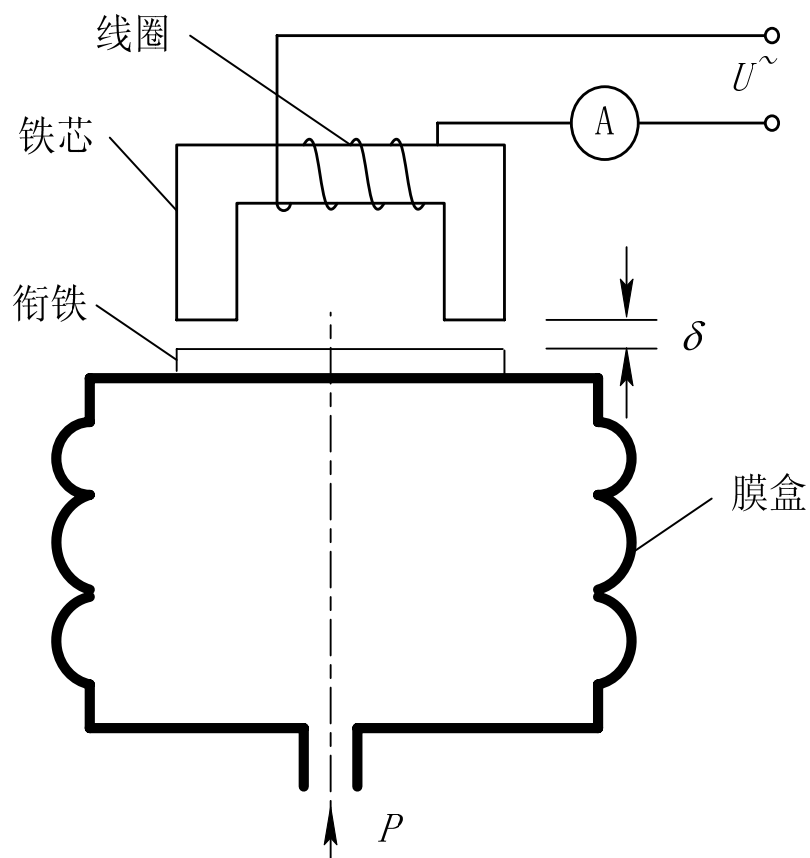
② 差动式的非线性项(忽略高次项): $\Delta L / L_0 = 2 \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right)^3$

单线圈的非线性项(忽略高次项): $\Delta L / L_0 = \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right)^2$

由于 $\Delta \delta / \delta_0 \ll 1$, 因此, 差动式的线性度得到明显改善。

12.2 电感式传感器

变隙电感式压力传感器



当压力进入膜盒时，膜盒的顶端在压力 P 的作用下产生与压力 P 大小成正比的位移，于是衔铁也发生移动，从而使气隙发生变化，流过线圈的电流也发生相应的变化，电流表 A 的指示值就反映了被测压力的大小。

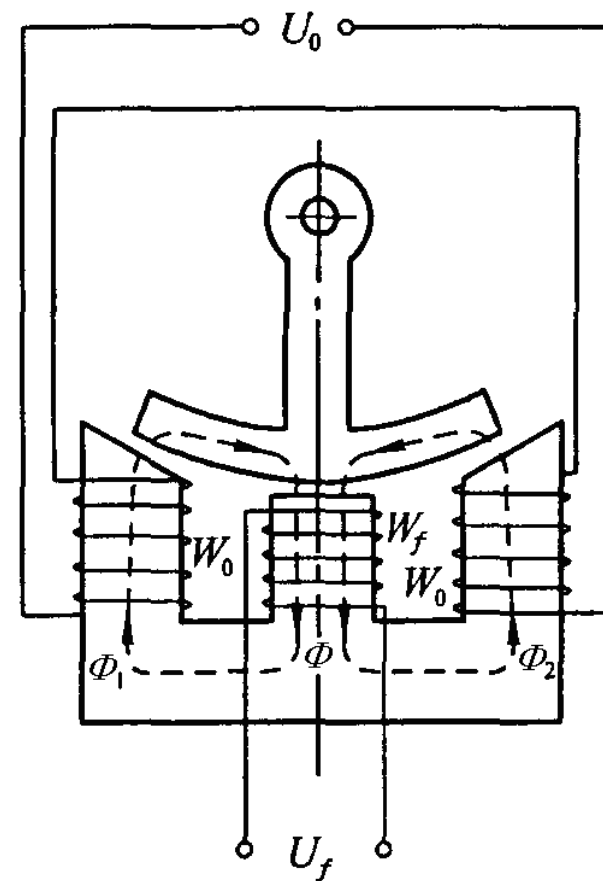
12.2.2 变压器式传感器

- ❖ 把被测的非电量变化转换为线圈互感变化的传感器称为互感式传感器。
- ❖ 这种传感器是根据变压器的基本原理制成的，并且次级绕组用差动形式连接。
- ❖ 差动变压器结构形式：变隙式、变面积式和螺线管式等。
- ❖ 在非电量测量中，应用最多的是螺线管式差动变压器，它可以测量1~100mm机械位移，具有测量精度高、灵敏度高、结构简单、性能可靠等优点。

12.2.2 变压器式传感器

一、截面型差动变压器式传感器

- ❖ 改变磁路气隙截面积使磁导变化
- ❖ 扇形的衔铁和对称的E形铁心。中间心柱上是激磁绕组，左右两侧心柱上两个线圈反向串联后作为输出绕组。
- ❖ 当衔铁处于对称位置时，两侧磁路磁导、磁通相同。两个输出绕组感应电势相等，输出电压为零。
- ❖ 当衔铁偏离对称位置时，输出电压不为零，相位与感应电势大者相同。



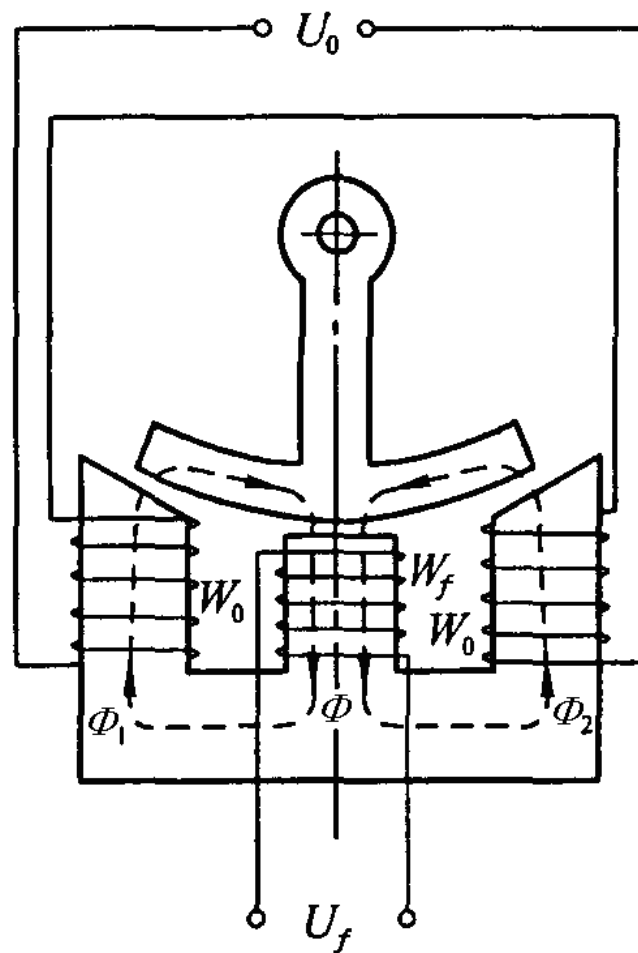
12.2.2 变压器式传感器

输出电压有效值 U_0 与转角 α 的关系为

$$U_0 = K\alpha$$

$$K = 2\pi f W_f W_0 I_f \frac{\mu_0 h r}{\delta}$$

f 励磁频率； W_f , W_0 线圈匝数；
 μ_0 真空导磁率； h 铁芯厚度； r 为半径； δ 气隙厚度



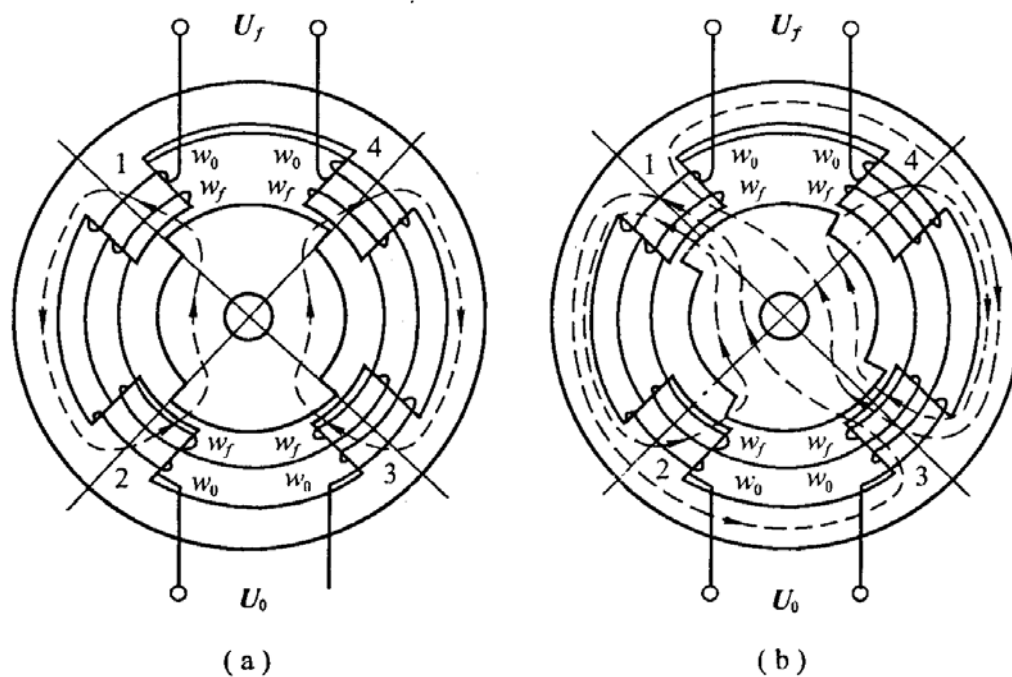
12.2.2 变压器式传感器

二、微动同步器式角度传感器

定子有四个凸磁极。改变磁路气隙截面从而改变磁路磁导，并按差动变压器原理工作。

转子处于中间位置，输出电压为零。
转子偏转，输出电压不为零。

输出电压的相位由转动方向确定。采用解调电路区别出不同相位。

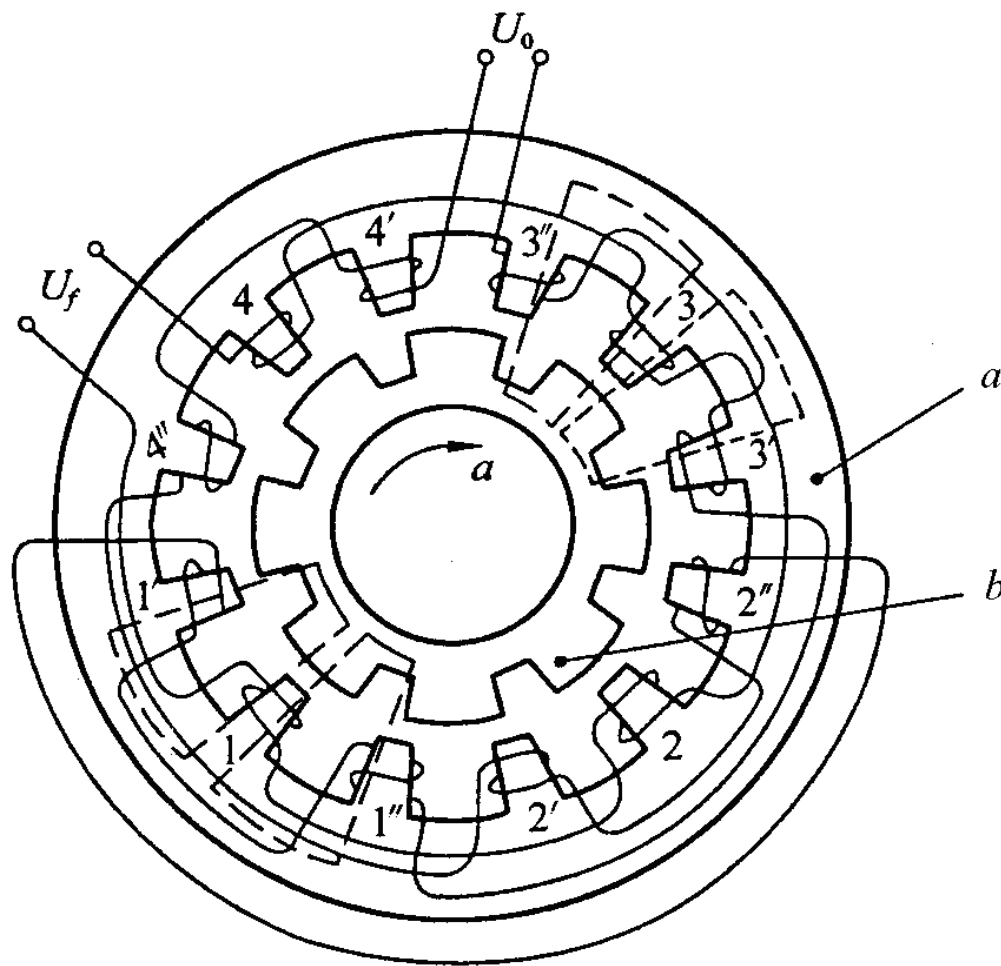


12.2.2 变压器式传感器

定子有12 个显极，转
子8个显极。

$$U_o = K\alpha$$

输出电压有效值

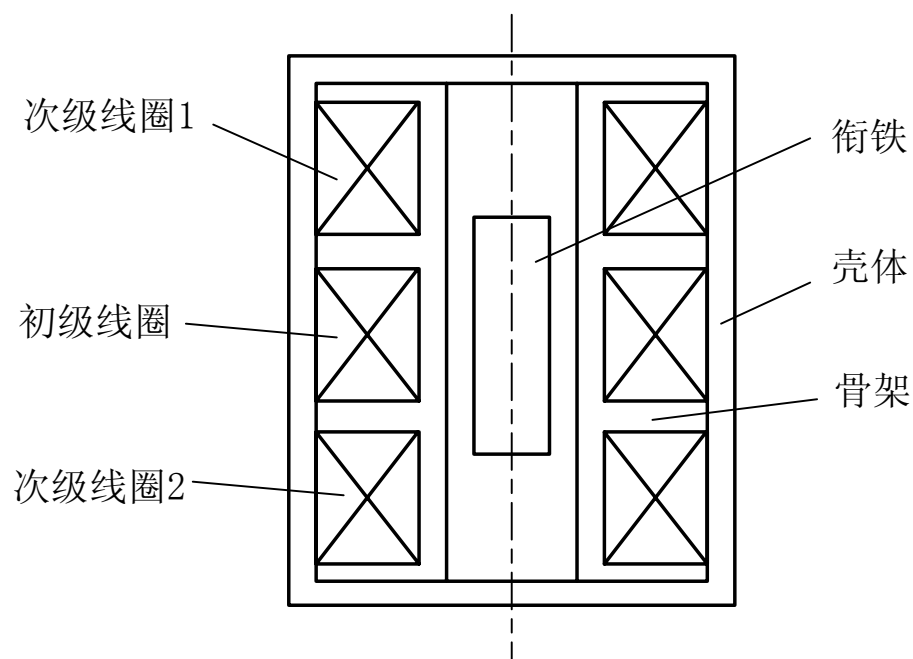


12.2.2 变压器式传感器

三、螺管型差动变压器

测线位移。包括一次线圈（原绕组、激磁线圈），二次线圈（副绕组、检测线圈）和可动铁心三个部分。二次线圈反向串接。输出电压有效值为

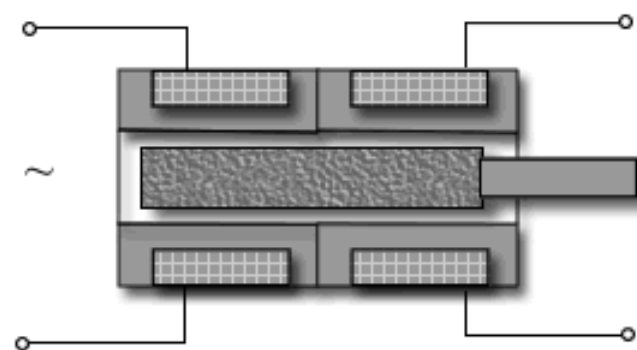
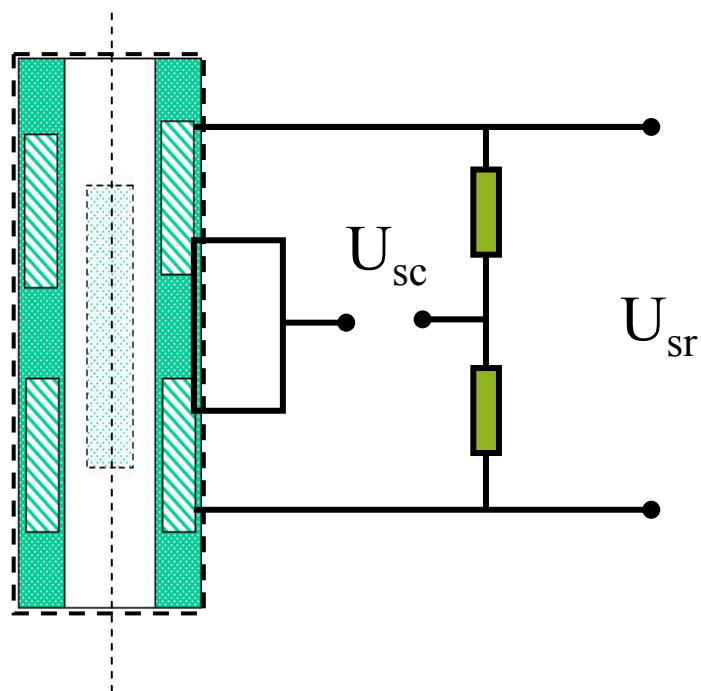
$$U_0 = K \frac{W_0 U_f}{W_f} x$$



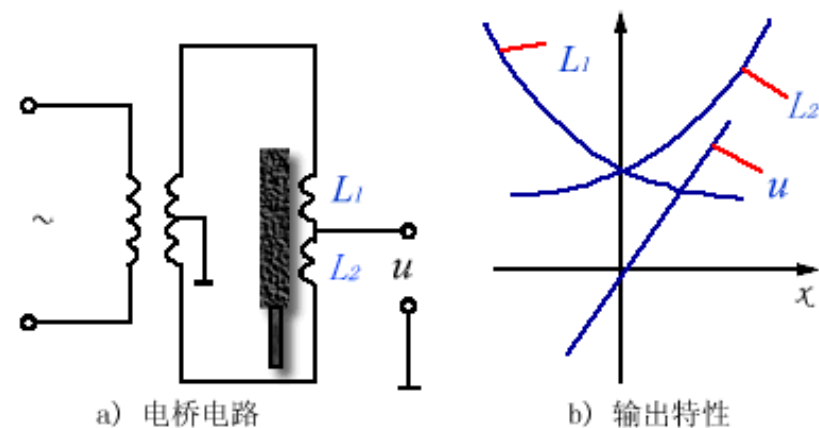
螺线管式差动变压器结构

12.2.2 变压器式传感器

差动式螺管型电感传感器



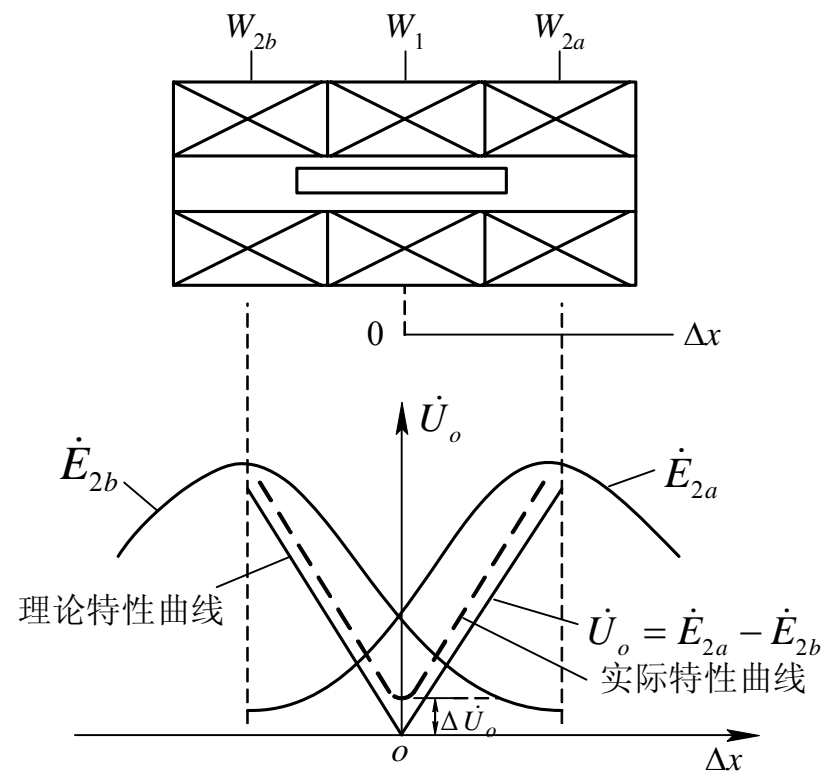
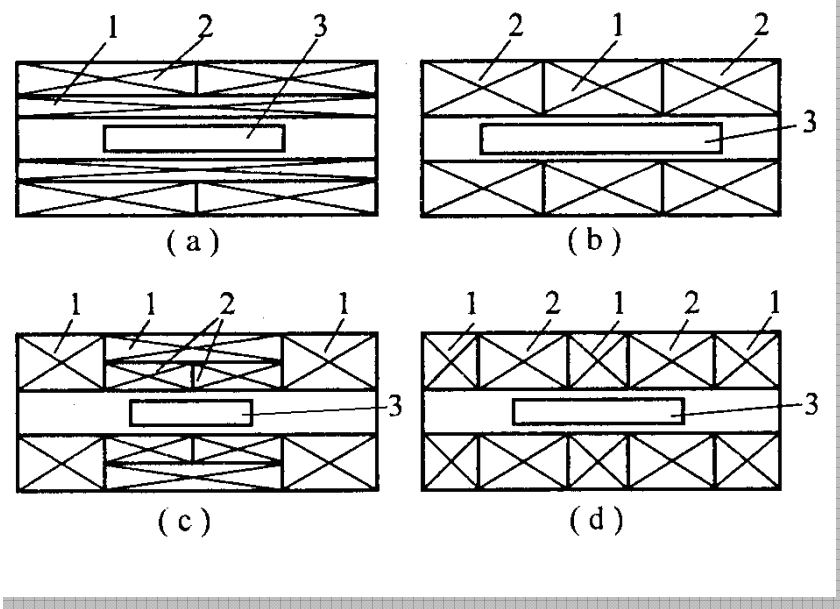
可变磁阻式传感器
双螺管线圈差动型



双螺管线圈差动型电桥电路及输出特性

12.2.2 变压器式传感器

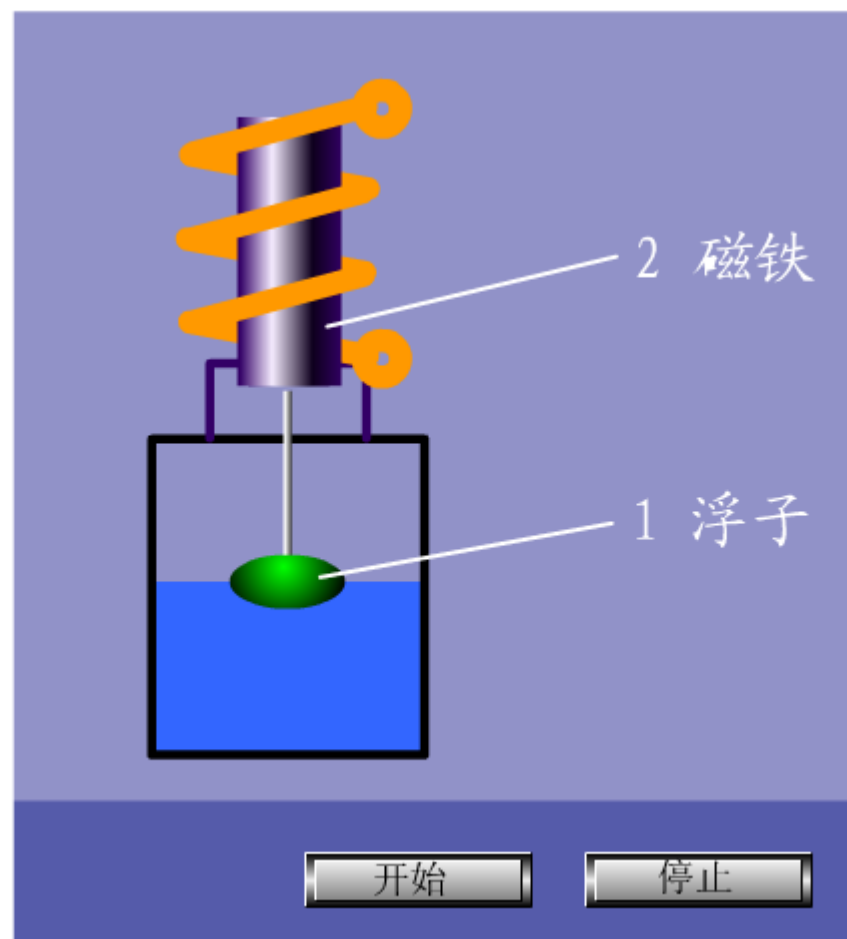
三、螺管型差动变压器



差动变压器的输出特性

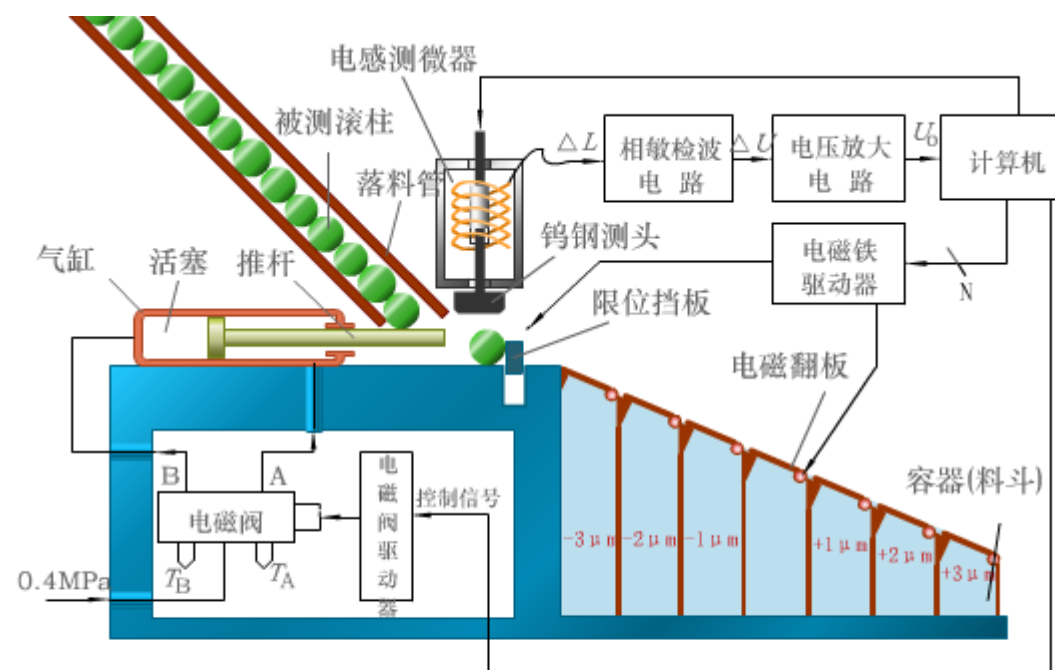
12.2.2 电感式传感器的应用

电感式传感器测液位



12.2.2 电感式传感器的应用

电感式滚柱分选装置



电感式滚柱直径分选装置

东方仿真COPYRIGHT

12.2.3 电涡流式传感器

成块金属导体置于变化着的磁场中时，金属导体内就要产生感应电流，这种电流的流线在金属导体内自动闭合，通常称为电涡流。

电涡流的大小与金属导体的电阻率 ρ 、导磁率 μ 、厚度 t 以及线圈与金属之间的距离 x 、线圈的激磁电流角频率 ω 等参数有关。若保持其中若干参数恒定，就能按电涡流大小对线圈作用的差异来测量另外某一参数。

电涡流式传感器(线圈-金属导体系统)就是一种基于电涡流效应原理的。

12.2.3 电涡流式传感器



电涡流传感器结构简单、频率响应宽、灵敏度高、抗干扰能力强、测量线性范围大，而且又具有非接触测量的优点，因此广泛应用于工业生产和科学研究的各个领域。

电涡流传感器可以测量位移、振动、厚度、转速、温度等参数，并且还可以进行无损探伤和制作接近开关。

电涡流传感器主要有两种类型：高频反射式（应用广泛）和低频透射式。

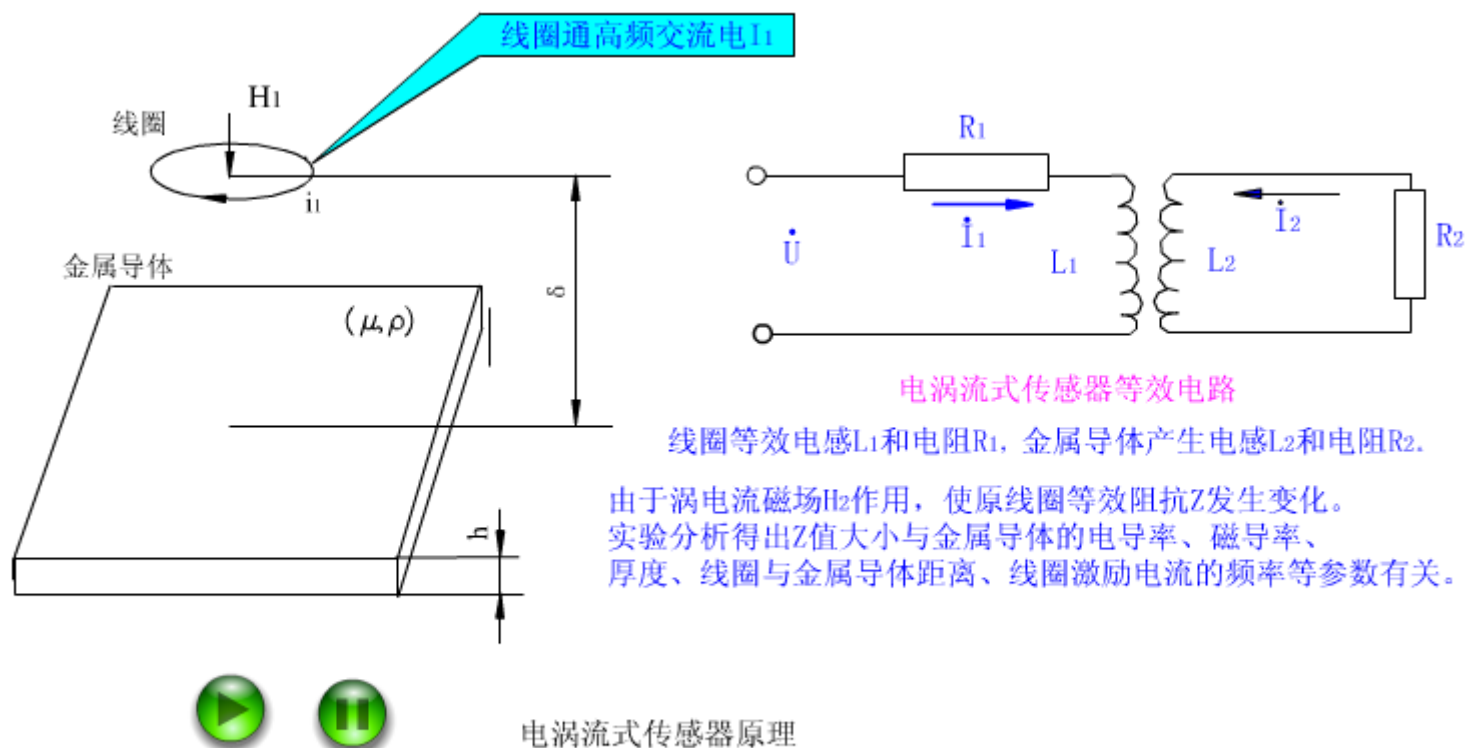
12.2.3 电涡流式传感器

电涡流式传感器的结构原理



12.2.3 电涡流式传感器

电涡流式传感器的结构、原理

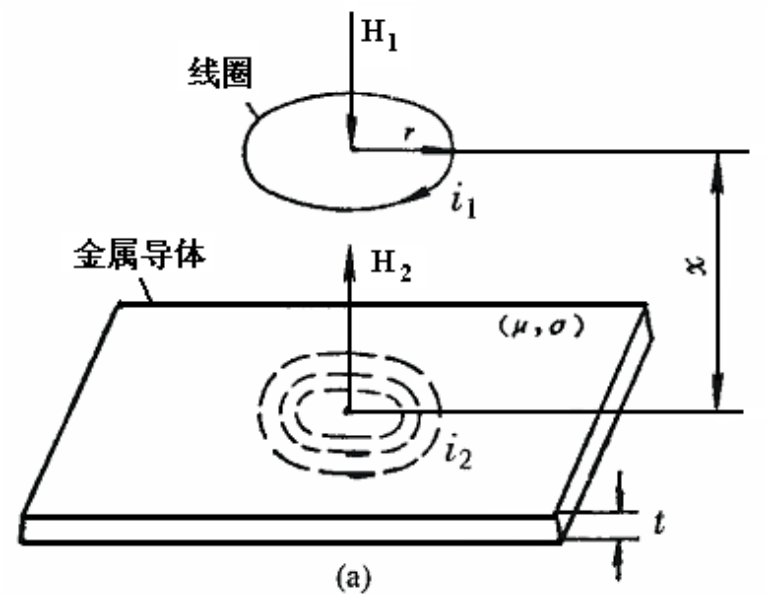


12.2.3 电涡流式传感器

当线圈通交变电流 $i_1 \Rightarrow$ 交变磁场 $H_1 \Rightarrow$ 金属板中将产生感应电动势 $e \Rightarrow$ 电涡流 $i_2 \Rightarrow$ 磁场 $H_2 \Rightarrow H_2$ 对线圈的反作用(减弱线圈原磁场), 从而导致线圈的电感量 L 、阻抗 Z 或品质因数 Q 发生变化。显然, 线圈的阻抗 Z 可以用一个函数表达式来描述:

$$Z = F(\sigma, \mu, t, r, x, i, \omega)$$

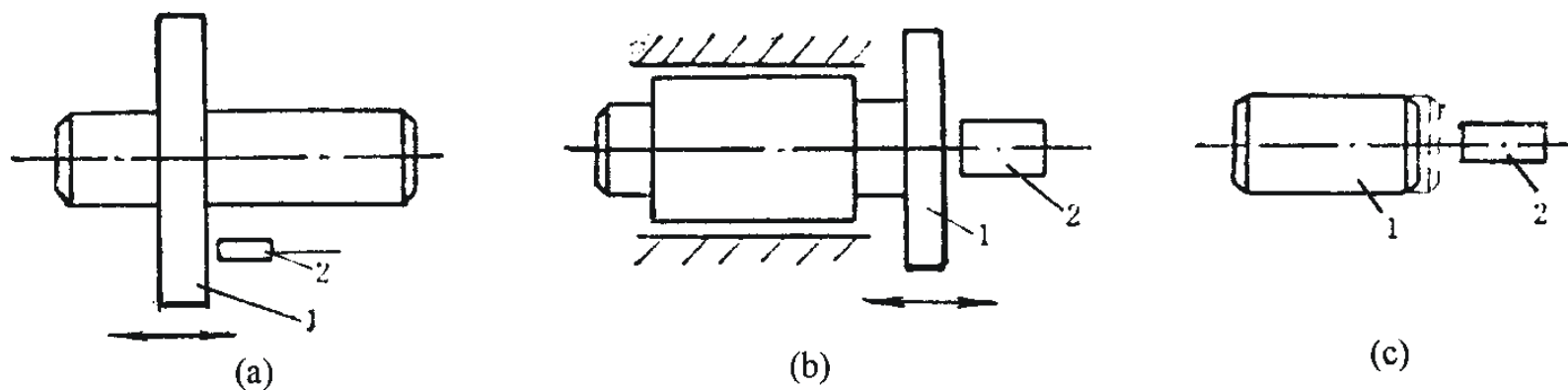
电涡流传感器实质是一个线圈-导体系统。系统中, 线圈的阻抗是一个多元函数, 若激励线圈和金属导体材料确定后, 可使 ρ , μ , t , r , i 及 ω 等参数不变, 则此时线圈的阻抗 Z 就成为距离 x 的单值函数, 即: $Z=f(x)$



12.2.3 电涡流式传感器的应用

1. 位移测量

凡是可变换成位移量的参数，都可以用电涡流式传感器来测量

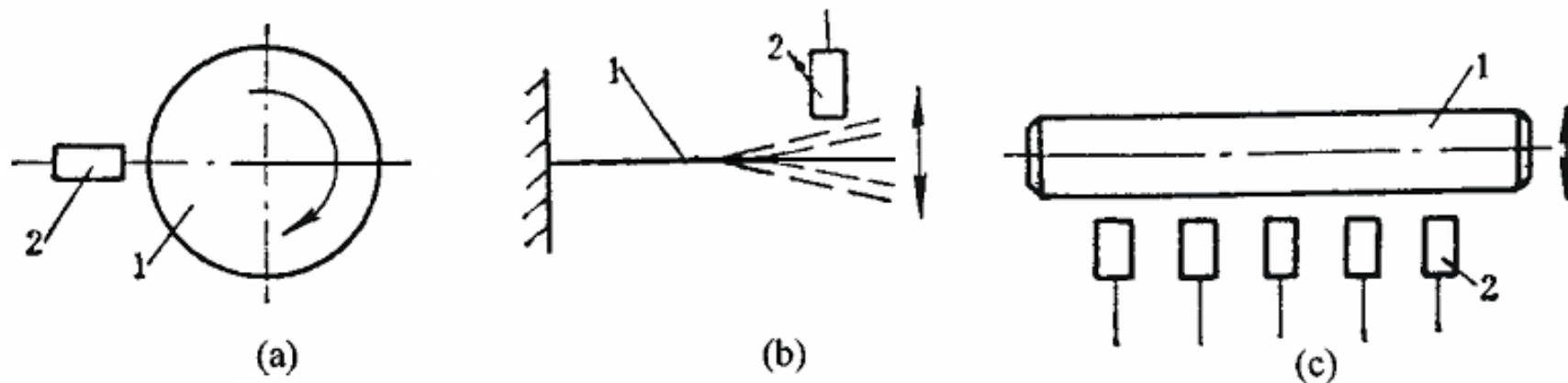


轴向位移(a); 磨床换向阀、先导阀的位移(b); 金属试件热膨胀系数(c)

1-被测试件 2-电涡流传感器

12.2.3 电涡流式传感器的应用

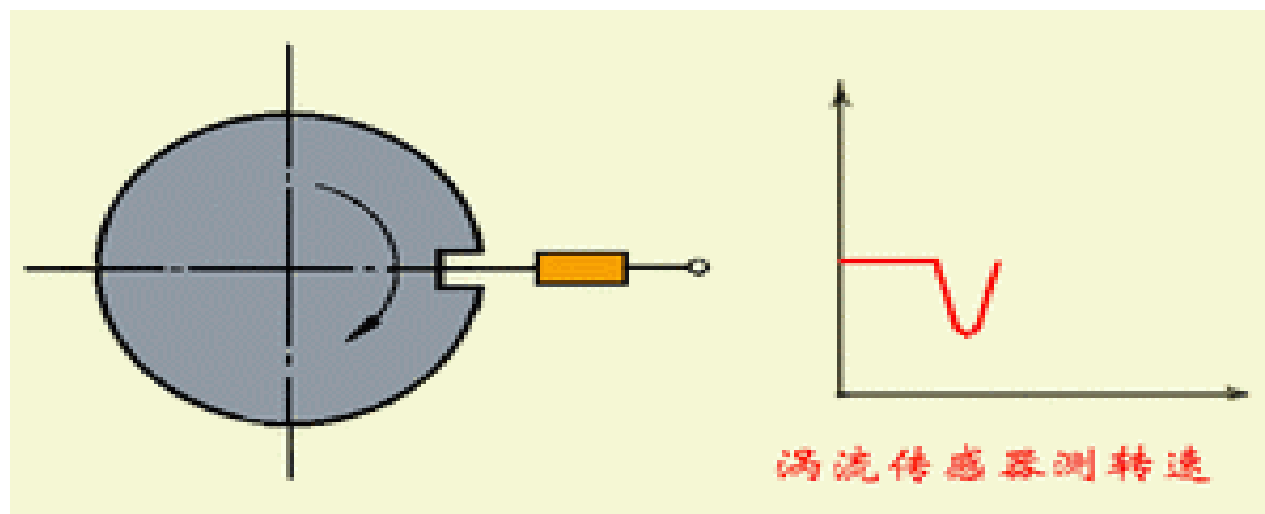
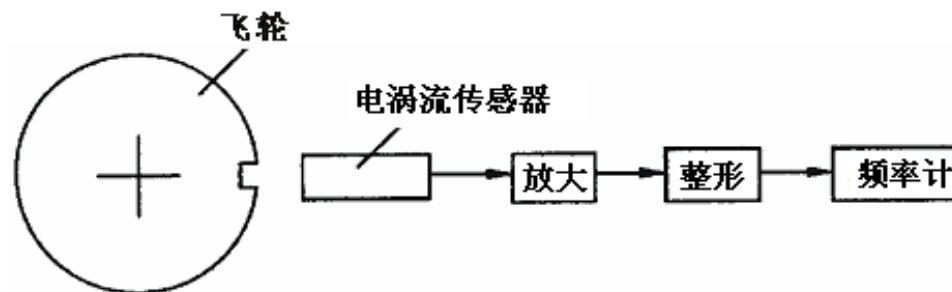
2. 振幅测量



(a) 监控径向振动； (b) 测量涡轮叶片振幅； (c) 多个传感器并排在轴附近
1-被测试件； 2-电涡流传感器

12.2.3 电涡流式传感器的应用

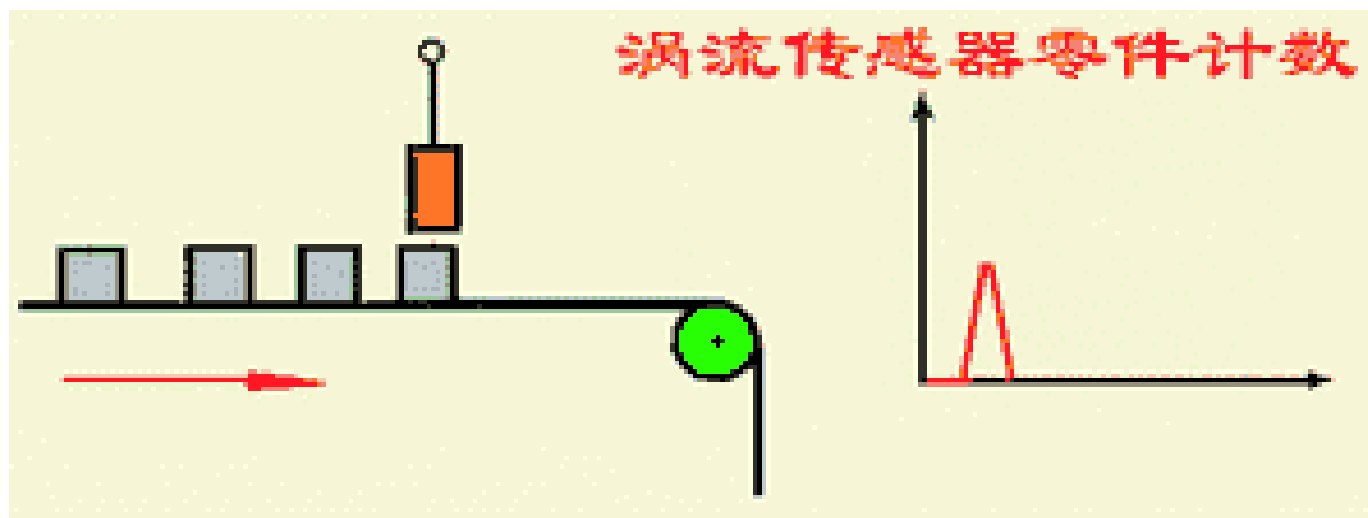
3. 电涡流转速计



电涡流式转速计

12.2.3 电涡流式传感器的应用

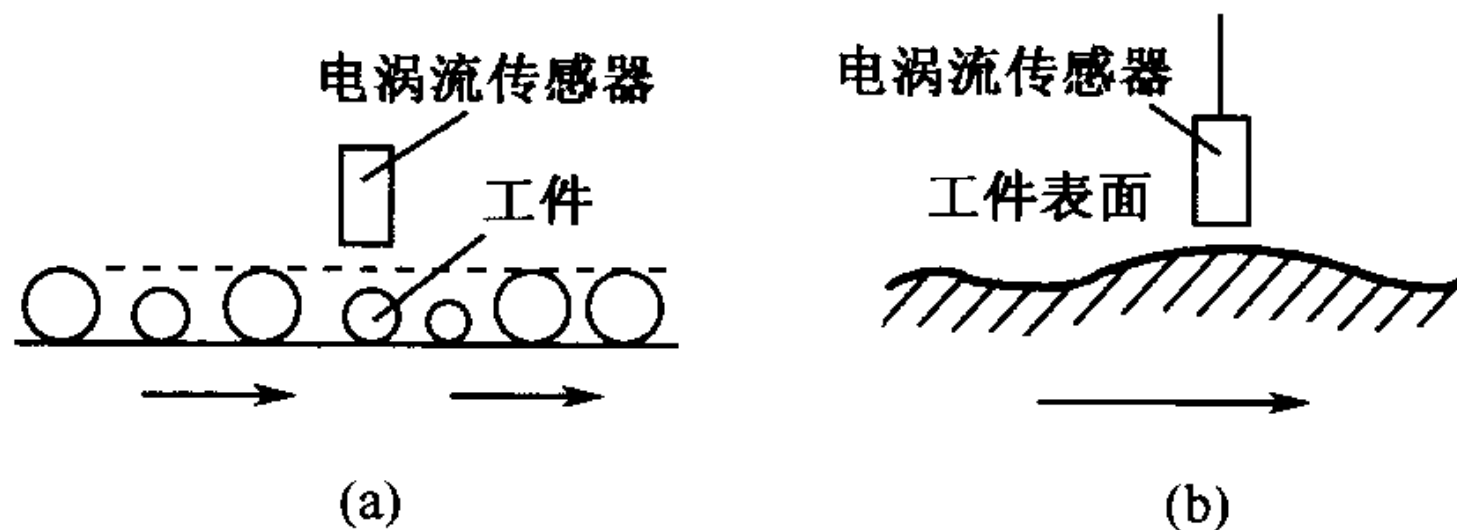
4. 零件计数器



电涡流式零件计数器

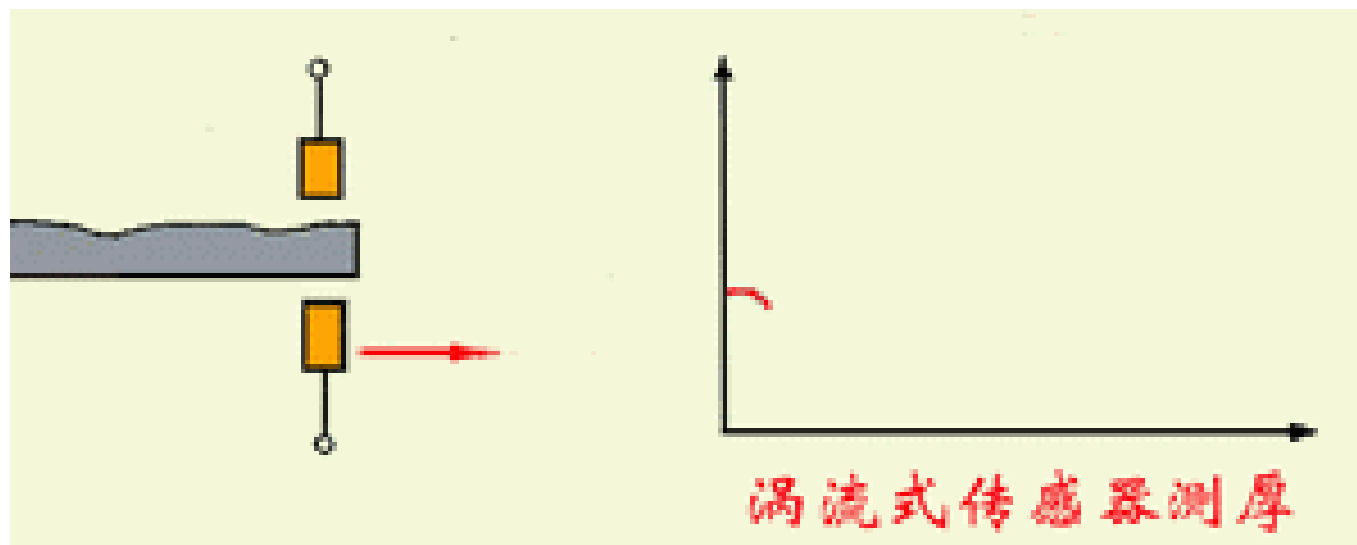
12.2.3 电涡流式传感器的应用

5. 尺寸测量



12.2.3 电涡流式传感器的应用

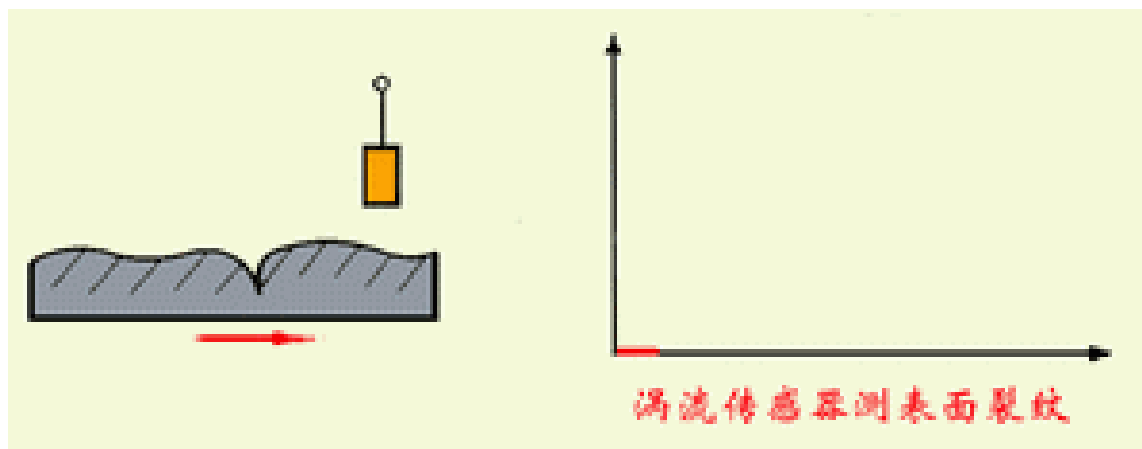
5. 厚度测量



12.2.3 电涡流式传感器的应用

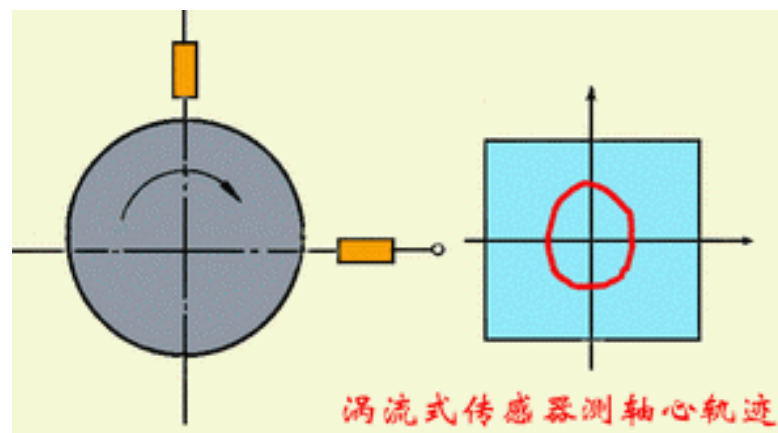
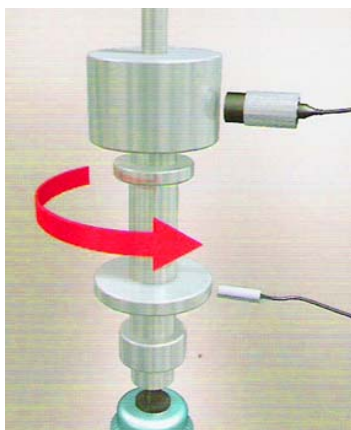
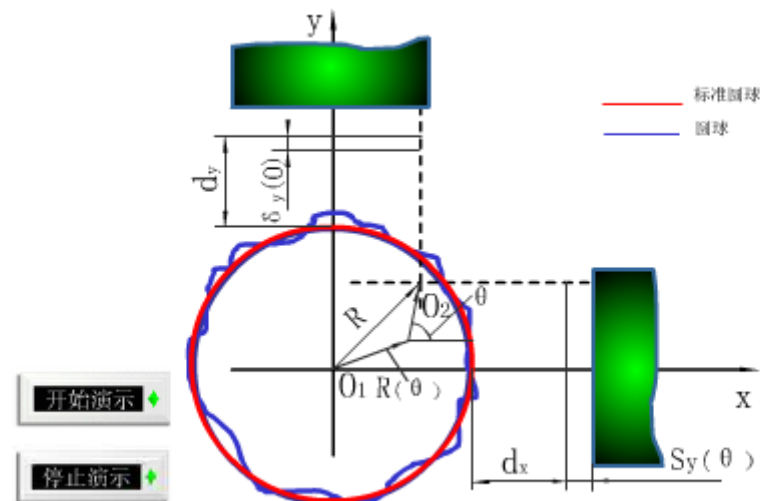
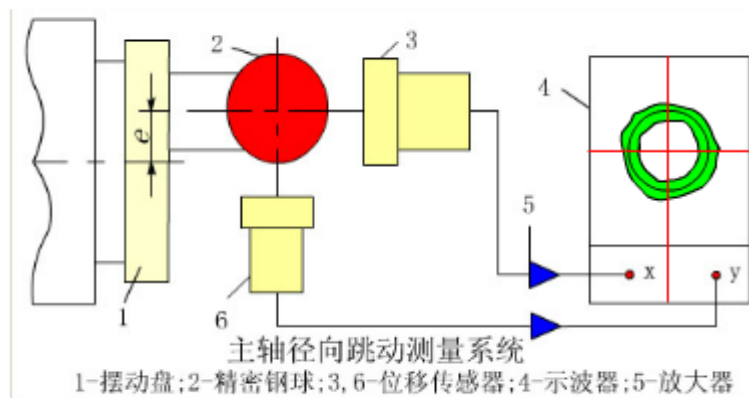
6. 涡流探伤仪

涡流探伤仪是一种无损检测装置，用于探测金属导体材料表面或近表面裂纹、热处理裂纹以及焊缝裂纹等缺陷。测试时，传感器与被测物体距离保持不变，遇有裂纹时，金属的电阻率，磁导率发生变化，裂缝处也有位移量的改变，结果使传感器的输出信号也发生变化。



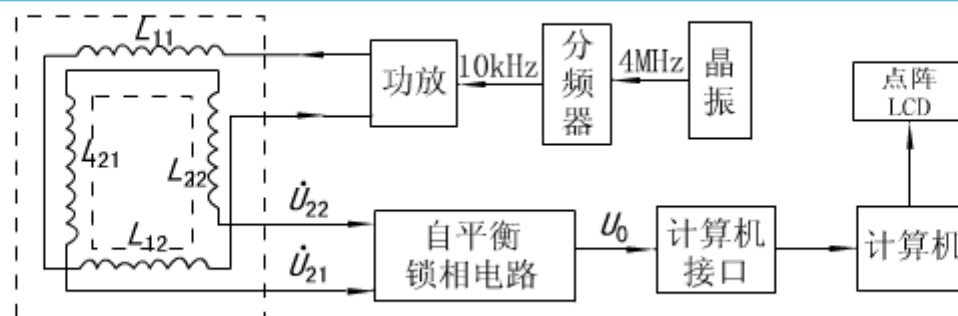
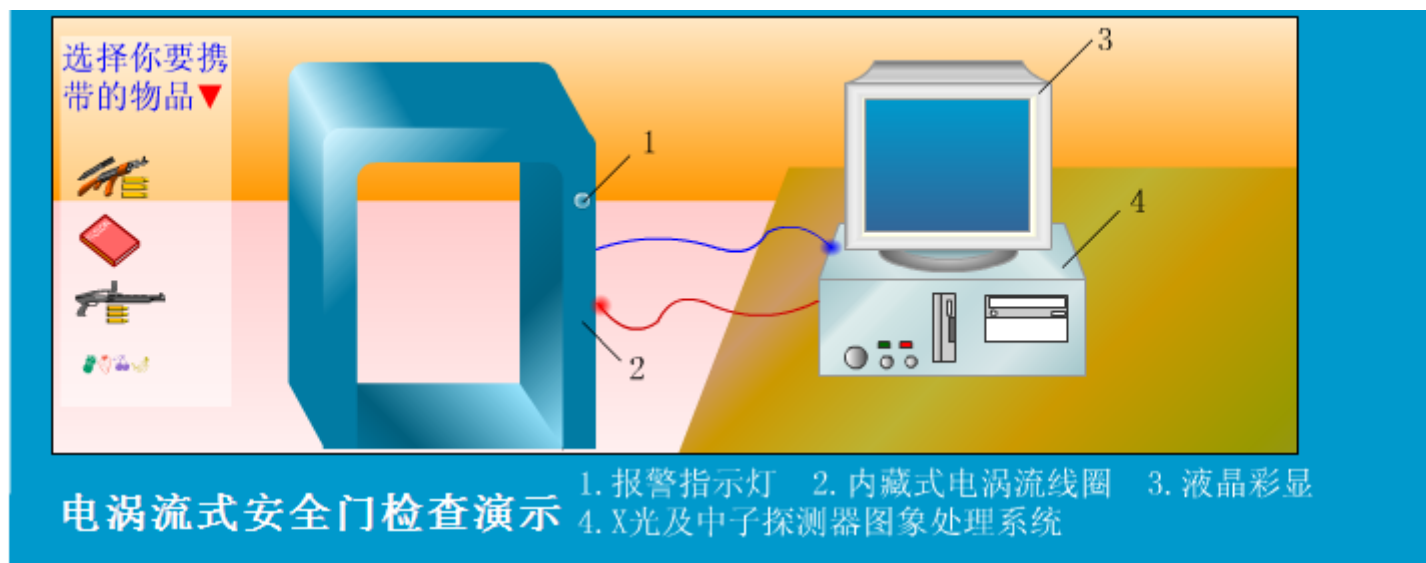
12.2.3 电涡流式传感器的应用

7. 轴承径向跳动测试



12.2.3 电涡流式传感器的应用

8. 安全检查



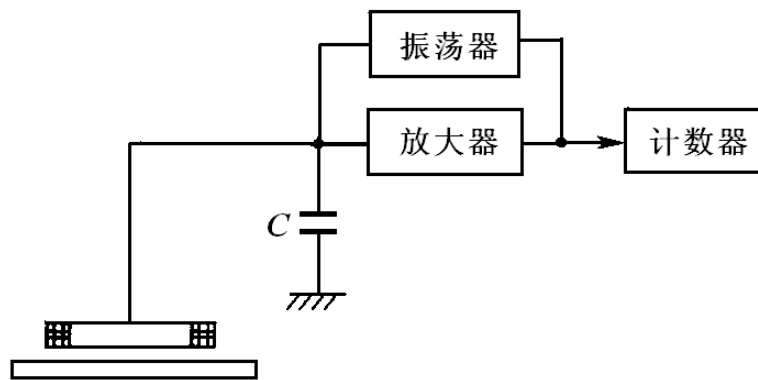
电涡流式通道安全检查门电原理

12.2.3 电涡流式传感器的应用

9. 电涡流温度测量

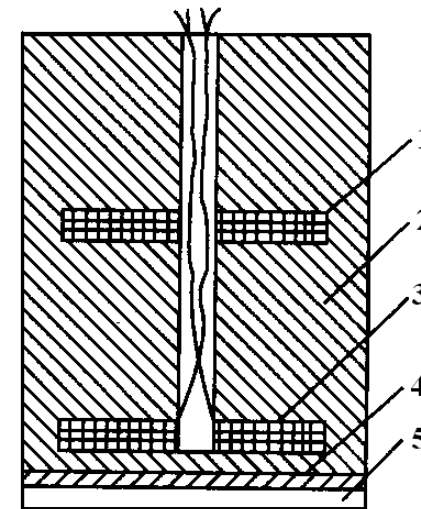
在较小的温度范围内金属导体的电阻率 ρ 与温度 t 的关系可以用下式表示:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha\Delta t)$$



(a)

(a) 表面温度测量;



(b)

(b) 介质温度测量

1-补偿线圈; 2-骨架; 3-测量线圈; 4-绝缘衬套; 5-测试敏感元件

12.2.3 电涡流式传感器的应用

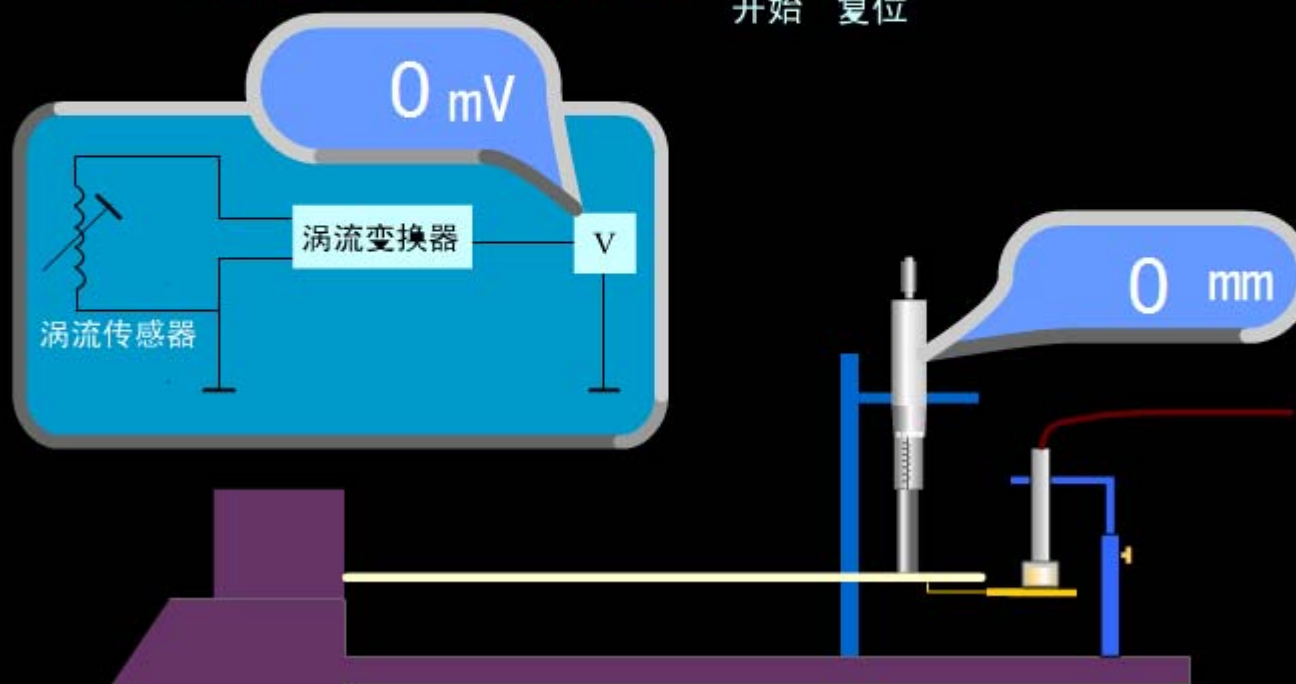
10. 接近开关



12.2.3 电涡流式传感器的应用

电涡流式传感器的静态位移性能实验

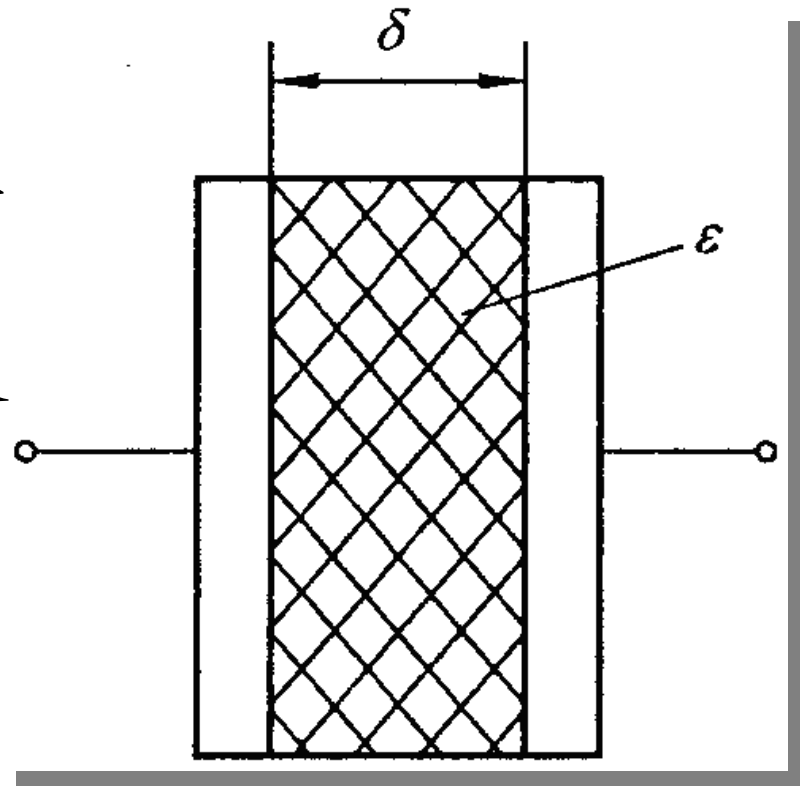
每点击一次右边的开始按钮
将自动测得一组数据(共十组)



12.3 电容式传感器

一、工作原理

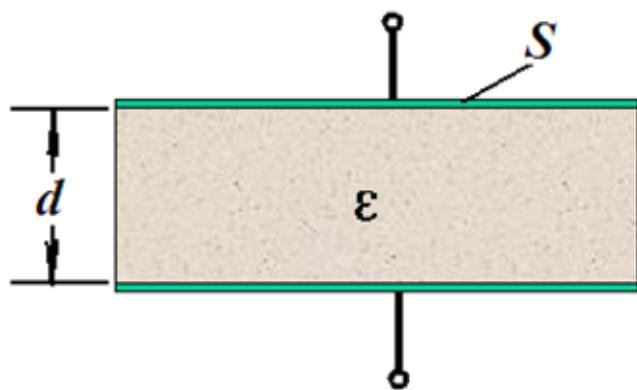
将机械转角或线位移转换为电容器的电容量，再通过测量电路把电容量变换成电信号输出。



由电容式敏感元件和转换电路两部分组成。

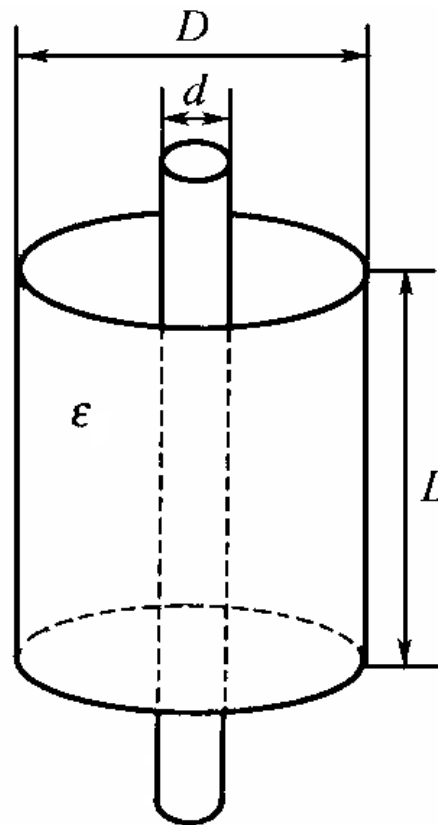
12.3 电容式传感器

◆ 电容器:



平板电容器

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$



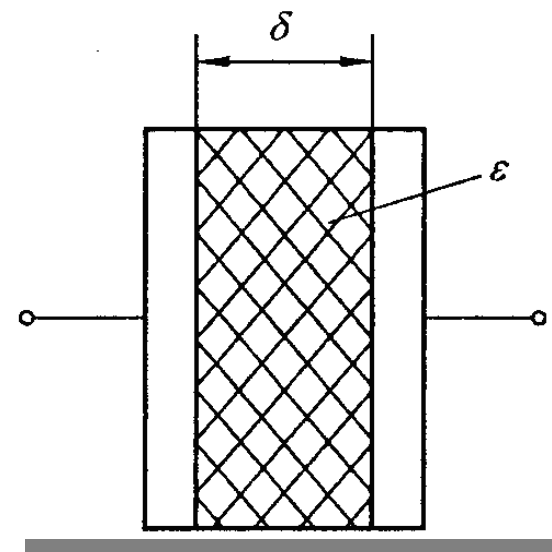
柱形电容器

$$C = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln \frac{D}{d}}$$

12.3 电容式传感器

平板电容器

$$C = \frac{\varepsilon S}{\delta} \text{ pF}$$



ε — 极间介质的介电常数, pF/m

S — 极板的遮盖面积 (m^2)

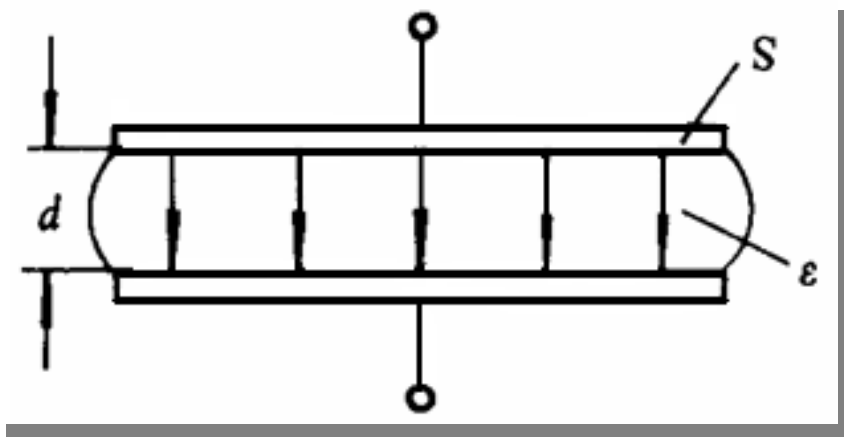
δ — 两极板间的距离 (m)

12.3 电容式传感器

一、工作原理

平板电容器如图所示

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$



d , S , $\epsilon(\epsilon_r)$ 变化 $\Rightarrow \Delta C$ 变化 $\Rightarrow U(I)$ 变化

变间隙 d 、变面积 S 、变介电常数 ϵ_r 型

12.3 电容式传感器

二、结构类型

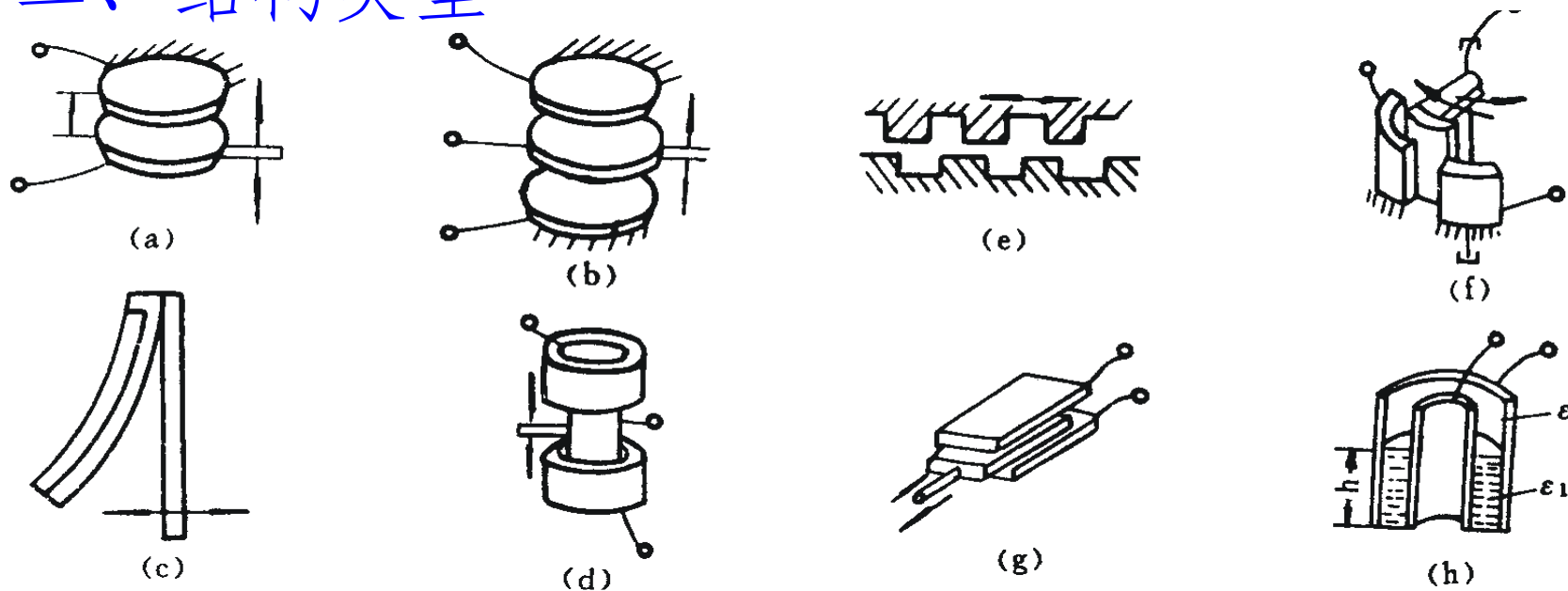


图 几种不同的电容式传感器的原理结构图

图4-2(a)、(b)为变间隙式，测微小位移($0.01 \sim 10^2 \mu\text{m}$)；

图4-2(c)、(d)、(e)、(f)变面积式，测角位移 $1^\circ \sim 100^\circ$ 或较大线位移；

图4-2(g)、(h)为变介电常数式，物位测量及介质温度、密度测量。

其它物理量须转换成电容器的 d 、 S 或 ϵ 的变化再进行测量。

12.3 电容式传感器

二、结构类型

1. 改变遮盖面积的电容式敏感元件

(1) 线位移型电容式敏感元件

基本型 当活动极板沿箭头方向移动时，遮盖面积 S 发生变化，则电容也随之改变，其值为

$$C_x = \frac{\epsilon b x}{\delta}$$

灵敏度为

$$\frac{dC_x}{dx} = \frac{\epsilon b}{\delta}$$

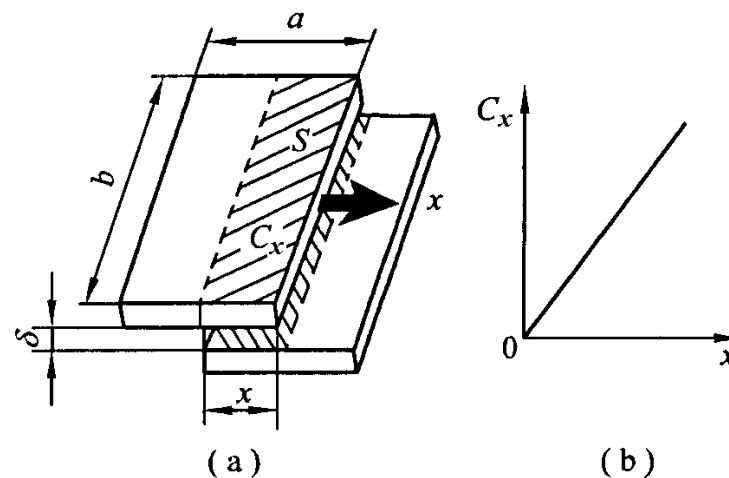


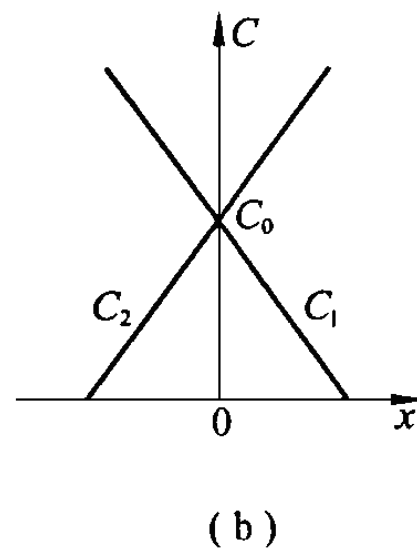
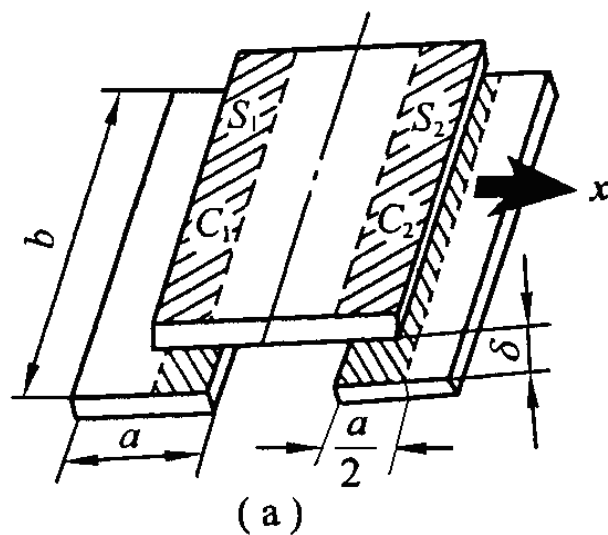
图 12-13 线位移型电容式敏感元件

12.3 电容式传感器

(2) 差动线位移型电容式敏感元件

活动极板沿 x 方向移动，遮盖面积 S_1 减小， S_2 增大，电容 C_1 和 C_2 随之改变，向相反方向变化

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= C_0 - C_0 \frac{2x}{a} \\ C_2 &= C_0 + C_0 \frac{2x}{a} \end{aligned} \right\}$$



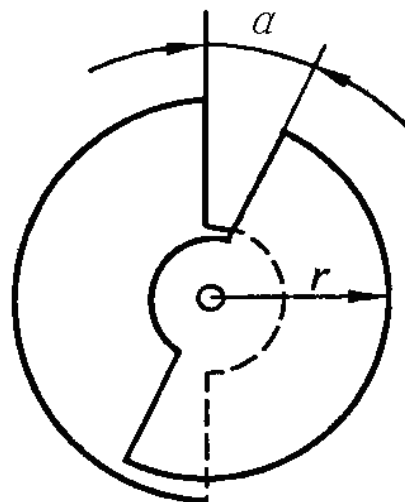
12.3 电容式传感器

(3) 角位移电容式敏感元件

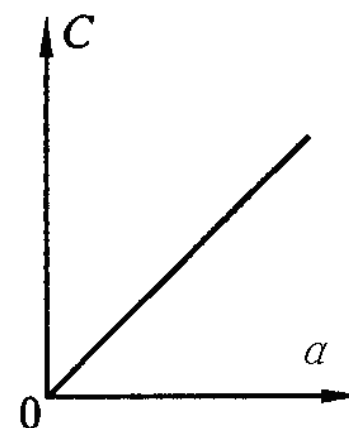
基本型

动片有一角位移 α 时，两极板间遮盖面积 S ($S_0 \alpha / \pi$) 发生变化，电容 C 也随之改变：

$$C = \frac{\varepsilon S_0 \alpha}{\delta \pi} = \frac{\varepsilon r^2 \alpha}{2\delta}$$



(a)

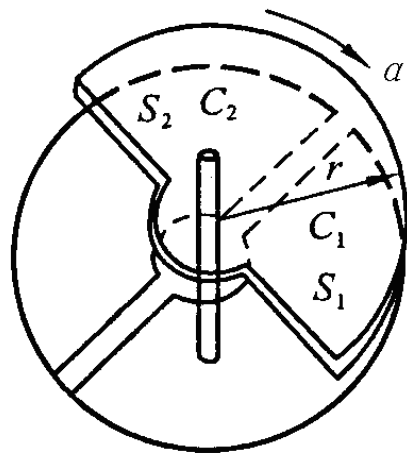


(b)

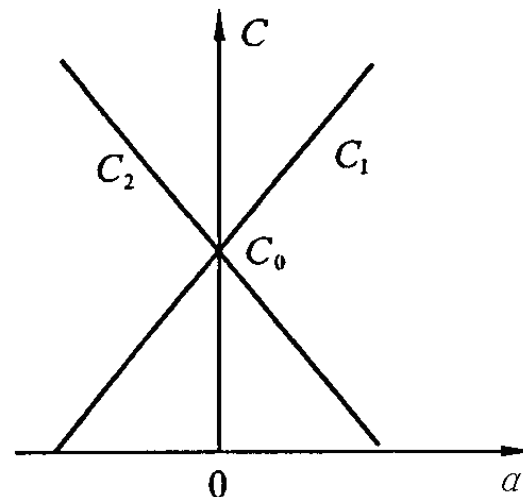
12.3 电容式传感器

差动角位移型

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{\epsilon S_0}{\delta} \left(1 + \frac{2\alpha}{\pi}\right) = C_0 + C_0 \frac{2\alpha}{\pi} \\ C_2 &= \frac{\epsilon S_0}{\delta} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi}\right) = C_0 - C_0 \frac{2\alpha}{\pi} \end{aligned} \right\}$$



(a)

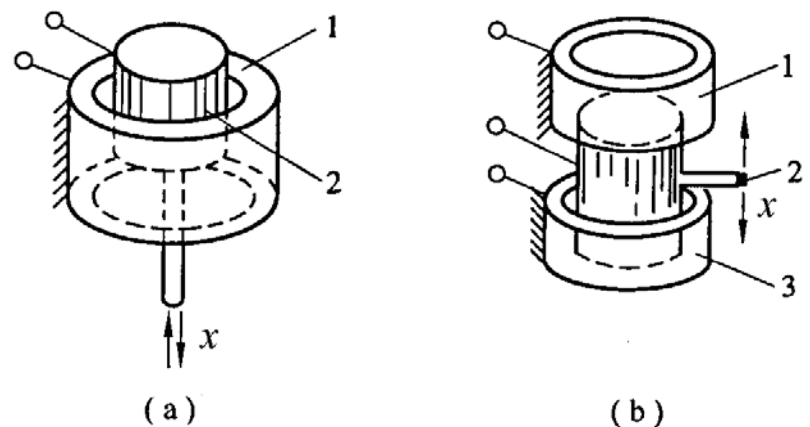


(b)

12.3 电容式传感器

(3) 圆柱型电容式敏感元件

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(R/r)}$$



l — 外圆筒与内圆柱遮盖部分的长度;

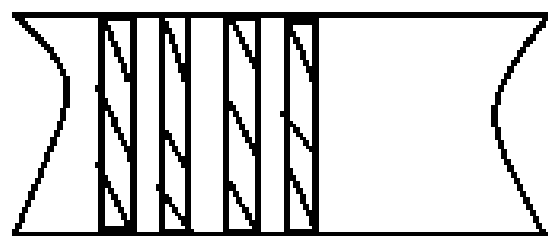
R 、 r — 外圆筒内半径和内圆柱（或圆筒）外半径

单边圆柱型线位移式元件，当可动极2 位移 x 时

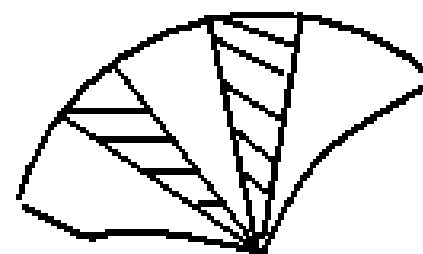
$$\Delta C = \left| \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(R/r)} - \frac{2\pi\epsilon (l-x)}{\ln(R/r)} \right| = \frac{2\pi\epsilon x}{\ln(R/r)} = C_0 \frac{x}{l}$$

12.3 电容式传感器

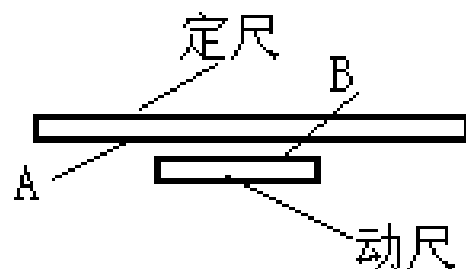
(4) 电容栅型敏感元件



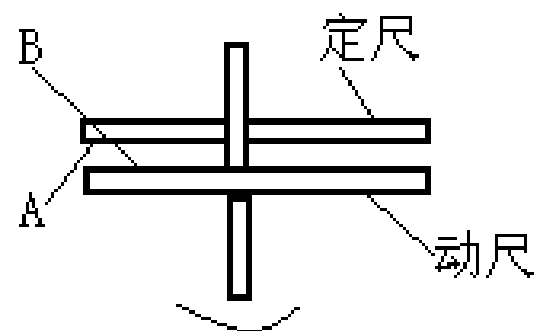
(a) 长容栅极片



(b) 圆容栅极片



(c) 长容栅式传感器



(d) 圆容栅式传感器

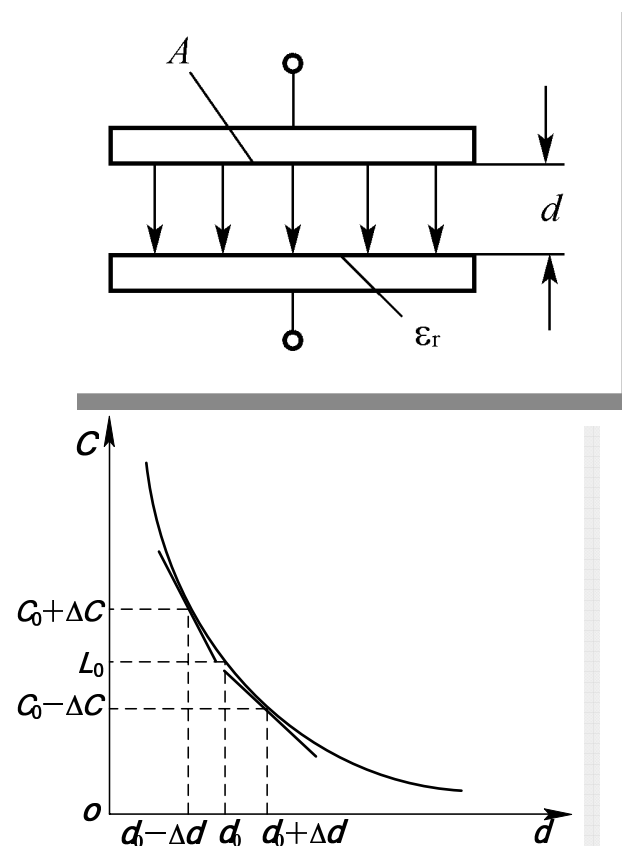
电容栅式传感器的结构示意图

12.3 电容式传感器

2. 改变极间距离的电容式敏感元件

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$

电容变化和距离是非线性的



12.3 电容式传感器

✚ 优点

- 温度稳定性好
- 结构简单，适应性强
- 动态响应好
- 可以实现非接触测量，并具有平均效应

✚ 缺点

- 输出阻抗高，负载能力差
- 寄生电容影响大

12.3.2 电容式传感器的应用

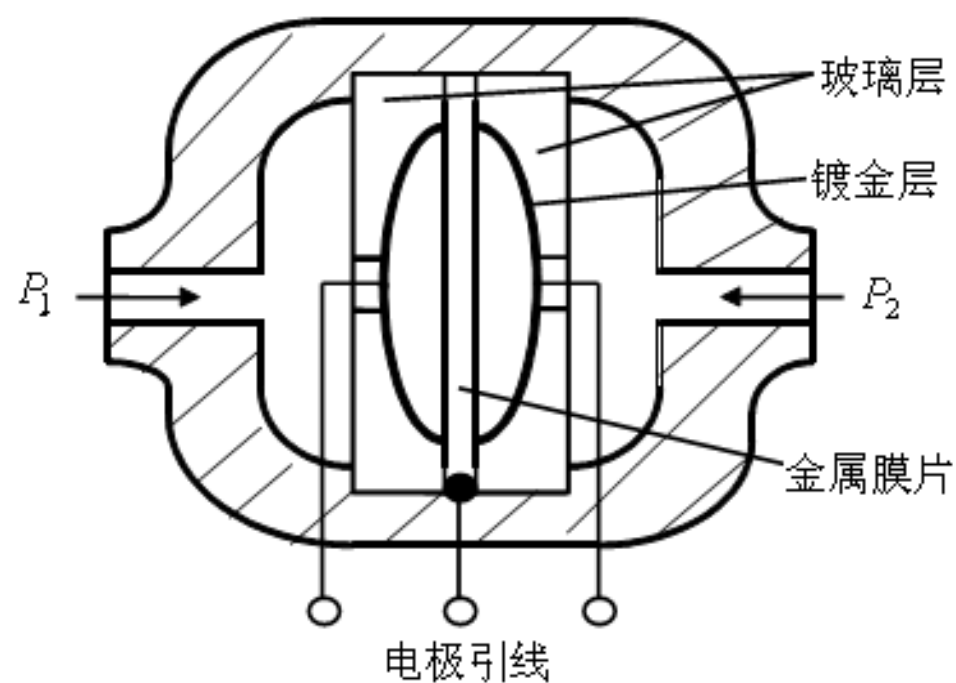


电容式传感器不但应用于位移、振动、角度、加速度及荷重等机械量的精密测量，还广泛应用于压力、差压力、液位、料位、湿度、成分含量等参数的测量。

12.3.2 电容式传感器的应用

1. 电容式压力传感器

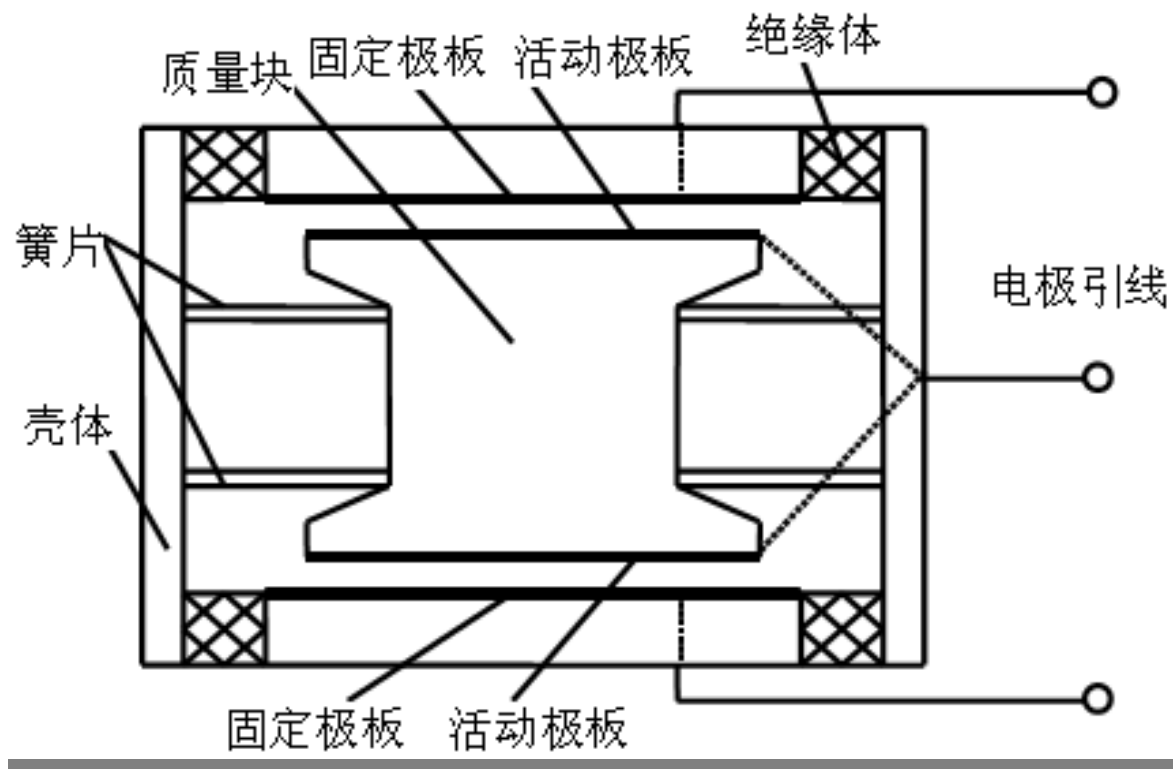
电容式压力传感器是将由被测压力引起的弹性元件的位移变化转变为电容的变化来实现测量的。



12.3.2 电容式传感器的应用

2 电容式加速度传感器

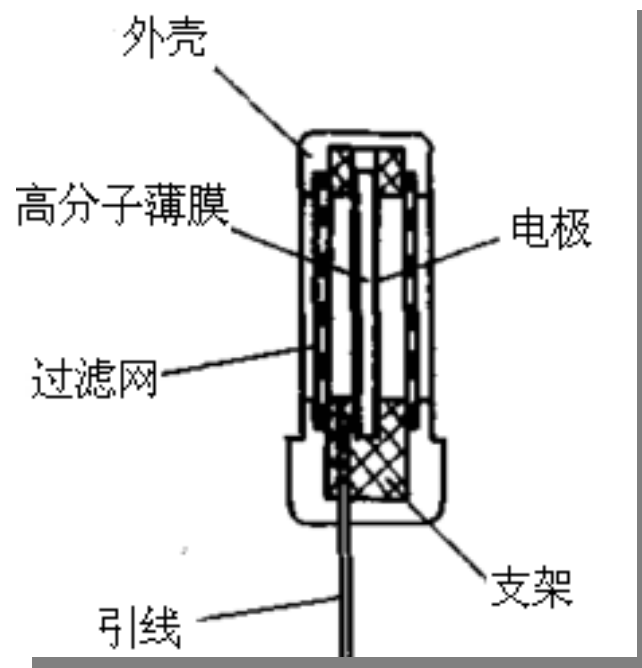
电容式加速度传感器是将被测物的振动转换为电容量变化，其结构示意图如图所示



12.3.2 电容式传感器的应用

3 电容式湿度传感器

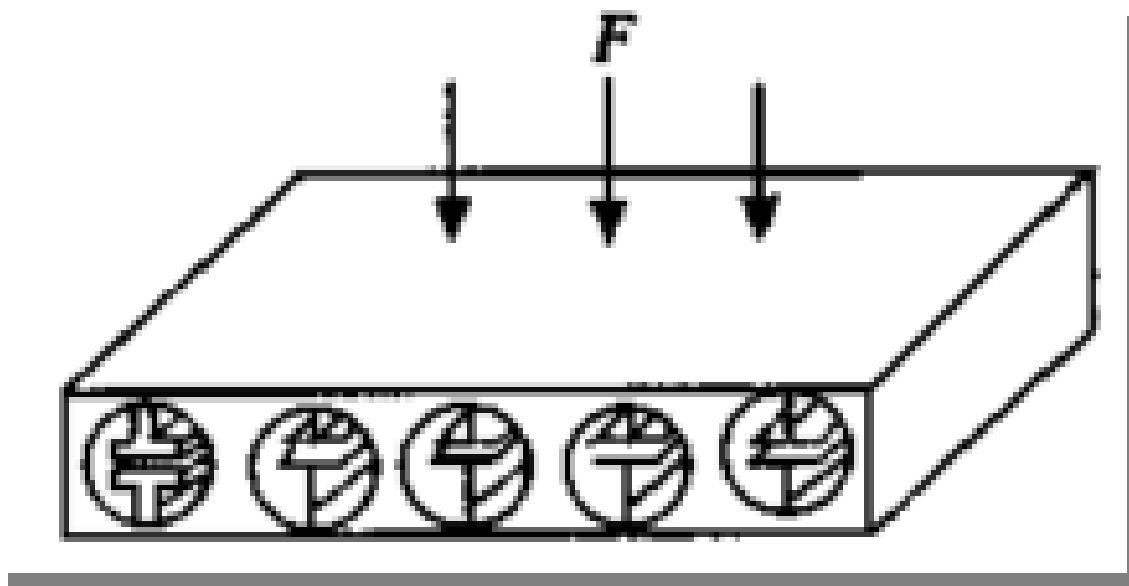
电容式湿度传感器是通过改变传感器中电介质的介电常数，从而引起电容量的变化来实现测量的。



12.3.2 电容式传感器的应用

4 电容式荷重传感器

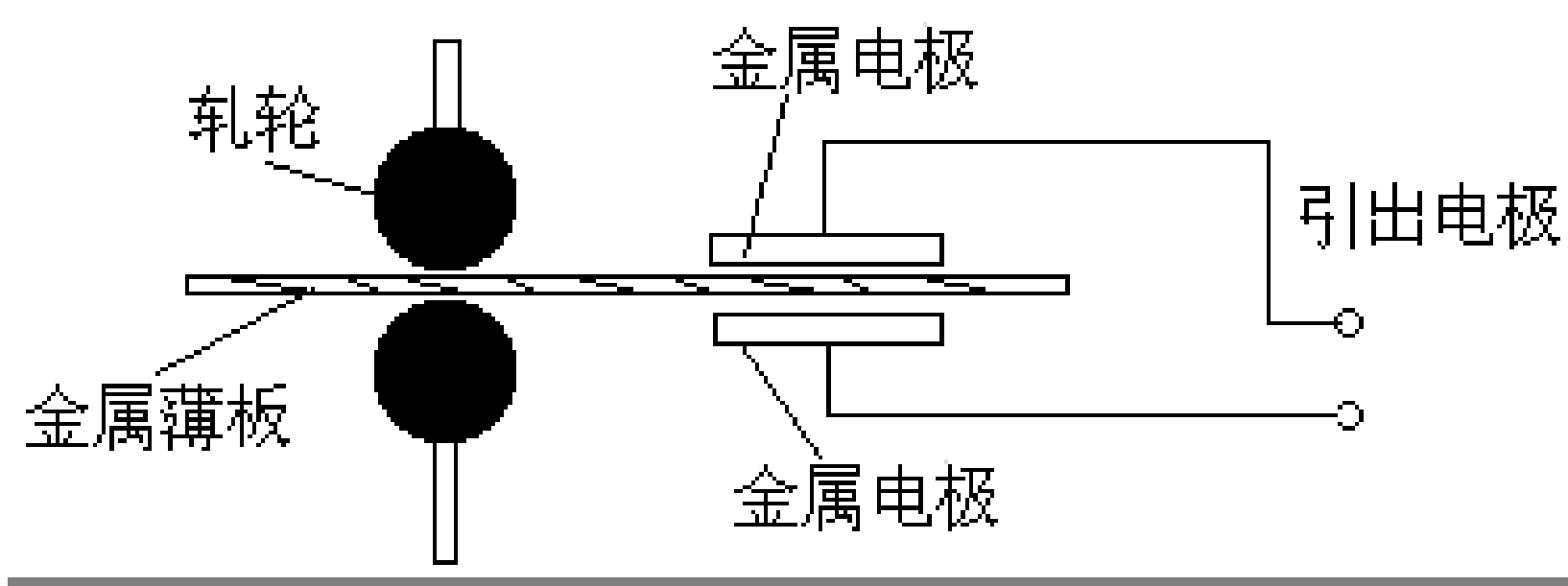
电容式荷重传感器是利用弹性元件的变形，致使电容随外加载荷的变化而变化。



12.3.2 电容式传感器的应用

5 电容式厚度传感器

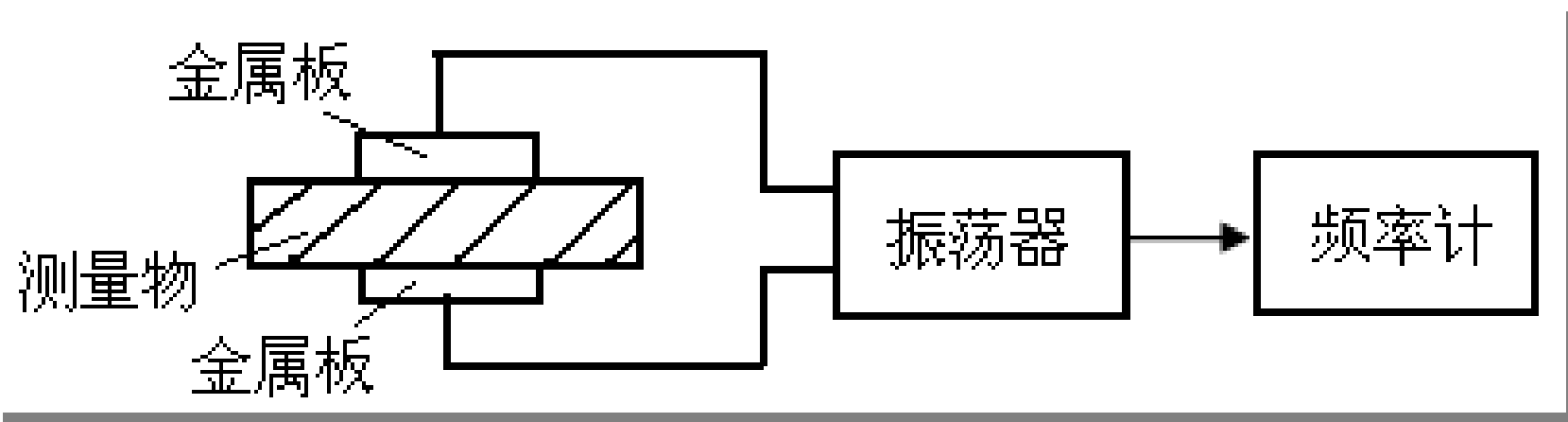
1. 电容式测厚仪



12.3.2 电容式传感器的应用

5 电容式厚度传感器

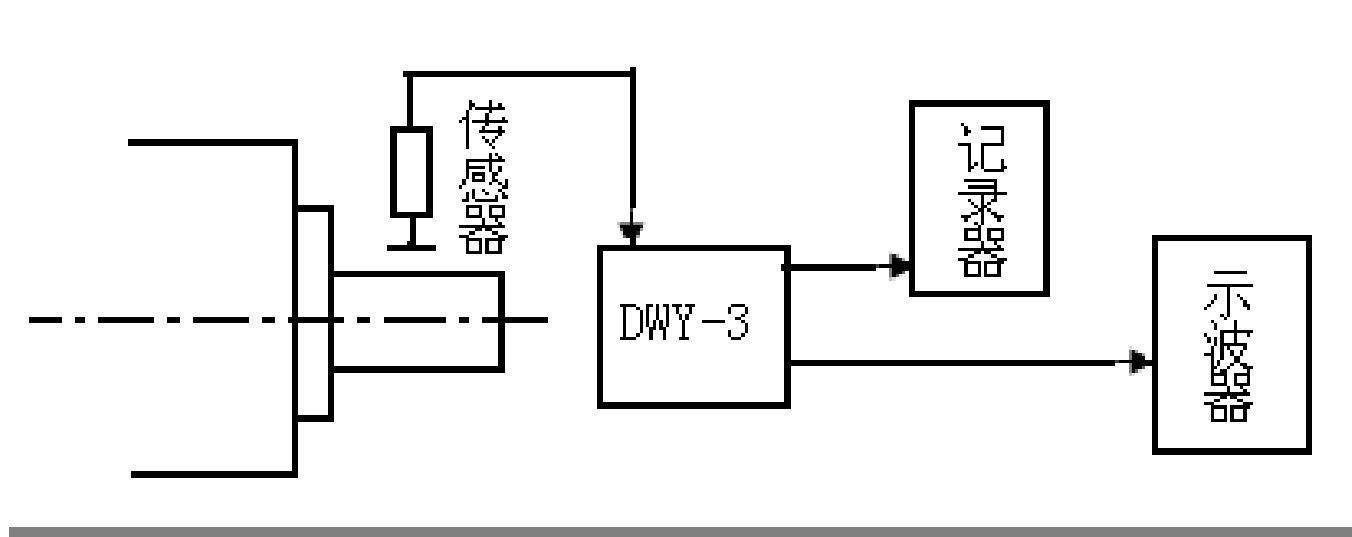
2. 电容式厚度传感器



12.3.2 电容式传感器的应用

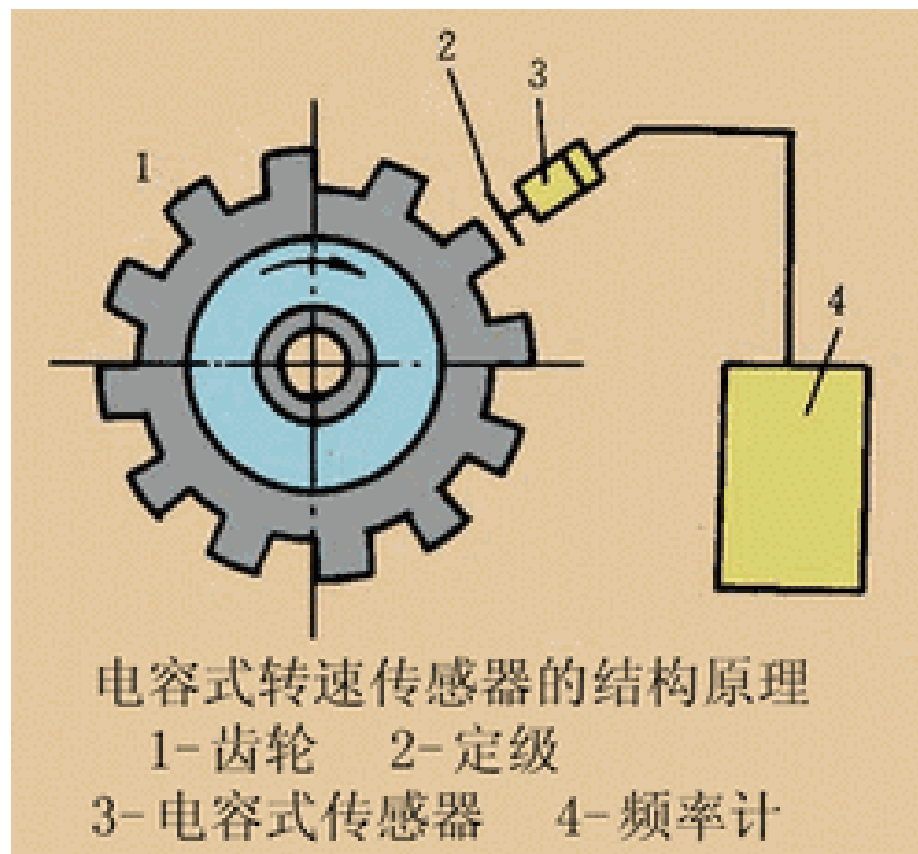
6 电容式位移传感器

电容式位移传感器就是通过改变电容器极板间的距离引起电容量的变化来实现测量的。通常采用的是一种单极变极距式。



12.3.2 电容式传感器的应用

7 电容转速计



Thank You!

伊国兴

ygx@hit.edu.cn

