

关于电阻应变式传感器

3.1 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器由电阻应变片和测量电路组成。其敏感元件的电阻随着机械变形（伸长或缩短）而变化。它广泛应用于测量力和与力有关的一些非电参数（如压力、荷重、扭力、加速度等）。

电阻应变传感器的特点是精度高，测量范围广；结构简单，性能稳定可靠，寿命长；频率特性好，能在高温、高压、振动强烈、强磁场等恶劣环境条件下工作。

3.1 电阻应变式传感器

- ◆ 3.1.1 应变片的工作原理
- ◆ 3.1.2 电阻应变传感器的测量电路
- ◆ 3.1.3 电阻应变传感器的温度误差及其补偿
- ◆ 3.1.4 电阻应变传感器的应用
- ◆ 3.1.5 电阻应变传感器实训

3.1.1 应变片的工作原理

- w 图3-1-4示出了电阻应变
- w 金属导体的电阻随着它所
- 的现象，称为金属电阻的
- 以工作的物理基础。

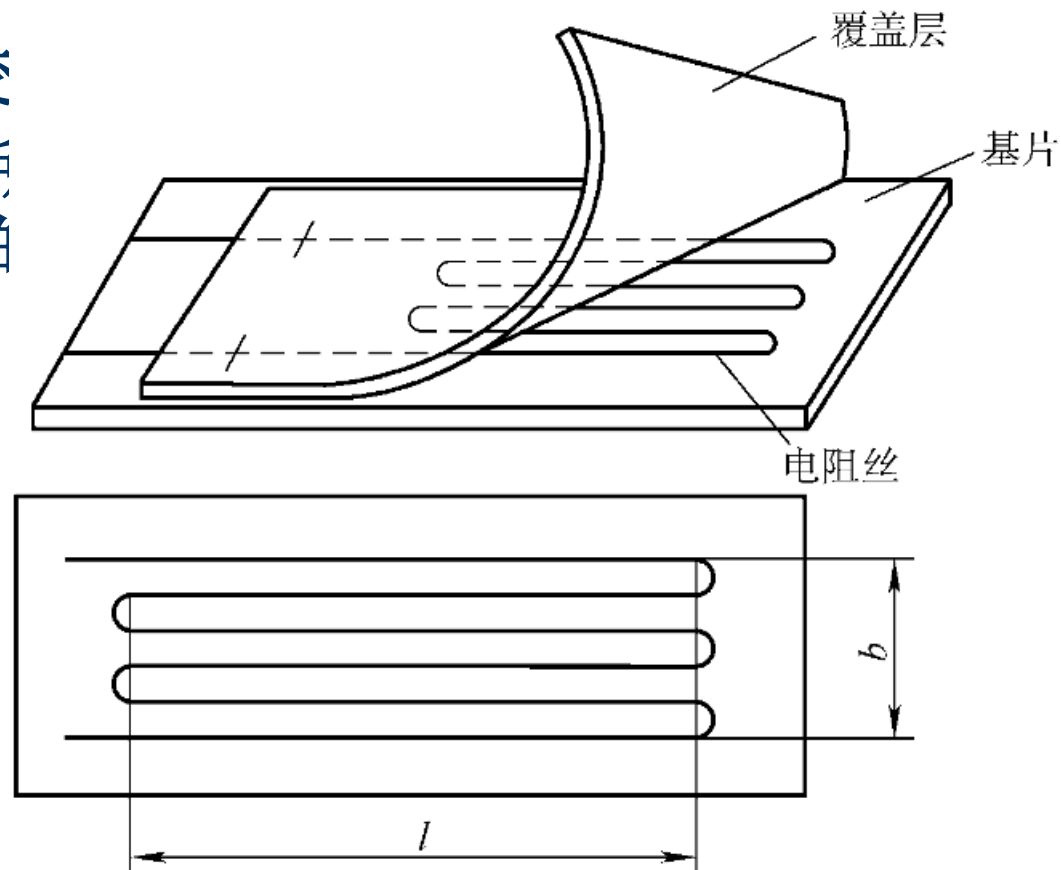


图3-1-4 电阻应变片的基本结构

[返回首页](#)

3.1.1 应变片的工作原理

[返回首页](#)

w金属导体的应变效应

n金属导体在外力作用下发生机械变形时，其电阻值随着它所受机械变形（伸长或缩短）而发生变化的现象。

w根据电阻的定义：

$$R = \rho \times l / A$$

如果金属导体在外力作用下产生变化量 $d\rho$ 、 $d l$ 、 dA 时，其电阻变化 dR 为：

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

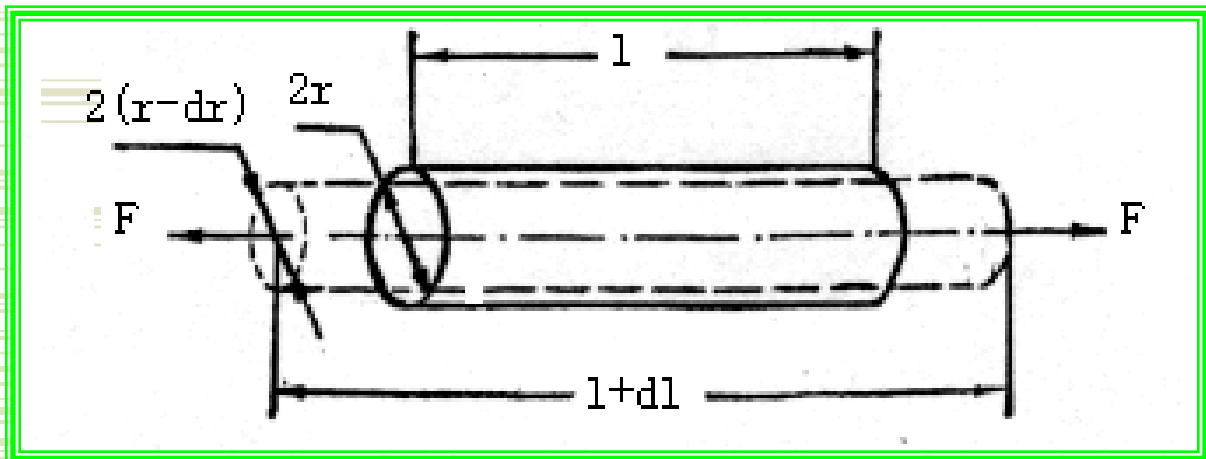
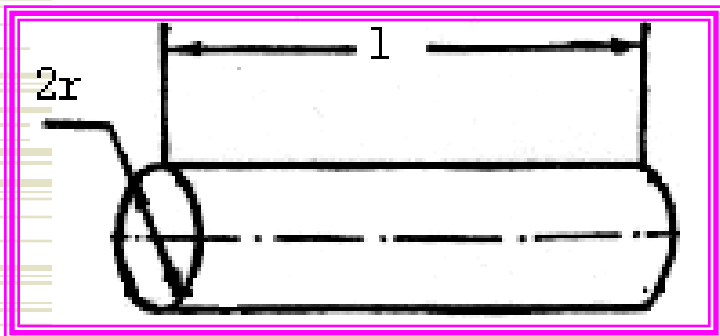


图3-1-3 电阻应变片的基本形状

3.1.1 应变片的工作原理

W 根据偏导数定义，设 ρ 、 A 为常数，则 $\frac{\partial R}{\partial l} = \frac{\rho}{A} = \frac{R}{l}$ ，同理，

$$W \frac{\partial R}{\partial A} = -\frac{\rho l}{A^2} = -\frac{R}{A}, \quad \frac{\partial R}{\partial \rho} = \frac{l}{A} = \frac{R}{\rho},$$

$$W \text{ 故 } dR = R \left(\frac{dl}{l} - \frac{dA}{A} + \frac{d\rho}{\rho} \right)$$

$$W \text{ 常见表达式: } \frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} - \frac{dA}{A} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (3-1-6)$$

[返回首页](#)

3.1.1 应变片的工作原理

w 前式 $A = \pi r^2$ ，则 $\frac{dA}{A} = 2\frac{dr}{r}$ ，则 $dR = R \left(\frac{dl}{l} - 2\frac{dr}{r} + \frac{d\rho}{\rho} \right)$

w 上式中， $\varepsilon = \frac{dl}{l}$ 称为轴向线应变，单位：“微应变”，
 $1\mu\varepsilon = 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$

w 由材料力学知，经向收缩 ε_r 和轴向伸长 ε 的关系为：

w $\varepsilon_r = \frac{dr}{r} = -\mu \frac{dl}{l} = -\mu\varepsilon$ ， μ 称为泊松比

w 则 $\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l}(1 + 2\mu) + \frac{d\rho}{\rho} = \varepsilon(1 + 2\mu) + \frac{d\rho}{\rho}$

[返回首页](#)

3.1.1 应变片的工作原理

[返回首页](#)

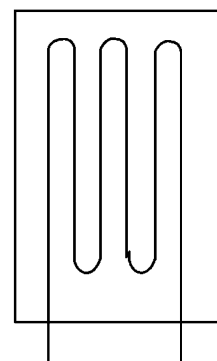
w 下面分导体和半导体两种情况对上式进行讨论：

n 金属电阻应变片（按结构形式分）

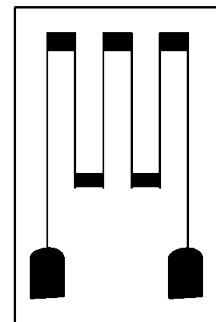
- | 丝式
- | 箔式
- | 薄膜式

n 半导体应变片

- | 体型半导体应变片
- | 薄膜型半导体应变片
- | 扩散型半导体应变片

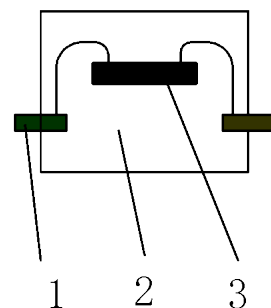


a) 丝式



b) 箔式

金属电阻应变片结构



体型半导体应变片

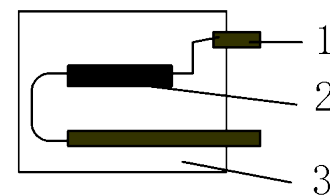


图3-1-5 电阻应变片的类型

3.1.1 应变片的工作原理

返回首页

应变电阻效应

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + (1 + 2u)\varepsilon$$

(1) 金属材料的应变电阻效应

$$\therefore \frac{d\rho}{\rho} = C \frac{dV}{V} \quad \therefore \frac{dV}{V} = \frac{dl}{l} + \frac{dA}{A} = (1 - 2u)\varepsilon$$

$$\therefore \frac{dR}{R} = \{(1 + 2\mu) + C(1 - 2\mu)\}\varepsilon = \underline{K_m} \cdot \varepsilon$$

金属丝材的
应变灵敏系数

—— 金属材料的电阻相对变化与线应变成正比

(2) 半导体材料的应变电阻效应

$$\therefore \frac{d\rho}{\rho} = \pi\sigma = \pi E\varepsilon$$

$$\therefore \frac{dR}{R} = \{(1 + 2u) + \pi E\}\varepsilon = \underline{K_s} \cdot \varepsilon$$

半导体材料的
应变灵敏系数

—— 半导体材料的电阻相对变化与线应变成正比

3.1.1 应变片的工作原理

返回首页

应变灵敏系数

$$\frac{dR}{R} = K_0 \cdot \varepsilon$$

金属 $K_0 = K_m = \underline{(1 + 2u)} + \underline{C(1 - 2u)}$

几何尺寸变化

电阻率变化

金属丝材的应变电阻效应以结构尺寸变化为主，

$$K_m = 1.8 \sim 4.8$$

半导体 $K_0 = K_s = \underline{(1 + 2u)} + \underline{\pi E}$

几何尺寸变化

压阻效应

半导体材料的应变电阻效应主要基于压阻效应

$$K_s = (50 \sim 80)K_m$$

3.1.1 应变片的工作原理

金属电阻应变片

- w 大多数金属材料的 $\mu = 0.3 \sim 0.5$ 之间，所以 K_0 在 1.6~2.0 之间。
- w 金属电阻应变片具有分辨率高，非线性误差小；温漂系数小；测量范围大，可从弹性变形一直测至塑性变形（1%~2%），可超载达 20%；既能测量静态应变，又能测量动态应变；价格低廉，品种繁多，便于选择和大量使用等优点，因此在各行各业都广泛应用。

3.1.1 应变片的工作原理

半导体应变片

w 半导体应变片

- n 突出的优点是灵敏度系数高，可测微小应变（一般600微应变以下）；机械滞后小；动态特性好；横向效应小；体积小。
- n 其主要缺点是：电阻温度系数大；一般可达 $10-3/^\circ\text{C}$ ；灵敏度系数随温度变化大；非线性严重；测量范围小。因此，在使用时需采用温度补偿和非线性补偿措施。

3.1.2 电阻应变传感器的测量电路

- w 由于电阻应变片工作时其电阻、初始电阻 $120\ \Omega$ 的应变片，时，其电阻变化仅 $0.36\ \Omega$ 。
- w 测量电路的任务是把微弱的变化，因此常用直流电桥和
- w 目前应变片电桥大都采用交流电桥原理与它相如图3-T1所示。

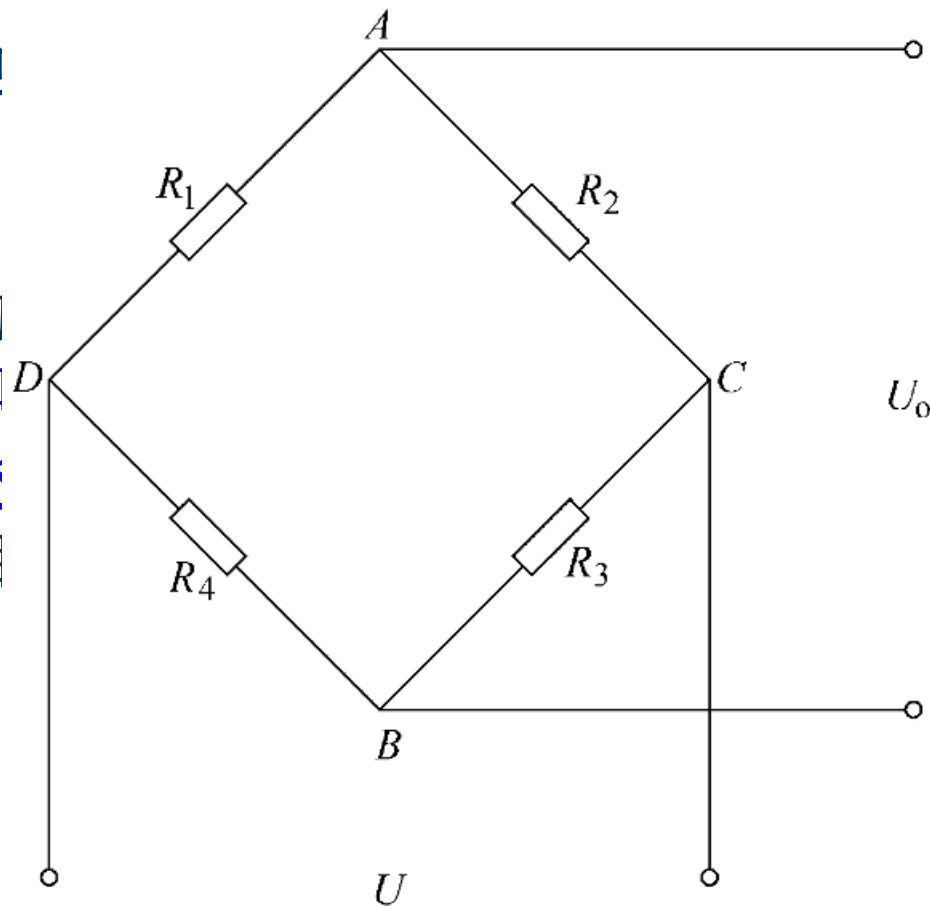


图3-T1 桥式测量电路

[返回首页](#)

3.1.2 电阻应变传感器的测量电路

电桥测量电路的分析

n 电桥测量电路见图3-T1，图中 $R_1 \sim R_4$ 分别为四桥臂电阻， U 为供桥电压， U_o 为电桥输出电压。当电桥的负载电阻为无穷大时，桥路的输出电压为：

$$U_o = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U$$

n 为了使测量前的输出为零，应使： $R_1 R_3 - R_2 R_4 = 0$

n 满足上式的条件称为电桥平衡条件。此时，当每桥臂电阻的变化远小于本身值，即 $\Delta R_i \ll R_i$ ，（ $i = 1、2、3、4$ ），且负载电阻为无穷大时，输出电压可近似为：

$$U_o = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) U$$

[返回首页](#)

3.1.2 电阻应变传感器的测量电路

1) 单臂电桥

桥臂电阻中只有一个电阻为应变片，其余为固定电阻。

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \quad \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = 0 \quad \Delta R_1 = \Delta R$$

$$\longrightarrow U_o = \frac{U}{4} \frac{\Delta R}{R} = \frac{U}{4} k \varepsilon \longrightarrow K_U = \frac{U_o}{\varepsilon} = \frac{U}{4} k \quad (\text{桥路电压灵敏度})$$

2) 对称电桥

对于电源左右两边对称，例如 产生纵向应变 ε ，产生横向应变 ε_r ， R_2 、 R_4 为固定电阻。因此得

$$\varepsilon_r \quad R_3 \quad R_4$$

若 R_1 和 R_3 均是产生纵向应变的应变片， R_2 和 R_4 是固定电阻，则

$$\text{这种电桥称为半桥} \longrightarrow K_U = \frac{U_o}{\varepsilon} = \frac{U}{2} k$$

返回首页

3.1.2 电阻应变传感器的测量电路

3) 非对称电桥

$R_1 = R_4$, $R_2 = R_3$, 如令 $R_2 / R_1 = R_3 / R_4 = a$, 如 R_1 和 R_4 是产生不同应变的应变片, R_2 和 R_3 是固定电阻, 则

$$U_o = \frac{aU}{(1+a)^2} k(1+\mu)\varepsilon \longrightarrow K_U = \frac{aU}{(1+a)^2} (1+\mu)$$

由上式可见, 当 $a = 1$ 时, 电压灵敏度 K_U 最高, 对称电桥是非对称电桥的特例。

非对称电桥的优点是非线性误差较小。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/875023011200012001>