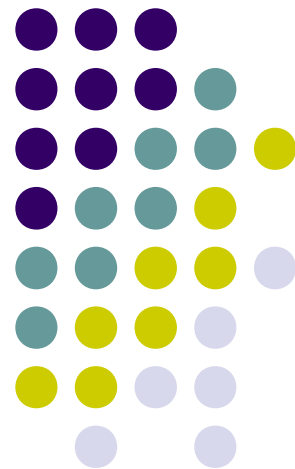
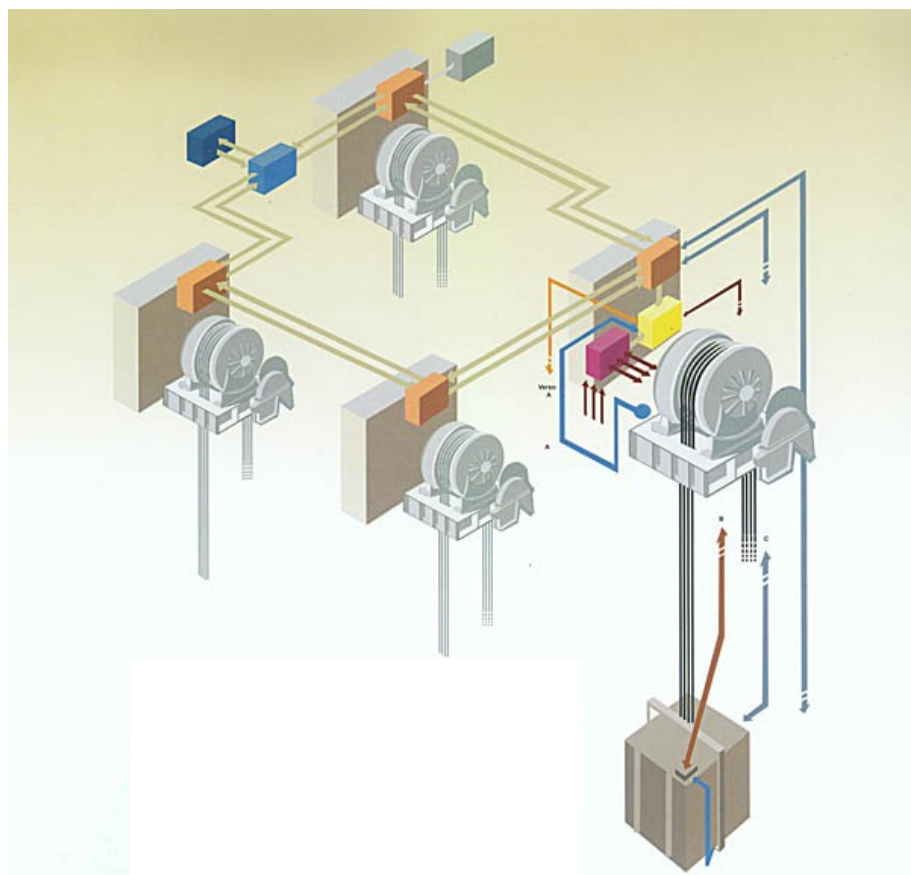


模块三 力和压力检测



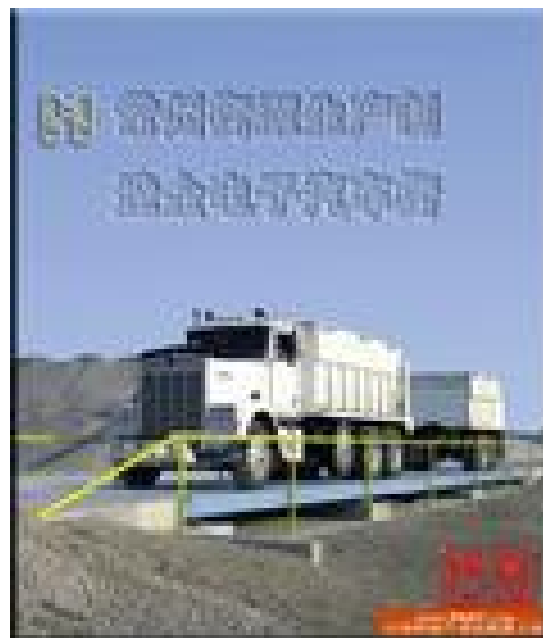


力和压力检测实例：电梯称重



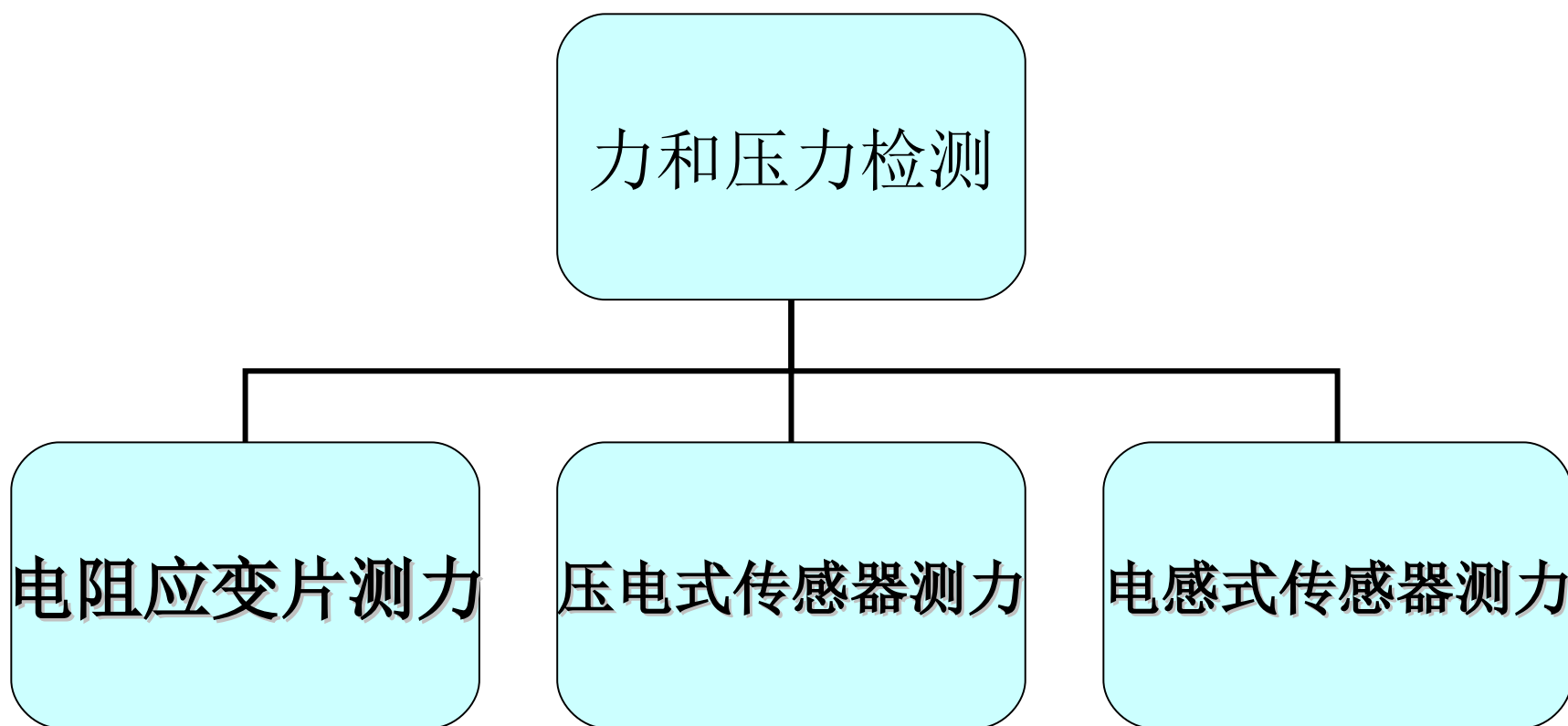


力和压力检测实例：称重电子衡





力和压力检测分类

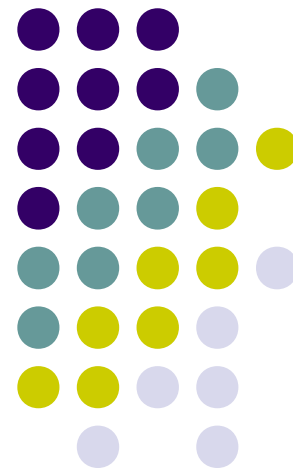




学习目标

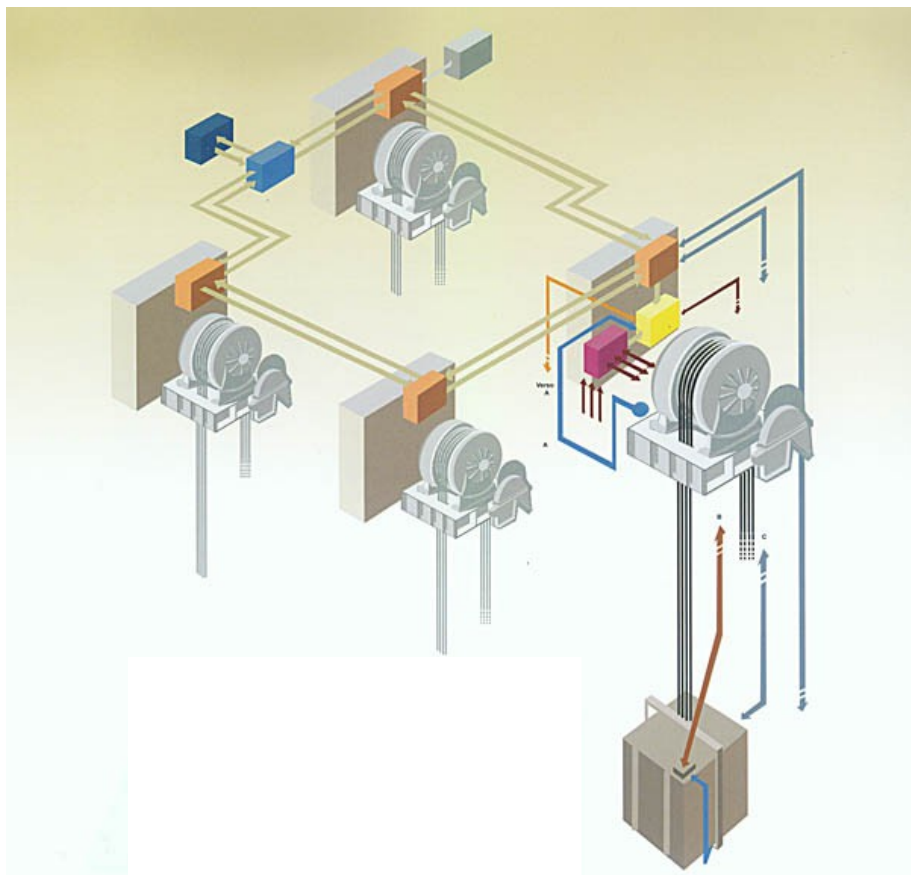
- ❑ 了解力的概念和力的测量原理
- ❑ 掌握常用的力和压力检测方法
- ❑ 熟悉常用力和压力测量元件的外形及基本工作原理
- ❑ 掌握应变式、压电式、电感式等传感器的应用

课题一 电阻应变片测力



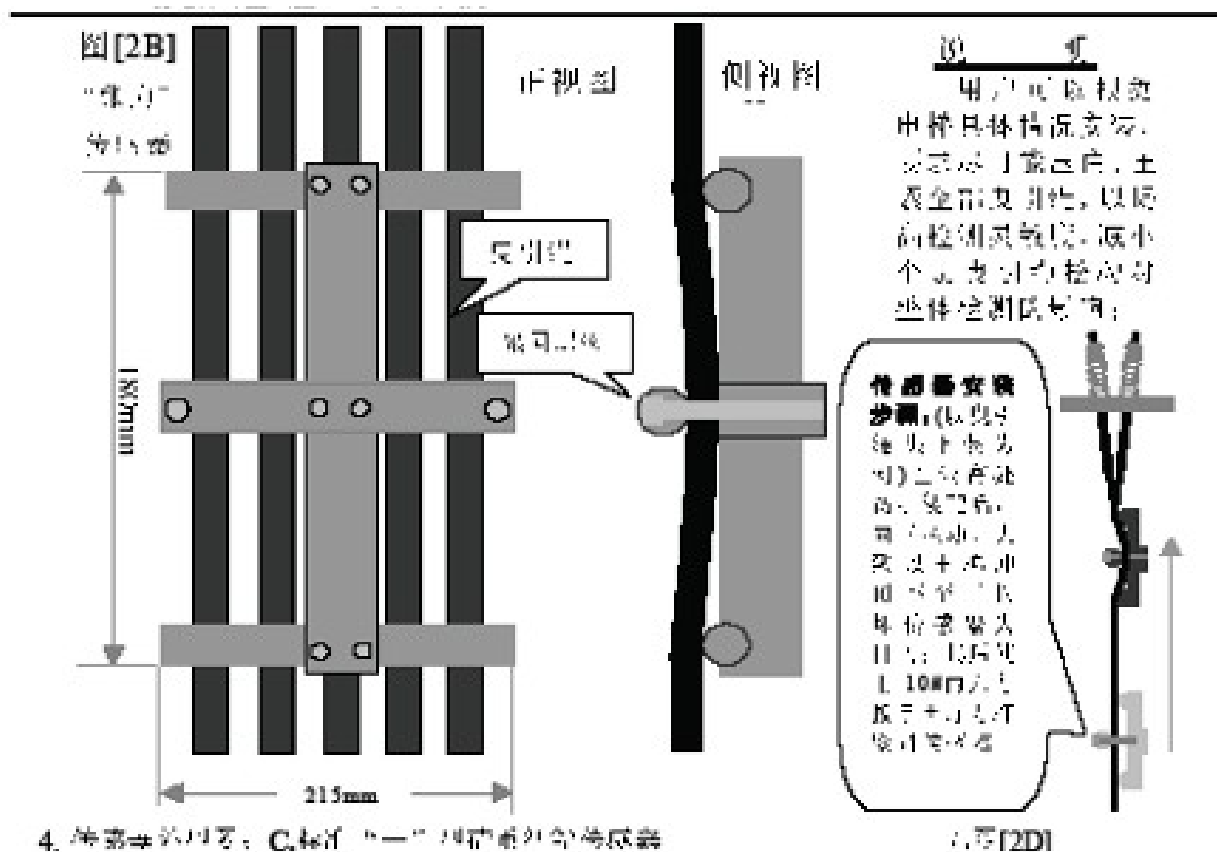
课题一 电阻应变片测力

应用实例：电梯称重



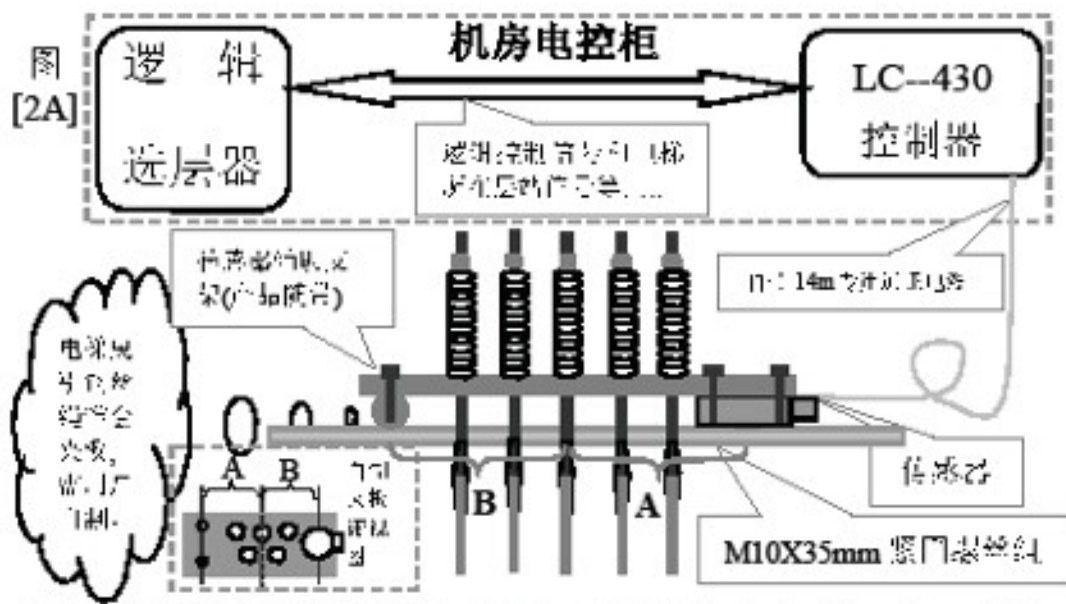
课题一 电阻应变片测力

应用实例：电梯称重



课题一 电阻应变片测力

应用实例：电梯称重





课题一 电阻应变片测力

知识目标：

- (1) 了解电阻应变片的测力原理及结构；
- (2) 理解和掌握单臂电桥、半桥、全桥3种测量电路。

能力目标：

掌握电阻应变片测力及其电路的温度补偿方法。



课题一 电阻应变片测力

重点：

理解和掌握单臂电桥、半桥、全桥 3 种测量电路。

难点：

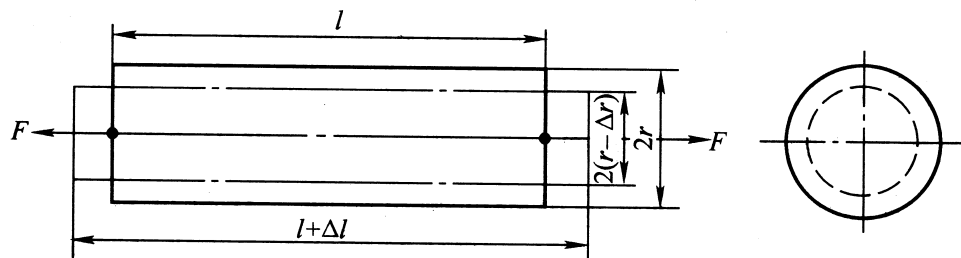
- (1) 电阻应变片的测力原理；
- (2) 3 种电桥测量电路、温度补偿方法。



一、基础知识

1、电阻应变片的测力原理

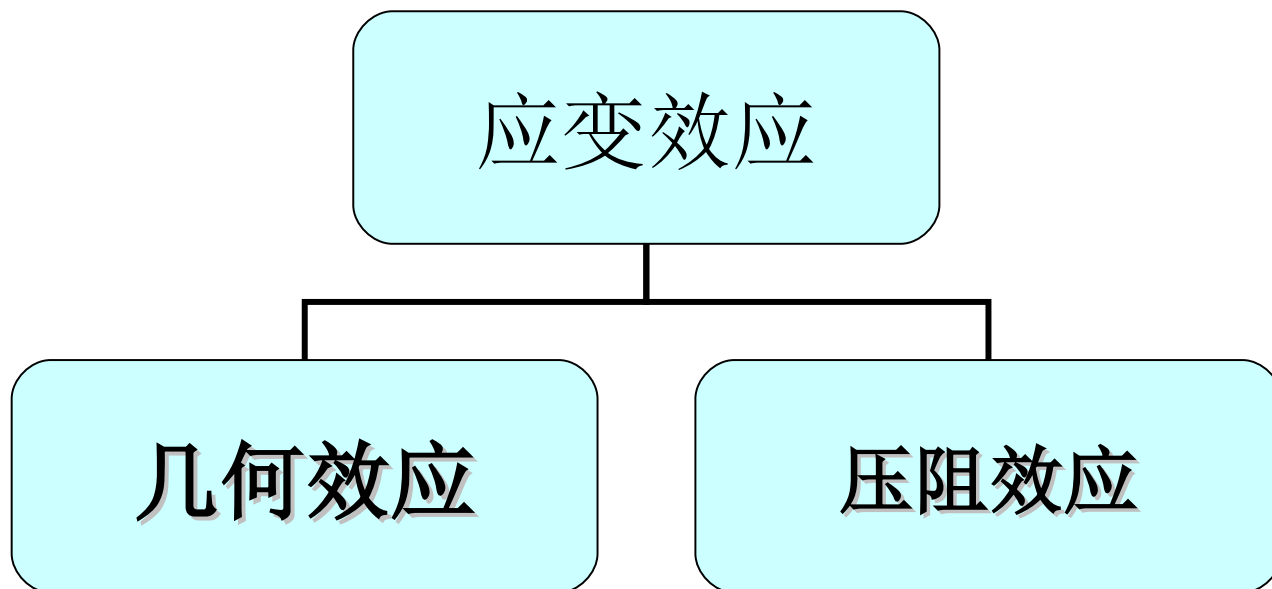
电阻应变片式传感器是利用金属和半导体材料的“应变效应”进行工作的。金属和半导体材料的电阻值随着它承受的机械变形大小而发生变化的现象就称为“应变效应”。



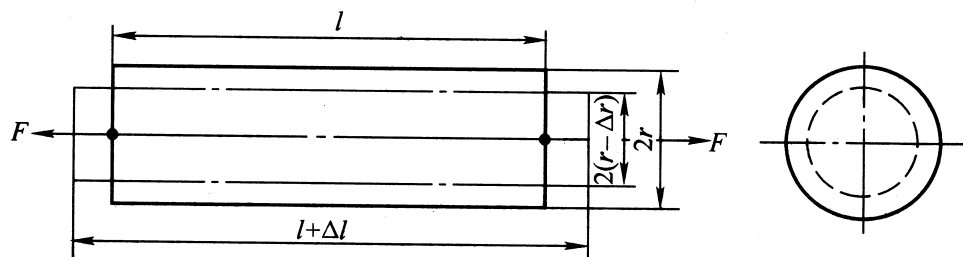
$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu + \frac{d\rho/\rho}{\varepsilon})\varepsilon = k_0\varepsilon$$



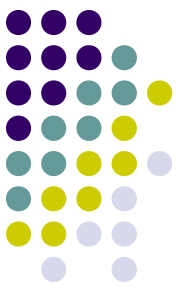
1、电阻应变片的测力原理



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



$$\frac{dR}{R} = \left(1 + 2\mu + \frac{d\rho/\rho}{\varepsilon}\right)\varepsilon = k_0\varepsilon$$



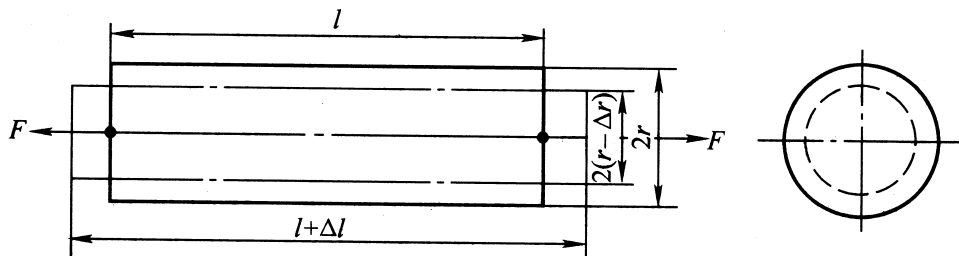
1、电阻应变片的测力原理

金属电阻丝：

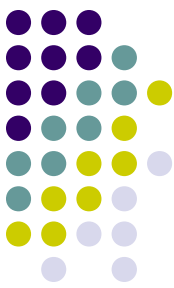
机械形变后，体积不变，电阻率不变。

$$\frac{dr}{r} = -\mu \frac{dl}{l} = -\mu \varepsilon \quad ; \quad \varepsilon = \frac{dl}{l} \text{ — 材料轴向应变,}$$

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu) \varepsilon \quad \mu \text{ — 横向收缩与纵向伸长之比,}$$



$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu + \frac{d\rho/\rho}{\varepsilon}) \varepsilon = k_0 \varepsilon$$



1、电阻应变片的测力原理

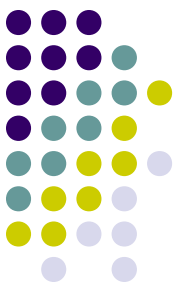
金属电阻丝：

- 实验证明，在金属丝变形的弹性范围内，电阻的相对变化 dR/R 与应变是成正比，即

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu)\varepsilon = k_0\varepsilon$$

金属的 $k_0 = (1 + 2\mu)$ ，为常数 1.7~3.6

- 由于外力与应变 ε 成正比；
- 结论：可通过测量电阻的变化，计算出 ε 和外力



1、电阻应变片的测力原理

半导体材料：

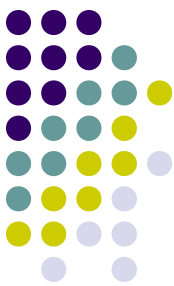


机械形变后，主要是压阻效应——电阻率 ρ

随应变而变。

材料变化时，自由电子的活动能力和数量发生了变化。

- 优点：灵敏度大；体积小；
- 缺点：温度稳定性和可重复性不如金属应变片。



1、电阻应变片的测力原理

金属电阻片：

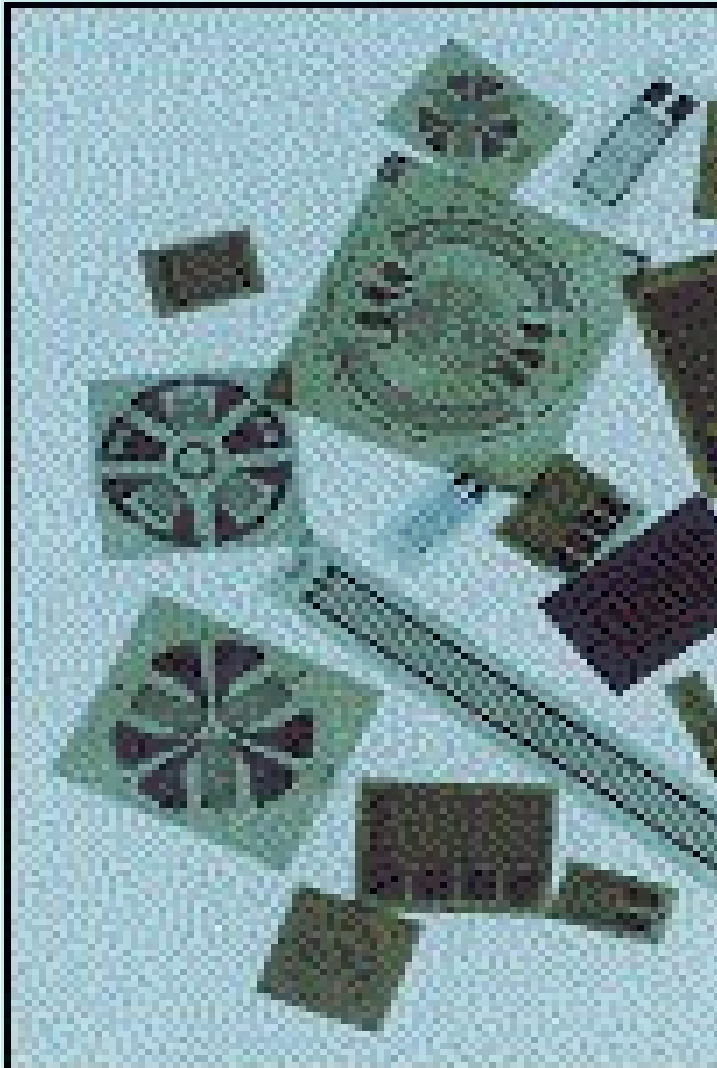
- 实验证明，把金属电阻丝做成电阻片后，电阻应变特性是不同的，电阻的相对变化 $\Delta R/R$ 与应变 ε 仍然成线性关系，即

$$\frac{\Delta R}{R} = K \varepsilon$$

- 金属电阻片的灵敏度系数 K 小于金属电阻丝的 K_0

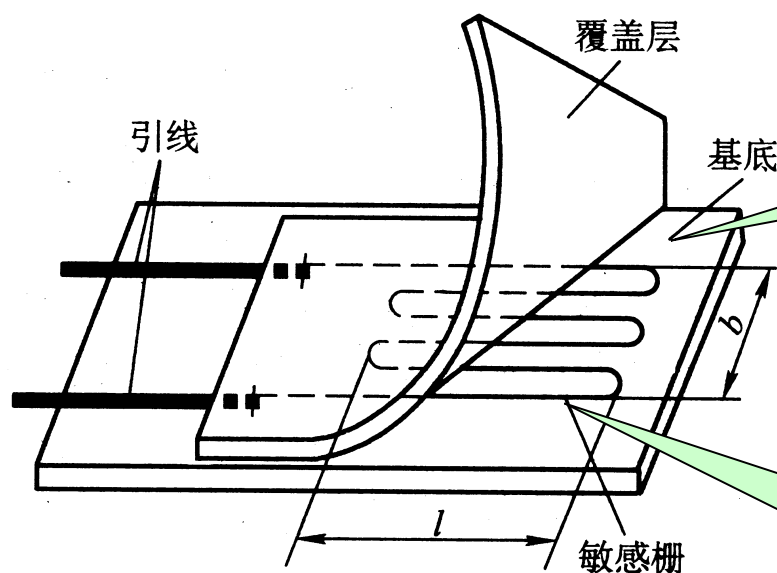
因为存在横向效应的作用

金属应变片





2、电阻应变片的结构



电阻应变片的结构

基底很薄，一般为
 $0.03\sim 0.06\text{mm}$

敏感栅是由 $\Phi 0.01\sim 0.05$
高 ρ 细丝弯曲而成栅
状的电阻元件。

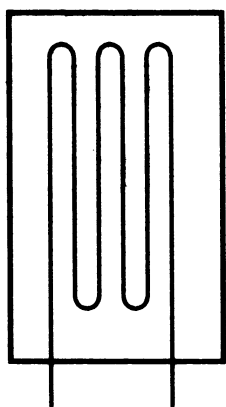


应变片参数

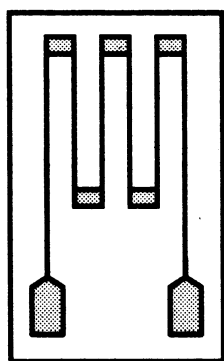
- (1) 标准电阻值 (R_0)
- (2) 绝缘电阻 (R_G)
- (3) 灵敏度系数 (K)
- (4) 应变极限 ($\xi_{\max}$)
- (5) 允许电流 (I_e) 允许电流是指应变片允许通过的最大电流。
- (6) 几何参数：表距 L 和丝栅宽度 b ，制造厂常用 $b \times L$ 表示。
- 其它表示应变计性能的参数（工作温度、滞后、蠕变、零漂以及疲劳寿命、横向灵敏度等）。



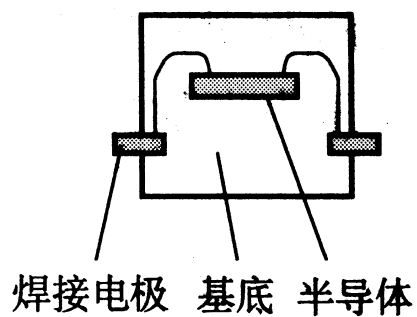
电阻应变片的类型



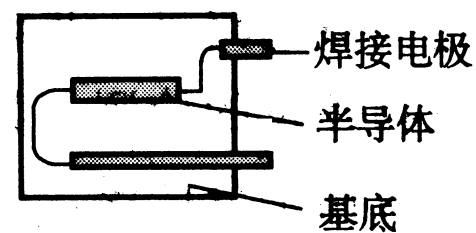
a) 丝式



b) 箔式



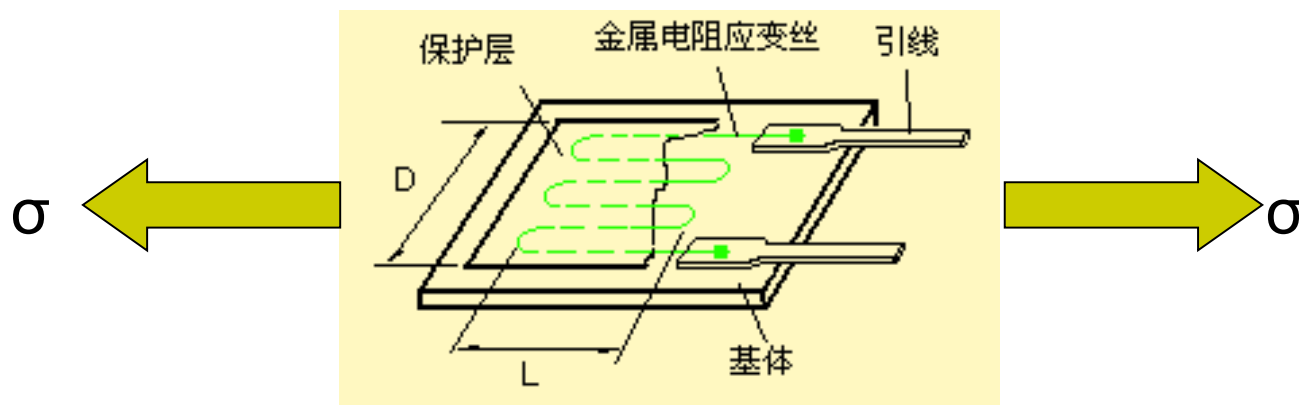
c) 半导体式





应变片测量应变的基本原理

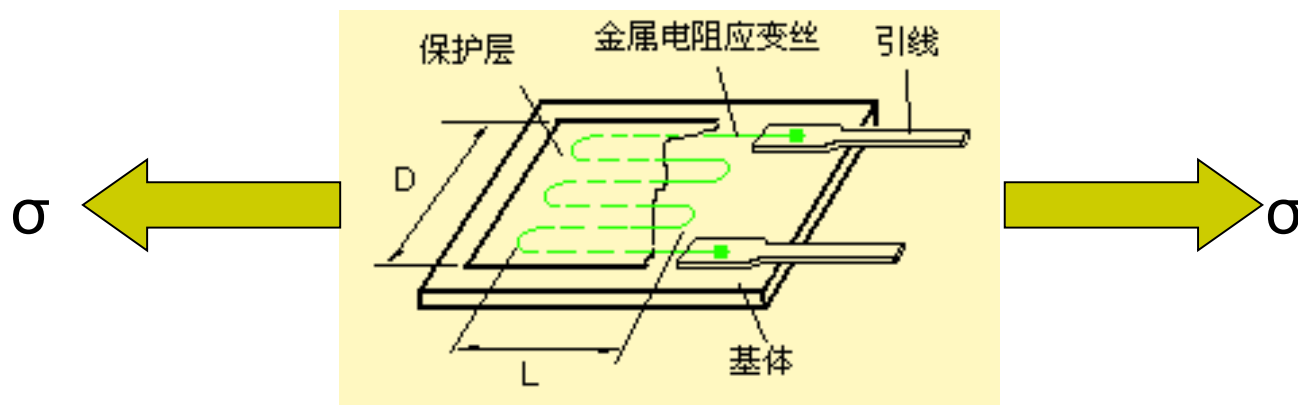
- 在外力作用下，被测对象产生微小机械变形，应变片随着发生相同的变化，同时应变片电阻值也发生相应变化。当测得应变片电阻值变化量 ΔR 时，便可得到被测对象的应变值。根据应力与应变的关系，得到应力值 σ 为 $\sigma = E \cdot \varepsilon$

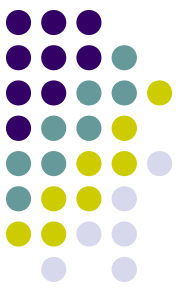




应变片测量应变的基本原理

- 应力值 σ 正比于应变 ε ，而测试件应变 ε 正比于电阻值的变化，所以应力 σ 正比于电阻值的变化，这就是利用应变片测量应变的基本原理。





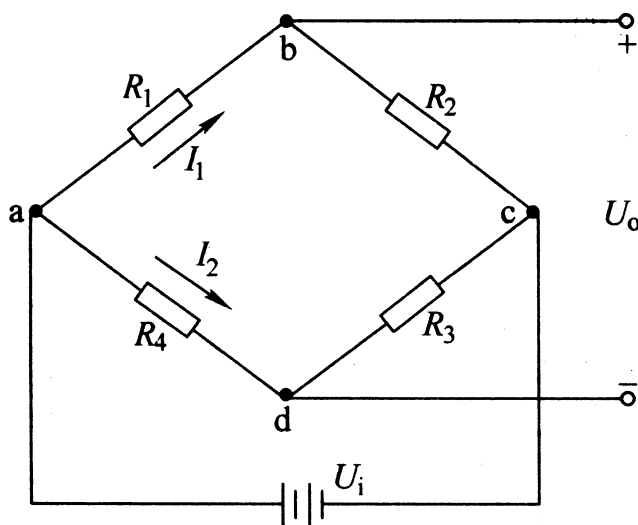
3. 测量转换电路

- 机械应变一般在 $10\ \mu\epsilon \sim 3\ 000\ \mu\epsilon$ 之间，而应变灵敏度 k 值较小，因此电阻相对变化是很小的，一般为 $5/10000 \sim 0.1\Omega$ 。
- 用一般测量电阻的仪表是很难直接测出来的，必须用专门的电路来测量这种微弱的变化，最常用的电路为直流电桥。



3、电阻应变片的测量电路

(1) 恒压源供电的直流电桥的工作原理



a) 应变片基本测量电路

a、c 两端接直流电压 U_i ，而 **b、d** 两端为输出端，其输出电压为 U_o 。在测量前，取 $R_1 R_3 = R_2 R_4$ ，输出电压为 $U_o = 0$ 。



(1) 直流电桥电路

- 一般采用全等臂电桥，即 $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ ，输出电压为：

$$U_o = \frac{U_i}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

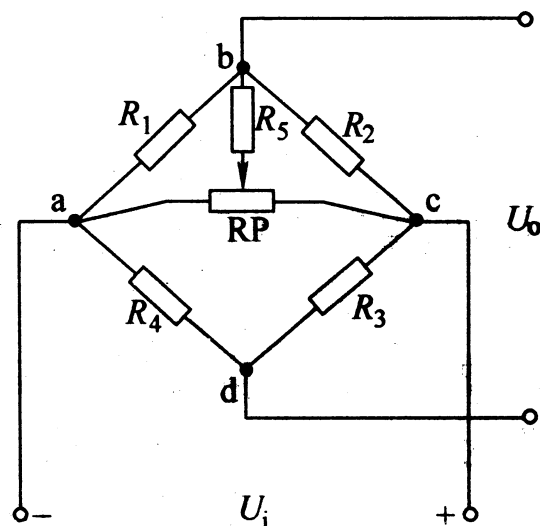


(1) 恒压源供电的直流电桥的工作原理

3、电阻应变片的测量电路

一般 $R_1 \sim R_4$ 不能完全相等，需要调零电路。

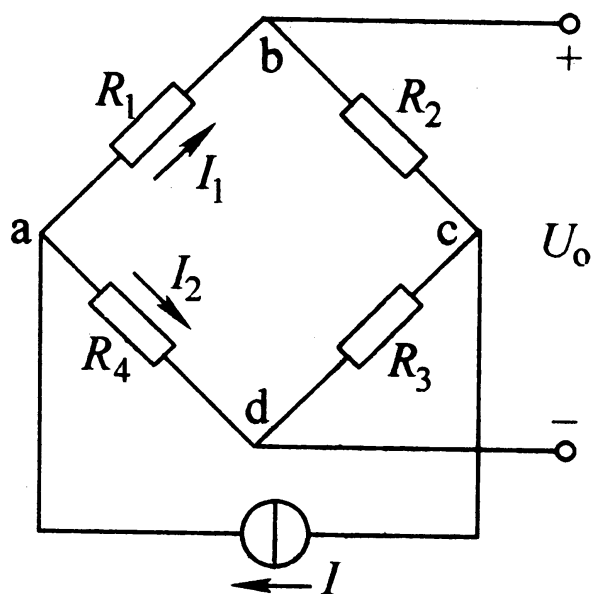
调节 R_p ，使未受力时，输出 $U_o = 0$ 。



b) 调零测量电路



(2) 恒流源供电的直流电桥的工作原理



$$U_o = I_1 R_1 - I_2 R_4 = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} I$$

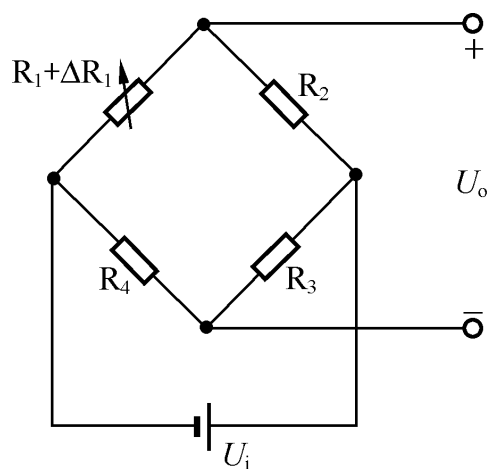


(3) 电桥的类型

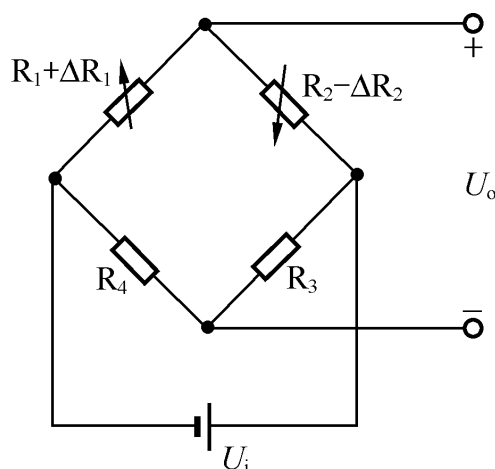
单臂电桥： 输出电压为 $U_o = \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} U_i$

双臂电桥（或半桥）： $U_o = \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} U_i$

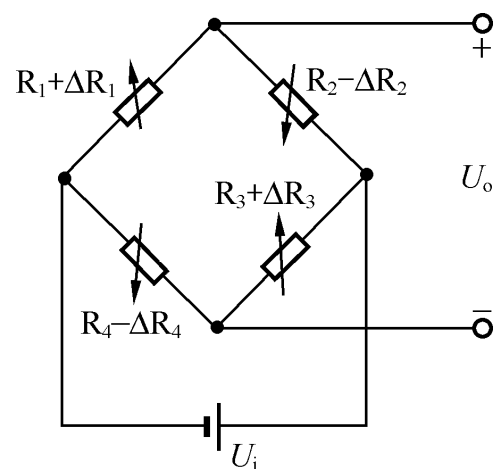
全桥： $U_o = \frac{\Delta R}{R} U_i$



(a) 半桥单臂



(b) 半桥双臂



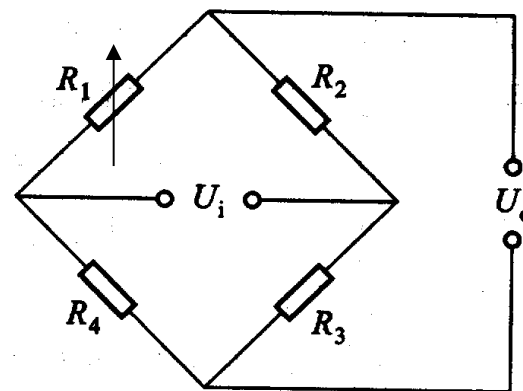
(c) 全桥四臂



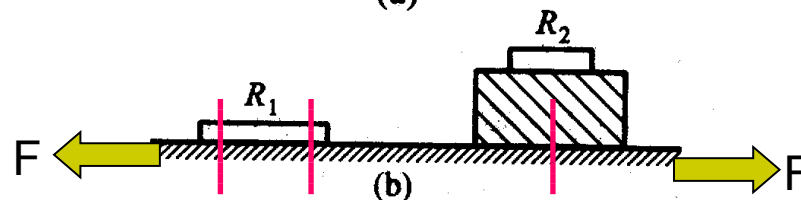
4、应变片的温度补偿

(1) 桥路补偿法

因温度变化而引起的电阻变化 ΔR_1 和 ΔR_2 的作用可相互抵消，从而起到温度补偿的作用。



(a)



(b)

桥路补偿法

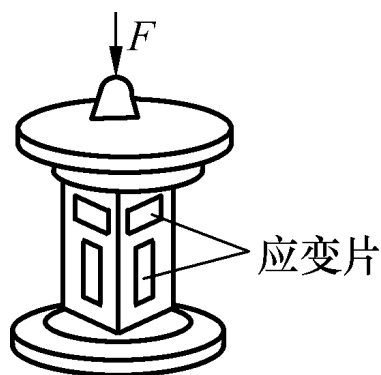
(2) 自补偿法

应变片本身有

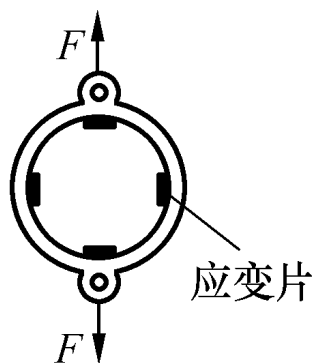


应变式测力与荷重传感器

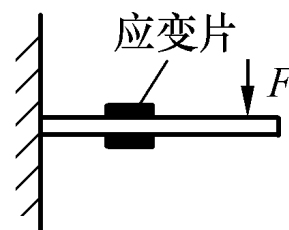
- 电阻应变式传感器的最大用武之地是在称重和测力领域



(a) 柱式



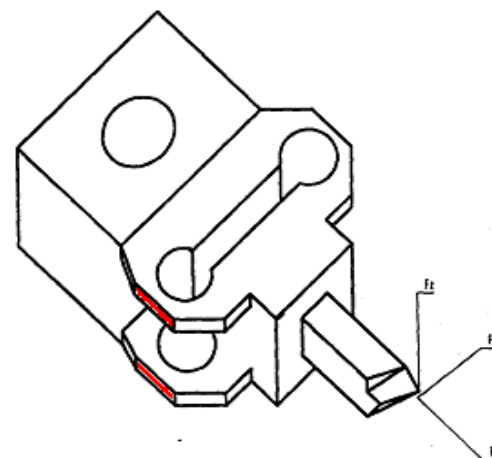
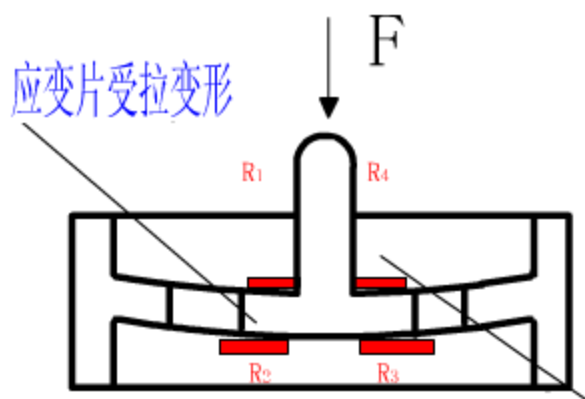
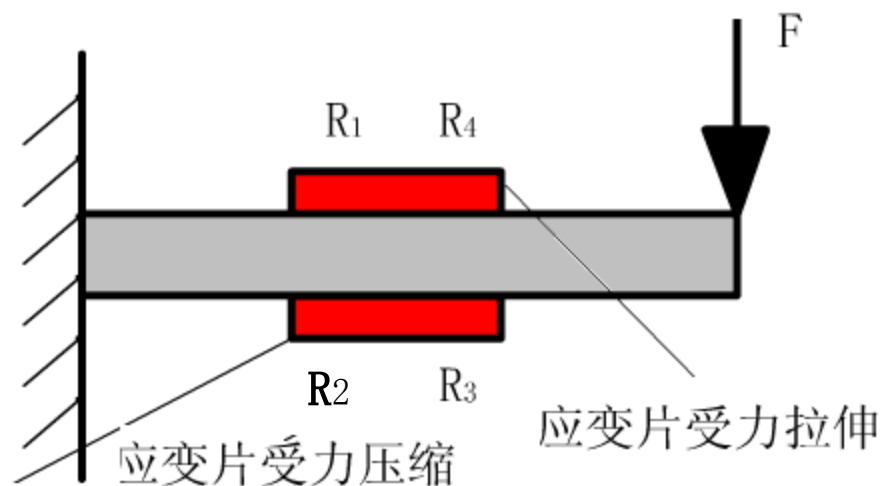
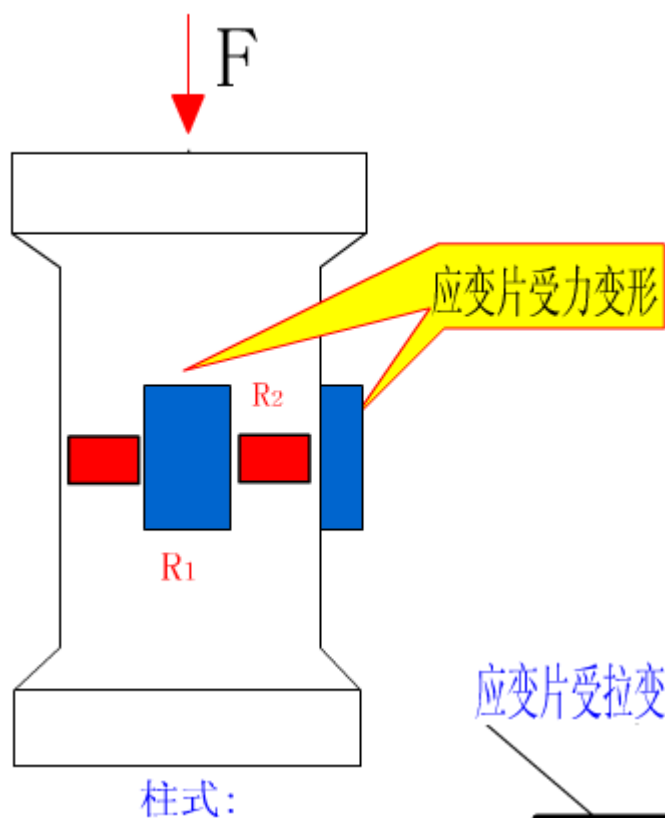
(b) 环式

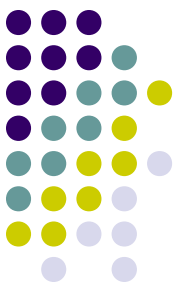


(c) 悬臂梁式



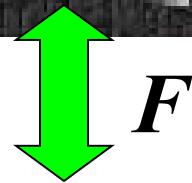
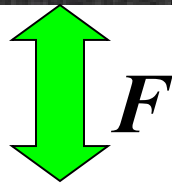
应用举例：测力



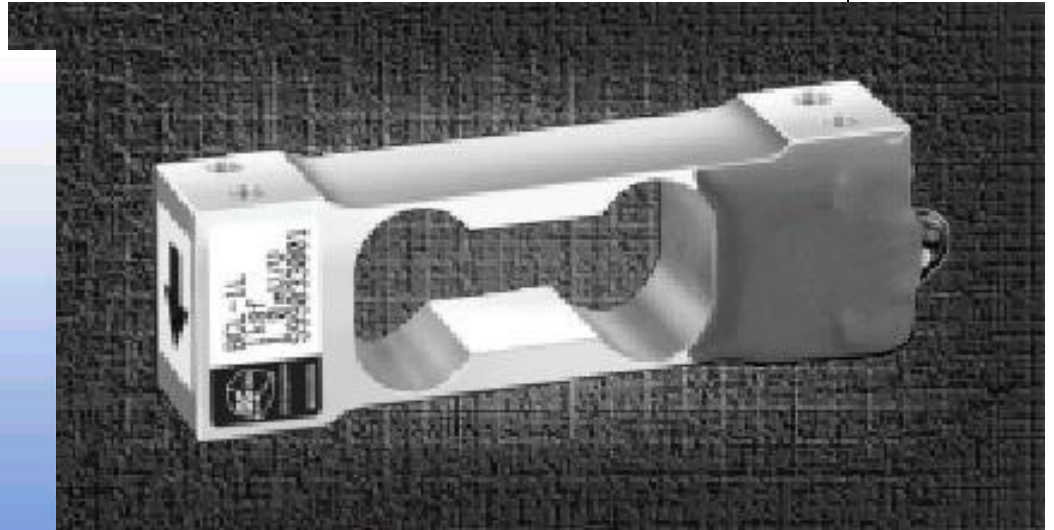
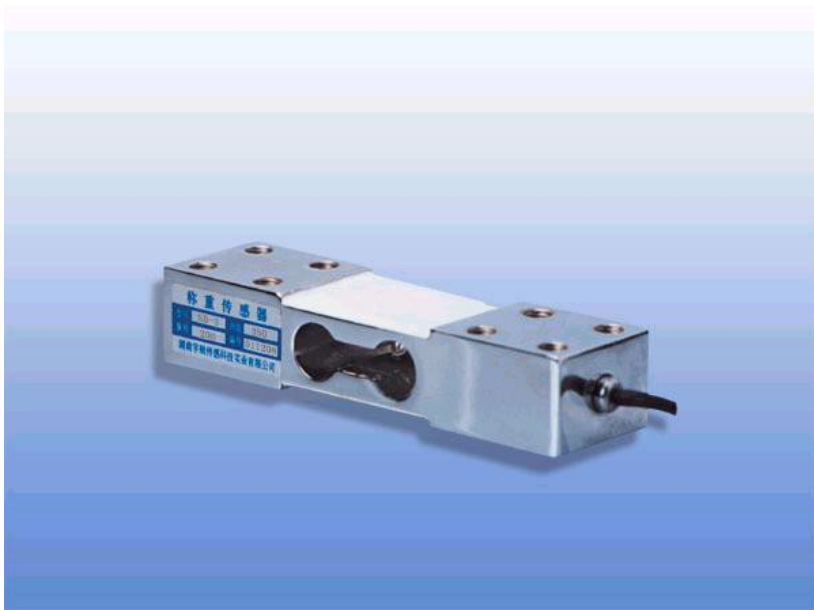


应变式力传感器

应变式力传感器

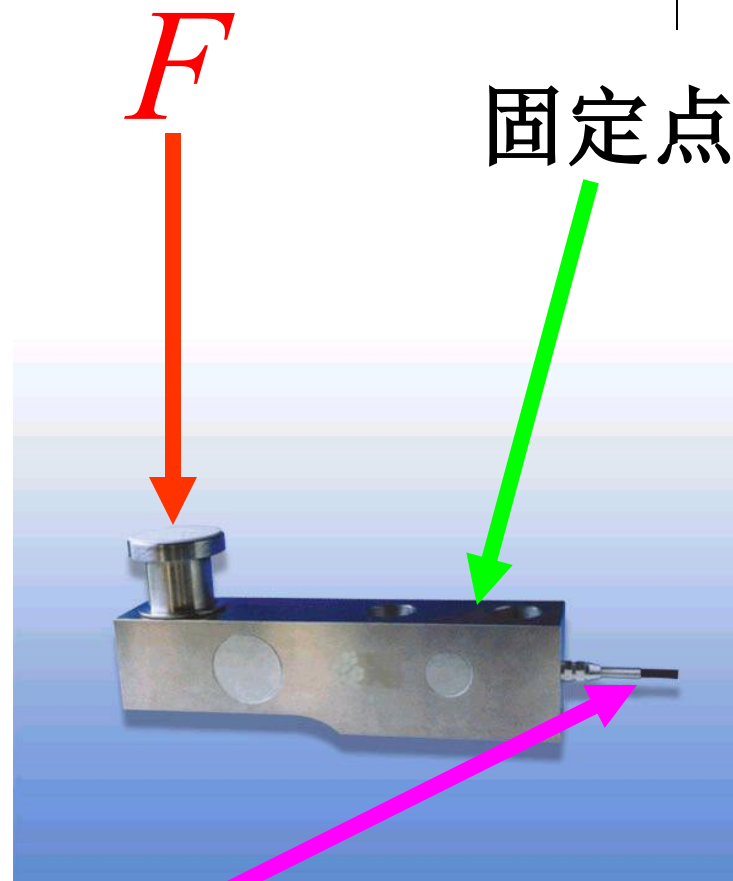
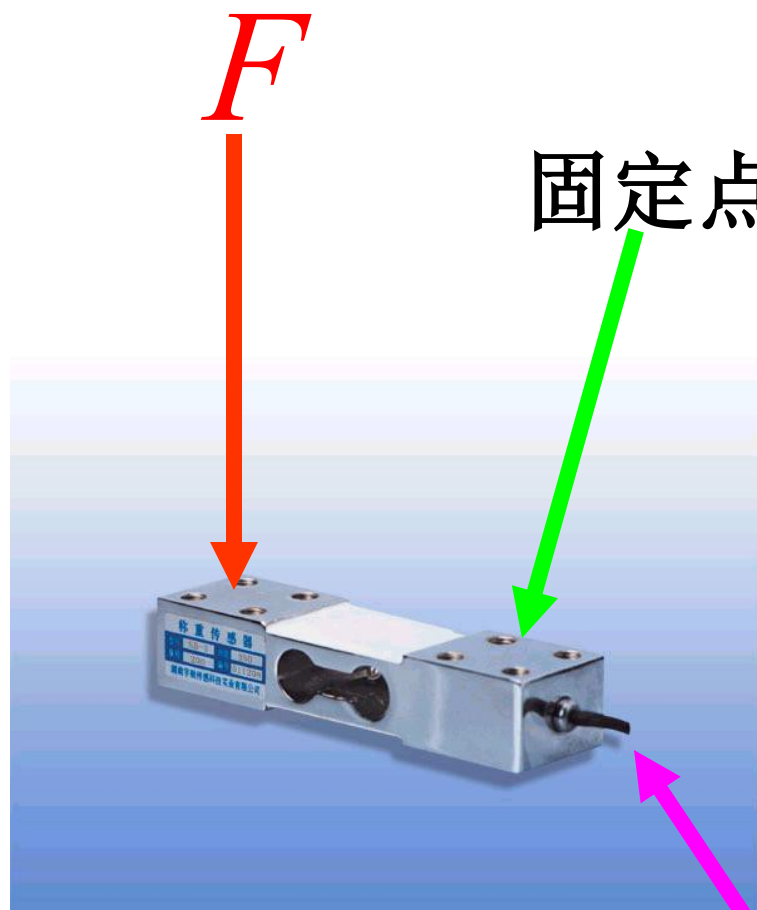


各种悬臂梁





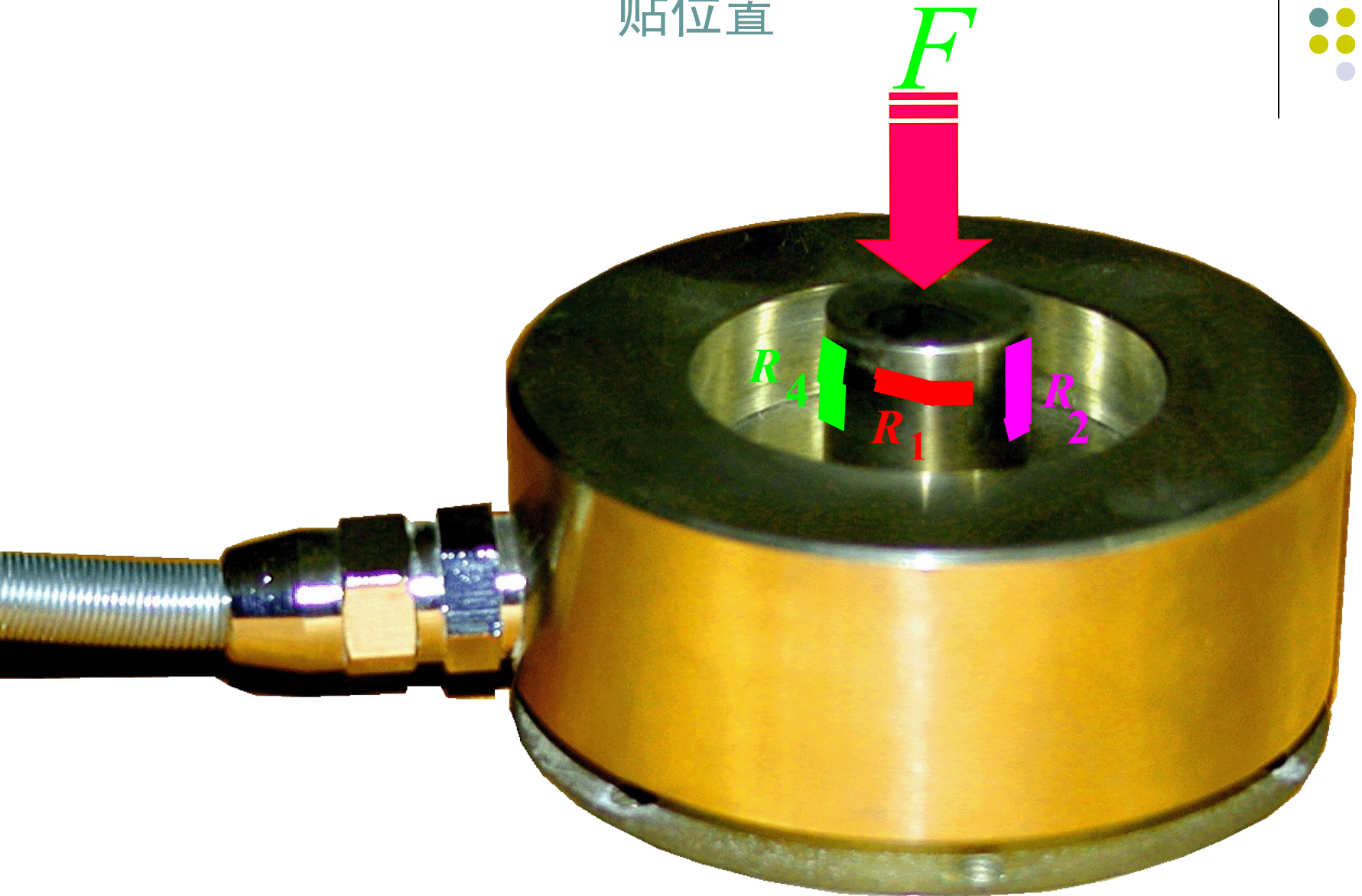
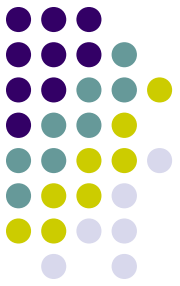
各种悬臂梁

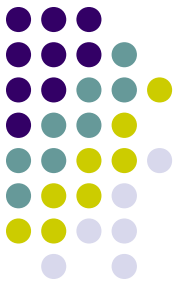


电缆

应变式荷重传感器的外形及应变片的粘

贴位置



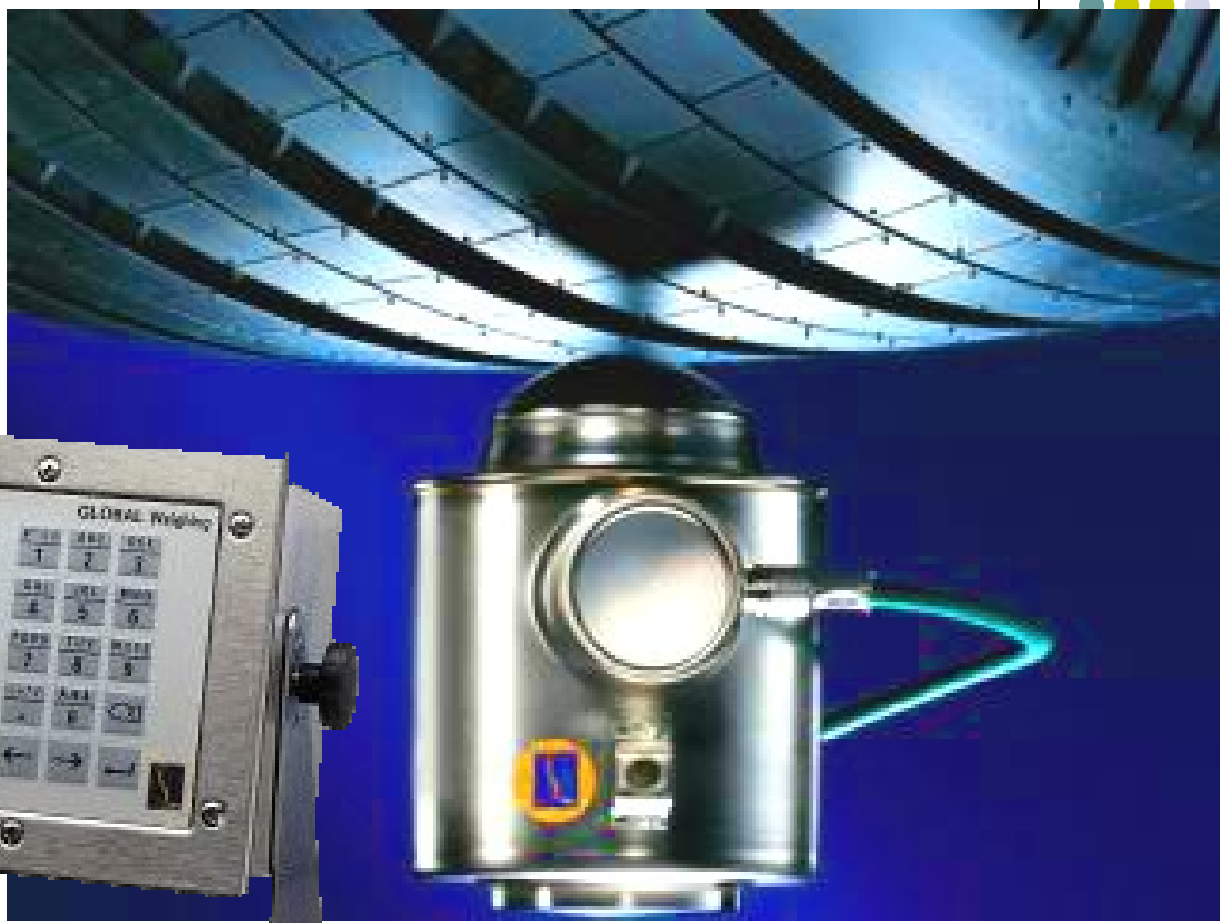


应变式荷重传感器外形及受力位置（续）





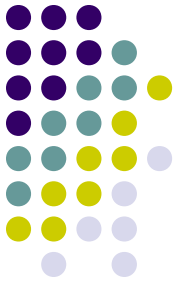
汽车衡





三、课题小结

- (1) 电阻应变片的测力原理、结构 ；
- (2) 单臂电桥、半桥、全桥三种测量电路的特点 ；
- (3) 应变片的补偿方法 。



作业

书 P56.

二、简答题 第 2 题