

附录 B 静态电阻应变仪与电阻应变计简介

静态电阻应变仪是专供测量不随时间变化或变化极缓慢的电阻应变仪器，其功能是将应变电桥的输出电压放大，在显示部分以刻度或数字形式显示应变的数值，或者向记录仪输入模拟应变变化的电信号。

B.1 YJ28A-P10R 静态电阻应变仪的工作原理

静态电阻应变仪的种类很多，在此以 YJ28A-P10R 型静态电阻应变仪为例，介绍其工作原理。

YJ28A-P10R 型静态电阻应变仪的工作原理框图如图 B-1 所示，可进行半桥或全桥测量。在测量应变时，把粘贴在构件上的应变片接入电桥，将电桥予调平衡，当构件受力发生变形时，应变片随之产生电阻值的变化，从而破坏了电桥的平衡，产生输出电压，由显示表显示出应变的数值。该静态电阻应变仪可同时测量十个点的应变。

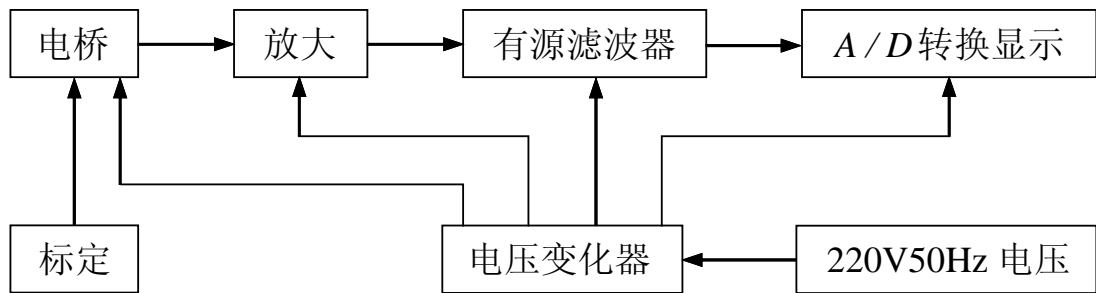


图 B-1 YJ28A-P10R 型静态电阻应变仪原理图

B.2 YJ28A-P10R 型静态电阻应变仪的使用方法

(1) 将电阻应变仪后面板上的电源开关置于关闭状态，后面板上的标定开关拨向下，测量点选择开关置于“ R_0 ”档。

(2) 如图 B-2 所示，将电阻应变仪前面板上的 D_1 、 D 和 D_2 三个接线柱用连接片连接，并旋紧各接线柱，把 $120\Omega \times 2$ 标准电阻的三根引线中同色的两根分别接到 A 和 C 接线柱，并旋紧，另一根接到 B 接线柱，并旋紧。

(3) 通入接地良好的 220V50Hz 交流电源，打开电源开关，前面板上的数码管应有数字显示，预热 30 分钟后，调节前面板上的“ R ”电位器（顺时针旋转显示为“+”，反之则为“-”），使显示表显示为“00000”。

(4) 将电阻应变仪后面板上的标定开关拨向上，进行电阻应变仪的灵敏系数标定。当所用电阻应变片的灵敏系数 $K = 2.00$ 时，调节灵敏度电位器，使显示表显示为“10000”，当所用电阻应变片的灵敏系数 $K \neq 2.00$ 时，必须按表 A-1 进行灵敏系数标定。灵敏系数标定好后即把标定开关拨向下位置。

表 B-1 YJ28A-P10R 型静态电阻应变仪灵敏系数标定表（所用桥臂电阻为 120Ω ）

应变片 K 值	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00	2.05	2.10	2.15	2.20
应变仪标定	11111	10811	10526	10256	10000	9756	9524	9302	9091
应变片 K 值	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65
应变仪标定	8889	8696	8511	8333	8163	8000	7843	7692	7547

(5) 多点测量时，在前面板用 1~10 通道开关选择通道，相应地接通后面板上所选通道的测量桥接线端 A 、 B 、 C 和 D ，调节所选择的每个通道的电位器，分别使显示表显示为“00000”。

(6) 应变片在电桥中的连接方法可根据需要采取半桥或全桥。注意在全桥接法时，电阻应变仪面板上的 D_1 、 D 和 D_2 三个接线柱的连接片必须拆下，如图 B-3 所示。

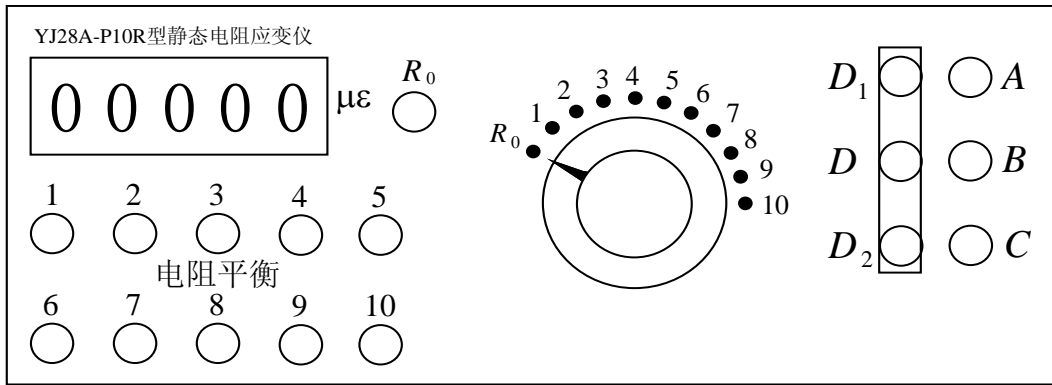


图 B-2 YJ28A-P10R 型静态电阻应变仪面板

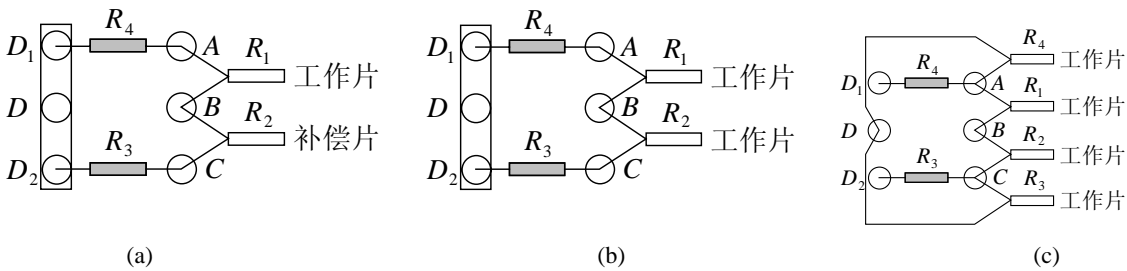


图 B-3 应变片接法 (a) 半桥单臂接法 (b) 半桥双臂接法 (c) 全桥接法 (拆去连接片)

B.3

电阻应变仪的读数修正

有时电阻应变仪的灵敏系数无法调整到与电阻应变片的灵敏系数一致，这时，可对电阻应变仪的读数进行如下修正，得到实际应变 ε

$$\varepsilon = \frac{K_{\text{仪}}}{K} \varepsilon_{\text{仪}}$$

式中： $K_{\text{仪}}$ 为电阻应变仪的灵敏系数； $\varepsilon_{\text{仪}}$ 为电阻应变仪的读数； K 为电阻应变片的灵敏系数。

B.4 电阻应变计及测量电桥简介

(Resistance Strain Gauge)

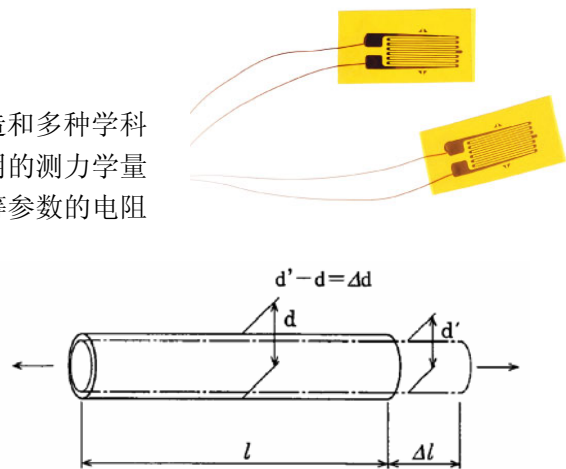
B.4.1 电阻应变计 (GB/T13992-92)

电阻应变计被广泛应用于高精度应变式传感器的制造和多种学科的精密应力分析。电阻应变计习惯称为应变片，是最常用的测力学量传感元件。可构成测量位移、加速度、力、力矩、压力等参数的电阻应变式传感器。

它的主要优点是：传感器结构简单、使用方便、性能稳定可靠、灵敏度高、测量速度快、适合静态和动态测量等，易于实现测量过程自动化和多点同步测量。在机械、电力、航空、化工、建筑等领域中有着广泛的应用。

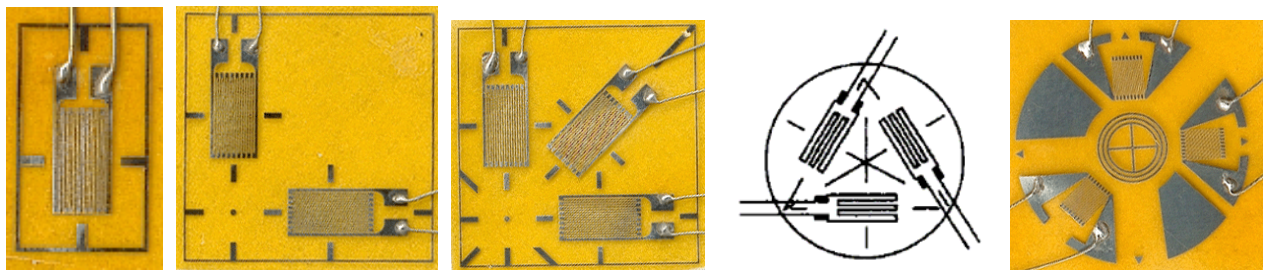
用应变片测试时，应变片要牢固地粘贴在测试体表面，当测件受力而发生变形时，应变片的敏感栅随同变形，其电阻值也相应发生变化；这种现象称为**金属的电阻应变效应**。通过测量电路将其转换成电信号

输出。 $\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu + \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta l/l}) \frac{\Delta l}{l} = K_s \varepsilon$ 。在常温下，金属丝电阻的相对变化与金属丝的伸长或缩短之间



金属的电阻应变效应

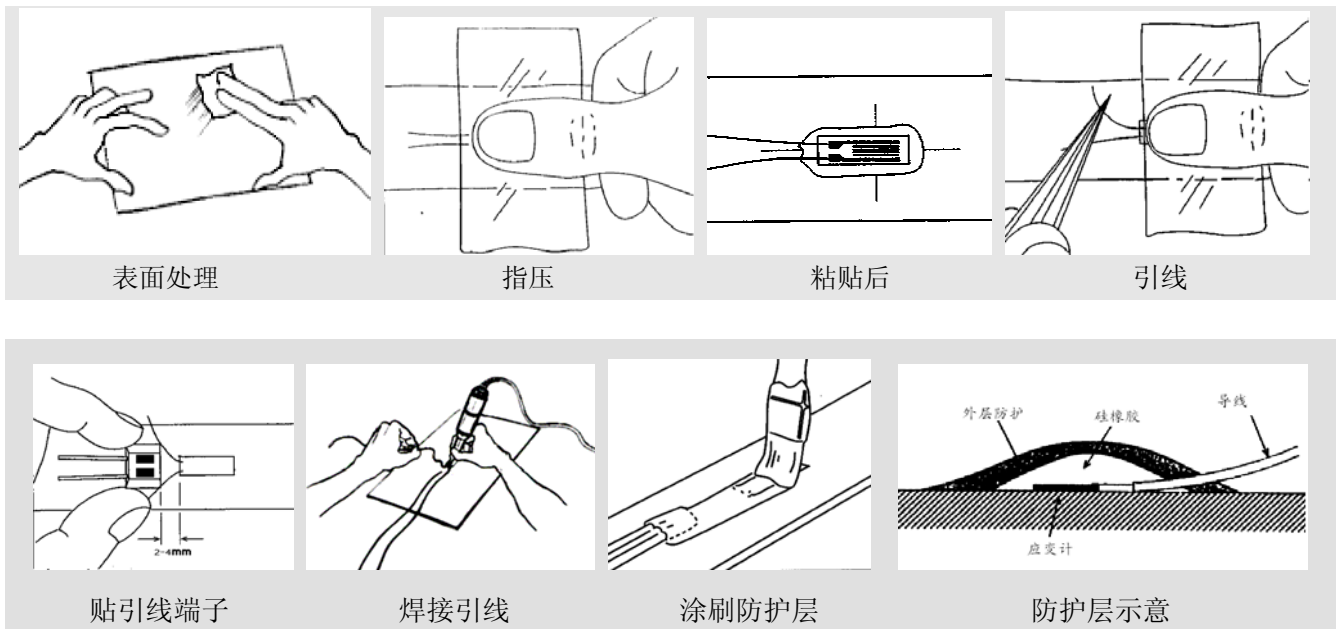
存在比例关系。比例系数 k_s 称为金属丝的应变灵敏系数（单位应变引起的电阻相对变化）。



单向应变 二轴直角应变计(花) 三轴 45° 应变计(花) 三轴 60° 应变计(花) 残余应力应变计
常温下常用应变计的种类

B.4.2 电阻应变计的粘贴工艺简介

电阻应变计的粘贴主要分为以下步骤：



- 表面处理：打磨与清洁，粘片位置的确定与定位划线
- 粘贴处理：点上少许502胶水，定位后隔着塑料膜加指压，约5分钟。
- 处理引线：指压应变计防止扯破应变计，轻轻拉起应变计的引线。
- 粘贴端子：端子与应变计间隔约2mm，引线时应留出拉力环。
- 焊接引线：焊接引线时应注意不要停留时间过长，以免电阻应变计过热损坏！
- 刷防护层：常温下可以直接涂刷硅橡胶作为防护层，涂层应保持均匀，不留气孔。

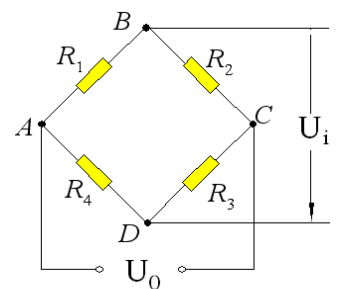
B.4.2 测量电桥的基本特性

惠斯登电桥是最常用的非电量测量电路之一，习惯称为测量电桥，如图所示。测量电桥以电阻应变计作为桥臂组成电桥电路，是将应变计的电阻变化转化为电压或电流信号。

设电桥的四个桥臂上接上应变计，电阻分别为

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0 = 120\Omega,$$

如果桥臂电阻改变 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 、 ΔR_4 ，则输出电压为



电桥线路原理图

$$u_i = \frac{u_o}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) = \frac{u_o}{4} K_s (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

式中： u_o 为电桥的桥压； u_i 为电桥的输出电压； K_s 为应变计的灵敏系数，即， $\Delta R_i / R_0 = K_s \varepsilon_i$ ； ε_i 分别为应变计 R_i 所感受的应变值。由上式可见，测量电桥有如下特性：

- **两相邻桥臂上应变计的应变相减。**

即应变同号时，输出应变为两邻桥臂应变之差；异号时为两相邻桥臂应变之和。

- **两相对桥臂上应变计的应变相加。**

即应变同号时，输出应变为两相对桥臂应变之和；异号时为两相对桥臂应变之差。

电阻应变仪的输出应变实际上就是测量电桥的读数应变，所以合理地、巧妙地利用测量电桥的特性，可以增大读数应变，并且可测出复杂受力杆件中的内力(应力)分量。

B. 4. 2 温度的影响与补偿

在测量时，当温度发生变化时，电阻应变计将产生热输出 ε_t ，如果温度升高 1°C ， ε_t 即可达数十微应变。因此，在应变计电测中，必须消除热输出应变 ε_t ，**这十分重要**。为达到完全补偿，需满足下列三个条件：

- R_1 和 R_2 须属于同一批号的，即它们的初始电阻值 R 、电阻温度系数 α 、线膨胀系数 β 、应变灵敏系数 K_s 都相同；
- 用于粘贴补偿片的构件和粘贴工作片的试件二者材料必须相同，即要求两者线膨胀系数相等；
- 两应变片处于同一温度环境中。

根据测量电桥特性，如果将两个电阻应变计接入电桥的相邻桥臂，或将四个应变计分别接入电桥的四个桥臂，只要每一个电阻应变计的温度输出(ε_t)相等，即要求电阻应变计相同，被测构件材料相同，所处温度场相同，则测量电桥输出中就消除了 ε_t 的影响，达到完全补偿。