

# 等强度梁应变测定实验

## 桥路变换接线实验

张谦 1600011001

### 一、实验目的

1. 了解电阻应变片测量应变的原理；
2. 掌握电阻应变仪的使用；
3. 测定等强度梁上已粘贴应变片处的应变，验证等强度梁各截面上应变（应力相等）；
4. 掌握应变片在测量电桥中的各种接线方法。

### 二、实验仪器和设备

1. YJ-4501A 静态数字电阻应变仪一台；
2. DQ-1 等强度梁实验装置一台；
3. 温度补偿块一块。

### 三、实验原理和方法

等强度梁实验装置如右图所示，图中 1 为等强度梁座体，2 为等强度梁，3 为等强度梁上下表面粘贴的四片应变片，4 为加载砝码，5 为水平调节螺钉，6 为水平仪，7 为磁性表座和百分表。等强度梁的变形由砝码加载产生。等强度梁的材料为高强度铝合金，其弹性模量  $E=70\text{GPa}$ ，等强度梁尺寸见下图。

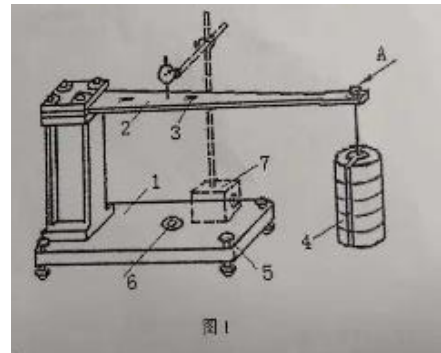


图 1

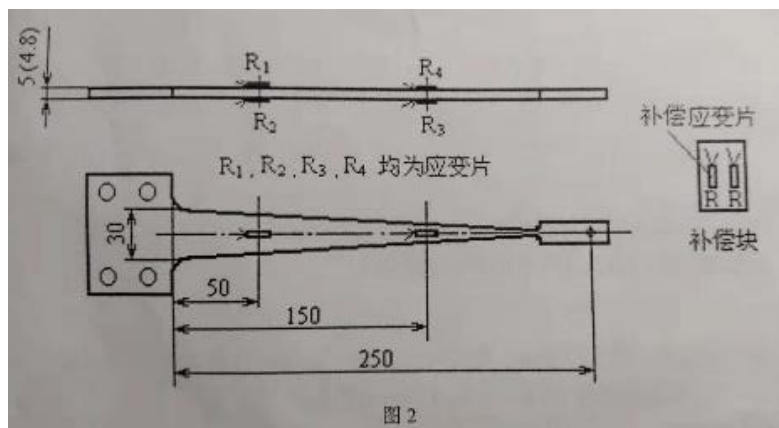


图 2

依据电桥测量方法，若在四个桥臂上接入规格相同的电阻应变片，它们的电阻值为  $R$ ，灵敏系数为  $K$ 。当构件变形后，各桥臂电阻的变化分别为  $\Delta R_1$ 、 $\Delta R_2$ 、 $\Delta R_3$ 、 $\Delta R_4$  它们所感受的应变相应为  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$ 、 $\varepsilon_4$ ，则 BD 端的输出电压  $U_{BD}$  为

$$U_{BD} = \frac{U_{AC}}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_2}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} \right) = \frac{U_{AC}K}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4) = \frac{U_{AC}K}{4} \varepsilon_d$$

由此可得应变仪的读数应为： $\varepsilon_d = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4$ 。

#### 四. 实验步骤

##### 1. 单臂（多点）半桥测量

- 采用半桥接线法，将等强度梁上四个应变片分别接在应变仪背面 1- 4 通道的接线柱 A、B 上，补偿块上的应变片接在接线柱 B、C 上（见图 3）。
- 载荷为零时，按顺序将应变仪每个通道的初始显示应变置零，然后按每级 200 克逐级加载至 1000 克，记录各级载荷作用下的读数应变（见表一）。

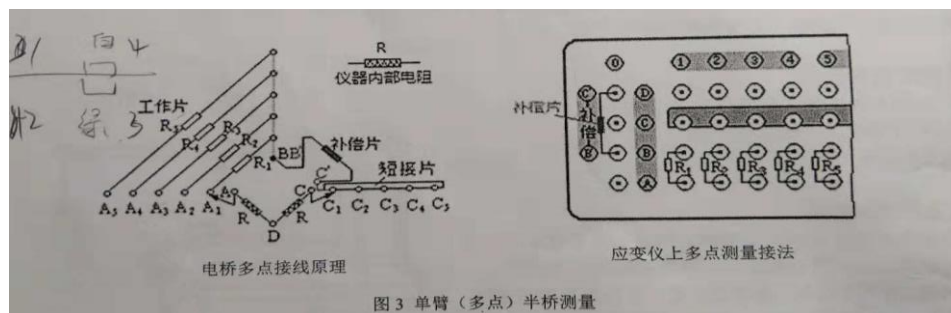


图 3

##### 2. 双臂半桥

采用半桥接线法。选择等强度梁上下表面各一个应变片，在应变仪上选一通道，按图 4(a) 接至接线柱 A、B 和 B、C 上，然后进行实验，实验步骤同 1(b) (实验数据参见表一)

##### 3. 相对两臂全桥测量

采用全桥接线法。选择等强度梁上表面或下表面的两片应变片，在应变仪上选一通道，按图 4(b) 接至应变仪的接线柱 A、B 和 C、D 上，再把两个补偿片接到 B、C 和 A、D 上，然后进行实验，实验步骤同 1(b) (实验数据参见表一)

##### 4. 四臂全桥测量

采用全桥接线法。取等强度梁上的四个应变片，在应变仪上选一通道，按图 4(c) 接至应变仪的接线柱 A、B、C、D 上，然后进行实验，实验步骤同 1(b) (实验数据参见表一)

##### 5. 串联双臂半桥测量

采用半桥接线法，取等强度梁上的四个应变片，在应变仪上选一通道，按图 4(d) 串联后接至接线柱 A、B 和 B、C 上，然后进行实验，实验步骤同 1(b) (实验数据参见表一)

##### 6. 并联双臂半桥测量

采用半桥接线法，取等强度梁上的四个应变片，在应变仪上选一通道，按图 4(e) 并联后接至接线柱 A、B 和 B、C 上，然后进行实验，实验步骤同 1(b) (实验数据参见表一)

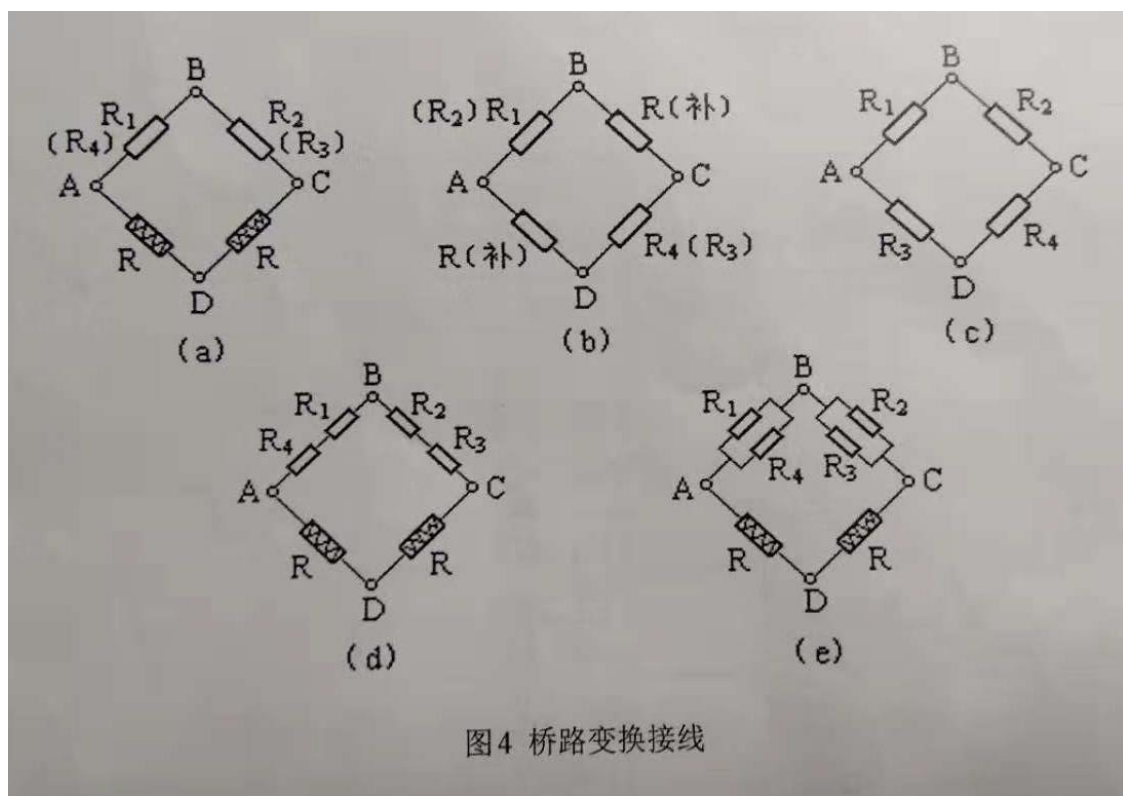


图 4

## 五、实验数据与结果处理

表一：实验数据

| 单臂多点半桥(第一组)                       |               |                         |                               |                         |                               |                         |                               |                         |                               |
|-----------------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|                                   |               | R1                      |                               | R2                      |                               | R3                      |                               | R4                      |                               |
| P(g)                              | $\Delta P(g)$ | $\epsilon(\mu\epsilon)$ | $\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$ | $\epsilon(\mu\epsilon)$ | $\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$ | $\epsilon(\mu\epsilon)$ | $\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$ | $\epsilon(\mu\epsilon)$ | $\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$ |
| 0                                 |               | 0                       |                               | 0                       |                               | 0                       |                               | 1                       |                               |
|                                   | 200           |                         | 59                            |                         | -58                           |                         | -59                           |                         | 59                            |
| 200                               |               | 59                      |                               | -58                     |                               | -59                     |                               | 60                      |                               |
|                                   | 200           |                         | 58                            |                         | -58.5                         |                         | -59                           |                         | 59.5                          |
| 400                               |               | 117                     |                               | -116.5                  |                               | -118                    |                               | 119.5                   |                               |
|                                   | 200           |                         | 59                            |                         | -59.5                         |                         | -59                           |                         | 59                            |
| 600                               |               | 176                     |                               | -176                    |                               | -177                    |                               | 178.5                   |                               |
|                                   | 200           |                         | 59.5                          |                         | -58.5                         |                         | -59                           |                         | 59                            |
| 800                               |               | 235.5                   |                               | -234.5                  |                               | -236                    |                               | 237.5                   |                               |
|                                   | 200           |                         | 58.5                          |                         | -58.5                         |                         | -59                           |                         | 58.5                          |
| 1000                              |               | 294                     |                               | -293                    |                               | -295                    |                               | 296                     |                               |
| $\Delta\epsilon_{均}(\mu\epsilon)$ |               |                         | 58.8                          |                         | -58.6                         |                         | -59                           |                         | 59                            |

| 单臂多点半桥(第二组)          |       |       |        |        |        |       |        |       |        |
|----------------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                      |       | R1    |        | R2     |        | R3    |        | R4    |        |
| P(g)                 | ΔP(g) | ε(με) | Δε(με) | ε(με)  | Δε(με) | ε(με) | Δε(με) | ε(με) | Δε(με) |
| 0                    |       | 0     |        | 0      |        | 0     |        | 0     |        |
| 200                  | 200   |       | 59     |        | -58.5  |       | -59    |       | 59     |
|                      |       | 59    |        | -58.5  |        | -59   |        | 59    |        |
| 400                  | 200   |       | 58     |        | -59    |       | -59    |       | 59     |
|                      |       | 117   |        | -117.5 |        | -118  |        | 118   |        |
| 600                  | 200   |       | 59     |        | -59    |       | -59    |       | 59.5   |
|                      |       | 176   |        | -176.5 |        | -177  |        | 177.5 |        |
| 800                  | 200   |       | 59.5   |        | -58    |       | -59    |       | 58.5   |
|                      |       | 235.5 |        | -234.5 |        | -236  |        | 236   |        |
| 1000                 | 200   |       | 58.5   |        | -58.5  |       | -59    |       | 60     |
|                      |       | 294   |        | -293   |        | -295  |        | 296   |        |
| Δε <sub>均</sub> (με) |       | 58.8  |        | -58.6  |        | -59   |        | 59.2  |        |

| 其它测量方式(第一组)          |       |       |        |       |        |       |        |        |        |        |        |
|----------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                      |       | 双臂半桥  |        | 对臂全桥  |        | 四臂全桥  |        | 串联双臂半桥 |        | 并联双臂半桥 |        |
| P(g)                 | ΔP(g) | ε(με) | Δε(με) | ε(με) | Δε(με) | ε(με) | Δε(με) | ε(με)  | Δε(με) | ε(με)  | Δε(με) |
| 0                    |       | 0     |        | 0     |        | 0     |        | 0      |        | 1      |        |
| 200                  | 200   |       | 117.5  |       | 117    |       | 235.5  |        | 118    |        | 118    |
|                      |       | 117.5 |        | 117   |        | 235.5 |        | 118    |        | 119    |        |
| 400                  | 200   |       | 117.5  |       | 117    |       | 235.5  |        | 118    |        | 117.5  |
|                      |       | 235   |        | 234   |        | 471   |        | 236    |        | 236.5  |        |
| 600                  | 200   |       | 117.5  |       | 119    |       | 237    |        | 118    |        | 117.5  |
|                      |       | 352.5 |        | 353   |        | 708   |        | 354    |        | 354    |        |
| 800                  | 200   |       | 117.5  |       | 117    |       | 236    |        | 118    |        | 117.5  |
|                      |       | 470   |        | 470   |        | 944   |        | 472    |        | 471.5  |        |
| 1000                 | 200   |       | 118    |       | 118    |       | 236    |        | 119    |        | 118.5  |
|                      |       | 588   |        | 588   |        | 1180  |        | 591    |        | 590    |        |
| Δε <sub>均</sub> (με) |       | 117.6 |        | 117.6 |        | 236   |        | 118.2  |        | 117.8  |        |

| 其它测量方式(第二组)          |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                      |       | 双臂半桥  |        | 对臂全桥  |        | 四臂全桥   |        | 串联双臂半桥 |        | 并联双臂半桥 |        |
| P(g)                 | ΔP(g) | ε(με) | Δε(με) | ε(με) | Δε(με) | ε(με)  | Δε(με) | ε(με)  | Δε(με) | ε(με)  | Δε(με) |
| 0                    |       | 0.5   |        | 0     |        | 0      |        | 0      |        | 0      |        |
| 200                  | 200   |       | 117.5  |       | 117    |        | 235    |        | 118    |        | 117.5  |
|                      |       | 118   |        | 117   |        | 235    |        | 118    |        | 117.5  |        |
| 400                  | 200   |       | 117    |       | 117    |        | 236    |        | 118    |        | 117.5  |
|                      |       | 235   |        | 234   |        | 471    |        | 236    |        | 235    |        |
| 600                  | 200   |       | 117.5  |       | 119    |        | 237    |        | 118    |        | 118    |
|                      |       | 352.5 |        | 353   |        | 708    |        | 354    |        | 353    |        |
| 800                  | 200   |       | 117.5  |       | 117.5  |        | 235    |        | 118    |        | 117.5  |
|                      |       | 470   |        | 470.5 |        | 943    |        | 472    |        | 470.5  |        |
| 1000                 | 200   |       | 118.5  |       | 118    |        | 236.5  |        | 119    |        | 118.5  |
|                      |       | 588.5 |        | 588.5 |        | 1179.5 |        | 591    |        | 589    |        |
| Δε <sub>均</sub> (με) |       | 117.6 |        | 117.7 |        | 235.9  |        | 118.2  |        | 117.8  |        |

理论应变值

理论应变值为

$$\epsilon = \frac{My}{EI} = \frac{Gl \frac{h}{2}}{E \frac{bh^3}{12}}$$

其中 $h = 4.8mm$ ,  $G = 0.2 \times 9.8 = 0.392N$ ,  $E = 70GPa$

对 $R1, R2$ ,  $b = \frac{30}{250} \times 200 = 24mm$ ,  $l = 200mm$

对 $R3,R4,b=\frac{30}{250}\times 100=12mm,l=100mm$

则 $\epsilon_{12}=\epsilon_{34}=60.76\mu\epsilon$

接下来与实验数据进行对比：

单臂半桥实验应变值用四个应变片的平均值

$$\frac{58.85-60.76}{60.76}=-3.14\%$$

双臂半桥测量应变值应除以 2

$$\frac{58.8-60.76}{60.76}=-3.23\%$$

对臂全桥测量应变值应除以 2

$$\frac{58.8-60.76}{60.76}=-3.14\%$$

四臂全桥测量应变值应除以 4

$$\frac{58.975-60.76}{60.76}=-2.94\%$$

串联双臂半桥测量应变值应除以 2

$$\frac{59.1-60.76}{60.76}=-2.73\%$$

并联双臂半桥测量应变值应除以 2

$$\frac{59.1-60.76}{60.76}=-3.06\%$$

表二：测量结果比较

| 测量方法     | 理 论 应 变 值 | 实验应变值  | 相对误差   | 读数应变值 | 测量灵敏度 |
|----------|-----------|--------|--------|-------|-------|
| 单臂半桥测量   | 60.76     | 58.85  | -3.14% | 58.85 | 1     |
| 双臂半桥测量   |           | 58.8   | -3.23% | 117.6 | 1/2   |
| 对臂全桥测量   |           | 58.8   | -3.14% | 117.6 | 1/2   |
| 四臂半桥测量   |           | 58.975 | -2.94% | 236   | 1/4   |
| 串联双臂半桥测量 |           | 59.1   | -2.73% | 118.2 | 1/2   |
| 并联双臂半桥测量 |           | 58.9   | -3.06% | 117.8 | 1/2   |

从理论上来看，测量方法的灵敏度越小，误差也越小；从实验结果来看，误差最小的是串联双臂半桥测量，灵敏度为  $1/2$ ，较为符合这一结论。

再观察表一中单臂多点测量的实验值，我们可以发现各应变片应变几乎相等，波动范围在千分之七以下，因此可以认为等强度梁的性能是达标的

## 六、误差分析：

1. 实验本身所处的环境振动较大，使用灵敏度较小的测量方法时，背景干扰可能影响到了实验的效果，如果在较为平稳的环境做实验，小灵敏度的测量方法的精度应该能得到保障
2. 实验中在加载后往往伴随有砝码的晃动，虽然可以利用障碍物(或用手)减小其震荡，但是在读数时可能由于震荡产生的额外外载使得应力读数偏大
3. 然而在数据分析时可以发现数据整体仍然偏小，这可能是因为砝码有质量损失，或是应变测量仪存在系统误差，或是等强度梁已经不再保持完全水平，自身已经有所下弯所致

## 七、思考题

1. 分析各种测量方法中温度补偿的实现方法。

单臂多点半桥测量：通过接入补偿片，利用补偿片抵消了温度造成的误差

双臂半桥测量、串联双臂半桥测量、并联双臂半桥测量：由于温度对两臂影响等同，应变值为两臂应变值的差，因此相减后相消

对臂全桥、四臂全桥测量：由于温度对相对的臂影响相同，类似上面的情况，可知测得应变值是两组相对的臂应变值之差，因而相消

2. 采用串联或并联测量方法能否提高灵敏度。

$$U_{BD} = \frac{U_{AC}}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_2}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} \right) = \frac{U_{AC}K}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4) = \frac{U_{AC}K}{4} \varepsilon_d$$

由上述公式可知，使用串联和并联两种测量测应变时，只要电阻的变化比例相等，则节点电势差的结果还是一样的，并不能提高灵敏度。

3. 为什么要设计等强度梁来进行电桥的测试？有何意义？

因为等强度梁两截面的最大应力都相等，其截面尺寸分布呈线性，故根据应力应变关系其应变变化也呈线性，从而我们可以计算出理论应变值，通过与实验应变值的比较得出结论。用等强度梁来进行实验会使得计算更简便且结果更具有规律性。