

第一套

1、低碳钢试件拉伸屈服时，试件表面出现的滑移线\_\_\_\_\_。

- A. 沿轴向，与正应力相关；
- B. 沿轴共 8 分) 向，与切应力相关；
- C. 沿与轴线成  $45^\circ$  方向，与正应力相关；
- D. 沿与轴线成  $45^\circ$  方向，与切应力相关。

答：D

2、低碳钢拉伸试件断口不在标距长度  $\frac{1}{3}$  的中间区段内时，如果不采用断口移中办法，测得的延伸率较实际值\_\_\_\_\_。

- A. 偏大
- B. 偏小
- C. 不变
- D. 不能判断

答：B

3、在电测法中，贴温度补偿片的材料若与被测构件材料不同，则读数应变值较实际应变值\_\_\_\_\_。

- A. 偏大
- B. 偏小
- C. 不变
- D. 不能判断

答：D

4、\_\_\_\_\_通常可以忽略孔口局部应力集中的影响。

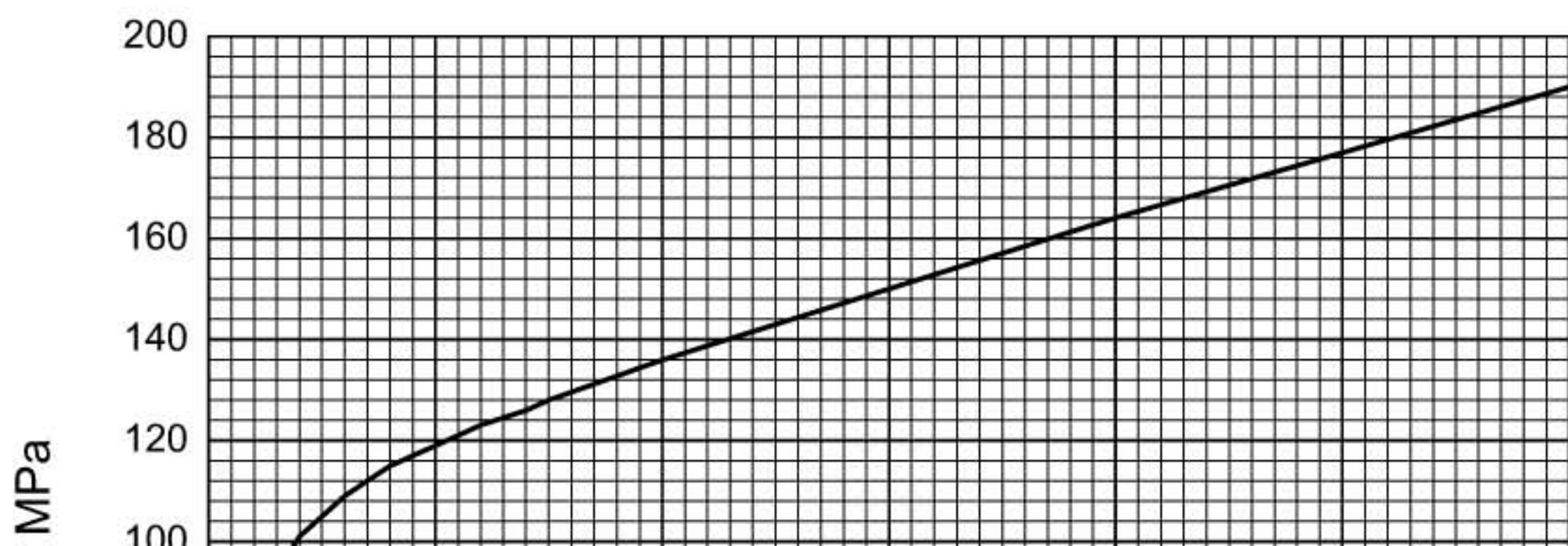
- A. 塑性材料静应力强度试验；
- B. 脆性材料静应力强度试验；
- C. 塑性材料疲劳强度试验；
- D. 脆性材料疲劳强度试验；

答：A

二、(本题 4 分)

某材料应力—应变曲线如题二图所示，试根据该曲线确定：

1. 材料的弹性模量  $E$ 、比例极限  $\sigma_p$ 、名义屈服极限  $\sigma_{p0.2}$ 。
2. 当应力增加到  $\sigma = 160 \text{ MPa}$  时，材料的正应变  $\varepsilon$  及其相应的弹性应变  $\varepsilon_e$  与塑性应变  $\varepsilon_p$ 。(本题由阅卷老师根据实际量测情况确定答案的数值范围)

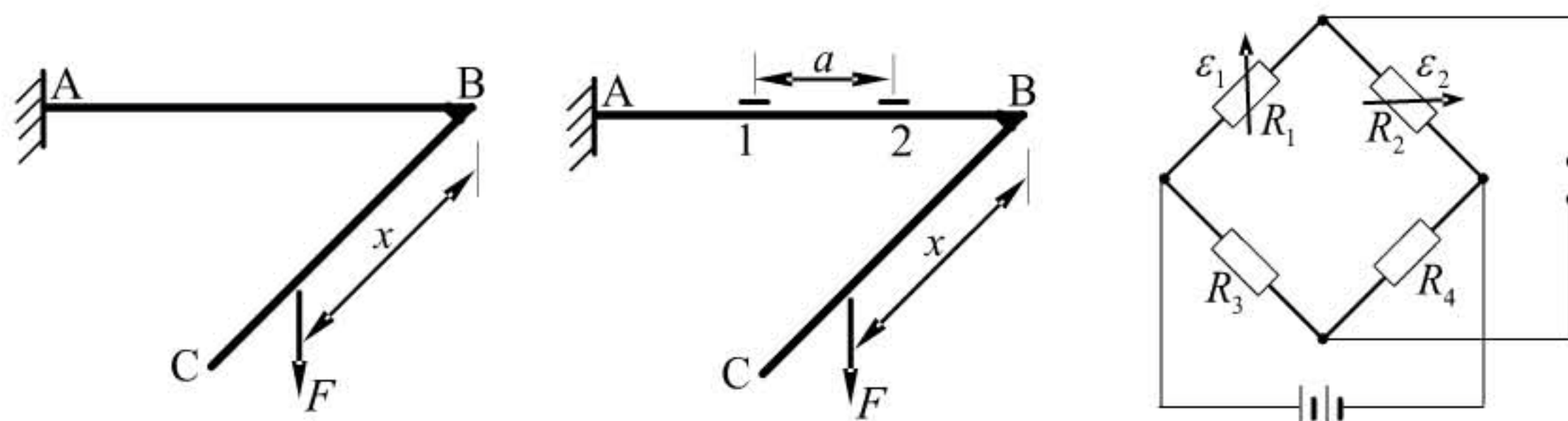




### 三、(本题 6 分)

如题二图所示,直角拐位于水平面内,铅垂载荷  $F$  可沿 BC 段移动(位置不确定)。AB 段是直径  $d$ , 弹性模量  $E$  的圆杆。试利用两应变片测力  $F$  的大小。

- (1) 设计布片方案, 画出桥路;
- (2) 写出力  $F$  与读数应变的关系式。



题二 图

解: 在 AB 段顶部沿轴向贴相距为给定长度  $a$  的两应变片 1 和 2 (不靠端点)。半桥接法如图, 则读数应变:

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = \frac{M_1}{EW} - \frac{M_2}{EW}$$

其中,  $M_1$  和  $M_2$  分别是 1 和 2 两点的弯矩。

$$\because M_1 - M_2 = Fa, \quad W = \frac{\pi d^4}{32}$$

$$\therefore \bar{\varepsilon} = \frac{32Fa}{E\pi d^4}$$

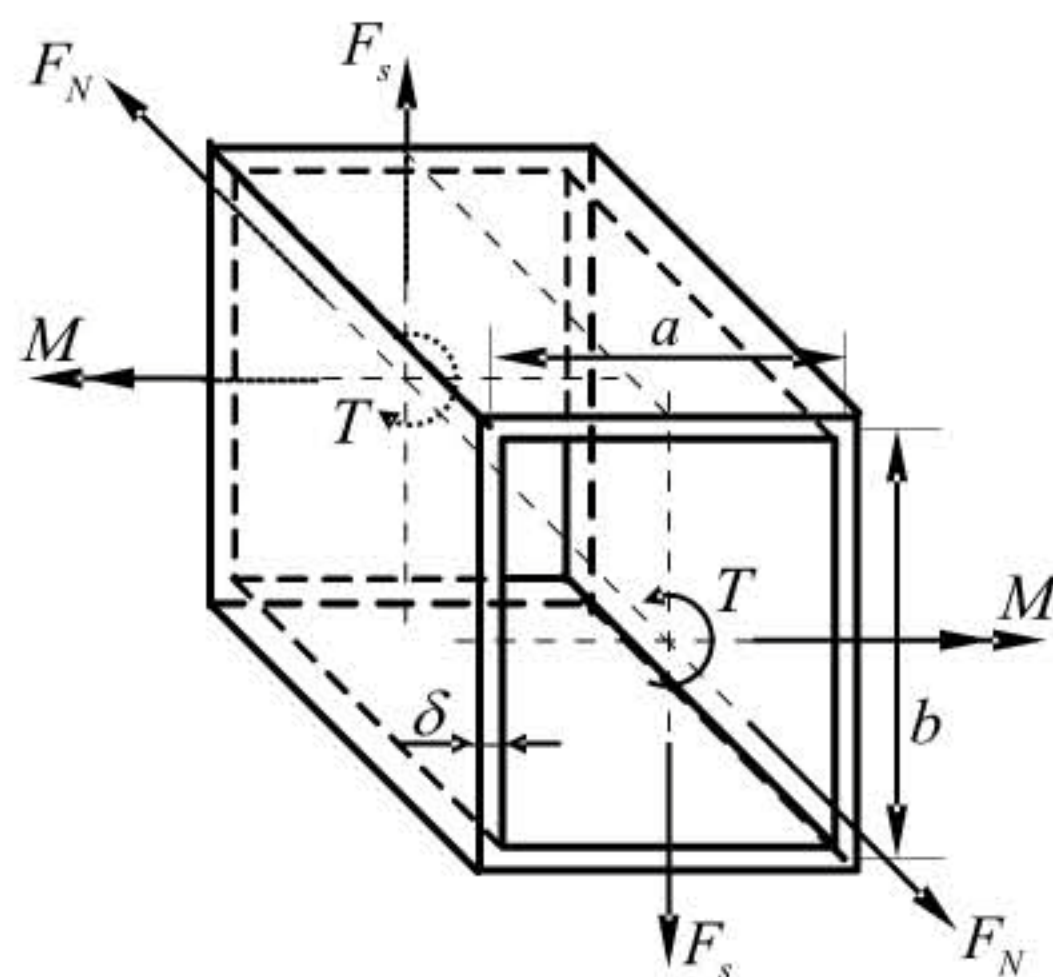
$$F = \frac{E\pi d^4 \bar{\varepsilon}}{32a}$$

### 四 (本题 12 分)

如图所示, 一薄壁梁段壁厚  $\delta$ , 截面中心线为  $a \times b$  的矩形。已知该梁段承受轴力  $F_N$ , 剪力  $F_S$ , 扭矩  $T$  和弯矩  $M$ 。试用电测法测量这 4 个内力分量。

要求给出布片方案, 画出桥路并写出各内力分量与读数应变的关系式。尽量选用测量计算简单、精度高的方案。

解: 1. 计算该薄壁梁段的截面几何性质







截面面积:  $A = 2(a+b)\delta$

惯性矩:

$$I_z = \frac{1}{12}[(a+\delta)(b+\delta)^3 - (a-\delta)(b-\delta)^3]$$

$$\text{抗弯截面系数: } W_z = \frac{I_z}{\frac{b}{2} + \delta}$$

截面中心线所围成的面积:  $\Omega = ab$

截面中性轴  $z$  以上部分对应的静矩:

$$S_z^0 = \frac{1}{2}ab\delta + \frac{1}{4}b^2\delta$$

## 2. 应力分析与布片方案

梁内存在 4 种应力: 拉伸正应力沿截面均匀分布, 设为  $\sigma_N$ ; 弯曲正应力最大值 (指绝对值) 发生在梁的顶部 (拉) 与底部 (压), 设为  $\sigma_M$ ; 扭转切应力沿截面均布, 以  $\tau_T$  表示; 弯曲切应力最大值发生中性轴  $z$  处, 以  $\tau_{F_s}$  表示。我们有

$$\sigma_N = \frac{F_N}{A}, \quad \sigma_M = \frac{M}{W_z}, \quad \tau_T = \frac{T}{2\Omega\delta}, \quad \tau_{F_s} = \frac{F_s S_z^0}{2I_z\delta}$$

沿轴向只有正应力, 考虑到弯曲正应力在上下表面达到最大, 因此在上下表面沿轴向布片 (见图 A 和 B 点) 测拉伸与弯曲正应力。

在弯矩  $M$  所对应的中性层上, 弯曲切应力达到最大, 因此在侧面与中性层交线上 (见图 C 和 D 点), 沿与轴线成  $45^\circ$  方向布片, 采用全桥测量, 可以消除拉伸正应力影响, 解耦测扭转与弯曲切应力。

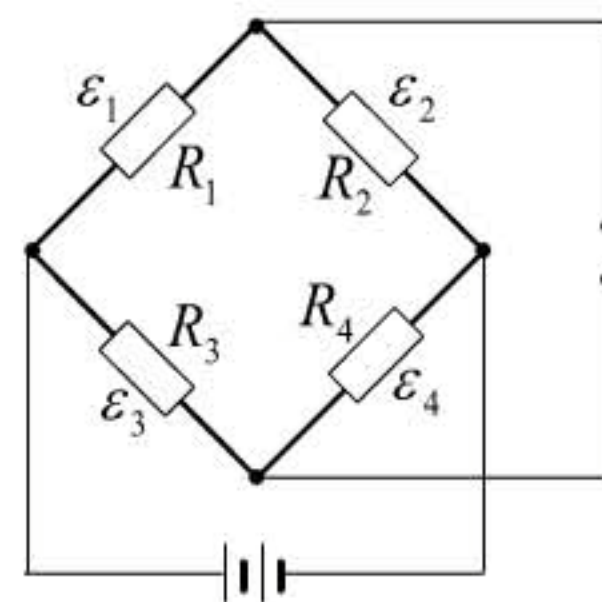
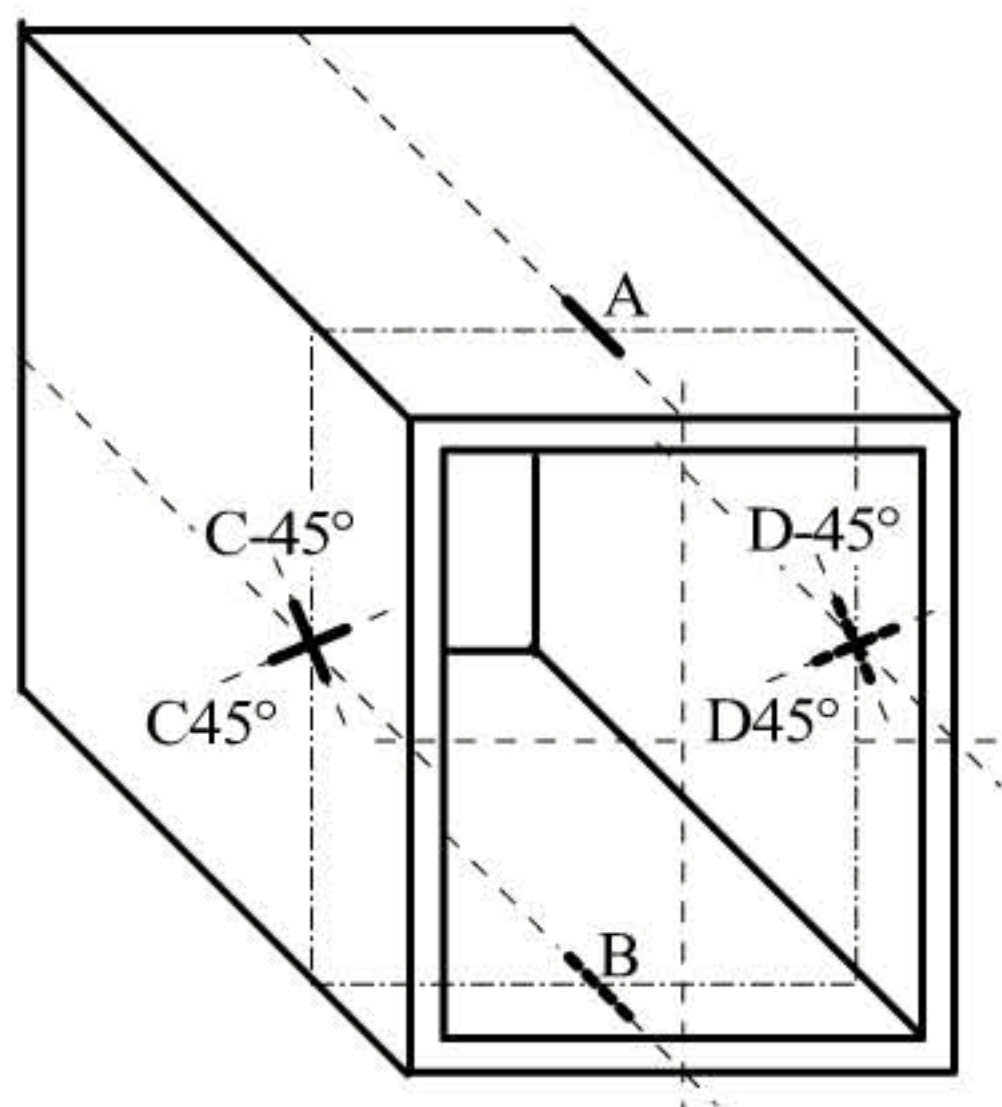
## 3. 桥路与计算公式

### (1) 测量轴力 $F_N$

采用全桥测量, 这样接线, 使

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_A = \varepsilon_N + \varepsilon_M + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_t$$





$$\varepsilon_4 = \varepsilon_B = \varepsilon_N - \varepsilon_M + \varepsilon_t$$

其中  $\varepsilon_t$  为温度补偿,  $\varepsilon_N$  和  $\varepsilon_M$  分别是轴力和弯矩在 A 点引起的正应变, 于是

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_1 + \varepsilon_4 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 = 2\varepsilon_N = \frac{2F_N}{EA}$$

$$F_N = \frac{EA\bar{\varepsilon}}{2}$$

(2) 测量弯矩  $M$

采用半桥测量。这样接线, 使

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_A = \varepsilon_N + \varepsilon_M + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_B = \varepsilon_N - \varepsilon_M + \varepsilon_t$$

$R_3$  和  $R_4$  为标准电阻。

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 2\varepsilon_M = \frac{2M}{EW_z}$$

$$M = \frac{EW_z\bar{\varepsilon}}{2}$$

(3) 测量扭矩  $T$

采用全桥测量, 这样接线, 使

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{C-45^\circ}, \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_{C45^\circ}, \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_{D-45^\circ}, \quad \varepsilon_4 = \varepsilon_{D45^\circ}$$

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_{C-45^\circ} - \varepsilon_{C45^\circ} - \varepsilon_{D-45^\circ} + \varepsilon_{D45^\circ} = 4\varepsilon_T$$

其中,  $\varepsilon_T$  为扭矩所引起的最大正应变。

又由应变转轴公式

$$\varepsilon_T = \frac{1}{2}\gamma_T$$

故

$$\bar{\varepsilon} = 2\gamma_T = \frac{2\tau_T}{G} = \frac{T}{G\Omega\delta}$$

$$T = G\Omega\delta\bar{\varepsilon}$$

(4) 测量剪力  $F_s$

采用全桥测量, 这样接线, 使





$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{C-45^\circ}, \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_{C45^\circ}, \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_{D45^\circ}, \quad \varepsilon_4 = \varepsilon_{D-45^\circ}$$

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_{C-45^\circ} - \varepsilon_{C45^\circ} + \varepsilon_{D-45^\circ} - \varepsilon_{D45^\circ} = 4\varepsilon_{F_s}$$

其中,  $\varepsilon_{F_s}$  为剪力所引起的最大正应变

又由应变转轴公式

$$\varepsilon_{F_s} = \frac{1}{2}\gamma_{F_s}$$

$$\bar{\varepsilon} = 2\gamma_{F_s} = 2\frac{\tau_{F_s}}{G} = \frac{F_s S_z^0}{GI_z \delta}$$

故

$$F_s = \frac{GI_z \delta \bar{\varepsilon}}{S_z^0}$$

## 第二套

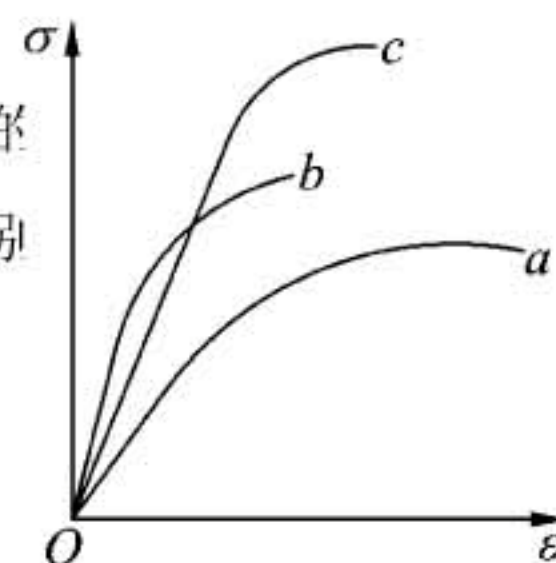
一、试说明铸铁试件单轴拉伸、单轴压缩、扭转破坏的断口形状及破坏原因。

二、用标距 50 mm 和 100 mm 的两种拉伸试样, 测得低碳钢的屈服极限分别为  $\sigma_{s1}$ 、 $\sigma_{s2}$ , 伸长率分别为  $\delta_5$  和  $\delta_{10}$ 。比较两试样的结果, 则有以下结论, 其中正确的是哪一个?

- (A)  $\sigma_{s1} < \sigma_{s2}$ ,  $\delta_5 > \delta_{10}$ ;      (B)  $\sigma_{s1} < \sigma_{s2}$ ,  $\delta_5 = \delta_{10}$ ;  
(C)  $\sigma_{s1} = \sigma_{s2}$ ,  $\delta_5 > \delta_{10}$ ;      (D)  $\sigma_{s1} = \sigma_{s2}$ ,  $\delta_5 = \delta_{10}$ 。

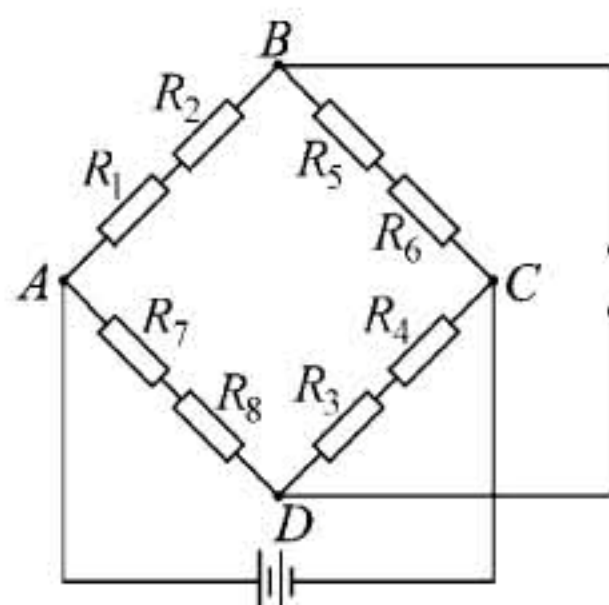
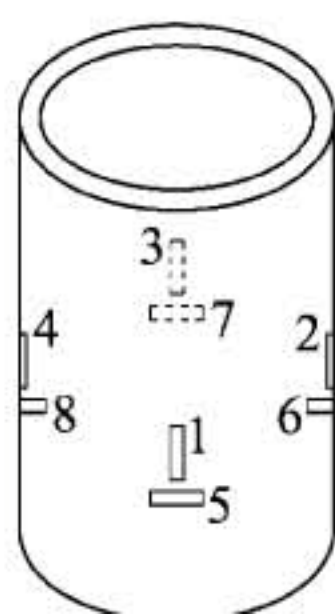
三、三根圆棒试样, 其面积和长度均相同, 进行拉伸试验得到的  $\sigma-\varepsilon$  曲线如图所示, 其中强度最高、刚度最大、塑性最好的试样分别是\_\_\_\_\_。

- (A) a, b, c      (B) b, c, a  
(C) c, b, a      (D) c, a, b



四、测力传感器的圆筒表面沿径向和轴向分别贴有 8 枚应变片, 接成全桥如图所示, 则力  $F$  与应变读数  $\varepsilon_d$  之间的关系为\_\_\_\_\_。

- (A)  $F = \frac{EA}{2(1-\mu)} \varepsilon_d$       (B)  $F = \frac{EA}{2(1+\mu)} \varepsilon_d$   
(C)  $F = \frac{EA}{4(1-\mu)} \varepsilon_d$       (D)  $F = \frac{EA}{4(1+\mu)} \varepsilon_d$







五、在材料伸长率  $\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$  的计算公式中， $l_1$  的量取与断口部位有关。若断口

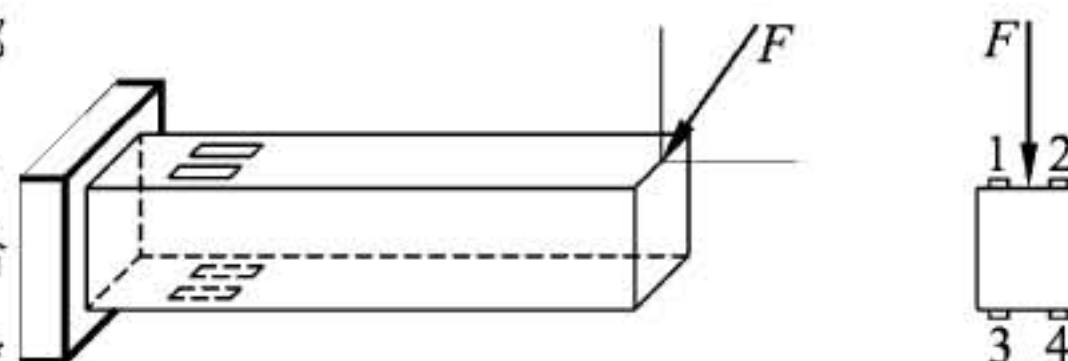
发生在  $l_0$  之外或在  $l_0$  的两端，而与其头部之距离等于或小于\_\_\_\_\_时，则实验无效，应重做。若断口到邻近标距点的距离小于\_\_\_\_\_，则必须经过折算，将断口移中，具体方法如下：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_。

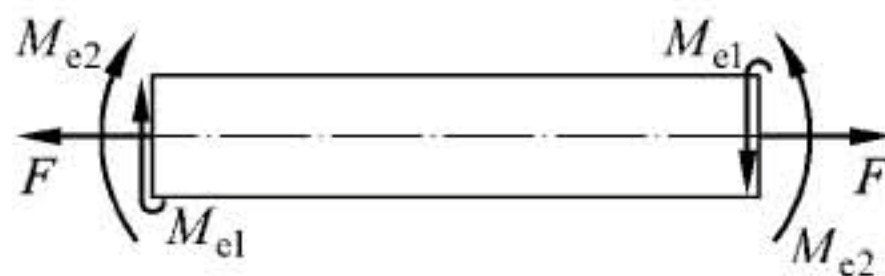
六、低碳钢 Q235 的屈服极限  $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$ 。当拉伸应力达到  $\sigma = 320 \text{ MPa}$  时，测得试件的应变为  $\varepsilon = 3.6 \times 10^{-3}$ 。然后卸载至应力  $\sigma = 260 \text{ MPa}$ ，此时测得试件的应变为  $\varepsilon = 3.3 \times 10^{-3}$ 。试求：

- (1) 试件材料的弹性模量  $E$ ；
- (2) 以上两种情形下试件的弹性应变  $\varepsilon_e$  和塑性应变  $\varepsilon_p$ 。

七、如图所示的悬臂梁，在同一横截面的上下表面已粘贴有四枚相同的应变片，梁端部受有力  $F$  的作用。试设计相应的桥路联接方式，以分别测出  $F$  引起的弯曲应变和压应变，并给出计算公式。（不计温度效应，桥臂可接入固定电阻）



八、图示一圆轴，在其两端除受扭转力偶矩  $M_{e1}$  外，还受有轴向力  $F$  和弯曲力偶矩  $M_{e2}$  作用。欲用 4 枚应变片测出该圆轴的扭转力偶矩  $M_{e1}$ ，而排除轴向力  $F$  和弯曲力偶矩  $M_{e2}$  的影响。试设计应变片的布置方式、桥路联接图，并给出分析计算公式。已知圆轴直径  $d$ ，弹性模量  $E$  及泊松比  $\mu$ 。



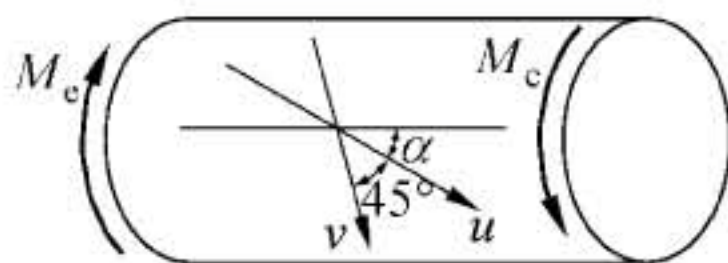
九、用直角应变花测试平面应力状态下的主应力，已知  $E$ 、 $\mu$ 、 $\varepsilon_{0^\circ}$ 、 $\varepsilon_{45^\circ}$ 、 $\varepsilon_{90^\circ}$ ，推导主应力大小和主方向的计算公式。

十、在受扭圆轴表面上一点  $K$  处的线应变值为： $\varepsilon_u = 375 \times 10^{-6}$ ， $\varepsilon_v = 500 \times 10^{-6}$ 。若已知





$E = 200 \text{ GPa}$  ,  $\mu = 0.25$  , 直径  $D = 100 \text{ mm}$  , 试求作用于轴上的外力偶矩  $M_e$  的值。



【解答】

- 一、解：单轴拉伸时，沿横截面破坏，是拉坏的；  
单轴压缩时，沿  $45^\circ$  斜截面破坏，是剪坏的；  
扭转时，沿  $45^\circ$  螺旋面破坏，是拉坏的。

二、解：C

三、解：C

四、解：B

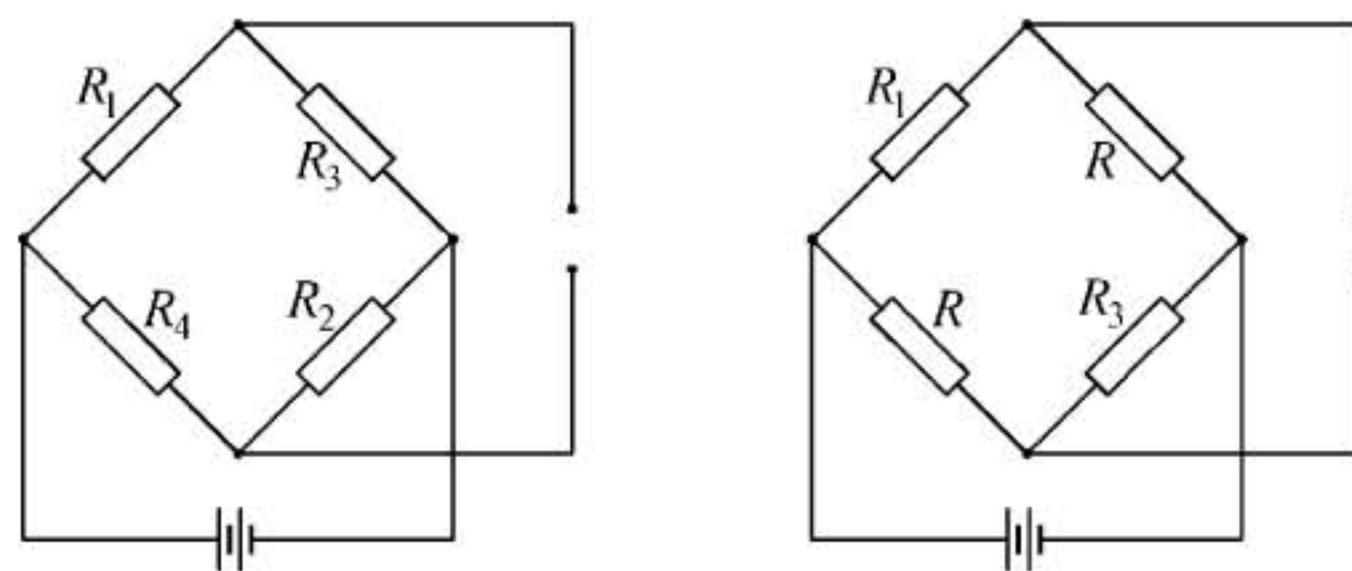
五、直径的两倍时：  $l_0/3$  ； 略

六、解：(1)  $E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{60 \text{ MPa}}{0.3 \times 10^{-3}} = 200 \text{ GPa}$

(2) 当拉伸应力达到  $\sigma = 320 \text{ MPa}$  时  $\varepsilon_e = \frac{\sigma}{E} = 1.6 \times 10^{-3}$  ,  $\varepsilon_p = \varepsilon - \varepsilon_e = 2 \times 10^{-3}$

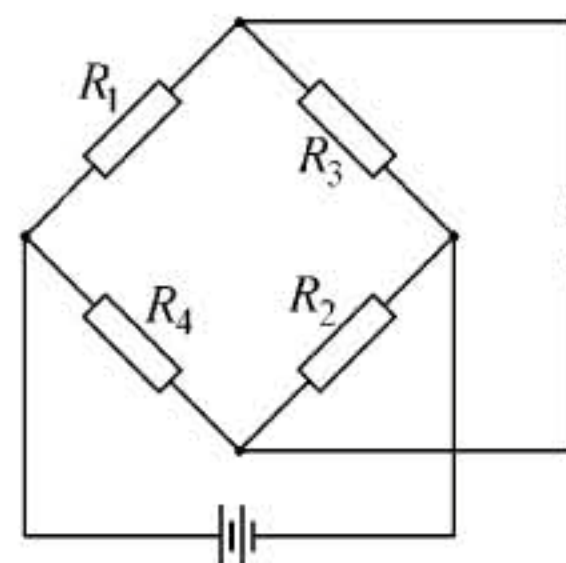
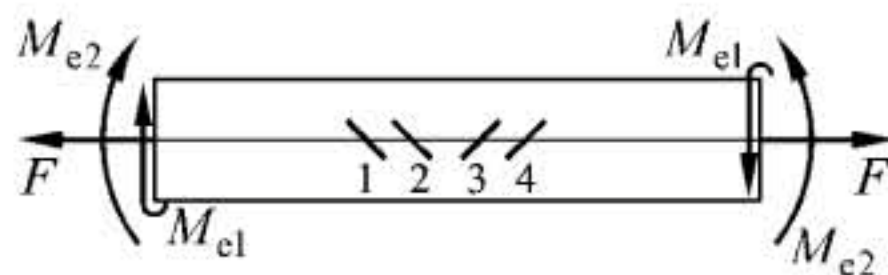
卸载至应力  $\sigma = 260 \text{ MPa}$  时  $\varepsilon_p = 2 \times 10^{-3}$  ,  $\varepsilon_e = \varepsilon - \varepsilon_p = 1.3 \times 10^{-3}$

- 七、解：按图(a)所示方式接桥，  $F$  引起的弯曲应变等于输出读数除以 4  
按图(b)所示方式接桥，  $F$  引起的压应变等于输出读数除以 2



- 八、解：在圆轴的同一条母线上沿与轴线成  $\pm 45^\circ$  方向贴 4 枚应变片，按图示方式接桥，设应变仪输出读数为  $\varepsilon_{\text{读}}$ 。

由  $\frac{\varepsilon_{\text{读}}}{4} = \frac{1+\mu}{E} \frac{M_{e1}}{W_t}$  得  $M_{e1} = \frac{\pi E d^3 \varepsilon_{\text{读}}}{64(1+\mu)}$







九、解： 
$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{E}{1-\mu^2} \left[ \frac{1+\mu}{2} (\varepsilon_{0^\circ} + \varepsilon_{90^\circ}) \pm \frac{1-\mu}{\sqrt{2}} \sqrt{(\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ})^2 + (\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_{90^\circ})^2} \right]$$

$$\tan 2\alpha_0 = \frac{\varepsilon_{90^\circ} - \varepsilon_{0^\circ}}{(\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ}) - (\varepsilon_{90^\circ} - \varepsilon_{45^\circ})}$$

十、解：首先在 K 点处取一单元体，其应力状态如图所示

$$\sigma_u = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2(-\alpha) - \tau_x \sin 2(-\alpha) = \tau_x \sin 2\alpha$$

$$\sigma_u^\perp = \sigma_{90^\circ - \alpha} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2(90^\circ - \alpha) - \tau_x \sin 2(90^\circ - \alpha) = -\tau_x \sin 2\alpha$$

由广义胡克定律  $\varepsilon_u = \frac{1}{E} (\sigma_u - \mu \sigma_u^\perp) = \frac{1}{E} [\tau_x \sin 2\alpha - \mu (-\tau_x \sin 2\alpha)] = \frac{\tau_x \sin 2\alpha}{E} (1 + \mu) = 375 \times 10^{-6}$

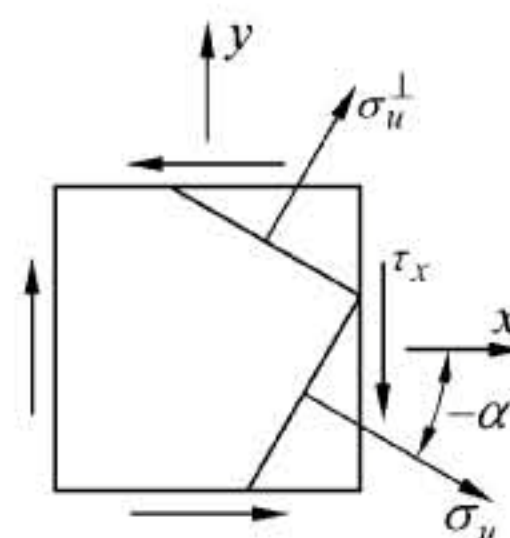
由此可得  $\tau_x \sin 2\alpha = 60 \text{ MPa}$

用同样的方法，由  $\varepsilon_v = 500 \times 10^{-6}$  可求得  $\tau_x \cos 2\alpha = 80 \text{ MPa}$ ；

因此  $\tau_x = \sqrt{(\tau_x \sin 2\alpha)^2 + (\tau_x \cos 2\alpha)^2} = \sqrt{60^2 + 80^2} = 100 \text{ MPa}$ ；

由  $\tau_x = \frac{M_e}{W_t}$  得  $M_e = \tau_x W_t = 196 \text{ kNm}$

第三套



1、低碳钢 Q235 的弹性模量  $E=200\text{GPa}$ ，屈服极限  $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$ ，当实验的工作应力  $\sigma_A = 300 \text{ MPa}$  时，测得轴向应变  $\varepsilon = 4.0 \times 10^{-3}$ ，试求卸载至  $\sigma_{A1} = 100 \text{ MPa}$  和  $\sigma_{O1} = 0$  时的应变。

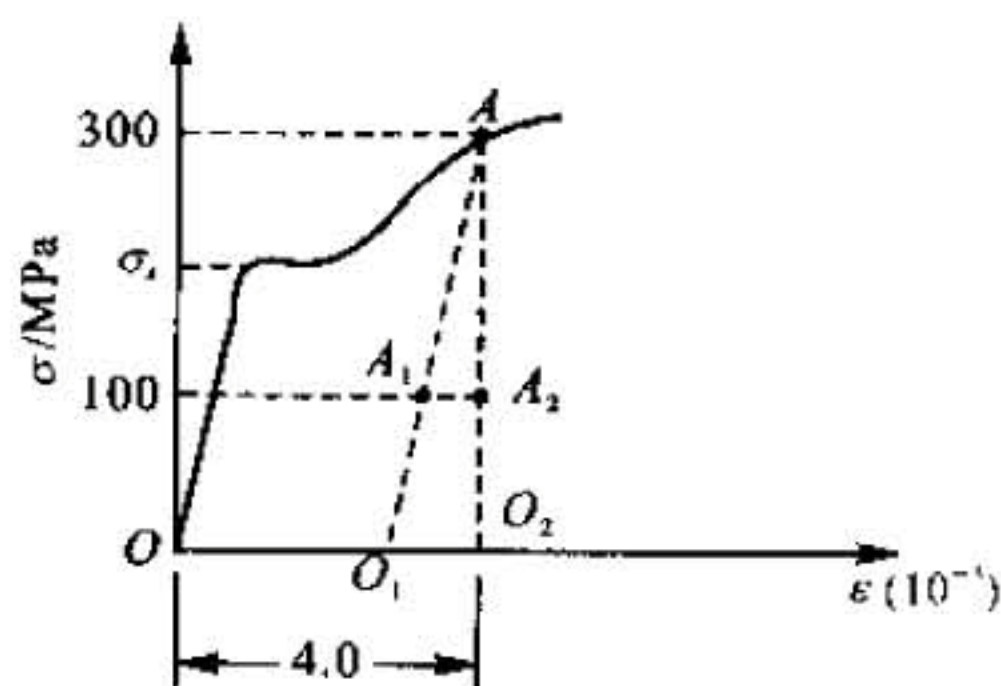


图 1

2、用一板状试件作拉伸试验，纵向应力每增加  $\sigma = 25 \text{ MPa}$ ，测得纵向应变增加  $\varepsilon = 120 \times 10^{-6}$ ，

横向应变增加  $\varepsilon' = -38 \times 10^{-6}$ ，试求材料的弹性模量  $E$  和泊松比  $\mu$ 。





3、图 2 (a) 所示直径 50mm、长度 2.5m 的钢制圆轴，试验测得其剪应力—剪应变关系如图 2 (b) 所示。

- (1) 若在自由端施加一外力偶矩  $m$ ，测得自由端的相对扭转角  $\phi = 17.19^\circ$ ，试求外力偶矩  $m$ ；
- (2) 若卸去外力偶矩  $m$ ，求该圆轴的残余剪应力，并画出残余剪应力的分布图。

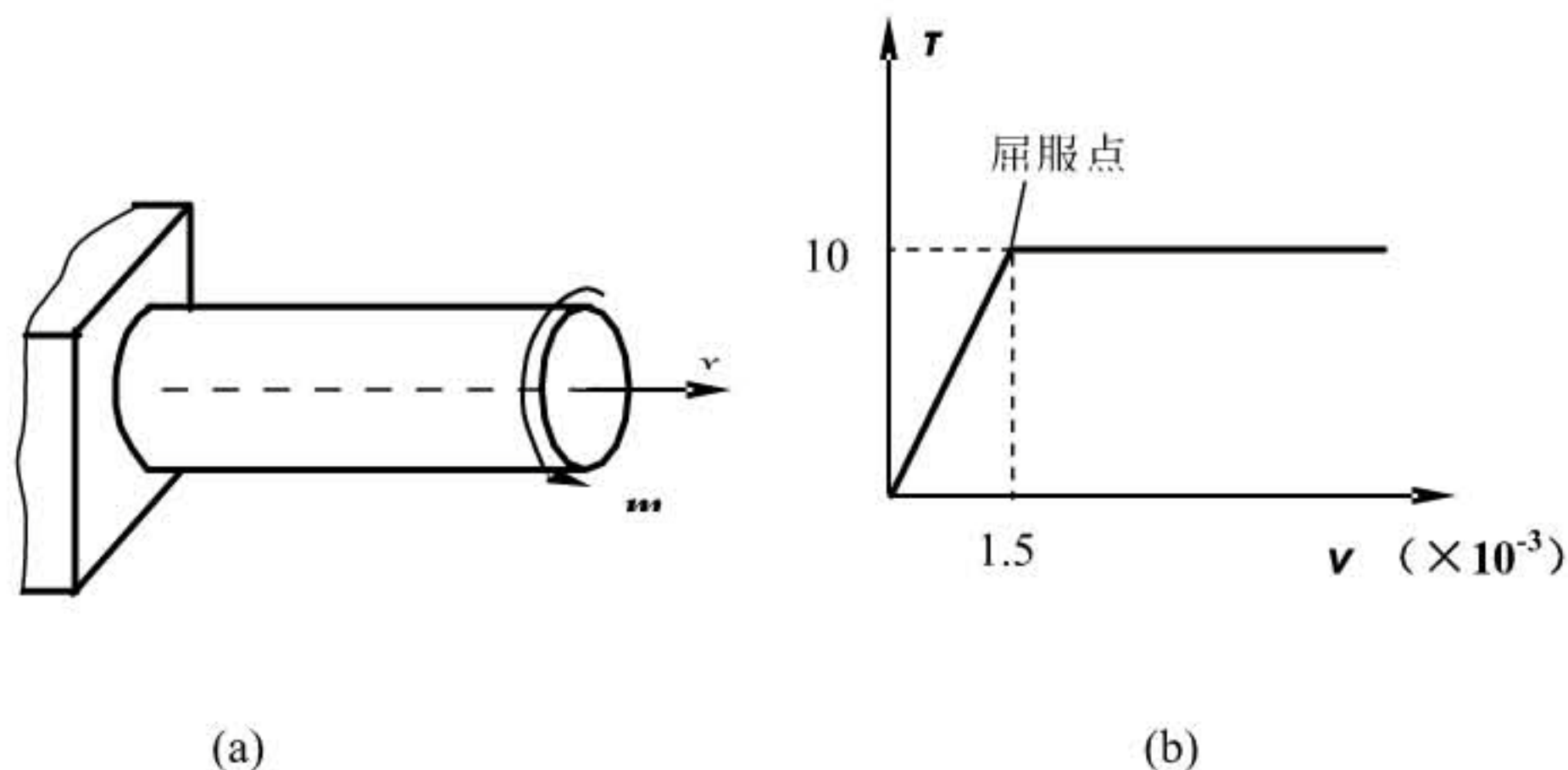


图 2

4. 如图 3 所示一矩形偏心受拉试件，如何贴片和组桥来求出其拉力  $P$  和偏心距  $e$ ？已知横截面积  $A$ 、抗弯截面系数  $W$  及弹性模量  $E$ 。

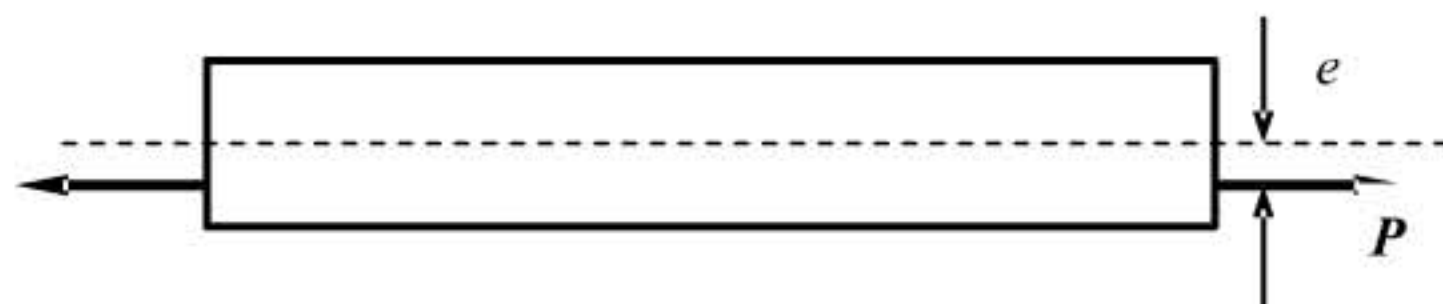


图 3

5. 图 4 所示一加强梁结构，受力和尺寸如图。其中梁为矩形梁，横截面面积为  $A$ ，抗弯截面系数为  $W$ ，弹性模量为  $E$ ，拉杆材料与梁相同，截面为圆形，面积为  $A_0$ 。试进行理论分析。为求出  $CD$  段内的弯矩  $M$  和拉杆的拉力  $N$ ，试设计应变片的布置和接桥方法。

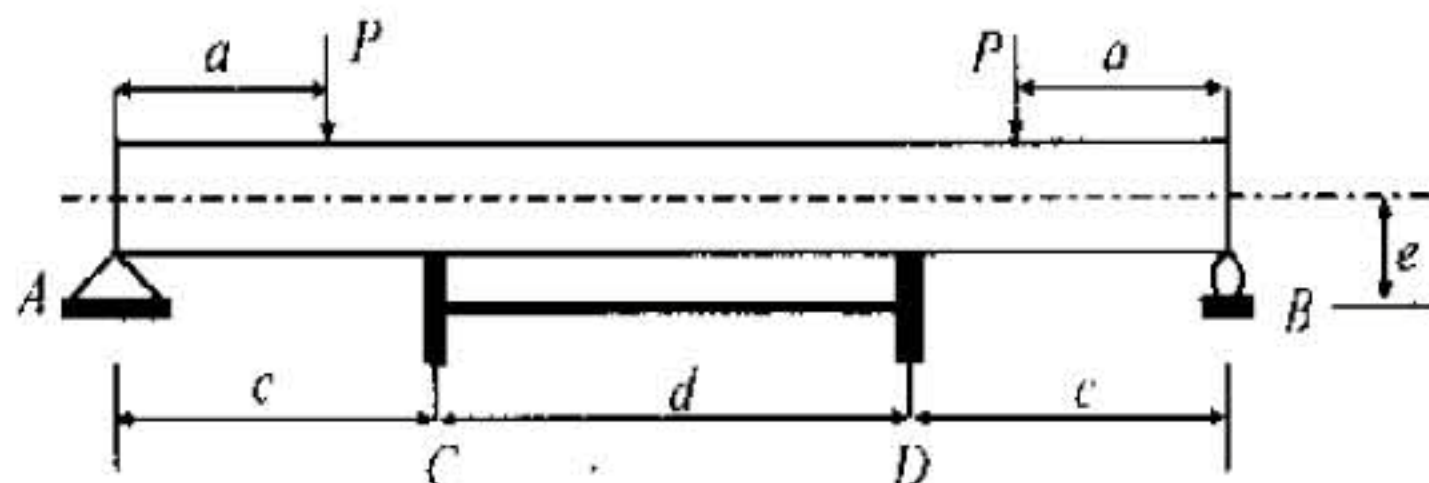


图 4





6. 已知薄壁圆筒壁厚  $t$ ，平均直径  $D$ ，材料的弹性模量  $E$  和泊松比  $\mu$ ，若沿轴向和周向各贴一片应变片，应如何组桥，通过应变测量，求出圆筒所受均布内压力  $P$ ？

7. 如图 5 所示圆柱，承受偏心拉力  $P$  和扭转力偶矩  $M$ 。已知：扭转力偶矩  $M$ 、圆柱直径  $d$ ，材料的弹性模量  $E$  和泊松比  $\mu$ ，至少用几个应变片并应如何布置，才能求出拉力的大小和偏心距？

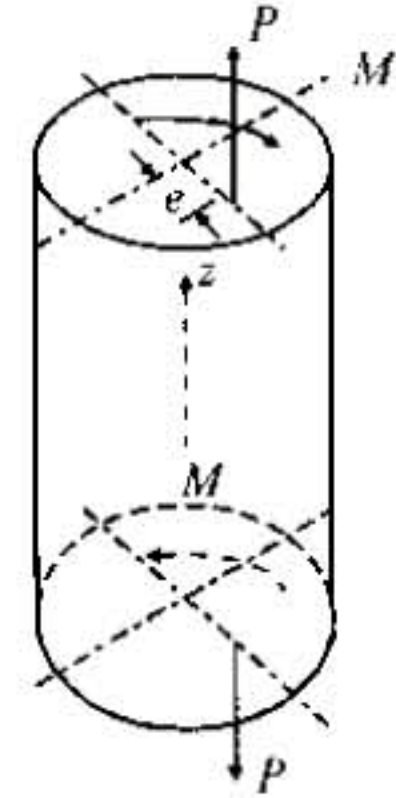


图 5

8. 如图 6 所示结构，各杆的材料和尺寸相同，截面对称。已知弹性模量  $E$ ，惯性矩  $I$ ，抗弯截面系数为  $W$ ，横截面面积  $A$ ，杆长  $L$ ，若在杆  $BD$  上  $H$  点沿杆向贴一应变片， $DH=x$ ，测量出应变值为  $\varepsilon$ ，求出作用在  $CD$  杆上  $N$  点力  $F$  的大小。

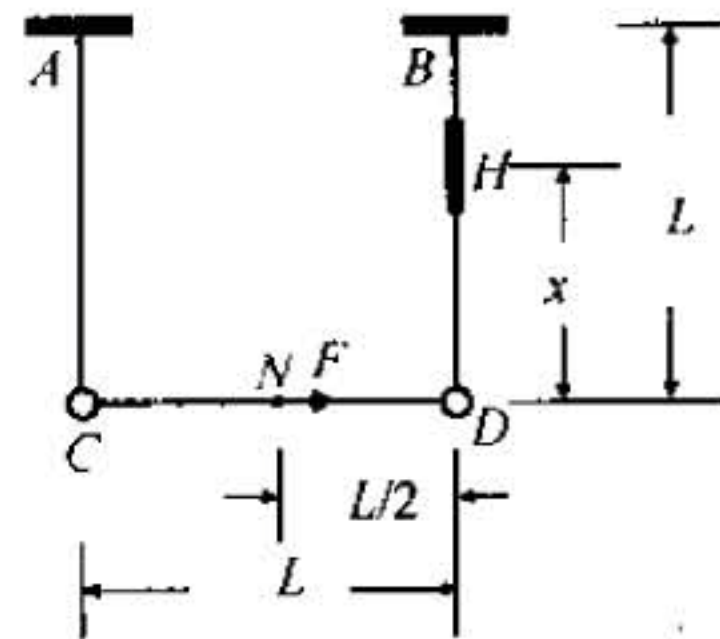


图 6

9. 若静态应变仪标定的应变片灵敏系数比实际所用的应变片灵敏系数小时，则应变仪的读数比实际应变值是大还是小？作简单说明。





10. 铸铁圆柱薄壁容器受内压  $P$  和扭转力偶矩  $m$  作用，如图 7 所示。已知壁厚  $t$  ( $t < D/20$ )，平均直径  $D$ ，材料的弹性模量  $E$ 、剪切弹性模量  $G$ 、泊松比  $\mu$ ，试求：

- (1) 如何利用电测法由应变仪读数  $\varepsilon_\alpha$  确定容器所受内压  $P$  的大小？
- (2) 若内压  $P$  和扭转力偶矩  $m$  按比例增加，至到容器破坏，试在图上标出开裂角  $\theta$  与容器轴线  $Ox$  方向的大致方位，并说明开裂破坏原因。

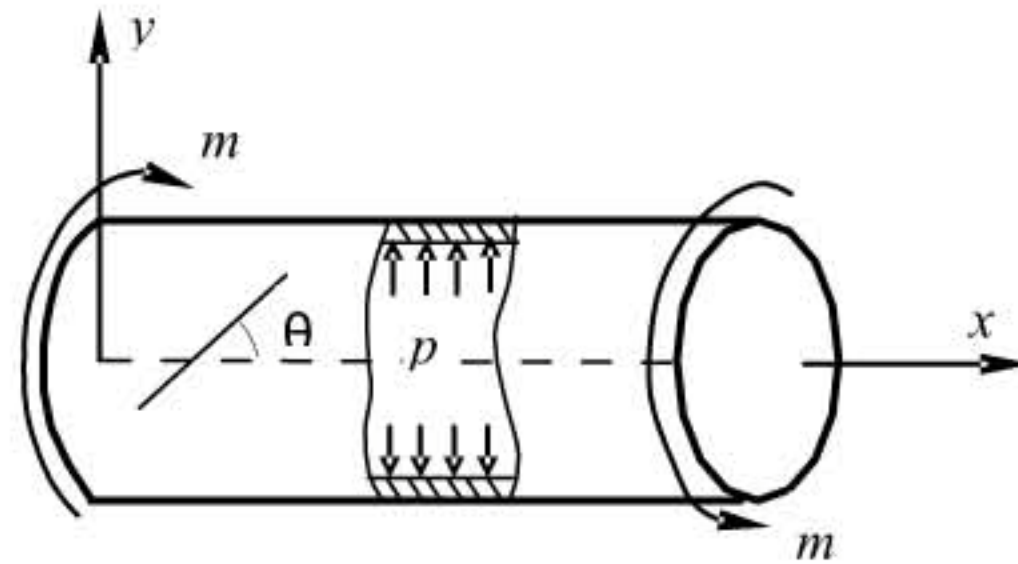


图 7