

目录

实验一 拉伸与压缩实验.....	1
实验二 材料扭转实验.....	9
实验三 纯弯曲梁的正应力实验.....	14
实验四 电阻应变片的接桥方法实验.....	23
实验五 弯曲和扭转组合变形实验.....	27
实验六 材料弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定	30
实验七 偏心拉伸实验.....	34
实验八 压杆稳定实验.....	37
实验九 冲击实验.....	40
实验十 疲劳演示实验.....	43
实验十一 静力分析模拟仿真综合实验 （选择实验）	45
实验十二 电测法实验方案设计.....	48

实验一 拉伸与压缩实验

拉伸压缩实验是测定材料力学性能的最基本最重要的实验之一。由本实验所测得的结果，可以说明材料在静力下的一些性能，诸如材料对载荷的抵抗能力的变化规律、材料的弹性、塑性、强度等重要机械性能，这些性能是工程上合理地选用材料和进行强度计算的重要依据。

一、实验目的

- 1) 测定低碳钢的屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 、延伸率 δ 、截面收缩率 ψ 和铸铁的强度极限 σ_b 。
- 2) 观察低碳钢和铸铁在拉压过程中表现的现象，绘出外力和变形间的关系曲线（ $F - \Delta L$ 曲线）。
- 3) 比较低碳钢和铸铁两种材料的拉伸与压缩性能和断口情况。
- 4) 在比例极限内测定低碳钢的弹性模量 E
- 5) 了解万能试验机的构造、原理和操作。

二、实验设备

材料试验机（电子万能试验机）、游标卡尺等

电子万能试验机工作原理：

1、主机

1.1 主机用途

主机是负荷机架与机械传动系统的结合体，在动横梁位移控制系统的驱动下，配合相应的附件，可以使受试样品产生应力应变，经测量、数据采集、数据处理给出所需数据报告。总之，主机是材料力学性能试验机测试的执行机构。

电子万能试验机工作时，由主控计算机通过 RS-232 标准总线接口对各测量、控制功能函数进行调用、管理、控制，并利用主机与附件的功能搭配组合，完成多种功能试验。

1.2 主机结构及其工作原理

主机（图 1）的结构组成主要有负荷机架、传动系统、夹持系统与位置保护装置。负荷机架由四立柱支承上横梁与工作台板构成门式框架，两丝杠穿过动横梁两端并安装在上横梁与工作台板之间。工作台板由四脚支承在底板上，且机械传动减速器也固定在工作台板上。工作时，伺服电机驱动机械传动减速器，进而带动丝杠传动，驱使动横梁上下移动。试验过程中，力在门式负荷框架内得到平衡。

力传感器安装在动横梁上，一只拉伸夹具安装在力传感器上，另一只夹具安装在工作台板上（双空间结构安装在上横梁上）。如果做压缩或弯曲等试验时，单空间结构的卸下万向联轴节和拉伸夹具，装上压头及压缩试台或弯曲试台。双空间结构的压头及压缩试台与弯

曲试台已固定在动横梁与工作台板上了。工作时，只要安装上试样，通过主控计算机启动动横梁驱动系统及测量系统即可完成全部试验。

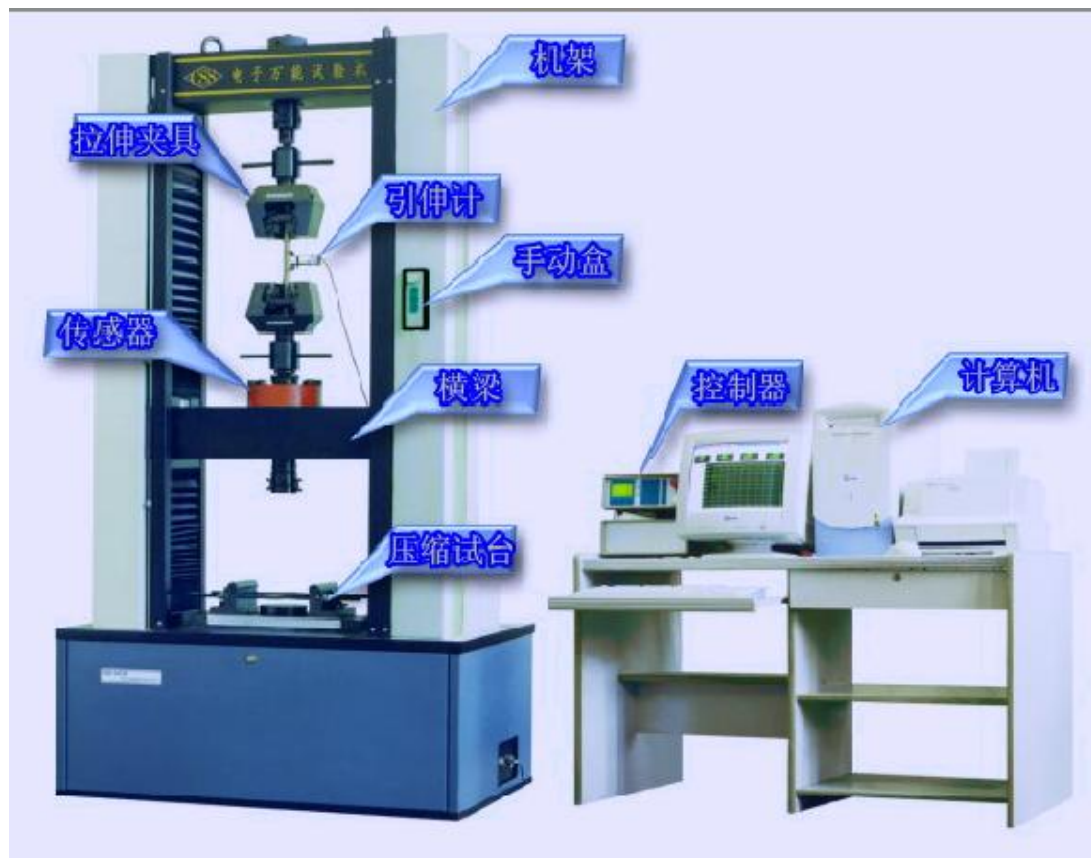


图 1-1 电子万能试验机外形图

三、试件

金属材料拉伸实验常用的试件形状如图 1-2 所示。图中工作段长度 l 称为标距，试件的拉伸变形量一般由这一段的变形来测定，两端较粗部分是为了便于装入试验机的夹头内。

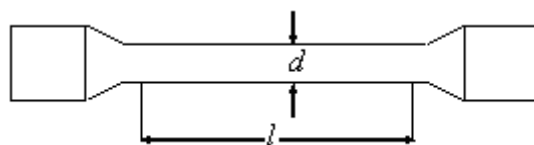


图 1-2 拉伸圆试样

为了使实验测得的结果可以互相比较，试件必须按国家标准做成标准试件，即 $l = 5d$ 或 $l = 10d$ 。

对于一般板的材料拉伸实验，也应按国家标准做成矩形截面试件。其截面面积和试件标距关系为 $l = 11.3\sqrt{A}$ 或 $l = 5.65\sqrt{A}$ ， A 为标距段内的截面积。

金属材料的压缩试件一般制成圆柱形，如图 1-3 所示，并制定 $1 \leq \frac{h}{d} \leq 3$

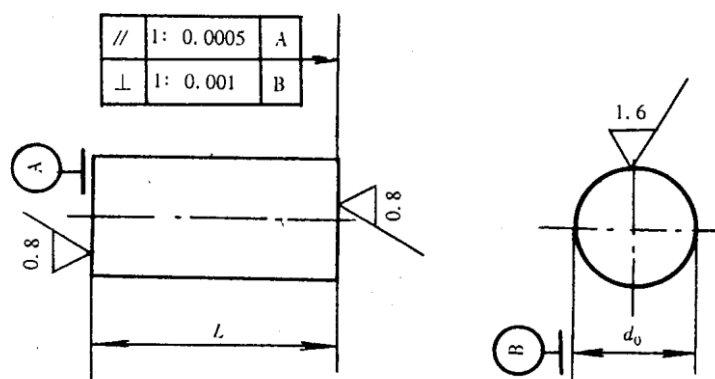


图 1-3 圆柱形压缩试样

四、实验原理及方法

常温下的拉伸实验可以测定材料的弹性模量 E 、屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 、延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 等力学性能指标，这些参数都是工程设计的重要依据。

典型的低碳钢的拉伸 $P-\Delta L$ 曲线，可明显分成四个阶段（图 1-4）。

1. 弹性阶段

从图中可以看出，当载荷增加到 A 点时，拉伸图上 OA 段是直线，表明此阶段内载荷与试件的变形成比例关系，即符合虎克定律的弹性变形范围。

2. 屈服阶段

低碳钢进入屈服阶段时，载荷常有上下波动，这时变形增加很快，载荷增加很慢，其中较大的载荷称上屈服点，较小的称下屈服点。与 B' 点相应的应力叫上屈服极限，因下屈服极限比较稳定，所以材料的屈服极限一般规定按下屈服极限取值。去除初始瞬态效应，一般用第二个波峰以后的最小值作为下屈服点 B 表示材料的屈服载荷 F_s ，如果只有一次下降波动，则去波动的最小应力为下屈服极限，如图 1-5 所示，其中 F_{su} 表示上屈服荷载， F_{sL} 下屈服荷载，

屈服荷载除以试件的原始截面积 A 即得到低碳钢的屈服极限 σ_s ， $\sigma_s = \frac{F_s}{A}$

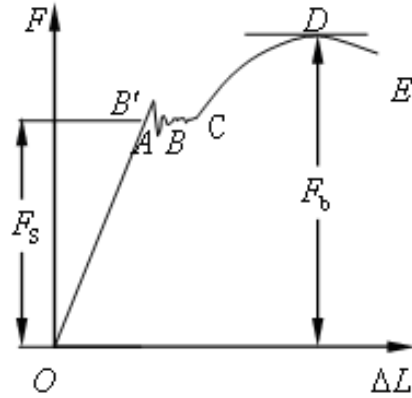


图 1-4 低碳钢的拉伸 $P-\Delta L$ 曲线

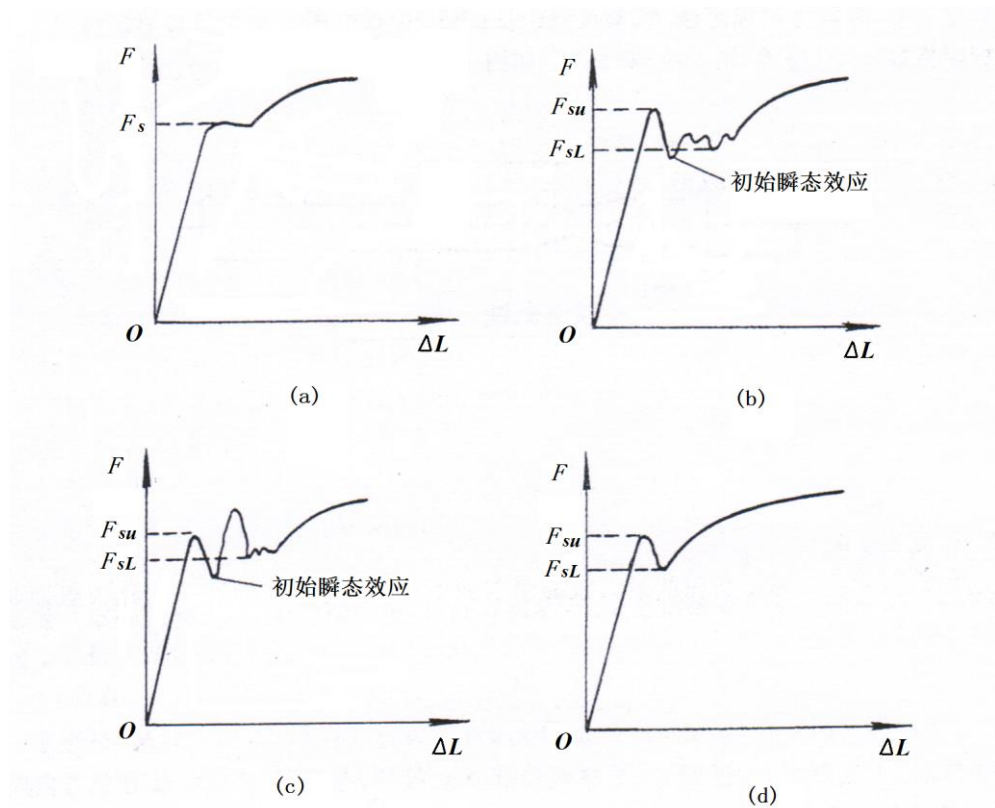


图 1-5 屈服极限

3. 强化阶段

屈服阶段后，材料进入强化阶段，试件又恢复了承载能力。试件要承受更大的外力，才能继续发生变形。若要使塑性变形加大，必须增加载荷，如图形中 C 点至 D 点这一段为强化阶段。

4. 颈缩阶段

当载荷达到最大值 F_b (D 点) 时，试件的塑性变形集中在某一截面处的小段内，此段发生截面收缩，即出现“颈缩”现象。如果通过刻度盘读取荷载值，这时示力盘的从动针停留在 F_b 位置，主动针迅速倒退，表明荷载迅速下降，试件即将被拉断。这时从动针所示的荷载

即为破坏载荷 F_b ，所对应的应力叫强度极限 σ_b 。如果是电子拉伸机，电脑此时记下最大载荷值 F_b ，用 F_b 除以试件的原始截面积 A ，就得到低碳钢的强度极限 σ_b ， $\sigma_b = F_b / A$ 。在试件发生“颈缩”后，由于截面积的减小，载荷迅速下降，到 E 点试件断裂。

试验断裂后，关闭机器，取下拉断的试件，将断裂的试件紧对到一起，用游标卡尺测量出断裂后试件标距间的长度 l_1 ，按下式可计算出低碳钢的延伸率 δ

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\% \quad (1-1)$$

将断裂的试件的断口紧对在一起，用游标卡尺量出断口（细颈）处的直径 d_1 ，计算出面积 A_1 ；按下式可计算出低碳钢的截面收缩率 ψ ，

$$\psi = \frac{A - A_1}{A} \times 100\% \quad (1-2)$$

如断口发生于 l_0 的两端或在 l_0 之外，则实验无效，应重作。若断口距 l_0 的一端的距离小于或等于 $l_0/3$ ，如图 1-5 (b) (c)，则按下述断口移中法测定 l_1 。在拉断后的长段上，由断口处取约等于短段的格数得 B 点，若剩余格数为偶数，如图 1-5 (b)，取其一半得 C 点，设 AB 长为 a ，BC 长为 b ，则 $l_1 = a + 2b$ 。当长段剩余格数为奇数时，如图 1-6 (c)，取剩余格数减 1 后的一半得 C 点，加 1 后的一半得 C_1 点，设 AB、BC、 BC_1 的长度分别为 a 、 b_1 和 b_2 ，则 $l_1 = a + b_1 + b_2$ 。

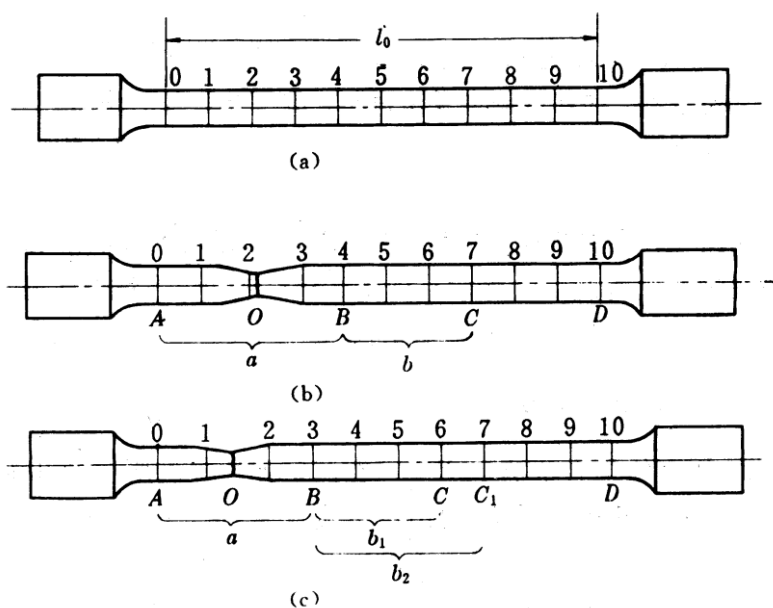


图 1-5 断口移中示意图

铸铁的拉伸曲线如图 1-6 所示，由于铸铁是脆性材料，拉伸没有明显的四个阶段，其强度由强度极限衡量。

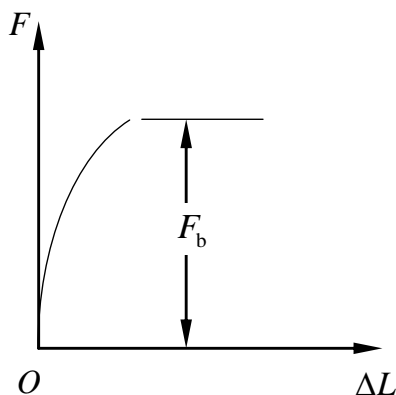


图 1-6 铸铁的拉伸 P- ΔL 曲线

五、实验步骤

1. 低碳钢拉伸试验

- 1) 测量试件的直径。在标距两端及中部三个位置上，沿互相垂直的方向，测量试件直径，以其平均值计算弹性模量，以其最小值计算强度和断面收缩率。
- 2) 打开计算机电源，双击桌面上的 TestExpert 图标启动试验程序，或从WINDOWS 菜单中点击“开始” → “程序” → “CCSS” → “TestExpert”。接着显示程序启动画面，点击该画面或等待数秒钟可直接进入程序主界面。
- 3) 在试验条件菜单里选择本次试验所用的试验条件（所有试验条件以 .CON 作为扩展名），可以直接使用默认的试验条件，也可以按照试验要求修改试验条件。
- 4) 选择合适的力传感器连接到横梁。（当主机配有多个力传感器时）
- 5) 将合适的夹具安装到横梁上。
- 6) 将其他的必要设备连接到主机上，如引伸计等。
- 7) 先按启动按钮启动EDC，然后使用手动盒或 TestExpert 的升降按钮移动横梁到合适位置，以方便夹持试样。
- 8) 装夹试样。（选择适当夹块、垫片，并保证其光滑接触，可适当使用润滑剂）
- 9) 确认已设置好试验条件，试样已夹好。
- 10) 各通道清零。（在各通道的显示窗口上击鼠标右键，弹出一个快捷菜单，点清零即可）
- 11) 点击开始试验按钮，该按钮位于主界面左侧，也可以点击工具条上的开始试验按钮。
- 12) 如果继续做其它试样的试验，请返回步骤 7)。

完成一组试验后，可以进入曲线操作界面查看原始数据、试验结果和统计值，还可以根据原始数据修改试验结果。

注意：

1) 如果你无意中启动了一个没夹试样的试验,或试验过程中出现其他错误,请按结束试验按钮或 CTRL-E 组合键。

2) 因某种原因致使试验中断、停止时,请先将横梁返回到初始位置,消除剩余力,以免损坏力传感器。

试验结束后主界面上显示出试验结果及重绘后的曲线。

3) 安装试件。

4) 安装引伸仪(只用于低碳钢拉伸试验)

5) 进行预拉(只用于低碳钢拉伸试验)。为了检查机器和仪表是否处于正常状态,先把荷载预加到略小于 P_n (测定弹性模量 E 时最大荷载),然后卸载到 $0 \sim P_0$ 之间。

6) 加载。在测定低碳钢的弹性模量时,先加载至 P_0 ,调整引伸仪读数为零或记录初始读数。加载按等增量法进行,记录每级荷载下的引伸仪读数,荷载最大加至 P_n ,然后取下引伸仪。加载应保持匀速、缓慢。测出屈服荷载 P_s 后,可稍加实验速率,最后直到将试件拉断,记录最大荷载 P_b 。对铸铁试件,应缓慢匀速加载,直至试件被拉断,记录最大荷载 P_b 。

7) 取下试件,将试验机恢复原状。观察试件并测量有关数据。

2. 铸铁拉伸试验

1) 试件的准备:用游标卡尺在试件标距范围内测量中间和两端三处直径 d 取最小值计算试件截面面积,根据铸铁的强度极限 σ_b ,估计拉伸试件的最大荷载。

2) 试验机的准备:与低碳钢拉伸实验相同。

3) 进行实验:开动机器,缓慢均匀加载直到断裂为止。记录最大荷载 F_b ,观察自动绘图装置上的曲线,如图 1-6 所示。将最大荷载值 F_b 除以试件的原始截面积 A ,就得到铸铁的强度极限 $\sigma_b = F_b / A$ 。因为铸铁为脆性材料在变形很小的情况下就会断裂,所以铸铁的延伸率和截面收缩率很小,很难测出。

3. 低碳钢的压缩实验(图 1-7)

1) 试件准备:用游标卡尺测量试件的直径。

2) 试验机的准备:与低碳钢拉伸实验相同。

3) 进行实验:开动机器,使试件缓慢均匀加载,低碳钢在压缩过程中产生屈服以前基本情况与拉伸时相同,荷载到达 B 时,曲线斜率变小,这说明材料产生了屈服,当荷载超过 B 点后,塑性变形逐渐增加,试件横截面积逐渐明显地增大,试件最后被压成鼓形而不断裂,故只能测出产生屈服时的荷载 F_s ,由 $\sigma_s = F_s / A$ 得出材料受压时的屈服极限而得不出受压时的强度极限。

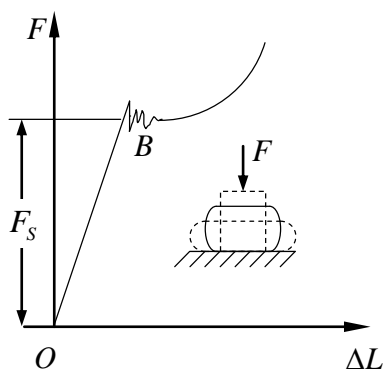


图 1-7 低碳钢压缩试验

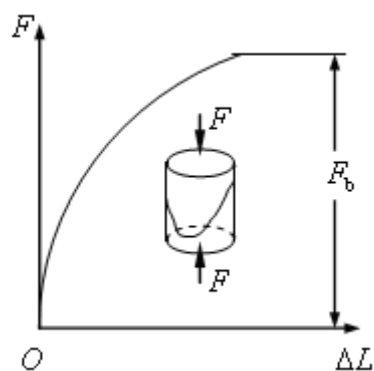


图 1-8 铸铁压缩试验

4. 铸铁的压缩实验（图 1-8）

铸铁压缩与低碳钢的压缩实验方法相同，但铸铁受压时在很小的变形下即发生破坏，只能测出 F_b ，由 $\sigma_b = F_b / A$ 得出材料强度极限。

铸铁破坏时的裂缝约与轴线成 45° 角左右。

六、注意事项

- 1) 压缩试件一定要放在压头中心以免偏心影响
- 2) 在试件与上压头接触时要特别注意减小油门，使之慢慢接触，以免发生撞击，损坏机器。
- 3) 铸铁压缩时，应注意安全，以防试件破坏时跳出打伤。

实验二 材料扭转实验

一、实验目的

1. 测定低碳钢的剪切屈服极限 τ_s ，剪切强度极限 τ_b 。
2. 测定铸铁的剪切强度极限 τ_b 。
3. 比较低碳钢和铸铁试件受扭时的变形规律及其破坏特征。

二、实验设备及试件

1. 扭转试验机。

该试验机结构如图 2-1 所示。整机由主机、主动夹头、从动夹头、扭转角测量装置以及电控测量系统等组成。

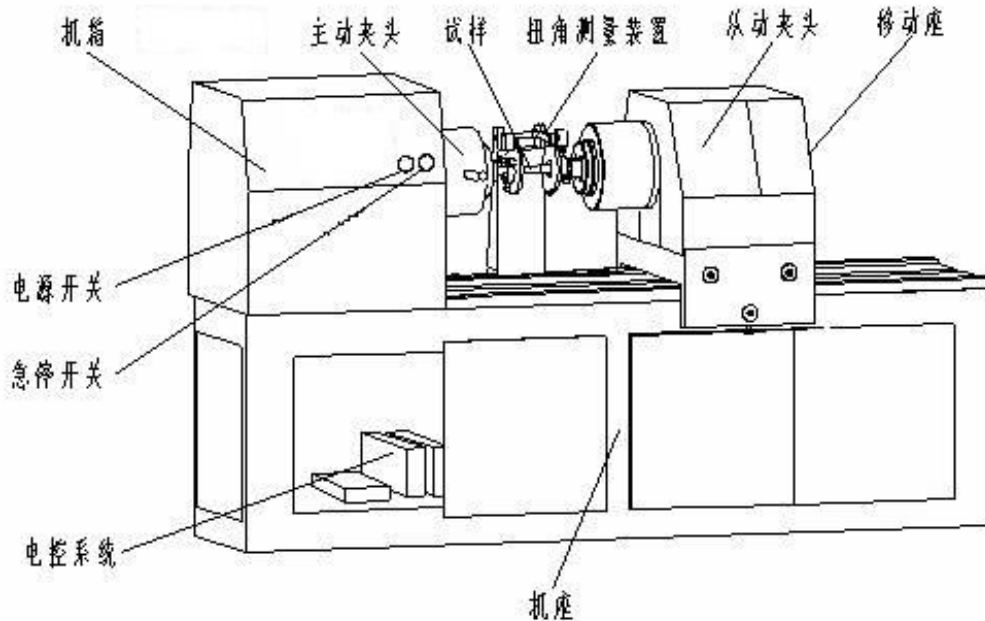


图 2-1 TM500 电子扭转试验机

主机包括：底座、机箱、传动系统和移动支座等，其中传动系统由交流伺服电机、同步齿型带和带轮、减速器、同步带张紧装置等组成。移动支座由支座和扭矩传感器组成，支座用轴承支撑在底座上，与导轨的间隙由内六角螺钉调整。扭矩传感器固定在支座上。扭转角测量装置由卡盘、定位环、支座、转动臂、测量辊、光电编码器组成。卡盘固定在试样的标距位置上，试样在加载负荷的作用下而产生形变，从而带动卡盘转动，同时通过测量辊带动光电编码器转动。由光电编码器输出角脉冲信号，发送给电控测量系统处理，然后通过计

算机将扭角显示在屏幕上。

扭矩的测量装置的扭矩传感器固定在支座上，可沿导轨直线移动。通过试样传递过来的扭矩使传感器产生相应的变形，发出电信号，通过电缆将该信号传入电控部分。由计算机进行数据采集和处理，并将结果显示在屏幕上。

试样夹头有两个，主动夹头安装在减速器的出轴端，从动夹头安装在移动支座上的扭矩传感器上。试样夹持在两个夹头之间。旋动夹头上的手柄，使夹头的钳口张开或合拢，将试样夹紧或松开。当主动夹头被电机驱动时，试样所承受的力矩经从动夹头传递给扭矩传感器，转换成测量电信号，发送给电控测量系统处理。

电气控制系统用于控制试验机的加载过程，包括控制面板和相关控制元件。

2. 游标卡尺。

3. 试件。按国标规定扭转试件一般为圆截面如图 2-2 所示，推荐采用直径 d_0 为 10mm，标距 l_0 分别为 50mm 和 100mm，平行长度 l 分别为 70mm 和 120mm 的圆形试件。

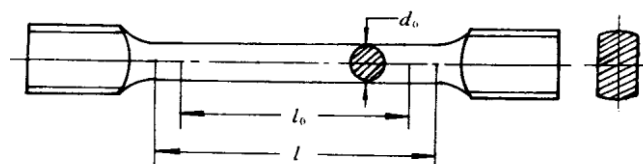


图 2-2 扭转试件

三、试验原理

圆轴扭转时，试件表面为纯剪应力状态。试件的断裂方式为分析材料的破坏原因和抗断能力提供了直接有效的依据。

材料扭转过程可用试件的变形（扭转角 φ ）和载荷（扭矩 M_n ）的关系，即 $M_n-\varphi$ 曲线来描述。图 2-3 为两种典型材料的扭转曲线。

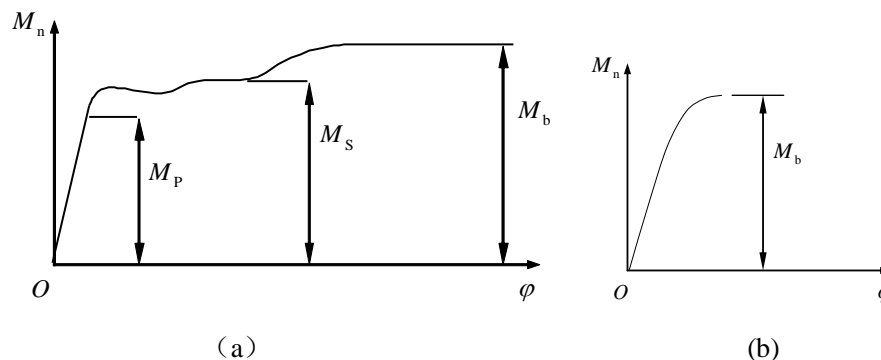


图 2-3 低碳钢和铸铁的扭转曲线

低碳钢试件受扭时 $M_n-\varphi$ 曲线, 如图 2-3 (a) 所示, 在开始变形的直线段内 (OA 段), 扭矩 M_n 与转角 φ 之间成正比关系, 为弹性阶段。横截面上的剪应力成线性分布, 最大剪应力发生在横截面周边处, 在圆心为零, 如图 2-4 (a) 所示。随着 M_n 的增大, 试件将产生明显的屈服阶段, 横截面边缘处的剪应力首先到达剪切屈服极限 τ_s , 剪应力的分布不再是线性的, 而是如图 2-4 (b) 所示, 即试件发生屈服形成环形塑性区。随着扭转变形的增加, 塑性区不断向圆心扩展, 直至全截面几乎都是塑性区为止, 即全面 (理想) 屈服, 如图 2-4 (c) 所示。试件屈服过程中, 在 $M_n-\varphi$ 曲线上出现屈服平台, 如图 2-3 (a), 扭矩度盘的指针基本不动或轻微摆动, 则指针摆动回退的最小值即为屈服扭矩 M_s 。

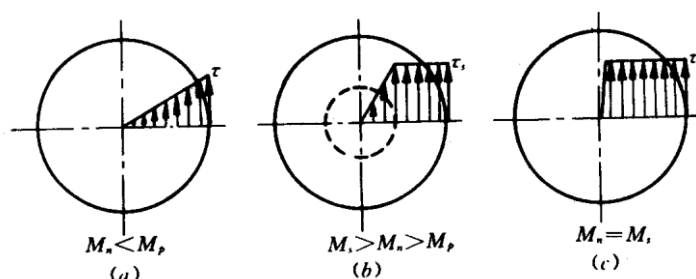


图 2-4 低碳钢圆轴在不同扭矩时的剪应力分布图

由 $M_n-\varphi$ 曲线可见, 过屈服阶段后, 材料的强化使扭矩又有缓慢的上升。而变形非常显著, 试件的纵向画线逐渐变成了螺旋线。直至到达 C 点、试件断裂为止。此时, 由扭矩度盘读出 C 点的最大扭矩值 M_b 。

铸铁试件受扭转时, 变形很小即发生断裂。其 $M_n-\varphi$ 曲线如图 2-3 (b) 所示, 比较明显地偏离了直线, 呈非线性。试件断裂时的扭矩读数就是最大扭矩 M_b 。

四、实验步骤

1. 低碳钢扭转实验

(1) 试件尺寸测量

用游标卡尺测量试件直径 d_0 。在试件标距内的中间和两端三处测量直径, 每个截面相互垂直的方向各量一次, 取最小值作为直径尺寸 d 。

(2) 试验机准备

打开主机电源开关, 启动计算机。使机器预热时间不小于 10 分钟。

(3) 根据计算机的提示, 设定试验方案, 试验参数。(详细见软件使用手册)

(4) 装夹试样

- 1) 两夹头对正。如发现夹头有明显的偏差, 请按下“正转”或“反转”按键进行微调。
- 2) 将已装卡盘的试样的一端放入从动夹头的钳口间, 扳动夹头的手柄将试样夹紧。
- 3) 推动移动支座移动, 使试样的头部进入主动夹头的钳口间。
- 4) 慢速扳动夹头的手柄, 直至将试样夹紧。

★ 注意：推动移动支座时，切忌用力过大，以免损坏试样或传感器。

(5) 按“对正”按键，使电脑显示屏上的扭转角显示值为零。

(6) 将测量辊放在卡盘上。*不测扭转变形，不用安装。

(7) 按“运行”键，开始试验。缓慢加载。观察 $M_n-\varphi$ 曲线。

(8) 试验结束，取下试样。当一次试验结束后，松开夹头，取下试样。如果批次试验，重复 5.2.3~5.2.7 项的工作即可。

(9) 试验结束：

1) 试验完成后，根据试验的要求，记录相关试验数据，包括屈服扭矩、最大扭矩和扭转角等。

2) 试验全部结束后，应清理好机器，以及夹头中的铁屑，卸除试样，关断电源。

2. 铸铁扭转实验

实验步骤与低碳钢实验相似，但应注意观察铸铁扭转曲线与低碳钢扭转曲线的不同点，即试件从开始受扭到试件破坏，近似一直线。试件断裂后由计算机读出并记录最大扭矩 M_b 。

低碳钢和铸铁实验完毕后，取下断裂后的试件，根据断口特征，结合理论课知识分析比较试件的断口，从而达到验证和巩固理论的目的。

五、实验结果

1. 低碳钢扭转屈服极限 τ_s ，扭转强度极限 τ_b 的计算

由图 2-4 (c) 所示剪应力分布情况，若认为这时整个圆截面均为塑性区。假定截面上各点的剪应力同时达到屈服极限 τ_s (理想塑性)，断面上 τ_s 均匀分布，从而推导计算屈服极限的近似公式如下：

$$\text{因} \quad M_s = \int_F (\tau_s dA) \cdot \rho$$

式中 τ_s 是常数， $dA = 2\pi\rho \cdot d\rho$

$$\text{所以} \quad M_s = \tau_s \int_0^R \rho \cdot 2\pi\rho \cdot d\rho = 2\pi\tau_s \int_0^R \rho^2 d\rho$$

$$= \frac{2\pi R^3}{3} \cdot \tau_s = \frac{4}{3} \cdot \frac{\pi R^3}{2} \cdot \tau_s = \frac{4}{3} W_p \tau_s$$

$$\text{故屈服极限} \quad \tau_s = \frac{3M_s}{4W_p}, \quad (2-1)$$

$$\text{式中: } W_p = \frac{\pi}{16} d^3 = \frac{\pi}{2} R^3$$

若试件继续变形，材料进一步强化，当达到 $M_n - \varphi$ 上的 C 点时，试件破坏，扭矩表盘上的

指针可读出最大扭矩 M_b ，与屈服时的塑性变形过程相似，可得 $\tau_b = \frac{3M_b}{4W_p}$

但是，为了使测定的指标相互可以比较，根据国标 GB10128—88 规定，相应的屈服极限 τ_s 及强度极限均按弹性扭转公式计算，即

$$\text{剪切屈服极限} \quad \tau_s = \frac{M_s}{W_p}$$

$$\text{剪切强度极限} \quad \tau_b = \frac{M_b}{W_p}$$

2. 铸铁剪切强度极限 τ_b 的计算

铸铁的扭转曲线虽不是一直线，但可近似地视为一直线，其剪切强度极限 τ_b ，仍可近似地用圆轴受扭时的应力公式计算，即

$$\tau_b = \frac{M_b}{W_p} \quad (2-2)$$

实验三 纯弯曲梁的正应力实验

一、实验目的

- 1、测定梁在纯弯曲时横截面上正应力大小和分布规律
- 2、验证纯弯曲梁的正应力计算公式

二、实验仪器设备和工具

- 1、组合实验台中纯弯曲梁实验装置
- 2、XL2118 系列力&应变综合参数测试仪
- 3、游标卡尺、钢板尺

三、实验设备及原理

1. 组合式材料力学多功能实验台

组合式材料力学多功能实验台是方便同学们自己动手作材料力学电测实验的设备，一个实验台可做七个以上电测实验，功能全面，操作简单。

(一)构造及工作原理

1) 外形结构

实验台为框架式结构，分前后两片架，其外形结构如图 3-1。前片架可做弯扭组合受力分析，材料弹性模量、泊松比测定，偏心拉伸实验，压杆稳定实验，悬臂梁实验、等强度梁实验；后片架可做纯弯曲梁正应力实验，电阻应变片灵敏系数标定，组合叠梁实验等。

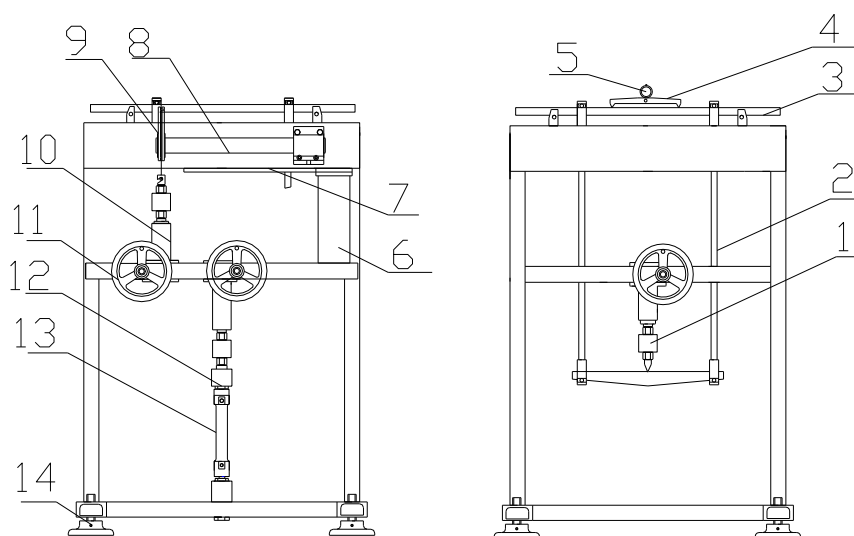


图 3-1 组合式材料力学多功能实验台外形结构图

1. 传感器 2. 弯曲梁附件 3. 弯曲梁 4. 三点挠度仪 5. 千分表 6. 悬臂梁附件 7. 悬臂梁
8. 扭转筒 9. 扭转附件 10. 加载机构 11. 手轮 12. 拉伸附件 13. 拉伸试件 14. 可调节底盘

2) 加载原理

加载机构为内置式,采用蜗轮蜗杆及螺旋传动的原理,在不产生对轮齿破坏的情况下,对试件进行施力加载,该设计采用了两种省力机械机构组合在一起,将手轮的转动变成了螺旋千斤加载的直线运动,具有操作省力,加载稳定等特点。

3) 工作机理

实验台采用蜗杆和螺旋复合加载机构,通过传感器及过渡加载附件对试件进行施力加载,加载力大小经拉压力传感器由力&应变综合参数测试仪的测力部分测出所施加的力值;各试件的受力变形,通过力&应变综合参数测试仪的测试应变部分显示出来,该测试设备备有微机接口,所有数据可由计算机分析处理打印。

(二) 操作步骤

1) 将所作实验的试件通过有关附件连接到架体相应位置,连接拉压力传感器和加载件到加载机构上去。

2) 连接传感器电缆线到仪器传感器输入插座,连接应变片导线到仪器的各个通道接口上去。

3) 打开仪器电源,预热约 20 分钟左右,输入传感器量程及灵敏度和应变片灵敏系数(一般首次使用时已调好,如实验项目及传感器没有改变,可不必重新设置),在不加载的情况下将测力量和应变量调至零。

4) 在初始值以上对各试件进行分级加载,转动手轮速度要均匀,记下各级力值和试件产生的应变值进行计算、分析和验证,如已与微机连接,则全部数据可由计算机进行简单的分析并打印。

(三) 注意事项

1) 每次实验最好先将试件摆放好,仪器接通电源,打开仪器预热约 20 分钟左右,讲完课再作实验。

2) 各项实验不得超过规定的终载的最大拉压力。

3) 加载机构作用行程为 50mm,手轮转动快到行程末端时应缓慢转动,以免撞坏有关定位件。

4) 所有实验进行完后,应释放加力机构,最好拆下试件,以免闲杂人员乱动损坏传感器和有关试件。

5) 蜗杆加载机构每半年或定期加润滑油,避免干磨损,缩短使用寿命。

2. 电测法的基本原理

电测法的基本原理是用电阻应变片测定构件表面的线应变,再根据应变—应力关系确定构件表面应力状态的一种实验应力分析方法。这种方法是将电阻应变片粘贴的被测构件表面,当构件变形时,电阻应变片的电阻值将发生相应的变化,然后通过电阻应变仪将此电阻

变化转换成电压（或电流）的变化，再换算成应变值或者输出与此应变成正比的电压（或电流）的信号，由记录仪进行记录，就可得到所测定的应变或应力。其原理框图如图 3-2。

电测法的优点：

- 1) 测量灵敏度和精度高。其最小应变为 $1\mu\varepsilon$ ($\mu\varepsilon$ —微应变, $1\mu\varepsilon = 10^{-6}\varepsilon$)。在常温静态测量时，误差一般为 1~3%；动态测量时，误差在 3~5% 范围内。
- 2) 测量范围广。可测 $\pm 1 \sim 2 \times 10^4 \mu\varepsilon$ ；力或重力的测量范围 $10^{-2} \sim 10^5 \text{N}$ 等。
- 3) 频率响应好。可以测量从静态到数 10^5Hz 动态应变。
- 4) 轻便灵活。在现场或野外等恶劣环境下均可进行测试。
- 5) 能在高、低温或高压环境等特殊条件下进行测量。
- 6) 便于与计算机联结进行数据采集与处理，易于实现数字化、自动化及无线电遥测。

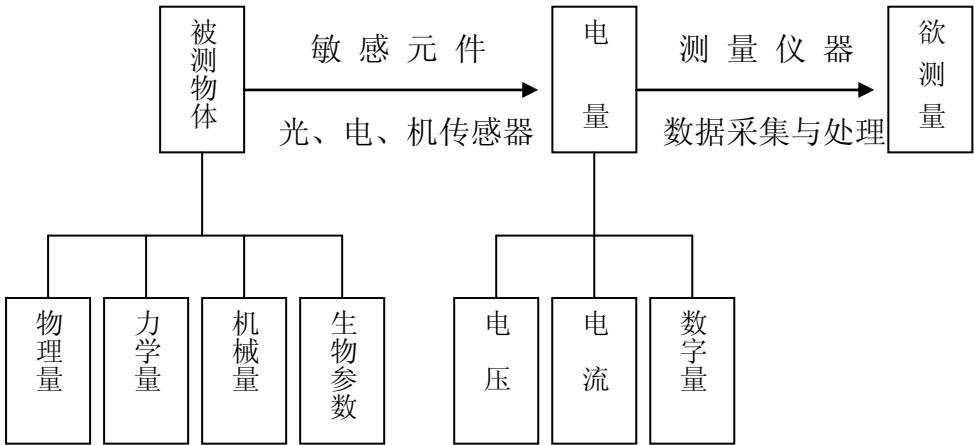


图 3-2 电测技术原理图

电测法测量电路及其工作原理

1) 电阻应变片

电阻应变片的结构如图 3-3 所示，在绝缘片基上固定有盘成栅状的电阻丝。测量时片基牢固地粘贴在测点，与电阻丝平行的应变就等量传递给电阻丝，使电阻丝发生长度变化并相应发生电阻变化。

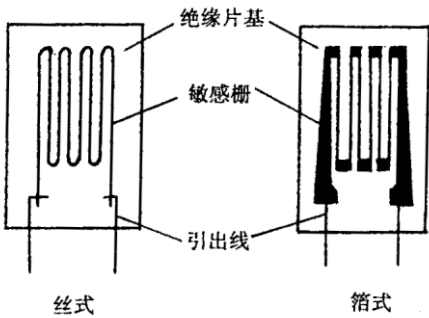


图 3-3 电阻应变片

下面给出电阻丝电阻变化与应变的关系，设电阻长度为 L ，截面积为 A ，电阻率 ρ ，则电阻：

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3-1)$$

电阻改变量：

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (a)$$

其中： $A = \frac{1}{4} \pi D^2$ ， D 为电阻丝直径，则：

$$\frac{dA}{A} = 2 \frac{dD}{D} = -2\mu \frac{dL}{L} \quad (b)$$

由布尔斯曼定理，金属电阻率的变化率与体积变化率成正比：

$$\frac{d\rho}{\rho} = m \frac{dV}{V} \quad (c)$$

$$\text{而：} \quad \frac{dV}{V} = (1 - 2\mu) \frac{dL}{L} \quad (d)$$

所以可以得到：

$$\frac{dR}{R} = K_0 \frac{dL}{L} \quad (3-2)$$

其中： $K_0 = (1 + 2\mu) + m(1 - 2\mu)$ 为常数，由于 $\varepsilon = \frac{dL}{L}$ ，则 $\frac{dR}{R} = K_0 \varepsilon$ 。

对于应变片有同样关系：

$$\frac{dR}{R} = K \varepsilon \quad (3-3)$$

K 为应变片的灵敏度系数。

2) 电桥基本特性

通过电阻应变片可以将试件的应变转换成应变片的电阻变化，通常这种电阻变化很小。测量电路的作用就是将电阻应变片感受到的电阻变化率 $\Delta R/R$ 变换成电压（或电流）信号，再经过放大器将信号放大、输出。

如图 3-4 所示，电桥四个桥臂的电阻分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 ，在 A 、 C 端接电源， B 、 D 端为输出端。

设 A 、 C 间的电压降为 U 则流经电阻 R_1 、 R_4 的电

流分别为 $I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2}$ ， $I_4 = \frac{U}{R_3 + R_4}$ ，所以 R_1 、

R_4 两端的电压降分别为

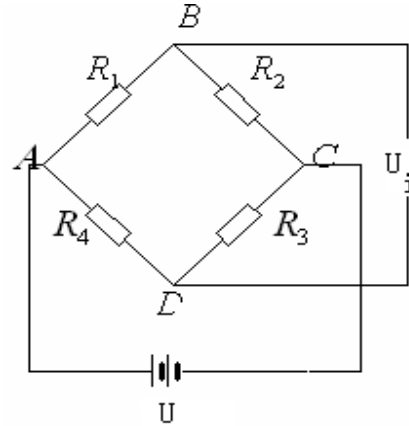


图 3-4 电桥接线

$$U_{AB} = I_1 R_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_{AD} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U \text{ 所以 } B、D \text{ 端的输出电压为}$$

$$U_i = U_{AB} - U_{AD} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U - \frac{R_4}{R_3 + R_4} U = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U$$

当电桥输出电压 $\Delta U = 0$ 时, 称为电桥平衡。故电桥平衡条件为 $R_1 R_3 = R_2 R_4$ 或 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$ 设

电桥在接上电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 时处于平衡状态, 即满足平衡条件。当上述电阻分别改

变 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 和 ΔR_4 时, ΔU_i 的微分可以表示为:

$$\Delta U_i = \left[\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) + \frac{R_3 R_4}{(R_3 + R_4)^2} \left(\frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \right]$$

当 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ 时

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

上式代表电桥的输出电压与各臂电阻改变量的一般关系。

在进行电测实验时, 有时将粘贴在构件上的四个相同规格的应变片同时接入测量电桥, 当构件受力后, 设上述应变片感受到的应变分别为 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 相应的电阻改变量分别为 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 和 ΔR_4 , 由于电阻应变片是测量应变的专用仪器, 电阻应变仪的输出电压 U_{BD} 是用应变值 ε_d 直接显示的。电阻应变仪有一个灵敏系数 K_0 , 在测量应变时, 只需将电阻应变仪的灵敏系数调节到与应变片的灵敏系数相等。应变仪的读数为

$$\varepsilon_d = \frac{4\Delta U}{KU} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \quad (3-4)$$

应变 ε 的符号由变形方向决定, 一般规定拉应变为正, 压应变为负。由上式可知, 电桥具有以下基本特性: 两相邻桥臂电阻所感受的应变 ε 代数值相减; 而两相对桥臂电阻所感受的应变 ε 代数值相加。这种作用也称为电桥的加减性。利用电桥的这一特性, 正确地布片和组桥, 可以提高测量的灵敏度、减少误差、测取某一应变分量和补偿温度影响。

3) 温度补偿

电阻应变片对温度变化十分敏感。当环境温度变化时, 因应变片的线膨胀系数与被测构件的线膨胀系数不同, 且敏感栅的电阻值随温度的变化而变化, 所以测得应变将包含温度变化的影响, 不能反映构件的实际应变, 因此在测量中必须设法消除温度变化的影响。

消除温度影响的措施是温度补偿。在常温应变测量中温度补偿的方法是采用桥路补偿

法。它是利用电桥特性进行温度补偿的。

(1) 补偿块补偿法

把粘贴在构件被测点处的应变片称为工作片，接入电桥的 AB 桥臂；另外以相同规格的应变片粘贴在与被测构件相同材料但不参与变形的一块材料上，并与被测构件处于相同温度条件下，称为温度补偿片，将它接入电桥 BC 桥臂与工作片组成测量电桥的半桥，电桥的另外两桥臂为应变仪内部固定无感标准电阻，组成等臂电桥。有电桥特性可知，只要将补偿片正确的接在桥路中即可消除温度变化所产生的影响。

(2) 工作片补偿法

这种方法不需要补偿片和补偿块，而是在同一被测构件上粘贴几个工作应变片，根据电桥的基本特性及构件的受力情况，将工作片正确地接入电桥中，即可消除温度变化所引起的应变，得到所需测量的应变。

4) 应变片在电桥中的接线方法

应变片在测量电桥中，利用电桥的基本特性，可用各种不同的接线方法以达到温度补偿；从复杂的变形中测出所需要的应变分量；提高测量灵敏度和减少误差。

(1) 半桥接线方法

①半桥单臂测量（1/4 桥）（图 3-5a）：电桥中只有一个桥臂接工作应变片（常用 AB 桥臂），而另一桥臂接温度补偿片（常用 BC 桥臂），CD 和 DA 桥臂接应变仪内标准电阻。考虑温度引起的电阻变化，按公式（3-4）可得到应变仪的读数应变为

$$\varepsilon_d = \varepsilon_1 + \varepsilon_{1t} - \varepsilon_{2t}$$

由于 R_1 和 R_2 温度条件完全相同，因此 $(\Delta R_1 / R_1)_t = (\Delta R_2 / R_2)_t$ ，所以电桥的输出电压只与工作片引起的电阻变化有关，与温度变化无关，即应变仪的读数为

$$\varepsilon_d = \varepsilon_1$$

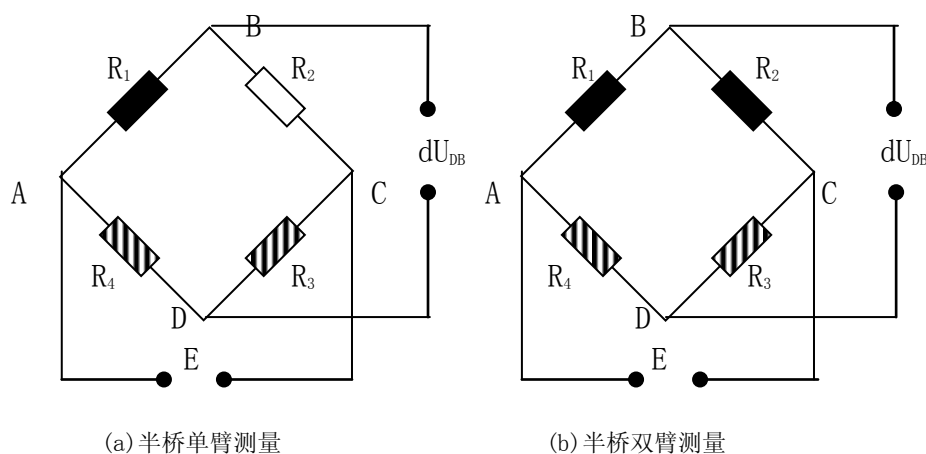


图 3-5 半桥电路接线法

②半桥双臂测量（图 3-5b）：电桥的两个桥臂 AB 和 BC 上均接工作应变片，CD 和 DA 两个桥臂接应变仪内标准电阻。两工作应变片处在相同温度条件下， $(\Delta R_1 / R_1)_t = (\Delta R_2 / R_2)_t$ ，所以应变仪的读数为

$$\varepsilon_d = (\varepsilon_1 + \varepsilon_{1t}) - (\varepsilon_2 + \varepsilon_{2t}) = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

由桥路的基本特性，自动消除了温度的影响，无需另接温度补偿片。

(2) 全桥接线法

①对臂测量（图 3-5c）：电桥中相对的两个桥臂接工作片（常用 AB 和 CD 桥臂），另两个桥臂接温度补偿片。此时，四个桥臂的电阻处于相同的温度条件下，相互抵消了温度的影响。应变仪的读数为

$$\varepsilon_d = (\varepsilon_1 + \varepsilon_{1t}) - \varepsilon_{2t} + (\varepsilon_3 + \varepsilon_{3t}) - \varepsilon_{4t} = \varepsilon_1 + \varepsilon_3$$

②全桥测量（图 3-5d）：电桥中的四个桥臂上全部接工作应变片，由于它们处于相同的温度条件下，相互抵消了温度的影响。应变仪的读数为

$$\varepsilon_d = (\varepsilon_1 + \varepsilon_{1t}) - (\varepsilon_2 + \varepsilon_{2t}) + (\varepsilon_3 + \varepsilon_{3t}) - (\varepsilon_4 + \varepsilon_{4t}) = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4$$

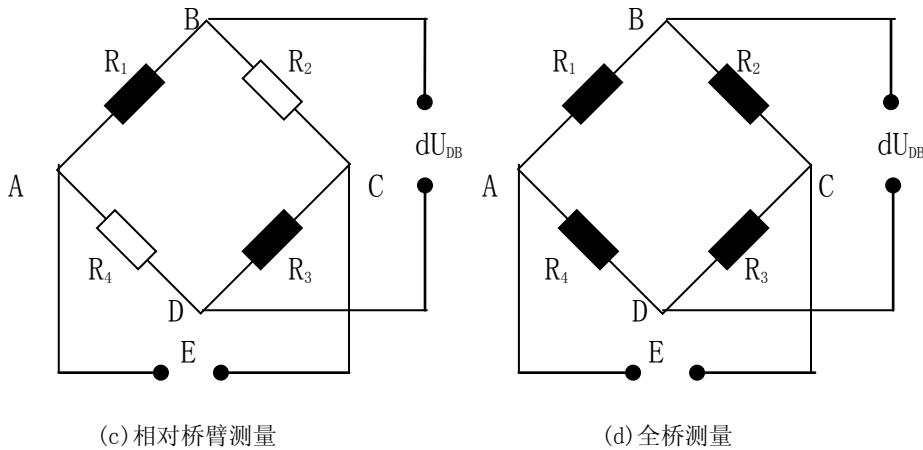


图 3-5 全桥电路接线法

(3) 桥臂系数

同一个被测量值，其组桥方式不同，应变仪的读数 ε_d 也不相同。定义测量出的应变仪的读数 ε_d 与待测应变 ε 之比为桥臂系数，因此桥臂系数 B 为

$$B = \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon}$$

四、实验原理及方法

在纯弯曲条件下，根据平面假设和纵向纤维间无挤压的假设，可得到梁横截面上任一点的应力，计算公式为

$$\sigma = My / I_z$$

式中 M 为弯矩， I_z 为横截面对中性轴的惯性矩；y 为所求应力点至中性轴的距离。

为了测量梁在纯弯曲时横截面上正应力的分布规律，在梁的纯弯曲段沿梁侧面不同高

度，平行于轴线贴有应变片（如图 3-6）。

实验可采用半桥单臂、公共补偿、多点测量方法。加载采用增量法，即每增加等量的载荷 ΔP ，测出各点的应变增量 $\Delta \epsilon$ ，然后分别取各点应变增量的平均值 $\overline{\Delta \epsilon}$ ，依次求出各点的应变增量，将实测应力值与理论应力值进行比较，以验证弯曲正应力公式。

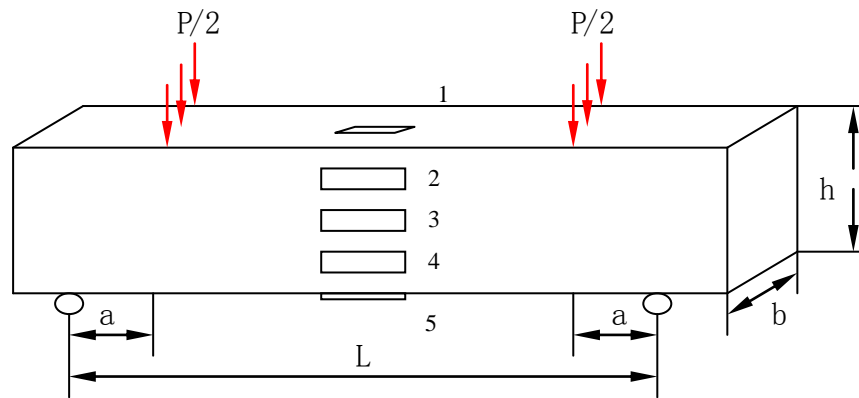


图 3-6 应变片在梁中的位置

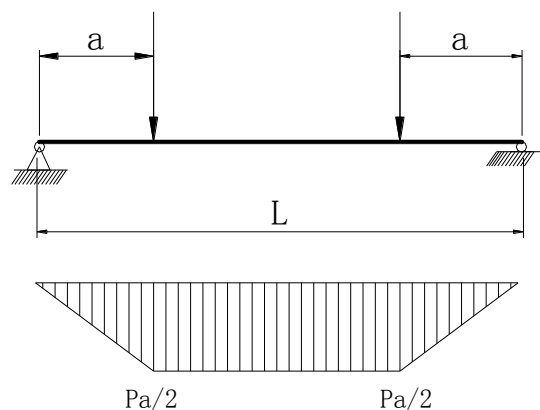


图 3-7 简支梁受力图及弯矩图

五、实验步骤

注意：最大荷载 4000N，严禁超载（最大应变小于 $240 \mu\epsilon$ ）。

1、测量矩形截面梁的宽度 b 和高度 h 、载荷作用点到梁支点距离 a 及各应变片到中性层的距离 y_i 。

2、拟订加载方案。先选取适当的初载荷 P_0 （一般取 $P_0 = 10\% P_{\max}$ 左右），估算 P_{\max} （该实验载荷范围 $P_{\max} \leq 4000N$ ），分 4~6 级加载。

3、根据加载方案，调整好实验加载装置。

4、按实验要求接好线，调整好仪器，检查整个测试系统是否处于正常工作状态，按下面步骤操作（如果要调整灵敏度等参数，详细步骤参见说明书）。

i. 预调平衡：按下‘自动平衡’，2 秒钟后，平衡完毕

- ii. 测力模块清零：在不受荷载时，按下‘清零’键。
 - iii. 如果‘LED’显示‘----’时，表示该测点平衡失效，请检查应变片或接线是否正常。
- 6、加载。均匀缓慢加载至初载荷 P_0 ，记下各点应变对应窗口的初始读数；然后分级等增量加载，每增加一级载荷，依次记录各点电阻应变片的应变值 ε_i ，直到最终载荷。
- 7、作完实验后，卸掉载荷，关闭电源，整理好所用仪器设备，清理实验现场，将所用仪器设备复原，实验资料交指导教师检查签字。

实验四 电阻应变片的接桥方法实验

一、实验目的

1. 了解用电阻应变片测量应变的原理；
2. 测定等强度梁上应力，验证理论计算结果。
3. 掌握应变片在测量电桥中的各种接线方法；

二、实验仪器设备和工具

- 1、组合实验台中等强度梁实验装置
- 2、XL2118 系列力&应变综合参数测试仪
- 3、游标卡尺、钢板尺

三、实验原理及方法

等强度梁为变截面悬臂梁，其任何截面上的最大应力均相等。在上下各贴有两个应变片分别为 A、B 和 A' 和 B'，另外在不受力处贴有补偿片，如图 4-1 所示。

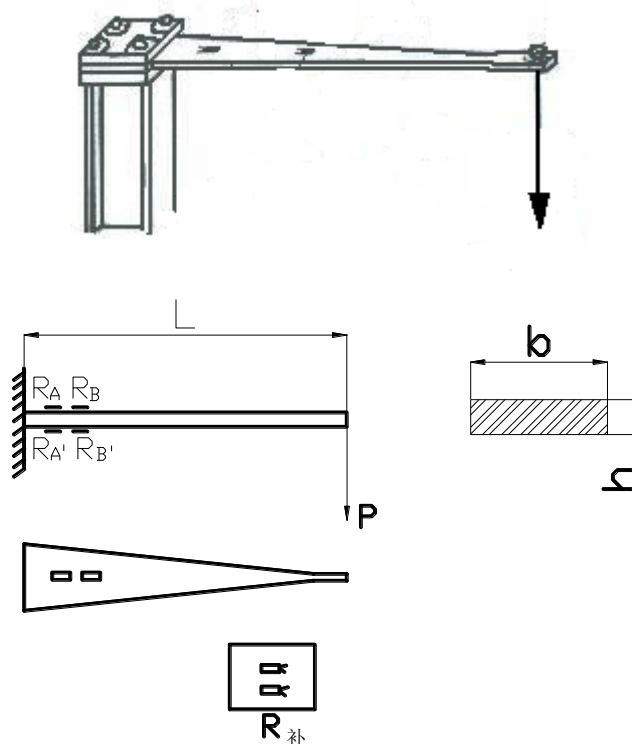


图 4-1 等强度梁和应变片粘贴位置

梁上表面轴向应力：

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{PL}{\frac{1}{6}bh^2} \quad (4-1)$$

下表面应力为负，与上表面应力数值相同。同样上下表面弯曲应变值也差一个正负号，。所以测点的应变：

$$\varepsilon_A = \varepsilon_B = \varepsilon_w + \varepsilon_t \quad (4-2)$$

$$\varepsilon_{A'} = \varepsilon_{B'} = -\varepsilon_w + \varepsilon_t \quad (4-3)$$

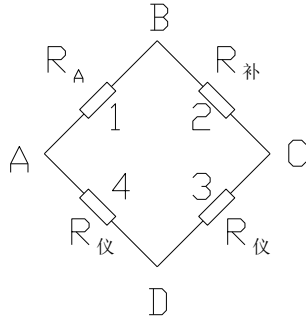
式中 ε_w 为弯曲应变， ε_t 为温度应变。

根据上一实验介绍，我们知道应变仪读数为四个桥臂上电阻应变的代数和：

$$\varepsilon_d = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \quad (4-4)$$

所以可以根据各测点应变的关系，利用电桥的加减特性，采用不同得接桥方法，测量等强度梁的应力。

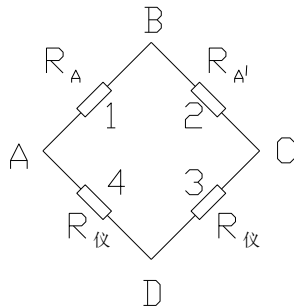
1. 半桥另补偿（1/4 桥）



$$\begin{aligned} \varepsilon_d &= \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \\ &= (\varepsilon_w + \varepsilon_t) - \varepsilon_t + 0 - 0 \\ &= \varepsilon_w \end{aligned}$$

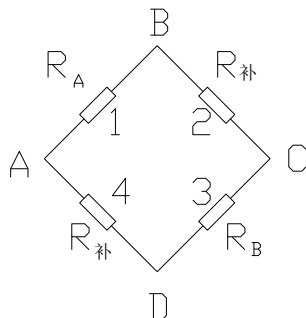
注：R 仪为应变仪内部电阻，测量时不用另外连接，只要按照应变仪说明书的 1/4 桥或半桥接线方法接线即可，具体接线方法参见图 4-2 至 4-5。

2. 半桥自补偿



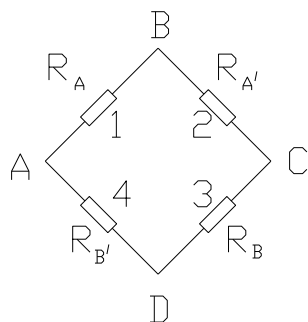
$$\begin{aligned} \varepsilon_d &= \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \\ &= (\varepsilon_w + \varepsilon_t) - (-\varepsilon_w + \varepsilon_t) + 0 - 0 \\ &= 2\varepsilon_w \end{aligned}$$

3. 全桥另补偿



$$\begin{aligned}
\varepsilon_d &= \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \\
&= (\varepsilon_w + \varepsilon_t) - \varepsilon_t \\
&+ (\varepsilon_w + \varepsilon_t) - \varepsilon_t \\
&= 2\varepsilon_w
\end{aligned}$$

4. 全桥自补偿



$$\begin{aligned}
\varepsilon_d &= \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \\
&= (\varepsilon_w + \varepsilon_t) - (-\varepsilon_w + \varepsilon_t) \\
&+ (\varepsilon_w + \varepsilon_t) - (-\varepsilon_w + \varepsilon_t) \\
&= 4\varepsilon_w
\end{aligned}$$

四、实验步骤

注意：估算最大载荷（最大载荷小于 100N，应变小于 300），严禁过载。

- 1、测量悬臂梁的有关尺寸，确定试件有关参数。
- 2、拟订加载方案。选取适当的初载荷 P_0 ，估算最大载荷 P_{\max} ，分级加载。
- 3、采用不同方法接线。将悬臂梁上两点应变片按序号接到电阻应变仪测试通道上，温度补偿片接电阻应变仪公共补偿端。
- 4、按实验要求接好线，调整好仪器，检查整个测试系统是否处于正常工作状态。灵敏度系数设定与前一个实验相同，接线方法参见图 5-2 至 5-5。
- 5、实验加载。用均匀慢速加载至初载荷 P_0 。记下各点应变片初读数，然后逐级加载，每增加一级载荷，依次记录各点应变仪的 ε_i ，直至终载荷。
- 6、作完实验后，卸掉载荷，关闭电源，整理好所用仪器设备，清理实验现场，将所用仪器设备复原，实验资料交指导教师检查签字。

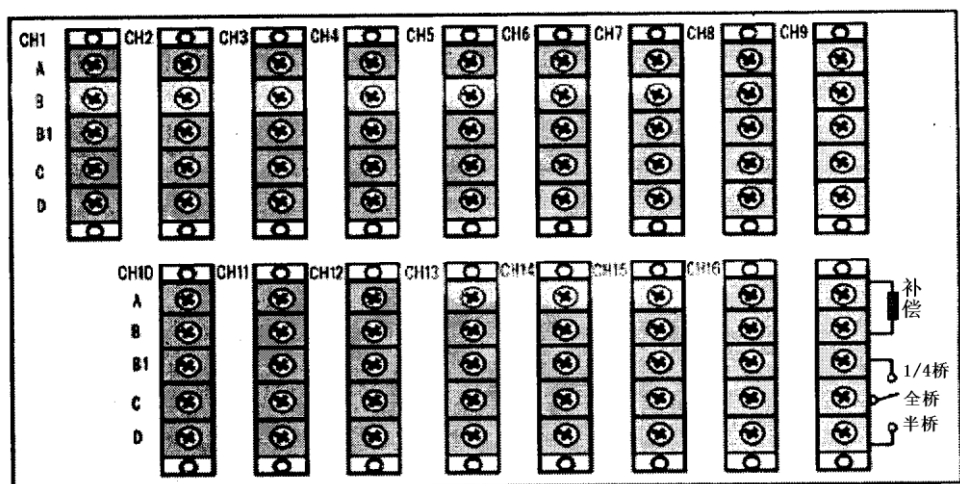


图 4-2 XL2118C 应变测试接线端子示意图。

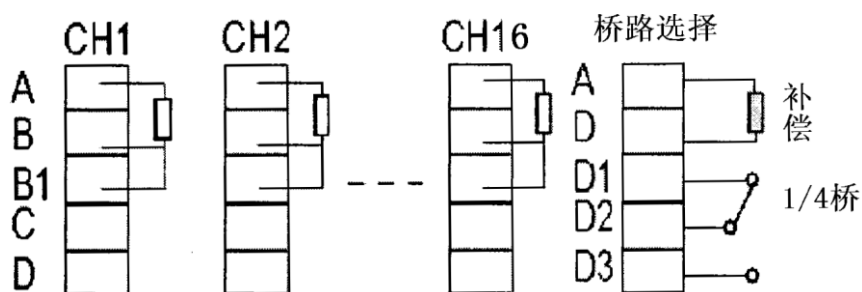


图 4-3 半桥另补偿（1/4 桥）接线方法

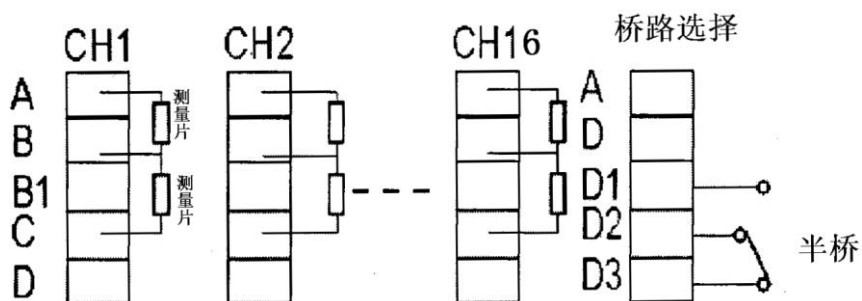


图 4-4 半桥自补偿接线方法

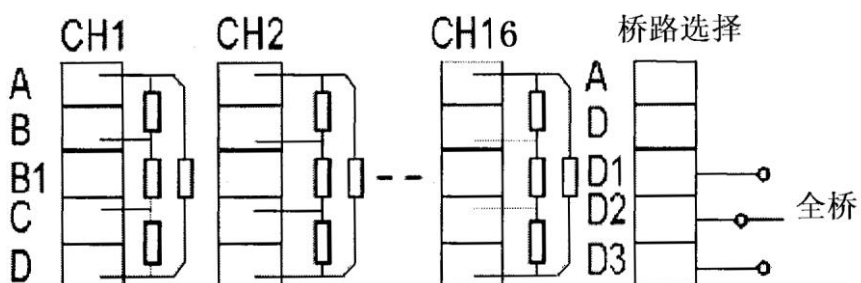


图 4-5 全桥接线方法

实验五 弯曲和扭转组合变形实验

一、实验目的

- 1、学习用电测法测定平面应力状态下主应力的大小及方向的方法。
- 2、测定弯扭组合变形梁的主应力大小和方向，与理论值比较。
- 3、验证叠加原理

二、实验仪器设备和工具

- 1、组合实验台中等强度梁实验装置

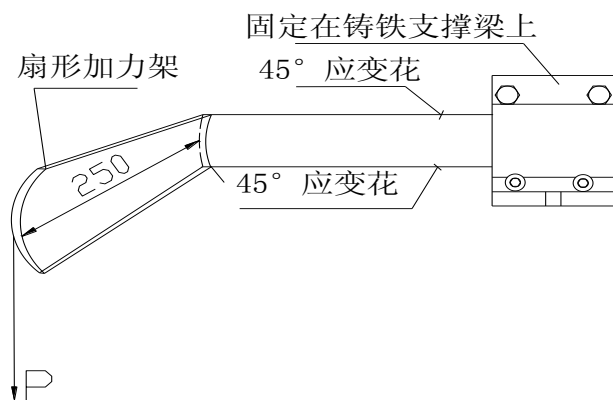


图 5-1 弯扭组合实验装置

- 2、XL2118 系列力&应变综合参数测试仪
- 3、游标卡尺、钢板尺

三、实验原理及方法

1. 理论分析

当竖向荷载 P 作用在加力杆 C 点时，梁 AB 段发生弯曲和扭转组合变形，1、2 两点所在截面 1-1 的内力有弯矩 M 、扭矩 T 和剪力 Q ，由于剪力引起的应力很小，可以忽略不计。

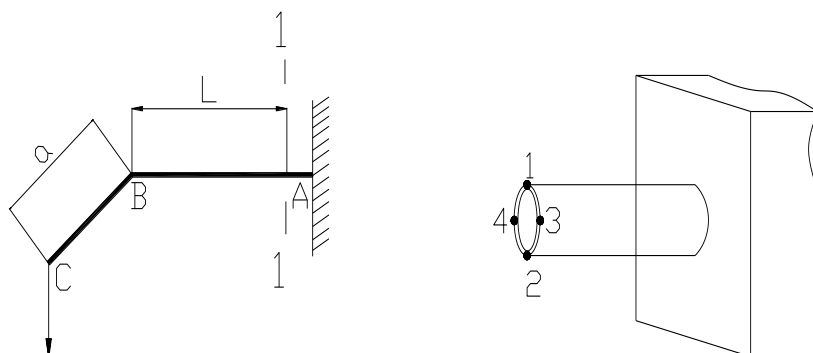


图 5-2 测点位置

测点 1、2 正应力和剪应力为：

$$\sigma_w = \frac{M}{W}, \quad \tau_T = \frac{T}{W_p}$$

3、4 两点正应力为零，剪应力与 1、2 两点相同为纯剪切应力状态。

$$W \text{ — 抗弯截面模量，对空心圆筒： } W = \frac{\pi D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]$$

$$W_p \text{ — 抗扭截面模量，对空心圆筒： } W_p = \frac{\pi D^3}{16} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]$$

根据应力状态理论，主应力大小和方向有下面公式给出：

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_w}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_w}{2} \right)^2 + \tau_T^2} \quad (5-1)$$

$$\tan 2\alpha_0 = \frac{-2\tau_T}{\sigma_w} \quad (5-2)$$

2. 测试原理

为了用实验方法测量一点平面一般应力状态的应力，需要确定该点的应变状态，即 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ ，而剪应变测量很困难，所以可以首先测出该点三个已知方向的线应变 $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_c$ ，按下列方程组联立求出 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ ：

$$\begin{aligned} \varepsilon_a &= \varepsilon_x \cos^2 \alpha_a + \varepsilon_y \sin^2 \alpha_a - \gamma_{xy} \sin \alpha_a \cos \alpha_a \\ \varepsilon_b &= \varepsilon_x \cos^2 \alpha_b + \varepsilon_y \sin^2 \alpha_b - \gamma_{xy} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \\ \varepsilon_c &= \varepsilon_x \cos^2 \alpha_c + \varepsilon_y \sin^2 \alpha_c - \gamma_{xy} \sin \alpha_c \cos \alpha_c \end{aligned} \quad (5-3)$$

采用三个应变片组成的应变花，即可测出三个应变，本实验采用间隔 45 度的应变花，贴在测点 1、2、3、4 处，如图 5-3 所示，把 $\alpha_a = -45^\circ$ 、 $\alpha_b = 0^\circ$ 、 $\alpha_c = 45^\circ$ 代入上式，解得：

$$\varepsilon_x = \varepsilon_0, \varepsilon_y = \varepsilon_{-45} + \varepsilon_{45} - \varepsilon_0, \gamma_{xy} = \varepsilon_{-45} - \varepsilon_{45} \quad (5-4)$$

主应变数值：

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2} \right)^2} \\ \varepsilon_3 &= \frac{\varepsilon_{-45} + \varepsilon_{45}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2\varepsilon_0 - (\varepsilon_{45} + \varepsilon_{-45})}{2} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_{-45} - \varepsilon_{45}}{2} \right)^2} \end{aligned} \quad (5-5)$$

$$\tan 2\alpha_0 = \frac{-\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y} = \frac{\varepsilon_{45} - \varepsilon_{-45}}{2\varepsilon_0 - (\varepsilon_{-45} + \varepsilon_{45})} \quad (5-6)$$

α_0 为主应变方向，以逆时针为正。

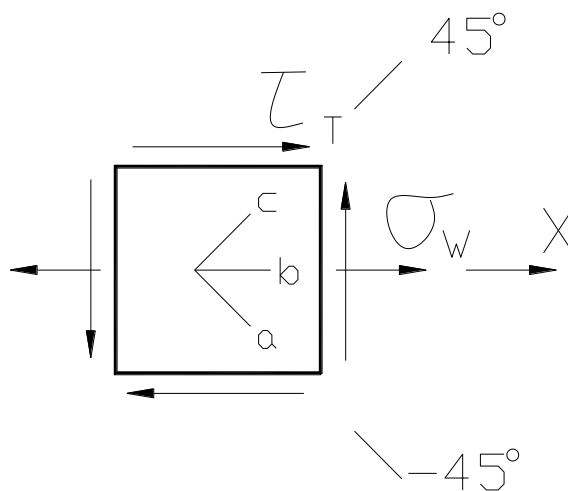


图 5-3 应力单元体和应变片方向

利用广义胡克定律，可求出主应力：

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_3) \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_3 + \mu\varepsilon_1) \end{aligned} \quad (5-7)$$

四、实验步骤

注意：最大荷载 700N，严禁超载。实验装置中，圆筒的管壁很薄，为避免损坏装置，注意切勿超载，不能用力扳动圆筒的自由端和力臂。

- 1、测量、记录试件尺寸、加力臂的长度和测点距力臂的距离，确定试件有关参数。
- 2、将薄壁圆筒上的应变片按不同测试要求接到仪器上，组成不同的测量电桥。将测点的所有应变片按半桥单臂、公共温度补偿法组成测量线路进行测量。调整好仪器，检查整个测试系统是否处于正常工作状态。
- 3、拟订加载方案。先选取适当的初载荷 P_0 （一般取 $P_0 = 10\%P_{\max}$ 左右），估算 P_{\max} （该实验载荷范围 $P_{\max} \leq 700N$ ），分级加载。
- 4、根据加载方案，调整好实验加载装置。
- 5、加载。均匀缓慢加载至初载荷 P_0 ，记下各点应变的初始读数；然后分级等增量加载，每增加一级载荷，依次记录各点电阻应变片的应变值，直到最终载荷。
- 6、作完实验后，卸掉载荷，关闭电源，整理好所用仪器设备，清理实验现场，将所用仪器设备复原，实验资料交指导教师检查。

实验六 材料弹性模量E和泊松比μ的测定

一、实验目的

- 1、测定常用金属材料的弹性模量 E 和泊松比 μ 。
- 2、验证胡克（Hooke）定律。

二、实验仪器设备和工具

- 1、组合实验台中拉伸装置
- 2、XL2118 系列力&应变综合参数测试仪
- 3、游标卡尺、钢板尺

三、实验原理和方法

试件采用矩形截面试件，电阻应变片布片方式如图 6-1。在试件中央截面上，沿前后两面的轴线方向分别对称的贴一对轴向应变片 R1、R1' 和一对横向应变片 R2、R2'，以测量轴向应变 ϵ 和横向应变 ϵ' 。

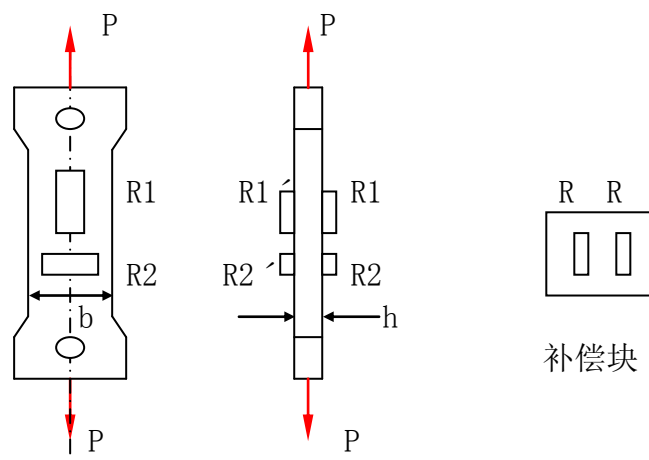


图 6-1 拉伸试件及布片图

1、弹性模量 E 的测定

由于实验装置和安装初始状态的不稳定性，拉伸曲线的初始阶段往往是非线性的。为了尽可能减小测量误差，实验宜从初载荷 P_0 ($P_0 \neq 0$) 开始，采用增量法，分级加载，分别测量在各相同载荷增量 ΔP 作用下，产生的应变增量 $\Delta \epsilon$ ，并求出 $\Delta \epsilon$ 的平均值。设试件初始横截面面积为 A_0 ，则有

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} = \frac{\Delta P}{\Delta \epsilon A_0} \quad (6-1)$$

上式即为增量法测 E 的计算公式。

用上述板试件测 E 时，合理地选择组桥方式可有效地提高测试灵敏度和实验效率。下面讨论几种常见的组桥方式。

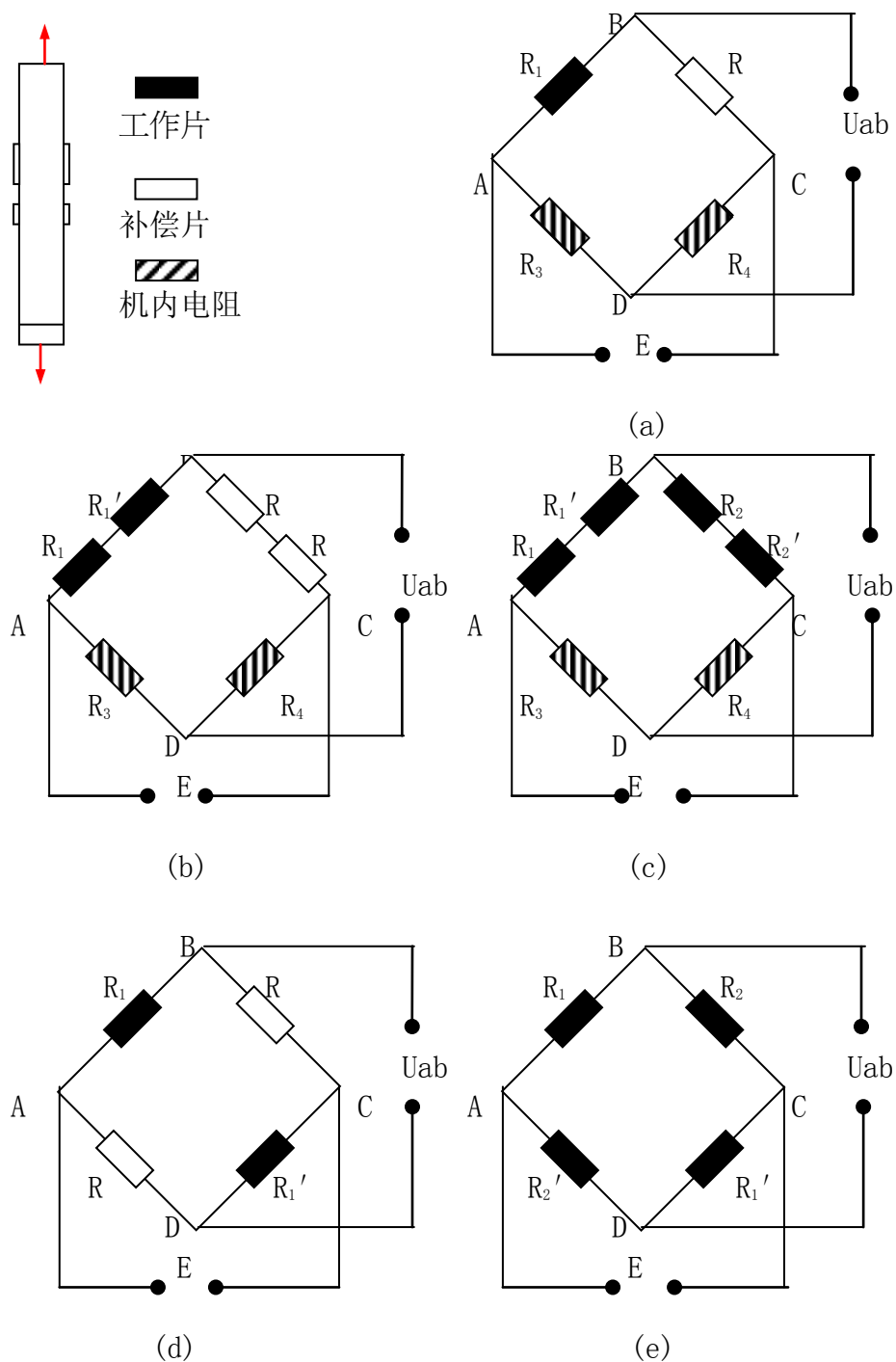


图 6-2 几种不同的组桥方式

(1) 单臂测量 (图 6-2a)

实验时, 在一定载荷条件下, 分别对前、后两枚轴向应变片进行单片测量, 并取其平均值 $\varepsilon = (\varepsilon_1 + \varepsilon_1') / 2$ 。

(2) 轴向应变片串联后的单臂测量 (图 6-2b)

为消除偏心弯曲引起的影响, 可将前后两轴向应变片串联后接在同一桥臂 (AB) 上, 而邻臂 (BC) 接相同阻值的补偿片。受拉时两枚轴向应变片的电阻变化分别为

$$\Delta R_1 = \Delta R_p + \Delta R_M$$

$$\Delta R_1' = \Delta R_p' - \Delta R_M$$

ΔR_p 为轴向变形引起的电阻变化, ΔR_M 为偏心弯曲引起的电阻变化, 两侧大小相等方向相反。根据桥路原理, AB 桥臂有

$$\Delta R / R = (\Delta R_p + \Delta R_M + \Delta R_p' - \Delta R_M') / (R_1 + R_1') = \Delta R_p / R_1$$

因此轴向应变片串联后, 偏心弯曲的影响自动消除, 而应变仪的读数就等于试件的应变, 很显然这种测量方法没有提高测量灵敏度。

(3) 串联后的半桥测量 (图 6-2c)

将两轴向应变片串联后接 AB 桥臂; 两横向应变片串联后接 BC 桥臂, 偏心弯曲的影响可自动消除, 而温度影响也可自动补偿。根据桥路原理

$$\varepsilon_d = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4$$

其中 $\varepsilon_1 = \varepsilon_p$, $\varepsilon_2 = -\mu \varepsilon_p$ 代表轴向应变, μ 为材料的泊松比。由于 $\varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 0$, 故电阻应变仪的读数应为 $\varepsilon_d = (1 + \mu) \varepsilon_p$ 。如果材料的泊松比已知, 这种组桥方式使测量灵敏度提高 $(1 + \mu)$ 倍。

(4) 相对桥臂测量 (图 6-2d)

将两轴向应变片分别接在电桥的相对两臂 (AB、CD), 两温度补偿片接在相对桥臂 (BC、DA), 偏心弯曲的影响可自动消除。根据桥路原理

$$\varepsilon_d = 2\varepsilon_p$$

测量灵敏度提高 2 倍。

(5) 全桥测量 (图 6-2e)

按图 3-5 (e) 的方式组桥进行全桥测量, 不仅消除偏心和温度的影响, 而且测量灵敏度比单臂测量时提高 $2(1 + \mu)$ 倍, 即;

$$\varepsilon_d = 2(1 + \mu) \varepsilon_p$$

2、泊松比 μ 的测定

利用试件上的横向应变片和纵向应变片合理组桥，为了尽可能减小测量误差，实验宜从初载荷 P_0 ($P_0 \neq 0$) 开始，采用增量法，分级加载，分别测量在各相同载荷增量 ΔP 作用下，横向应变增量 $\Delta \varepsilon'$ 和纵向应变增量 $\Delta \varepsilon$ 。求出平均值，按定义

$$\mu = \left| \frac{\Delta \varepsilon'}{\Delta \varepsilon} \right| \quad (6-2)$$

便可求得泊松比 μ 。

四、实验步骤

注意：最大荷载 5000N，严禁过载。

- 1、设计好本实验所需的各类数据表格。
- 2、测量试件尺寸。在试件标距范围内，测量试件三个横截面尺寸，取三处横截面面积的平均值作为试件的横截面面积 A_0 。
- 3、拟订加载方案。先选取适当的初载荷 P_0 （一般取 $P_0 = 10\% P_{\max}$ 左右），估算 P_{\max} （**该实验载荷范围 $P_{\max} \leq 5000N$** ），分 4~6 级加载。
- 4、根据加载方案，调整好实验加载装置。
- 5、按实验要求接好线，调整好仪器，检查整个测试系统是否处于正常工作状态。
- 6、加载。均匀缓慢加载至初载荷 P_0 ，记下各点应变的初始读数；然后分级等增量加载，每增加一级载荷，依次记录各点电阻应变片的应变值，直到最终载荷。实验至少重复两次。**半桥单臂**测量数据表格见实验报告，其他组桥方式实验表格可根据实际情况自行设计。
- 7、作完实验后，卸掉载荷，关闭电源，整理好所用仪器设备，清理实验现场，将所用仪器设备复原，实验资料交指导教师检查。

实验七 偏心拉伸实验

一、实验目的

- 1、测定偏心拉伸时最大正应力，验证迭加原理的正确性。
- 2、分别测定偏心拉伸时由拉力和弯矩所产生的应力。
- 3、测定偏心距。

二、实验仪器设备与工具

- 1、组合实验台拉伸部件
- 2、XL2118 系列力 & 应变综合参数测试仪
- 3、游标卡尺、钢板尺

三、实验原理和方法

偏心拉伸试件，在外载荷作用下，其轴力 $N=P$ ，弯矩 $M=P \cdot e$ ，其中 e 为偏心距。根据迭加原理，得横截面上的应力为单向应力状态，其理论计算公式为拉伸应力和弯矩正应力的代数和。即

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \pm \frac{6M}{bh^2}$$

偏心拉伸试件及应变片的布置方法如图 3-6， R_1 和 R_2 分别为试件两侧上的两个对称点。则

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_p + \varepsilon_M \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_p - \varepsilon_M$$

式中： ε_p —轴力引起的拉伸应变

ε_M —弯矩引起的应变

根据桥路原理，采用不同的组桥方式，即可分别测出与轴向力及弯矩有关的应变值。从而进一步求得弹性模量 E 、偏心距 e 、最大正应力和分别由轴力、弯矩产生的应力。

可直接采用**半桥单臂**方式测出 R_1 和 R_2 受力产生的应变值 ε_1 和 ε_2 ，通过上述两式算出轴力引起的拉伸应变 ε_p 和弯矩引起的应变 ε_M ；也可采用**邻臂桥路**接法可直接测出弯矩引起的应变 ε_M ，（采用此接桥方式不需温度补偿片，接线如图 7-2（a），应变仪读数 $\varepsilon_d = 2\varepsilon_M$ ）；

采用**对臂桥路**接法可直接测出轴向力引起的应变 ε_p ，（采用此接桥方式需加温度补偿片，接线如图 7-2（b），应变仪读数 $\varepsilon_d = 2\varepsilon_p$ ）。

四、实验步骤

注意：最大荷载 5000N，严禁过载。

- 1、设计好本实验所需的各类数据表格（参考实验报告）。

- 2、测量试件尺寸。在试件标距范围内，测量试件三个横截面尺寸，取三处横截面面积的平均值作为试件的横截面面积 A_0 。
- 3、拟订加载方案。先选取适当的初载荷 P_0 （一般取 $P_0 = 10\% P_{\max}$ 左右），估算 P_{\max} （该实验载荷范围 $P_{\max} \leq 3000N$ ），分 4~6 级加载。
- 4、根据加载方案，调整好实验加载装置。
- 5、按实验要求接好线，调整好仪器，检查整个测试系统是否处于正常工作状态。
- 6、加载。均匀缓慢加载至初载荷 P_0 ，记下各点应变的初始读数；然后分级等增量加载，每增加一级载荷，依次记录应变值 ϵ_P 和 ϵ_u ，直到最终载荷。实验至少重复两次。附表 2，半桥单臂测量数据表格，其他组桥方式实验表格可根据实际情况自行设计。
- 7、作完实验后，卸掉载荷，关闭电源，整理好所用仪器设备，清理实验现场，将所用仪器设备复原，实验资料交指导教师检查。

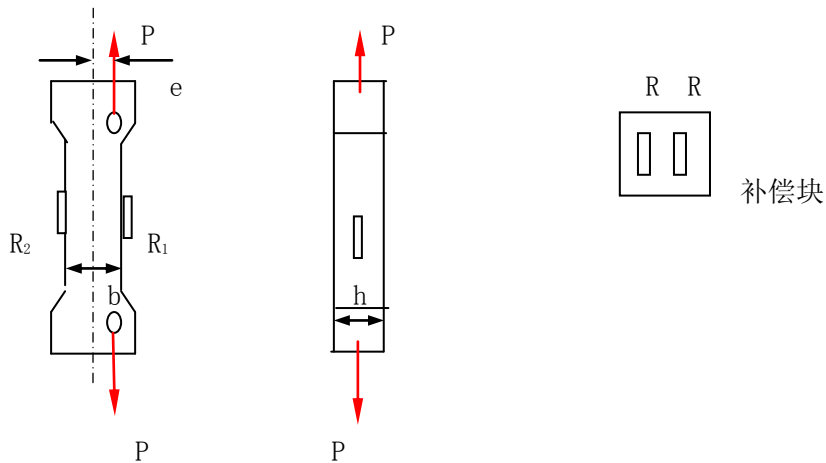


图 7-1 偏心拉伸试件及布片图

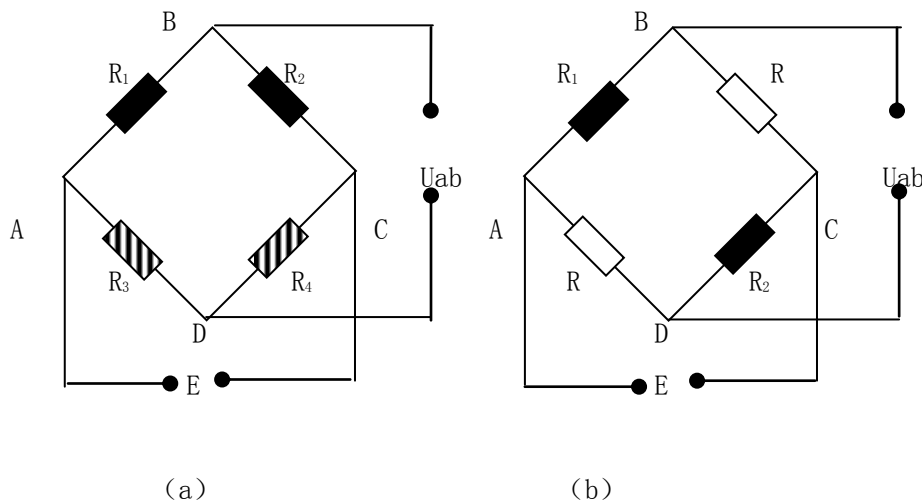


图 7-2 接线图

五、实验结果处理

1、求偏心距 e

如果采用半桥单臂测量：

$$\varepsilon_M = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / 2$$

$$e = \frac{Ehb^2}{6\Delta P} \varepsilon_M$$

2、应力计算验证，比较试验值与理论值得误差

理论值 $\sigma = \frac{P}{A_0} \pm \frac{6M}{bh^2}$

试验值

$$\varepsilon_{\max} = E(\varepsilon_p + \varepsilon_M) = E\varepsilon_1$$

$$\varepsilon_{\max} = E(\varepsilon_p - \varepsilon_M) = E\varepsilon_2$$

实验八 压杆稳定实验

一、实验目的

- 1、用电测法测定两端铰支压杆的临界载荷 P_{cr} ，并与理论值进行比较，验证欧拉公式。
- 2、观察两端铰支压杆丧失稳定的现象。

二、实验仪器设备与工具

- 1、材料力学组合实验台中压杆稳定实验部件
- 2、XL2118 系列力 & 应变综合参数测试仪
- 3、游标卡尺、钢板尺

三、实验原理和方法

对于两端铰支，中心受压的细长杆其临界力可按欧拉公式计算

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{L^2} \quad (8-1)$$

式中 I_{\min} —杆横截面的最小惯性矩； $I_{\min} = bh^3/12$
 L —压杆的计算长度。

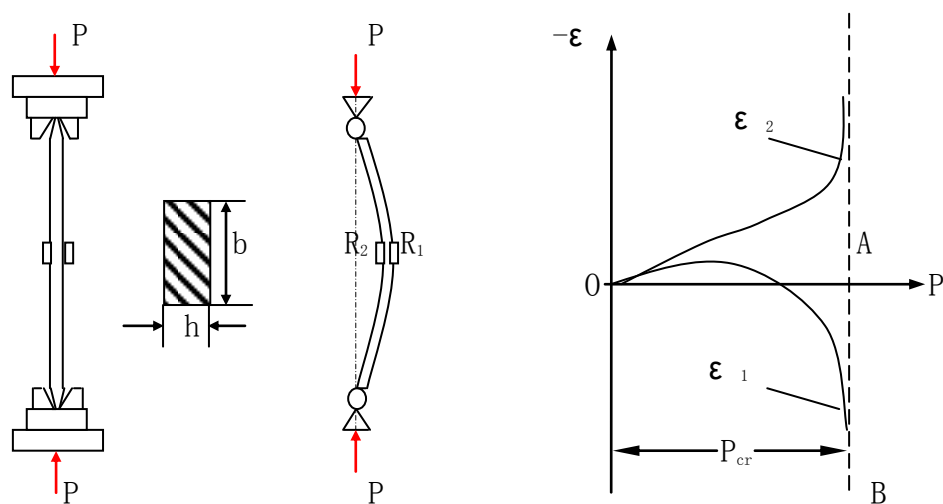


图 8-1 弯曲状态的压杆和 P - ϵ 曲线

图 8-1 中 AB 水平线与 P 轴相交的 P 值，即为依据欧拉公式计算所得的临界力 P_{cr} 的值。

在 A 点之前，当 $P < P_{cr}$ 时压杆始终保持直线形式，处于稳定平衡状态。在 A 点， $P = P_{cr}$ 时，

标志着压杆丧失稳定平衡的开始，压杆可在微弯的状态下维持平衡。在 A 点之后，当 $P > P_{cr}$ 时压杆将丧失稳定而发生弯曲变形。因此 P_{cr} 是压杆由稳定平衡过渡到不稳定平衡的临界力。

实际实验中的压杆，由于不可避免地存在初曲率，材料不均匀和载荷偏心等因素影响，由于这些影响，在 P 远小于 P_{cr} 时，压杆也会发生微小的弯曲变形，只是当 P 接近 P_{cr} 时弯曲变形会突然增大，而丧失稳定。

实验测定 P_{cr} 时，采用可采用本材料力学多功能实验装置中压杆稳定实验部件，该装置上、下支座为 V 型槽口，将带有圆弧尖端的压杆装入支座中，在外力的作用下，通过能上下活动的上支座对压杆施加载荷，压杆变形时，两端能自由地绕 V 型槽口转动，即相当于两端铰支的情况。利用电测法在压杆中央两侧各贴一枚应变片 R_1 和 R_2 ，如图 8-1 所示。假设压杆受力后如图标向右弯曲情况下，以 ϵ_1 和 ϵ_2 分别表示应变片 R_1 和 R_2 左右两点的应变值，此时， ϵ_1 是由轴向压应变与弯曲产生的拉应变之代数和， ϵ_2 则是由轴向压应变与弯曲产生的压应变之代数和。

当 $P \ll P_{cr}$ 时，压杆几乎不发生弯曲变形， ϵ_1 和 ϵ_2 均为轴向压缩引起的压应变，两者相等，当载荷 P 增大时，弯曲应变 ϵ_1 则逐渐增大， ϵ_1 和 ϵ_2 的差值也愈来愈大；当载荷 P 接近临界力 P_{cr} 时，二者相差更大，而 ϵ_1 变成拉应变。故无论是 ϵ_1 还是 ϵ_2 ，当载荷 P 接近临界力 P_{cr} 时，均急剧增加。如用横坐标代表载荷 P ，纵坐标代表压应变 $-\epsilon$ ，则压杆的 $P-\epsilon$ 关系曲线如图 8-1 所示。从图中可以看出，当 P 接近 P_{cr} 时， $P-\epsilon_1$ 和 $P-\epsilon_2$ 曲线都接近同一水平渐进线 AB，A 点对应的横坐标大小即为实验临界压力值。

四、实验步骤

注意：当应变大于 $300 \mu\epsilon$ 或压力基本不变时，结束实验。

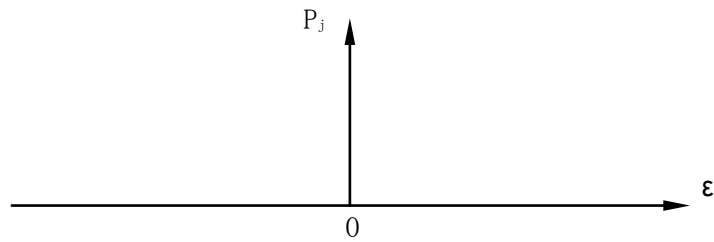
- 1、测量试件尺寸。在试件标距范围内，测量试件三个横截面尺寸，取三处横截面的宽度 b 和厚度 h ，取其平均值用于计算横截面的最小惯性距 I_{min} 。
- 2、拟订加载方案。**加载前用欧拉公式求出压杆临界压力 P_{cr} 的理论值**，在预估临界力值的 80% 以内，可采取大等级加载，进行载荷控制。例如可以分成 4~5 级，载荷每增加一个 ΔP ，记录相应的应变值一次，超过此范围后，当接近失稳时，变形量快速增加，此时载荷量应取小些，或者改为变形量控制加载，即变形每增加一定数量读取相应的载荷，直到 ΔP 的变化很小，出现四组相同的载荷或渐进线的趋势已经明显为止（此时可认为此载荷值为所需的临界载荷值）。
- 4、根据加载方案，调整好实验加载装置。
- 5、按实验要求接好线，调整好仪器，检查整个测试系统是否处于正常工作状态。
- 6、加载分成二个阶段，在达到理论临界载荷 P_{cr} 的 80% 之前，由载荷控制，均匀缓慢加载，

每增加一级载荷，记录两点应变值 ϵ_1 和 ϵ_2 ；超过理论临界载荷 P_{cr} 的 80%之后，由变形控制，每增加一定的应变值读取相应的载荷值。当试件的弯曲变形明显时即可停止加载。卸掉载荷。

7、作完实验后，逐级卸掉载荷，仔细观察试件的变化，直到试件回弹至初始状态。关闭电源，整理好所用仪器设备，清理实验现场，将所用仪器设备复原，实验资料交指导教师检查。

五、实验结果处理

1、用方格纸绘出 $P_j-\epsilon_1$ 和 $P_j-\epsilon_2$ 曲线，以确定实测临界力 $P_{cr\text{实}}$



2 、比较临界力的实验值和理论值。

实验九 冲击实验

一、实验目的

- 1. 测定低碳钢、铸铁的冲击韧度 α_k ，了解金属在常温下冲击韧性指标的测定方法。
- 2. 观察、比较塑性材料与脆性材料的抗冲击能力和破坏断口。

二、实验设备

- 1. 冲击试验机。
- 2. 游标卡尺。

三、实验原理

材料抗冲击能力的指标用冲击韧度来表示。冲击韧度通过冲击试验来测定，它可以作为判断材料脆化趋势的一个定性指标，同时由于它对材料的品质、宏观缺陷、显微组织十分敏感，所以可以作为检验材质及热处理工艺的一个重要手段。

1. 试件制备

由于试件的尺寸、缺口形状和支承方式将影响冲击韧度 α_k 的大小，为便于比较，国家标准规定两种类型的试件：(1) U 型缺口试件（梅氏试件），尺寸如图 9-1 所示；(2) V 型缺口试件，尺寸如图 9-2 所示。两种试件均为简支形式，试件上所开缺口是为了使缺口区形成高度应力集中，吸收较多的功。缺口底部越尖锐就更能体现这一要求。因此，试件尺寸、缺口形状、加工要求以及加载方式等，都必须遵照国家标准，实验结果才有比较意义。

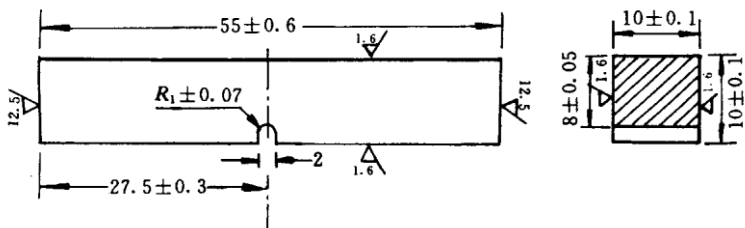


图 9-1 U 型冲击试件

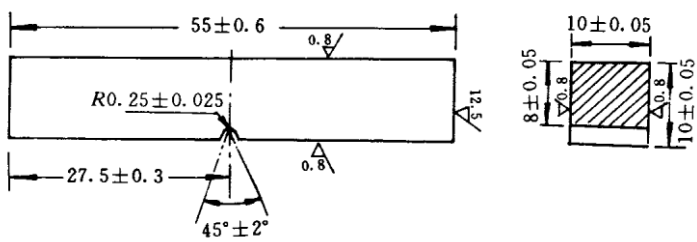


图 9-2 V 型冲击试件

用 U 型缺口试件测定的冲击韧度记为 α_{KU} ，V 型缺口的记为 α_{KV} 。国家标准规定，为保

证尺寸准确，缺口加工应采用铣削或磨削，要求缺口底部光滑，无平行于缺口轴线的刻痕。

2. 测试原理

冲击试验机由摆锤、机身、支座、度盘、指针等几部分组成。试验时将带有缺口的试件安放于试验机的支座上，并使缺口位于试件的受拉侧，如图 9-3 (a)，摆锤从一定高度自由下落，将试件冲断。如图 9-3 (b) 所示，设摆锤重量为 Q ，从高度 H_0 处沿 AB 弧落下，冲断试件后所剩余的动能使摆锤沿 BC 弧上升到 H_1 ，因此冲断试件所消耗的功 W ，其大小等于摆锤在 A 和 C 两点的位能之差，可由图 9-3 (b) 所示的简单几何关系求得，即

$$W = Q(H_0 - H_1)$$

又因为

$$H_0 = R(1 - \cos\alpha), \quad H_1 = R(1 - \cos\beta)$$

故有

$$W = QR(\cos\beta - \cos\alpha)$$

一般在试验机的度盘上，按上述关系式已经换算好，由指针可直接读出冲击时所消耗功的数值。

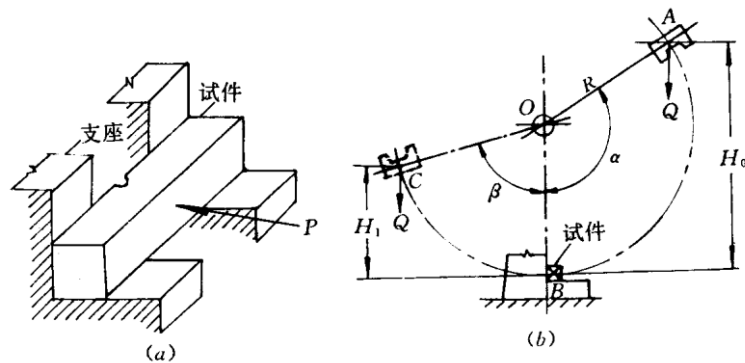


图 9-3 冲击原理

由于试件缺口处的高度应力集中， W 的绝大部分被缺口局部所吸收（空气阻力和轴承的摩擦要消耗一部分能量）。因此，以试件在缺口处的最小截面面积 A 除 W ，定义为材料的冲击韧度 α_k ，即

$$\alpha_k = \frac{W}{A}$$

式中 α_k —单位为焦耳 / 毫米² (J / mm^2)。

缺口处拉应力很大，处于三向拉应力状态，此时材料有脆化的倾向。所以塑性材料的缺口试样在冲击作用下，一般呈现脆性破坏方式（断裂）。

应该指出的是：冲击韧度 α_k 对温度的变化很敏感，当材料处于低温条件下，其韧性下降，材料会产生明显的脆性化倾向。而常温冲击试验一般在 $20^\circ C \pm 5^\circ C$ 的温度下进行，当温度不在这一范围内时，应该注明试验温度。

四、实验步骤

1. 用游标卡尺测量试件缺口处最小横截面尺寸。
2. 让摆锤自由下垂，使度盘指针紧靠在摆锤杆拨针处，然后举起摆锤空打一次，检查指针是否回到零点，否则应进行校正调整。
3. 按图 9-3（a）所示安放试件，缺口朝里背向摆锤，并用对中样板校验，使其缺口对称面处于支座跨度中点。
4. 将摆锤高举到需要位置，然后释放摆锤使其下落冲断试件。记录度盘指针读数，即为冲断试件所消耗的功 $W_{\text{测}}$ 。
5. 待摆锤停稳后，拾回试件观察比较两种材料的断口特征。

实验十 疲劳演示实验

一、实验目的

- 1. 观察构件疲劳破坏的过程。
- 2. 观察疲劳破坏的断口，分析疲劳破坏的原因。

二、疲劳试验介绍

疲劳有很多种，按荷载的性质分类有轴向疲劳、弯曲疲劳、扭转疲劳。本实验为弯曲疲劳，应力为对称循环应力，应力比 $r=-1$ ，实验设备为旋转弯曲疲劳试验机，如图 10-1 所示。

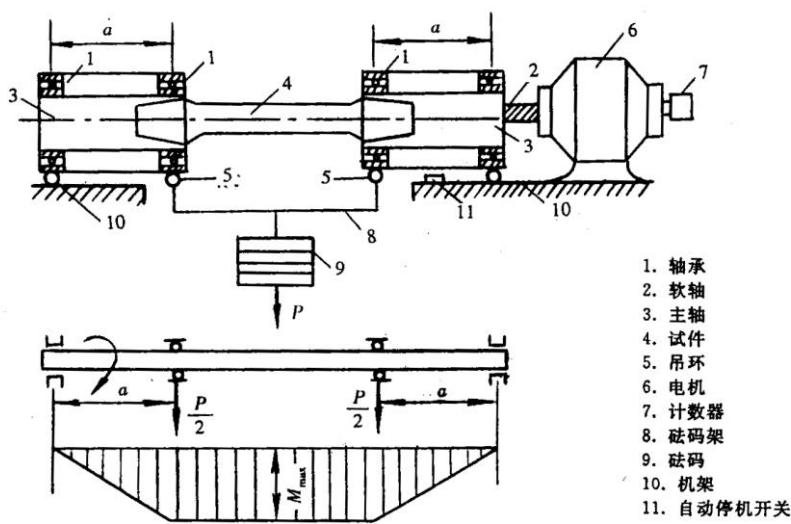


图 10-1 旋转弯曲疲劳试验机示意图和试件受力、弯矩图

圆试件 4 被两主轴 3 夹紧，连成整体，成一钢梁，由轴承 1 支撑在机架 10 上，试件受纯弯曲。

实验时，先按要求装好试件，开机达到规定转速，加载，试样断裂，等冷却后观察断口特征。

由于试验机高速旋转，实验时要注意安全。

三、 疲劳宏观断口特征

疲劳断裂和其它断裂一样，其断口上保留了整个断裂过程的所有痕迹，记载着很多断裂信息，具有明显的特征；这些特征还受材料性质、应力状态、应力大小及环境因素影响。因此，疲劳断口分析是研究疲劳过程和失效原因的重要方法之一。

典型疲劳断口具有三个形貌不同的区域：疲劳源、疲劳裂纹扩展区、瞬时断裂区。

1、 疲劳源：

是疲劳裂纹萌生的策源地。

① 特征：一般在表面；光亮；一个或几个

② 形成原因

经常在机件表面缺陷处：缺口、裂纹、刀痕、台肩、键槽等；脱碳、夹杂物、软点。

光亮：形成裂纹后的断面，在应力循环过程中不断摩擦挤压的结果（光亮、平滑）。

一个或多个：与应力状态有关。例单向弯曲有一个；双向弯曲有二个。

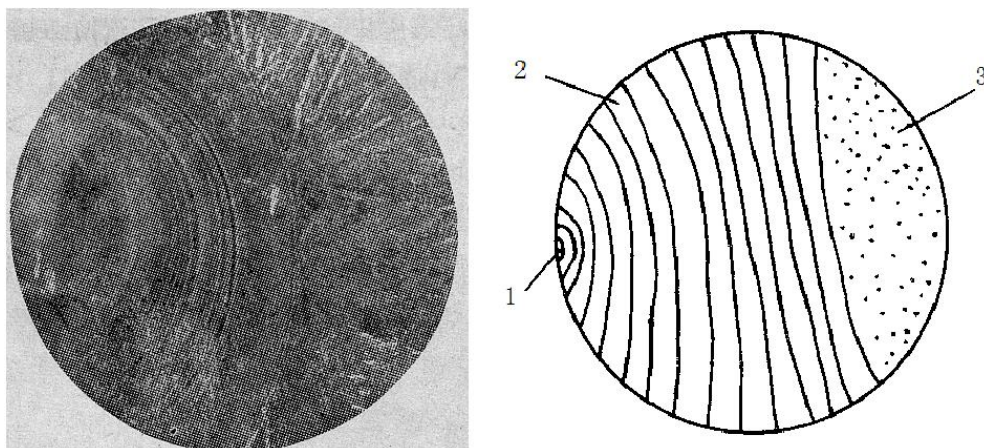


图 10-2 疲劳断裂宏观断口

1、疲劳源 2、疲劳裂纹扩展区域 3、瞬时断裂区

2、疲劳裂纹扩展区：

① 特征：

贝纹线（海滩花样）

贝纹线是以疲劳源为圆心的一簇同心圆弧；间距不同，近源者密，远源者疏。

贝纹线的宽窄不同。与过载程度、材质有关，过载大、韧性差的线粗而不明显。

垂线为裂纹扩展方向。

② 形成原因：载荷变化引起的。如：开启和停歇、改变频率、偶然过载等。（实验室的断口因载荷平稳而难以看到）。

③ 影响：

拉压变动载荷：无应力集中时，裂纹等速扩展，平行的圆弧

有应力集中时，贝纹线沿表面扩展快。

弯曲循环载荷：因表面应力高，贝纹线与缺口机件类似。

当材料脆性增加时，贝纹线不明显，甚至消失。

3、瞬时断裂区：

① 特征：同静载断口。脆材为结晶状，韧材为纤维状、暗灰色、边沿有剪切唇。

② 形成原因：裂纹出现失稳扩展，形成瞬断区。

实验十一 静力分析模拟仿真综合实验

（选择实验）

一、实验目的

- 1、初步了解有限元方法的基本原理、计算步骤。
- 2、分析计算结构的内力、应力和变形。
- 3、验证理论计算结果，把分析结果用于设计实验电测方案设计。

二、实验原理

1、有限元法基本原理

有限元法是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代计算方法。目前它已是力学分析的主要手段，它可以解决材料力学的各种问题包括内力、应力和位移的计算，可以进行结构失稳、疲劳分析，还可解决其它领域的问题，包括热传导、电磁场和流体等。其思路和方法归纳如下：

1) 物体离散化

将工程结构离散为各种单元组成的计算模型，即划分网格，如图 11-1 所示的平面单元模型，网格也可以划分成不规则形状。一个网格就是一个单元，网格线的交点为节点，离散后单元之间利用节点相互连接，用离散的单元组合体代替原来连续体，所以它是一种近似方法。例如杆件可以划分为几段杆单元，分割点就是节点，平面体可以划分为三角形或四边形单元，单元顶点就是节点。

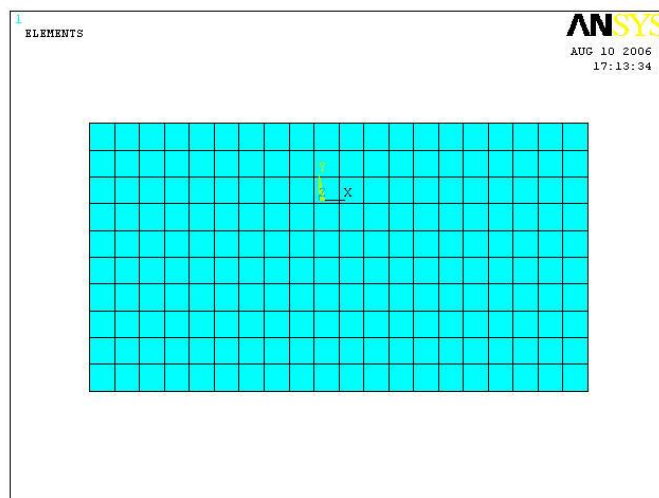


图 11-1 平面单元网格

2) 单元特性分析

可以选择节点位移作为基本未知量求解,把单元中的位移、应变和应力等物理量由节点位移通过插值和运算表示出来,通过虚功原理或最小势能原理等找出单元节点力和节点位移关系式。并把外力等效到节点上,得到单元刚度矩阵。

3) 单元组合

把单元刚度矩阵组合起来,得到整体刚度矩阵。

4) 求解

求解整体刚度矩阵,得到节点位移,再计算出单元应力。

2、有限元程序分析步骤

目前商业化的有限元软件已非常成熟,使用非常方便。本实验采用 ANSYS 软件,计算时只须按照下面步骤建模计算,而上面介绍的有限元分析过程由程序自动完成。

1) 建模

建立结构的几何模型

材料物理特性,包括材料密度、弹性模量和泊松比等

施加约束条件

施加荷载

2) 计算

设置各项计算参数,自动完成计算

3) 后处理

得到各项计算结果

三、实验内容

1、偏心拉伸应力分析仿真试验(选择实验 1)

1) 问题描述

图 11-2 所示矩形截面杆件,受偏心拉伸作用,现简化为平面问题,分析其中间 A—A 横截面上的应力分布和变形。材料弹性模量 $E = 2 \times 10^5 \text{MPa}$,泊松比 0.3,长度单位 mm。

2) 操作步骤

参见计算机上电子文档

3) 分析结果

1) 查找中间 A—A 横截面的五个节点的竖直 Y 向应力,把结果与理论结果比较。

2) 按节点编号,选择顶边节点位移,写入报告中。

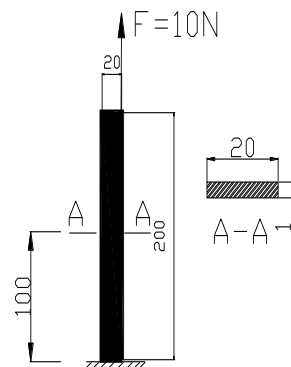


图 11-2 偏心受拉构件

2、钢架受力分析仿真试验（选择实验 2）

1) 问题描述

图 11-3 示自行车三角架的简化模型，尺寸坐标如图所示，单位为 mm，截面为直径为 20mm、厚度为 1.5mm 的空心圆截面，试绘出刚架的弯矩图，并计算各关键点位移。

2) 建模步骤

参见计算机上电子文档

3) 分析结果

- 1) 给出关键点位移 UX、UY
- 2) 绘出结构弯矩图
- 3) *绘出结构应力图
- 4) 指出并标明实验校核需要测试的危险点

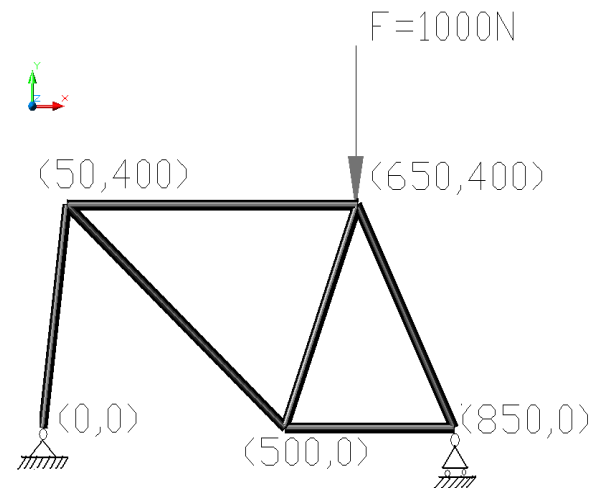


图 11-3 框架模型

实验十二 电测法实验方案设计

一、实验目的

- 1) 灵活运用电测法，掌握测量实际复杂结构的方法。
- 2) 学会综合运用理论分析、数值模拟和电测法分析力学问题。
- 3) 测量复杂结构的内力、应力，并于其它分析方法比较。

二、实验项目

1) 偏心拉伸的杆件偏心距和轴力测量方案（选择实验 1）

图 12-1 一长度为 L 的杆件截面为正方形，边长为 a ，受偏心拉力 P ，偏心距为 X_e 、 Y_e 。现要分别测量偏心距和力 P ，试设计测量接桥方法，并写出偏心距和力 P 关于应变仪读数的关系式。

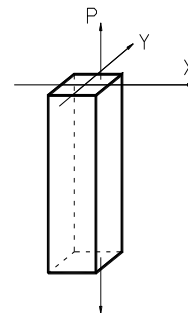


图 12-1 选择实验 1

2) 钢架内力测量方案（选择实验 2）

图 12-2(或图 12-3)所示框架结构，现要用实验方法校核其强度，要分别测出轴力和弯矩，试设计测试方案，包括贴片位置、方式和对应的接线方法。写出轴力和弯矩关于应变仪读数 ε_d 的表达式

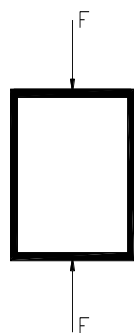


图 12-2 选择实验 2

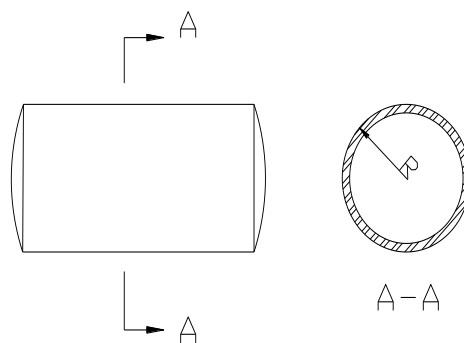


图 12-3 选择实验 3

三、方案内容

给出贴片方案（位置、方向等，用图标明）并画出相应的电桥接线方法。

四、实验结果

写出对应于接线方法的要测量与应变仪读数 ε_d 的关系式。