

工程力学实验指导书

湖南科技学院土木工程与建设管理系

2008.12

力学实验规则及要求

一、 作好实验前的准备工作

(1) 按各次实验的预习要求, 认真阅读实验指导复习有关理论知识, 明确实验目的, 掌握实验原理, 了解实验的步骤和方法。

(2) 对实验中所使用的仪器、实验装置等应了解其工作原理, 以及操作注意事项。

(3) 必须清楚地知道本次实验须记录的数据项目及其数据处理的方法。

二、 严格遵守实验室的规章制度

(1) 课程规定的时间准时进入实验室。保持实验室整洁、安静。

(2) 未经许可, 不得随意动用实验室内的机器、仪器等一切设备。

(3) 作实验时, 应严格按操作规程操作机器、仪器, 如发生故障, 应及时报告, 不得擅自处理。

(4) 实验结束后, 应将所用机器、仪器擦拭干净, 并恢复到正常状态。

三、 认真做好实验

(1) 接受教师对预习情况的抽查、质疑, 仔细听教师对实验内容的讲解。

(2) 实验时, 要严肃认真、相互配合, 仔细地按实验步骤、方法逐步进行。

(3) 实验过程中, 要密切注意观察实验现象, 记录好全部所需数据, 并交指导老师审阅。

四、 实验报告的一般要求

实验报告是对所完成的实验结果整理成书面形式的综合资料。通过实验报告的书写, 培养学习者准确有效地用文字来表达实验结果。因此, 要求学习者在自己动手完成实验的基础上, 用自己的语言扼要地叙述实验目的、原理、步骤和方法, 所使用的设备仪器的名称与型号、数据计算、实验结果、问题讨论等内容, 独立地写出实验报告, 并做到字迹端正、绘图清晰、表格简明。

目 录

实验一	金属材料的拉伸实验	1
实验二	金属材料的压缩实验	5
实验三	纯弯曲梁的正应力实验.....	8
实验四	薄壁圆筒在弯扭组合变形下主应力测定.....	11
实验五	材料弹性模量 E、泊松比 μ 的测定.....	16
实验六	偏心拉伸实验.....	21
实验七	压杆稳定实验.....	24
实验八	电阻应变片灵敏系数标定.....	27
实验九	等强度梁实验.....	30

实验一 金属材料的拉伸实验

一、实验目的

1. 观察与分析低碳钢、灰铸铁在拉伸过程中的力学现象并绘制拉伸图。
2. 测定低碳钢的 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 ψ 和灰铸铁的 σ_b 。
3. 比较低碳钢与灰铸铁的机械性能。

二、实验仪器和设备

1. 600KN微机屏显式液压万能试验机；
2. 游标卡尺。

三、试件

实验表明，试件的尺寸和形状对试验结果有影响，为了使各种材料的试验结果具有通用性、可比性，必须将试件尺寸、形状和试验方法统一规定，使试验标准化。本实验所用的试件参照国家标准《力学性能试验取样位置和试样制备》（GB/T 2975-1998）制备；实验方法参照国家标准《金属材料 室温拉伸试验方法》（GB/T 228-2002）进行。

试件形状如图1-1：

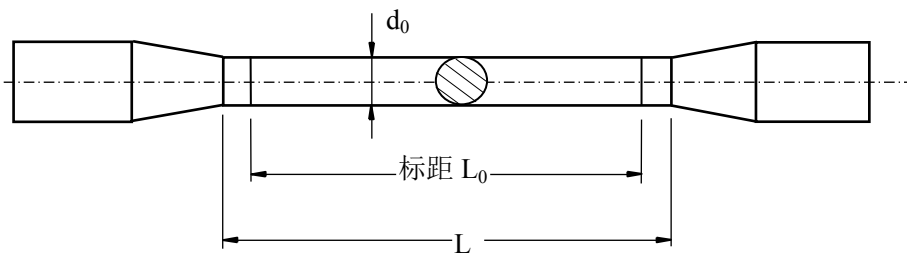


图1-1

L — 平行长度， $L \geq L_0 + d_0$ ；

L_0 — 试件平行长度部分两条刻线间的距离，称为原始标距；

d_0 — 平行长度部分之原始直径。

圆形比例试件分两种：

$L_0 = 10 d_0$ ，称为长试件；

$L_0 = 5 d_0$ ，称为短试件。

本实验试件采用 $d_0 = 10\text{mm}$ ， $L_0 = 100\text{mm}$ 的长试件。

四、实验原理

(一)低碳钢拉伸实验

材料的机械性能指标 σ_s 、 σ_b 、 δ 和 ψ 由常温、静载下的轴向拉伸破坏试验测定。整个试验过程中，力与变形的关系可由拉伸图表示，被测材料试件的拉伸图由试验机自动记录显示。低碳钢的拉伸图比较典型，可分为四个阶段：

1. 直线阶段0A——此阶段拉力与变形成正比，所以也称为线弹性变形阶段，A点对应的载荷为比例极限载荷 F_p ；
2. 屈服阶段BC——曲线常呈锯齿形，此阶段拉力的变化不大，但变形迅速增加，此段内曲线上的最高点称为上屈服点 B' ，最低点称为下屈服点 B ，因下屈服点 B 比较稳定，工程上一般以 B 点对应的力值作为屈服载荷 F_s ；
3. 强化阶段CD——此阶段拉力增加变形也继续增加，但它们不再是线性关系，其最高点D对应的力值为最大载荷 F_b ；
4. 颈缩阶段DE——过了D点，试件开始出现局部收缩（颈缩），直至试件被拉断。

图1-2为低碳钢拉伸图。

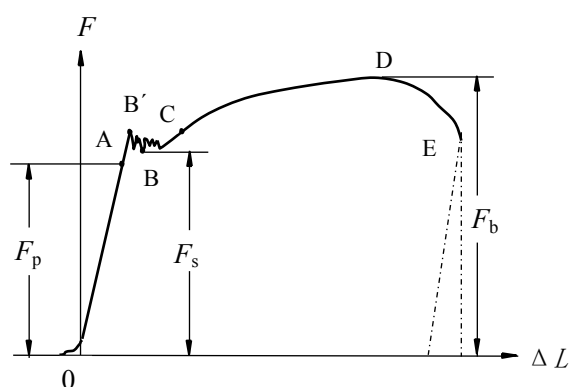


图1-2

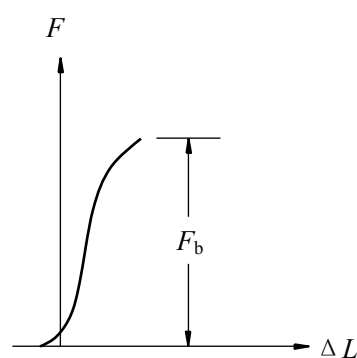


图1-3

（二）灰铸铁拉伸实验

对于灰铸铁，由于拉伸时的塑性变形极小，在变形很小时就达到最大载荷而突然断裂，没有明显的屈服和颈缩现象，其强度极限即为试件断裂时的名义应力。图1-3为铸铁拉伸图。

五、实验步骤

（一）实验准备

1. 打开计算机，双击计算机桌面上的TestExpert图标，试验软件启动。
2. 打开控制系统电源，系统进行自检后自动进入PC-CONTROL状态。
3. 软件联机并启动控制系统：
 - (1) 点击“联机”按钮.出现联机窗口，当此窗口消失证明联机成功。
 - (2) 按下启动按钮，控制系统“ON”灯亮后，软件操作按钮有效。
4. 测量并记录试件的尺寸：在刻线长度内的两端和中部测量三个截面的直径 d_0 ，取直径最小者为计算直径，并量取标距长度 L_0 。
5. 调节横梁位置并安装试样。

（二）进行实验

1. 设置试验条件。
2. 开始试验：
 - (1) 按下“试验”按钮

，试验机开始按试验程序对试件进行拉伸。仔细观察试件和计算机屏幕上的拉伸曲线在拉伸过程中的对应情况，特别注意观察屈服阶段的特点、颈缩阶段的发生和发展，直至试件拉断，取下试件并观察断口。

(2) 对灰铸铁试件，则装夹后按下“试验”按钮，试验机开始按试验程序对试件进行拉伸，仔细观察试件和计算机屏幕上的拉伸曲线在拉伸过程中的对应情况，直至拉断，取下试件并观察断口。

3. 浏览拉伸曲线，记录屈服载荷 F_s (F_{el}) 和最大载荷 F_b (F_m)，或打印试验报告。

(三) 断后延伸率 δ 和截面收缩率 ψ 的测定

(1) 试件拉断后，将其断裂试件紧密对接在一起，在断口（颈缩）处沿两个互相垂直方向各测量一次直径，取其平均值为 d_f ，用来计算断口处横截面面积 A_f 。

(2) 将断裂试件的两段紧密对接在一起，尽量使其轴线位于一直线上，若断口到邻近标距端点的距离大于 $L_0/3$ ，则用游标卡尺测量断裂后两端刻线之间的标距长度即为 L_1 。

(3) 若断口到邻近标距端点的距离小于或等于 $L_0/3$ ，要求用断口移中法计算 L_1 的长度。则应按下述方法来测量拉断后试件标距部分的长度 L_1 。

利用在试验前将试件标距部分等分成10个小格，即以断口 O （图1-4a）为起点，在长段上量取基本等于短段的格数得 B 点。当长段所余格数为偶数时，则由所余格数的一半得 C 点，将 BC 段长度移到标距的左端，则移位后的 L_1 为：

$$L_1 = AO + OB + 2BC$$

如果在长段取 B 点后所余下的格数为奇数（图1-4b），则取所余格数加1之半

$$L_1 = AO + OB + BC + BC_1$$

得 C_1 点，减1之半得 C 点，则移中（即将 BC_1 或 BC 移到试件左侧）后的 L_1 为：

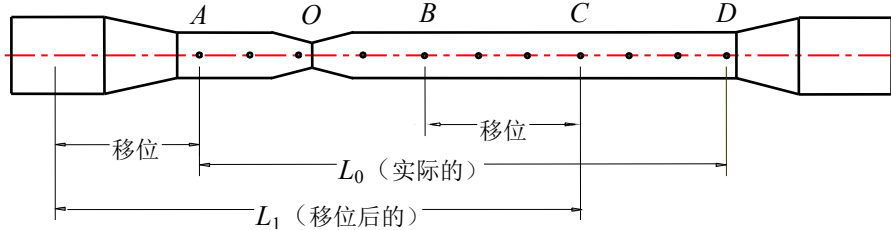


图 1-4a

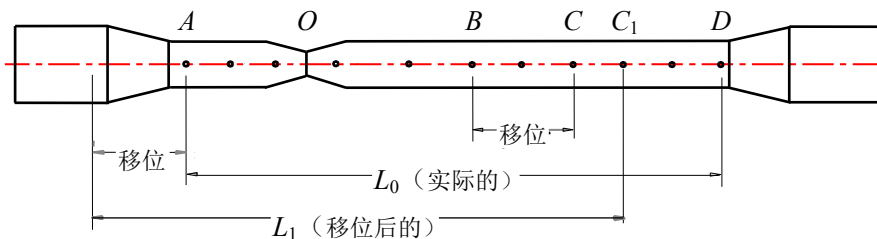


图 1-4b

六、实验结果处理

1. 根据测得的低碳钢拉伸载荷 F_s 、 F_b 计算屈服极限 σ_s 和强度极限 σ_b 。
2. 根据测得的灰铸铁拉伸最大载荷 F_b 计算强度极限 σ_b 。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad \sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

3. 根据拉断前后的试件标距长度和横截面面积，计算出低碳钢的延伸率 δ 和截面收缩率 ψ ；由于灰铸铁拉伸塑性变形量很小，断后延伸率和截面收缩率一般就不必测定。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

4. 绘制两种材料的拉伸图（ $F-\Delta L$ 图）。
5. 绘图表示两种材料的断口形状。

实验二 金属材料的压缩实验

一、实验目的

1. 观察与分析低碳钢、灰铸铁在压缩过程中的力学现象并绘制压缩图。
2. 测定压缩时低碳钢的 σ_s ，灰铸铁的 σ_b 。
3. 比较低碳钢与灰铸铁的机械性能。

二、实验仪器和设备

1. 600KN微机屏显式液压万能试验机；
2. 游标卡尺。

三、压缩试件

为了能对各种材料的试验结果作比较，金属材料压缩试样一般采用圆柱形标准试样（图2-1）。

1. 试样高度和直径的比例要适宜。试件太高，容易产生纵向不稳定现象；试件太短，试验机垫板与试件两端面间的摩擦力（图2-2）对试件实际的承载能力产生影响。为保证试样在试验过程中均匀单向压缩，且端部不在试验结束之前损坏，国标GB/T 7314-2005推荐无约束压缩试样尺寸为：

$$1 \leq \frac{h_0}{d_0} \leq 2$$

2. 试件置于试验机的球形承垫中心位置处（图2-3），以防试件两端面稍不平时，起调节作用，使压力均匀分布，其合力应通过试件轴线。

3. 试件两端的平面应加工光滑以减小摩擦力的影响，实验时通常还在两端部加适量的润滑油。

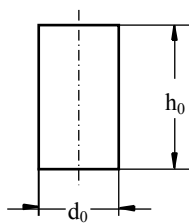


图2-1

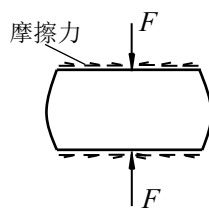


图2-2

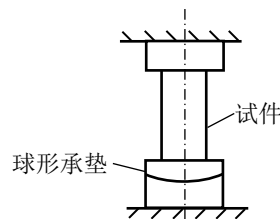


图2-3

四、实验原理

1. 低碳钢压缩实验

低碳钢受压时与受拉时一样有比例极限和屈服极限，但不象拉伸时那样有明显的屈服现象。因此，测定压缩的屈服载荷 F_s

时要特别细心观察。在缓慢匀速加载下，试验机的测力指针会突然停留、或倒退、或指针转速突然减慢。如果指针停留，则以指针所指载荷作为屈服载荷 F_s ；如果指针倒退，则以指针所指最低载荷作为屈服载荷 F_s ；如果指针转速突然减慢，此时主动指针所指载荷即作为屈服载荷 F_s 。

过了屈服点，塑性变形迅速增加，试件横截面面积也随之增大。而增大的面积能承受更大的载荷，因此，压缩曲线迅速上升，见自动绘图仪绘出低碳钢压缩图（图2-4）。

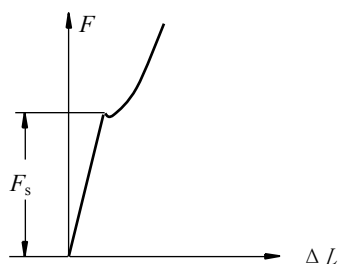


图2-4

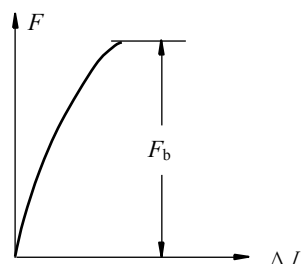


图2-5

低碳钢试件最后可压成饼状而不破坏，所以无法测定最大载荷 F_b 。

2. 灰铸铁压缩实验

灰铸铁试件受压缩时，在达到最大载荷 F_b 前会出现较大的弹性变形才发生破裂，此时测力指针迅速倒退，由随动指针可读出最大载荷 F_b ，自动绘图仪绘出铸铁压缩图（图2-5）。

灰铸铁试件最后被压成腰鼓形，表面出现与试件轴线大约成 45° 左右的倾斜裂纹。

五、实验步骤

1. 测量并记录试件高度及横截面直径。
2. 根据估计的最大载荷选择测力盘刻度档，配以相应摆锤，调整指针使对准零点，调整绘图装置。
3. 将试件两端涂上润滑剂，然后放在试验机活动台支承垫中心处。
4. 开动试验机，使活动台上升，当试件与上支承垫接近时应把油门关小减慢活动台上升速度，以免上升速度太快引起冲击载荷。当试件与上支承垫接触受力后，要控制加载速度，使载荷缓慢均匀增加，注意观察测力指针和绘图装置所绘的压缩曲线，从而判断试件是否已达屈服阶段，及时记录屈服载荷 F_s ，超过屈服载荷后，继续加载，低碳钢试件被压成腰鼓形即可停止。
5. 铸铁试件加压至试件破坏为止，记录最大载荷 F_b 。

六、实验结果处理

1. 根据所测低碳钢的压缩屈服载荷 F_s 计算压缩屈服极限 σ_s 。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

2. 根据所测铸铁的压缩最大载荷 F_b 计算压缩强度极限 σ_b 。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中：

$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

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
点的正应力，计算公式为

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_z}$$

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 3-1）。

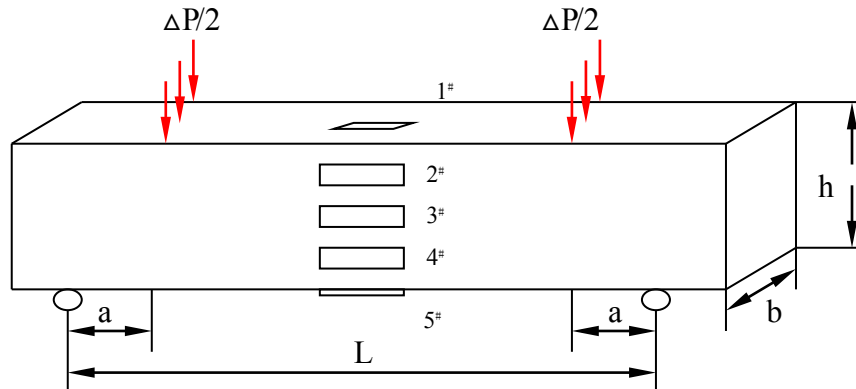


图 3-1 应变片在梁中的位置

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 $\Delta \varepsilon$ ，然后分别取各点应变增量的平均值 $\Delta \varepsilon_{\text{实}i}$ ，依次求出各点的应变增量

$$\sigma_{\text{实}i} = E \cdot \Delta \varepsilon_{\text{实}i}$$

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。

四、实验步骤

- 1、设计好本实验所需的各类数据表格。
- 2、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 。见附表 1

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 $P_{max}\leq 4000N$), 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 ϵ , 直到最终载荷。实验至少重复两次。见附表 2

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, 将所用器设备复原, 实验资料交指导教师检查签字。

附表 1 (试件相关数据)

应变片至中性层距离 (mm)		梁的尺寸和有关参数	
Y_1	-20	宽 度 $b = 20$	mm
Y_2	-10	高 度 $h = 40$	mm
Y_3	0	跨 度 $L = 600$	mm
Y_4	10	载荷距离 $a = 125$	mm
Y_5	20	弹性模量 $E = 206GPa$	
		泊 松 比 $\mu = 0.26$	
		惯性矩 $I_z = bh^3/12 = 1.067 \times 10^{-7} m^4$	

附表 2 (实验数据)

载荷 N	P	500	1000	1500	2000	2500	3000
	ΔP	500	500	500	500	500	500
各测点电阻应变仪读数 $\mu\epsilon$	1	ϵ_p					
		$\Delta\epsilon_p$					
		平均值					
	2	ϵ_p					
		$\Delta\epsilon_p$					
		平均值					
	3	ϵ_p					
		$\Delta\epsilon_p$					
		平均值					
	4	ϵ_p					
		$\Delta\epsilon_p$					
		平均值					
	5	ϵ_p					
		$\Delta\epsilon_p$					
		平均值					

五、实验结果处理

1、实验值计算

根据测得的各点应变值 ε 求出应变增量平均值 $\overline{\Delta\varepsilon_i}$ ，代入胡克定律计算各点的实验应力值，因 $1\mu\varepsilon=10^{-6}\varepsilon$ ，所以各点实验应力计算：

$$\sigma_{i实} = E\varepsilon_{i实} = E \times \overline{\Delta\varepsilon_i} \times 10^{-6}$$

2、理论值计算

载荷增量 $\Delta P=500$ N

弯距增量 $\Delta M=\Delta P \cdot a/2=31.25$ N·m

各点理论值计算：

$$\sigma_{i理} = \frac{\Delta M \cdot y_i}{I_z}$$

3、绘出实验应力值和理论应力值的分布图

分别以横坐标轴表示各测点的应力 $\sigma_{i实}$ 和 $\sigma_{i理}$ ，以纵坐标轴表示各测点距梁中性层位置 y_i ，选用合适的比例绘出应力分布图。

4、实验值与理论值的比较

测 点	理论值 $\sigma_{i理}$ (MPa)	实际值 $\sigma_{i实}$ (MPa)	相对误差
1			
2			
3			
4			
5			

实验四 薄壁圆筒在弯扭组合变形下主应力测定

一、实验目的

1. 用电测法测定平面应力状态下主应力的大小及方向，并与理论值进行比较。
2. 测定薄壁圆筒在弯扭组合变形作用下的弯矩和扭矩。
3. 进一步掌握电测法。

二、实验仪器设备和工具

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、实验原理和方法

1. 测定主应力大小和方向

薄壁圆筒受弯扭组合作用，使圆筒发生组合变形，圆筒的 m 点处于平面应力状态（图 4-1）。在 m 点单元体上作用有由弯矩引起的正应力 σ_x ，由扭矩引起的剪应力 τ_n ，主应力是一对拉应力 σ_1 和一对压应力 σ_3 ，单元体上的正应力 σ_x 和剪应力 τ_n 可按下列式计算

$$\sigma_x = \frac{M}{W_z} \qquad \tau_n = \frac{M_n}{W_T}$$

式中 M — 弯矩， $M = P \cdot L$

M_n — 扭矩， $M_n = P \cdot a$

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

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

由二向应力状态分析可得到主应力及其方向

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + \tau_n^2} \qquad \text{tg} 2\alpha_0 = \frac{-2\tau_n}{\sigma_x}$$

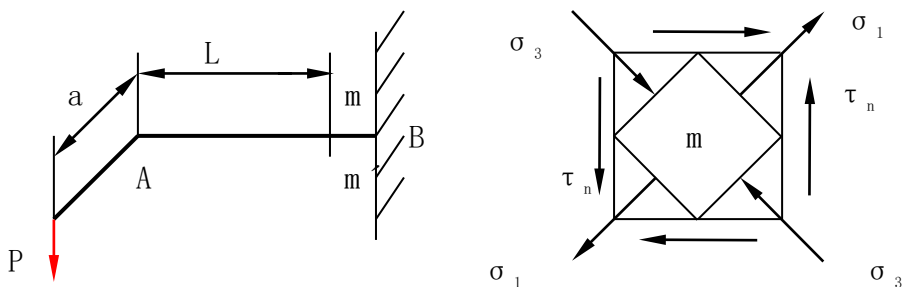


图 4-1 圆筒 m 点应力状态

本实验装置采用的是 45° 直角应变花，在 m、m' 点各贴一组应变花（如图 4-2 所示），应变花上三个应变片的 α 角分别为 -45° 、 0° 、 45° ，该点主应变和主方向

$$\varepsilon_1 = \frac{(\varepsilon_{45^\circ} + \varepsilon_{-45^\circ})}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ})^2 + (\varepsilon_{-45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ})^2}$$

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

主应力和主方向

$$\sigma_1 = \frac{E(\varepsilon_{45^\circ} + \varepsilon_{-45^\circ})}{2(1-\mu)} \pm \frac{\sqrt{2}E}{2(1+\mu)} \sqrt{(\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ})^2 + (\varepsilon_{-45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ})^2}$$

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

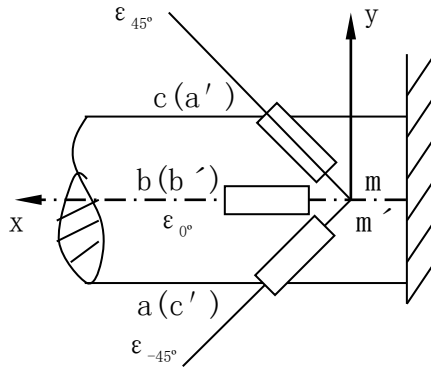


图 4-2 测点应变花布置图

2. 测定弯矩

薄壁圆筒虽为弯扭组合变形，但 m 和 m' 两点沿 X 方向只有因弯曲引起的拉伸和压缩应变，且两应变等值异号。因此将 m 和 m' 两点应变片 b 和 b' ，采用不同组桥方式测量，即可得到 m 、 m' 两点由弯矩引起的轴向应变 ε_m ，则截面 $m-m'$ 的弯矩实验值为

$$M = E \varepsilon_m W_z = \frac{E\pi(D^4 - d^4)}{32D} \varepsilon_m$$

3. 测定扭矩

当薄壁圆筒受纯扭转时， m 和 m' 两点 45° 方向和 -45° 方向的应变片都是沿主应力方向。且主应力 σ_1 和 σ_3 数值相等符号相反。因此，采用不同的组桥方式测量，可得到 m 和 m' 两点由扭矩引起的主应变 ε_n 。因扭转时主应力 σ_1 和剪

应力 τ 相等。则可得到截面 $m-m'$ 的扭矩实验值为

$$M_n = \frac{E \varepsilon_n}{(1+\mu)} \cdot \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16D}$$

四、实验步骤

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/875233341124011143>