

# 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 $\mu$ 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 $\sigma_s$ 、 $\sigma_b$ 、 $\delta$ 、 $\psi$ 和灰铸铁的 $\sigma_b$ 。
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：

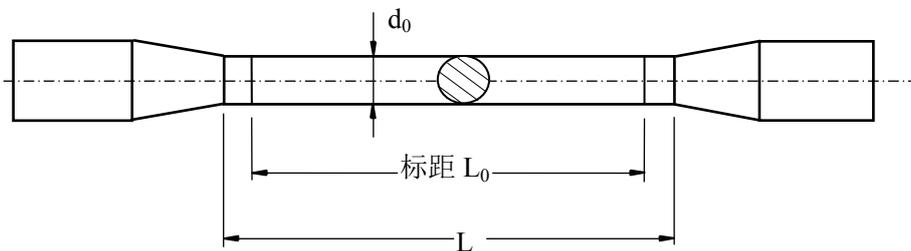


图1-1

$L$ — 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 $\sigma_s$ 、 $\sigma_b$ 、 $\delta$ 和 $\psi$ 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。

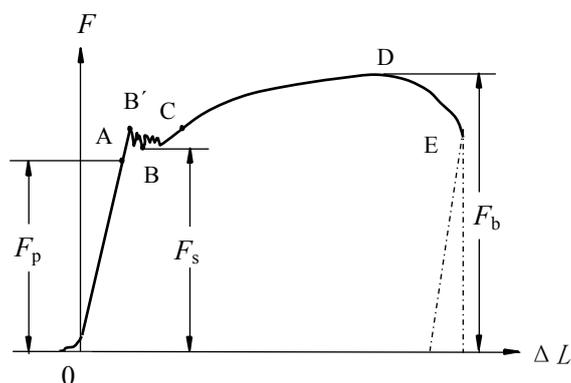


图1-2

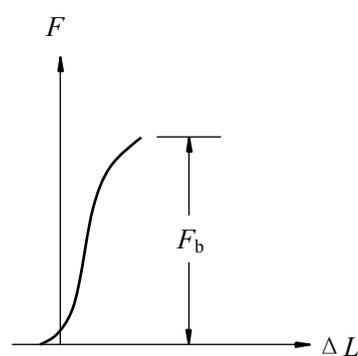


图1-3

## （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  $\delta$  和截面收缩率  $\psi$  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：

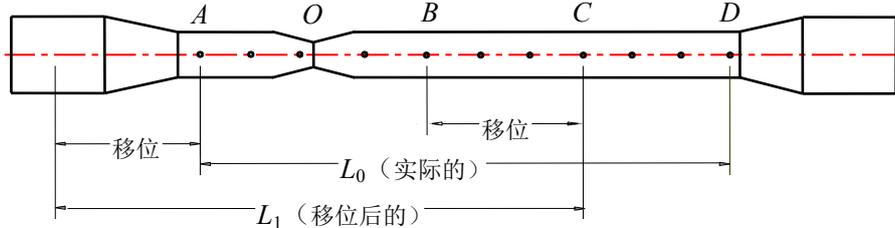


图 1-4a

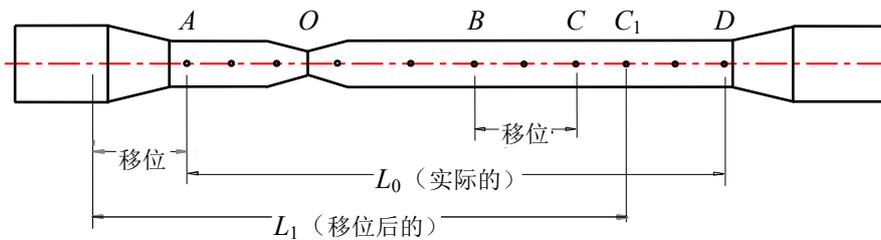


图 1-4b

## 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 $\sigma_s$ 和强度极限 $\sigma_b$ 。
2. 根据测得的灰铸铁拉伸最大载荷 $F_b$ 计算强度极限 $\sigma_b$ 。

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

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 $\delta$ 和截面收缩率 $\psi$ ；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 $\sigma_s$ ，灰铸铁的 $\sigma_b$ 。
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。

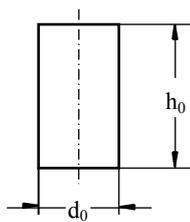


图2-1

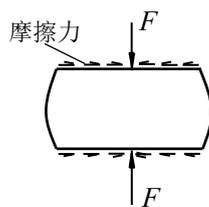


图2-2

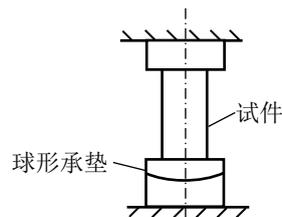


图2-3

### 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）。

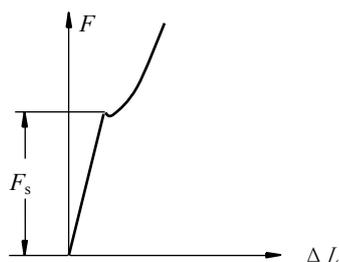


图2-4

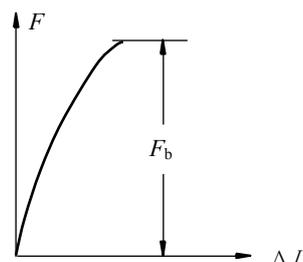


图2-5

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 $45^\circ$ 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 $\sigma_s$ 。

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

2. 根据所测铸铁的压缩最大载荷 $F_b$ 计算压缩强度极限 $\sigma_b$ 。

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

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）。

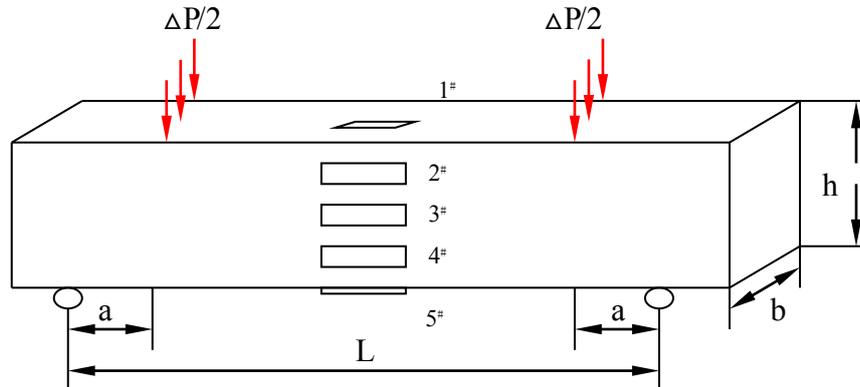


图 3-1 应变片在梁中的位置

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  $\Delta P$ ，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  $\epsilon$ , 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
	$\Delta P$	500	500	500	500	500	500
各测点电阻应变仪读数 $\mu\epsilon$	1	$\epsilon_p$					
		$\Delta\epsilon_p$					
		平均值					
	2	$\epsilon_p$					
		$\Delta\epsilon_p$					
		平均值					
	3	$\epsilon_p$					
		$\Delta\epsilon_p$					
		平均值					
	4	$\epsilon_p$					
		$\Delta\epsilon_p$					
		平均值					
	5	$\epsilon_p$					
		$\Delta\epsilon_p$					
		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  $\varepsilon$  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  $\sigma_x$ ，由扭矩引起的剪应力  $\tau_n$ ，主应力是一对拉应力  $\sigma_1$  和一对压应力  $\sigma_3$ ，单元体上的正应力  $\sigma_x$  和剪应力  $\tau_n$  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

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

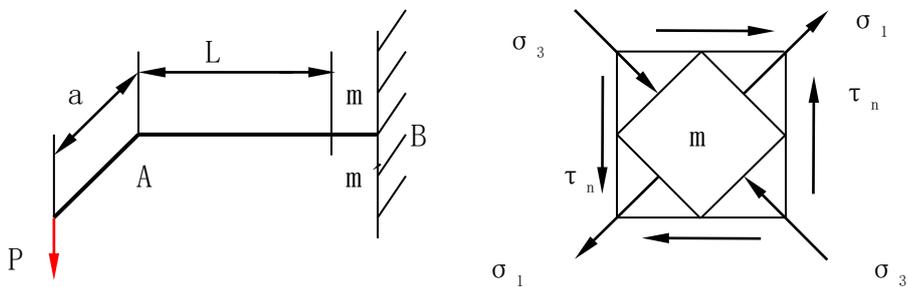


图 4-1 圆筒 m 点应力状态

本实验装置采用的是  $45^\circ$  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  $\alpha$  角分别为  $-45^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ ，该点主应变和主方向

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

$$\varepsilon_3 = \frac{(\varepsilon_{45^\circ} + \varepsilon_{-45^\circ})}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ})^2 + (\varepsilon_{-45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ})^2}$$

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

主应力和主方向

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

$$\sigma_3 = \frac{E(\varepsilon_{45^\circ} + \varepsilon_{-45^\circ})}{2(1-\mu)} \pm \frac{\sqrt{2}E}{2(1+\mu)} \sqrt{(\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ})^2 + (\varepsilon_{-45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ})^2}$$

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

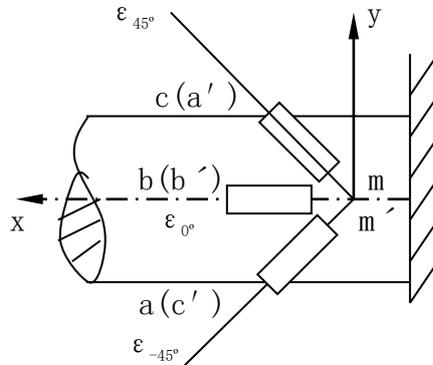


图 4-2 测点应变花布置图

## 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  $\varepsilon_m$ ，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  $45^\circ$  方向和  $-45^\circ$  方向的应变片都是沿主应力方向。且主应力  $\sigma_1$  和  $\sigma_3$  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  $\varepsilon_n$ 。因扭转时主应力  $\sigma_1$  和剪应力  $\tau$  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>