

材料力学实验

实 验 报 告

天津城建大学

目 录

实验一 金属材料拉伸实验	1
实验二 金属材料压缩实验	4
实验三 材料弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定实验	5
实验四 金属材料扭转实验	8
实验五 梁的弯曲实验（单向应力测定）	9
实验六 弯扭组合变形	14
附录 1：弯扭组合实验所涉及的理论计算公式	17
附录 2：力学实验相关的实验方法和原理	19
附录 3、电阻应变仪的操作步骤	22

姓名：
学号：

班级：
实验日期：

实验一 金属材料拉伸实验

一、实验目的

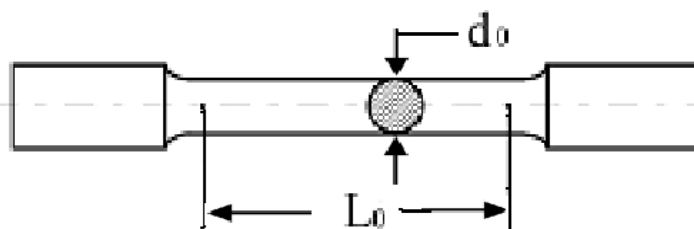
1. 了解万能材料试验机的构造和工作原理，掌握其操作规程及使用时的注意事项。
2. 测定低碳钢的屈服极限(流动极限) σ_s ，强度极限 σ_b 、伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 。
3. 测定铸铁的强度极限 σ_b 。
4. 观察以上两种材料在拉伸过程中的各种现象，并利用自动绘图装置绘制拉伸图(P- ΔL 曲线)。
5. 比较低碳钢(塑性材料)与铸铁(脆性材料)拉伸时的机械性质。

二、实验设备和量具

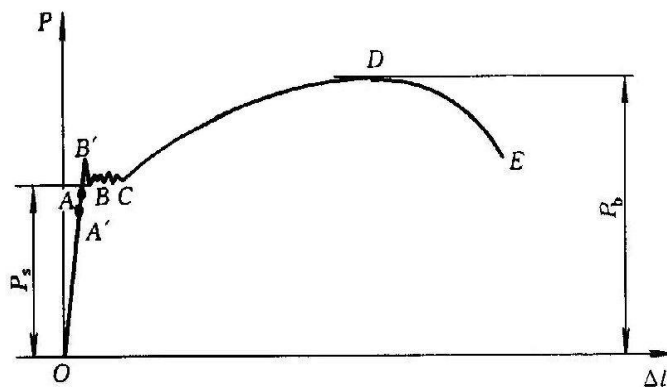
1. 量具：游标卡尺、直尺、分规。
2. 设备：电子万能试验机。

三、试件及低碳钢的拉伸曲线图

1、试件



2、低碳钢的拉伸曲线图



四、数据的记录及处理

1、 表 1、试件的尺寸（单位：mm）

材 料	实验前	实验后	截面面积
低碳钢	L=	L'=	S=
	D=	D'=	S'=
铸 铁	D=		S=

2、 实验数据 （单位：KN）

项 目 材 料	屈服荷载 P_s	最大荷载 P_b
低 碳 钢		
铸 铁		

3、处理结果

材 料	强 度 指 标 (MPa)		塑 性 指 标 (%)	
	屈服极限 σ_s	强度极限 σ_b	延伸率 δ_5	断面收缩率 ψ
低碳钢				
铸铁				

五、结论

低碳钢：抗拉 > 抗切 > 抗压

铸 铁：抗拉 < 抗切 < 抗压

注意事项（不用写到实验报告上）

1. 安装试件时不能将试件放到下夹头后，向上移动横梁，而应手持试件使夹持部分分别进入上下夹头一部分(既试件保持悬空状态)，缓慢向上移动横梁, 以免试件顶到上下夹头间而损坏试件和设备，严重时可能会伤到人。
- 3、 试件安装好后以及开始试验后，严禁操作手控盒。
- 4、 拉断的试件取下后，手控盒一定要按停止键，否则移动横梁会一直移动直至顶到下端固定梁。
- 5、任何时候严禁操作“快速移动”按钮。

实验二 金属材料压缩实验

(演示实验不用写实验报告)

一、实验目的

1. 测定压缩时低碳钢的屈服极限 σ_s ，并观察它的变形情况。
2. 测定压缩时铸铁的强度极限 σ_b ，并观察它的变形和破坏情况。
3. 对两种材料的性质进行比较。

二、设备和量具

1. YDL 电液伺服压力试验机
2. 游标卡尺

三、低碳钢和铸铁的压缩曲线图

低碳钢的压缩图（即 $P-\Delta L$ 曲线）如图 2-1 所示，超过屈服之后，低碳钢试样由原来的圆柱形逐渐被压成鼓形，即如图 2-3。继续不断加压，试样将愈压愈扁，但总不破坏。所以，低碳钢不具有抗压强度极限（也可将它的抗压强度极限理解为无限大），低碳钢的压缩曲线也可证实这一点。

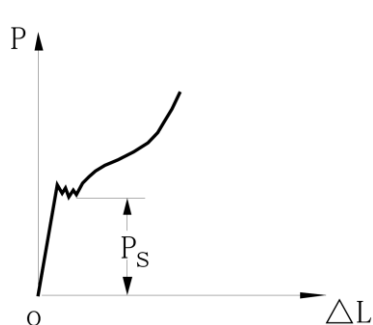


图 2-1 低碳钢压缩图

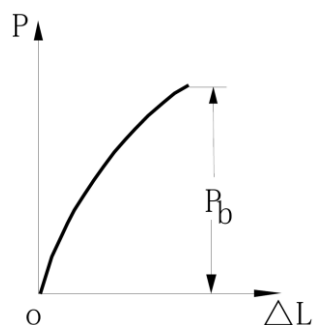


图 2-2 铸铁压缩图

铸铁在拉伸时是属于塑性很差的一种脆性材料，但在受压时，试件在达到最大载荷 P_b 前将会产生较大的塑性变形，最后被压成腰鼓形而断裂，图 2—4 是断口示意图。铸铁的压缩图（ $P-\Delta L$ 曲线）如图 2—2 所示。

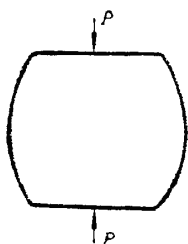


图 2-3 压缩时低碳钢变形示意图

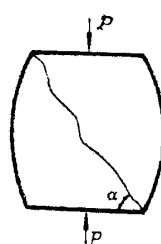


图 2-4 压缩时铸铁破坏断口

姓名：
学号：

班级：
实验日期：

实验三 材料弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定实验

一、实验目的

1. 了解电阻应变片的构造及工作原理；
2. 学习电测法的基本原理和方法，练习使用电阻应变仪
3. 验证单向受力虎克定律；
4. 学习利用电测法测量金属材料的弹性模量 E 和泊松比 μ 的方法。

二、实验仪器设备

1. 微机控制电子万能试验机；
2. YE 2538 A 型程控电阻应变仪；

三、实验原理

1. 单向应力状态弹性体的虎克定律

材料在比例极限内服从虎克定律，在单向受力状态下，应力与应变成正比：

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3-1)$$

上式中的比例系数 E 称为材料的弹性模量。

由以上关系，可以得到：

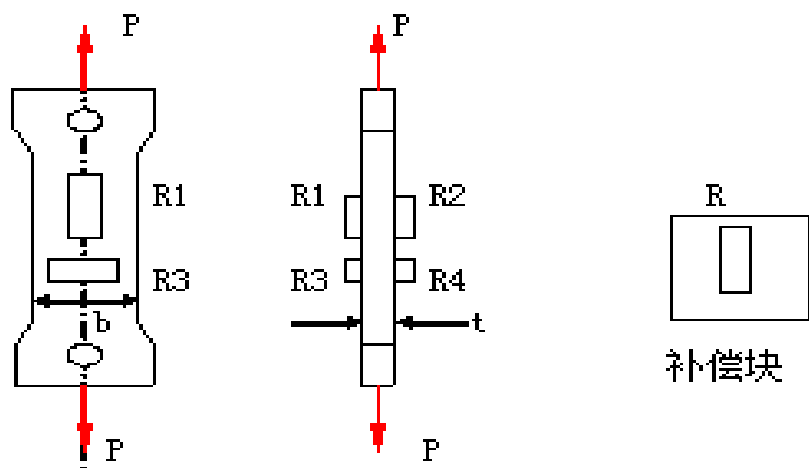
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P}{A\varepsilon} \quad (3-2)$$

材料在比例极限内，横向应变 ε' 与纵向应变 ε 之比的绝对值为一常数：

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right| \quad (3-3)$$

上式中的常数 μ 称为材料的横向变形系数或泊松比。

四、实验试件



板式试件及布片图

五、方案设计及数据记录

表 1、试件的材料属性

序号	材质	屈服极限 σ_s (Mpa)	矩形截面尺寸 b (mm)	矩形截面尺寸 t (mm)	矩形截面面积 A (mm ²)
1	40Cr 中碳钢	800	32.95	6.09	
2	60Mn 弹簧钢	800	33.07	6.00	
3	H62 青铜	500	33.33	6.26	
4	LY11 硬质铝合金	240	33.05	6.29	

表 2、加荷方案

序号	材质	初荷载 P_0 (KN)	晋级次数	每级荷载增量 ΔP (KN)	总荷载 (KN)
1	40Cr	10	4	10	50
2	60Mn	10	4	10	50
3	H62	3	4	3	15
4	LY11	3	4	3	15

表 3、应变片读数记录表（单位： $\mu \varepsilon$ ）

载荷 Pi (KN)	试验用 材质	纵向应变读数 ε_y^i				横向应变读数 ε_x^i			
		应变片 1		应变片 2		应变片 3		应变片 4	
		应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量
$P_0 =$									
$P_1 =$									
$P_2 =$									
$P_3 =$									
$P_4 =$									
平均应变增量		$\Delta \varepsilon 1 =$		$\Delta \varepsilon 2 =$		$\Delta \varepsilon 3 =$		$\Delta \varepsilon 4 =$	

六、数据的处理

表 4 试验材料的 E、 μ 计算表

应变片 编号	纵向应变平均增量 $\Delta \bar{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon 1 + \Delta \varepsilon 2}{2}$ (μ ε)	横向应变平均增量 $\Delta \bar{\varepsilon}' = \frac{\Delta \varepsilon 3 + \Delta \varepsilon 4}{2}$ (μ ε)	$E = \frac{\Delta P}{\Delta \bar{\varepsilon} A_0}$ (GPa)	$\mu = \left \frac{\Delta \bar{\varepsilon}'}{\Delta \bar{\varepsilon}} \right $		
1						
2						
1′						
2′						

实验四 金属材料扭转实验

(演示实验不用写实验报告)

一、实验目的

1. 测定低碳钢的剪切屈服极限 τ_s 及剪切强度极限 τ_b 。
2. 测定铸铁的剪切强度极限 τ_b 。
3. 观察并比较低碳钢和铸铁试件的扭转破坏情况。

二、实验设备和量具

1. 游标卡尺
2. 扭力试验机

三、实验原理

材料的扭转破坏过程可用纯扭转曲线即 $M_n - \phi$ 曲线（又称扭转图）来描述。图 4-1

和 图 4-2 是低碳钢和铸铁的扭转曲线。图 4-3 是剪断后的形貌图

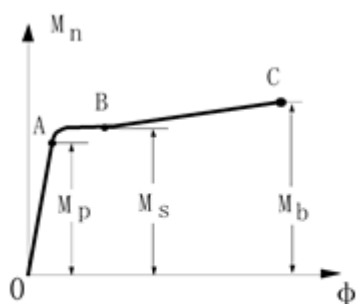


图 4-1 低碳钢试件扭转曲线

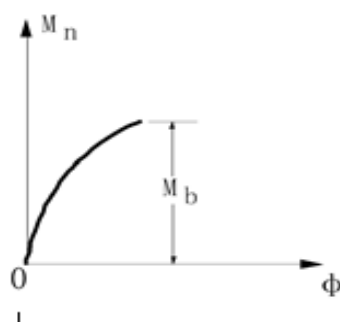


图 4-2 铸铁的扭转曲线

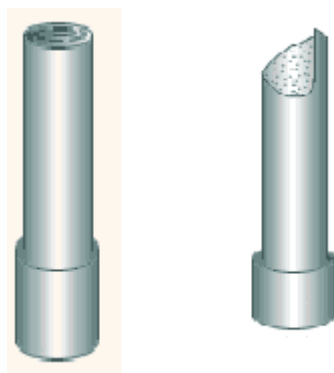


图 4-3 低碳钢和铸铁剪断后的形貌图

姓名：
学号：

班级：
实验日期：

实验五 梁的弯曲实验（单向应力测定）

一、实验目的

1. 了解电阻应变片的构造及工作原理；
2. 学习电测法的基本原理和方法，练习使用电阻应变仪
3. 测定纯弯梁横截面上的弯曲正应力分布，验证正应力计算公式的正确性；
4. 培养学生独立分析问题、解决问题的能力。

二、实验设备

多功能实验组合装置；YE2538A 程控静态电阻应变仪；TDLX—B 型力一位移测试仪。

三、实验原理及装置

1. 单向应力状态弹性体的虎克定律

纯弯段梁的单元体上只存在弯曲正应力，处于单向应力状态。因此只要测定纯弯段梁横截面上的正应变，即可利用弹性体单向虎克定律计算弯曲正应力：

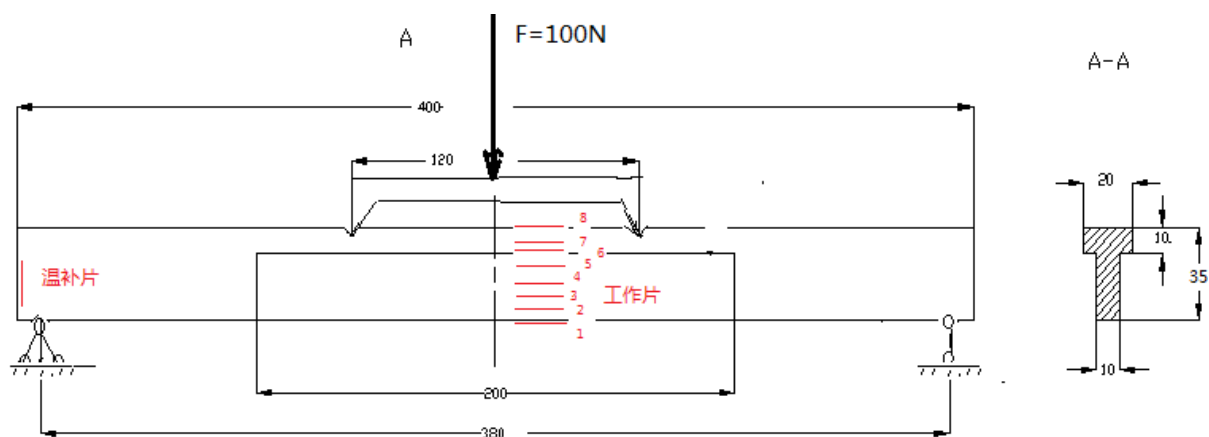
$$\sigma = E\varepsilon \quad (5-1)$$

纯弯梁横截面上的正应力理论计算公式为：

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_z} \quad (5-2)$$

式中 M 为截面上的弯矩， I_z 为横截面对中性轴 z 的惯矩， y 为欲求应力点至中性轴的距离。

2. 实验装置图



四、实验方案设计：

表 1 . 弯曲梁材料属性

材质	弹性模量 E (GPa)	泊松比 μ	截面形式	截面高度 (mm)	梁长 (mm)	支座类型
LY12	71	0.36	T 型	35	380	简支梁

表 2. 弯曲梁的加荷方案

初荷载 P_0 (N)	每级荷载增量 ΔP (N)	晋级次数	总荷载 (N)
100	100	4	500

五、数据记录

表 3 应变片读数记录表（单位： $\mu \varepsilon$ ） 第_____号设备

应变片 荷载 (N)	应变片 1		应变片 2		应变片 3		应变片 4		应变片 5		应变片 6		应变片 7		应变片 8	
	应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量	应变仪 读数	增量
$P_0 = 100$																
$P_1 = 200$																
$P_2 = 300$																
$P_3 = 400$																
$P_4 = 500$																
平均应变 增量 $\Delta \varepsilon_{\text{试验}}^i$																

六、数据处理

1. ΔP 作用下的实测应力: $\Delta\sigma_{\text{试验}}^i = E\Delta\varepsilon_{\text{试验}}^i$, 其中 $\Delta\varepsilon_{\text{试验}}^i$ 为各测点的平均应变增量,;

2. ΔP 作用下的理论应力: $\Delta\sigma_{\text{理论}}^i = \frac{\Delta M \cdot y_i}{I_z}$;

3. 上标和下标 $i=1\sim 8$, 分别对应应变片 $1\sim 8$

4. 误差: $\frac{\Delta\sigma_{\text{试验}}^i - \Delta\sigma_{\text{理论}}^i}{\Delta\sigma_{\text{理论}}^i} \times 100\%$

表 4 截面增量应力计算表 (应力单位: MPa)

应变片 编号	测点位置 y_i (mm)	平均应变增量 $\Delta\varepsilon_{\text{试验}}^i$	实测应力增量 $\Delta\sigma_{\text{试验}}^i = E\Delta\varepsilon_{\text{试验}}^i$	理论应力增量 $\Delta\sigma_{\text{理论}}^i = \Delta M \cdot y_i / I_z$	误差 (%)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

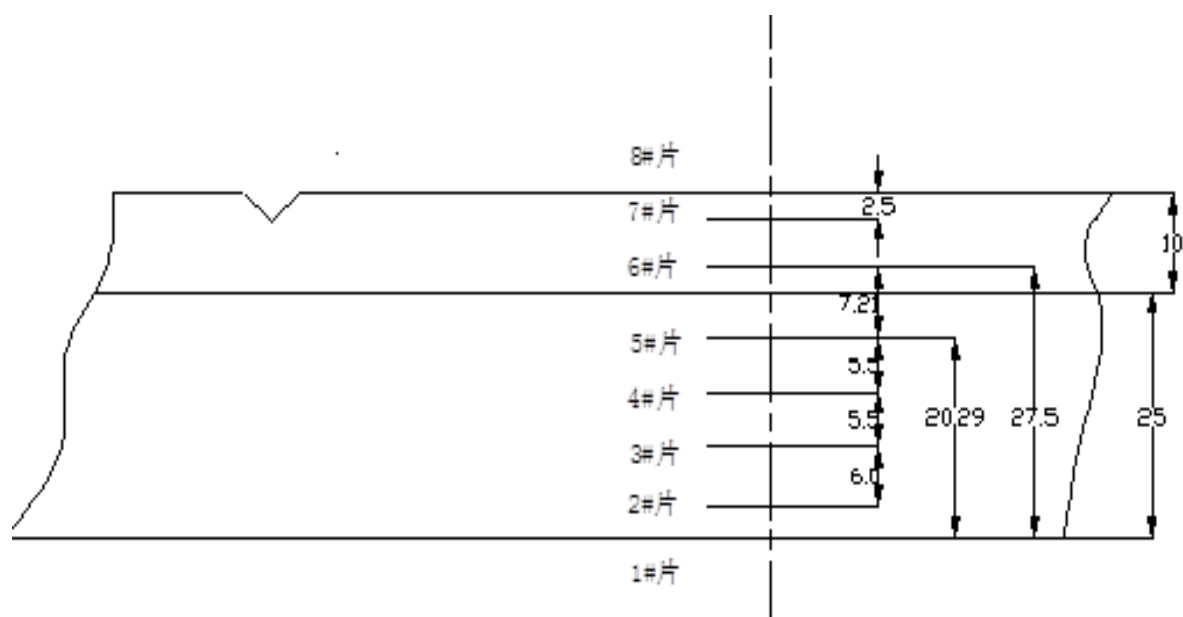
计算过程

- 1) 等弯段的弯矩增量 ΔM
- 2) 横截面对中性轴的惯性矩 I_z
- 3) 中性轴的位置 y_c

此页内容不用写到实验报告上

七、 注意事项

1. 移动加载架前要确认压杆（压头）位于较高的位置；
2. 不能触摸应变片和拉扯导线，以免造成应变片的损坏。
3. 在加载过程中要始终注意载荷读值不要超过最大载荷 P_{\max}
4. 实验完成后立即卸载，卸载前一定要确认手轮方向正确
5. 应变仪按回车键,使应变仪处于待机状态。



弯曲梁贴片（待测点）位置图

实验六 弯扭组合变形

一、实验目的

- 1. 学习用电测法测定平面应力状态下的主应力大小和方向；
- 2. 学习用电测法测定弯扭组合变形薄壁圆筒杆件中的弯矩、扭矩分量；
- 3. 进一步熟悉电阻应变仪的使用。

二、实验设备

多功能组合实验装置；力---位移测量仪；YE2538A 型程控静态电阻应变仪。

三、实验装置及实验方法

1. 实验装置

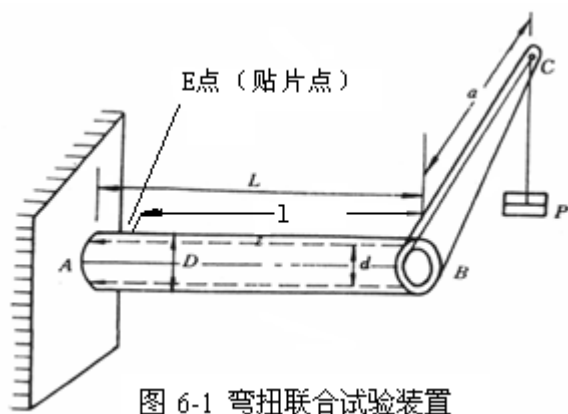
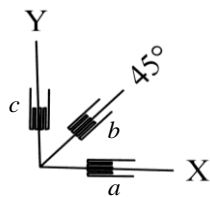


图 6-1 弯扭联合试验装置



45 度应变花

图 6-2 应变片粘贴方位

2. 画出E点的弯矩图、扭矩图及单元体的受力图

3. 试样的材料属性及尺寸

表1 试样的材料属性及相关数据

名称	弹性模量E	泊松比μ	外径D (mm)	内径d (mm)	圆筒总长L (mm)	测点距离l (mm)	加力臂长a (mm)	抗弯截面系数	抗扭截面系数
数值	74GPa	0.33	40	34	277	220	200	$\frac{\pi D^3}{32}(1-\alpha^4)$	$\frac{\pi D^3}{16}(1-\alpha^4)$

4. 表 2 加荷方案

初荷载 P_0 (N)	每级荷载增量 ΔP (N)	晋级次数	总荷载 (N)
50	50	4	250

四、数据的记录

表 3 应变片 a, b, c 读数记录表 (单位: $\mu \varepsilon$) 第_____号设备

应变片 荷载 P_i (N)	$a (\varepsilon_x)$			$b (\varepsilon_{45^\circ})$			$c (\varepsilon_y)$		
	应变仪 读数 ε_x^i	实际应变 $\varepsilon_x^i - \varepsilon_x^0$	增量 $\Delta \varepsilon_x$	应变仪 读数 $\varepsilon_{45^\circ}^i$	实际应变 $\varepsilon_{45^\circ}^i - \varepsilon_{45^\circ}^0$	增量 $\Delta \varepsilon_{45^\circ}$	应变仪 读数 ε_y^i	实际应变 $\varepsilon_y^i - \varepsilon_y^0$	增量 $\Delta \varepsilon_y$
$P_0 = 50$									
$P_1 = 100$									
$P_2 = 150$									
$P_3 = 200$									
$P_4 = 250$									

五、数据的处理

表 4 主应力及主方向角计算统计表 (计算法见附录 1)

参 量 \ 荷 载 (N)		$P_1 - P_0$	$P_2 - P_0$	$P_3 - P_0$	$P_4 - P_0$
实测 应变 值	$\varepsilon_x^i - \varepsilon_x^0$ (a 片)				
	$\varepsilon_y^i - \varepsilon_y^0$ (c 片)				
	$\varepsilon_{45^\circ}^i - \varepsilon_{45^\circ}^0$ (b 片)				
理论 σ (式(6-2))					
理论 τ (式(6-3))					
主应力 σ_1	实验值 (式(6-14))				
	理论值 (式(6-18))				
	相对误差				

主应力 σ_2	实验值 (式(6-14))				
	理论值 (式(6-18))				
	相对误差				
主方向 α_0	实验值 (式(6-15))				
	理论值 (式(6-19))				
	相对误差				

附录 1：弯扭组合实验所涉及的理论计算公式

(不用写到实验报告上)

1.按第四强度理论，对于弯扭组合状态下的单元体，应有

$$\sigma_{r4} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \quad (6-1)$$

$$\sigma = \frac{M}{W_b} = \frac{Pl}{W_b}, \quad W_b = \frac{\pi D^3}{32}(1-\alpha^4), \quad \alpha = \frac{d}{D} \quad (6-2)$$

$$\tau = \frac{T}{W_t} = \frac{Pa}{W_t}, \quad W_t = \frac{\pi D^3}{16}(1-\alpha^4), \quad \alpha = \frac{d}{D} \quad (6-3)$$

2. 根据直角应变花所测应变求主应力（测量值）

平面应力状态下弹性虎克定律为：

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y) \quad (6-4)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x) \quad (6-5)$$

由(6-4)、(6-5)式可知：

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y) \quad (6-6)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x) \quad (6-7)$$

α 斜截面的正应力：

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos(2\alpha) - \tau_{xy} \sin(2\alpha) \quad (6-8)$$

故

$$\sigma_{45^\circ} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \tau_{xy}; \quad \sigma_{135^\circ} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \tau_{xy} \quad (6-9)$$

即

$$\varepsilon_{45^\circ} = \frac{1}{E}(\sigma_{45^\circ} - \mu\sigma_{135^\circ}) = \frac{1}{E} \left[\frac{1-\mu}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - (1+\mu)\tau_{xy} \right] \quad (6-10)$$

将式(6-6)和式(6-7)代入式(6-10)，变换后可得：

$$\tau_{xy} = -\frac{E}{2(1+\mu)}\gamma_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)}(\varepsilon_x + \varepsilon_y - 2\varepsilon_{45^\circ}) \quad (6-11)$$

主应力大小和方向计算公式为：

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{matrix} \right\} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (6-12)$$

$$\tan(2\alpha_0) = \frac{-2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (6-13)$$

将式(6-6), (6-7), (6-11)代入式(6-12)和式(6-13), 可得到直接由 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{45^\circ}$ 计算主应力大小和方向的公式:

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{matrix} \right\} = \frac{E(\varepsilon_x + \varepsilon_y)}{2(1-\mu)} \pm \frac{E}{2(1+\mu)} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_x + \varepsilon_y - 2\varepsilon_{45^\circ})^2} \quad (6-14)$$

$$\tan(2\alpha_0) = \frac{2\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_x - \varepsilon_y}{\varepsilon_x - \varepsilon_y} \quad (6-15)$$

式中 α_0 为主应力 σ_1 与 x 轴方向的夹角, 以逆时针方向为正。需要注意的是, 公式(6-14)和(6-15)只适用于 45° 应变花测量平面应力状态下主应力大小和方向的情况。

3. σ_1, σ_2 和 α_0 的理论值分别按式(6-18)和式(6-19)计算:

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{matrix} \right\} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (6-18)$$

$$\tan(2\alpha_0) = -\frac{2\tau}{\sigma} \quad (6-19)$$

式中 σ, τ 分别按式(6-2)和式(6-3)计算。

附录 2：力学实验相关的实验方法和原理

1. 电阻应变片的结构及原理

电阻应变片是在绝缘胶膜基底上制成的合金丝栅或箔栅构成的（见图 3-1）。应变片金属丝的电阻 R 为：

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3-6)$$

其中 ρ, L, A 分别为金属丝的电阻率、长度和截面积。

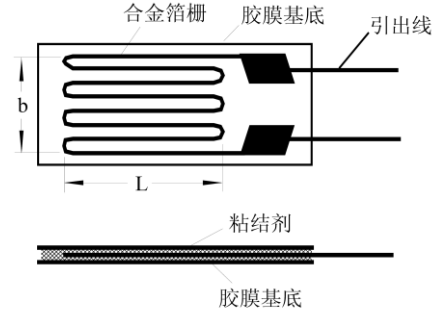


图 3-1 应变片的构造

由物理学中的电阻应变效应可知，当构件受荷后，若应变片所在位置产生应变，则应变片金属丝的电阻值也将随之发生变化。为了获得电阻变化率 $\frac{dR}{R}$ 与应变变化 $\frac{dL}{L}$ 之间的关系，对式 (3-6) 两端先取自然对数然后进行微分操作可得：

$$\ln R = \ln \rho + \ln L - \ln A \quad (3-7)$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A} \quad (3-8)$$

式中 $\frac{dL}{L}$ 为纵向线应变， $\frac{dA}{A}$ 表示金属丝长度变化时，由于横向效应而引起的截面的相对改变。对于直径为 D 的圆截面金属丝有：

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \quad \text{即} \quad \frac{dA}{A} = 2 \frac{dD}{D} \quad (3-9)$$

根据纵向应变 $\frac{dL}{L}$ 与横向应变 $\frac{dD}{D}$ 之间的关系：

$$\frac{dD}{D} = -\mu \frac{dL}{L} \quad (3-10)$$

$$\text{可得} \quad \frac{dA}{A} = -2\mu \frac{dL}{L} \quad (3-11)$$

式中 μ 为金属丝材料的泊松比。

$d\rho/\rho$ 表示金属丝电阻率的相对变化。目前与实验结果较为相符的解释认为，金属丝电阻率的变化率与其体积变化率 $\frac{dV}{V}$ 呈线性关系，即

$$\frac{d\rho}{\rho} = c \frac{dV}{V} \quad (3-12)$$

式中 c 为与金属丝材料及其加工方法有关的常数。由材料力学知，在单向应力状态下有：

$$\frac{dV}{V} = (1 - 2\mu) \frac{dL}{L} \quad (3-13)$$

因而

$$\frac{d\rho}{\rho} = c(1 - 2\mu) \frac{dL}{L} \quad (3-14)$$

将式(4-11)和式(4-8)代入式(4-5)，可得

$$\frac{dR}{R} = [(1 + 2\mu) + c(1 - 2\mu)] \frac{dL}{L} \quad (3-15)$$

将式(4-12)右端中括号内的常数记为 K ，并称之为应变片的灵敏系数。则

$$\frac{dR}{R} = K \frac{dL}{L} = K\varepsilon \quad (3-16)$$

2. 电阻应变仪的测量原理

电阻应变仪是测量应变的专用仪器，由二个惠斯登电桥组成的，一个叫测量桥，另一个叫读数桥（如图 3-2 所示）。

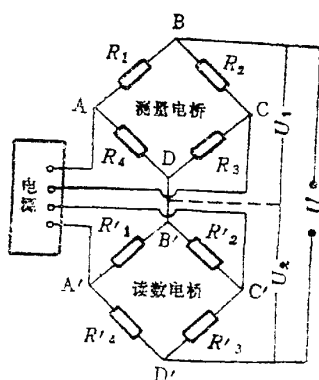


图 3-2 应变仪桥路图

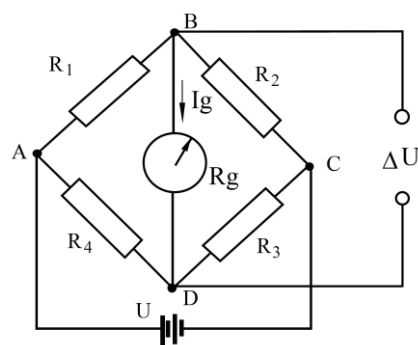


图 3-3 惠斯登电桥

现将测量桥桥路的工作原理简述如下。在图 3-3 中，当在 A、C 间接上电压为 U_{AC} 的电源时，则 B、D 间的输出电压为：

$$U_{BD} = U_{AB} - U_{AD} = I_{12}R_1 - I_{34}R_4 \quad (3-17)$$

式中 U_{AB} 、 U_{AD} 分别为 A、B 间和 A、D 间的电位差。 I_{12} 和 I_{34} 分别为通过 ABC 和 ADC 回路的电流。由于

$$I_{12} = \frac{U_{AC}}{R_1 + R_2}, \quad I_{34} = \frac{U_{AC}}{R_3 + R_4} \quad (3-18)$$

$$\text{故} \quad U_{BD} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \cdot U_{AC} \quad (3-19)$$

电桥处于平衡时，B、D 间的输出电压为零，即 $U_{BD} = 0$ ，代入 (3-19) 式得

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (3-20)$$

该式即为电桥平衡的条件。

现在假定四个桥臂电阻都是外接的应变片（即全桥接法），且已预先调至初始平衡状态。当应变片产生应变后，设各桥臂分别产生了微小的电阻增量 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 和 ΔR_4 ，由 (3-19) 式可知此时测量桥的输出电压为：

$$U_{BD} = \frac{X}{Y} U_{AC} \quad (3-21)$$

$$\text{式中：} \quad X = (R_1 + \Delta R_1)(R_3 + \Delta R_3) - (R_2 + \Delta R_2)(R_4 + \Delta R_4) \quad (3-21a)$$

$$Y = (R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2)(R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4) \quad (3-21b)$$

展开式 (3-21)，利用式 (3-20) 并略去 ΔR_i 的高次项，同时考虑到在一般应变范围内，输出电压和电阻变化率的非线性误差较小，略去非线性项，式 (3-21) 可化简为：

$$U_{BD} = \frac{U_{AC}}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \quad (3-22)$$

利用 (3-16) 式，式 (3-22) 可表达为：

$$U_{BD} = \frac{KU_{AC}}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (3-23)$$

式中 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ 为构件在四个应变片粘贴处的应变值。

式 (3-23) 是电阻应变仪的基本关系式。它表明各桥臂电阻的相对增量（或应变 ε ）对电桥输出电压的影响是线性迭加的，但迭加的方式是，相邻桥臂符号相异，相对桥臂符号相同。测量桥输出的不平衡电压 U_{BD} 经放大后，将驱动指示仪表的指针偏转。此时如果调节读数桥，即改变可调电位器 R_1' 与 R_2' 或 R_3' 与 R_4' 的旋钮位置，使它输出一个与 U_{BD} 大小相等、方向相反的不平衡电压 U_{BD}' ，就可以使总的输出电压为零，指示仪表的指针将重新回到零点。如果读数桥上的 R_1' 与 R_2' 、 R_3' 与 R_4' 的旋钮刻度盘按一定比例刻度，就可由刻度盘上的读数直接测出测量桥上应变片的应变值，这种测量方法叫做零读数法。

附录 3、电阻应变仪的操作步骤

预备工作(必须满足的两个条件):

- ① 通过键盘选择一个使用的工作桥处于工作状态
- ② 应变仪处于待机状态.

(1)按“R” 键,输入电阻应变片的电阻值,按回车确认

(2)按“K” 键,输入电阻应变片的灵敏系数,按回车确认

(3) 按“BRI” 键(bridge),选择桥路(0—全桥,1—半桥,2—1/4 桥、补偿 1,3—1/4 桥、补偿 2),按回车确认(测 E、 μ 和梁的弯曲实验用 1/4 桥、补偿 1,选数字 2,弯扭组合实验用 1/4 桥、补偿 2,选数字 3)

(4)按“BAL” 键(balance),做各测点的平衡,按回车确认

(5) 按“测量” 键(最右下角的键),准备加载荷测量。