

薄壁圆管弯扭组合变形应变测定实验

1600011001 张谦

一、实验目的

1. 用电测法测定平面应力状态下主应力的方向及大小；
2. 测定薄壁圆管再弯扭组合变形作用下，分别由弯矩、剪力和扭矩所引起的应力。

二、实验设备和仪器

1. 薄壁圆管弯扭组合实验装置
2. YJ-4501A 静态数字电阻应变仪

三、实验原理

弯扭组合实验装置如图 1 所示。它由薄壁圆管 1（已贴好应变片），扇臂 2，钢索 3，传感器 4，加载手轮 5，座体 6，数字测力仪 7 等组成，如图 1 所示。试验时，逆时针转动加载手轮，传感器受力，将信号传给数字测力仪，此时，数字测力仪显示的数字即为作用在扇臂顶端的载荷值，扇臂顶端作用力传递至薄壁圆管上，薄壁圆管产生弯扭组合变形。

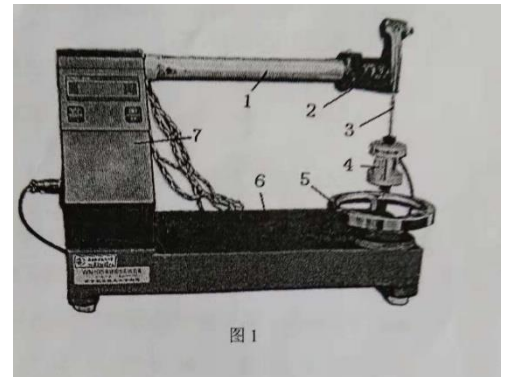


图 1

薄壁圆管材料为铝合金，其弹性模量 E 为 70Gpa，泊松比 μ 为 0.33。

薄壁圆管界面尺寸、受力简图如图 2 所示，I-I 截面为被测试截面，由材料力学可知，该截面上的内力有弯矩、剪力和扭矩

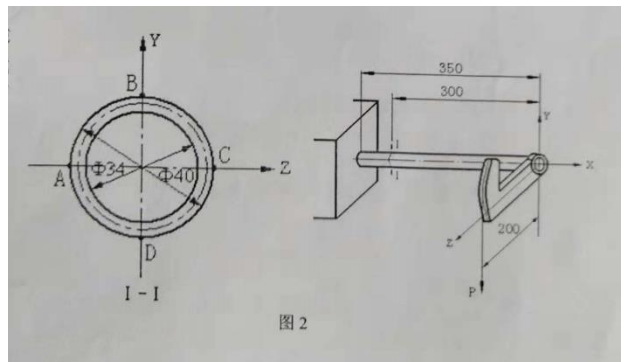


图 2

取 I-I 截面的 A、B、C、D 四个被测点，其应力状态如图 3 所示。每点处按 -45° 、 0° 、 $+45^\circ$ 方向粘贴一枚三个方向 45° 应变花，如图 4 所示。

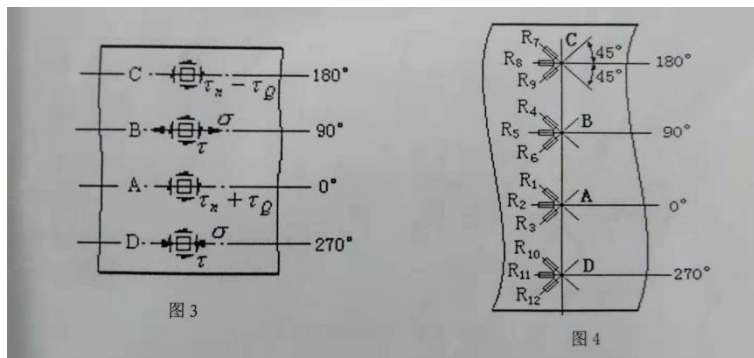


图 3

图 4

四、实验内容及方法

1. 指定点的主应力大小和方向的测定

受弯扭组合变形作用的薄壁圆管其表面各点处于平面应力状态，用应变花测出三个方向的线应变，然后运用应变-应力换算关系求出

主应力的方向和大小。由于实验用的是 45° 应变花，若测得应变 ϵ_{-45° 、 ϵ_{0° 、 ϵ_{45° ，则主应力大小的计算公式为：

$$\sigma_1, \sigma_3 = \frac{E}{1-\mu^2} \left[\frac{1+\mu}{2} (\epsilon_{-45^\circ} + \epsilon_{45^\circ}) \pm \frac{1-\mu}{\sqrt{2}} \sqrt{(\epsilon_{-45^\circ} - \epsilon_{0^\circ})^2 + (\epsilon_{0^\circ} - \epsilon_{45^\circ})^2} \right]$$

主应力方向：

$$\tan 2\alpha = \frac{\epsilon_{45^\circ} - \epsilon_{-45^\circ}}{(\epsilon_{0^\circ} - \epsilon_{-45^\circ}) - (\epsilon_{45^\circ} - \epsilon_{0^\circ})}$$

2. 弯矩、剪力、扭矩分别引起的应力的测定

a. 弯矩 M 引起的正应力的测定

用 B、D 两被测点 0° 方向的应变片组成图 5 (a) 所示半桥线路，可测得弯矩 M 引起的正应变 $\epsilon_M = \frac{\epsilon_{Md}}{2}$ 。

由胡克定律可求得弯矩 M 引起的正应力

$$\sigma_M = E \epsilon_M = \frac{E \epsilon_{Md}}{2}$$

b. 扭矩 M_n 引起的切应力的测定

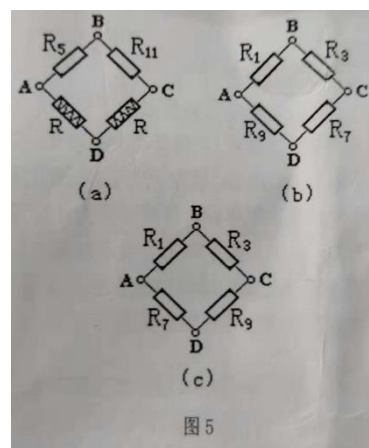
用 A、C 两被测点 -45° 、 45° 方向的应变片组成图 5 (b) 所示全桥路线，可测得扭矩 M_n 在 45° 方向所引起的应变为 $\epsilon_n = \frac{\epsilon_{nd}}{2}$ 。由广义胡克定律可求得剪力 M_n 引起的

$$\text{切应力 } \tau_n = \frac{E \epsilon_{nd}}{4(1+\mu)} = \frac{G \epsilon_{nd}}{2}$$

c. 剪力 Q 引起的切应力的测定

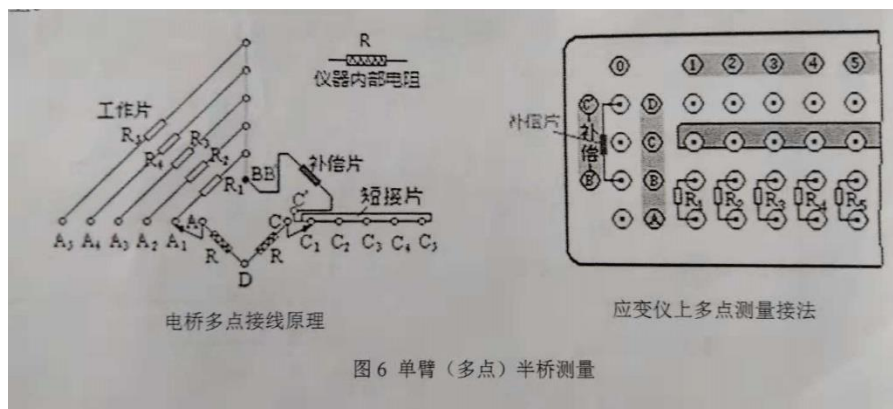
用 A、C 两点 -45° 、 45° 方向的应变片组成图 5 (c) 所示全桥路线，可测得剪力 Q 在 45° 方向所引起的应变 $\epsilon_Q = \frac{\epsilon_{Qd}}{4}$ 。

$$\text{由广义胡克定律可求得剪力 Q 引起的切应力 } \tau_Q = \frac{E \epsilon_{Qd}}{4(1+\mu)} = \frac{G \epsilon_{Qd}}{2}$$



五、 实验步骤

1. 将传感器与测力仪连接，接通测力仪电源，将测力仪开关置开。
2. 将薄壁圆管上 A、B、C、D 各点的应变片按单臂（多点）半桥测量接线方法（图 6）接至应变仪测量通道上。



3. 逆时针旋转手轮，预加 50N 初始载荷，将应变仪各测量通道置零。
4. 分级加载，每级 100N，加至 450N，记录各级载荷作用下应变片的读书应变。
5. 卸去载荷。
6. 将薄壁圆管上 B、D 两点 0° 方向的应变片按图 5(a) 半桥测量接线方法接至应变仪测量通道上，重复 3、4、5。
7. 将薄壁圆管上 A、C 两点 -45° 、 45° 方向的应变片按图 5(b) 全桥测量接线方法接至应变仪测量通道上，重复步骤 3、4、5。
8. 将薄壁圆管上 A、C 两点 -45° 、 45° 方向的应变片按图 5(c) 全桥测量接线方法接至应变仪测量通道上，重复步骤 3、4、5。

六、 实验结果的处理

1. 基本数据

材料常数：弹性模量 $E=70\text{GPa}$ 泊松比 $\mu=0.33$

装置尺寸：圆筒外径 $D=39\text{mm}$ 圆筒内径 $d=34\text{mm}$

加载臂长 $h=200\text{mm}$ 测点位置 $L=300\text{mm}$ $F=\Delta P=100\text{N}$

2. 实验数据与计算处理

表 1

读数应变		A						B					
		$-45^\circ(R1)$		$0^\circ(R2)$		$45^\circ(R3)$		$-45^\circ(R4)$		$0^\circ(R5)$		$45^\circ(R6)$	
载荷	$\Delta P(N)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$
50		0		0		0		0		0		0	
100	100		75		-2		-74		106		138		-13
150		75		-2		-74		106		138		-13	
200	100		75		2		-73		103		86		-14
250		150		0		-147		209		224		-27	
300	100		76		-2		-73		105		188		-14
350		226		-2		-220		314		412		-41	
400	100		73		4		-71		102		136		-15
450		299		2		-291		416		548		-56	
50		2		-3		0		2		3		2	
$\Delta\epsilon_{\text{均}}(\mu\epsilon)$		74.75		0.5		-72.75		104		137		-14	

读数应变		C						D					
		$-45^\circ(R7)$		$0^\circ(R8)$		$45^\circ(R9)$		$-45^\circ(R10)$		$0^\circ(R11)$		$45^\circ(R12)$	
载荷	$\Delta P(N)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$	$\epsilon(\mu\epsilon)$	$\Delta\epsilon(\mu\epsilon)$
50		1		0		0		0		1		0	
100	100		47		3		-45		15		-136		-104
150		48		3		-45		15		-135		-104	
200	100		48		2		-44		15		-133		-104
250		96		5		-89		30		-268		-208	
300	100		47		3		-45		15		-136		-106
350		143		8		-134		45		-404		-314	
400	100		47		2		-43		14		-134		-104
450		190		10		-177		59		-538		-418	
50		2		3		0		1		3		2	
$\Delta\epsilon_{\text{均}}(\mu\epsilon)$		47.25		2.5		-44.25		14.75		-134.75		-104.5	

表 2

应变度数		弯矩M		扭矩M _n		剪力Q	
载荷							
P(N)	ΔP(N)	ε _{Md} (με)	Δε _{Md} (με)	ε _{nd} (με)	Δε _{nd} (με)	ε _Q (με)	Δε _Q (με)
50		0		0		0	
	100		268		240		55
150		268		240		55	
	100		274		240		55
250		542		480		110	
	100		267		240		56
350		809		720		166	
	100		273		239		56
450		1082		959		222	
50		-2		0		-1	
Δε均(με)		270.5		239.75		55.5	
应力σ(MPa)		σ _M	9.47	τ _n	3.15	τ _Q	0.73

表 3

被测点	A	B	C	D
主应力				
σ ₁ (MPa)	3.99	10.45	2.57	0.99
σ ₃ (MPa)	-3.78	-1.05	-2.25	-10.37
Φ ₀	44.62	-16.34	-44.37	16.78

七、 误差分析

1. 加载过程中当加载荷较大时，读数时由于试件有弹性，试件会自发扭转减少载荷，造成读数不精确
2. 仪器零漂现象比较明显，且应变片外接线的 Y 形金属片变形严重且有生锈迹象，可能导致接触不良读数不准确

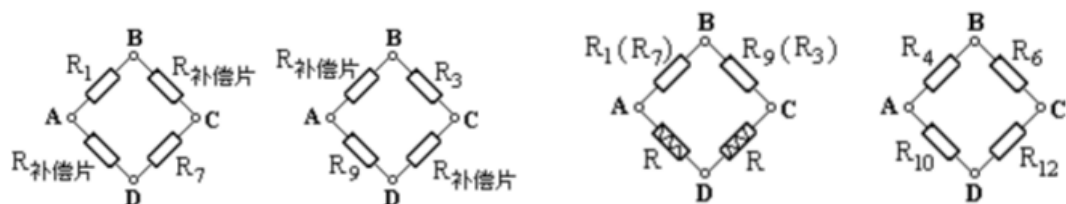
八、 思考题

1. 测定由弯矩、剪力、扭矩所引起的应变，还有哪些接线方法？测量精度分别有何影响？请画出测量点桥的接法。
 - 1) 测定由弯矩引起的应变，还可以用 R₅ 或 R₁₁ 与补偿片组成单臂半桥，如下图。



这种方法由于加入了补偿片，测量结果容易受到应变片粘贴位置、角度的影响，精度下降，灵敏度下降。

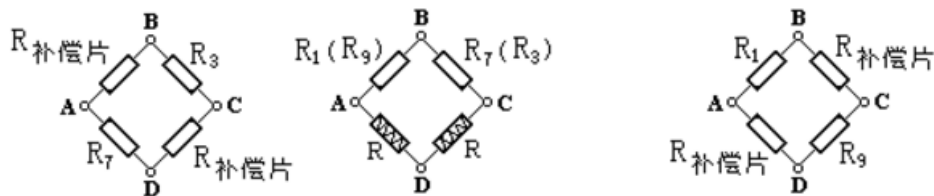
- 2) 测定由剪力引起的应变，还可以用 R₁、R₇ 与补偿片或 R₃、R₉ 与补偿



片、或 $R_1(R_7)$ 、 $R_9(R_3)$ 构成半桥电路，或者 R_4 、 R_6 、 R_{10} 、 R_{12} 构成全桥电路，如上图

前两种加入了补偿片，测量结果容易受到应变片粘贴位置、角度的影响，精度下降，灵敏度下降；第三种方法采样点减少，灵敏度降低；第四种方法和原方法精度一样

- 3) 测定由扭矩所引起的应变，还可以用 R_1 、 R_9 与补偿片或 R_3 、 R_7 与补偿片构成全桥电路或者 $R_1(R_9)$ 、 $R_7(R_3)$ 构成半桥电路，如下图。



第一种、第三种加了补偿片，类似(1)，(2)会导致精度下降、灵敏度下降；第二种采样点减少，灵敏度降低

2. 本实验中能否用二向 45° 应变花替代三向 45° 应变花来确定主应力的方向和大小？为什么？

A, C 点可以，B, D 点不可以。理论上 A, C 两点的主应力方向已知，只要求出主应力大小即可，而这个求解过程只需要两个未知数，用两个应变片就足够了。而 B, D 点不知道主应力的方向，需要额外一个应变片的数据来确定主应力方向的角度