

## 圆环式力传感器实验方案

### 一、 目标及简介



- (1) 确定力传感器的量程;
- (2) 确定力传感器的精度等级;
- (3) 确定力传感器的输出灵敏度。

### 二、 弹性元件几何尺寸和基本参数

弹性元件几何数据自测：内径  $d=39.2\text{mm}$ 、外径  $D=45\text{mm}$ 、厚度  $h=2.9\text{mm}$ 、宽度  $b=10\text{mm}$ ，材料为铝合金，屈服强度取  $435\text{MPa}$ ，弹性模量按  $70.0\text{GPa}$  计算。弹性元件的最大应力需低于许用应力，许用应力计算时安全系数要比一般的结构计算取得更大，一般在  $1.5\sim 3$  之间，这里取为 3。

### 三、 强度校核

薄壁圆环最大应力位于内壁中点。

$$\sigma_{\max} = \frac{1.91FD}{bh^2}$$

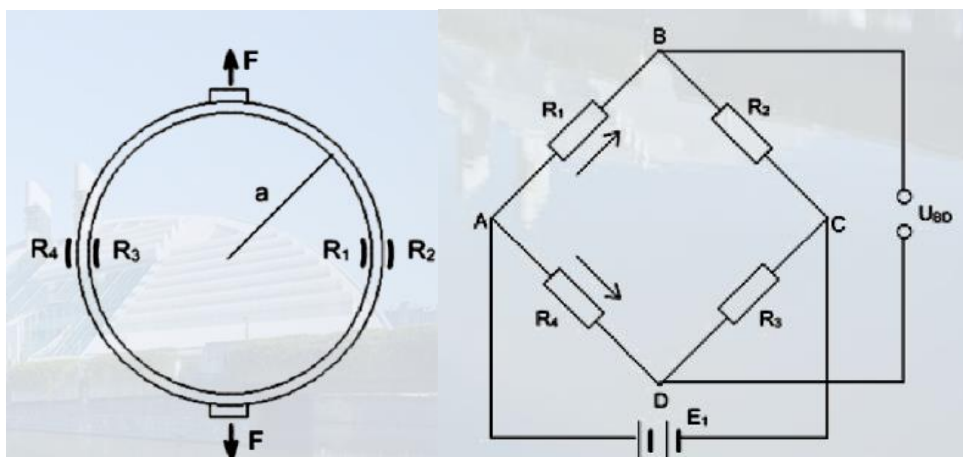
$$\sigma_{\min} = -\frac{1.09FD}{bh^2}$$

各参数代入，按过载安全系数要求进行强度校核有(长度及位移单位  $\text{mm}$ ，应力单位  $\text{MPa}$ ，下同)：

$$\sigma_{\max} < [\sigma] = \frac{\sigma_s}{3} = 145\text{MPa}$$

由此可确定圆环式力传感器的量程： $F < 141.88\text{N}$ 。

### 四、 确定贴片和组桥方案



传感器应变片应贴在应变敏感区，如圆环中点。但考虑到圣维南效应，贴片点应至少离开固定端  $2h$  距离。传感器应变片布置：在圆环内、外壁中点各贴 1 片纵向应变片 ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ )，对称位置贴纵向应变片 ( $\varepsilon_3, \varepsilon_4$ ) 用于温度补偿，贴片方案如上图左。显然内侧的两片大小、符号相同，外侧两片大小、符号相同，内外符号相反，温度效应、非线性效应等可认为相等。根据惠斯登电桥加减特性，按上图右组桥（全桥电路），可自动消除温度和非线性效应，并将输出灵敏度提高 4 倍。

## 五、 灵敏度系数

对贴片截面，将相应参数代入前面公式，则此传感器所受最大载荷即圆环式力传感器满量程时单个应变片的输出为：

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = \frac{\sigma_{min}}{E} = -1182 (\mu\varepsilon)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_4 = \frac{\sigma_{max}}{E} = 2071 (\mu\varepsilon)$$

全桥输出为：

$$\varepsilon_r = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 = -6506 (\mu\varepsilon)$$

因而灵敏度系数为（应变片  $k$  取为 2）：

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4} k \varepsilon_r = \frac{1}{4} k (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) = 3.25 (mv/v)$$

## 六、 制作

待补充，需含贴片，接线，组桥以及仪表选择等任务书里要求的内容，以及任何你觉得需说明的内容，应以适当的图表照片辅助说明。

## 七、 标定

连接应变仪并设灵敏度系数为 2.0，接全桥，利用圆环式力传感器给定标准载荷，预加载 3 次后测定  $F-\varepsilon$  关系，测三次取其平均，所得点线性拟合得到：

$$F = C\varepsilon + a$$

其中  $C$  即为标定系数。

## 八、 确定引伸计输出灵敏度系数

测得最大量程时的应变值  $\varepsilon_{max}$ ，则引伸计实际灵敏度系数应为

$$K\varepsilon_{max}/4 (mv/v)$$

其中， $K$  为应变片灵敏度系数。

## 九、 确定精度等级和有效量程

将应变仪灵敏度系数值设为  $2/C$ ，则应变仪显示值就是圆环式力传感器两端的力  $F$  的大小。在引伸计量程范围内取 5-10 个点设为  $F_{理}$ ，以应变仪测量这些点，得到相应的

$F_{测}$ ，则相对误差：

$$\delta = \frac{F_{测} - F_{理}}{F_{理}}$$

如将整个量程作为有效量程，则以整个量程范围内所取这些点的最大相对误差来确定精度等级。

## 十、 结论

对所设计的圆环式力传感器给出最终结论，含（有效）量程，精度等级以及灵敏度系数。