

目 录

1、单悬臂梁式简易电子称 .....2

2、圆环式力传感器 .....4

3、引伸计.....6

4、圆筒式压力传感器 .....8

5、轮辐式力传感器 .....10

6、双孔梁力传感器 .....12

7、S 形力传感器.....14

8、圆筒式拉力传感器 .....16

9、扭矩传感器.....18

10、拉伸拓展：规定塑性延伸强度.....20

11、拉伸拓展：复合材料力学性能.....21

12、拉伸拓展：偏心拉伸 .....22

13、弯曲拓展：预应力提高结构承载能力 .....23

14、弯曲拓展：胶接叠合梁 .....25

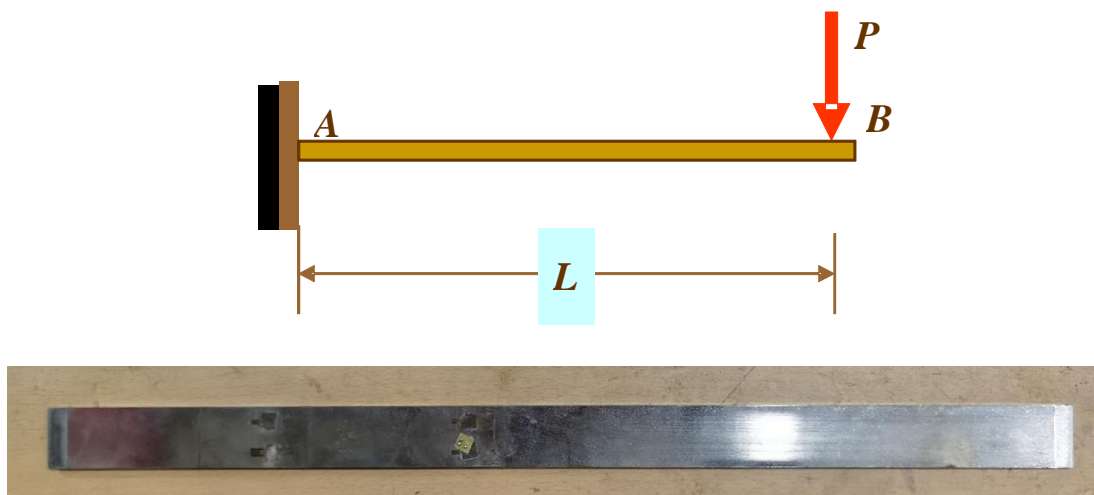
15、弯曲拓展：等边角铝惯性矩及斜弯曲 .....26

16、弯曲拓展：不等边薄壁角钢拉弯组合 .....27

## 1、单悬臂梁式简易电子称

### 任务书

本实验主要任务是在学习理论力学和材料力学课程以后,运用其知识设计制作可实际使用的具有一定精度的计量器具,一种简易电子秤:其本质就是一个应变片式传感器,一种被广泛应用于工业生产和日常生活中,如各种重量衡、汽车工业领域、结构健康检测、航空航天领域以及自动化、人工智能和机器人领域等之中的传感器。应变片式传感器具有结构简单重量轻、使用方便、价格低廉且高精度、高分辨率、稳定可靠、适应各种复杂环境等特点,一般由弹性元件和应变片组成。根据电阻应变效应以及力学的相关理论和实验技术,在该区域选择合适的位置和方向粘贴应变片并组成全桥电路,即可测出力、位移等各种力学量。因此这是一个综合性训练的课题,涵盖弹性元件的机械设计、受力分析、强度校核以及电测、贴片技术、传感器技术与标定方法、误差分析等多个方面内容。



弹性元件如图,最终提交的任务目标:

- (1) 结果不受固定位置和挂载位置影响的悬臂梁式简易电子秤,并对弹性元件进行强度校核,确定量程;
- (2) 确定简易电子秤的精度等级和有效量程。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图表说明,以及对以下问题的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点):

- (1) 按材料力学理论知识对弹性元件进行受力分析,确定贴片接桥方案(如何避免圣维南效应),组桥时应按照加减法则使输出灵敏度最大;同时考虑最终结果会不会受到固定端位置、贴片位置、力作用点位置以及温度、非线性和偏心的影响?如需避免这些因素的影响应如何设计?
- (2) 应综合考虑桥压、接桥方式、桥臂应变片如有多片应采用串联还是并联、过桥电流应不超过

20mA 以及输出信号放大倍数和末端显示仪表的可接受电压范围（如采用表头显示）；

- (3) 对弹性元件进行强度校核并确定简易电子秤的量程；
- (4) 在设计量程最大值加载 2~3 次，然后正式采集测试数据（可选择量程的两个端点，中间再加 3-5 个点），确定电子秤的精度等级以及有效量程；
- (5) 分析实验数据，进行误差分析，给出结论。

注：弹性元件几何数据自测，材料为弹簧钢，屈服强度取 780MPa，弹性模量按 210.0GPa 计算。

论文以提供的论文首页作为封面，正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附：

可利用悬臂梁剪力以及应力计算公式：

$$Q = \frac{dM}{dX} \approx \frac{M_2 - M_1}{L_2 - L_1} ; \quad \sigma = \frac{M}{W} = E\varepsilon$$

建立质量与应变的关系。由电阻应变效应：

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

或者对于惠斯登四臂电桥

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4}K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

应变片式传感器的弹性元件在实际工作中是小变形，根据胡克定律可以通过应力、应变关系由载荷的大小确定应变，从而建立电桥电压输出和质量之间的**线性关系**，其中  $K$  为应变片的灵敏度系数。

运用材料力学强度理论校核其强度（**参考绪论课 ppt 最后的传感器设计概要**）：在满量程计量时，弹性元件的**最大应力**需低于许用应力，且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 1.5~3 之间（比如 2.5）。力传感器设计还应遵循选择应变敏感区的设计原则同时又应避免圣维南效应，一般在应变敏感区如应力集中或者最大应力点附近粘贴应变片，工作应变片常为四（或四的倍数）片，按照加减法则组成全桥。实验时电桥输出接入显示表头，通过标定，将你最后的作品定型为一台一定等级的等级电子秤。

## 2、圆环式力传感器

### 任务书

本实验主要任务是在学习理论力学和材料力学课程以后,运用其知识设计制作可实际使用的具有一定精度的计量器具,即应变片式传感器,一种被广泛应用于工业生产和日常生活中,如各种重量衡、汽车工业领域、结构健康检测、航空航天领域以及自动化、人工智能以及机器人领域等之中的传感器。应变片式传感器具有结构简单重量轻、使用方便、价格低廉且高精度、高分辨率、稳定可靠、适应各种复杂环境等特点,一般由弹性元件和应变片组成。根据电阻应变效应以及力学的相关理论和实验技术,在该区域选择合适的位置和方向粘贴应变片并组成全桥电路,即可测出力、力矩、位移等各种力学量。因此这是一个综合性训练的课题,涵盖弹性元件的机械设计、受力分析、强度校核以及电测、贴片技术、传感器技术与标定方法、误差分析等多个方面内容。



弹性元件如图,最终提交的任务目标:

- (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。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图表说明,以及对以下问题的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点):

- (6) 按材料力学理论知识对弹性元件进行受力分析,确定贴片接桥方案,组桥时应按照加减法则使输出灵敏度最大,同时考虑消除温度和非线性的影响;
- (7) 应综合考虑桥压、接桥方式、桥臂应变片如有多片应采用串联还是并联、过桥电流应不超过  $20mA$  以及输出信号放大倍数和末端显示仪表的可接受电压范围(如采用表头显示);
- (8) 对弹性元件进行强度校核并确定简易电子秤的量程;
- (9) 在设计量程最大值加载 2~3 次,然后正式采集测试数据(可选择量程的两个端点,中间再加 3-

5 个点), 确定电子秤的精度等级以及有效量程;

(10) 分析实验数据, 进行误差分析, 给出结论。

注: 弹性元件几何数据自测, 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。

论文以提供的论文首页作为封面, 正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附:

根据材料力学圆环对径受拉(压)部分内容可建立力与圆环最大应变之间的关系。由电阻应变效应:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

或者对于惠斯登四臂电桥

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4}K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

应变片式传感器的弹性元件在实际工作中是小变形, 根据胡克定律可以通过应力、应变关系由载荷的大小确定应变, 从而建立电桥电压输出和拉压力之间的**线性关系**, 其中  $K$  为应变片的灵敏度系数。

运用材料力学强度理论校核其强度 (**参考绪论课 ppt 最后的传感器设计概要**): 在满量程计量时, 弹性元件的**最大应力**需低于许用应力, 且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 (比如  $2.5$ )。力传感器设计还应遵循选择应变敏感区的设计原则同时又应避免圣维南效应, 一般在应变敏感区如应力集中或者最大应力点附近粘贴应变片, 工作应变片常为四 (或四的倍数) 片, 按照加减法则组成全桥。实验时电桥输出接入静态电阻应变仪或者显示表头, 通过标定, 将你最后的作品定型为一个一定等级的力传感器。



### 3、引伸计

#### 任务书

本实验主要任务是在学习理论力学和材料力学课程以后,运用其知识设计制作可实际使用的具有一定精度的计量器具,即应变片式传感器,一种被广泛应用于工业生产和日常生活中,如各种重量衡、汽车工业领域、结构健康检测、航空航天领域以及自动化、人工智能以及机器人领域等之中的传感器。应变片式传感器具有结构简单重量轻、使用方便、价格低廉且高精度、高分辨率、稳定可靠、适应各种复杂环境等特点,一般由弹性元件和应变片组成。根据电阻应变效应以及力学的相关理论和实验技术,在该区域选择合适的位置和方向粘贴应变片并组成全桥电路,即可测出力、力矩、位移等各种力学量。因此这是一个综合性训练的课题,涵盖弹性元件的机械设计、受力分析、强度校核以及电测、贴片技术、传感器技术与标定方法、误差分析等多个方面内容。



弹性元件如图,最终提交的任务目标:

- (4) 确定引伸计的量程;
- (5) 确定引伸计的精度等级;
- (6) 确定引伸计的输出灵敏度。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图表说明,以及对以下问题的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点):

- (11) 按材料力学理论知识对弹性元件进行受力分析,确定贴片接桥方案(是否存在圣维南效应以及如何避免),组桥时应按照加减法则使输出灵敏度最大,同时考虑消除温度和非线性的影响;
- (12) 应综合考虑桥压、接桥方式、桥臂应变片如有多片应采用串联还是并联、过桥电流应不超过  $20mA$  以及输出信号放大倍数和末端显示仪表的可接受电压范围(如采用表头显示);

- (13) 对弹性元件进行强度校核并确定引伸计的量程;
- (14) 在设计量程最大值加载 2~3 次, 然后正式采集测试数据(可选择量程的两个端点, 中间再加 3-5 个点), 确定引伸计的精度等级以及有效量程;
- (15) 分析实验数据, 进行误差分析, 给出结论。

注: 弹性元件几何数据自测, 材料为合金钢, 屈服强度取  $900\text{MPa}$ , 弹性模量按  $210.0\text{GPa}$  计算。

论文以提供的论文首页作为封面, 正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附:

根据材料力学悬臂梁受力变形知识可建立悬臂梁尖端挠度与某个截面应变之间的关系。由电阻应变效应:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

或者对于惠斯登四臂电桥

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4}K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

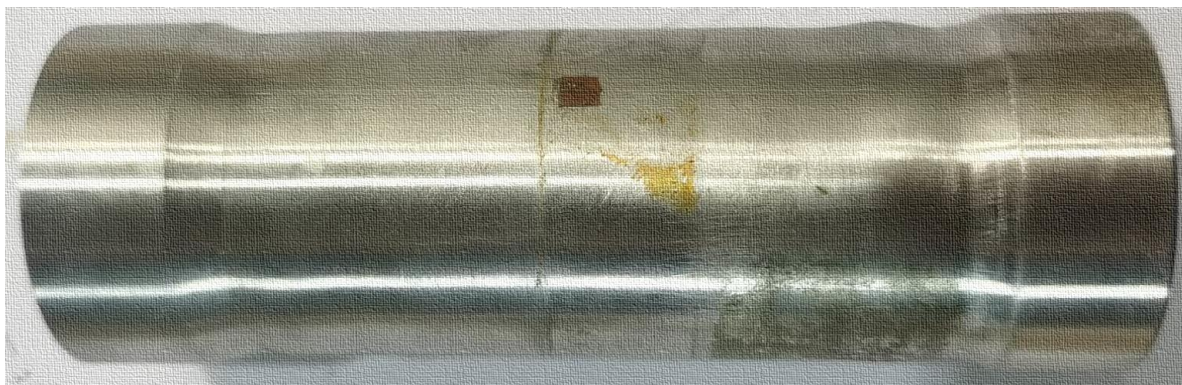
应变片式传感器的弹性元件在实际工作中是小变形, 根据胡克定律可以通过应力、应变关系由载荷的大小确定应变, 从而建立电桥电压输出和引伸计两个悬臂梁之间相对位移的**线性关系**, 其中  $K$  为应变片的灵敏度系数。

运用材料力学强度理论校核其强度 (**参考绪论课 ppt 最后的传感器设计概要**): 在满量程计量时, 弹性元件的**最大应力**需低于许用应力, 且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 1.5~3 之间 (比如 2.5)。力传感器设计还应遵循选择应变敏感区的设计原则同时又应避免圣维南效应, 一般在应变敏感区如应力集中或者最大应力点附近粘贴应变片, 工作应变片常为四 (或四的倍数) 片, 按照加减法则组成全桥。实验时电桥输出接入静态电阻应变仪或者显示表头, 通过标定, 将你最后的作品定型为一个一定等级的引伸计 (位移传感器)。

## 4、圆筒式压力传感器

### 任务书

本实验主要任务是在学习理论力学和材料力学课程以后,运用其知识设计制作可实际使用的具有一定精度的计量器具,即应变片式传感器,一种被广泛应用于工业生产和日常生活中,如各种重量衡、汽车工业领域、结构健康检测、航空航天领域以及自动化、人工智能以及机器人领域等之中的传感器。应变片式传感器具有结构简单重量轻、使用方便、价格低廉且高精度、高分辨率、稳定可靠、适应各种复杂环境等特点,一般由弹性元件和应变片组成。根据电阻应变效应以及力学的相关理论和实验技术,在该区域选择合适的位置和方向粘贴应变片并组成全桥电路,即可测出力、力矩、位移等各种力学量。因此这是一个综合性训练的课题,涵盖弹性元件的机械设计、受力分析、强度校核以及电测、贴片技术、传感器技术与标定方法、误差分析等多个方面内容。



弹性元件如图,最终提交的任务目标:

- (7) 确定圆筒式压力传感器的量程;
- (8) 确定圆筒式压力传感器的精度等级;
- (9) 确定圆筒式压力传感器的输出灵敏度。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图表说明,以及对以下问题的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点):

- (16) 按材料力学理论知识对弹性元件进行受力分析,确定贴片(是否存在圣维南效应以及如何避免?)  
接桥方案,组桥时应按照加减法则使输出灵敏度最大,同时应考虑消除温度和非线性的影响;
- (17) 应综合考虑桥压、接桥方式、桥臂应变片如有多片应采用串联还是并联、过桥电流应不超过  $20mA$  以及输出信号放大倍数和末端显示仪表的可接受电压范围(如采用表头显示);
- (18) 对弹性元件进行强度校核并确定圆筒式压力传感器的量程;
- (19) 在设计量程最大值加载 2~3 次,然后正式采集测试数据(可选择量程的两个端点,中间再加 3-



5 个点), 确定圆筒式压力传感器的精度等级以及有效量程;

(20) 分析实验数据, 进行误差分析, 给出结论。

注: 弹性元件几何数据自测, 材料为合金钢, 屈服强度取  $780\text{MPa}$ , 弹性模量按  $210.0\text{GPa}$  计算。

论文以提供的论文首页作为封面, 正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附:

根据薄壁圆筒受力变形知识可建立压力与某个截面应变之间的关系。由电阻应变效应:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

或者对于惠斯登四臂电桥

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4}K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

应变片式传感器的弹性元件在实际工作中是小变形, 根据胡克定律可以通过应力、应变关系由载荷的大小确定应变, 从而建立电桥电压输出和圆筒所受压力之间的**线性关系**, 其中  $K$  为应变片的灵敏度系数。

运用材料力学强度理论校核其强度 (**参考绪论课 ppt 最后的传感器设计概要**): 在满量程计量时, 弹性元件的**最大应力**需低于许用应力, 且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 (比如  $2.5$ )。力传感器设计还应遵循选择应变敏感区的设计原则同时又应避免圣维南效应, 一般在应变敏感区如应力集中或者最大应力点附近粘贴应变片, 工作应变片常为四 (或四的倍数) 片, 按照加减法则组成全桥。实验时电桥输出接入静态电阻应变仪或者显示表头, 通过标定, 将你最后的作品定型为一个一定等级的力传感器。

## 5、轮辐式力传感器

### 任务书

本实验主要任务是在学习理论力学和材料力学课程以后,运用其知识设计制作可实际使用的具有一定精度的计量器具,即应变片式传感器,一种被广泛应用于工业生产和日常生活中,如各种重量衡、汽车工业领域、结构健康检测、航空航天领域以及自动化、人工智能以及机器人领域等之中的传感器。应变片式传感器具有结构简单重量轻、使用方便、价格低廉且高精度、高分辨率、稳定可靠、适应各种复杂环境等特点,一般由弹性元件和应变片组成。根据电阻应变效应以及力学的相关理论和实验技术,在该区域选择合适的位置和方向粘贴应变片并组成全桥电路,即可测出力、力矩、位移等各种力学量。因此这是一个综合性训练的课题,涵盖弹性元件的机械设计、受力分析、强度校核以及电测、贴片技术、传感器技术与标定方法、误差分析等多个方面内容。



弹性元件如图,最终提交的任务目标:

- (10) 确定轮辐式力传感器的量程;
- (11) 确定轮辐式力传感器的精度等级;
- (12) 确定轮辐式力传感器的输出灵敏度。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图表说明,以及对以下问题的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点):

- (21) 按材料力学理论知识对弹性元件进行受力分析,确定贴片(是否存在圣维南效应以及如何避免)接桥方案,组桥时应按照加减法则使输出灵敏度最大,同时应考虑消除温度和非线性的影响;
- (22) 应综合考虑桥压、接桥方式、桥臂应变片如有多片应采用串联还是并联、过桥电流应不超过  $20mA$  以及输出信号放大倍数和末端显示仪表的可接受电压范围(如采用表头显示);

- (23) 对弹性元件进行强度校核并确定轮辐式力传感器的量程;
- (24) 在设计量程最大值加载 2~3 次, 然后正式采集测试数据(可选择量程的两个端点, 中间再加 3-5 个点), 确定轮辐式力传感器的精度等级以及有效量程;
- (25) 分析实验数据, 进行误差分析, 给出结论。

注: 弹性元件几何数据自测, 材料为合金钢, 屈服强度取  $780\text{MPa}$ , 弹性模量按  $210.0\text{GPa}$  计算。

论文以提供的论文首页作为封面, 正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附:

轮辐式力传感器常见的有两种, 一种通过测剪力建立电桥输出与力之间的关系, 所采用弹性元件的辐条较厚; 另一种即我们所采用的弹性元件, 其辐条厚度较薄, 根据材料力学梁受力变形知识可建立梁弯矩与某个截面应变之间的关系。由电阻应变效应:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

或者对于惠斯登四臂电桥

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4}K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

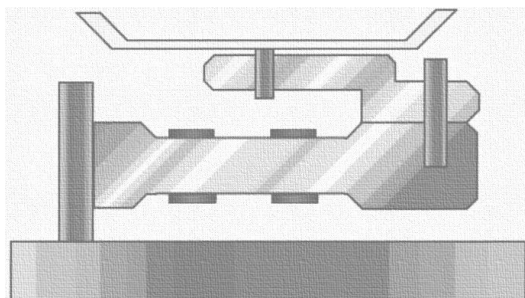
应变片式传感器的弹性元件在实际工作中是小变形, 根据胡克定律可以通过应力、应变关系由载荷的大小确定应变, 从而建立电桥电压输出和力之间的**线性关系**, 其中  $K$  为应变片的灵敏度系数。

运用材料力学强度理论校核其强度 (**参考绪论课 ppt 最后的传感器设计概要**): 在满量程计量时, 弹性元件的**最大应力**需低于许用应力, 且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 1.5~3 之间 (比如 2.5)。力传感器设计还应遵循选择应变敏感区的设计原则同时又应避免圣维南效应, 一般在应变敏感区如应力集中或者最大应力点附近粘贴应变片, 工作应变片常为四 (或四的倍数) 片, 按照加减法则组成全桥。实验时电桥输出接入静态电阻应变仪或者显示表头, 通过标定, 将你最后的作品定型为一个一定等级的力传感器。

## 6、双孔梁力传感器

### 任务书

本实验主要任务是在学习理论力学和材料力学课程以后,运用其知识设计制作可实际使用的具有一定精度的计量器具,即应变片式传感器,一种被广泛应用于工业生产和日常生活中,如各种重量衡、汽车工业领域、结构健康检测、航空航天领域以及自动化、人工智能以及机器人领域等之中的传感器。应变片式传感器具有结构简单重量轻、使用方便、价格低廉且高精度、高分辨率、稳定可靠、适应各种复杂环境等特点,一般由弹性元件和应变片组成。根据电阻应变效应以及力学的相关理论和实验技术,在该区域选择合适的位置和方向粘贴应变片并组成全桥电路,即可测出力、力矩、位移等各种力学量。因此这是一个综合性训练的课题,涵盖弹性元件的机械设计、受力分析、强度校核以及电测、贴片技术、传感器技术与标定方法、误差分析等多个方面内容。



弹性元件如图,最终提交的任务目标:

- (13) 确定双孔梁力传感器的量程;
- (14) 确定双孔梁力传感器的精度等级;
- (15) 确定双孔梁力传感器的输出灵敏度。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图标说明,以及对以下问题的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点):

- (26) 按材料力学理论知识对弹性元件进行受力分析,确定贴片(如何避免圣维南效应)接桥方案,组桥时应按照加减法则使输出灵敏度最大;同时考虑最终结果会不会受到固定端位置、贴片位



- 置、力作用点位置以及温度、非线性和偏心的影响？如需避免这些因素的影响应如何设计？
- (27) 应综合考虑桥压、接桥方式、桥臂应变片如有多片应采用串联还是并联、过桥电流应不超过  $20mA$  以及输出信号放大倍数和末端显示仪表的可接受电压范围（如采用表头显示）；
- (28) 对弹性元件进行强度校核并确定双孔梁力传感器的量程；
- (29) 在设计量程最大值加载 2~3 次，然后正式采集测试数据（可选择量程的两个端点，中间再加 3-5 个点），确定双孔梁力传感器的精度等级以及有效量程；
- (30) 分析实验数据，进行误差分析，给出结论。

注：弹性元件几何数据自测，材料为铝合金，屈服强度取  $435MPa$ ，弹性模量按  $70.0GPa$  计算。

论文以提供的论文首页作为封面，正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附：

可利用悬臂梁剪力以及应力计算公式：

$$Q = \frac{dM}{dX} \approx \frac{M_2 - M_1}{L_2 - L_1} ; \quad \sigma = \frac{M}{W} = E\varepsilon$$

建立剪力与应变的关系。由电阻应变效应：

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

或者对于惠斯登四臂电桥

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4}K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

应变片式传感器的弹性元件在实际工作中是小变形，根据胡克定律可以通过应力、应变关系由剪力的确定应变，从而建立电桥电压输出和载荷之间的**线性关系**，其中  $K$  为应变片的灵敏度系数。

运用材料力学强度理论校核其强度（**参考绪论课 ppt 最后的传感器设计概要**）：在满量程计量时，弹性元件的**最大应力**需低于许用应力，且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 1.5~3 之间（比如 2.5）。力传感器设计还应遵循选择应变敏感区的设计原则同时又应避免圣维南效应，一般在应变敏感区如应力集中或者最大应力点附近粘贴应变片，工作应变片常为四（或四的倍数）片，按照加减法则组成全桥。实验时电桥输出接入静态电阻应变仪或者显示表头，通过标定，将你最后的作品定型为一个一定等级的力传感器。

## 7、S 形力传感器

### 任务书

本实验主要任务是在学习理论力学和材料力学课程以后,运用其知识设计制作可实际使用的具有一定精度的计量器具,即应变片式传感器,一种被广泛应用于工业生产和日常生活中,如各种重量衡、汽车工业领域、结构健康检测、航空航天领域以及自动化、人工智能以及机器人领域等之中的传感器。应变片式传感器具有结构简单重量轻、使用方便、价格低廉且高精度、高分辨率、稳定可靠、适应各种复杂环境等特点,一般由弹性元件和应变片组成。根据电阻应变效应以及力学的相关理论和实验技术,在该区域选择合适的位置和方向粘贴应变片并组成全桥电路,即可测出力、力矩、位移等各种力学量。因此这是一个综合性训练的课题,涵盖弹性元件的机械设计、受力分析、强度校核以及电测、贴片技术、传感器技术与标定方法、误差分析等多个方面内容。



弹性元件如图,最终提交的任务目标:

- (16) 确定 S 形力传感器的量程;
- (17) 确定 S 形力传感器的精度等级;
- (18) 确定 S 形力传感器的输出灵敏度。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图表说明,以及对以下问题的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点):

- (31) 按材料力学理论知识对弹性元件进行受力分析,确定贴片(是否存在圣维南效应以及如何避免)接桥方案,组桥时应按照加减法则使输出灵敏度最大,同时考虑消除温度和非线性的影响;
- (32) 应综合考虑桥压、接桥方式、桥臂应变片如有多片应采用串联还是并联、过桥电流应不超过  $20mA$  以及输出信号放大倍数和末端显示仪表的可接受电压范围(如采用表头显示);
- (33) 对弹性元件进行强度校核并确定引伸计的量程;
- (34) 在设计量程最大值加载 2~3 次,然后正式采集测试数据(可选择量程的两个端点,中间再加 3-

5 个点), 确定 S 形力传感器的精度等级以及有效量程;

(35) 分析实验数据, 进行误差分析, 给出结论。

注: 几何尺寸自测 (内径为 12mm), 铝合金屈服强度 435Mpa, 材料的弹性模量按 70.0GPa 计算。

论文以提供的论文首页作为封面, 正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附:

根据材料力学梁受力变形知识可建立梁弯矩与某个截面应变之间的关系。由电阻应变效应:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

或者对于惠斯登四臂电桥

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4}K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

应变片式传感器的弹性元件在实际工作中是小变形, 根据胡克定律可以通过应力、应变关系由载荷的大小确定应变, 从而建立电桥电压输出和力之间的**线性关系**, 其中  $K$  为应变片的灵敏度系数。

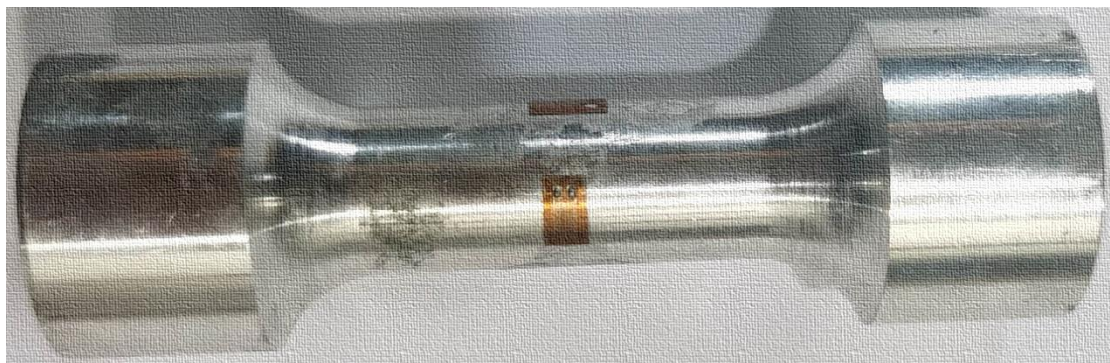
运用材料力学强度理论校核其强度 (**参考绪论课 ppt 最后的传感器设计概要**): 在满量程计量时, 弹性元件的**最大应力**需低于许用应力, 且许用应力计算时安全系数要比一般的结构计算取得更大, 一般在 1.5~3 之间 (比如 2.5)。力传感器设计还应遵循选择应变敏感区的设计原则同时又应避免圣维南效应, 一般在应变敏感区如应力集中或者最大应力点附近粘贴应变片, 工作应变片常为四 (或四的倍数) 片, 按照加减法则组成全桥。实验时电桥输出接入静态电阻应变仪或者显示表头, 通过标定, 将你最后的作品定型为一个一定等级的力传感器。



## 8、圆筒式拉力传感器

### 任务书

本实验主要任务是在学习理论力学和材料力学课程以后,运用其知识设计制作可实际使用的具有一定精度的计量器具,即应变片式传感器,一种被广泛应用于工业生产和日常生活中,如各种重量衡、汽车工业领域、结构健康检测、航空航天领域以及自动化、人工智能以及机器人领域等之中的传感器。应变片式传感器具有结构简单重量轻、使用方便、价格低廉且高精度、高分辨率、稳定可靠、适应各种复杂环境等特点,一般由弹性元件和应变片组成。根据电阻应变效应以及力学的相关理论和实验技术,在该区域选择合适的位置和方向粘贴应变片并组成全桥电路,即可测出力、力矩、位移等各种力学量。因此这是一个综合性训练的课题,涵盖弹性元件的机械设计、受力分析、强度校核以及电测、贴片技术、传感器技术与标定方法、误差分析等多个方面内容。



弹性元件如图,最终提交的任务目标:

- (19) 确定圆筒式拉力传感器的量程;
- (20) 确定圆筒式拉力传感器的精度等级;
- (21) 确定圆筒式拉力传感器的输出灵敏度。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图表说明,以及对以下问题的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点):

- (36) 按材料力学理论知识对弹性元件进行受力分析,确定贴片(是否存在圣维南效应/如何避免)接桥方案,组桥时应按照加减法则使输出灵敏度最大,同时考虑消除温度和非线性的影响;
- (37) 应综合考虑桥压、接桥方式、桥臂应变片如有多片应采用串联还是并联、过桥电流应不超过  $20mA$  以及输出信号放大倍数和末端显示仪表的可接受电压范围(如采用表头显示);
- (38) 对弹性元件进行强度校核并确定引伸计的量程;
- (39) 在设计量程最大值加载 2~3 次,然后正式采集测试数据(可选择量程的两个端点,中间再加 3-5 个点),确定圆筒式拉力传感器的精度等级以及有效量程;



(40) 分析实验数据, 进行误差分析, 给出结论。

注: 几何尺寸自测 (圆筒壁厚  $1.3\text{mm}$ ), 铝合金屈服强度  $435\text{Mpa}$ , 材料的弹性模量按  $70.0\text{GPa}$  计算。

论文以提供的论文首页作为封面, 正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附:

根据圆筒受力变形知识可建立梁所受拉力与某个截面应变之间的关系。由电阻应变效应:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

或者对于惠斯登四臂电桥

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4}K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

应变片式传感器的弹性元件在实际工作中是小变形, 根据胡克定律可以通过应力、应变关系由载荷的大小确定应变, 从而建立电桥电压输出和拉力之间的**线性关系**, 其中  $K$  为应变片的灵敏度系数。

运用材料力学强度理论校核其强度 (**参考绪论课 ppt 最后的传感器设计概要**): 在满量程计量时, 弹性元件的**最大应力**需低于许用应力, 且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 (比如  $2.5$ )。力传感器设计还应遵循选择应变敏感区的设计原则同时又应避免圣维南效应, 一般在应变敏感区如应力集中或者最大应力点附近粘贴应变片, 工作应变片常为四 (或四的倍数) 片, 按照加减法则组成全桥。实验时电桥输出接入静态电阻应变仪或者显示表头, 通过标定, 将你最后的作品定型为一个一定等级的拉力传感器。

## 9、扭矩传感器

### 任务书

本实验主要任务是在学习理论力学和材料力学课程以后,运用其知识设计制作可实际使用的具有一定精度的计量器具,即应变片式传感器,一种被广泛应用于工业生产和日常生活中,如各种重量衡、汽车工业领域、结构健康检测、航空航天领域以及自动化、人工智能以及机器人领域等之中的传感器。应变片式传感器具有结构简单重量轻、使用方便、价格低廉且高精度、高分辨率、稳定可靠、适应各种复杂环境等特点,一般由弹性元件和应变片组成。根据电阻应变效应以及力学的相关理论和实验技术,在该区域选择合适的位置和方向粘贴应变片并组成全桥电路,即可测出力、力矩、位移等各种力学量。因此这是一个综合性训练的课题,涵盖弹性元件的机械设计、受力分析、强度校核以及电测、贴片技术、传感器技术与标定方法、误差分析等多个方面内容。



弹性元件如图,最终提交的任务目标:

- (22) 确定扭矩传感器的量程;
- (23) 确定扭矩传感器的精度等级;
- (24) 确定扭矩传感器的输出灵敏度。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图表说明,以及对以下问题的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点):

- (41) 按材料力学理论知识对弹性元件进行受力分析,确定贴片(是否存在圣维南效应/如何避免)接桥方案,组桥时应按照加减法则使输出灵敏度最大,同时考虑消除温度和非线性的影响;
- (42) 应综合考虑桥压、接桥方式、桥臂应变片如有多片应采用串联还是并联、过桥电流应不超过  $20mA$  以及输出信号放大倍数和末端显示仪表的可接受电压范围(如采用表头显示);
- (43) 对弹性元件进行强度校核并确定扭矩传感器的量程;
- (44) 在设计量程最大值加载 2~3 次,然后正式采集测试数据(可选择量程的两个端点,中间再加 3-

5 个点), 确定扭矩传感器的精度等级以及有效量程;

(45) 分析实验数据, 进行误差分析, 给出结论。

注: 弹性元件几何尺寸自测 (圆筒壁厚  $1.5\text{mm}$ ), 铝合金屈服强度  $435\text{MPa}$ , 材料的弹性模量按  $70.0\text{GPa}$  计算。

论文以提供的论文首页作为封面, 正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附:

根据材料力学圆筒受力变形知识可建立扭矩与某个截面应变之间的关系。由电阻应变效应:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

或者对于惠斯登四臂电桥

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{4}K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

应变片式传感器的弹性元件在实际工作中是小变形, 根据胡克定律可以通过应力、应变关系由扭矩的大小确定应变, 从而建立电桥电压输出和扭矩之间的**线性关系**, 其中  $K$  为应变片的灵敏度系数。

运用材料力学强度理论校核其强度 (**参考绪论课 ppt 最后的传感器设计概要**): 在满量程计量时, 弹性元件的**最大应力**需低于许用应力, 且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 (比如  $2.5$ )。力传感器设计还应遵循选择应变敏感区的设计原则同时又应避免圣维南效应, 一般在应变敏感区如应力集中或者最大应力点附近粘贴应变片, 工作应变片常为四 (或四的倍数) 片, 按照加减法则组成全桥。实验时电桥输出接入静态电阻应变仪或者显示表头, 通过标定, 将你最后的作品定型为一个一定等级的扭矩传感器。

## 10、拉伸拓展：规定塑性延伸强度

### 任务书

可参考教材 p91 页 § 4.3 和 § 4.4 节内容，查阅相关资料了解规定塑性延伸强度的试验测定方法。

用如下铝合金标准棒材进行拉伸试验，完成以下任务：

- (1) 测定铝合金的弹性模量和泊松比；
- (2) 测定铝合金的规定塑性延伸强度和断后延伸率；
- (3) 测定铝合金的抗拉强度。



第二项任务可事先在标距两端作标记线。

完成后提交 2000 字以上论文并含必要的图表说明，包含对以上任务目标的详细说明，以及对以下问题(不限于)的阐述(同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点)：

- (46) 测定材料的规定塑性延伸强度有很多方法，你所选择的是哪一种方法？理由是什么？
- (47) 与 Q235 钢拉伸试验的区别在哪里？
- (48) 如果预加载，预载荷  $F_0$  是否可以清零？相应的引伸计或者应变片输出是否可以清零？
- (49) 试验力-延伸曲线的必要性？

论文以提供的论文首页作为封面，正文应包含摘要、背景简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

### 参考附：

《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》：GB/T 228.1-2021。



## 11、拉伸拓展：复合材料力学性能

### 任务书

对于很多采用复合材料设计的结构，比如高压容器、高压管以及叶片等，必须先测定材料的拉伸性能才能进行产品或结构的设计或者检验。而对于不同的聚合物复合材料，其拉伸试验方法要求各有不同，比如：教材教材 p112 页 § 4.10 节针对定向纤维增强的应采用 GB/T 3354-2014 标准；对于缠绕成型的应采用国标 GB/T 1458-2023；对于挤压成型的应采用国标 GB/T 13096-2008；而使用最多的是针对普通聚合物复合材料的国家标准 GB/T 1447-2005。

可查阅相关资料了解复合材料拉伸力学性能的试验方法。用圆棒材进行拉伸试验，完成以下任务：

- (1) 测定复合材料弹性模量以及泊松比；
- (2) 测定复合材料的断后延伸率；
- (3) 测定复合材料抗拉强度。

试验无需使用引伸计，第二项任务可事先在标距两端作标记线。



最后提交 2000 字以上论文并含必要的图标说明，包含对以上任务目标的详细说明，以及对以下问题（但不限于）的阐述（它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点）：

- 1、用应变电测法测定弹性模量和泊松比时，最大载荷应取为破断载荷的百分比多少合适？
- 2、加载等级一般要求至少分 7 级以上，但用来进行线性拟合的数据是否要取测试数据的全部？
- 3、求泊松比时，可用那两组数据进行线性拟合得到？
- 4、测定弹性模量和泊松比时，应变片应如何接桥？
- 5、是否应尽量使用一台应变仪？加载速度 ( $mm/min$ ) 多少合适？
- 6、预加载对最终的抗拉强度结果有无影响？

论文以提供的论文首页作为封面，正文应包含摘要、简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 12、拉伸拓展：偏心拉伸实验

### 任务书

试样如下，可参考教材 p80 页 § 3.12 节内容，完成以下任务：

- (1) 测定试样偏心受拉时横截面上正应力及其分布规律；
- (2) 验证叠加原理；
- (3) 确定偏心矩。



最后提交 2000 字以上论文并含必要的图标说明，包含对以上任务目标的详细说明，以及对如下问题（不限于）的阐述（同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点）。

- 1、为确保试验力平行于试样轴线，应注意哪些问题？
- 2、为确保完成以上任务，应得到哪些数据？贴片方案和接桥方法应如何确定？
- 3、偏心拉伸试样如果拉伸力  $F$ （确保其方向平行于试样轴线）不仅限于面内偏心，同时还存在有面外偏心，试分析根据你的贴片方案是否可以测出全截面上的应力分布情况？是否可以根据实验数据确定面外偏心的偏心距？如只需确定最大应力，至少需要哪些应变片？

论文以提供的论文首页作为封面，正文应包含摘要、简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。





力、拉杆的拉力结果有什么不同；

注 1：几何数据如上图，梁材料为 Q235，其相关参数如下：梁的许用拉应力 $[\sigma]=100MPa$ ，允许 $\pm 5\%$ 误差；使用状态跨中最大挠度 $[f_{\text{中}}]\leq 0.50mm$ ；拉杆的最大拉力不允许超过许用拉力 $\leq [F_N]$ ：

拉杆直径 $d/mm$	材料	螺纹有效 面积/ $mm^2$	屈服强度 $R_{eL}/MPa$	许用应力 $[\sigma]/MPa$	许用最大 力 $[F_N]/kN$	弹性模量 $E/GPa$
6	Q235	20.1	280	195	3.92	210.0

注 2：拉杆许用最大拉力 $[F_N]$ 按许用应力和拉杆螺纹有效面积计算。

注 3：在调整预应变时，每次的应变增量不宜过大，一般在 10%左右即可，且须随时监测拉杆的拉应变以及梁的挠度，避免超载！

论文以提供的论文首页作为封面，正文应包含摘要、背景简介、基本理论/研究现状、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理、误差分析以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 参考附：

梁的材料为一般 Q235 钢材，在某个许用载荷 $[F]$ 作用下，梁的跨中产生挠度，在保证跨中挠度不超过许用挠度 $[f_{\text{中}}]$ 条件下，要求提高结构承载能力为原许用载荷 $[F]$ 的 2.5 倍。为此，需对梁实施预应力反拱，即通过拉杆加载螺母使拉杆产生一定预拉力，便能使梁中点的挠度在 $[F]$ 作用下由下弯变为上拱。这样，当载荷提高为 $F = 2.5[F]$ 时，只要拉杆的预拉力适当，就能达到既保证原刚度不超标又提高承载能力的目的。本实验需解决以下几个问题，亦即需分三步进行：

1、无预应力时，在规定跨中挠度 $[f_{\text{中}}]$ 下，确定梁的许用载荷 $[F]$ ，并计算相应的跨中梁底及梁顶应变，以便在实验加载时通过实测应变随时观测梁跨中上、下表面应力的变化。

2、增加梁的载荷到 $F = 2.5[F]$ 时，为免超载加入拉杆预拉力，这样将使梁、拉杆、竖杆变成一次超静定结构。梁加载时拉杆的拉力 $x$ 会随载荷 $F$ 的变化而变化。所以，实验前要先解超静定问题，找出 $F$ 与 $x$ 的关系，然后计算出梁的应力、挠度不超标，加载达到 $F$ 时拉杆应加的预拉力 $x_0$ （实验时可用预应变 $\varepsilon_0$ 表示）。

3、进行条件验证：合适的预应力反拱必须的约束条件（1）梁反拱后，梁最大拉应力不能超过梁材料的许用拉应力 $[\sigma]$ ；（2）拉杆在梁载荷 $F$ 的作用下，不能超过许用拉力 $[F_N]$ ；（3）梁跨中挠度不能超过 $[f_{\text{中}}]$ 。只有这 3 个条件完全满足后，实验才算成功。

注：设置预应力拉杆前，根据使用状态跨中挠度 $[f_{\text{中}}]\leq 0.50mm$  要求，按材料力学梁变形分析理论，计算并换算为跨中梁底轴向应变或梁上许用载荷（为方便加载可取整）。



## 14、弯曲拓展：胶接叠合梁

### 任务书

试样如下图所示，可参考教材 p106 页 § 4.7 节内容，完成以下任务：

- (1) 胶接叠合梁的正应力分布规律；
- (2) 胶接叠合梁的弯曲正应力计算公式。



最后提交 2000 字以上论文并含必要的图标说明，应包含对目标任务的详细描述，以及对 P.107 页小节四中后 5 个问题（不限于）的阐述（同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点）。

论文以提供的论文首页作为封面，正文应包含摘要、简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

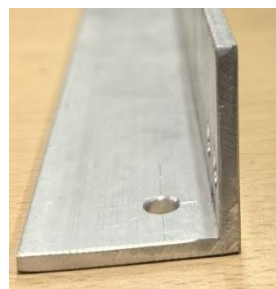
## 15、弯曲拓展：等边角铝惯性矩及斜弯曲

### 任务书

试样如下图所示，完成以下任务：

- (1) 测定角铝旋转 30 度时的形心主惯性矩（最大载荷控制在 150N）；
- (2) 转动角钢使其分别在 0 度、30 度、90 度等位置，通过实验应力分析，比较不同角度角铝的承载能力。

等边角钢是工程中应用非常广泛的材料之一，这种材料的截面几何性质（如惯性矩和形心）对构件的强度、刚度等关系密切。杆件的应力与变形，与其横截面的形状和尺寸有关。在梁的弯曲问题中，梁的弯曲正应力与横截面的惯性矩大小和形心位置等因素有关。



惯性矩和形心是极为重要的力学参数。在斜弯曲问题中，还将用到形心主惯性矩，对于有双对称轴截面（如矩形、工字型、圆形）的梁，弯曲应力比较容易理解和处理，而对于图示等边角铝截面的梁，弯曲正应力的计算将用形心主惯性矩。

最后提交 2000 字以上论文并含必要的图标说明，应包含对任务目标的详细描述，以及对以下问题（不限于）的阐述（同时它们也是实验过程中指导大家实验或者需要你们观测和记录的一些关键点）：

- 1、利用斜弯曲应力分析方法，通过测量某一截面上不同位置处的轴向应变测出弯曲正应力，由此计算截面的形心主惯性矩。斜弯曲问题也可以变换成平面弯曲问题，并能够利用弯曲正应力公式得到弯曲正应力；
- 2、测量角铝的几何尺寸，在不同角度时对所选择截面的应力变化进行初步分析；由此确定贴片位置、组桥及加载方案（铝材许用应力按  $100\text{Mpa}$  计算）；
- 3、实验按等增量加载，确定最大载荷并制定实验方案。按最大载荷预加载 2-3 次，卸载调零后，再正式进行实验；
- 4、根据实验数据，对比斜弯曲和平面弯曲；
- 5、对角铝的不同角度，包括平面弯曲和斜弯曲的应变结果进行采集和分析，阐述测定形心及形心主惯性矩的方法，并通过试验结果确定角铝最大和最小承载能力的位置。

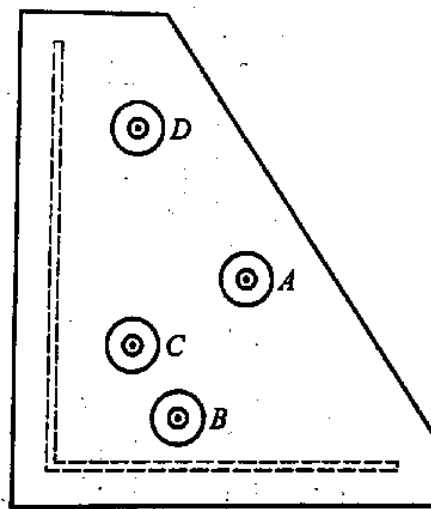
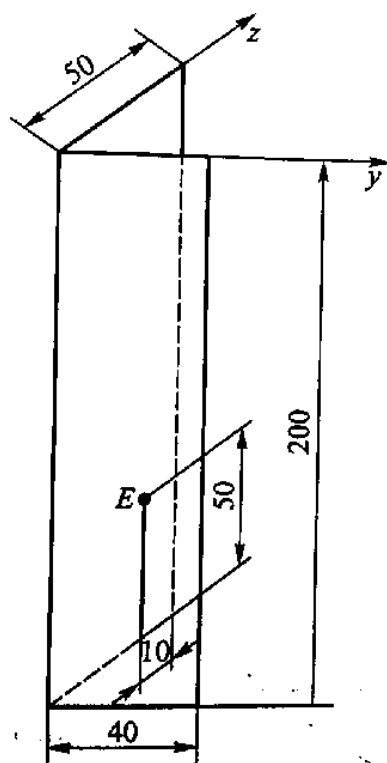
论文以提供的论文首页作为封面，正文应包含摘要、简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。

## 16、弯曲拓展：不等边薄壁角钢拉弯组合

### 任务书

试样如图所示(几何尺寸单位:  $mm$ ), 壁厚为  $0.9\text{ mm}$  的薄壁不等边角钢, 为了方便加载, 在其两端焊接两块对称的连接板, 板上分布 4 个螺孔可以作为加载点。假设 C 点为该角钢的形心位置 (实际加工中可能有微小位置偏差)。请采用电测方法完成以下任务:

- 1、测量该角钢材料的弹性模量和泊松比;
- 2、若 B 点在该角钢的形心主惯性轴上, 试确定 B 点到 C 点的距离;
- 3、两端沿 D 点拉伸力  $F=1000\text{ N}$  时, 比较角钢长边内、外表面 E 处主应力;
- 4、假设 A-A 点加载时所产生的弯曲符合平面弯曲条件, 请实验确定该角钢的形心主轴方位。



最后提交 2000 字以上论文并含必要的图标说明, 以及对任务目标的详细描述。论文以提供的论文首页作为封面, 正文应包含摘要、简介、原理、实验方案方法以及实施、实验数据及其处理以及结论、实验心得体会、参考文献等内容。