

BZ8001 多功能力学实验装置

使用说明书

北戴河电气自动化研究所
秦皇岛市北戴河兰德科技有限责任公司

引言

欢迎您使用 BZ8001 多功能力学实验装置，很高兴您选择了本公司的产品。

安全信息

为了安全、有效地使用您购买的设备，请您在使用前阅读以下信息。

∞ 实验台初次使用时，应调节最下面四只底盘上螺杆，将水平仪置于铸铁上支撑梁顶面调至水平，放上弯曲梁组件，使弯曲梁上二根加载杆处于自由状态，以免碰到中间槽钢梁长槽两侧面。

∞ 本实验台禁止在超过最大允许载荷的情况下使用。

∞ 不要用力牵拉应变片引出的导线。

∞ 蜗杆升降机构的滑移轴设计行程为 55mm，手轮摇至快到行程末端时应缓速，以免损坏有关零件。

∞ 传感器和实验梁应轻拿轻放，防止与外物撞击造成损坏，实验完成后，应放松蜗杆，最好是拆下试件，以免因误操作损坏传感器或试件。

∞ 实验台连续使用一年，应松开轴承中心和上套筒下方螺钉，添加一次润滑油。

∞ 使用时配套仪器，应尽可能接近测量点，电源地线必须接地。开始测量前，仪器应预热 15 分钟。

∞ 测量导线应尽可能远离干扰源，如变压器、电机、大型用电设备及动力线。

LAND 拥有对本说明书的最终解释权。

LAND 保留修改技术规则而不事先通知的权利。

LAND 保留修改说明书的权利，恕不另行通知。

LAND 保留在未事先通知的情况下对技术产品规格进行修改的权利。

目录

实验装置介绍

I. 产品介绍	1
II. 多功能实验台的安装及使用方法	3

实验指导

I. 实验一：等强度梁实验	5
II. 实验二：纯弯梁实验	9
III. 实验三：弯扭组合实验	14
IV. 实验四：连续梁实验	19
V. 实验五：叠梁实验	21
VI. 实验六：偏心拉杆实验	25
VII. 实验七：同心拉杆实验	28
VIII. 实验八：压杆实验	31

产品附件和售后服务

I. 产品附件	34
II. 售后服务	35

产品介绍

1、用途

本产品是用于各理工院校材料力学电测法实验的装置，它是将多种材料力学实验集中在一个实验台上进行，使用时稍加调整，即可进行教学大纲规定内容的多项实验。BZ8001多功能力学实验装置如图 1-1 所示。

2、特点

该实验台采用蜗杆机构以螺旋千斤方式加载，经传感器由数字式测力仪测试出力的读数；各试件受力变形，通过应变片由电阻应变仪显示。整机结构紧凑，外形美观、加载稳定、操作省力，实验效果好，易于学生自己动手，有利于提高教学质量。本设备的潜力较大，还可根据需要，增设其它实验，实验数据也可由计算机处理。

3、主要功能

- 1) 纯弯曲梁横截面上正应力的分布规律实验
- 2) 电阻应变片灵敏系数的标定
- 3) 材料弹性模量 E ，柏松比 μ 的测定
- 4) 偏心拉伸实验
- 5) 弯扭组合受力分析
- 6) 连续梁和叠梁实验（选配）
- 7) 压杆稳定实验

4、技术参数

- | | |
|------------|--------------|
| 1 试件最大作用载荷 | 8KN |
| 2 加载机构作用行程 | 55mm |
| 3 手轮加载转矩 | 0~2.6N·m |
| 4 加载速度 | 0.13mm/转（手轮） |



图 1-1 多功能力学实验台

5 本机重量	100kg
6 外形尺寸	800（长）×600（宽）×1000（高）

5、结构

本产品的台体设计采用封闭型钢及铸件配制而成，表面经喷塑处理，结构坚固耐用。蜗杆及螺旋机构为内藏式，从而使得机构紧凑。每项实验均配有精密镀铬试件和附件。

多功能力学实验台的安装及使用方法

BZ8001 多功能力学实验台主要零部件如图 1-2

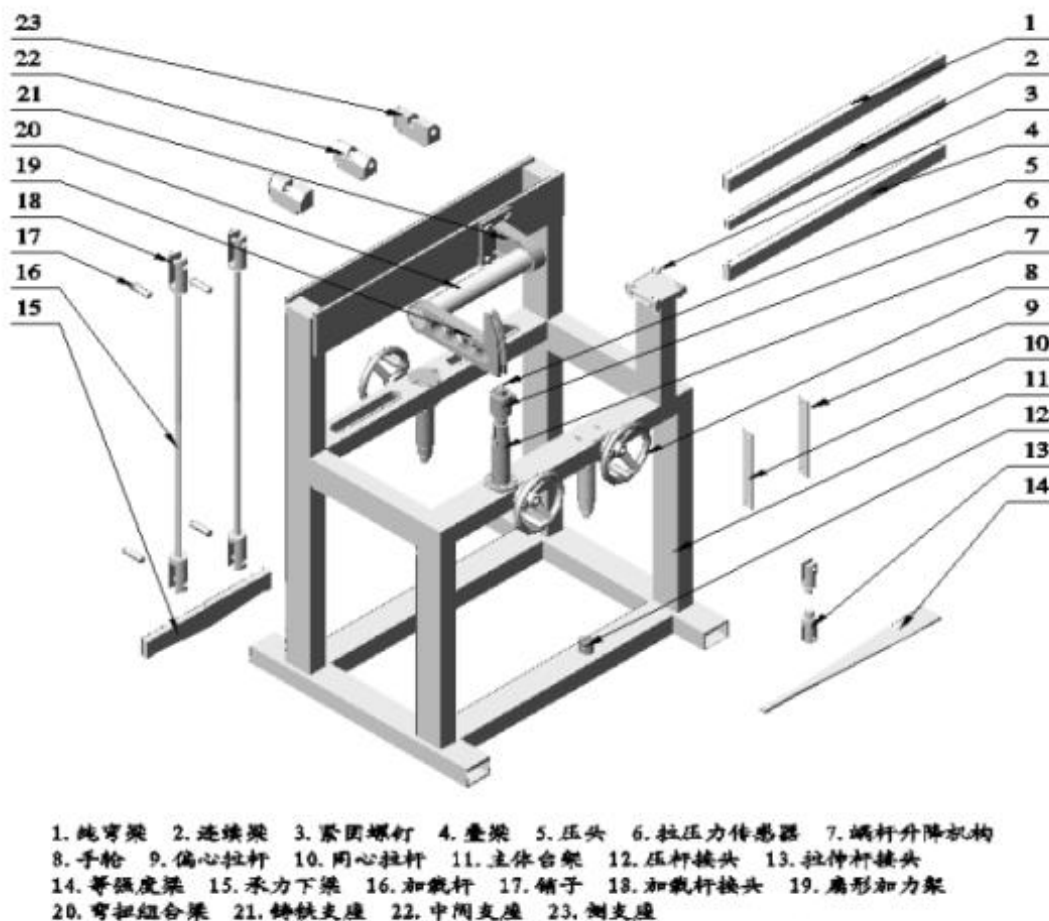


图 1-2 多功能力学实验台及其附件图

电测法基本原理:

电测法也称应力应变电阻法，是用电阻应变片测定构件表面的线应变，再根据应变—应力关系确定构件表面应力状态的一种应力分析实验方法。应力应变电阻法，不仅用于验证材料力学的基本理论，测量材料的机械性能，而且作为一种主要的工程测试手段，为解决工程实际问题及从事科学研究提供了良好的实验基础。学生通过动手操作掌握电测基本方法，不仅巩固了所学的材料力学知识，更重要的是增强了日后工作中解决实际问题的能力。

安装及使用:

将电阻应变片粘贴于实验梁（如 14.等强度梁），并将实验梁按照实验要求固定于实验台，本实验台共有 3 套加载机构（如图 1-2），用手转动 8.手轮，就会使 7.蜗杆升降机构在竖直方向上运动，通过接入的 6.拉压力传感器的 5.压头将力传递给实验梁，由拉压力传感器输出的信号

送入数字式测力仪，即可随时监测载荷大小。选择适当的桥接方式将实验梁上的电阻应变片接入电阻应变仪，就可以得到实验梁受载荷作用而引起的应变值。

图 1-2 中 22.中间支座与 23.侧支座为 1.纯弯梁、2.连续梁和 3.叠梁的固定支座，15.承力下梁、16.加载杆、17.销子、18.加载杆接头为以上三种实验梁的辅助加载装置。13.拉伸杆接头和 19.扇形加力架分别为 10.同心拉杆、9 偏心拉杆和 20.弯扭组合梁的辅助加载部件。下文中将作详细介绍。

实验一：等强度梁实验

一、实验目的：

- 1、学习应用应变片组桥，检测应力的方法
- 2、验证变截面等强度实验
- 3、掌握用等强度梁标定灵敏度的方法
- 4、学习静态电阻应变仪的使用方法

二、实验梁的安装示意图

1. 等强度梁的

正应力的分布规律

实验装置

其装置如图

2-1 所示。

2. 等强度梁的

安装与调整：

在如图 2-1 所

示位置处，将 6. 拉

压力传感器安装在

5. 蜗杆升降机构上

拧紧，顶部装上 7.

压头。摇动 4. 手轮

使之降到适当位

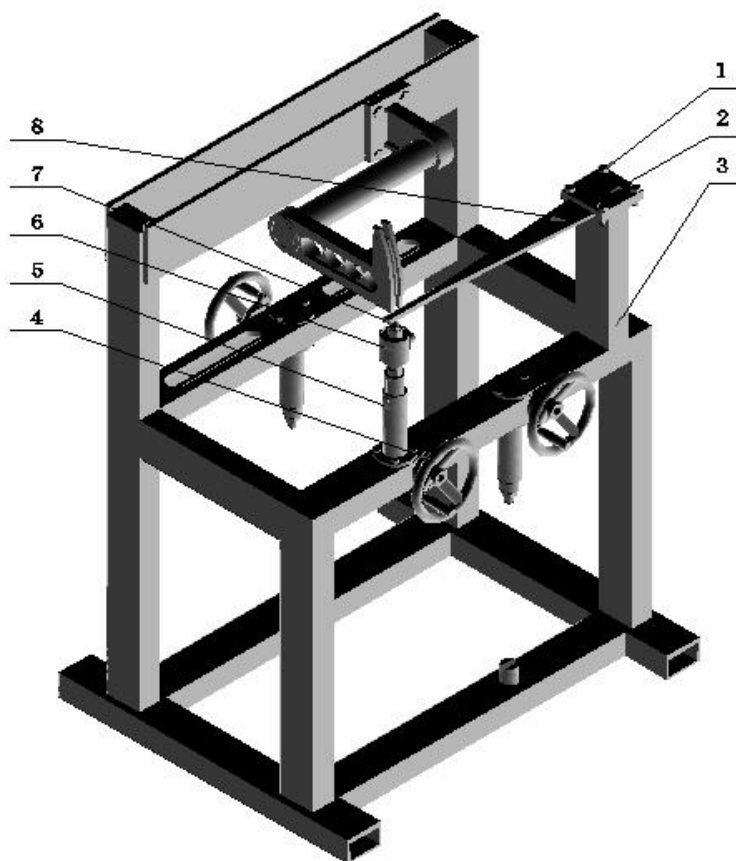
置，以便不妨碍等

强度梁的安装。将

等强度梁如图放

置，调整梁的位置使其端部与 2. 紧固盖板对齐，转动手轮使 6. 压头与梁的接触点落在实验梁的对称中心线上。调整完毕，将 1. 紧固螺钉（共四个）用扳手全部拧紧。

注意：实验梁端部未对齐或压头接触点不在实验梁的对称中心线上，将导致实验结果有误差，甚至错误。



1. 紧固螺钉 2. 紧固盖板 3. 合架主体 4. 手轮 5. 蜗杆升降机构 6. 拉压力传感器 7. 压头 8. 等强度梁

图 2—1 等强度梁安装图

3. 等强度梁的贴片:

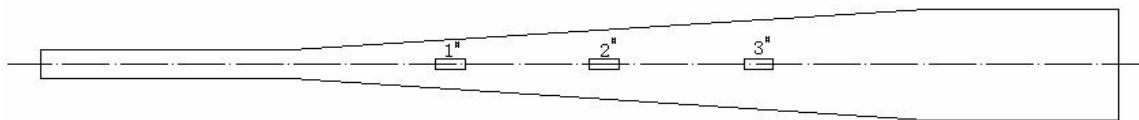


图 2—2 等强度梁贴片图

1#、2#、3#片分别位于梁水平上平面的纵向轴对称中心线上，1#、3#片关于2#片成左右对称分布，如图2-2所示

三、实验原理

1 电阻应变测量原理

电阻应变测试方法是用电阻应变片测定构件的表面应变，再根据应变—应力关系（即电阻—应变效应）确定构件表面应力状态的一种实验应力分析方法。这种方法是以粘贴在被测构件表面上的电阻应变片作为传感元件，当构件变形时，电阻应变片的电阻值将发生相应的变化，利用电阻应变仪将此电阻值的变化测定出来，并换算成应变值或输出与此应变值成正比的电压（或电流）信号，由记录仪记录下来，就可得到所测定的应变或应力。

2 电阻应变片

电阻应变片一般由敏感栅、引线、基底、覆盖层和粘结剂组成，图2-3所示为其构造简图。

3 测量电路原理

通过在试件上粘贴电阻应变片，可以将试件的应变转换为应变片的电阻变化，但是通常这种电阻变化是很小的。为了便于测量，需将应变片的电阻变化转换成电压（或电流）信号，再通过电子放大器将信号放大，然后由指示仪或记录仪指示出应变值。这一任务是由电阻应变仪来完成的。而电阻应变仪中电桥的作用是将应变片的电阻变化转换成电压（或电流）信号。电桥根据其供电电源的类型可分为直流电桥和交流电桥，下面以直流电桥为例来说明其电路原理。

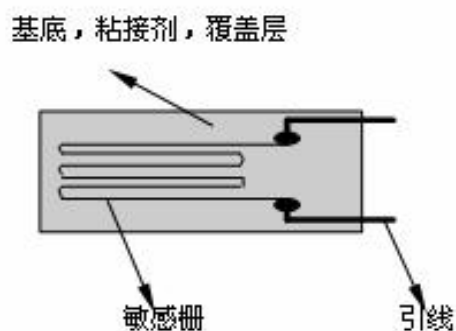


图 2-3 电阻应变片基本构造示意图

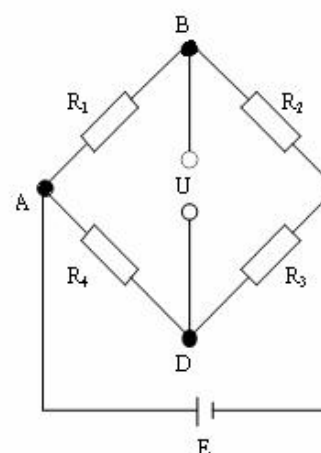


图 2-4 测量电桥

3. 1 电桥的平衡

直流电桥如图 2-4 所示，电桥各臂 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 可以全部是应变片（全桥式接法），也可以部分是应变片，其余为固定电阻，如当 R_1 、 R_2 为应变片， R_3 、 R_4 接精密无感固定电阻时，称为半桥式接法。

桥路 AC 端的供桥电压为 E ，则在桥路 BD 端的输出电压为：

由上式可知，当桥臂电阻满足： $R_1R_3=R_2R_4$ 时，电桥输出电压 $U=0$ ，称为电桥平衡。

$$U = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) E = \frac{R_1R_3 - R_2R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E$$

3. 2 电桥输出电压

设起始处于平衡状态的电桥各桥臂（应变片）的电阻值都发生了变化，即

$$R_1 \rightarrow R_1 + \Delta R_1, \quad R_2 \rightarrow R_2 + \Delta R_2, \quad R_3 \rightarrow R_3 + \Delta R_3, \quad R_4 \rightarrow R_4 + \Delta R_4$$

此时电桥输出电压的变化量为：

$$\Delta U \approx \frac{\partial U}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial U}{\partial R_2} \Delta R_2 + \frac{\partial U}{\partial R_3} \Delta R_3 + \frac{\partial U}{\partial R_4} \Delta R_4$$

可进一步整理为

$$\Delta U \approx \left[\frac{R_1R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) + \frac{R_3R_4}{(R_3 + R_4)^2} \left(\frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \right] E$$

对以下常用的测量电路，该输出电压的变化可作进一步简化：

$$\Delta U \approx \frac{E}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

a) 全等臂电桥

在上述电桥中，各桥臂上的应变片的起始电阻值全相等，灵敏系数 K 也相同，于是，以 $\Delta R_n/R_n = K \varepsilon_{(n)}$ 代入上式，得

$$\Delta U \approx \frac{KE}{4} (\varepsilon_{(1)} - \varepsilon_{(2)} + \varepsilon_{(3)} - \varepsilon_{(4)})$$

b) 半等臂电桥

当 R_1 、 R_2 为起始电阻值和灵敏系数 K 都相同的应变片， R_3 、 R_4 接精密无感固定电阻，此时

c) 1/4 电桥

$$\Delta U \approx \frac{E}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) = \frac{KE}{4} (\varepsilon_{(1)} - \varepsilon_{(2)})$$

当 R_1 、 R_2 起始电阻值相同， R_1 为灵敏系数 K 的应变片， R_2 、 R_3 、 R_4 接精密无感固定电阻，此时

$$\Delta U \approx \frac{E}{4} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{1}{4} KE \varepsilon_{(1)}$$

3.3 电桥电路的基本特性

a) 在一定的应变范围内，电桥的输出电压 ΔU 与各桥臂电阻的变化率 $\Delta R/R$ 或相应的应变片所感受的（轴向）应变 $\varepsilon^{(n)}$ 成线性关系；

b) 各桥臂电阻的变化率 $\Delta R/R$ 或相应的应变片所感受的应变 $\varepsilon^{(n)}$ 对电桥输出电压的变化 ΔU 的影响是线形叠加的，其叠加方式为：相邻桥臂异号，相对桥臂同号。

充分用电桥的这一特性不仅可以提高应变测量的灵敏度及精度，而且可以解决温度补偿等问题。

c) 温度补偿片

温度的变化对测量应变有着一定的影响，消除温度变化的影响可采用以下方法。实测时，把粘贴在受载荷构件上的应变片作为 R_1 ，以相同的应变片粘贴在材料和温度都与构件相同的补偿块上，作为 R_2 ，以 R_1 和 R_2 组成测量电桥的半桥，电桥的另外两臂 R_3 和 R_4 为测试仪内部的标准电阻，则可以消除温度影响。

利用这种方法可以有效地消除了温度变化的影响，其中作为 R_2 的电阻应变片就是用来平衡温度变化的，称为温度补偿片。

四、实验步骤

1. 把等强度梁安装于实验台上，注意加载点要位于等强度梁的轴对称中心。
2. 将传感器连接到 BZ 2208-A 测力部分的信号输入端，将梁上应变片的导线分别接至应变仪任 1-3 通道的 A、B 端子上，公共补偿片接在公共补偿端子上。检查并纪录各测点的顺序。
3. 打开仪器，设置仪器的参数，测力仪的量程和灵敏度。
4. 本实验取初始载荷 $P_0=20\text{N}$ ， $P_{\max}=100\text{N}$ ， $\Delta P=20\text{N}$ ，以后每增加载荷 20N，记录应变读数 ε_i ，共加载五级，然后卸载。再重复测量，共测三次。取数值较好的一组，记录到数据列表中。
5. 未知灵敏度的应变片的简单标定：沿等强度梁的中心轴线方向粘贴未知灵敏度的应变片，焊接引出导线并将引出导线接 4 通道的 A、B 端子，重复以上 3.4 步。
6. 实验完毕，卸载。实验台和仪器恢复原状。

五、实验记录

表 2-1

载荷 P (N)	应变仪读数 ε [单位: $\mu (10^{-6})$]							
	ε_1	$\Delta\varepsilon_1$	ε_2	$\Delta\varepsilon_2$	ε_3	$\Delta\varepsilon_3$	ε_4	$\Delta\varepsilon_4$
-20		——		——		——		——
-40								
-60								
-80								
-100								
	——		——		——		——	
平均值	$\Delta\varepsilon$ 已知			$\Delta\varepsilon$ 未知				
灵敏度= $2.00 \times \Delta\varepsilon$ 未知/ $\Delta\varepsilon$ 已知								

实验二：纯弯梁实验

一、实验目的：

- 1、测定梁在纯弯曲时某一截面上的应力及其分布情况。
- 2、观察梁在纯弯曲情况下所表现的虎克定律，从而判断平面假设的正确性。
- 3、进一步熟悉电测静应力实验的原理并掌握其操作方法。
- 4、实验结果与理论值比较, 验证弯曲正应力公式 $\sigma = My/I_z$ 的正确性。
- 5、测定泊松比 μ 。

二、实验梁的安装示意图

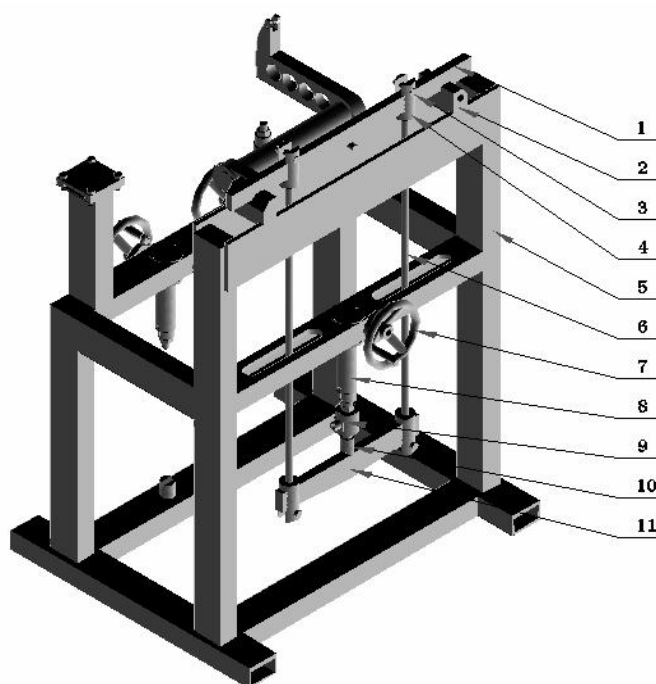
1. 纯弯梁的正应力的分布规律

实验装置

其装置如图 3-1 所示。

2. 纯弯梁的安装与调整：

在如图 3-1 所示位置处，将 9. 拉压力传感器安装在 8. 蜗杆升降机构上拧紧，将 2. 支座(两个)放于如图所示的位置，并对于加力中心成对称放置，将纯弯梁置于支座上，也称对



1.纯弯梁 2.支座 3.销子 4.加力杆接头 5.加力杆 6.台架主体
7.手轮 8.蜗杆升降机构 9.拉压力传感器 10.压头 11.加载下梁

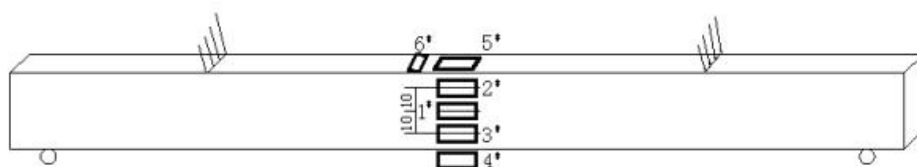
图 3-1 纯弯梁实验安装图

称放置,将 4. 加力杆接头(两对)与 6. 加力杆(两个)连接,分别用 3. 销子悬挂在纯弯梁上,再用销子把 11. 加载下梁固定于图上所示位置,调整加力杆的位置两杆都成铅垂状态并关于加力中心对称。摇动 7. 手轮使传感器升到适当位置,将 10. 压头放如图中所示位置,压头的尖端顶住加载下梁中部的凹槽,适当摇动手轮使传感器端部与压头稍稍接触。检查加载机构是否关于加载中心对称,如不对称应反复调整。

注意: 实验过程中应保证加载杆始终处于铅垂状态,并且整个加载机构关于中心对称,否则将导致实验结果有误差,甚至错误。

3. 纯弯梁的贴片:

5#、4# 分别位于梁水平上、下平面的纵向轴对称中心线上,1# 片位于梁的中性层上,2#、3# 片分别位于距中性层和梁的上下边缘相等的纵向轴线上,6# 片与 5# 片垂直,如图 3-2 所示



注: 4# 5#在梁的上下表面, 6#可在梁的上表面或下表面

图 3-2 纯弯梁贴片图

三、实验原理

图 3-3 为试样受力图

为了测量应变随试样截面高度的分布规律,应变片的粘贴位置如图 3.3 所示。这样可以测量试件上下边缘、中性层及其他中间点的应变,便于了解应变沿截面高度变化的规律。

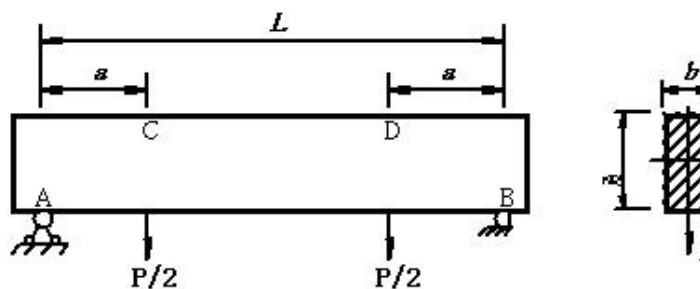


图 3-3 纯弯梁受力图

表 3-1 原始参数表

材料	弹模 (GPa)	几何参数			应变片参数		应变仪灵敏系数 K_{ix}
		b (cm)	h (cm)	a (cm)	灵敏系数 $K_{片}$	电阻值 (Ω)	
碳钢	210	2.0	4.0	10.0	2.00	120	2.0

由材料力学可知,矩形截面梁受纯弯时的正应力公式为

$$\sigma_{理} = \frac{M \cdot y}{I_z}$$

式中： M 为弯矩；

y 为中性轴至欲求应力点的距离；

$I_z (= \frac{bh^3}{12})$ 为横截面对 z 轴的惯性矩。

本实验采用逐级等量加载的方法加载，每次增加等量的载荷 ΔP ，测定各点相应的应变增量一次，即：初载荷为零，最大载荷为4kN，等量增加的载荷 ΔP 为500N。分别取应变增量的平均值(修正后的值) $\overline{\Delta\varepsilon}_{\text{实}}$ ，求出各点应力增量的平均值 $\overline{\Delta\sigma}_{\text{实}}$ 。

$$\overline{\Delta\sigma}_{\text{实}} = E \cdot \overline{\Delta\varepsilon}_{\text{实}}$$

$$\overline{\Delta\sigma}_{\text{理}} = \frac{\Delta M \cdot y}{I_z}$$

把测量得到的应力增量 $\overline{\Delta\sigma}_{\text{实}}$ 与理论公式计算出的应力增量 $\overline{\Delta\sigma}_{\text{理}}$ 加以比较，从而可验证公式的正确性，上述理论公式中的 ΔM 按下式求出：

$$\Delta M = \frac{1}{2} \Delta P \cdot a$$

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta\varepsilon_{\text{纵}} A} \quad \mu = \left| \frac{\Delta\varepsilon_{\text{横}}}{\Delta\varepsilon_{\text{纵}}} \right|$$

材料力学中还假设梁的纯弯曲段是单向应力状态，为此在梁上（或下）表面横向粘贴6#应变片，可测出 ε ，根据

式中 μ ：梁材料的泊松比

可由（ $\varepsilon_{\text{横}}/\varepsilon_{\text{纵}}$ ）计算得到 μ ，从而验证梁弯曲时近似于单向应力状态。

材料的弹性模量 E 值和泊松比 μ 值。

四、实验步骤

1. 确认纯弯梁截面宽度 $b=20\text{mm}$ ，高度 $h=40\text{mm}$ ，载荷作用点到梁两侧支点距离 $c=100\text{mm}$ 。
2. 将传感器连接到 BZ 2208-A 测力部分的信号输入端，将梁上应变片的公共线接至应变仪任意通道的 A 端子上，其它接至相应序号通道的 B 端子上，公共补偿片接在公共补偿端子上。检查并纪录各测点的顺序。
3. 打开仪器，设置仪器的参数，测力仪的量程和灵敏度设为传感器量程、灵敏度。
4. 本实验取初始载荷 $P_0=0.5\text{KN}$ （500N）， $P_{\text{max}}=2.5\text{KN}$ （2500N）， $\Delta P=0.5\text{KN}$ （500N），以后每增加载荷 500N，记录应变读数 ε_i ，共加载五级，然后卸载。再重复测量，共测三次。取数值较

好的一组，记录到数据列表中。

5. 实验完毕，卸载。实验台和仪器恢复原状。

五、实验结果

(1) 求出各测量点在等量载荷作用下，应变增量的平均值 $\overline{\Delta\varepsilon}_{\text{测}}$ 。

(2) 以各测点位置为纵坐标，以修正后的应变增量平均值 $\overline{\Delta\varepsilon}_{\text{实}}$ 为横坐标，画出应变随试件截面高度变化曲线。

(3) 根据各测点应变增量的平均值 $\overline{\Delta\varepsilon}_{\text{实}}$ ，计算测量的应力值 $\overline{\Delta\sigma}_{\text{实}} = E \overline{\Delta\varepsilon}_{\text{实}}$ 。

(4) 根据实验装置的受力图和截面尺寸，先计算横截面对 z 轴的惯性矩 I_z ，再应用弯曲应力的理论公式，计算在等增量载荷作用下，各测点的理论应力增量值 $\overline{\Delta\sigma}_{\text{理}} = \frac{\Delta M \cdot y}{I_z}$ 。

(7) 比较各测点应力的理论值和实验值，并按下式计算相对误差

$$e = \frac{\overline{\Delta\sigma}_{\text{理}} - \overline{\Delta\sigma}_{\text{实}}}{\overline{\Delta\sigma}_{\text{理}}} \times 100\%$$

在梁的中性层内，因 $\sigma_{\text{理}} = 0$, $\overline{\Delta\sigma}_{\text{理}} = 0$ ，故只需计算绝对误差。

(8) 比较梁中性层的应力。由于电阻应变片是测量一个区域内的平均应变，粘贴时又不可能正好贴在中性层上，所以只要实测的应变值是一很小的数值，就可认为测试是可靠的。

六、实验记录表格

表 3-2 测点位置

测点编号	1	2	3	4	5
测点至中性层的距离 $y(\text{mm})$					

表 3-3 实验记录

表

载荷 P(N)	应变仪读数 ε [单位: $\mu (10^{-6})$]												泊松比 $\mu = \varepsilon_6 / \varepsilon_5$
	ε_1	$\Delta\varepsilon_1$	ε_2	$\Delta\varepsilon_2$	ε_3	$\Delta\varepsilon_3$	ε_4	$\Delta\varepsilon_4$	ε_5	$\Delta\varepsilon_5$	ε_6	$\Delta\varepsilon_6$	
-500		—		—		—		—		—		—	
-1000													
-1500													
-2000													
-2500													
	—		—		—		—		—		—		
$\overline{\Delta\varepsilon}_{\text{实}}$													

3-4 实验结果

测点编号	1	2	3	4	5
应变修正值 $\overline{\Delta\varepsilon}_{\text{实}}$					
应力实验值 $\overline{\Delta\sigma}_{\text{实}} (= E \cdot \overline{\Delta\varepsilon}_{\text{实}})$					
应力理论值 $\overline{\Delta\sigma}_{\text{理}} (= \frac{\Delta M \cdot y}{I_z})$					
误差 $e(= \frac{\overline{\Delta\sigma}_{\text{理}} - \overline{\Delta\sigma}_{\text{实}}}{\overline{\Delta\sigma}_{\text{理}}} \times 100\%)$					

实验三：弯扭组合梁实验

一、实验目的：

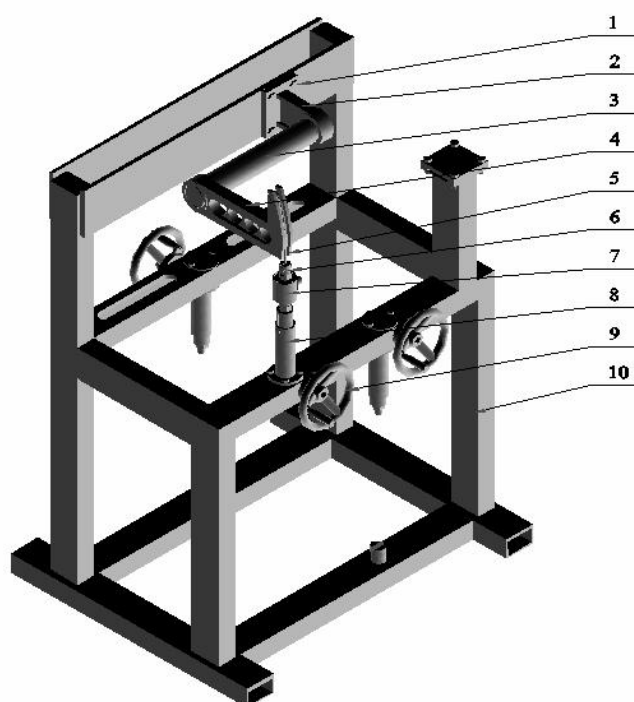
1. 验证薄壁圆管在弯扭组合变形下主应力大小及方向的理论计算公式
2. 测定圆管在弯扭组合变形下的弯矩和扭矩
3. 实测剪切应力并计算剪切模量
4. 掌握通过桥路的不同连接方案消扭测弯、消弯测扭的方法

二、实验梁的安装示意图

1. 弯扭组合梁的正应力的分布规律实验装置，其装置如图十二所示。

2. 弯扭组合梁的安装与调整：

该装置用的试件采用无缝钢管制成一空心轴，外径 $D=40.5\text{mm}$ ，内径 $d=36.5\text{mm}$ ， $E=206\text{Gpa}$ ，如图 4-1 所示，



1. 紧固螺钉 2. 固定支座 3. 薄壁圆筒 4. 扇形加力架 5. 钢丝 6. 铜丝接头 7. 拉压力传感器 8. 柄杆升降机构 9. 手轮 10. 台架主体

图 4-1 弯扭组合梁实验安装图

根据设计要求初载 $\Delta P \geq 0.3\text{KN}$ ，终载 $P_{\max} \leq 1.2\text{KN}$ 。

实验时将 7. 拉压力传感器安装在 8. 蜗杆升降机构上拧紧，顶部装上 6. 钢丝接头。观察加载中心线是否与扇形加力架相切，如不相切调整 1. 紧固螺钉（共四个），调整好后用扳手将紧固螺钉拧紧。将 5 钢丝一端挂入 4. 扇形加力杆的凹槽内，摇动 4. 手轮至适当位置，把钢丝的另一端插入传感器上方的钢丝接头内。

注意：扇形加力杆不与加载中心线相切，将导致实验结果有误差，甚至错误。

3. 弯扭组合梁的贴片：

注意：1# 片位于梁的上边缘弧面上，2# 片位于梁中轴层上，均为 45° 应变花如图 4-3 所示。

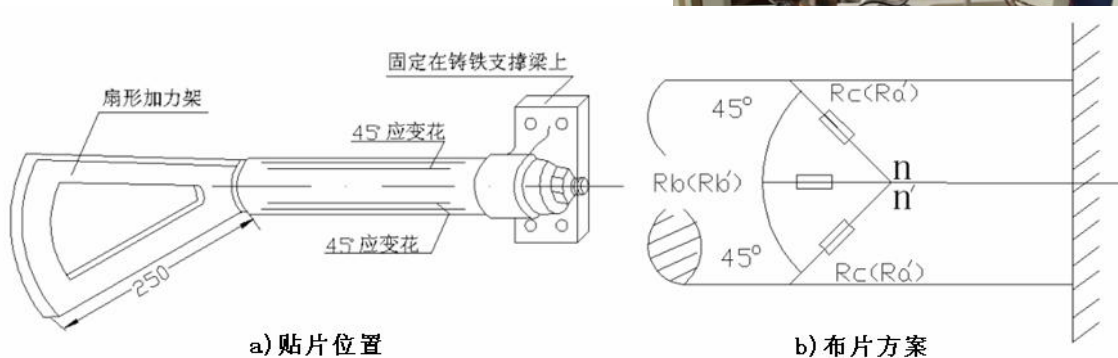
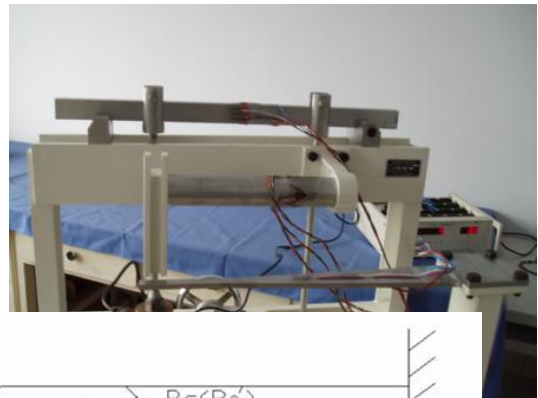


图 4-3 弯扭组合图贴片

三、实验原理

主应力的测量

1. 应变片布置

由图 4—4 可看出，A 点单元体承受由 M 产生的弯曲应力 σ_w 和由扭矩 M_t 产生的剪应力 τ 的作用。B 点单元体处于纯剪切状态，其剪应力由扭矩 M_t 和剪力 Q 两部分产生。这些应力可根据下列公式计算。

$$\sigma_w = \frac{|M|}{W_x}$$

$$W_x = \frac{\pi D^3}{32} (1 - d^4)$$

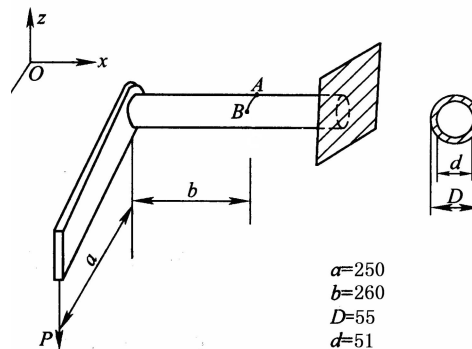


图 4—4 试样受力图（尺寸单位：mm）

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p}$$

$$W_p = \frac{\pi D^3}{16}(1-d^4)$$

$$\tau = \frac{QS_{z\max}}{bI_z} = 2\frac{Q}{A}$$

从上面分析看来，在试件的 A 点、B 点上分别粘贴一个三向应变片如 4-6，就可以测出各点的应变值，并进行主应力的计算。

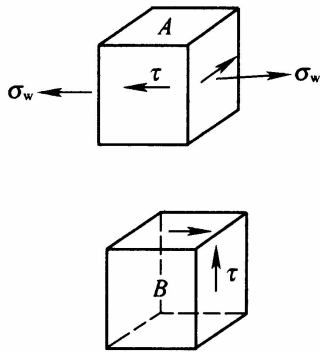


图 4—5 单元体图

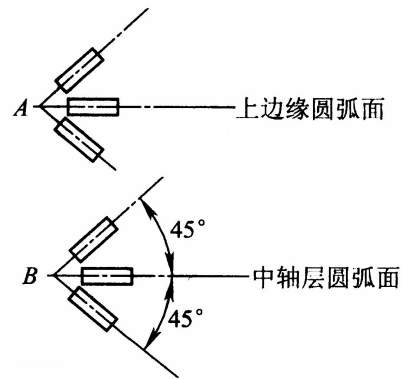


图 4—6 应变片的布置

2. 主应力的计算

电阻应变片的应变测量只能沿应变片轴线方向的线应变。能测得 x 方向、 y 方向和 45° 方向的三个线应变 ε_x 、 ε_y 、 ε_{45° 。为了计算主应力还要利用平面应力状态下的虎克定律和主应力计算公式，即

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

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

$$\tau_x = \frac{E}{1+\mu} \left[-\varepsilon_{45^\circ} + \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y) \right]$$

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_x^2}$$

$$\operatorname{tg}(-2a) = \frac{2\tau_x}{\sigma_x - \sigma_y}$$

计算中应注意应变片贴片的实际方向，灵活运用此公式。

截面内力的分离测量

在工程实践中应变片电测方法不仅广泛用于结构的应变、应力测量，而且也把它当作应变

的敏感元件用于各种测力传感器中。有时测量某一种内力而舍去另一种内力就需要采用内力分离的方法。

1. 弯矩的测量

在弯扭组合的构件上，只想测量构件所受弯矩的大小，可利用应变片接桥方法的改变就可实现。

利用图 4-7 的应变片布置，选用 A 点沿轴线方向的应变片接入电桥的测量桥臂 A' B'，选用 B 点沿轴线方向的应变片接入电桥的温度补偿臂 B' C'，这

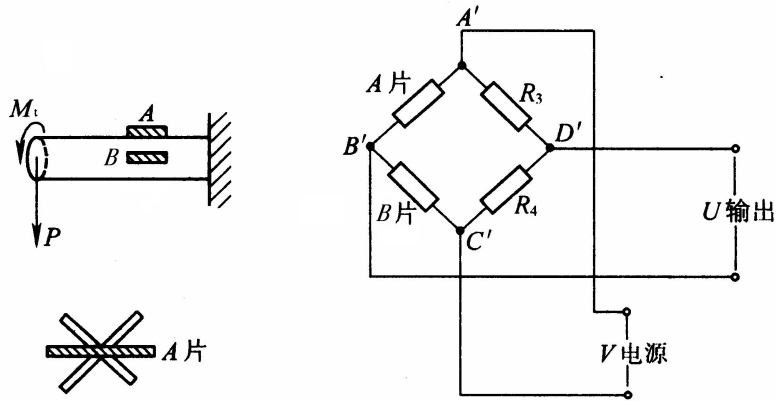


图 4-7 测量弯矩的接桥方式

样组成仪器测量的外部半桥如图 4-8。

此接桥方式，A 片受弯曲拉应力，B 片无弯曲应力作用，而测量结果与扭转内力无关。

这种接法可以满足温度补偿的要求，这样就可计算出弯矩的大小，然后将实测结果与理论计算相比较。

2. 扭转力矩的测量

在弯扭组合的构件上，只想测量构件所受的扭转力矩，也可利用应变片的接桥方式来实现。以图 4-9 中 B 点的应变片为例，将 B 点沿轴线呈 45° 的两个应变片接入相邻的两个桥臂如图 4-8。

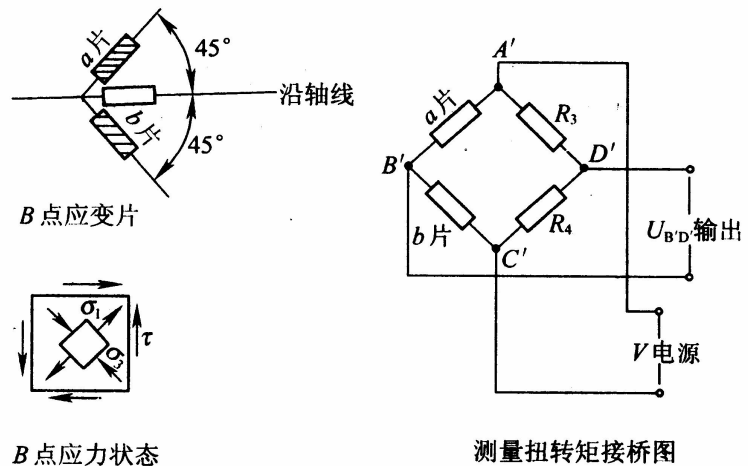


图 4-8 扭转力矩的测量

由于 B 点处于弯曲的中性层，所以弯矩的作用对应变片没有影响。在扭转力矩作用下，应变片 a 受到伸长变形接于桥臂 A' B'，应变片 b 受到压缩变形接于桥臂 B' C'。由于接入相邻桥臂既自身温度补偿，又使应变读数

增加一倍。此处弯曲剪应力较小而未加考虑。

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} \varepsilon_{\text{读数}} = -\varepsilon_3$$

再根据广义虎克定律求得 σ_1 和 σ_3 。由于在纯剪切状态下 $\tau = \sigma_1$ ，则可进一步计算出内力——扭转力矩。

除了以上接桥之外，利用A点的应变片也要组成同样功能的电桥来测量扭转力矩，在只有弯矩的作用下，A点沿轴线呈 $\pm 45^\circ$ 的方向上的伸长是相等的，即a片b片伸长量相等而连接于电桥的相邻臂，则相互抵消电桥输出为零，其道理与温度补偿是一样的。所以如此接桥方式可消除弯矩的影响，而只测量出扭转力矩。另外，A点和B点也可组成全桥来测量扭矩。

四、实验步骤

1. 将传感器连接到BZ2208-A测力部分的信号输入端，打开仪器，设置仪器的参数，测力仪的量程和灵敏度设为传感器量程、灵敏度。

2. 主应力测量：将两个应变花的公共导线分别接在仪器前任意两个通道的A端子上，其余各导线按顺序分别接至应变仪的1-6通道的B端子上，设置应变仪参数。

3. 本实验取初始载荷 $P_0=0.2\text{KN}$ （200N）， $P_{\max}=1\text{KN}$ （1000N）， $\Delta P=0.2\text{KN}$ （200N），以后每增加载荷200N，记录应变读数 ε_i ，共加载五级，然后卸载。再重复测量，共测三次。取数值较好的一组，记录到数据列表中。

4. 弯矩测量：将梁上A点沿轴线应变片的公共线接至应变仪1通道的B端子上，另一端分别接1通道的A端子上；梁上A点沿轴线应变片的公共线接至应变仪1通道的B端子上，另一端分别接1通道的C端子上。设置应变仪参数到半桥，未加载时平衡一次，然后转入测量状态。

5. 本实验取初始载荷 $P_0=0.2\text{KN}$ （200N）， $P_{\max}=1\text{KN}$ （1000N）， $\Delta P=0.2\text{KN}$ （200N），以后每增加载荷200N，记录应变读数 ε_i ，共加载五级，然后卸载。再重复测量，共测三次。取数值较好的一组，记录到数据列表中。

6. 扭矩测量：将梁上B点沿轴线呈 45° 的两个应变片公共线接至应变仪1通道的B端子上，另一端分别接1通道的A端子和C端子上。设置应变仪参数为半桥；未加载时平衡测力通道和所选测应变通道电桥（应变部分按平衡键，测力部分按增键），然后转入测量状态。

7. 本实验取初始载荷 $P_0=0.2\text{KN}$ （200N）， $P_{\max}=1\text{KN}$ （1000N）， $\Delta P=0.2\text{KN}$ （200N），以后每增加载荷200N，记录应变读数 ε_i ，共加载五级，然后卸载。再重复测量，共测三次。取数值较好的一组，记录到数据列表中。

8. 实验完毕，卸载。实验台和仪器恢复原状。

五、实验记录表格

表 4-1 实验记录

载荷 P(N)	应变仪读数 ε [单位: $\mu(10^{-6})$]											
	ε_1	$\Delta\varepsilon_1$	ε_2	$\Delta\varepsilon_2$	ε_3	$\Delta\varepsilon_3$	ε_4	$\Delta\varepsilon_4$	ε_5	$\Delta\varepsilon_5$	ε_6	$\Delta\varepsilon_6$
0		—		—		—		—		—		—
-200												
-400												
-600												
-800												
-1000	—		—		—		—		—		—	
$\overline{\Delta\varepsilon}_{实}$												

表 4-2 实验结果

测点编号	1	2
主应力 $\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_x^2}$		
主应力 $\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_x^2}$		
主方向 $tg(-2a) = \frac{2\tau_x}{\sigma_x - \sigma_y}$		

实验四：连续梁实验

一、实验目的：

实测多跨连续静不定梁截面的应力分布

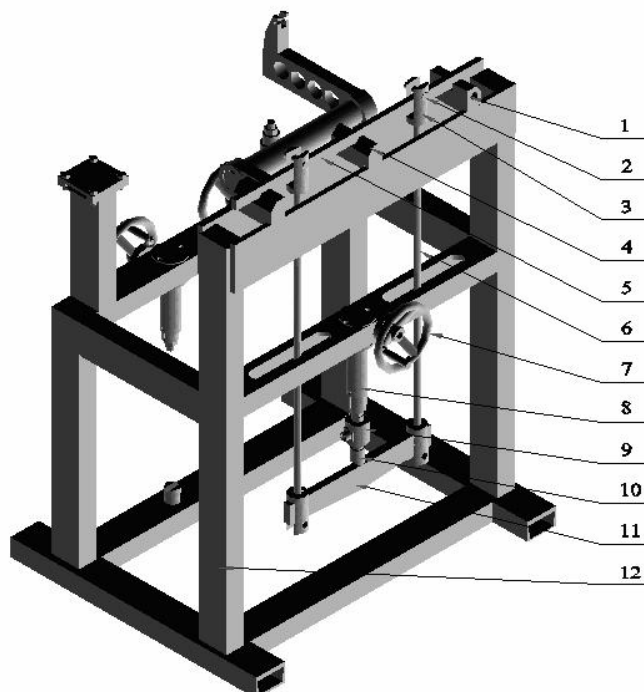
二、实验梁的安装示意图

1. 连续梁的正应力的分布规律实验装置

2. 连续梁的安装与调整:

在如图 5-1 所示位置处,将 9. 拉压力传感器安装在 8. 蜗杆升降机构上拧紧,将 1. 侧支座(两个)和 4. 中间支座放于如图所示的位置,并关于加力中心成对称放置,将 5. 连续梁置于支座上,也成对称放置,如图 5-3 所示。

将 3. 加力杆接头(两对)与 6. 加力杆(两个)连接,分别用 2. 销子悬挂在实验梁上,再用销子把 11. 加载下梁固定于图 5-1 所示位置,调整加力杆的位置两杆都成铅垂状态并关于加力中心对称。摇动 7. 手轮使传感器升到适当位置,将 10. 压头放在如图中所示位置,压头的尖端顶住加载下梁中部的凹槽,适当摇动手轮使传感器端部与压头稍稍接触。检查加载机构是否关于加载中心对称,如不对称应反复调整。



1.侧支座 2.销子 3.加力杆接头 4.中间支座 5.连续梁 6.加力杆 7.手轮
8.蜗杆升降机构 9.拉压力传感器 10.压头 11.加载下梁 12.台架主体

图 5-1 连续梁实验安装图

将 10. 压头放在如图中所示位置,压头的尖端顶住加载下梁中部的凹槽,适当摇动手轮使传感器端部与压头稍稍接触。检查加载机构是否关于加载中心对称,如不对称应反复调整。

注意: 实验过程中应保证加载杆始终处于铅垂状态,并且整个加载机构关于中心对称,否则将导致实验结果有误差,甚至错误。

3. 连续梁的贴片:

图 5-2 为连续梁实物图

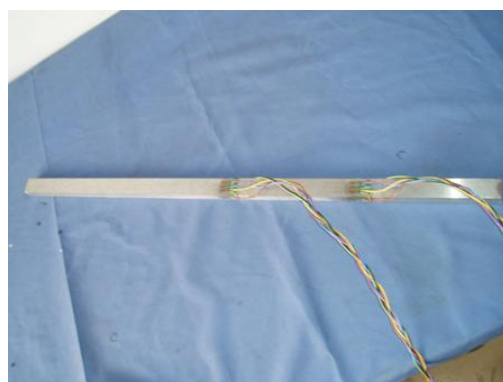


图 5-2 连续梁实物图

1#、5#片分别在梁纵向 1/2 处的上下平面中心线上，3#、8#片在梁竖向平面的水平对称中心线上；6#、10#片分别在梁纵向 1/4 处的上下平面中心线上，见图 3(c) 所示。

如图 5-3 所示 A、C、E 三点为支座反力作用点，B、D 加载集中力作用点。

四、实验步骤：

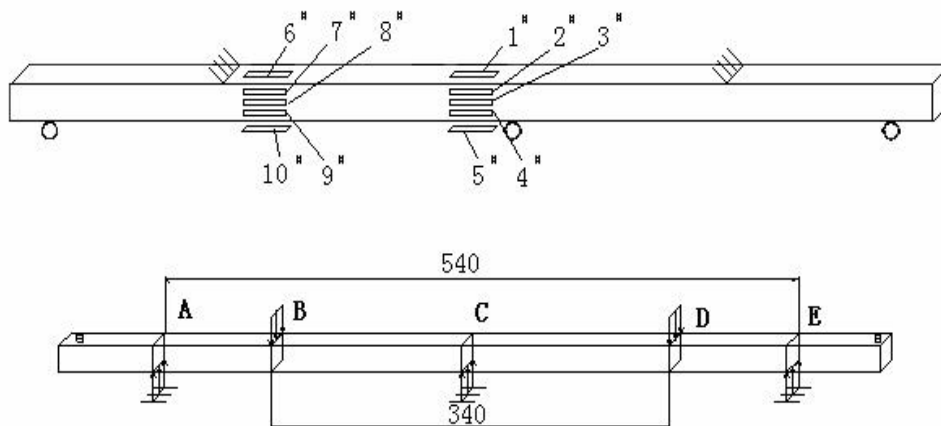


图 5-3 连续梁贴片图

1. 连续梁截面宽度 $b=15\text{mm}$ ，高度 $h=25\text{mm}$ ，载荷作用点到梁两侧支点距离 $c=100\text{mm}$ 。
2. 将传感器连接到 BZ 2208-A 测力部分的信号输入端，将梁上应变片的公共线接至应变仪任一通道的 A 端子上，其它接至相应序号通道的 B 端子上，公共补偿片接在公共补偿端子上。检查并纪录各测点的顺序。
3. 打开仪器，设置仪器的参数，测力仪的量程和灵敏度设为传感器量程、灵敏度。注：如果不接补偿则 S6 设为 0 即可。
4. 本实验取初始载荷 $P_0=0.5\text{KN}$ (500N)， $P_{\max}=2.5\text{KN}$ (2500N)， $\Delta P=0.5\text{KN}$ (500N)，以后每增加载荷 500N，记录应变读数 ϵ_i ，共加载五级，然后卸载。
5. 实验完毕，卸载。实验台和仪器恢复原状。

五、实验记录表格

表 5-1 实验记录

载荷 P(N)	应变仪读数 ε [单位: $\mu(10^{-6})$]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-500										
-1000										
-1500										
-2000										
-2500										
$\Delta\varepsilon_1$										
$\Delta\varepsilon_2$										
$\Delta\varepsilon_4$										
$\Delta\varepsilon_3$										
实验五：叠梁实验										
$\overline{\Delta\varepsilon}_{实}$										

一、实验

目的：

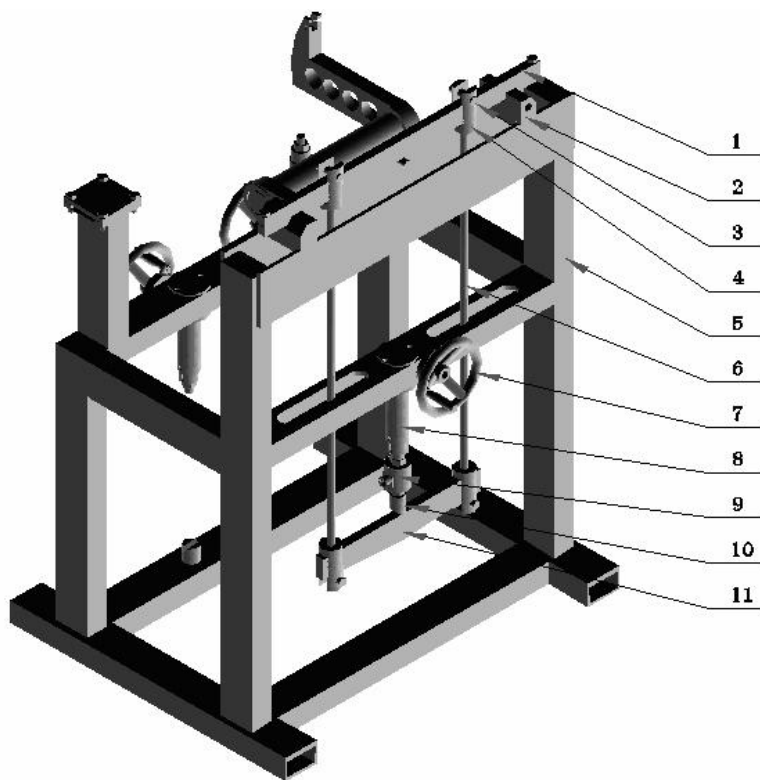
1. 测定叠梁横力弯曲段应变、应力分布规律。
2. 通过实验和理论分析深化对弯曲变形理论的理解，培养思维能力。

二、实验梁的安装示意图

1. 叠梁实验装置图如图 6-1
2. 叠梁的安装与调整：

在如图 3-1 所示位置处, 将 9. 拉压力传感器安装在 8. 蜗杆升降机构上拧紧, 将 2. 支座(两个)放于如图所示的位置,

并对于加力中心成对称放置, 将实验梁置于支座上, 也称对称放置, 将 4. 加力杆接头(两对)与 6. 加力杆(两个)连接, 分别用 3. 销子悬挂在叠梁上, 再用销子把 11. 加载下梁固定于图上所示位置, 调整加力杆的位置两杆都成铅垂状态并关于加力中心对称。摇动 7. 手轮使传感器升到适当位置, 将 10. 压头放如图中所示位置, 压头的尖端顶住加载下梁中部的凹槽, 适当摇动手轮使



1. 叠梁 2. 支座 3. 销子 4. 加力杆接头 5. 加力杆 6. 台架主体
7. 手轮 8. 蜗杆升降机构 9. 拉压力传感器 10. 压头 11. 加载下梁

图 6-1 叠梁实验安装图

传感器端部与压头稍稍接触。检查加载机构是否关于加载中心对称, 如不对称应反复调整。

注意: 实验过程中应保证加载杆始终处于铅垂状态, 并且整个加载机构关于中心对称, 否则将导致实验结果有误差, 甚至错误。

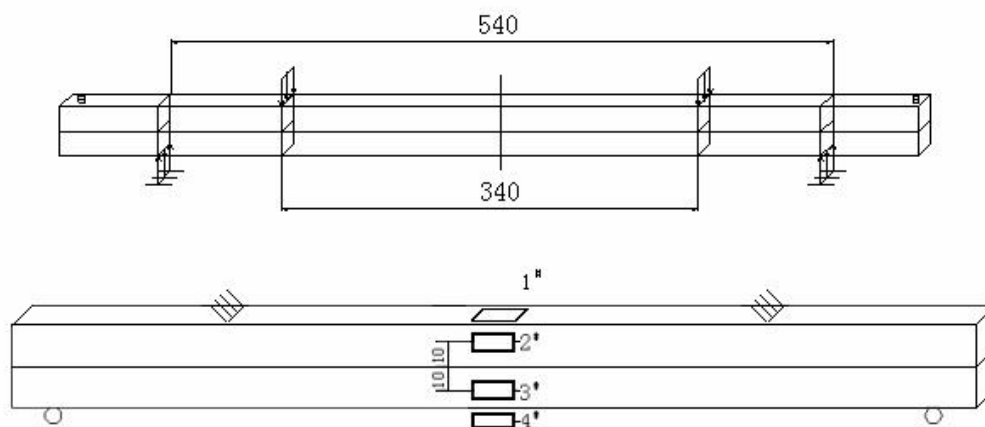


图 6-2 叠梁贴片图

3. 叠梁的贴片:

1#、4#片分别在上下平面的纵向对称中心线上，2#、3#片分别在上下梁的纵向对称中心线上，见图 6-2 所示。

三、实验原理

叠梁实验装置与纯弯曲梁实验装置相同，只是将纯弯曲梁换成叠梁，所用材料分别为 45 钢和 A3 钢。叠梁受力状态和应变片粘贴位置如图 6-2 所示。叠梁受力简图如图 6-3 所示，由材料力学可知

叠梁横截面弯矩： $M=M_1+M_2$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_1}{E_1 I_{Z1}} = \frac{M_2}{E_2 I_{Z2}} = \frac{M}{E_1 I_{Z1} + E_2 I_{Z2}}$$

I_{Z1} ——叠梁 1 截面对 Z_1 轴的惯性距；

I_{Z2} ——叠梁 2 截面对 Z_2 轴

的惯性距。

因此，可得到叠梁 I 和叠梁

II 正应力计算公式分别为：

$$\sigma_1 = E_1 \frac{Y_1}{\rho} = \frac{E_1 M_1 Y_1}{E_1 I_{Z1} + E_2 I_{Z2}}$$

$$\sigma_2 = E_2 \frac{Y_2}{\rho} = \frac{E_2 M_2 Y_2}{E_1 I_{Z1} + E_2 I_{Z2}}$$

式中 Y_1 ——叠梁 I 上测点距 Z_1

轴的距离； Y_2 ——叠梁 II 上

测点距 Z_2 轴的距离。

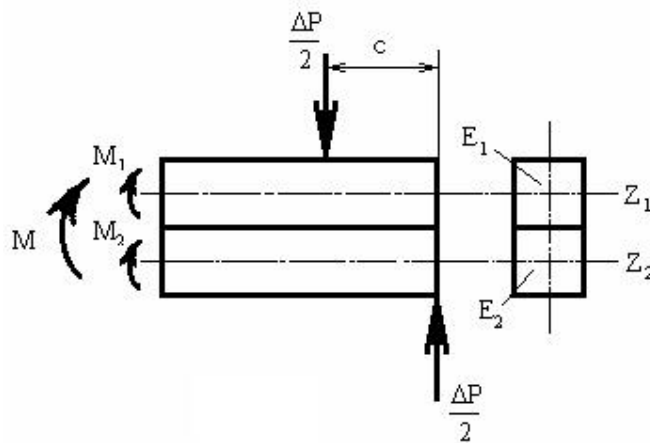


图 6-3 叠梁受力简图

在叠梁的纯弯曲段内，沿叠梁的横截面高度已粘贴一组应变片。当梁受载后，可由应变仪测得每片应变片的应变，即得到实测的沿叠梁横截面高度的应变分布规律，由单向应力状态的虎克定律公式 $\sigma = E\varepsilon$ ，可求出应力实验值。应力实验值与应力理论值进行比较，以验证叠梁的正应力计算公式。

四、实验步骤

1. 叠梁单梁截面宽度 $b=20\text{mm}$ ，高度 $h=20\text{mm}$ ，载荷作用点到梁支点距离 $c=100\text{mm}$ 。
2. 将拉压力传感器与测力仪连接，将梁上应变片的公共线接至应变仪任一通道的 A 端子上，其它接至相应序号通道的 B 端子上，公共补偿片接在公共补偿端子上。
3. 设置应变仪；未加载时平衡测力通道和所选测应变通道

4. 本实验取初始载荷 $P_0=0.5\text{KN}$ (500N), $P_{\max}=2.5\text{KN}$ (2500N), $\Delta P=0.5\text{KN}$ (500N), 以后每增加载荷 500N, 记录应变读数 $\varepsilon_{d_{ii}}$, 共加载五级, 然后卸载。再重复测量, 共测三次。取数值较好的一组, 记录到数据列表中。

5. 实验完毕, 卸载。实验台和仪器恢复原状。

五、实验结果的处理

表 6-1

1~4 号应变片至中性层的距离 (mm)			
Y_1	Y_2	Y_3	Y_4

表 6-2

载荷		1		2		3		4	
P (KN)	ΔP (KN)	ε ($\mu\varepsilon$)	$\Delta\varepsilon$ ($\mu\varepsilon$)	ε ($\mu\varepsilon$)	$\Delta\varepsilon$ ($\mu\varepsilon$)	ε ($\mu\varepsilon$)	$\Delta\varepsilon$ ($\mu\varepsilon$)	ε ($\mu\varepsilon$)	$\Delta\varepsilon$ ($\mu\varepsilon$)
500	——		——		——		——		——
1000									
1500									
2000									
2500									
——		——		——		——		——	
$\Delta\varepsilon_{\text{均}}$ ($\mu\varepsilon$)									

表 6-3

应变片号	1	2	3	4
理论应力值 (MN/m^2)				
实验应力值 (MN/m^2)				
相对误差%				

实验六：偏心拉杆实验

一、实验目的：

1. 分别测量偏心拉伸试样中的由拉力和弯矩所产生的应力
2. 熟悉电阻应变片的电桥接法，及其测量组合变形试样中某一种内力因素的一般方法。测定偏心拉伸试样的杨氏模量 E 和偏心距 e 。

二、实验梁的安装示意图

1. 偏心拉杆实验装置

图 7-1 为偏心拉杆实验安装图

2. 偏心拉杆的安装与调整：

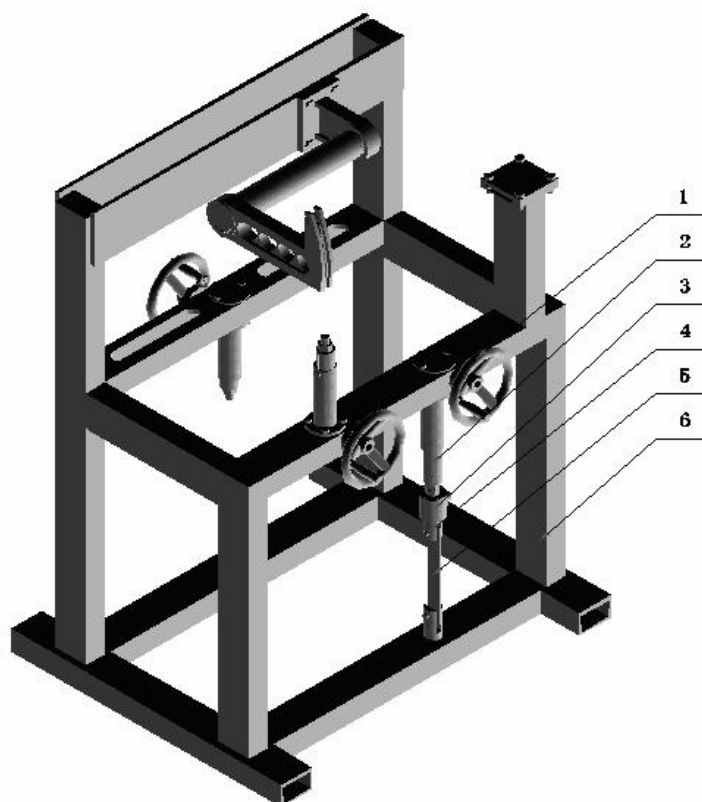
如图 7-1 所示，将 3. 拉压力传感器安装在 2. 蜗杆升降机构上拧紧，将 4 拉伸杆接头(两个)安装在如图所示的位置拧紧，摇动 1. 手轮使传感器升到适当位置，将 5. 偏心拉杆用销子安装在拉伸杆接头的凹槽内，应调整支座的位置，使同心拉杆处于自由悬垂状态。

注意：实验过程中应保证同心拉杆处于自由悬垂状态，否则将导致实验结果有较大误差，甚至错误。

3. 偏心拉杆的贴片：

采用图 7-2 所示的偏心拉伸试样。

贴片方法如图 7-3 所示， R_a 和 R_b 为两侧平面沿纵向粘贴的应变片，其余三片在横向四等分位置处，另外有两枚粘贴在与试样材质相同但不受载荷的试件上的应变片，供全桥测量时



1. 手轮 2. 蜗杆升降机构 3. 拉压力传感器 4. 拉伸杆接头
5. 偏心拉杆 6. 台架主体

图 7-1 偏心拉杆实验安装图

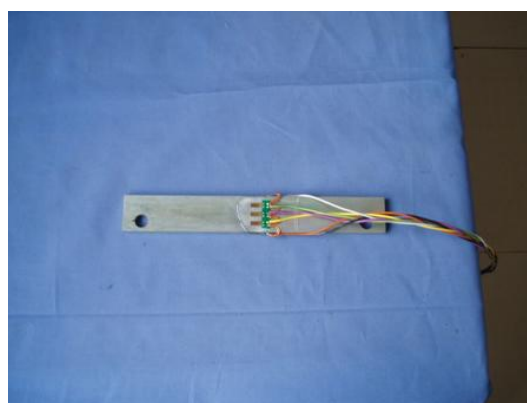


图 7-2 偏心拉杆实物图

组桥之用。尺寸 $b=30\text{mm}$, $t=5\text{mm}$ 。

三、实验原理

由电测原理知：

$$\varepsilon_{du} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4$$

式中 ε_{du} 为仪器读数。从此式看出：相邻两臂应变符号相同时，仪器读数互相抵销；应变符号相异时，仪器读数绝对值是两者绝对值之和。相对两臂应变符号相同时，仪器读数绝对值是两者绝对值之和；应变符号相异时，仪器读数互相抵销。此性质称为电桥的加减特性。利用此特性，采取适当的布片和组桥，可以将组合载荷作用下各内力产生的应变成份分别单独测量出来，且减少误差，提高测量精度。从而计算出相应的应力和内力。——这就是所谓内力素测定。

图 7-3 中 R_a 和 R_b 的应变均由拉伸和弯曲两种应变成份组成，即

$$\varepsilon_a = \varepsilon_F + \varepsilon_M \quad (a)$$

$$\varepsilon_b = \varepsilon_F - \varepsilon_M \quad (b)$$

式中 ε_F 和 ε_M 分别为拉伸和弯曲应变的绝对值。

若如图 7-4 全桥方式组桥，则由上式得

$$\varepsilon_{du} = \varepsilon_a + \varepsilon_b = 2\varepsilon_F$$

若如图 7-5 半桥方式组桥，则得

$$\varepsilon_{du} = \varepsilon_a - \varepsilon_b = 2\varepsilon_M$$

通常将仪器读出的应变值与待测应变值之比称为桥臂系数。故上述两种组桥方法的桥臂系数均为 2。

为了测定弹性模量 E ，可如图 7-4 组桥，并等增量加载，即 $P_i = P_0 + i \cdot \Delta P (i=1, 2, \dots, 5)$ ，末级载荷 P_5 不应使材料超出弹性范围。初载荷 P_0 时将应变仪调零，每级加载后记录仪器读数 ε_{dui} ，用最小二乘法计算出弹性模量 E ：

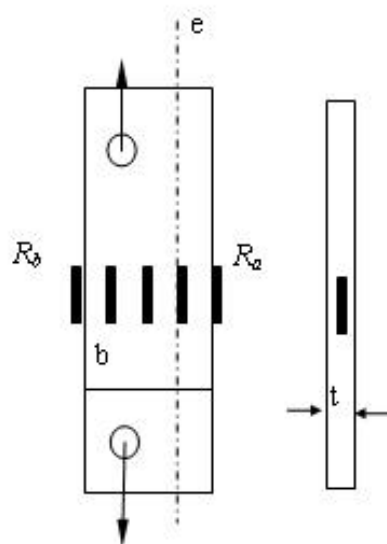


图 7-3 偏心拉杆贴片图

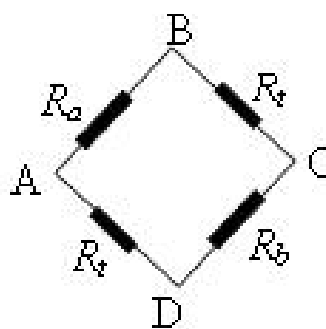


图 7-4 全桥方式组桥

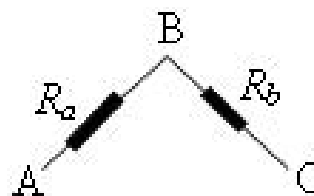


图 7-5 半桥方式组桥

$$E = \frac{\alpha \cdot \Delta P}{bt} \cdot \frac{\sum_{i=1}^5 i^2}{\sum_{i=1}^5 i \varepsilon_{d_{ui}}}$$

式中 α 为桥臂系数。

为了测定偏心距 e ，可按图 7-5 方式组桥。初载荷 P_0 时应变仪调平衡，载荷增加 $\Delta P'$ 后。记录仪器读数 $\varepsilon_{d_{ui}}$ 。据虎克定律得弯曲应力为：

$$\sigma_M = E \varepsilon_M = E \cdot \frac{\varepsilon_{d_{ui}}}{\alpha}$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W_Z} = \frac{\Delta P' e}{W_Z}$$

由上式得

$$e = \frac{E W_Z}{\Delta P'} \cdot \frac{\varepsilon_{d_{ui}}}{\alpha}$$

四、实验步骤

1. 实验台换上拉伸夹具，安装试样。应变片电阻 $R=120\ \Omega$ ，灵敏系数 $K=2.00$ 。
2. 打开仪器电源，将力传感器与仪器测力部分连接，设置参数。
3. 测弹性模量 E

按图 7-5 将有关应变片接入所选 BZ2208A 的应变仪通道。每增加载荷 200N 记录应变读数 $\varepsilon_{d_{ui}}$ ，共加载五级，然后卸载。数据列表记录。

4. 测偏心距 e

按图 7-4 将有关应变片接入所选 BZ2208A 的应变仪通道。对所选通道设置为全桥。

5. 本实验取初始载荷 $P_0=0.5\text{KN}$ (500N)， $P_{\max}=2.5\text{KN}$ (2500N)， $\Delta P=0.5\text{KN}$ (500N)，以后每增加载荷 500N，记录应变读数 $\varepsilon_{d_{ui}}$ ，共加载五级，然后卸载。再重复测量，共测三次。取数值较好的一组，记录到数据列表中。6. 卸载。实验台和仪器恢复原状。

注意：偏心拉杆共贴片 5 枚，以上只用其中的 2 枚，其余 3 枚接成不同方式电桥也可验证结果，方法与上述类似。

五、实验结果处理

1. 计算弹性模量 E

将三组数据参考表 7-1 作初步处理，从中找出线性关系最好的一组。

表 7-1

i	$i \cdot \Delta P(N)$	第一组		第二组		第三组	
		$\varepsilon_{d_{ui}}(\mu\varepsilon)$	$\Delta\varepsilon_{d_{ui}}(\mu\varepsilon)$	$\varepsilon_{d_{ui}}(\mu\varepsilon)$	$\Delta\varepsilon_{d_{ui}}(\mu\varepsilon)$	$\varepsilon_{d_{ui}}(\mu\varepsilon)$	$\Delta\varepsilon_{d_{ui}}(\mu\varepsilon)$
0	0	0	—	0	—	0	—
1	200						
2	400						
3	600						
4	800						
5	1000						

注: $\Delta\varepsilon_{d_{ui}} = \varepsilon_{d_{ui}} - \varepsilon_{d_{ui-1}} (i = 1, 2, \dots, 5)$

表 7-2 弹性模量 E 数据处理列表

b=30mm		t=5mm		$\Delta P=1000N$		$\alpha = 2$	
i	$\varepsilon_{d_{ui}}(\mu\varepsilon)$	i^2		$i\varepsilon_{d_{ui}}(\mu\varepsilon)$			
1							
2							
3							
4							
5							
Σ	/						

2. 计算偏心距 e

表 7-3 偏心距 e 数据处理列表

b=30mm		t=5mm		$W_Z =$		mm^3	
$\alpha =$		$\Delta P=1000N$					
$\varepsilon_{d_{ui}}(\mu\varepsilon)$	1	2	3	平均			
偏心距 e							

实验七：同心拉杆实验

一、实验目的：

1. 测定低碳钢的弹性模量 E。
2. 验证虎克定律（最大载荷 4KN）

二、实验梁的安装示意图

1. 同心拉杆实验装置

图 8-1 为同心拉杆实验安装图

2. 同心拉杆的安装与调整:

如图 8-1 所示, 将 3. 拉压力传感器安装在 2. 蜗杆升降机构上拧紧, 将 4 拉伸杆接头(两个)安装在如图所示的位置拧紧, 摇动 1. 手轮使传感器升到适当位置, 将 5. 同心拉杆用销子安装在拉伸杆接头的凹槽内, 应调整支座的位置, 使同心拉杆处于自由悬垂状态。

注意: 实验过程中应保证同心拉杆处于自由悬垂状

态, 否则将导致实验结果有较大误差, 甚至错误。

3. 同心拉杆的贴片:

图 8-2 为同心拉杆实物图

只贴一枚应变片, 贴于梁水平上平面的纵向轴对称中心线上。

三、实验原理

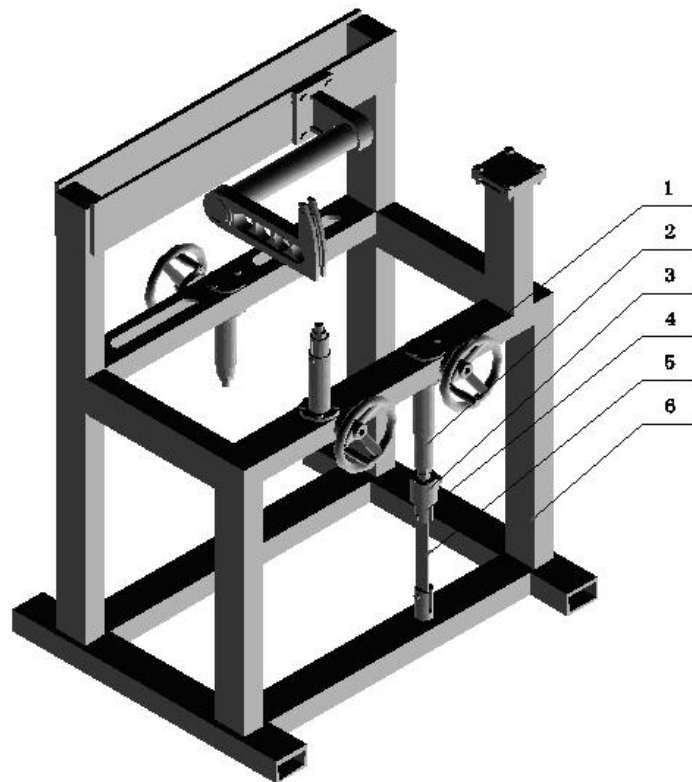
低碳钢弹性模量 E 的测定

由材料力学可知, 弹性模量是材料在弹性变形范围内应力与应变的比值, 即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

因为 $\sigma = \frac{P}{A}$, 所以弹性模量 E 又可表示为

$$E = \frac{P}{A\varepsilon}$$



1. 手轮 2. 蜗杆升降机构 3. 拉压力传感器 4. 拉伸杆接头
5. 同心拉杆 6. 台架主体

图 8-1 同心拉杆实验安装图

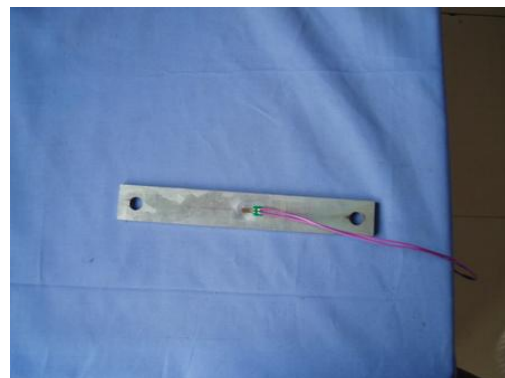


图 8-2 同心拉杆实物图

式中:

E — 材料的弹性模量 σ — 应力, ε — 应变,

P — 实验时所施加的载荷, A — 以试件截面尺寸的平均值计算的横截面面积

对于两端铰接的同心拉杆, 加力点都位于拉杆纵向轴线上, 所贴应变片也位于拉杆纵向轴线上, 此时该测点的应力状态可认为是单向应力状态, 即只有一个主应力, 满足虎克定律, 由于材料在弹性变形范围内, σ 与 ε 成正比, 所以当试件受到载荷增量 ΔP 与应变增量 $\Delta \varepsilon$ 的比值即为 E :

$$E = \frac{\Delta P}{A \Delta \varepsilon}$$

所以, 用游标卡尺测量试件的截面尺寸可计算出横截面面积 A , 由拉压力传感器接测力仪即可得到所加载荷增量 ΔP 的大小, 再把应变片引线应变仪相连, 就可得到该截面处以加载荷增量 ΔP 变化时应变增量 $\Delta \varepsilon$ 。这样就可计算出弹性模量 E 。

四、实验步骤

1. 将拉压力传感器与测力仪连接, 接通电源, 打开仪器开关, 设置测力仪参数, 测力仪量程、灵敏度 (设为传感器量程、灵敏度)。
2. 将试件上应变片接至应变仪一通道的 A 端子上, 公共补偿片接在公共补偿端子上。
3. 设置应变仪, 然后转入测量状态。
4. 本实验取初始载荷 $P_0=200\text{N}$, $P_{\max}=1000\text{N}$, $\Delta P=200\text{N}$, 以后每增加载荷 200N , 记录应变读数 $\varepsilon_{d_{ii}}$, 共加载五级, 然后卸载。实验台和仪器恢复原状。

五、实验记录表格

表 8-1 实验记录

载荷 $P(\text{N})$	200	400	600	800	1000
应变仪读数 [单位: $\mu(10^{-6})$] ε					ε
$\Delta \varepsilon$	—				
$\overline{\Delta \varepsilon}$					
$A (\text{m}^2)$					
$E = \frac{\Delta P}{A \Delta \varepsilon} (\text{Pa})$					

实验八：压杆实验

一、实验目的：

1. 观察细长中心受压杆件丧失稳定的现象。
2. 用电测实验方法测定各种约束情况下试件的临界力 $P_{cr实}$ ，增强学生对压杆承载及失稳的感性认识，加深对压杆承载特性的认识，理解压杆是实际压杆的一种抽象模型。
3. 实测临界力 $P_{cr实}$ 与理论计算临界力 $P_{cr理}$ 进行比较

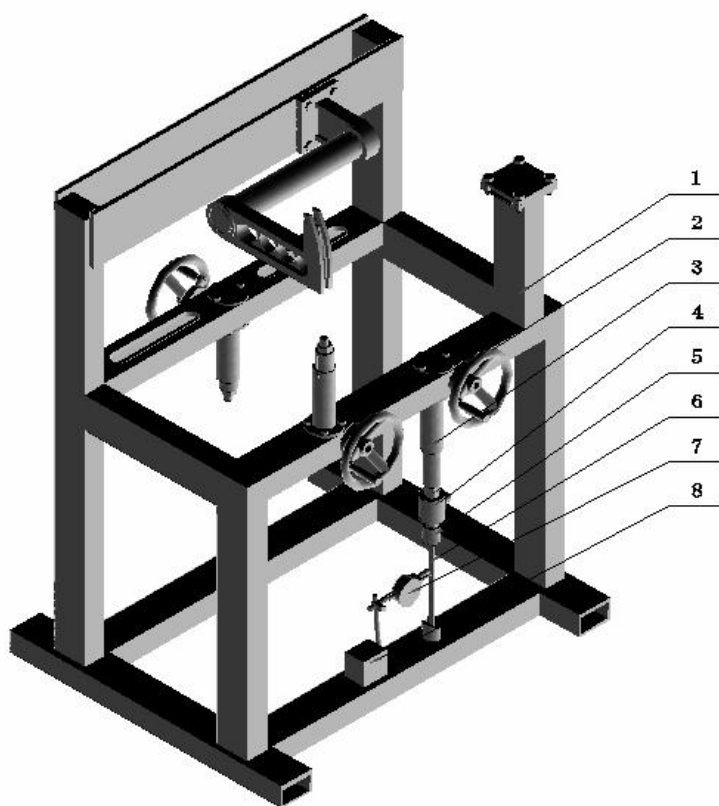
二、压杆实验安装示意图

1. 压杆稳定性实验装置

图 9-1 压杆实验安装图

2. 压杆的安装与调整：

在如图 9-1 所示位置处，将 4. 拉压力传感器安装在 3. 蜗杆升降机构上拧紧，将 5. 支座(两个)放于如图所示的位置拧紧，摇动 2. 手轮使传感器升到适当位置，将 6. 压杆放支座的凹槽内，如果压杆与上下支座凹槽未充分接触，应调整支座的位置，适当摇动手轮使支座与压杆稍稍接触但不受力。



1. 台架主体 2. 手轮 3. 蜗杆升降机构 4. 拉压力传感器 5. 支座 6. 压杆 7. 百分表 8. 磁力表座

图 9-1 压杆实验安装图

三、实验原理

本实验采用长形截面的长试件，试件由比例极限较高的弹性钢制成， λ_s 约为 60， $\lambda_p < 100$ ， $\lambda > \lambda_p$ 试件为细长杆，放在上下铰支 V 形槽中，相当于两端铰支情况。

两端铰支并受到有轴向压力 P 的细长压杆（大柔度杆），当 P 很小时则承受简单压缩，假如人为地在试件任一侧面扰动让试件稍微弯曲，扰动力去掉以后试件自动弹回恢复原状，即试件轴线仍保持直线，说明此时试件是处于稳定状态。

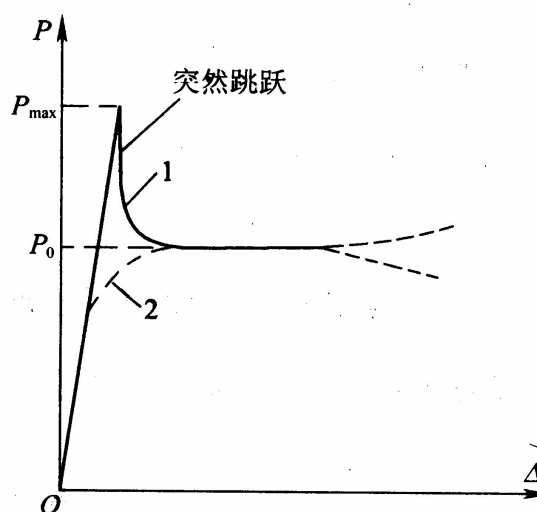


图 9-2 压杆临界力示意图

假如逐渐给试件加载，当达到某一 P_k 值时，虽然扰动力去掉，但试件轴线不再恢复直线，此时试件即丧失了稳定性，载荷 P_k 即为临界值。

计算细长杆临界力的欧拉公式：

$$P_k = \frac{\pi^2 EI}{(\mu L)^2}$$

式中：I—压杆截面最小惯性矩；

E—压杆弹性模量，合金钢取 $2.06 \times 10^5 \text{MPa}$ ；

μ —压杆长度系数，两端铰支时为 1

该装置用户稍加改装还可以测定一端固定一端铰支状态下压杆稳定实验

四、实验步骤

1. 把拉压力传感器上的连接线与数字式测力仪接通，打开测力仪电源，正确设置测力仪的参数（传感器量程、灵敏度等）。

2. 测量压杆尺寸长 L ，宽 b ，高 h 。

3. 在实验台上装卡好试件及配件。

注：由应变片确定临界载荷时，在试件中段的截面左右各贴一电阻应变片，进行应变测量，应变值由电阻应变仪读数。

由挠度确定临界载荷时，因为事先不知道试件挠度朝向哪一边，所以在试件一测置一个百分表，放置百分表时，应使百分表压进一段刻度，这样就可以读出百分表读数。（以此为例）。

3. 转动手轮，使传感器支座轻松地接触试件，按测力仪增键，使测力仪显示 0；调整百分

表，使百分表与试件接触平面垂直，转动表盘使百分表指示 0.00mm 状态。

4. 加载

(1) 加力手柄顺时针转动为加载，开始的几级载荷可加大些，每次转动手柄垂直位移 0.02~0.03mm，然后每次转动手柄垂直位移 0.01mm，记录每次位移量相对应的荷载值。

(2) 在位移—荷载读数过程中，如果发现连续增加位移量 2~3 次，荷载值几乎不变，再增加位移量时，荷载值读数下降或上升，说明压杆的临界力已出现，应立即停止加载（见图 9-2）。

(3) 卸载，重新装配其它组合方式进行实验，其操作方法如上所述。

6. 实验完毕，卸载，关闭电源和清理配件。

五、实验结果及记录

压杆截面最小惯性矩：(b>h)

$$I = \sqrt{\frac{bh^3}{12bh}} = \frac{\sqrt{3}}{6} h$$

计算细长杆临界力：

$$P_{cr理} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2}$$

计算其误差值：

$$\frac{P_{cr理} - P_{cr实}}{P_{cr理}} \times 100\%$$

表 9-1 实验记录

垂直位移 (mm)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
荷载 P(N)										
$P_{cr理}(N)$				$P_{cr实}(N)$			$\frac{P_{cr理} - P_{cr实}}{P_{cr理}} \times 100\%$			

产品附件

静态电阻应变仪 BZ2208A	1 台
拉压力传感器 BZ1403	1 只
实验梁（等强度梁、纯弯梁、、弯扭组合梁、同心拉杆、偏心拉杆、压杆）	1 套
加载下梁	1 只
加载杆	2 只
加载杆接头	4 只
拉伸杆接头	2 只
支座	2 只
压杆支座	2 只
磁力表座	1 套
百分表	1 只
销子	6 只
钢丝绳	1 条
钢丝绳接头	1 只
电源线	1 条
压头	2 只
输出数据线	1 条
“BZ2205C 静态应变采集分析系统” 软件光碟	1 片
使用说明书	1 本
软件使用手册	1 本

售后服务

硬件部分免费维修 12 个月，终身维护。

地 址：河北省秦皇岛市北戴河开发区金二路 2 号

电 话：0335-4289064 0335-4288044

传 真：0335-4288044

邮 编：066102

E- mail : bz4288044@126.com

网 址： <http://www.bdhland.com>