

桥梁结构实验实验报告

土木工程学院

桥梁工程系

胡鹏天

060985

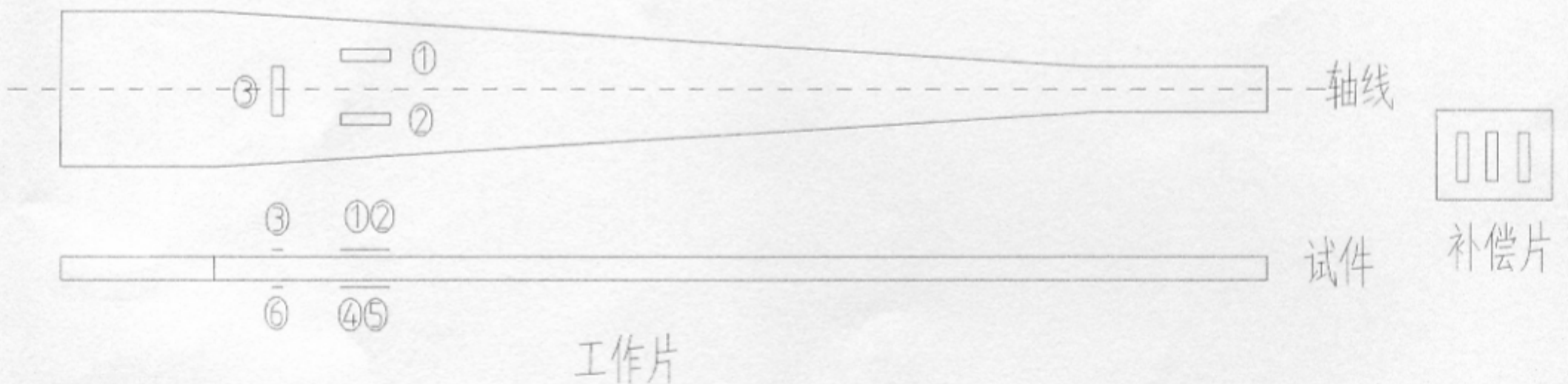
接桥方式和静态电阻应变仪的使用

一. 实验目的和要求

1. 用不同的电桥桥路进行应变测量，了解提高测量灵敏度和消除误差影响的方法，从而掌握用这种方法解决测量中的实际问题。
2. 了解温度效应，并懂得消除方法。
3. 熟悉静态应变仪的功能和使用。

二. 实验仪器和设备

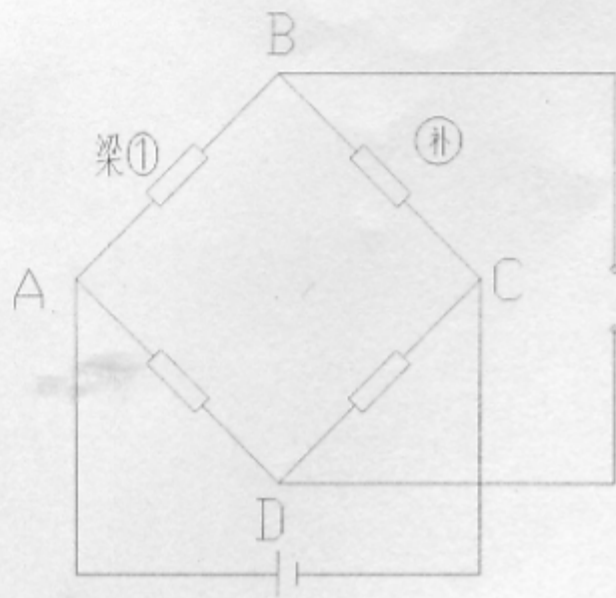
DH-3815N 静态应变测试系统	1 套
贴有应变片的等强度梁	1 根
砝码 (40N)	1 组
其他工具	若干



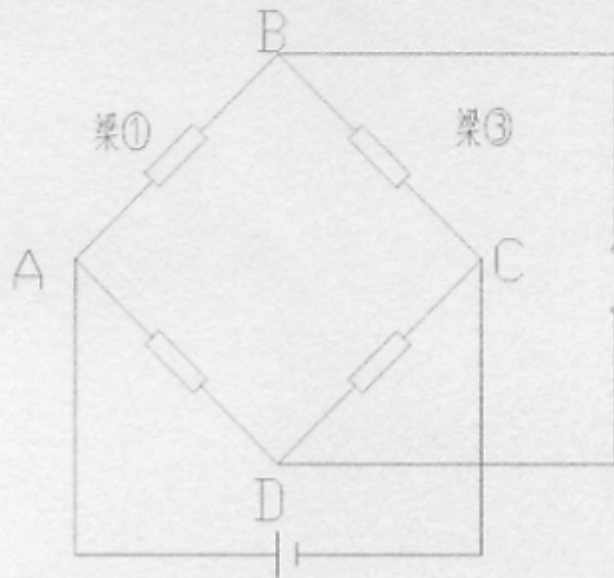
(等强度梁的材料参数: $b=4.58\text{cm}$ 、 $h=0.378\text{cm}$ 、 $L=30\text{cm}$)

三. 实验内容和步骤

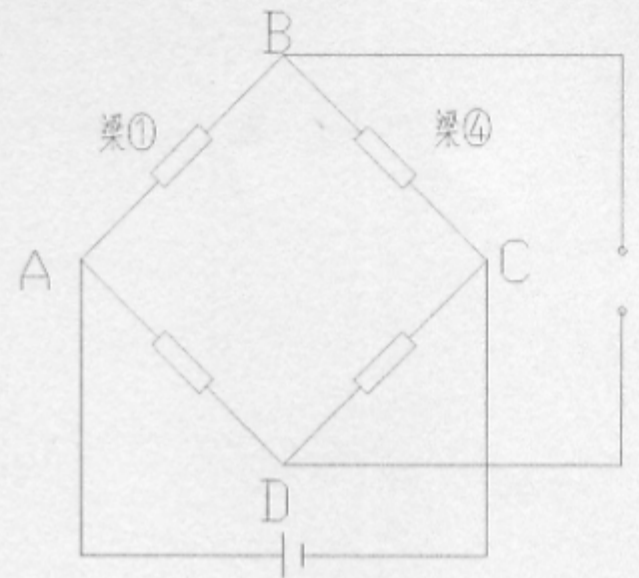
1. 准备以及调试仪器；



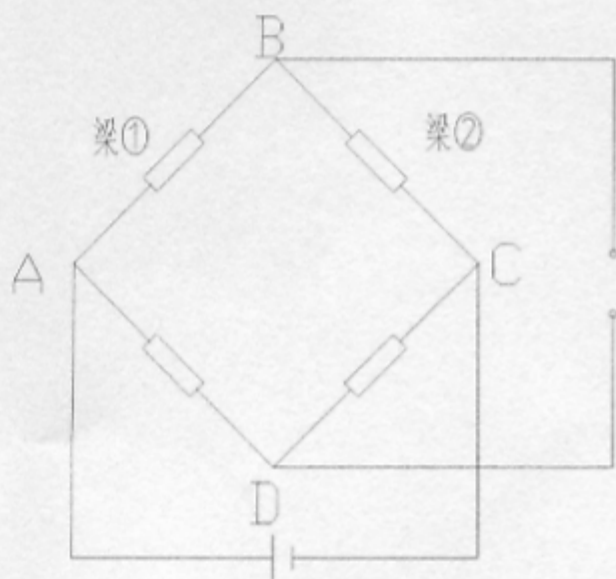
(a)



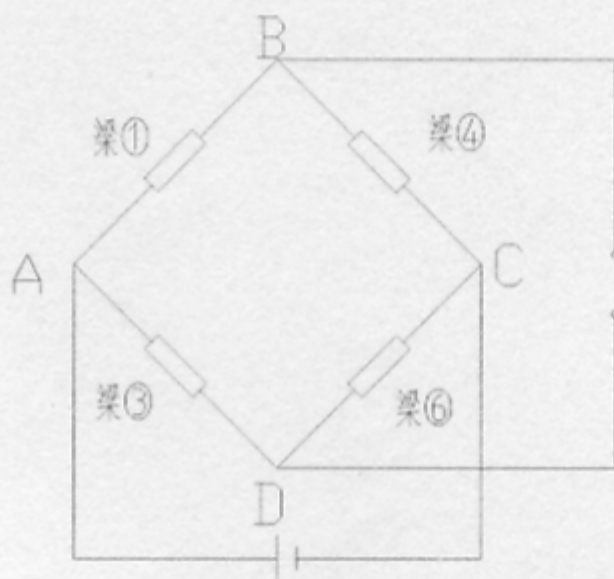
(b)



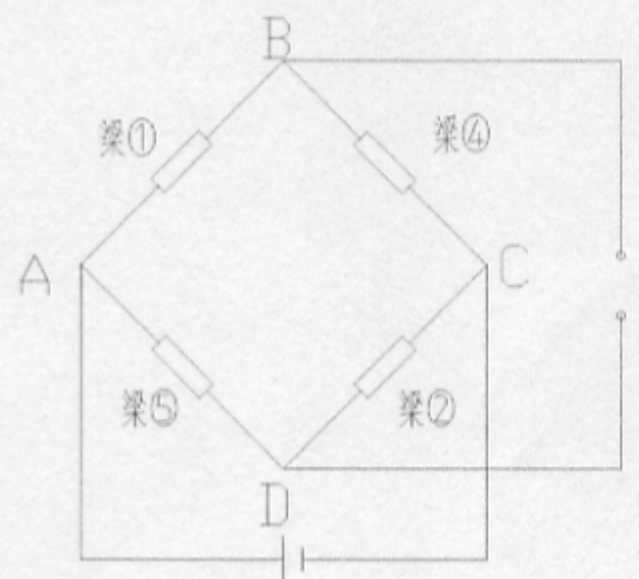
(c)



(d)



(e)



(f)

接桥方式

2. 静态应变测量

(1) 半桥测量

- ① 按照图 (a) 进行接线：应变仪接线柱 $+Eg$ 、 Vi^+ 两点接上纵向 1 号片 (下同)， Vi^+ 、 0 接温度补偿片。每级加载 $10KN$ ，每加一级荷载 (包括 0 荷载) 记录一次读数 (填于表 1) 中，分四级加载至 $40KN$ 。再分级卸载至零，同样记录每级读数，看其回零否。再重复二次。
将最后加载的 $40KN$ 的读数再记录于表 2 的第一栏中。
- ② 按照图 (b) 进行接线：应变仪接线柱 $+Eg$ 、 Vi^+ 两点接上纵向片 1， Vi^+ 、 $-Eg$ 接上横向片 3。一次加载 $40KN$ ，读取数据，记录于表 2 的第二栏中。
- ③ 按照图 (c) 进行接线：应变仪接线柱 $+Eg$ 、 Vi^+ 两点接上纵向片 1， Vi^+ 、 $-Eg$ 接上横向片 4。一次加载 $40KN$ ，读取数据，记录于表 2 的第三栏中。
- ④ 按照图 (d) 进行接线：应变仪接线柱 $+Eg$ 、 Vi^+ 两点接上纵向片 1， Vi^+ 、 $-Eg$ 接

上纵向片 2。一次加载 40KN，读取数据，记录于表 2 的第四栏中。

(2)全桥测量

① 按照图 (e) 进行接线：应变仪接线柱+ E_g 、 V_i^+ 两点接上纵向片 1， V_i^+ 、 $-E_g$ 间接下纵向片 4， $-E_g$ 、 V_i^+ 间接下横向片 6， V_i^+ 、 $+E_g$ 间接上横向片 3，一次加载 40KN，读取数据，记录于表 2 的第五栏中。

② 按照图 (f) 进行接线：应变仪接线柱+ E_g 、 V_i^+ 两点接上纵向片 1， V_i^+ 、 $-E_g$ 间接下纵向片 4， $-E_g$ 、 V_i^+ 间接下横向片 2， V_i^+ 、 $+E_g$ 间接上横向片 5，一次加载 40KN，读取数据，记录于表 2 的第六栏中。

3. 一点（补偿片）补多点（工作片）测量

将梁上的 6 个测点分别接到应变仪上作半桥测量；补偿通道接补偿片；通道 1~通道 6 分别接①~⑥工作片。一次加载 40KN，读取各点的数据，记录于表 3。测量时重复三次，以取平均。

四. 记录表格

表 1 分级加载记录

应变读数 ($\mu\epsilon$)		荷载 (N)		工况				
				0	10	20	30	40
第一次	加载	0	135	268	402	553		
	卸载	3	140	283	421	553		
第二次	加载	0	133	268	406	551		
	卸载	2	141	283	424	551		
第三次	加载	0	134	269	403	550		
	卸载	3	140	282	420	550		

表 2 不同接桥方式的应变值

序号	接桥图示	应变读数 ($\mu\epsilon$)	桥臂系数
1	(a)	551	1
2	(b)	692	$1 + \mu$
3	(c)	1115	2
4	(d)	17	0
5	(e)	1324	$2(1 + \mu)$
6	(f)	2160	4

表 3 作多点测量时各点的应变值

测点		1	2	3	4	5	6
		荷载 (KN)			应变值 ($\mu\epsilon$)		
次数	加、卸载量	0 40 0	0 40 0	0 40 0	0 40 0	0 40 0	0 40 0
	1	增量	540 530	532 517	-132 -149	-536 -548	-540 -556
平均		535	524.5	-140.5	-542	-548	133.5
加、卸载量		0 541 15	0 530 18	0 -132 22	0 -536 17	0 -538 20	0 141 19
2	增量	541 526	530 512	-132 -154	-536 -553	-538 -558	141 122
	平均	533.5	521	-143	-544.5	-548	131.5
	加、卸载量	0 540 16	0 530 19	0 -133 24	0 -537 17	0 -538 22	0 141 21
3	增量	540 524	530 511	-133 -157	-537 -554	-538 -560	141 120
	平均	532	520.5	-145	-545.5	-549	130.5
	平均值	533.5	522	-142.8	-544	-548.3	131.8

五. 实验数据分析

(1) 桥臂系数的物理意义

在惠斯顿电桥中，输入的电压 V_{in} 和输出的电压 V_{out} 的关系如下：

$$V_{out} = \frac{1}{4} K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) V_{in} \quad (*)$$

若各电阻应变计的阻值都一样，即 $R_i = R$ ，则有：

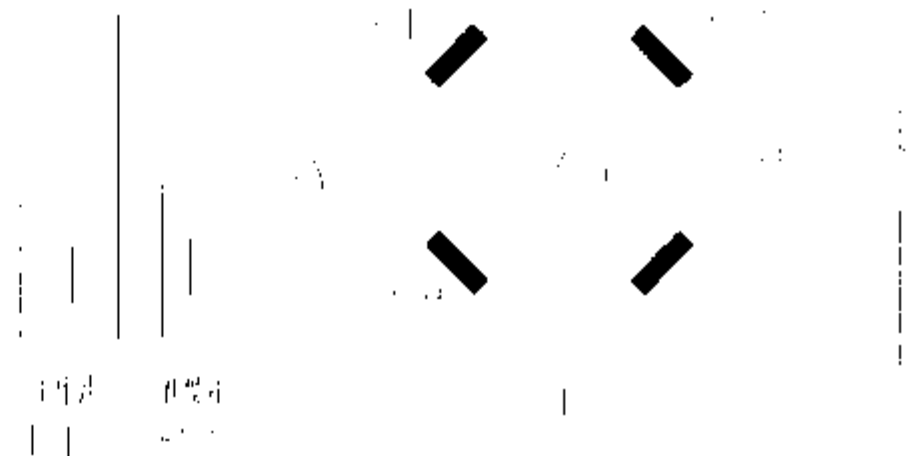
$$V_{out} = \frac{1}{4} Nk\varepsilon V_{in}$$

式中 N 是电桥有源工作臂的数目，也称桥臂系数。

(2) 温度效应及消除方法

接入电桥的电阻应变片的电阻值随温度变化，这一变化会引起电桥输出电压，一般每升温 1°C ，应变放大输出的变量可达几十微应变，这就是温度效应。

消除方法是利用应变电桥的输出特性，用一片和工作片阻值、灵敏系数和电阻温度系数都相等的应变片，贴在一块与被测件材料相同而不受力的试件上，使其处于同一温度场，电桥连接使工作片和补偿片处在相邻桥臂中，由公式 (*)，温度变化就不会造成电桥的输出电压（如右图）



(3) 数据分析

i 测量应变值和理论应变值对比分析

由表 3，纵向应变的理论值由如下公式求得

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{M}{WE} = \frac{FL}{\frac{1}{6}bh^2E}$$

$$F = 40\text{N} \quad E = 206000\text{MPa} \quad b = 4.58\text{cm} \quad h = 0.378\text{cm} \quad L = 30\text{cm}$$

得此等强度梁的纵向应变理论值 ε_0 为 $534.1 \mu\varepsilon$

对于1号测点 $\varepsilon = 533.5 \mu\varepsilon$, 与理论值 ε_0 的相对误差为 0.11% ;

对于2号测点 $\varepsilon = 522 \mu\varepsilon$, 与理论值 ε_0 的相对误差为 2.67% ;

对于3号测点 $\varepsilon = -142.8 \mu\varepsilon$, $\mu = 0.27$, 理论值为 $\varepsilon_0\mu$, 为 $-144.2 \mu\varepsilon$, 相对误差为 0.97% ;

对于4号测点, $\varepsilon = -544 \mu\varepsilon$, 理论值为 $-\varepsilon_0$, 相对误差为 1.85%;

对于5号测点, $\varepsilon = -548.3 \mu\varepsilon$, 理论值为 $-\varepsilon_0$, 相对误差为 2.66%;

对于6号测点, $\varepsilon = 131.8 \mu\varepsilon$, 理论值为 $-\varepsilon_0\mu$, 为 $144.2 \mu\varepsilon$, 相对误差为 8.60% 。

由以上数据以及相对误差可以看出, 对于此等强度梁, 在测量应变时的精度较高, 除第6号测点, 其余测量值与理论值的相对误差都控制在5%以内, 对于纵向片的差异, 可以认为是等强度梁在荷载施加的时候带有初偏心, 但由于1号测点的应变大于2号测点, 但4号测点的应变绝对值又小于5号测点, 所以不能定性判定偏心的位置。而且, 测量仪器的精度和误差、应变片的粘贴质量、电阻变化的灵敏度等等也是导致偏差的原因。对于横向片的差异, 3号测点的相对误差仅有0.97%, 吻合的较好, 而6号测点的相对误差达到了8.60%, 分析可能的主要原因是仪器的测量精度, 将荷载卸载到零后, 还残余 $15 \mu\varepsilon$ 、 $19 \mu\varepsilon$ 、 $21 \mu\varepsilon$ 的应变无法消除, 占测量应变值的比例分别为 10.63%、13.48%、14.89%, 将其他测量组的数据列于下表中进行比较:

表4 残余应变占测量应变值的比例

测点 比例 (%) 次数	1	2	3	4	5	6
1	1.85	2.82	12.88	2.24	2.97	10.64
2	2.77	3.4	16.67	3.17	3.72	13.48
3	2.93	3.58	18.04	3.17	4.09	14.9
平均值	2.516667	3.266667	15.86333	2.86	3.593333	13.00667

对于1号测点 $\varepsilon = 533.5 \mu\varepsilon$ ，与理论值 ε_0 的相对误差为 0.11%；

对于2号测点 $\varepsilon = 522 \mu\varepsilon$ ，与理论值 ε_0 的相对误差为 2.67%；

对于3号测点 $\varepsilon = -142.8 \mu\varepsilon$ ， $\mu = 0.27$ ，理论值为 $\varepsilon_0 \mu$ ，为 $-144.2 \mu\varepsilon$ ，相对误差为 0.97%；

对于4号测点， $\varepsilon = -544 \mu\varepsilon$ ，理论值为 $-\varepsilon_0$ ，相对误差为 1.85%；

对于5号测点， $\varepsilon = -548.3 \mu\varepsilon$ ，理论值为 $-\varepsilon_0$ ，相对误差为 2.66%；

对于6号测点， $\varepsilon = 131.8 \mu\varepsilon$ ，理论值为 $-\varepsilon_0 \mu$ ，为 $144.2 \mu\varepsilon$ ，相对误差为 8.60%。

由以上数据以及相对误差可以看出，对于此等强度梁，在测量应变时的精度较高，除第6号测点，其余测量值与理论值的相对误差都控制在5%以内，对于纵向片的差异，可以认为是等强度梁在荷载施加的时候带有初偏心，但由于1号测点的应变大于2号测点，但4号测点的应变绝对值又小于5号测点，所以不能定性判定偏心的位置。而且，测量仪器的精度和误差、应变片的粘贴质量、电阻变化的灵敏度等等也是导致偏差的原因。对于横向片的差异，3号测点的相对误差仅有0.97%，吻合的较好，而6号测点的相对误差达到了8.60%，分析可能的主要原因是仪器的测量精度，将荷载卸载到零后，还残余 $15 \mu\varepsilon$ 、 $19 \mu\varepsilon$ 、 $21 \mu\varepsilon$ 的应变无法消除，占测量应变值的比例分别为 10.63%、13.48%、14.89%，将其他测量组的数据列于下表中进行比较：

表4 残余应变占测量应变值的比例

测点 比例 (%) 次数	1	2	3	4	5	6
1	1.85	2.82	12.88	2.24	2.97	10.64
2	2.77	3.4	16.67	3.17	3.72	13.48
3	2.93	3.58	18.04	3.17	4.09	14.9
平均值	2.516667	3.266667	15.86333	2.86	3.593333	13.00667

可以看到，测点 3 和测点 6 的残余应变所占比例都较大，而且可以由表 3 看出，残余应变值接近于常值，说明可能产生了系统误差，因为纵向的应变值的绝对值较大，系统误差对测量值的影响较小，数据的精度较高，而横向应变值数值较小，残余应变值对测量的精度产生的误差较大，这就可以解释测点 6 产生的相对误差较大，为 8.60%。

ii. 求弹性模量和泊松比

强度梁的应变值

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{FL}{\frac{1}{6}bh^2} \quad (1)$$

带入数据得 $\sigma = 110.02\text{MPa}$, $E_s = 206000\text{MPa}$

$$E_s = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

由测点 1 得 , $E_{s1} = 206560.4\text{MPa}$, 与理论值的相对误差为 0.27%;

由测点 2 得 , $E_{s2} = 211111.1\text{MPa}$, 与理论值的相对误差为 2.48%;

由测点 4 得 , $E_{s4} = 202573.5\text{MPa}$, 与理论值的相对误差为 1.66%;

由测点 5 得 , $E_{s5} = 200984.9\text{MPa}$, 与理论值的相对误差为 2.43%;

误差都在 5% 的范围内，说明测量精度较高，产生误差的原因和以上应变误差的分析过程相同，包括荷载的初偏心，仪器测量的精度等等。

$$\overline{E_s} = 205307.5\text{MPa}$$

求泊松比 μ :