

工程检测技术实验指导书

孙葛英 赵阳 编



中央广播电视大学出版社

TM93
214
"V3"

工程检测技术实验指导书

孙葛英 赵 阳 编

中央广播电视大学出版社

工程检测技术实验指导书

孙葛英 赵阳 编

15161A

工程检测技术实验指导书

孙葛英 赵阳 编

*

中央广播电视大学出版社出版
新华书店北京发行所发行

一二〇二工厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张3.125 78千字

1988年4月第1版 1988年10月第2次印刷

印数 2001—12000

定价 0.80元

ISBN 7-304-00264-6/TN·5

S10865

前 言

《工程检测技术实验指导书》是根据中央电大“工程检测技术”课程教学大纲要求，配合电视课堂教学而编写的。

书中介绍了五个工程中常用的检测内容。通过实验要求了解正确的测试方法；掌握数据处理及基本误差的分析和计算；使学生能针对不同的测试对象组成合理的检测系统。

实验可安排十个学时。为了培养学生的独创精神，本实验指导书虽介绍了一些实验步骤，但仅作为参考，教师可根据各校现有设备条件自行组织实验内容，同时应鼓励学生根据实验要求，在可能的条件下，自行设计实验系统与步骤，在学时上也可根据情况略有增减。从内容上讲，还应开设流量检测实验，考虑到目前电大实验的基本条件，这次暂不列入。

《工程检测技术实验指导书》不仅可以作为中央电大“工程检测技术”课程的实验指导书，也可供大学本科学学生学习“非电量电测技术”、“传感器原理”、“自动检测技术”等课程参考。

在编写过程中，得到杨世超教授的不少帮助，也得到余姚仪表厂，上海自动化仪表四厂，浙江大学科仪系的密切配合，在此深表谢意。

编 者

1988年4月

目 录

实验一	电感式压力计的静态标定·····	(1)
实验二	工作用镍铬-考铜热电偶的检定·····	(5)
实验三	金属箔式应变片的应用·····	(10)
实验四	差动螺管式电感传感器·····	(14)
实验五	霍尔式传感器、电涡流式传感器、电容式传感器的静态位移性能比较·····	(18)
附录一	YB—150精密压力表使用说明·····	(23)
附录二	YSG—2电感式压力变送器使用说明·····	(25)
附录三	YJY—60压力表校验器使用说明·····	(29)
附录四	XCT—131动圈式温度指示调节仪使用说明·····	(31)
附录五	TI—4501AH $4\frac{1}{2}$ 位数字面板表使用说明·····	(34)
附录六	CSY—Ⅱ型传感器系统实验仪介绍·····	(35)
附录七	热电偶分度表 (摘自国家计量检定规程JJG351—84)·····	(41)

实验一 电感式压力计的静态标定

一、基本原理

1. 压力表校验规程

各种压力表在出厂或使用规定周期后，都必须进行标定。按照国家标准规定的精度等级及其传递原则，用标准压力表或较高精度的压力表为基准去确定较低精度的压力表的精度等级。按一般要求，标准器的误差是被校仪器的误差 $\frac{1}{3} - \frac{1}{20}$ 时，可认为标准器给出的是相对真值。

活塞式压力计、弹簧压力计和水银压力真空计均可作为标准压力表。按照国家标准规定，我国压力表的基准由0.02级（一等标准压力计）、0.05级（二等标准压力计）、0.4级（三等标准压力计）、……4级逐级传递，各级仪表的检定周期亦有具体规定。工业仪表一般可用三等（0.4级）活塞压力计或三等标准弹簧压力计作基准。

本实验采用工业系统普遍使用的0.4级弹簧压力计作标准表，被校表是1.5级的电感式压力计，标定工作在压力表校验器上进行。

2. 压力表校验器的工作原理

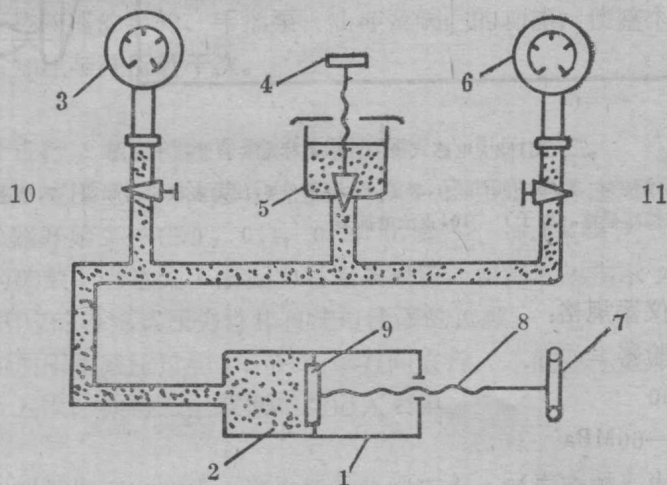


图1-1 压力表校验器原理图

- 1.螺旋压力发生器 2.工作液 3.标准压力表 4.联通阀 5.油杯 6.被校压力表 7.手轮
8.丝杆 9.工作活塞 10、11.切断阀

压力表校验器是根据封闭管内同一水平面上各部压力一致的基本原理而组成的，它由压力发生部分和校验部分组成，见图1-1。

压力发生部分：当联通阀4锁紧时，螺旋压力发生器1通过手轮7旋转丝杆8，推动工

作活塞 9 挤压工作液 2，使工作液传压给标准压力表和被校压力表。工作液一般采用洁净的变压器油或蓖麻油等。

校验部分：标准压力表和被校表。推动活塞使封闭管道内压力发生变化，比较两只压力表的指示值，进行压力表的校验。

二、实验装置和仪器

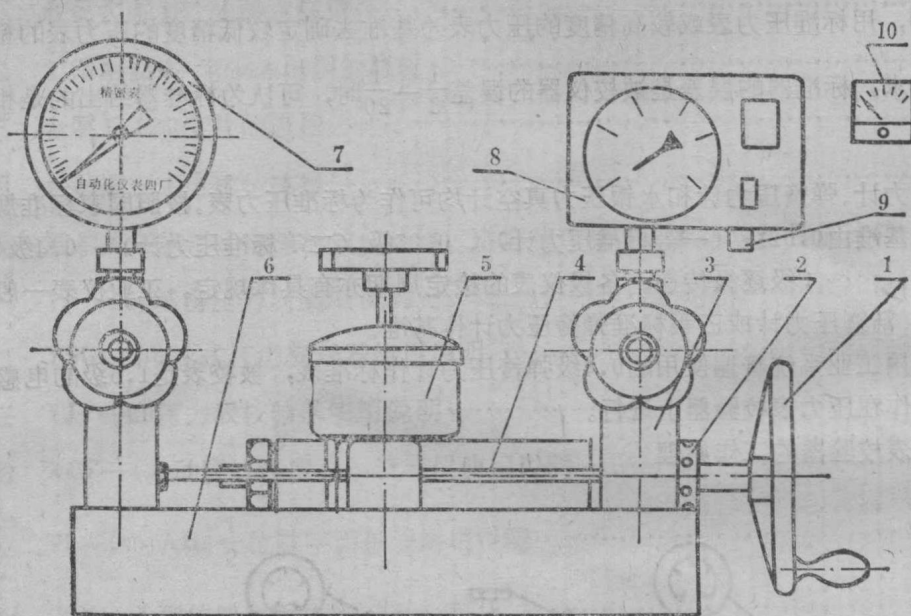


图1-2 电感式压力计静态标定实验装置示意图

1. 旋转手轮 2. 手摇泵 3. 单向阀门 4. 导管 5. 油杯 6. 压力表校验器底座 7. 精密压力表 8. 电感压力变送器 9. 接线插座（端子） 10. 直流电流表

本实验装置的仪器规格：

1. 压力表校验器

型号：YJY—60

测量范围：0—60MPa

2. 精密压力表（标准表）

型号：YB—150

测量范围：0—1.6MPa

精度等级：0.4级

3. 电感式压力变送器（电感式压力计，被校表）

型号：YSG—2

测量范围：0—1MPa

精度等级：1.5级

4. 直流电流表

测量范围: $>10\text{mA}$

精度等级: 4 级

其中电感式压力计由两部分组成, 一部分是机械式指针指示压力表, 是常见的弹簧管压力计, 另一部分是位移——电感变换器及放大电路。当压力表校验器油腔内压力变化时, 位移——电感变换器将输出一相应的直流信号 (电流 $0-10\text{mA}$), 由该表的接线端子输出给二次仪表加以显示, 本实验用直流电流表显示, 工业部门常用此信号来实现远程检测和自动控制。由标准表给出的若干压力值即为标定过程中的给定值 (基准值), 被校表电感式压力计的读数及相应的直流电流表的指示值为标定过程中的被校值。

有关标准压力表、被校表、压力表校验器的结构、工作原理和安装要求, 请参阅附录一、二、三。

三、实验目的和要求

1. 了解标准压力表、电感式压力计、压力表校验器的结构。
2. 熟悉电感式压力计测量压力的工作原理。
3. 了解标定系统的组成、精度要求和压力计的静态标定方法。
4. 学会静态测试的数据处理, 懂得基本误差、滞环、精度等级、灵敏度的含义。

四、实验步骤

1. 按附录三中压力表校验器的使用及安装要求安装好实验装置。
2. 将电感式压力计接线端子“1、2”与直流电流表相接, 端子“1”接电流表的正极, 端子“2”接负极, 端子“3、4”接220伏电源, 端子“5”接地。
3. 熟悉压力表校验器的手轮、手摇泵、油杯及阀门的功能; 使整个装置充满油液; 用压力表校验器给装置加压与减压若干次。

4. 调校

对电感式压力计进行“零点调整”和“量程调整”, 见附录二。

5. 调校完毕后, 减压至零 (油路系统接大气), 即可进行静态测试。
6. 压力表校验器开始工作在 $0, 0.1, 0.2, 0.3, \dots, 1.0\text{MPa}$ 的同时, 记下电感式压力计和直流电流表的读数, 当达到上限压力后逐渐减压, 使标准表指示为 $1.0, 0.9, 0.8, \dots, 0.1\text{MPa}$, 记下相应的电感式压力计和直流电流表的读数。

要特别注意, 在加压和减压过程中, 只能单方向进行, 不能在标定点来回调节。

7. 重复步骤 6 三次, 共得三组数据, 均记入表中。

五、实验总结

1. 根据表格中的数据画出曲线, 横坐标为给定压力, 即标准压力表的读数值, 纵坐标为电感式压力计和直流电流表的读数。
2. 计算电感式压力表和直流电流表各点的绝对误差、灵敏度、滞环、指示精度等级。
3. 说明产生滞环的主要原因。
4. 作线性度拟合 (校正) 直线, 计算电感式压力表线性度 (端基法)。
5. 写静态标定方法的体会。

六、注意事项

1. 电源线、输出信号线及地线由五芯电缆插头、座配置, 接线时务必正确, 以免损坏仪表。

实验数据:

标准表指示值 MPa	序 号	电感式压力计指示值 MPa		直流电流表指示值 mA	
		加 压	减 压	加 压	减 压
0.0	1				
	2				
	3				
0.1	1				
	2				
	3				
0.2	1				
	2				
	3				
0.3	1				
	2				
	3				
0.4	1				
	2				
	3				
0.5	1				
	2				
	3				
0.6	1				
	2				
	3				
0.7	1				
	2				
	3				
0.8	1				
	2				
	3				
0.9	1				
	2				
	3				
1.0	1				
	2				
	3				

2. 在安装、实验过程中,要保护标准压力表,避免遭受撞击,影响精度。
3. 实验装置的安装应根据产品说明书的要求进行。

实验二 工作用镍铬-考铜热电偶的检定

一、基本原理

热电偶是工业上最常用的测温元件，其基本工作原理是基于热电效应，在两种不同的金属导线 A 、 B 连接（焊接或绞接）成的闭合回路中，若两接点的温度 T_1 、 T_2 不相等，则在回路中有电动势产生，用测温仪器接入回路，可测出电动势值，对于给定的热电偶（型号，类别），可得知相应的两接点间的温度差，即 $T_1 - T_2$ ，如能使 T_1 端点温度保持不变或 0°C （称参考点或冷端），则可知 T_2 端（称工作端或热端）的温度值，从而实现温度的测量。

热电偶由于结构简单，测量范围合适，性能稳定，并可实现测温信号的远程传输和在各种严酷条件下工作，所以在工业上被广泛的应用。

本实验的组成是模拟现场测温工作环境或热电偶标定环境所提供的热源，在标定条件下建立一个稳定的温度场，在实际中相当于测量对象（电炉等），两支热电偶分别假定为标定基准及工作热电偶，冰点槽形成稳定的参考端，并接上相应的仪表。

二、实验装置和仪器

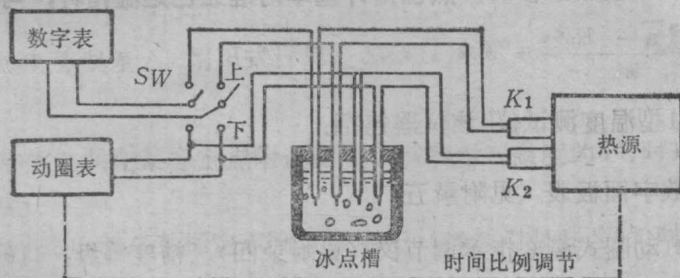


图2-1 测温系统示意图

1. 实验装置

测温系统由热源、热电偶及动圈仪表组成。如图2-1所示。图中各单元的作用为：

热源：用以产生高温，约 500°C 。

热电偶：标准热电偶 K_1 。

被校热电偶 K_2 (EA-2)。

冰点槽：热电偶冷端处理装置。

数字电压表：热电势标准测量仪。

动圈式仪表：(1) 指示热源的温度。

(2) 定温调节。

本实验采用的动圈式仪表定温调节原理是时间比例调节。其原理见附录四。定温调节过程简述如下：

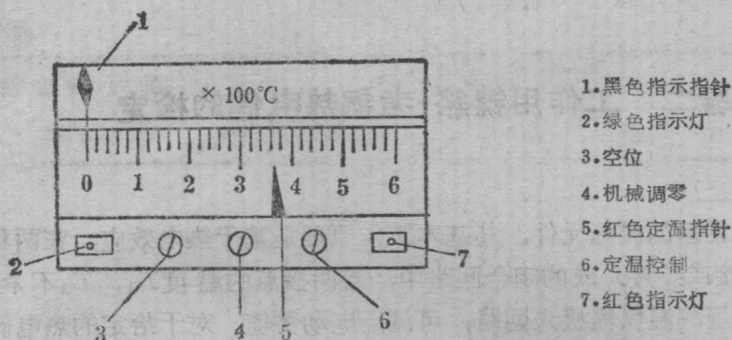


图2-2 动圈仪表面板示意图

图2-2为动圈仪表的面板。当旋动“定温控制”旋钮6时，“红色定温指针”5将指示预定的温度，测温开始时，绿灯2亮，表明加热电源接通，“黑色指示指针”1随热源温度的上升向右移动，逐渐靠近红色定温指针，当红色指示灯亮时，表明电源切断。由于热惯性，黑色指示指针将继续上升，并略超过红色定温指针指示的温度，以后温度逐渐下降，向红色指针靠近，继而绿灯又亮，电源接通。……如此反复多次，当红灯和绿灯的指示时间相等且两灯指示时间之和为 (40 ± 10) 秒时，黑色指针基本对准红色定温指针，可认为热源温度已基本控制在定温点。

2. 实验仪器

型号：WZY—1型温度测试仪。该仪器包括：

- (1) $4\frac{1}{2}$ 位数字面板表（见附录五）。
- (2) XCT-131动圈式温度指示调节仪（见附录四）。精度等级：1.0级。
- (3) 热源：功率300W。
- (4) 热电偶：镍铬-镍硅热电偶一支，被校镍铬-考铜热电偶一支。
- (5) 可拆装的工业用热电偶一支，供演示观察用。
- (6) 冰点槽。
- (7) 接线板。

装有 2×2 开关SW，外接电阻 (15Ω) 。

三、实验目的和要求

1. 观察并了解热电偶的结构。
2. 熟悉热电偶的工作特性和标定方法。
3. 了解测温系统的组成。
4. 观察冷端补偿作用。

四、实验内容

1. 观察热电偶的结构，外观应满足下列要求：

(1) 新制热电偶的电极直径应均匀、平直、无裂纹，使用中的热电偶不应有严重的腐

蚀或明显缩径等缺陷。

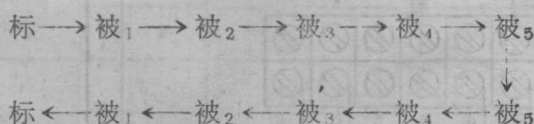
(2) 热电偶测刃端的焊接要牢固, 表面应光滑、无气孔、无夹灰, 呈近似球状。Ⅰ级镍铬-镍硅和镍铬-考铜热电偶也可绞接或焊接, 其绞接应均匀成麻花状, 绞接长度相当于电极直径的4—5倍。

2. 热电偶的标定

热电偶使用时, 是按照热电偶标准分度值来确定温度的。“标定”就是对所使用的热电偶进行校验, 确定误差大小。标定有两种方法, 即双极比较法和微差法, 前者为本实验所采用, 电路联接如图2-1。图中用镍铬-镍硅热电偶 K_1 作为标准热电偶, K_2 (EA-2) 作为被校热电偶, $4\frac{1}{2}$ 位数字面板表作热电势的标准测刃仪, 动圈仪表作热源的温度指示和定温控制用, 两支热电偶装在同一金属管内, 以便使两支热电偶处于同一温度检测点 (热电偶总数, 包括标准在内不应超过6支)。

当炉温升到标定点温度, 待稳定后, 自标准热电偶开始, 依次顺序测刃各被校热电偶的热电势。

测刃顺序如下:



每支热电偶测量时间间隔应相近, 测量次数不应少于2次。

被校热电偶的热电势误差 Δe 用下式计算: $\Delta e = \overline{e}_{\text{被测}} + \frac{e_{\text{标证}} - \overline{e}_{\text{标测}}}{s_{\text{标}}} \cdot s_{\text{被}} - e_{\text{分}}$

式中:

$\overline{e}_{\text{被测}}$ ——被校热电偶在某标定点附近温度下 (参考端温度为 0°C 时) 测得的热电势平均值;

$\overline{e}_{\text{标测}}$ ——标准热电偶在某标定点附近温度下 (参考端温度为 0°C 时) 测得的热电势平均值;

$e_{\text{标证}}$ ——标准热电偶证书上某标定点温度的热电势值;

$e_{\text{分}}$ ——在热电偶分度表上查得的某标定点温度的被校热电偶热电势值;

$s_{\text{标}} \cdot s_{\text{被}}$ ——分别表示标准、被校热电偶在某标定点温度的微分热电势 (查阅附录六, 热电偶分度表)。

标定时, 如参考端温度未处于 0°C , 可用下式计算参考端温度为 0°C 时的热电势值。

$$E_{(t, t_0)} = E_{(t, t_1)} + E_{(t_1, t_0)}$$

式中:

E ——热电偶的热电势;

t ——热电偶测量端温度;

t_0 ——热电偶参考端温度为 0°C ;

t_1 ——标定时热电偶参考端所处的温度 (由水银温度计测得)。

热电偶的热电势 (在规定的温度范围内, 参考端温度为 0°C 时) 允许误差, 以温度数值表示时应符合表2-1规定:

表 2-1 计量检定规程

热电偶名称	等 级	测量端温度℃	允 许 误 差
镍铬-镍硅	I	≤ 400	$\pm 1.6^{\circ}\text{C}$
		> 400	$\pm 0.4\%t^{\circ}\text{C}$
	II	≤ 400	$\pm 3^{\circ}\text{C}$
		< 400	$\pm 0.75\%t^{\circ}\text{C}$
镍铬-考铜		≤ 300	$\pm 4^{\circ}\text{C}$
		< 300	$\pm 1\%t^{\circ}\text{C}$

注: t 为测量端温度。

五、实验步骤

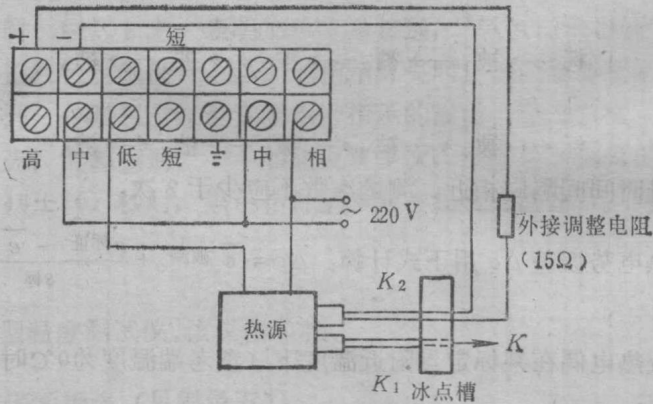


图2-3 动圈表背面接线图

1. 冷端补偿作用的测定:

- (1) 调整动圈仪表的机械零位。
- (2) 按图2-1、图2-3接线, 将开关置于“上”。
- (3) 将置于同一金属管中的两支热电偶放入热源深处并旋紧固定。
- (4) 将两支热电偶的冷端置于冰点槽中, 注意相互应保持绝缘, 故分别放在四个小玻璃管中。
- (5) 接线完毕后, 稳定 5 分钟。此时动圈仪表的黑色指针指示 _____ $^{\circ}\text{C}$, 数字电压表显示 _____ mV 。

(6) 将热电偶的冷端拉出冰点槽, 并置于室温下 5 分钟, 观察此时动圈仪表和数字电压表的读数与步骤 (5) 的数据相比较, 得出自由端有无补偿的差别。

(7) 将两支热电偶重新安放入冰点槽, 为下步实验作好准备。

2. 热电偶的标定:

- (1) 上述接线保持不变。

(2) 将开关拉开，置于中间位置。

(3) 开启热源的电源，使热源升温。

(4) 将动圈仪表的红色定温针调至300℃，黑色指示指针将随热源温度升高向右移动，当温度上升到给定值（定温值）附近时，由于仪表的控制作用，使温度稳定在给定区间，观察红、绿灯指示时间相等且其和为(40±10)秒时，可认为温度已基本控制稳定，利用开关SW，在数字面板表上读出同一温度时热电偶K₁，K₂的毫伏值，记入表2-2。

(5) 再将定温点调至400℃、500℃，重复步骤4（如时间允许，可多做几个点）。

(6) 计算K₂的热电势误差Δe。

表2-1

热 电 偶		检 校 点 温 度		
		300℃	400℃	500℃
标准热电偶 K(EU-2)热电势 (mV)	1			
	2			
	平 均			
被校热电偶 EA-2热电势 (mV)	1			
	2			
	平 均			
	实际值			
	误 差			

六、注意事项

- 1. 热电偶K₁，K₂应连接到相应的仪表上，并注意极性，不可接错。
- 2. 外接电阻(15Ω)连同动圈仪表已调节好，实验时直接连入线路即可。
- 3. 实验时不用补偿导线，机械零点调到刻度零位。
- 4. 每次实验完毕，须用导线将动圈仪表背面的“短”、“短”两端连接起来，以免移动时损坏仪表。
- 5. 实验前可参阅产品说明书或附录四、五。
- 6. 为减小测温系统的附加误差，实验装置周围应避免电磁干扰、热辐射的影响。

七、实验总结

- 1. 具备哪些条件才能对热电偶进行标定？
- 2. 如果不用冰点槽，如何进行修正？测出室温，进行具体计算，比较两种方法的一致性。
- 3. 通过实验，理解热电偶的基本原理及基本定律，即热电效应，结点效应和中间导体定律等的结论。

实验三 金属箔式应变片的应用

一、基本原理

1. 静态测量

图3-1为金属箔式应变片的实验装置（见附录六，CSY—Ⅱ型传感器系统实验仪）。

金属箔式应变片粘贴在悬臂梁靠近根部A处，旋动测微头便可推动悬臂梁，使悬臂梁自由端受力后产生相应的位移，见图3-2。此位移即为自由端的静挠度 y ，所以A处应变片产生的应变 ε_A 与位移的关系可用函数 $y = f(\varepsilon_A)$ 表示。

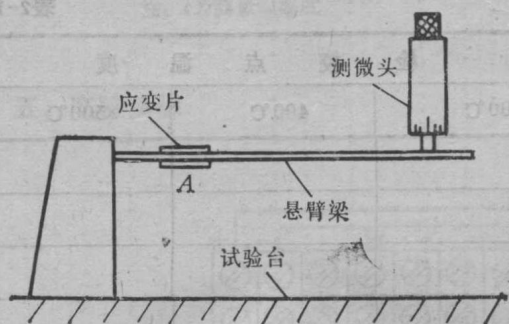


图 3-1 金属箔式应变片实验装置



图 3-2 悬臂梁受力产生应变

悬臂梁A处上表面的应变 ε_A 与下表面的应变 ε'_A 大小相等，但极性相反，即 $\varepsilon_A = -\varepsilon'_A$ 。如将上、下应变片形成半桥（见图3-6）接入相应的电路，则桥路输出电压的大小与梁端点位移量 y 的大小成比例，输出电压的极性与梁端点位移方向有关。若悬臂梁向上移动时，输出电压为正，则向下移动时，输出电压为负，因此，桥路输出电压的大小和极性反映了梁端点位移的大小和方向。由此建立了位移 y 和桥路输出电压 U 的关系，见图3-3。根据这一原理，利用应变片测量物体位移是工程上常用的方法。

图3-3称为静态特性。

2. 动态测量

启动激振器使梁的端部获得一交变力，梁便产生上、下振动，在忽略梁本身重量的条件下，此系统可视为端部集中质量的单自由度系统，见图3-4，其自振频率 f_0 由系统刚度 K 和

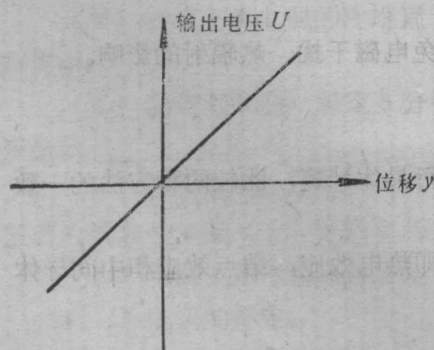


图 3-3 静态特性

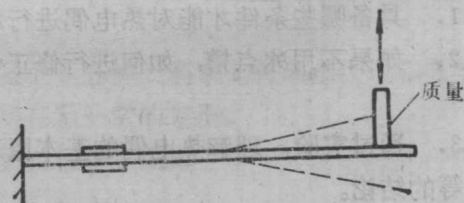


图 3-4 梁受交变力

惯性质量 m 决定,即 $\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}}$ 。当激振器受到一频率变化而幅值不变的低频(0-30Hz)电压时,激振器所产生的激励力带动悬臂梁上下振动,这相当于施加一个大小不变、频率变化的交变力,且为正弦规律。粘贴在梁上的应变片也相应地受到一个正弦规律的交变力,通过测量电路输出的电压即是梁受力的大小和规律。输出电压的峰——峰值 $\tilde{U}_{op-p}$ 与频率的关系反映了悬臂梁系统的幅频特性,亦即动态特性,它们的函数关系可用图3-5表示。

二、测量线路

常用的测量电路是电桥,为便于信号的传输与放大,克服零点漂移影响,常采用交流电桥,信号经调制、放大、相敏检波和低通滤波后,由指示仪表显示。

此装置中电桥采用交流半桥,见图3-6,供桥电压由音频振荡器提供,频率为5kHz。桥臂电阻 $R_3 = R_4$ 为精密电阻, R_1, R_2 为两个受力相反的应变片。当悬臂梁处于水平位置时,应变片无应变, $R_1 = R_2$,电桥平衡,输出电压 $\tilde{U} = 0$,当梁受力产生形变或振动时,两应变片阻值变为 $R_1 \pm \Delta R_1, R_2 \pm \Delta R_2$,电桥将有输出电压 U 。因为 U 是一个调幅波,尚需经

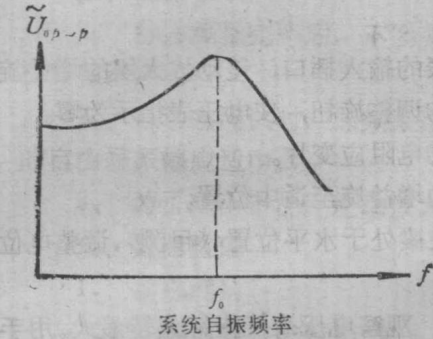


图 3-5 悬臂梁系统幅频特性

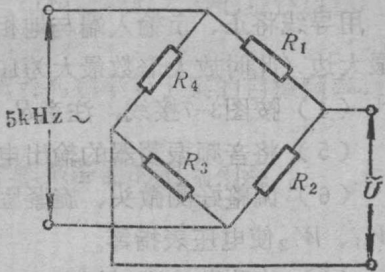


图 3-6 交流半桥

相敏检波,低通滤波,而后送至直流表读数,见图3-7。电桥的平衡采用电阻、电容、电位器调整,即图中的 $W_1、W_2、r、c_0$ 。

测量电路所用仪器中的单元:

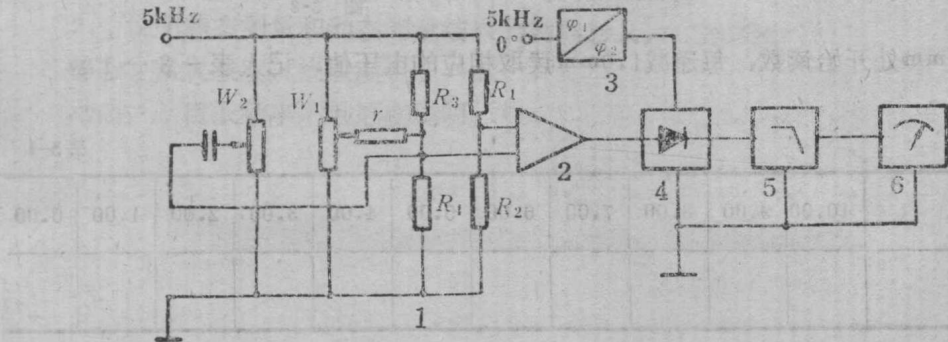


图 3-7 测量电路

1.电桥 2.差动放大器 3.移相器 4.相敏检波器 5.低通滤波器 6.直流电压表

音频振荡器、电桥、差动放大器、移相器、相敏检波器、低通滤波器、直流电压表、测微头、示波器（要求能看到0-30Hz的波形）

三、实验目的和要求

1. 了解CSY-II型传感器系统实验仪的总体结构，基本功能。
2. 观察梁，测微头的结构及应变片粘贴，联结方式。
3. 了解静态测量和动态测量的有关理论与方法。
4. 学会实验数据处理，数据列表，绘制特性曲线，分析结果。

四、实验步骤

1. 静态测量

(1) 音频振荡器置于5KHz，电压输出幅度旋至最小，直流电压表置于 $\pm 50\text{mV}$ 挡，合上电源。

(2) 直流电压表调零

用导线将毫伏表输入端短接，调整电压表的调零旋钮，使表针指零（此处用双向刻度电压表，指零时表针位于正中）。如改变量程，必须重新调零。

(3) 差动放大器调零

用导线将正、负输入端与地相连，输出端接到电压表的输入插口，差动放大器的增益旋至最大边（此时放大倍数最大为100），调整差动放大器的调整旋钮，使电压表指示为零。

(4) 按图3-7接线，注意 R_1 、 R_2 为两个受力相反的电阻应变片。

(5) 将音频振荡器的输出电压幅值及差动放大器的增益旋至适中位置。

(6) 调整好测微头，旋紧固定螺钉，旋动测微头使梁处于水平位置（目测），调整电位器 W_1 、 W_2 使电压表指零。

(7) 将测微头旋至刻度10mm处，调节移相器旋钮，观察电压表使指针偏转最大。用手压下梁约在0mm处（如图3-8所示，当梁处于水平位置时，测微头读数约为5mm，这种不把梁在水平位置作为“0”mm计算的方法，目的在于操作和读数时更方便些），表头指针偏转方向相反，双向偏转应基本对称，如不对称，可反复旋动 W_1 、 W_2 及移相器旋钮，直至基本对称为止。

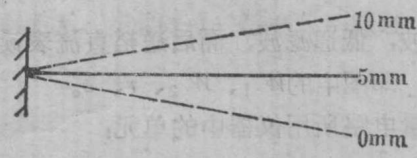


图 3-8

从测微头10mm处开始读数，每递减1.0mm读取相应的电压值，记入表一3-1。

表3-1

测微头读数 $y(\text{mm})$	10.00	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.00
电压表读数 $U(\text{mV})$											

2. 动态测量

(1) 图3-7测量线路仍保持不变。