

《工程测量与传感技术》实验指导书

前 言

《工程测量与传感技术》着重于培养学生在传感器应用方面的基本技能和工程素养。课程的性质属于实践环节，学生进行传感器实践以后，可以掌握传感器的基本硬件知识，并掌握传感器的工作原理及电路控制原理，还可以得到较为系统的传感器方面的基本技能训练并熟悉相关工程应用知识，为后续相关课程的学习以及复合型知识体系的建立奠定一定的基础。

目 录

实验一 金属箔应变片-半/全桥性能实验.....	1
一. 实验目的.....	1
二. 实验原理.....	1
三. 实验器材及装置.....	2
四. 实验题目及内容.....	3
五. 实验步骤.....	3
六. 实验注意事项.....	4
实验二 差动变压器性能实验.....	5
一. 实验目的.....	5
二. 实验原理.....	5
三. 实验器材及装置.....	7
四. 实验题目及内容.....	7
五. 实验步骤.....	7
六. 实验注意事项.....	8
实验三 霍尔测速实验.....	9
一. 实验目的.....	9
二. 实验原理.....	9
三. 实验器材及装置.....	9
四. 实验题目及内容.....	10
五. 实验步骤.....	10
六. 实验注意事项.....	11
实验四 热电偶测温实验.....	12
一. 实验目的.....	12
二. 实验原理.....	12
三. 实验器材及装置.....	14
四. 实验题目及内容.....	15
五. 实验步骤.....	15
六. 实验注意事项.....	18

实验一 金属箔应变片-全/半桥性能实验

一. 实验目的

1. 了解电阻应变片的工作原理与应用；
2. 掌握应变片测量电路；
3. 掌握应变片半桥/全桥工作特点及性能。

二. 实验原理

1. 常用的力传感器

常用的力传感器有电阻应变片传感器和转矩传感器。

2. 金属电阻应变效应

金属电阻箔（或丝）在外力作用下发生拉压机械变形，其电阻值将发生变化，这种现象称为金属电阻应变效应。

3. 应变传感器

该传感器将如图所示，将四个金属箔应变片（R1、R2、R3、R4）分别贴在弹性体的上下两侧，弹性体受到压力发生形变，应变片随形变被拉伸或被压缩。

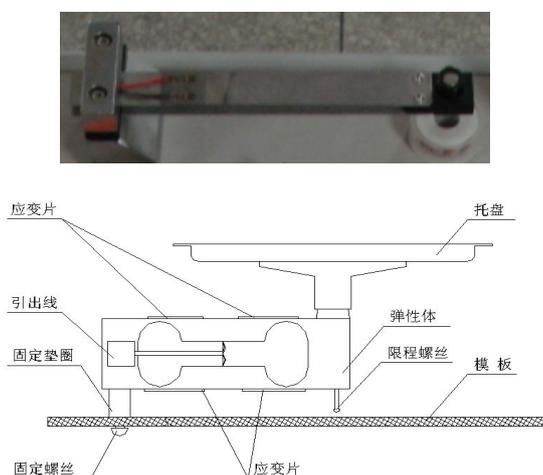


图1 应变传感器实物图及结构图

通过这些应变片转换被测部位受力状态变化、单臂电桥的作用完成电阻到电压的比例变化， R_5 、 R_6 、 R_7 为固定电阻，与应变片一起构成一个单臂电桥，其输出电压为：

$$U_o = \frac{E}{4} \cdot \frac{\Delta R/R}{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}}$$

E 为电桥电源电压， R 为固定电阻值，上式表明单臂电桥输出为非线性，非线性误差为：

$$U_o = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \times 100\%$$

4. 半桥及全桥原理

1) 半桥

半桥接线时，不同受力方向的两片应变片（上、下两片梁的应变片应力方向不同）接入电桥作为邻边，其桥路输出电压 $U_o \approx (1/2) (\Delta R/R) E = (1/2) K \varepsilon E$ 。输出灵敏度较高。

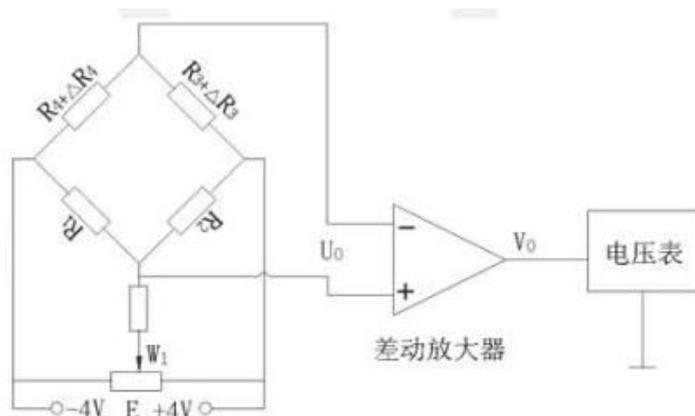


图2 半桥接线原理图

2) 全桥

应变片全桥测量电路中，将受力方向相同的两应变片接入电桥对边，相反的应变片接入电桥邻边。当应变片初始值： $R_1=R_2=R_3=R_4$ ，其变化值 $\Delta R_1=\Delta R_2=\Delta R_3=\Delta R_4$ 时，其桥路输出电压 $U_o \approx (\Delta R/R) E = K \epsilon E$ 。式中： E 为电桥电源电压； ΔR 为电阻丝电阻相对变化。上式表明，全桥输出与应变片阻值变化率呈线性关系且精度较高，其输出灵敏度比半桥又提高了一倍，非线性得到改善。

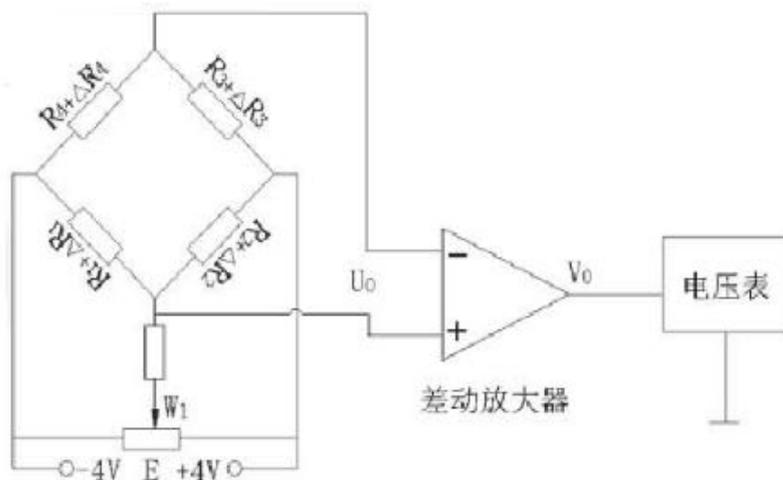


图3 应变片全桥特性实验原理图

三. 实验器材及装置

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	传感器系统综合实训平台	CSY-XS-01 型	1 套	
2	机头中的应变梁、振动台		1 个	
3	F/V 电压表		1 个	
4	±4V 电源		1 个	
5	箔式应变片输出口		1 个	
6	电桥		1 个	
7	差动放大器		1 个	
8	砝码		10 个	
9	导线		若干	

四. 实验题目及内容

完成应变片半桥/全桥电路的原理理解及接线，添加砝码进行测试，记录数据并对测试数据进行分析。

五. 实验步骤

1. 半桥性能实验

(1) 差动放大器调零

按下图接线。

打开主电源。

将 F/V 表的量程切换开关切换到 2V 档，合上实验箱主电源开关，将差动放大器的拨动开关拨到“开”位置，将差动放大器的增益电位器按顺时针方向轻轻旋到底后再逆向回旋半圈，调节调零电位器，使电压表显示电压为零。

差动放大器调零完成后，关闭主电源。

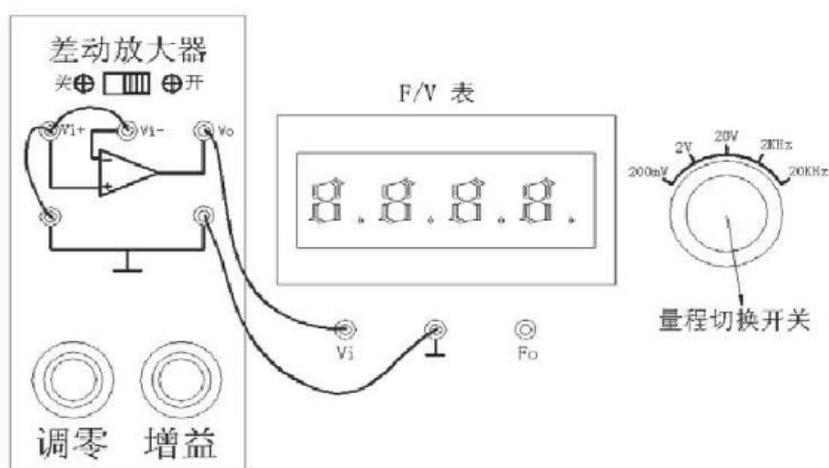


图 4 差动放大器调零接线

(2) 半桥接线

电桥单元中的 R1、R2 与相邻的两片应变片组成电桥。半桥接线示意图如下所示。

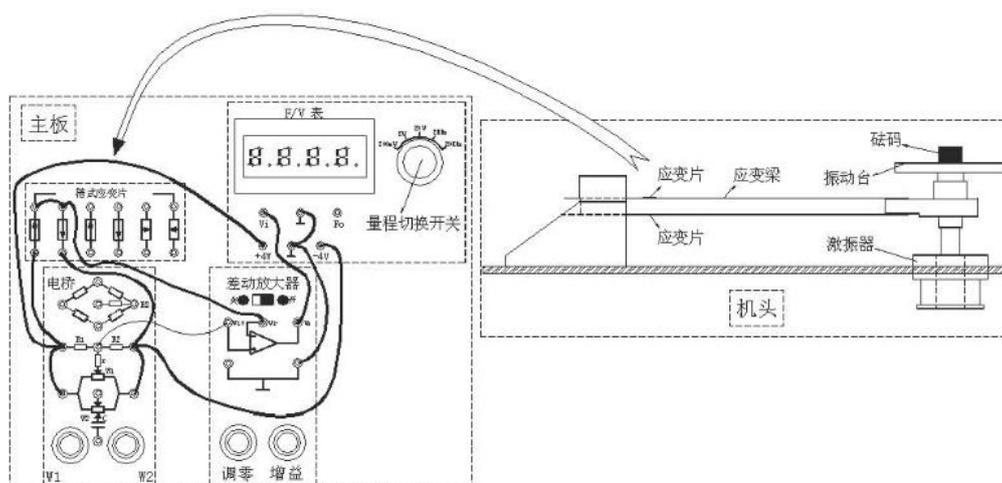


图 5 应变片传感器半桥接线示意图

(3) W1 通道调零

检查接线无误后合上主电源开关，调节电桥的直流调节平衡网络 W1 电位器，使电压表显示为 0 或接近 0 (有小的起始电压也无所谓，不影响应变片特性与实验)。

(4) 测试

在应变片的振动台中心点上放置一只砝码 (20g/只), 读取数显表数值并记录。依次增加一个砝码, 并分别读取数显表的数值且记录。将实验数据填入下表,

表 1 应变片半桥特性实验

重量 (g)									
电压 (mV)									

(5) 计算

根据表 1 数据计算灵敏度和非线性误差。

灵敏度 $S = \Delta V / \Delta W$, 式中: ΔV ——输出电压变化量, ΔW ——重量变化量。

非线性误差 $\delta = \Delta m / y_{FS} \times 100\%$,

式中: Δm ——输出值 (多次测量时为平均值) 与拟合直线的最大偏差;

y_{FS} ——满量程输出平均值, 此处为 200g。

(6) 实验完毕

- 1) 关闭主电源。
- 2) 拆卸相关配件、导线。
- 3) 收拾实验台。

2. 全桥性能实验

(1) 差动放大器调零 (调零方法同半桥实验)。

(2) 全桥接线

全桥接线时, 四片应变片组成电桥电路。其接线示意图如下。

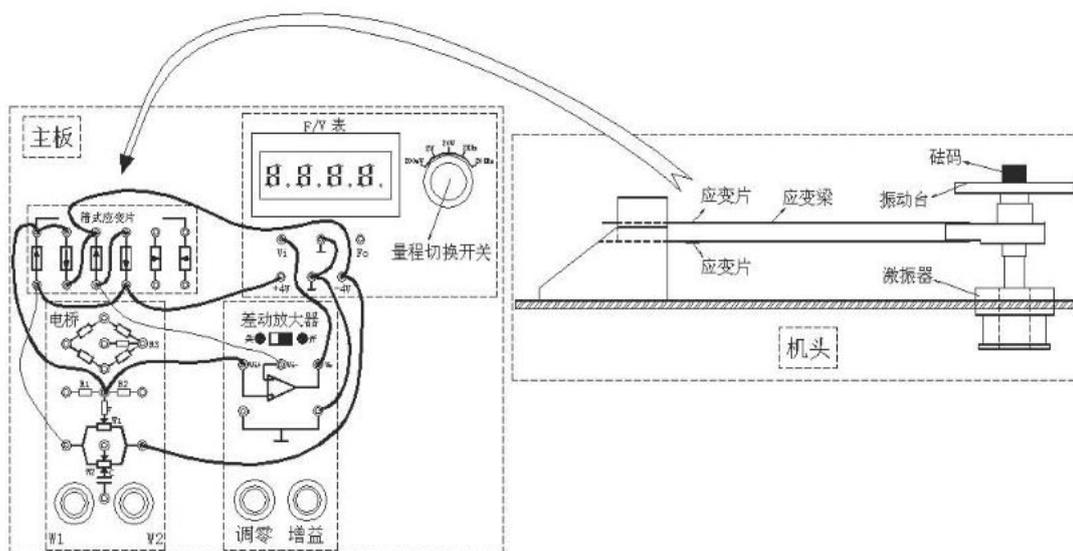


图 6 应变片全桥特性实验接线图

(3) W1 通道调零 (方法同半桥实验)

(4) 测试 (方法同半桥实验)

(5) 计算 (方法同半桥实验)

(6) 实验完毕 (方法同半桥实验)

六. 实验注意事项

1. 实验过程中, 严禁带电插拔接线, 确保在断电情况下才可插拔接线。
2. 实验完成后, 收拾好实验仪器及其配件。
3. 整个实验过程中, 要保持实验室安静、整洁, 严禁嬉戏打闹、大声喧哗等行为。

实验二 差动变压器性能实验

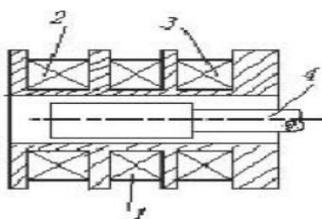
一. 实验目的

1. 了解差动变压器的工作原理和特性；
2. 熟悉差动变压器的性能测试方法。

二. 实验原理

1. 差动变压器的工作原理

差动变压器的工作原理类似变压器的工作原理。差动变压器的结构如图所示。由一个一次绕组 1 和二个二次绕组 2、3 及一个衔铁 4 组成。差动变压器一、二次绕组间的耦合能随衔铁的移动而变化，即绕组间的互感随被测位移改变而变化。由于把二个二次绕组反向串接（同名端相接），以差动电势输出，所以把这种传感器称为差动变压器式电感传感器，通常简称差动变压器。



1--一次绕组；2、3--二次绕组；4--衔铁

图 7 差动变压器的结构示意图

当差动变压器工作在理想情况下（忽略涡流损耗、磁滞损耗和分布电容等影响），它的等效电路如图所示。

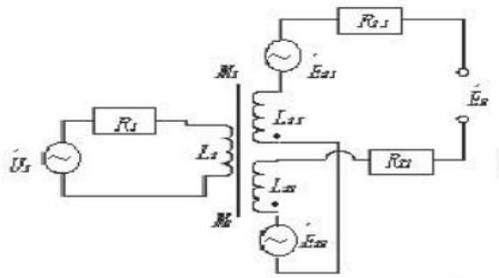


图 8 差动变压器的等效电路图

图中 U_1 为一次绕组激励电压； M_1 、 M_2 分别为一次绕组与两个二次绕组间的互感， L_1 、 R_1 分别为一次绕组的电感和有效电阻， L_{21} 、 L_{22} 分别为两个二次绕组的电感， R_{21} 、 R_{22} 分别为两个二次绕组的有效电阻。

对于差动变压器，当衔铁处于中间位置时，两个二次绕组互感相同，因而由一次侧激励引起的感应电动势相同。由于两个二次绕组反向串接，所以差动输出电动势为零。当衔铁移向二次绕组 L_{21} ，这时互感 M_1 大， M_2 小，因而二次绕组 L_{21} 内感应电动势大于二次绕组 L_{22} 内感应电动势，这时差动输出电动势不为零。在传感器的量程内，衔铁位移越大，差动输出电动势就越大。同样道理，当衔铁向二次绕组 L_{22} 一边移动，差动输出电动势仍不为零，但由于移动方向改变，所以输出电动势反相。因此，通过差动变压器输出电动势的大小和相位可以知道衔铁位移量的大小和方向。

由图 8 可以看出，一次绕组的电流为：

$$i_1 = \frac{\dot{U}_1}{R_1 + j\omega L_1}$$

二次绕组的感应电动势为：

$$\dot{E}_{21} = -j\omega M_1 \dot{I}_1; \quad \dot{E}_{22} = -j\omega M_2 \dot{I}_1$$

由于二次绕组反向串接，所以输出总电动势为：

$$\dot{E}_2 = -j\omega(M_1 - M_2) \frac{\dot{U}_1}{R_1 + j\omega L_1}$$

其有效值为：

$$E_2 = \frac{\omega(M_1 - M_2)U_1}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}}$$

2. 差动变压器的工作原理

差动变压器的输出特性曲线如图所示。

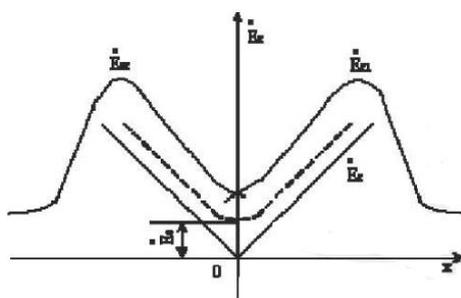


图 9 差动变压器输出特性

图中， E_{21} 、 E_{22} 分别为两个二次绕组的输出感应电动势， E_2 为差动输出电动势， x 表示衔铁偏离中心位置的距离。其中， E_2 的实线表示理想的输出特性，而虚线部分表示实际的输出特性。 E_0 为零点残余电动势，这是由于差动变压器制作上的不对称以及铁心位置等因素所造成的。零点残余电动势的存在，使得传感器的输出特性在零点附近不灵敏，给测量带来误差，此值的大小是衡量差动变压器性能好坏的重要指标。为了减小零点残余电压可采取以下方法：

尽可能保证传感器几何尺寸、线圈电气参数及磁路的对称。磁性材料要经过处理，消除内部的残余应力，使其性能均匀稳定。

选用合适的测量电路，如采用相敏整流电路。既可判别衔铁移动方向，又可改善输出特性，减小零点残余电压。

采用补偿线路减小零点残余电压。下图是其中典型的几种减小零点残余电动势的补偿电路。在差动变压器的线圈中串、并适当数值的电阻电容元件，当调整 W_1 、 W_2 时，可使零点残余电动势减小。

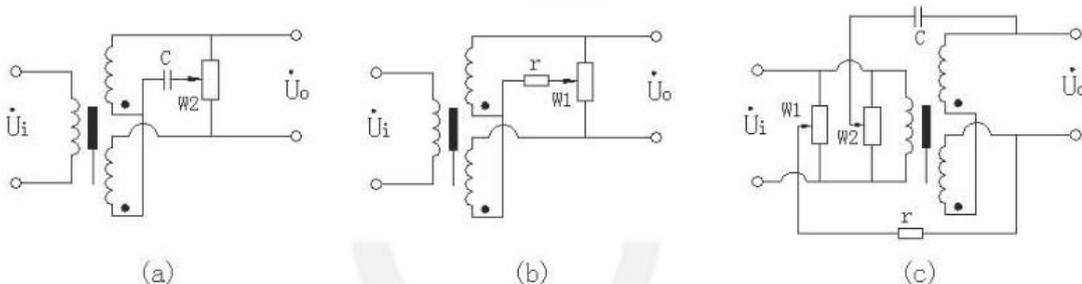


图 10 减小零点残余电动势电路

三. 实验器材及装置

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	传感器系统综合实训平台	CSY-XS-01 型	1 套	
2	机头静态位移安装架		1 个	
3	传感器输入插座		1 个	
4	差动变压器		1 个	
5	测微头		1 个	
6	主板音频振荡器		1 个	
7	电感输出口		1 个	
6	虚拟示波器		1 个	
7	导线		若干	

四. 实验题目及内容

采用差动变压器进行测试，得出测微头移动的距离和电压峰峰值的关系，并分析差动变压器的零点残余电压大小。

五. 实验步骤

1. 安装差动变压器和测微头

将差动变压器和测微头安装在静态位移安装架上，如下图所示。 L_1 为初级线圈（一次线圈）； L_{01} 、 L_{02} 为次级线圈（二次线圈）；* 为同名端。

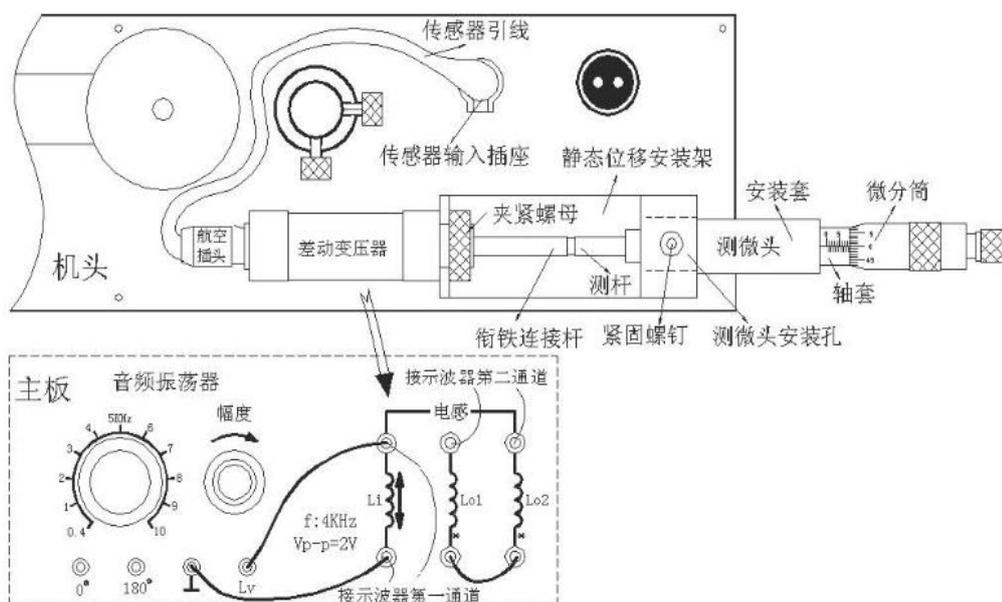


图 11 差动变压器性能实验安装及接线示意图

2. 接线

按上图接线，差动变压器的原边 L_1 的激励电压（绝对不能用直流电压激励）必须从主板音频振荡器的 L_v 端子引入，检查接线无误后合上主电源开关，调节音频振荡器的频率为 3~5KHz（可输入到频率表 10K 档来监测或示波器上读出）的任一值；调节输出幅度峰峰值为 $V_{p-p}=2V$ （示波器第一通道监测）。

3. 测试

使用测微头时，当来回调节微分筒使测杆产生位移的过程中本身存在机械回程差，为消除这种机械回程差，可用如下两种方法实验（建议用方法二可以看到死区范围）。

方法一：

(1) 调节测微头的微分筒 (0.01mm/每小格), 使微分筒的零刻度线对准轴套的 10mm 刻度线。松开安装测微头的紧固螺钉, 移动测微头的安装套使示波器第二通道显示的波形 V_{p-p} (峰峰值) 为较小值 (越小越好, 变压器铁芯大约处在中间位置) 时, 拧紧紧固螺钉。

(2) 仔细调节测微头的微分筒使示波器第二通道显示的波形 V_{p-p} 为最小值 (零点残余电压) 并定为位移的相对零点。

(3) 这时可假设其中一个方向为正位移, 另一个方向位移为负, 从 V_{p-p} 最小开始旋动测微头的微分筒, 每隔 $\Delta X=0.2\text{mm}$ (可取 30 点值) 从示波器上读出输出电压 V_{p-p} 值, 填入下表。

(4) 再将测微头位移退回到 V_{p-p} 最小处开始反方向 (也取 30 点值) 做相同的位移实验。

在实验过程中要注意：

a) V_{p-p} 最小处决定位移方向后, 测微头只能按所定方向调节位移, 中途不允许回调, 否则, 由于测微头存在机械回程差而引起位移误差, 所以, 实验时, 每点位移量须仔细调节, 绝对不能调节过量, 如过量只好剔除这一点粗大误差继续做下一点实验或者回到零点重新做实验。

b) 当一个方向行程实验结束, 做另一方向时, 测微头回到 V_{p-p} 最小处时它的位移读数有变化 (没有回到原来起始位置) 是正常的, 做实验时位移取相对变化量 ΔX 为定值, 与测微头的起始点定在哪一根刻度线上没有关系, 只要中途测微头微分筒不回调就不会引起机械回程差。

方法二：

(1) 调节测微头的微分筒 (0.01mm/每小格), 使微分筒的 0 刻度线对准轴套的 10mm 刻度线。

(2) 松开安装测微头的紧固螺钉, 移动测微头的安装套使示波器第二通道显示的波形 V_{p-p} (峰峰值) 为较小值 (越小越好, 变压器铁芯大约处在中间位置) 时, 拧紧紧固螺钉。

(3) 再顺时针方向转动测微头的微分筒 12 圈, 记录此时的测微头读数和示波器第二通道显示的波形 V_{p-p} (峰峰值) 值为实验起点值。

(4) 反方向 (逆时针方向) 调节测微头的微分筒, 每隔 $\Delta X=0.2\text{mm}$ (可取 60~70 点值) 从示波器上读出输出电压 V_{p-p} 值, 填入下表 (这样单行程位移方向做实验可以消除测微头的机械回程差)。

4. 记录

(1) 将实验所得数据整理填入下表。

ΔX (mm)								
V_{p-p} (mV)								

(2) 根据上表数据, 指出差动变压器的零点残余电压是多少?

5. 实验完毕

- (1) 关闭主电源。
- (2) 拆卸触差动变压器及相关配件、导线。
- (3) 收拾实验台。

六. 实验注意事项

1. 实验过程中, 严禁带电插拔接线, 确保在断电情况下才可插拔接线。
2. 实验完成后, 收拾好实验仪器及其配件。
3. 整个实验过程中, 要保持实验室安静、整洁, 严禁嬉戏打闹、大声喧哗等行为

实验三 霍尔测速实验

一. 实验目的

1. 学习霍尔传感器基础知识;
2. 学习霍尔传感器测速原理与应用;
3. 学习 PID 转速控制方法。

二. 实验原理

1. 常见的转速传感器

常用的转速传感器有交直流测速发电机、电容式转速传感器和光电式转速传感器、磁电式转速传感器等。

2. 霍尔转速传感器

利用霍尔效应表达式： $U_H = K_H IB$ （如图 4-26），在被测转盘上装上 N 只磁性体，转盘每转一周，霍尔传感器受到的磁场变化 N 次。转盘每转一周，霍尔电势就同频率相应变化。输出电势通过放大、整形和计数电路就可以测出转盘的转速。

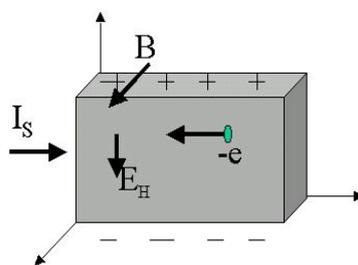


图 12 霍尔效应原理

本实验使用开关式霍尔传感器。

开关式霍尔传感器是：线性霍尔元件的输出信号经放大器放大，再经施密特电路整形成矩形波（开关信号）输出。

当被测圆盘上嵌入 6 个磁钢时，圆盘每转一周，霍尔传感器感应电势 e 产生 6 次的变化，感应电势 e 通过放大、整形由频率/转速表显示频率 f 及转速 n ，转速 $n=10f$ 。下图为霍尔传感器原理框图。

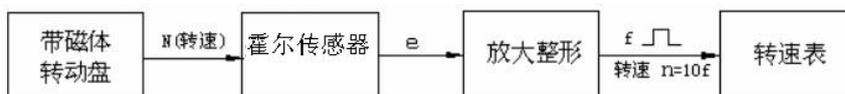


图 13 霍尔传感器原理框图

三. 实验器材及装置

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	传感器系统综合实训平台	CSY-XS-01 型	1 套	
2	主板 F/V 表		1 个	
3	+5V 电源		1 个	
4	1.2-12V 电压调节仪		1 个	
5	转速盘		1 个	
6	霍尔转速传感器		1 个	
7	传感器安装片		1 个	
6	磁性座		1 个	
7	导线		若干	

四. 实验题目及内容

采用 1.2~12V 电源驱动转盘转动,用开关式霍尔传感器测速,记录转盘转速与驱动电压,并分析。

五. 实验步骤

1. 霍尔转速传感器安装及接线

(1) 将磁性座吸合在转速盘附近的机箱边上,并通过传感器安装片装上霍尔转速传感器,传感器的端面对准转盘上的磁钢并调节升降杆使传感器端面与磁钢之间的间隙大约为 2~3mm。

(2) 霍尔转速传感器有三根引线,1 号线接+5V、2 号线接 F/V 表的 Vi、3 号线接 F/V 表的地。

(3) F/V 表的地与+5V 的地相连。

(4) 1.2~12V 电压调节与电机驱动相应连接。

霍尔转速传感器安装及接线见下图。

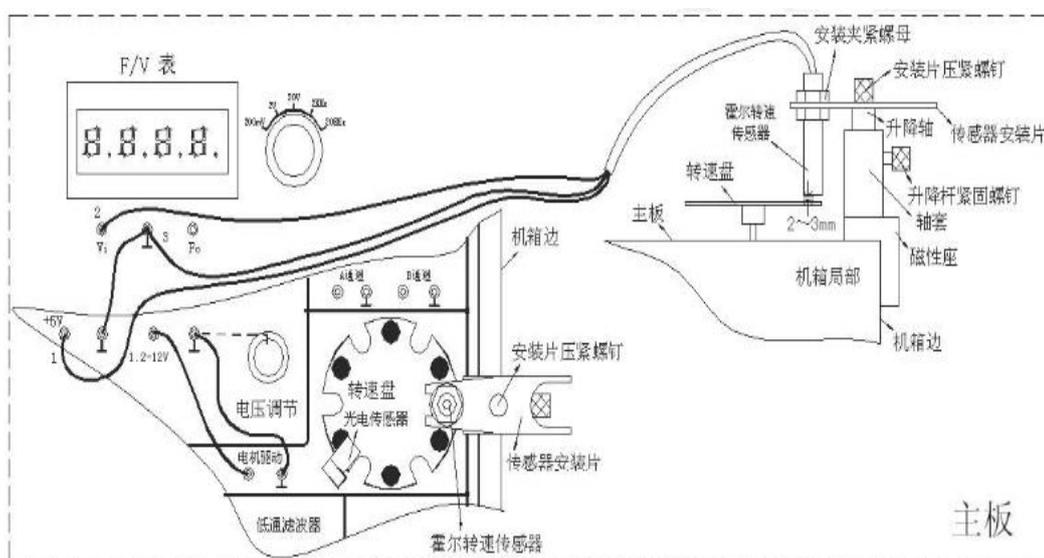


图 14 霍尔转速传感器安装及接线图

2. 转动频率 f 测量

将 F/V 表的量程切换开关切到频率 2KHz 档,检查接线无误后合上主电源开关,调节 1.2~12V 电压调节旋钮,F/V 表就显示相对应的频率 f。

记录频率 f 和驱动电压的值,并填写下表。

驱动电压 V(V)									
频率 f(KHz)									

3. 转速 n 计算

因转速盘上装有 6 只小圆磁钢,所以转速 $n=10f$ 。根据 F/V 表显示的频率 f 就可以计算转速。并填写下表。

驱动电压 V(V)									
转速 n(rpm)									

4. 实验完毕

- (1) 关闭主电源。
- (2) 拆卸传感器及相关配件、导线。
- (3) 收拾实验台。

六. 实验注意事项

- 1.实验过程中，严禁带电插拔接线，确保在断电情况下才可插拔接线。
- 2.实验完成后，收拾好实验仪器及其配件。
- 3.整个实验过程中，要保持实验室安静、整洁，严禁嬉戏打闹、大声喧哗等行为。

实验四 热电偶测温/温度补偿实验

一. 实验目的

1. 了解热电偶测温原理及应用;
2. 学习热电偶测温方法。

二. 实验原理

1. 热电偶

两种不同导体或半导体的组合被称为热电偶。常见热电偶如下图所示。

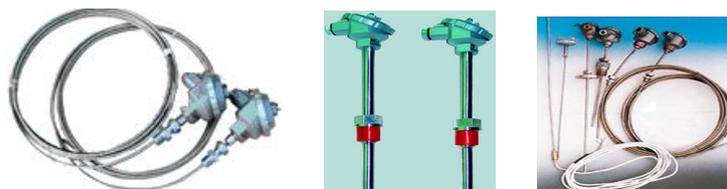


图 15 常见的热电偶外形图

2. 热电效应

热电偶是一种使用最多的温度传感器，它的原理是基于 1821 年发现的塞贝克效应，又叫热电效应。热电效应如图 16 所示，将两种不同导体 A 、 B 两端连接在一起组成闭合回路，并使两端处于不同的温度环境，在回路中会产生热电动势而形成电流，这一现象称为热电效应。相应的电动势和电流称为热电动势和热电流，导体 A 、 B 称为热电极，置于被测温度 (T) 的一端称为工作端，另一端 (T_0) 称为参考端（冷端）。

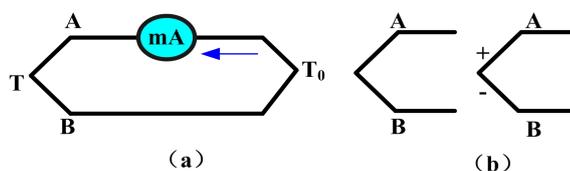


图 16 热电效应

即两种不同的导体或半导体 A 或 B 组成一个回路，其两端相互连接，只要两节点处的温度不同，一端温度为 T ，另一端温度为 T_0 ，则回路中就有电流产生，见图 17 (a)，即回路中存在电动势，该电动势被称为热电动势。

当回路断开时，在断开处 a 、 b 之间便有一电动势 E_T ，其极性和量值与回路中的热电动势一致，见图 17 (b)，并规定在冷端，当电流由 A 流向 B 时，称 A 为正极， B 为负极。

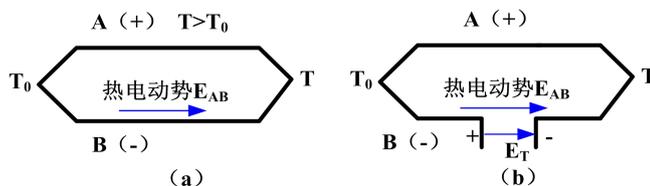


图 17 热电动势

实验表明，当 E_T 较小时，热电动势 E_T 与温度差 $(T - T_0)$ 成正比，即

$$E_T = S_{AB}(T - T_0)$$

式中, S_{AB} 为塞贝克系数, 又称为热电势率, 它是热电偶的最重要的特征量, 其符号和大小取决于热电极材料的相对特性。

3. 热电偶的基本定律

(1) 均质导体定律

由一种均质导体组成的闭合回路, 不论导体的截面积和长度如何, 也不论各处的温度分布如何, 都不能产生热电势。

(2) 中间导体定律

用两种金属导体 A , B 组成热电偶测量时, 在测温回路中必须通过连接导线接入仪表测量温差电势 $E_{AB}(T, T_0)$, 而这些导体材料和热电偶导体 A , B 的材料往往并不相同。在这种引入了中间导体的情况下, 回路中的温差电势是否发生变化呢? 热电偶中间导体定律指出: 在热电偶回路中, 只要中间导体 C 两端温度相同, 那么接入中间导体 C 对热电偶回路总热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 没有影响。

(3) 中间温度定律

中间温度定律见图 11-5 所示。

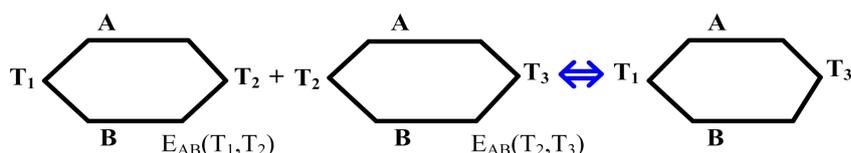


图 18 中间温度定律

图 11-5 中, 热电偶的两个结点温度为 T_1 , T_2 时, 热电势为 $E_{AB}(T_1, T_2)$; 两结点温度为 T_2 , T_3 时, 热电势为 $E_{AB}(T_2, T_3)$, 那么当两结点温度为 T_1 , T_3 时的热电势则为:

$$E_{AB}(T_1, T_2) + E_{AB}(T_2, T_3) = E_{AB}(T_1, T_3)$$

式 (11-2) 就是中间温度定律的表达式。譬如: $T_1=100^\circ\text{C}$, $T_2=40^\circ\text{C}$, $T_3=0^\circ\text{C}$, 则

$$E_{AB}(100, 40) + E_{AB}(40, 0) = E_{AB}(100, 0)$$

3. 热电偶的分度号

热电偶的分度号就是其分度表的代号 (一般用大写字母 S、R、B、K、E、J、T、N 表示)。它是在热电偶的参考端为 0°C 的条件下, 以列表的形式来表示热电势与测量端温度的关系。

4. 本实验中 K 热电偶的分度表

K (镍铬-镍硅或镍铝) 热电偶, 偶丝直径为 3.2mm 时, 测温范围 $0\sim 1200^\circ\text{C}$ 。本实验用的 K 热电偶偶丝直径为 0.5mm, $0\sim 800^\circ\text{C}$ 。由于温度源温度 $< 120^\circ\text{C}$, 所以热电偶实际测温范围 $< 120^\circ\text{C}$ 。

从热电偶的测温原理可知, 热电偶测量的是测量端与参考端之间的温度差, 在参考端温度为 0°C 时才真实反映测量端的温度, 否则存在着参考端所处环境温度值误差。

热电偶的分度表见附表 1。附表 1 是定义在热电偶的参考端 (冷端) 为 0°C 时热电偶输出的热电动势与热电偶测量端 (热端) 温度值的对应关系。热电偶测温时要对参考端 (冷端)

进行修正（补偿），计算公式 $E(t, t_0) = E(t, t_0') + E(t_0', t_0)$ ：

式中：

$E(t, t_0)$ -----热电偶测量端温度为 t ，参考端温度为 $t_0=0^\circ\text{C}$ 时的热电势值；

$E(t, t_0')$ ----热电偶测量端温度为 t ，参考端温度为 t_0' （不等于 0°C ）时的热电势值；

$E(t_0', t_0)$ ---热电偶测量端温度为 t_0' ，参考端温度为 $t_0=0^\circ\text{C}$ 时的热电势值。

附表 1 K 热电偶分度表（参考端温度为 0°C ）

测量端 温度 ($^\circ\text{C}$)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	热电动势 (mV)									
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.162
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.570
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.949	1.981
50	2.022	2.064	2.105	2.146	2.188	2.229	2.270	2.312	2.353	2.394
60	2.436	2.477	2.519	2.560	2.601	2.643	2.684	2.726	2.767	2.809
70	2.850	2.892	2.933	2.975	3.016	3.058	3.100	3.141	3.183	3.224
80	3.266	3.307	3.349	3.390	3.432	3.473	3.515	3.556	3.598	3.639
90	3.681	3.722	3.764	3.805	3.847	3.888	3.930	3.971	4.012	4.054
100	4.095	4.137	4.178	4.219	4.261	4.302	4.343	4.384	4.426	4.467
110	4.508	4.549	4.590	4.632	4.673	4.714	4.755	4.796	4.837	4.878
120	4.919	4.960	5.001	5.042	5.083	5.124	5.164	5.205	5.246	5.287

例：用一支分度号为 K 的热电偶测量温度源的温度，工作时的参考端温度（热电偶输出端） $t_0' = 20^\circ\text{C}$ ，而测得热电偶输出的热电势（经过放大器放大的信号，假设放大器的增益 $K=10$ ）为 32.7mV ，则 $E(t, t_0') = 32.7\text{mV}/10 = 3.27\text{mV}$ ，那么热电偶测得温度源的温度是多少呢？

解：由附表 1 差得， $E(t_0', t_0) = E(20, 0) = 0.798\text{mV}$ ；

已测得 $E(t, t_0') = 3.27\text{mV}$ ；

因此， $E(t, t_0) = E(t, t_0') + E(t_0', t_0) = 3.27\text{mV} + 0.798\text{mV} = 4.068\text{mV}$ ；

热电偶测量温度源的温度可以从分度表查出，与 4.068mV 对应的温度是 100°C 左右。

三. 实验器材及装置

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	传感器系统综合实训平台	CSY-XS-01 型	1 套	
2	机头温度源		1 个	
3	Pt100 热电阻（温度源温度控制传感器）		1 个	
4	K 热电偶（温度特性实验传感器）		1 个	
5	主板调节仪单元		1 个	
6	F/V 表		1 个	
7	1.2~12V 可调电压		1 个	
6	差动放大器		1 个	
7	导线		若干	

四. 实验题目及内容

使用 Pt100 测量室温，用 K 热电偶测温，将差动放大器放大 50 倍的热电势值做记录，并分析 K 热电偶测温特性。

五. 实验步骤

1. 差动放大器调零

(1) 按下图接线。

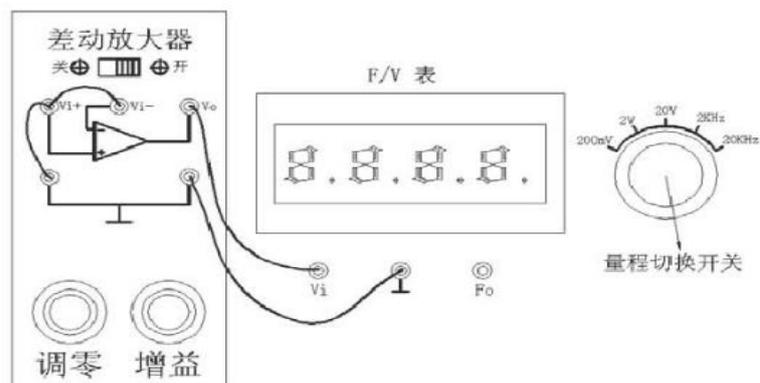


图 19 差动放大器接线

(2) 将 F/V 表的量程切换开关切换到 200mV 档，将差动放大器的拨动开关拨到“开”位置，合上实验箱主电源开关（注：F/V 表数码管亮，但调节仪电源必须关闭即调节仪数码管不亮）。

(3) 将差动放大器的增益电位器按顺时针方向轻轻转到底后再逆向回转半圈，调节调零电位器，使电压表显示电压为零。差动放大器调零完成后要维持调零电位器位置不变，关闭主电源。

2. 调节差动放大器增益 K 为 50 倍

(1) 获取 20mV 信号：将 1.2~12V 可调电源的调节旋钮逆时针慢慢地转到底，再按下图接线（接线是为了获取 20mV 信号）。

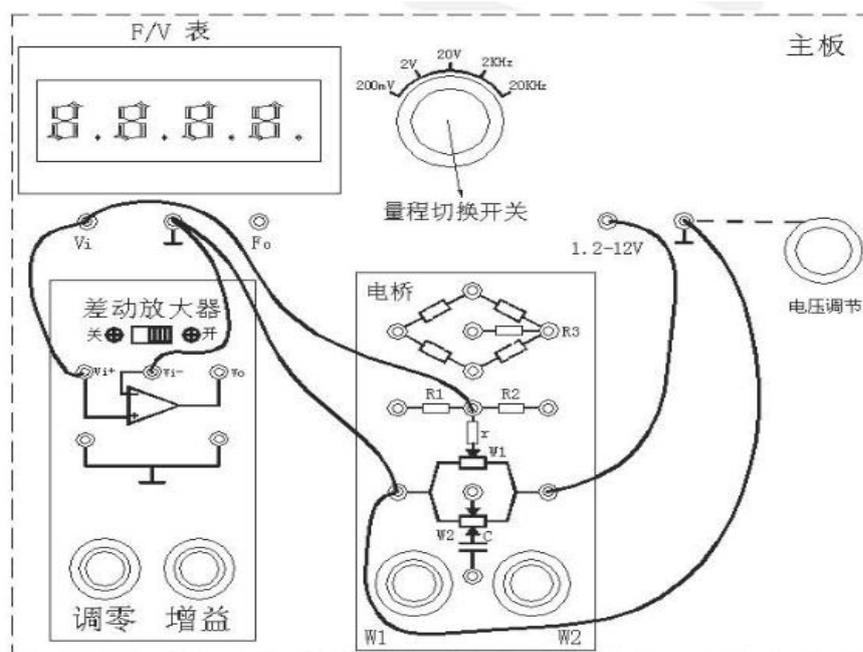


图 20 调节 20mV 信号接线图

(2) 将 F/V 表的量程切换开关切换到 200mV 档，检查接线无误后合上主电源开关，将差动放大器的波动开关拨到“开”位置。调节电桥单元中的 W1 电位器使 F/V 表显示 20mV。此时获取了 20mV 信号。

(3) 调节差动放大器的增益：将上图中的 F/V 表的量程切换开关切换到 2V 档，并将 F/V 表的输入引线改接到差动放大器的输出 Vo 端。如下图所示。

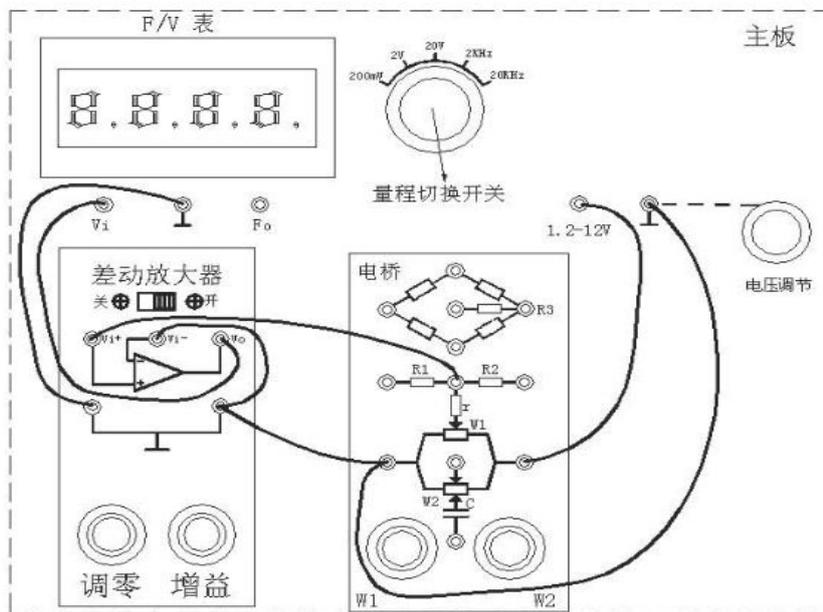


图 21 调节差动放大器增益接线图

(4) 调节差动放大器的增益电位器旋钮（小心：不要误调零电位器旋钮）使放大器的输出电压为 1.000V 即 $K=50$ 倍。

(5) 差动放大器调试完毕（保持放大器的调零、增益电位器旋钮位置处于调节好的状态，不允许动），关闭主电源。

3. 测量室温值 t_0'

(1) 按下图接线（不要用手抓捏 Pt100 热电阻测温端），Pt100 热电阻不要插入温度源中而是放在桌面上。

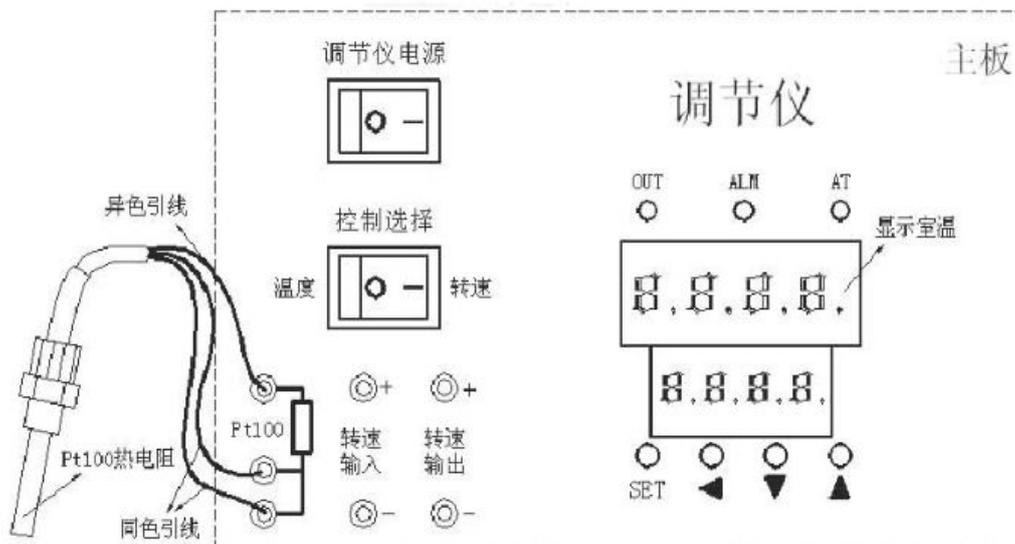


图 22 室内环境温度测量接线图

(2) 检查接线无误后，将调节仪的控制选择开关打到温度位置上，再合上主电源开关和调节仪电源开关。

(3) 记录下调节仪 PV 窗显示的室温值（上排数码管显示值） t_0' ，关闭调节仪电源和主电源开关。将 Pt100 热电阻插入 温度源中。

4. 热电偶测室温（无温差）时的输出

(1) 按下图接线（不要用手抓捏 K 热电偶测温端），热电偶放在桌面上。

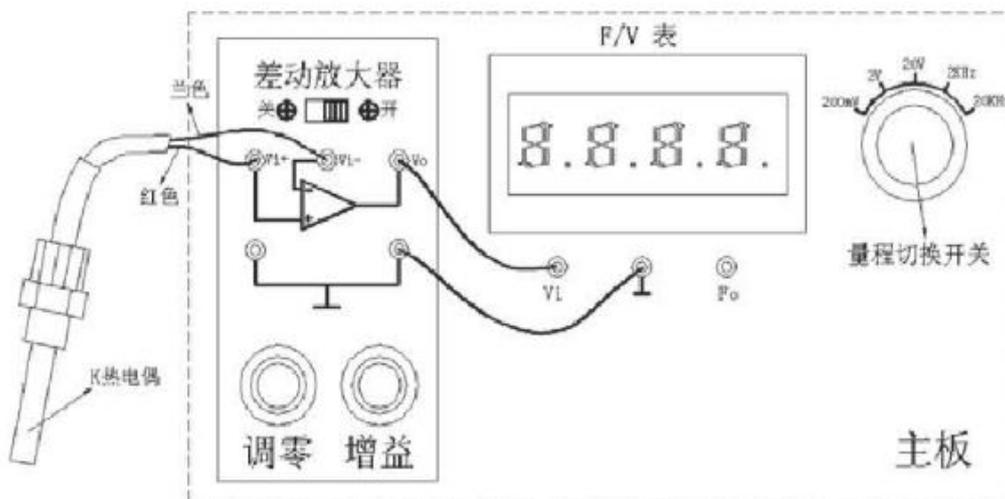


图 23 热电偶测室温特性接线图

(2) F/V 表的量程切换开关切换到 200mV 档，检查接线无误后，合上主电源开关，稍待一分钟左右，记录 F/V 表的显示值 V_0 ，计算 $V_0 \div 50$ ，再查附表 1 得 $\Delta t \approx 0^\circ\text{C}$ 。

5. 热电偶测温特性实验

(1) 按下图接线。

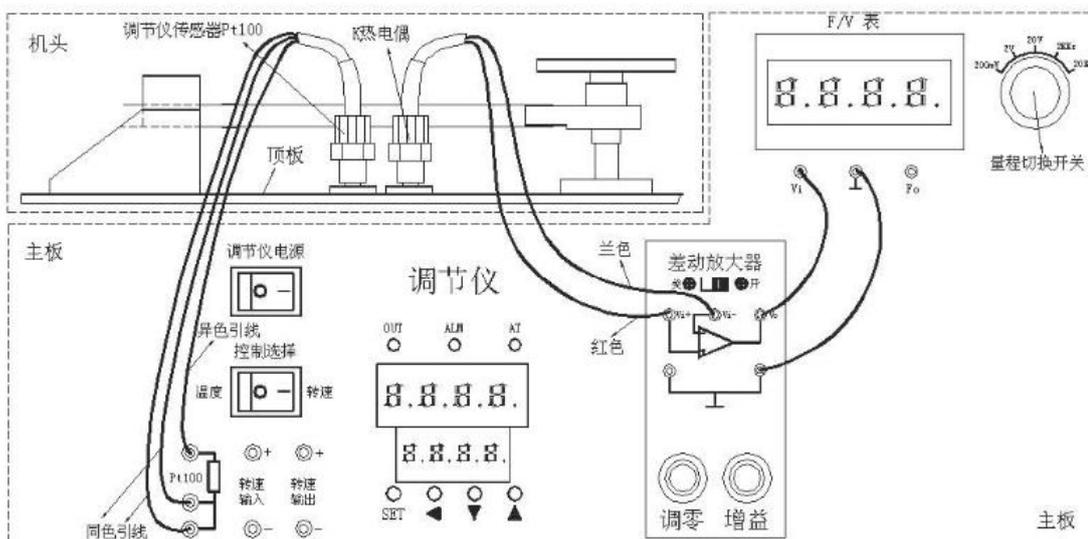


图 24 K 热电偶测温特性实验接线图

(2) 合上温度调节仪电源开关，按下表中的数据设置温度源的实验温度值，并将差动放大器的相应输出值填入表中。

t (°C)	室温	40	45	50	90
V_0 (mV)						

6. 计算热电偶的测量值

根据 $E(t, t_0) = E(t, t_0') + E(t_0', t_0) = V_0/K$ (增益) + 室温对应的热电势值 (查附表 1 的分度表), 再根据 $E(t, t_0)$ 的值从附表 1 中的分度表可以查到相应的温度值并与实验给定的温度值对照 (注: 热电偶一般应用于测量比较高的温度, 不能只看绝对误差。如绝对误差为 8°C , 但它的相对误差即精度 $\Delta\% = 8/800 \times 100\% = 1\%$)。

7. 实验结束

将调节器实验温度设置到 40°C , 待温度源恢复到 40°C 左右时实验结束。

- (1) 关闭主电源。
- (2) 拆卸传感器及相关配件、导线。
- (3) 收拾实验台。

六. 实验注意事项

1. 实验过程中, 严禁带电插拔接线, 确保在断电情况下才可插拔接线。
2. 实验完成后, 收拾好实验仪器及其配件。
3. 整个实验过程中, 要保持实验室安静、整洁, 严禁嬉戏打闹、大声喧哗等行为。