

自动化

专业本科系列规划教材

ChuanGanQi Yu JianCe JiShu ShiYan ZhiDaoShu

传感器与检测技术实验指导书

0101001000100001

主 编 海 涛

副主编 石岳峰 韦善革 张镜议

易 丐 朱浩亮 李珍珍



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

自动化

专业本科系列规划教材

ChuanGanQi Yu JianCe JiShu ShiYan ZhiDaoShu

传感器与检测技术实验指导书

主 编 海 涛

副主编 石岳峰 韦善革 张镫议

易 巧 朱浩亮 李珍珍

参 编 陈 苏 刘军晖 刘 伟 黄新迪

重庆大学出版社

内容提要

本书共分 12 个模块,由三个部分构成:第一部分(模块 1~模块 3)为基础部分,由应变片、差动变压器、电容式传感器等内容构成;第二部分(模块 4~模块 11)综合部分,由线性霍尔传感器、压电式传感器、电涡流传感器、温度传感器、气敏及湿度传感器、光源传感器、超声波传感器、光源传感器等内容构成;第三部分(模块 12)是由虚拟仪器实验构成。每个模块由若干个实验组成,描述了传感器工作原理、实验目的、需用器件与单元、实验步骤、注意事项等,部分实验要求将实验数据填入表格进行分析。这些实验是针对温度、压力、流量、物位、转速、位移、加速度等各种非电量参数分析及测量方法的综合实验。本书与海涛等编著的《传感器与检测技术》教材配套使用。

本书可以作为自动化及相关专业本科生和研究生相关实验参考书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术实验指导书/海涛主编. —重庆:重庆大学出版社, 2016.5
自动化专业本科系列教材
ISBN 978-7-5624-9758-5

I. ①传… II. ①海… III. ①传感器—检测—高等学校—教材 IV. ①TP212
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 085866 号

传感器与检测技术实验指导书

主 编 海 涛

副主编 石岳峰 韦善革 张锦议

易 巧 朱浩亮 李珍珍

策划编辑:曾显跃

责任编辑:文 鹏 版式设计:曾显跃

责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:8.5 字数:212 千

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-9758-5 定价:19.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

目 录

模块 1 应变片传感器实验	1
实验 1.1 应变片单臂和全桥电桥性能实验	4
实验 1.2 应变片全桥性能实验	9
实验 1.3 应变片直流全桥的应用——电子秤实验	11
实验 1.4 应变片的温度影响实验	12
实验 1.5 移相器、相敏检波器实验	13
实验 1.6* 应变片交流全桥的应用(应变仪)——振动 测量实验	17
实验 1.7 压阻式压力传感器测量压力特性实验	21
实验 1.8* 压阻式压力传感器应用——压力计实验 ..	23
模块 2 差动变压器传感器实验	24
实验 2.1 差动变压器的性能实验	24
实验 2.2 激励频率对差动变压器特性的影响实验	29
实验 2.3 差动变压器零点残余电压补偿实验	30
实验 2.4 差动变压器测位移实验	32
实验 2.5 差动变压器的应用——振动测量实验	35
模块 3 电容式传感器的位移实验	37
实验 电容式传感器测位移特性实验	37
模块 4 线性霍尔传感器实验	41
实验 4.1 线性霍尔传感器位移特性实验	41
实验 4.2 线性霍尔传感器交流激励时的位移性能实验	44
实验 4.3* 开关式霍尔传感器测转速实验	46
模块 5 压电式传感器实验模块	48
实验 压电式传感器测振动实验	48
模块 6 电涡流传感器实验	52
实验 6.1 电涡流传感器位移实验	52
实验 6.2 被测体材质对电涡流传感器特性影响实验	55
实验 6.3 被测体面积大小对电涡流传感器的特性影响 实验	56
实验 6.4 电涡流传感器测量振动实验	57

模块 7 光纤及光电传感器实验	59
实验 7.1 光纤位移传感器测位移特性实验	59
实验 7.2 光电传感器测量转速实验	61
实验 7.3 光电传感器控制电机转速实验	62
模块 8 温度传感器实验	70
实验 8.1* 温度源的温度调节控制实验	70
实验 8.2 Pt100 铂电阻测温特性实验	73
实验 8.3 K 热电偶测温性能实验	79
实验 8.4 K 热电偶冷端温度补偿实验	85
实验 8.5 集成温度传感器(AD590)温度特性实验	90
模块 9 气敏及湿度传感器实验	93
实验 9.1 气敏传感器实验	93
实验 9.2 湿敏传感器实验	94
模块 10 光源及光敏传感器实验	97
实验 10.1 发光二极管(光源)的照度标定实验	97
实验 10.2 光敏电阻特性实验	99
实验 10.3 光敏二极管的特性实验	101
实验 10.4 硅光电池特性实验	103
实验 10.5 透射式光电开关实验	105
实验 10.6 反射式红外光电接近开关实验	106
模块 11 超声波传感器实验	108
实验 11.1 超声波传感器测距实验	108
模块 12 基于虚拟仪器的实验	110
实验 12.1 基于 NI DAQ 和虚拟仪器的数据采集系统 构建实验	110
实验 12.2 基于 LabVIEW 和 NI DAQ 的光栅位移传感 器实验	120
实验 12.3 基于 NI LabVIEW 和 USB-6211 的单容水 箱液位控制实验	125
参考文献	130

模块 1

应变片传感器实验

(1) 应变片工作原理

电阻应变式传感器是一种利用电阻材料的应变效应将工程结构件的内部变形转换为电阻变化的传感器,它是通过在弹性元件上通过特定工艺粘贴电阻应变片来组成。此类传感器主要是通过一定的机械装置将被测量转化成弹性元件的变形,然后由电阻应变片将弹性元件的变形转换成电阻的变化,再通过测量电路将电阻的变化转换成电压或电流变化信号输出。它可用于能转化成变形的各种非电物理量的检测,如力、加速度、力矩等,在机械加工、计量、建筑测量等行业应用十分广泛。

(2) 应变片的电阻应变效应

所谓电阻应变效应,是指具有规则外形的金属导体或半导体材料在外力作用下产生应变而其电阻值也会产生相应地改变,这一物理现象称为“电阻应变效应”。以圆柱形导体为例,设其长为 L 、半径为 r 、材料的电阻率为 ρ 时,根据电阻的定义式得

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{\pi \cdot r^2} \quad (1.1)$$

当导体因某种原因产生应变时,其长度 L 、截面积 A 和电阻率 ρ 的变化为 dL 、 dA 、 $d\rho$,相应的电阻变化为 dR 。对式(1.1)全微分得电阻变化率 dR/R 为

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - 2 \frac{dr}{r} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1.2)$$

式中: dL/L 为导体的轴向应变变量 ε_L ; dr/r 为导体的横向应变变量 ε_r 。

由材料力学得

$$\varepsilon_r = -\mu \varepsilon_L \quad (1.3)$$

式中: μ 为材料的泊松比,大多数金属材料的泊松比为 0.3~0.5 左右;负号表示两者的变化方向相反。将式(1.3)代入式(1.2),得

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu) \varepsilon + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1.4)$$

式(1.4)说明电阻应变效应主要取决于它的几何应变(几何效应)和本身特有的导电性能(压阻效应)。

(3) 应变灵敏度

应变灵敏度是指电阻应变片在单位应变作用下所产生的电阻的相对变化量。

①金属导体的应变灵敏度 K 主要取决于其几何效应,可取

$$\frac{dR}{R} \approx (1 + 2\mu)\varepsilon_l \tag{1.5}$$

其灵敏度系数为

$$K = \frac{dR}{\varepsilon_l R} = 1 + 2\mu$$

金属导体在受到应变作用时将产生电阻的变化,拉伸时电阻增大,压缩时电阻减小,且与其轴向应变成正比。金属导体的电阻应变灵敏度一般在 2 左右。

②半导体的应变灵敏度主要取决于其压阻效应:

$$\frac{dR}{R} < \approx \frac{d\rho}{\rho}$$

半导体材料之所以具有较大的电阻变化率,是因为它有远比金属导体显著得多的压阻效应。半导体在受力变形时会暂时改变晶体结构的对称性,从而改变了导电机理,使得电阻率发生变化,这种物理现象称为半导体的压阻效应。不同材质的半导体材料在不同受力条件下产生的压阻效应不同,可以是正(使电阻增大)的或负(使电阻减小)的压阻效应。也就是说,同样是拉伸变形,不同材质的半导体将得到完全相反的电阻变化效果。

半导体材料的电阻应变效应主要体现为压阻效应,其灵敏度系数较大,一般为 100~200。

(4)贴片式应变片应用

在贴片式工艺的传感器上普遍应用金属箔式应变片,贴片式半导体应变片(温漂、稳定性、线性度不好而且易损坏)很少应用。一般半导体应变采用 N 型单晶硅为传感器的弹性元件,在它上面直接蒸镀扩散出半导体电阻应变薄膜(扩散出敏感栅),制成扩散型压阻式(压阻效应)传感器。(注:本实验以金属箔式应变片为研究对象。)

(5)箔式应变片的基本结构

金属箔式应变片是在用苯酚、环氧树脂等绝缘材料的基板上,粘贴直径为 0.025 mm 左右的金属丝或金属箔,如图 1.1 所示。

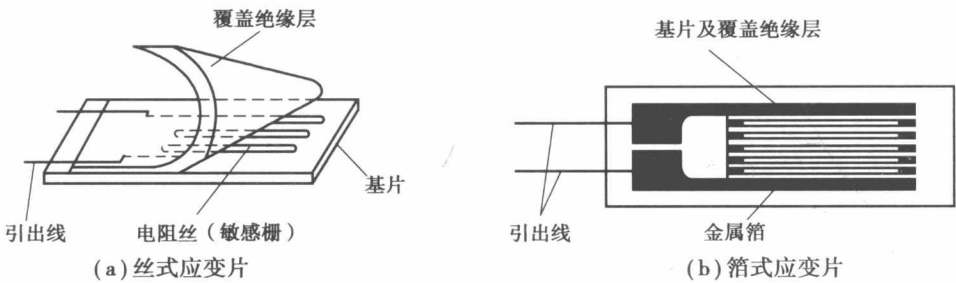


图 1.1 应变片结构图

金属箔式应变片就是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件,与丝式应变片工作原理相同。电阻丝在外力作用下发生机械变形时,其电阻值发生变化,这就是电阻应变效应。描述电阻应变效应的关系式为

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

式中: $\Delta R/R$ 为电阻丝与电阻相对变化, K 为应变灵敏系数, $\varepsilon = \Delta L/L$ 为电阻丝长度相对变化。

(6) 测量电路

为了将电阻应变式传感器的电阻变化转换成电压或电流信号, 在应用中一般采用电桥电路作为其测量电路。电桥电路具有结构简单、灵敏度高、测量范围宽、线性度好且易实现温度补偿等优点, 能较好地满足各种应变测量要求, 因此在应变测量中得到了广泛的应用。

电桥电路按其工作方式分有单臂、双臂和全桥三种, 单臂工作输出信号最小、线性和稳定性较差; 双臂输出是单臂的 2 倍, 性能比单臂有所改善; 全桥工作时的输出是单臂时的 4 倍, 性能最好。因此, 为了得到较大的输出电压信号一般都采用双臂或全桥工作, 基本电路如图 1.2(a)、(b)、(c) 所示。

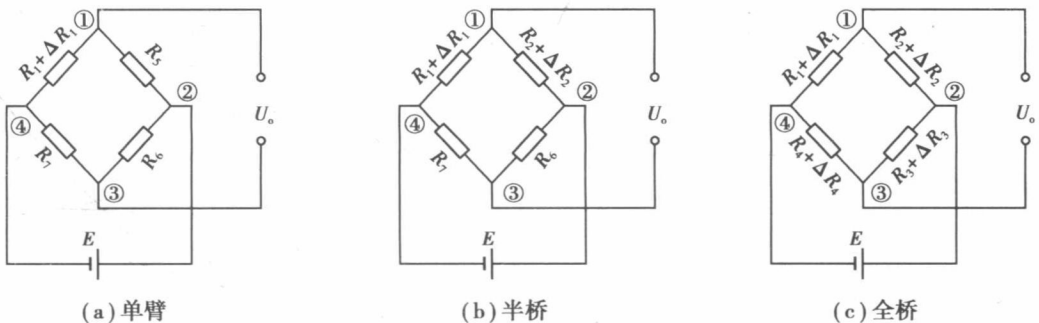


图 1.2 应变片测量电路

①单臂:

$$\begin{aligned}
 U_o &= U_{\text{①}} - U_{\text{③}} \\
 &= \left[\left(R_1 + \frac{\Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_5} \right) - \frac{R_7}{R_7 + R_6} \right] E \\
 &= \left[\frac{(R_7 + R_6)(R_1 + \Delta R_1) - R_7(R_5 + R_1 + \Delta R_1)}{(R_5 + R_1 + \Delta R_1)(R_7 + R_6)} \right] E
 \end{aligned}$$

设 $R_1 = R_5 = R_6 = R_7$, 且 $\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R}{R} \ll 1$, $\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$, K 为灵敏度系数。

则

$$U_o \approx \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right) E = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R}{R} \right) E = \frac{1}{4} K\varepsilon \cdot E$$

②双臂(半桥):

$$U_o \approx \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta R}{R} \right) E = \frac{1}{2} K\varepsilon \cdot E$$

③全桥:

$$U_o \approx \left(\frac{\Delta R}{R} \right) E = K\varepsilon \cdot E$$

(7) 箔式应变片单臂电桥

实验原理如图 1.3 所示。

图中 R_5 、 R_6 、 R_7 为 350Ω 固定电阻, R_1 为应变片; R_{w1} 和 R_8 组成电桥调平衡网络, E 为供电电源 $\pm 4 \text{ V}$ 。桥路输出电压为

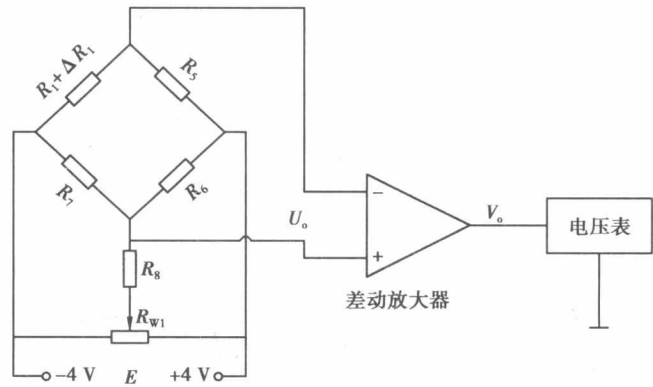


图 1.3 应变片单臂电桥性能实验原理图

$$U_o \approx \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} \right) E = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R}{R} \right) E = \frac{1}{4} K \varepsilon \cdot E$$

差动放大器输出为 V_o 。

实验 1.1 应变片单臂和全桥电桥性能实验

1.1.1 实验目的

掌握电阻应变片的工作原理与应用并掌握应变片测量电路。

1.1.2 需用器件与单元

主机箱中的±2~±10 V (步进可调) 直流稳压电源、±15 V 直流稳压电源、电压表；应变式传感器实验模板、托盘、砝码；4 $\frac{1}{2}$ 位数显万用表(自备)。

1.1.3 实验步骤

应变传感器实验模板由应变式双孔悬臂梁载荷传感器(称重传感器)、加热器+5 V 电源输入口、多芯插头、应变片测量电路、差动放大器组成。实验模板中的 R_1 (传感器的左下)、 R_2 (传感器的右下)、 R_3 (传感器的右上)、 R_4 (传感器的左上)为称重传感器上的应变片输出口；没有文字标记的 5 个电阻符号是空的无实体，其中 4 个电阻符号组成电桥模型是为电路初学者组成电桥接线方便而设； R_5 、 R_6 、 R_7 是 350 Ω 固定电阻，是为应变片组成单臂电桥、双臂电桥(半桥)而设的其他桥臂电阻。加热器+5 V 是传感器上的加热器的电源输入口，用于应变片温度影响实验。多芯插头是振动源的振动梁上的应变片输入口，用于应变片测量振动实验。

- ①将托盘安装到传感器上，如图 1.4 所示。
- ②测量应变片的阻值。当传感器的托盘上无重物时，分别测量应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 的阻

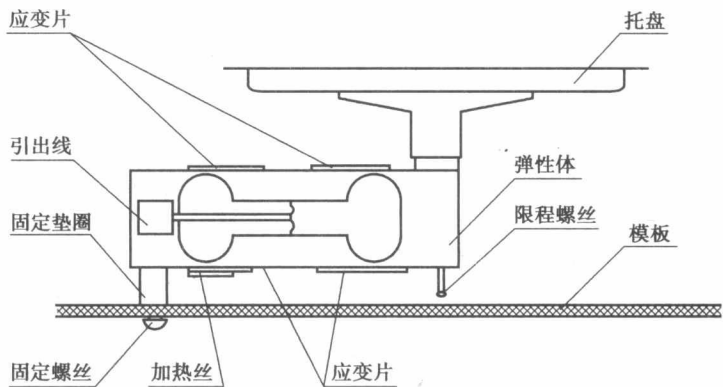


图 1.4 传感器托盘安装示意图

值。在传感器的托盘上放置 10 只砝码后再分别测量 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 的阻值变化,分析应变片的受力情况(受拉的应变片:阻值变大,受压的应变片:阻值变小)。

③实验模板中的差动放大器调零。按图 1.6 示意接线,将主机箱上的电压表量程切换开关切换到 2 V 挡,检查接线无误后合上主机箱电源开关;调节放大器的增益电位器 R_{w3} 合适位置(先顺时针轻轻转到底,再逆时针回转 1 圈)后,再调节实验模板放大器的调零电位器 R_{w4} ,使电压表显示为零。

④应变片单臂电桥实验。关闭主机箱电源,按图 1.7 示意图接线,将 $\pm 2 \sim \pm 10$ V 可调电源调节到 ± 4 V 挡。检查接线无误后合上主机箱电源开关,调节实验模板上的桥路平衡电位器 R_{w1} ,使主机箱电压表显示为零;在传感器的托盘上依次增加放置一只 20 g 砝码(尽量靠近托盘的中心点放置),读取相应的数显表电压值,记下实验数据填入表 1.1。

表 1.1 应变片单臂电桥性能实验数据

质量/g									
电压/mV									

⑤根据表 1.1 数据作出曲线并计算系统灵敏度 $S = \frac{\Delta V}{\Delta W}$ (ΔV 为输出电压变化量, ΔW 为重量变化量)和非线性误差 δ 。

$$\delta = \frac{\Delta m}{yFS} \times 100\%$$

式中, Δm 为输出值(多次测量时为平均值)与拟合直线的最大偏差; yFS 满量程输出平均值,此处为 200 g。

实验完毕,关闭电源。

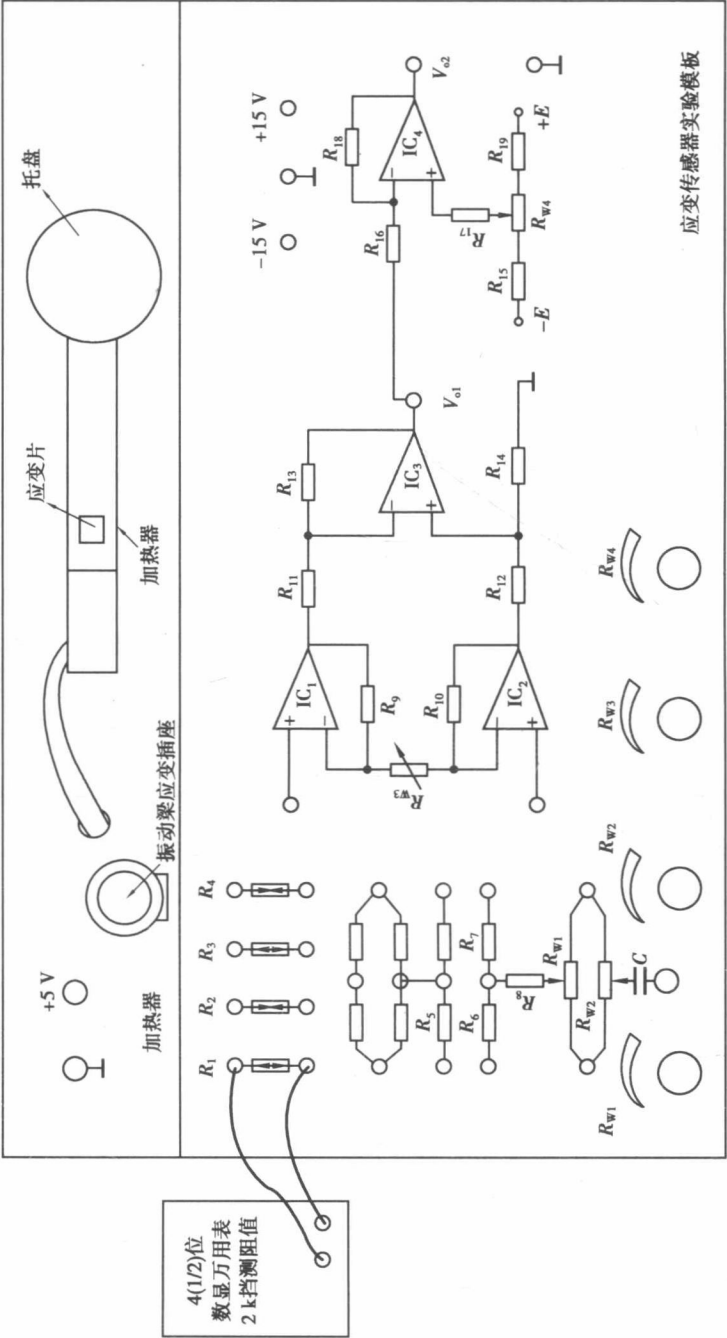


图 1.5 测量应变片的阻值示意图

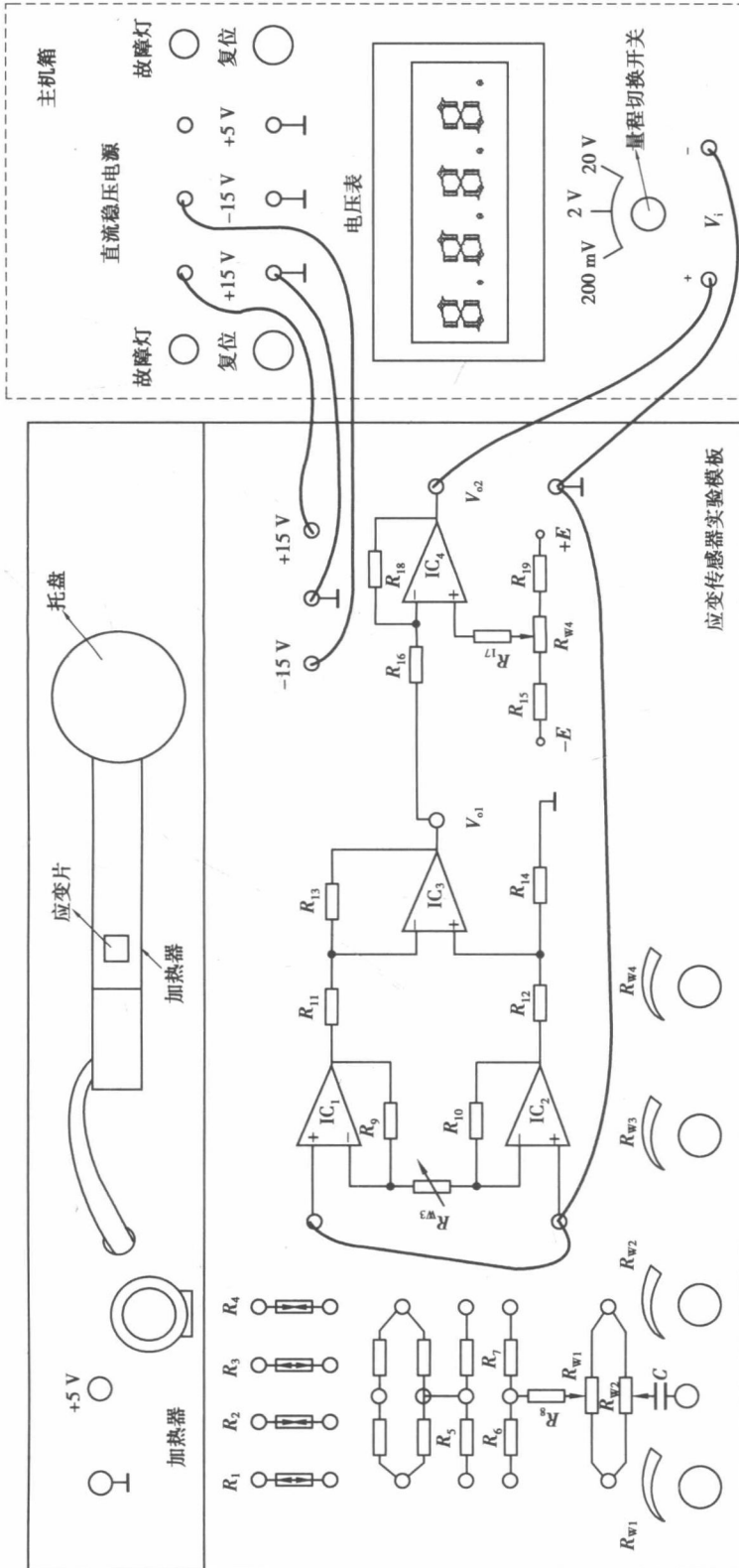


图1.6 差动放大器调零接线示意图

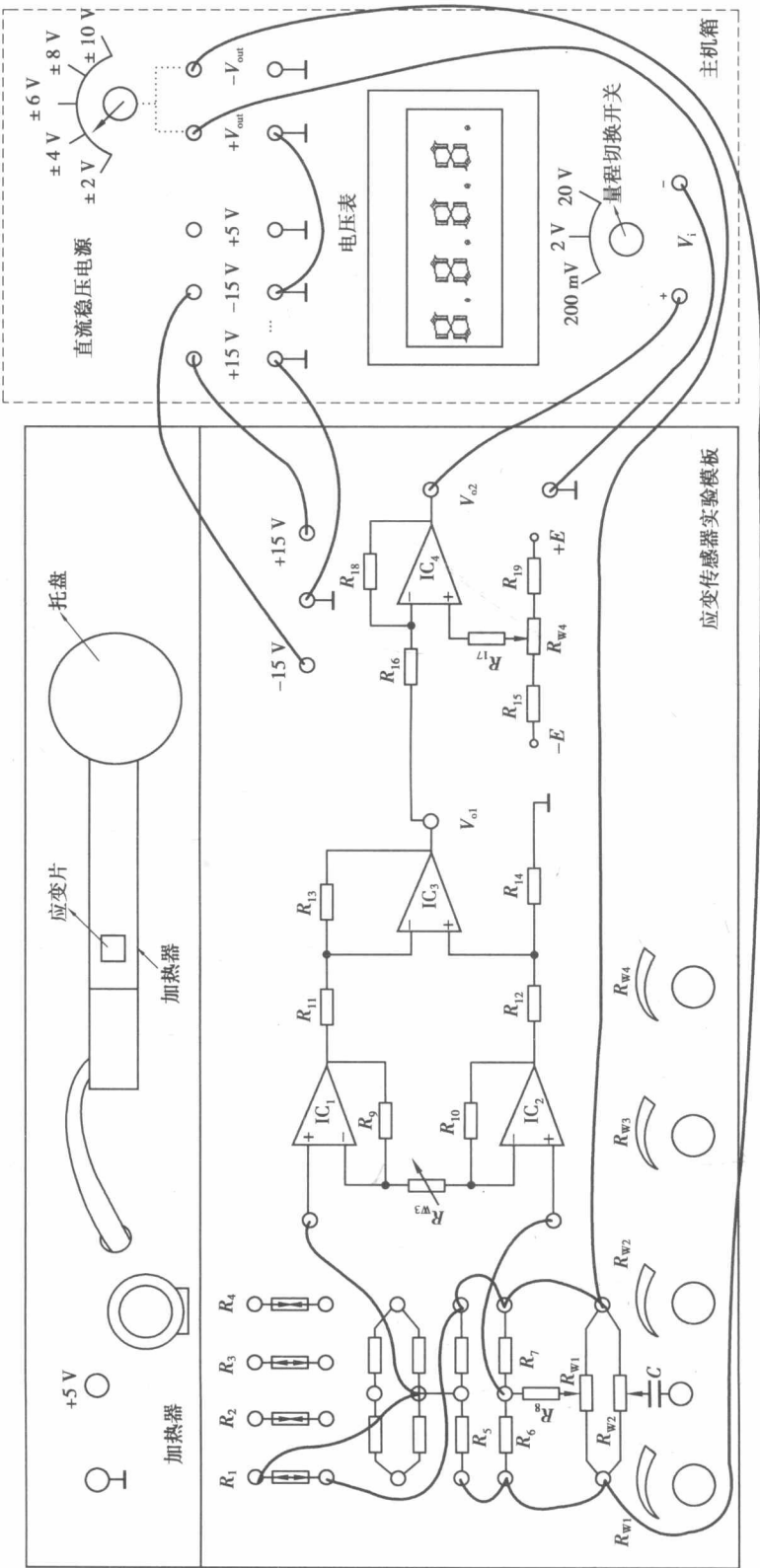


图 1.7 应变片单臂电桥实验接线示意图

实验 1.2 应变片全桥性能实验

1.2.1 实验目的

了解应变片全桥工作特点及性能。

1.2.2 基本原理

应变片基本原理参阅实验 1.1。应变片全桥特性实验原理如图 1.8 所示。应变片全桥测量电路中,将应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。当应变片初始阻值 $R_1=R_2=R_3=R_4$,其变化值 $\Delta R_1=\Delta R_2=\Delta R_3=\Delta R_4$ 时,其桥路输出电压 $U_o \approx \left(\frac{\Delta R}{R}\right) E = K\varepsilon E$ 。其输出灵敏度比半桥又提高了一倍,非线性得到改善。

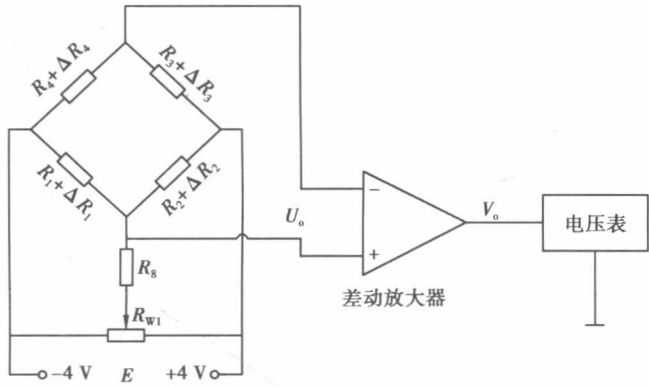


图 1.8 应变片全桥特性实验接线示意图

1.2.3 需用器件和单元

主机箱中的 $\pm 2 \sim \pm 10\text{ V}$ (步进可调)直流稳压电源、 $\pm 15\text{ V}$ 直流稳压电源、电压表;应变式传感器实验模板、托盘、砝码。

1.2.4 实验步骤

实验步骤与方法(除了按图 1.9 示意接线外)参照实验 1.1,将实验数据填入表 1.2 中,作出实验曲线并进行灵敏度和非线性误差计算。实验完毕,关闭电源。

表 1.2 全桥性能实验数据

质量/g									
电压/mV									

思考题

测量中,当两组对边(R_1 、 R_3 为对边)电阻值 R 相同时,即 $R_1=R_3$, $R_2=R_4$, 而 $R_1 \neq R_2$ 时,是否可以组成全桥。

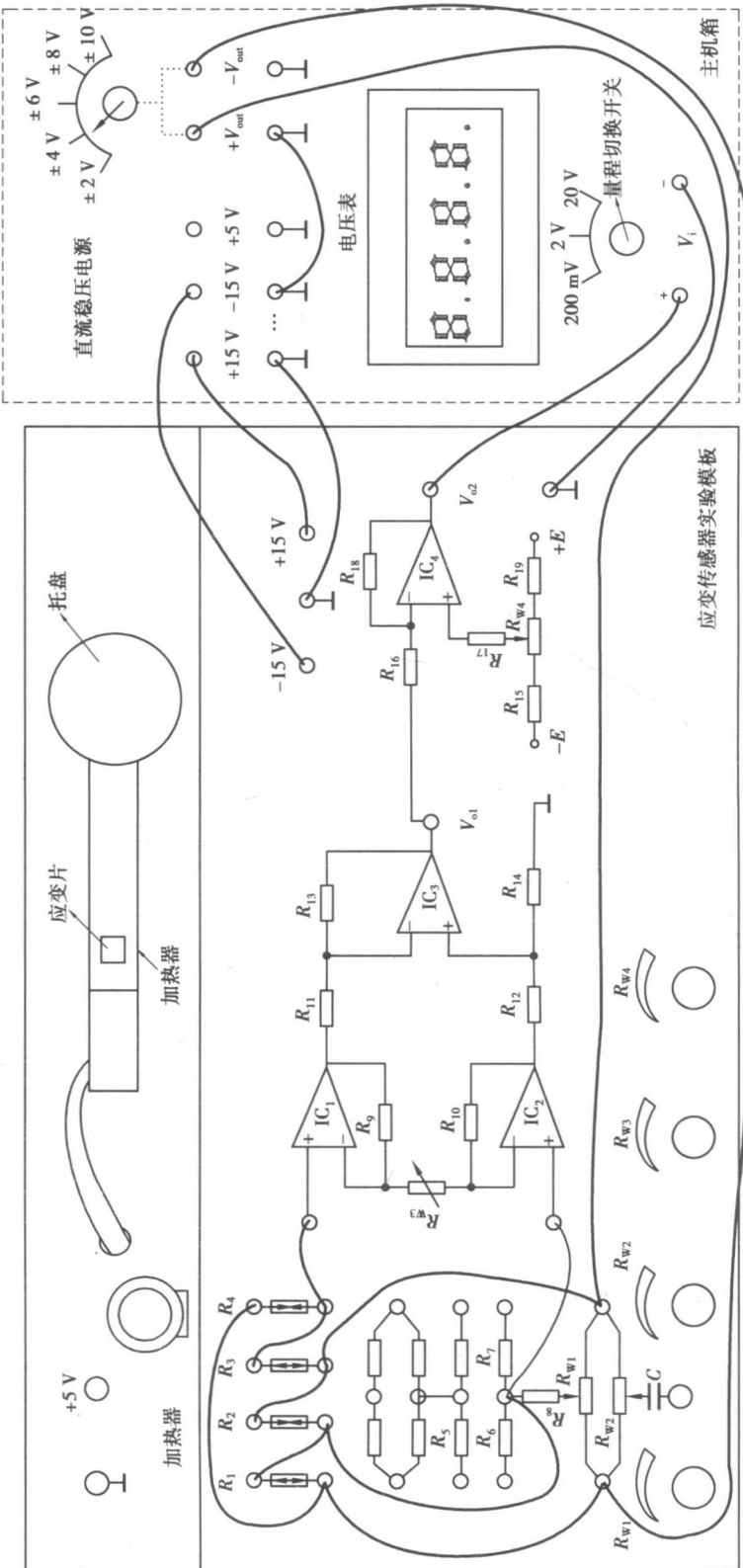


图1.9 应变片全桥性能实验接线示意图

实验 1.3 应变片直流全桥的应用——电子秤实验

1.3.1 实验目的

了解应变直流全桥的应用及电路的标定。

1.3.2 基本原理

常用的称重传感器就是应用了箔式应变片及其全桥测量电路。数字电子秤实验原理如图 1.10 所示。本实验只做放大器输出 V_o 。实验,通过对电路的标定使电路输出的电压值为质量对应值,电压量纲改为质量量纲即成为一台原始电子秤。

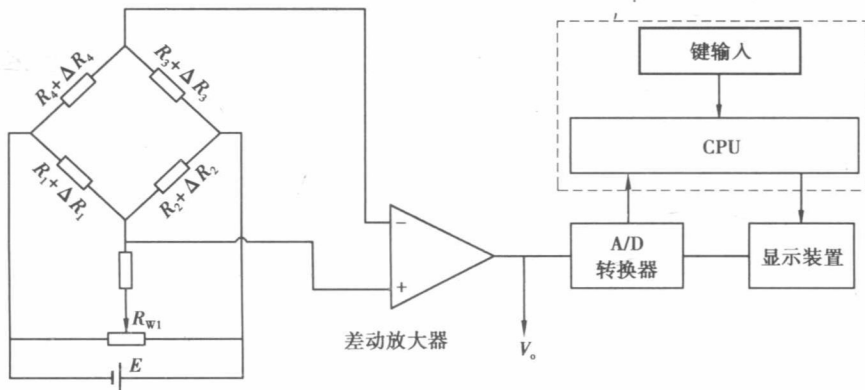


图 1.10 数字电子秤原理框图

1.3.3 需用器件与单元

主机箱中的 $\pm 2 \sim \pm 10$ V (步进可调) 直流稳压电源、 ± 15 V 直流稳压电源、电压表;应变式传感器实验模板、托盘、砝码。

1.3.4 实验步骤

①按实验 1.1.3 中的步骤②和步骤③实验。

②关闭主机箱电源,按图 1.9 (应变片全桥性能实验接线示意图) 示意接线,将 $\pm 2 \sim \pm 10$ V 可调电源调节到 ± 4 V 挡。检查接线无误后合上主机箱电源开关,调节实验模板上的桥路平衡电位器 R_{W1} ,使主机箱电压表显示为零。

③将 10 只砝码全部置于传感器的托盘上,调节电位器 R_{W3} (增益即满量程调节) 使数显表显示为 0.200 V (2 V 挡测量)。

④拿去托盘上的所有砝码,调节电位器 R_{W4} (零位调节),使数显表显示为 0.000 V。

⑤重复上两步步骤的标定过程,一直到精确为止,把电压量纲改为质量纲,将砝码依次放在托盘上称重;放上笔、钥匙之类的小东西称重。实验完毕,关闭电源。

思考题

根据实验结果,思考本实验中的电子秤在精度和性能上与市面上的电子秤相比是高还是低? 有哪些需要改进或完善的地方?

实验 1.4 应变片的温度影响实验

1.4.1 实验目的

了解温度对应变片测试系统的影响。

1.4.2 基本原理

电阻应变片的温度影响主要来自两个方面。敏感栅丝的温度系数,应变栅的线膨胀系数与弹性体(或被测试件)的线膨胀系数不一致会产生附加应变。因此,当温度变化时,在被测体受力状态不变时,输出会有变化。

1.4.3 需用器件与单元

主机箱中 $\pm 2 \sim \pm 10\text{ V}$ (步进可调)直流稳压电源、 $\pm 15\text{ V}$ 直流稳压电源、电压表;应变传感器实验模板、托盘、砝码、加热器(在实验模板上,已粘贴在应变传感器左下角底部)、手持式红外感应温度计(自备)。

1.4.4 实验步骤

- ①按照实验 1.3 中步骤实验。
- ②将 200 g 砝码放在托盘上,在数显表上读取记录电压值 U_{o1} 。
- ③将主机箱中直流稳压电源+5 V、 $\perp$ 端接于实验模板的加热器+5 V、 $\perp$ 插孔上,数分钟后待数显表电压显示基本稳定后,用手持式红外感应温度计测量当前应变片的温度,并在表 1.3 中记录读数 U_{ot} 和温度 t , $U_{ot} - U_{o1}$ 即为温度变化的影响。计算这一温度变化产生的相对误差:

$$\delta = \frac{U_{ot} - U_{o1}}{U_{o1}} \times 100\%$$

实验完毕,关闭电源。

表 1.3 应变片温度影响实验数据

温度/ $^{\circ}\text{C}$										
电压/mV										