高等学校通用教材

传感技术与应用
实验指导及实验报告

（与《传感技术与应用》教材配套使用）

周继明　刘先任　江世明　编著

中南大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书出现印装问题，请与经销商调换

图书在版编目(CIP)数据

传感技术与应用实验指导及实验报告/周继明，刘先任，江世明编著．—长沙：中南大学出版社，2006.8
ISBN 7-81105-339-X

Ⅰ.传… Ⅱ.①周…②刘…③江… Ⅲ.传感器—实验—高等学校—教学参考资料 Ⅳ.TP212—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 093966 号

传感技术与应用
实验指导及实验报告

周继明 刘先任 江世明 编著

□责任编辑 邓立荣
□责任印制 文桂武
□出版发行 中南大学出版社
社址：长沙市麓山南路 邮编：410083
发行科电话：0731-8876770 传真：0731-8710482
□印 装 长沙市华中印刷厂

□开 本 787×1092 1/16 □印张 11.5 □字数 277 千字
□版 次 2006 年 8 月第 1 版 □2006 年 8 月第 1 次印刷
□书 号 ISBN 7-81105-339-X/TP·017
□定 价 16.00 元

图书出现印装问题，请与经销商调换

前　言

传感技术是一门实用性很强的学科，要想使学生学好这门课程，必须将课堂理论教学和实验教学有机地结合起来。本实验指导书是根据读者的要求，为了与《传感技术与应用》教材配套而编写的。本教材力图使学生在学习《传感技术与应用》理论课的同时，根据学校具备的条件，从中选做一些实验，达到巩固课堂理论教学和培养动手实践能力的目的。

本教材根据《传感技术与应用》教材的内容和浙江大学、杭州高联生产的“CSY 系列传感器系统实验仪”，参考浙江大学仪器系、杭州高联、湖南大学、哈尔滨工业大学等兄弟单位与院校的实验指导书，并根据本校实验条件而编写的。作为一本教材，在编写时尽量考虑全面，因而安排的实验较多，各学校可根据自己的教学计划和实验设备从中选做一些合适的实验。

本教材编写了 42 个实验，包括了《传感技术与应用》教材中的电阻、电容、电感、磁电、压电、热电、光电、光纤、气敏和湿敏传感器，基本保证每种传感器至少有 1 个实验，如常用的电阻、电感、霍尔、压电、热电、光电、光纤传感器，每种传感器都编写了 3～10 个实验，以供学生自己选择。

此外，为了方便学生写实验报告，本教材还将每个实验的实验报告附在实验指导书的后面。实验者只要做好实验，将实验数据填入表中，进行有关数据运算，画好曲线，回答有关问题就行了。

本教材由周继明、刘先任和江世明三人共同策划编写，由周继明执笔编写而成。

由于学校仪器设备条件和编者水平有限，尚有光栅、辐射、生物三类传感器没有编出实验指导，待编者收集到这方面的资料后，在第二版修订时再补充。书中遗漏和错误之处难免，恳请读者批评指正。

编　者

2006 年 7 月

实验大纲

一、课程的性质与任务

传感技术是一门边缘学科。对于土木、机械、石油、化工、冶金、生物、医学等非电专业，它是一门通用基础课；对于电气、电力、计算机等电类专业，它是一门专业基础课；而对电子信息与测控技术专业来说，它却是一门专业课。传感技术应用很广，凡是需要测量、控制、实现自动化的地方，都要用到传感技术。因此实用性很强，与现代化生产联系紧密，是一门高新技术。

本课程的任务是，让学生在掌握传感技术基础知识的同时，学会使用传感器采集信息，将各种非电量转换为电信号后，与计算机接口，进行信息处理，检测、调节和控制被测对象。

二、实验要求

1. 巩固课堂上所学《传感技术与应用》课程的理论知识，进一步掌握传感器的基本原理、特性、参数和测量电路。

2. 熟悉传感器的实验线路、接线方法以及实验仪器设备的使用方法。

3. 学会对传感器的标定、检验，了解传感器的型号与性能，便于以后正确选择、使用传感器。

三、实验内容

本实验指导书编写了 42 个实验，各专业可根据自己的要求和授课学时，合理安排实验内容。笔者在此提出一个建议，仅供参考。

对于非电专业，学时在 30 课时以下者，可不安排实验课。学时在 30 课时以上者，可安排 2～4 个实验。如金属箔式应变片的单臂、半桥、全桥的性能比较；差动变压器的标定；电容传感器特性实验；霍尔传感器的直流激励特性等。

对于电气、电力、计算机本(专)科专业，学时在 50 课时左右者，可安排 3～5 个实验。如金属箔式应变片的单臂、半桥、全桥的性能比较；差动变压器的标定；引线电容对电压放大器的影响；热电式传感器——热电偶的标定；霍尔传感器的直流激励特性等。

对于测控技术、电子信息专业，学时应在 70～100 课时之间，则可安排 5～10 个实验。有条件的学校，尽量做到每种传感器都做一个实验，使学生见多识广，有利于他们走上社会后尽快适应产品设计制造与应用。

四、每次实验要求

1. 学生在实验前要认真预习实验指导书，实验中要按图接线，待指导老师检查接线无误后，方可接通电源进行实验。

2. 实验做完后，要先拔掉电源，再将接线拆除，整理好放入柜中，并将实验桌上清理干净，经老师检查合格后方可离开。

3. 实验后要认真写好实验报告，进行计算，画好曲线图，并说明产生误差的原因，进行误差分析，并于下次做实验时由学习委员收齐交给实验老师。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目 录

上编 实验指导

实验 1 箔式应变片的单臂电桥性能 …… (3)
实验 2 金属箔式应变片的单臂、半桥、全桥的性能比较 …… (5)
实验 3 金属应变片的温度补偿 …… (8)
实验 4 半导体应变片的温度补偿 …… (10)
实验 5 箔式应变片与半导体应变片性能比较 …… (12)
实验 6 金属箔式应变片的交流全桥实验 …… (14)
实验 7 电子秤标定与称重 …… (16)
实验 8 电容传感器特性实验 …… (18)
实验 9 移相器实验 …… (20)
实验 10 差动变压器的标定 …… (22)
实验 11 差动变压器零位电压的补偿 …… (24)
实验 12 相敏检波器实验 …… (26)
实验 13 差动变压器的应用——振动测量 …… (28)
实验 14 电涡流式传感器的静态标定 …… (30)
实验 15 被测材料对电涡流传感器特性的影响 …… (32)
实验 16 电涡流传感器的应用——振幅测量 …… (33)
实验 17 差动螺管式电感传感器 …… (35)
实验 18 差动螺管式电感传感器位移测量 …… (37)
实验 19 差动螺管式电感传感器振幅测量 …… (39)
实验 20 激励频率对电感传感器的影响 …… (41)
实验 21 霍尔传感器的直流激励特性 …… (43)
实验 22 霍尔传感器的交流激励特性 …… (45)
实验 23 霍尔传感器的应用——振幅测量 …… (47)
实验 24 霍尔传感器的应用——电子秤 …… (49)
实验 25 压电加速度传感器 …… (50)
实验 26 引线电容对电压放大器的影响 …… (52)

实验 27 磁电式传感器的性能 …… (54)
实验 28 热电式传感器——热电偶的标定 …… (55)
实验 29 热电偶、热电阻测温实验 …… (58)
实验 30 PN 结温度传感器测温实验 …… (60)
实验 31 热敏电阻测温实验 …… (62)
实验 32 扩散硅压阻式压力传感器实验 …… (64)
实验 33 光纤位移传感器的静态测量 …… (66)
实验 34 光纤位移传感器的动态测量(一) …… (67)
实验 35 光纤位移传感器的动态测量(二) …… (69)
实验 36 光电传感器的应用——光电转速测试 …… (70)
实验 37 光敏电阻实验 …… (71)
实验 38 光敏二极管的特性实验 …… (74)
实验 39 硅光电池实验 …… (76)
实验 40 气敏传感器(MQ3)实验 …… (78)
实验 41 湿敏传感器(RH)实验 …… (81)
实验 42 微机检测与转换——数据采集处理 …… (83)

下编 实验报告

实验报告 1 箔式应变片的单臂电桥性能 …… (87)
实验报告 2 金属箔式应变片的单臂、半桥、全桥的性能比较 …… (90)
实验报告 3 金属应变片的温度补偿 …… (94)
实验报告 4 半导体应变片的温度补偿 …… (96)
实验报告 5 箔式应变片与半导体应变片性能比较 …… (98)
实验报告 6 金属箔式应变片的交流全桥实验 …… (101)
实验报告 7 电子秤标定与称重 …… (103)
实验报告 8 电容传感器特性实验 …… (105)
实验报告 9 移相器实验 …… (107)
实验报告 10 差动变压器的标定 …… (109)
实验报告 11 差动变压器零位电压的补偿 …… (111)
实验报告 12 相敏检波器实验 …… (112)
实验报告 13 差动变压器的应用——振动测量 …… (114)
实验报告 14 电涡流式传感器的静态标定 …… (115)
实验报告 15 被测材料对电涡流传感器特性的影响 …… (117)
实验报告 16 电涡流传感器的应用——振幅测量 …… (119)
实验报告 17 差动螺管式电感传感器 …… (122)
实验报告 18 差动螺管式电感传感器位移测量 …… (124)

实验报告 19 差动螺管式电感传感器振幅测量 …… (126)
实验报告 20 激励频率对电感传感器的影响 …… (127)
实验报告 21 霍尔传感器的直流激励特性 …… (129)
实验报告 22 霍尔传感器的交流激励特性 …… (132)
实验报告 23 霍尔传感器的应用——振幅测量 …… (134)
实验报告 24 霍尔传感器的应用——电子秤 …… (135)
实验报告 25 压电加速度传感器 …… (137)
实验报告 26 引线电容对电压放大器的影响 …… (139)
实验报告 27 磁电式传感器的性能 …… (141)
实验报告 28 热电式传感器——热电偶的标定 …… (143)
实验报告 29 热电偶、热电阻测温实验 …… (145)
实验报告 30 PN 结温度传感器测温实验 …… (148)
实验报告 31 热敏电阻测温实验 …… (150)
实验报告 32 扩散硅压阻式压力传感器实验 …… (152)
实验报告 33 光纤位移传感器的静态测量 …… (154)
实验报告 34 光纤位移传感器的动态测量(一) …… (156)
实验报告 35 光纤位移传感器的动态测量(二) …… (158)
实验报告 36 光电传感器的应用——光电转速测试 …… (159)
实验报告 37 光敏电阻实验 …… (160)
实验报告 38 光敏二极管的特性实验 …… (164)
实验报告 39 硅光电池实验 …… (166)
实验报告 40 气敏传感器(MQ3)实验 …… (168)
实验报告 41 湿敏传感器(RH)实验 …… (169)
实验报告 42 微机检测与转换——数据采集处理 …… (170)

上编　实验指导

实验 1　箔式应变片的单臂电桥性能

一、实验目的

1. 观察了解箔式应变片的结构及粘贴方式。
2. 测试应变梁变形的应变输出。
3. 比较各桥路间的输出关系。

二、实验原理

本实验说明箔式应变片及单臂直流电桥的原理和工作情况。

应变片是最常用的测力元件。当用应变片测试时，应变片要牢固地粘贴在测试体表面，当被测件受力发生形变时，应变片的敏感栅随同变形，其电阻值也随之发生相应的变化。通过测量电路，将它转换为电信号输出显示。

电桥电路是最常用的非电量电测电路中的一种，当电桥平衡时，桥路对臂电阻乘积相等，电桥输出为零。在桥臂的四个电阻 R_1、R_2、R_3、R_4 中，电阻的相对变化率分别为 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$、$\frac{\Delta R_2}{R_2}$、$\frac{\Delta R_3}{R_3}$、$\frac{\Delta R_4}{R_4}$，当使用一个应变片，且 $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ 时，$\sum R=\frac{\Delta R}{R}$；当两个应变片组成半差动状态工作时，则有 $\sum R=\frac{2\Delta R}{R}$；用 4 个应变片组成全差动工作时，$\sum R=\frac{4\Delta R}{R}$。由此可见，单臂、半桥、全桥电路的灵敏度依次增大。

三、实验设备

(1)直流稳压电源(±4V 挡)；(2)电桥；(3)差动放大器；(4)箔式应变片；(5)测微头；(6)电压表。

四、实验步骤

1. 调零。开启仪器电源，差动放大器增益置 100 倍(顺时针方向旋到底)，“＋”、“－”输入端用实验线对地短路。输出端接数字电压表，用“调零”电位器调整差动放大器输出电压为零，然后拔掉实验线。调零后电位器位置不要变化。调零后关闭仪器电源。

2. 按图 1 将实验设备用实验线接成测试桥路。桥路中 R_2、R_3、R_4 为固定电阻(仪器中用实线标出)，W_D 为直流电桥的调平衡电位器，R_1 为箔式应变片(可选上、下梁中任何一片为工作片)；直流激励电源为±4V。

测微头装于悬臂梁前端的永久磁钢上，并调节使应变梁处于基本水平状态。

3. 经实验老师检查确认接线无误后开启仪器电源，并预热数分钟。调整电桥 W_D 电位器，使测试系统输出为零。

4. 旋动测微头，带动悬臂梁分别做向上和向下的运动，以水平状态输出电压为零，向上和向下各移动 5mm，测微头每移动 0.5mm 记录一个差动放大器输出电压值，填入下表。

根据表中所测数据计算灵敏度 S，$S=\frac{\Delta U}{\Delta X}$，并在坐标图上做出 $U-X$ 关系曲线。

上移 X/mm	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 U_0/mV											
下移 X/mm	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 U_0/mV											

五、注意事项

1. 实验前应检查实验接插线是否完好，连接电路时应尽量使用短的接插线，以避免引入干扰。

2. 接插线插入插孔时轻轻地做一小角度的转动，以保证接触良好，拔出时也轻轻地转动一下拔出，切忌用力拉扯接插线尾部，以免造成线内部导线断裂。

3. 稳压电源不要对地短路。

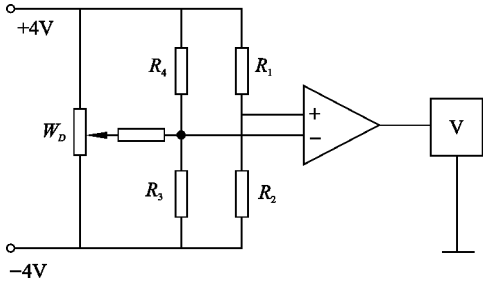

图 1　实验 1 接线图

需要全本请访问 www.ertongbook.com

实验 2　金属箔式应变片的单臂、半桥、全桥的性能比较

一、实验目的

验证单臂电桥、半差动电桥、全差动电桥的性能。

二、实验原理

根据直流电桥输出电压，单臂时 $U_0=\frac{E}{4}\frac{\Delta R}{R}$，半差动电桥时 $U_0=\frac{E}{2}\frac{\Delta R}{R}$，全差动电桥时 $U_0=E\frac{\Delta R}{R}$。通过实验得出它们三者之间的电压灵敏度关系。

三、实验设备

(1)直流稳压电源(±4V)；(2)直流电桥；(3)差动放大器；(4)箔式应变片；(5)电压表；(6)测微头。

四、有关旋钮的初始位置

(1)直流稳压电源打到±2V 挡；(2)电压表打到 2V 挡；(3)差动放大器的增益打到最大(顺时针方向旋到底)。

五、实验步骤

1. 观察传感器(含敏感元件和传感元件)结构及应变片位置。

2. 按图 2 接好线路。桥路中 R_2、R_3、R_4 为固定电阻(仪器中用实线标出)，W_D 为直流电桥的调平衡电位器，R_1 为箔式应变片(可选上、下梁中任何一片为工作片)。

3. 经实验老师检查接线无误后，开启总电源和仪器电源。

4. 将差动放大器调零，差动放大器增益至 100(顺时针方向旋到底)，将差动放大器的“＋”“－”输入端用实验线短接地，输出端接数字电压表，调节“调零”电位器电压表指零，然后拔掉实验线。调零后电位器位置不要改变。

如需使用毫伏表，则将毫伏表输入端对地短路，调整“调零”电位器，使指针指零。拔掉短路线，指针有偏转，这是有源指针式电压表悬空时的正常现象。调零后关闭仪器电源。

5. 将直流稳压电源转换到±4V，预热数分钟。在悬臂梁上装好测微头，在悬臂基本水平时，调整电桥平衡电位器 W_D，使电压表输出为零(如调不到零，则记下电压数值)。

6. 旋动测微头，带动悬臂梁分别做向上和向下的运动，以水平状态输出电压为零，向上和向下各移动 5mm，测微头每移动 0.5mm 记录一个差动放大器输出电压值，填入下表。

上移 X/mm	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 U_0/mV											
下移 X/mm	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 U_0/mV											

7. 将 R_2 换成箔式应变片（箭头方向与 R_1 相反），使其感受的力与 R_1 相反，重复步骤 6，将所测数据填入下表中。

上移 X/mm	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 U_0/mV											
下移 X/mm	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 U_0/mV											

8. 将 $R_1 \sim R_4$ 均换成箔式应变片，要求 R_1 与 R_4 箭头方向一致，感受相同方向的力，R_2 与 R_3 箭头方向一致，感受相同方向的力，重复步骤 6，将所测数据填入下表中。

上移 X/mm	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 U_0/mV											
下移 X/mm	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 U_0/mV											

9. 写出实验报告，根据 $\Delta\overline{U}=\frac{\sum\Delta U}{10}$ 和 $S_U=\frac{\Delta\overline{U}_{上}+\Delta\overline{U}_{下}}{2}$ 分别计算出步骤 6、7、8 的电压灵敏度 S_U，并在同一坐标图纸上分别画出 $U-X$ 关系曲线。比较三种桥路的电压灵敏度，并做出定性结论。

10. 进行误差分析。

六、注意事项

1. 实验前应检查实验接线是否完好，连接电路时应尽量使用较短的接线，以免引入干扰。

2. 接插线插入插孔时应轻轻做一小角度旋转，以保持接触良好。拔出时也应轻轻地转动一下拔出，以免造成接线内导线断裂。

3. 应变片接入电桥时注意其受力方向，一定要接成差动形式；直流激励电源电压不能

过大(±4V)，以免造成应变片自热损坏。

4. 更换应变片时应将电源关掉。

5. 在实验过程中如发现电压表发生过载，应将量程扩大或将功放增益减小。

6. 由于进行位移测量时测微头要从零→正的最大值，又回复到零，再从零→负的最大值，容易造成零点偏移。所以计算灵敏度时可将正 ΔX 的灵敏度与负 ΔX 的灵敏度分开计算，再求其平均值(以后实验中需过零的实验均可采用这种方法求灵敏度)。

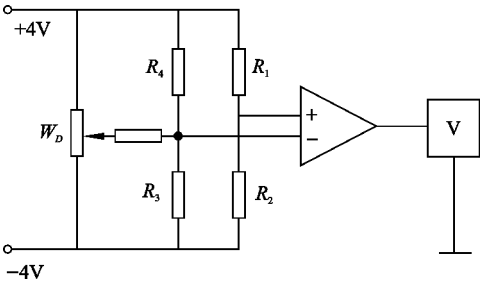

图 2　实验 2 接线图

实验 3　金属应变片的温度补偿

一、实验目的

1. 观察金属应变片受温度影响情况；
2. 用补偿片法进行温度补偿；
3. 用差动法进行温度补偿。

二、实验原理

根据金属应变片的温度效应，即温度变化使应变片的电阻值随之变化，从而引起输出电压变化，产生温度误差。采用补偿片法和差动法消除温度误差。

三、实验设备

(1)直流稳压电源(±4V)；(2)直流电桥；(3)差动放大器；(4)箔式应变片；(5)测微头；(6)电压表；(7)加热器；(8)半导体点温计(或水银温度计)。

四、实验步骤

1. 按图 3 接线，R_1 为应变片，R_2、R_3、R_4 为固定电阻。用实验线短接差动放大器正负输入端并接地，调节差动放大器调零电阻，使电压表指零。

2. 拔掉短接和接地线。装上测微头，给应变片一个作用力，电压表有一个较稳定的输出，记下此电压值，并用温度计测出此时温度，记下此温度值。(温度计可插在两片悬臂之间)

3. 测微头不动，给应变片加热，读出不同温度下的电压值，填入下表中。

序　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度/℃										
电压/mV										

4. 将 R_2 改为应变片(箭头与 R_1 垂直)，读出并记下电压值。(补偿片法)

序　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度/℃										
电压/mV										

5. 将 R_2 改为应变片（箭头与 R_1 相反），读出并记下电压值。（差动法）

序　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度/℃										
电压/mV										

6. 计算温度误差 $\gamma=\dfrac{\Delta U}{\Delta T}$，分别画出 $U-T$ 曲线。

7. 观察补偿片法与差动法两种补偿方法的差异。

8. 写出实验报告，并进行讨论：①应变片为什么要进行温度补偿？②哪种补偿方法最好？为什么？

9. 分析温度误差产生原因及改进方法。

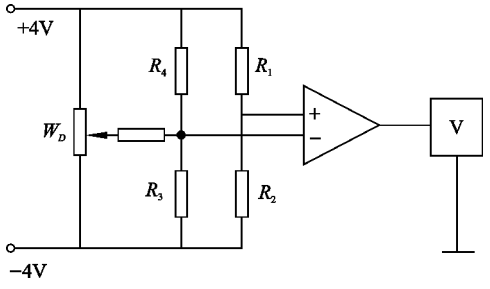

图 3　实验 3 接线图

实验 4　半导体应变片的温度补偿

一、实验目的

1. 观察半导体应变片受温度影响情况；
2. 用补偿片法进行温度补偿；
3. 用差动法进行温度补偿。

二、实验原理

根据半导体应变片的温度效应，即温度变化使应变片的电阻值随便之变化，从而引起输出电压变化，产生温度误差。采用补偿片法和差动法消除温度误差。

三、实验设备

(1)直流稳压电源(±4V)；(2)直流电桥；(3)差动放大器；(4)半导体应变片；(5)测微头；(6)电压表；(7)加热器；(8)半导体点温计(或水银温度计)。

四、实验步骤

1. 按图 4 接线，R_1 为半导体应变片，R_2、R_3、R_4 为固定电阻。用实验线短接差动放大器正负输入端并接地，调节差动放大器调零电阻，使电压表指零。

2. 拔掉短接和接地线。装上测微头，给半导体应变片一个作用力，电压表有一个较稳定的输出，记下此电压值。并用温度计测出此时温度，记下此温度值。(温度计可插在两片悬臂之间)

3. 测微头不动，给半导体应变片加热，读出不同温度下的电压值，填入下表中。

序　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度/℃										
电压/mV										

4. 将 R_2 改为应变片(箭头与 R_1 垂直)，读出并记下电压值。(补偿片法)

需要全本请访问 www.ertongbook.com