



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

传感器与自动检测技术 实验实训教程

王 琦 主 编
白学林 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等职业院校规划教材



电力技术类

传感器与自动检测技术

实验实训教程

主 编 王 琦
副主编 白学林
编 写 张海燕
主 审 张玉莲



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材。

本书分为两篇，共十五章，内容涉及传感元件的原理及特性，工业参数测量仪表的原理、特性以及选型、安装、维护的基本方法，并围绕上述内容设计相关的验证性实验、综合实训项目和拓展性实训项目。本书内容全面，深入浅出，图文并茂，通俗易懂，可操作性强。

本书可作为高职院校的工业自动化、应用电子和机电一体化等专业以及与工业过程控制有关的各种工科类专业的实验实训教材，同时也可供高等院校自动化类专业选用，还可作为业务岗位培训和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

传感器与自动检测技术实验实训教程/王琦主编. —北京：中国电力出版社，2010.3

普通高等教育实验实训规划教材

ISBN 978-7-5123-0142-9

I. ①传… II. ①王… III. ①传感器—高等学校—教材②自动检测—高等学校—教材 IV. ①TP212②TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 029310 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 6 月第一版 2010 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 273 千字

定价 19.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前 言

本书是传感器与自动检测技术课程的配套教材,主要是为完成传感与自动检测技术课程的实践性教学任务而编写的。本书紧密围绕课程的教学内容,以传感元件的转换原理、转换电路为基础设置实验项目,并在此基础上结合工业用参数检测的仪器仪表设置实训项目。本书共设计实验实训项目 43 个,其中 15 个验证性实验,17 个综合性实训,11 个拓展性实训项目,用以帮助学生理解传感器的工作原理和输入、输出特性,掌握测量仪表的使用方法。通过实际操作检验学生灵活运用所学理论知识的能力,使学生能充分发挥自己的主观能动性,提高学习的积极性。

本书分为两篇,第一篇为传感器实验部分,主要围绕各种传感元件的工作原理、转换电路展开,该部分以 CSY 系列传感器系统实验仪为实验平台,内容涉及应变式传感器、光纤传感器、霍尔式传感器、差动变压器式传感器、压电式传感器、电容式传感器、电涡流式传感器的相关实验。第二篇为传感与工业用参数检测仪表实训部分,该部分包含了温度、压力、流量、物位、成分、机械量等工业参数测量仪表的综合实训项目。这部分内容在简述测量转换原理的同时,侧重实用元件的型号、适用场合、测量系统构成及安装技术、测量仪表的使用及校验方法等实践性内容。此外,该部分特别设计了测量系统设计的拓展性实训项目,旨在通过学生自主设计达到培养创新能力的目的。

本书由太原电力高等专科学校王琦主编,并编写了第一~第八章和第十四、第十五章,第九、第十二、第十三章和附录由太原电力高等专科学校白学林编写,第十章和第十一章由太原电力高等专科学校张海燕编写。全书由西安航空职业技术学院张玉莲教授主审。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免有疏漏及不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 3 月



目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 传感器实验部分

第一章 传感器的特性	2
第一节 传感器的静态特性	2
第二节 传感器的动态特性	4
第二章 应变式传感器	6
第一节 概述	6
第二节 实验项目	8
实验一 传感器的静态特性	8
实验二 传感器的动态特性——正弦稳态响应	10
第三章 光纤传感器	12
第一节 光纤的结构和传光原理	12
第二节 实验项目	14
实验一 光纤位移特性实验	14
实验二 光纤传感器转速测量	15
第四章 霍尔式传感器	16
第一节 概述	16
第二节 实验项目	17
实验 霍尔式传感器称重实验	17
第五章 差动变压器式传感器	19
第一节 概述	19
第二节 实验项目	20
实验 差动变压器位移实验	20
第六章 压电式传感器	23
第一节 概述	23
第二节 实验项目	24
实验 压电式传感器振动实验	24
第七章 电容式传感器	26
第一节 概述	26
第二节 实验项目	27
实验 电容式传感器振动实验	27

第八章 电涡流式传感器	29
第一节 概述	29
第二节 实验项目	30
实验一 电涡流式传感器的静态标定	30
实验二 被测材料对电涡流式传感器特性的影响	31
实验三 电涡流式传感器的振幅测量	32
实验四 电涡流式传感器称重实验	33
实验五 电涡流式传感器电动机测试实验	33

第二篇 传感与工业用参数检测仪表实训部分

第九章 温度检测	35
第一节 概述	35
第二节 热电偶测温	36
第三节 热电阻测温	44
第四节 温度检测仪表的选择和安装	47
第五节 温度检测仪表的使用和维护	57
第六节 实验实训项目	61
实验一 热电偶的特性	61
实验二 热敏电阻测温	62
实训一 电子电位差计的校验	63
实训二 XCZ-101 动圈式指示仪表的校验	64
实训三 XCZ-102 动圈式指示仪表的校验	66
实训四 热电偶比较校验	68
实训五 热电偶的校验	70
实训六 热电阻温度计的校验	71
实训七 智能数显温度计的校验	72
第十章 压力检测	75
第一节 概述	75
第二节 弹性式压力计	77
第三节 活塞式压力计	82
第四节 压力检测仪表的选择和安装	84
第五节 压力检测仪表的使用和维护	93
第六节 实训项目	95
实训一 压力表的校验	95
实训二 压力变送器的校验	99
实训三 压力开关的校验	100
第十一章 差压流量测量	102
第一节 概述	102

第二节	标准节流装置·····	109
第三节	差压式流量计的安装·····	117
第四节	实训项目·····	121
实训	3151 型智能差压变送器的校验·····	121
第十二章	静压式液位测量·····	123
第一节	原理·····	123
第二节	汽包水位测量·····	125
第三节	水位取源部件的安装·····	130
第十三章	氧化锆氧量计·····	132
第一节	概述·····	132
第二节	DH-6 型氧化锆氧分析器·····	135
第三节	实训项目·····	136
实训	氧量分析仪的工作原理认识和使用·····	136
第十四章	机械量测量·····	140
第一节	DRYB-B 型应变式力传感器·····	140
第二节	DRHYF-B 型光电转速传感器·····	141
第三节	DRZS-B 型噪声传感器·····	142
第四节	DRJSD-B 型振动加速度传感器·····	143
第五节	DRSD-B 型振动速度传感器·····	144
第六节	DRCD-B 型无源磁电式转速传感器·····	145
第七节	DRDWL-B 型电涡流式传感器·····	146
第八节	实训项目·····	148
实训一	转子实验台底座振动测量·····	148
实训二	转子实验台转速测量·····	149
实训三	转子轴心轨迹测量·····	150
实训四	刚性转子动平衡测量·····	151
实训五	噪声测量·····	152
第十五章	拓展实训项目·····	154
附录	·····	156
附录一	CSY 传感器系统实验仪·····	156
附录二	螺旋测微器·····	159
附录三	标准热电偶、热电阻分度表·····	160
附录四	电位差计的测量原理及使用方法·····	165
附录五	375 型现场通信器 (HART 手操器)·····	168
附录六	常用氧化锆浓差电动势对照表·····	172
参考文献	·····	174



绪 论

实验实训环节是工科专业学生深入理解所学的知识,并将理论知识向操作技能转换的重要环节,高效的实验实训必将深化学生对设备的认识和理解,提高学生对设备的操作、维护和检修能力,直至对设备系统的分析和设计能力。

高效的实验实训以必要的知识储备、设备熟悉和周密的实验实训设计为基础,尤其要做好以下三方面的工作。

一、实验实训前的准备

实验实训前应复习教科书的有关章节,认真研读实验实训教程,了解实验实训的项目、目的、方法与步骤,明确实验实训过程中应注意的问题,并按实验实训项目准备记录等。

实验前应熟悉实验装置面板图,要求做到:由面板上的图形、文字符号能准确找到该设备的实际位置。了解实验台中的仪表、设备和相关组件的名称、作用及其所在位置,以便于在实验中对它们进行操作和观察。实训前应根据实训项目设计方案、选择仪表和装置,并确定其量程、精度,并正确连接实训系统,确保实训系统连接无误。

认真做好实验实训前的准备工作,对于培养学生独立工作的能力,提高实验实训质量和保护实验实训设备都是很重要的。

二、实验实训过程的基本程序

- (1) 明确实验实训任务;
- (2) 提出实验实训方案;
- (3) 正确作出实验实训系统接线图;
- (4) 进行实验实训操作,作好观测和记录;
- (5) 整理实验实训数据,得出结论,撰写实验实训报告。

在进行本书中的综合实训时,上述程序应尽量让学生独立完成,老师给予必要的指导,以培养学生的实际动手能力。要做好各主题实训,就应做到实训前有准备、实训中有条理、实训后有分析。

三、实验实训安全操作规程

- (1) 实验实训之前确保所有电源开关均处于“关”的位置。
- (2) 接线或拆线必须在切断电源的情况下进行,接线时要注意电源极性。完成接线后,正式投入运行之前,应严格检查安装、接线是否正确,并请指导老师确认无误后,方能通电。分清电源类型、电压等级,对直流电源还要分清正、负极性,防止电源短路。
- (3) 选择适当的仪表,要注意所用仪表的类型、量程、精度等,使用方法及注意事项参见所选仪表的说明书。
- (4) 严格遵循“先接线后合闸,先断电后拆线”的接线原则,不允许带电作业。
- (5) 电路接好后,必须经老师检查同意方可合上电源,并通知同组人员。
- (6) 在通电过程中,一旦遇到异常情况,应立即切断电源,保护现场,报告老师。
- (7) 小心操作,切勿乱扳硬拧,严防损坏仪表。



第一篇 传感器实验部分

第一章 传感器的特性

传感器性能的优劣可通过两个基本特性,即静态特性和动态特性来表征。这些特性指标也是选择和判断传感器是否适用的重要依据,故在学习传感器原理、构造及应用的同时,有必要了解传感器的一些基本特性。

第一节 传感器的静态特性

所谓静态特性,是指当被测量的各个值处于稳定状态(静态测量)时,传感器的输出值与输入值之间的数学表达式、曲线或数表。当一个传感器制成后,可用实际特性反映其在当时使用条件下实际具有的静态特性。借助实验的方法确定传感器静态特性的过程称为静态校准。

衡量传感器静态特性的重要指标包括线性度、迟滞、灵敏度、重复性、精度、分辨力和漂移等。下面只重点介绍线性度、迟滞、灵敏度、重复性、精度五个指标。

一、线性度

输出与输入之间满足线性比例关系的传感器称为线性传感器,而大多数实用传感器的输出和输入关系不会完全符合期望的线性关系。衡量传感器线性特性好坏的指标称为非线性误差,或称线性度。随着参考直线的性质和引法的不同,线性度有多种,下面仅介绍端点线性度。端点线性度特性曲线如图 1-1 所示。端点线性度是将传感器的实际零点和满量程端点连线作为参考直线,传感器实际平均输出(正反行程的平均)特性曲线对参考直线的最大偏差绝对值与传感器满量程输出的百分数。端点线性度的表达式为

$$L = \frac{|\Delta Y_{L, \max}|}{Y_{F, S}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 $|\Delta Y_{L, \max}|$ ——实际平均输出特性曲线与参考直线间最大偏差的绝对值;
 $Y_{F, S}$ ——满量程输出。

满量程输出用测量上限标称值与测量下限标称值之差的绝对值表示,即

$$Y_{F, S} = |Y_H - Y_L| \quad (1-2)$$

二、迟滞

传感器在正(输入量增加)、反(输入量减少)行程中,输入-输出曲线不重合的现象称为迟滞。迟滞特性曲线如图 1-2 所示。换言之,对应于同一大小的输入信号,传感器正、反行程的输出信号大小不相等。迟滞可用传感器最大正反差值与满量程输出的百分比来表示,即

$$H = \frac{\Delta Y_{H, \max}}{Y_{F, S}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 $\Delta Y_{H, \max}$ ——输出值在正、反行程间的最大差值。

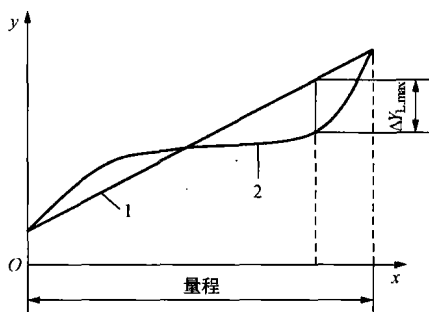


图 1-1 端点线性度特性曲线

1—端点连接；2—实际特性曲线

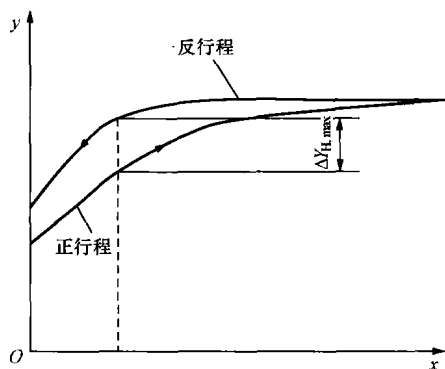


图 1-2 迟滞特性曲线

仪表的迟滞不大于仪表的基本误差。

三、灵敏度

灵敏度是传感器输出量增量与被测输入量增量之比,用 K 来表示,其特性曲线见图 1-3。线性传感器的灵敏度就是拟合直线的斜率,即

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-4)$$

非线性传感器的灵敏度不是常数,其表达式为

$$K = \frac{dy}{dx} \quad (1-5)$$

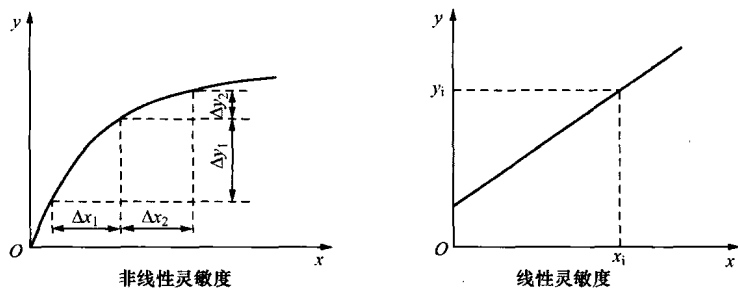


图 1-3 灵敏度特性曲线

仪表的最小分格反映灵敏度的高低。一般而言，仪表的最小分格应不小于仪表允许误差的绝对值，同时不大于仪表允许误差绝对值的 $1/2$ 。

四、重复性

重复性表示传感器在同一工作条件下,被测输入量按同一方向作全程连续多次重复测量时,所得输出值(所得校准曲线)的一致程度。它是反应传感器精密度的一个指标。重复性 R 的表达式为

$$R = \frac{\lambda S}{Y_{F,S}} \times 100\% \quad (1-6)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

式中 $Y_{F,S}$ ——满量程输出值；

x_l ——对应于测量下限的输入值；

x_m ——对应于测量上限的输入值；

k ——理论特性曲线的斜率；

λ ——置信系数，通常取 2 或 3；

S ——子样标准偏差。

五、精度

精度是反映系统误差和随机误差的综合误差指标，一般用全量程范围内最大相对百分误差的 100 倍表示。

$$\delta = \frac{|\Delta_{\max}|}{Y_{F,S}} \times 100\% \times 100 \quad (1-7)$$

式中 $\Delta_{\max}$ ——全量程范围内引入的最大绝对误差。

在构建仪表校验系统时，应保证标准表引入误差不大于被校表引入误差的 1/3。

第二节 传感器的动态特性

静态特性不考虑时间变化的因素，而动态特性是反映传感器对于随时间变化的输入量的响应特性。当传感器测量动态压力、振动、温度变化等时，都离不开动态特性指标。

传感器的动态特性指标分为时域特性和频域特性两种。

一、时域特性指标

通常在阶跃信号作用下测定传感器动态特性的时域指标。一般认为，阶跃输入对于一个传感器来说是最严峻的工作状态。如果在阶跃信号的作用下传感器能满足动态特性指标，那么在其他信号作用下，其动态性能也必定会令人满意。

通常用以下四个指标来表示传感器的动态性能：

(1) 时间常数 T ：输出值上升到稳定值 $y(\infty)$ 的 63% 所需的时间。

(2) 上升时间 t_r ：输出值从稳定值 $y(\infty)$ 的 10% 上升到 90% 所需的时间。

(3) 响应时间 t_5 、 t_2 ：分别指输出值达到稳定值的 95% 或 98% 所需的时间。

(4) 超调量 σ ：在过渡过程中，若 $y(t_p) < y(\infty)$ ，则相应无超调；若 $y(t_p) > y(\infty)$ ，则有超调，且

$$\sigma = \frac{y(t_p) - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\% \quad (1-8)$$

二、频域特性指标

通常以正弦信号作为典型输入，测定传感器动态特性的频域指标。在标定压力传感器的频域性能指标时，常使用正弦波压力发生器。如图 1-4 所示，常有如下频域特性指标：

(1) 通频带 ω_d ：对数幅频特性曲线上幅值衰减 3dB 所对应的频率范围。

(2) 工作频带 ω_{g1} 或 ω_{g2} ：分别指幅值误差为 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ 所对应的频率范围。

(3) 相位误差：在工作频带范围内相角的大小（小于 5° 或 10° ）。

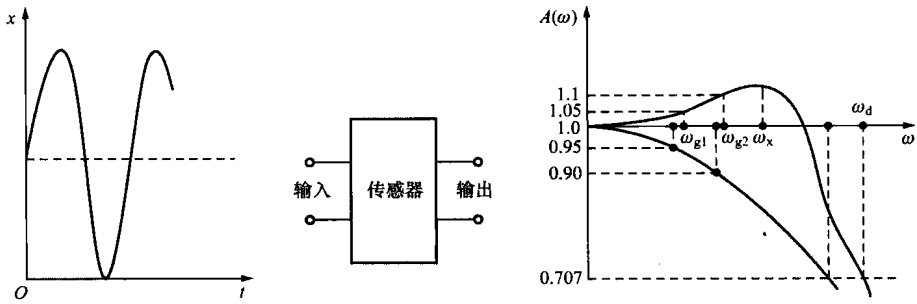


图 1-4 正弦信号作用于传感器的频域特性

第二章 应变式传感器

应变式压力传感器是电测式压力计中应用最广泛的一种。它是将应变电阻片（金属丝式、箔式或半导体应变片）粘贴在测量压力的弹性元件表面上，当被测压力变化时，弹性元件内部应力变化产生变形，从而使应变片的电阻也产生变化，根据所测电阻变化的大小来测量未知压力。

第一节 概 述

应变式传感器包括几何量、运动量和力学量传感器。通常，力学量传感器指压力、应力、力矩和声敏传感器，运动量传感器指陀螺仪和加速度等惯性量传感器。

一、应变式传感器的工作原理

物体受压后会产生内应力和弹性形变，在弹性限度内，内应力与变形率（即应变）成正比，通过测量应变电阻阻值的大小来测量受压弹性元件的应变，从而测得弹性元件所感受的压力。

1. 金属应变片式传感器

金属应变式传感器是以金属应变片为核心元件的传感器。将金属应变片粘贴到弹性敏感元件上，可以进行位移、加速度、力、力矩、压力等参数的测量。

电阻丝在外力作用下发生机械形变时，其电阻值发生变化，称为电阻应变效应。设有一根电阻丝，电阻丝的电阻率为 ρ ，长度为 l ，截面积为 S ，在未受力时的电阻值为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2-1)$$

如图 2-1 所示，电阻丝在拉力 F 的作用下，长度 l 增加，截面 S 减小，电阻率 ρ 也相应变化，将引起电阻变化 ΔR ，其值为

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (2-2)$$

对于半径为 r 的电阻丝，截面面积 $S = \pi r^2$ ，则有 $\Delta S/S = 2\Delta r/r$ 。令电阻丝的纵向应变为 $\epsilon = \Delta l/l$ ，径向应变为 $\Delta r/r$ ，由材料力学可知 $\Delta r/r = -\mu(\Delta l/l) = -\mu\epsilon$ （ μ 为电阻丝材料的泊松系数），经整理可得

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu)\epsilon + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (2-3)$$

通常把单位纵向应变所引起的电阻相对变化称为电阻丝的灵敏系数，其表达式为

$$K = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} = (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho/\rho}{\epsilon} \quad (2-4)$$

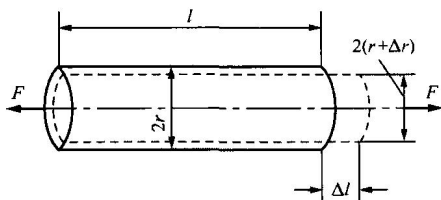


图 2-1 金属丝伸长后几何尺寸

从式 (2-4) 可以看出电阻丝灵敏系数 K 由两部分组成，其中 $(1 + 2\mu)$ 是电阻丝受力后由于几何尺寸变化所引起的； $\frac{\Delta \rho/\rho}{\epsilon}$ 是由材料电阻率变化所引起的。对于金属丝材料， $\frac{\Delta \rho/\rho}{\epsilon}$ 项的值比 $(1 + 2\mu)$ 小

很多,可以忽略,故 $K=1+2\mu$ 。大量实验证明,在电阻丝拉伸比例极限内,电阻的相对变化与应变成正比,即 K 为常数。通常金属电阻丝的灵敏系数 $K=1.7\sim 3.6$ 。式(2-4)可写为

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon \quad (2-5)$$

2. 半导体应变式传感器

半导体应变片的工作原理与金属应变片相似。当对半导体施加压力时,其电阻率发生变化,这种半导体的电阻率随应力变化的关系称为半导体的压阻效应。与金属导体一样,半导体应变电阻也由两部分组成,即由于受应力后几何尺寸变化所引起的电阻变化和电阻率变化所引起的电阻变化两部分。在这里电阻率变化所引起的电阻变化是主要的,所以一般表示为

$$\frac{\Delta R}{R} \approx \frac{\Delta \rho}{\rho} = \pi \sigma \quad (2-6)$$

式中 $\frac{\Delta R}{R}$ ——电阻的相对变化;

$\frac{\Delta \rho}{\rho}$ ——电阻率的相对变化;

π ——半导体压阻系数;

σ ——应力。

由于弹性模数 $E=\sigma/\varepsilon$,所以式(2-6)又可写为

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \pi \sigma = \pi E \varepsilon = K \varepsilon \quad (2-7)$$

式中 K ——灵敏系数。

二、应变片的结构和类型

1. 应变片的结构

应变片的结构和形式是多种多样的。图2-2所示金属应变片由敏感栅、基底、盖片、引线 and 粘合剂等组成。其中敏感栅是应变片的转换元件;基底是将传感器弹性体的应变传递到敏感栅的中介介质,并起到电阻丝和弹性体间的绝缘作用;盖片既可保持敏感栅和引线的形状及相对位置,还可保护敏感栅;引线作为连接测量导线之间的引出线;粘合剂用于将敏感栅固定于基底上,并将盖片与基底粘贴在一起。

2. 电阻应变片的分类

按应变片敏感栅的材料可分为金属应变片、半导体应变片。

按应变片的工作温度可分为低温应变片(低于 -30°C)、常温应变片($-30\sim +60^{\circ}\text{C}$)、中温应变片($60\sim 300^{\circ}\text{C}$)、高温应变片(高于 300°C)。

按应变片用途可分为一般用途应变片、特殊用途应变片。

3. 常用应变片

(1) 丝式应变片。基底为纸基、胶基、纸浸胶基和金属基。敏感栅为金属丝,直径为 $0.02\sim 0.05\text{mm}$ (常用 0.025mm),安全电流为 $10\sim 12\text{mA}$ 或 $40\sim 50\text{mA}$,阻值为 $50\sim 1000\Omega$ (常用 120 、 350Ω),引

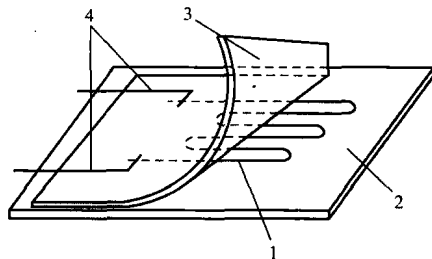


图 2-2 金属应变片的结构

1—敏感栅; 2—基底; 3—盖片; 4—引线

线使用直径为 0.15~0.30mm 的镀银或镀锡铜带或铜丝。

(2) 箔式应变片。敏感栅是通过光刻、腐蚀工艺制成的箔栅，厚度为 0.003~0.01mm，敏感栅的材料为康铜或合金（卡玛合金、镍铬锰硅合金），基底材料可用环氧树脂、酚醛或酚醛树脂。

(3) 半导体应变片。它是利用半导体的压阻效应制成的一种转换元件，其灵敏度大、机械滞后小、体积小，但温度系数大、非线性大。新型半导体应变片，如扩散型、外延型、薄膜型的性能有所改善。

(4) 金属薄膜应变片。金属薄膜是指厚度在 $0.1\mu\text{m}$ 以下的金属膜。它采用真空溅射或真空沉积的方法制成，可直接沉积在产生应变的金属上，不用粘合剂，故滞后和蠕变都较小。

第二节 实 验 项 目

实验一 传感器的静态特性

一、实验目的

- (1) 进一步了解应变片的工作原理；
- (2) 用手动法和计算机辅助法测定应变片的静态特性；
- (3) 比较各桥路间的输出关系。

二、实验原理

应变片是最常用的测力传感元件。当用应变片测试时，应变片要牢固地粘贴在测试体表面。当测件受力发生形变时，应变片的敏感栅随之变形，其电阻值也发生相应的变化，通过测量电路，转换成电信号输出。

任何实际应变片的输入与输出关系都不会完全符合所要求的线性或非线性关系。衡量应变片静态特性的重要指标包括线性度、迟滞、重复性、精度、灵敏度、分辨率和漂移等。可由实验测得数据分别求出以上指标。

在实验过程中，电桥电路是最常用的非电量电测电路中的一种，如图 2-3 所示。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 $\Delta R_1/R_1$ 、 $\Delta R_2/R_2$ 、 $\Delta R_3/R_3$ 、 $\Delta R_4/R_4$ 。当使用一个应变片时，有 $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ ， $\Sigma R=\frac{\Delta R}{R}$ ；当两个应变片组成差动状态工作时，则有 $\Sigma R=\frac{2\Delta R}{R}$ ；用四个应变片组成两个差动对工作时， $\Sigma R=\frac{4\Delta R}{R}$ 。由此可知，单臂、半桥、全桥电路的灵敏度依次增大。

三、实验所需部件

CSY 系列传感器系统实验仪的直流稳压电源（ $\pm 4\text{V}$ 挡）、电桥、差动放大器、箔式应变片、测微头（或双孔悬臂梁、称重砝码）、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

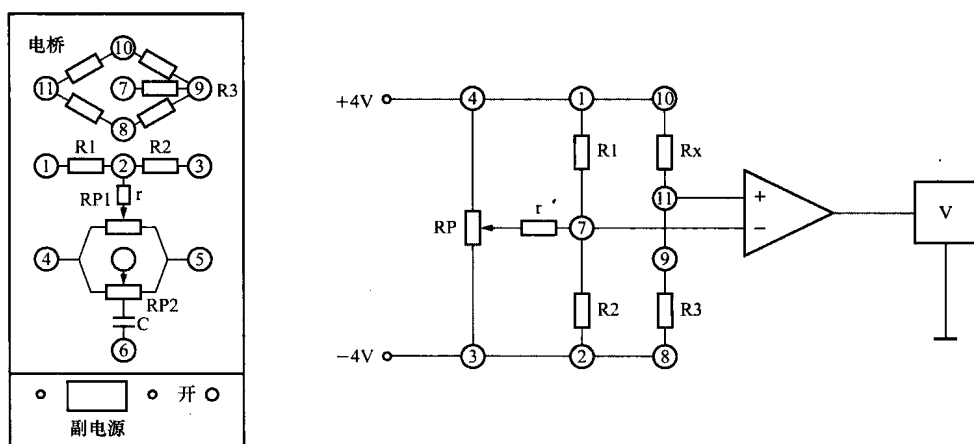


图 2-3 单臂电桥接线图

压为零，然后拔掉短接线。调零后电位器位置不要变化。

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，使指针居“零”位。拔掉短路线，指针有偏转是有源指针式电压表输入端悬空时的正常情况。调零后关闭仪器电源。

(2) 单臂电桥的连接。按图 2-3 将实验部件用实验线连接成测试桥路。桥路中 R_1 、 R_2 、 R_3 和 RP 为电桥中的定值电阻和直流调平衡电位器， R_x 为应变片（可选上、下梁中的任一片应变片）。直流激励电源调至 $\pm 4V$ 挡。

(3) 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。

(4) 确认接线无误后开启仪器电源，并预热数分钟。调整电桥 RP 电位器，使测试系统输出为零。

(5) 旋动测微头，带动悬臂梁分别作向上和向下的运动，以悬臂梁水平状态下电路输出零电压为起点，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。

(6) 半桥方式：将电源开关关掉，把图 2-3 中的 R_3 固定电阻换成与 R_x 工作方向相反的另一应变片，即取两片受力方向不同的应变，接成半桥电路。检查无误后，接通电源，用 r 和 RP 调平衡网络调好零点，差放增益保持不变，测出读数，记录数据。

(7) 全桥方式：关掉电源，将图 2-3 连成全桥电路，将 R_1 、 R_2 两个定值电阻换成另两片受力应变片，组桥时只要掌握对臂应变片的受力方向相同，邻臂应变片的受力方向相反即可，否则将相互抵消，没有输出。打开电源，用 r 和 RP 调好零点，差放增益保持不变，测出读数，记录数据。

根据表中所测数据绘制相应的输入、输出曲线，计算灵敏度、线性度、迟滞、重复性、精度、分辨率和漂移等。

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较短的接插线，以避免引入干扰。

(2) 接插线插入插孔时轻轻地作一小角度的转动，以保证接触良好，拔出时也轻轻地转

- 动一下再拔出，切忌用力拉扯接插线尾部，以免造成线内导线断裂。
- (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。
 - (4) 直流激励电压不能过大，以免造成应变片自热损坏。
 - (5) 在更换应变片时应将电源关闭。
 - (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→负的最大值，因此容易造成零点偏移，所以计算灵敏度时可将正 ΔX 的灵敏度与负的 ΔX 的灵敏度分开计算，再求平均值。以后实验中凡需过零的实验均可采用此种方法。

六、测量数据记录表格

桥路结构	位移变化 (mm)	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
单臂	上移输出电压 (mV)											
	下移输出电压 (mV)											
半桥	上移输出电压 (mV)											
	下移输出电压 (mV)											
全桥	上移输出电压 (mV)											
	下移输出电压 (mV)											

七、结果分析

- (1) 试根据记录的数据及特性曲线分析应变电桥的位移-电压特性。
- (2) 讨论仪表的线性度及分辨率。

实验二 传感器的动态特性——正弦稳态响应

一、实验目的

通过实验了解传感器测量系统的动态特性，并掌握其测试方法。

二、实验所需部件

低频振荡器、激振线圈、示波器以及前述实验用过的传感器实验系统。

三、实验步骤

- (1) 保持测量桥路的接法不变，将低频振荡器接通激振线圈，使双平行梁振动、幅度适中，作出梁的幅频和相频特性曲线。
- (2) 由于双平行梁的振幅变化很大，因此为了提高测量的准确度，不同的振幅应选用不同的传感器测量。
- (3) 相位差可用双线示波器测量。
- (4) 输出电压幅值可用示波器测量，也可选用低频交流电压表。