



普通高校“十二五”规划教材

主编：扈 刚

检测与传感技术 实验教程



普通高校“十二五”规划教材

检测与传感技术 实验教程

扈 刚 主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是作者多年来从事实验教学并根据检测与传感技术实验教学大纲编写而成的。全书共分为三部分,第一部分为测量的基础知识,共有4章(第1章~第4章),主要讨论了工程测量的基础知识和基本概念以及对非电量的检测方法;第二部分为传感器与基础实验,共有9章(第5章~第13章),主要讨论了常用传感器的传感原理与基础实验;第三部分为附录,介绍了传感器实验仪器以及传感器的技术参数等。

本书层次清晰,内容概括全面,可供本科、高职高专和成人教育院校电类、电子信息类、计算机类等专业的学生使用,同时也可供从事传感与检测技术的有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

检测与传感技术实验教程 / 扈刚主编. --北京 :
北京航空航天大学出版社, 2011. 6
ISBN 978-7-5124-0432-8

I. ①检… II. ①扈… III. ①自动检测—实验—教材
②传感器—实验—教材 IV. ①TP274-33②TP212-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 082296 号

版权所有,侵权必究。

检测与传感技术实验教程

扈 刚 主 编

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京市媛明印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:10 字数:224 千字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-5124-0432-8 定价:18.00 元

前 言

科学研究与自动化生产都要获取大量而有用的信息,在信息时代如果计算机被称为“大脑”,传感器就可以被称为“五官”。大量的信息获取和处理都离不开计算机和传感器技术,作为提供信息的传感与检测技术已经进入了飞速发展的时代。

本书编写的目的是把检测与传感技术课程与实验有机地结合,并有针对性地培养学生把理论应用到实践环节,培养学生的动手能力和创新能力。

全书根据检测与传感技术实验教学大纲编写,共分为三部分,第一部分为测量的基础知识,共有4章(第1章~第4章),主要讨论了工程测量的基础知识和基本概念以及对非电量的检测方法;第二部分为传感器与基础实验,共有9章(第5章~第13章),主要讨论了常用传感器的传感原理与应用及基础实验;第三部分为附录,介绍了实验所用的仪器以及常用传感器的技术参数及技术指标等。

本书具有以下特点:

(1) 详细介绍了测量的基础知识、测量的方法、测量仪表的基本功能及基本单位、辅助单位和导出单位。根据测量误差的分类,找出测量误差是系统误差还是随机误差,并对误差进行处理。

(2) 本书详细讨论了传感器原理以及实验与应用环节,同时介绍了实验步骤和实验应用,重点培养学生的动手能力。

(3) 本书力求突出工程检测的基本测量与应用,在内容上注意了知识的广泛性、科学性和实用性。

本书由郑州轻工业学院扈刚老师负责编写第1、2、3、5、6、7、11章,郑州轻工业学院陈青华老师负责编写10、12、13章和附录部分,郑州轻工业学院金楠老师负责编写4、8、9章。扈刚负责全书的统稿和组织协调工作。

由于编者的水平有限,书中错误和不妥之处,欢迎广大读者批评,并提出改进意见。

编 者

2011年3月于郑州

目 录

第一部分 测量的基础知识

第 1 章 测 量	3
1.1 测量的基本知识	3
1.1.1 测量的概念	3
1.1.2 测量的定义	4
1.2 测量方法	4
1.2.1 直接测量与间接测量	4
1.2.2 直接测量的方法	4
1.3 测量仪表的基本功能和基本性能	6
1.3.1 测量仪表的基本功能	6
1.3.2 测量仪表的基本性能	7
1.4 单位和单位制(SI 制)	10
1.4.1 SI 制的基本单位	10
1.4.2 SI 制的辅助单位和导出单位	11
思考题	14
第 2 章 测量误差与分类	15
2.1 测量误差的约定真值和实际值	15
2.2 绝对、相对和引用误差	16
2.2.1 绝对误差	16
2.2.2 相对误差	16
2.2.3 引用误差	17
2.3 系统误差与随机误差	17
2.3.1 系统误差	17
2.3.2 随机误差	18
2.3.3 正态分布	18
2.3.4 随机误差的评价指标	19
2.3.5 算术平均值的标准偏差	21
2.3.6 测量结果的数据整理	22
思考题	24

第3章 压力测量	25
3.1 压力测量的基本知识	25
3.1.1 压力测量单位	25
3.1.2 压力计的分类	26
3.1.3 液柱式压力计	27
3.2 活塞式压力校验仪的工作原理	28
3.3 弹性压力计	29
3.3.1 弹簧管式压力计的工作原理	30
3.3.2 对弹性元件的计算	30
3.3.3 对压力计的标定	31
思考题	32
第4章 温度测量	33
4.1 温度的概念	33
4.1.1 温 标	33
4.1.2 热力学温标	34
4.1.3 国际实用温标	34
4.2 温度的测量方法与测温仪表的分类	35
4.2.1 接触式测温仪表	35
4.2.2 非接触式测温仪表	35
4.2.3 膨胀式温度计	36
4.3 动圈表	37
4.3.1 动圈表的结构与特点	37
4.3.2 温度补偿	38
4.3.3 测量电路	39
思考题	39
第二部分 传感器与基础实验	
第5章 应变式电阻传感器	43
5.1 电阻应变片	43
5.1.1 金属电阻应变片	43
5.1.2 半导体应变片	44
5.2 电阻式传感器的应变原理和效应	45

5.3 电阻应变片的主要特性	46
5.3.1 影响灵敏系数的因素	46
5.3.2 应变极限	46
5.4 电阻应变式传感器的测量电路	47
5.4.1 电阻应变片直流电桥测量电路	47
5.4.2 温度误差及其补偿	49
5.4.3 电阻应变式传感器的应用	50
5.5 实验与应用	50
5.5.1 金属箔式应变片的单臂、半桥、全桥比较实验	50
5.5.2 应 用	52
思考题	54
第6章 电容式传感器	55
6.1 电容式传感器的基本工作原理及特性	55
6.1.1 基本工作原理	55
6.1.2 基本工作特性	56
6.2 电容式传感器的测量电路	57
6.2.1 运算放大电路	57
6.2.2 电容式传感器的应用	57
6.3 实验与测量	58
6.3.1 差动变面积式电容传感器实验	58
6.3.2 电容式传感器的静、动态测量	59
思考题	60
第7章 电感式传感器	61
7.1 差动螺管式电感传感器的工作原理	61
7.2 差动电感式传感器的特性分析	62
7.2.1 输出特性	62
7.2.2 差动电感式传感器的测量电路	63
7.3 实验与应用	63
7.3.1 差动螺管式电感传感器的性能测试实验	63
7.3.2 差动变压器在振动测量中的应用	66
思考题	66

第 8 章 压阻式传感器	68
8.1 扩散硅压阻式压力传感器	68
8.1.1 压阻式传感器的结构与工作原理	68
8.1.2 压阻式传感器的灵敏度	68
8.2 扩散硅压阻式传感器的测量电路	69
8.2.1 采用恒压源供电	69
8.2.2 采用恒流源供电	70
8.3 实验与应用	71
8.3.1 扩散硅压阻式压力传感器压力的测量实验	71
8.3.2 压力传感器的应用	72
思考题	73
第 9 章 压电式传感器	75
9.1 压电效应	75
9.1.1 石英晶体的压电效应	75
9.1.2 石英晶体的等效电路	76
9.1.3 压电式传感器的测量电路	77
9.2 压电式传感器动态测试实验	77
思考题	78
第 10 章 电涡流式传感器	79
10.1 电涡流式传感器的工作原理	79
10.2 电涡流式传感器的等效电路分析	79
10.2.1 等效电路分析	79
10.2.2 电涡流传感器的结构特点	80
10.3 实验与应用	82
10.3.1 电涡流式传感器特性测试实验	82
10.3.2 电子秤的设计应用	83
思考题	84
第 11 章 温度传感器	85
11.1 热电偶测温原理	85
11.1.1 热电偶测温原理与特性	85

11.1.2 接触电势	85
11.1.3 单一导体的温差电势	86
11.2 热电偶基本定律	87
11.2.1 中间导体定律	87
11.2.2 标准电极定律	87
11.3 热电偶冷端温度补偿修正法	88
11.4 热电偶的材料与结构	90
11.4.1 热电偶的材料	90
11.4.2 热电偶的结构	90
11.5 热敏电阻	92
11.5.1 热敏电阻的基本类型	92
11.5.2 热敏电阻的热电特性	92
11.5.3 热敏电阻的应用	93
11.6 半导体 PN 结温度传感器	93
11.7 集成温度传感器	94
11.7.1 AD590 的结构与特性参数	94
11.7.2 AD590 的应用电路	95
11.7.3 DS18B20 数字式集成温度传感器	95
11.8 实验与应用	98
11.8.1 温度传感器特性的测试实验	98
11.8.2 设计与应用	102
思考题	102
第 12 章 霍耳传感器	104
12.1 霍耳传感器	104
12.1.1 霍耳效应	104
12.1.2 霍耳元件的结构及测量电路	106
12.2 实验与应用	107
12.2.1 霍耳式传感器特性实验	107
12.2.2 测量与应用	108
思考题	109
第 13 章 光纤传感器	110
13.1 光导纤维导光的基本原理与结构	110

13.2 光纤传感器的基本原理和类型	112
13.2.1 光纤传感器的基本原理	113
13.2.2 光纤传感器的类型	113
13.3 光纤传感器的应用	116
13.4 光纤位移传感器的静态测试	118
思考题	120

第三部分 附 录

附录 1 CSY-998 型传感器系统实验仪使用说明	123
1-1 实验仪简介	123
1-2 实验教学大纲	124
1-3 实验内容和学时安排	125
1-4 注意事项	125
附录 2 常用传感器技术参数	126
2-1 应变式称重传感器技术参数	126
2-2 国产电阻应变片技术参数	126
2-3 应变式脉动压力传感器特性参数	127
2-4 E2K-C 型静电电容式接近开关特性参数	127
2-5 电容式接近开关技术参数	128
2-6 常用电容加速度传感器技术参数	129
2-7 常用电容式压力变送器技术参数	129
2-8 常用电感式接近开关型号及参数	130
2-9 热电阻参数	131
2-10 NTC 热敏电阻参数	132
2-11 PTC 热敏电阻参数	133
2-12 DA 型 PN 结温度传感器	133
2-13 压电式加速度计技术参数	133
2-14 压电式压力传感器技术参数	134
2-15 压阻式传感器参数	134
2-16 电涡流式传感器	135
2-17 霍耳传感器	135
2-18 光纤传感器	136
2-19 常用红外光敏电阻探测器	137

2-20	几种不同材料光敏二极管特性参数	137
2-21	典型硅光电池的基本特性参数	138
2-22	典型硅光敏晶体管的特性参数	139
2-23	几种典型光电倍增管的基本特性参数	139
2-24	几种国产热释电探测器件的特性参数	140
2-25	CMOS 图像传感器的特性参数	140
2-26	光电发射接收集成器件	141
附录 3 热电偶分度表(参考端温度为 0℃)		142
3-1	铂铑 10-铂热电偶(S 型)分度表(ITS-90)	142
3-2	镍铬-镍硅热电偶(K 型)分度表	143
3-3	铂铑 30-铂铑 6 热电偶(B 型)分度表	144
3-4	镍铬-铜镍(康铜)热电偶(E 型)分度表	145
3-5	铜-铜镍(康铜)热电偶(T 型)分度表	145
3-6	铁-铜镍(康铜)热电偶(J 型)分度表	146
参考文献		147

第一部分

测量的基础知识

第 1 章 测 量

第 2 章 测量误差与分类

第 3 章 压力测量

第 4 章 温度测量

第 1 章 测 量

在科学实验和生产中,测量是必不可少的首要环节。现代化生产就是用自动装置模仿人去做各种工作,例如,控制机器运行,检查产品质量,计算产品数量,收集整理气象、地震、环境污染的有关数据、曲线和图形等。

由于任何生产过程都可以看做是一个物质流程和一个信息流程的组合,而信息流程是人们管理和控制物质流程的依据,人们可以通过测量获取各种必要的信息,因此测量(信息的检出和转换)是自动化生产过程中首要的关键环节。

1.1 测量的基本知识

测量是实现自动检测和自动控制的基本过程。如果没有对原始参数进行精确可靠的测量,则无论是信号转换、信息处理或者数据显示和控制都将是一句空话。测量变换是指把某一个被测量按一定规律变换成便于下一个环节接受的另一个物理量的过程。简单地说,最理想的变换规律是变换后的物理量 y 与变换前的物理量 x 呈线性关系,是一个比例环节($y = Kx$)。实现变换的元件称为变换元件。变换元件是以一定的物理定律为基础,完成一个特定的变换任务;多个变换元件的有机组合构成了测量仪表。变换元件可以是测量传感器。所谓测量就是借助专用的技术工具,通过实验和计算,收集被测对象信息的过程。

1.1.1 测量的概念

测量中不可缺少的就是比较环节,即被测量与同性质的标准量进行比较,并确定被测量是该标准量的多少倍。实际应用中被测量与标准量直接比较的不多,大多数的被测量和标准量都要变换到双方便于比较的某个中间量。例如,用水银温度计测量体温时,体温(被测量)被变换成玻璃管内水银柱的热膨胀位移量,而温度的标准量传递到玻璃管上的标尺刻度上,这时被测量和标准量都变换到同性质的线位移(中间量)就可以比较了。由此可见,通过变换实现了测量。通过上述例子可以看出,测量变换是整个测量技术的核心。

测量的目的是为了在限定时间内尽可能正确地收集被测对象的未知信息,以便掌握被测对象的特性、规律或者控制某个过程。在测量过程中由于各种原因,不可避免地存在误差,所以,在测量结果中必须说明误差的大小,以便清楚该次测量的可信度。

1.1.2 测量的定义

1. 狭义测量

狭义测量就是被测量与同性质的标准量进行比较,并确定被测量是标准量(作为被测物理量单位)的多少倍;标准量应该是国际或国家特定机构所指定的,其性能是足够稳定的。

上述定义用数学公式表示为

$$X = A_x A_e \quad (1-1)$$

式中: X ——被测量; A_e ——所选被测量单位; A_x ——在所选单位下被测量的数值。

由式(1-1)可知, A_x 的大小随所采用的单位 A_e 而定,采用单位愈小,对给定的被测量而言,其比值 A_x 愈大,其精度也愈高。反映被测量的大小,必须在被测量(A_x)后面注明单位(A_e),例如:75.3 kg、105 K等。

2. 广义测量

广义测量是对被测对象进行检出、变换、分析、判断、处理和控制等有机统一的综合过程。在广义测量过程中有检出部分、变换部分、数据分析处理部分,还有控制测量过程的控制部分等,广义测量系统结构如图1-1所示。

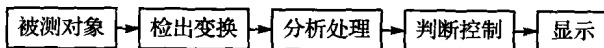


图 1-1 广义测量系统框图

1.2 测量方法

1.2.1 直接测量与间接测量

用分度或标定好的测量仪表对被测量进行直接测量,得出该被测量的数值,这种测量方法称为直接测量。直接测量并不等于用直读式仪表的测量,用电压表和用电位差计测量电压,电压表为直读式仪表,电位差计为比较式仪表,两者均属于直接测量。

不直接测量待求量 x ,而是对待求量 x 有确切关系的几个物理量 $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ 进行直接测量,然后通过已知函数关系求出该待求量 x 的值, $x = F(Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$,这种测量方法称为间接测量。例如,测量电功率时,根据 $P = IU$ 的函数关系式,通过测得 I 和 U 便求得 P 值。

1.2.2 直接测量的方法

直接测量分为偏差法、零位法和微差法。

1. 偏差法

指针式仪表内没有标准的量具,只有用标准的量具经标定过的刻度。由于刻度的精确度不能做得很高,当测量仪表的指针相对于刻度线的位移(偏差)来直接表示被测量的大小时,这种测量方法称为偏差式测量法(简称偏差法)。

使用偏差法的测量仪表测量被测量时,被测量使仪表中某个元件存在反作用,这个反作用常与仪表指针位移或偏转角呈线性关系,被测量增大,所需平衡反作用也相应增大,所以仪表指针偏转也随之按比例增大。例如,弹簧秤中的弹簧、压力表中的波登管等,这种测量仪的测量精度不是很高,一般在 $0.1\% \sim 0.5\%$ 之间。

2. 零位法

用电位差计测量未知电动势如图 1-2 所示,图中 E 为工作电池,测量前调节可变电阻 R_p 用来校准工作电流 I_s 使其达到标准值,在电位器 R 上产生标准电压降 E_s ,调节电位器 R 的滑动端,使检流计 G 的示值回到零位,这时 A 、 B 两点间产生标准电压降 U_s ,检流计 G 指零,表明 A 、 C 支路中没有电流流过,从而精确地保证 A 点和 C 点等电位,即 $U_s = U_x$,从图中得知 $U_s = \frac{R_2}{R} E_s$,标准量 U_s 随电位器 R 的滑动端位置而变。零位法仪表中必须有一个可变化的标准量,检零计 G 检查标准量 s 和被测量 x 对它的正、反作用是否相等,检零机构愈灵敏,愈有利于提高测量精度。

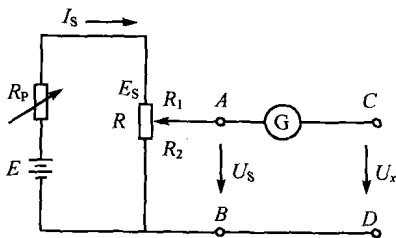


图 1-2 零位法测量示意图

零位法的测量原理是:被测量 x 和某已知标准量 s 对指零机构的作用达到平衡而相互抵消,而两个作用的总效应减到零。根据总效应为零这一点来确定被测量就等于该已知标准量值。零位法测量的误差主要取决于标准量的误差,因此精度一般比偏差法高。

3. 微差法

微差法是偏差法和零位法的组合。被测量 x 的大部分作用先与已知标准量 s 的作用抵消剩余部分即两者的差值 $d(d=x-s)$,再用偏差法测量。使用微差法测量可使差值 d 很小,所以,微差之名由此而来。因此,即使差值 d 测量的精度不高,但最终测量结果仍能达到较高的精确度。

例如,把图 1-2 中的检流计 G 改成毫伏表(mV),已知毫伏表测量差值 d 时的相对误差是 1% (差值 d 是被测电压 U_x 的 1%),用零位法测量电压时,标准量 s 的相对误差是

0.01 %, 计算此时电位表的测量精度。

电位差计当用微差法原理测量时, 其测量误差应该是标准量的相对误差与差值测量中的相对误差之和, 其中, 标准量的相对误差为

$$\left| \frac{\Delta s}{U_s} \right| = 0.01 \%$$

差值测量中的相对误差为

$$\left| \frac{\Delta d}{U_x} \right| = \left| \frac{\Delta d}{d} \right| \cdot \left| \frac{d}{U_x} \right| = 1 \% \cdot 1 \% = 0.01 \%$$

故微差法测量的相对误差为

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \frac{\Delta d}{U_x} + \frac{\Delta s}{U_s} = 0.01 \% + 0.01 \% = 0.02 \%$$

从上面例子看出, 微差法虽然不能全部消除指示仪表的误差, 但却能大大减少指示仪表误差对整个测量结果的影响, 相对误差为 1 % 的毫伏表, 可使整个测量结果达到 0.02 % 的精度。

1.3 测量仪表的基本功能和基本性能

1.3.1 测量仪表的基本功能

测量仪表的装置或系统可以不同, 实现测量所必备的基本功能是完全相同的; 测量仪表具有检出变换、标准量保存、信号处理和显示操作四种功能。

1. 检出变换

将被测量 x 从被测对象中检出后变换成输出量 y , 其函数关系 $y=f(x)$ 称为变换函数, 这是理想情况。实际物理系统中有许多其他影响量, 如温度、压力等, 以不同程度影响了输出量 y 的数值, 实际测量仪表变换函数应该为

$$y = F(x, u_1, u_2, \dots, u_m) \quad (1-2)$$

2. 标准量保存

标准量从形式上看是保存在仪表的刻度盘上, 而刻度盘上的分度值就是标准量记录下来。数字仪表通常以稳定的脉冲作为标准量, 保存标准量精度高低直接影响测量仪表的精度。

3. 信号处理

通常被测量 x 输出量是微弱的, 要经过放大、调制、运算、分析处理以实现信号的控制。

4. 显示操作

测量仪表的显示操作使人们了解被测量的数值。测量仪表以某一种形式显示出来, 能更好地了解被测量数值的大小或变化过程。常用的显示方式有模拟量显示、数字量显示和图像显示。