



高职高专“十二五”规划教材

自动检测技术

主 编 王 前

副主编 肖正洪 赵 威



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



配有课件



高职高专“十二五”规划教材

自动检测技术

主 编 王 前

副主编 肖正洪 赵 威

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍自动检测技术的相关内容,包括温度检测、力与压力检测、流量检测、物位检测、位移与速度检测及其他常见量检测等内容。考虑到实际情况,还介绍了抗干扰技术的相关内容。全书共8章,典型章节附有实践操作内容。同时考虑到实际使用习惯与当前的多媒体授课趋势,对书中原有的图片进行了删减而提供必要的多媒体课件下载,方便广大同学自学与教师授课。

本书是四川航天职业技术学院的精品课程教材,按照教育部“十二五”规划教材要求编写,可作为高等院校自动化专业方向教材,也可供相关专业人员自学与参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术 / 王前主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2013.2

ISBN 978-7-5124-1036-7

I. ①自… II. ①王… III. ①自动检测—高等职业教育—教材 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 295390 号

版权所有,侵权必究。

自动检测技术

主 编 王 前

副主编 肖正洪 赵 威

责任编辑 王慕冰 龚荣桂 王平豪

*

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:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:9.25 字数:237千字

2013年2月第1版 2013年2月第1次印刷 印数:3 000册

ISBN 978-7-5124-1036-7 定价:19.8元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

随着工业自动化技术的迅猛发展,传感器自动检测技术得到了越来越广泛的应用,各高职院校也逐渐将“自动检测技术”作为电气自动化和机电一体化专业的专业课。为此,编者结合多年的教学和工作经验,编写了本书。

本书主要介绍了检测技术的一般概念和测量方法、误差分析及在工业、科研、生产、生活等领域中常用传感器的基本概念、基本结构及工作原理;具体列举了家用电器中的传感器应用,贴近生活,还集中列举了检测技术在工业生产中应用的实例;在取材上,侧重具体实用电路,应用实例贯穿于各章节,以突出基本技能的培养。

本书采用模块化教学模式,以项目教学法为载体,实现完整、系统的教学设计,以提高学生的操作技能和综合应用能力。项目一重点讲述测量系统的测量误差分析及处理、测量系统的构成和特性分析以及测量系统的可靠性等有关内容,使学生能从测量系统的角度,对测量误差、测量精度和测量系统特性及可靠性有一个总体的了解。项目二至项目七主要介绍流程工业中的主要参数,如温度、压力、液位、流量、成分分析及有关机械量等参数的检测技术。项目八对完整检测系统中的抗干扰技术与信号处理做了简单介绍。

本教材计划学时数为 48 学时,参考学时如下,各学校可根据具体情况进行调整。

项 目	教 学 内 容	课 时
项目一	检测技术的基础知识	4
项目二	温度检测	6
项目三	压力和力的检测	4
项目四	流量检测	4
项目五	物位检测	6
项目六	位移检测与速度检测	6
项目七	其他常见量的检测	6
项目八	抗干扰技术	6

本书由王前主编。具体编写工作为：肖正洪编写项目一和项目二，赵威编写项目八，王前编写项目三至项目七。另外，还有以下人员参加了编写工作：黄佳、周玉康、王云等。全书由王前负责统稿。在编写过程中参考了部分书籍的内容，并引用了一些技术资料。同时得到了北京航空航天大学出版社的大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，在编写过程中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 12 月

目 录

项目一 检测技术的基础知识	1
1.1 检测技术的基本概念	1
1.1.1 检测技术	1
1.1.2 传感器	1
1.2 测量方法	3
1.2.1 按测量手段分类	3
1.2.2 按测量方式分类	3
1.3 测量误差	4
1.3.1 误差的基本概念及表达式	4
1.3.2 系统误差和随机误差	5
1.3.3 测量误差的估计和校正	6
1.3.4 测量结果的数学处理	7
1.4 传感器的基本特性	8
1.4.1 传感器的静态特性	8
1.4.2 传感器的动态特性	11
项目二 温度检测	12
2.1 温标及测温方法	12
2.1.1 温 标	12
2.1.2 温度检测的主要方法及分类	13
2.2 膨胀式温度计	14
2.2.1 双金属温度计	14
2.2.2 压力式温度计	15
2.3 电阻式温度传感器	16
2.3.1 金属热电阻传感器	16
2.3.2 半导体热敏电阻传感器	18
2.3.3 铂热电阻实验操作	22
2.4 热电偶传感器	23
2.4.1 热电偶测量原理	23
2.4.2 热电极材料及常用热电偶	27
2.4.3 热电偶的结构	29
2.4.4 热电偶冷端温度补偿	30
2.4.5 热电偶常用测温线路	33
2.4.6 热电偶测温实验操作	34
2.5 辐射式温度传感器	35
	1

2.5.1 辐射测温的物理基础	35
2.5.2 辐射测温方法	36
项目三 压力及力的检测	39
3.1 压力的概念及单位	39
3.2 应变式压力计	41
3.2.1 电阻应变效应	41
3.2.2 电阻应变片	42
3.2.3 电阻应变片的粘贴剂温度补偿	44
3.2.4 转换电路	45
3.2.5 应变式压力传感器	47
3.3 薄膜应变片	50
3.3.1 薄膜应变片的原理	51
3.3.2 薄膜应变片的制作及应用	51
3.4 压电式压力传感器	53
3.4.1 压电效应	53
3.4.2 测量电路	57
3.4.3 压电传感器及特点	59
3.5 电容式压力传感器	61
3.5.1 电容式传感器的工作原理	61
3.5.2 差动电容传感器	62
3.5.3 测量电路	63
3.5.4 电容式压力传感器	67
3.6 霍尔式压力计	69
3.6.1 霍尔效应	69
3.6.2 霍尔式压力计工作原理	70
3.6.3 霍尔式压力计的误差及补偿	71
项目四 流量检测	74
4.1 流量的测量方法	74
4.2 差压式流量计	75
4.2.1 节流装置	75
4.2.2 差压流量计	76
4.2.3 标准节流装置	76
4.2.4 取压方式	79
4.2.5 节流式流量检测	79
4.3 容积法	80
4.3.1 基本原理	80
4.3.2 常见结构	80
4.4 速度式流量计	81
4.4.1 叶轮式流量计	81

4.4.2 涡轮式流量计	81
4.5 振动式流量计	82
4.5.1 旋涡流量计	82
4.5.2 旋进式旋涡流量计	83
4.6 电磁流量计	83
4.6.1 电磁流量计的工作原理	83
4.6.2 设备结构	84
项目五 物位检测	85
5.1 浮力式物位检测	85
5.2 静压式物位检测	86
5.3 电容式物位计	86
5.4 超声波传感器与物位、厚度检测	88
5.4.1 超声波检测原理	88
5.4.2 超声波距离测量实验	89
5.5 核辐射物位与厚度检测(仅供了解)	90
项目六 位移检测与速度检测	91
6.1 位移、速度与加速度的相互关系	91
6.2 电感式传感器	91
6.2.1 电感式传感器简介	91
6.2.2 实际测量电路	93
6.2.3 实验操作	94
6.3 电位器式传感器	98
6.3.1 电位器式传感器简介	98
6.3.2 电位器式传感器结构	98
6.3.3 电位器式传感器工作原理	98
6.4 光栅位移测试	99
6.4.1 光栅的基本结构	99
6.4.2 光栅传感器的工作原理	99
6.5 码盘式传感器	101
6.5.1 码盘式传感器的工作原理	101
6.5.2 光电式码盘式传感器	102
6.6 其他类型位移传感器	102
6.6.1 电容式位移传感器	102
6.6.2 电涡流式传感器	103
6.6.3 实验操作	104
项目七 其他常见量的检测	107
7.1 光电效应与光电器件	107
7.1.1 光电效应	107
7.1.2 光电器件	108

7.1.3 光电元件的特性	112
7.1.4 光电元件的应用	116
7.1.5 实验操作	118
7.2 光纤传感器	120
7.2.1 光纤传感原理	120
7.2.2 实验操作	123
7.3 成分参数检测	124
7.3.1 气体成分检测	124
7.3.2 液体浓度检测	124
7.3.3 湿度与含水量检测	125
7.4 霍尔式传感器	125
项目八 抗干扰技术	128
8.1 干扰的类型及产生	128
8.1.1 干扰的定义	128
8.1.2 形成干扰的三个要素	128
8.2 干扰信号的耦合方式	129
8.2.1 常见干扰耦合方式	129
8.2.2 电子测量装置干扰	129
8.2.3 共模干扰抑制比	130
8.3 常用的抑制干扰措施	130
8.3.1 屏蔽	130
8.3.2 接地	131
8.4 其他抑制干扰措施	132
8.4.1 隔离	132
8.4.2 滤波	133
8.4.3 软件抗干扰	133
8.5 提高系统抗干扰的措施	134
8.5.1 逻辑设计力求简单可靠	134
8.5.2 硬件自检测和软件自恢复的设计	135
8.5.3 从安装和工艺等方面采取措施以消除干扰	135
参考文献	137

项目一 检测技术的基础知识

在现代工业生产中,为了检测、监督和控制某个生产过程或运动对象,使它们处于工作最佳状态,就必须掌握描述它们特性的各种参数,即首先要测量这些参数的大小、方向和变化速度等。所谓检测,就是人们借助仪器、设备,利用各种物理效应,采用一定的方法,将客观世界的有关信息通过检查和测量获取定性或定量信息的认识过程。这些仪器和设备的核心部件就是检测技术。

1.1 检测技术的基本概念

1.1.1 检测技术

定义:以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科。

任务:寻找与自然信息具有对应关系的种种表现形式的信号,以及确定二者间的定性、定量关系;从反映某一信息的多种信号表现中挑选出在所处条件下最为合适的表现形式,以及寻求最佳的采集、变换、处理、传输、存储、显示等的方法和相应的设备。

自动检测系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号等诸系统的总称。其组成如图 1.1.1 所示。

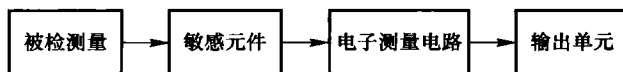


图 1.1.1 自动检测系统组成

1.1.2 传感器

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系、便于应用的某种物理量的测量装置。对此定义需要明确以下几点:

- 传感器是测量装置,能完成信号的获取任务;
- 它的输入量是某一被测量;
- 它的输出量是某种物理量,这种物理量要便于传输、转换、处理、显示等;
- 输出与输入有对应关系,并且应有一定的精确程度。

1. 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件和测量电路三部分组成,如图 1.1.2 所示。

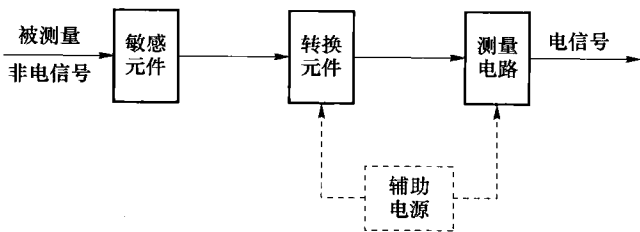


图 1.1.2 传感器的组成

2. 敏感元件

敏感元件是直接感受被测量,并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。

3. 转换元件

转换元件也叫传感元件,是将敏感元件输出的物理量转换成适于传输或测量的电信号的元件。有些传感器的敏感元件和转换元件合二为一,它感受被测量并直接输出电参量,如热电偶等;有些传感器,转换元件不止一个,要经过若干次转换。

4. 测量电路

测量电路又称转换电路或信号调理电路,其作用是将转换元件输出的电信号进行进一步的转换和处理,如放大、滤波、线性化和补偿等,以获得更好的品质特性,便于后续电路实现显示、记录、处理及控制等功能。测量电路的类型视传感器的工作原理和转换元件的类型而定,一般有电桥电路、阻抗变换电路和振荡电路等。

5. 传感器的分类

一种传感器可以检测多种参数,一种参数又可以用多种传感器测量。目前常用的分类方法有两种:一种是按被测量分类,另一种是按工作原理分类。

表 1.1.1 所列为按被测量分类,表 1.1.2 所列为按工作原理分类。

表 1.1.1 按被测量分类

被测量分类	被测量
热电量	温度、热量、比热、压力、压差、真空度、流量、流速、风速
机器量	位移、尺寸、形状、力、力矩、应力、重量、质量、转速、线速度、振动幅度、频率、加速度、噪声
物性和成分量	气体化学成分、液体化学成分、酸碱度、盐度、浓度、黏度、密度、相对密度
状态量	颜色、透明度、磨损度、材料内部裂缝或缺陷、气体泄漏、表面质量

表 1.1.2 按工作原理分类

序 号	工作原理	序 号	工作原理
1	电阻式	8	光电式
2	电感式	9	谐振式
3	电容式	10	霍尔式
4	阻抗式	11	超声波式
5	磁电式	12	同位素式
6	热电式	13	电学式
7	压电式	14	微波式

1.2 测量方法

测量是检测技术的重要组成部分,是以确定被测对象量值为目的的一系列操作。测量能够帮助人们获得客观事物定性的认识及定量的信息,寻找并发现客观事物发展的规律。在工业现场,测量更进一步的目的是利用测量所获得的信息来控制某一生产过程,通常这种控制作用是与检测系统紧密相关的。按测量手段可分为直接测量、间接测量和联立测量;按测量方式可分为偏差式测量、零位测量和微差式测量。

1.2.1 按测量手段分类

1. 直接测量

在使用仪表进行测量时,对仪表读数不需要经过任何运算,就能直接表示测量所需要的结果,称为直接测量。例如,用磁电式电流表测量电路的电流,用弹簧管式压力表测量锅炉的压力等就是直接测量。直接测量的优点是测量过程简单而迅速,缺点是测量精度不容易做到很高,这种测量方法在工程上被广泛采用。

2. 间接测量

有的被测量无法或不便于直接测量,这就要求在使用仪表进行测量时,首先对与被测物理量有确定函数关系的几个量进行测量,然后将测量值代入函数关系式,经过计算得到所需的结果,这种方法称为间接测量。

对误差进行分析并选择和确定优化的测量方法,在比较理想的条件下进行间接测量,测量结果的精度不一定很低,有时还可得到较高的测量精度。间接测量一般用于不方便直接测量或者缺乏直接测量手段的场合。

3. 联立测量

在应用仪表进行测量时,若被测物理量必须经过求解联立方程组,才能得到最后结果,则称这样的测量为联立测量。在进行联立测量时,一般需要改变测量条件,才能获得一组联立方程所需要的数据。联立测量是一种特殊的精密测量方法,操作步骤较复杂,花费时间很长,一般适用于科学实验或特殊场合。

1.2.2 按测量方式分类

1. 偏差式测量

用仪表指针的位移(即偏差)决定被测量的方法,称为偏差式测量法。这种测量方法过程比较简单、迅速,但精度低,广泛用于工程测量中。

2. 零位式测量

用指零仪表的零位指示检测测量系统的平衡状态,在测量系统平衡时,用已知的标准量决定被测量的量值的测量方法,称为零位式测量法。应用这种测量方法进行测量时,已知标准量直接与被测量相比较,已知量应连续可调,指零仪表指零时,被测量与已知标准量相等,例如天平、电位差计等。零位式测量方法的优点是可以获得比较高的测量精度,但测量过程比较复杂,测量时要进行平衡操作,耗时较长,不适用于测量快速变化的信号。

3. 微差式测量

微差式测量法是综合了偏差式测量法和零位式测量法的优点而提出的测量方法,它是将被测的未知量与已知的标准量进行比较,并取得差值后,用偏差法测得此值。微差式测量法的优点是反应快、精度高,适用于在线控制参数的检测。

1.3 测量误差

测量的目的是希望通过测量获取被测量的真实值。但在实际测量过程中,由于种种原因,例如,传感器本身性能不理想、测量方法不完善、受外界干扰影响及人为的疏忽等,都会造成被测参数的测量值与真实值不一致,两者不一致程度用测量误差表示。

随着科学技术的发展,人们对测量精度的要求越来越高,可以说测量工作的价值就取决于测量的精度。一方面,当测量误差超过一定限度时,测量工作和测量结果就失去了意义,甚至会给工作带来危害。因此,对测量误差的分析和控制就成为衡量测量技术水平乃至科学技术水平的一个重要方面。但是由于误差存在的必然性和普遍性,人们只能将误差控制在尽可能小的范围内,而不能完全消除它。另一方面,测量的可靠性也至关重要,不同场合、不同系统对测量结果可靠性的要求也不同。例如,当测量值用作控制信号时,则要注意测量的稳定性与可靠性。因此,测量的精度及可靠性等性能指标一定要与具体测量的目的和要求相联系、相适应。

1.3.1 误差的基本概念及表达式

1. 误差的基本概念

误差就是测量值与真实值之间的差值,它反映了测量的精度。

误差存在于一切测量中,误差定义为测量结果减去被测量的真值,即

$$\Delta x = x - L$$

式中: Δx ——测量误差;

x ——测量结果;

L ——被测量的真值。

2. 误差的表达式

误差的表达式有多种,其含义及实际应用各不相同,如绝对误差、相对误差和引用误差等。

(1) 绝对误差

绝对误差表示测量值与被测量真实值(真值)之间的差值。用符号表示,即

$$\Delta x = x - L$$

(2) 相对误差

相对误差是指绝对误差与被测量之比值,通常用百分数表示,即

$$\delta = \frac{\Delta x}{L_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

绝对误差一般不能作为测量精度的尺度,因此,在很多场合常用相对误差来代替绝对误差表示测量结果,这样可以比较客观地反映测量的准确性。

(3) 引用误差

引用误差用测量仪器的绝对误差除以仪器的满度值表示,即

$$r_m = \frac{\Delta x}{A} \times 100\%$$

式中: Δx ——测量仪器的绝对误差;

A ——测量仪器的满度值。

引用误差实质是一种相对误差,可用于评价某些测量仪器的准确度的高低。国际上规定电测仪表的精度等级指数分为七级: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0。工业自动化仪表的精度等级一般在 0.2~4.0 级之间。选用仪表时,一般使其最好能工作在不小于满刻度值 2/3 的区域。

1.3.2 系统误差和随机误差

根据测量数据中的误差所呈现的规律,将误差分为三种: 系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差

在一定的条件下,对同一被测量进行多次重复测量,如果误差按照一定的规律变化,则把这种误差称为系统误差。这里所谓的规律变化,是指该误差可能是定值(常量),或累进性变化(逐渐增大或逐渐减小)或周期性变化等。

系统误差决定了测量的准确度,系统误差越小,测量结果越准确,故系统误差说明了测量结果偏离被测量真值的程度。由于系统误差是有规律性的,因此可以通过实验或引入修正值的方法一次修正予以消除。

2. 随机误差

由于大量偶然因素的影响而引起的测量误差称为随机误差。对同一被测量进行多次重复测量时,随机误差的绝对值和符号将不可预知地随机变化,但总体上服从一定的统计规律。引起随机误差的原因很多,且大多难以控制,所以对于随机误差不能用简单的修正值法来修正,只能通过概率和数理统计的方法估计它出现的可能性。

随机误差决定了测量的精密度。随机误差越小,测量结果的精密度越高。如果一个测量数据的准确度和精密度都很高,就称此测量的精确度很高,其测量误差也一定是很小的。为加深对精密度、准确度和精确度的理解,下面用打靶的例子来说明。打靶结果如图 1.3.1 所示。子弹落在靶心周围有三种情况: 图(a)的弹着点很分散,表明它的精密度很低;图(b)的弹着点集中但偏向一方,表明精密度高但准确度低;图(c)的弹着点集中靶心,则表明既精密又准确,即精确度高。



图 1.3.1 打靶结果模拟

3. 粗大误差

在一定的测量条件下,测量值明显偏离实际真实值所形成的误差称为粗大误差。确认含有粗大误差的测量值称为坏值。对于粗大误差,首先应设法判断是否存在,如果存在,则应将坏值剔除,因为坏值不能反映被测量的真实结果。

1.3.3 测量误差的估计和校正

从工程测量实践可知,测量数据中含有系统误差和随机误差,有时还会含有粗大误差。它们的性质不同,对测量结果的影响及处理方法也不同。在测量中,对测量数据进行分析时,首先判断测量数据中是否含有粗大误差,如果有,则必须加以剔除。再看数据中是否存在系统误差,对系统误差可设法消除或加以修正。对排除了系统误差和粗大误差的测量数据,则利用随机误差性质进行处理。总之,对于不同情况的测量数据,首先要加以分析研究,判断情况,分别处理,再经综合整理以得出合乎科学性的结果。

1. 随机误差的影响及统计处理

在测量中,当系统误差已设法消除或减小到可以忽略的程度时,如果测量数据仍有不稳定的现象,则说明存在随机误差。对于随机误差,可以采用概率数理统计的方法来研究其规律、处理测量数据。随机误差处理的任务就是从随机数据中求出最接近真值的值(或称最佳估计值),对数据精密度的高低(或称可信程度)进行评定并给出测量结果。

2. 系统误差的发现与校正

(1) 系统误差的发现与判别

发现系统误差一般比较困难,发现系统误差的常用方法有以下几种:

① 实验对比法

这种方法是通过改变产生系统误差的条件,进行不同条件的测量来发现系统误差的,该方法适用于发现固定的系统误差。例如,一台测量仪表本身存在固定的系统误差,即使进行多次测量也不能发现,只有用更高一级精度的测量仪表测量时,才能发现这台测量仪表的系统误差。

② 残余误差观察法

这种方法是根据测量值的残余误差的大小和符号的变化规律,直接由误差数据或误差曲线来判断有无系统误差。这种方法主要适用于发现有规律变化的系统误差。把残余误差按照测量值先后顺序作图,如图 1.3.2 所示。图(a)中残余误差大体上是正负相同,且无明显的变化规律,则无根据怀疑存在系统误差;图(b)中残余误差有规律地递增(或递减),表明存在线性变化的系统误差;图(c)中残余误差大小和符号大体呈周期性变化,可以认为有周期性系统误差;图(d)中残余误差变化规律较复杂,则怀疑同时存在线性系统误差和周期性系统误差。

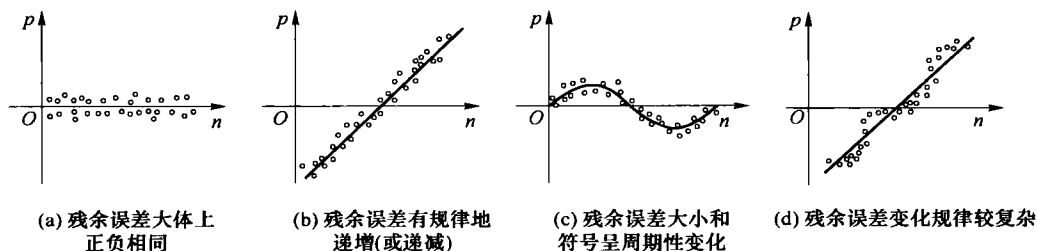


图 1.3.2 系统误差曲线

③ 理论计算法

通过现有的相关准则进行理论计算,也可以检验测量数据中是否含有系统误差。不过这些准则都有一定的适用范围,例如:

- 马利科夫准则——适用于判别测量数据中是否存在累进性系统误差。
- 阿卑-赫梅特(Abbe-Helmert)准则——适用于判别测量数据中是否存在周期性系统误差。

(2) 系统误差的校正

① 采用修正值方法

对于定值系统误差可以采取修正措施。一般采用加修正值的方法。

② 从产生根源消除

用排除误差源的办法来消除系统误差是比较好的办法。这就要对所用标准装置、测量环境条件及测量方法等进行仔细分析、研究,尽可能找出产生系统误差的根源,进而采取措施。

③ 采用专门的方法

- 交换法——在测量中将某些条件,如被测物的位置相互交换,使产生系统误差的原因对测量结果起相反作用,从而达到抵消系统误差的目的。
- 替代法——要求进行两次测量,第一次对被测量进行测量,达到平衡后,在不改变测量条件情况下,立即用一个已知标准值替代被测量,如果测量装置还能达到平衡,则被测量就等于已知标准值。如果不能达到平衡,则调整使之平衡,这时可得到被测量与标准值的差值。
- 补偿法——要求进行两次测量,改变测量中某些条件,使两次测量结果中,得到误差值大小相等、符号相反,取这两次测量的算术平均值作为测量结果,从而抵消系统误差。

1.3.4 测量结果的数学处理

大量的实验数据最终必然要以人们易于接受的方式表述出来,常用的表述方法有表格法、图解法和解析法3种。这些表述方法的基本要求是:

- 确切地将被测量的变化规律反映出来。
- 便于分析和应用。对于同一组实验数据,应根据处理需要选用合适的表达方法,有时采用一种方法,有时要多种方法并用。

另外,当数据处理结果以数字形式表达时,要有正确合理的有效位数。

1. 表格法

表格法是把被测量数据精选、定值,按一定的规律归纳整理后列于一个或几个表格中。该方法比较简单、有效,数据具体,形式紧凑,便于对比。常用的是函数式表格,一般以自变量测量值增加或减少为顺序。该表能同时表示几个变量的变化而不混乱。一个完整的函数式表格,应包括表的序号、名称、项目、测量数据和函数推算值,有时还应加一些说明。

列表时应注意以下几个问题:

- ① 数据的写法要整齐规范,数值为零时要记“0”,不可遗漏;实验数据空缺时应记为“—”。
- ② 表达力求统一、简明。同一列的数值、小数点应上下对齐。当数值过大或过小时,应以 10 的 n 次幂来表示, n 为正负整数。
- ③ 根据测量精度的要求,表中所有数据有效数字的位数应取舍适当。

2. 图解法

图解法是把互相关联的实验数据按照自变量和因变量的关系在适当的坐标系中绘制成几何图形,用来表示被测量的变化规律和相关变量之间的关系。该方法的最大优点是直观性强,在未知变量之间解析关系的情况下,易于看出数据的变化规律和数据中的极值点、转折点、周期性和变化率等。

曲线描绘时应注意如下几点问题:

- 合理布图。常采用直角坐标系,一般从零开始,但也可以以稍低于最小值的某一整数为起点、以稍高于最大值的某一整数为终点,使所作图能占满直角坐标系的大部分为宜。
- 正确选择坐标分度。坐标分度粗细与实验数据的精度相适宜,即坐标的最小分度以不超过数据的实测精度为宜。过细或过粗都是不恰当的。分度过粗,将影响图形的读数精度;分度过细,则图形不能明显表现甚至会严重歪曲测量过程的规律性。
- 灵活采用特殊坐标形式。有时根据自变量和因变量的关系,为了使图形尽量成为一条直线或要求更清楚地显示曲线某一区段的特性时,可采用分均匀分度或将变量加以变换。如描述幅频的伯德(Bode)图,横坐标也可用对数坐标,纵坐标采用分贝数。
- 正确绘制图形。当数据的数量过少且变量间的对应关系不确定时,可将各点用直线连接成折线图形,或化成离散谱线。

3. 解析法

通过实验获得一系列数据。这些数据不仅可用图表法表示出函数之间的关系,而且可用与图形相对应的数学公式来描述函数之间的关系,从而进一步用数学分析的方法来研究这些变量之间的关系。该数学表达式称为经验公式,又称回归方程。建立回归方程常用的方法为回归分析。变量个数及变量之间的关系不同,所建立的回归方程也不同。本书不做详细说明。

1.4 传感器的基本特性

如果测量时测试装置的输入、输出信号不随时间而变化,则称为静态特性。静态测量时,测量装置表现出的响应特性称为静态响应特性。如果测量时测试装置的输入、输出信号随时间而变化,则称为动态特性。动态测量时,测量装置表现出的响应特性称为动态响应特性。

1.4.1 传感器的静态特性

理想线性装置的标定曲线应该是直线,但由于各种原因,实际测试装置的标定曲线并非如此。因此,一般还要求出标定曲线的拟合直线。可选用的拟合直线有多种,如图 1.4.1 所示,常用的有以下几种:

- 理想线性特性。这时传感器的线性最好,如图(a)所示,也是我们最希望传感器所具有的特性。
- 仅有偶次非线性。由于没有对称性,此特性线性范围较窄,线性度较差,如图(b)所示,一般传感器设计很少采用这种特性。
- 仅有奇次非线性。此传感器特性相对于坐标原点对称,其线性范围较宽,线性度较好,如图(c)所示,是比较接近于理想直线的非线性特性。
- 普遍情况的输入输出特性。