



全国高职高专机电及机器人专业  
工学结合“十三五”规划教材

# 传感器与自动检测 技术

付晓军 舒金意 ◎ 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国高职高专机电及机器人专业工学结合“十三五”规划教材

# 传感器与自动检测技术

主 编 付晓军 舒金意  
副主编 何 娜 梁 健 张 宇 刘明江  
刘琳香 张 毅 张艳霞 曹 琼

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 简 介

本书是根据高职高专人才培养目标,总结近年来的教学改革与实践,参照当前有关技术标准编写而成的。全书以生产生活中的物理量参数检测为主线,共分为 11 个项目,包含 24 个学习任务,主要内容包括检测技术基础、压力检测、位移检测、物位检测、速度检测、温度检测、气体浓度检测、流量检测、湿度检测、图像检测及检测技术综合应用等。

本书在内容编排上,由实例引入,采用项目引领、任务驱动的方式,体现了“教、学、做一体化”的职业教育理念。

本书可作为高职高专自动化、机电一体化、机器人等相关专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

传感器与自动检测技术/付晓军,舒金意主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.8

全国高职高专机电及机器人专业工学结合“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5680-1917-0

I. ①传… II. ①付… ②舒… III. ①传感器-高等职业教育-教材 ②自动检测-高等职业教育-教材  
IV. ①TP212 ②TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 130223 号

## 传感器与自动检测技术

付晓军 舒金意 主编

Chuanganganqi yu Zidong Jiance Jishu

策划编辑:严育才

责任编辑:戢凤平

封面设计:原色设计

责任校对:张会军

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15

字 数:382千字

版 次:2016年8月第1版第1次印刷

定 价:30.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 全国高职高专机电及机器人专业 工学结合“十三五”规划教材 编审委员会

丛书顾问：孙立宁 苏州大学

## 委 员(按姓氏笔画排序)

- |     |            |     |              |
|-----|------------|-----|--------------|
| 丁季丹 | 江苏农牧科技职业学院 | 罗彩玉 | 阿克苏职业技术学院    |
| 丁度坤 | 东莞职业技术学院   | 金 濯 | 江苏农牧科技职业学院   |
| 毛诗柱 | 广东轻工职业技术学院 | 周 宇 | 武汉船舶职业技术学院   |
| 尹 霞 | 湖南化工职业技术学院 | 周 威 | 荆州理工职业学院     |
| 邓 婷 | 湖南科技职业学院   | 周北明 | 重庆工业职业技术学院   |
| 龙 芬 | 咸宁职业技术学院   | 郑火胜 | 武汉城市职业学院     |
| 生 良 | 抚顺职业技术学院   | 胡利军 | 江西环境工程职业学院   |
| 付晓军 | 仙桃职业学院     | 侯国栋 | 安徽国防科技职业学院   |
| 吕世霞 | 北京电子科技职业学院 | 姜新桥 | 武汉职业技术学院     |
| 朱 佳 | 襄阳职业技术学院   | 贾丽仕 | 咸宁职业技术学院     |
| 李大明 | 武汉软件工程职业学院 | 夏继军 | 黄冈职业技术学院     |
| 杨彦伟 | 咸宁职业技术学院   | 夏路生 | 江西工业工程职业技术学院 |
| 吴小玲 | 广东工程职业技术学院 | 郭小进 | 武汉电力职业技术学院   |
| 吴森林 | 湖北轻工职业技术学院 | 郭选明 | 重庆工业职业技术学院   |
| 沈 玲 | 湖北工业职业技术学院 | 章小印 | 江西工业工程职业技术学院 |
| 张 宇 | 黑龙江职业学院    | 梁 健 | 广东水利电力职业技术学院 |
| 张 红 | 中山职业技术学院   | 梁生龙 | 珠海城市职业技术学院   |
| 张 毅 | 广东交通职业技术学院 | 舒金意 | 咸宁职业技术学院     |
| 张庆乐 | 武汉工程职业技术学院 | 谢超明 | 湖北职业技术学院     |
| 张军涛 | 广东松山职业技术学院 | 廖世海 | 江西工业工程职业技术学院 |
| 张泽华 | 广州市市政职业学校  | 熊小艳 | 湖北科技职业学院     |
| 张艳霞 | 郑州信息科技职业学院 | 魏国勇 | 山东药品食品职业学院   |
| 陈土军 | 湖南化工职业技术学院 | 籍文东 | 滨州职业学院       |
| 易秀英 | 湖南科技职业学院   |     |              |

# 前 言

为了满足新形势下高职教育对高素质技能型专门人才培养的要求,来自仙桃职业学院等多所院校的教学一线教师在总结近年来教学实践的基础上,编写了本书。

本书在内容的选择上注意与企业对人才的需求紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求。根据本专业培养目标和学生就业岗位实际,在广泛调研基础上,本书结合高职学生的认知规律,选取来自生产生活的参数检测为教学载体,并以工作过程为导向,将课程内容划分为11个项目24个学习任务。每个任务包括“任务导入”“相关知识”“任务实施”“知识拓展”4个板块,从典型检测对象着手,选择合适的传感器,在掌握该类传感器的测量原理、结构性能等基本知识的基础上,介绍相应的测量转换电路设计来完成检测任务,并对相应传感器进行了知识拓展。

本书为全国高职高专机电及机器人专业工学结合“十三五”规划教材。本书具有以下特点。

1. 以参数检测过程为主线,采用“项目+任务”的方式进行内容编排,既体现了“教、学、做一体化”的职业教育思想,又保证了知识体系的连贯性。

2. 以“理论够用、注重实践”为指导原则,融“教、学、做”于一体,着重培养学生对传感器的选择、使用等方面的技能。

3. 在各个任务的知识拓展中,对相应传感器的多方面应用和其他相似类型的传感器进行了介绍,以扩大学生的知识面。

本书由仙桃职业学院付晓军、咸宁职业技术学院舒金意担任主编,咸宁职业技术学院何娜、广东水利电力职业技术学院梁健、黑龙江职业学院张宇、广东工程职业技术学院刘琳香、广东交通职业技术学院张毅、郑州信息科技职业学院张艳霞、咸宁职业技术学院曹琼、仙桃职业学院刘明江担任副主编。具体编写分工为:张毅编写项目一;付晓军编写项目二、项目三、项目四的任务三和附录;舒金意编写项目四的任务一、任务二和项目七;梁健编写项目五的任务一;刘明江编写项目五的任务二、任务三;刘琳香编写项目六;何娜编写项目八、项目九;张宇编写项目十、项目十一;张艳霞、曹琼参与了部分内容的编写。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2016年4月

# 目 录

项目一 传感器与检测技术认知	(1)
任务一 测量数据处理	(1)
任务二 传感器的基础知识	(10)
小结	(19)
思考与练习	(19)
项目二 力的检测	(21)
任务一 电子秤的重量检测	(21)
任务二 玻璃破碎报警装置	(32)
小结	(43)
思考与练习	(44)
项目三 位移检测	(45)
任务一 轴承滚柱的直径检测	(45)
任务二 轴的振动检测	(56)
任务三 数控机床工作台位移检测(1)	(64)
任务四 数控机床工作台位移检测(2)	(73)
小结	(79)
思考与练习	(79)
项目四 物位检测	(80)
任务一 摩托车汽油油位检测	(81)
任务二 仓储物位高度检测	(86)
任务三 高压密闭容器液位检测	(96)
小结	(106)
思考与练习	(106)
项目五 速度检测	(108)
任务一 自行车速度检测	(108)
任务二 直流电动机测速	(120)
任务三 机床主轴转速测量	(131)
小结	(139)
思考与练习	(140)
项目六 温度检测	(141)
任务一 轧钢炉的温度检测	(142)
任务二 管道温度检测	(155)

任务三 电子体温计·····	(162)
任务四 电冰箱的温度检测·····	(168)
小结·····	(175)
思考与练习·····	(176)
<b>项目七 气体检测</b> ·····	(177)
任务 家庭天然气泄漏检测·····	(178)
小结·····	(189)
思考与练习·····	(189)
<b>项目八 流量检测</b> ·····	(190)
任务 自来水流量检测·····	(190)
小结·····	(196)
思考与练习·····	(197)
<b>项目九 湿度检测</b> ·····	(198)
任务 蔬菜大棚湿度检测·····	(198)
小结·····	(206)
思考与练习·····	(206)
<b>项目十 图像检测</b> ·····	(207)
任务 文字与图像识别·····	(207)
小结·····	(215)
思考与练习·····	(215)
<b>项目十一 检测技术综合应用</b> ·····	(216)
任务一 智能温度检测与控制·····	(216)
任务二 液体点滴速度监控装置设计·····	(221)
小结·····	(224)
思考与练习·····	(224)
<b>附录 A 标准化热电偶分度表</b> ·····	(225)
<b>附录 B 标准化热电阻分度表</b> ·····	(229)
<b>参考文献</b> ·····	(233)

# 项目一 传感器与检测技术认知

## 教学目标

### 知识目标

- ① 熟悉测量的基本概念与测量的方法；
- ② 掌握测量误差的表示方法与分析方法；
- ③ 掌握传感器的定义、组成及类型；
- ④ 了解传感器的基本特性、性能指标及选用原则；
- ⑤ 掌握电桥电路的工作原理及应用。

### 能力目标

- ① 能够进行测量数据的处理；
- ② 能够根据要求选用传感器。

检测技术是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。在工程上和实际的测量中,所需要测量的参数往往有相当大的部分为非电量,例如,温度、位移、压力、流量等,通常把能将这些非电量转换为电信号输出的装置或设备称为传感器。传感器是科学实验和工业生产等活动中对信息资源的开发、获取、传输与处理的一种重要工具。

传感器与自动检测技术是一门随着现代科学技术发展而迅猛发展的综合性技术,广泛应用于人类的社会生产和科学研究中,起着越来越重要的作用。它已成为促进国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要技术。检测的基本任务就是获取有用的信息,它借助专门的仪器、设备,设计合理的实验方法,以及进行必要的信号分析与数据处理,从而获得与被测对象有关的信息,最后将结果提供显示或输入到其他信息处理装置、控制系统中。

## 任务一 测量数据处理

### 一、任务导入

对某一电阻阻值进行等精度测量 10 次,得到的测量数据如下:

$$R_1 = 167.95 \Omega, R_2 = 167.45 \Omega, R_3 = 167.60 \Omega, R_4 = 167.60 \Omega, R_5 = 167.87 \Omega, \\ R_6 = 167.88 \Omega, R_7 = 168.00 \Omega, R_8 = 167.85 \Omega, R_9 = 167.82 \Omega, R_{10} = 167.61 \Omega。$$

假定该测量数据不存在固定的系统误差,计算该电阻阻值。



## 二、相关知识

### 1. 检测及自动检测系统

#### 1) 检测技术的概念与作用

在人类的各项生产活动和科学实验中,为了了解和掌握整个过程的进展,并得到其最后结果,经常需要对各种基本参数或物理量进行检查和测量,从而获得必要的信息,作为分析判断和决策的依据。可以说,检测就是对基本的参数和物理量进行检查和测量,从而获得定性了解和定量掌握的过程,检测技术就是为了对被测对象所包含的信息进行定性了解和定量掌握所采取的一系列技术措施,其主要内容是信息的获取、转换、显示和处理。

检测技术和装置是自动化系统中不可缺少的组成部分。人们为了有目的地进行控制,首先必须通过检测获取有关信息,然后才能进行分析判断,以便实现自动控制。一个自动化系统通常由多个环节组成,分别完成信息获取、信息转换、信息处理、信息传送及信息执行等功能。在实现自动化的过程中,信息的获取与转换是极其重要的组成环节,只有精确及时地将被控对象的各项参数检测出来并转换成易于传送和处理的信号,整个系统才能正常地工作。因此,自动检测与转换是自动化技术中不可缺少的组成部分。

#### 2) 自动检测系统

自动检测系统是指在物理量的测试中,能够自动地按照一定的程序选择测量对象,获得测量数据,并对数据进行分析和处理,最后将结果显示或记录下来的系统。一个完整的检测系统或检测装置通常由传感器、测量电路、显示记录装置、数据处理装置和执行机构等部分组成,分别完成信息获取、转换、显示、处理和等功能。一个开环自动检测系统的组成如图 1-1 中虚线框所示。

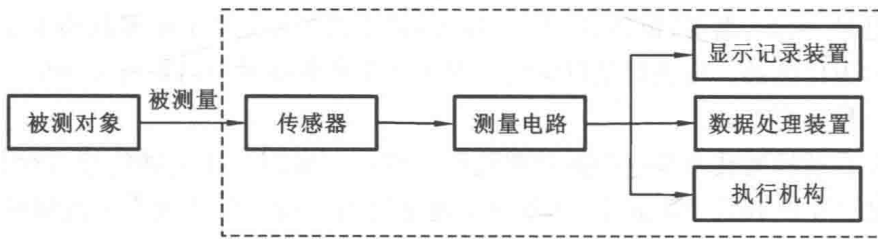


图 1-1 开环自动检测系统的组成

#### (1) 传感器

传感器是把被测量(如物理量、化学量、生物量等)变换为另一种与之有确定对应关系,并且便于测量的量(通常是电学量)的装置。传感器是检测系统与被测对象直接发生联系的部分,它处于被测对象和检测系统的接口位置,构成了信息输入的主要窗口,为检测系统提供必需的原始信息。传感器是整个检测系统最重要的组成部分,检测系统获取信息的质量往往是由传感器的性能一次性确定的。

#### (2) 测量电路

测量电路的作用是将传感器的输出信号转换成易于测量的电压或电流信号。通常传感器输出的信号是微弱的,这就需要经由测量电路加以放大,以满足显示记录装置的要求。根据需要测量电路还能进行阻抗匹配、微分、积分、线性化补偿等信号处理工作。



### (3) 显示记录装置

显示记录装置是检测人员和检测系统联系的主要环节,其主要作用是使人们了解被检测数据的大小或变化的过程。目前常用的有模拟式显示、数字式显示、图像式显示等三种。模拟式显示利用指针与标尺的相对位置来表示被测量数值的大小,如各种指针式电气测量仪表,其特点是读数方便、直观,结构简单,价格低廉,该显示方式在检测系统中一直被大量应用。模拟式显示方式的精度受标尺最小分度限制,而且读数时易引入主观误差。数字式显示直接以十进制数字形式来显示读数,数字式显示仪实际上是专用的数字电压表,它可以附加打印机,打印记录测量数值,并且易于和计算机联机,使数据处理更加方便。数字式显示方式有利于消除读数的主观误差。图像式显示是将输出信号送至记录仪,从而描绘出被测量随时间变化的曲线作为检测结果,常用的自动记录仪器有笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪等。

### (4) 数据处理装置

数据处理装置是用来对测试所得的实验数据进行处理、运算、分析,对动态测试结果做频谱分析、相关分析等的设备,完成这些任务需要采用计算机技术。

### (5) 执行机构

执行机构是运动部件,通常采用电力驱动、气压驱动和液压驱动等几种方式。

## 2. 测量及测量方法

### 1) 测量的定义

测量就是将被测量与同种性质的标准量进行比较,从而获得被测量大小的过程。所以,测量也是以确定被测量的大小或取得测量结果为目的的一系列操作过程。它可用式子表示为

$$y = mx$$

$$m = \frac{y}{x} \quad (1-1)$$

式中: $x$  为被测量值; $y$  为标准量,即测量单位; $m$  为比值(纯数),含有测量误差。

### 2) 测量的方法

能够实现被测量与标准量相比较而获得比值的方法,称为测量方法。

① 根据获得测量值的方法不同,测量可分为直接测量、间接测量和组合测量等三类。

a. 直接测量是在使用仪表或传感器进行测量时,测得值直接与标准量进行比较,不需要经过任何运算,直接得到被测量的数值的测量方法。如电压表测量某一元件的电压就属于直接测量。直接测量的优点是测量过程简单而快速,缺点是测量精度一般不是很高。

b. 间接测量是指在使用仪表或传感器进行测量时,先对与被测量有确定函数关系的几个量进行测量,再将直接测得值代入函数关系式,经过计算得到所需要的结果的测量方法。如要测量一个三角形的面积,必须先测量出一条边长,再测量出对应的高,然后利用公式计算出三角形的面积。显然,间接测量比较复杂,花费时间较长,一般用在直接测量不方便,或者缺乏直接测量手段的场合。但其测量精度一般要比直接测量的高。

c. 组合测量是指在一个测量过程中同时采用直接测量和间接测量两种方法进行测量的测量方法。组合测量是一种特殊的精密测量方法,测量过程长而且复杂,多适用于科学实验或特殊场合。

② 根据测量方式不同,测量可分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量等三类。

a. 偏差式测量是指用仪表指针的位移(即偏差)决定被测量的量值的测量方法。偏差式

测量简单、迅速,但测量结果的精度较低。

b. 零位式测量是指用指零仪表的零位反映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。例如用天平测量物体的质量、用电位差计测量电压等都属于零位式测量。零位式测量的优点是可以获得比较高的测量精度,但测量过程长而且复杂,所以不适用于测量快速变化的信号。

c. 微差式测量是综合偏差式测量与零位式测量的优点的一种测量方法。它是将被测量与已知的标准量进行比较得到差值后,再用偏差法测得该差值的方法。用这种方法测量,不需要调整标准量,而只需测量二者的差值,并且由于标准量误差很小,因此总的测量精度仍然很高。微差式测量的主要优点是反应快、测量精度高,特别适用于在线控制参数的测量。

③ 根据测量条件不同,测量可分为等精度测量和不等精度测量等两类。

a. 等精度测量是指在整个测量过程中,影响和决定误差大小的全部因素(条件)始终保持不变,比如,由同一个测量者,用同一台仪器、同样的测量方法,在相同的环境条件下,对同一被测量进行多次重复测量的测量方法。当然,在实际中极难做到影响和决定误差大小的全部因素(条件)始终保持不变,因此一般情况只能是近似认为是等精度测量。

b. 不等精度测量是指在科学研究或高精度测量中,往往在不同的测量条件下,用不同精度的仪表、不同的测量方法、不同的测量次数,以及不同的测量者进行测量和对比的测量方法。

④ 根据被测量变化快慢,测量可分为静态测量与动态测量等两类。

a. 静态测量是指对在测量过程中被认为固定不变的被测量进行测量的测量方法。静态测量不需要考虑时间因素对测量的影响。

b. 动态测量是指对在测量过程中随时间不断变化的被测量进行测量的测量方法。

另外,根据测量敏感元件是否与被测介质接触,可将测量分为接触式测量与非接触式测量等两类;根据测量系统是否向被测对象施加能量,可将测量分为主动式测量与被动式测量等两类。

### 3. 测量误差及分析

测量的目的是获得被测量的真实值。但是,由于种种原因如测量方法、测量仪表、测量环境等的影响,任何被测量的真实值都无法得到。误差分析与数据处理的目的就是希望通过正确认识误差的性质和来源,正确地处理测量数据,以得到最接近真值的结果。同时合理地制定测量方案,科学地组织试验,正确地选择测量方法和仪器,可以在条件允许的情况下得到最理想的测量结果。

#### 1) 真值

真值,是指在一定的时间及空间(位置或状态)条件下,被测量所体现的真实数值。通常所说的真值可以分为理论真值、约定真值和相对真值等三种。

理论真值又称为绝对真值,是指在严格的条件下,根据一定的理论,按定义确定的数值。例如,三角形的内角和恒为 $180^\circ$ 。一般情况下,理论真值是未知的。

约定真值是指用约定的办法确定的最高基准值,就给定的目的而言,它被认为充分接近于真值,因而可以代替真值来使用。如基准米定义为“光在真空中( $1/299\,792\,458$ ) s 的时间间隔内所经行程的长度”。测量中,修正过的算术平均值也可作为约定真值。

相对真值也叫实际值,是指将测量仪表按精度不同分为若干等级,高等级的测量仪表的测量值即为相对真值。例如,标准压力表所指示的压力值相对于普通压力表的指示值而言,即可



认为是被测压力的相对真值。通常,高一级测量仪表的误差若为低一级测量仪表的  $1/3$  到  $1/10$ ,即可认为前者的示值是后者的相对真值。相对真值在误差测量中的应用最为广泛。

## 2) 测量误差及其表示方法

测量结果与被测量真值之差称为测量误差。在实际测试中真值无法确定,因此常用约定真值或相对真值代替真值来确定测量误差。测量误差可以用以下几种方法表示。

### (1) 绝对误差

绝对误差是指被测量的测量值与被测量的真值之间的差值,即

$$\Delta = x - A_0 \quad (1-2)$$

式中: $\Delta$  为绝对误差; $A_0$  为真值,其可为相对真值或约定真值; $x$  为测量值。

绝对误差  $\Delta$  说明了系统示值偏离真值的大小,其值可正可负,具有和被测量相同的量纲。由于一般无法求得真值  $A_0$ ,在实际应用时常用精度高一级的标准器具的示值,即相对真值  $A$  代替真值  $A_0$ 。 $x$  与  $A$  之差称为测量器具的示值误差,记为

$$\Delta = x - A \quad (1-3)$$

采用绝对误差(示值误差)表示测量误差,可以比较客观地反映测量的准确性。

### (2) 相对误差

相对误差是绝对误差与被测量(约定)真值的百分比值。在实际测量中,相对误差有实际相对误差、示值相对误差和满度(引用)相对误差等三种。

①实际相对误差  $\gamma_A$ 。实际相对误差  $\gamma_A$  用绝对误差  $\Delta$  与约定真值  $A$  的百分比表示,即

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (1-4)$$

②示值相对误差  $\gamma_x$ 。示值相对误差  $\gamma_x$  用绝对误差  $\Delta$  与示值  $x$  的百分比表示,即

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{x} \times 100\% \quad (1-5)$$

通常,用绝对误差来评价相同被测量测量精度的高低,用相对误差来评价不同被测量测量精度的高低。

**例 1** 用两种方法测量质量为  $x_0 = 50$  kg 的物体,其绝对误差分别为  $\Delta_1 = \pm 0.1$  kg 和  $\Delta_2 = \pm 0.2$  kg,若用第三种方法测量一质量为  $y_0 = 10$  kg 的物体,其绝对误差为  $\Delta_3 = \pm 0.1$  kg,判断三种测量方法的精度高低。

**解** 因为被测量不同,为判断测量的精度,计算三者的示值相对误差分别为:

$$\gamma_{x_1} = \frac{\Delta_1}{x_0} \times 100\% = \pm \frac{0.1}{50} \times 100\% = \pm 0.2\%$$

$$\gamma_{x_2} = \frac{\Delta_2}{x_0} \times 100\% = \pm \frac{0.2}{50} \times 100\% = \pm 0.4\%$$

$$\gamma_{x_3} = \frac{\Delta_3}{y_0} \times 100\% = \pm \frac{0.1}{10} \times 100\% = \pm 1\%$$

显然,测量方法中第一种方法最好,第二种次之,第三种最差。

### (3) 引用误差 $\gamma_m$

相对误差可以评价不同被测量的测量精度,却不能用来评价不同仪表的质量。因为同一仪表在整个测量范围内的相对误差不是定值,由相对误差的定义可知,在绝对误差相同的情况下,随着被测量的减小,相对误差逐渐增大。为合理地评价仪表的测量质量,引入引用误差的

概念。引用误差  $\gamma_m$  用绝对误差  $\Delta$  与仪表满量程值  $A_m$  的百分比表示,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

在测量领域,检测仪器的精度等级是由引用误差大小划分的。通常用最大引用误差去掉正负号和百分号后的数字来表示精度等级,精度等级用符号  $G$  表示。检测仪器的精度等级由生产厂商根据其最大引用误差的大小,并以“选大不选小”的原则就近套用国家相关标准规定的精度等级得到。由于对于同一等级的检测仪器,其绝对误差随满量程值的增大而增大,为提高测量的精确度,被测量测量时,通常应与仪表的量程相当,即被测量的值一般应在满量程的  $2/3$  以上。

**例 2** 一个电压表,其满量程为  $100\text{ V}$ ,检验时其最大绝对误差为  $0.16\text{ V}$ ,试确定该仪表精度等级。

**解** 根据题意得

$$\Delta_m = 0.16\text{ V}, \quad A_m = 100\text{ V}$$

代入式(1-6),则

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% = \frac{0.16}{100} \times 100\% = 0.16\%$$

该电压表的最大引用误差介于  $0.1\%$  与  $0.2\%$  之间,因此该表的精度等级为  $0.2$  级。

### 3) 测量误差分类

为了便于误差的分析和处理,可以按误差的规律性将其分为三类,即系统误差、随机误差和粗大误差。

#### (1) 系统误差

在相同的条件下,对同一物理量进行多次测量,如果误差按照一定规律出现,则把这种误差称为系统误差,简称系差。系统误差可分为定值系统误差(简称定值系差)和变值系统误差(简称变值系差)等两种。数值和符号都保持不变的系统误差称为定值系差。数值和符号均按照一定规律变化的系统误差称为变值系差。变值系差按其变化规律又可分为线性系统误差、周期性系统误差和按复杂规律变化的系统误差等三种。如图 1-2 所示,曲线 1 为定值系差,曲线 2 为线性系统误差,曲线 3 为周期性系统误差,曲线 4 为按复杂规律变化的系统误差。

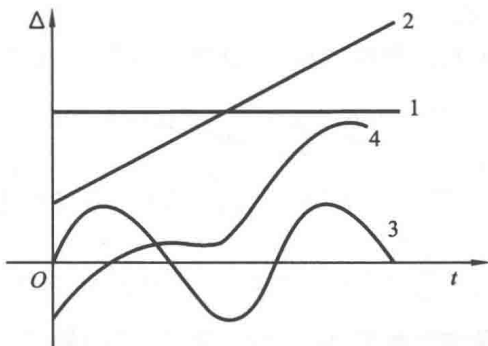


图 1-2 系统误差示意图

系统误差的来源包括仪表制造、安装或使用方法不正确,测量设备的基本误差、读数方法不正确以及环境误差等。系统误差是一种有规律的误差,故可以通过理论分析、采用修正值或



补偿校正等方法来减小或消除。

### (2) 随机误差

在相同条件下,以不可预知的方式变化的测量误差称为随机误差。在一定测量条件下对同一值进行大量重复测量,所得总体随机误差满足统计规律,即具有有界性、对称性、抵偿性、单峰性等。因此,可以分析和估算误差值的变动范围,并通过取平均值的办法来减小对测量结果的影响。

随机误差  $\delta_i$  的表达式为

$$\delta_i = x_i - \bar{x} \quad (1-7)$$

式中:  $x_i$  为被测量的某个测量值;  $\bar{x}$  为重复性条件下多次测量值的平均值,即

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} \quad (1-8)$$

随机误差表征测量的精密性,理论上,随着测量次数的增加,随机误差  $\delta_i$  将逐渐减小,但不能通过实验的办法消除。

### (3) 粗大误差

超出在规定条件下预期的误差称为粗大误差,粗大误差又称疏忽误差。粗大误差一般是由于操作人员粗心大意、操作不当或实验条件没有达到预定要求就进行实验等造成的。如读错、测错、记错数值、使用有缺陷的测量仪表等。在数据处理时,要采用的测量值不应该包含有粗大误差,即所有的坏值都应当剔除,所以进行误差分析时,要估计的误差只有系统误差和随机误差两类。

#### 4) 测量误差处理

在实际测量工作中,所测得的数据并不一定十分理想。为了能得到较精确的测量结果,应对多次测量的数据进行分析与处理。测量结果的数据处理可以按照下列步骤进行。

① 将一系列等精度测量的数据  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$  按先后顺序列成表格(在测量时尽可能消除系统误差)。

② 求出测量数据  $x_i$  的算术平均值  $\bar{x}$ 。

③ 计算各测量值的残余误差  $V_i (V_i = x_i - \bar{x})$ 。

④ 检查  $\sum_{i=1}^n V_i = 0$  的条件是否满足,若不满足,说明计算有错误,需再计算。

⑤ 利用公式  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}}$  求出均方根误差  $\sigma$ 。

⑥ 判别是否存在粗大误差(即是否有  $|V_i| > 3\sigma$ ),若有,应舍去此数,然后从步骤②开始重新计算。

⑦ 利用公式  $\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ , 求出算术平均值的标准差  $\bar{\sigma}$ 。

⑧ 写出测量结果  $x = \bar{x} \pm 3\bar{\sigma}$ , 注明置信概率 99.7%。

## 三、任务实施

将所测得的数据按照下列步骤进行处理。





① 按测量数值的顺序,列出测量值  $x_i$ 、残余误差  $V_i$ ,计算平均值  $\bar{x}$  及残余误差  $V_i$ 之和,形成测量数据表,如表 1-1 所示。

表 1-1 测量数据表

序 号	$x_i/\Omega$	$V_i/\Omega$
1	167.95	0.187
2	167.45	-0.313
3	167.60	-0.163
4	167.60	-0.163
5	167.87	0.107
6	167.88	0.108
7	168.00	0.237
8	167.85	0.087
9	167.82	0.057
10	167.61	-0.153
计算结果	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{10} = 167.763$	$\sum_{i=1}^{10} V_i = -0.009$

② 检查  $\sum_{i=1}^n V_i = 0$  的条件是否满足,  $\sum_{i=1}^{10} V_i = -0.009 \approx 0$ , 上述计算正确。

③ 计算均方根误差,  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.299\ 585}{9}} \Omega \approx 0.182\ 4 \Omega$ 。

④ 计算极限误差,  $3\sigma = 0.547\ 3 \Omega$ , 经检查,未发现有  $|V_i| > 3\sigma$ , 故 10 个测量值无粗大误差。

⑤ 计算算术平均值的标准差,  $\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.182\ 4}{\sqrt{10}} \Omega \approx 0.057\ 7 \Omega$ 。

⑥ 写出最后的测量结果,  $x = \bar{x} \pm 3\bar{\sigma} = (167.763 \pm 0.173) \Omega$  (置信概率 99.7%)。

### 四、知识拓展

#### 1. 测量误差的判定与校正

测量数据总是存在误差的,而误差又包含着各种因素产生的分量,如系统误差、随机误差、粗大误差等。它们的性质不同,对测量结果的影响及处理方法也不同。对测量数据进行分析时,首先要判断测量数据中是否存在粗大误差,如果有,则必须加以剔除;再看数据中是否存在系统误差,对系统误差设法消除或加以修正;对排除了粗大误差和系统误差的测量数据,再针对随机误差进行处理。



### 1) 随机误差及其处理

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,测量数据仍有不稳定的现象,则说明存在随机误差。随机误差与系统误差的来源和性质不同,处理的方法也不同。由于随机误差是由一系列随机因素引起的,因而随机变量可以用来表达随机误差的取值范围及概率。实践和理论证明,大量的随机误差服从正态分布规律。当测量次数很多时,算术平均值趋于真实值,也就是说,算术平均值受随机误差影响比单次测量所受影响小,且测量次数越多,影响越小。因此,可以用多次测量的算术平均值代替真实值,并称为最可信数值。

### 2) 系统误差的发现

由于系统误差对测量精度的影响较大,必须消除系统误差的影响才能有效地提高测量精度。下面介绍几种发现系统误差的方法。

#### (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,一台仪器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) 残差观察法

当与随机误差相比,系统误差较大时,通过观察测量数据的各个残余误差大小和符号的变化规律来判断有无变值系统误差。若残余误差数值有规律地递增或递减,且残余误差序列减去其中值后的新数列在以中值为原点的数轴上呈正负对称分布,则说明测量存在累进性的线性系统误差。如果发现残余误差序列呈有规律交替重复变化,则说明测量存在周期性系统误差。

#### (3) 准则判断法

当系统误差比随机误差小或相当时,通过观察不能发现系统误差,而必须通过专门的判断准则才能发现和确定系统误差。通过现有的相关准则进行理论计算,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;阿贝-赫梅特准则,适用于判别数据中是否存在周期性系统误差。

### 3) 系统误差的校正

#### (1) 采用修正值

定值系统误差可以采取修正措施,即采用加修正值的方法来校正。

#### (2) 从产生根源消除

为减小系统误差的影响,应该从测试系统的设计入手,选用合适的测量方法以避免方法误差;选择最佳的测量仪表与合理的装配工艺,以减小工具误差;选择合适的测量环境以减小环境误差。此外,还需定期地检查、维修和校正测量仪器以保证测量的精度。

#### (3) 补偿法

在传感器的结构设计中,常选用在同一干扰变量作用下所产生的误差数值相等而符号相反的零部件或元器件作为补偿元件,例如,热电偶冷端温度补偿器的铜电阻。

## 2. 测量结果的表示方法

常用的测量数据的表示方法有表格法、图示法和经验公式法等三种。





### 1) 表格法

表格法是根据测试的目的和要求,将测量数据制成表格,然后再进行其他的处理的方法。表格法显示了各变量间的对应关系,反映出变量之间的变化规律,是进一步处理数据的基础。表格法具有简单、方便,易于参考比较和发现问题等优点。但要进行深入的分析,表格法就不适宜了,因为表格法不够直观,不易看出数据变化的趋势。

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式,有时还应加以说明。

### 2) 图示法

图示法是用曲线或图形表示数据之间关系的方法,从图形中能直观地反映出数据变化的趋势,如递增性或递减性,是否具有周期性变化规律等。在图上做进一步处理可以获得更多信息,如最大值、最小值,做出切线,求出曲线下包围的面积等。图示法的缺点是不能进行数学分析。

### 3) 经验公式法

用与图形相对应的数学公式来描述变量之间的关系的方法称为经验公式法,这个公式不可能完全准确地表达全部数据。因此,常把与曲线对应的公式称为经验公式,即回归分析中的回归方程。将测量数据用一个公式来代替,不仅简明扼要,而且可以对公式进行必要的数学运算,以研究各自变量与函数之间的关系。所建立的公式能否正确地表达测量数据,很大程度上取决于测量人员的经验和判断能力。

## 任务二 传感器的基础知识

### 一、任务导入

要实时监测一个加热炉的温度:测量温度范围为 $50\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,检测结果的精度要求达到 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。现有3种带数字显示表的温度传感器,它们的量程分别是 $0\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $0\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,精度等级分别是0.2级、0.5级、1.0级,为了满足测量需要,请选择合适的传感器。

### 二、相关知识

#### 1. 传感器的定义、组成与分类

##### 1) 传感器的定义

传感器是指能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置,传感器又称为敏感元件、检测器件、转换器件等。传感器的基本功能是检测信号和进行信号转换。传感器总是处于测试系统的最前端,用来获取检测信息,其性能的好坏将直接影响整个测试系统,对测量精度起着决定性作用。传感器的输出量通常是电信号,它便于传输、转换、处理、显示等。电信号有很多形式,如电压、电流、电荷等,输出信号的形式通常由传感器的原理确定。

##### 2) 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、信号调理转换电路三部分组成,有时还需外加辅助电