



高职高专“十二五”规划教材·机械电子类

# 自动检测技术

李俊婷 主编

ZIDONGJIANCEJISHU



中国海洋大学出版社

高职高专“十二五”规划教材·机械电子类

# 自动检测技术

主 编 李俊婷  
副主编 张金红 王丽佳

中国海洋大学出版社  
·青 岛·

## 内 容 简 介

本书根据我国当前工业生产的实际现状,结合大量的应用实例,介绍温度、压力、流量、物位、位移和速度等参数的检测方法。

本书根据高职高专的教育特点,精选教学内容,叙述简练、灵活应用,注重技能型人才能力的培养,把立足点放到工程技术应用上,且注重新技术、新成果的应用。采用任务驱动的教学方式,突出传感器的单项和综合应用内容,以加强对传感器实际应用能力的培养和提高。

本书可作为高职高专电气自动化技术、计算机控制技术、生产过程自动化技术、应用电子技术和机电一体化等相关专业的教材,也可供相关专业师生和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术/李俊婷主编. —青岛:中国海洋大学出版社,  
2011.4

ISBN 978-7-81125-663-5

I. ①自… II. ①李… 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(2011)第 038262 号

出版发行 中国海洋大学出版社

社 址 青岛市香港东路 23 号

邮政编码 266071

网 址 <http://www.ouc-press.com>

电子信箱 [bjzhangxf@126.com](mailto:bjzhangxf@126.com)

责任编辑 魏建功

印 制 北京天正元印务有限公司

版 次 2011 年 4 月第 1 版

印 次 2011 年 4 月第 1 次印刷

印 数 1-3000 册

成品尺寸 185mm×260mm 1/16

印 张 13.25

字 数 310 千字

定 价 29.00 元

# 前 言

随着我国现代工业生产的飞速发展，自动检测技术的应用日新月异，自动检测技术成为工业生产过程中不可缺少的一环。通过自动检测，可以了解生产过程是否符合工艺规程规定，是否达到了预定的质量、安全及技术指标，从而根据检测结果，通过控制系统，对生产过程予以正确的调整。因此自动检测是监视生产过程的“耳目”，也是实现生产过程自动化的基础。

高等职业教育作为高等教育发展中的一个类型，肩负着培养面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才的使命。为突出职业能力培养，本书采用任务驱动的教学方式，学习目标明确，力图使学生学习完该课程后，即能获取到与从事自动检测技术岗位的生产一线技术人员相一致的基本知识和技能。在教学内容的选取上，考虑到高职高专教育对象的实际水平，重点选取生产过程中温度、压力、流量、物位、位移和速度等常用参数的检测方法，同时兼顾新型传感器的应用，以及传感器的综合应用，突出了高职高专教材的实用性。

本书由李俊婷任主编，张金红、王丽佳任副主编。

由于编者水平所限，书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正，以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议，恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

# 目 录

单元 1 认识传感器与检测技术	1	任务 2.4 接触式温度检测装置的安装	41
任务 1.1 认识检测技术	1	2.4.1 热电偶或热电阻在管道 (设备)上的安装	41
1.1.1 检测技术的地位与作用	1	2.4.2 连接导线与补偿导线 的安装	43
1.1.2 检测系统的基本组成	2	任务 2.5 红外传感器测温度	44
任务 1.2 测量误差的分析与处理	2	2.5.1 红外检测的物理基础	44
1.2.1 测量与测量方法	3	2.5.2 红外测温仪	45
1.2.2 测量误差及其表示方法	4	2.5.3 红外测温仪的选用	46
1.2.3 测量误差的分类	5	思考与练习	46
1.2.4 测量误差的分析与处理	5	单元 3 压力检测	47
1.2.5 任务实施	8	任务 3.1 了解压力检测的主要方法	47
任务 1.3 认识传感器	10	3.1.1 压力的概念及单位	47
1.3.1 传感器的组成及其分类	11	3.1.2 压力的表示方法	48
1.3.2 传感器的特性	12	3.1.3 压力检测的主要方法	48
1.3.3 传感器的标定	16	任务 3.2 弹性式压力表测压力	49
1.3.4 传感器的选用	17	3.2.1 弹性元件	49
1.3.5 任务实施	18	3.2.2 弹簧管压力表	50
思考与练习	18	3.3.3 电接点压力表	51
单元 2 温度检测	19	3.3.4 弹性式压力表的安装 与使用	52
任务 2.1 了解温度检测的主要方法	19	任务 3.3 应变式传感器测压力	53
2.1.1 温标	19	3.3.1 电阻应变片的种类与结构	53
2.1.2 温度检测的主要方法	20	3.3.2 电阻的应变效应	53
2.1.3 温度检测仪表的选用	21	3.3.3 测量电路	55
任务 2.2 热电偶传感器测温度	21	3.3.4 电阻应变片的选择、粘贴	57
2.2.1 热电偶的结构	22	3.3.5 温度误差及补偿	58
2.2.2 热电偶的种类	24	3.3.6 应变式传感器的应用	60
2.2.3 热电偶测温原理	25	3.3.7 任务实施	64
2.2.4 热电偶的基本定律	28	任务 3.4 压阻式传感器测压力	66
2.2.5 热电偶冷端温度补偿	28	3.4.1 压阻效应	67
2.2.6 常用热电偶测温线路	31	3.4.2 压阻式压力传感器的结构	68
2.2.7 任务实施	33	3.4.3 压阻式传感器的供电电路	69
任务 2.3 热电阻传感器测温度	34	任务 3.5 电容式传感器测压力	70
2.3.1 金属热电阻测温	34		
2.3.2 半导体热敏电阻测温	38		
2.3.3 任务实施	40		

3.5.1 电容式传感器的工作原理	70	4.3.5 容积式流量计的特性 及使用	112
3.5.2 测量电路	73	任务 4.4 速度式流量计测流量	113
3.5.3 电容式传感器测压力	76	4.4.1 涡轮流量计	113
任务 3.6 电感式传感器测压力	77	4.4.2 涡街流量计	115
3.6.1 自感式传感器	77	4.4.3 电磁流量计	118
3.6.2 差动变压器式传感器	81	4.4.4 超声波流量计	120
3.6.3 电感式传感器测压力	83	4.4.5 转子流量计	122
任务 3.7 霍尔式传感器测压力	84	任务 4.5 流量检测仪表的选用	124
3.7.1 工作原理	84	4.5.1 流量测量仪表的选用	124
3.7.2 霍尔元件及主要特性参数	86	4.5.2 各种流量计的特点	125
3.7.3 霍尔元件的测量电路及 误差补偿	87	思考与练习	126
3.7.4 霍尔传感器测压力	90	<b>单元 5 物位检测</b>	127
任务 3.8 压电式传感器测压力	91	任务 5.1 了解物位检测的主要方法	127
3.8.1 压电效应	91	5.1.1 物位检测的一般概念	127
3.8.2 压电材料	92	5.1.2 物位检测的工艺特点和 主要问题	128
3.8.3 测量电路	95	5.1.3 物位检测的主要方法	128
3.8.4 压电式传感器测压力	97	任务 5.2 直读式液位计测液位	128
3.8.5 压电式传感器的其他应 用	98	任务 5.3 浮力式液位计测液位	129
思考与练习	100	5.3.1 恒浮力式液位计	130
<b>单元 4 流量检测</b>	101	5.3.2 变浮力式液位计	132
任务 4.1 了解流量检测的主要方法	101	任务 5.4 静压式液位计测液位	133
4.1.1 流量及其表示方法	101	5.4.1 差压式变送器工作原理	134
4.1.2 流量检测的主要方法	102	5.4.2 差压式液位变送器的 零点迁移	134
任务 4.2 差压式流量计测流量	102	5.4.3 法兰式差压(压力)变送器 测量液位	135
4.2.1 工作原理	102	5.4.4 静压式液位计的特点 及选型	136
4.2.2 标准节流装置	103	任务 5.5 电容式传感器测物位	136
4.2.3 标准节流装置的使用条件 与管道条件	105	5.5.1 电容式传感器测物位原理	136
4.2.4 差压计	106	5.5.2 电容式传感器测物位	137
4.2.5 差压式流量计的安装 及使用	107	任务 5.6 超声波传感器测物位	139
任务 4.3 容积式流量计测流量	110	5.6.1 超声波的特性	140
4.3.1 椭圆齿轮流量计	110	5.6.2 超声波传感器	140
4.3.2 腰轮流量计	111	5.6.3 超声波传感器测物位	141
4.3.3 旋转活塞式流量计	111	思考与练习	143
4.3.4 刮板流量计	112		

<b>单元 6 位移检测</b> .....	144	7.2.2 接近开关的特点、种类 .....	180
任务 6.1 了解位移检测的主要方法.....	144	7.2.3 接近开关的主要特性 .....	181
任务 6.2 电位器式传感器测位移.....	144	7.2.4 电容式接近开关 .....	182
6.2.1 电位器的结构、类型 .....	145	7.2.5 电感式接近开关 .....	182
6.2.2 电位器式传感器测位移 .....	146	7.2.6 接近开关的选型与应用 .....	183
任务 6.3 电涡流传感器测位移.....	147	7.2.7 电涡流式接近开关应 用实例 .....	184
6.3.1 电涡流传感器的工作原理 .....	148	思考与练习 .....	185
6.3.2 电涡流传感器的结构 .....	148	<b>单元 8 传感器的综合应用</b> .....	186
6.3.3 测量电路 .....	149	任务 8.1 传感器在高炉炼铁生 产中的应用.....	186
6.3.4 电涡流传感器测位移 .....	150	8.1.1 高炉本体检测和控制 .....	186
6.3.5 电涡流传感器的其他应用 .....	151	8.1.2 送风系统检测和控制 .....	188
任务 6.4 光纤传感器测位移.....	152	8.1.3 热风炉煤气燃烧自动控制 .....	188
6.4.1 光纤的结构及种类 .....	152	任务 8.2 传感器在智能楼宇中的应用.....	190
6.4.2 光纤的传光原理 .....	153	8.2.1 空调系统的监控 .....	191
6.4.3 光纤传感器的结构、特点 及种类 .....	155	8.2.2 给排水系统 .....	192
6.4.4 功能型光纤传感器测位移 .....	156	8.2.3 供配电与照明系统监控 .....	193
6.4.5 非功能型光纤传感器测 位移 .....	158	8.2.4 火灾监视、控制系统 .....	193
6.4.6 光纤传感器的其他应用 .....	162	8.2.5 门禁、防盗系统 .....	193
思考与练习 .....	165	8.2.6 停车监控系统 .....	194
<b>单元 7 速度、位置检测</b> .....	166	8.2.7 电梯运行管理 .....	194
任务 7.1 光电式传感器测转速.....	166	任务 8.3 传感器在家用电器中的应用.....	198
7.1.1 光电效应 .....	166	8.3.1 传感器在电冰箱中的应用 .....	198
7.1.2 光电器件 .....	167	8.3.2 传感器在洗衣机中的应用 .....	201
7.1.3 常用光电传感器 .....	174	8.3.3 传感器在燃气热水器 中的应用 .....	202
7.1.4 光电传感器测转速 .....	178	思考与练习 .....	203
任务 7.2 接近开关位置检测.....	179	<b>参考文献</b> .....	204
7.2.1 接近开关的概念 .....	179		

# 单元 1 认识传感器与检测技术

## 能力目标

- 能对测量数据进行分析整理。
- 能根据实际情况选择合适的传感器。

## 知识点

- 测量误差的概念及表示方法。
- 测量误差的分析与处理方法。
- 传感器的定义及组成。
- 传感器的静态特性、动态特性。
- 传感器的选用原则。

## 任务 1.1 认识检测技术

检测技术是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性地了解 and 定量掌握所采取的一系列技术措施。在信息社会的一切活动领域中，从日常生活、生产活动到科学实验，时时处处都离不开检测技术。现代化的检测手段在很大程度上决定了生产、科学技术的发展水平，而科学技术的发展又为检测技术提供了新的理论基础和制造工艺，同时对检测技术提出了更高的要求。

### 1.1.1 检测技术的地位与作用

检测技术是现代化领域中很有发展前途的技术，在国民经济中起着极其重要的作用。

检测技术在设备安全经济运行和监测中得到了越来越广泛的应用。例如，电力、冶金、石油、化工、机械等行业的一些大型设备，通常都在高温、高压、高速、大功率状态下运行，保证这些关键设备安全运行非常重要。为此，通常设置故障监测系统以对温度、压力、流量、转速、振动、噪声等多种参数进行长期动态监测，以便及时发现异常情况，加强故障预防，达到早期诊断的目的。这样做可以避免严重的突发事件，保证设备和人员安全，提高经济效益。随着计算机技术的发展，这类监测系统已经发展到故障自诊断系统。故障自诊断系统可以采用计算机来处理检测信息，进行分析、判断，及时诊断出设备故障并自动报警或采取相应的对策。

检测技术也是生产过程自动化系统中不可缺少的组成部分。通过检测系统可以了解生产过程是否符合工艺规程规定，是否达到了预定的质量及技术经济指标，从而根据检测结果，通过控制系统，对生产过程予以正确的调整。因此，检测系统是监视生产过程的“耳目”，也是实现生产过程自动化的基础。

简单的自动控制系统方框图如图1-1所示。检测装置感受被控量的大小，变换成控制器

所需要的信号形式(如电信号)。将该信号送给控制器并与给定值进行比较,控制器根据比较的结果发出控制信号去控制执行器的动作,实现对被控对象的控制,使被控量满足控制要求。

由此可见,在自动控制系统中,检测系统的作用是信息的提取、信息的转换及处理,是整个系统的基础。如果它们性能不佳,就难以确保整个系统性能优良。

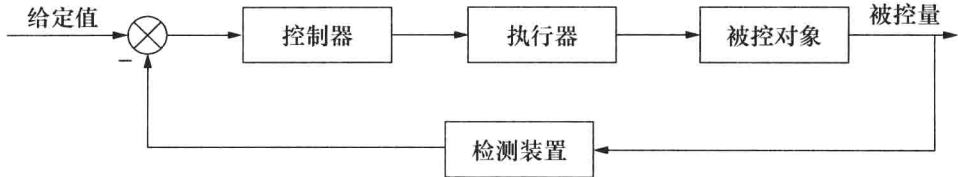


图 1-1 自动控制系统方框图

### 1.1.2 检测系统的基本组成

一个完整的检测系统一般由传感器、信号处理电路、显示记录装置等几部分组成,分别完成信息的获取、转换、显示和处理等功能。当然,其中还包括电源和传输通道等不可缺少的部分。如图1-2所示为检测系统组成图。



图 1-2 检测系统组成图

传感器是感受被测量的大小并输出信号的器件或装置。传感器是检测系统与被测对象直接发生联系的部件,是检测系统最重要的环节。检测系统获取的信息的质量往往是由传感器的性能决定的。因为检测系统的其他环节无法添加新的检测信息,而且不易消除传感器所引入的误差。

信号传输装置用来传输信号。但测量系统的几个功能环节独立地分割开时,则必须由一个地方向另一个地方传输信号,信号传输环节就是用来完成这种传输功能的。

信号处理装置是将传感器输出信号进行处理或变换,如对信号进行放大、运算、线性化、数/模或模/数转换,将其变成另一种形式的信号或变成某种标准化的统一信号,使输出信号便于显示、记录。信号处理装置既可用于自动控制系统,也可与计算机系统联接,以便对测量信号进行信息处理。

信号显示记录装置是将被测量信息变成人感官能接受的形式,以达到监视、控制或分析的目的。测量结果可以采用模拟显示,也可采用数字显示,也可以由记录装置进行自动记录或由打印机将数据打印出来。

## 任务 1.2 测量误差的分析与处理

测量是检测技术的主要组成部分,测量得到的是定量的结果。人类生产力的发展促进了测量技术的进步,现代社会要求测量必须达到一定的准确度,误差要小,速度要快,可靠性要高,测量的方法也日新月异。

## 1.2.1 测量与测量方法

### 1.2.1.1 测量的基本概念

测量实际上是一个比较的过程,即将被测量与同性质的标准量(测量单位)进行比较,确定出被测量是标准量多少倍的过程。测量所得倍数就是被测量值,可用数字和单位表示出来。

若要测量被测量 $X$ ,先选定测量单位 $X_0$ ,然后求出两者的比值 $A = X/X_0$ ,被测量就可表示为

$$X = AX_0 \quad (1-1)$$

因此,要进行测量,首先要确定一个测量的标准,也就是所谓的测量单位。

由上可见,测量实际上是一个比较的过程。测量的结果应包含两部分:一部分是一个数值的符号(正或负)和大小,另一部分是测量单位。没有测量单位,测量结果是没有意义的。

### 1.2.1.2 测量方法

对于测量方法,从不同角度,有不同的分类方法。

#### 1. 按测量过程的特点分类

##### (1) 直接测量法。

在使用仪表或传感器进行测量时,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的测量方法称为直接测量。以下几种常用的测量方法都属于直接测量。

1) 直接比较法。直接比较法即将被测量直接与已知其值的同类量进行比较,从而求出被测量的测量方法。

直接比较测量法所使用的测量工具一般是直读指示式仪表,如标度尺、玻璃温度计、电流表和电压表等。测量仪表已预先用标准量具进行了分度和校准。测量过程中,测量人员根据被测量对应于仪表上的刻度,读出其指示值,再乘以测量仪器的常数或倍率,即可完成对被测量的测量。

显然,这种测量方法的测量过程非常简单、方便,实际工作中广泛使用。

2) 零位法。通过调整一个或几个已知其值的量使之与被测量达到平衡,从而确定被测量的测量方法,也称为平衡测量法或补偿测量法,如天平。

优点是可获得较高的精确度;缺点是测量中需进行平衡操作,测量过程较复杂。这种测量方法在工程参数测量和实验室测量中应用很普遍。

3) 微差法。微差法是将被测量和与其量值只有微小差别的已知量进行比较,测出这两个量值间的差值,从而确定被测量的测量方法。

优点是当已知量的精确度很高,而其值又很接近被测量时,用较低精度的测量仪表,也能得到高精度的测量结果。应用这种方法测量时,不需要调整标准量,而只需测量两者的差值。

由于微差法具有上述优点,所以获得了极广泛的应用。例如,在计算机控制的连续轧钢生产线上,为了保证钢板厚度的均匀,将板厚的设定值取为已知的标准量,用X射线测厚仪来测量实际的板厚与设定值的偏差,并将检测结果输入计算机,由计算机据此发出相应的调整命令。

##### (2) 间接测量法。

先对一个或几个与被测量有确定函数关系的量进行直接测量,然后通过代表该函数关

系的公式、曲线或表格求得被测量，这类测量方法就称为间接测量。

一般来说，间接测量法需要测量的量较多，因此测量和计算的工作量较大，引起误差的因素也较多。通常在采用直接测量法很不方便，或误差较大，或缺乏直接测量仪器时，才使用间接测量法。

## 2. 按测量的精度因素分类

(1) 等精度测量法。用相同仪表与测量方法对同一被测量进行多次重复测量，称为等精度测量。

(2) 非等精度测量法。用不同精度的仪表或不同的测量方法，或在环境条件相差很大时对同一被测量进行多次重复测量称为非等精度测量。

## 3. 按测量仪表的特点分类

(1) 接触测量法。传感器直接与被测对象接触，承受被测参数的作用，感受其变化，从而获得信号，并测量其信号大小的方法。

(2) 非接触测量法。传感器不与被测对象直接接触，而是间接承受被测参数的作用，感受其变化，从而获得信号，并测量其信号大小的方法。

## 4. 按测量对象的特点分类

(1) 静态测量法。静态测量是指被测对象处于稳定情况下的测量，此时被测对象不随时间变化，故又称稳态测量。

(2) 动态测量法。动态测量是指被测对象处于不稳定情况下进行的测量，此时被测对象随时间变化，因此，这种测量必须在瞬间完成，才能得到动态参数的测量结果。

# 1.2.2 测量误差及其表示方法

## 1.2.2.1 误差的基本概念

要取得任何一个量的值，都必须通过测量来完成。但实际上，任何测量方法测出的数值都不可能是绝对准确的，即总是存在所谓的误差。

任何一个量的绝对准确值只是一个理论概念，指严格定义的一个量的理论值，称为真值。真值在实际中永远也无法测量出来，因此为了达到使用的目的，通常用约定真值来代替真值。所谓约定真值，就是与真值的差可以忽略而可以代替真值的值。

在实际中，用测量仪表对被测量进行测量时，测量的结果与被测量的约定真值之间的差称为误差。

## 1.2.2.2 测量误差的表示方法

### 1. 绝对误差

绝对误差就是测量结果减去被测量的约定真值所得的差值，即

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1-2)$$

式中  $\Delta X$ ——绝对误差；

$X$ ——测量结果，也称测量值或示值；

$X_0$ ——约定真值。

### 2. 相对误差

只用绝对误差来表示测量误差，不能很好地说明测量质量的好坏，因为对于同一绝对误差来说，测量的真实值越大，测量精度越高，故引入了相对误差。相对误差就是绝对误

差除以被测量的约定真值，并用百分数表示，即

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

### 3. 引用误差

任何测量仪表都存在误差，但是不同的仪表，由于其制造精度的不同，在测量同一个被测量时，误差就不尽相同。那么如何来衡量不同仪表的测量误差呢？

相对误差比较全面地表征了测量的精度，但它与被测量数值的大小有关，在一个仪表的整个测量范围内并不是一个定值。因此，选用仪表在其极限测量值时的相对误差这一定值来对不同仪表的测量精度进行比较，这一定值就是所谓的引用误差，它等于绝对误差除以仪表的量程，并用百分数表示，即

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\% = \frac{\Delta X}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中  $X_m$ ——仪表的量程；

$X_{\max}$ ——仪表量程的上限值；

$X_{\min}$ ——仪表量程的下限值。

## 1.2.3 测量误差的分类

根据测量数据中误差所呈现的规律，误差可分为3种，即系统误差、随机误差和粗大误差。

(1) 系统误差。在相同条件下，对同一被测量进行多次等精度测量时，由于测量仪表不准确、测试方法不完善、或环境因素的影响等，造成各次测量值之间存在一定差异，但各次测量误差保持为常数或按一定规律变化。这种测量误差就称为系统误差。

(2) 随机误差。在相同条件下，对同一被测量进行多次等精度测量时，由于各种随机因素(如温度、湿度、电源电压等时刻不停地在其平均值附近波动)的影响，各次测量值之间存在一定差异，这种误差就是随机误差。

(3) 粗大误差。在相同条件下，对同一被测量进行多次等精度测量时，有个别测量结果的误差远远大于规定条件下的预计值，这类误差一般是由于测量者粗心大意(如错读、错记、错算等)或测量仪表突然出现故障等造成的，故称之为粗大误差。

## 1.2.4 测量误差的分析与处理

### 1.2.4.1 随机误差的分析处理

(1) 随机误差的统计特性。

随机误差就单次测量而言是无规律的，其大小、方向均不可预知，既不能用实验的方法消除，也不能修正，但当测量次数无限增加时，该测量列中的各个测量误差出现的概率密度分布服从正态分布。其正态分布曲线如图1-3所示， $\delta$ 为随机误差， $f(\delta)$ 为随机误差出现的概率，具有如下特点：

1) 对称性。绝对值相等的正负误差出现的概率相同。

2) 单峰性。绝对值大的误差出现的概率小，绝对值小的误差出现的概率大，而误差为零出现的概率最大。

3) 有界性。绝对值很大的误差出现的概率几乎为零。

4) 抵偿性。在同一条件下, 测量次数趋于无穷多时, 全部误差的代数和趋于零。

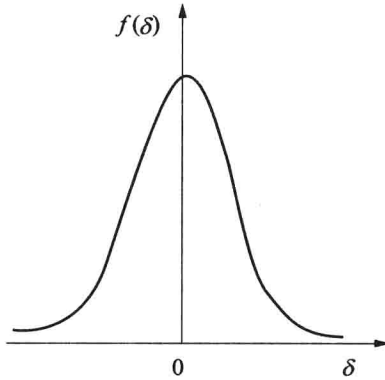


图 1-3 随机误差正态分布曲线

(2) 随机变量的估计。

1) 算术平均值。由上述正态分布的抵偿性可知: 当等精度测量次数无穷增加时, 被测量的真值就等于测量值的算术平均值, 即算术平均值  $\bar{X}$  是被测量真值的最佳估计值。

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1-5)$$

2) 标准偏差。在实际应用中, 不仅要考虑如何由测量值来对被测量值的真值进行最佳估计, 还应注意测量值偏离真值的程度。前一个问题通过算术平均值来解决, 而后一个问题则由标准偏差来衡量。标准偏差用  $\sigma$  表示, 即

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_0)^2}{n}} \quad (1-6)$$

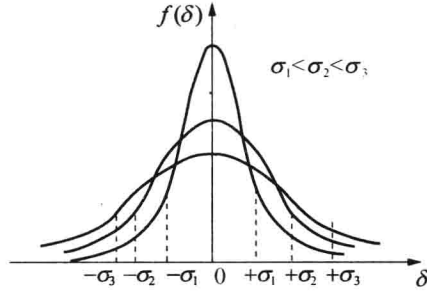
利用式(1-6)计算标准偏差是在真值已知且测量次数  $n \rightarrow \infty$  的条件下定义的, 在实际中无法使用,  $\sigma$  的精确值是无法得到的。因而用  $n$  次测量值的算术均值  $\bar{X}$  代替真值只能求得其最佳估计值  $\sigma_s$ 。

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1-7)$$

仅含随机误差的测量结果可表示为

$$X = \bar{X} \pm \frac{\sigma_s}{\sqrt{n}} \quad (1-8)$$

概率密度函数曲线的形状取决于  $\sigma$ 。首先,  $\sigma$  是曲线上拐点的横坐标值。其次,  $\sigma$  值越小, 则分布曲线越陡, 随机误差的分散程度越小, 这是我们所希望的;  $\sigma$  值越大, 则分布曲线越平坦, 随机误差越分散, 如图1-4所示。

图 1-4 标准偏差  $\sigma$  的意义

#### 1.2.4.2 系统误差的发现与校正

在多次等精度测量中，如果系统误差的大小和符号保持不变，称为恒定系统误差；如果系统误差按某一确定的规律变化，称为可变系统误差，而这种确定的变化规律可能是线性的、周期性的或更为复杂的。

由于系统误差对测量精度影响比较大，必须消除系统误差的影响，才能有效地提高测量精度。

##### 1. 系统误差的发现与判别

(1) 实验对比法。这种方法是通过改变产生系统误差的条件从而进行不同条件下的测量，以发现系统误差。这种方法适用于发现不变的系统误差。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，只有用精度更高一级的测量仪表测量，才能发现这台测量仪表的系统误差。

(2) 剩余误差观察法。剩余误差为某测量值与测量平均值之差，即  $p_i = x_i - \bar{x}$ 。根据测量数据的各个剩余误差大小和符号的变化规律，可以直接由误差数据或误差曲线图形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。若剩余误差如图1-5(a)所示，大体上是正负相间，且无显著变化规律，则不存在系统误差；若剩余误差如图1-5(b)所示，有规律地递增或递减，且在测量开始与结束时误差相反，则存在线性系统误差；若剩余误差如图1-5(c)所示，符号有规律地逐渐由负变正，再由正变负，且循环交替重复变化，则存在周期性系统误差；若剩余误差如图1-5(d)所示，则应怀疑同时存在线性系统误差和周期性系统误差。图中  $n$  为测量次数。

(3) 准则判别法。有许多准则可以方便地判断出系统误差的存在，如马利科夫准则可以判断是否存在线性系统误差；阿贝赫梅特准则可以判断是否存在周期性系统误差等。

##### 2. 系统误差的校正

对于系统误差，尽管其取值固定或按一定规律变化，但不可能像对待随机误差那样，用统计分析的方法，而只能针对具体情况采取不同的处理措施，对此没有普遍使用的处理方法。总之，系统误差虽然是有规律的，但实际处理起来往往比无规则的随机误差困难得多。对系统误差的处理是否得当，在很大程度上取决于测量者的知识水平、工作经验和实验技巧。

为了尽量减小或消除系统误差对测量结果的影响，可以从两个方面入手。首先，在测量之前，必须尽可能预见一切可能产生系统误差的来源，并设法消除它们或尽量减弱其影响。例如，测量前对仪器本身性能进行检查，必要时送计量部门检定，取得修正曲线或表格；使仪器的环境条件和安装位置符合技术要求的规定；在使用前对仪器进行正确的调整；

严格检查分析测量方法是否正确。其次,在实际测量中,可在测量系统中采取补偿措施,使测量系统自动消除系统误差。

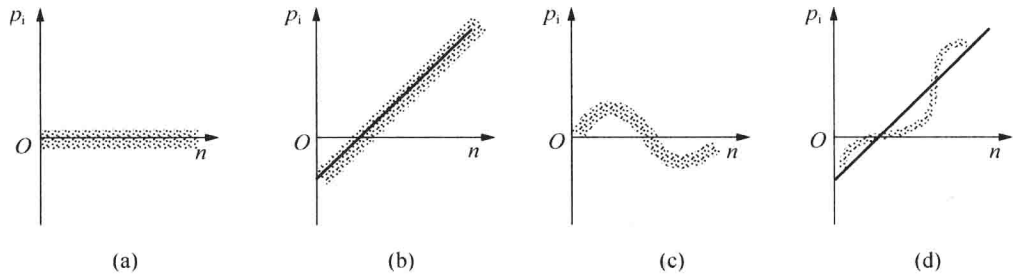


图 1-5 剩余误差观察法示意图

### 1.2.4.3 粗大误差的分析处理

含有粗大误差的测量值称为坏值或异常值。坏值应从测量结果中剔除。

在实际测量工作中,由于粗大误差的数值特别大,容易从测量结果中发现,一经发现粗大误差,可以认为该次测量无效,测量数据应剔除,从而消除它对测量结果的影响。

常采用拉依达准则判断有无粗大误差,即当测量次数足够多时,如果

$$|X_i - \bar{X}| > 3\sigma_s \quad (1-9)$$

那么第  $i$  次测量值  $X_i$  存在粗大误差。

### 1.2.4.4 测量数据的误差分析

在此只讨论直接测量数据的误差分析。

在相同条件下,对某一个量进行多次等精度的直接测量,从而得出一组测量数据。为了求出被测量真值的最佳估计值及其误差范围,一般需要通过以下步骤完成。

(1) 检查测量数据中是否有粗大误差,若有则剔除该测量值。重复上述步骤,直至剩余的数据中不再有粗大误差。

(2) 检查剔除粗大误差后的测量数据中是否有系统误差,若有则采取相应的校正或补偿措施,以消除其对测量结果的影响。

(3) 经过上述处理后的测量数据中只存在随机误差,因此,可用这些测量数据的算术平均值作为被测量真值的最佳估计值,并给出最佳估计值的标准偏差。

## 1.2.5 任务实施

【任务1-1】在相同条件下,对某一电压进行了16次等精度测量,测量数据见表1-1。

表 1-1 【任务 1-1】测量数据表

测量次数 <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
测量值 <i>X<sub>i</sub>/V</i>	205.30	204.94	205.63	205.24	206.65	204.97	205.36	205.15
测量次数 <i>i</i>	9	10	11	12	13	14	15	16
测量值 <i>X<sub>i</sub>/V</i>	204.85	204.70	205.71	205.35	205.21	205.19	205.21	205.32

考虑到系统误差可以利用有关方法予以消除,故假定本任务给出的测量数据中不含有系统误差。要求对该组数据进行分析整理,并写出最后的测量结果。

**【实施】**(1) 检查16次测量值中有无粗大误差。

首先计算16次测量值的算术平均值。

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{16} X_i}{16} = 205.3$$

再估算各次测量值的残差  $V_i = X_i - \bar{X}$ ，分别填入表1-2的第三列。

然后计算标准偏差的最佳估计值  $\sigma_s$ 。

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{16} (X_i - \bar{X})^2}{16-1}} = 0.444$$

$$3\sigma_s = 1.332$$

经判断，第5次测量值含有粗大误差，即剔除  $X_5$ 。

(2) 检查余下的15次测量值中有无粗大误差。

将余下的15次测量值重新编号为1~15，检查方法与第(1)步类似。

$$\bar{X}' = \frac{\sum_{i=1}^{15} X_i}{15} = 205.21, \quad \sigma'_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (X_i - \bar{X}')^2}{15-1}} = 0.269, \quad 3\sigma'_s = 0.807$$

经判断可知余下的15次测量值中已不包含粗大误差。

(3) 写出最后的测量结果。

$$X = \bar{X}' \pm \frac{\sigma'_s}{\sqrt{15}} = (205.21 \pm 0.07) \text{V}$$

表 1-2 【任务 1-1】测量结果及分析

测量次数 <i>i</i>	测量值 $X_i/\text{V}$	残差 $V_i/\text{V}$	剔除 $X_5$ 以后	
			$i'$	$V'_i/\text{V}$
1	205.30	0.00	1	0.09
2	204.94	-0.36	2	-0.27
3	205.63	0.33	3	0.42
4	205.24	-0.06	4	0.03
5	206.65	1.35	—	—
6	204.97	-0.33	5	-0.24
7	205.36	0.06	6	0.15
8	205.15	-0.14	7	-0.05
9	204.85	-0.45	8	-0.36
10	204.70	-0.60	9	-0.51
11	205.71	0.41	10	0.50
12	205.35	0.05	11	0.14
13	205.21	-0.09	12	0.00

续表

测量次数 <i>i</i>	测量值 $X_i/V$	残差 $V_i/V$	剔除 $X_5$ 以后	
			$i'$	$V'_i/V$
14	205.19	-0.11	13	-0.02
15	205.21	-0.09	14	0.00
16	205.32	0.02	15	0.11

### 任务 1.3 认识传感器

传感器是一种能够感觉外界信息，并以一定的精确度把这些信息转换为与之有确定对应关系的、便于应用的另一种输出信号的测量装置。传感器的输入量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量、生物量等；输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示等，这种量可以是气、光、电，但主要是电量。

传感器技术遍布各行各业、各个领域，起着不可替代的作用，如工业生产、科学研究、现代医学、现代农业、国防科技、家用电器，甚至儿童玩具中也少不了传感器。日常生活中，我们大量地使用着传感器，如电视遥控器利用红外线接收、发射传感器控制电视机；家用电冰箱、空调利用温度传感器达到温度控制的目的。在自动检测和控制系统中，传感器技术对系统各项功能的实现起着重要作用。自动化程度越高，系统对传感器的依赖性越大。

传感器的种类繁多，在外观上看更是千差万别。如图1-6所示为部分传感器的外观。



图 1-6 各种传感器