


XIANDAI CESHU JISHU

# 现代测试技术

李德堂 吕沁 唐文涛 朱铭锴 编著

 海洋出版社

# 现代测试技术

李德堂 吕沁 唐文涛 朱铭锴 编著

海洋出版社

2017年·北京

## 内容简介

现代测试与虚拟技术是一门涉及传感器技术、数据处理、计算机和仪器仪表等多学科的综合学科。本书根据测试理论和虚拟技术的最新发展,结合作者多年的工程实践经验,比较系统、全面地介绍了测试技术的理论知识和 LabVIEW 软件应用。测试理论部分主要介绍了理论知识、传感器的基本特征与工作原理、常用检测技术和现代检测技术在工程中的应用;虚拟仪器测试技术则着重介绍了一种最为流行的虚拟仪器开发平台 LabVIEW。其中,详细介绍了 LabVIEW 的使用方法,包括 LabVIEW 的前面板设计、程序框图构建、控制结构介绍、数据处理方法等重要内容。

本书可作为机械、船舶与海洋工程及相关专业的教材,也可供从事上述专业的科技人员、工程技术人员以及其他有关人员阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代测试技术/李德堂等编著. —北京:海洋出版社,2017.2  
ISBN 978-7-5027-9691-4

I. ①现… II. ①李… III. ①测试技术 IV. ①TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 019438 号

责任编辑:郑跟娣

责任校对:肖新民

责任印制:赵麟苏

出版发行:海洋出版社

地址:北京市海淀区大慧寺路 8 号

邮编:100081

开本:787mm×1092mm 1/16

字数:280 千字

发行部:010-62132549 010-68038093

总编室:010-62114335

网址:www.oceanpress.com.cn

承印:北京画中国画印刷有限公司印刷

版次:2017 年 2 月第 1 版

印次:2017 年 2 月第 1 次印刷

印张:12.5

定价:36.00 元

本书如有印、装质量问题可与本社发行部联系调换

本社教材出版中心诚征教材选题及优秀作者,邮件发至 [hyjccb@sina.com](mailto:hyjccb@sina.com)

# 前 言

现代测试与虚拟技术是一门涉及传感器技术、数据处理、计算机和仪器仪表等多学科的综合学科。本书根据测试理论和虚拟技术的最新发展,结合编著者多年的工程实践经验,比较系统全面地介绍了测试技术的理论知识和 LabVIEW 软件的应用。

检测技术应用的领域十分广泛,就这一门学科来说,有传感器技术物理信号的获取、误差理论、信号处理技术、计算机技术等。检测技术的基础就是利用物理、化学、生物的方法来获取被测对象的状态、运动和变化情况,通过转换和处理,将这些信息以人类能够读懂的方式呈现出来。由于检测技术在各行各业中均有不同程度的应用,使得这项技术在现代信息链中成为源头技术,是现代科技发展的重要支柱。

本教材主要分测试理论与虚拟仪器测试技术两部分编写,它们共同组成了现代测试技术。测试理论部分主要介绍理论基础、传感器的基本特征与基本工作原理、常用检测技术和现代检测技术在工程中的应用;虚拟仪器测试技术部分则着重介绍一种最为流行的虚拟仪器开发平台——LabVIEW,其中详细介绍了 LabVIEW 的使用方法,包括 LabVIEW 的前面板设计、程序框图构建、控制结构、数据处理方法等重要内容。

本教材与传统教材相比,最大的创新点在于引进了虚拟仪器这一内容。随着现代测试技术的不断发展,传统测试仪器已经不能满足测试人员的需求。按照传统方式制造的测试系统主要由传感器、放大电路、滤波电路、非线性补偿电路、A/D 转换电路以及单片机等组成。这些功能模块基本上是以硬件或固化的软件形式存在,仪器只能由生产厂家来定义、制造,不但设计复杂,而且制造成本高,特别是缺乏灵活性,这种传统的测试系统已经被现代测试技术淘汰。虚拟仪器是一种全新的概念,它是一种用计算机灵活强大的软件代替传统仪器的某些部件,用人的智力资源代替许多物质资源,通过一组软件和硬件,形成既有普通仪器的基本功能,又有普通仪器所不具备的特殊功能的新型

仪器。

本书可作为机械、船舶与海洋工程及相关专业的教材，也可供从事上述专业的科技人员、工程技术人员以及其他有关人员阅读。

本书第1章至第3章由浙江海洋大学吕沁编写，第4章至第9章由浙江海洋大学李德堂、唐文涛、朱铭锴编写，全书由李德堂统稿。本书在编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助，在此，谨向他们表示衷心的感谢！

编 者

2016年4月

# 目 录

第 1 章 现代检测技术理论基础	(1)
1.1 检测技术概论	(1)
1.1.1 测量	(1)
1.1.2 测量方法的分类	(2)
1.1.3 检测系统	(3)
1.1.4 检测误差	(3)
1.2 检测数据的估计和处理	(4)
1.2.1 随机误差	(4)
1.2.2 系统误差	(5)
1.2.3 粗大误差	(6)
习题	(7)
第 2 章 传感器的基本特征、工作原理与常用传感器	(8)
2.1 传感器概论	(8)
2.1.1 传感器的组成	(9)
2.1.2 传感器的分类	(9)
2.2 传感器的基本特征	(10)
2.2.1 传感器的特性及主要性能指标	(10)
2.2.2 传感检测技术的地位和作用	(10)
2.2.3 传感器基本特性的评价	(10)
2.2.4 传感器的标定与校准	(11)
2.2.5 传感器的发展动向	(12)
2.3 6 种常用传感器的基本工作原理	(14)
2.3.1 位移检测传感器	(14)
2.3.2 力传感器	(17)
2.3.3 扭矩传感器	(20)
2.3.4 速度传感器	(21)
2.3.5 加速度传感器	(23)

2.3.6 温度传感器	(27)
2.3.7 电涡流式传感器	(31)
习题	(36)
<b>第3章 虚拟仪器在“海院1号”波浪发电平台上的应用</b>	<b>(37)</b>
3.1 虚拟仪器技术在海洋测试中的特点	(37)
3.2 “海院1号”波浪发电平台测试系统	(38)
3.2.1 “海院1号”波浪发电平台	(38)
3.2.2 波浪发电系统软件设计	(41)
3.2.3 系统主要模块设计	(43)
3.2.4 系统主架构的设计	(47)
3.2.5 采集系统和控制系统的设计	(47)
3.2.6 软件界面具体操作	(49)
3.2.7 软件程序具体执行	(50)
3.2.8 软件安装方法	(52)
3.2.9 实际测试中的软件应用	(52)
习题	(53)
<b>第4章 虚拟仪器与 LabVIEW 概述</b>	<b>(54)</b>
4.1 虚拟仪器简介	(54)
4.1.1 虚拟仪器的概念	(54)
4.1.2 虚拟仪器的特点	(55)
4.2 创建和修改 VI	(55)
4.2.1 LabVIEW 2011 的安装	(55)
4.2.2 启动 LabVIEW, 创建与修改 VI	(58)
4.3 广泛的 LabVIEW 学习途径	(59)
习题	(60)
<b>第5章 前面板与程序框图</b>	<b>(61)</b>
5.1 前面板设计	(61)
5.1.1 认识前面板	(61)
5.1.2 控件的类型	(62)
5.1.3 “控件”选板	(62)
5.1.4 控件设置	(64)
5.1.5 快捷菜单	(64)
5.1.6 “属性”对话框	(65)
5.1.7 布尔型控件机械动作设置	(66)

5.1.8 其他设置	(67)
5.2 构建程序框图	(67)
5.2.1 认识程序框图	(67)
5.2.2 节点	(68)
5.2.3 接线端	(69)
5.2.4 常量	(69)
5.2.5 连线	(70)
5.2.6 “函数”选板	(70)
5.2.7 基本数据类型	(72)
5.2.8 程序的层次结构	(74)
5.2.9 Express VI	(74)
5.2.10 多态	(74)
5.2.11 程序框图设计原则	(74)
习题	(76)
第6章 数据的分组	(77)
6.1 数组	(77)
6.1.1 数组的概念	(77)
6.1.2 创建数组	(77)
6.1.3 数组函数	(79)
6.2 簇	(89)
6.2.1 簇的概念	(89)
6.2.2 簇的创建	(89)
6.2.3 簇函数	(91)
6.3 波形	(95)
6.3.1 波形的概念	(95)
6.3.2 波形的创建	(96)
6.4 字符串	(97)
6.4.1 字符串的概念	(97)
6.4.2 字符串控件	(97)
6.4.3 字符串控件的显示	(100)
6.4.4 字符串函数	(101)
习题	(106)
第7章 控制程序运行的结构	(107)
7.1 for 循环	(107)



7.1.1 for 循环的建立	(107)
7.1.2 for 循环对数组的自动索引	(108)
7.1.3 移位寄存器	(109)
7.1.4 反馈节点	(110)
7.2 while 循环	(111)
7.3 定时循环	(113)
7.4 条件结构	(113)
7.4.1 条件结构的建立	(113)
7.4.2 条件结构的应用	(115)
7.5 顺序结构	(116)
7.5.1 顺序结构的建立	(117)
7.5.2 顺序结构的传递数据	(118)
7.5.3 顺序结构应用举例	(119)
7.6 事件结构	(119)
7.6.1 事件驱动的概念	(119)
7.6.2 事件结构的建立	(120)
7.6.3 事件结构的应用	(121)
7.7 禁用结构	(121)
7.8 公式节点和表达式节点	(122)
7.8.1 公式节点的用途	(122)
7.8.2 公式节点的建立	(123)
7.8.3 表达式节点	(124)
习题	(124)
<b>第8章 数据的处理</b>	<b>(125)</b>
8.1 数据的图形显示	(125)
8.1.1 图形控选板	(125)
8.1.2 波形图表	(126)
8.1.3 波形图	(133)
8.1.4 XY 图	(137)
8.1.5 强度图	(139)
8.1.6 数字波形图	(140)
8.1.7 混合信号图	(141)
8.1.8 三维图形显示	(141)
8.1.9 特殊图线与图片的显示	(145)

8.2 数据记录和回放 .....	(145)
8.2.1 数据记录与回放概述 .....	(145)
8.2.2 文件输入/输出函数 .....	(147)
8.2.3 电子表格文件的输入/输出 .....	(148)
8.2.4 波形文件 .....	(149)
8.2.5 前面板数据记录 .....	(150)
8.2.6 测量数据 .....	(152)
8.2.7 TDM 和 TDMS 文件操作 .....	(153)
8.3 数据通信 .....	(157)
8.3.1 局部变量 .....	(157)
8.3.2 全局变量 .....	(161)
8.3.3 DataSocket 技术概述 .....	(165)
8.3.4 统一资源定位符 .....	(168)
8.3.5 使用 DataSocket 传输数据 .....	(168)
8.3.6 在 Web 上发布程序 .....	(170)
8.3.7 在 Web 上发布 HTML 文件 .....	(173)
习题 .....	(176)
<b>第 9 章 测试系统设计</b> .....	<b>(177)</b>
9.1 数据采集基础知识 .....	(177)
9.1.1 数据采集过程 .....	(177)
9.1.2 数据采集设备 .....	(178)
9.1.3 被测试信号的连接方式 .....	(179)
9.1.4 基于 LabVIEW 的数据采集系统总体结构 .....	(180)
9.1.5 数据采集设备的设置与测试 .....	(181)
9.2 采集模拟信号 .....	(182)
9.2.1 数据采集的通道 .....	(182)
9.2.2 创建数据采集程序 .....	(183)
9.2.3 数据采集 VI .....	(184)
9.3 输出模拟信号 .....	(186)
9.3.1 输出直流信号 .....	(186)
9.3.2 输出随时间快速变化的信号 .....	(186)
9.3.3 模拟输出的信号连接 .....	(186)
9.4 信号调理 .....	(186)
9.4.1 信号调理的类型 .....	(187)

---

9.4.2 信号调理器与数据采集卡的通信 .....	(188)
9.5 数字信号输入/输出 .....	(188)
9.5.1 数字信号的概念 .....	(188)
9.5.2 数字端口与数字线 .....	(188)
9.5.3 数字信号输入/输出设备 .....	(189)
9.5.4 数字信号输入/输出方式 .....	(189)
习题 .....	(189)
参考文献 .....	(190)

# 第 1 章 现代检测技术理论基础

## 【内容提要】

本章主要介绍测量的概念、方法，检测系统理论、检测误差种类以及检测数据的估计与处理等内容。

## 【基本要求、重点和难点】

基本要求：了解测量的概念、方法，检测系统理论及检测误差种类，能够掌握检测数据的估计与处理方法。

重点：①测量方法的分类与选择；②检测误差的种类；③检测数据的估计与处理。

难点：①测量方法的选择；②造成误差的原因；③检测数据的估计与处理。

## 1.1 检测技术概论

测试的基本任务就是获取有用的信息，通过借助专门的仪器、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，最后将其结果提供显示或输入其他信息处理装置、控制系统的输入数据。

测试技术属于信息科学的范畴，与计算机技术、通信技术一起分别构成信息技术系统的“感官”“神经”和“大脑”，是信息技术的三大支柱之一。因此，测试技术是人类认识客观世界的手段，是科学研究的基本方法（揭示事物的内在联系和发展规律）。

测试技术的产生和发展与科学技术的发展是紧密相关的，它们互相依赖、相互促进。现代科技的发展不断地向测试技术提出新的要求，推动了测试技术的发展，与此同时，测试技术迅速吸取和综合各个科技领域（如材料科学、微电子学、计算机科学等）的新成就，开发出新的测试方法和先进的测试仪器，又给科学研究提供了有力的工具和先进的手段，从而促进了科学技术的发展。

### 1.1.1 测量

测量是按照某种规律，用数据来描述观察到的现象，即对事物做出量化描述。测量是对非量化实物的量化过程。

在机械工程里面，测量是指被测量与具有计量单位的标准量在数值上进行比较，从而确定二者比值的实验认识过程。测量具有以下 4 个要素。

#### 1.1.1.1 测量的客体

测量的客体即测量对象主要指几何量，包括长度、面积、形状、高程、角度、表面粗

糙度以及形位误差等。由于几何量的特点是种类繁多，形状又各式各样，因此对于它们的特性、被测参数的定义以及标准等都必须加以研究和熟悉，以便进行测量。

### 1.1.1.2 计量单位

国务院于1977年5月27日颁发的《中华人民共和国计量管理条例（试行）》第三条规定中重申：“我国的基本计量制度是米制（即公制），逐步采用国际单位制。”1984年2月27日正式公布中华人民共和国法定计量单位，确定米制为我国的基本计量制度。如在长度计量中单位为米（m），其他常用单位有毫米（mm）和微米（ $\mu\text{m}$ ）；在角度测量中以度、分、秒为单位等。

### 1.1.1.3 测量方法

测量方法指在进行测量时所用的按类叙述的一组操作逻辑次序。对于几何量的测量而言，则是根据被测参数的特点，如公差值、大小、轻重、材质、数量等，并分析研究该参数与其他参数的关系，最终确定对该参数进行测量的操作方法。

### 1.1.1.4 测量的准确度

测量的准确度指测量结果与真实值的一致程度。由于任何测量过程不可避免地会出现测量误差，误差大说明测量结果离真值远，准确度低。因此，准确度和误差是两个相对的概念。由于存在测量误差，任何测量结果都是以一个近似值来表示的。

## 1.1.2 测量方法的分类

测量方法是实现被测量与标准量比较而得出比值的方法，是指人们认识自然界事物的一种手段。针对不同的测量任务，进行具体分析，找出切实可行的测量方法，对测量工作来说十分重要。测量方法按照不同的特性，可以进行不同的分类。

### 1.1.2.1 按是否直接测量被测参数分类

按是否直接测量被测参数，可以分为直接测量和间接测量。直接测量是指直接测量被测参数来获得被测尺寸，如用卡尺、比较仪测量。间接测量是指测量与被测尺寸有关的几何参数，经过计算获得被测尺寸。

显然，直接测量比较直观，间接测量比较繁琐。一般当被测尺寸使用直接测量达不到精度要求时，就不得不采用间接测量。

### 1.1.2.2 按量量仪的读数值是否直接表示被测尺寸的数值分类

按量量仪的读数值是否直接表示被测尺寸的数值，可以分为绝对测量和相对测量。绝对测量是读数值直接表示被测尺寸的大小，如用游标卡尺测量。相对测量是读数值只表示被测尺寸相对于标准量的偏差。如用比较仪测量轴的直径，需先用量块调整好仪器的零位，然后进行测量，测得值是被测轴的直径相对于量块尺寸的差值，这就是相对测量。一般来说，相对测量的精度高一些，但测量过程比较麻烦。

### 1.1.2.3 按被测表面与量具量仪的测量头接触方式分类

按被测表面与量具量仪的测量头是否接触，可以分为接触测量和非接触测量。接触测量是指测量头与被测表面接触，并有机作用力的测量力存在，如用千分尺测量零件。非接触测量是指测量头不与被测表面相接触，非接触测量可避免测量力对测量结果的影响。如利用投影法、光波干涉法测量等。

### 1.1.2.4 按一次测量参数的多少分类

按一次测量参数的多少，可以分为单项测量和综合测量。单项测量是对被测零件的每个参数分别单独测量。综合测量是测量反映零件有关参数的综合指标。如用工具显微镜测量螺纹时，可分别测量出螺纹实际中径、牙形半角误差和螺距累积误差等。

综合测量一般效率比较高，对保证零件的互换性更为可靠，常用于完工零件的检验。单项测量能分别确定每个参数的误差，一般用于工艺分析、工序检验及被指定参数的测量。

### 1.1.2.5 按测量在加工过程中所起的作用分类

按测量在加工过程中所起的作用，可以分为主动测量和被动测量。主动测量是工件在加工过程中进行测量，其结果直接用来控制零件的加工过程，从而及时防止废品的产生。被动测量是工件加工后进行的测量。该种测量只能判别加工件是否合格，仅限于发现并剔除废品。

### 1.1.2.6 按被测零件在测量过程中所处的状态分类

按被测零件在测量过程中所处的状态，可以分为静态测量和动态测量。静态测量是指测量相对静止，如千分尺测量直径。动态测量是测量时被测表面与测量头模拟工作状态中做相对运动。动态测量方法能反映出零件接近使用状态下的情况，是测量技术的发展方向。

## 1.1.3 检测系统

检测系统是用来对被测特性定量测量或定性评价的仪器或量具、标准、操作、方法、夹具、软件、人员、环境和假设的集合，用来获得检测结果的整个过程。

现代检测系统应具有对被测对象的特征量进行检测、传输、处理及显示等功能，一个测量系统是传感器、应变器和其他变换装置等的有机组合。

目前，检测系统可以分为开环检测系统和闭环检测系统。

## 1.1.4 检测误差

每一个物理量都是客观存在的，在一定的条件下具有不以人的意志为转移的客观大小，人们将它称为该物理量的真值。进行测量是想要获得待测量的真值。然而测量要依据

一定的理论或方法，使用一定的仪器，在一定的环境中，由具体的人进行。由于实验理论上存在近似性，方法上难以做到完美，实验仪器的灵敏度和分辨能力有局限性，周围环境不稳定等因素的影响，待测量的真值是不可能测得的，测量结果和被测量真值之间总会存在或多或少的偏差，这种偏差就叫作测量值的误差。

测量误差主要分为3大类：系统误差、随机误差及粗大误差。误差产生的原因可归结为4个方面：①测量装置误差；②环境误差；③测量方法误差；④人员误差。

## 1.2 检测数据的估计和处理

### 1.2.1 随机误差

随机误差也称为偶然误差和不定误差，是指测量结果与同一待测量的大量重复测量的平均结果之差，是由于在测定过程中一系列有关因素微小的随机波动而形成的具有相互抵偿性的误差。“同一待测量的大量重复测量的平均结果”指在重复条件下得到待测量的期望值或所有可能测得值的平均值。

随机误差的特点是大小和方向都不固定，也无法测量或校正。其性质是随着测定次数的增加，正负误差可以相互抵偿，误差的平均值将逐渐趋向于零。

即使测试系统的灵敏度足够高，在相同的测量条件下，对同一量值进行多次等精度测量时，仍会有各种偶然的、无法预测的不确定因素干扰而产生测量误差，其绝对值和符号均不可预知。

虽然单次测量的随机误差没有规律，但多次测量的总体却服从统计规律，通过对测量数据的统计处理，能从理论上估计出它对测量结果的影响。

随机误差不能用修正或采取某种技术措施的方法来消除。在随机误差中，最重要的是抽样误差。我们从同一总体中随机抽取若干个大小相同的样本，各样本平均数（或平均率）之间会有所不同。这些样本之间的差异，同时反映了样本与总体间的差异。它是从总体中抽取样本才出现的误差，统计学上称为抽样误差（或抽样波动）。例如，抽样误差在医学生物实验中最主要的来源是个体的变异，所以这是一种难以控制的、不可避免的误差。但抽样误差是有一定规律的，研究和运用抽样误差的规律，是根据样本估计总体时所必须领会的基本概念之一，也是医学统计学的重要内容之一。

随机误差中还包括重复误差。它是由于对同一受试对象或检样采用同一方法重复测定时所出现的误差。如用天平称同一个烧杯的质量，重复测定多次，其结果会有微小波动。控制重复误差的手段主要是改进测定方法，提高操作者的熟练程度。重复是摸清实验误差大小的有效方法，以便分析和减少实验误差。

测量值的随机误差分布规律有正态分布、 $t$ 分布、三角分布和均匀分布等，但测量值大多都服从正态分布，在此主要以正态分布为主进行介绍。

测量值的随机误差 $\delta$ 是随机变量，它的概率分布密度函数为

$$P(\delta) = \exp[-\delta^2/(2 \times \sigma^2)]/[\sigma\sqrt{2\pi}]$$

式中， $\exp()$ 表示以 $e$ 为底的指数函数； $\pi$ 为圆周率； $\sigma$ 为随机误差的标准偏差。

随机误差具有大小性、对称性、有界性及抵偿性等规律。大小性是绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率大。对称性是绝对值相等的正误差和负误差出现的概率相等。有界性是绝对值很大的误差出现的概率接近零。误差的绝对值不会超过某一个界限。抵偿性是在一定测量条件下，测量值误差的算术平均值随测量次数的增加而趋于零。

## 1.2.2 系统误差

系统误差又称规律误差，它是在一定的测量条件下，对同一个被测尺寸进行多次重复测量时，误差值的大小和符号（正值或负值）保持不变；或者在条件变化时，按一定规律变化的误差。前者称为定值系统误差，后者称为变值系统误差。

系统误差是分析过程中由某些固定的原因引起的一类误差，是定量分析中误差的主要来源。其特点是测量结果向一个方向偏离，数值按一定规律变化，具有重复性、单向性、可测性。即在相同的条件下，重复测定时会重复出现，使测定结果系统偏高或系统偏低，其数值大小也有一定的规律。例如，测定的结果虽然精密度较高，但由于系统误差的存在，导致测定数据的平均值显著偏离其真值。如果能找出产生误差的原因，并设法测定出其大小，那么系统误差可以通过校核的方法予以减少或消除。我们应根据具体的实验条件及系统误差的特点，找出产生系统误差的主要原因，并采取适当措施降低它的影响。

### 1.2.2.1 系统误差产生的原因

系统误差产生的原因有仪器误差、理论误差、操作误差等。

(1) 仪器误差：是由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件使用仪器而造成的。如仪器的零点不准，仪器未调整好，外界环境（光线、温度、湿度、电磁场等）对测量仪器的影响等所产生的误差。中国市面上的仪器系统误差有以下几种情况：误读、误算、视差、刻度误差、磨损误差、接触力误差、挠曲误差、余弦误差、阿贝误差、热变形误差等。

(2) 理论误差：是由于测量所依据的理论公式本身的近似性，或实验条件不能达到理论公式所规定的要求，也可能是实验方法本身不完善所带来的误差。例如，热学实验中未考虑散热所导致的热量损失；用伏安法测电阻时没有考虑电表内阻对实验结果的影响等。

(3) 操作误差：是由于观测者个人感官和运动器官的反应或习惯不同而产生的误差，它因人而异，并与观测者当时的精神状态有关。

(4) 试剂误差：是由于所用蒸馏水含有杂质或所使用的试剂不纯所引起的测定结果与实际结果之间的偏差。

系统误差有些是定值，如仪器的零点不准；有些是积累性的，如用受热膨胀的钢质米尺测量时，读数就大于被测物的真实长度。需要注意的是，系统误差总是使测量结果计算偏大或者偏小，因此，多次测量求平均值并不能消除系统误差。

计算机在进行数据处理的过程中，也会有误差，如在处理数据型字段时，由于处理位数的不一样，所得结果是有误差的，与我们计算中采用四舍五入法得出的结果类似。



### 1.2.2.2 减小系统误差的方法

#### 1) 修正值法

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) 排除误差源法

用排除误差源的办法来消除系统误差是比较好的办法。这就要求测量者对所用标准装置、测量环境条件、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) “专门”法

(1) 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。

(2) 替代法：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，修正使之平衡，这时可得到被测量与标准值的差值，即：被测量 = 标准值 + 差值。

(3) 补偿法：补偿法要求进行两次测量，改变测量中的某些条件，使两次测量得到的误差值大小相等、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。

(4) 对称测量法：即在对被测量进行测量的前后，对称地分别对同一已知量进行测量，将两次测得的平均值与被测量的测得值进行比较，便可得到消除线性系统误差的测量结果。

(5) 半周期偶数观察法：对于周期性的系统误差，可以采用半周期偶数观察法，即每经过半个周期进行偶数次观察的方法来消除。

(6) 组合测量法：由于按复杂规律变化的系统误差不易分析，采用组合测量法可使系统误差以尽可能多的方式出现在测得值中，从而将系统误差变为随机误差处理。

### 1.2.3 粗大误差

在一定的测量条件下，超出规定条件下预期的误差称为粗大误差。一般情况下，给定一个显著性水平，按一定条件分布确定一个临界值，凡是超出临界值范围的值，就是粗大误差，或称粗误差、寄生误差。

产生粗大误差的主要原因有客观和主观两方面。客观原因如电压突变、机械冲击、外界震动、电磁（静电）干扰、仪器故障等引起了测试仪器的测量值异常或被测物体的位置相对移动，从而产生了粗大误差。主观原因如使用了有缺陷的量具；操作时疏忽大意；读数、记录、计算的错误等。

另外，环境条件的反常突变因素也是产生这些误差的原因。

粗大误差不具有抵偿性，它存在于一切科学实验中，不能被彻底消除，只能在一定程度上减弱。它是异常值，严重歪曲了实际情况，所以在处理数据时应将其剔除，否则会对