



21世纪

全国高等教育应用型精品课规划教材

自动检测技术

zidong jiance jishu

◆ 主编 韦 抒 蒙 飏



 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

自动检测技术

主 编 韦抒 蒙飏

副主编 韦鸿 姚开武 陈君霞等

主 审 梁建和

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

本书是根据高等院校自动检测技术教学的基本要求编写的。全书共分为9个课题。分别为绪论、温度的测量、压力与液位测量、流体的测量、位移的测量、转速的测量、湿度的测量、气体与烟雾的测量、传感器系统综合应用等。本书除了有一定的理论分析以外,还介绍了一些工程实例。另外,每章后面还附有相应的习题,供读者思考与练习。

本书可作为高等院校电子类、自动化类、机电类及相近专业的教材,也可供职业培训和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术/韦抒,蒙颢主编. —北京:北京理工大学出版社, 2009. 8
ISBN 978 - 7 - 5640 - 2800 - 8

I. 自… II. ①韦…②蒙… III. 自动检测 - 高等学校: 技术学校 - 教材
IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 150561 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市星河印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 12.5

字 数 / 235 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 24.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

21 世纪是科技全面创新和社会高速发展的时代,面临这个难得的机遇和挑战,本着“科教兴国”的基本战略,我国已着力对高等学校进行了教学改革。为顺应国家对于培养应用型人才的要求,满足社会对高校毕业生的技能需要,北京理工大学出版社特邀一批知名专家、学者进行了本系列规划教材的编写,以期能为广大读者提供良好的学习平台。

本系列规划教材贴合实践。作者在编写之际,广泛考察了各校应用型学生的学习实际,本着“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,力求提高学生的实际运用能力,使学生更好地适应社会需求。

一、教材定位

- ✦ 以就业为导向,培养学生的实际运用能力,以达到学以致用目的。
- ✦ 以科学性、实用性、通用性为原则,以使教材符合课程体系设置。
- ✦ 以提高学生综合素质为基础,充分考虑对学生个人能力的提高。
- ✦ 以内容为核心,注重形式的灵活性,以便学生易于接受。

二、编写原则

- ✦ 定位明确。为培养应用型人才,本系列教材所列案例均贴合工作实际,以满足广大企业对于应用型人才实际操作能力的需求,增强学生在就业过程中的竞争力。
- ✦ 注重培养学生职业能力。根据专业实践性要求,在完成基础课的前提下,使学生掌握先进的相关操作软件,培养学生的实际动手能力,提高学生迅速适应工作岗位的能力。

三、丛书特色

- ✦ 系统性强。丛书各教材之间联系密切,符合各个学校的课程体系设置,为学生构建牢固的知识体系。

- ✚ 层次性强。各教材的编写严格按照由浅及深，循序渐进的原则，重点、难点突出，以提高学生的学习效率。
- ✚ 先进性强。吸收最新的研究成果和企业的实际案例，使学生对当前专业发展方向有明确的了解，并提高创新能力。
- ✚ 操作性强。教材重点培养学生的实际操作能力，以使理论来源于实践，并最大限度运用于实践。

北京理工大学出版社

前 言

随着自动化技术和信息技术的发展,传感器技术在现代社会中占据着越来越重要的地位。工业生产需要采用各种传感器,如压敏、热敏、光敏、气敏、湿敏、磁敏和光电转换器件传感器等,把大量非电量的物化参数转换成为控制信息,以满足工业生产的自动化、智能化的要求。

传感器件与电子器件一样,近年来发展很快,应用领域也日趋扩大。自动检测技术课程系统、全面地提供了传感器的应用、非电量的检测与转换方法方面的知识,高职高专电类专业学生学习和熟练掌握这些基本内容,将有助于进一步学习后续专业课程。

本书从高等院校学生的学习特点和岗位需要出发,教材内容的选择及体系结构适用于应用型教学的需要,力求简洁实用、图文并茂、通俗易懂,达到举一反三、融会贯通的目的,体现高等院校教学特色。在编写安排上力争做到由浅入深、循序渐进,所编内容注重实用性和可操作性,理论分析以适度、够用为限,突出重点,分散难点。

本书对传感器转换器件做了较详尽的叙述,内容包括检测技术基础知识,以及各非电量如温度的测量、压力与液位测量、流体的测量、位移的测量、转速的测量、湿度的测量、气体测量、传感器系统综合应用等,涉及十多种传感器。每个内容以任务形式编排,体现任务驱动教学的特色。

本书由韦抒、蒙飏担任主编。全书共分9个课题,课题2由姚开武编写,课题4、课题9由蒙飏编写,课题5由韦鸿编写,课题6由黄勇编写,课题7由梁兵编写,课题8章由陈君霞编写,课题1、课题3由韦抒编写,并由韦抒负责全书统稿。

本书由梁建和教授担任主审。梁教授仔细审阅了全书,并提出了许多有价值的修改意见。

由于编者水平有限,而且电子技术的发展十分迅速,书中难免会有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

课题1 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 传感器的定义	(1)
1.1.2 传感器的基本构成	(1)
1.2 传感器的基本特性	(2)
1.2.1 传感器的静态特性	(2)
1.2.2 传感器的动态特性	(4)
1.3 测量误差及分类	(5)
1.3.1 绝对误差与相对误差	(5)
1.3.2 粗大误差、系统误差和随机误差	(7)
小结	(8)
复习思考题	(8)
课题2 温度的测量	(9)
2.1 任务一 铂电阻温度仪	(9)
2.1.1 学习目标	(9)
2.1.2 学习任务	(9)
2.1.3 知识准备	(9)
2.1.4 任务实施	(15)
2.2 任务二 热电偶测量电路制作	(19)
2.2.1 学习目标	(19)
2.2.2 学习任务	(20)
2.2.3 知识准备	(20)
2.2.4 任务实施	(33)
2.3 任务三 集成温度测量电路制作	(36)
2.3.1 学习目标	(36)
2.3.2 学习任务	(36)
2.3.3 知识准备	(36)
2.3.4 任务实施	(39)
小结	(44)
复习思考题	(45)
课题3 压力与液位的测量	(46)
3.1 任务一 扩散硅压阻式压力装置	(46)

3.1.1	学习目标	(46)
3.1.2	学习任务	(46)
3.1.3	知识准备	(46)
3.1.4	任务实施	(49)
3.2	任务二 电容式液位计	(53)
3.2.1	学习目标	(53)
3.2.2	学习任务	(53)
3.2.3	知识准备	(54)
3.2.4	任务实施	(61)
3.3	任务三 超声波液位测量装置	(65)
3.3.1	学习目标	(65)
3.3.2	学习任务	(65)
3.3.3	知识准备	(65)
3.3.4	任务实施	(69)
小结		(73)
复习思考题		(74)
课题4	流体的测量	(75)
4.1	任务一 涡轮流量计	(75)
4.1.1	学习目标	(75)
4.1.2	学习任务	(75)
4.1.3	知识准备	(75)
4.1.4	任务实施	(81)
4.2	任务二 电磁流量计	(85)
4.2.1	学习目标	(85)
4.2.2	学习任务	(85)
4.2.3	知识准备	(86)
4.2.4	任务实施	(88)
小结		(92)
复习思考题		(92)
课题5	位移的测量	(93)
5.1	任务一 霍尔式位移测量装置	(93)
5.1.1	学习目标	(93)
5.1.2	学习任务	(93)
5.1.3	知识准备	(93)
5.1.4	任务实施	(97)

5.2 任务二 电涡流位移测量装置	(103)
5.2.1 学习目标	(103)
5.2.2 学习任务	(103)
5.2.3 知识准备	(103)
5.2.4 任务实施	(107)
5.3 任务三 光纤位移测量装置	(115)
5.3.1 学习目标	(115)
5.3.2 学习任务	(115)
5.3.3 知识准备	(115)
5.3.4 任务实施	(118)
小结	(124)
复习思考题	(125)
课题6 转速的测量	(127)
6.1 任务一 光电式转速表	(127)
6.1.1 学习目标	(127)
6.1.2 学习任务	(127)
6.1.3 知识准备	(127)
6.1.4 任务实施	(131)
6.2 任务二 霍尔式转速表	(133)
6.2.1 学习目标	(133)
6.2.2 学习任务	(133)
6.2.3 知识准备	(133)
6.2.4 任务实施	(137)
小结	(139)
复习思考题	(139)
课题7 湿度的测量	(140)
7.1 任务一 阻抗式湿度检测电路设计	(140)
7.1.1 学习目标	(140)
7.1.2 学习任务	(140)
7.1.3 知识准备	(140)
7.1.4 任务实施	(141)
7.2 任务二 集成电容式湿度检测电路设计	(142)
7.2.1 学习目标	(142)
7.2.2 学习任务	(142)
7.2.3 知识准备	(142)

7.2.4 任务实施	(143)
小结	(148)
复习思考题	(148)
课题8 气体与烟雾的测量	(149)
8.1 任务一 烟雾报警器	(149)
8.1.1 学习目标	(149)
8.1.2 学习任务	(149)
8.1.3 知识准备	(149)
8.1.4 任务实施	(152)
8.2 任务二 煤气、液化气报警器	(159)
8.2.1 学习目标	(159)
8.2.2 学习任务	(159)
8.2.3 知识准备	(160)
8.2.4 任务实施	(161)
8.3 任务三 酒精气味检测报警器	(164)
8.3.1 学习目标	(164)
8.3.2 学习任务	(164)
8.3.3 知识准备	(164)
8.3.4 任务实施	(165)
小结	(166)
复习思考题	(166)
课题9 传感器系统综合应用	(167)
9.1 任务一 水温控制系统	(167)
9.1.1 学习目标	(167)
9.1.2 学习任务	(167)
9.1.3 知识准备	(168)
9.1.4 任务实施	(170)
9.2 任务二 家居防盗报警系统	(177)
9.2.1 学习目标	(177)
9.2.2 学习任务	(177)
9.2.3 知识准备	(177)
9.2.4 任务实施	(181)
小结	(186)
复习思考题	(187)
参考文献	(188)

课题 1 绪论

1.1 概述

1.1.1 传感器的定义

能够感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置称为传感器。传感器是一种检测装置，它能够感受外界信息，并将其转换为电信号，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。其感受外界信息的过程称为检测过程。

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的作用，系统的自动化程度越高，对传感器的依赖性就越强。传感器在工业生产、科学研究、现代医学、现代农业、国防科技、家用电器等行业应用广泛。

变送器是在传感器的基础上制作而成的一种装置，它能感受非电量，并将非电量转换成可传递的统一输出电信号的仪表，而且其输出信号与输入信号之间有一给定的连续线性函数关系。变送器内部装入放大电路，输出信号通常为直流 $4\sim 20\text{mA}$ 或 $1\sim 5\text{V}$ 。变送器可以直接与计算机接口。也有人误把变送器称作传感器。

1.1.2 传感器的基本构成

传感器通常由敏感元件、转换元件和基本转换电路构成，如图 1.1 所示，其中，敏感元件是指传感器中能直接感受被测量的部分，转换元件是指传感器中将敏感元件感受的被测量转换成适于传输或测量的电信号的元件。由于传感器的输出信号一般都比较微弱，因此需要有基本转换电路对其进行放大、运算调制等。



图 1.1 传感器的组成

需要说明的是，并不是所有的传感器都能明显分为敏感元件、转换元件和基本转换电路三个部分，有可能是三者合为一体。随着半导体集成电路在传感器中

的应用,传感器的信号转换电路可以安装在传感器的壳体内或与敏感元件一起集成在同一芯片上。例如,半导体气敏传感器、湿度传感器等,它们一般都是将感受的被测量直接转换成电信号,没有中间环节。

传感器的种类很多,分类的方法也很多。若按传感器的工作原理分类,可分为应变式、电容式、压电式、磁电式、热电式等传感器;若按被测参数分类,可分为温度、压力、流量、位移、速度等传感器。

1.2 传感器的基本特性

传感器的输入/输出关系特性是传感器的基本特性。输入/输出特性虽然是传感器的外部特性,但与其内部参数有密切关系。因为传感器不同的内部结构参数决定它具有不同的外部特性。传感器的基本特性通常可以分为静态特性和动态特性。

1.2.1 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指对静态的输入信号,传感器的输出量与输入量之间所具有的相互关系。因为这时输入量和输出量都和时间无关,所以它们之间的关系,即传感器的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程,或者以输入量做横坐标,把与其对应的输出量做纵坐标而画出的特性曲线来描述。表征传感器静态特性的主要参数有:线性度、灵敏度、分辨力、迟滞和重复性等。

1. 线性度

传感器的线性度是指传感器的输出与输入之间数量关系的线性程度。输出与输入关系可分为线性特性和非线性特性。从传感器的性能看,希望具有线性关系,即理想输入/输出关系。但实际遇到的传感器大多为非线性。

在实际应用中,为了标定和数据处理方便,希望得到线性关系,因此引入各种非线性补偿环节,从而使传感器的输出与输入关系为线性或接近线性。但是如果传感器的非线性不明显,输入量变化范围较小时,可用一条直线近似代替实际曲线的一段,

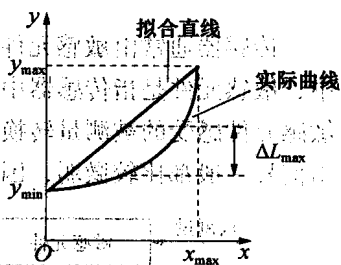


图 1.2 直线拟合

使传感器输入/输出特性线性化,所采用的直线称为拟合直线,如图 1.2 所示。

实际特性曲线与拟合直线之间的偏差称为传感器的非线性误差(或线性度),用 γ_L 表示,即

$$\gamma_L = \frac{|\Delta L_{\max}|}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 $|\Delta L_{\max}|$ 为最大非线性绝对误差;

$y_{\max} - y_{\min}$ 为输出量程范围。

2. 灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态下输出变化量 Δy 与输入变化量 Δx 的比值, 用 S 表示, 即

$$S = \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad (1-2)$$

灵敏度如图 1.3 所示, 它是输入/输出特性曲线的斜率。如果传感器的输出与输入之间呈线性关系, 则灵敏度是一个常数。灵敏度的量纲是输出与输入量纲之比。例如, 某位移传感器在位移变化 1mm 时, 输出电压变化为 50mV, 则其灵敏度为 50mV/mm。当输出、输入量纲相同时, 灵敏度可理解为放大倍数。

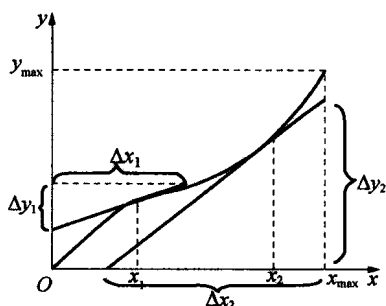


图 1.3 传感器的灵敏度

3. 分辨力

分辨力是指传感器在规定测量范围内检测被测量的最小变化量的能力。只有当输入量变化超过分辨力量值时, 其输出才会发生变化。分辨力越小, 表明传感器检测非电量的能力越强。对于模拟式仪表, 分辨力就是面板刻度盘上的最小分度 (1 格), 而对于数字仪表, 分辨力就是仪表的最小显示数字的一个单位字。

4. 迟滞

传感器在正行程 (输入量增大) 和反行程 (输入量减小) 期间其输入/输出特性曲线不重合的现象称为迟滞现象, 如图 1.4 所示。也就是说, 对于同一大小的输入信号, 传感器的正反行程输出信号大小不相等。产生这种现象的主要原因是由于传感器敏感元件材料的物理性质和平共处机械零部件的缺陷所造成的, 例如弹性敏感元件的弹性滞后、运动部件摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动等。

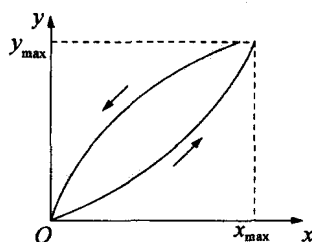


图 1.4 迟滞现象

5. 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向做全量程连续多次变化时, 所得特性曲线不一致的程度, 如图 1.5 所示。多次重复测试的曲线重复性好, 误差也小。重复性的好坏是与许多因素有关的, 与产生迟滞现象具有相同的原因。

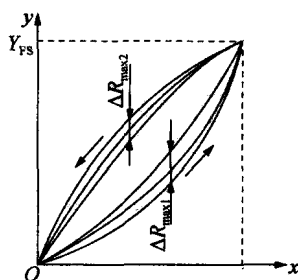


图 1.5 重复特性

1.2.2 传感器的动态特性

所谓动态特性, 是指传感器在输入变化时, 它的输出的特性。在实际工作中, 传感器的动态特性常用它对某些标准输入信号的响应来表示。这是因为传感器对标准输入信号的响应容易用实验方法求得, 并且它对标准输入信号的响应与它对任意输入信号的响应之间存在一定的关系, 往往知道了前者就能推定后者。最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号两种, 所以传感器的动态特性也常用阶跃响应和频率响应来表示。

一个动态特性好的传感器, 其输出将再现输入量的变化规律, 即具有相同的时间函数。实际上除了具有理想的比例特性外, 输出信号将不会与输入信号具有完全相同的时间函数, 这种输出与输入间的差异就是所谓的动态误差。

下面以一个测量水温的过程来说明动态特性。把一支温度计从温度为 t_0 °C 的

环境中迅速插入一个温度为 $t_1^\circ\text{C}$ (设 $t_1^\circ\text{C} > t_0^\circ\text{C}$) 的恒温水中, 这时环境温度将从 $t_0^\circ\text{C}$ 上升到 $t_1^\circ\text{C}$, 而温度计反映出来的温度从 $t_0^\circ\text{C}$ 上升到 $t_1^\circ\text{C}$ 需要一定的时间, 即有一段过渡过程, 如图 1.6 所示。

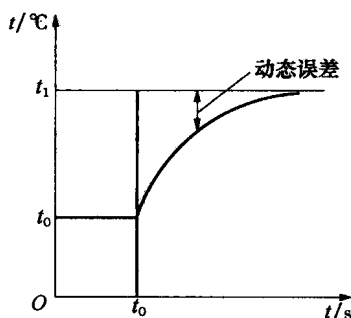


图 1.6 传感器的动态特性

温度计反映出来的温度与介质的实际温度的差值称为动态误差。产生动态误差的原因是温度计有热惯性和传热热阻, 使在动态测温时传感器的输出总是滞后于被测介质的温度变化。

这种热惯性是温度计固有的, 它决定测量快速温度变化时会产生动态误差。这种影响动态特性的“固有因素”任何传感器都有, 只不过它们的表现形式不同而已。研究传感器的动态特性主要是从测量误差角度分析产生动态误差的原因及改善措施。

1.3 测量误差及分类

测量的目的是希望通过测量求出被测量的真值。所谓真值, 是指在一定条件下被测量客观存在的实际值。测量值与真值之间的差值称为测量误差。测量误差可按其不同特性进行分类。

1.3.1 绝对误差与相对误差

1. 绝对误差

绝对误差 Δ 是指测量值 A_x 与真值 A_0 之间的差值, 即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-3)$$

在实验室和计量工作中, 常用修正值 α 表示, 即

$$\alpha = A_0 - A_x = -\Delta \quad (1-4)$$

从上式可知,由修正值 α 、测量值 A_x 可求得真值 A_0 ,绝对误差是有量纲的。

2. 相对误差

有时绝对误差不足以反映测量值偏离约定真值程度的大小,所以还要用相对误差来表示。相对误差用百分比的形式表示,一般多取正值。相对误差可分为如下几种。

(1) 实际相对误差 γ_A 。用绝对误差 Δ 与被测量值 A_0 的百分比表示,即

$$\gamma_A = \pm \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

(2) 示值(标称)相对误差 γ_x 。用绝对误差 Δ 与被测量值 A_x 表示,即

$$\gamma_x = \pm \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-6)$$

(3) 满度(引用)相对误差 γ_m 。用绝对误差 Δ 与仪器满度值 A_m 的比表示,即

$$\gamma_m = \pm \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

上式中,当 Δ 取最大值 Δ_m 时,满度相对误差常被用来确定仪表的精度等级 S ,即

$$S = \left| \frac{\Delta_m}{A_m} \right| \times 100 \quad (1-8)$$

根据精度等级及量程范围,可以推算出该仪表可能出现的最大绝对误差。精度等级规定取一系列标准值。我国电工仪表中常用的模拟式仪表的精度等级分为七级,即0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0级,见表1.1。

表 1.1 仪表的准确度等级和基本误差

等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差/%	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

例如,在正常情况下,用0.5级、量程为100℃的温度表来测量温度时,可能产生的最大绝对误差为:

$$\Delta_m = (\pm 0.5\%) \times A_m = \pm (0.5\% \times 100)^\circ\text{C} = \pm 0.5^\circ\text{C}$$

【例 1.1】某压力表准确度为2.5级,量程为0~1.5MPa,求:①可能出现的最大满度相对误差 γ_m 。②可能出现的最大绝对误差 Δ_m 为多少千帕?③测量结果显示为0.70MPa时,可能出现的最大示值相对误差 γ_x 。

解:①可能出现的最大满度相对误差可以从准确度等级直接得到,即 $\gamma_m = \pm 2.5\%$ 。

$$\textcircled{2} \Delta_m = \gamma_m \times A_m = \pm 2.5\% \times 1.5 \text{ MPa} = \pm 0.0375 \text{ MPa} = \pm 37.5 \text{ kPa}$$

$$\textcircled{3} \gamma_x = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 0.0375}{0.70} \times 100\% = \pm 5.36\%$$

由上例可知, γ_x 的绝对值总是大于 (在满度时等于) γ_m 的。

【例 1.2】现有准确度为 0.5 级的 0 ~ 300℃ 的和准确度为 1.0 级的 0 ~ 100℃ 的两个温度计, 要测量 80℃ 的温度, 试问采用哪一个温度计好?

解: 计算用 0.5 级表及 1.0 级表测量时, 可能出现的最大示值相对误差分别为 $\pm 1.88\%$ 和 $\pm 1.25\%$ 。计算结果表明, 用 1.0 级表比用 0.5 级表的示值相对误差的绝对值反而小, 所以更合适。

由上例得到的结论: 在选用仪表时应兼顾准确度等级和量程, 通常希望示值落在仪表满度值的 2/3 以上。

1.3.2 粗大误差、系统误差和随机误差

1. 粗大误差

明显偏离真值的误差称为粗大误差, 也叫过失误差。粗大误差主要是由于测量人员的粗心大意及电子测量仪器受到突然而强大的干扰造成的。如测错、读错、记错、外界过电压尖峰等造成的误差。就数值而言, 粗大误差明显超过正常条件下的误差。

2. 系统误差

系统误差也称为装置误差, 它反映了测量值偏离真值的程度。凡是误差的数值固定或按一定规律变化的, 均属于系统误差。按其表现的特点, 可分为恒值误差和变值误差两大类。恒值误差在整个测量过程中, 其数值和符号都保持不变。例如, 由于刻度盘分度差错或刻度盘移动而使仪表刻度产生误差, 皆属于此类。而由于电源电压波动、电子元件老化等引起的误差属于变值误差。

系统误差是有规律性的, 因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法予以修正, 也可以重新调整测量仪表的有关部件来消除。

3. 随机误差

在同一条件下, 多次测量同一被测量, 有时会发现测量值时大时小, 误差的绝对值和符号以不可预见的方式变化, 这种误差称为随机误差。虽然某个误差的出现是随机的, 但就误差整体而言, 服从于一定的统计规律, 多数随机误差都服从正态分布。