职业技术教育电类系列教材

ZHIYE JISHU JIAOYU DIANLEI XILIE JIAOCAI

自动检测与转换技术

安徽省高等教育“十一五”规划教材

ZIDONG JIANCE YU ZHUANHUAN JISHU

主编 黄炳龙 刘 兵 副主编 余 鸣 马为民

安徽科学技术出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

自动检测与转换技术/黄炳龙,刘兵主编. —合肥:安徽科学技术出版社,2008.8
(**职业技术教育电类系列教材**)
ISBN 978-7-5337-4032-0

Ⅰ. **自…** Ⅱ. ①**黄…**②**刘…** Ⅲ. ①**自动检测-高等学校:技术学校-教材**②**传感器-高等学校:技术学校-教材** Ⅳ. TP274 TP212

中国版本图书馆 CIP **数据核字**(2008)**第** 044151 **号**

自动检测与转换技术 **黄炳龙 刘 兵 主编**

出 版 人:**朱智润**
责任编辑:**何宗华 期源萍**
出版发行:**安徽科学技术出版社**(**合肥市政务文化新区圣泉路** 1118 **号出版传媒广场,邮编**:230071)
电 话:(0551)3533330
网 址:www.ahstp.net
E - mail:yougoubu@sina.com
经 销:**新华书店**
排 版:**安徽事达科技贸易有限公司**
印 刷:**合肥晓星印刷有限责任公司**
开 本:787×1092 1/16
印 张:12
字 数:290 **千**
版 次:2008 **年** 8 **月第** 1 **版** 2008 **年** 8 **月第** 1 **次印刷**
印 数:3 000
定 价:20.80 **元**

(**本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换**)

前摇摇言

本教材在编写过程中本着培养生产、建设第一线高技能人才的教育目标，按照高职高专层次学生就业必须掌握的知识和技能的原则选定内容，而对于选定的内容则以学生能够阅读理解为度，力求讲清结构，说明原理，使学生了解应用，并且掌握各类传感器的选择、测试和正确使用的方法，从而消除了以往有些高职教材过于干瘪、只有名词堆砌、学生无法自学的弊病。

本书共分为 猿个板块 :板块一，检测技术的基础知识（第一章） :板块二，常用传感器（第二至十三章） :板块三，自动检测技术（第十四、十五章）。我们力求该书可以成为值得工科学生长期收藏的学习指导书和工具书。

本教材由淮北职业技术学院黄炳龙担任第一主编、淮北职业技术学院刘兵任第二主编，芜湖职业技术学院余鸣、安徽职业技术学院马为民任副主编，安徽电子信息职业技术学院李倩参加编写。编写分工为 :第一章、第十五章由黄炳龙编写，第二章、第三章、第四章、第六章由马为民编写，第五章、第七章、第八章、第九章由余鸣编写，第十章、第十一章、第十二章由刘兵编写，第十三章、第十四章由李倩编写。

本书可作为高职高专机电一体化、电气自动化、机械制造技术、电子技术应用等专业的教材，也可作为相关专业技术人员的参考书。

本书在编写过程中参考了许多参考书，同时参阅了一些专业网站和高等学校的精品课程网站的有关内容，在此对有关人员表示感谢。由于编者的水平有限，错漏和不足之处在所难免，恳请各位同行及读者朋友批评指正。

编摇者

内 容 提 要

本书较为详细地讲述了工程常用传感器的原理、特性及其应用，简要介绍了检测技术的基本名词术语和抗干扰技术等自动检测技术中的关键技术，并介绍了几种自动检测与转换技术的综合应用实例。

本书可作为高职高专及其他中高级职业技术院校机电一体化、电气自动化、机械制造技术、电子技术应用等专业的教材，也可作为在职培训和相关专业技术人员的参考书。

目摇摇录

第一章摇检测技术的基础知识…… 员
第一节摇测量的基本概念…… 员
第二节摇测量误差及其分类…… 圆
第三节摇测量误差的分析与处理…… 缘
第四节摇传感器及其基本特性…… 怨
摇思考题与习题 …… 员缘

第二章摇热电阻传感器 …… 员远
第一节摇热电阻 …… 员远
第二节摇热敏电阻 …… 员怨
第三节摇热电阻传感器的应用 …… 圆员
摇思考题与习题 …… 圆猿

第三章摇气敏、湿敏电阻传感器…… 圆缘
摇第一节摇气敏电阻传感器的原理及结构 …… 圆缘
摇第二节摇气敏电阻传感器的应用 …… 圆远
摇第三节摇湿敏电阻传感器的原理及结构 …… 圆怨
摇第四节摇湿敏电阻传感器的应用 …… 圆怨
摇思考题与习题 …… 猿圆

第四章摇自感传感器 …… 猿猿
摇第一节摇自感传感器的原理及结构 …… 猿猿
摇第二节摇自感传感器的测量电路 …… 猿苑
摇第三节摇自感传感器的应用 …… 猿愿
摇思考题与习题 …… 源园

第五章摇差动变压器传感器 …… 源员
摇第一节摇差动变压器的结构及原理 …… 源员
摇第二节摇差动变压器的测量电路 …… 源缘
摇第三节摇差动变压器的应用举例 …… 源苑
摇思考题与习题 …… 源怨

第六章摇电涡流传感器 …… 缘园
摇第一节摇电涡流传感器的原理及结构 …… 缘园
摇第二节摇电涡流传感器转换电路简介 …… 缘猿
摇第三节摇电涡流传感器的应用 …… 缘缘
摇思考题与习题 …… 远园

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第七章摇电容传感器摇 …… 遍圆
摇第一节摇电容传感器的原理及结构 …… 遍圆
摇第二节摇电容传感器的测量电路 …… 遍缘
摇第三节摇电容传感器的应用 …… 苑园
摇思考题与习题 …… 苑员

第八章摇压电传感器摇 …… 苑簿
摇第一节摇压电元件及压电传感器 …… 苑簿
摇第二节摇压电传感器的测量电路 …… 苑愿
摇第三节摇压电传感器的应用举例 …… 愿园
摇思考题与习题 …… 愿圆

第九章摇超声波传感器摇 …… 愿簿
摇第一节摇超声波传感器的原理 …… 愿簿
摇第二节摇超声波传感器的应用 …… 愿远
摇思考题与习题 …… 愿愿

第十章摇霍尔传感器 …… 愿怨
摇第一节摇霍尔元件的工作原理及结构 …… 愿怨
摇第二节摇霍尔传感器测量电路 …… 怨员
摇第三节摇霍尔传感器的应用 …… 怨簿
摇思考题与习题 …… 怨远

第十一章摇热电偶传感器 …… 怨愿
　第一节摇热电偶工作原理 …… 怨愿
　第二节摇热电偶的材料、结构及种类 …… 员员员
　第三节摇热电偶的冷端补偿 …… 员员远
　第四节摇热电偶测温线路 …… 员员怨
摇思考题与习题 …… 员员圆

第十二章摇光电传感器 …… 员员源
　第一节摇光电效应及光电元件 …… 员员源
　第二节摇光电传感器的应用 …… 员圆园
摇思考题与习题 …… 员圆远

第十三章摇数字传感器摇 …… 员圆苑
　第一节摇光栅式传感器 …… 员圆苑
　第二节摇光电编码器 …… 员猿簿
　第三节摇磁栅式传感器 …… 员猿愿
　第四节摇感应同步器 …… 员源圆
摇思考题与习题 …… 员源远

第十四章摇自动检测中的抗干扰技术 …… 员源愿
　第一节摇测试系统信号放大器的传输与噪声 …… 员源愿
　第二节摇测试系统的抗干扰技术 …… 员缘园
圆

第三节摇自动检测系统的可靠性…… 员猿元
第四节摇传感器的标定与选择…… 员猿源
摇思考题与习题…… 员猿园
第十五章摇自动检测与转换技术的综合应用…… 员园员
第一节摇传感器在工业机器人中的应用…… 员园员
第二节摇传感器在 怄冒觉机床与加工中心中的应用 …… 员园源
第三节摇传感器在三坐标测量仪中的应用…… 员园缘
第四节摇传感器在汽车机电一体化中的应用…… 员园愿
摇思考题与习题…… 员员愿
附录…… 员员怨
摇附录一摇传感器的命名…… 员员怨
摇附录二摇几种常用传感器性能比较表…… 员圆园
参考文献…… 员圆园

第一章摇检测技术的基础知识

在信息社会的一切活动领域中，检测是科学地认识各种现象的基础性方法和手段。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。检测技术是所有科学技术的基础，是自动化技术的支柱之一。

自动检测与转换技术是一门以研究检测系统中信息提取、转换及处理的理论和技术为主要内容的应用技术学科，本章先介绍自动检测与转换技术的基础理论。

第一节摇测量的基本概念

一、测量和检测

测量是人们借助专门的技术和设备，通过实验的方法，把被测量与作为单位的标准量进行比较，以判断出被测量是标准量的多少倍数的过程，所得的倍数就是测量值。测量结果包括数值大小和测量单位两部分，数值大小可以用数字、曲线或图形表示。测量的目的是为了精确获取表征被测量对象特征的某些参数的定量信息。

检测是意义更为广泛的测量。在自动化领域中，检测的任务不仅是对成品或半成品的检验和测量，也是为了检查、监督和控制某个生产过程或运动对象并使之处于给定的最佳状态，需要随时检查和测量各种参量的大小和变化等情况。在不强调它们之间细微差别的一般工程技术应用领域中，测量和检测可以相互替代。

二、测量方法

为了获得精确可靠的数据，选择合理的测量方法非常重要。测量方法多种多样，从不同角度有不同的分类方法。

员遥电测法和非电测法

在现代测量中，人们广泛采用电测法测量非电量。电测法是指在检测回路中含有测量信息的电信号转换环节，可以将被测的非电量转换为电信号输出。例如，电容传感器中的交流电桥，将被测参数所引起的电容变化量转换为电压信号输出。除电测法以外的测量方法都属于非电测法。

圆遥直接测量和间接测量

直接测量就是用预先标定好的测量仪表直接读取被测量的测量结果。间接测量需利用被测量与某中间量的函数关系，先测出中间量，再通过相应的函数关系计算出被测量的数值，这个过程较为复杂。

猿遥静态测量和动态测量

静态测量是测量那些不随时间变化或变化很缓慢的物理量 动态测量则是测量那些随时

间变化而变化的物理量。

源藻接触式测量和非接触式测量

根据测量时是否与被测对象相互接触而划分为接触式测量和非接触式测量。

缘藻模拟式测量和数字式测量

模拟式测量是指测量结果可根据仪表指针在标尺上的定位进行连续读取的方法；数字式测量是指测量结果以数字的形式直接给出的方法。一般要求精密测量时多采用数字式测量。

在选择测量方法时，应综合考虑被测量本身的特点，所要求的精确度、灵敏度，以及测量的环境要求，力求测量科学、简单可靠。

第二节 测量误差及其分类

一、测量误差及其表示方法

在一定条件下被测物理量客观存在的实际值，称为真值。真值是一个理想的概念。在实际测量时，由于实验方法和实验设备的不完善、周围环境的影响以及人们辨识能力所限等因素，使得测量值与其真值之间不可避免地存在着差异。测量值与真值之间的差值称为测量误差。测量误差可用绝对误差表示，也可用相对误差和引用误差表示。

(一) 绝对误差

绝对误差 Δ 是指测量值 与真值 之间的差值，即

$$\Delta = x - A_0 \tag{1-1}$$

由于真值 的不可知性，在实际应用时，常用实际真值 代替，即用被测量多次测量的平均值或上一级标准仪器测得的示值作为实际真值 故有

$$\Delta = x - A \tag{1-2}$$

通常以此值来代表绝对误差，绝对误差一般只适用于标准器具的校准。

在实际测量中，还经常用到修正值 修正值是指与绝对误差数值相等但符号相反的数值，即 = -Δ = - 修正值给出的方式可能是具体的数值、一条曲线、公式或数表。显然，将测量值与修正值相加就可以得到实际真值。

绝对误差愈小，说明指示值愈接近真值，其测量精度愈高。但这一结论只适用于被测量值相同的情况，而不能说明不同值的测量精度。例如，某仪器测量 的长度，绝对误差为 ；另一仪器测量 长度，误差为 。这就很难按绝对误差的大小来判断测量精度高低了，这是因为后者的绝对误差虽然比前者大，但它相对于被测量的值却显得较小。为此，人们引入了相对误差的概念。

(二) 相对误差

相对误差常用百分比的形式来表示，一般多取正值。相对误差可分为实际相对误差、示值(标称) 相对误差和引用 (相对) 误差等。

实际相对误差是用测量值的绝对误差 Δ 与其实际真值 的百分比来表示的相对误差，即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A} \times 100\% \tag{1-3}$$

示值（标称）相对误差 γ_x 是用测量值的绝对误差 Δx 与测量值 x 的百分比来表示的相对误差，即

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \tag{1-3}$$

在检测技术中，由于相对误差能够反映出测量技术水平的高低，因此更具有实用性。例如，测量两地距离为 1 km 的路程时，若测量结果为 1.01 km，则测量结果的绝对误差是 0.01 km，示值相对误差为 1%；如果把 1 m 长的一匹布量成 0.99 m，尽管绝对误差只有 0.01 m，与前者 0.01 km 相比较要小很多，但 1% 的示值相对误差却比前者 1% 大得多，这说明后者测量水平较低。

（2）引用（相对）误差 是指测量值的绝对误差 Δx 与仪器的量程 x_m 的百分比。引用误差的最大值叫做最大引用（相对）误差 γ_m，即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_{max}}{x_m} \times 100\% \tag{1-4}$$

由于式（1-4）中的分子、分母都由仪表本身所决定，所以在测量仪表中，人们经常使用最大引用误差评价仪表的性能。最大引用误差又称为满度（引用）相对误差，是仪表基本误差的主要形式，所以也常称之为仪表的基本误差，它是仪表的主要质量指标。基本误差去掉百分号（%）后的数值定义为仪表的精度等级。精度等级规定取一系列标准值，通常用阿拉伯数字标在仪表的刻度盘上，等级数字外有一圆圈。我国目前规定的精度等级有 0.005、0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 等级别。精度等级数值越小，测量的精确度越高，仪表的价格越贵。

由于仪表都有一定的精度等级，因此其刻度盘的分格值不应小于仪表的允许误差（绝对误差）值，小于允许误差的分度是没有意义的。

在正常工作条件下使用时，工业上常用的各等级仪表的基本误差应不超过表 1-1 所规定的值。

表 1-1 常用仪表的精度等级和基本误差

精度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	4.0
基本误差	±0.1%	±0.2%	±0.5%	±1.0%	±1.5%	±2.5%	±4.0%

【例 1-1】某温度计的量程范围为 0～1 000 ℃，校验时该表的最大绝对误差为 6 ℃，试确定该仪表的精度等级。

解 根据题意知 $\Delta x_{max} = 6$ ℃，$x_m = 1\,000$ ℃，代入式（1-4）中，得

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_{max}}{x_m} \times 100\% = \frac{6}{1\,000} \times 100\% = 0.6\%$$

从表 1-1 中可知，该温度计的基本误差介于 0.5～1.0，因此该表的精度等级应定为 1.0 级。

【例 1-2】现有 1.0 级的 0～300 ℃和 0.5 级的 0～100 ℃的两个温度计，欲测量 80 ℃的温度，试问选用哪一个温度计好？为什么？

解 1.0 级温度计测量时可能出现的最大绝对误差、测量 80 ℃时可能出现的最大示值相对误差分别为

$$\Delta x_{max1} = \gamma_{m1} \cdot x_{m1} = 1.0\% \times 300\ ℃ = 3\ ℃$$

$$\gamma_{x1} = \frac{\Delta x_{max1}}{x} \times 100\% = \frac{3}{80} \times 100\% = 3.75\%$$

$$\gamma_{额}越\frac{渣曾渣_{员}伊无担豫越员豫}{曾伊无担豫越员豫}$$

员援缘级温度计测量时可能出现的最大绝对误差、测量 原园益时可能出现的最大示值相对误差分别为

$$渣曾渣_{圆}越\gamma_{额}\cdot 粤_{圆}越员援缘伊(员-原园)越员$$

$$\gamma_{圆}越\frac{渣曾渣_{圆}}{曾伊无担豫越\frac{员}{原园}伊无担豫越员援缘豫}$$

计算结果 $\gamma_{额}$跃$\gamma_{圆}$,可见用 员援缘级温度计比用 园援缘级温度计测量时,示值相对误差反而小。因此在选用仪表时,不能单纯追求高精度,而是应兼顾精度等级和量程,最好使测量值落在仪表满度值的 圆/猿以上区域内。

二、测量误差的分类

由于被测量千差万别,影响测量工作的因素非常多,使得测量误差的表现形式也多种多样,因此测量误差有不同的分类方法。

(一) 按误差表现的规律划分

(员) 系统误差摇对同一被测量进行多次重复测量时,若误差固定不变或者按照一定规律变化,这种误差称为系统误差。

系统误差主要是由于测量系统本身不完备或者环境条件的变化造成的,如所使用仪器仪表的误差、测量方法的不完善、各种环境因素的波动,以及测量者个体差异等原因。

系统误差反映了测量值偏离真值的程度,可用“正确度”一词表征。系统误差是有规律性的。按其表现的特点,可分为固定不变的恒值系差和遵循一定规律变化的变值系差。系统误差一般可通过实验或分析的方法,查明其变化的规律及产生的原因,因此它是可以预测的,也是可以消除的。

(圆) 随机误差摇对同一被测量进行多次重复测量时,若误差的大小随机变化、不可预知,这种误差称为随机误差。

随机误差是由很多复杂因素的微小变化引起的,尽管这些不可控微小因素中的一项对测量值的影响甚微,但这些因素的综合作用却造成了各次测量值的差异。随机误差反映了测量结果的“精密度”,即各个测量值之间相互接近的程度。

对随机误差的某个单值来说,是没有规律、不可预料的,但从多次测量的总体上看,随机误差又服从一定的统计规律,大多数服从正态分布规律,因此可以用概率论和数理统计的方法,从理论上估计其对测量结果的影响。

(猿) 粗大误差摇测量结果明显地偏离其实际值所对应的误差,称为粗大误差或疏忽误差,又叫过失误差。

(源) 缓变误差摇数值随时间而缓慢变化的误差称为缓变误差。

缓变误差产生的原因主要是测量仪表零件的老化、失效、变形等原因造成的。这种误差在短时间内不易察觉,但在较长的时间后会显露出来。通常可以采用定期校验的方法及时修正缓变误差。

(二) 按被测量与时间关系划分

(员) 静态误差摇被测量稳定不变时所产生的测量误差称为静态误差。

(圆) 动态误差摇被测量随时间迅速变化时,系统的输出量在时间上却跟不上输入的变化,

需要上本请访问 www.ertongbook.com

源

这时所产生的误差称为动态误差。例如，用水银温度计插入 员缘缘℃沸水中，水银柱不可能立即升到 员缘缘℃，此时读数必然产生动态误差。

此外，按测量仪表的使用条件分类，可将误差分为基本误差和附加误差；按测量技能和手段分类，误差又可分为工具误差和方法误差。

第三节　测量误差的分析与处理

一、随机误差的统计特征

(一) 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，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服从正态分布，即

$$y=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}} \qquad (2-10)$$

式中，Δx 为测量值的绝对误差；

σ 为分布函数的标准误差。

图 2-9 为随机误差的正态分布曲线。具有正态分布的随机误差有以下 4 个特征：

(1) 对称性　绝对值相等的正、负误差出现的概率大致相等。

(2) 单峰性　绝对值越小的误差在测量中出现的概率越大。

(3) 有界性　在一定的测量条件下，随机误差的绝对值不会超过一定的界限。

(4) 抵偿性　在相同的测量条件下，当测量次数增加时，随机误差的算术平均值趋向于零。

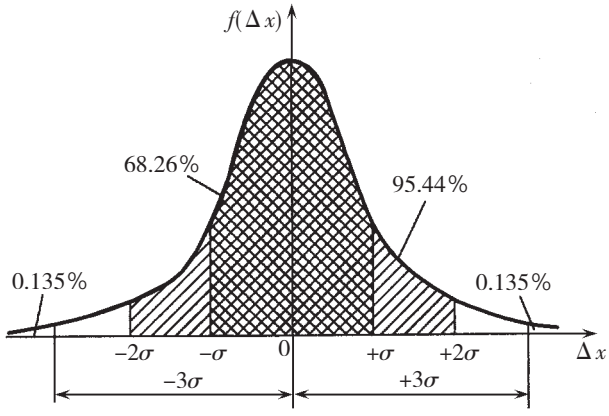


图 2-9　随机误差的正态分布曲线

(二) 随机误差的估计

进一步对式 (2-10) 分析可以发现，当 σ 变化时，正态分布曲线的形状会随之改变。若 σ 变小，则曲线尖锐，说明小误差出现的概率增大，大误差出现的概率减小，测量值都集中在真值附近，这时测量值的离散程度小；反之，若 σ 增大，则曲线平坦，说明大误差和小误差出现的概率差异减小，测量值不是集中在真值附近，而是离散程度变大。这个现象说明，σ 值直接反映了测量结果的密集程度，因此常用 σ 值来表征测量的精密度。

当对某个量 x 进行无限次测量时，各次测量误差平方和的平均值的平方根称为均方根误差，也叫标准误差，即

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta x_i)^2}{n}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-x_0)^2}{n}} \qquad (2-11)$$

摇摇由于真值 蕴未知，且实际测量中的测量次数为有限值，所以通常用测量值的算术平均值 曾替代真值 蕴，曾按下式计算：

$$\bar{曾} 越 \frac{曾_{员} 垣 曾_{圆} 垣 \cdots 垣 曾_{灶}}{灶} 越 \frac{员}{灶}\sum_{蚕=员}^{灶} 曾_{蚕} \qquad (员-愿)$$

摇摇这时均方根误差可按下式计算：

$$\sigma_{泽} 越 \sqrt{\frac{\sum_{蚕=员}^{灶}(曾_{蚕} 原 \bar{曾})^{圆}}{灶原员}} 越 \sqrt{\frac{\sum_{蚕=员}^{灶} 责_{蚕}^{圆}}{灶原员}} \qquad (员-怨)$$

式中，责$_{蚕}$称为残余误差（残差），它可表示为

$$责_{蚕} 越 曾_{蚕} 原 \bar{曾} \qquad (员-员园)$$

摇摇式（员-怨）称为贝塞尔公式，是求 σ 值的近似公式。

在实际测量中，人们常关注测量值 曾$_{蚕}$在真值附近某一范围的概率大小，此范围一般取标准误差 σ 的若干倍 噪 的对称区间，即［原噪，噪］，该区间称为置信区间或置信限，噪称为置信系数，习惯上 噪取整数。误差落在置信区间［原噪，噪］的概率称为置信概率 孕，可以求得：孕{渣曾查≤σ} 越遭遇遇豫，孕{渣曾查≤圆} 越怨缘缘源豫，孕{渣曾查≤猿} 越怨怨苑愿豫。由于误差出现在区间［原猿，猿］的概率已经达到 怨怨苑愿豫，可以认为某次测量的误差基本上都落在这个区间，所以可用 猿 作为极限误差。

由于测量次数有限，因此 曾与 蕴仍有一定误差，$\bar{曾}$只是 蕴的估计值，某个测量列的 $\bar{曾}$与另一个测量列的 $\bar{曾}$之间也有区别，即 $\bar{曾}$同样存在分散性问题。算术平均值的标准误差 $\bar{\sigma}$ 与测量值的标准误差 σ 的关系为

$$\bar{\sigma} 越 \frac{\sigma}{\sqrt{灶}} \qquad (员-员员)$$

摇摇对于一个等精度的、独立的、有限的测量列来说，在没有系统误差和粗大误差的情况下，它的测量结果通常表示为

$$曾 越 \bar{曾} 依 猿\bar{\sigma} 摇摇摇 (孕 越怨怨苑愿豫) \qquad (员-员圆)$$

二、系统误差的发现与处理

系统误差是由于被测量受到若干因素的显著影响而造成的。由于常常涉及对不同的测量对象、测量原理及测量方法的具体分析，因此系统误差的发现与处理通常比随机误差困难得多，而系统误差对测量结果的影响也远比随机误差严重，所以必须想办法发现和消除系统误差的影响，把它降低到允许限度之内。

系统误差与其影响因素之间有着确定的函数关系，因此系统误差是能够通过适当的技术措施确定并加以修正的。一般步骤是：首先设法判别系统误差是否存在；然后分析系统误差产生的原因，并在测量之前尽力消除；同时在测量中采取一些技术措施，尽力消除或减弱系统误差的影响；测量之后再设法估计残存的系统误差范围。

员、系统误差的类型

按照所表现出来的规律，通常把系统误差划分为以下几种。

（员）固定不变的系统误差摇是指在重复测量中，数值大小和符号均不变的系统误差。固远

定不变的系统误差大多数是由于测量设备的缺陷或者采用了不适当的测量方法造成的。例如,天平砝码的质量误差、观测者习惯性的错误角度等。

(圆 线性变化的系统误差摇是指随着测量次数或时间的增加,数值按照一定比例而不断增加 (或减少) 的系统误差。例如,用齿轮流量计测量含有微小固体颗粒的液体时,由于磨损会使泄漏量越来越大,这样就产生了线性变化的系统误差。

(猿 周期性变化的系统误差摇是指数值和符号循环交替、重复变化的系统误差。例如,用热电偶在露天环境下测温时,其冷端温度随着昼夜温度的变化做周期性变化。若不进行冷端温度补偿,测量结果必然包含有周期性变化的系统误差。

(源 复杂规律变化的系统误差摇是指既不随时间做线性变化也不做周期性变化,而是按照复杂规律变化的系统误差。

固定不变的系统误差又叫恒值系统误差 线性、周期性或复杂规律变化的系统误差统称为变值系统误差。

圆藻系统误差的发现

由于系统误差对测量精度影响较大,必须设法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常用方法。

(员 实验比对法摇用多台同类或相近的仪表对同一被测量进行测量,通过分析测量结果的差异来判断系统误差是否存在。例如,用天平和台秤称量同一物体,即可发现台秤存在的系统误差。

(圆 残余误差观察法摇将一个测量列的残余误差在 责蚕-灶坐标中依次连接后,通过观察误差曲线即可判断有无系统误差的存在。这种方法很直观,如图 员-圆所示。图 (葬所示不存在系统误差,图 (遭所示存在线性变化的系统误差,图 (糟所示存在周期性变化的系统误差,图 (凿所示同时存在线性变化和周期性变化的系统误差。

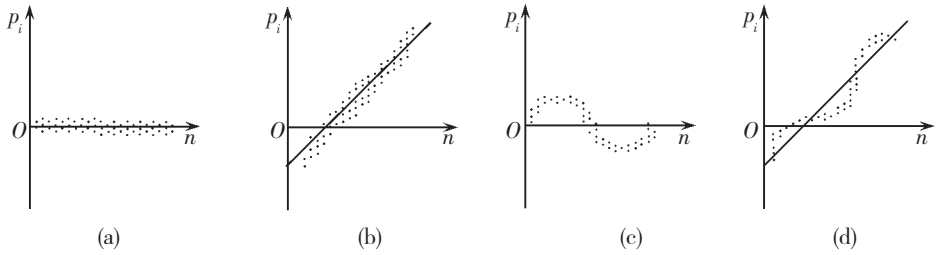


图 员-圆摇责蚕-灶示意图

(猿 准则判别法摇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、阿贝-赫梅特准则、计算标准误差比较法等。

设对某一被测量 曾进行 灶次等精度测量,测量结果依次为 曾员,曾圆,…,曾灶,求出相应的残余误差 责员,责圆,…,责灶,将残差分成前、后两部分,并求差值:

$$\text{阅越}\sum_{\text{蚕}=\text{员}}^{\text{噪}}\text{责蚕}\ \text{原}\sum_{\text{蚕}=\text{噪}+\text{员}}^{\text{灶}}\text{责蚕} \qquad \text{(员-员猿}$$

式中,灶为奇数时,噪越$\frac{\text{灶}+\text{员}}{\text{圆}}$;灶为偶数时,噪越$\frac{\text{灶}}{\text{圆}}$。

若 阅近似为零,则说明上述测量列中不包含线性变化系统误差 如果 阅与 责蚕值相当或更大,则说明测量列中存在线性变化系统误差 如果 园约阅约责蚕,则说明不能肯定是否存在线性变

化系统误差。

猿、系统误差的减小和消除方法

在测量过程中，减少和消除系统误差常用的一些方法有：

（员）替代法：在测量条件不变的基础上，用标准量替代被测量，实现相同的测量效果，从而用标准量确定被测量。替代法能有效地消除检测装置的系统误差。

（圆）零位式测量法：测量时将被测量与其已知的标准量（粤）进行比较，调节标准量使两者的效应相抵消，系统达到平衡时，被测量等于标准量。

（猿）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，在热电偶冷端温度补偿器靠近热电偶冷端处，放置一个正温度系数的铜电阻，不平衡电桥所产生的不平衡电压可以自动补偿热电偶冷端温度变化所引起的热电势的变化。

（源）修正法：若仪表的修正值已知时，将测量结果的指示值加上修正值，就得到了被测量的实际值。用此法可大大削弱测量中的系统误差。

消除或减小系统误差的方法还有很多，在此不一一列举。

三、粗大误差的判别和测量结果的数据处理

员、粗大误差的判别

在无系统误差的条件下对被测量进行等精度测量，若个别数据与其他数据有明显差异，则表明该数据可能包含有粗大误差，可将其列为可疑数据。但可疑数据并一定都是坏值，因此发现可疑数据时，要根据误差理论来决定取舍。

误差理论剔除坏值的基本方法是：给定一个置信概率并确定一个置信区间，凡超出此区间的误差即认为它不属于随机误差而是粗大误差，则应将该粗大误差所对应的坏值予以剔除。常用的“拉依达准则”（猿准则）规定：凡是随机误差大于（猿）的测量值都认为是坏值，应予以剔除。

对粗大误差的处理，除了采用从测量结果中对其加以判别和剔除外，更重要的是要加强测量者的工作责任心，提高测量操作技能，以严肃、认真的科学态度对待测量工作。

圆、测量结果的数据处理

在对被测量进行等精度多次重复测量，并取得一系列测量数据之后，就要对数据进行准确的加工整理和分析，以便得到一个较理想的测量结果。考虑到系统误差可以利用有关方法判明其是否存在，并予以消除，故假定给出的测量数据中不含有系统误差。

【例猿】用温度传感器对某温度进行员圆次等精度测量，测量数据（益）如下：[illegible]要求对该组数据进行分析整理，并写出最后结果。

解：数据处理步骤如下：

（员）记录填表：将测量数据 x_i（$i=1,2,\cdots,n$）按测量序号依次列在表格的第员圆列中，如表员-圆所示。

（圆）计算

①求出测量数据列的算术平均值 $\bar{x}$，填入表员-圆第圆列的下面。

$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i=\frac{1}{12}\sum_{i=1}^{12}x_i=[illegible]$$

愿

摇摇②计算各测量值的残余误差 责蚤越曾蚤原曾并相应列入表 员-圆中的第 猿列。当计算无误时，理论上有 $\sum_{蚤越员}^{灶}$ 责蚤 越园但实际上，由于计算过程中存在由四舍五入所引入的误差，此关系式通常不能满足。本例中 $\sum_{蚤越员}^{圆园}$ 责蚤 越园援园园园≈园

③计算 责蚤值并列在表 员-圆第 源列，按贝塞尔公式计算出标准误差 σ 后，填入本列下面。本例中，由于 $\sum$ 责蚤 越源援愿伊员园$^{-源}$，于是

$$\sigma 越\sqrt{\frac{\sum_{蚤越员}^{圆园} 责蚤}{灶原员}}越\sqrt{\frac{源援愿伊员园^{-源}}{员怨}}\approx 园援园园$$

摇摇(猿)判别坏值摇根据拉依达准则检查测量数据中有无坏值。如果发现坏值，应将坏值剔除，然后从步骤(圆)重新计算，直至数据列中不存在坏值。如果无坏值，则继续步骤(源)。

本例采用拉依达准则检查坏值，因为 猿 越园援园园员而所有测量值的剩余误差 责蚤均满足 $|责_{蚤}|<3\sigma$，显然数据中无坏值。

(源)列出最后测量结果

①在确定不存在坏值后，计算算术平均值的标准误差 $\bar{\sigma}$。

$$\bar{\sigma}越\frac{\sigma}{\sqrt{灶}}越\frac{园援园园}{\sqrt{员园}}\approx园援园园$$

②写出最后的测量结果：$曾=\bar{曾}\pm\bar{\sigma}$，并注明置信概率。

本例中 猿越园援园园员越园援园园愿，因此最后的测量结果写为

曾越园援园园源猿(益)　摇摇摇(责越怨怨援怨豫)

表 员-圆摇测量结果的数据处理举例

蚤	曾蚤(益)	责蚤	责蚤
员	园援园园员	原园援园园猿	园援园园员愿怨
圆	园援园园圆	垣园援园园苑	园援园园园圆怨
猿	园援园园园	垣园援园园苑	园援园园园园怨
源	园援园园圆	垣园援园园苑	园援园园园圆怨
缘	园援园园愿	原园援园园猿	园援园园园远怨
远	园援园园苑	原园援园园源	园援园园园缘怨
苑	园援园园园	垣园援园园苑	园援园园园园怨
愿	园援园园怨	原园援园园猿	园援园园园园怨
怨	园援园园苑	原园援园园源	园援园园园缘怨
员园	园援园园怨	原园援园园猿	园援园园园园怨
员员	园援园园缘	垣园援园园苑	园援园园园愿怨
员圆	园援园园缘	垣园援园园苑	园援园园园愿怨
$\sum_{蚤越员}^{灶}曾蚤越园援园园缘园$ $\bar{曾}越园援园园缘猿$		$\sum_{蚤越员}^{圆园}责蚤越园援园园园≈园$	$\sum_{蚤越员}^{圆园}责蚤越源援愿伊员园^{-源}$ $\sigma\approx园援园园圆$

第四节摇传感器及其基本特性

一、传感器的定义及组成

现代信息技术包括计算机技术、通信技术和传感器技术等，计算机相当于人的大脑，通信相当于人的神经，而传感器则相当于人的感觉器官。如果没有各种精确可靠的传感器去检测原始数据并提供真实的信息，即使是性能非常优越的计算机，也无法发挥其应有的作用。

员、传感器

从广义上讲，传感器就是能够感觉外界信息，并能按一定规律将这些信息转换成可用的输出信号的器件或装置。这一概念包含了下面 猿方面的含义：

(员) 传感器是一种能够完成提取外界信息任务的装置。

(圆) 传感器的输入量通常指非电量，如物理量、化学量、生物量等，而输出量是便于传输、转换、处理、显示等的物理量，主要是电量信号。例如，电容传感器的输入量可以是力、压力、位移、速度等非电量信号，输出则是电压信号。

(猿) 传感器的输出量与输入量之间精确地保持一定规律。

圆、传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路 猿部分组成，如图 员-猿所示。

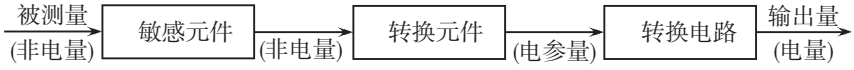


图 员-猿 摇传感器组成框图

(员) 敏感元件摇敏感元件是传感器中能直接感受被测量的部分，即直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的某一物理量。例如，弹性敏感元件将压力转换为位移，且压力与位移之间保持一定的函数关系。

(圆) 转换元件摇转换元件是传感器中将敏感元件输出量转换为适于传输和测量的电信号部分。例如，应变式压力传感器中的电阻应变片将应变转换成电阻的变化。

(猿) 转换电路摇转换电路将电量参数转换成便于测量的电压、电流、频率等电量信号。例如，交、直流电桥，放大器，振荡器，电荷放大器等。

应该注意，并不是所有的传感器必须同时包括敏感元件和转换元件。

二、传感器的分类

传感器千差万别，种类繁多，分类方法也不尽相同，常用的分类方法有下面几种。

员、按被测物理量分类

按被测物理量，可分为温度、压力、流量、物位、位移、加速度、磁场、光通量等传感器。这种分类方法明确表明了传感器的用途，便于使用者选用，如压力传感器用于测量压力信号。

圆、按传感器工作原理分类

按工作原理，可分为电阻传感器、热敏传感器、光敏传感器、电容传感器、自感传感器、磁电传感器等，这种方法表明了传感器的工作原理，有利于传感器的设计和应用。例如，电容传感器就是将被测量转换成电容值的变化。表 员-猿列出了这种分类方法中各类型传感器的名称及典型应用。

需要全本请访问 www.ertongbook.com