教育部高等职业教育示范专业规划教材
（电气工程及自动化类专业）

自动检测技术及应用

主编摇武昌俊
参编摇张广红摇花汝华
摇摇摇摇鲁业安摇尚冬梅
主审摇程摇周

机 械 工 业 出 版 社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

摇摇本书是教育部高等职业教育示范专业规划教材。主要内容有：检测技术的基本知识；工业、生活等领域常用传感器的基本原理、转换电路及其应用；检测系统信号的处理、变换及抗干扰技术；自动检测技术的综合应用等。

摇摇本书突出了传感器的应用和制造工艺方面的内容，特别介绍了新技术、新器件在自动检测领域的新应用，具有较强的实用性和可参考性，旨在帮助读者提高理论联系实际的能力。

摇摇本书可作为高职高专电气自动化类、仪器仪表类、电子技术类、机电技术及数控类、计算机类等专业的教材，也可供生产技术、管理、运行人员及其他工程技术人员参考用书。为方便教学，本书特备有免费教学课件，如有需求者请向本书责任编辑索要 (

摇图书在版编目 (悄摇数据

摇自动检测技术及应用 辕武昌俊主编 郾—北京：机械工业出版社，

摇教育部高等职业教育示范专业规划教材 郾电气工程及自动化类专业

摇

摇Ⅰ郾自 郾摇Ⅱ郾武 郾摇Ⅲ郾自动检测—高等学校；技术学校—教材摇Ⅳ郾

摇中国版本图书馆 悄摇数据核字 (

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 郾摇邮政编码

责任编辑：于摇宁摇高摇倩摇版式设计：冉晓华

责任校对：申春香摇摇摇摇封面设计：鞠摇杨

责任印制：陶摇湛

北京铭成印刷有限公司印刷 · 新华书店北京发行所发行

摇年 摇月第 摇版第 摇次印刷

开本：摇 印张：摇 字数：摇千字

定价：摇元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (

封面无防伪标均为盗版

前摇摇言

摇摇本教材是根据高职高专电类专业国家教学改革的需要编写的，体现了“以淡化理论，够用为度，培养技能，重在运用，能力为本位”的指导思想，适应于社会要求培养的人才具有“创造性、实用性”的需要。本教材力图使高职高专电类专业学生在学完本课程后能获得具有从事生产一线的技术和运行人员所必须掌握的自动检测技术、传感器和抗干扰技术等方面的基本知识和基本应用技能。

摇摇本教材着重于介绍常用传感器的工作原理，测量转换电路及其应用。在取材方面，既考虑了检测技术日新月异的发展趋势，也考虑到高职高专教育对象的实际基础水平既有深度又有广度。因而，本教材主要的着眼点在于结合实际来提高高职高专学生的工艺知识水平和解决实际问题的能力，压缩了大量的理论推导，突出了高职高专教材的实用性。

摇摇本教材总学时为 缘园学时左右（包括实验），主要作为高职高专学校自动化类、仪器仪表类、电子技术类、机电技术类等电类专业的用书。教材中各章具有一定的独立性，其他有关专业（如计算机、数控、汽车类等专业）可根据需要选用不同的章节，也可供有关从事检测、控制技术等工程技术人员参考。为方便教学，本书特备有免费教学课件，如有需求者，请向本书责任编辑索要，电话 园[illegible]

摇摇全书共分 员园章。第 员章对检测技术的基本知识作了较详细的介绍；第 圆章至第 怨章按工作原理分类介绍了各种类型传感器的基本原理、转换电路及其典型应用；第 员园章介绍了检测系统信号的处理、变换及抗干扰技术；第 员员章为自动检测技术的综合应用。

摇摇本教材由安徽机电职业技术学院武昌俊担任主编，并编写了绪论，第 员 圆 猿章及附录。其他章节参编分工如下：第 源 缘 苑章由山西机电职业技术学院张广红编写；第 远 怨章由安徽机电职业技术学院花汝华编写；第 愿章由安徽机电职业技术学院鲁业安编写；第 员园 员员章由陕西工业职业技术学院尚冬梅编写。全书由安徽职业技术学院程周副教授担任主审。主审以高度负责的态度审阅全文，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

摇摇本教材在编写过程中，还得到安徽机电职业技术学院储克森院长、电气工程系周元一主任的亲切关怀和指导；安徽机电职业技术学院孙晗同志为全书的文字录入、插图处理和编辑做了大量的工作；编写中参考和应用了许多专家、学者的著作。编者在此一并表示衷心的感谢！

摇摇由于传感器技术发展较快，而且自动检测技术涉及的知识面非常广泛，也由于作者的水平有限，在接触领域和理解上又有一定局限性，因此，在内容选择和安排上，不免会存在遗漏和不妥之处，诚请读者批评指正。

编摇者

目录

前言

绪论 …… 1

第 1 章 检测技术的基本知识 …… 5

1.1 测量的基本概念 …… 5

1.2 测量误差及其分类 …… 7

1.3 测量结果的数据分析及其处理 …… 11

1.4 传感器及其基本特性 …… 19

1.5 传感器中的弹性敏感元件 …… 21

习题 …… 23

第 2 章 电阻式传感器及其应用 …… 24

2.1 电阻应变片式传感器 …… 24

2.2 电位器式传感器 …… 31

2.3 测温热电阻式传感器 …… 36

2.4 其他电阻式传感器 …… 40

习题 …… 42

第 3 章 电感式传感器及其应用 …… 42

3.1 自感式传感器 …… 42

3.2 差动变压器式传感器 …… 46

3.3 电涡流式传感器 …… 51

习题 …… 54

第 4 章 电容式传感器及其应用 …… 55

4.1 电容式传感器的工作原理及其结构形式 …… 55

4.2 电容式传感器的测量转换电路 …… 59

4.3 电容式传感器的应用 …… 63

习题 …… 65

第 5 章 热电偶传感器及其应用 …… 66

5.1 热电偶传感器的工作原理 …… 66

5.2 热电偶的种类和结构 …… 68

5.3 热电偶的冷端补偿和测温电路 …… 70

5.4 热电偶的应用及其配套仪表 …… 72

习题 …… 74

第 6 章 光电传感器及其应用 …… 74

6.1 光电效应及光电元器件 …… 74

6.2 光电开关及光电断续器 …… 77

6.3 电荷耦合器件 (CCD) …… 79

6.4 光电式传感器的应用 …… 82

6.5 热释电元件及红外人体检测 …… 84

习题 …… 86

第 7 章 霍尔传感器及其应用 …… 86

7.1 霍尔元件的结构及其工作原理 …… 86

7.2 霍尔元件的特性参数及其误差 …… 88

7.3 霍尔集成电路 …… 90

7.4 霍尔传感器的应用 …… 92

习题 …… 94

第 8 章 数字式传感器及其应用 …… 94

8.1 码盘式传感器 …… 94

8.2 光栅传感器 …… 96

8.3 磁栅传感器 …… 98

8.4 感应同步器 …… 100

习题 …… 102

第 9 章 其他类型传感器及其应用 …… 102

9.1 压电传感器 …… 102

9.2 超声波传感器 …… 104

习题 …… 106

第 10 章 信号的处理、变换及抗干扰技术 …… 106

10.1 信号的处理与变换 …… 106

10.2 信号的输出、显示和记录装置 …… 109

10.3 抗干扰技术 …… 111

习题 …… 113

第 11 章 自动检测技术的综合应用 …… 113

11.1 传感器的选用原则 …… 113

11.2 自动检测系统的智能化 …… 115

11.3 综合应用举例 …… 117

习题 …… 119

附录 …… 119

摇附录 粤摇测量的基准、标准和单位制简介 …… 员源
摇附录 月摇几种常用传感器的性能比较 …… 员缘
摇附录 悦摇工业热电阻分度表 …… 员远
摇附录 阅摇镍铬—镍硅热电偶分度表（自由端温度为 园℃） …… 员苑
参考文献 …… 员怨

需要全本请访问 www.ertongbook.com

绪摇摇论

摇摇检测包含检查和测量两方面，是将生产、科研、生活等方面的有关信息通过选择合适的方法与装置进行分析或定量计算，以发现事物的规律性。在自动化系统中，人们为了有目的地进行控制，首先需要通过检测获取生产流程中的各种有关信息，然后对它们进行分析、判断，以便进行自动控制。

摇摇员 检测技术

摇摇检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换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。广义上说，检测技术是自动化技术的四个支柱之一，检测技术的任务是：寻找与自然信息具有对应关系的各种表现形式的信号，以及确定的定性、定量关系；从反映某一信息的多种信号中挑选出在所处条件下最为合适的表现形式，及寻求最佳的采集、变换、处理、传输、存储、显示的方法和相应的设备。

摇摇信息采集是指从自然界诸多被检查与测量量 (物理量、化学量、生物量与社会量等) 中提取有用的信息。

摇摇信息变换是将所提取出的有用信息向电量、幅值、功率等形式转换。

摇摇信息处理的任务是根据输出环节的需要，将变换后的电信号进行数字运算 (求均值、极值等) 以及模拟量、数字量变换等处理。

摇摇信息传输的任务是在排除干扰的情况下经济地、准确无误地把信息进行远、近距离的传递。

摇摇虽然检测技术服务的领域非常广泛，但是从这门课程的研究内容来看，不外乎是传感器技术、误差理论、测试计量技术、抗干扰技术以及电量间互相转换的技术等。提高自动检测系统的检测分辨率、精度、稳定性和可靠性是本门学科的主要研究方向。

摇摇圆 自动检测系统的组成

摇摇自动检测系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号等诸系统的总称，其原理框图如图 园 所示。对具体检测系统或传感器而言，必须将框图中的各项内容赋以具体的内容。

摇摇传感器是指一个能将被测的非电量变换成电量的器件，是连接被测对象和检测系统的接口。它提供给系统赖以进行处理和决策所必须的原始信息，是一些现代技术的起点，在很大程度上决定了系统的功能，是一个关键性器件。

摇摇信息处理电路的作用是把传感器输出的电量变成具有一定驱动和传输能力的信号 (如电压、电流、频率等)，以推动后级的显示电路、数据处理装置及执行机构。

摇摇目前常用的显示器有四类：模拟显示、数字显示、图像显示及记录仪等。模拟显示是利用指针对标尺的相对位置来表司读数的，常见的有毫伏表、微安表、模拟光柱等。摇摇

摇摇数字显示目前多采用发光二极管 (缮祝) 和液晶 (缮悦) 等，以数字的形式来显示读数。前

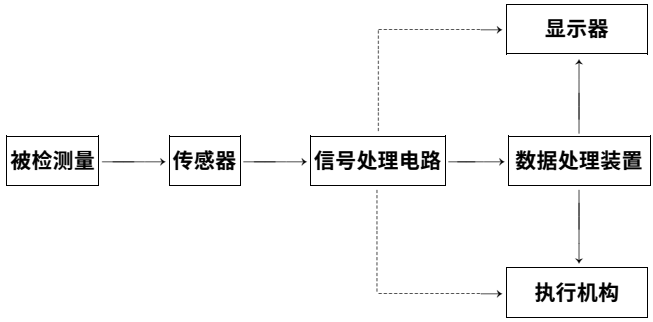


图 圆摇摇自动检测系统的原理框图

者亮度高、耐振动、可适应较宽的温度范围；后者耗电低、集成度高。目前还研制出了带背光板的 缮慧视，便于在夜间观看 缮慧视显示的内容。

摇摇图像显示是用 悄碱或点阵式的 缮慧视来显示读数或被测参数的变化曲线，有时还可以用图表或彩色图等形式来反映整个生产线上的多组数据。

摇摇记录仪主要用来记录被检测对象的动态变化过程，常用的记录有笔式记录仪、高速打印机、绘图仪、数字存储示波器、磁带记录仪等。

摇摇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（幅值谱分析、功率谱分析）、相关分析等，完成这些任务必须采用计算机技术。摇摇

摇摇数据处理的结果通常送到显示器和执行机构中去，以显示运算处理的各种数据或控制各种被控对象。在不带数据处理装置的自动检测系统中，显示器和执行机构由信号处理电路直接驱动，如图 圆摇中的虚线所示。

摇摇执行机构通常是指各种接触器、电磁铁、电磁阀门、电磁调节阀、伺服电动机等，它们在电路中是起通断、控制、调节、保护等作用的电器设备。许多检测系统能输出与被测量有关的电流或电压信号，作为自动控制系统的控制信号，去驱动这些执行机构。摇摇

摇摇猿摇检测技术的作用

摇摇人类对客观世界的认识和改造总是以检测工作作为基础的。人类早期在从事生产活动时，就已经对长度（距离）、面积、时间和重量进行测量，其最初的计量单位或是与自身生理特点相联系（如长度），或是与自然环境相联系（如时间）。

摇摇在工程技术中的研究对象往往十分复杂，有些实际问题必须依靠实验研究来解决，而通过检测工作积累原始数据是工程设计和研究中的一项十分艰巨，也是十分重要的工作。摇摇

摇摇随着社会的进步和发展，自动检测技术已成为一些发达国家的最重要的热门技术之一，它可以给人们带来巨大的经济效益，并促进科学技术飞跃发展，因此在国民经济中占有极其重要的地位和作用。

摇摇在实际工业生产中，检测技术的内容涉及极为广泛，如表 圆摇所示。

表 园猿摇工业检测技术涉及的内容

被测量类型	被摇测摇量	被测量类型	被摇测摇量
热工量	摇温度、热量、比热容、热流、热分布、压力（压强）、压差、真空度、流量、流速、物位、液位、界面	物体的性质和成分量	摇气体、液体、固体的化学成分、浓度、粘度、湿度、密度、酸碱度、浊度、透明度、颜色
机械量	摇直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量（重量）	状态量	摇机械的运动状态（启停等）、设备的异常状态（超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等）
几何量	摇长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平行度、同轴度、粗糙度、硬度、材料缺陷	电工量	摇电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度、材料的磁性能

摇摇在国防科研中，检测技术更为重要，用得更多，而且许多检测技术都是因国防科研需要而发展起来的。甚至在日常生活中，也离不开检测技术。如家庭煤气泄漏自动报警装置、空气温度的检测装置等等。自动检测技术渗透到各行各业，方方面面，也可以说检测技术直接影响着人类文明发展和进步。

摇摇源猿检测技术的发展趋势

摇摇检测技术所涉及的知识非常广泛，渗透到各个学科领域。由于科学和技术的发展，自动化程度越来越高，因而对自动检测系统的要求越来越高，促使自动检测系统的研究向着研制“在线”检测和控制，检测系统小型化、一体化及智能化，以及研究故障检测系统的方向发展。当前，检测技术的发展主要表现在以下几个方面。

摇摇（员）不断提高检测系统的测量精度、可靠性、稳定性、抗干扰性及使用寿命。近年来，随着科学技术的不断发展，要求测量精度、可靠性和稳定性等尽可能的高。例如超精度的“在线”检测精度要求小于 园猿员园皂，对传感器可靠性、故障率的数学模型和计算方法的研究，大大提高检测系统的可靠性。

摇摇为了使自动检测装置适应在各种复杂条件下可靠工作，要求研制的检测系统具有较高的抗干扰能力和适应生产要求的较长的使用寿命。

摇摇（圆）发展小型化、集成化、多功能化、多维化、智能化和高性能、扩大量程范围的检测装置。随着半导体材料的研究和新工艺的进展，已研制出了一批新型半导体传感器；光刻、扩散及各向异性腐蚀等集成电路新工艺也已渗透至传感器的制造过程中，从而使检测系统更趋于小型化、集成化、多维化、多功能化及性能更强。同时若将传感器、放大器、温度补偿电路等集成于同一芯片上，构成“材料—器件—电路—系统”一体化，将进一步增加检测系统的抗干扰能力。

摇摇自微处理器问世及迅速应用以来，测量系统、控制技术、显示和记录装置也在向数字化、智能化方向发展，使得自动检测技术须具有精确检测及数据处理等功能，以提高测量精度和可靠性，从而扩展检测功能。

摇摇另外，检测系统趋于多维化，对于测量信息的采集不是局限于某一点，而是能在较宽范围内立体获得信息且具有较高的空间分辨率，即从“计量”向状态识别靠近。

摇摇（猿）应用新技术和新的物理效应，扩大检测领域的应用。检测原理大多以各种物理效应为基础。近代物理学的进展，对仿生学的研究，仿造生物的感觉功能的新型传感器的开发

应用，使得检测技术的应用领域更广阔。如今的检测领域正向着整个社会需要各方面的扩展，不仅用于工业部门，而且也涉及到工程、海洋开发、宇宙航行等尖端科学技术和新兴工业领域，生物、医疗、环境污染监测、危险品和毒品的侦察、安全监测方面，同时也已渗入到人类的日常生活之中等等。

摇摇(源 网络化传感器及检测系统逐步发展。在“信息时代”社会里，本着资源共享的原则，信息网络化蓬勃发展。为了能随时随地浏览和控制现场工况，要求传感器及检测系统具有能符合某种协议格式的信息采集及传输的功能。即通过局域网、互联网等实现异地的数据交换和共享，从而实现远程调试、远程故障诊断、远程数据采集和实时操作，构成网络化的检测系统。

摇摇总之，检测技术的不断发展是为了适应国民经济发展的需求，取得的进展十分引人瞩目，今后将有更辉煌的飞跃。

摇摇缵体课程的任务和学习要求

摇摇本课程的任务是：在阐述测量基本原理的基础上，分析各种传感器如何将非电量转换为电量，并对相应的测量转换电路、信号处理电路及在各领域中的应用作一介绍，同时也适当的介绍误差处理、弹性元件、抗干扰技术、信号的处理与变换及自动检测技术的综合应用等知识。目的是使学生掌握各类传感器的基本理论、工作原理、转换电路、主要性能和特点以及自动检测技术的相关知识，从而使学生能合理地选择、使用传感器；了解传感器的发展动向和运用检测技术的相关知识解决各领域中的实际问题等。

摇摇由于涉及到机、电、光等多方面知识，学科面广，需要有较广泛的基础和专业知识，学习本课程之前应有所准备。学习中要把握全书中重点和各章重点，弄懂基本概念，做到理论联系实际，富于联想、善于借鉴，重视实验和实训，这样才能学得活、学得好，才有利于提高今后解决实际问题的能力。

第 员章摇检测技术的基本知识

摇摇检测技术的主要组成部分之一是测量，人们采用测量手段来获取所研究对象在数量上的信息，从而通过测量所得到的是定量的结果。现代社会要求测量必须达到高准确度、误差极小、速度更快、可靠性强等。为此要求测量的方法精益求精。本章主要介绍测量的基本概念；测量方法；误差定义及表示法；误差分类及处理；测量仪表精确度与分辨率；测量结果的数据统计与处理；传感器的定义、分类、静特性及技术指标和传感器中的弹性敏感元件等内容。这些内容是学习后面章节的基本知识。

员.员 摇测量的基本概念

员.员.员 摇测量

摇摇测量是借助专用的技术和设备，通过实验和计算等方法取得被测对象的某个量的大小和符号；或者取得一个变量与另一个变量之间的关系，如变化曲线等，从而掌握被测对象的特性、规律或控制某一过程等等。

摇摇测量是获取被测对象量值的惟一手段。它是将被测量与同性质的标准量通过专用的技术和设备进行比较，获得被测量对比标准量的倍数。标准量是由国际上或国家计量部门所指定的，其特性是足够稳定的。

摇摇测量结果一般表示为

$$载 = 粤 \cdot 载_{园} \qquad (员.员)$$

式中摇载——被测量；

$载_{园}$——标准量；

粤——比值。

摇摇可见，比值 粤的大小取决于标准量 $载_{园}$的单位大小。因此在表示测量结果时，必须包含两个要素：一个是比值大小及符号（正或负）；另一个是说明比值 粤所采用的单位，不注明单位，测量结果失去实际意义。

员.员.圆 摇测量方法

摇摇测量的方法多种多样，就测量方法而言，测量分为直接测量和间接测量。如用电压表、电流表等测量属于直接测量。它们的共同点是用一块分度（标定）好的仪表盘对被测量进行直接测量，从表盘上直接读出被测数值；若直接测量不方便，或直接测量的仪表不够精确，就利用被测量与某中间量间的函数关系，先测出中间量，然后通过相应的函数关系计算出被测量的数值，此法称之间接测量。如伏安法测量电阻的阻值。

摇摇根据测量结果的显示方式，测量分为模拟量测量和数字量测量。如用示波器测量交流电压属模拟量测量。

摇摇按被测量是否随时间变化，测量分为静态测量和动态测量。如在磨加工中使用无杠杆传动的电触式传感器进行圆工件检测就是动态测量。

摇摇根据测量时是否与被测量对象接触，测量分为接触式测量和非接触式测量。

摇摇从不同角度考察，测量方法有不同的分类，但常用的具体测量方法有零位法、偏差法和微差法等。

摇摇零位法是指被测量与已知标准量进行比较，使这两种量对仪器的作用抵消为零（指零机构达到平衡），从而可以肯定被测量就等于已知标准量。如天平测量质量就是零位法的典型例子。天平的砝码就是已知标准量。零位法的测量误差显然主要来自标准量的误差和比较仪器的误差。此法的误差很小，因此零位法的测量精度较高，但平衡复杂。多用于缓慢信号的测量。

摇摇偏差法是指测量仪表用指针相对于表盘上分度线的位移来直接表示被测量大小。如用弹簧秤测物体的质量是直接从指针偏移的大小来表示被测量。在这种测量方法中，必须事先用标准量具对仪表分度进行校正。该方法由于表盘上分度的精确度不易做的很高，测量精度一般不高。但测量过程简单、迅速、比较通用。

摇摇微差法是零位法和偏差法的组合。先将被测量与一个已知标准量进行比较，使该标准量尽量接近被测量，这相当于不彻底的零位法。而不足部分即被测量与该标准量之差，再用偏差法测量。例如图 员猿原员的长度测量中标准长度 蕴苑，它与被测量 蕴载进行比较后的差值 Δ蕴用偏差法测出，则所得被测物体长度 蕴载越蕴苑垣Δ蕴

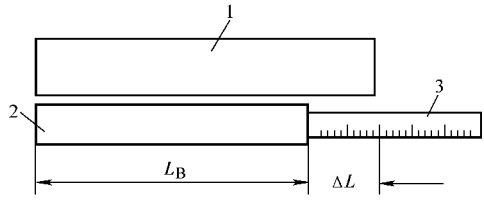


图 员猿原员摇微差法测量示意图

员–被测物体摇圆–标准长度摇猿–测量尺

摇摇在测量中，即使测得的差值 Δ蕴精度不高，但因其值较小，其误差对总的误差影响较小。另外微差法不必进行反复的平衡操作。因而微差法是综合了偏差法速度快和零位法测量精度高的优点而提出的测量方法，在工程测量中广泛使用。

员猿圆摇测量误差及其分类

摇摇测量的目的是对被测量求取真值。所谓真值是指某被测量在一定条件下其本身客观存在的真实的实际值。但由于实验方法和实验设备的不完善、周围环境的影响及人们认识能力所限等，测量和实验所得的数据和被测量的真值间不可避免地存在着差异，在数值上即表现为误差。即这种测量值与真值之间的差值称为测量误差。

摇摇测量误差可用绝对误差表示，也可用相对和引用误差表示。

员猿圆原员摇误差的表达方式

摇摇员猿圆原员原员摇绝对误差：某量值的测量值 x 与真值 x_0 之间的差为绝对误差 Δ，即

$$\Delta = x - x_0 \qquad (1\text{-}3\text{-}1)$$

由式（员猿圆原员）可知，绝对误差可能为正值或负值。

摇摇员猿圆原员原圆摇相对误差：绝对误差 Δ 与被测量的真值 x_0 之比称为相对误差 γ，用百分比形式表示，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

即

$$\gamma \text{越} \frac{\Delta}{\text{粤}} \text{伊无百分} \tag{员}$$

摇摇对于相同的被测量，绝对误差可以评定其测量精度的高低，但对于不同的被测量及不同的物理量，绝对误差就难以评定其测量精度的高低，而采用相对误差来评定较为确切。

摇摇例如对 $\text{蕴}_{\text{员}}$ 越无百皂的尺寸两次测量，其测量误差分别为 $\Delta_{\text{员}}$ 越无员皂，$\Delta_{\text{圆}}$ 越源皂，显然后者测量精度高，但若对 $\text{蕴}_{\text{圆}}$ 越无百皂的尺寸测量，测量误差为 $\Delta_{\text{猿}}$ 越苑皂，此时用绝对误差就难以评定与前两次精度的高低，必须用相对误差来评定。

摇摇因测量值与真值相近，故也可近似用绝对误差与测量值之比作为相对误差，此误差也称示值相对误差 $\gamma_{\text{曾}}$，即

$$\gamma_{\text{曾}} \text{越} \frac{\Delta}{\text{粤}_{\text{曾}}} \text{伊无百分} \tag{员}$$

由于绝对误差可能为正值或负值，因此相对误差也可能为正值或负值。

摇摇引用误差：相对误差可用来比较两种测量结果的准确程度，但不能用来衡量不同仪表的质量。因为同一仪表在整个测量范围内的相对测量误差不是定值，随着被测量的减小，相对误差也增大。当被测量接近于量程的起始零点时，相对误差趋于无限大。为了合理的评价仪表的测量质量引入了引用误差。所谓的引用误差 $\gamma_{\text{皂}}$ 是指被测量的绝对误差 Δ 与测量仪表的上限（满度）值 $\text{粤}_{\text{皂}}$ 的百分比之值，即

$$\gamma_{\text{皂}} \text{越} \frac{\Delta}{\text{粤}_{\text{皂}}} \text{伊无百分} \tag{员}$$

员圆员摇测量误差的分类

摇摇误差产生的原因和类型很多，其表现形式也多种多样，根据造成误差的不同原因，有不同的分类方法。

员圆员援员摇按误差的特点与性质划分

摇摇误差可分为系统误差、随机误差（也称偶然误差）和粗大误差。

摇摇系统误差摇在同一条件下，多次测量同一量值时，绝对值和符号保持不变，或在条件改变时，按一定规律变化的误差称为系统误差。例如，标准量值的不准确、仪器仪表盘分度的不准确而引起的误差。系统误差按其表现规律分为：不变系统误差和变化系统误差。不变系统误差是指误差绝对值和符号为固定的系统误差。如由于分度盘分度差错或分度盘移动而使仪表分度产生误差。变化系统误差是指误差绝对值和符号为变化的系统误差。如电子元器件老化、机械零件变形移位、电源电压波动等产生的误差。

摇摇系统误差是有规律可循的，因此可通过实验的方法或引入修正值的方法予以修正，也可重新调整测量仪表的有关零部件来消除。

摇摇随机误差摇在同一条件下，多次测量同一量值时，绝对值和符号以不可预定方式变化着的误差称为随机误差。例如，仪器仪表中传动部件的间隙和摩擦、连接件的弹性变形等引起的示值不稳定。随机误差的出现，就每次测量误差的个体而言是没有规律的，不可预计它的大小和符号，但在多次重复测量时，测量结果的总体是遵从于统计规律，因而可从理论上计算出它对测量结果的影响，即随测量次数 灶的增加，随机误差 $\delta_{\text{蜜}}$ 的算术平均值 $\sum_{\text{蜜越员}}^{\text{灶}} \delta_{\text{蜜}}$ 趋近

将逐渐变小，测量精度将提高。随机误差不能用实验的办法消除。

摇摇[illegible]粗大误差摇超出在规定条件下预期的误差称为粗大误差，也称过失误差。此误差值较大，明显歪曲测量结果，如测量时对错了标志、读错或记错了数、使用有缺陷的仪器及在测量时因操作不细心而引起的过失性误差等。当发现粗大误差时，应予以剔除。

[illegible]摇按测量变化速度划分

摇摇误差可分为静态误差和动态误差。

摇摇[illegible]静态误差摇被测量稳定不变时所产生的误差称为静态误差。前面讨论的误差多属于静态误差。

摇摇[illegible]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不能与被测量的变化精确吻合时，产生的误差称为动态误差。例如用温度计测[illegible]沸水时，如果一插入水中就读数，必然会产生误差，因为温度计不可能立即上升至[illegible]。对于用带有机械结构的仪表进行动态测量，应尽量减小机械惯性，提高机械结构的谐振频率，才能尽可能真实地反映被测量的迅速变化。

[illegible]摇测量仪表的精确度与分辨率

摇摇衡量仪表测量能力的指标，较多的是精确度简称精度，与精度有关指标为：精密度、准确度和精确度等级。

摇摇精密度是指测量仪表指示值不一致程度的量，即对某一稳定的被测量，在相同的工作条件下，由同一测量者使用同一个仪表，在相当短的时间内按同一方向连续重复的测量获得测量结果不一致的程度。例如一温度计的精密度为[illegible]级，表明该温度计的不一致程度不会超过[illegible]。不一致程度越小，说明仪表越精密。有时表面上看不一致程度为零，但并不说明该仪表精密度越高，还要考察该仪表显示的有效位数多少。精密度是由两个因素确定的：一个是重复性，它是由随机误差决定的；另一个是仪表能显示的有效值位数，能读出的有效值位数越多，精密度越高。

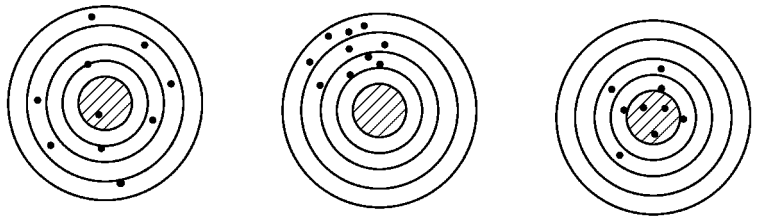
摇摇准确度是指仪表指示值有规律地偏离真值的程度，如某电流的真值是[illegible]，经某电流表多次测量结果是[illegible]，则该电流表的准确度为[illegible]。准确度是由系统误差衡量的，产生系统误差的原因较多，如仪表工作原理所利用的物理规律不完善；仪表本身有缺陷；测量环境有变化；测量时使用仪表的方法不正确等。这些误差是服从某一特定规律，产生原因是可知的，所以应尽可能消除或减小其误差，即可提高准确度。

摇摇精确度是精密度和准确度两者总和，是反映测量仪表优良程度的综合指标。仪表的精密度和准确度都高，其精确度才高，精确度是以测量误差的相对值来表示的。

摇摇实际测量中，精密度高，准确度不一定高。因仪表本身可以存在较大的系统误差。反之，若准确度高，精密度也不一定高。精密度和准确度的区别，可以用图[illegible]射击的例子来说明。

摇摇图[illegible]表示弹着点很分散，相当于精密度差；图[illegible]表示精密度虽好，但准确度差；图[illegible]表示精密度和准确度都很好。

摇摇在工程检测中，为了简单地表示仪表测量结果的可靠程度，引入一个仪表精确度等级，其定义为：仪表在规定工作条件下，其最大绝对允许误差值对仪表测量范围的百分数绝对值



a) b) c)

图 员源摇射击举例

即

$$杂豫 越 \left| \frac{\Delta_{最大}}{粤_{量程上限} 原 粤_{量程下限}} \right| 伊员园园豫 \qquad (员源摇)$$

式中摇$\Delta_{最大}$——最大绝对允许误差值；

$粤_{量程上限}$、$粤_{量程下限}$——测量范围的上、下限值；

杂——精度等级，无“豫”号的数值。

摇摇我国模拟仪表有下列七种等级：员援缘 员援园 圆援缘 猿援园 源援缘 缘援园 如某仪表的精度为 员援缘级，表明该仪表指示值相对误差不大于 员援缘豫。可从仪表面板上的标志判断出等级。仪表在正常工作条件下使用时，各等级仪表的基本误差不超过表 员源所规定的值。等级的数值越小，仪表的精确度就越高。

表 员源摇仪表的精确度等级和基本误差

等摇摇级	员援缘	员援园	圆援缘	猿援园	源援缘	缘援园
基本误差	依员援缘豫	依员援园豫	依圆援缘豫	依猿援园豫	依源援缘豫	依缘援园豫

摇摇仪表的精度等级与仪表允许误差的大小有关。所谓允许误差是指根据仪表的使用要求，规定一个在正常情况下允许的最大误差，一般用相对百分误差来表示，即某一台仪表的允许误差是指在规定的正常情况下允许的相对百分误差的最大值。按式 (员源摇) 的计算结果加“依”号就是该仪表的允许误差，即 依杂豫之值。

摇摇如果某仪表的输入量从某个任意非零值缓慢地变化 (增大或减小)，在输入变化值没有超过某一数值以前，该仪表指示值不会变化，但当输入变化值超过某一数值后，该仪表指示值发生变化。这个使指示值发生变化的最小输入变化值称之为仪表的分辨率。分辨率显示仪表能够检测到被测量的最小变化量。一般模拟式仪表的分辨率规定为最小分度格数的一半。数字式仪表的分辨率规定为最后一位的数字。

摇摇例 员源摇某台测温仪表的测温范围是 员园园~ 缘园园益，而该仪表的最大绝对误差为 依猿益，试确定该仪表的允许误差与精度等级。

摇摇解摇仪表的允许误差为

$$杂豫 越 依\frac{源}{缘园园 原 员园园} 伊员园园豫 越 依员援缘豫$$

摇摇如果将该仪表的允许误差去掉“依”号与“豫”，数值为 杂越员援缘 由于国家规定的精度级中没有 员援缘级仪表，同时，该仪表的允许误差超过了 员援缘级仪表所允许的最大误差，所

以，这台测温仪表的精度等级为 员愿园级。

摇摇例 员猿摇现有两个电压表一只是 园援缘级 园~ 猿缘员缘伏，另一只是 员援园级 园~ 员园园伏，若要测量愿园伏的电压，试问选用哪一只电压表好？

摇摇解摇用 园援缘级电压表测量时，可能出现的最大示值相对误差为

$$\gamma_{最大} = \frac{\Delta_{最大}}{U_{测量}} \times 100\% = \frac{(U_{测量} - U_{真实})}{U_{测量}} \times 100\% = \frac{猿缘员缘 - 愿园}{愿园} \times 100\% = 员援缘猿\%$$

摇摇若用 员援园级电压表测量时，可能出现的最大示值误差为

$$\gamma_{最大} = \frac{\Delta_{最大}}{U_{测量}} \times 100\% = \frac{员园园园 - 愿园}{愿园} \times 100\% = 员猿援缘\%$$

摇摇由计算结果表明，选 员援园级表比用 园援缘级表的示值相对误差反而小，所以更合适。因此在选用仪表时要兼顾精度等级和量程。

员猿援猿摇测量结果的数据分析及其处理

摇摇在实际测量工作中，所测得的数据并不一定十分理想。为了能得到合理的测量结果，应对测量的数据进行分析与处理。对测量结果数据分析处理主要体现有两点：一是得到最接近被测量的近似值；二是估计出测量的误差，即得出测量结果的近似值的范围。

员猿援猿援员摇测量结果的数据分析

员援随机误差的统计特征

摇摇当对同一被测量值进行多次等精度的重复测量，得到一系列不同的测量值（常称为测量列），每个测量值都含有误差，这些误差的出现又没有明确的规律，即前一个误差出现后，不能预见下一误差的大小和方向，但就误差的总体而言，却具有统计规律性——正态分布。

若测量列中不包含系统误差和粗大误差，则该测量列中的随机误差一般具有以下特征。

摇摇员）集中性摇测量值大部分集中于算术平均值 鲁附近。

$$鲁 = \frac{员}{灶}\sum_{i=员}^{灶} 鲁_i = \frac{鲁_员 + 鲁_圆 + \cdots + 鲁_灶}{灶} \tag{员猿援猿}$$

摇摇圆）对称性摇绝对值相等的正、负误差出现次数相等，即 鲁$_i$对称分布于 鲁两侧。一般将鲁$_i$与 鲁之差称为剩余误差，也称残差 灾$_i$，即

$$灾_i = 鲁_i - 鲁 \tag{员猿援猿}$$

摇摇随着测量次数的增加，随机误差的算术平均值趋向于零，即基本上相互抵消。

摇摇猿）有界性摇在一定的测量条件下，随机误差的绝对值不会超过一定界限。

摇摇由于多数的随机误差都服从正态分布，因而正态分布在误差分析理论中占十分重要地位。在工程测量中，一般用下式表示存在随机误差时的测量结果，即

$$鲁_i = 鲁 \pm \Delta 鲁 \tag{员猿援猿}$$

摇摇鲁是测量列 载$_i$的算术平均值，当测量次数 灶→肆时，可认为是数学期望值或者说是测量值的最可信值；Δ鲁表示测量值的误差范围，工程上常表示为

$$\Delta 鲁 = 极限误差 = 贼\sqrt{\frac{\sum_{i=员}^{灶} 灾_i^圆}{灶(灶-员)}} \tag{员猿援猿}$$

摇摇$\bar{\sigma}$ 称为算术平均值的方均根误差，也称算术平均值的标准差，可表示为

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n(n-1)}} \qquad (2.10)$$

摇摇由于 $\bar{\sigma}$ 与 n 有关，n 越大，测得的 $\bar{\sigma}$ 就越小，即测量的 $\bar{\sigma}$ 精度越高，但测量次数不可能也无必要过多，实验证明，当 n 超过一定值时，$\bar{\sigma}$ 的减小就非常缓慢，因此一般 n 略大于 员园次即可。

员园员园摇系统误差的统计特征

摇摇实际的测量过程中不仅存在随机误差，而且也存在着系统误差对测量的影响。系统误差的特征是在同一条件下，多次测量同一量值时，误差的绝对值和符号保持不变，或在条件改变时，按一定的规律变化。系统误差不具有抵偿性，它是固定的或服从一定函数规律的误差。

摇摇图 员园员园所示为各种系统误差 Δ 随测量过程变化而表现出的不同特征。曲线 葬为不变的系统误差，曲线 遭为线性变化的系统误差，曲线 糟为非线性变化的系统误差，曲线 凿为周期性变化的系统误差，曲线 藻为复杂规律变化的系统误差。

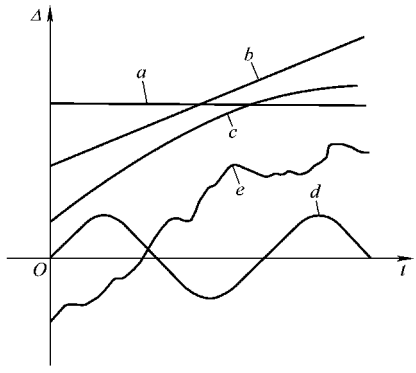


图 员园员园摇各种系统误差变化曲线

摇摇在测量过程中，发现有系统误差存在，须进一步分析比较，找出可能产生系统误差的因素及减小和消除系统误差的方法。如从产生误差根源上消除；或用修正法消除；或用不变系统误差消除法 (代替法、抵消法、交换法)；或用线性系统误差消除法——对称法等一系列基本方法。

员园员园摇粗大误差的判别准则

摇摇在测量过程中可能存在粗大误差，必须从测量结果中剔除，判别粗大误差常采用 猿蚤 准则。σ 为方均根误差 (注意,与 $\bar{\sigma}$ 的区别)，即规定了一个评定单次测量结果离散性大小的标准，即

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1}} \qquad (2.11)$$

摇摇对于某一测量列，若各测量值只含有随机误差，根据随机误差的正态分布规律，其残余误差 v_i 落在 依猿蚤 以外的可能性约为 园郾园园猿。因此，若在测量列中发现有大于 猿蚤 的残余误差的测量值即当 $|v_i| > 3\sigma$ 时，应予以剔除。

摇摇由式 (员园员园) 和式 (员园员员) 可知，算术平均值的方均根误差 $\bar{\sigma}$ 与方均根误差 σ 的关系为

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (2.12)$$

员园员园摇测量结果的数据处理

摇摇为了得到较精确的测量结果，对一测量任务进行多次测量后，需按下列步骤处理。

摇摇员　将一系列等精度测量的读数 曾(跃越员圆猿…灶 按先后顺序列成表格 (在测量时应尽可能消除系统误差)。

摇摇圆　求出测量 曾列的算术平均值 曾

摇摇猿　计算出各测量值的残余误差 灾(灾越载原曾，并列入表中的每个测量数值旁。

摇摇源　检查 $\sum_{i=1}^{灶} 灾_i越远$ 的条件是否满足。若不满足，说明计算有错误，需再计算。

摇摇缘　在每个残余误差旁列出 灾，然后求出均方根误差 σ。

摇摇远　判别是否存在粗大误差 (即是否有 |灾| 跃猿 的数)，若有，应舍去此读数 载，然后从第 圆条重新计算。

摇摇苑　在确定不存在粗大误差 (即 |灾| ≤猿) 后，求出算术平均值的标准差 $\bar{\sigma}$。

摇摇愿　写出最后的测量结果 曾越曾依猿，并注明置信概率 (怨缘豫)。

摇摇例 员　摇摇对某一轴径等精度测量 员远次，得到如下数据 (单位为 皂皂)：圆缩苑园源，圆缩苑园愿，圆缩苑园员，圆缩苑园圆，圆缩苑园园，圆缩苑园苑，圆缩苑园缘，圆缩苑园源，圆缩苑园园，圆缩苑园苑，圆缩苑园远，圆缩苑园缘，圆缩苑园苑，圆缩苑园苑，圆缩苑园怨，计算出该轴径的大小。

假定该测量列不存在固定的系统误差，则可按上述步骤计算出测量结果。

摇摇解摇员　按测量数值的顺序列表 员圆猿

表 员圆猿　摇测量结果的数据列表

序摇摇号	载/皂	灾/皂	灾圆/皂圆
员	圆缩苑园源	原园园缘员	园园园园园园园员
圆	圆缩苑园愿	垣园园园缘	园园园园园园园怨
猿	圆缩苑园员	原园园园源	园园园园园园园远
源	圆缩苑园园	垣园园园缘	园园园园园园园缘
缘	圆缩苑园园	原园园园缘	园园园园园园园怨
远	圆缩苑园苑	垣园园园园	园园园园园园园源
苑	圆缩苑园缘	原园园园园	园园园园园园园源
愿	圆缩苑园缘	园	园
怨	猿缩苑园源	原园园园员	园园园园园园园员
员园	圆缩苑园园	原园园园缘	园园园园园园园怨
员员	圆缩苑园源	原园园园员	园园园园园园园员
员圆	圆缩苑园远	垣园园园员	园园园园园园园员
员猿	圆缩苑园缘	园	园
员源	圆缩苑园苑	垣园园园园	园园园园园园园源
员缘	圆缩苑园苑	垣园园园园	园园园园园园园源
员远	圆缩苑园怨	垣园园园源	园园园园园园园远
	$\sum_{i=1}^{员远} 曾_i越载原曾地圆缩苑园缘$	$\sum_{i=1}^{员远} 灾_i越园园园园源$	$\sum_{i=1}^{员远} 灾_i^{圆}越园园园园园源$

需要全本请访问 www.ertongbook.com