杜清府 刘 海 主编

检测原理与传感技术

Jianceyuanli yu Chuanganjishu

山东大学出版社

检测原理与传感技术

主　编　杜清府　刘　海
副主编　郭　新　高志峰　毕云峰

安徽建筑大学
藏書
图书馆

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

检测原理与传感技术/杜清府，刘海主编. —济南:山东大学出版社,2008.9
ISBN 978-7-5607-3662-4

Ⅰ. 检…
Ⅱ. ①杜…②刘…
Ⅲ. ①自动检测②传感器
Ⅳ. TP274　TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 149455 号

山东大学出版社出版发行
(山东省济南市山大南路 27 号　邮政编码:250100)
山 东 省 新 华 书 店 经 销
日照阳光广告彩印包装有限公司印刷
787×1092 毫米　1/16　14.5 印张　333 千字
2008 年 9 月第 1 版　2008 年 9 月第 1 次印刷
定价:32.00 元

版权所有,盗印必究
凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

前　言

人类进入21世纪，科学技术飞速发展，工业、农业、军事及科学研究等领域的自动化应用水平越来越高，而检测与传感器技术是实现自动化、信息化的基础和前提。科学技术，特别是现代传感器技术、微电子技术、新材料、先进的检测理论与方法、网络技术、信息化技术的迅猛发展，是带动和促进传统的检测技术发展的基础和条件。

本书在重点讲述检测理论的基本概念、基本理论和基本方法的基础上，再介绍传感器。首先，按照物理原理介绍各种传感器，重点介绍传感器的工作原理、特性、测量方法及其应用，使读者初步了解传感器的基础知识，了解同一原理的传感器可以检测不同物理量；其次，按照工业过程物理量的检测方法，重点介绍温度、流量、成分检测方法，使读者了解每个工业过程物理量可以采用不同原理的传感器进行测量，了解它们之间的区别。这样从两个侧面学习传感器的知识，深化对传感器知识的学习。

本书在编写过程中注重实践应用，符合工科类专业教材要求。全书共12章，各章相对独立，在使用本教材时，可以根据不同专业要求和特点，对内容进行取舍。

本书由杜清府编写了第1、2、4、10章，刘海和高志峰共同编写了第9章，高志峰编写第7章，毕云峰编写了8、11章，郭新编写第5、12章，刘海还对全书编写方向进行了指导。全书最后由杜清府统稿。

本书在编写过程中，编者与杨永竹教授、王书源教授进行讨论，两位教授提出很多宝贵建议；邹晓玉老师也提出了很多好的修改建议，赵丽红、王春晓在制图时给予很多帮助，我们参阅了许多专家的著作、论文、企业技术手册、网络文章，还得到很多企业和同行的支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，时间仓促，书中错误和遗漏在所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者

2008年8月

内容简介

本书包括自动检测理论的基础知识、常用传感器的原理与应用、工业生产过程物理量的检测方法三部分内容。第一部分介绍检测理论的基本概念及理论基础、测量误差与处理的方法、传感器的静态和动态特性；第二部分介绍电阻式、电感式、电容式、压电式、光电式、霍尔式等传感器的工作原理与应用；第三部分从工业生产过程的角度，介绍常用物理量，如温度、流量、压力、成分等的检测方法和常用传感器。

本书可以作为测控技术与仪器仪表、自动化、电气工程及其自动化等专业的本科教材，也可以供相关领域的工程技术人员参考。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

第 1 章　检测技术的理论基础 …… (1)
1.1　测量系统 …… (1)
1.2　测量方法 …… (3)
1.3　测量系统误差分析基础 …… (5)
1.4　测量数据的估计和处理 …… (13)
1.5　不等精度测量的权与误差 …… (25)
1.6　测量误差的合成与分配 …… (26)
第 2 章　传感器概述 …… (32)
2.1　传感器的组成和分类 …… (32)
2.2　传感器技术的发展动向 …… (33)
2.3　传感器的基本特性 …… (34)
第 3 章　电阻式传感器 …… (44)
3.1　变阻器式电阻传感器 …… (44)
3.2　应变片式电阻传感器 …… (45)
3.3　电阻应变片特性 …… (47)
3.4　电阻应变片的测量电路 …… (52)
3.5　应变式传感器应用 …… (56)
第 4 章　电感式传感器 …… (60)
4.1　变磁阻式传感器 …… (60)
4.2　差动变压器式传感器 …… (65)
4.3　电涡流式传感器 …… (70)
4.4　压磁式传感器 …… (74)
4.5　感应同步器 …… (76)
第 5 章　电容式传感器 …… (80)
5.1　电容式传感器的工作原理和结构特性 …… (80)
5.2　电容式传感器的等效电路 …… (85)
5.3　电容式传感器的测量电路 …… (86)
5.4　电容式传感器的应用 …… (91)

5.5 电容式传感器的特点及设计与应用中存在的问题……(95)
第6章 霍尔传感器 ……(99)
6.1 霍尔传感器的工作原理……(99)
6.2 霍尔传感器的基本测量电路及误差补偿 ……(101)
6.3 常用霍尔传感器 GaAs(砷化镓)和 InSb(锑化铟)介绍 ……(105)
6.4 霍尔元件的应用 ……(107)
第7章 压电式传感器……(111)
7.1 晶体的压电效应 ……(111)
7.2 压电加速度传感器 ……(112)
7.3 压电谐振式传感器 ……(116)
第8章 光电式传感器……(121)
8.1 概 述 ……(121)
8.2 常用光源及特性 ……(122)
8.3 外光电效应传感器 ……(125)
8.4 内光电效应传感器 ……(130)
8.5 光电耦合器件 ……(136)
8.6 旋转式光电编码器 ……(138)
8.7 光栅传感器 ……(142)
8.8 位置敏感探测器 ……(145)
8.9 光电图像传感器件 ……(148)
第9章 温度测量……(155)
9.1 温度概述 ……(155)
9.2 膨胀式温度传感器 ……(156)
9.3 热电偶传感器 ……(157)
9.4 热电阻传感器 ……(162)
9.5 集成温度传感器 ……(165)
9.6 AD590 器件 ……(166)
9.7 AD590 的应用电路 ……(167)
9.8 DS1820 器件……(168)
第10章 流量检测 ……(172)
10.1 流量的基本概念……(172)
10.2 流量检测方法的分类……(172)
10.3 节流差压式……(173)
10.4 电磁流量计……(179)
10.5 涡轮流量计……(184)
10.6 涡街流量计……(187)
10.7 超声流量计……(191)
10.8 质量流量计……(194)

第 11 章 成分检测 …… (200)
11.1 成分检测仪器概述…… (200)
11.2 热导式气体检测仪器…… (200)
11.3 气相色谱仪…… (203)
11.4 光谱分析仪器…… (210)
第 12 章 传感器的标定与校准 …… (214)
12.1 概 述…… (214)
12.2 标定的基本方法…… (215)
12.3 压力传感器的标定…… (219)
参考文献…… (223)

第1章　检测技术的理论基础

在科学技术高度发达的今天，人类已进入瞬息万变的信息时代。人们在从事工农业生产和科学实验等活动中，主要依靠对信息资源的开发、获取、传输和处理。传感器处于研究对象与测控系统的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口，一切科学实验和生产过程，特别是自动检测和自动控制系统要获取的信息，都要通过传感器将其转换为容易传输与处理的电信号。

测量就是将被测量的物理量与同类标准量进行比较的一个实验过程。在工程实践和科学实验中提出的检测任务，是正确及时地掌握各种信息，大多数情况下是要获取被测对象信息的大小，即被测量的大小。这样，信息采集的主要含义就是测量，取得测量数据。

“测量系统”这一概念是传感技术发展到一定阶段的产物。在工程中，需要有传感器与多台仪表组合在一起，才能完成信号的检测，这样便形成了测量系统。尤其是随着计算机技术及信息处理技术的发展，测量系统所涉及的内容也不断得以充实。为了更好地掌握传感器技术，需要对测量的基本概念，测量系统的特性，测量误差及数据处理等方面的理论及工程方法进行学习和研究，只有了解和掌握了这些基本理论，才能更有效地完成检测任务。

检测技术：是以研究检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论与技术为主要内容的一门应用技术学科。

检测技术研究的主要内容：测量过程中所采用的测量原理和方法，测量系统如何构成，测量数据的处理方法。

测量原理：指用什么样的原理去测量被测物理量。

测量精度与测量误差相对应，误差理论目前已经发展成为一门测量专业的学科，涉及内容非常广泛。为了适应本课程学习需要，本章介绍测量误差的一些术语、概念、常用的误差处理方法，检测系统静态、动态特性和主要的性能指标。

1.1　测量系统

1.1.1　测量系统构成

在实现检测任务前，首先要解决应用什么样的测量原理、采取什么样的测量方法，然后就要考虑使用什么技术工具、测量的物质手段去进行测量。测量仪表就是进行测量所

需要的技术工具的总称，也就是说，测量仪表是实现测量的物质手段。很显然，这里所说的测量仪表是一个广义概念。广义概念下的测量仪表包括敏感元件、传感器、变换器、运算器、显示器、数据处理装置等，测量仪表性能好坏直接影响测量结果的可信度。

测量系统是测量仪表的有机组合，对于比较简单的测量工作，只需要一台仪表就可以解决问题(见图 1-1)。但是，对于比较复杂、要求高的测量工作，往往需要使用多台测量仪表，并且按照一定规划构成测量系统。在现代化的工业生产过程中，工业过程参数的检测，往往是由智能的测量系统自动进行的，因此研究和掌握测量系统的功能和构造原理十分必要。

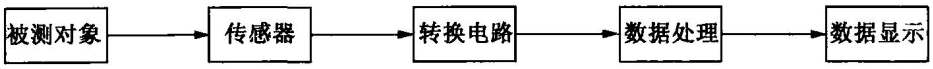

图 1-1　测量系统结构图

(1)被测对象　被测对象是指工业生产过程或人们日常生活中，需要测量和控制的各种物理量，如反应釜的温度、管道的流量、气罐内气体的压力等。

(2)传感器　传感器(主要部分为敏感元件)，它首先从被测介质接受能量，同时产生一个与被测物理量有某种函数关系的输出量。敏感元件的输出信号通常是某些物理量的电信号，这些物理量的电信号比被测物理量易于处理，例如，位移或电压。

(3)转换电路　对于测量系统，为了完成所要求的功能，需要将原始传感器(敏感元件)的输出电信号做进一步的变换，通常这些信号很微弱，需要进行放大等处理，转换电路输出信号更适于处理，并且要求它应当保存着原始信号的全部信息。

(4)数据处理　测量系统要对测量所得数据进行数据处理(或运算)。数据处理环节现在实质上是一台小型计算机，这种数据处理工作由机器自动完成。处理内容主要是计算测量数据得出结果，或者是传感器输出信号和被测量关系不是线性关系，变换成线性关系等。

(5)数据显示　测量系统最后要将结果以指针、数字、图表或人们熟悉的符号显示出来，也可以打印到纸张上，符号通常是被测量物理量的真实数据。

1.1.2　测量系统分类

测量系统的原理各种各样，它与许多学科有关，种类繁多，所以，分类方法很多。按照在测量过程中是否向被测量对象施加能量，将测量系统分为主动式测量系统和被动式测量系统。

(1)主动式测量系统

主动测量系统的特点是在测量过程中，需要从外部向被测对象施加能量。例如，在测量阻抗元件的阻抗值时，必须向阻抗元件施加以电压或电流，供给一定的电能。

(2)被动式测量系统

被动式测量系统的特点是在测量过程中，不需要从外部向被测对象施加能量。例如，电压、电流、温度测量。飞机所用的空对空导弹的红外(热源)探测跟踪系统就属于被动式测量系统。

按照信号传输方向可以将测量系统分为开环式和闭环式两种。

(1)开环式测量系统

开环式测量系统的框图和信号流图如图 1-2 所示，系统全部信息变换只沿着一个方向进行，其输入输出关系为式中为各环节放大倍数。采用开环方式构成测量系统，虽然从结构上看比较简单，但缺点是所有变换器特性的变化都会造成测量误差。

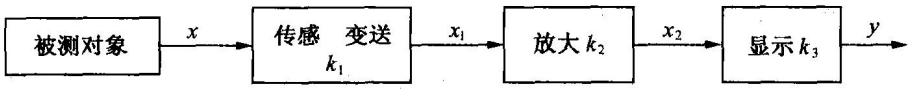

图 1-2 开环测量系统框图

其中 x 为输入量，y 为输出量，k_1、k_2、k_3 为各个环节的传递系数。输入、输出关系为：

$$y=k_1k_2k_3x \tag{1-1}$$

(2)闭环式测量系统

闭环测量系统有两个通道：一为正向通道，二为反馈通道，其结构如图 1-3 所示。

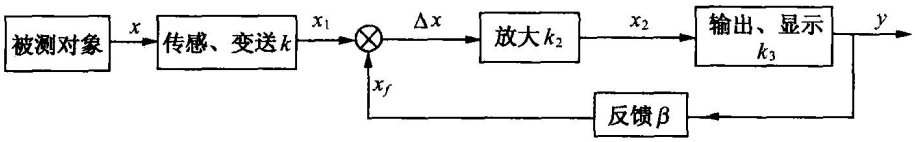

图 1-3 闭环测量系统框图

其中系统的输入信号为 x，则系统的输出为 y，是反馈系统的放大倍数 β，Δx 为正向通道的输入量，β 为反馈环节的传递系数，正向通道的总传递系数 $k=k_2k_3$。

$$x_f=\beta y$$

$$y=k\Delta x=k(x_1-x_f)=kx_1-k\beta y \tag{1-2}$$

$$\Delta x=x_1-x_f$$

$$y=\frac{k}{1+k\beta}x_1=\frac{1}{\frac{1}{k}+\beta}x_1 \tag{1-3}$$

当 $k\gg1$ 时，则 $y=x_1/\beta$。

很显然，这时整个系统的输入输出关系将由反馈系统的特性决定，二次变换器特性的变化不会造成测量误差或者说造成的误差很小。

根据以上分析可知，在构成测量系统时，应将开环系统与闭环系统巧妙地组合在一起加以应用，才能达到所期望的目的。对于闭环式测量系统，只有采用大回路闭环才更有利。开环式测量系统，容易产生误差，若希望减少误差时，可以考虑采用闭环测量系统。

1.2 测量方法

实现被测量与标准量比较得出比值的方法，称为测量方法。针对不同测量任务进行具体分析，以找出切实可行的测量方法，对测量工作是十分重要的。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

系统的测量方法，从不同角度分析，有不同的分类方法。根据获得测量值的方法可分为直接测量、间接测量和组合测量；根据测量的精度因素情况可分为等精度测量与非等精度测量；根据测量方式可分为偏差式测量、零位法测量与微差法测量；根据被测量变化快慢可分为静态测量与动态测量；根据测量敏感元件是否与被测介质接触可分为接触测量与非接触测量；根据测量系统是否向被测对象施加能量可分为主动式测量与被动式测量等。

1.2.1 直接测量、间接测量与组合测量

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。例如，用磁电式电流表测量电路的某一支路电流，用弹簧管压力表测量压力等，都属于直接测量。直接测量的优点是测量过程简单而又迅速，缺点是测量精度不高。

在使用仪表或传感器进行测量时，首先对与测量有确定函数关系的几个量进行测量，将测量结果代入函数关系式，经过计算得到所需要的结果，这种测量称为间接测量。间接测量测量手续繁琐，花费时间较长，一般用在直接测量不方便或者缺乏直接测量手段的场合。

若被测量必须经过求解联立方程组，才能得到最后结果，则称这样的测量为组合测量。组合测量是一种特殊的精密测量方法，操作手续复杂，花费时间长，多用于科学实验或特殊场合。

1.2.2 等精度测量与不等精度测量

用相同仪表（或同量程同精度仪表）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。

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。

1.2.3 偏差式测量、零位式测量与微差式测量

用仪表指针的位移（即偏差）决定被测量的量值，这种测量方法称为偏差式测量。应用这种方法测量时，仪表刻度事先用标准器具标定。在测量时，输入被测量，按照仪表指针在标尺上的显示值，决定被测量的数值。这种方法测量过程比较简单、迅速，但测量结果精度较低。

用指零仪表的零位指示检测测量系统的平衡状态，在测量系统平衡时，用已知的标准量决定被测量的量值，这种测量方法称为零位式测量。在测量时，已知标准量直接与被测量相比较，已知量应连续可调，指零仪表指零时，被测量与已知标准量相等。例如天平、电位差计等。零位式测量的优点是可以获得比较高的测量精度，但测量过程比较复杂，费时较长，不适用于测量迅速变化的信号。

微差式测量是综合了偏差式测量与零位式测量的优点而提出的一种测量方法。它将被测量与已知的标准量相比较，取得差值后，再用偏差法测得此差值。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。设：N 为标准量，x 为被测量，ΔN 为二

者之差，则 $x=N+\Delta N$。由于 N 是标准量，其误差很小，因此可选用高灵敏度的偏差式仪表测量 ΔN，即使测量 ΔN 的精度较低，但总的测量精度仍很高。

微差式测量的优点是反应快，而且测量精度高，特别适用于在线控制参数的测量。

1.3 测量系统误差分析基础

1.3.1 测量误差的基本概念

1.3.1.1 测量误差

测量某一个物理量，是将它进行变换、放大再与标准量进行比较、显示或读出数据等环节的综合处理过程。由于检测系统不可能绝对精确、测量原理的局限性、测量方法的不完善性、环境因素的变化、外界干扰的存在和被测量可能被影响等，所以，测量结果不能准确地反映被测量物理量的真值，而存在的偏差就是测量误差。

1.3.1.2 真值

被测量物理量被严格定义的理论值，如三角形内角和为 180°。很多物理量的理论真值在实际中很难得到，常用约定真值或相对真值代替理论真值。

(1)约定真值

国际计量委员会通过并发布的各种物理量单位的定义，利用当今最先进科学技术制定各物理量单位的基准，这些值被公认为国际或国家基准，称为约定真值。

如国际单位制中长度的单位，1983 年被定义为光在真空中 1/299792458 秒的时间内所通过的距离。在这之前，1960 年第十一届度量衡会议，通过了一米长度的定义为氪 86 原子从能量 2P10 至 5D5 跳跃时幅射线波长的 1650763.73 倍(真空中)。而质量单位千克，等于国际千克原器的质量，保存在国际计量局的 1kg 铂铱合金原器就是 1kg 质量的约定真值。时间单位秒定义为铯-133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁，所对应的辐射的9 192 631 770个周期的持续时间为 1 秒的真值。

各国或各地通常利用这些约定真值的国际基准或国家基准进行传递，也可以对低一等级标准值(标准器)或标准仪器进行对比、计量和校准。而各地可用经过上级法定计量部门按照规定时间定期送检、校检过的标准器、标准仪表及修正值作为当地相应物理量单位的约定真值。

(2)相对真值

如果精度高一级检测仪器的误差为低一级检测仪器误差的 1/3～1/10，那么可以认为高一级的仪器对某物理量的测量值，为低一级仪器的测量值的相对真值。如，电子称称重精度通常高于杆秤的 1 个数量级，因此，电子称的称重值为杆秤的相对真值。

测量是以确定量值为目的的一系列操作。所以，测量也就是将被测量与同种性质的标准量进行比较，确定被测量对标准量的倍数。它可由下式表示：

$$x=nu \tag{1-4}$$

式中：x——被测量值；

u——标准量，即测量单位；

n——比值(纯数)，含有测量误差

由测量所获得的被测的量值叫测量结果。

测量结果可用一定的数值表示，也可以用一条曲线或某种图形表示。但无论其表现形式如何，测量结果应包括两部分：比值和测量单位。确切地讲，测量结果还应包括误差部分。被测量值和比值等都是测量过程的信息，这些信息依托于物质才能在空间和时间上进行传递。参数承载了信息而成为信号。选择其中适当的参数作为测量信号，例如热电偶温度传感器的工作参数是热电偶的电势，差压流量传感器中的孔板工作参数是差压ΔP。测量过程就是传感器从被测对象获取被测量的信息，建立起测量信号，经过变换、传输、处理，从而获得被测量的量值。

1.3.1.3　标称值

标称值是指在计量或测量器具上标注的量值。如天平的砝码上标注 10g、尺子上标注 0.5m 等。这些测量器具在制造时由于条件的限制，它们的标称值和其真值间存在一定的误差，所以，使用这些值时存在不确定性，通常要根据其精度等级或误差范围进行估计其真值。

1.3.1.4　示值

示值是测量仪器（或系统）指示或显示的数值，也叫测量值或读数。因为测量仪器（系统）中传感器、信号处理过程都不可避免地存在误差，测量过程中还存在环境因素和干扰的影响，所以，示值和理论真值间存在误差。

1.3.1.5　误差公理

实际测量过程中，由于测量仪器不准确、方法不完善、程序不规范、环境因素的影响等，都会导致测量结果或多或少地偏离被测物理量的真值。测量的结果与真值之间存在误差，也就说测量误差存在是不可避免的，一切测量都具有误差，误差自始至终存在于所有的科学实验之中，这就是误差公理。

1.3.2　测量误差的表示方法

测量的目的是希望通过测量获取被测量的真实值。但由于种种原因，例如，传感器本身性能不十分优良，测量方法不十分完善，外界干扰的影响等，都会造成被测参数的测量值与真实值不一致，两者不一致程度用测量误差表示。

测量误差就是测量值与真实值之间的差值。它反映了测量质量的好坏。测量的可靠性至关重要，不同场合对测量结果可靠性的要求也不同。例如，在量值传递、经济核算、产品检验等场合应保证测量结果有足够的准确度。当测量值用作控制信号时，则要注意测量的稳定性和可靠性。因此，测量结果的准确程度应与测量的目的与要求相联系、相适应，那种不惜工本、不顾场合，一味追求准确度的作法是不可取的，要有技术与经济兼顾的意识。

测量误差的表示方法有多种，含义各异。

(1)绝对误差

绝对误差是指测量值 x 与被测量真值 x_0 的代数差值 Δx，可用下式定义：

$$\Delta x = x - x_0 \tag{1-5}$$

式中：Δx——绝对误差；

x——测量值；

x_0——真值。

真值 x_0 可以是约定真值，也可以是由高精度仪器测量得到的相对真值。绝对误差反映示值与真值间偏离的大小。为了减小测量误差，测量仪表内部对测量值进行修正时，往往要用到绝对误差。修正值是与绝对误差大小相等、符号相反的值，实际值等于测量值加上修正值。为了得到测量仪表误差的修正值，通常要标定或校准测量仪表，常采用比较法，即对于同一个被测量值，将标准表（具有更高精度的仪表）测量值作为真值 x_0，与被校验仪表测量值 X 进行比较，它们的差值就是被校验仪表的示值的绝对误差，若在测量范围内是一个恒值，即为被检测仪表的“系统误差”。该误差可能是仪表系统本身原因造成的误差，此时对检测仪表测量示值应加以修正，修正后才可以得到被测量的真值 x_0。

$$x_0 = x - \Delta x = X + C \tag{1-6}$$

式中 C 为修正值。在测量范围被对校验仪表进行校验，得到的误差若不是恒值，通常可以得到一个误差表或曲线，则修正值为 $C=f(x)$。

采用绝对误差表示测量误差，不能很好说明测量质量的好坏。例如，在温度测量时，绝对误差 $\Delta t=1℃$，对体温测量来说是不允许的，而对测量钢水温度来说却是一个极好的测量结果。

(2)相对误差

相对误差是指测量值的绝对误差 Δx 与被测量量的真值 x_0 的比值。可以由下式给出：

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \tag{1-7}$$

式中：δ——相对误差，一般用百分数给出；

Δx——绝对误差；

x_0——真实值。

由于被测量的真实值 x_0 无法知道，常用在被测量值没有变化的情况下，进行多次重复测量，用测量的平均值来代替真值，工程上当绝对误差较小时，有时用测量值 x 代替真实值 x_0 进行粗略计算。

在评价检测仪表的精度或测量质量时，利用相对误差作为衡量标准有时也不准确。如利用有确定精度等级的检测仪表，测量一个靠近测量范围下限的小值，计算得到的相对误差，往往总比用一个测量接近上限的仪表得到的相对误差大。

(3)引用误差

引用误差是测量仪表测量值的绝对误差 Δx 与测量仪表的量程 L 的比值。它是相对仪表满量程的一种误差，一般也用百分数表示，即：

$$\gamma = \frac{\Delta x}{L} \times 100\% \tag{1-8}$$

式中：γ——引用误差；

Δx——绝对误差；

L——为仪表的量程。

引用误差用量程代替相对误差中的测量点的真值，使用起来方便，但分子仍然为绝对误差，当测量值为检测范围内不同数值时，各点的绝对误差也可能不同，为了衡量仪表的精度水平，仪表精度等级是根据最大引用误差来确定的。

(4)最大引用误差

在规定的工作条件下，当被测量物理量平稳增加或减少时，在仪表全量程所有测量值的引用误差的最大者，为最大引用误差，或者说所有测量值中最大绝对误差与量程的比值。

$$\gamma_{max}=\left|\frac{\Delta x_{max}}{L}\right|\times 100\% \tag{1-9}$$

通常仪表或检测系统的误差用最大引用误差来表示。

1.3.3 检测仪器系统的精度等级与容许误差

1.3.3.1 精度等级

工业检测仪器与检测系统用最大引用误差作为精度等级的标志，也即用引用误差的最大值的绝对值去掉百分号来表示，精度等级用 G 表示。

为了统一和方便使用，国家标准 GB766-76《测量指示仪表通用技术条件》规定，测量指示仪表的精度等级 G 分为：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七个等级，这也是工业检测仪器或系统常用的等级。仪表生产厂家根据其产品最大引用误差的大小，以选大不选小的原则就近套用上述精度等级，作为其仪表产品的精度等级。

例如，量程为 0～1000V 的数字电压表，如果其整个量程中最大绝对误差为 1.05V，则有：

$$\gamma_{max}=\left|\frac{\Delta x}{L}\right|\times 100\%=\frac{1.05}{1000}\times 100\%=0.105\% \tag{1-10}$$

由于 0.105 不是标准化精度等级值，因此需要就近套用标准化精度等级值。0.105 位于 0.1 级和 0.2 级之间，尽管该值与 0.1 更为接近，但按选大不选小的原则该数字电压表的精度等级 G 应为 0.2 级。所以，0.5 级表的引用误差的最大值不超过±0.5%，1.0 级表的引用误差的最大值不超过±1%。

因此，任何符合计量规范的检测仪器(系统)都满足：

$$|\gamma_{max}|\leqslant G\% \tag{1-11}$$

由此可见，仪表的精度等级是反映仪表性能的最主要的质量指标，它充分地说明了仪表的测量精度，可较好地用于评估检测仪表在正常工作时(单次)测量的测量误差范围。

1.3.3.2 容许误差

容许误差是指检测仪器在规定使用条件下可能产生的最大误差范围，它也是衡量检测仪器的最重要的质量指标之一。检测仪器的准确度、稳定度等指标都可用容许误差来表征。按照部颁标准 SJ943-82《电子仪器误差的一般规定》的规定，容许误差可用工作误差、固有误差、影响误差、稳定误差来描述，通常直接用绝对误差表示。

(1)工作误差

工作误差是指检测仪器(系统)在规定工作条件下正常工作时可能产生的最大误差。

即当仪器外部环境的各种影响、仪器内部的工作状况及被测对象状态为任意的组合时，仪器工作所能产生误差的最大值。这种表示方式的优点是使用方便，可利用工作误差直接估计测量结果误差的最大范围。缺点是由于工作误差是在最不利组合下给出的，而在实际测量中环境条件、仪表本身和被测对象所有最不利组合出现的概率很小，所以，用工作误差来估计平时某次正常测量误差，往往偏大。

(2)固有误差

当环境和各种试验条件均处于基准条件下时，检测仪器所反映的误差称固有误差。由于基准条件比较严格，所以，固有误差可以比较准确地反映仪器本身所固有的技术性能。

(3)影响误差

影响误差是指仅有一个参量处在检测仪器(系统)规定工作范围内，而其他所有参量均处在基准条件时检测仪器(系统)所具有的误差，如环境温度变化产生的误差、供电电压波动产生的误差等。影响误差可用于分析检测仪器(系统)误差的主要构成，以及寻找减少和降低仪器误差的主要方向。

(4)稳定性误差

稳定性误差是指仪表工作条件保持不变的情况下，在规定的时间内，检测仪器(系统)各测量值与其标称值间的最大偏差。用稳定性误差估计平时某次正常测量误差，通常比实际测量误差偏小。

工程上，常用工作误差和稳定性误差结合来估计平时测量误差和测量误差范围，评价检测仪器在正常使用时所具有的实际精度。

一般情况下，仪表精度等级的数字愈小，仪表的精度愈高。如0.5级的仪表精度优于1.0级仪表，而劣于0.2级仪表。工程上，单次测量值的误差通常就是用检测仪表的精度等级来估计的。但值得注意的是，精度等级高低仅说明该检测仪表的引用误差最大值的大小，它决不意味着该仪表某次实际测量中出现的具体误差值是多少。

例1.1 被测电压实际值约为21.7V，现有四种电压表：1.5级、量程为0～30V的A表；1.5级、量程为0～50V的B表；1.0级、量程为0～50V的C表；0.2级、量程为0～360V的D表。请问选用哪种规格的电压表进行测量产生的测量误差较小？

解 根据(1-6)式，分别用四种表进行测量可能产生的最大绝对误差如下：

A表

$$|\Delta x_{max}|=|\gamma_{max}|\times L=1.5\%\times 30V=0.45V$$

B表

$$|\Delta x_{max}|=|\gamma_{max}|\times L=1.5\%\times 50V=0.75V$$

C表

$$|\Delta x_{max}|=|\gamma_{max}|\times L=1.0\%\times 50V=0.50V$$

D表

$$|\Delta x_{max}|=|\gamma_{max}|\times L=0.2\%\times 360V=0.72V$$

答：四者比较，通常选用A表进行测量所产生的测量误差较小。

由上例不难看出，检测仪表产生的测量误差不仅与所选仪表精度等级G有关，而且

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com