

3. 模拟式测量和数字式测量

根据测量结果的显示方式,可分为模拟式测量和数字式测量。数字式测量稳定性较高。

4. 接触式测量和非接触式测量

根据测量时是否与被测对象接触,可分为接触式测量和非接触式测量。例如用多普勒雷达测速仪测量汽车超速与否就属于非接触式测量。非接触式测量不影响被测对象的运行工况,是目前发展的趋势。利用红外线辐射成像仪测量供电变压器的表面温度如图1-2所示。



图1-2 利用红外线辐射成像仪测量供电变压器的表面温度

5. 在线测量和离线测量

为了监视生产过程,或在生产流水线上监测产品质量的测量称为在线测量,反之,则称为离线测量。例如,现代自动化机床采用边加工、边测量的方式就属于在线测量,它能保证产品质量的一致性。离线测量虽然能测量出产品的合格与否,但无法实时监控产品质量。

第二节 测量误差及分类

测量的目的是希望通过测量求取被测量的真值。所谓真值,是指在一定条件下被测量客观存在的实际值。真值有理论真值、约定真值和相对真值之分。例如,三角形三个内角之和为 180° ,"米"是光在真空中,在 $1/299\,792\,458\text{s}$ 时间间隔内,运行路程的长度等。这种真值称为理论真值。又如,在标准条件下,水的三相点为 273.16K ,银的凝固点是 961.78°C ,这类真值均称为约定真值。相对真值:凡准确度高两级以上的仪表的误差与准确度低的仪表的误差相比,前者的误差是后者的 $1/3$ 以下时,则高两级仪表的测量值可以认为是相对真值。相对真值在误差测量中的应用最为广泛。

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征进行分类。

一、绝对误差和相对误差

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

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

2. 相对误差及准确度等级

有时绝对误差不足以反映测量值偏离真值程度的大小,所以引入了相对误差。相对误差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、示值相对误差和满度相对误差等。

(1) 示值(标称)相对误差 γ_x 示值相对误差 γ_x 用绝对误差 Δ 与被测量 A_x 的百分比来表示

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-2)$$

(2) 满度(引用)相对误差 γ_m 测量下限为零的仪表的满度相对误差 γ_m 用绝对误差 Δ 与仪器满度值 A_m 的百分比来表示



$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

(3) 准确度等级 在多数情况下,上述相对误差多取正值。对测量下限不为零的仪表而言,在式(1-3)中,可用量程($A_{\max} - A_{\min}$)来代替分母中的 A_m 。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引用误差等级 S ,即

$$S = \left| \frac{\Delta_m}{A_m} \right| \times 100 \quad (1-4)$$

根据准确度等级 S 及量程范围,可以推算出该仪表可能出现的最大绝对误差 Δ_m 。准确度等级 S 规定取一系列标准值。我国模拟仪表有下列七种等级:0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。它们分别表示对应仪表的满度相对误差不应超过的百分比。仪表在正常工作条件下使用时,各等级仪表的引用误差不超过表1-1所规定的值。

表 1-1 仪表的准确度等级和对应的引用误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
对应的引用误差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 5.0\%$

我们可以从仪表的使用说明书上读得仪表的准确度等级,也可以从仪表面板上的标志判断出仪表的等级。从图1-3所示的电压表右侧,我们可以看到该仪表的准确度等级为5.0级,它表示对应仪表的满度相对误差(引用误差)不超过5.0%。同类仪表的等级数值越小,准确度就越高,价格就越贵。

随着测量技术的进步,目前部分行业的仪表还增加了以下几种准确度等级:0.005、0.01、0.02、(0.03)、0.05、0.2、(0.25)、(0.3)、(0.35)、(0.4)、(2.0)、4.0等。只有在必要时,才可采用括号内的准确度等级。

仪表的准确度习惯上称为精度,准确度等级习惯上称为精度等级。根据仪表的等级可以确定测量的满度相对误差和最大绝对误差。例如,在正常情况下,用0.5级、量程为100℃温度表来测量温度时,可能产生的最大绝对误差为

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

在测量领域中,还经常使用正确度、精密度、精确度等名词来评价测量结果。这些术语的叫法虽然十分普遍,但也比较容易引起混乱。本教材只采用准确度这个名词来表达测量结果误差的大小。

在正常工作条件下,可以认为仪表的最大绝对误差基本不变,而示值相对误差 γ_x 随示值的减小而增大。例如用上述温度表来测量80℃温度时,相对误差 $\gamma_x = (\pm 0.5/80) \times 100\% = \pm 0.525\%$,而用它来测量10℃温度时,相对误差 $\gamma_x = (\pm 0.5/10) \times 100\% = \pm 5\%$ 。

例 1-1 某压力表准确度为2.5级,量程为0~1.5MPa,测量结果显示为0.70MPa,试求: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) 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 $\gamma_m = 2.5\%$ 。

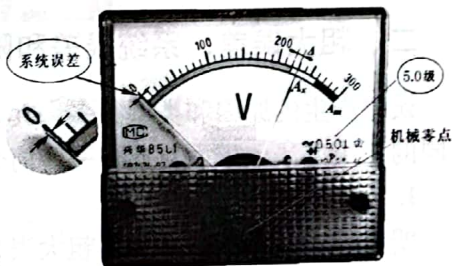


图 1-3 从电压表上读取绝对误差和准确度等级



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

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

由上例可知, γ_x 总是大于 (满度时等于) γ_m 。

例1-2 现有0.5级的0~300℃的和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 用0.5级表测量时, 可能出现的最大示值相对误差为

$$\gamma_x = \frac{\Delta_{m1}}{A_x} \times 100\% = \frac{300 \times 0.5\%}{80} \times 100\% = 1.875\% \approx 1.88\%$$

若用1.0级表测量时, 可能出现的最大示值相对误差为

$$\gamma_x = \frac{\Delta_{m2}}{A_x} \times 100\% = \frac{100 \times 1.0\%}{80} \times 100\% = 1.25\%$$

计算结果表明, 用1.0级表比用0.5级表的示值相对误差反而小, 所以更合适。由上例可知, 在选用仪表时应兼顾精度等级和量程, 通常希望示值落在仪表满度值的2/3左右。

二、粗大误差、系统误差和随机误差

误差产生的原因和类型很多, 其表现形式也多种多样, 针对造成误差的不同原因, 也有不同的解决办法, 下面对此作一些简介。

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且强大的干扰所引起的。如测错、读错、记错、外界过电压尖峰干扰等造成的误差。就数值大小而言, 粗大误差明显超过正常条件下的误差。当发现粗大误差时, 应予以剔除。

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。凡误差的数值固定或按一定规律变化者, 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, 皆属此类。

引起系统误差的因数称为系统效应。例如, 环境温度及湿度的波动、电源的电压下降、电子元器件老化、机械零件变形移位、仪表零点漂移等。

系统误差具有规律性, 因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法计算修正, 也可以重新调整测量仪表的有关部件予以消除。

3. 随机误差

测量结果与在重复条件下, 对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值之差称为随机误差。随机误差大多是由影响量的随机变化引起的, 这种变化带来的影响称为随机效应, 它导致重复观测中的分散性。

随机误差有时也表达为: 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, 误差的绝对值及正、负以不可预见的方式变化, 该误差称为随机误差。随机误差反映了测量值离散性的大小。随机误差是测量过程中许多独立的、微小的、偶然的因素引起的综



绝对误差与相对误差演示



合结果。

存在随机误差的测量结果中,虽然单个测量值误差的出现是随机的,既不能用实验的方法消除,也不能修正,但是就误差的整体而言,服从一定的统计规律。因此通过增加测量次数,利用概率论的一些理论和统计学的一些方法,可以掌握看似毫无规律的随机误差的分布特性,并进行测量结果的数据统计处理。

在这里,我们以超声波测距仪多次测量两座大楼之间的距离为例来说明。由于空气的抖动、气温的变化、仪器受到电磁波干扰等原因,所以即使用准确度很高的测距仪去测量,也会发现测量值时大时小。而且无法预知下一时刻的干扰情况,测量数据如图1-4所示。

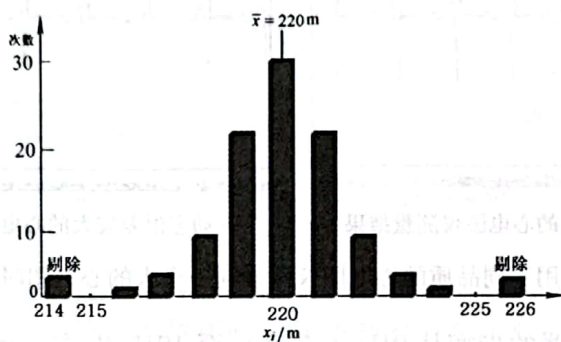


图1-4 用超声波测距仪多次测量两座大楼之间距离的统计数据

对正态分布曲线进行分析,可以发现如下规律:

(1) 有界性 在一定的条件下,随机误差的测量结果 x_i 有一定的分布范围,超过这个范围的可能性非常小。当某一次测量结果的误差超过一定的界限后,即可认为该误差属于粗大误差,应予以剔除。

(2) 对称性 x_i 对称地分布于图中的算术平均值 $\bar{x}$ 两侧,当测量次数增多后, $\bar{x}$ 两侧的误差相互抵消。

(3) 集中性 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的次数多,因此测量值集中分布于算术平均值 $\bar{x}$ 附近。人们常将剔除粗大误差后的 $\bar{x}$ 值看成测量值的最近似值。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n} \quad (1-5)$$

三、静态误差和动态误差

1. 静态误差

在被测量不随时间变化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。

2. 动态误差

当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,这种误差称为动态误差。例如,被测水温突然上升到 100°C ,玻璃水银温度计的水银柱不可能立即上升到 100°C 。如果此时就记录读数,必然产生误差。

引起动态误差的原因很多。例如,用笔式记录仪记录心电图时,由于记录笔有的惯性较大,所以记录的结果在时间上滞后于心电的变化,有可能记录不到特别尖锐的窄脉冲。又



如，用放大器放大含有大量高次谐波的周期信号（例如很窄的矩形波）时，由于放大器的频响及电压上升率不够，故造成高频段的放大倍数小于低频段，最后在示波器上看到的波形失真很大，产生误差。从图 1-5 可以看出，用不同品质的心电图仪测量同一个人的心电图时，由于其中一台放大器的带宽不够，动态误差较大，描绘出的窄脉冲幅度偏小。

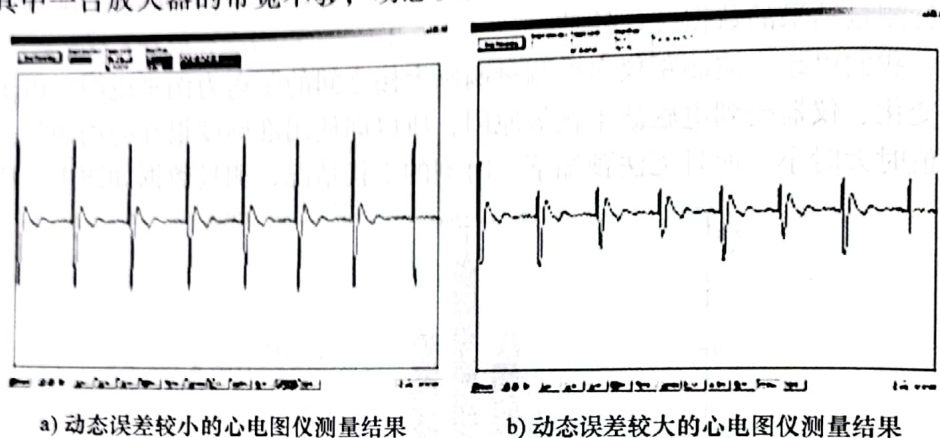


图 1-5 用不同品质的心电图仪测量同一个人的心电图时的曲线

一般静态测量要求仪器的带宽从 0Hz（直流）至 10Hz 左右。而动态测量要求带宽超过 10kHz。这就要求采用高速运算放大器，并尽量减小电路的时间常数。

对于动态测量、带有机机械结构的仪表而言，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。

第三节 传感器及其基本特性

一、传感器的定义及传感器的组成

传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将检测感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，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，有时也可以称为换能器、检测器和探头等。常用传感器的输出信号多为易于处理的电量，如电压、电流、频率和数字信号等。

传感器由敏感元件、传感元件及测量转换电路三部分组成，如图 1-6 所示。

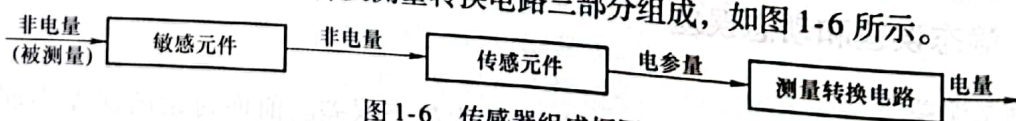


图 1-6 传感器组成框图

图 1-6 中的敏感元件是在传感器中直接感受被测量的元件，即被测量通过传感器的敏感元件转换成与被测量有确定关系、更易于转换的非电量。这一非电量通过传感元件后就被转换成电参量。测量转换电路的作用是将传感元件输出的电参量转换成易于处理的电压、电流或频率一的。

图 1-7 为一台测量压力用的电位器式压力传感器结构简图。当被测压力 p 增大时，弹簧管撑直，通过齿条带动齿轮转动，从而带动电位器的电刷产生角位移。电位器电阻的变化量

