

检测及执行装置

江 驹 编

南京航空学院

1992.1.

绪 论

在工业生产和科学实验中，为了及时有效地了解生产过程的操作情况和实验的结果，经常要对某些物理量如：电压、电流、温度、流量、压力、位移、速度、加速度等参数进行测量。为此，必须选择合适的测量仪表、采用正确的检测方法去进行测量，本书将介绍一些关于检测和检测仪表的基本知识。

测量（检测）是认识事物的最基本的方法。通过测量，人们建立了对事物属性量度的认识，从而可以在事物的关系和运动中进行比较，以寻求事物和社会向前发展的方向，改造客观世界。要检测，那就离不开检测技术和检测仪表。

所谓检测技术，是一门应用一定的测量原理，选择合适的测量方法和必要的检测装置，对生产和实验中某些参数进行检查和测量的综合性技术科学，它是以物理学、电子学、自动控制、电子计算机、测量技术等原理为基础的，通过对被测量的检测，可以帮助人们对各种物理现象、化学现象、生物现象进行定性的了解和定量的掌握，以便对生产过程进行有效的控制。

检测仪表是实现检测过程的一种技术工具，自动检测仪表的类型甚多，其结构原理也不尽相同，然而从使用仪表进行检测的实质来看，却都有相同之处，它们的共性在于，把被测参数经过一次或者多次的信号、能量形式的转换，最后获得便于检测的信号或能量形式，并由显示仪表指针位移或以数字形式表示出来。

科学和生产的发展与检测技术的发展有着十分密切的联系，检测技术的发展水平在很大程度上决定了科学技术的发展水平。测量技术达到的水平愈高，则科学的成就显得愈为深广，而另一方面，科学和生产的发展又为检测技术的发展创立新的前提、新的途径和新的可能。它们之间互相依赖、互相渗透、互相促进。

在现代化生产中，要保证产品的质量和数量，就必须最大限度地实现自动检测和自动控制，特别是电子计算机在生产过程中的广泛应用，对自动检测技术提出了更新更高的要求，只有借助于自动检测技术，才能及时地掌握生产过程中各个生产环节的参数，并通过各种控制设备加以控制，生产才有保证。因此，检测技术是实现生产过程自动化的前提和保证。只有及时而准确地检测反映生产过程进行情况的大量物理参数，才能达到有效控制的目的。没有自动检测为前提，自动控制就无从谈起，计算机在过程控制中也就无法应用。

可以预测，新的检测理论和方法将不断发展，检测装置将逐步向电子化、集成化、数字化、自动化和多功能化发展，检测装置的性能/价格比也会不断地提高，一批先进的检测元件和检测手段将会被研制出来并得到广泛的应用，以满足四化建设的需要。

绪 论

第一章 检测仪表和检测方式

§ 1-1 自动检测仪表的基本组成和分类	1
§ 1-2 测量仪表的品质指标	2
§ 1-3 常用的测量方法	4

第二章 误差理论基础

§ 2-1 测量误差与精度	6
§ 2-2 提高精度的方法	9

第三章 传感器的概述

§ 3-1 传感器的作用	12
§ 3-2 传感器的分类	12
§ 3-3 传感器的基本量与派生量的关系	15

第四章 电阻式传感器

§ 4-1 电阻式传感器的原理和结构	16
§ 4-2 电阻式传感器的测量电路	20
§ 4-3 电阻应变传感器的应用	23
§ 4-4 热电阻传感器	25

第五章 电感式传感器

§ 5-1 概 述	22
§ 5-2 自感传感器	33
§ 5-3 差动变压器	42
§ 5-4 涡流传感器	50
§ 5-5 压磁传感器	59

第六章 电容传感器

§ 6-1 电容式传感器的工作原理	67
§ 6-2 电容式传感器的结构和特性	71
§ 6-3 电容式传感器的测量电路	74
§ 6-4 电容式传感器的应用	82

第七章 电压式传感器

§ 7-1 压电式传感器的工作原理	85
§ 7-2 压电式传感器的结构特点	88

§ 7-3 压电式传感器的等效电路.....	91
§ 7-4 压电式传感器的测量电路.....	92
第八章 磁电传感器及.....	
§ 8-1 磁电传感器.....	97
§ 8-2 电磁检测.....	102
§ 8-3 霍尔传感器.....	108
第九章 热电式传感器——热电偶	
§ 9-1 热电偶.....	116
§ 9-2 热电偶冷端的温度补偿.....	124
§ 9-3 热电偶的测量电路.....	127
第十章 光电传感器	
§ 10-1 光电元件.....	130
§ 10-2 光电传感器的类型及应用实例.....	136
第十一章 数字式传感器	
§ 11-1 角位移数字传感器.....	142
§ 11-2 光栅传感器.....	157
§ 11-3 磁栅传感器.....	169
§ 11-4 感应同步器.....	174
第十二章 气动传感器	
§ § 12-1 节流式气动传感器.....	189
§ 12-2 射流式气动传感器.....	200
§ 12-3 气电转换器.....	207
第十三章 流量传感器	
§ 13-1 概 述.....	215
§ 13-2 流量测量方法.....	216
第十四章 物位测量	
§ 14-1 物位测量方法.....	220
§ 14-2 差压式液位计.....	224
第十五章 电动执行机构	
§ 15-1 伺服电动机.....	228
§ 15-2 步进电机.....	231
§ 15-3 接触器.....	234
§ 15-4 继电器.....	236
第十六章 气动执行机构	
§ 16-1 气动变换元件.....	245
§ 16-2 气动执行器简述.....	248
§ 16-3 气动执行机构.....	248

§ 16-4 调节阀	255
------------------	-----

第十七章 液压执行机构

§ 17-1 概 述	272
------------------	-----

§ 17-2 液压放大元件	274
---------------------	-----

§ 17-3 液压动力元件	277
---------------------	-----

参考文献	279
------------	-----

第一章 检测仪表和检测方式

§ 1-1 自动检测仪表的基本组成和分类

一般检测仪表主要由三部分组成：传感器、电子测量线路、显示装置。如 1-1 图所示。

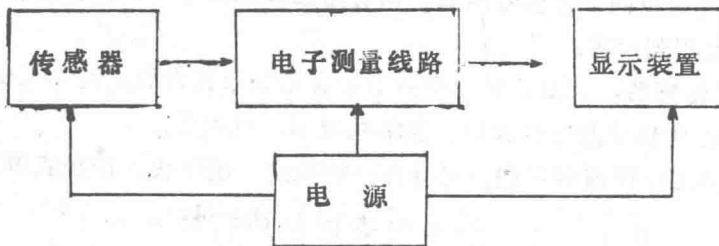


图 1-1 检测仪表结构框图

传感器直接与被测对象发生联系，感受被测参数的变化，并将被测参数的变化直接或间接地转换成电信号。一般常用的传感器有：触点传感器、无触点接近开关（涡流传感器）、差动变压器、电容传感器、热电偶、气动传感器、超声波探头、霍尔传感器、红外探测量、光栅、感应同步器等。

由传感器输出的信号送至测量线路的输入端，经电子测量线路将送来的信号进行变换（放大、微分、积分等），并转换成显示部分所能接受的信号后，传送给显示装置。电子测量线路根据传感器要求之不同而异，最常用的是模拟电路（桥型电路、相敏电路和测量放大器）和数字逻辑电路（门电路、数字显示电路、D/A 和 A/D 转换器等）。

显示装置，其作用乃是接受电子测量线路传送来的信号，并且以适当的形式将被测参数显示出来。例如指针指示参数大小，用数字显示参数数值，或用记录装置将被测参数自动记录下来等等。

常用的检测仪表可按下列方式分类：

（一）按被测参数的不同，可分为：温度计、压力计、流量计、液位计、成分分析仪等。

（二）按被测参数显示表达方式的不同，可分为：指示式、记录式、积算式、远传式等。

（三）按传感器输出量的性质不同可分为：

（1）参量传感器，如：触点传感器、电阻传感器、电感传感器、电容传感器、气动传感器等。

(2) 发电传感器。如：光电池、热电偶、磁电传感器、压电传感器、霍尔传感器等。

(3) 脉冲传感器。如：光栅、磁栅、感应同步器等。

(4) 特殊传感器。不属于以上三种的皆属于特殊传感器。如：振弦、振筒传感器、超声波探头、核辐射探测器、电磁检测器、激光检测装置、工业电视检测装置等。

(四) 按被测量的性质不同可分：机械量传感器、热工量传感器、探伤传感器等。

(五) 按传感器的结构不同，可分为：

(1) 直接传感器：它是一个单独的，而又直接将被测量转换成所需的输出量的传感器，它结构最简单，但灵敏度低，易受外界干扰影响等。

(2) 差动传感器：基本思想是：把两个相同类型的传感器接在输出回路中，使两个传感器所经受的相同干扰信号相减，而有用的被测信号相加。从而提高灵敏度，使特性曲线的直线性得到改善。

(3) 补偿传感器：其实质是一个显示装置的指示自动跟随被测量变化的位式随动系统，它的静态特性和动态特性较好，但结构复杂、成本高。

(六) 根据工作原理的不同，可分为：模拟式、数字式、图象式等。

§ 1—2 测量仪表的品质指标

一台测量仪表质量的好坏，可用它的品质指标来衡量。由于测量的目的不同，仪表种类繁多，仪表的品质指标也是多方面的，这里仅举其中最常见的几个指标来讨论。

1. 准确度（又称精确度） 使用测量仪表对生产过程中的工艺参数进行测量，不仅需要知道仪表的示值是多少，而且还要知道测量结果的准确程度，准确度是指测量结果与实际值相一致的程度，它是测量的一个基本特征。

绝对误差不能作为仪表准确度的尺度，因为仪表准确度不仅与绝对误差有关。例如，两台量程不相同的同一类仪表。如果它们的绝对误差相同，则量程大的仪表准确度较量程小的要高。因此，为了正确地反映仪表的准确程度，准确度采用相对误差来表示，即仪表的准确度是指仪表的允许误差与仪表量程之百分比，即

$$\text{准确度} = \frac{\text{仪表允许误差}}{\text{仪表的量程}} \times 100\% \quad (1-1)$$

仪表的准确度，是按照国家规定的允许误差的大小划分成若干等级的。我国的自动化仪表准确度等级有下列几种：0.005, 0.02, 0.1, 0.35, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4等级别。例如某测温仪表的最大允许绝对误差为 $\pm 1.1^\circ\text{C}$ ，其测温范围为 $0\sim 1100^\circ\text{C}$ ，则准确度 = $\frac{\pm 1.1^\circ\text{C}}{1100^\circ\text{C}} \times 100\% = \pm 1.0\%$ ，取其数字部分，则该仪表

的精度等级为1.0级。一般工业用的仪表为0.5~4精度等级 仪表的准确度等级通常都用一定符号形式标志在仪表标尺面板上，方便识别，如 $\bigcirc 0.5$ 或 $\triangle 1.0$ 等。

由于仪表的准确度包含了允许误差和仪表量程两个因素，故在选用仪表尽量在接近刻度上限的区域内工作，这样才有最合理的相对误差及准确度，例如，上述测温仪表测

量 1000°C 时, 标称相对误差为 $\pm 11/1000 \times 100\% = \pm 1.1\%$, 而测量 550°C 时, 标称相对误差为 $\pm 11/550 \times 100\% = \pm 2\%$ 。因此, 应避免用测温范围高的仪表去测量低的温度。

在选择仪表准确度等级时, 应根据工艺上的实际需要, 而不能片面追求高准确度, 以免造成浪费。因为准确度高的仪表, 价格也高, 且维护技术也要求高。

2. 变差: 测量仪表的恒定度用变差 (又称来回差) 表示。它是指在外界条件不变的情况下, 使用同一仪表对某一量进行正、反行程 (即逐渐由小到大和由大逐渐到小) 测量时, 所得的仪表示值是不相同的, 两者之间的差值称为变差。变差的大小, 用同一仪表测量同一个量时, 正、反行程测量的示值之间绝对误差的最大值与仪表量程之百分比表示, 即:

$$\text{变差} = \frac{(x_{\text{正}} - x_{\text{反}})_{\text{max}}}{\text{仪表的量程}} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 $x_{\text{正}}$ 和 $x_{\text{反}}$ 分别为正行程和反行程测量的示值。

造成变差的原因很多, 例如传动机构的间隙、运动部件的摩擦、弹性元件的弹性滞后等影响, 通常要求仪表的变差不超过仪表准确度等级所允许的误差。

3. 灵敏度与灵敏限: 测量仪表的灵敏度反映仪表示值变化对被测量变化的灵敏程度, 一般用仪表的输出变化量 (例如指针的线位移或角位移) $\Delta \alpha$ 与引起此变化的被测量的变化量 Δx 之比来表示, 即:

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta x} \quad (1-3)$$

如果被测量的变化很小, 仪表示值改变很大, 则该仪表的灵敏度高。测量仪表的灵敏度可以用增大放大系统 (电子的或机械的) 的放大倍数的办法来提高。但是, 必须指出, 仪表的性能主要取决于仪表的基本误差, 如果单纯地加大仪表的灵敏度来企图达到更准确的读数, 这是不合理的, 反而可能出现似乎灵敏度很高, 但准确度却实际下降的虚假现象。为了防止虚假灵敏度, 通常规定仪表标尺上的分格值不能小于仪表允许误差的绝对值。

仪表的灵敏限 (又称始动灵敏度), 是指能引起示值发生变化的被测量的最小变化量。仪表的灵敏度愈高, 灵敏限就愈小。通常仪表的灵敏限数值应不大于仪表允许误差的一半。

4. 线性度: 线性度用来说明输出量与输入量的实际关系曲线偏离直线的程度。无论是模拟式仪表, 还是数字式仪表, 都希望它们的特性是线性关系。这样模拟式仪表的刻度就可以做成均匀刻度, 而数字式仪表就可以不必采用线性化环节。

通常采用如下的最简单的线性度表示法: 首先校正仪表的零点 O 和对应于最大输入量 x_{max} 的最大示值 y_{max} 点 M , 将连接 O 点和 M 点的直线作为基准直线, 见图 1-2, 然后在图上求出输入、输出实

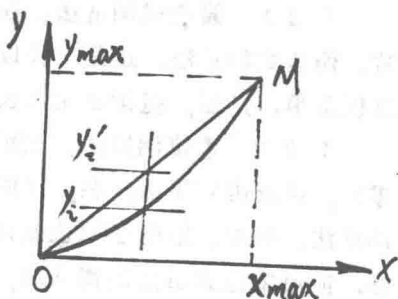


图 1-2 求仪表线性度

际特性曲线与基准线之间的最大偏差值 $|y_i - y_i'|_{\max}$ ，则线性度 E_L 为：

$$E_L = |y_i - y_i'|_{\max} / y_{\max} \quad (1-4)$$

如果把理想的直线关系作为仪表的实际特性，则 E_L 就成为线性误差。

§ 1-3 常用的测量方法

1. 根据测量过程中被测量是否随时间变化，可分为静态测量和动态测量。所谓静态测量，是指测量过程中被测参数随时间变化缓慢或基本不变，而动态测量的含义是在测量过程中，被测参数随时间迅速变化。

2. 根据测量条件，可分为等精度测量和非等精度测量，在几次测量中，如果测量条件完全相同，每一次测量结果都具有相同的精密度，这种测量称等精度测量，但有时为了更确切地掌握被测量的值，常常故意采用不同的测量方案，不同的仪器和不同的人员等对同一被测量分别进行若干次测量，这种测量条件变了，每一次测量结果的精度也不尽相同，称为不等精度测量。

3. 按测量敏感元件是否与被测介质接触，可分为接触式测量和无接触式测量。

4. 按测量手续分类，可分为直接测量、间接测量和组合测量三种基本方式。

(1) 直接测量：在使用按已知标准量标定好的测量仪器进行测量时，不需要经过任何运算，就能直接得出未知量的数值，称为直接测量。其优点为测量过程简单迅速，是工程中大量采用的方法。缺点是测量精度不容易做得很高。

(2) 间接测量：对几个与被测量存在明确函数关系的物理量进行直接测量，然后根据一定的物理定律，将测量值代入一定的函数关系式、曲线或表格，求出被测量，称为间接测量。其优点是精度较高，但间接测量手续繁多，花时也较多。

(3) 组合测量：在组合测量中，被测量必须通过求解联立方程组才能得出最后结果，具体方法是：首先使各个未知量以不同的组合形式出现，然后把直接测量或间接测量所得的数据代入公式，构成一组联立方程，通过求解联立方程组而获得所求被测量的数值。组合测量中，整个测量过程操作手续较为复杂，花费时间长，是一种特殊的精密测量方法，它只适用于科学实验和特殊需要的场合。

5. 由测量方式的不同，测量方法又可以分为偏差测量法、零位测量法和微差测量法。

(1) 偏差式测量法：在测量过程中，用仪表指针的偏移决定被测量大小的方法称为偏差式测量法。这是一种以间接方式实现被测量与标准量比较的测量方式，其测量过程简单、迅速，但测量精度较低。

(2) 零位测量法：在测量过程中，首先利用指零仪表检测测量系统，当指针指零时，系统达到平衡状态，这时可以用已知的标准量决定被测量，这种方法称为零位式测量法。例如：用电子电位差计测量电势，用平衡电桥测量电阻等，都属于零位式测量法。应用零位式测量法测量时，标准量具装在仪表内，在测量过程中，标准量直接与测量相比较，并调整标准量，直至被测量与标准量相等，这种方法不适于测量变化迅速的信号，只适应于测量变化较缓慢的信号。

(3) 微差测量法：微差测量法是综合了偏差式测量法和零位式测量法的优点而提出的测量方法，其特点是：先将被测的未知量与已知的标准量进行比较，并取其差值，然后用偏差法求得此偏差值。应用这种方法进行测量时，标准量具装在仪表内，测量过程中，标准量直接与被测量进行比较，由于二者的值很接近，因此测量过程中不需调整标准量，而只要测出二者的差值。微差式测量法的特点是反应速度快，测量精确度高，特别适用于在线控制参数的检测。

第二章 误差理论基础

在绪论中我们已经说明,学习和掌握检测技术的目的,就是要对科研和生产中所面临的检测任务,能够正确地根据一定的测量原理和方法,选择合理的方案,组成恰当的检测系统,以完成特定的检测任务。这就要求我们不但要有设计、制造、实验和使用仪器仪表的能力,而且还要求有对测量结果的数据进行处理和评价的能力。在本章中,我们将研究测量误差理论,导出检测系统的另一重要性能指标——精度。误差理论是检测技术的指示性理论。

§ 2-1 测量误差与精度

我们对一个未知量进行测量,其目的是希望通过测量求得被测未知量的真值。为了达到测量的目的,首先必须根据一定的测量原理,采用一定的测量方法,选择合适的测量仪表,构成检测系统,才能着手进行测量。由于检测装置本身的不准确,测量方法的不完善,测量环境条件变化的干扰等各种因素的影响,造成仪表指示值与被测未知量真值并不一致。因此,有必要研究测量值与真值的不一致程度,并给予恰当表示,这就产生了“测量误差”的概念。

所谓测量误差指的是测量值与被测量真实值之间的差值。测量误差反映了测量质量的好坏,有静态误差和动态误差两种,静态误差一般服从正态分布规律,动态误差比较复杂。

一、测量误差的表示法:

测量误差有多种表示法,下面对两种常用表示法作一介绍。

(一) 绝对误差

测量值与被测量的真值之间的差值称为绝对误差,表示为:

$$\Delta = M - T \quad (2-1)$$

其中: Δ — 绝对误差, M — 测量值, T — 真值。

在理论上,测量最终的目的是求取被测量的真值,但被测量的真值是很难找到的,绝对误差也就失去了绝对的意义。此外,绝对误差不能很好地说明测量质量的好坏,它一般只适用于标准量器或标准仪表的标定,在科研和计量工作中,经常使用的是“修正值”。修正值是与绝对误差大小相同,符号相反的量值,也就是测量值加上修正值等于真值。

$$T = M + \alpha_c \quad (2-2)$$

α_c 为修正值。比较 (2-1) 和 (2-2) 得

$$\alpha_c = -\Delta \quad (2-3)$$

由于理论上的真值是无法知道的,实际应用中经常用无限次测量所求的算术平均值来

近似真值。在无系统误差的等精度测量技术中，算术平均值是真值的最佳估计值，或称它为约定真值。测量值与算术平均值之差叫做偏差。习惯上人们把绝对误差与偏差已经不加区分了，一般统称为误差。

（二）相对误差

相对误差定义为绝对误差与约定值之比。可用百分数来表示。约定值可以是被测量的真值、测量值或仪器的满刻度值。于是与之对应的有实际相对误差、标称相对误差和引用相对误差三种表示法。

（1）实际相对误差：定义为绝对误差与被测量真值之比。

$$\delta_1 = \frac{\Delta}{T} \times 100\% \quad (2-4)$$

实际相对误差能够很好地说明测量质量的好坏，这是它的最大优点。

（2）标称相对误差：定义为绝对误差与测量值之比。

$$\delta_2 = \frac{\Delta}{M} \times 100\% \quad (2-5)$$

由于被测量的真值 T 是不知道的，而且测量值 M 与真值 T 很相近，所以，实际测量中往往用测量值 M 近似地代替真值 T ，这样计算的近似程度也很高。

（3）引用相对误差：定义为绝对误差与仪器满刻度值之比。

$$\delta_3 = \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (2-6)$$

其中， A 为满刻度值。

引用误差是直读式指示仪表中最通用的一种误差表示法。我们前面介绍的仪表的准确度等级就是根据引用误差来定义的。

二、测量误差的来源

在测量过程中，误差产生的原因是很复杂的，但一般可以归纳为测量装置本身的误差、测量环境影响、人员操作技术、方法理论等误差因素共同作用的结果。

（一）装置误差：

装置误差由于仪器本身电气或机械性能不完善所产生的误差，主要包括：读数误差、内部噪声误差、稳定误差、动态误差、附件误差等。

（二）环境误差

又称影响误差，它指仪器受外界环境条件的影所产生的误差，如温度、湿度、大气压、电源波动、电磁干扰、机械震动、以及声音、光照、放射性等的影响，都会产生环境误差。

电子测量仪器必须在额定使用范围内工作，才能保证各项技术指标的正确，通常仪器仪表在规定环境条件下使用所产生的误差称为“基本误差”，而超出此条件使用时，所产生的误差称为“附加误差”，测量仪表的精度就是由其基本误差决定的。

（三）使用误差：

又称操作误差。它是指仪器在使用过程中，由于安装、调整、接线、操作不当所引起的误差，减小和消除使用误差的方法是严格按操作规程使用，提高实验技巧以及对各种

现象的分析能力。

（四） 人员误差：

它是由于人身的感觉器官和运用感觉器官不完善所产生的误差。

（五） 方法误差：

由于测量方法不完善，所依据的测量原理不严密，以及对被测量定义不明确所产生的误差，有时又称为定义不明确所产生的误差，有时又称为定义误差或理论误差。

三、误差的分类

按照测量误差的本质和特点，误差可分为系统误差、随机误差和疏失误差三类。

（一） 系统误差：

系统误差是指在一定的条件下，误差的数值恒定不变，或按一定的规律性（即某种已知的函数关系）变化。系统误差简称“系差”。有恒值系差和变值系差之分。

（1） 恒值系差：在整个测量过程中，数值和符号保持不变的系统误差称恒值系差。例如，标准电阻的标准值为 1Ω ，而实际值为 1.0001Ω ，当我们把该标准电阻用于测量过程时，将会带来一个固定不变的 0.0001Ω 的恒值系差。

（2） 变值系差：在整个测量过程中，数值和符号按一定规律性变化的系统误差称变值系差。根据变化规律性，变值系差又可分为累进性系差，周期性系差和复杂规律性系差等。

“累进性系差”是在整个测量过程中，数值在逐渐增加或逐渐减小的系统误差。如，电池在使用过程中会因放电而使其电动势逐渐下降，形成累进性系差。

“周期性系差”是指在测量过程中数值发生周期性变化的系统误差。例如，对某一物理量进行昼夜连续测量时，每昼夜平均温度基本上按周期性变化。

“复杂规律性系差”这种系差变化规律十分复杂，但乃具有一定规律性。可用曲线、表格或经验公式来表示。

引起系统误差的原因很多，有客观的因素，也有人为的影响，系统误差的特点在于其规律性和无抵偿性。对于系统误差，单纯增加测量次数并不能减小它对测量结果的影响，但却可以掌握其规律性，寻找其原因，然后通过实验的方法或引入修正值的方法加以消除。

系统误差决定了测量的准确性。对于系统误差的研究，已成为现代误差理论的重要组成部分。

（二） 随机误差：

随机误差又称偶然误差。在等精度重复测量中，由于大量偶然误差因素的影响，测量误差的出现没有一定的规律性，其数值和符号都以不予定的方式变化着的那一部分误差称随机误差。随机误差是一个随机变量，它在一定条件下服从统计规律，在大多数情况下，随机误差服从正态分布，可用概率论和数理统计的方法加以处理。

随机误差有如下特性：

（1） 对称性：大小相等而符号相反的正负误差出现的数目近似相等。概率分布曲线对称于纵轴。

(2) 单峰性: 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多。即随机误差一般都很小。

(3) 有界性: 在等精度测量中, 随机误差的绝对值不会超过一定界限, 一般取极限误差, 即最大误差为三倍标准偏差 $\Delta_m = \pm 3\sigma$ 。随机误差处于 $\pm 3\sigma$ 范围内的概率 $P_0 = 99.73\%$ 。

(4) 抵偿性: 随着测量次数的增加, 当 $n \rightarrow \infty$ 时, 随机误差的算术平均值趋向于零。即 $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i = 0$ 。

可见, 随机误差与规律性的系统误差有着本质上的区别。随机误差是一个均值为零的随机变量, 其总体服从正态分布规律, 因此不能用简单的实验方法加以消除。也不能用引入修正值来校正, 而应该采用数理统计方法来消除它对测量结果的影响。

随机误差与剩余误差的性质相似, 它决定测量的精密度。

(三) 疏失误差:

疏失误差又称为粗大误差, 由于粗枝大叶造成读数错误, 记录错误, 操作方法不正确, 测量中由于偶然干扰的发生所造成的误差等, 统称之为粗大误差, 就数值而言, 粗大误差大大地超过同一客观条件下的系统误差和随机误差。

粗大误差不是仪器本身固有的, 它主要是由于测量人员工作中的过失或重大的偶然干扰造成的, 凡是确实含有粗大误差的实验数据应该舍去不用, 因为它是不可靠的。

四、三个定义:

系统的静态综合指标用“精确度”来描述。精确度的高低, 表征系统误差和随机误差的大小。因此, 误差与精度有着密切的关系。

1. 精密度: 指测量值重复一致的程度, 随机误差的大小是精密度的标志。随机误差越大, 精密度越低, 随机误差越小, 精密度越高。

2. 准确度: 表明一个测量结果与真实值的偏离程度。在误差理论中, 常用系统误差的大小来表征准确度。准确度越高, 系统误差越小, 但准确不一定精密。

3. 精确度: 简称为“精度”或“综合精度”, 它是测量的精密和准确程度的综合反映, 精度越高, 意味着系统误差和随机误差都很小, 一切测量都应该力求既精密又准确。

§ 2-2 提高精度的方法

提高精度意味着要减小或消除误差。减小或消除误差的方法很多, 对不同的误差可采用不同的方法, 这里不作详细介绍, 仅简单说几点。

一、消除和减小系统误差的方法

1. 从仪表的结构、设计出发, 应该选择最合适的物理定律作为仪表工作原理的基础, 以避免工作原理不完善而引起的方法误差, 制造时应选择稳定的材质、零件, 对某些材料进行老化处理, 采用经过考验的加工、安装、调校工艺, 以避免和减小工具误差。使用时采用校正装置, 定期校正系统误差和缓变误差。采用屏蔽、接地、平衡等

防护措施来削弱各种噪声的干扰。

2. 从仪表功能角度分析, 仪表的选择功能与仪表精度的关系十分密切, 可采用各种方式来增强选择功能, 以提高仪表的精度, 例如:

(1) 除被测量 x 以外, 把其它影响变换的主要变量设法控制在一个固定值或一个较窄范围内。例如, 在 $y = f(x, u_1, u_2, \dots, u_n)$ 的变换函数中, 对 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 里影响较大的变量, 应设法控制在某一定值或某一较窄的范围内, 使它们的影响以恒值出现, 再用校正方法来消除之。

(2) 除被测量 x 以外, 让其它有影响的变量因素同时在变换元件的两侧对称起作用, 而变换元件的合成变换结果为两侧作用之差, 这样就只有被测量 x 的作用, 而其它影响因素的作用就可以互相抵消了。

(3) 使被测量 x 对变换元件两侧起差动作用, 而其它有影响的变量对变换元件两侧起对称作用, 而合成变换结果为变换元件两侧作用之差。这样使被测量的作用相加, 而影响变量的因素互相抵消。这样既抑制了干扰, 又提高了仪表的灵敏度。这种差动工作方式是组成仪表的最基本的结构。

(4) 使有害变量的影响因素能在输出计算式的分子, 分母上同时出现, 其影响可以约去。例如在测温比率计中消除电源波动的影响因素就是利用这种比值补偿原理。

(5) 使仪表只让含有信息的频带通过, 而将噪声等无用频带截断。这种方法用得最广, 如测量电路中的选频放大器和光学测温仪表中的滤光片。

3. 从测量方法的角度去考虑, 在测试工作中如测试仪表已经给定, 则可采用如下方法来消除或削弱系统误差。

(1) 可用替代法消除固定值的系统误差。

(2) 可用异号消除法消除具有间隙特性的系统误差。这种测量方法使误差出现两次, 并且要求两次误差的符号相反, 然后取其平均值, 就可以消除或减小误差。

(3) 可用半周期偶数观测法, 来消除周期性的系统误差, 例如如图 2-1 所示正弦周期性误差 Δ , 任意相隔半个周期 $\frac{T}{2}$ 的两个误差, 其大小相等、方向相反, 故两次 (或偶数次) 测量的平均值的误差为零。

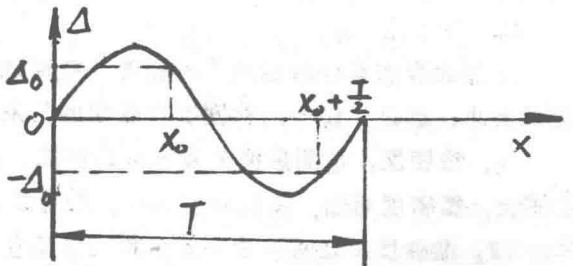


图 2-1 半周期偶数观测法

二、减小随机误差的方法

(一) 从仪表的设计和结构方面考虑

随机误差产生的原因是由很多因素微小的变化的总和所引起的, 难以具体分析, 但其中几个因素所引起的随机误差, 还是较明确的, 如摩擦、间隙、噪声等。

1. 为了减小摩擦引起的随机误差, 最根本的办法是从结构、原理上尽量避免采用存在摩擦的可动部分, 例如可用吊丝代替轴承和转轴。在摩擦力 (或摩擦力矩) 不可避免时, 可用增加驱动力 (或驱动力矩) 的办法来减小这种误差的相对值。此外采用平衡

变换法测量，减小可动部分的重量，或改善转动部分零件的工艺质量等都可以减小摩擦误差。

2. 传动机构中间隙所引起的误差的特点不同于摩擦所引起的误差，但消除或减小它的方法却很相似。如避免采用传动机构，应用无间隙传动链，采用有负反馈的闭回路等。

3. 减小噪声对随机误差的影响的措施有：采用各种屏蔽、接地、对称平衡、滤波、选频、去耦等方法。

4. 仪表的附带微处理机，使它能有多次测量和自动求平均值的功能，这也是减小随机误差的一种措施。

（二）利用随机误差的统计特性

前面我们已经说过，在一般情况下，随机误差服从正态分布，其数学期望为零，我们不是进行一次测量，而是进行一系列测量（ n 次），从而求得 n 个示值的平均值 m_x' 。当测量次数足够多时，随机误差的影响越来越小，此平均值越来越接近真值。

三、减小疏失误差的方法

疏失误差 主要是由于观测者的粗心大意，或过于疲劳等引起的，故解决这种误差的办法是加强对测量者的训练和提高他们的责任心。但是，这种误差产生的间接原因多少也与仪表的结构有关。例如与仪表刻度盘是否清晰，照明是否良好，刻线长短配合是否恰当，指针末端的形状是否清楚等有关。把模拟指示改成数字显示方式，也将有助于减少产生疏失误差的机会。

第三章 传感器的概述

在第一章我们已初步介绍了一下传感器，由于传感器是测量仪表中的关键部件，故这里将传感器作一总结。

§ 3-1 传感器的作用

传感器就是换能器，又称变送器，它是非电量电测系统的一个核心部分。它的作用就是把被测的物理量（如位移、长度、振动、温度、压力等）变换成电量，并把它送到测量电路（如测量电桥、放大电路、相敏电路等），再用指示仪表或数字仪表显示出被测物理量的大小和方向。一般非电量检测仪表的组成方框图如下：

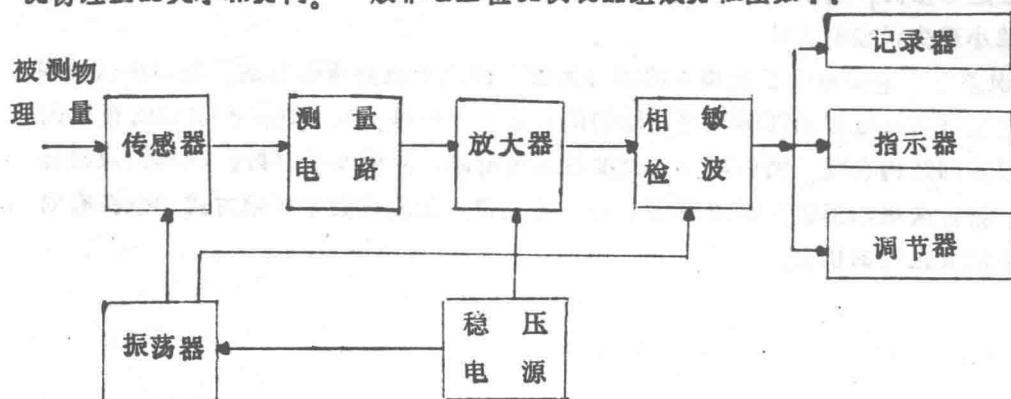


图 3-1 非电量检测仪表的组成框图

从上图可以看出，没有传感器，就没有办法用电量来表示非电量，就没有办法表示电量以外的物理量，更没有办法用电来控制其它的非电过程。因此，可以说传感器是工业控制的眼睛，如果没有传感器，控制系统就象一个没有感觉的人一样，对生产的情况一无所知，根本无法进行控制。因此，自动化工厂必须要用很多传感器来提供信息。

§ 3-2 传感器的分类

传感器的分类方法很多，常用的有下列几种：

1. 按照被测物理量分类：

如速度、加速度、位移、压力、流量、振动等传感器。这种分类方法使用很方便，容易根据测量对象选择所需的传感器。尤其是商用专业产品，喜欢采用这种分类法。其缺点是名目繁多，对建立传感器的基本概念、基本原理和分析方法是不利的。

2. 按照传感器的工作原理分类：