

第一篇

传感器应用基础

嗅觉使我们感受到空气的清新、玫瑰的芳香，五官把自然界的各种信息进行收集、捕捉并传递给大脑。如果把五官比作人体的传感器，那么即使以挑剔的眼光来审视它们，我们也要由衷地赞叹其构造的精美、功能的卓著。

我们常说“眼见为实”，实际上眼睛只能看到现实的一部分，看不到引导蜜蜂采蜜的紫外线，也看不见指挥蟒蛇捕食的红外线……而种类繁多的传感器突破了人类感官的局限，使其在广度和深度上都得到了延伸。

伴随工业化、信息化时代的到来，传感器已是获取自然界和生产领域中相关信息的主要途径与手段。作为模拟人脑的电子计算机发展极为迅速，同时“电五官”传感器的发展也逐渐引起人们的关注和重视。当传感器技术在工业自动化、军事国防和以宇宙开发、海洋开发为代表的尖端科学与工程等重要领域广泛应用的同时，它正以自己巨大的潜力，向与人们生活密切相关的生物工程、交通运输、环境保护、安全防范、家用电器和网络家居等方面渗透，并在日新月异地发展。

单元一 传感器的认知

社会进步到今天，我们在生活中使用着各种各样的传感器（Transducer/Sensor）。电冰箱、微波炉、空调机有温度传感器；电视机有红外传感器；录像机、摄像机有湿度传感器；液化气灶有气体传感器；汽车有速度、压力、湿度、流量、氧气等多种传感器……

学习目标

1. 能描述传感器的作用、定义和分类；
2. 能说明传感器的一般要求和发展趋势。

人类通过五官（视、听、嗅、味、触）接受外界的信息，经过大脑的思维（信息处理）后，做出相应的动作。同样，如果用计算机控制的自动化装置来代替人的劳动，则可以说电子计算机相当于人的大脑（俗称电脑），而传感器则相当于人的五官部分（“电五官”），如图1-1所示。为了很好地将体力劳动和脑力劳动进行协调，要求传感器、电子计算机和执行器三者之间相互协调才行。

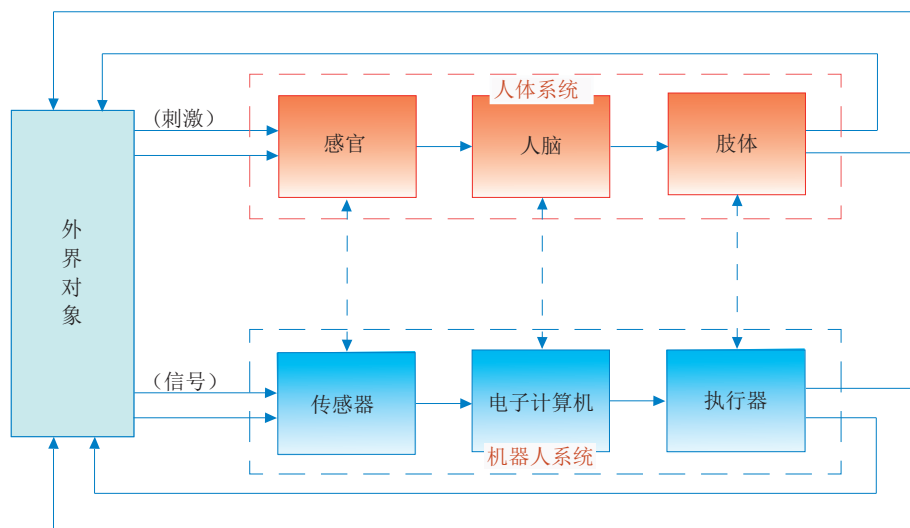


图 1-1 人体与机器人系统的对应关系

一、传感器的作用

传感器实际上是一种功能块，其作用是将来自外界的各种信号转换成电信号。近年来传感器所能够检测的信号显著增加，因而其品种也极其繁多。为了对各种各样的信号进行检测、控制，就必须获得尽量简单且易于处理的信号，因为电信号能较容易地进行放大、反馈、滤波、微分、存贮和远距离操作等，作为一种功能块，传感器可以狭义地被定义为：“将外界的输入信号变换为电信号的一类元件”，如图1-2所示。



图1-2 传感器的作用

二、传感器的定义

根据中华人民共和国国家标准，传感器的定义是：能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种物理量的测量装置。其包含以下几层含义：传感器是测量装置，能完成检测任务；它的输入量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量、生物量等；输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示等等，这种量可以是气、光和电量，但主要是电量；输入输出有对应关系，且要求有一定的精确度。

三、传感器的组成

如图1-3所示，传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路三部分组成。

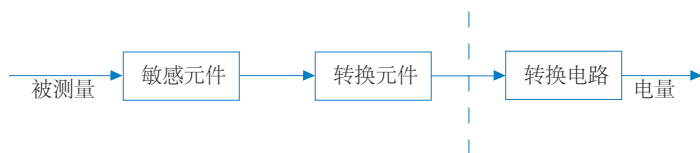


图1-3 传感器的组成框图

- (1) **敏感元件** 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的元件。
- (2) **转换元件** 以敏感元件的输出为输入，把输入转换成电路参数。
- (3) **转换电路** 上述电路参数接入转换电路，便可转换成电量输出。

实际上，有些传感器很简单，仅由一个敏感元件（兼作转换元件）组成，它感受被测量时直接输出电量，如热电偶；有些传感器由敏感元件和转换元件组成，没有转换电路；有些传感器，转换元件不止一个，要经过若干次转换。

四、传感器的分类

传感器种类繁多，目前常用的分类有两种：一种是以被测量来分（见表1-1）；另一种是以传感器的原理来分（见表1-2）。

表 1-1 按被测量来分类

被测量类别	被 测 量
热工量	温度、热量、比热；压力、压差、真空度；流量、流速、风速
机械量	位移（线位移、角位移）；尺寸、形状；力、力矩、应力；重量、质量；转速、线速度；振动幅度、频率、加速度、噪声
物性和成分量	气体化学成分、液体化学成分；酸碱度（PH值）、盐度、浓度、粘度；密度、比重
状态量	颜色、透明度、磨损量、材料内部裂缝或缺陷、气体泄漏、表面质量

表 1-2 按传感器的原理来分类

序号	工作原理	序号	工作原理
1	电阻式	8	光电式（红外式、光导纤维式）
2	电感式	9	谐振式
3	电容式	10	霍尔式（磁式）
4	阻抗式（电涡流式）	11	超声式
5	磁电式	12	同位素式
6	热电式	13	电化学式
7	压电式	14	微波式

以被测量来分类时，使用的对象比较明确；以工作原理来分类时，传感器采用的原理比较清楚。

五、传感器的一般要求

由于各种传感器的原理、结构与使用环境、条件、目的不同，其技术指标也不可能相同，但一般要求基本上是相同的。

- (1) **足够的工作范围** 传感器的工作范围或量程足够大，具有一定的过载能力。
- (2) **灵敏度高，精度适当** 即要求其输出信号与被测信号成确定的关系（通常为线性），且比值要大；传感器的静态响应与动态响应的准确度能满足要求。
- (3) **响应速度快，工作稳定，可靠性好。**
- (4) **使用性和适应性强** 体积小，重量轻，动作能量小，对被测对象的状态影响小；内部噪声小且又不易受外界干扰的影响；其输出力求采用通用或标准形式，以便与系统对接。
- (5) **使用经济** 成本低，寿命长，且便于使用、维修和校准。

当然，能完全满足上述性能要求的传感器是很少的。我们应根据应用目的、使用环境、被测对象状况、精度要求和原理等具体条件进行全面综合考虑。

六、传感器技术的发展趋势

当前，传感器技术的主要发展动向一是开展基础研究，发现新现象，开发传感器的新材料和新工艺；二是实现传感器的集成化与智能化。

- (1) **发现新现象，开发新材料——新现象、新原理、新材料是发展传感器技术，研究新型传感器的重要基础** 每一种新原理、新材料的发现都会伴随着新的传感器种类的诞生。
- (2) **集成化，多功能化——向敏感功能装置发展** 传感器的集成化积极地将半导体集

成电路技术及其开发思想应用于传感器制造。如采用厚膜和薄膜技术制作传感器；采用微细加工技术（Microelectro-Mechanical System, MEMS）制作微型传感器等。

（3）**向未开发的领域挑战——生物传感器** 到目前为止，正大力研究、开发的传感器大多为物理传感器，今后应积极开发研究化学传感器和生物传感器。特别是智能机器人技术的发展，需要研制各种模拟人的感觉器官的传感器，如已有的力觉、触觉传感器、味觉传感器等。

（4）**智能传感器——具有判断能力、学习能力的传感器** 事实上是一种带微处理器的传感器，它具有检测、判断和信息处理功能。如日本欧姆龙公司制作的ST-3000型智能传感器，采用半导体工艺，在同一芯片上制作CPU、EPROM与静态压力、压差和温度三种敏感元件。

从构成上看，智能式传感器是一个典型的以微处理器为核心的计算机检测系统。它一般由图1-4所示的几个部分构成：

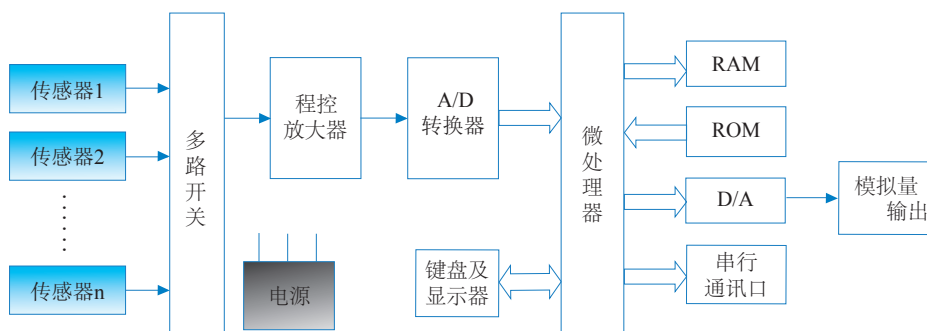


图1-4 智能化传感器的构成

与一般传感器相比，智能式传感器有以下几个显著特点：

（1）**精度高** 由于智能式传感器具有信息处理的功能，因此通过软件不仅可以修正各种确定性系统误差（如传感器输入输出的非线性误差、温度误差、零点误差、正反行程误差等），还可以适当地补偿随机误差，降低噪声，从而使传感器的精度大大提高。

（2）**稳定性、可靠性好** 它具有自诊断、自校准和数据存储功能，对于智能结构系统还有自适应功能。

（3）**检测与处理方便** 它不仅具有一定的可编程自动化能力，根据检测对象或条件的改变，方便地改变量程及输出数据的形式等，而且输出的数据可以通过串行通讯线直接送入远地计算机进行处理。

（4）**功能广** 它不仅可以实现多传感器多参数综合测量，扩大测量与使用范围，还可以有多种形式输出（如串行输出，IEEE-488总线输出以及经D/A转换后的模拟量输出等）。

（5）**性价比高** 在相同精度条件下，多功能智能式传感器与单一功能的普通传感器相比，性能价格比高，尤其是在采用比较便宜的单片机后更为明显。

单元二 误差的认知

小丽去菜市场买肉，买了1 000克肉，到复称台一称，显示为998克，她认为肉店的称较准；小丽又去黄金首饰店里买了20克重的黄金项链，同样也到复称台称一称，显示为19.5克，她立即觉得首饰店的称很不准。为什么差2克肉小丽对肉店的称较为满意，而差了0.5克小丽却觉得称很不准呢？

学习目标

1. 能说明误差的概念，理解绝对误差、相对误差、量程、引用误差、最大引用误差、精度的含义；
2. 会应用误差的概念正确的选用传感器的量程和精度。

在检测与测量中，必定存在测量误差（Error）。测量是指人们用实验的方法，借助于一定的仪器或设备，将被测量与同性质的单位标准量进行比较，并确定被测量对标准量的倍数，从而获得关于被测量的定量信息。这种测量在日常生活中无处不在，也普遍存在于工业现场中。测量方法也多种多样。

通常把检测结果和被测量的客观真值之间的差值叫测量误差。误差主要产生于工具、环境、方法和技术等方面因素，下面有几个基本概念。

一、基本概念

1. 绝对误差（Absolute error）

绝对误差是仪表的指示值 x 与被测量的真值 x_0 之间的差值，记做 δ ，其表达式为

$$\delta = x - x_0 \quad (1-1)$$

绝对误差愈小，说明指示值愈接近真值，测量精度愈高。但这一结论只适用与被测量值相同的情况，而不能说明不同值的测量精度。例如，某测量长度的仪器，测量10mm的长度，绝对误差为0.001mm；另一仪器测量200mm的长度，绝对误差为0.01mm。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，但他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，这就解答了前面引子中小丽所提出的问题。

2. 相对误差 (Relative error)

相对误差是仪表指示值的绝对误差 δ 与被测量真值 x_0 的比值,常用百分数表示,其表达式为

$$r = \frac{\delta}{x_0} \times 100\% = \frac{x - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

相对误差能更好地说明测量的精确程度。在上面的例子中,其相对误差分别为

$$r_1 = \frac{0.001}{10} \times 100\% = 0.01\%$$

$$r_2 = \frac{0.001}{200} \times 100\% = 0.005\%$$

显然,后一种长度测量仪表更精确。

在实际测量中,绝对准确的真值 x_0 是得不到的。因此,在常规的测量中,我们一般把比所用的测量仪表更精确的标准表的测量结果作为被测量的真值。

使用相对误差来评定测量精度,也有局限性。它只能说明不同测量结果的准确程度,却不适用于衡量测量仪表本身的质量。因为同一台仪表在整个测量范围内的相对误差不是定值,随着被测量的减小,相对误差变大。为了更合理地评价仪表质量,采用了引用误差的概念。这里先介绍仪表的量程(range)的概念,量程就是仪表测量范围上限值与下限值之差。如果仪表测量的物理量的下限为零,则所能测量的物理量的最大值等于其量程。

引用误差(Quoted error)是绝对误差 δ 与仪表量程 L 的比值。通常以百分数表示,其表达式为

$$r_0 = \frac{\delta}{L} \times 100\% \quad (1-3)$$

如果在测量仪表整个量程中,可能出现的绝对误差最大值 δ_m 代替 δ ,则可得到最大引用误差 r_{0m} 。

$$r_{0m} = \frac{\delta_m}{L} \times 100\% \quad (1-4)$$

对一台确定的仪表或一个检测系统,最大引用误差就是一个定值。

3. 精度 (Accuracy)

测量仪表一般采用最大引用误差不能超过的允许值作为划分精度等级的尺度。

工业仪表常见的精度等级有0.05级、0.1级、0.2级、0.5级、1.0级、1.5级、2.0级、2.5级和5.0级。精度等级为1.0级的仪表,在使用时的最大引用误差不超过 $\pm 1.0\%$,也就是说,在整个量程内它的绝对误差最大值不会超过其量程的 $\pm 1.0\% \times L$ 。

在具体测量某个量值时,相对误差可以根据精度等级所确定的最大绝对误差和仪表指示值进行计算。

4. 系统误差 (Systematic error)

系统误差是传感器及检测装置固有的,在相同的条件下,多次重复测量同一量时,误差的大小和符号基本保持不变,或按照一定的规律变化,这种误差称为系统误差。既然它有一定的规律可循,因而可以采用一些办法来补偿与校正。

5. 随机误差 (Random error)

在相同条件下,多次测量同一量时,其误差的大小和符号以不可预见的方式变化,这

种误差称为随机误差。随机误差符合数学中概率论的正态分布，对于小概率事件，在检测系统中一般属于不可信的数据，应该剔除，可以采用数学的方法实现减少误差。

二、量程与精度的选择

误差是影响测量精度的原因之一，它虽然不可避免，但可以尽量减小。如何来选择传感器的精度和量程呢？我们举个例子来比较说明。

例如：有一个10Mpa的标准压力源，现有一个量程为0~100Mpa、精度为0.5级的压力传感器和一个量程为0~15Mpa、精度为2.5级的压力传感器，若用两个传感器来测量这一标准压力源，问哪个传感器测量误差小？

应用第一个传感器测量，最大绝对允许误差为

$$\delta_{m1} = \pm 0.5\% \times 100\text{Mpa} = \pm 0.50\text{Mpa}$$

应用第二个传感器测量，最大绝对允许误差为

$$\delta_{m2} = \pm 2.5\% \times 15\text{Mpa} = \pm 0.375\text{Mpa}$$

比较 δ_{m1} 和 δ_{m2} 可以看出：虽然第一个传感器比第二个传感器精度高，但用第一个传感器测量所产生的误差却比第二个传感器测量所产生的误差大。所以，在选用传感器时，并非精度越高越好。精度等级已知的测量仪表只有在被测量值接近满量程时，才能发挥它的测量精度。因此，使用测量仪表时，应当根据被测量的大小和测量精度要求，合理地选择传感器量程和精度等级，只有这样才能提高测量精度。

选择传感器的量程，工程中有一些成熟的经验，为了保证传感器能在安全范围内可靠地工作，传感器量程的选择不仅要依据被测量的大小，还应考虑被测量变化的速度，其量程应留有足够的裕量。例如使用传感器测量稳定压力时，最大工作压力不应超过传感器量程的2/3。根据工程经验，一般使传感器工作在其量程的30%~70%。

单元三 传感器的特性

小时候，大家都感冒发烧过，母亲会把她的手背放在你的额头，大致估计你的体温，也会把体温表放在你的腋下几分钟，测量你的体温，你们还记得吗？

用手去感受，一下子就能估计出你体温是否正常；用体温表则可以比较准确地测量出体温，但却要花上几分钟的时间。有没有又快又准的办法？

学习目标

1. 能说明传感器的静态特性中指标的含义；
2. 了解传感器的动态特性和技术指标。

传感器的特性主要是指输入与输出的关系，包括静态特性（Static characteristics）和动态特性（Dynamic characteristics）。了解传感器的静态特性和动态特性对选择传感器很有帮助，它能展现给你该传感器的各项指标，仔细辨别就可以知道它是否适用于所需要的场合。

一、静态特性

传感器的静态特性表示传感器在被测量各个值处于稳定状态时的输入输出关系，即当输入量为常量，或变化极慢时，这一关系就称为静态特性。我们总是希望传感器的输出与输入成唯一的对应关系，最好是线性关系，但是一般情况下，输出与输入不会符合所要求的线性关系。同时，由于迟滞、蠕变、摩擦等因素的影响，输出输入对应关系的唯一性也不能实现。外界环境对传感器的影响不可忽视，其影响程度取决于传感器本身，如图1-5所示。

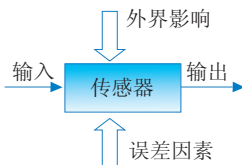


图1-5 传感器输入输出作用图

通常用来描述静态特性的指标有：测量范围、线性度、迟滞特性、重复性、灵敏度、分辨力、稳定性、漂移等。其中误差因素是影响传感器静态特性的主要技术指标。

1. 线性度 (Linearity)

线性度是用实测的检测系统输入-输出特性曲线与拟合直线之间最大偏差 Δ_m 与满量程输出 Y_{FS} 的百分比来表示的,其表达式为

$$e_f = \frac{\Delta_m}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

2. 迟滞特性 (Hysteresis)

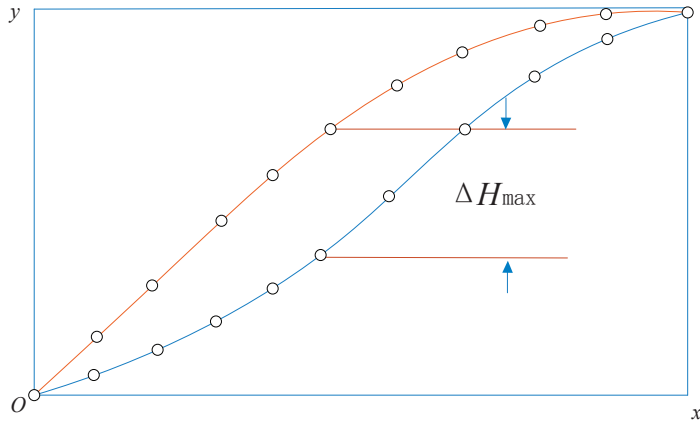


图 1-6 迟滞特性

传感器在正(输出量增大)、反(输出量减小)行程中输出曲线不重合称为迟滞,如图1-6。也就是说对应于同一大小的输入信号,传感器的输出信号大小不相等。一般由试验方法测得迟滞误差,并以满量程输出的百分数表示,即

$$e_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 ΔH_{\max} ——正反行程间输出的最大差值。

迟滞误差也称回程误差,回程误差常用绝对误差表示。它反映了传感器的机械部分和结构材料方面不可避免的弱点,如轴承摩擦、间隙等。

3. 重复性 (Repeatability)

重复性是指传感器在输入按同一方向作全量程连续多次变动时所得曲线不一致的程度。

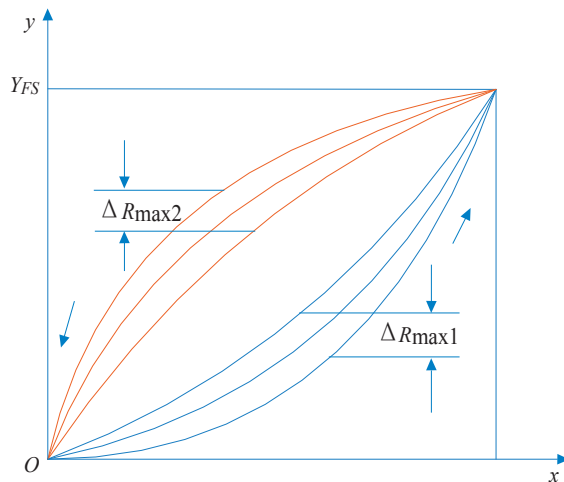


图 1-7 校正曲线的重复特性

正行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 1}$ ，反行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 2}$ 。重复性偏差取这两个最大偏差中的较大者为 ΔR_{\max} ，再以满量程输出 Y_{FS} 的百分数表示，即：

$$e_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-7)$$

4. 灵敏度 (Sensitivity)

传感器输出的变化量 Δy 与引起该变化量的输入量变化 Δx 之比即为其静态灵敏度，表达为

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-8)$$

即传感器校准曲线的斜率就是其灵敏度。线性传感器，其特性的斜率处相同，灵敏度 K 是常数。以拟合直线作为其特性的传感器，也可认为其灵敏度为一常数，与输入量的大小无关。非线性传感器的灵敏度不是常数，应以 dy/dx 表示。由于某些原因，会引起灵敏度变化，产生灵敏度误差。灵敏度误差用相对误差为

$$e_s = (\Delta K/K) \times 100\% \quad (1-9)$$

5. 分辨力 (Resolving power)

分辨力指传感器能检测到的最小的输入增量。分辨力可用绝对值表示，也可用满量程的百分数表示。

6. 稳定性 (Stability)

稳定性是指传感器在长时间工作的情况下输出量发生的变化，有时称为长时间工作稳定性或零点漂移。测试时先将传感器输出调至零点或某一特定点，相隔4h、8h或一定的工作次数后，再读输出值，前后两次输出值之差即为稳定性误差。

7. 漂移 (Drift)

漂移指在一定时间间隔内，传感器输出量存在着与被测输入量无关的、不需要的变化。漂移包括零点漂移与灵敏度漂移。零点漂移或灵敏度漂移又可分为时间漂移（时漂）和温度漂移（温漂）。时漂是指在规定条件下，零点或灵敏度随时间缓慢变化。温漂是指周围温度变化引起的零点或灵敏度漂移。

二、动态特性

动态特性是指传感器对随时间变化的输入量的响应特性。设计传感器时，要根据其动态性能要求与使用条件选择合理的方案和确定合适的参数。使用传感器时，要根据其动态性能要求与使用条件确定合适的使用方法，同时对给定条件下的传感器动态误差作出估计。总之，动态特性是传感器性能的一个重要指标，在测量随时间变化的参数时，只考虑静态性能指标是不够的，还要注意其动态性能指标，如一阶传感器动态特性指标有静态灵敏度和时间常数 τ 等。

三、传感器的技术指标

对于一种具体的传感器，并不要求全部指标都必需具备，只要根据自己的实际需要保证主要的参数即可。表1-3列出了传感器的一些常用指标。

表1-3 传感器的性能指标一览

基本参数指标	环境参数指标	可靠性指标	其他指标
量程指标 量程范围、过载能力等 灵敏度指标 灵敏度、满量程输出、分辨力、输入输出阻抗等 精度方面的指标 精度（误差）、重复性、线性、回差、灵敏度误差、阈值、稳定性、漂移、静态误差等 动态性能指标 固有频率、阻尼系数、频响范围、频率特性、时间常数、上升时间、响应时间、过冲量、衰减率、稳态误差、临界速度、临界频率等	温度指标 工作温度范围、温度误差、温度漂移、灵敏度温度系数、热滞后等 抗冲振指标 各向冲振容许频率、振幅值、加速度、冲振引起的误差等 其他环境参数 抗潮湿、抗介质腐蚀、抗电磁场干扰能力等	工作寿命、平均无故障时间、保险期、疲劳性能、绝缘电阻、耐压、反抗飞弧性能等	使用方面 供电方式（直流、交流、频率、波形等）、电压幅度与稳定度、功耗、各项分布参数等 结构方面 外形尺寸、重量、外壳、材质、结构特点等 安装连接方面 安装方式、馈线、电缆等

单元四 传感器的标定

标定就像给一把木尺子画刻度，好比说一根又光又直的木杆，怎么把它变成尺子呢？就是拿个标准尺子来对照着画上刻度，木杆就变成了尺子，就可以量长度了。

学习目标

1. 能说明传感器标定的必要性；
2. 描述传感器标定的过程。

任何一种传感器在装配完后都必须按设计指标进行全面严格的性能鉴定。使用一段时间（中国计量法规定一般为一年）或经过修理后，也必须对主要技术指标进行校准试验，以确保传感器的各项性能指标达到要求。传感器标定就是利用精度高一级的标准器具对传感器进行定度的过程，从而确立传感器输出量和输入量之间的对应关系，同时也确定不同使用条件下的误差关系。为了保证各种被测量量值的一致性和准确性，很多国家都建立了一系列计量器具（包括传感器）检定的组织、规程和管理办法。我国是由国家计量局、中国计量科学研究所和部、省、市计量部门以及一些企业的计量站进行制定和实施。工程测量中传感器的标定，应在与其使用条件相似的环境下进行。为获得高的标定精度，应将传感器及其配用的电缆（尤其像电容式、压电式传感器等）、放大器等测试系统一起标定。根据系统的用途，输入既可以是静态的也可以是动态的，因此传感器的标定有静态和动态标定两种。

一、传感器的静态标定

静态标定主要用于检验测试传感器的静态特性指标，如线性度、灵敏度、滞后和重复性等。根据传感器的功能，静态标定首先需要建立静态标定系统，其次要选择与被标定传感器的精度相适应的一定等级的标定用仪器设备。图1-8所示为应变式测力传感器静态标定设备系统框图。测力机用来产生标准力，高精度稳压电源经精密电阻箱衰减后向传感器提供稳定的电源电压，其值

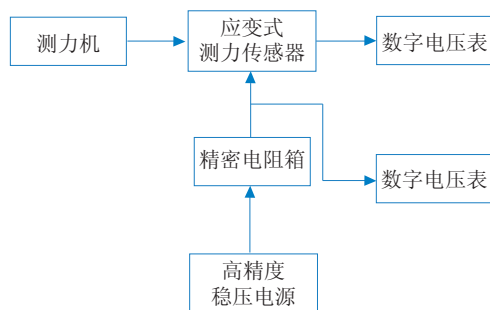


图 1-8 应变式测力传感器静态标定系统

由数字电压表读取，传感器的输出由高精度数字电压表读出。

由上述系统可知：

1) 传感器的静态标定系统一般由以下几部分组成：

(1) 被测物理量标准发生器，如测力机；
(2) 被测物理量标准测试系统，如标准力传感器、压力传感器等；
(3) 被标定传感器所配接的信号调节器和显示、记录器等。所配接的仪器精度应是已知的，也作为标准测试设备。

2) 各种传感器的标定方法不同，具体标定步骤如下：

(1) 将传感器测量范围分成若干等间距点；
(2) 根据传感器量程分点情况，输入量由小到大逐渐变化，并记录各输入输出值；
(3) 将输入值由大到小慢慢减少，同时记录各输入输出值；
(4) 重复上述两步，对传感器进行正反行程多次重复测量，将得到的测量数据用表格列出或绘制成曲线；
(5) 进行测量数据处理，根据处理结果确定传感器的线性度、灵敏度、滞后和重复性等静态特性指标。

二、传感器的动态标定

一些传感器除了静态特性必须满足要求外，其动态特性也需要满足要求。因此在进行静态校准和标定后，还需要进行动态标定，以便确定它们的动态灵敏度、固有频率和频响范围等。传感器进行动态标定时，需有一标准信号对它激励，常用的标准信号有两类：一类是周期函数，如正弦波等；另一类是瞬变函数，如阶跃波等。用标准信号激励后得到传感器的输出信号，经分析计算、数据处理，便可决定其频率特性，即幅频特性、阻尼和动态灵敏度等。



小结

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。

传感器技术的主要发展动向，一是开展基础研究，发现新现象，开发传感器的新材料和新工艺；二是实现传感器的集成化与智能化。

在检测与测量中，必定存在测量误差，通常把检测结果和被测量的客观真值之间的差值叫做测量误差。绝对误差是仪表的指示值与被测量的真值之间的差值，相对误差是仪表指示值的绝对误差与被测量真值的比值，引用误差是绝对误差与仪表量程的比值，对一台确定的仪表或一个检测系统，最大引用误差就是一个定值。测量仪表一般采用最大引用误差不能超过的允许值作为划分精度等级的尺度。在选用传感器时，并非精度越高越好。精度等级已知的测量仪表只有在被测量值接近满量程时，才能发挥它的测量精度。因此，使用测量仪表时，应当根据被测量的大小和测量精度要求，合理地选择仪表量程和精度等级，只有这样才能提高测量精度。

传感器的特性主要是指输入与输出的关系，包括静态特性和动态特性。了解传感器的静态特性和动态特性，对选择传感器很有帮助，它能展现给你该传感器的各项指标。

传感器标定就是利用精度高一级的标准器具对传感器进行定度的过程，从而确立传感器输出量和输入量之间的对应关系，同时也确定不同使用条件下的误差关系。



思考

1. 描述传感器的定义、组成，列举两个有趣的传感器的应用案例。
2. 传感器的精度等级是用传感器的（① 相对误差 ② 绝对误差 ③ 引用误差）来表示的？
3. 什么是系统误差？产生系统误差的原因是什么？如何发现系统误差？减少系统误差有哪几种方法？
4. 有三台测温仪表，量程均为0~800℃，精度等级分别为2.5级、2.0级和1.5级，现要测量500℃的温度，要求相对误差不超过2.5%，选哪台仪表合理？