

# 模块一 传感器的基本知识



## 任务目标

- ★ 了解传感器的定义和组成方框图；
- ★ 了解传感器的特点及应用；
- ★ 掌握传感器的分类；
- ★ 了解传感器的主要参数。



## 知识积累

### 一、传感器的作用

随着电子信息技术的发展，现代测量、自动控制等方面的技术在国民经济和人们的日常生活中发挥着重大作用，但是这些先进的计算机和电子设备只能处理电信号，而自然界的物质有着不同的形态。表征物质特性或其运动形式的参数很多，如电、磁、光、声、热、力等，从大的方面可分为电量和非电量两类。电量一般是物理学中的电子量，也就是大家熟悉的电压、电流、电容、电感等；非电量是指电量以外的如大家在自然界经常接触到的温度、压力、距离、流量、质量、速度、加速度、浓度、酸碱度、湿度、光、磁场等。人们要认识物质及其本质，需要对上述非电物理量进行测量，而这些非电物理量却不能直接使用一般的电工仪表和电子仪器，因为一般的仪器、仪表要求输入的信号必须为电信号，所以上述的非电量需要转换成与非电量有一定关系的电量，再运用电子设备和仪器进行测量，实现这种转换的器件就是传感器。

### 二、传感技术的特点

传感器在自动检测、自动控制中表现出单纯、非凡的能力，总的来说有以下特点。

#### 1. 用传感技术进行检测，响应速度快，准确度高、灵敏度高

在一些特殊场合下，如测量飞机的强度时，要在机身、机翼上贴上几百片应变片，在试飞时还要利用传感器测量发动机的参数（转速、转矩、振动），以及机上有各部位各种参数（应力、温度、流量）等，这就要求传感器能够快速反映上述参数变化，灵敏度高。现在传感器检测温度范围可达  $-273 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，湿度在几个 PPM  $\sim 100\% \text{ RH}$ ，传感器精度可在  $0.001\% \sim 0.1\%$  范围内，传感器的可靠度可达 8~9 级。

#### 2. 能在特殊环境下连续进行检测，便于自动记录

传感器能在人类无法生存的高温、高压、恶劣环境中，对人类五官不能感觉到的信息



（如超声波、红外线等）进行连续检测，记录变化的数据。在一些极端技术领域，如超高温、超低温、超强磁场、超弱磁场等，要获取大量人的感官无法获取的信息，没有相应的传感器是达不到的。

### 3. 可与计算机相连，进行数据的自动运算、分析和处理

传感器将非电物理量转换成电信号后，通过接口电路转换成计算机能够处理的信号，进行自动运算、分析和处理。

### 4. 品种繁多，应用广泛

现代信息系统中待测的信息量很多，一种待测信息可由几种传感器来测量，一种传感器也可测量多种信息，因此传感器种类繁多，应用广泛，从航空航天、兵器、交通、机械、电子、冶炼、轻工、化工、煤炭、石油、环保、医疗、生物工程等领域，到农、林、牧、副、渔业，以及人们的衣、食、住、行等生活的方方面面，几乎无处不使用传感器，无处不需要传感器。

## 三、传感器的发展趋势

传感器技术在今后的社会中将会占据越来越重要的地位，各发达国家都将传感器技术视为现代高新技术发展的关键，我国从20世纪80年代以来也已将传感器技术列入国家高新技术发展的重点。随着现代科学的进步，新的物理、化学与生物效应等将会被发现，新的功能材料也将诞生，更多的新型传感器会陆续出现。

下面从六个方面谈谈传感器技术的发展趋势。

### 1. 新材料的开发、应用

半导体材料在传感技术中占有较大的优势，半导体传感器灵敏度高，响应速度快，体积小，质量轻，便于实现集成化，在今后的一个时期内，仍将占有主要地位。

由一定的化学成分组成，经过成型及烧结的功能陶瓷材料，其最大特点是耐热性好，在传感技术的发展中具有很大的潜力。

此外，采用功能金属、功能有机聚合物、非晶态材料、固体材料及薄膜材料等，都可进一步提高传感器的产品质量，降低生产成本。

### 2. 新工艺、新技术的应用

将半导体的精密细微加工技术应用在传感器的制造中，可大大提高传感器的性能指标，并为传感器的集成化、超小型化提供技术支撑。借助半导体的蒸镀技术、扩散技术、光刻技术、静电封闭技术、全固态封接技术，也可取得类似的功效。

### 3. 向小型化、集成化方向发展

随着航空航天技术的发展，以及医疗器件和一些特殊场合的需要，传感器必须向小型化、微型化方向发展，以减小体积和质量。利用集成加工技术，将敏感元件、测量电路、放大电路、各种调节和补偿电路及运算电路等集成在一起，可使传感器具有体积小、质量轻、生产



自动化程度高，制造成本低，稳定性和可靠性高，电路设计简单，安装调试时间短等优点。

#### 4. 向多功能化方向发展

传感器多功能化也是传感器今后发展的一个重要方向。在一块集成传感器上综合多个传感器的功能，可以同时测量多个被测量。借助敏感元件中的不同物理结构或化学物质及其不同的表征方式，可以用单独一个传感器系统来同时实现多种传感器的功能。

#### 5. 传感器的智能化

将传统的传感器和微处理器及相关电路组成一体化的结构就是智能传感器。它本身带有微型计算机，具有自动校准、自动补偿、自动诊断、数据处理、远距离双向通信、信息存储记忆和数字信号输出等功能。

#### 6. 传感器的网络化

传感器网络化是指采用标准的网络协议和模块化结构，将传感器和计算机与网络技术有机结合，使传感器成为网络中的智能节点。这可使多个传感器组成网络直接通信，可实现数据的实时发布、共享，以及网络控制器对节点的控制操作。另外，通过互联网，传感器与用户之间可异地交换信息，厂商能直接与异地用户交流，能及时完成传感器故障诊断，指导用户进行维修或更新数据、软件升级等工作。传感器操作过程更加简化，功能更新和扩张更加方便。另外，在微机电技术、自组织网络技术、低功耗射频通信技术及低功耗微型计算机技术的共同促进下，传感器朝微型化和网络化的方向迅速发展，产生了无线传感器网络，给传感器和检测技术的发展带来了新的生机和挑战。

### 四、传感器需求与开发的重点方向

传感器目前已快速进入汽车、飞机、医疗产品、办公机器、个人计算机、家用电器及污染控制等众多场合，最近几年世界传感器市场保持了约 10% 甚至更高的年增长率，对新兴领域的高新产品的需求更多，并逐年增加，传感器需求和开发的方向主要集中在以下方面。

#### 1. 工业过程控制与汽车传感器

需重点开发新型压力、温度、流量、距离等智能传感器和具有协议功能的传感器以及具有电喷系统、排气循环装置和自动驾驶功能的传感器。现代高级轿车需要传感器对温度、压力、位置、距离、转速、加速度、姿态、流量、湿度、电磁、光电、气体、振动等进行准确的测量，而所采用的传感器的质量和数量是决定其电子化控制系统水平的关键。

#### 2. 环保传感器

重点开发水质监测、大气污染和工业排污测控传感器。人们越来越重视对自身所居住的自然环境进行保护和治理，传感器技术在重点区域、流域、海域及大气环境的监测方面将发挥重大的作用。

#### 3. 医疗卫生与食品监测传感器

重点开发诊治各种疾病的生物和化学传感器、食品发酵与酶传感器，开发适用于家庭医



疗服务相关的传感器及生物传感器。

#### 4. 微型传感器及 MEMS（微电子机械系统）

微电子机械系统（MEMS），起源于微型硅传感器，而当 MEMS 技术崛起以后，反过来又大大促进了微型硅传感器的技术进步，并且使各种类型传感器向微型化发展。如微型压力传感器是 MEMS 器件中最成熟、最早实现商品化的一种传感器，可用来监测环境、航空（航速、大气数据、高度）、医疗（血管压力直接测量）等参数。

以 MEMS 技术为基础的传感器已逐步实用化，在工业、农业、国防、航空航天、航海、医学、生物工程、交通、家庭服务等各个领域都有巨大的应用前景。

#### 5. 生物、医学研究急需的新型传感器

当前医用传感器主要有图像诊断领域用传感器及临床化验领域用传感器。生命科学的发展需要多种生物量传感器，如酶、免疫、微生物、细胞、DNA、RNA、蛋白质、嗅觉、味觉和体液组分等传感器，还需要诸如血气、血压、血流量、脉搏等生理量检测的实用传感器。

#### 6. 生态农业传感器

生态农业是知识密集和技术密集的领域。目前作为“电子感官”的传感技术在农业生产、生物学研究、农药残留量检测等方面得到了广泛的应用。

### 五、传感器的定义与组成

通过前面的介绍，我们对传感器有了一定的认识，但仍然需要进一步理解传感器的工作原理，进而正确使用它，使它发挥作用。

根据中华人民共和国国家标准（GB/T 7665—2005）传感器通用术语的规定，传感器是指能感受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。通常由敏感元件和转换元件组成，其中敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分，如应变式压力传感器中的弹性膜片就是敏感元件；转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分，如电阻应变片就是转换元件。

根据以上定义可画出传感器的组成框图，如图 1-1 所示。

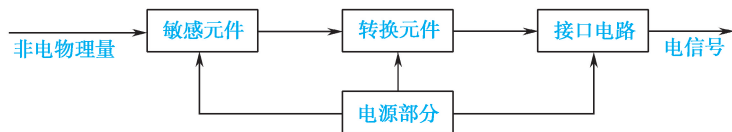


图 1-1 传感器组成框图

### 六、传感器的分类与特点

传感器常用的分类方法有两种，一种是按被测物理量划分，另一种是按传感器的工作原理划分。



### 1. 按被测物理量划分

这种方法是根据被测量的性质进行分类的,如被测量分别为温度、湿度、压力、位移、流量、加速度、光,则对应的传感器分别为温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、加速度传感器、光电传感器。常见的其他被测量还有力矩、质量、浓度、颜色等,其相应的传感器一般以被测量命名。这种分类方法的优点是能比较明确地表达传感器的用途,为使用者提供了方便,可根据测量对象选择所需要的传感器;其缺点是没有区分每种传感器在转换机理上的共性和差异,不便于使用者掌握其基本原理及分析方法。

### 2. 按传感器工作原理划分

这种分类方法是以工作原理来划分的,将物理、化学、生物等学科的原理、规律和效应作为分类的依据,据此可将传感器分为电阻式、电感式、电容式、阻抗式、磁电式、热电式、压电式、光电式、超声波式、微波式等类别。这种分类方法有利于传感器的专业工作者从原理与设计上做归纳性的分析研究。

## 七、传感器的基本特性

传感器的基本特性一般是指传感器的输出与输入之间的关系,有静态和动态之分,通常以建立数学模型来体现。为了简化传感器的静、动态特性,可以分开来研究。

### 1. 传感器的静态特性

静态特性是指在静态信号作用下,传感器输出与输入量之间的一种函数关系,其静态特性可表示为

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (1-1)$$

理想情况下,传感器输出量  $y$  与输入量  $x$  之间为线性关系,也是通常我们所希望其具有的特性,即

$$y = a_1x \quad (1-2)$$

常用的静态性能指标包括灵敏度、精确度、测量范围、量程、线性度及误差等。

#### (1) 灵敏度

传感器的灵敏度  $K$  是指达到稳定状态时,输出增量与输入增量的比值,即

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-3)$$

线性传感器的灵敏度就是其静态特性的斜率,而非线性传感器的灵敏度则是其静态特性曲线某点处切线的斜率。

#### (2) 线性度

线性度是传感器输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离直线的程度,又称非线性误差,如图 1-2 所示,即为在垂直方向上最大偏差  $|\Delta y_{\max}|$  与最大输出  $y_{\max}$  的百分比,图中  $a_0$  称为零位输出,即被测量为零时传感器的指示值。

$$\gamma_L = \frac{|\Delta y_{\max}|}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1-4)$$





误差数值越小，则线性度越高，在使用时测量精度也就越高，非线性大的传感器一般要采用线性化补偿电路或机械式的非线性补偿机构，其电路及机构均较复杂，调试也较烦琐。

### (3) 重复性

重复性表示传感器在输入量按同一方向做全程连续多次变动时所得到的特性曲线的不一致程度，如图 1-3 所示，用公式表示为

$$\gamma_x = \frac{|\Delta m_{\max}|}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中， $\Delta m_{\max}$  取  $\Delta m_1$ 、 $\Delta m_2$ … 中最大的值， $y_{\max}$  为满量程输出值。

传感器输出特性的不重复性主要是由传感器的机械部分的磨损、间隙、松动、部件内摩擦、积尘、电路元件老化、工作点漂移等原因产生的。

### (4) 迟滞现象

迟滞现象是传感器在正向行程（输入量增大）和反向行程（输入量减小）期间输出和输入曲线不重合的程度，如图 1-4 所示。

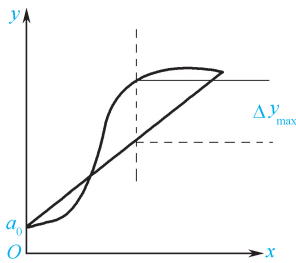


图 1-2 传感器的线性度误差

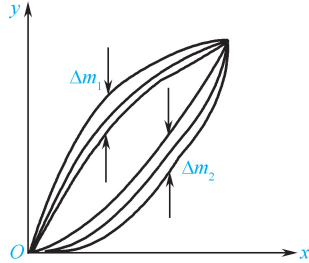


图 1-3 传感器的重复性

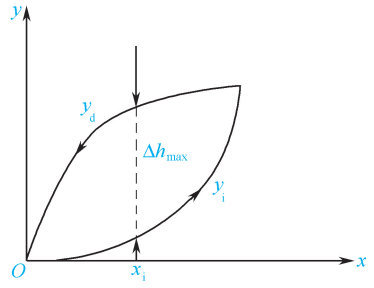


图 1-4 传感器的迟滞现象

对应于同一大小的输入信号，传感器正、反行程的输出信号大小不相等。在行程环中同一输入量  $x_i$  对应的不同输出量  $y_i$  和  $y_d$  的差值叫滞环误差，最大滞环误差用  $\Delta h_{\max}$  表示。

用最大偏差或最大偏差的一半与满量程输出值的百分比来表示传感器的迟滞，即

$$\gamma_H = \pm \frac{\Delta h_{\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1-6)$$

或

$$\gamma_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta h_{\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1-7)$$

迟滞现象反映了传感器机械结构和制造工艺上的缺陷，如轴承摩擦、间隙、螺钉松动、元件腐蚀等。

### (5) 精确度

传感器的精确度是指传感器的输出指示值与被测量约定真值的一致程度，反映了传感器测量结果的可靠程度。在工程应用中，为了简单表示测量结果的可靠性程度，引入精确度这个等级概念，用  $A$  表示，它表示允许的最大绝对误差与满度量程的百分比，即

$$A = \frac{\Delta A}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中  $A$ ——传感器精确度；

$\Delta A$ ——测量范围内允许的最大绝对误差；



$y_{\max}$ ——满度量程输出值。

常用的档次为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0、5.0。例如，0.5 级的仪表表示其允许的最大使用误差为 0.5%。

#### (6) 分辨力

传感器的分辨力是指在规定测量范围内所能检测的输入量的最小变化量的能力，通常以最小量程单位值表示。当被测量的变化值小于分辨力时，传感器对输入量的变化无任何反应。

#### (7) 稳定性

传感器的稳定性是指在室温条件下经过一定的时间间隔，传感器的输出与起始标定时的输出之间的差异。通常有长期稳定性（如年、月、日）和短期稳定性（如时、分、秒）之分，传感器的稳定性常用长期稳定性表示。

#### (8) 漂移

传感器的漂移是指在外界的干扰下，输出量发生与输入量无关的不需要的变化。漂移包括零点漂移和灵敏度漂移等。零点漂移和灵敏度漂移又可分为时间漂移和温度漂移。时间漂移是指在规定的条件下，零点或灵敏度随时间的缓慢变化；温度漂移为环境温度变化而引起的零点或灵敏度的变化。

## 2. 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指传感器在测量快速变化的输入信号情况下，输出对输入的响应特性。传感器测量静态信号时，由于被测量不随时间变化，测量和记录的过程不受时间限制。但是在工程实践中，检测的是大量随时间变化的动态信号，这就要求传感器不仅能精确地测量信号的幅值大小，而且还能显示被测量随时间变化的规律，即正确地再现被测量波形。传感器测量动态信号的能力用动态特性来表示。

动态特性与静态特性的主要区别：动态特性中输出量与输入量的关系不是定值，而是时间的函数，它随输入信号频率的变化而改变。

在动态测量中，当被测量做周期性变化时，传感器的输出值随着做周期性变化，其频率与前者相同，但输出幅值和相位随频率的变化而变化，这种关系称为频率特性。输出信号的幅值随频率变化而改变的特性称为幅频特性；输出信号的相位随频率的变化而改变的特性称为相频特性，幅值下降到稳定幅值的 0.707 倍时所对应的频率称为截止频率。

## 阶段小结

本模块主要建立传感器的基本概念，了解传感器的组成框图，使学生在开始学习时，首先对传感器产生一个清醒的认识。对传感器将非电量转换成电信号的原理要弄懂，有些是直接将非电量转换成电信号，而有些是经过中间的环节。对这些基本原理要了解，会分析由传感器组成的基本测量电路的特点。

接下来对传感器按物理量来分类，主要是同学们在日常生活中经常接触的物理量。另外，传感器也可按工作原理来分类，各有所长。传感器静态特性是输入信号不随时间变化时的输出与输入之间的关系。传感器的动态特性是输入信号随时间变化时的输出与输入之间的关系。同学们要重点理解静态特性指标：灵敏度、线性度、重复性、迟滞现象、精确度、分辨力、



稳定性和漂移。



### 习题与思考题

1. 传感器如何定义？它由哪些部分组成？
2. 传感器是如何分类的？各有什么优点和缺点？
3. 什么是传感器的静态特性？它有哪些技术指标？
4. 传感器在自动测控系统中起什么作用？
5. 思考一下你所看到的哪些地方用到传感器，是什么类型的传感器？工作原理如何？