

第二节 传感器与传感器技术的发展

一、传感器

传感器是将各种非电量如物理量、化学量、生物量按一定规律转换成便于传输和处理的另一种物理量（一般为电量）的测量装置。通常传感器由敏感元件和转换元件组成，其中，敏感元件是指传感器中直接感受被测量的部分，转换元件是指传感器能将敏感元件的输出转换为适于传输和测量的电信号部分。

有些国家和学科领域，将传感器称为变换器、检测器或探测器等。应该指出，并不是所有的传感器都能明显区分敏感元件与转换元件两个部分，而是二者合为一体。例如，半导体气体、湿度传感器等，它们一般都是将感受的被测量直接转换为电信号，没有中间转换环节。

传感器输出信号有很多形式，如电压、电流、频率、脉冲等，输出信号的形式由传感器的原理确定。

这一概念包含下面几个方面的含意。

- ① 传感器是测量装置，能完成信号获取任务。
- ② 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。
- ③ 它的输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示等，这种量可以是气、光、电量，但主要是电量。
- ④ 输出与输入有对应关系，且应有一定的精确度。

二、传感器的组成

通常，传感器由敏感元件、转换元件和测量电路组成，必要时还需要辅助电源电路，如图 1-3 所示。传感器的输出信号一般都很微弱，需要有信号调节与转换电路将其放大或变换为容易传输、处理、记录和显示的形式。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用，传感器的信号调节与转换可以安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在同一芯片上。因此，信号调节与转换元件以及所需电源都应作为传感器的组成部分。

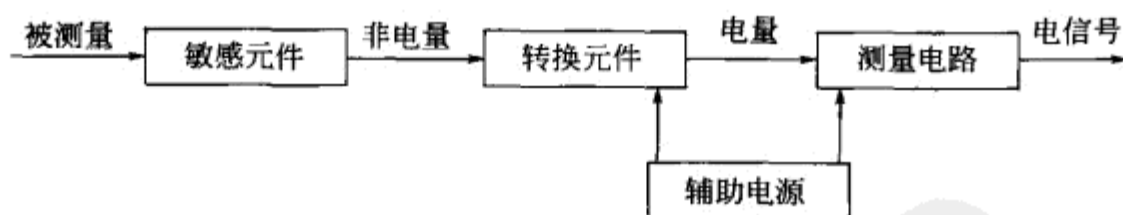


图 1-3 传感器组成框图

传感器的组成部分如下。

1. 敏感元件

它是直接感受被测量，并输出与被测量有一定关系的某一物理量的元件。

2. 转换元件

敏感元件的输出就是转换元件的输入，它把输入量转换成电路参数量。

3. 测量电路

上述电路参数接入测量电路，便可转换成电信号输出。常见的信号调节与转换电路有放

大器、电桥、振荡器、电荷放大器等，它们分别与相应的传感器相配合。

实际应用中，有些传感器很简单，有些则较复杂，也有些是带反馈的闭环系统。

最简单的传感器由一个敏感元件组成，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，如压电式加速度传感器，其中质量块是敏感元件，压电片是转换元件。有些传感器转换元件不止一个，要经过若干次转换。

由于传感器空间限制等其他原因，转换电路常装入电箱中。然而，因为不少传感器要在通过测量电路之后才能输出电量信号，从而决定了测量与转换电路是传感器的组成部分之一。

三、传感器的作用与地位

人类社会已进入信息时代，人们的社会活动主要依靠对信息资源的开发及获取、传输与处理。传感器处于研究对象与测试系统的接口位置，即检测与控制系统之首。因此，传感器成为感知、获取与检测信息的窗口，一切科学研究与自动化生产过程要获取的信息，都要通过传感器获取并通过它转换为容易传输与处理的电信号。所以传感器的作用与地位就特别重要了。

若将计算机比喻为人的大脑，传感器则可以比喻为人的感觉器官。可以设想，没有功能正常而完美的感觉器官，不能迅速而准确地采集与转换欲获得的外界信息，即便有再好的大脑也无法发挥其应有的作用。科学技术越发达，自动化程度越高，对传感器的依赖性就越大。所以，20 世纪 80 年代以来，世界各国都将传感器技术列为重点发展的高新技术，备受重视。

四、传感器的分类和选用

(一) 传感器的分类

传感器的种类繁多，不胜枚举。传感器分类方法很多，目前传感器主要分类方法有：根据输入量分类法；根据传感器工作原理分类法，根据传感器物理现象分类法，根据传感器转换原理分类法和按照传感器输出信号分类法等，不一而足。表 1-1 给出了常见的几种分类方法。

表 1-1 传感器的分类

分类方法	传感器的种类	说 明
按输入量分类	位移传感器、速度传感器、温度传感器、压力传感器等	传感器以被测物理量命名
按工作原理分类	应变式、电容式、电感式、压电式、热电式等	传感器以工作原理命名
按物理现象分类	结构型传感器	传感器依赖其结构参数变化实现信息转换
	物性型传感器	传感器依赖其敏感元件物理特性的变化实现信息转换
按能量关系分类	能量转换型传感器	传感器直接将被测量的能量转换为输出量的能量
	能量控制型传感器	由外部供给传感器能量，而由被测量来控制输出的能量
按输出信号分类	模拟式传感器	输出为模拟量
	数字式传感器	输出为数字量

表 1-2 按传感器转换原理分类给出了各类型的名称及典型应用。

表 1-2 传感器按转换原理分类

传感器分类		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间参量			
电参数	电阻	移动电位器触点改变电阻	电位器传感器	位移、角位移
		改变电阻丝或片的尺寸	电阻丝应变传感器、半导体应变传感器	微应变、力、负荷
		利用电阻的温度效应(电阻温度系数)	热丝传感器	气流速度、液体流量
			电阻温度传感器	温度、辐射热
			热敏电阻传感器	温度
		利用电阻的光敏效应	光敏电阻传感器	光强
		利用电阻的湿度效应	湿敏电阻	湿度
	电容	改变电容的几何尺寸	电容传感器	力、压力、负荷、位移
		改变电容的介电常数		液位、厚度、含水量
	电感	改变磁路几何尺寸、导磁体位置	电感传感器	位移
		涡流去磁效应	涡流传感器	位移、厚度、硬度
		利用压磁效应	压磁传感器	力、压力
		改变互感	差动变压器	位移
			自整角机	位移
			旋转变压器	位移
	频率计数	改变谐振回路中的固有参数	振弦式传感器	压力、力
			振筒式传感器	气压
			石英谐振传感器	力、温度等
		利用莫尔条纹	光栅	
		改变互感	感应同步器	大角位移、大直线位移
	数字	利用拾磁信号	磁栅	
		利用数字编码	角度编码器	大角位移
电量	电动势	温差电动势	热电偶	温度、热流
		霍尔效应	霍尔传感器	磁通、电流
		电磁感应	磁电传感器	速度、加速度
		光电效应	光电池	光强
	电荷	辐射电离	电离室	离子计数、放射性强度
		压电效应	压电传感器	动态力、加速度

(二) 传感器的选用

传感器的种类较多，即使是同一种被测量也可使用不同工作原理的传感器进行测量，因此，应根据需要选择合适的传感器。

1. 测量条件

测量条件主要有：测量目的、被测量的选定、测量范围、输入信号的带宽、测量时间、

要求精度、输入发生的频率等。选择传感器时，要从系统总体考虑，明确使用目的，采用合适的传感器。

2. 传感器的性能

选用传感器应考虑以下性能：精确度、稳定性、响应速度、模拟信号或数字信号、输出量及其电平、被测对象特性的影响、校准周期和过输入保护等。

3. 传感器的使用条件

传感器的使用条件包括使用场所、环境（温度、湿度、振动等）、测量时间、与显示器间信号传输距离、与外设连接方式和供电电源容量等。

传感器在使用时应注意：精度较高的传感器要定期校准；传感器通过插头与电源和二次仪表连接时，应注意引线不要接错；使用时，不要超过传感器的量程；在搬运和使用时不要碰触传感器的触头。

五、传感器技术的发展

传感器技术所涉及的知识非常广泛，渗透到各个学科领域。但是它们的共性是利用物理定律和物质的物理、化学和生物特性，将非电量转换成电量。所以，如何采用新技术、新工艺、新材料以及探索新理论达到高质量的转换，是总的发展途径。

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。

（一）发现新现象

利用物理现象、化学反应和生物效应是各种传感器工作的基本原理，所以发现新现象与新效应是发展传感器技术的重要工作，是研究新型传感器的重要基础，其意义极为深远。例如，日本夏普公司利用超导技术研制成功高温超导磁传感器，是传感器技术的重大突破，其灵敏度比霍尔器件高，仅次于超导量子干涉器件。而其制造工艺远比超导量子干涉器件简单，它可用于磁成像技术，具有广泛推广价值。

（二）开发新材料

传感器材料是传感器技术的重要基础，由于材料科学的进步，人们在制造时，可任意控制它们的成分，从而设计制造出用于各种传感器的功能材料，例如，半导体氧化物可以制造各种气体传感器，而陶瓷传感器工作温度远高于半导体，光导纤维的应用是传感器材料的重大突破，用它研制的传感器与传统的相比有突出的特点。有机材料作为传感器材料的研究，引起国内外学者的极大兴趣。

（三）采用微细加工技术

半导体技术中的加工方法，如氧化、光刻、扩散、沉积、平面电子工艺、各向异性腐蚀以及蒸镀、溅射薄膜工艺都可用于传感器制造，因而可制造出各式各样的新型传感器。例如，利用半导体技术制造出压阻式传感器，利用薄膜工艺制造出快速响应的气敏、湿敏传感器。

（四）研究多功能集成传感器

日本丰田研究所开发出同时检测 Na^+ 、 K^+ 和 H^+ 等多离子传感器。这种传感器的芯片尺寸为 $2.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ ，仅用一滴血液即可同时快速检测出其中 Na^+ 、 K^+ 、 H^+ 的浓度，适用于医院临床，使用非常方便。

催化金属栅与 MOSFET 相结合的气体传感器已广泛用于检测氧、氨、乙醇、乙烯和一氧化碳等。

我国某传感器研究所研制的硅压阻式复合传感器可以同时测量压力与温度。

(五) 智能化传感器

智能化传感器是一种带微处理器的传感器，它兼有检测、判断和信息处理功能。其典型产品如美国霍尼尔公司的 ST-3000 型智能传感器，其芯片尺寸为 $3\text{mm} \times 4\text{mm} \times 2\text{mm}$ ，采用半导体工艺，在同一芯片上制作 CPU·EPROM 和静压、压差、温度三种敏感元件。

(六) 新一代航天传感器研究

众所周知，在航天器的各大系统中，传感器对各种信息参数的检测，保证了航天器按预定程序正常工作，起着极为重要的作用。随着航天技术的发展，航天器上需要的传感器越来越多，例如，航天飞机上安装 3500 只左右传感器，对其指标性能都有严格要求，如小型化、低功耗、高精度、高可靠性等都有具体指标。为了满足这些要求，必须采用新原理、新技术研制出新型的航天传感器。

(七) 仿生传感器研究

值得注意的一个发展动向是仿生传感器的研究，特别是在机器人技术向智能化高级机器人发展的今天。仿生传感器就是模拟人的感觉器官的传感器，即视觉传感器、听觉传感器、嗅觉传感器、味觉传感器、触觉传感器等。目前只有视觉与触觉传感器解决得比较好，其他几种远不能满足机器人发展的需要。也可以说，至今真正能代替人的感觉器官功能的传感器极少，需要加速研究，否则将会影响机器人技术的发展。

第三节 传感器的特性

传感器的基本特性是指传感器的输出与输入之间的关系，分为静态特性和动态特性。当传感器的输入量为稳定状态的信号或变化极其缓慢的信号（常称为静态信号）时，可用静态参数来描述和表征传感器的静态特性。当传感器的输入量是周期信号、瞬变信号或随机信号（常称为动态信号）时，可用动态参数来描述和表征传感器的动态特性。

理想的传感器应该具有单值的、确定的输出-输入关系，其输出电量无论是在静态量或动态量输入时，都应当不失真地体现输入量的变化。这主要取决于静态特性和动态特性。

一、静态特性

传感器在被测量处于稳定状态时，输出量和输入量之间的关系称为静态特性。对传感器静态特性的基本要求是，输出相对于输入应保持确定的对应关系。

(一) 灵敏度

传感器的灵敏度是指在稳定工作状态下输出变化量与输入变化量的比值，即

$$K = \frac{\text{输出变化量}}{\text{输入变化量}} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

例如，某位移传感器，当位移变化 1mm 时，输出电压变化 200mV ，则其灵敏度为 200mV/mm 。