

项目一 传感器及测量基本知识

知识教学目标

1. 掌握传感器的定义、组成和特性。
2. 了解传感器的分类、命名和选用。
3. 掌握测量的定义。
4. 了解测量的分类。
5. 理解误差的分类。

技能培养目标

1. 能了解和认识生活中的传感器。
2. 能熟练运用常用的测量仪器。
3. 能够进行简单的误差计算。
4. 能对测量得到的数据进行分析整理。
5. 能根据实际使用条件选择使用的传感器。

任务一 传感器的基本知识

一、任务描述

现代信息技术包括计算机技术、通信技术和传感器技术等，计算机相当于人的大脑，通信设备相当于人的神经，而传感器则相当于人的感觉器官。如果没有各种精确可靠的传感器去检测原始数据并提供真实的信息，即使是性能非常优越的计算机，也无法发挥其应有的作用。

信息采集是用传感器来实现的，传感器技术遍布各行各业、各个领域，起着不可替代的作用，如工业生产、科学研究、现代医学、现代农业、国防科技、家用电器，甚至儿童玩具中也少不了传感器。日常生活中，我们大量地使用传感器，如电视遥控器利用红外接收、发射传感器控制电视机；家用电冰箱、空调利用温度传感器达到温度控制的目的。在自动检测和控制系统中，传感器技术对系统各项功能的实现起着重要的作用。自动化程度越高，系统对传感器的依赖性越大。

目前，传感器已渗透到工业生产、海洋探测、环境保护、生物工程等很多领域，几乎每个现代化项目都离不开各种各样的传感器。

传感器检测涉及的范畴很广，常见的传感器检测涉及的内容如表 1-1 所示。

表 1-1 常见的传感器检测涉及的内容

被测量类型	被测量	被测量类型	被测量
机械量	速度、加速度、应力、应变、力矩、振动等	热工量	温度、热量、比热容、压强、物位、液位、真空度等
几何量	长度、厚度、直径、角度、平行度、形状等	物质成分量	气体、液体、固体物质的化学成分、浓度、湿度等
电参量	电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、相位、波形、频谱等	状态量	运动状态（启动、停止等）、异常状态（过载、超温、变形、堵塞等）

二、任务实施

（一）传感器的定义

根据中华人民共和国国家标准（GB/T 7665-2005）的规定，传感器（Transducer/sensor）的定义是：“传感器是一种能感受规定的被测量并按照一定的规律将其转换成可用输出信号的器件或装置。”

这一定义包含了以下几方面的意思：

（1）传感器是一种测量装置，能完成检测任务。例如，我们常见的发电机，它是一种可以将机械能转变成电能的转换装置，从能量角度上看，它是一种发电设备，不能称为传感器；但是，从另一个角度看，人们可以通过发电机发电量的大小来测量调速系统的机械转速，这时发电机就可以看成一种用于测量转速的装置，是一种速度传感器，通常称为测速发电机。应用传感器的目的主要是获得被测量的准确信息。

（2）传感器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）传感器定义中所谓的“可用输出信号”是指便于传输、转换及处理的信号，主要包括光、电等信号，这里主要指电信号（电压、电流、频率），而被测量一般为非电量信号，主要包括物理量、化学量、生物量等，在工程中常见的需要测量的非电量有压力、压强、温度、速度、位移、浓度等，正是由于这类非电量信号不能像电信号那样可由电工仪表或者电子仪器来直接测量，因而需要利用传感器技术来实现由非电量到电量的转换。

（4）传感器的输入和输出信号要有一定的对应关系，并且要保证一定的精度。

（二）传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成，有时还须外加辅助电源来提供转换能量。传感器的组成框图如图 1-1 所示。

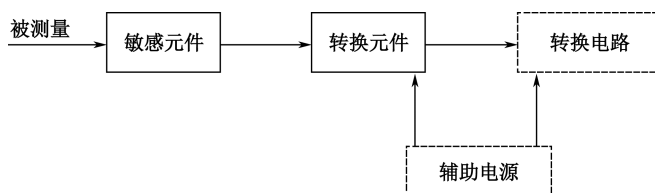


图 1-1 传感器组成框图

1. 敏感元件

敏感元件是传感器中能直接感受被测量、并输出与被测量成确定关系的某一物理量的部分。例如，弹性敏感元件将压力转换为位移，且压力与位移之间保持一定的函数关系。

2. 转换元件

转换元件是传感器中将敏感元件输出的非电量转换为适于传输和测量的电信号的部分。例如，应变式压力传感器中的电阻应变片可以将被测件的机械应变转换成阻值的变化，在通过不平衡电桥把阻值的变化转换成电流或电压信号输出。

3. 转换电路

转换电路将电信号进一步转换成便于测量的电压、电流、频率等电信号。例如，交直流电桥、放大器、振荡器及电荷放大器等。

应注意，并不是所有的传感器都同时包含敏感元件和转换元件。如果敏感元件直接输出的是电量，它就同时兼为转换元件，如热电偶；如果转换元件能直接感受被测量，输出与之成一定关系的电量，则传感器就没有敏感元件，如压电元件。

（三）传感器的分类

有的传感器可以检测多种物理量，一种物理量也可以用几种传感器测量，传感器有很多种分类方法，但目前对传感器尚无一个统一的分类方法，比较常用的有以下几种：

（1）按传感器的被测物理量分类，可分为位移、力、速度、温度、湿度、流量、气体成分等传感器。

（2）按传感器工作原理分类，可分为电阻、电容、电感、电压、霍尔、光电、光栅、热电偶等传感器。

（3）按传感器输出信号的性质分类，可分为：输出为开关量（“1”和“0”或“开”和“关”）的开关型传感器、输出为模拟信号的模拟型传感器、输出为脉冲或代码的数字型传感器。

（4）按传感器转换能量供给形式分类，可分为能量变换型（发电型）传感器和能量控制型（参量型）传感器。能量变换型传感器在进行信号转换时不需要另外提供能量，就可将输入信号能量变换为另一种形式的能量输出，如热电偶传感器、压电传感器等。能量控制型传感器工作时必须有外加电源，如电阻、电感、电容及霍尔式传感器等。

（5）按传感器的工作机理分类，可分为结构型和物性型传感器。结构型传感器的工作原理是指被测量变化时引起传感器的结构发生变化，从而引起输出电量的变化。例如电容压力传感器，当外加压力变化时，电容极板发生位移而使结构改变，从而引起电容值和输出电压发生变化。物性型传感器利用物质的物理或化学特性随被测参数变化而改变的原理工作。一般没有可动结构部分，易小型化，如各种半导体传感器。传感器按转换原理分类如表 1-2 所示。

表 1-2 传感器分类

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
		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	电容式传感器	力、压强、负荷、位移
		改变电容的介电常数		液位、厚度、硬度
	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
		压磁效应	压磁传感器	力、压强
		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	改变谐振回路中的固有参数	振弦式传感器	压强、力
			振筒式传感器	气压
			石英谐振传感器	力、温度等
	计数	利用莫尔条纹	光栅	大角位移、大直线位移
		改变互感	感应同步器	
利用数字编码		角度编码器		
电量	电动势	温差产生电动势	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	辐射导致电离	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

(四) 传感器的命名和代号

1. 传感器的命名

命名的构成：传感器的名称由主题词加四级修饰语构成，包括：

- (1) 主题词——传感器。
- (2) 第一级修饰语——被测量。包括修饰被测量的定语。
- (3) 第二级修饰语——转换原理，一般可后续以“式”字。
- (4) 第三级修饰语——特征描述，指必须强调的传感器结构、性能、材料特征、敏感元器件及其他必要的性能特征，一般可后续以“型”字。
- (5) 第四级修饰语——主要技术指标（量程、精确度和灵敏度等）。

传感器的命名构成及各级修饰语如表 1-3 所示。

命名法的使用：(1) 题目中的用法。在有关传感器的统计表格、图书索引、检索，以及计算机汉字处理等特殊场合，应采用上述顺序。比如：传感器、位移、应变计[式]、100mm。

(2) 正文中的用法。在技术文件、产品样本、学术论文、教材及书刊的陈述句子中，作为产品名称应采用与上述相反的顺序，如 100mm 应变计式位移传感器。

表 1-3 传感器的命名构成及各级修饰语举例一览表

主题词	第一级修饰语 被测量	第二级修饰语 转换原理	第三级修饰语 特征描述	第四级修饰语主要技术指标	
				范围、量程、精 确度、灵敏度	单位
传感器	速度 加速度 加加速度 冲击 振动 力 重量(称重) 压强 声压 力矩 姿态 位移 液位 流量 温度 热流 热通量 可见光 照度 湿度 黏度 浊度 离子活[浓]度 电流 磁场 马赫数 射线	电位器[式] 电阻[式] 电流[式] 电感[式] 电容[式] 电涡流[式] 电热[式] 电磁[式] 电化学[式] 电离[式] 压电[式] 压阻[式] 应变计[式] 谐振[式] 伺服[式] 磁阻[式] 光电[式] 光化学[式] 光纤[式] 激光[式] 超声[式] (核)辐身[式] 热电 热释电	直流输出 交流输出 频率输出 数字输出 双输出 放大 离散增量 积分 开关 陀螺 涡轮 齿轮转子 振动元件 波纹管 波登管 膜盒 膜片 离子敏感 FET 热丝 半导体 陶瓷 聚合物 固体电解质 自源 粘贴 非粘贴 焊接	略	略

2. 传感器的代号

国家标准中规定，用大写汉语拼音字母和阿拉伯数字构成传感器完整的代号。包括 4 个部分，依次为：

- (1) 主称——传感器，代号 C。
- (2) 被测量——用一个或两个汉语拼音字头（大写）标记。
- (3) 转换原理——用一个或两个汉语拼音字头（大写）标记。

(4) 序号——用一个阿拉伯数字标记，厂家自定，用来表征产品设计特性、性能参数和产品序列等。若产品性能参数不变，仅在局部有改动或变动时，其序号可在原序号后面顺序地加注大写字母 A、B、C 等（其中 I、Q 不用），如应变式位移传感器 CWY-YB-20、光纤压力传感器 CY-GQ-2。

常用被测量代码如表 1-4 所示。

表 1-4 常用被测量代码

被测量	代号	被测量	代号	被测量	代号	被测量	代号
加速度	A	角速度	JS	电流	DL	位置	WZ
加加速度	AA	角位移	JW	电场强度	DQ	应力	YL
亮度	AD	力	L	电压	DY	液位	YW
磁	C	露点	LD	色度	E	浊度	Z
冲击	CJ	力矩	U	谷氨酸	GA	振动	ZD
磁透率	CO	流量	Lλ	温度	H	紫外光	ZG
磁场强度	CQ	离子浓度	LZ	照度	HD	重量（稳重）	ZL
磁通量	CT	密度	M	红外光	HG	真空度	ZK
呼吸频率	HP	[气体]密度	[Q]M	离子活[浓]度	HNI	噪声	ZS
转速	HS	[液体]密度	[Y]M	声压	SY	姿态	ZT
硬度	I	每分钟脉搏	MB	图像	TX	氢离子活[浓]度	[H]H[N]D
线加速度	IA	马赫数	MH	温度	W	钠离子活[浓]度	[Na]H[N]D
线速度	IS	表面粗糙度	MZ	[体]温	[T]W	氯离子活[浓]度	[CL]H[N]D
角度	J	黏度	N	物位	WW	氧分压	[O]
角加速度	JA	扭矩	NJ	位移	WY	一氧化碳分压	[CO]
可见光强度	JG	厚度	O	热流	RL	水分含量	SF
烧蚀厚度	SO	pH 值	(H)	速度	S	射线剂量	SL
射线强度	SX	气体浓度	Q	热通量	RT		

(五) 传感器的特性

传感器所测量的被测量经常处在变动过程中。例如：测量温度时，若温度恒定，传感器的输出值就会十分稳定；若遇到温度不恒定甚至出现突变时，传感器的输出值可能有缓慢起伏或者周期性脉动变化，甚至出现突变的尖峰值。传感器能否将这些被测量的变化不失真地变换成相应的电量，要看传感器本身的基本特性，即输出—输入特性。该基本特性通常用传感器的静态特性和动态特性来描述。

1. 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指对静态的输入信号，传感器的输出量与输入量之间的关系。因为输入量和输出量都和时间无关，传感器的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程，或以输入量作为横坐标，输出量作为纵坐标而画出的特性曲线来描述。对于静态特性而言，传感器的输入量 x 与输出量 y 之间的关系通常表示为：

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx_n \quad (1-1)$$

式中 a_0 ——输入量 x 为零时的输出量；

a_1, a_2, \dots, a_n ——非线性项系数, 各种系数决定了特性曲线的具体表现形式。

表征传感器静态特性的主要参数有: 灵敏度、线性度、分辨力、重复性、迟滞、稳定性与漂移等, 传感器的参数指标决定了传感器的性能及选用传感器的原则。

(1) 传感器的灵敏度。

灵敏度(一般用 k 表示)是指传感器在稳态工作情况下输出量变化 Δy 对输入量变化 Δx 的比值。它是输出—输入特性曲线的斜率, 如图 1-2 所示。

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-2)$$

如果传感器的输出和输入之间为线性关系, 则灵敏度 k 是一个常数, 即特性曲线的斜率恒定。否则, 它将随输入量的变化而变化。

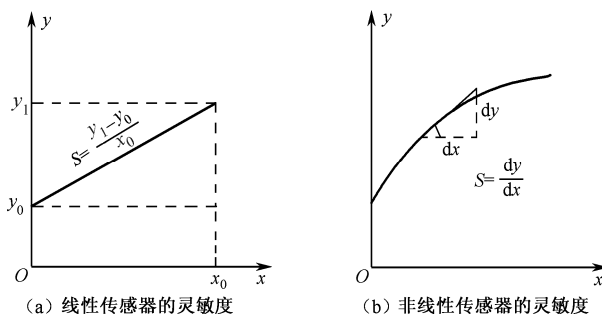


图 1-2 传感器的灵敏度特性图

灵敏度的量纲是输出、输入量的量纲之比。例如: 某位移传感器, 在位移变化 1mm 时, 输出电压变化为 200mV, 则其灵敏度应表示为 200mV/mm。当传感器的输出、输入量的量纲相同时, 灵敏度可理解为放大倍数。提高灵敏度, 可得到较高的测量精度。但灵敏度越高, 测量范围越窄, 稳定性也往往越差。

(2) 传感器的线性度。

通常情况下, 反映传感器的实际特性的是条曲线而非直线, 如图 1-3 所示。在实际工作中, 为使仪表具有均匀刻度, 常用一条拟合直线近似地代表实际的特性曲线, 线性度(非线性误差)就是这个近似程度的一个性能指标。拟合直线的选取有多种方法, 如将零输入和满量程输出点相连的理论直线作为拟合直线。常用的有切线法、过零旋转法、端点法、端点平移法、最小二乘法等。即使是同类传感器, 拟合直线不同, 其线性度也是不同的, 用最小二乘法求取的拟合直线的拟合精度最高。拟合方法如图 1-4 所示。线性度计算公式如下。

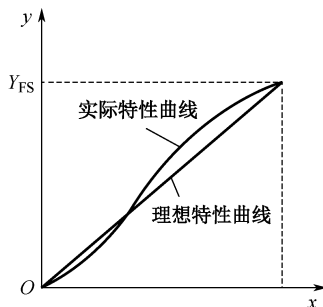


图 1-3 传感器实际特性曲线

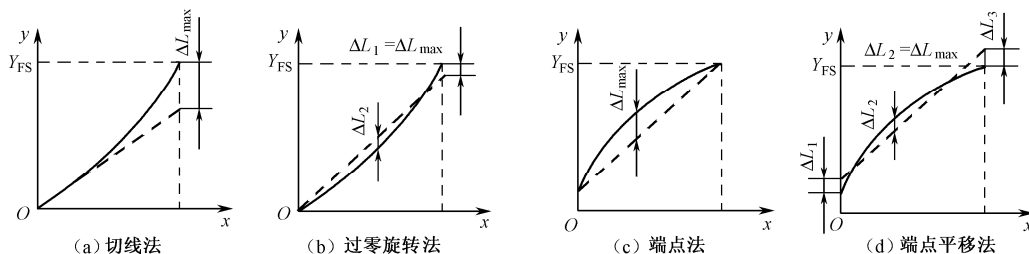


图 1-4 几种直线拟合方法

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

其中， ΔL_{\max} 是实际曲线和拟合直线之间的最大差值， Y_{FS} 为满量程。

(3) 传感器的分辨力。

分辨力是指传感器可能感受到的被测量的最小变化的能力。也就是说，如果输入量从某一非零值开始缓慢地变化，当变化值未超过某一数值时，传感器的输出不会发生变化，即传感器对此输入量的变化是分辨不出来的。只有当输入量的变化超过分辨力时，输出才会发生变化。

通常传感器在满量程范围内各点的分辨力不相同，因此常用满量程中能使输出量产生阶跃变化的输入量中的最大变化值作为衡量分辨力的指标，分辨力用满量程的百分比表示。

(4) 传感器的重复性。

传感器的重复性即传感器的输入量按同一方向做全量程多次测试时，所得特性曲线不一致的程度，如图 1-5 所示。重复性计算公式如下。

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

其中， ΔR_{\max} 是多次测量曲线之间的最大差值； Y_{FS} 是传感器的满量程。

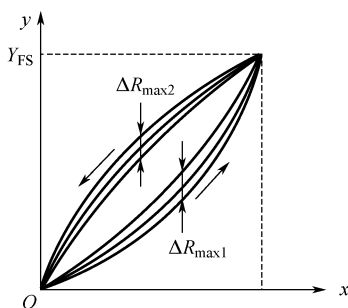


图 1-5 传感器重复性特性图

(5) 传感器的迟滞。

传感器的迟滞即传感器在正向行程（输入量增大）和反向行程（输入量减小）期间，特性曲线不一致的程度，如图 1-6 所示。迟滞计算公式如下。

$$\gamma_H = \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

其中, ΔH_{\max} 是正向曲线与反向曲线之间的最大差值; Y_{FS} 是传感器的满量程。

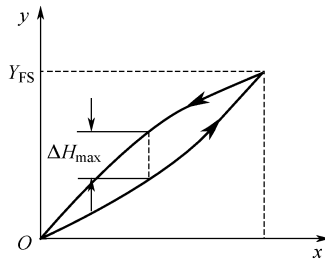


图 1-6 传感器迟滞特性图

(6) 传感器的稳定性与漂移。

传感器的稳定性有长期和短期之分。一般指一段时间以后,传感器的输出和初始标定时输出之间的差值。通常用不稳定度来表征其输出的稳定程度。

传感器的漂移是指在外界干扰下,输出量出现与输入量无关的变化。漂移有很多种,如时间漂移和温度漂移等。时间漂移指在规定的条件下,零点或灵敏度随时间发生变化;温度漂移指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

在实际测量中,不仅要求传感器具有良好的静态特性,而且要求其具有良好的动态特性。动态特性是指传感器测量动态信号时,输出输入之间的关系。在动态测量时,由于被测量要随时间变化,此时传感器如果不能快速响应并正确地提取信号,测量工作就无法进行。例如,在做人体的心电图检查时,如果不能准确地将人体心脏随时间跳动的状况及时检测出来并迅速打印,那么就不能为医生进行诊断提供有效依据。

动态特性好的传感器,其输出随时间的变化将高精度地反映输入随时间的变化,即它们具有同一个时间函数,但是,除理想情况外,实际传感器的输出信号与输入信号不会具有相同的时间函数,由此将引起动态误差。

动态特性常用阶跃响应(最大偏离量、延迟时间、上升时间、峰值时间、响应时间)和频率响应(幅频特性、相频特性)来描述。

(六) 传感器的选用

现代传感器在原理与结构上千差万别,如何根据具体的测量目的、测量对象及测量环境合理地选用传感器,是在进行某个量的测量时首先要考虑的问题。当传感器确定之后,与之相配套的测量方法和测量设备也就可以确定了。测量结果的成败,在很大程度上取决于传感器的选用是否合理。

1. 根据测量对象与测量环境确定传感器的类型

要进行一个具体的测量工作,首先要考虑采用基于何种原理的传感器,这需要分析多方面的因素之后才能确定。因为,即使是测量同一物理量,也有多种传感器可供选用,要确定哪一种传感器更为合适,则需要根据被测量的特点和传感器的使用条件考虑以下具体问题:量程的大小;被测位置对传感器体积的要求;测量方式为接触式还是非接触式;信号的引出方法(是有线还是无线)。在考虑上述问题之后就能确定选用何种类型的传感器,

然后再考虑传感器的具体性能指标。

2. 灵敏度的选择

通常，在传感器的线性范围内，希望传感器的灵敏度越高越好。因为只有灵敏度高时，与被测量变化对应的输出信号的值才比较大，有利于信号处理。但要注意的是，传感器的灵敏度高，与被测量无关的外界噪声也容易混入，也会被放大系统放大，影响测量精度。

3. 频率响应特性

传感器的频率响应特性决定了被测量的频率范围，必须在允许频率范围内保持不失真的测量条件，实际上传感器的响应总有延迟，延迟时间越短越好。传感器的频率响应效果好，可测的信号频率范围就宽，而由于受到结构特性的影响，机械系统的惯性较大，因此频率低的传感器可测信号的频率较低。在动态测量中，应根据信号的特点（稳态、瞬态、随机等）选择传感器，以免产生过大的误差。

4. 线性范围

传感器的线性范围是指输出与输入成正比的范围。理论上，在此范围内，灵敏度保持定值。传感器的线性范围越宽，则其量程越大，并且能保证一定的测量精度。在选择传感器时，当传感器的种类确定以后，首先要看其量程是否满足要求。但实际上，任何传感器都不能保证绝对的线性，其线性度也是相对的。当所要求测量精度比较低时，在一定的范围内，可将非线性误差较小的传感器近似看作线性的，这会给测量带来极大的方便。

5. 稳定性

传感器使用一段时间后，其性能保持不变化的能力称为稳定性。影响传感器稳定性的因素除传感器本身结构外，主要是传感器的使用环境。因此，要使传感器具有良好的稳定性，传感器必须要有较强的环境适应能力。在选择传感器之前，应对其使用环境进行调查，并根据具体的使用环境选择合适的传感器，或采取适当的措施，减小环境的影响。传感器的稳定性有定量指标，在超过使用期后，应重新进行标定。在某些要求传感器能长期使用而又不能轻易更换或标定的场合，对所选用的传感器稳定性要求更严格，要求其能够经受住长时间的考验。

6. 精度

精度是传感器的一个重要的性能指标，它影响整个系统的测量精准程度。传感器的精度越高，其价格越昂贵，因此，传感器的精度只要满足整个测量系统的精度要求就可以，不必选得过高。这样就可以在满足同一测量目的的多种传感器中选择比较便宜和简单的传感器。如果测量目的是定性分析，选用重复精度高的传感器即可，不宜选用绝对精度高的；如果是为了定量分析，必须获得精确的测量值，就须选用精度等级能满足要求的传感器。对某些特殊使用场合，无法选到合适的传感器，则须自行设计制造传感器。自制传感器的性能应满足使用要求。

（七）传感器的应用及发展趋势

1. 传感器在各领域中的应用

（1）在工业生产过程的测量与控制方面的应用。

在工业生产过程中，必须对温度、压力、流量、液位和气体成分等参数进行检测，诊断生产设备的各种情况，使生产系统处于最佳状态，从而保证产品质量，提高效益。目前传感器与计算机、通信等的结合渗透，使工业监测自动化，更具有准确、效率高等优点。如果没有传感器，现代工业自动化程度将会大大降低。

(2) 在现代医学领域的应用。

现代医学需要快速、准确地获取相关信息，医学传感器作为获取生命体征信息的元器件，其作用日益显著，并得到广泛应用。例如，在图像处理、临床化学检验、生命体征参数的监护监测、疾病的诊断与治疗等方面，使用传感器十分普及。传感器在现代医学仪器设备中已无所不在。

(3) 在汽车电控系统中的应用。

随着人们生活水平的提高，汽车已逐渐走进千家万户。汽车的安全舒适、低污染、高燃率越来越受到社会重视，而传感器在汽车中相当于感官和触角。只有通过它才能准确地采集汽车工作状态的信息，提高自动化程度。汽车传感器主要分布在发动机控制系统、底盘控制系统和车身控制系统。普通汽车上大约装有 10~20 只传感器，而有的高级豪华车使用传感器多达 300 个。因此传感器作为汽车电控系统的关键部件，将直接影响到汽车技术性能的发挥。

(4) 在环境监测方面的应用。

近年来，环境污染问题日益严重，人们迫切希望拥有一种能对污染物进行连续、快速、在线监测的仪器，传感器满足了人们的要求。目前，已有相当一部分生物传感器应用于环境监测中，如大气环境监测。二氧化硫是酸雨（雾）形成的主要原因，传统的检测方法很复杂，现在将亚细胞脂质类固定在醋酸纤维膜上，加入氧电极制成生物传感器，可对酸雨雾样品溶液进行检测，大大简化了检测方法。

(5) 在军事方面的应用。

传感器技术在军用电子系统中的运用促进了武器、作战指挥、控制、监视和通信方面的智能化。传感器在战场监视系统、防空系统、雷达系统、导弹系统等方面，都有广泛的应用，是提高军队战斗力的重要因素。

(6) 在科学研究方面的应用。

科学技术的不断发展，催生了许多新的学科领域，无论从宏观的宇宙，还是到微观的量子世界，对未知的现象和规律的探索要获取大量人类感官无法获得的信息，没有相应的传感器是不可能做到这一点的。

(7) 在智能建筑领域中的应用。

智能建筑是未来建筑的必然趋势，它涵盖自动化、信息化、生态化等多方面的内容，具有微型集成化、高精度、数字化和智能化特征的智能传感器将在智能建筑中占有重要的地位。

(8) 在家用电器方面的应用。

20 世纪 80 年代以来，随着以微电子为中心的技术革命的兴起，家用电器正向自动化、智能化、节能、无环境污染的方向发展。自动化和智能化的中心就是研制由微型计算机和各种传感器组成的控制系统。如一台空调采用微型计算机控制，配合传感器技术，可以实现压缩机的启停、风扇摇头、风门调节、换气等，从而对温度、湿度和空气浊度

进行控制。随着人们对家用电器方便、舒适、安全、节能的要求提高，传感器将越来越得到广泛应用。

2. 传感器的未来发展趋势

科学技术的发展使得人们对传感器技术越来越重视，人们认识到它是影响生活水平的重要因素之一。随着世界各国现代化步伐的加快，对检测技术的要求也越来越高，因此对传感器的开发成为目前最热门的研究课题之一，而科学技术，尤其是大规模集成电路技术、微型计算机技术、机电一体化技术、微机械和新材料技术的不断进步，大大促进了现代检测技术的发展。传感器技术发展趋势可以从以下几方面来看。

(1) 开发新型传感器。

传感器的工作机理基于各种物理（化学或生物）效应和定律，由此启发人们进一步探索具有新效应的敏感功能材料，并以此研制具有新原理的新型传感器，这是发展高性能、多功能、低成本和小型化传感器的重要途径。

(2) 开发新材料。

传感器材料是传感器技术的重要基础，随着传感器技术的发展，除早期使用的材料，如半导体材料、陶瓷材料以外，光导纤维、纳米材料、超导材料等相继问世，人工智能传感器更是将我们带入了一个新的天地，它同时具有三个特征：能感知环境条件的变化（传统传感器）；自动进行识别、判断（处理器）；发出指令和自动采取行动（执行器）。随着研究的不断深入，未来将会有更多更新的传感器被开发出来。

(3) 多功能集成化传感器的开发。

传感器集成化包含两种含义：一种是同一功能的多元器件并列，目前发展很快的自扫描光电二极管阵列、CCD 图像传感器就属于此类；另一种含义是功能一体化，即将传感器与放大、运算及温度补偿等环节一体化，组装成一个元器件，例如：把压敏电阻、电桥、电压放大器和温度补偿电路集成在一起的单块压力传感器。

多功能是指一器多能，即一个传感器可以检测两个或两个以上的参数，如最近国内已经研制成功的硅压阻式复合传感器，可以同时测量温度和压力等。

(4) 智能传感器的开发。

智能传感器是将传感器与计算机集成在一块芯片上的装置，它将传感技术、信息处理技术相结合，除感知的本能外，还具有认知能力。例如：将多个具有不同特性的气敏元器件集成在一个芯片上，利用图像识别技术处理，可得到不同传感模式，然后将这些模式所获取的数据进行计算，与被测气体类比，可识别出气体的种类和各自的浓度。

(5) 多学科交叉融合。

无线传感器网络是由大量无处不在的、有无线通信与计算能力的微小传感器节点构成的自组织分布式网络系统，是能根据环境自主完成指定任务的“智能”系统。它是涉及微传感器与微机械、通信、自动控制、人工智能等多学科的综合技术，其应用已由军事领域扩展到反恐、防爆、环境监测、医疗保健、家居、商业、工业等众多领域，有着广泛的应用前景，因此美国商业周刊和 MIT 技术评论杂志在预测未来技术发展的报告中，分别将其列为 21 世纪最具影响的技术和改变世界的新技术之一。

(6) 加工技术微精细化。

随着传感器产品质量的提升，加工技术的微精细化在传感器的生产中占有越来越重要

的地位。微机械加工技术是近年来随着集成电路工艺发展起来的，它使用离子束加工、电子束加工、激光束加工和化学刻蚀等用于微电子加工的技术，目前已越来越多地用于传感器制造工艺。另外一个发展趋势是越来越多的生产厂家将传感器作为一种工艺品来精雕细琢。无论是导线，还是导线防水接头的出孔，每个角落，每个细节，其制作水平都达到了工艺品级别。例如：日本久保田公司的柱式传感器，外加一个黑色的防尘罩，柱式传感器的底座一般易进沙尘及其他物质，而底座一旦进了沙尘或其他物质后，对传感器来回摇摆产生影响，外加防尘罩后，克服了上述弊端。这个附件的设计不仅充分考虑了用户使用现场的环境要求，而且制作工艺、外观非常考究。

任务二 测量的基本知识

一、任务描述

在信息社会的大部分研究领域，检测是科学地认识各种现象的基础性方法和手段。现代化的检测手段在很大程度上决定了生产、科学技术的发展水平，而科学技术的发展又为检测技术提供了新的理论基础和制造工艺，同时对检测技术也提出了更高的要求。检测技术是所有科学技术的基础，是自动化技术的支柱之一。检测即测量，就是采用传感器技术来获取被测对象信息的过程。

二、任务实施

（一）测量的定义和分类

1. 测量的定义

测量是指借助专门的技术与设备，通过实验和计算的方法取得事物量值的认识过程，即将被测量与一个同性质的、作为测量单位的标准量进行比较，从而定量地确定被测量与标准量的大小关系的比较过程。

测量的结果包括大小、误差和单位三个要素。

测量是人类认识事物本质所不可缺少的手段。通过测量和实验能使人们对事物获得定量的概念和发现事物的规律性。科学上很多新的发现和突破都是以实验测量为基础的。

测量的目的就是尽量精确地“逼近”真值。

真值是待测物理量客观存在的确定值，也称理论值或定义值。通常真值是无法测得的。若测量的次数无限多时，根据误差的分布定律，正负误差的出现几率相等。再细致地消除系统误差，将测量值加以平均，可以获得非常接近于真值的数值。但是实际上测量的次数总是有限的。用有限测量值求得的平均值只能是近似真值，常用的平均值有下列几种：

① 算术平均值。算术平均值是最常见的一种平均值。

设 x_1, x_2, \dots, x_n 为各次测量值， n 代表测量次数，则算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-6)$$

② 几何平均值。几何平均值是将一组 n 个测量值连乘并开 n 次方求得的平均值。即

$$\bar{x}_n = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n} \quad (1-7)$$

③ 均方根平均值。

$$\bar{x}_{\text{均}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad (1-8)$$

2. 测量的分类

对于测量方法，从不同角度，有不同的分类。根据获得测量值的方法，可分为直接测量、间接测量和组合测量；根据测量的精度，可分为等精度测量和非等精度测量；根据测量方式，可分为偏差式测量、零位法测量与微差法测量；根据被测量变化的快慢，可分为静态测量与动态测量；根据测量敏感元器件是否与被测介质接触，可分为接触测量与非接触测量；根据测量系统是否向被测对象施加能量，可分为主动测量与被动测量等。

(1) 直接测量。用事先分度或标定好的测量仪表，直接读取被测量值的方法称为直接测量。例如：用电磁式电流表测量电路的某一支路电流，用电压表测量电压，用温度计测量温度等，都属于直接测量。直接测量是工程技术中大量采用的方法，其优点是测量过程简单而且迅速，但是不易达到很高的测量精度。

(2) 间接测量。首先对与被测量有确定函数关系的几个量进行测量，然后将测量值代入函数关系式，经过计算得到所需结果，这种测量方法称为间接测量。例如：在测量直流功率时，根据 $P=UI$ ，先对 U 和 I 进行直接测量，再计算出功率 P 。间接测量手续多，花费时间长，一般用在直接测量不方便或没有相应直接测量仪表的场合。

(3) 组合测量。被测量必须经过求解联立方程组才能得到最后结果，这种测量方法称为组合测量。组合测量是一种特殊的精密测量方法，操作手续复杂，花费时间长，多用于科学实验等特殊场合。

(二) 误差的定义与分类

测量值与真值之间的差值称为测量误差，简称误差。

1. 误差的表示方法

利用任何量具或仪器进行测量时，总存在误差，测量结果总不可能准确地等于被测量的真值，而只是它的近似值。测量的质量高低以测量精确度作为指标，根据测量误差的大小来估计测量的精确度。测量结果的误差越小，则认为测量就越精确。

① 绝对误差：测量值 X 和真值 A_0 之差为绝对误差，通常称为误差。记为：

$$\Delta = X - A_0 \quad (1-9)$$

由于真值 A_0 一般无法求得，因而上式只有理论意义。常用高一级标准仪器的示值作为实际值 A 以代替真值 A_0 。由于高一级标准仪器存在较小的误差，因而 A 不等于 A_0 ，但总比 X 更接近于 A_0 。 X 与 A 之差称为仪器的示值绝对误差。记为

$$\Delta = X - A \quad (1-10)$$

与 Δ 相反的数称为修正值，记为

$$C = -\Delta = A - X \quad (1-11)$$

② 相对误差：衡量某一测量值的准确程度。示值绝对误差 Δ 与被测量的实际值 A 比值的百分比形式称为实际相对误差。记为

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (1-12)$$

以仪器的示值 X 代替实际值 A 的相对误差称为示值相对误差。记为

$$\gamma_X = \frac{\Delta}{X} \times 100\% \quad (1-13)$$

一般来说，除某些理论分析外，用示值相对误差较为适宜。

③ 引用误差：为了计算和划分仪表精确度等级，提出引用误差概念。其定义为仪表示值的绝对误差与量程范围之比。

$$\gamma_A = \frac{\text{示值绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{\Delta}{X_n} \times 100\% \quad (1-14)$$

式中： Δ ——示值绝对误差；
 X_n ——标尺上限值—标尺下限值。

2. 测量仪表精确度

精确度简称精度，测量仪表的精度等级是用最大引用误差（又称允许误差）来表示的。它等于仪表示值中的最大绝对误差与仪表的量程范围之比的百分数。

$$\gamma_{n\max} = \frac{\text{示值最大绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{\Delta_{\max}}{X_n} \times 100\% \quad (1-15)$$

式中： γ_{\max} ——仪表的最大引用误差；
 Δ_{\max} ——仪表示值的最大绝对误差；
 X_n ——标尺上限值—标尺下限值。

测量仪表的精度等级是国家统一规定的，把允许误差中的百分号去掉，剩下的数字就称为仪表的精度等级。仪表的精度等级常以圆圈内加数字的形式标注在仪表的面板上。例如：某台压力计的允许误差为 1.5%，这台压力计的精度等级就是 1.5，通常简称 1.5 级仪表。我国仪表的精度等级分 7 级：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。

设仪表的精度等级为 a ，它表明仪表在正常工作条件下，其最大引用误差的绝对值 δ_{\max}

不能超过的界限，即

$$\delta_{\max} = |\gamma_{n\max}| = \left| \frac{A_{\max}}{X_n} \times 100\% \right| \leq a\% \quad (1-16)$$

由式(1-16)可知，在应用仪表进行测量时所能产生的最大绝对误差（简称误差限）为

$$A_{\max} \leq a\% \cdot X_n \quad (1-17)$$

3. 误差分类

误差产生的原因多种多样，根据误差的性质和产生的原因，一般将误差分为三类：

(1) 系统误差。

系统误差是指在测量和实验中由未发觉或未确认的因素所引起的误差，而这些因素使结果永远朝一个方向偏移，其大小及符号在同一组实验测定中完全相同，当实验条件一经确定，系统误差就成为一个客观上的恒定值。当改变实验条件时，就能发现系统误差的变化规律。

系统误差产生的原因：测量仪器不良，如刻度不准，仪表零点未校正或标准表本身存在偏差等；周围环境的改变，如温度、压力、湿度等偏离校准值；实验人员的习惯和偏向，如读数偏高或偏低等引起的误差。

针对仪器的缺点、外界条件变化影响的大小、个人的偏向分别加以校正后，系统误差是可以消除的。

(2) 随机误差。

在已消除系统误差的测量系统中，所测数据仍在末一位或末两位数字上有差别，而且它们的绝对值和符号的变化时大时小、时正时负，没有确定的规律，这类误差称为偶然误差或随机误差。随机误差产生的原因不明，因而无法控制和补偿。但是，倘若对某一量值进行足够多的等精度测量后，就会发现随机误差完全服从统计规律，误差的大小或正负的出现完全由概率决定。因此，随着测量次数的增加，随机误差的算术平均值趋近于零，所以多次测量结果的算数平均值将更接近于真值。

(3) 粗大误差。

粗大误差是一种显然与事实不符的误差，它往往是由于实验人员粗心大意、过度疲劳和操作不正确等原因引起的。此类误差无规则可寻，只要加强责任心、细心操作，此类误差是可以避免的。

4. 精密度、准确度和精确度

反映测量结果与真实值接近程度的量，称为精度（亦称精确度）。它与误差大小相对应，测量的精度越高，其测量误差就越小。“精度”反映测量中所有系统误差和随机误差的综合影响程度，应包括精密度和准确度两层含义。

(1) 精密度：测量中所测得数值的重现性程度，称为精密度。它反映随机误差的影响程度，精密度高就表示随机误差小。

(2) 准确度：测量值相对于真值的偏移程度，称为准确度。它反映系统误差的影响程度，准确度高就表示系统误差小。

在一组测量中，精密度高的结果准确度不一定高，准确度高的结果精密度也不一定高，但精确度高，则精密度和准确度都高。

为了说明精密度与准确度的区别，可用下述打靶例子来说明，如图 1-7 所示。

图 1-7 (a) 表示精密度和准确度都很高，则精确度高；图 1-7 (b) 表示精密度很高，但准确度却不高；图 1-7 (c) 表示精密度与准确度都不高。

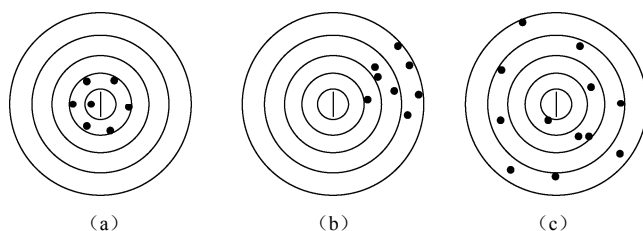


图 1-7 精密度和准确度的关系

项目总结

传感器作为自动检测系统中重要的测量装置，起着将被测量转换为具有一定精度的电信号的作用。传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成，有时还会外加辅助电源来提供转换能量。根据不同的分类标准，传感器可以有不同的分类。根据测量目的，测量对象及测量环境的不同，可以选择不同技术指标的传感器进行测量。传感器的特性包括静态特性和动态特性。

测量是指借助专门的技术与设备，通过实验和计算的方法取得被测物量值的过程。对于测量方法，从不同的角度，有不同的分类。测量值与真实值之间的差值称为测量误差，测量仪表的精度等级是国家统一规定的，把允许误差中的百分号去掉，剩下的数字就称为仪表的精度等级。

习 题

1. 填空题

- (1) 传感器一般由_____、_____、_____三部分组成，是能把外界_____转换成_____的装置。
- (2) 传感器按照转换能量供给形式分类，可分为_____和_____。
- (3) 表征传感器静态特性的主要参数有_____、_____、_____、_____、_____、_____和_____。
- (4) 传感器灵敏度的表达式是_____。

(5) 描述传感器线性度常用的直线拟合方法有_____、_____、_____、_____、_____。

(6) 分辨力是指传感器可能感受到的_____的最小变化的能力。

(7) 测量的结果包括_____、_____、_____三个要素。

(8) 根据获得测量值的方法，测量可分为_____、_____和_____。

2. 选择题

(1) 若将计算机比喻成人的大脑，那么传感器则可以比喻为（ ）。

- A. 眼睛 B. 感觉器官 C. 手 D. 皮肤

(2) 能完成接收和信号转换的装置称（ ）。

- A. 传感器 B. 记录仪器 C. 试验装置 D. 数据处理装置

(3)（ ）是指传感器中能直接感受被测量的部分。

- A. 传感元件 B. 敏感元件 C. 测量电路

(4) 传感器主要完成两个方面的功能，检测和（ ）。

- A. 测量 B. 感知 C. 信号调节 D. 转换

(5) 传感器感知的输入变化量越小，表示传感器的（ ）。

- A. 线性度越好 B. 迟滞越小 C. 重复性越好 D. 灵敏度越高

(6) 传感器的静态特性参数不包括（ ）。

- A. 线性度 B. 灵敏度 C. 频率响应 D. 重复性

(7) 属于传感器静态特性参数的是（ ）。

- A. 固有频率 B. 临界频率 C. 阻尼比 D. 重复性

(8) 传感器的（ ）是指传感器的输出与输入之间的线性程度。

- A. 线性度 B. 灵敏度 C. 迟滞 D. 重复性

(9) 传感器所测量的物理量稳态形式的信号不随（ ）变化。

- A. 频率 B. 相位 C. 幅度 D. 时间

3. 问答题

(1) 什么叫传感器？它由哪几部分组成？说出各部分的作用及其相互间的关系。

(2) 传感器的命名构成原则是什么？

(3) 传感器的静态特性指什么？衡量传感器的性能指标主要有哪些？

(4) 简述传感器的作用、地位及传感器技术的发展方向。

4. 计算题

(1) 某传感器相对误差为 2%FS，满刻度输出为 50mV，求可能出现的最大误差 δ （以 mV 计）。当传感器使用在满刻度的 1/2 和 1/8 时，计算可能产生的误差，并由此说明使用传感器选择适当量程的重要性。

(2) 某线性位移测量仪，当被测位移由 4.5mm 变到 5.0mm 时，位移测量仪的输出电压由 3.5V 减至 2.5V，求该仪器的灵敏度。