

传感器与测量系统

在我们的生活中到处都能遇到测量的问题,工业、商业、医学以及许多科学研究工作均需要准确的测量。传感器能将被测对象的被测量参数转换成为电信号,从而成为测量系统的基础。从应用的角度来看,传感器与测量系统是分不开的。本章将介绍传感器与测量系统的基本概念、传感器的基本特性,并就如何学习以及在实际中应用传感器方面的专业知识给出一些建议。

1.1 基本概念

1.1.1 测量系统

系统这一术语在众多的工程领域,甚至在社会、经济和文化领域中被广泛使用。那么,什么是系统?在金山词霸上给出的解释是“按一定的关系组成的同类事物”。而英文解释则为:“A group of interacting, interrelated, or interdependent elements forming a complete whole.”这个解释与郑君里在《信号与系统》一书中给出的解释基本相同,即系统是“由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成的具有特定功能的整体”。实际上,系统常常看作为实现某种目的而互相作用的一组事物的集合,是人们从周围世界中孤立出来的、相对于“环境”而存在的、具有一定结构的元素所组成的集合。从这个意义上讲,大到通信系统、控制系统、计算机系统,小到由若干个元件组成的电路,都可以称为系统。系统的种类繁多,规模与复杂程度也不一样。想要完整地了解一个系统的性质,自然是考虑的因素越全面越好。但考虑的因素过多无疑会增加系统分析的难度,甚至以目前的知识及分析手段无法得到有用的分析结论。因此,在解决具体工程问题时,常常把考虑问题的范围缩小。这样,虽然会在一定程度上损害对系统了解的完整性和精确性,但却比较容易对系统特性得到一个有实用意义的分析结论。

从工程应用的角度来看,系统是指用来完成一个或多个功能所需两个或多个元件、子

系统和部件的组合。测量系统的作用就是以客观和实验的方式对客体或事件的特性、品质加以定量描述。因此,测量系统必须具备两方面的特性。

(1) 客观性: 测量结果必须不依赖于观察者;

(2) 实验性: 测量结果必须以实验为依据,通过实验方式获取。

例如,比较两个客体对象的某一性质,必须对两个客体对象的同一性质进行相同参数的测量,才能通过对测量所得数值结果的计算,得到两者品质优劣的比较结果。

测量的目的一般有两个。其一是用于客体对象的监测,例如对室内环境温度/湿度的测量、环境中大气压力及空气污染物的测量、医院中病人状态的监测等。另一个目的则是用于控制。

图 1-1 所示为一个典型的测控系统。主要包括: 测控对象(物理/化学参量)、传感器、信号调理(放大及线性化等)、信号转换与处理、执行器、显示/存储/传输等几个部分。

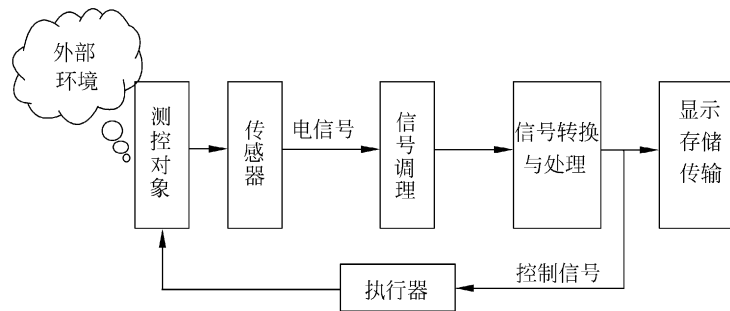


图 1-1 测量控制系统构成图

被测参量是指测控对象的指定物理/化学参量,如温度、湿度、压力、气体成分含量等。在系统整体性能的一般讨论中,具体是哪个参量可能并不是太重要,然而对于有明确应用的测控系统,对具体被测参量的特殊性质必须给予充分考虑。例如,在夏季用电高峰时期,电网负荷高,变压器经常超负荷运转,其内部油的温度可能超出设计极限,导致变压器工作不正常,甚至烧毁爆炸,因此必须对变压器油温进行监控。但变压器内部电磁环境复杂,而且易燃易爆,所采用的传感器必须具有很好的抗电磁干扰和耐腐蚀、耐高温特性,且传感器探头本身最好不带电。这种情况下,传感器探头本身不带电的光纤温度传感器比起其他温度传感器来就有明显优势: 传感器电路及信号处理、通信等单元模块等可通过光纤连接放在远处。再比如,大型水库的堤坝建设,需要对堤坝中的应力进行连续多年的长期监测,因此在建设过程中需要预埋测量应力的传感器。由于电路元器件的抗腐蚀、抗温度变化等方面的问题,预埋的传感器中最好不要带有检测电路,因此传统的振弦式传感器仍然是首选。

传感器的性能好坏直接影响系统性能。如果传感器不能灵敏地感受被测量,或者不

能把感受到的被测量精确地转换成电信号,其他仪表和装置的精确度再高也无意义。这一点在现代仪器系统中表现尤其明显。计算机,尤其是单片机及嵌入式系统的快速发展,测量数据的智能化快速处理及显示存储早已经不是什么困难的事情,但前提是系统必须由传感器提供准确可靠的信息。如果传感器的水平与计算机的水平不相适应,计算机便不能充分发挥应有的作用和效益。

信号调理是测控系统的重要组成部分,它将传感器的输出电信号转换为适合于传输、显示或记录的信号,能更好地满足后续电路或装置对输入信号的要求。信号调理通常包括:信号放大、电平调节、滤波、阻抗匹配、信号调制/解调等。信号调理环节是传感器标准化的重要基础。

随着数字电路技术的发展,越来越多的测控系统中采用了数字电路。由于大多数传感器的输出信号、执行器的输入信号往往为模拟量,因此以模拟/数字转换(ADC)及数字/模拟转换(DAC)为代表的数字转换技术在测控系统中的位置越来越重要。微型传感器(microsensor)技术的发展,使得在同一芯片上集成敏感元件、信号检测电路乃至整个测量系统成为可能。这种高集成度的微系统大量采用了数字电路技术,而电压/频率(V/F)转换及频率/电压(F/V)转换技术由于容易实现,成为模拟量与数字量之间进行转换的首选。

1.1.2 传感器

所谓传感器(sensor),是指将感受到的物理量、化学量等信息,按照一定规律,转换成便于测量和传输的信号装置。由于电信号易于传输和处理,所以一般概念上的传感器是指将非电量转换成电信号输出的元件或装置。

与传感器相关的还有另外一个常见名词:换能器(transducer),在有些产品介绍甚至学术文献中经常与传感器混同使用。顾名思义,换能器的功能在于将信号从一种物理形式变换为另一种不同物理形式的相应信号。一般地,自然界中信号的物理形式有六种,即机械、热、电、磁、化学以及辐射(包括光在内的微粒辐射和电磁辐射)。所以,将一类信号变换成另一类信号的任何装置都可称为换能器。从这一意义上讲,换能器可以说是传感器的另一种定义形式。不过,传感器的含义侧重于扩展人们获取那些感官所不能察觉的物理量信息的能力,而换能器则意味着输入量与输出量不一样。另外,执行器(actuator)将电信号转换为机械量等其他形式的信号,也包括在换能器的范围内。因此,换能器实际上包括两种形式,即输入换能器(物理信号/电信号)与输出换能器(电信号/执行或显示)。前者一般称为传感器或探测器,专用于信息的采集;后者则以执行器为主,主要用于功率转换。

其他常见的名词还有以下几种。

1. 敏感元件

敏感元件是能够灵敏地感受被测量并做出响应(未必是电信号)的元件。为了获取被

测变量的精确数值,不仅要求敏感元件对所测变量的响应足够灵敏,还希望它不受或少受环境因素的影响。敏感元件与传感器的区别在于,传感器不但对被测变量敏感,而且能把相应的响应以电信号,如电压、电流、频率等形式传出去。

2. 变送器

变送器是从传感器发展而来的,凡能输出标准信号的传感器都称为变送器。常用的标准信号为 $0\sim 5\text{V}$ 电压信号或 $4\sim 20\text{mA}$ 的电流信号。此外,以输出数字量为特征的、满足某种传输协议(如现场总线协议)的变送器,也逐步在各种工业测控领域得到推广应用。

3. 转换器

转换器是输出为非标准信号的传感器,必须和特定的仪器或装置配套,才能实现检测或调节功能。为了加强通用性和灵活性,某些传感器的输出可以靠转换器将输出由非标准信号变成标准信号,使之与带有标准信号输入电路或接口的仪表配套,从而实现检测或调节功能。

4. 微传感器(microsensor)

微传感器是基于 MEMS 技术的新型传感器,其敏感元件的典型尺寸为 $0.1\sim 100\mu\text{m}$ 。微传感器不是传统传感器按比例缩小的产物,其理论基础、结构工艺、设计方法等有许多自身的特殊现象和规律。

5. 灵巧(smart)传感器

灵巧传感器是把敏感元件、信号处理电路、处理单元和通信单元等集成在一起的传感器,可看作是计算机化的传感器。能进行智能化处理的灵巧传感器也称为智能(intelligent)传感器。

如图 1-2 所示为一种利用微加工工艺制作出的电容式压力传感器的原理图。电容式压力传感器在电学特性上表现为一个具有极板间距随压力变化的平板电容器,在外部压力作用下,压力敏感膜片产生变形,引起极板间距变化,将压力转化为平板电容值的变化。因此,检测出电容量即可得到相应的被测压力值。

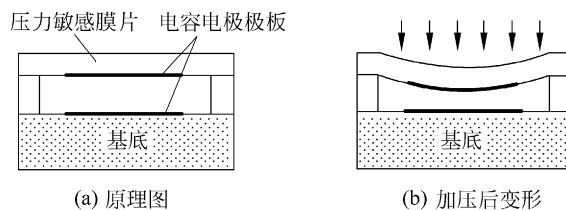


图 1-2 电容式压力传感器原理图

对照前文所述的概念,图 1-2 所示即为敏感元件,欲实现压力测量,还需加上相应

的电容测量电路。为测量方便起见,测量电路的输出应与被测压力成线性关系。我们知道,电容量的变化是与电容的极板间距成反比的,因此传感器的检测电路中一般有非线性调理模块,对原始输出进行非线性校正。如输出量为线性的标准电信号,则成为压力变送器。压力变送器直接面向具体用户,因此不仅需要有标准的输出信号,而且在机械安装以及与后续仪器仪表的连接电缆及接插件等方面均需标准化。相应地,压力变送器的价格也比较高。有些压力变送器中还加入单片机以实现数字化非线性补偿、温度补偿乃至数字化通信等功能,成为灵巧传感器。需要特别指出的是,图 1-2 所示的结构实际上与传统的利用机械制造工艺制作出的传感器结构是类似的,但由于采用了微细加工工艺,可顺利实现敏感元件与测量电路的集成化。而由于电路的制作与敏感元件的加工相互交叉、同时进行,且微细加工工艺中可采用的材料有限,因此加工过程中的工艺兼容、非线性补偿、零点和满量程调节以及温度补偿等问题都需要特殊考虑。

1.1.3 信号调理

传感器所产生的电信号一般非常弱,必须经过放大处理后才能利用电缆线传输到数据获取(data acquisition, DAQ)模块进行进一步处理。有些传感器的输出信号虽然强,但许多 DAQ 部件的输入范围固定(如: $\pm 10\text{V}$, $0\sim 5\text{V}$ 等),与传感器的输出范围往往不符,必须对传感器的输出范围进行再调整。此外,传感器信号中的无用噪声必须尽可能过滤掉或最小化以得到“干净”的信号。所谓信号调理,即对传感器的输出信号进行再加工,使其更适合于后续的信号传输及处理。

信号调理单元在测量系统中的位置如图 1-3 所示。实际上,信号调理与检测电路之间的界限并不一定很清楚,有时还会合二为一,因此有些文献中也将电阻抗-电压转换电路,如电阻、电感、电容等的检测电路归为信号调理电路。

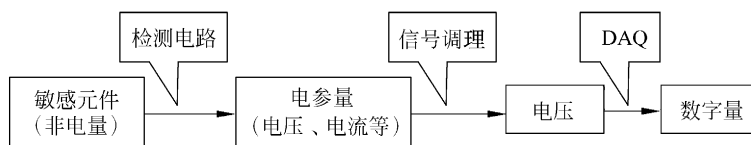


图 1-3 信号调理在测量系统中的位置

图 1-4 所示为一个典型的信号获取系统。一般来说,信号调理大致可分为四种类型,即电平调整、线性化、信号形式变换、滤波及阻抗匹配。

电平调整是最简单的信号调理,最常见的例子是如图 1-4 中对电压信号进行的放大(或衰减)。此外还包括传感器零位电压的调整等。

线性化是针对传感器的非线性特性的信号调理。虽然传感器的种类繁多,但面对具