

第3章

物联网传感器技术

传感器技术是物联网的基础技术之一,处于物联网构架的感知层。随着物联网的发展给传统的传感器发展带来了前所未有的挑战,作为构成物联网的基础单元——传感器,在物联网信息采集层面,能否完成它的使命,成为物联网成败的关键。传感技术与现代化生产和科学技术的密切关系,使传感技术成为一门十分活跃的技术学科,几乎渗透到人类的一切活动领域,发挥着越来越重要的作用。本章将简要地介绍几种常用的传感器,包括温度传感器、湿度传感器、超声波传感器、气敏传感器等,着重介绍各种传感器的类型、作用等。未来MEMS、MOEMS(微光机电系统)将成为物联网的技术核心,使无线传感网、光网快速加入物联网的应用系统,为其提供更明确的应用方向和更丰富的市场机会,物联网也将成为传感器市场的新引擎。所以,本章还将介绍MEMS的特点、应用以及常用的MEMS传感器。最后,简要介绍一下传感器的接口技术。

3.1 传感器基础知识

3.1.1 传感器的概念

传感技术与信息科学息息相关,在信息科学领域里,传感器被认为是生物体“五官”的工程模拟物。它是自动检测和自动转换技术的总称。它是以研究自动检测系统中的信息获取、信息转换和信息处理的理论和技术为主要内容的,一门综合性的、技术学科与计算机、通信和自动化控制技术构成的一条从信息的采集、处理、传输到应用的完整信息链。

传感器是一种能把特定的被测信号,按一定规律转换成某种可用信号输出的器件或装置,以满足信息的传输、处理、记录、显示和控制等要求。这里“可用信号”是指便于处理、传输的信号,一般为电信号,如电压、电流、电阻、电容、频率等。在我们每个人的生活里处处都在使用着各种各样的传感器,如电视机、音响、VCD、空调遥控器等所使用的是红外线传感器;电冰箱、微波炉、空调机温控所使用的是温度传感器;家庭使用的煤气灶、燃气热水器报警所使用的是气体传感器;家用摄像机、数码照相机、上网聊天视频所使用的是光电传感器;轿车所使用的传感器就更多,如速度、压力、油量、角度线性位移传感器等。这些传感器的共同特点是利用各种物理、化学、生物效应等实现对被测信号的测量。由此可见在传感器中包含两个不同的概念,一是检测信号;二是能把检测的信号转换成一种与被测量有对应的函数关系的、而且便于传输和处理的物理量。如我们家庭常使用的遥控器是把光信号转

换成电信号；楼道照明的声控开关是把声音转换成电信号。所以传感器又经常被称为变换器、转换器、检测器、敏感元件、换能器等，这些不同的称谓反映在不同的学科领域中是根据同一类型的器件在不同领域中的应用而得来的。

近年来，由于信息科学和半导体微电子技术的不断发展，使传感器与微处理器、微机有机地结合传感器的概念，又得到了进一步的扩充。如智能传感器，它是集信息检测和信息处理于一体的多功能传感器。与此同时在半导体材料的基础上，运用微电子加工技术发展起各种门类的敏感元件，它们被称为固态敏感元件，如光敏元件、力敏元件、温敏元件、磁敏元件、压敏元件、气敏元件、物敏元件等。随着光通信技术的发展，近年来利用光纤的传输特性已研究开发出不少光纤传感器。

目前传感器技术的含义在不断扩充和发展，已成为一个综合性的交叉学科，涉及国防、工业、农业、民用等各个领域，所以传感器是高智能技术的标志，也是现代科学发展的基础。

3.1.2 传感器的作用

随着现代科学技术的高速发展，人类已进入瞬息万变的信息时代，人们在从事工农业生产和科学实验等工作中，常常需要对信息资源进行开发、采集、传输等处理。在物联网中，传感器处于研究对象与检测系统的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口，它提供物联网系统赖以进行决策和处理所必需的原始数据。

1. 传感器在工业自动化系统中的作用

在工业自动化生产过程中以传感器-微机为核心的自动检测与控制系统正在石油、电力、航天、冶金、机械制造、动力机械、化工、生物等领域得到广泛的应用。

2. 传感器在航空航天中的作用

飞机、火箭、宇宙飞船等飞行器上要使用传感器对飞行速度方向、飞行姿态进行检测。

3. 传感器在资源探测与环境保护中的作用

传感器用于陆地、海洋、太空资源以及空间环境、气象等方面的测量以便于开发与利用，如测定农田土地状态、作物分布；掌握森林资源、渔业资源、海洋资源等。在环境保护方面可用于对大气、水质污染、放射性、噪声的检测等。

4. 传感器在医学领域中的作用

传感器在医学上可用于对人体温度、血压及腔内压力、血液及呼吸流量、心脑电波、脉搏及心音等进行高准确度的检测，还能实现对患者的自动检测和监护。

5. 传感器在家用电子产品中的作用

传感器在家用电器中得到广泛的应用，如电冰箱、微波炉、洗衣机、影院、数码相机、液晶电视等都用到各种不同的传感器。

6. 传感器在军事领域里的作用

利用红外线可以探测地形、地物和军事目标,红外雷达可以搜索、跟踪、测距,可以搜索到上千公里外的目标,等等。

3.1.3 传感器的组成

传感器由两个基本元件组成:敏感元件与转换元件。

在完成非电量到电量的变换过程中,并非所有的非电量参数都能一次直接变换为电量,往往是先变换成一种易于变换成电量的非电量(如位移、应变等),然后再通过适当的方法变换成电量。所以把能够完成预变换的器件称为敏感元件。在传感器中,建立在力学结构分析上的各种类型的弹性元件(如梁、板等)统称为弹性敏感元件。而转换元件是能将感觉到的被测非电量参数转换为电量的器件,如应变计、压电晶体、热电偶等。转换元件是传感器的核心部分,是利用各种物理、化学、生物效应等原理制成的。新的物理、化学、生物效应的发现常被用到新型传感器上,使其品种与功能日益增多、应用领域更加广泛。

应该指出的是,并不是所有的传感器都包括敏感元件与转换元件,有一部分传感器不需要起预变换作用的敏感元件,如热敏电阻、光电器件等。传感器的基本组成如图 3-1 所示。

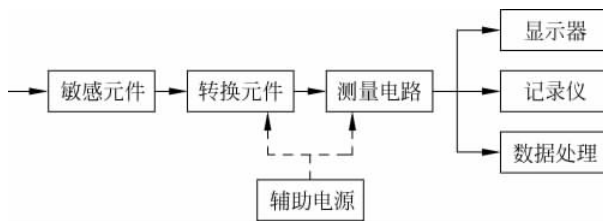


图 3-1 传感器的基本组成

3.1.4 传感器的分类

传感器的分类方法很多,比较常见的有下列几种。

1. 按输入量(被测对象)分类

输入量即被测对象,按此方法分类,传感器可分为物理量传感器、化学量传感器和生物量传感器三大类。其中物理量传感器又可分为温度传感器、压力传感器、位移传感器等。这种分类方法使使用者可以方便容易地根据被测对象来选择所需要的传感器。

2. 按输出量分类

传感器按输出量不同,可分为模拟式传感器和数字式传感器两类。模拟式传感器是指传感器的输出信号为模拟量。数字式传感器是指传感器的输出信号为数字量。

3. 按基本效应分类

根据传感技术所蕴涵的基本效应,可以将传感器分为物理型、化学型、生物型。

物理型是指依靠传感器的敏感元件材料本身的物理特性变化来实现信号的变换,如水银温度计是利用水银的热胀冷缩现象,把温度变化转变为水银柱的高低变化,从而实现对温度的测量。

化学型是指依靠传感器的敏感元件材料本身的电化学反应来实现信号的变换,如气敏传感器、湿度传感器。

生物型是利用生物活性物质选择性的识别来实现测量,即依靠传感器的敏感元件材料本身的生物效应来实现信号的变换。待测物质经扩散作用,进入固定化生物敏感膜层,经分子识别,发生生物学反应产生的信息,被相应的化学或物理换能器,转变成可定量和可处理的电信号,如本部传感器、免疫传感器。

4. 按工作原理分类

传感器可按其工作原理命名,如应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、热电式传感器等。这种分类方法通常在讨论传感器的工作原理时使用。

5. 按能量变换关系分类

按能量变换关系分类,传感器可分为能量变换型传感器和能量控制型传感器。

能量变换型传感器又称为发电型或有源型传感器,其输出端的能量是由被测对象取出的能量转换而来的。它无须外加电源就能将被测的非电量转换成电能量输出;它无能量放大作用且要求从被测对象获取的能量越小越好。这类传感器包括热电偶、光电池、压电式传感器、磁电感应式传感器、固体电解质气敏传感器等。

能量控制型传感器又称为参量型或无源型传感器。这类传感器本身不能换能其输出的电能量,必须由外加电源供给,而不是由被测对象提供的。但被测对象的信号控制着由电源提供给传感器输出端的能量,并将电压(或电流)作为与被测量相对应的输出信号。由于能量控制型传感器的输出能量,是由外加电源供给的。因此传感器输出端的电能,可能大于输入端的非电能量。所以,这种传感器具有一定的能量放大作用。属于这种类型的传感器包括电阻式、电感式、电容式、霍尔式、谐振式和某些光电传感器等。

3.1.5 传感器的基本特性

1. 静态特性

传感器的静态特性是指被测量的值处于稳定状态时的输出和输入关系。只考虑传感器的静态特性时,输入量与输出量之间的关系式中不含有时间变量。衡量静态特性的重要指标是线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。

(1) 线性度

传感器的线性度是指传感器实际输出-输入特性曲线与理论直线之间的最大偏差与输出满度值之比,即

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta_{\max}}{Y_m} \times 100\%$$

式中, γ_L 是线性度; $\Delta_{\max}$ 是最大非线性绝对误差; Y_m 是输出满度值。

线性度又称为非线性误差。通常总是希望输出-输入特性曲线成为线性,但实际的输出-输入特性只能接近线性,实际曲线与拟合直线之间存在的偏差就是传感器的非线性误差。

(2) 灵敏度

传感器的灵敏度是指传感器在稳定标准条件下输出变化量与输入变化量的比值,即

$$K = \frac{d_y}{d_x}$$

式中, K 是灵敏度,线性传感器的灵敏度是个常数; d_y 是输出量的变化量; d_x 是输入量的变化量。

(3) 迟滞

传感器的迟滞是指传感器输入量增大行程期间和输入量减小行程期间,输出-输入特性曲线不重合的程度。产生迟滞现象的主要原因是传感器的机械部分不可避免地存在着间隙、摩擦及松动等。

(4) 重复性

传感器的重复性是指传感器输入量在同一方向做全量程内连续重复测量所得输出-输入特性曲线不一致的程度。产生不一致的原因与产生迟滞现象是相同的。

下面举一例说明。

【例 3-1】 液体温度传感器是一阶传感器,现已知某玻璃水银温度计特性的微分方程式为

$$4 \frac{d_y}{d_x} + 2y = 2 \times 10^{-3}x$$

式中, y 是水银柱高(m); x 是被测温度($^{\circ}\text{C}$)。

试确定该温度计的时间常数及静态灵敏度。

解 一阶传感器的方程式为

$$a_1 \frac{d_y}{d_x} + a_0 y = b_0 x$$

或为

$$(\tau s + 1)y = kx$$

式中, $\tau = a_1/a_0$ 是时间常数; $k = b_0/a_0$ 是静态灵敏度。

于是可得,温度计的时间常数 $\tau = 2\text{s}$,静态灵敏度为

$$k = 10^{-3} \text{m}/^{\circ}\text{C} = 1 \text{mm}/^{\circ}\text{C}$$

2. 动态特性

传感器的动态特性,是指其输出对随时间变化的输入量的响应特性。当被测量随时间变化,即是时间的函数时传感器的输出量,也是时间的函数。它们之间的关系要用动态特性来表示。一个动态特性好的传感器,其输出将再现输入量的变化规律,即具有相同的时间函数。实际上,除了具有理想的比例特性外,输出信号将不会与输入信号具有相同的时间函

数,这种输出与输入间的差异,就是所谓的动态误差。

3.2 几种常用传感器介绍

传感器种类有很多,按照不同的分类方法,有不同的种类,将各种传感器介绍如表 3-1。下面主要介绍常用传感器的基本知识和原理。

表 3-1 传感器的分类

按 被 测 量 分 类	物理量传感器	力学量	压力传感器、力传感器、力矩传感器、速度传感器、加速度传感器、流量传感器、位移传感器、位置传感器、尺度传感器、密度传感器、粘度传感器、硬度传感器、浊度传感器
		热学量	温度传感器、热流传感器、热导率传感器
		光学量	可见光传感器、红外光传感器、紫外光传感器、照度传感器、色度传感器、图像传感器、亮度传感器
		磁学量	磁场强度传感器、磁通传感器
		电学量	电流传感器、电压传感器、电场强度传感器
		声学量	声压传感器、噪声传感器、超声波传感器、声表面波传感器
		射线	x 射线传感器、 β 射线传感器、 γ 射线传感器、辐射剂量传感器
	化学量传感器	离子传感器、气体传感器、湿度传感器	
	生理量传感器	生物量	体压传感器、脉搏传感器、心音传感器、体温传感器、血流传感器、呼吸传感器、血容量传感器、体电图传感器
		生化量	酶式传感器、免疫血型传感器、微生物型传感器、血气传感器、血液电解质

3.2.1 温度传感器

1. 基本概念

温度是表征物体冷热程度的物理量。在人类社会的生产、科研和日常生活中温度的测量都占有重要的地位。温度传感器用于家电产品中的空调、干燥器、电冰箱、微波炉等,还可用来控制汽车发动机如测定水温、吸气温度等,也广泛用于检测化工厂的溶液和气体的温度。但是温度不能直接测量,只能通过物体随温度变化的某些特性来间接测量。

用来度量物体温度数值的标尺叫温标。它规定了温度的读数起点(零点)和测量温度的基本单位。目前国际上用得较多的温标有华氏温标、摄氏温标、热力学温标和国际实用温标。

温度传感器有各种类型,根据敏感元件与被测介质接触与否可分为接触式和非接触式两大类。按照传感器材料及电子元件特性分为热电阻和热电偶两类。在选择温度传感器时,应考虑到诸多因素,如被测对象的湿度范围、传感器的灵敏度、精度和噪声、响应速度、使用环境、价格等。下面主要对接触式和非接触式传感器进行介绍。

(1) 接触式温度传感器

接触式温度传感器的检测部分与被测对象有良好的接触,又称温度计。

温度计通过传导或对流达到热平衡,从而使温度计的示值能直接表示被测对象的温度。一般测量精度较高。在一定的测温范围内温度计也可测量物体内部的温度分布。但对于运动体、小目标或热容量很小的对象,则会产生较大的测量误差,常用的温度计有双金属温度计、玻璃液体温度计、压力式温度计、电阻温度计、热敏电阻和温差电偶等。它们广泛应用于工业、农业、商业等部门。在日常生活中人们也常常使用这些温度计。随着低温技术在国防工程、空间技术、冶金、电子、食品、医药和石油化工等部门的广泛应用和超导技术的研究,测量 120K 以下温度的低温温度计得到了发展,如低温气体温度计、蒸汽压温度计、声学温度计、量子温度计、低温热电阻和低温温差电偶等。低温温度计要求感温元件体积小、准确度高、复现性和稳定性好。利用多孔高硅氧玻璃渗碳烧结而成的渗碳玻璃热电阻,就是低温温度计的一种感温元件,可用于测量 1.6~300K 范围内的温度。

(2) 非接触式温度传感器

非接触式温度传感器的敏感元件与被测对象互不接触,又称非接触式测温仪表。这种仪表可用来测量运动物体、小目标和热容量小或温度变化迅速(瞬变)对象的表面温度,也可用于测量温度场的温度分布。

最常用的非接触式测温仪表,基于黑体辐射的基本定律称为辐射测温仪表。辐射测温法包括亮度法(见光学高温计)、辐射法(见辐射高温计)和比色法(见比色温度计)。各类辐射测温方法只能测出对应的光度温度、辐射温度或比色温度。只有对黑体(吸收全部辐射并不反射光的物体)所测温度才是真实温度。如欲测定物体的真实温度,则必须进行材料表面发射率的修正。而材料表面发射率,不仅取决于温度和波长,而且还与表面状态、涂膜和微观组织等有关,因此很难精确测量。在自动化生产中,往往需要利用辐射测温法,来测量或控制某些物体的表面温度,如冶金中的钢带轧制温度、锻件温度和各种熔融金属在冶炼炉或坩埚中的温度。在这些具体情况下,物体表面发射率的测量是相当困难的。对于固体表面温度自动测量和控制,可以采用附加的反射镜,使与被测表面一起组成黑体空腔。附加辐射的影响,能提高被测表面的有效辐射和有效发射系数。利用有效发射系数,通过仪表对实测温度进行相应的修正,最终可得到被测表面的真实温度。

2. 常用温度传感器的介绍

(1) DS18B20 数字温度传感器

采用美国 DALLAS 公司生产的 DS18B20 可组网数字温度传感器芯片封装而成,具有耐磨、耐碰、体积小、使用方便、封装形式多样,适用于各种狭小空间数字测温和控制领域,如图 3-2 所示。

DS18B20 的数字温度计提供 9~12 位可编程设备温度读数。信息从 DS18B20 通过 1 线接口中央微处理器被发送到为读写以及温度转换可以从数据线本身获得能量不需要外接电源。因为每一个 DS18B20 包含一个独特的序号,多个 DS18B20 可以同时存在于一条总线。这使得温度传感器放置在许多不同的地方。它的用途很多,包括环境控制,感测建筑物内温并进行过程监测和控制。

DS18B20 数字温度传感器产品型号主要包括 TS-18B20、TS-18B20A、TS-18B20B。

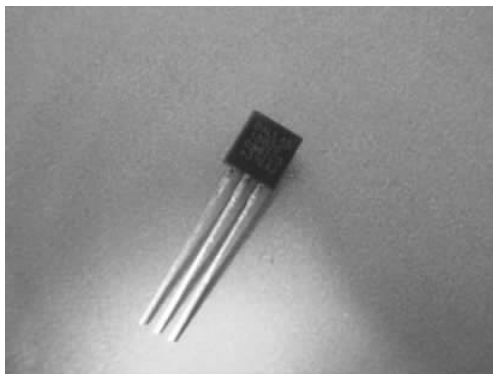


图 3-2 DS18B20 数字温度传感器

(2) AD590 温度传感器

AD590 是美国模拟器件公司的电流输出型温度传感器,供电电压范围为 $3\sim 30\text{V}$,输出电流 $223\mu\text{A}(-50^{\circ}\text{C})\sim 423\mu\text{A}(+150^{\circ}\text{C})$,灵敏度为 $1\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$ 。当在电路中串接采样电阻 R 时, R 两端的电压可作为输出电压。注意 R 的阻值不能取得太大,以保证 AD590 两端电压不低于 3V 。AD590 输出电流信号传输距离可达到 1km 以上。作为一种高阻电流源,最高可达 $20\text{M}\Omega$,所以它不必考虑选择开关或 CMOS 多路转换器所引入的附加电阻造成的误差。适用于多点温度测量和远距离温度测量的控制。

3.2.2 湿度传感器

随着时代的发展,湿度及对湿度的测量和控制对人们的日常生活显得越来越重要。如气象、科研、农业、暖通、纺织、机房、航空航天、电力等部门,都需要采用湿度传感器来进行测量和控制,对湿度传感器的性能指标要求也越来越高,对环境温、湿度的控制以及对工业材料水分值的监测与分析都已成为比较普遍的技术条件之一。

1. 基本概念

大气的干湿程度通常用绝对湿度和相对湿度来表示。

绝对湿度指的是大气中水汽的密度,即单位大气中所含水汽的质量。由于直接测量水汽的密度比较复杂,而在一般情况下,水汽的密度与大气中水汽的压强数值十分接近。所以,通常大气的绝对湿度用大气的压强来表示,用符号 D 表示,单位为 mmHg 。

相对湿度指空气中水汽压与饱和水汽压的百分比,湿空气的绝对湿度与相同温度下可达到的最大绝对湿度之比。也可表示为湿空气中水汽压力与相同温度下饱和水汽压力之比。

降低温度可使未饱和水汽变成饱和水汽。露点就是指使大气中原来所含有的未饱和水汽变成饱和水汽所必须降低的温度值。因此只要能测出露点,就可以通过一些数据表查得当时大气的绝对湿度。

当大气中的未饱和水汽接触到温度较低的物体时,就会使大气中的未饱和水汽达到或接近饱和状态,在这些物体上凝结成水滴。这种现象被称为结露,对电子设备和产品有害。

2. 湿度传感器的分类

水分子具有较大的电偶极矩。在氢原子附近有极大的正电场,因而它具有很大的电子亲和力,使得水分子易于吸附在固体表面并渗透到固体内部。利用水分子这一特性制成的湿度传感器称为水分子亲和力型传感器。而把与水分子亲和力无关的湿度传感器,称为非水分子亲和力型传感器。在现代工业测量中使用的湿度传感器大多是水分子亲和力型传感器。它们将湿度的变化转换成阻抗或电容值的变化后输出。图 3-3 是湿度传感器的分类示意图。

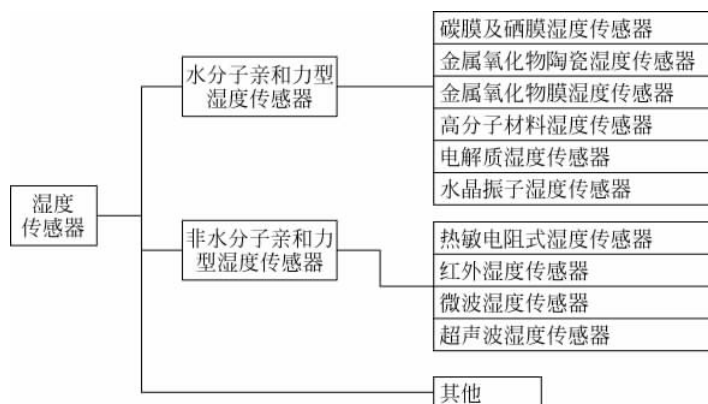


图 3-3 湿度传感器的分类

由于湿度传感器种类繁多,下面主要介绍有机高分子湿度传感器。

高分子湿敏材料是利用自身的吸湿性及离子导电性。它的特点是:测湿范围宽,可借用已有的技术及薄膜制造技术,在同一基片上同时制造出许多芯片,因此一致性好。这样就可以低成本、小型化、质量轻,有利于湿度传感器与外围电路的一体化、集成化和智能化。

有机高分子湿度传感器的种类繁多,按照原理可分为电学量变化型和质量变化型两大类。目前常用的是电学量变化型,即高分子电阻式湿度传感器和高分子电容式湿度传感器。分别对它们进行简要的介绍。

(1) 电阻式湿度传感器

电阻式湿度传感器的敏感元件为湿敏电阻,其主要材料一般为电介质、半导体、多孔陶瓷、有机物及高分子聚合物。这些材料对水的吸附较强,其吸附水分多少随湿度而变化。而材料的电阻率(或电导率)也随吸附水分的多少而变化。这样,湿度的变化可导致湿敏电阻阻值的变化,电阻值的变化就可转化为需要的电信号。例如氯化锂湿敏电阻,它是在绝缘基板上形成一对电极,涂上潮解性盐-氯化锂的水溶液而制成的。氯化锂的水溶液在基板上形成薄膜。随着空气中水蒸气含量的增减,薄膜吸湿脱湿,溶液中盐的浓度减小或增大,电阻率随之增大或减小,两极间电阻也就增大或减小。又如 $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ 多孔陶瓷湿敏电阻,它是由 TiO_2 和 MgCr_2O_4 在高温下烧制而成的多孔陶瓷,陶瓷本身是由许多小晶粒构成的。其中的气孔多与外界相通,相当于毛细管,通过气孔可以吸附水分子。在晶界处水分子被化学吸附时,有羟基和氢离子形成羟基又可对水分子进行物理吸附,从而形成水的多分子层,此时形成极高的氢离子浓度。环境湿度的变化会引起离子浓度变化,从而导致两极间电阻

的变化。

高分子电阻式湿度传感器结构如图 3-4 所示。水吸附在有极性基的高分子膜上,开始主要吸附在极性基上,虽然水与它结合得很强,但是随着湿度的增大和吸附量的增加,基团化自由度增大,水呈液体状态。在低湿下测定高分子湿度传感器的电阻时,因吸附量小,不能产生荷电离子,所以电阻值很高;然而当相对湿度增加时,吸附量也增加,集团化的吸附水就成为导电通道,高分子电解质的正负离子对主要起载流子作用。此外,由吸附水自身离解出的质子(H^+)及水和氢离子(H_3O^+)也起电荷载流子作用,这就使分子湿度传感器的电阻值急剧下降。利用这种原理制成的湿度传感器就叫做电阻式湿度传感器。

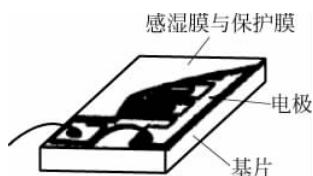


图 3-4 高分子电阻式湿度传感器结构

高分子湿度传感器,在 $0\sim 100\%RH$ 湿度范围,电阻的变化为 $10^7\sim 10^2\Omega$ 。全湿电阻变化可达 5 个数量级并且吸湿过程与脱湿过程湿滞误差很小,在 $2\%RH$ 以下。

高分子湿度传感器的响应特性和感湿特性如图 3-5 和图 3-6 所示。由响应特性可知:通过 $32\%RH$ 和 $76\%RH$ 两种饱和盐进行湿度测量,当电阻达 90% 时,吸湿过程的响应速度为 $25s$ 左右,脱湿过程为 $45s$ 。

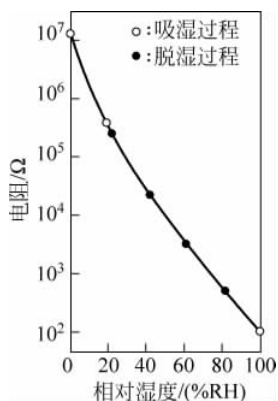


图 3-5 高分子湿度传感器的响应特性

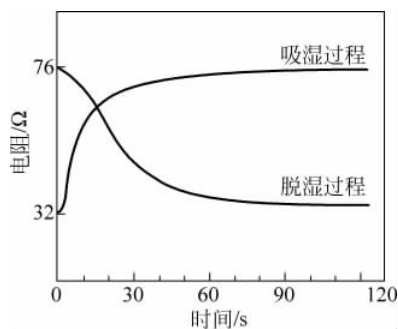


图 3-6 高分子湿度传感器的感湿特性

(2) 电容式湿度传感器

电容式湿度传感器的敏感元件为湿敏电容,主要材料一般为高分子聚合物、金属氧化物。这些材料对水分子有较强的吸附能力,吸附水分的多少随环境湿度而变化。由于水分子有较大的电偶极矩,吸水后材料的电容率发生变化。电容器的电容值也就发生变化。同样,把电容值的变化转变为电信号,就可以对湿度进行监测。例如,聚苯乙烯薄膜湿敏电容。通过等离子体法聚合的聚苯乙烯具有亲水性极性基团。随着环境湿度的增减,它吸湿脱湿,电容值也随之增减。从而得到的电信号随湿度的变化而变化。

高分子电容式湿度传感器是在绝缘衬底上制作条形或梳状对金属电极(Au 电极),在其上面涂敷一层均匀的高分子感湿薄膜作电介质。然后在感湿膜上制作多孔浮置电极($20\sim 50nm$ 的 Au 蒸发膜),而将两个电容器串联起来,焊上引线制成传感器。这种湿度传

感器是利用其高分子材料的介电常数随环境的相对湿度而改变的原理制成的。当传感器处于某个环境中,水分子透过网状金属电极被下面的高分子感湿膜吸附,膜中多余水分子通过上电极释放出来,使感湿膜吸水量与环境的相对湿度迅速达到平衡,如图 3-7 所示。

高分子电容式湿度传感器的性能主要由高分子膜材料优劣与否决定。选择高分子膜材料的基本原则是:

- ① 高分子电容式湿敏材料,应是具有亲水性好的亲水基材料。
- ② 湿滞小的感湿材料中以羟基为好,而以羟基为亲水基的高分子材料中,聚醋酸乙烯(PVAB)、聚丙烯酸酯(PMMA)及醋酸丁酸纤维素(CAB)最好,其湿滞误差 $<1.5\%RH$ 。
- ③ 作为低湿滞高分子材料,应在弱的亲水基的周围配有适当的疏水基的化学结构。
- ④ 作为低湿材料的感湿性能与脂作为低湿滞材料化度、乙酰含量、丁基含量有关。因此,为了获得高精度湿度传感器,对材料应对脂化度、乙酰、丁基含量与湿敏特性进行深入研究。实验证明:三种材料中,PVAB 是与湿度关系最小的,其湿度系数为 $-1\%RH/10^{\circ}C$,是一种优质的湿敏材料。

高分子湿度传感器分成常温使用和高温使用两种不同使用环境的类型,高温型湿度传感器的结构如图 3-8 所示,其感湿特性如图 3-9 所示,其响应速度如图 3-10 所示。

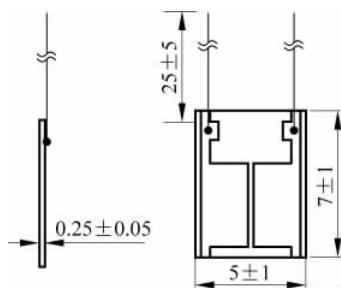


图 3-7 高分子电容式湿度传感器

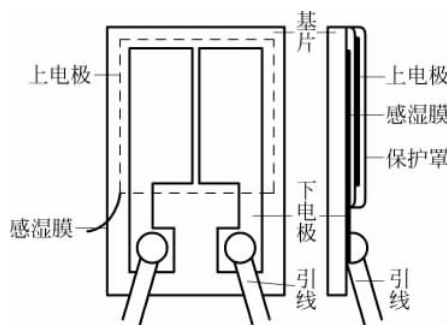


图 3-8 高温型湿度传感器结构

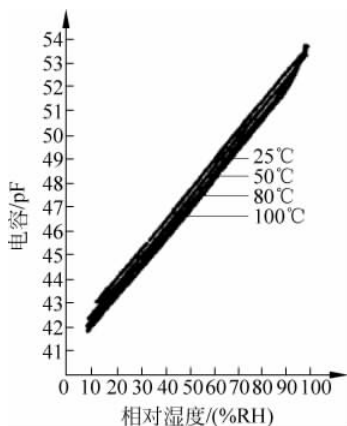


图 3-9 高温型湿度传感器的感湿特性

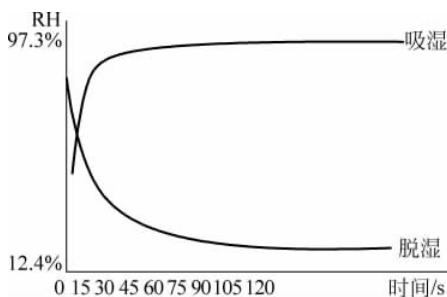


图 3-10 高温型湿度传感器的响应速度

(3) 基本参数和特性

① 精度和长期稳定性。

湿度传感器的精度应达到 $2\% \sim \pm 5\% \text{RH}$, 如达不到这个水平就很难作为计量器具使用。湿度传感器要达到 $\pm 2\% \sim \pm 3\% \text{RH}$ 的精度是比较困难的, 通常产品资料中给出的特性是在常温 ($20 \pm 10^\circ\text{C}$) 和洁净的气体中测量的。在实际使用中由于尘土、油污及有害气体的影响, 使用时间一长会产生老化、精度下降。湿度传感器的精度水平要结合其长期稳定性去判断, 一般说来长期稳定性和使用寿命是影响湿度传感器质量的头等问题, 年漂移量控制在 $\pm 2\%$ 左右甚至更高。

② 温度传感器的温度系数。

湿敏元件除对环境湿度敏感外, 对温度亦十分敏感, 其温度系数一般在 $0.2\% \sim 0.8\% (\text{RH}/^\circ\text{C})$ 范围内, 而且有的湿敏元件在不同的相对湿度下其温度系数又有差别。采用温度跟随性补偿会获得好的补偿效果。湿度传感器工作的温度范围也是重要参数。

③ 湿度传感器的供电。

金属氧化物陶瓷、高分子聚合物和氯化锂等湿敏材料施加直流电压时会导致性能变化甚至失效, 所以这类湿度传感器不能用直流电压或有直流成分的交流电压。必须是交流电供电。

④ 互换性。

目前湿度传感器普遍存在着互换性差的问题, 同一型号的传感器不能互换严重影响了使用效果, 给维修、调试增加了困难, 有些厂家在这方面作出了种种努力, 取得了较好效果。

⑤ 湿度校正。

湿度传感器的电阻值变化一般都是非线性的, 需要进行线性补偿。

(4) 常用的湿度传感器

目前国外生产集成湿度传感器的主要厂家有 Honeywell 公司 (其典型产品为 HIH-3602、HIH-3605、HIH-3610 型)、Humirel 公司 (其典型产品为 HM1500、HM1520、HF3223、HTF3223 型) 和 Sensiron 公司 (其典型产品为 SHT11、SHT15 型)。这些产品可分成以下三种类型。

① 线性电压输出式集成湿度传感器。

典型产品有 HIH3605/3610、HM1500/1520。其主要特点是采用恒压供电内置放大电路, 能输出与相对湿度呈比例关系的伏特级电压信号, 响应速度快, 重复性好, 抗污染能力强。

② 线性频率输出集成湿度传感器。

典型产品为 HF3223 型。它采用模块式结构, 属于频率输出式集成湿度传感器, 在 $55\% \text{RH}$ 时的输出频率为 8750Hz (型值), 当上对湿度从 10% 变化到 95% 时, 输出频率就从 9560Hz 减小到 8030Hz 。这种传感器具有线性度好、抗干扰能力强、便于配数字电路或单片机、价格低等优点。

③ 频率/温度输出式集成湿度传感器。

典型产品为 HTF3223 型, 它除具有 HF3223 的功能以外, 还增加了温度信号输出端, 利用负温度系数 (NTC) 热敏电阻作为温度传感器。当环境温度变化时, 其电阻值也相应改变, 并且从 NTC 端引出, 配上二次仪表即可测量出温度值。

3.2.3 超声波传感器

1. 基本概念

声波是一种机械波,是机械振动在介质中的传播过程。频率在 $16\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 之间、能为人耳所闻的机械波称为可闻声波;低于 16Hz 的机械波称为次声波;高于 $2\times 10^4\text{Hz}$ 的机械波称为超声波。

超声波传感器是利用超声波的特性研制而成的传感器。超声波是一种振动频率高于声波的机械波,由换能晶片在电压的激励下,发生振动产生的。它具有频率高、波长短、绕射现象小,特别是方向性好、能够成为射线而定向传播等特点。超声波对液体、固体的穿透本领很大,尤其是在阳光不透明的固体中它可穿透几十米的深度。超声波碰到杂质或分界面,会产生显著反射,形成反射回波,碰到活动物体能产生多普勒效应。因此超声波检测广泛应用于工业、国防、生物医学等方面。

超声波探头主要由压电晶片组成,既可以发射超声波,也可以接收超声波。小功率超声探头多作探测。它有许多不同的结构,可分直探头(纵波)、斜探头(横波)、表面波探头(表面波)、兰姆波探头(兰姆波)、双探头(一个探头反射,一个探头接收)等。

2. 主要性能指标

① 工作频率。工作频率就是压电晶片的共振频率。当加到它两端的交流电压的频率和晶片的共振频率相等时,输出的能量最大,灵敏度也最高。

② 工作温度。由于压电材料的居里点一般比较高,特别是诊断用超声波探头使用功率较小,所以工作温度比较低,可以长时间地工作而不失效。医疗用的超声探头的温度比较高,需要单独的制冷设备。

③ 灵敏度。主要取决于制造晶片本身。机电耦合系数大,灵敏度高;反之灵敏度低。

3. 工作原理

人们能听到声音,是由于物体振动产生的,它的频率在 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 范围内。超过 20kHz 称为超声波,低于 20Hz 的称为次声波。常用的超声波频率为几十 kHz 至几十 MHz 。

超声波是一种在弹性介质中的机械振荡,有两种形式:横向振荡(横波)及纵向振荡(纵波)。在工业中应用主要采用纵向振荡。超声波可以在气体、液体及固体中传播,其传播速度不同。另外它也有折射和反射现象,并且在传播过程中有衰减。在空气中传播超声波其频率较低,一般为几十 kHz ,而在固体、液体中则频率可用得较高。在空气中衰减较快,而在液体及固体中传播,衰减较小,传播较远。利用超声波的特性可做成各种超声传感器配上不同的电路,制成各种超声测量仪器及装置,并在通信、医疗、家电等各方面得到广泛应用。

超声波传感器主要材料有压电晶体(电致伸缩)及镍铁铝合金(磁致伸缩)两类。电致伸缩的材料有锆钛酸铅(PZT)等。压电晶体组成的超声波传感器,是一种可逆传感器。它可以将电能转变成机械振荡而产生超声波,同时它接收到超声波时也能转变成电能,所以它可以分成发送器或接收器。有的超声波传感器既作发送也能作接收。

4. 系统组成

由发送传感器(或称波发送器)、接收传感器(或称波接收器)、控制部分与电源部分组成。发送器传感器,由发送器与直径为 15mm 左右的陶瓷振子换能器组成。换能器作用,是将陶瓷振子的电振动能量转换成超能量并向空中辐射;而接收传感器由陶瓷振子换能器与放大电路组成,换能器接收波产生机械振动,将其变换成电能量作为传感器接收器的输出,从而对发送的超声波进行检测。而实际使用中,发送传感器的陶瓷振子,也可以用于接收器传感器的陶瓷振子。控制部分主要对发送器发出的脉冲链频率、占空比及稀疏调制和计数及探测距离等进行控制。超声波传感器电源(或称信号源)可用 $DC12V \pm 10\%$ 或 $24V \pm 10\%$ 。

3.2.4 气敏传感器

人类的日常生活和生产活动与周围的环境密切相关,现代生活接触到的易燃、易爆、有毒等对人体有害的气体日益增多,如氢气、天然气、液化石油气、一氧化碳等。气敏传感器就是能够感知环境中某种气体及浓度从而对环境进行检测、监控、报警的一种敏感器件。

气敏传感器是指将被测气体浓度转换为与其成一定关系的电量输出的装置或器件。被测气体的种类繁多,它们的性质也各不相同。所以不可能用一种方法来检测各种气体,其分析方法也随气体的种类、浓度、成分和用途而异。

气敏传感器是暴露在各种成分的气体中使用的。由于检测现场温度、湿度的变化很大,又存在大量粉尘和油雾等。所以,其工作条件较恶劣,而且气体对传感元件的材料会产生化学反应物,附着在元件表面,往往会使其性能变差。所以对气敏传感器有下列要求:能够检测报警气体的允许浓度和其他标准数值的气体浓度,能长期稳定工作、重复性好、响应速度快、共存物质所产生的影响小等。

由于被测气体的种类繁多,性质各不相同,不可能用一种传感器来检测所有气体。所以气敏传感器的种类也有很多。近年来,随着半导体材料和加工技术的迅速发展,实际使用最多的是半导体气敏传感器这类传感器。

1. 气敏传感器工作原理

气敏传感器主要有半导体式、接触燃烧方式、化学反应式、光干涉式、热传导式、红外线吸收散式等。

下面主要介绍一下半导体气敏传感器的工作原理。

半导体气敏传感器由气敏部分、加热丝以及防爆网等构成,它是在气敏部分的 SnO_2 、 Fe_2O_3 、 ZnO_2 等金属氧化物中添加 Pt、Pd 等敏化剂的传感器。 SnO_2 系列气敏传感器的构造如图 3-11 所示。传感器的选择性由添加敏化剂的多少进行控制。例如,对于 ZnO_2 系列传感器,若添加 Pt,则传感器对丙烷与异丁烷有较高的灵敏度;若添加 Pd,则对 CO 与 H_2 比较敏感。

由于 SnO_2 有很高的热稳定性,而且这种传感器仅在半导体表面层产生可逆氧化还原反应,半导体内部化学结构不变,因此长期使用也可获得较高的稳定性。实际中大都使用 SnO_2 传感器,原理简介如下: SnO_2 一旦加热,空气中的氧就会从 SnO_2 半导体结晶粒子中夺走电子,而在结晶表面上吸附负电子,使表面电位增高从而阻碍导电电子的移动。所以,气

敏传感器在空气中为恒定的电阻值。这时还原性气体与半导体表面吸附的氧,发生氧化反应,由于气体分子的离吸作用,使其表面电位高低发生变化。因此,传感器的电阻值要发生变化。对于还原性气体,电阻值减小;对于氧化性气体,则电阻值增大。这样根据电阻值的变化就能检测气体的浓度。

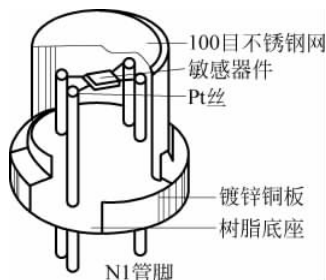


图 3-11 SnO_2 系列气敏传感器的结构

2. 气敏传感器的类型

气敏传感器的种类繁多,表 3-2 给出了常见气敏传感器的类型及特征。

表 3-2 常见气敏传感器的类型及特征

名 称		检 测 原 理	检 测 对 象	特 点
半导体方式	氧化物系	若气体接触到加热的金属氧化物(SnO_2 等),电阻值就增大或减少	还原性气体、城市排放气体、丙烷气等	灵敏度高,构造与电路简单,但输出与气体浓度不成比例
	气敏二极管	利用 Pb、Pt 等金属材料对 H_2 的吸附敏感性使功能函数改变的原理制成	H_2	灵敏度高,结构简单
	气敏 MOSFET			
固体电解质		化学溶剂与气体反应产生的电流、颜色、电导率等变化	O_2 、 CO 、 H_2 、 CH_4 等	气体选择性好,但不能重复使用
接触燃烧方式		可燃性气体接触到氧气会燃烧,使得作为惰性材料的铂丝温度升高,电阻值相应增大	燃烧气体	输出与气体浓度成比例,但灵敏度较低
其他类型	光干涉式	利用与空气的折射率不同而产生的干涉带	与空气折射率不同的气体	寿命长但选择性差
	热传导方式	根据热传导率差而放热的发热元件的温度降低进行检测	与空气热传导率不同的气体	构造简单但灵敏度低,选择性差
	红外线吸收散射方式	利用红外线照射气体分子谐振而吸收或散射的量来检测	CO 、 CO_2 等	能定性测量但装置大且价格较贵

3. 气敏传感器的主要参数与特性

(1) 灵敏度

灵敏度是气敏传感器的一个重要参数,用 S 表示。它标志着气敏元件对气体的敏感程度,用其电阻值的变化量 ΔR 与气体浓度的变化量 ΔP 之比来表示,即

$$S = \Delta R / \Delta P$$

(2) 响应时间

响应时间指的是,从气敏元件与被测气体接触到气敏元件的参数达到新的稳定状态所需要的时间。它表示了气敏元件的反应速度。

(3) 选择性

在多种气体共存的环境中,气敏元件对不同的气体有不同的灵敏度,这种区分不同气体的能力称为选择性。选择性是气敏元件的一个重要参数,也是一个比较难解决的问题。

(4) 稳定性

当检测的气体浓度不变时,气敏元件的输出也应保持不变。但实际情况会受其他条件的变化影响而发生变化,这种在其他条件发生变化时,气敏元件的输出特性保持不变的能力称为稳定性。

(5) 温度特性

气敏元件的特性,随温度的变化而发生变化的特性称为温度特性。消除这种影响的方法是采用温度补偿。

(6) 湿度特性

气敏元件的特性,随环境的湿度不同而发生变化的特性,称为湿度特性。湿度特性是影响检测精度的另一个因素。解决这个问题的措施之一是采用湿度补偿方法。

(7) 电源电压特性

电源电压发生变化时气敏元件特性也会发生变化,解决的方法是采用恒压源供电。

4. 常用气敏传感器材料介绍

气敏元件性能与敏感功能材料的种类、结构及制作工艺密切相关。用金属氧化敏感材料制作的半导体式气敏元件具有灵敏度高、结构简单、体小质轻、坚固耐用等优点而得到广泛的应用,目前仍以 SnO_2 材料为主。

SnO_2 是一种广普型的气敏材料, SnO_2 粉体的粒径大小、颗粒的形状、均匀性、稳定性都直接影响着制成的气敏器件的灵敏度、功耗、响应恢复特性及稳定性等重要参数。如粉体颗粒越小,则粉体的单位比表面积越大,活性越高,由此制成的元件灵敏度就越高、功耗就越低、响应恢复时间越短。为此,近年来采用纳米技术制成超微细 SnO_2 粉体。超微细 SnO_2 粉体制成方法很多,报道较多的是低温等离子体法、测射法、沉淀法、水热法、溶胶-凝胶法、化学气相沉积法等。近年来,最有潜力的方法是溶胶-凝胶法。利用溶胶-凝胶法合成 SnO_2 超微粒子主要以有机金属化合物为起始材料,或以大批量有机试剂来制备 SnO_2 。但有机金属试剂较昂贵,给大量制备带来困难。因而通常是以廉价的 SnCl_4 为起始原料,加入少量溶胶形成助剂,促进其溶胶形式。溶胶-凝胶法制备出粉体材料具有粒子分布均匀、纯度高、比表面积大、活性好、烧结温度低等优点。

纯 SnO_2 的气敏特性不是太好,尤其是它的热稳定性不高。为改善其气敏特性,常在 SnO_2 基体中掺入贵金属或其他金属氧化物。经研究表明,掺入氧化铁有利于改善 SnO_2 的气敏特性,而且能降低成本。用此材料制备的气敏器件具有体积小、灵敏度高、响应快、稳定性好的特点。

5. 气敏传感器的应用

半导体气敏元件,由于具有灵敏度高、响应时间快、恢复时间短、使用寿命长和成本低等特点,所以半导体气敏传感器在实际中应用很广,下面以气体报警器为例简单地介绍其应用。

该类仪器是对泄漏气体达到危险限值时自动进行报警的仪器。图 3-12 所示为一种简单的家用报警器电路,气敏元件采用测试回路高电压的直热式气敏元件 TGS109。当室内气体增加时,由于气敏元件接触到可燃气体其阻值会降低,这样流回回路的电流就增加,便直接驱动蜂鸣器进行报警。

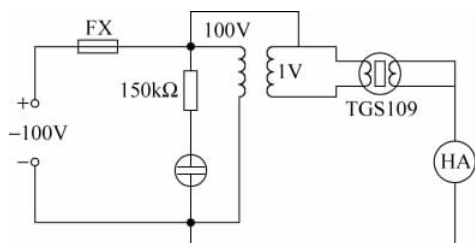


图 3-12 家用气体报警器电路图

设计报警器时应十分注意选择开始报警浓度,既不要选得过高也不要选得过低,选高了,灵敏度低,容易造成漏报,达不到报警的目的;选低了,灵敏度过高,容易造成误报。一般情况下,对于甲烷、丙烷等气体,都选择在爆炸下限的 $1/10$ 。在家庭用报警器中,考虑到温度、湿度和电源电压的影响,开始报警浓度应有一定的范围,出厂前按标准条件调整好,以确保环境条件变化时,不至于发生误报或漏报。

使用气体报警器可根据使用气体的种类不同,分别安放在易检测气体泄漏的地方,如丙烷、丁烷气体报警器,安放于气体源附近地板上方 20cm 以内;甲烷和一氧化碳报警器,安放于气体源上方靠近天棚处。这样就可以随时检测气体是否漏气,一旦泄漏的气体达到一定危险程度,便自动产生报警信号,进行报警。

3.3 智能传感器

传感网被称为继计算机、互联网之后,世界信息产业的第三次浪潮,业内专家认为,传感网一方面可以提高经济性,大大节约成本;另一方面可以为全球经济的复苏提供技术动力。而智能传感器作为传感网的基础和重要组成部分,其技术发展决定了传感网的整体性能。尽管国内智能传感器技术发展迅速,但因为国家级层面的智能传感器标准体系尚未建立、传统传感器产业化水平低、核心技术少、创新能力弱等问题,无法对智能传感器技术和产品提

供有效保障,因此我国智能传感器研究和标准化工作亟待加强。下面主要介绍智能传感器的知识。

3.3.1 智能传感器的基本概念

智能传感器(Intelligent Sensor)是具有信息处理功能的传感器。智能传感器带有微处理机,具有采集、处理、交换信息的能力,是传感器集成化与微处理机相结合的产物。一般智能机器人的感觉系统由多个传感器集合而成,采集的信息需要计算机进行处理,而使用智能传感器就可将信息分散处理,从而降低成本。与一般传感器相比,智能传感器具有以下三个优点:通过软件技术可实现高精度的信息采集,而且成本低;具有一定的编程自动化能力;功能多样化。

3.3.2 智能传感器的组成

智能传感器主要由传感器、微处理器(或微计算机)及相关电路组成,其结构框图如图 3-13 所示。

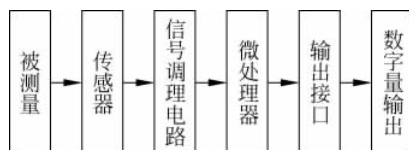


图 3-13 智能传感器原理框图

传感器将被测的物理量转换成相应的电信号,送到信号调理电路中,进行滤波、放大、模-数转换后,送到微计算机中。计算机是智能传感器的核心,它不但可以对传感器测量数据进行计算、存储、数据处理,还可以通过反馈回路对传感器进行调节。由于计算机充分发挥各种软件的功能,可以完成硬件难以完成的任务,从而大大降低传感器制造的难度,提高传感器的性能,降低成本。

智能传感器的结构可以是集成的,也可以是分离式,按结构可以分为集成式、混合式和模块式三种形式。集成智能传感器是将一个或多个敏感器件与微处理器、信号处理电路集成在同一硅片上,集成度高,体积小。这种集成的传感器在目前的技术水平下还很难实现。将传感器和微处理器、信号处理电路作在不同的芯片上,则构成混合式的智能传感器(Hybrid Smart-Sensor)。目前这类结构较多。初级的智能传感器也可以由许多互相独立的模块组成,如将微计算机、信号调理电路模块、输出电路模块、显示电路模块和传感器装配在同一壳体内,则组高,体积较大,但在目前的技术水平下,仍不失为一种实用的结构形式。

3.3.3 智能传感器的功能与特点

1. 智能传感器的功能

智能传感器的功能,是通过比较人的感官和大脑的协调动作提出的,随着微电子技术及材料科学的发展,传感器在发展与应用过程中,越来越多地与微处理器相结合,不仅具有视

觉、触觉、听觉、味觉,还有了储存、思维和逻辑判断能力等人工智能。概括而言,主要功能有以下几点。

(1) 自补偿和计算

智能传感器的自补偿和计算功能,为传感器的温度漂移和非线性补偿开辟了新道路,即使传感器的加工不太精密,只要能保证其重复性好,通过传感器的计算功能也能获得较精确的测量结果。另外还可进行统计处理,能够重新标定某个敏感元件,使它重新有效。

(2) 自诊断功能

带微控器的智能传感器,还具有先进的自诊断功能,包括两个方面:①外部环境条件引起的工作不可靠;②传感器内部故障造成的性能下降。其直观的指示方式,可持续显示诊断结果和工作状态。无论内外因素,诊断信息都能使系统在故障出现之前报警,从而减少系统停机时间,提高生产效率。

(3) 复合敏感功能

智能传感器能够同时测量多种物理量和化学量,具有复合敏感功能,能够给出全面反映物质变化规律的信息,如光强、波长、相位和偏振度等参数可反映光的运动特性;压力、真空度、温度梯度、热量和熵、浓度、pH 值等分别反映物质的力、热、化学特性。

(4) 强大的通信接口功能

由于用了微型机使其接口标准化,所以能够与上一级微型机进行接口的标准化,智能传感器输出的数据通过总线控制,为与其他数字控制仪表的直接通信提供了方便,使智能传感器可作为集散控制系统的组成单元受中央计算机的控制。

(5) 现场学习功能

利用嵌入智能和先进的编程特性相结合,工程师们已设计出了新一代具有学习功能的传感器,它能为各种场合快速而方便地设置最佳灵敏度。学习模式的程序设计,使光电传感器能对被检测过程取样,计算出光信号阈值,自动编程最佳设置,并且能在工作过程中自动调整其设置,以补偿环境条件的变化。这种能力可以补偿部件老化造成的参数漂移,从而延长器件或装置的使用寿命和扩大其应用范围。

(6) 提供模拟和数字输出

许多带微控制器的传感器,能通过编程提供模拟输出、数字输出或同时提供两种输出,并且各自具有独立的检测窗口。最新的智能传感器都能提供两个互不影响的输出通道,具有独立的组态设备点。

(7) 数值处理功能

根据内部的程序自动处理数据,例如进行统计处理、剔除异常数值等。

(8) 掉电保护功能

由于微型计算机的 RAM 的内部数据在掉电时会自动消失,这给仪器的使用带来很大的不便。为此在智能仪器内装有备用电源,当系统掉电时,能自动把后备电源接入 RAM,以保证数据不丢失。

2. 智能传感器的特点

智能传感器继承了传感器、智能仪表全部功能及部分控制功能,具有很高的线性度和低的温度漂移,降低了系统的复杂性,简化了系统结构,特点如下:

① 一定程度的人工智能是硬件和软件的结合体,可实现学习功能,更能体现仪表在控制系统的作用。可以根据不同的测量要求,选择合适的方案,并能对信息进行综合处理,对系统状态进行检测。

② 多敏感功能将原来分散的、各自独立的单敏传感器集成为具有多敏功能的传感器,能同时测量多种物理量和化学量,全面反映被测量的综合信息。

③ 精度高、测量范围宽,随时检测出被测量的变化对检测元件特性的影响,并完成各种运算,其输出信号更为精确,同时其量程比可达 $100:1$,最高达 $400:1$,可用一个智能传感器应付很宽的测量范围,特别适用要求量程比大的控制场合。

④ 通信功能可采用标准化总线接口,进行信息交换,这是智能传感器的标志之一。

3.3.4 基于 IEEE 1451 的网络化智能传感器

智能传感器的一个技术突破是通信功能采用标准化接口。到目前,针对各个变送器工业领域的需求,2010 年发布了最新的 IEEE 1451 第七部分,即“变送器与射频标识系统通信协议和变送器电子数据表格式”。

1. IEEE 1451 体系

IEEE 1451 体系由 9 个子标准组成,如表 3-3。内容包括:

- ① 建立网络化智能传感器的软件模型,包括信息与通信模型;
- ② 定义网络化智能传感器的硬件模型,包括网络适配器 NCAP、智能变送器接口模块 STIM 及两者间的有线、无线接口;
- ③ 定义 NCAP 中封装不同网络通信协议接口,支持多种网络模式及总线标准;
- ④ 对智能传感器的数据传输、寻址、中断、触发等做详细规定;
- ⑤ 定义电子数据表格 TEDS 及其数据格式。

表 3-3 IEEE 1451 系列标准

代 号	名称与描述状态
IEEE P1451.0	智能变送器接口标准
IEEE 1451.1—1999	网络适配处理器信息模型
IEEE P1451.1	修订版网络适配处理器信息模型
IEEE 1451.2—1997	变送器与微处理器通信协议和 TEDS 格式
IEEE P1451.2 修订版	变送器与微处理器通信协议和 TEDS 格式
IEEE 1451.3—2003	分布式多点系统数字通信与 TEDS 格式
IEEE 1451.4—2004	混合模式通信协议与 TEDS 格式颁布标准
IEEE P1451.5	无线通信协议与 TEDS 格式
IEEE P1451.6	CAN 开放式协议变送器网络接口

IEEE 1451 系列标准的目的是开发一种软硬件连接方案,将智能变送器连接到网络或直接支持现有的各种网络技术,包括各种现场总线、因特网等;为不同厂家生产的传感器提供具有即插即用功能的智能传感器接口。通过定义一整套通用的通信接口,使变送器在现场级采用有线或无线的方式实现网络连接,大大简化了由变送器构成的各种标准下系统开

发过程,只需开发一个软硬件接口,通过选用不同类型的 NCAP,就可以使其产品用于不同的网络或现场总线。软件开发商也会受益于变送器属性良好的标准定义。终端用户也会受益于高兼容性的变送器,包括自定义文档、即插即用、变送器属性。

IEEE 1451 是一种新的通用智能化传感器接口标准,它为即插即用智能传感器与现有的各种总线提供了通用的接口标准。IEEE 1451 标准为提高全球范围内智能传感器技术水平提供了坚实的基础,为测试系统的智能化提供了基本的前提。

该标准规定的软件接口通过对象模型、数据模型和网络通信模型 3 种模型实现。

(1) 对象模型

该标准通过定义每个对象类的接口和行为定义每个对象类。系统中,该标准定义 4 种对象类:块类、组件类、服务类和非本标准规定的对象类。块类为系统提供标准软件接口,分 IEEE 1451_NCAP Block、IEEE 1451_Base Transducer Block 和 IEEE 1451_Function Block 等基本块类。组件类提供系统结构化组件,如结构化的度量信息,有些是特殊应用对象的集合和带有注释的动作。服务类为 NCAP 上距离较远的对象间的通信和系统范围内的同步提供支持。

(2) 数据模型

该模型规范了符合 IEEE 1451 标准的网络化智能传感器所涉及的数据类型,含基本类型、物理数量和对象属性类型及与网络通信相关的类型。基本类型含普通数据类型及其矩阵形式,如布尔型、字符型、整型、字符串型、浮点型等;物理数量类型为相关参数测量和系统控制设计数据结构,如表示时间和物理数量的数据类型等;对象属性类型规定几种数据结构,用来装载对象类信息。

(3) 网络通信模型

IEEE 1451.1 标准的本质是为网络化智能传感器建立标准的控制网络信息模型。该模型中包括对象模型、数据模型和网络通信模型,这 3 种模型为传感器、网络适配器、通信网络间确定相应的软件接口。特别是对对象模型所包括的对象类,详细描述了网络化智能传感器的相关软件接口、结构化信息和通信支持,降低编制软件接口程序的难度。而 NCAP 中的网络服务接口可封装不同的网络协议,在理论上与 NCAP 相连的传感器模块可连接到 NCAP 网络服务接口中所包含的任何网络。并可采用标准应用编程接口(API)实现从模型到网络协议的映射。网络化智能变送器模型如图 3-14。

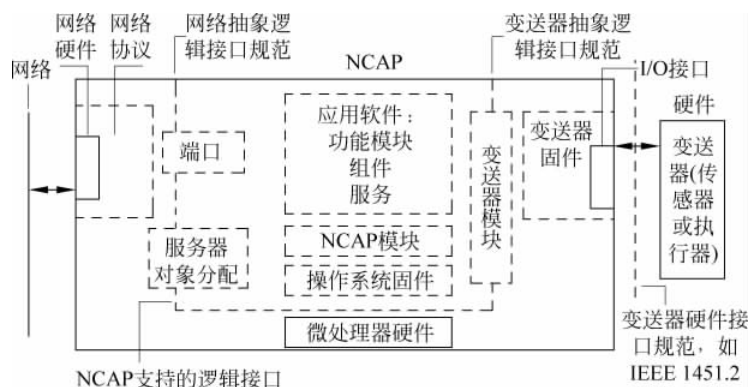


图 3-14 网络化智能变送器模型

2. IEEE 1451.2 协议

IEEE 1451.2 协议提出了一种数字化点到点的智能接口模块到网络适配器的有线传输接口方案。IEEE 1451.2 协议是一种网络化智能传感器接口标准。IEEE 1451.2 协议规定智能传感器由网络适配器和智能传感器接口模块两部分构成。传感器独立接口是智能传感器接口模块和网络适配器的接口,实现网络适配器对智能传感器接口模块的控制和两者之间的通信。

IEEE 1451.2 通过提供标准的智能传感器接口模块(STIM)、STIM 和 NCAP 间的接口(TII),统一网络化智能传感器基本结构,解决标准不统一问题,厂商可依需求扩展。该标准将网络化智能传感器分为智能传感器接口模块(含电子数据表格 TEDS)、网络适配器及 STIM 与 NCAP 间的 TII 接口。STIM 模块包括变送器(传感器或执行器)、信号调理与信号转换电路、电子数据表格(TEDS)、微处理器和存储器,可连接单一传感器或多传感器构成传感器网络。IEEE 1451.2 标准规定 1 个 STIM 最多可连接 255 个数字(或模拟)传感器或执行器。TEDS 提供对传感器、缓存传感器、数据序列传感器、事件序列传感器及执行器等模型的支持,具有自动识别传感器或执行器的能力。TEDS 描述了所支持的传感器或执行器的类型、操作和属性,分为 8 个可寻址部分。其中 Meta TEDS 和 Channel TEDS 是必需的,其余可按需选择。每个 STIM 包括 1 个 Meta TEDS,描绘 TEDS 信息、数据结构及支持的通道数和通道极限时间参数;每个 STIM 通道包括 1 个 Channel TEDS,描述通道的物理属性、纠正类型、返回数据类型和格式及通道的定时信息。

TII 接口是 IEEE 1451.2 标准定义的连接 STIM 与 NCAP 的数字接口,其针脚定义如图 3-15。

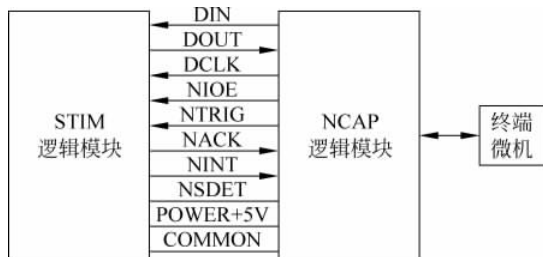


图 3-15 TII 接口示意图

TII 接口的逻辑信号和功能定义如表 3-4。该标准对 TII 接口原理、针脚定义、触发,数据传输和读写控制协议、时钟及关于电和物理连接器等做详细规范。由于 TII 接口定义较复杂,给实际应用增加难度,提高开发成本,因此实际应用时需对 TII 接口简化,如可用 RS-232 接口来代替 TII 接口。

表 3-4 传感器独立接口信号列表

分 组	信号线	逻 辑	驱动源	功 能
数据	DOUT	正逻辑	STIM	由 STIM 向 NCAP 传送数据
	DIN	正逻辑	NCAP	由 NCAP 向 STIM 传送数据和地址
	DCLK	正逻辑	NCAP	上升沿锁定 DIN 和 DOUT 的数据
	NIOE	负逻辑	NCAP	使能数据传输和结束数据帧传输的信号

续表

分 组	信号线	逻 辑	驱动源	功 能
触发	NTRIG	下降沿	NCAP	触发功能
辅助	POWER	无	NCAP	通常+5V 供电
	COMMON	无	NCAP	信号地
	NACK	下降沿	STIM	触发应答和数据传输应答
	NSDET	负逻辑	STIM	NCAP 据此信号检测 STIM 的存在
中断	NINT	下降沿	STIM	NCAP 响应 STIM 的服务请求

通信协议规定了采样触发机制和两种数据传输方式:字节读/写、帧读/写。IEEE 1451.2 规定智能传感器接口模块必须实现即插即用,这在软件上通过传感器电子数据表单实现,硬件上要求接口具有热插拔能力。

3.3.5 智能传感器标准体系

IEC 标准化管理局在 2009 年提出了 17 项 IEC 潜在新技术领域,其中第 14 项明确指出智能传感器归 IEC/TC65(工业过程测量、测控和自动化),我国的国家标准欠缺导致了市场的混乱无序和研究内容的交叉重复,严重阻碍了仪器仪表企业对智能传感器的设计、研发和生产。机械工业仪器仪表综合技术经济研究所初步建立智能传感器系统标准体系构架,以规范国内智能传感器市场,服务于各相关应用领域,奠定我国物联网体系建设的基础。

标准体系中最重要就是第三部分智能传感器产品标准。按照智能传感器的构成,分为硬件系统、软件系统和产品技术要求。

硬件系统包括敏感元件、网络接口规范、内部接口规范、供电标准、防爆要求、封装要求。其中,敏感元件按照其物理特性分为温度、湿度、压力、流量、加速度等,并对各种不同原理产品的特性指标、封装形式给出具体要求。网络接口规范分别规定了智能传感器的物理接口和数据接口要求。内部接口规范规定智能传感器实现 IEEE 1451 标准时的通信接口要求。

软件系统包括系统软件规范和数据共享。其中,系统软件规范指智能传感器的编程规范等,数据共享指源数据和编码的格式要求、信息分类等,是与物联网衔接时的重要组成部分。

产品技术要求按照被测参数不同,分为温度传感器、流量传感器、压力传感器、变送器等的具体技术要求,比如自校验、自诊断、信息决策等。

3.3.6 智能传感器的应用

物联网的应用有三个层次,一是传感网络,以二维码、RFID、传感器为主,实现“物”的识别;二是传输网络,即通过现有的互联网、广电网、通信网或下一代互联网,实现数据的传输和计算;三是应用网络,即输入输出控制终端,包括手机等终端。物联网中应用了大量物理量、化学量和生物量等不同类型的传感器。

近年来,智能传感器已经广泛应用在航天、航空、国防、科技和工农业生产等各个领域,特别是随着高科技的发展,智能传感器备受青睐,例如它在智能机器人的领域中有广阔的应用前景。智能传感器如同人的五官,可以使机器人具有各种感知功能。已经实用化的智

能传感器有很多种类。例如智能检测传感器、智能流量传感器、智能位置传感器、智能压力传感器、智能加速度传感器等。

集成智能传感器技术日趋活跃,国外一些著名的公司和高等院校开展了有关集成智能传感器的研制,国内一些院校、研究所也积极跟进,使集成智能传感器技术取得了瞩目的发展。

但就目前国内产业发展水平而言,物联网的发展仍存在一定瓶颈,RFID 高端芯片等核心领域无法产业化,而且国内 RFID 以低频为主。此外,传感器产业化水平较低,产品种类不全,可靠性、稳定性等关键指标未全部达到要求,高档、大型仪器设备几乎全部依赖进口。

因此,必须做出长期规划,将智能传感器产业作为一个系统工程,开发和生产适用于物联网应用的各类传感器。在物联网技术产业化发展的形势面前,全面制定协调一致的战略措施并认真贯彻执行,以保障仪器仪表行业能够继续带动国民经济的发展。

3.3.7 智能传感器发展趋势

智能传感器代表着传感器发展总趋势,它已经受到了全世界范围的瞩目和公认,因此,可以说智能传感器是一种发展前景十分看好的新传感器。今后,随着硅微细加工技术的发展,新一代的智能传感器的功能将会更加强大。它将利用人工神经网络、人工智能、信息处理技术等,使传感器具有更高级的智能功能,同时,它还将朝着微传感器、微执行器和微处理器三位一体构成一个微系统的方向发展。

1. 向高精度发展

随着自动化生产程度的提高,对传感器的要求也在不断提高,必须研制出具有灵敏度高、精确度高、响应速度快、互换性好的新型传感器以确保生产自动化的可靠性。

2. 向高可靠性、宽温度范围发展

传感器的可靠性直接影响到电子设备的抗干扰等性能,研制高可靠性、宽温度范围的传感器将是永久性的方向。发展新兴材料(如陶瓷)传感器将很有前途。

3. 向微型化发展

各种控制仪器设备的功能越来越强,要求各个部件体积越小越好,因而传感器本身体积也是越小越好,这就要求发展新的材料及加工技术,目前利用硅材料制作的传感器体积已经很小。如传统的加速度传感器是由重力块和弹簧等制成的,体积较大、稳定性差、寿命也短,而利用激光等各种微细加工技术制成的硅加速度传感器体积非常小,互换性、可靠性都较好。

4. 向微功耗及无源化发展

传感器一般都是非电量向电量的转化,工作时离不开电源,在野外现场或远离电网的地方,往往是用电池供电或用太阳能等供电,开发微功耗的传感器及无源传感器是必然的发展方向,这样既可以节省能源又可以提高系统寿命。目前,低功耗损的芯片发展很快,如 T12702 运算放大器,静态功耗只有 $1.5\mu\text{A}$,而工作电压只需 $2\sim 5\text{V}$ 。

5. 向智能化、数字化发展

随着现代化的发展,传感器的功能已突破传统的功能,其输出不再是单一的模拟信号(如 $0\sim 10\text{mV}$),而是经过微电脑处理好后的数字信号,有的甚至带有控制功能,这就是所说的数字传感器。

6. 向网络化发展

网络化是传感器发展的一个重要方向,网络的作用和优势正逐步显现。网络传感器必将促进电子科技的发展。

3.4 MEMS 技术

3.4.1 MEMS 概述

微电子机械系统(MEMS)概念于 20 世纪 80 年代末提出,它一般泛指特征尺度在亚微米至亚毫米范围的装置。

MEMS 是一种全新的必须同时考虑多种物理场混合作用的研发领域,相对于传统的机械系统,它们的尺寸更小,最大的不超过一个厘米,甚至仅仅为几个微米,其厚度就更加微小。采用以硅为主的材料,电气性能优良,硅材料的强度、硬度和杨氏模量与铁相当,密度与铝类似,热传导率接近钨和钨。采用与集成电路(IC)类似的生产技术可大量利用 IC 生产中的成熟技术、工艺进行大批量、低成本生产,使性价比相对于传统“机械”制造技术大幅度提高。

完整的 MEMS 是由微传感器、微执行器、信号处理和控制电路、通信接口和电源等部件组成的一体化的微型器件系统。其目标是把信息的获取、处理和执行集成在一起,组成具有多功能的微型系统,集成于大尺寸系统中,从而大幅度地提高系统的自动化、智能化和可靠性水平。

沿着系统及产品小型化、智能化、集成化的发展方向可以预见:MEMS 会给人类社会带来另一次技术革命,它将对 21 世纪的科学技术、生产方式和人类生产质量产生深远影响,是关系到国家科技发展、国防安全和经济繁荣的一项关键技术。

手持式设备制造商,正在逐渐意识到 MEMS 的价值以及这种技术所带来的好处——大批量、低成本、小尺寸,而且开始转向成为 MEMS 公司。其所实现的成本削减幅度之大,将影响整个消费类电子世界,而不仅是高端装置。MEMS 在整个 20 世纪 90 年代都由汽车工业主导;在过去几年中,由于 iPhone 的出现,使全世界的工程师都看到运动传感器带来的创新,使 MEMS 在消费电子产业出现爆炸式的增长,成为改变终端产品用户体验以及实现产品差异化的核心要素。

国内 MEMS 芯片供应商主要有上海微系统所、沈阳仪表所、电子部 13 研究所、北京微电子所等,目前的产品主要是 MEMS 压力传感器芯片(Die)。

3.4.2 MEMS 特点

微电子机械并不只是传统机械在尺度上的缩小,与传统机械相比,除了在尺度上很小外,它将是一种高度智能化、高度集成的系统。同时在用材上,微电子机械突破了原来的以钢铁为主,而采用硅、GaAs、陶瓷以及纳米材料,具有较高的性能价格比,而且使用寿命增长。由于微电子机械的尺度小、集成度高、功能灵活而强大,它使人类的操作、加工能力延伸到微米级空间,这种技术跨越将深刻影响国防科学技术和国民经济的发展。

微电子机械系统的研究,还具有极大的学科交叉性:微型元器件的制造涉及设计、材料、制造、测试、控制、能源以及连接等技术。微电子机械系统的研究除了上述单元技术外,还需要元器件的集成、装配等组合技术,同时会涉及材料学、物理学、化学、生物学、微光学、微电子学等学科作为理论基础。同时为了掌握微电子机械系统的各种机械、力学、传热、摩擦等方面的性能,还必须建立微机械学、微动力学、微流体学、微摩擦学等新的学科。

3.4.3 MEMS 应用

MEMS 器件和系统具有体积小、重量轻、功耗低、成本低、可靠性高、性能优异、功能强大、可以批量生产等传统机械无法比拟的优点,在很多领域得到广泛的应用。

1. 信息业

信息技术的发展,对设备提出了更高的要求,功能更加强大的同时体积缩小。从多媒体人机界面看,使用微麦克风的语音输入和使用微摄像系统的图形输入,都有广阔市场。如今正在大力研制的微型智能机器人,更是控制系统的最高目标之一。用微陀螺装在鼠标上以稳定其运动,把微机械及其控制电路集成的微器件,装于磁头上可使其在磁道上运行,精度大大提高($<0.1\mu\text{m}$),提高磁盘的磁道密度。

2. 航空、航天业

由于卫星及其发射的高成本,早已提出小卫星、微小卫星、微卫星和纳米卫星等概念。在 1995 年的国际会议上,已有人提出研制全硅卫星,即整个卫星由硅太阳能电池板、硅导航模块、硅通信模块等组合而成,这样可使整个卫星的重量缩小到以千克计算,大幅度降低卫星的成本,使较密集的分布式卫星系统成为现实。

MEMS 对航空器的性能改善也值得一提。今后在飞机的要害部位都可装上各种 SMART 传感器,包括力学、声学、气流等,及时提供信息和进行实时控制各种执行部件,从而使飞行更加平稳,噪声大大地被抑制,并节省燃料。

3. 医疗和生物技术

生物细胞的典型尺寸为 $1\sim 10\mu\text{m}$,生物大分子的厚度为纳米量级,长为微米量级。微加工技术制造的器件尺寸,在这个范围内,因而适合于操作生物细胞和生物大分子。各种微泵、微阀、微镊子、微沟槽、微器皿和微流量计,都可以用 MEMS 技术制造。利用这种技术,可以在指甲盖大小的硅片上,制作出包含有 10 万种 DNA 片段的芯片,无疑对遗传学研究、

疾病诊断、检测和治疗等具有极其重要的作用。Stanford 和 Affmetrix 公司制作的 DNA 芯片,是通过在玻璃上刻蚀出非常小的图案来检测 DNA 基因,该芯片已能够检测到 6000 多种 DNA 基因片段。

4. 环境科学

利用 MEMS 制造的由化学传感器、生物传感器和数据处理系统组成的微型测量和分析设备,用来检测气体和液体的化学成分,检测核生物、化学物质及有毒物品,其优势在于体积小、价格低、功耗小、便于携带。

美国密执安大学 1998 年发表了环境监测用无线微系统样机—— μ Cluster,由无线通信、微系统控制和传感器前端等三个方块组成。该微系统未封装时体积为 10cm^3 ,当扫描速度较低时,功耗小于 1mW ,遥测半径 50m ,压力测量范围 $80\sim 105\text{kPa}$,精度为 $\pm 13\text{Pa}$ 。该系统已在美国海军使用。

3.4.4 常用的 MEMS 传感器

1. 微机械压力传感器

微机械压力传感器是最早开始研制的微机械产品,也是微机械技术中最成熟、最早开始产业化的产品。从信号检测方式来看,微机械压力传感器分为压阻式和电容式两类,分别以微机械加工技术和封装技术为基础制造。从敏感膜结构来看有圆形、方形、矩形、E 形等多种结构。目前压阻式压力传感器的精度可达 $0.05\%\sim 0.01\%$,年稳定性达 0.1% ,温度误差为 0.0002% ,耐压可达几百兆帕,过压保护范围可达传感器量程的 20 倍以上,并能进行大范围下的全温补偿。现阶段微机械压力传感器的主要发展方向有以下几个方面。

① 将敏感元件与信号处理、校准、补偿、微控制器等进行单片集成,研制智能化的压力传感器。

这一方面 Motorola 公司的单片集成智能压力传感器堪称典范。这种传感器在 1 个 SOI 晶片上集成了压阻式压力传感器、温度传感器、CMOS 电路、电压电流调制、8 位 MCU 内核(68H05)、10 位模/数转换(A/D)器、8 位数模转换(D/A)器、2K 字节 EPROM、128 字节 RAM 启动系统和用于数据通信的外围电路接口,其输出特性可以由 MCU 的软件进行校准和补偿,在相当宽的温度范围内具有极高的精度和良好的线性。

② 进一步提高压力传感器的灵敏度,实现低量程的微压传感器。

这种结构以 Endevco 公司在 1977 年提出的双岛结构为代表,它可以实现应力集中,从而提高了压阻式压力传感器的灵敏度,可实现 10kPa 以下的微压传感器。1989 年复旦大学提出 1 种梁膜结构,来实现应力集中,其结构可看做 1 个正面的哑铃形梁,叠加在平膜片上,可实现量程为 1kPa 的微压传感器。另外还有美国 Honeywell 公司在 1992 年提出的“Ribbed and Bossed”结构和德国柏林技术大学提出的类似结构。这种微压传感器用于脉动风压、流量和密封件泄漏量标识等领域。

③ 提高工作温度,研制高低温压力传感器。

压阻式压力传感器,由于受 PN 结耐温限制,只能用于 120°C 以下的工作温度。然而在许多领域,迫切需要能够在高低温下正常工作的压力传感器,例如测量锅炉、管道、高温容器

内的压力、井下压力和各种发动机腔体内的压力。目前高温压力传感器主要包括 SOSOI-SiC-Poly Si 合金薄膜溅射压力传感器、高温光纤压力传感器、高温电容式压力传感器等。其中 6H-SiC 高温压力传感器可望在 600℃ 下应用。

④ 开发谐振式压力传感器。

微机械谐振式压力传感器,除了具有普通微传感器的优点外,还具有准数字信号输出抗干扰能力强、分辨力和测量精度高的优点。硅微谐振式传感器的激励检测方式有电磁激励/电磁拾振、静电激励/电容拾振、逆压电激励/压电拾振、电热激励/压敏电阻拾振和光热激励/光信号拾振。其中电热激励/压敏电阻拾振的微谐振式压力传感器,价格低廉,与工业 IC 技术兼容,可将敏感元件与信号调理电路,集成在 1 块芯片上,具有诱人的应用前景。目前,国内主要有中科院电子所、北京航空航天大学 and 西安交通大学从事这方面的研究,精度可达到 0.37%。这种传感器的温度交叉灵敏度较大,为此设计了一种具有温度自补偿功能的复合微梁谐振式压力传感器。谐振器由在同一硅片上制作的微桥谐振器和微悬臂梁谐振器组成,微桥谐振器和微悬臂梁谐振器材料相同、厚度相等或相近、制作工艺完全相同,同时二者对温度变化可以同步响应。通过数据融合技术,作为温敏元件的微悬臂梁谐振器可以实时补偿温度变化对微桥谐振器谐振频率的交叉灵敏度影响。经补偿的谐振式压力传感器的温度交叉灵敏度减小了两个数量级。光热激励/光学信号检测的微谐振式压力传感器,具有抗电磁干扰、防爆等优点,是对电热激励/压敏电阻拾振的微谐振式压力传感器的有益补充,但是需要复杂的光学系统。

2. 微加速度传感器

微加速度传感器是继微压力传感器之后,第二个进入市场的微机械传感器,其主要类型有压阻式、电容式、力平衡式和谐振式,如图 3-16 所示。

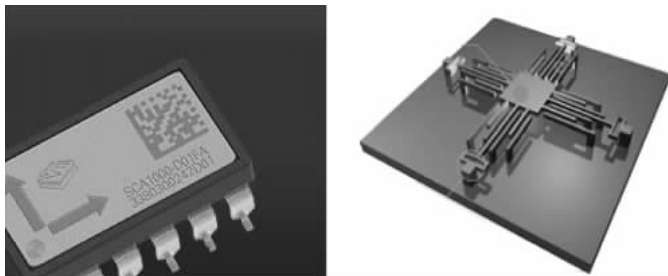


图 3-16 微加速度传感器

其中最具有吸引力的是力平衡加速度计,其典型产品是 Kuehnel 等人在 1994 年提出的 AGXL50 型,其结构包括 4 个部分:质量块、检测电容、力平衡执行器和信号处理电路。集成制作在 3mm×3mm 的硅片上,其中机械部分采用表面微机械工艺制作,电路部分采用 BiCMOSIC 技术制作。随后 Zimmermann 等人提出了利用 SIMOXSOI 芯片制作的类似结构,Chan 等人报道了测量范围在 5g 和 1g 的改进型力平衡式加速度传感器。这种传感器在汽车的防撞气囊控制等领域有广泛的用途,成本在 15 美元以下。国内在微加速度传感器的研制方面也作了大量的工作,如西安电子科技大学研制的压阻式微加速度传感器、清华大学微电子所开发的谐振式微加速度传感器。后者采用电阻热激励。压阻电桥检测的方式其敏

感结构为高度对称的 4 角支撑质量块形式,在质量块 4 边与支撑框架之间制作了 4 个谐振梁用于信号检测。

3. 微机械陀螺仪

角速度一般是用陀螺仪来进行测量的。传统的陀螺仪是利用高速转动的物体具有保持其角动量的特性来测量角速度的,如图 3-17 所示。

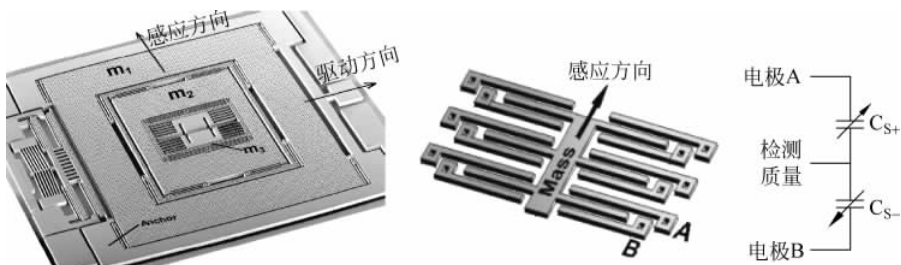


图 3-17 MEMS 陀螺仪的结构

这种陀螺仪的精度很高,但它的结构复杂、使用寿命短、成本高。一般仅用于导航方面,难以在一般的运动控制系统中应用。实际上,如果不是受成本限制,角速度传感器可在诸如汽车牵引控制系统、摄像机的稳定系统、医用仪器、军事仪器、运动机械、计算机惯性鼠标、军事等领域有广泛的应用前景。因此,近年来人们把目光投向微机械加工技术,希望研制出低成本、可批量生产的固态陀螺。目前,常见的微机械角速度传感器有双平衡环结构悬臂梁结构、音叉结构、振动环结构等。

4. 微流量传感器

微流量传感器不仅外形尺寸小,能达到很低的测量量级,而且死区容量小、响应时间短,适合于微流体的精密测量和控制。目前国内外研究的微流量传感器依据工作原理,可分为热式(包括热传导式和热飞行时间式)、机械式和谐振式 3 种。清华大学精密仪器系设计的阀片式微流量传感器,通过阀片将流量转换为梁表面弯曲应力再由集成在阀片上的压敏电桥检测出流量信号。该传感器的芯片尺寸为 $3.5\text{mm} \times 3.5\text{mm}$,在 $10 \sim 200\text{ml/min}$ 的气体流量下线性度优于 5% ,如图 3-18 和图 3-19 所示。



图 3-18 气体流量控制器

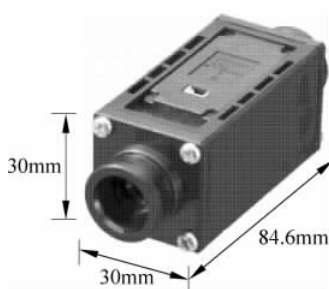


图 3-19 质量流量传感器

荷兰 Twente 大学的 Rob LegtenBerg 等人利用薄膜技术和微机械加工技术制作了 1 对具有相对 V 形槽的谐振器芯片和顶盖芯片。利用低温玻璃键合技术,将二者键合在一起形成质量流量传感器,相对的 V 形槽形成流体通过流管。由于激励电阻和检测电桥产生的热量,使谐振器温度上升到高于环境温度的某一温度。如果有气流流过,流管对流换热使谐振器温度降低。气体流量不同谐振器温度亦不同。由于谐振器和衬底材料不同,不同温度对应不同的内应力,因而可通过谐振频率的大小得到流量的大小。谐振器可以是微桥谐振器,也可以是方膜谐振器。研究表明,质量流量传感器的灵敏度与向衬底传导的热量和对流换热之比有关。对相同材料制作的微桥谐振器和微方膜谐振器来说,后者向衬底传导的热量更多因而其灵敏度较桥谐振器低。对由它们构成的氮化硅桥谐振器来说,在压曲临界温度以下灵敏度为 $4\text{kHz}/\text{Sccm}$,在压曲温度以上为一 $7\text{kHz}/\text{Sccm}$ 。

5. 微气敏传感器

根据制作材料的不同,微气敏传感器分为硅基气敏传感器和硅微气敏传感器。其中前者以硅为衬底,敏感层为非硅材料,是当前微气敏传感器的主流。微气敏传感器可满足人们对气敏传感器集成化、智能化、多功能化等要求。例如许多气敏传感器的敏感性能和工作温度密切相关,因而要同时制作加热元件和温度探测元件以监测和控制温度。MEMS 技术很容易将气敏元件和温度探测元件制作在一起保证气敏传感器优良性能的发挥,如图 3-20 所示。



图 3-20 微气敏传感器

谐振式气敏传感器不需要对器件进行加热,且输出信号为频率量,是硅微气敏传感器发展的重要方向之一。北京大学微电子所提出的一种微结构气敏传感器由硅梁、激振元件、测振元件和气体敏感膜组成。微梁被置于被测气体中,后表面的敏感膜吸附气体分子而使梁的质量增加,使梁的谐振频率减小。这样通过测量硅梁的谐振频率可得到气体的浓度值。对 NO_2 气体浓度的检测实验表明:在 $0 \times 10^4 \sim 1 \times 10^4$ 的范围内有较好的线性浓度检测效果,极限达到 1×10^6 ,当工作频率是 19kHz 时,灵敏度是 $1.3\text{Hz}/10^6$ 。

6. 微机械温度传感器

微机械传感器与传统的传感器相比具有体积小、重量轻的特点,其固有热容量仅为

$10^{-8} \sim 10^{-15} \text{ J/K}$,使其在温度测量方面,具有传统温度传感器不可比拟的优势。沈阳市传感技术研究所开发了一种硅或二氧化硅双层微悬臂梁温度传感器。基于硅和二氧化硅两种材料热膨胀系数的差异,不同温度下,梁的挠度不同,其形变可通过位于梁根部的压敏电桥来检测。其非线性误差为 0.9%,迟滞误差为 0.45%,重复性误差为 1.63%,精度为 1.9%。

7. 其他微机械传感器

利用微机械加工技术还可以实现其他多种传感器,如瑞士 Chalmers 大学的 PeterE 等人设计的谐振式流体密度传感器等。

3.5 传感器接口技术

传感器接口电路,是传感器和系统其他功能部件之间的接口,其性能直接影响到整个系统的测量精度和灵敏度。传感器接口电路的选择,是根据传感器的输出信号特点及用途确定的。不同传感器具有不同的输出信号,就要求不同的接口电路。传感器的接口电路形式多样,功能千变万化。它可能是一个放大器,也可能是一个信号转换电路。

3.5.1 传感器接口特点

传感器接口电路形式多样,功能各异。有些非电量的检测需要对被测量进行某一定值的设定。当达到确定值时检测系统应输出控制信号。在这种情况下,大多使用开关型传感器,利用其开关功能作为直接控制元件使用。使用开关型传感器的检测电路接口比较简单,可以直接用传感器输出的开关信号,驱动控制电路和报警电路工作。

由于传感器种类繁多,传感器的输出信号形式也是各式各样的,即使同一类传感器其输出形式也会不同。

一般来说传感器输出信号具有如下特点:

① 输出信号比较微弱,有的传感器输出电压仅有 $0.1\mu\text{V}$ 。这就要求接口电路必须有一定的放大能力。

② 输出阻抗比较高,这样会使传感器信号输入到测量电路时产生较大的信号衰减。

③ 输出信号动态范围很宽。输出信号随着输入物理量的变化而变化,但它们之间的关系不一定是线性比例关系。例如,热敏电阻的电阻值随温度呈指数函数变化有时需要线性化处理,输出信号大小会受温度的影响。

根据传感器输出信号的特点,采取不同的信号处理方法来提高测量系统的测量精度和线性度,是传感器信号处理的主要目的。传感器在测量过程中常掺杂许多噪声信号,它会直接影响测量系统的精度。因此抑制噪声也是传感器信号处理的重要内容。

传感器输出信号的处理主要由传感器的接口电路完成。因此传感器接口电路应具有一定的信号预处理能力。经预处理后的信号应成为可供测量、控制使用及便于向微型计算机输入的信号形式。

3.5.2 常用传感器接口电路

1. 阻抗匹配器

传感器输出阻抗都比较高,为防止信号的衰减,常常采用高输入阻抗和低输出阻抗的阻抗匹配器作为传感器输入到测量系统的前置电路。常见的阻抗匹配器有晶体管阻抗匹配器、场效应管阻抗匹配器及运算放大器阻抗匹配器。

晶体管阻抗匹配器实际上是一个晶体管共集电极电路,又称为射极输出器。射极输出器的输出相位与输入相位相同,其电压放大倍数小于但接近于1。电流放大倍数从几十到几百倍。由于射极输出器的输入阻抗较高,输出阻抗低,带负载能力强。所以,常将其用来做阻抗变换电路和前后级隔离电路。晶体管阻抗匹配器虽然有较高的输入阻抗,但由于受偏置电阻和管子本身基极及集电极间电阻的影响,不可能获得很高的输入阻抗,在有些场合,有可能仍然无法满足传感器的要求。

场效应管是一种电平驱动元件,栅源极间电流很小,其输入阻抗可高达 $10^{12}\Omega$ 以上,可作阻抗匹配器使用。场效应管阻抗匹配器结构简单、体积小,因此常用做前置级的阻抗变换器。场效应管阻抗匹配器有时还直接安装在传感器内,以减少外界的干扰。在电容式传感器、压电式传感器等容性传感器中得到了广泛的应用。

运算放大器的输入阻抗一般也非常高,且性能稳定,故也是阻抗匹配器的理想选择。

2. 电桥电路

电桥电路是传感器检测电路中经常使用的电路,主要用来把传感器的电阻、电容、电感变化转换为电压或电流。根据电桥供电电源的不同,电桥可分为直流电桥和交流电桥。直流电桥主要用于电阻式传感器,例如热敏电阻、电位器等。交流电桥主要用于测量电容式传感器和电感式传感器的电容和电感的变化。电阻应变片传感器大都采用交流电桥,这是因为应变片电桥输出信号微弱,需经放大器进行放大而使用直流放大器容易产生零点漂移。此外应变片与桥路之间采用电缆连接,其引线分布电容的影响不可忽略。使用交流电桥还可以消除这些影响。

(1) 直流电桥

直流电桥的基本电路如图 3-21 所示。

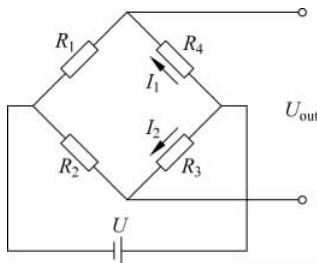


图 3-21 直流电桥电路

它是由直流电源供电的,电桥电路电阻构成桥式电路的桥槽,桥路的一对角线是输出端。一般接有高输入阻抗的放大器,因此可以把电桥的输出端看成开路,电路不受负载电阻的影响。在电桥的另一对角线接点上加有直流电压。

电桥的输出电压可由下式给出

$$U_{\text{out}} = \frac{U(R_2R_4 - R_1R_3)}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}$$

电桥的平衡条件为

$$R_2R_4 = R_1R_3$$

当电桥平衡时输出电压为零。

当电桥 4 个臂的电阻发生变化而产生增量 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 、 ΔR_4 时电桥的平衡被打破,电桥的输出电压变为

$$U_{\text{out}} = \frac{UR_1R_4}{(R_1 + R_4)^2} \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right)$$

当 $\frac{R_4}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} = 1$ 时,

$$U_{\text{out}} = \frac{U}{4} \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right)$$

此时,电桥电路被称为四等臂电桥,输出灵敏度最高,而非线性误差最小,因此在传感器的实际应用中多采用四等臂电桥。

直流电桥在应用过程中常出现误差,消除误差通常采用补偿法,其中包括零点平衡补偿、温度补偿和非线性补偿等。

(2) 交流电桥

交流桥式电路如图 3-22 所示。

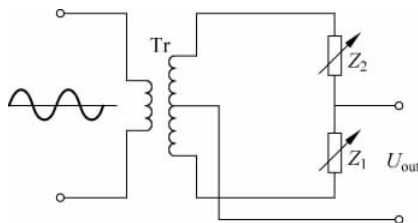


图 3-22 交流电桥式

图中 Z_1 和 Z_2 为阻抗元件,它们同时可以为电感或电容,电桥两臂为差动方式,又称为差动交流电桥。在初始状态时, $Z_1 = Z_2 = Z_0$,电桥平衡,输出电压 $U_{\text{out}} = 0$ 。测量时一个元件的阻抗增加,另一个元件的阻抗减小,假定 $Z_1 = Z_0 + \Delta Z$ $Z_2 = Z_0 - \Delta Z$,则电桥的输出电压为

$$U_{\text{out}} = \left(\frac{Z_0 + \Delta Z}{2Z_0} - \frac{1}{2} \right) U = \frac{\Delta Z U}{2Z_0}$$

如果 $Z_1 = Z_0 - \Delta Z$ $Z_2 = Z_0 + \Delta Z$,则电桥的输出电压为

$$U_{\text{out}} = -\frac{\Delta Z U}{2Z_0}$$

(3) 放大电路

传感器的输出信号一般比较微弱,因而在大多数情况下,都需要放大电路。放大电路主

要用来将传感器输出的直流信号或交流信号进行放大处理,为检测系统提供高精度的模拟输入信号,它对检测系统的精度起着关键作用。

3.5.3 传感器与微型计算机接口的一般结构

在智能传感器系统中,微型计算机是系统核心,各部件都要在微型计算机的控制下协调工作。因此,传感器的输出信息要送入微型计算机进行处理。由微型计算机控制的传感器系统的一般结构如图 3-23 所示。



图 3-23 传感器与微型计算机接口的一般结构

通常将微机之前的信息处理过程称为前向通道或输入通道。将微机之后的信息处理过程称为后向通道或输出通道。

1. 输入通道的特点

① 输入通道的结构类型取决于传感器送来的信号大小和类型。由于被测量和信号转换的差异,输入通道会有不同的类型。

② 输入通道的主要技术指标是信号转换精度和实时性,后者为实时检测和控制系统的特殊要求。对输入通道技术指标的要求是选择通道中有关器件的依据。

③ 输入通道是一个模拟、数字信号混合的电路,其功耗小,一般没有功率驱动要求。

④ 被测信号所在的现场可能存在各种电磁干扰。这些干扰会与被测信号一起从输入通道进入微机,影响测量和控制精度,甚至使微机无法正常工作,因此在输入通道中必须采取措施。

2. 输出通道的特点

① 通道的结构取决于系统要求,其中的信号有数字量和模拟量两大类,要用到的转换器件是 D/A 转换器。

② 微机输出信号的电平和功率都很小,而被控装置所要求的信号电平和功率往往比较大,因此在输出通道中要有功率放大,即输出驱动环节。

③ 输出通道连接被控装置的执行机构,各种电磁干扰会经通道进入被控装置,因此必须在输出通道中采取抗干扰措施。

3.5.4 接口电路应用实例

图 3-24 所示为自动温度控制仪表电路框图。该系统主要由以下几部分组成:传感器、差分放大器、V/F 转换电路、CPU、存储器、监视与复位电路、显示电路及键盘、控制输出电路与系统支持电源。

它是一个典型的单片机测控电路。有实时信号的采集、信号的调节、模拟数字的转换、

数据的显示、键盘控制数据的输入、控制信号输出等。这些都在单片机的协调、控制下完成。

温度信号的采集可以用热电偶、铜热电阻、铂热电阻、数字温度芯片或模拟温度芯片等,视具体应用时对温度范围、精度和测量对象等的要求而选定。不同的传感器需要不同的电路连接,可根据传感器的类型、技术参数来设计。

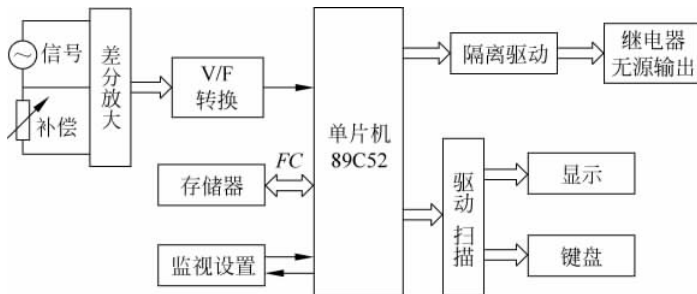


图 3-24 自动温度测控仪表原理框图

在测控电路中信号的采集是关键,它直接影响到系统的精度。通常现场情况都是比较恶劣的,信号易受干扰,所以在信号采集中必须采用有效的措施,如电源隔离、AD 转换隔离、V/F 转换隔离、低通滤波器和差分放大等。本例采用的差分放大、V/F 转换是一种性价比较高的方案。差分放大器能有效地抑制共模干扰,采用 V/F 转换能有效抑制噪声和对信号变化进行平滑,同时频率信号与单片机相连也比较方便。本电路还具有良好的精度和线性度。

显示功能可根据应用环境、产品定位选用不同的显示器材,如 LED、LCD、CRT 等。本例中采用的是 LED,配以动态扫描电路,价格低廉,可以实时显示采集的数据和键盘输入的控制参数等。在测控系统中控制参数的设置是必不可少的,使用中要根据输入信息量来选用合适的键盘。

现场数据要按一定的算法进行运算,要进行非线性校正,要根据键盘输入设定的参数进行控制,控制必须按一定的方式进行。一般现场闭环控制中最常用的是 PID(比例—积分—微分校正)算法。这些都是由单片机进行的,在工业控制中 80C51 系列单片机应用比较多。本例采用 89C52 型,它带 8KB 的 E²PROM。该单片机性价比很高,有一定的可靠性、合理性。

信号输出在工业控制中采用继电器和固态继电器等方式,其可靠性很重要,将影响到系统的安全。一般被控制对象的功率都很大,产生的干扰也很大,所以在输出通道中要采用电源隔离和干扰吸收等措施。

测控系统中的电源也很重要,它直接影响到系统的可靠性、稳定性、精度。应根据应用环境、电路形式来选用,关键是电源的输出功率、电源的质量和能提供的输出组数等。

本章小结

本章首先介绍了传感器的基础知识,然后分别介绍了几个常用的传感器。针对物联网的发展特点,本章主要对智能传感器做了重点介绍,继而引出了 IEEE 1451 标准,对此标准做了详细的介绍。随后,还对 MEMS 技术的概念、特点、应用以及常用 MEMS 传感器做了分析。最后,对接口技术进行了简要的描述。