

技师学院维修电工专业教材
维修电工技师培训教材



自动检测 与传感器应用

WEIXIU
DIANGONG



中国劳动社会保障出版社

技师学院维修电工专业教材
维修电工技师培训教材

TP212
130

自动检测与传感器应用

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

自动检测与传感器应用/颜全生主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2006

技师学院维修电工专业教材

维修电工技师培训教材

ISBN 7-5045-5651-3

I. 自… II. 颜… III. ①自动检测-技工学校-教材 ②传感器-技工学校-教材
IV. ①TP274 ②TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071266 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京人卫印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 359 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

定价: 25.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

进入 21 世纪以来,我国作为制造业大国的地位和当前生产一线劳动者素质偏低及技能人才,尤其是高级技工、技师人才匮乏之间的矛盾越来越突出,已成为制约我国制造业升级的突出问题。为了解决这一矛盾,2005 年国务院颁发了《国务院关于大力发展职业教育的决定》,确立了“力争用 5 年时间,在全国新培养 190 万名技师和高级技师,新培养 700 万名高级技工,并带动中级和初级技能劳动者队伍梯次发展”的目标。正是在这样的新形势下,为了推进我国职业教育建设,加强各类高素质高技能专门人才的培养,我们组织编写了这套技师学院维修电工专业教材,初步完成的有《变频变流技术》《自动检测与传感器应用》和《PLC 原理与应用》3 种,之后我们还将陆续开发其他教材。

在这套教材的编写过程中,我们始终坚持了以下基本原则:

一是从生产实际出发,合理安排教材的知识和技能结构,突出技能培养,摒弃“繁难偏旧”的理论知识。二是以国家相关职业标准为依据,确保在知识内容和技能水平上符合国家职业鉴定技师标准。三是引入新技术、新工艺的内容,反映行业的新标准、新趋势,淘汰陈旧过时的技术,拓宽专业技术人员的知识眼界。四是在结构安排和表达方式上,强调由浅入深,循序渐进,力求做到图文并茂。

本套教材可作为技师学院维修电工专业教材,也可作为维修电工技师培训教材。

本套教材的编写工作得到了山东、广东等省有关学校的支持和帮助,在此我们表示衷心的感谢。

《自动检测与传感器应用》的主要内容包括:传感器概论、经典传感器、现代新型传感器、数字式传感器、传感器应用技术、传感器的选择与使用等。

本书由颜全生主编,刘遥生、杜江参加编写。

劳动保障部教材办公室

2006 年 6 月

目 录

第 1 章 传感器概论	(1)
§ 1—1 传感器的概念、组成及分类	(2)
§ 1—2 传感器的基本特性	(3)
§ 1—3 传感器的作用和发展方向	(7)
第 2 章 经典传感器	(12)
§ 2—1 电阻式传感器	(12)
§ 2—2 变磁阻式传感器	(35)
§ 2—3 电容式传感器	(58)
§ 2—4 压电式传感器	(72)
§ 2—5 温度传感器	(81)
§ 2—6 霍尔式传感器	(94)
第 3 章 现代新型传感器	(108)
§ 3—1 光电传感器	(108)
§ 3—2 光纤传感器	(118)
§ 3—3 超声波传感器	(124)
§ 3—4 视觉检测传感器	(129)
§ 3—5 气敏传感器	(145)
§ 3—6 其他新型传感器	(154)
第 4 章 数字式传感器	(176)
§ 4—1 光栅传感器	(176)
§ 4—2 感应同步器	(183)
§ 4—3 旋转变压器	(190)
§ 4—4 编码器	(192)

第 5 章 传感器应用技术·····	(200)
§ 5—1 信号变换·····	(200)
§ 5—2 驱动电路分析及外围电路器件选择·····	(211)
第 6 章 传感器的选择与使用·····	(217)
§ 6—1 传感器的正确选择·····	(217)
§ 6—2 传感器的合理使用·····	(218)

第 1 章

传感器概论

在高度发达的现代社会中,科学技术的突飞猛进和生产过程的高度自动化已成为社会发展的必然趋势,而它们的共同要求是必须建立在强大的信息工业基础上。人们只有从外界获取大量准确、可靠的信息,再经过一系列的科学分析、处理、加工,才能认识和掌握自然界中的各种现象及其相关发展变化规律,进而促成科学技术的发展。

工业生产过程的现代化面临的第一个问题是必须采用各种传感器来检测、监视和控制各种静态及动态参数,使设备或系统能正常运行,并处于最佳状态,从而保证生产的高效率、高质量,所以进行信息采集的传感器技术是重要的基础。此后,才有后期的信息分析、处理、加工、控制等技术问题。当然,人们在早期是通过人体自身的感觉器官与外界保持接触的,在一定程度上和一定范围内获得有限的重要信息,以维持与指导人类的正常生活和生产活动。例如,人耳能听到声音,但却无法分辨次声波或超声波这些高频段的声音;又如人眼能看到光线,但却无法辨别出红外光或紫外光。因而,多年来人们不仅研究出类似人类感觉器官所具有的感觉功能的传感器,而且还千方百计地开发出了人类感觉器官所不具备的感觉功能的传感器。

近 30 年来,快速发展的集成电路(IC)技术与电子计算机技术为传感器的高速发展提供了可靠的科学技术基础,同时也对传感器技术提出了更高的要求。世界各国都将传感器技术列为尖端技术,尤其是在经济较为发达的美、英、德、俄、日等国,对传感器技术的发展更是倍加重视。“征服了传感器,就等于征服了科学技术”。美国早在 20 世纪 80 年代就称其进入了传感器时代;日本把十大技术之首定位于传感器;俄罗斯国防发展中的“军事航天”计划把传感器技术列为重点;英、德、法等国拨出专款来发展传感器技术;我国在“八五”规划中也把传感器技术列为重点发展技术和 21 世纪发展的高科技项目之一。鉴于我国对传感器的研究发展较晚,基础较差,所以为了缩小差距,必须加速与促进我国传感器技术的发展。

传感器是探索与测量自然界各种参数的检测元件。有人曾通俗地称其为“探头”(Probe),英语中还有“Sensor”(敏感元件)与“Transducer”(传感器)之称。实际上,凡是能够完成两种量(光学量、热学量、电学量、力学量、机械量等)之间的变换或转换关系的,都属于传感器的范围,从目前实际应用情况看,接有测量电路的传感器的输出量往往都是电学量。在一些资料与参考书中,也将那些把电学量作为输出量的传感器称为电子传感器。

§ 1—1 传感器的概念、组成及分类

一、传感器的定义

传感器 (Transducer 或 Sensor) 有时也被称为换能器、变换器、变送器或探测器, 主要特征是能感知和检测某一形态的信息, 并将其转换成另一形态的信息。因此, 传感器是指那些对被测对象的某一确定的信息具有感受 (或响应) 与检出功能, 并使之按照一定规律转换成与之对应的有用输出信号的元器件或装置。当然, 这里的信息应包括电量或非电量。在不少场合, 人们将传感器定义为敏感于待测非电量并可将其转换成与之对应的电信号的元件、器件或装置的总称。国际标准化组织 (ISO) 和日本工业标准 “JIS—Z130” 将传感器定义为 “对应于被测量, 能给出易于处理的输出信号的变换器”。当然, 将非电量转换为电信号并不是唯一的形式。例如, 可将一种形式的非电量转换成另一种形式的非电量 (如将力转换成位移等); 另外, 以发展的眼光来看, 将非电量转换成光信号或许更为有利。

二、传感器的组成

传感器一般是利用物理、化学和生物等学科的某些效应或机理, 按照一定的工艺和结构研制出来的, 因此, 传感器组成的细节有较大差异。但是, 总的来说, 传感器应由敏感元件、转换元件和其他辅助部件组成, 如图 1—1 所示。敏感元件是指传感器中能直接感受 (或响应) 并检出被测对象的待测信息 (非电量) 的部分, 转换元件是指传感器中能将敏感元件所感受 (或响应) 出的信息直接转换成电信号的部分。例如, 应变式压力传感器由弹性膜片和电阻应变片组成, 其中的弹性膜片就是敏感元件, 它能将压力转换成弹性膜片的应变 (形变); 弹性膜片的应变施加在电阻应变片上, 它能将应变量转换成电阻的变化量, 电阻应变片就是转换元件。

应该指出的是, 并不是所有的传感器都必须包括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, 因此, 敏感元件和转换元件二者合一的传感器是很多的。例如, 压电晶体、热电偶、热敏电阻、光电器件等都是这种形式的传感器。

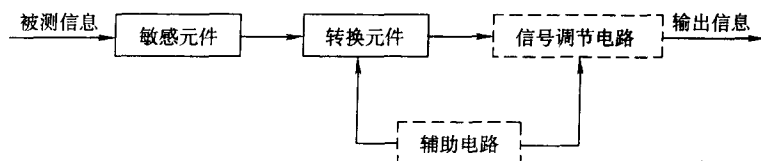


图 1—1 传感器组成图

信号调节电路是能把转换元件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理和控制的有用电信号的电路。辅助电路通常包括电源, 即交、直流供电系统。

三、传感器的分类

传感器技术是一门知识密集型技术, 它与许多学科有关。传感器的原理各种各样, 种类繁多, 分类方法见表 1—1。

表 1—1

传感器分类

分类标准	类型	特点
按被测量分类	加速度传感器	这种分类方法对于用户与生产单位来说是一目了然的,但是这种分类方法的弊病造成了传感器名目繁多,又把原理互不相同的同一用途的传感器归为一类,这就很难找出各种传感器在转换原理上的共性与差异,难于建立起对传感器的基本概念,不利于掌握传感器的原理与性能的分析方法
	速度传感器	
	位移传感器	
	压力传感器	
	负荷传感器	
	扭矩传感器	
	温度传感器	
按传感器的工作原理分类	电阻应变式传感器	这种分类方法的优点是可以避免传感器的名目繁多,使传感器的划分类别较少,并有利于传感器专业工作者对传感器的工作原理与设计归纳性地分析研究,使设计与应用更具有合理性与灵活性,缺点是会使对传感器不够了解的用户感到使用不方便
	电容式传感器	
	电感式传感器	
	压电式传感器	
	霍尔式传感器	
	光电式传感器	
	热敏式传感器	
按能量的传递方式分类	有源传感器	有源传感器可把传感器视为一台微型发电机,能将非电功率转换为电功率,它所配用的测量电路通常是信号放大器。所以,有源传感器是一种能量变换器,在有源传感器中,有些传感器的能量转换是可逆的,另一些是不可逆的,并且有些有源传感器通常附有力学系统,只能用在接触式的测量中
	无源传感器	无源传感器不进行能量的转换,被测的非电量仅对传感器中的能量起着控制或调节的作用。所以,它必须具有辅助能源(电源)。无源传感器本身并不是一个信号源,所以它所配用的测量放大器与有源传感器不一样,通常是电桥电路或谐振电路,并且无源传感器具有直流响应,一般不配备力学系统,因而适用于静态和动态测量,有时还可以用于非接触式的测量场合
按输出信号的性质分类	模拟传感器	模拟传感器要通过 A/D 变换器才能应用电子计算机进行信号分析、加工与处理;数字式传感器则直接可送到电子计算机进行处理
	数字传感器	

§ 1—2 传感器的基本特性

在测试过程中,要求传感器能感受到被测量的变化,并将其不失真地转换成容易测量的量。被测量一般有两种形式:一种是稳定的,即不随时间变化或变化极其缓慢,称为静态信号;另一种是随时间变化而变化,称为动态信号。由于输入量的状态不同,传感器所呈现出来的输入——输出特性也不同,因此,传感器的基本特性一般用静态特性和动态特性来描述。

一、传感器的静态特性

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——输入关系。衡量静态特性的重要指标是线性度、灵敏度、迟滞、重复性、分辨率、稳定性和漂移等。

1. 线性度

传感器的线性度是指其输出量与输入量之间的实际关系曲线（即静特性曲线）偏离直线的程度，又称非线性误差。静特性曲线可通过实际测试获得。在实际应用中，大多数传感器为非线性的，为了得到线性关系，常引入各种非线性补偿环节，如采用非线性补偿电路或计算机软件进行线性化处理。但如果传感器非线性的次方不高，输入量变化范围较小时，可用一条直线（切线或割线）近似地代表实际曲线的一段，如图 1—2 所示，使传感器输出——输入线性化所采用的直线称为拟合直线。实际特性曲线与拟合直线之间的偏差称为传感器的非线性误差（或线性度），通常用相对误差 γ_L 表示，即：

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

式中 $\Delta L_{\max}$ ——最大非线性绝对误差；

Y_{FS} ——满量程输出。

从图 1—2 可见，即使是同类传感器，拟合直线不同，其线性度也是不同的。选取拟合直线的方法很多，常用的有理论直线法、端点法、割线法、切线法、最小二乘法 and 计算机程序法等，用最小二乘法求取的拟合直线的拟合精度最高。

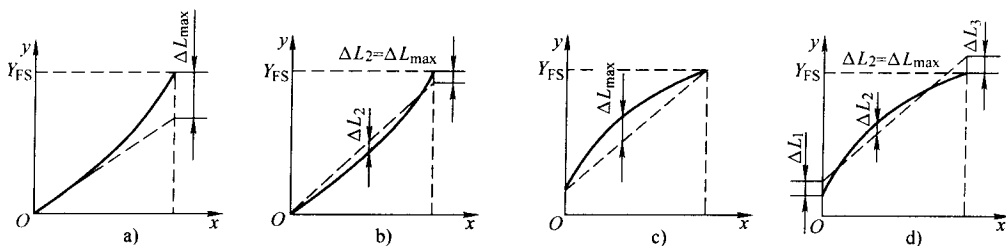


图 1—2 几种直线拟合法

2. 灵敏度

灵敏度 K 是指传感器的输出量增量 Δy 与引起输出量增量 Δy 的输入量 Δx 的比值，即：

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{或} \quad K = \frac{dy}{dx} \quad (1-2)$$

对于线性传感器，它的灵敏度就是它的静态特性的斜率，即 K 为常数（见图 1—3a）；而非线性传感器的灵敏度为一变量，用 $K = dy/dx$ 表示（见图 1—3b）。

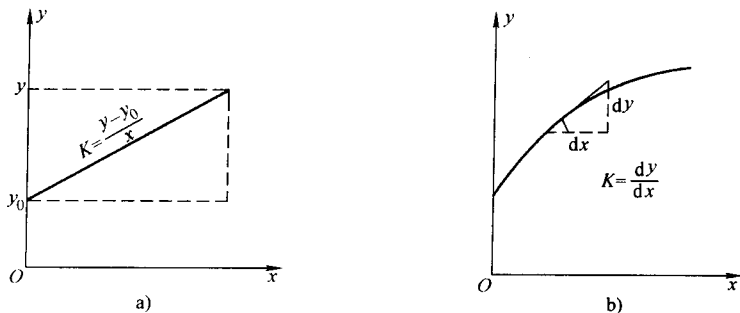


图 1—3 传感器的灵敏度

a) 线性传感器的灵敏度 b) 非线性传感器的灵敏度

另外,有时用输出灵敏度这个性能指标来表示某些传感器的灵敏度,如应变片式压力传感器。输出灵敏度是指传感器在额定载荷作用下,测量电桥供电电压为1 V时的输出电压。

3. 迟滞(回差滞环现象)

传感器在正向(输入量增大)行程和反向(输入量减小)行程期间,输出——输入特性曲线不重合的现象称为迟滞,如图1—4所示。也就是说,对于同一大小的输入信号,传感器的正、反行程输出信号大小不等。产生这种现象的主要原因是由于传感器敏感元件材料的物理性质和机械零部件的缺陷所造成的,例如,弹性敏感元件的弹性滞后、运动部件摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动等,迟滞具有一定的随机性。

迟滞大小通常由实验确定。迟滞误差 γ_H 可由下式计算:

$$\gamma_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{2Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 $\Delta H_{\max}$ ——正、反行程输出值间的最大值。

4. 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向做全程多次测试时,所得特性曲线不一致性的程度,如图1—5所示。多次按相同输入条件测试的输出特性曲线越重合,其重复性越好,误差越小。

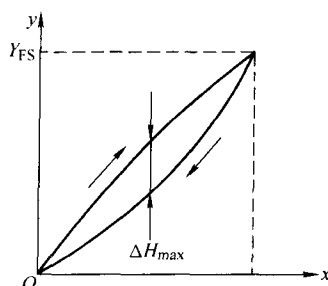


图1—4 传感器迟滞特性

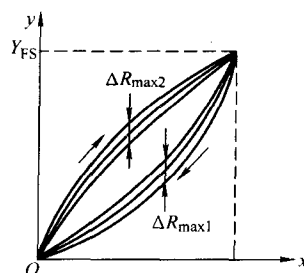


图1—5 重复性

重复性 γ_R 常用标准偏差 σ 表示,也可用正、反行程中的最大偏差 $\Delta R_{\max}$ 表示,即:

$$\gamma_R = \pm \frac{1}{2} \frac{(2 \sim 3)\sigma}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

或

$$\gamma_R = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

5. 分辨率

传感器的分辨率是指在规定测量范围内所能检测输入量的最小变化量 $\Delta x_{\min}$ 。有时也用该值相对满量程输入值的百分数 ($\Delta x_{\min}/x_{FS} \times 100\%$) 来表示。

6. 稳定性

传感器的稳定性一般是指长期稳定性,是在室温条件下,经过相当长的时间间隔,如一天、一月或一年,传感器的输出与起始标定时的输出之间的差异,因此,通常又用其不稳定性来表征传感器输出的稳定程度。

7. 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变化,包括零点漂移和

灵敏度漂移等。

传感器在零输入时,输出的变化称为零点漂移。零点漂移或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。温度漂移是指当环境温度变化时,引起的零点或灵敏度漂移。漂移一般可通过串联或并联可调电阻来消除。

二、传感器的动态特性

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。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。在动态的输入信号情况下,输出信号一般来说不会与输入信号具有完全相同的时间函数,这种输出与输入间的差异就是所谓的动态误差。

影响传感器的动态特性主要是传感器的固有因素,如温度传感器的热惯性等,不同的传感器,其固有因素的表现形式和作用程度不同。另外,动态特性还与传感器输入量的变化形式有关。也就是说,在研究传感器动态特性时,通常是根据不同输入变化规律来考察传感器的动态响应的。传感器的输入量随时间变化的规律是各种各样的,下面对传感器动态特性的分析,同自动控制系统分析一样,通常从时域和频域两方面采用瞬态响应法和频率响应法来分析。

1. 瞬态响应法

研究传感器的动态特性时,在时域中对传感器的响应和过渡过程进行分析的方法,为时域分析法,这时传感器对所加激励信号的响应称为瞬态响应。常用激励信号有阶跃函数、斜坡函数、脉冲函数等。下面以最典型、最简单、最容易实现的阶跃信号作为标准输入信号来分析评价传感器的动态性能指标。

给静止的传感器输入一个单位阶跃函数信号:

$$u(t) = \begin{cases} 1 & t \leq 0 \\ 0 & t > 0 \end{cases} \quad (1-6)$$

其输出特性为阶跃响应特性或瞬态响应特性。瞬态响应特性曲线如图 1—6 所示。

(1) 最大超调量 M_p

最大超调量就是响应曲线偏离阶跃曲线的最大值,常用百分数表示。当稳态值为 K 时,则最大百分比超调量 $M_p = \frac{y(t_p) - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\%$ 。最大超调量反映传感器的相对稳定性。

(2) 延滞时间 t_d

t_d 是阶跃响应达到稳态值 50% 时所需要的时间。

(3) 上升时间 t_r

根据控制理论,它有几中定义:

- ① 响应曲线从稳态值的 10% 上升到 90% 时所需的时间。
- ② 从稳态值的 5% 上升到 95% 时所需的时间。
- ③ 从零上升到第一次到达稳态值时所需的时间。

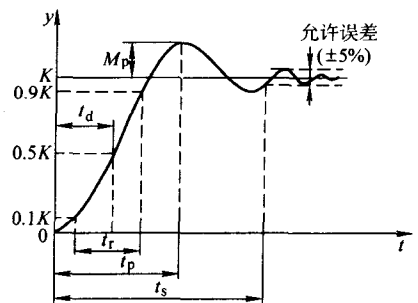


图 1—6 阶跃响应特性

对有振荡的传感器常用③描述,对无振荡的传感器常用①描述。

(4) 峰值时间 t_p

响应曲线从零到第一个峰值时所需的时间。

(5) 响应时间 t_s

响应曲线衰减到稳态值之差不超过 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 时所需要的时间。有时又称为过渡过程时间。

2. 频率响应法

频率响应法是从传感器的频率特性出发研究传感器的动态特性。传感器对正弦输入信号的响应特性,称为频率响应特性。对传感器动态特性的理论研究,通常是先建立传感器的数学模型,通过拉氏变换找出传递函数表达式,再根据输入条件得到相应的频率特性。大部分传感器可简化为单自由度一阶或二阶系统,其传递函数可分别简化为:

$$H(j\omega) = \frac{1}{\tau(j\omega) + 1} \quad (1-7)$$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2j\xi \frac{\omega}{\omega_n}} \quad (1-8)$$

因此,人们可以方便地应用自动控制原理中的分析方法和结论,读者可参考相关书籍,这里不再赘述。研究传感器的频域特性时,主要用幅频特性。传感器频率响应特性指标主要有以下几个:

(1) 频带

传感器增益保持在一定值内的频率范围称为传感器的频带或通频带,对应有上、下截止频率。

(2) 时间常数 τ

用时间常数 τ 来表征一阶传感器的动态特性。 τ 越小,频带越宽。

(3) 固有频率 ω_n

二阶传感器的固有频率 ω_n 表征了其动态特性。

对于一阶传感器,减小 τ 可改善传感器的频率特性。对于二阶传感器,为了减小动态误差和扩大频率响应范围,一般是提高传感器固有频率 ω_n 。而固有频率 ω_n 与传感器运动部件质量 m 和弹性敏感元件刚度 k 有关,即 $\omega_n = \sqrt{k/m}$ 。增大刚度 k 和减小质量 m 可提高固有频率 ω_n ,但刚度 k 增加会使传感器灵敏度降低。所以在实际应用中,应综合各种因素来确定传感器的各个特征参数。

§ 1—3 传感器的作用和发展方向

一、传感器的作用

现代信息技术的三大基础是信息采集(即传感器技术)、信息传输(通信技术)和信息处理(计算机技术),它们在信息系统中分别起到了“感官”“神经”和“大脑”的作用。传感器属于信息技术的前沿尖端产品,其重要作用如同人体的五官。传感器是信息采集系统的

首要部件,是实现现代化测量和自动控制(包括遥感、遥测、遥控)的主要环节。

表 1—2

主要用途	详细说明
生产过程 的测量与控制	在生产过程中,对温度、压力、流量、位移、液体和气体成分等参量进行检测,从而实现对工作状态的控制
安全报警 与环境保护	利用传感器可对高温、放射性污染以及粉尘弥漫等恶劣工作条件下的过程参量进行远距离测量与控制,并可实现安全生产。可用于温控、防灾、防盗等方面的报警系统。在环境保护方面可用于对大气与水质污染的监测、放射性和噪声的测量等
自动化设备 和机器人	传感器可提供各种反馈信息,尤其是传感器与计算机的结合,使自动化设备的自动化程度有了很大提高。在现代机器人中大量使用了传感器,其中包括力、扭矩、位移、超声波、转速和射线等许多传感器
交通运输 和资源探测	传感器可用于对交通工具、道路和桥梁的管理,以保证提高运输的效率与防止事故的发生,还可用于陆地与海底资源探测以及空间环境、气象等方面的测量
医疗卫生 和家用电器	利用传感器可实现对病患者的自动监测与监护,可用于微量元素的测定、食品卫生检疫等,尤其是作为离子敏感器件的各种生物电极,已成为生物工程理论研究的重要测试装置

近年来, 由于科学技术和经济的发展及生态平衡的需要, 传感器的应用领域还在不断扩大。

在当前信息时代,传感器技术被视为现代高新技术发展的关键,作为现代信息技术三大支柱之一的传感器技术必将有较大的发展。今后,我国传感器方面的研究和开发方向应是微电子机械系统、汽车传感器、环保传感器、工业过程控制传感器、医疗卫生和食品业检测传感器、智能化和多功能化、新型敏感材料等。下面将传感器的发展概括为以下几个方面。

为了能够与信息时代信息量激增、要求捕获和处理信息的能力日益增强的技术发展趋势保持一致,对于传感器的性能指标(包括精确性、可靠性、灵敏性等)的要求越来越严格。与此同时,传感器系统的操作友好性也被提到了议事日程,因此,还要求传感器必须配有标准的输出模式。而传统的大体积、弱功能传感器往往很难满足上述要求,所以它们已逐步被各种不同类型的高性能微型传感器所取代。

另一方面, 敏感光纤技术的发展也促进了传感器的微型化。当前, 敏感光纤技术日益成为微型传感器技术的另一新的发展方向。预计随着插入技术的日趋成熟, 敏感光纤技术的发展还会进一步加快。光纤传感器的工作原理是将光作为信号载体, 并通过光纤来传送信号。由于光纤具有良好的传光性能, 对光的损耗极低, 加之光纤传输光信号的频带非常宽, 且光纤本身就是一种敏感元件, 所以光纤传感器具有许多优良特征。概括来讲, 光纤传感器的优

良特征主要包括质量轻、体积小、敏感性高、动态测量范围大、传输频带宽、易于转向作业以及它的波形特征能够与客观情况相适应等，因此，能够较好地实现实时操作、联机检测和自动控制。光纤传感器还可以应用于 3D 表面的无触点测量。近年来，随着半导体激光 LD、CCD、CMOS 图形传感器、方位探测装置 PSD 等新一代探测设备的问世，光纤无触点测量技术得到了迅速发展。

就当前技术发展现状来看，微型传感器已经应用于许多领域，对航空、远距离探测、医疗及工业自动化等领域的信号探测系统产生了深远影响。目前，开发并进入实用阶段的微型传感器已可以用来测量各种物理量、化学量和生物量，如位移、速度、加速度、压力、应力、应变、声、光、电、磁、热、pH 值、离子浓度及生物分子浓度等。

2. 智能化传感器

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化传感器。智能化传感器是 20 世纪 80 年代末出现的另外一种涉及多种学科的新型传感器系统，它不但能够执行信息处理和信息存储，而且还能够进行逻辑思考和结论判断。这一类传感器就相当于微机与传感器的综合体一样，其主要组成部分包括主传感器、辅助传感器及微机的硬件设备。如智能化压力传感器，主传感器为压力传感器，用来探测压力参数，辅助传感器通常为温度传感器和环境压力传感器。温度传感器可以方便地调节和校正由于温度的变化而导致的测量误差，环境压力传感器测量工作环境的压力变化并对测定结果进行校正。而硬件系统除了能够对传感器的弱输出信号进行放大、处理和存储外，还执行与计算机之间的通信联络。通常情况下，一个通用的检测仪器只能用来探测一种物理量，其信号调节是由那些与主探测部件相连接的模拟电路来完成的，但智能化传感器却能够实现所有的功能，而且是精度更高，价格更便宜，更具有创造能力的传感器。智能传感器具有的功能见表 1—3。

表 1—3 智能传感器的功能

功能	具体说明
自校准功能	操作者输入零值或某一标准量值后，自校准软件可以自动地对传感器进行在线校准
自补偿功能	智能传感器在工作中可以通过软件对传感器的非线性、温度漂移、响应时间等进行自动补偿
自诊断功能	智能传感器在接通电源后，可以对传感器进行自检，检查各部分是否正常。在内部出现操作问题时，能够立即通知系统，通过输出信号表明传感器发生故障，并可诊断发生故障的部件
自捕捉功能	智能传感器在接通电源后，可以对设定的目标进行锁定、跟踪、报警等功能
数据处理功能	智能传感器可以根据内部的程序自动处理数据，如进行统计处理、剔除异常数值等
双向通信功能	智能传感器的微处理器与传感器之间构成闭环，微处理器不但能接收、处理传感器的数据，还可以将信息反馈至传感器，在测量过程中进行调节和控制
数字信号输出功能	智能传感器能输出数字信号，可以很方便地和计算机或接口总线相连

目前，智能化传感器技术正处于蓬勃发展时期，具有代表意义的典型产品是美国霍尼韦尔公司的 ST-3000 系列智能压力变送器（见图 1—7）和德国斯特曼公司的二维加速度传感器，以及另外一些含有微处理器（MCU）的单片集成压力传感器、具有多维检测能力的智能传感器和固体图像传感器（SSIS）等。与此同时，基于模糊理论的新型智能传感器和神经网络技术在智能化传感器系统的研究和发展中的重要作用也日益受到了相关研究人员的极大重视。

智能化传感器多用于压力、力、振动、冲击、加速度、流量、温度、湿度的测量。另外，智能化传感器在空间技术研究领域也有比较成功的应用实例。在今后的发展中，智能化传感器无疑将会进一步扩展到化学、电磁、光学和核物理等研究领域。可以预见，新兴的智能化传感器将会在关系到全人类的各个领域发挥越来越大的作用。

3. 多功能传感器

通常情况下，一个传感器只能用来测量一种物理量，但在许多应用领域中，为了能够完美而准确地反映客观事物和环境，往往需要同时测量大量的物理量。由若干种各不相同的敏感元件组成或借助于同一个传感器的不同效应或利用在不同的激励条件下同一个敏感元件表现的不同特征构成的多功能传感器系统，可以用来同时测量多种参数。例如，可以将一个温度探测器和一个湿度探测器配置在一起（即将热敏元件和湿敏元件分别配置在同一个传感器承载体上）制造成一种新的传感器，这种新的传感器就能够同时测量温度和湿度。

随着传感器技术和微机技术的飞速发展，目前已经可以生产出将若干种敏感元件总装在同一种材料或单独一块芯片上的一体化多功能传感器。多功能传感器无疑是当前传感器技术发展中一个全新的研究方向。如将某些类型的传感器进行适当组合而使之成为新的传感器。又如，为了能够以较高的灵敏度和较小的粒度同时探测多种信号，微型数字式三端口传感器可以同时采用热敏元件、光敏元件和磁敏元件，这种组配方式的传感器不但能够输出模拟信号，而且还能够输出频率信号和数字信号。

从当前的发展现状来看，最热门的研究领域也许是各种类型的仿生传感器了，在感触、刺激以及视听辨别等方面已有最新研究成果问世。从实用的角度考虑，多功能传感器中应用较多的是各种类型的多功能触觉传感器，例如，人造皮肤触觉传感器就是其中之一，这种传感器系统由 PVDF 材料、无触点皮肤敏感系统以及具有压力敏感传导功能的橡胶触觉传感器等组成。如图 1—8 所示即为光纤智能皮肤触觉传感器组成框图。据悉，美国 MERRITT 公司研制开发的无触点皮肤敏感系统获得了较大的成功，其无触点超声波传感器、红外辐射引导传感器、薄膜式电容传感器，以及温度、气体传感器等在美国本土应用甚广。



图 1—7 ST-3000 智能压力变送器

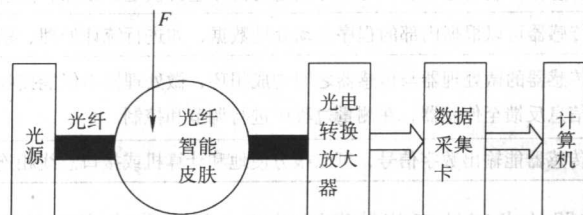


图 1—8 光纤智能皮肤触觉传感器框图

现代传感器系统正向着微型化、智能化和多功能化的方向发展。智能传感器按其结构分为模块式智能传感器、混合式智能传感器和集成式智能传感器三种。模块式智能传感器是初级的智能传感器，它由许多互相独立的模块组成。将微型计算机、信号处理电路模块、输

出电路模块、显示电路模块和传感器装配在同一壳体内,即可组成模块式智能传感器。今后,随着 CAD 技术、MEMS 技术、信息理论及数据分析算法的发展,未来的传感器系统必将变得更加微型化、综合化、多功能化、智能化和系统化。在各种新兴科学技术呈辐射状广泛渗透的当今社会,作为现代科学耳目的传感器技术,作为人们快速获取、分析和利用有效信息的基础,必将进一步得到社会各界的普遍关注。

本章小结

在科学技术迅速发展的今天,非电量电测技术已经成为各个领域,特别是自动测量和自动控制系统中必不可少的组成部分,而使非电量电测技术得以实现的传感器技术无疑成为这些系统的关键。传感器是利用物理、化学、生物等学科的某些效应或原理,按照一定的制造工艺研制出来的,由某一原理设计的传感器可以测量多种参量,而某一参量可以用不同的传感器测量。因此,传感器的分类方法繁多,可以按被测量来分,也可按工作原理来分,各有所长。在实际应用中,传感器的命名通常用工作原理与被测量合成命名,如扩散硅压力传感器。传感器的特性有静态特性和动态特性之分,静态特性主要有线性度、灵敏度、重复性、温漂及零漂等,而动态特性主要考虑它的幅频特性和相频特性,通常只给出响应时间。

思考与习题

1. 什么是传感器?它由哪几部分组成?它在自动控制系统中起什么作用?
2. 传感器通常有哪几种分类方法?实际应用中,传感器是如何命名的?
3. 什么是传感器的静态特性?它有哪些性能指标?
4. 某传感器的输入输出特性为 $f(x) = 2x^2 + 3x + 5$,试求出该传感器的灵敏度。
5. 集成传感器有何优点?