

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

传感器技术及应用

白亚梅 ◆主编

 哈尔滨工程大学出版社

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

传感器技术及应用

主 编	白亚梅	
副主编	车 畅	邹存芝
	张昌玉	于广艳
	姜 波	白永刚

 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了各种传感器的基本原理、特性及应用。全书共12章,第1章概括地介绍了传感器的理论基础、分类和基本特性;第2章至第12章根据测量信号的不同,分别介绍了应变式、电容式、电感式、压电式、光电式、热电式、磁电式、湿度、超声波、气体、生物这几类传感器的工作原理、性能及应用,注重体现知识的实用性。

本书既可以作为本科院校、高等职业院校电子信息工程、电气工程、自动化、测控技术、仪器仪表等专业传感器课程的教学用书,还可以作为高职高专、成人高校电类相关专业的教学用书,也可供从事检测技术和传感器应用的工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及应用 / 白亚梅主编. —哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2016. 1
ISBN 978 - 7 - 5661 - 1175 - 3

I. ①传… II. ①白… III. ①传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 000610 号

选题策划 吴振雷
责任编辑 张忠远 付梦婷
封面设计 恒润设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 15.75
字 数 400 千字
版 次 2016 年 1 月第 1 版
印 次 2016 年 1 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

在科学技术高度发展的现代社会,人类对信息有了更深的依赖。人们在从事工业生产和科学实验等活动时,主要依靠的就是对信息资源的开发、采集、传输和处理。传感器是信息领域的源头技术,在信息采集中,仪器要获得原始的信息,其最基本的元件就是传感器。目前,传感器技术已成为许多国家高新技术竞争的核心,它对培养掌握现代信息技术的工程技术人员具有十分重要的意义。了解和掌握传感器技术与应用也成了电子技术、测控技术、仪器仪表技术、计算机技术等专业的必修课。

本书共 12 章,分别介绍了传感器中几类基本传感器的结构、工作原理、特性、应用及当代传感器的发展方向。同时,本书还介绍了应变式、电容式、电感式、压电式、光电式、热电式、磁电式、超声波、生物等传感器,与传感器在工业、农业、科学、医疗、家用电器等方面的应用实例。通过对本书的学习可掌握检测中常用传感器的静态、动态的数学模型的推导以及系统的分析方法和如何对基本传感器进行正确的使用,以在工作中具有初步选用传感器的能力,并能够对工程设计和应用中有关传感器技术的问题,提出合理的探讨和解决方案,且结合实际应用例子,培养和锻炼组建非电测量和控制系统的实际能力。本书编写过程中力求做到理论清晰的同时,注重与实际的联系。本书结构和内容力求做到重点突出、层次分明、语言精练、易于理解。

本书主要针对应用型本科院校和高等职业院校电子技术、测控技术、电气技术和计算机、机械等其他相关的工科专业的本科生,也可供相关专业从事相关技术工作的人员参考。

本书由白亚梅主编,车畅、邹存芝、张昌玉、于广艳、姜波、白永刚任副主编。全书由白亚梅负责统稿。

本书在编写的过程中同时也得到了学校、学院和系的各级领导的大力支持和帮助,以及兄弟院校相关教师的鼎力支持,在此对所有人员表示衷心的感谢。

由于传感器技术发展较快,编者水平有限,编写时间有些仓促,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 10 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 传感器的定义与组成	1
1.2 传感器的分类	2
1.3 传感器的基本特性	3
1.4 传感器的地位与作用	7
1.5 传感器的应用领域及发展方向	8
第2章 应变式传感器	11
2.1 电阻应变效应	11
2.2 应变片的种类、结构及工作原理	11
2.3 电阻应变片的测量电路	14
2.4 应变片的种类、材料及粘贴	20
2.5 应变式传感器的应用	22
第3章 电容式传感器	27
3.1 电容式传感器的工作原理	27
3.2 电容式传感器的测量电路	31
3.3 电容式传感器的特点及设计要求	33
3.4 电容式传感器的应用	38
第4章 电感式传感器	45
4.1 自感式传感器	45
4.2 差动变压器式传感器	51
4.3 电涡流式传感器	56
4.4 电感式传感器的应用	63
第5章 压电式传感器	66
5.1 压电效应	66
5.2 压电材料	66
5.3 压电式传感器的测量电路	73
5.4 压电式传感器的应用	78
第6章 光电式传感器	82
6.1 光源(发光器件)	82
6.2 光电效应	84
6.3 光电探测器的原理与特性	85
6.4 光电耦合器件	97
6.5 红外热释电传感器	101
6.6 电荷耦合器件	108
6.7 光纤传感器	114

第7章 热电式传感器	123
7.1 温度传感器概述	123
7.2 热电偶温度传感器	125
7.3 热电阻温度传感器	140
7.4 热敏电阻温度传感器	143
7.5 集成温度传感器	148
7.6 热电式传感器的应用	156
第8章 磁电式传感器	160
8.1 磁电感应式传感器	160
8.2 霍尔式传感器	164
第9章 湿度传感器	173
9.1 概 述	173
9.2 常用的湿度传感器	174
9.3 光学湿度传感器	177
9.4 湿敏薄膜的制备方法	178
9.5 光学湿敏检测方法	179
9.6 光学湿度传感器的最新进展	180
9.7 集成湿度传感器	184
第10章 超声波传感器	185
10.1 超声波的基本知识	185
10.2 超声波换能器	190
10.3 超声波传感器的应用	192
第11章 气体传感器	210
11.1 气体传感器概况	210
11.2 半导体气体传感器	210
11.3 电化学型气体传感器	217
11.4 固体电解质气体传感器	219
11.5 接触燃烧式气体传感器	222
11.6 光学式气体传感器	227
11.7 高分子气体传感器	232
第12章 生物传感器	234
12.1 生物传感器概述	234
12.2 生物传感器的原理	235
12.3 生物传感器的种类	235
12.4 生物传感器的优缺点	236
12.5 常见的几种生物传感器	236
12.6 生物传感器的发展趋势与展望	241
参考文献	243

第1章 绪 论

在人类文明史的历次产业革命中,用于感受、处理外部信息的传感技术一直扮演着重要的角色。在18世纪产业革命以前,传感技术由人的感官实现:人观天象而仕农耕,察火色以冶铜铁。从18世纪产业革命以来,特别是在20世纪信息革命中,传感技术越来越多地由人造感官,即工程传感器来实现。

新技术革命的到来让世界进入了信息时代。人们在利用信息的过程中,首先要解决的就是要获取准确可靠的信息,而传感器是获取自然和生产领域中信息的主要途径与手段。

在现代工业生产尤其是自动化生产过程中,需要用各种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数,使设备工作保持在正常状态或最佳状态,以使产品达到最好的质量。因此可以说,没有众多优良的传感器,现代化生产也就失去了基础。

在基础学科研究中,传感器更具有突出的地位。现代科学技术的发展进入了许多新领域:例如在宏观上要观察上千光年的茫茫宇宙,微观上要观察小到飞米的粒子世界;纵向上要观察长达数十万年的天体演化,短到一秒的瞬间反应。此外,传感器还出现在了深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术研究中,如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等。显然,要获取大量人类感官无法直接获取的信息,没有相应的传感器是不可能的。许多基础科学研究的障碍,重点就是对象信息的获取存在困难,而一些新机理和高灵敏度的检测传感器的出现,往往会导致该领域内的突破。一些相应传感器的发展,往往是对应的边缘学科开发的先驱。

传感器早已渗透到工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程,甚至文物保护等领域。可以说,从茫茫的太空,到浩瀚的海洋,以至各种复杂的工程系统,几乎每一个地方都离不开各种各样的传感器。

由此可见,传感器技术在发展经济、推动社会进步方面的重要作用是十分明显的。世界各国都十分重视这一领域的发展。相信不久的将来,传感器技术将会出现一个飞跃,达到与其重要地位相称的新水平。

1.1 传感器的定义与组成

国家标准 GB 7665—87 对传感器下的定义是:“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。”传感器是一种检测装置,它能感受到被测量的信息并能将检测感受到的信息,按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

这一定义包含了以下几方面的含义:

- ①传感器是测量装置,能完成检测任务;
- ②它的输入量是某一被测量,可能是物理量,也可能是化学量或生物量;
- 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输出输入有对应关系,且应有一定的精确程度。

关于传感器,我国曾出现过多种名称,如发送器、传送器、变送器等,它们的内涵相同或相似,所以近年来已逐渐趋向统一,大都使用传感器这一名称了。从字面上可以作如下解释:传感器的功用是“一感二传”,即感受被测信息,并将其传送出去。

传感器一般由敏感元件、转换元件、基本转换电路三部分组成,其组成框图如图 1-1 所示。

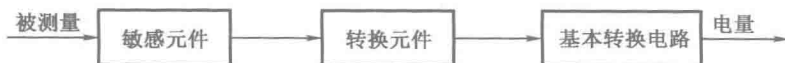


图 1-1 传感器的组成框图

1.2 传感器的分类

传感器的品种极多,原理各异,检测对象门类繁多,因此其分类方法很多,人们通常站在不同角度,作突出某一侧面的分类。归纳起来,大致有如下两种分类方法。

1.2.1 按工作原理分类

这是传感器最常见的分类方法。这种分类方法将物理、化学、生物等学科的原理、规律和效应作为分类的依据,有利于对传感器工作原理的阐述和对传感器的深入研究与分析。按照传感器工作原理的不同,传感器可分为电参数式传感器(包括电阻式、电感式和电容式传感器)、压电式传感器、光电式传感器(包括一般光电式、光纤式、激光式和红外式传感器)、热电式传感器、半导体式传感器、波式和辐射式传感器等。这些类型的传感器大部分是分别基于各自的物理效应原理来命名的。

1.2.2 按被测量分类

按被测量的性质进行分类,有利于准确表达传感器的用途,对人们系统地使用传感器也很有帮助。为更加直观、清晰地表达传感器的用途,将种类繁多的被测量分为基本被测量和派生被测量,区别见表 1-1。对于各派生被测量亦可通过对基本被测量实物测量来实现。

表 1-1 主要基本被测量和派生被测量

基本被测量		派生被测量
位移	线位移	长度、厚度、应变、振动、磨损、平面度
	角位移	旋转角、偏移角、角振动
速度	线速度	速度、振动、流量、动量
	角速度	转速、角振动
加速度	线加速度	振动、冲击、质量
	角加速度	角振动、转矩、转动惯量

表 1-1(续)

基本被测量		派生被测量
力	压力	质量、应力、力矩
时间	频率	周期、计数、统计分布
光		光通量与密度、光谱分布
温度		热容、气体速度、涡流
湿度		水汽、含水量、露点
浓度		气(液)体成分、黏度

1.3 传感器的基本特性

传感器的特性:描述传感器的输入与输出之间的关系。输入量为常量或变化极慢时(慢变或稳定状态)——静特性;输入量随时间变化极快时(快变信号)——动特性。

主要影响因素:传感器内部储能元件(电感、电容、质量块和弹簧等)对测量值会产生影响。

1.3.1 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所具有的相互关系。因为此时输入量和输出量都和时间无关,所以它们之间的关系,即传感器的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程表示;或以输入量作横坐标,将与其对应的输出量作纵坐标而画出的特性曲线来描述。表达传感器静态特性的主要参数有线性度、灵敏度与误差、重复性、迟滞、分辨力、稳定性、漂移和静态误差。

1. 线性度

传感器的输出输入关系或多或少都会存在非线性问题。在不考虑迟滞、蠕变、不稳定性等因素的情况下,其静特性可用下列多项式代数方程表示,即

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \cdots + a_nx^n$$

式中 y ——输出量;

x ——输入量;

a_0 ——输入量 x 为零时的输出量;

$a_1, a_2, \cdots, a_n$ ——非线性项系数,各项系数决定了特性曲线的具体形式。

线性度是指传感器输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离拟合直线的程度,又称非线性误差。

传感器输出量与输入量之间的非线性应进行线性补偿处理,以提高测量准确性。

2. 灵敏度与灵敏度误差

传感器输出的变化量 Δy 与引起该变化量的输入变化量 Δx 之比即为其静态灵敏度,其表达式为

$$S_n = \Delta y / \Delta x$$

传感器输出曲线的斜率就是其灵敏度。对于线性传感器,灵敏度 S_n 是常数;其特性曲

线的斜率处处相同,与输入量大小无关。非线性传感器的灵敏度 S_n 是变量,只能表示传感器在某一工作点的灵敏度,输入量不同,灵敏度 S_n 就不同。两者函数图像如图 1-2 所示。

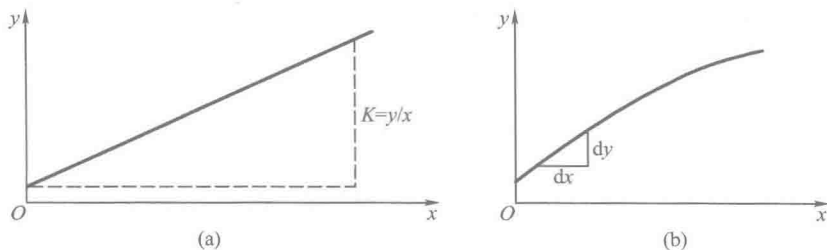


图 1-2 输入量与灵敏度函数

(a) 线性测量系统; (b) 非线性测量系统

灵敏度的量纲是输出和输入量的量纲之比。例如,热电偶温度传感器,在某一时刻温度变化了 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其输出电压变化了 5 mV ,那么其灵敏度应表示为 $5\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 。

提高传感器的灵敏度,可得到较高的测量精度,但灵敏度越高,测量范围越窄,其稳定性也往往越差。

3. 重复性

重复性是传感器在输入量按同一方向作全量程多次测试时,所得特性曲线不一致性的程度。

重复性一般采用极限误差表示,即

$$E_z = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_{fs}} \times 100\%$$

式中 $\Delta_{\max}$ ——输出的最大不重复误差;

y_{fs} ——输出满量程值。

4. 迟滞(回程误差)

传感器在正行程(输入量增大)和反行程(输入量减小)中实际测得的输出输入曲线不重合现象,称为迟滞。产生迟滞的主要原因是传感器机械部分存在不可避免的缺陷,如轴承摩擦、间隙、紧固件松动、材料的内摩擦和积尘等。

迟滞可用正反行程最大输出差值对满量程输出的百分比来表示,即

$$E_{\max} = \frac{\Delta_H}{y_{fs}} \times 100\%$$

迟滞误差的另一名称为回程误差,常用绝对误差表示。检测迟滞误差时,可选择几个测试点。对应于每一输入信号,传感器正行程及反行程中输出信号差值的最大者即为迟滞误差。

5. 分辨力

传感器的分辨力指在规定测量范围内所能检测的输入量的最小变化量。有些传感器在输入量连续变化时,其输出量只做阶梯变化,此时分辨力就是输出量的每个“阶梯”所代表的输入量的大小。在传感器输入零点附近的分辨力称为阈值,有时也用该值相对满量程输入值的百分数表示。

6. 稳定性

稳定性有短期稳定性和长期稳定性之分。

传感器稳定性常用于指代长期稳定性,是指在室温条件下,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。

测试时先将传感器输出调至零点或某一特定点,相隔 4 h、8 h 或一定的工作次数后,再读出输出值,前后两次输出值之差即为稳定性误差。稳定性误差可用相对误差表示,也可用绝对误差表示。通常也用其不稳定性来表征稳定程度。

7. 漂移

漂移是指传感器在输入量不变的情况下,由于外界的干扰(例如温度、噪声等),传感器的输出量发生的变化。常见的漂移有零点漂移和温度漂移,一般可通过串联或并联可调电阻来消除。

(1) 零点漂移

零点漂移简称为零漂,是指传感器在无输入时,其输出值偏移零值的现象。其主要是由于传感器自身结构参数老化等引起的。

(2) 温度漂移

温度漂移简称为温漂,是指在工作过程中输入量没有发生变化,但环境温度发生了变化的情况下,传感器的输出量发生的变化。

8. 静态误差(精度)

静态误差是传感器在其全量程内任一点的输出值与其理论输出值的偏离程度。

求静态误差是把全部校准数据与拟合直线上对应值的残差看成是随机分布,求出其标准偏差 σ ,取 2σ 或 3σ 值为传感器的静态误差。其可用相对误差表示为

$$\gamma = \pm \frac{(2 \sim 3)\sigma}{y_{fs}} \times 100\%$$

也可以由非线性误差、迟滞误差、重复性误差这几个单项误差综合而得,即

$$\gamma = \sqrt{\gamma_L^2 + \gamma_H^2 + \gamma_R^2 + \dots}$$

1.3.2 传感器的动态特性

所谓动态特性,是指传感器在输入变化时,其输出的特性。在实际工作中,传感器的动态特性常用它对某些标准输入信号的响应来表示。这是因为传感器对标准输入信号的响应容易用实验方法求得,并且它对标准输入信号的响应与它对任意输入信号的响应之间存在一定的关系,往往知道了前者就能推定后者。最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号两种,所以传感器的动态特性也常用阶跃响应和频率响应来表示。

1. 阶跃响应

当给静止的传感器输入一个单位阶跃函数信号(即 $u(t)$)时,其输出特性称为阶跃响应特性。传感器的阶跃响应特性如图 1-3 所示,由图可衡量阶跃响应的几项指标。

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

(1) 最大超调量 σ_p

最大超调量是指响应曲线偏离阶跃曲线的最大值。

当稳态值为 1,则最大超调量为

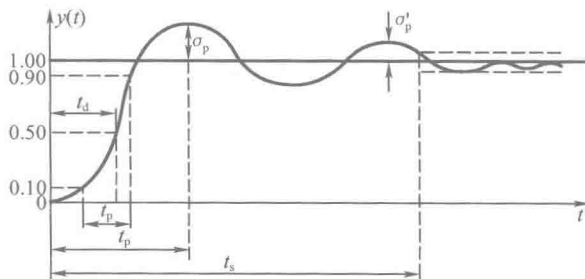


图 1-3 传感器的阶跃响应特性

$$\sigma_p = \frac{y(t_p) - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\%$$

(2) 延滞时间 t_d

延滞时间是指阶跃响应达到稳态值 50% 所需要的时间。

(3) 上升时间 t_r

上升时间有以下三种建议方法：

- ① 响应曲线从稳态值 10% 到 90% 所需要的时间, 无振荡的传感器常采用此方法。
- ② 响应曲线从稳态值 5% 到 95% 所需要的时间。
- ③ 响应曲线从零到第一次到达稳态值所需要的时间, 有振荡的传感器常采用此方法。

(4) 峰值时间 t_p

峰值时间是指响应曲线到第一个峰值所需要的时间。

(5) 响应时间 t_s

响应时间是指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。有时其称为过渡过程时间。

2. 频率响应

在定常线性系统中, 拉普拉斯变换 (亦称拉氏变换) 是广义的傅里叶变换 (亦称傅氏变换), 在 $s = \sigma + j\omega$ 中取 $\sigma = 0$, 则 $s = j\omega$, 即拉氏变换局限于 s 平面的虚轴, 则得到傅氏变换为

$$Y(s) = \int_0^{\infty} y(t) e^{-st} dt \rightarrow Y(j\omega) = \int_0^{\infty} y(t) e^{-j\omega t} dt$$

同样有

$$X(j\omega) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{b_m (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \cdots + b_0}{a_n (j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \cdots + a_0}$$

$H(j\omega)$ 称为传感器的频率响应函数。它是一个复函数, 可以用指数形式表示, 即

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{Y}{X} e^{j\omega} = A(\omega) e^{j\omega}$$

式中 $A(\omega) = |H(j\omega)| = \frac{Y}{X}$;

$A(\omega)$ ——传感器的幅频特性, 也称为传感器的动态灵敏度 (或增益), 其值为传感器的输出与输入的幅度比值随频率而变化的大小。

若以

$$H_R(\omega) = R_e \left[\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \right], H_I(\omega) = R_m \left[\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \right]$$

式中,其分别为 $H(j\omega)$ 的实部和虚部,则频率特性的相位角为

$$\varphi(\omega) = \tan^{-1} \left[\frac{H_I(\omega)}{H_R(\omega)} \right] = \tan^{-1} \left\{ \frac{\operatorname{Im} \left[\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \right]}{\operatorname{Re} \left[\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \right]} \right\}$$

式中, $\varphi(\omega)$ 为传感器的输出信号相位随频率而变化的关系。传感器 φ 值通常是负数,表示传感器输出滞后于输入的相位角度,而且 φ 随 ω 而变,故称其为传感器相频特性。

1.4 传感器的地位与作用

传感器技术是一项当今世界令人瞩目的迅猛发展起来的高新技术之一,也是当代科学技术发展的一个重要标志,它与通信技术、计算机技术构成信息产业的三大支柱之一。如果说计算机是人类大脑的扩展,那么传感器就是人类五官的延伸。当集成电路、计算机技术飞速发展时,人们才逐步认识信息摄取装置——传感器没有跟上信息技术的发展而惊呼“大脑发达、五官不灵”。20世纪80年代起,传感器开始受到普遍重视,并逐步在世界范围内掀起了一股“传感器热”。美国国家长期安全和经济繁荣至关重要的22项技术中有6项与传感器信息处理技术直接相关。关于保护美国武器系统质量优势至关重要的关键技术,其中8项为无源传感器。美国空军2000年举出15项有助于提高21世纪空军能力的关键技术中,传感器技术名列第二。日本对开发和利用传感器技术相当重视并将其列为国家重点发展6大核心技术之一。日本科学技术厅制定的20世纪90年代重点科研项目中有70个重点课题,其中有18项是与传感器技术密切相关。美国早在20世纪80年代初就成立了国家技术小组(BTG),帮助政府组织和领导各大公司与国家企事业单位的传感器技术开发工作。德国视军用传感器为优先发展技术,英、法等国对传感器的开发投资逐年升级,原苏联军事航天计划中的第五条列有传感器技术。正是由于世界各国普遍重视和投入开发,传感器发展十分迅速,在近十几年来其产量及市场需求年增长率均在10%以上。目前,世界上从事传感器研制生产单位已增到5000余家。美国、欧洲、俄罗斯各自从事传感器研究和生产厂家1000余家,日本有800余家。

人通过五官(视、听、嗅、味、触)接受外界的信息,经过大脑的思维(信息处理)作出相应的动作。同样,如果用计算机控制的自动化装置来代替人的劳动,则可以说电子计算机相当于人的大脑(一般俗称电脑),而传感器则相当于人的五官部分(“电五官”)。传感器是获取自然领域中信息的主要途径与手段。作为人脑的一种模拟,电子计算机的发展极为迅速,可是人脑五种感觉模拟作用的传感器却发展很慢,因而引起了人们的普遍关注,如果不进行传感器的开发,现在的电子计算机将处于一种不能适应实际需要的状态。如同为了很好地将体力劳动和脑力劳动进行协调一样,也要求传感器、电子计算机和执行器三者都能相互协调才行。因此,传感器就成了现代科学的中枢神经系统,日益受到人们的普遍重视,这已成为现代传感器技术的必然趋势。当传感器技术在工业自动化、军事国防和以宇宙开发、海洋开发为代表的尖端科学与工程等重要领域广泛应用的同时,它正以自己的巨大潜力,向着与人们生活密切相关的方面渗透;生物工程、医疗卫生、环境保护、安全防范、家用

电器和网络家居等方面的传感器已层出不穷,并在日新月异地发展。

当今世界已进入信息时代,在利用信息的过程中,首先要解决的就是要获取准确可靠的信息,而传感器是获取自然和生产领域中信息的主要途径与手段。

在现代工业生产尤其是自动化生产过程中,要用各种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数,使设备工作在正常状态或最佳状态,并使产品达到最好的质量。传感器是现代化生产的基础。

在基础学科研究中,传感器更具有突出的地位。现代科学技术的发展,进入了许多新领域。此外,还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术研究,如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等。显然,要获取大量人类感官无法直接获取的信息,就需要有相适应的传感器。许多基础科学研究的障碍,首先就在于对象信息的获取存在困难,而一些新机理和高灵敏度的检测传感器的出现,往往会导致该领域内的突破。一些传感器的发展,往往是一些边缘学科开发的先驱。传感器早已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程,甚至文物保护等等极其广泛的领域。可以毫不夸张地说,从茫茫的太空,到浩瀚的海洋,以至各种复杂的工程系统,几乎每一个现代化项目,都离不开各种各样的传感器。

由此可见,传感器技术在发展经济、推动社会进步方面的重要作用。世界各国都十分重视这一领域的发展。在不久的将来,传感器技术将会出现一个飞跃,达到与其重要地位相称的新水平。

1.5 传感器的应用领域及发展方向

1.5.1 传感器技术的主要应用

随着现代科学和技术的快速发展和人民生活水平的快速提高,传感器技术受到了越来越广泛的关注,其应用已经渗透到国民经济的各个领域。

1. 传感器技术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,从而实现对工作状态的监控。通过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。目前传感器与微机、通信等行业的结合渗透,使工业监测自动化,具有准确、效率高等优点。如果没有传感器,现代工业的生产程度将会大大降低。

2. 传感器技术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。传感器在汽车中相当于感官和触角,只有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,它将直接影响到汽车技术性能的发

3. 传感器技术在现代医学领域的应用

传感器技术在医疗领域用于帮助人们快速、准确地获取相关信息。医学传感器作为拾取生命体征信息的器材,它的作用日益显著,并它得到广泛应用。例如,在图像处理、临床

化学检验、生命体征参数的监护监测、呼吸、神经、心血管疾病的诊断与治疗等方面,传感器的使用十分普及。

4. 传感器技术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、随时在线监测的仪器,传感器的发展满足了人们的要求。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,对其传统的检测方法很复杂,而现在可将亚细胞类脂类固定在醋酸纤维膜上和氧电极制成安培型生物传感器来对酸雨酸雾样品溶液进行检测,大大简化了检测方法。

5. 传感器技术在军事方面的应用

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

6. 传感器技术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电脑和各种传感器组成的控制系统,如一台空调器采用微电脑控制配合传感器技术,就可以实现压缩机的启动、停机、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、节能的要求的提高,传感器将会得到越来越显著的应用。

7. 传感器技术在学科研究方面的应用

科学技术的不断发展,蕴生了许多新的学科领域,无论从宏观的宇宙,还是到微观的粒子世界,许多未知的现象和规律都要获取大量人类感官无法获得的信息,传感器的作用是无法替代的。

8. 传感器技术在智能建筑领域中的应用

智能建筑是未来建筑的一种必然趋势,它涵盖智能自动化、信息化、生态化等多方面的内容,具有微型集成化、高精度与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,而传感器则是智能建筑的一个重要元件。

1.5.2 传感器技术的发展方向

科学技术的发展使得人们对传感器技术越来越重视,也认识到它是影响人们生活水平的重要因素之一。因此对传感器的开发成为目前最热门的研究课题之一。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

传感器的工作机理是基于各种物理(或化学、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

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,除了早期使用的材料,如半导体材料、陶瓷材料以外,光导纤维、纳米材料和超导材料也相继问世。人工智能材料更是给我们带入了一个新的天地。其同时具有三个特征:具有能感知环境条

件的变化(传统传感器)的功能;具有识别、判断(处理器)功能;具有发出指令和自采取行动(执行器)功能。随着研究的不断深入,未来将会有更多更新的传感器材料被开发出来。

3. 集成化传感器的开发

传感器集成化包含两种含义:一种含义是同一功能的多元件并列,目前发展很快的自扫描光电二极管阵列、CCD 图像传感器就属此类;另一种含义是功能一体化,即将传感器与放大、运算以及温度补偿等环节一体化,组装成一个器件,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。

4. 多功能集成传感器

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的硅压阻式复合传感器,就可以同时测量温度和压力。

5. 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。它将敏感技术和信息处理技术相结合,除了感知的本能外,还具有认知能力。例如将多个具有不同特性的气敏元件集成在一个芯片上,利用图像识别技术处理,可得到不同灵敏模式,然后对这些模式所获取的数据进行计算,与被测气体的模式类比推理或模糊推理,可借此识别出气体的种类和各自的浓度。

6. 多学科交叉融合

多学科交叉融合推动了无线传感器网络的发展。无线传感器网络是由大量且无处不在的,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,即是能根据环境自主完成指定任务的“智能”系统。它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。1999 年和 2003 年《美国商业周刊》和 MIT 技术评论 *Technology Review* 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 21 项技术和改变世界的十大新技术之一。

7. 加工技术微精细化

随着传感器产品质量档次的提升,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。微机械加工技术即是近年来随着集成电路工艺发展起来的一种,它是离子束、电子束、激光束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。例如溅射、蒸镀等离子体刻蚀、化学气相淀积(CVD)、外延生长、扩散、腐蚀、光刻等。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。无论是每一根导线,还是导线防水接头的出孔,无论是每一个角落,还是每一个细节,传感器的制作都达到了工艺品水平。如日本久保田公司的柱式传感器,其外加了一个黑色的防尘罩。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,对传感器来回摇摆便产生了影响,外加防尘罩后显然克服了上述弊端。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、外观都非常考究。

第2章 应变式传感器

应变式电阻传感器是目前用于测量力、力矩、压力、加速度、质量等参数时最常用的传感器之一。它具有很悠久的历史,但新型应变片仍在不断出现。它是利用应变效应制造的一种测量微小变化量(机械)的理想传感器。

2.1 电阻应变效应

导体或半导体材料在受到外界力(拉力或压力)作用时,会产生机械形变。机械形变会导致其阻值变化,这种因形变而使其阻值发生变化的现象称为“应变效应”。导体或半导体的阻值随其机械应变而变化的道理很简单:因为导体和半导体的电阻 $R = \rho \frac{L}{A}$ 与电阻率 ρ 及其几何尺寸(其中 L 为长度, A 为截面积)有关,当导体或半导体在受外力作用时,这三者都会发生变化,也因此会引起电阻的变化。通常测量阻值的大小,就可以得到外界作用力的大小。

2.2 应变片的种类、结构及工作原理

电阻应变片的品种繁多,形式多样,按其构造的材料可划分成两大类:金属电阻应变片和半导体电阻应变片。

2.2.1 金属电阻应变片的结构及其工作原理

金属电阻应变片种类很多,但基本结构大体相似,只是它们制造工艺有所不同。一般有金属丝绕式应变片,和以光刻、腐蚀工艺制造的金属箔栅式应变片两种,如图 2-1 所示。

金属丝绕式应变片是将金属电阻丝粘贴在基片上,上面覆盖一层薄膜,使它们变成一个整体,就构成了丝绕式应变片的结构图。图 2-1(a)是回线式应变片。为了克服回线式应变片的横向效应,可采用图 2-1(b)所示的短接方式构造的应变片。而箔栅式应变片则是用光刻、腐蚀等工艺制成一种薄的金属箔栅,其厚度一般在 $0.003 \sim 0.010$ mm 范围内。其特点是表面积和截面积之比大,散热率好,允许通过较大电流,可以方便地制成各种所需要的形状,便于大批量生产。由于上述优点,箔栅式应变片有逐渐取代丝绕式应变片的趋势。

金属丝绕式应变片性能中最重要的技术指标就是其灵敏系数。所谓其灵敏系数就是单位应变所能引起的电阻相对变化。这项指标的好坏决定该应变片的优劣。下面以金属丝绕式应变片为例给出其灵敏系数。

因为金属导体的电阻 R 为

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2-1)$$