

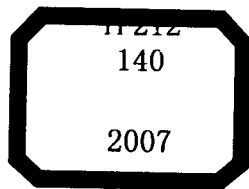
现代

传感器技术

周旭 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



现代传感器技术

周 旭 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书介绍现代传感器的原理、特性及传感器在工程上的应用技术,包括传感器的基本概念及传感器的静态、动态特性,其原理、功用、性能、特点、在现代工农业生产及自动化领域中的使用方法和应注意的问题等。

本书内容全面、系统、新颖,既反映出近年来传感器技术的新成果,又展现出新世纪传感器技术的发展前景。内容叙述由浅入深,循序渐进,清晰易懂,便于自学。书中列举了大量最新应用示例,具有很强的实用和参考价值。

本书既可作为高等院校的教学用书,也可供有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代传感器技术/周旭编著. —北京:国防工业出版社,2007.1

ISBN 7-118-04846-1

I. 现... II. 周... III. 传感器 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 129816 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 413 千字

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

传感器技术是一项当今世界令人瞩目、迅猛发展的高新技术,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。随着微处理器技术、计算机技术和信息处理技术的高速发展,传感器作为信息采集系统的前端单元,其重要性已变得越来越明显。

要及时、正确地获取各种信息,解决工程、生产及科研中遇到的各种具体的检测问题,就必须合理选择和善于应用各种现代传感器及现代传感技术。本书是作者在给高年级本科生讲授传感器课程的讲义,经过修改补充,并在20多年从事传感器科研实践的基础上写成的。主要介绍基于各种现代传感效应的固态传感器,内容丰富、全面、新颖,吸收了国内外文献资料的精华,融现代传感器基本理论、器件特性、检测技术以及应用范例于一体。书中以现代传感器的工作原理为纲,侧重于讲解基本概念和基础理论,以便读者举一反三,触类旁通;全书语言流畅,注重知识的系统性,循序渐进,由浅入深,便于初学者理解和掌握。在介绍传感器的应用时,分析了传感器的测量电路、外围电路及应用电路;讨论了现代传感器的共性技术及传感器的选择与使用,并结合生产和工程实际,具有很强的实用和参考价值。为适应新世纪信息技术发展的需要,书中介绍了最新型敏感材料、智能材料传感器技术方面的内容。

传感器门类繁多,传感器技术涉及从敏感材料到基本物理与化学效应、制造技术、检测技术、数据处理等众多领域,要全面地介绍传感器所涉及的各项技术领域是困难的,本书以各种固态传感器的基本原理、应用技术为主,在内容上有所取舍,突出重点。

本书可作为应用电子、工业自动化、机电一体化及计算机应用等专业的教材,也可供相关领域与部门的工程技术人员学习参考。

本书的出版得到南通大学学术著作出版基金资助。在编写过程中得到了许多同行的支持,他们提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。同时,作者对写作过程中参考过的文献资料的作者深表感谢。由于作者水平有限,书中难免有不当与错误之处,恳请读者指正,不吝赐教。

周旭 于南通大学

目 录

第 1 章 传感器技术基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 传感器的定义和组成	1
1.1.2 传感器的作用和分类	3
1.1.3 传感器的要求和发展	5
1.2 现代传感器的基本特性	10
1.2.1 传感器的静态特性	10
1.2.2 传感器的动态特性	16
1.2.3 传感器的技术指标	25
1.3 现代传感器的基本效应	26
1.4 现代传感器的敏感材料	29
1.4.1 半导体敏感材料	29
1.4.2 陶瓷敏感材料	30
1.4.3 有机敏感材料	31
1.4.4 智能材料	31
1.5 现代传感器的选用原则	32
思考与练习题	33
第 2 章 应变传感器技术	34
2.1 应变传感理论	34
2.1.1 应变片传感原理	34
2.1.2 应变片的分类	35
2.1.3 应变片的工作特性	37
2.2 应变传感器的测量电路	46
2.2.1 直流电桥	47
2.2.2 交流电桥	56
2.2.3 应变仪	59
2.3 应变传感器的应用技术	63
2.3.1 应变片的使用要点	64
2.3.2 应变式力传感器	66
2.3.3 位移和加速度传感器	71
2.3.4 材料特性参数的测定	72

思考与练习题	76
第3章 电感式传感器技术	79
3.1 自感式传感器	79
3.1.1 自感式传感器工作原理	79
3.1.2 自感式传感器工作特性	81
3.1.3 测量电路及总灵敏度	84
3.1.4 自感式传感器应用要点	87
3.2 差动变压器式传感器	90
3.2.1 传感器原理及其结构	90
3.2.2 输出特性及后续电路	91
3.3 电涡流式传感器	95
3.3.1 高频反射式涡流传感器	95
3.3.2 低频透射式涡流传感器	98
3.4 压磁式传感器	100
3.4.1 压磁效应	100
3.4.2 传感器的结构	100
3.4.3 传感器的测量电路	102
3.5 电感式传感器应用技术	102
3.5.1 常见物理量的测量	103
3.5.2 涡流探伤	106
思考与练习题	106
第4章 电容式传感器技术	109
4.1 传感器的工作原理	109
4.1.1 变极距型电容式传感器	109
4.1.2 变面积型电容式传感器	110
4.1.3 变介电常数型电容式传感器	111
4.1.4 电容式传感器的等效电路	112
4.2 传感器特性及测量电路	113
4.2.1 传感器静态灵敏度	113
4.2.2 传感器的非线性	113
4.2.3 传感器测量电路	114
4.3 电容式传感器应用技术	119
4.3.1 传感器的应用要点	119
4.3.2 常见物理量的测量	123
4.3.3 新型电容式传感器	124
第5章 光电传感器技术	126
5.1 概述	126

5.1.1	光电效应	126
5.1.2	光电器件	129
5.1.3	光电器件的特性参数	144
5.2	光纤传感器技术	149
5.2.1	光导纤维	150
5.2.2	传感器组成及分类	153
5.2.3	传感器原理及应用	154
5.3	图像传感器技术	172
5.3.1	概述	172
5.3.2	光导摄像管	173
5.3.3	CCD 图像传感器	173
5.3.4	CMOS 图像传感器	181
5.4	激光传感器技术	182
5.4.1	激光传感理论	182
5.4.2	激光传感应用	184
	思考与练习题	190
第 6 章	波传感器技术	191
6.1	超声波传感技术	191
6.1.1	超声波传感理论	191
6.1.2	超声波传感应用	196
6.2	雷达传感技术	199
6.2.1	雷达传感理论	199
6.2.2	雷达传感应用	202
6.3	红外线传感技术	220
6.3.1	红外传感原理	220
6.3.2	红外线传感应用	223
6.4	核辐射传感技术	225
6.4.1	核辐射传感原理	225
6.4.2	核辐射传感应用	230
	思考与练习题	233
第 7 章	半导体传感器技术	234
7.1	气敏传感器技术	234
7.1.1	气敏传感原理	234
7.1.2	传感器的类型及结构	236
7.1.3	气体传感器的应用	239
7.2	湿敏传感器技术	241
7.2.1	湿敏传感理论	241

7.2.2 湿敏传感应用	249
7.3 磁敏传感器技术	251
7.3.1 磁敏传感原理	252
7.3.2 磁敏传感器应用	260
7.4 色敏传感器技术	261
7.4.1 半导体色敏传感原理	261
7.4.2 半导体色敏传感应用	262
7.5 Z-半导体传感技术	263
7.5.1 Z-元件传感原理	263
7.5.2 Z-元件传感应用	264
思考与练习题	266
第8章 智能材料传感技术	268
8.1 生物传感技术	268
8.1.1 生物传感理论	268
8.1.2 生物芯片	270
8.2 形状记忆合金	273
8.2.1 形状记忆合金的基本理论	273
8.2.2 形状记忆合金的典型应用	275
思考与练习题	278
参考文献	279

第 1 章 传感器技术基础

在人类文明的发展历史中,感受、处理外部信息的传感技术一直扮演着一个重要的角色。在古代,传感技术由人的感官来实现,人观天象而仕农耕,察火色而冶铜铁。人们为了从外界获取信息,必须借助于感觉器官。然而单靠人们自身的感觉器官,在研究自然现象和规律以及生产活动中它们的功能已经显得远远不够了。从 18 世纪产业革命以来,传感技术越来越多地由人造感官即传感器来实现。当前,现代传感器技术的应用如此广泛,可以说任何机械电气系统都离不开它。

1.1 概 述

1.1.1 传感器的定义和组成

1.1.1.1 现代传感器的定义

人通过感官来接收外界的信号,并将所接收的信号送入大脑,进行分析处理后获取有用的信息。对现有的或者正在发展中的机械电子装置来说,电子计算机相当于人的大脑(即电脑),而相应于人的感官部分的装置就是传感器。所以说,传感器是人类感官的扩展和延伸,常将传感器的功能与人类五大感觉器官相比拟:光敏传感器——视觉;声敏传感器——听觉;气敏传感器——嗅觉;化学传感器——味觉;压敏、温敏、流体传感器——触觉。

事实上,在许多方面传感器的性能已经凌驾于人的感官之上。首先,现代传感器可以轻而易举地测量人体所无法感知的量,如紫外线、红外线、超声波、磁场等,从这个意义上讲,现代传感器具有人类所梦寐以求的特异功能。其次,有些量虽然人的感官也能检测,但是传感器则更快、更精确,例如在检测可见光方面,人眼的视觉残留约为 0.1s,而光晶体管的响应时间可短到纳秒以内;人眼的角分辨力为 $1'$,而光栅测距的精确度可达 $1''$;激光定位的精度在月球距离($38 \times 10^4 \text{ km}$)范围内可达 10cm 以内。最后,现代传感器可以把人所不能看到的物体通过数据处理变为视觉图像,CT 就是一个例子,它能把人体的内部形貌用断层图像显示出来;遥感技术也是如此。

最广义地说,现代传感器是一种能把物理量或化学量转变成便于利用的电信号的器件。国际电工委员会(IEC, International Electrotechnical Committee)的定义为:“传感器是测量系统中的一种前置部件,它将输入变量转换成可供测量的信号”。国家标准 GB7665—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)现代传感器是测量装置,能完成检测任务;在一个自动化系统中,首先要能检测到信息,才能去进行自动控制,因此传感器是必备的装置。

(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、生物量等。

(3)它的输出量是某种物理量,这种量要便于传输、转换、处理、显示等等,这种量可以是气、光、电量,但目前,传感器转换的大多为电信号,所以一般也称传感器为变换器、换能器或探测器,其输出的电信号继续输送给后续的配套的测量电路及终端装置,以便进行电信号的调理、分析、记录或显示等等。

(4)输出输入有对应关系,且应有一定的精确程度。

1.1.1.2 现代传感器的组成

现代传感器一般由敏感元件、转换元件、基本转换电路 3 部分组成,感受和响应规定的被测量,并按一定规律完成非电量到电量的转换。组成框图如图 1-1 所示。

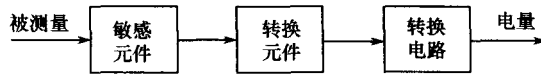


图 1-1 传感器组成框图

敏感器件是传感器的核心,它的作用是直接感受被测物理量,并将信号进行必要的转换输出。图 1-2 是一种气体压力传感器的示意图。膜盒 2 的下半部与壳体 1 固接,上半部通过连杆与磁芯 4 相连,磁芯 4 置于两个电感线圈 3 中,后者接入转换电路 5。这里的膜盒就是敏感元件,其外部与大气压力相通,内部感受被测压力。当外部压力变化时,引起膜盒上半部移动,即输出相应的位移量。

转换元件将敏感元件的输出转换成电路参量。在图 1-2 中,转换元件是可变电感线圈 3,它把输入的位移量转换成电感的变化。转换电路是一些能把敏感器件或转换元件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理等有用的电信号的装置。

实际上,有些传感器很简单,有些则较复杂,大多数是开环系统,也有些是带反馈的闭环系统。最简单的传感器由一个敏感元件(兼转换元件)组成,它感受被测量时直接输出电量,如热电偶就是这样。如图 1-3 所示,两种不同的金属材料 A 和 B,一端连接在一起,放在被测温度 T 中,另一端为参考端,温度为 T_0 ,则在回路中产生一个与温度 T 、 T_0 有关的电动势,从而进行温度测量。

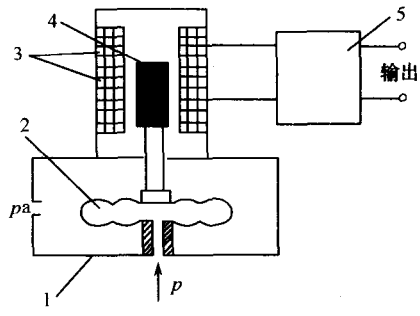


图 1-2 气体压力传感器的示意图

1—壳体; 2—膜盒; 3—电感线圈;
4—磁芯; 5—转换电路。

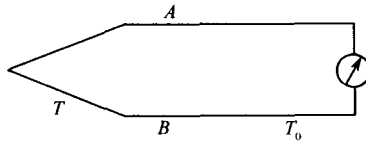


图 1-3 热电偶

随着集成电路制造技术的发展,现在已经能把一些处理电路和传感器集成在一起,构成集成传感器。进一步的发展是将传感器和微处理器相结合,装在一个检测器中形成一

种新型的“智能传感器”。它将具有一定的信号调理、信号分析、环境适应等能力,甚至具有一定的辨认、识别、判断的功能。这种集成化、智能化的发展,无疑对现代工业技术的发展将发挥重要的作用。

1.1.2 传感器的作用和分类

1.1.2.1 现代传感器的作用

当今世界已经进入信息时代。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,而现代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。因此可以说,没有众多的优良的传感器,现代化生产也就失去了基础。

在基础学科研究中,现代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,微观上要观察小比微米更小的粒子世界;纵向上要观察长达数十万年的天体演化以及比毫秒还短的瞬间反应。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、超弱磁场等等。显然,要获取大量人类感官无法直接获取的信息,没有相适应的传感器是不可能的。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。

现代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。借助传感器,人类可以去探测那些无法直接用感官获取的信息。例如,用超声波探测器可以探测海水的深度,用红外遥感器可以从高空探测地球上的植被和污染情况等等。在自动控制领域中,自动化程度越高,控制系统对传感器的依赖性就越大,因此,传感器对控制系统功能的正常发挥起着决定性的作用。

由此可见,现代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。

1.1.2.2 现代传感器的分类

传感器是知识密集、技术密集的行业,它与许多学科有关,种类十分繁多。在工程测试中,一种物理量可以用不同类型的传感器来检测;而同一种类型的传感器也可测量不同的物理量。现代传感器的分类方法很多,概括起来,可按以下几个方面进行分类。

1. 按工作机理分

1) 物理型

物理型传感器应用的是物理效应,诸如压电效应,磁致伸缩现象,离化、极化、热电、光电、磁电等效应。作为传感器工作物理基础的基本定律有场的定律、物质定律、守恒定律和统计定律等。被测信号量的微小变化都将转换成电信号。

按构成原理分

结构型:结构型传感器是利用物理学中场的定律构成的,包括动力场的运动定律,电磁场的电磁定律等。物理学中的定律一般是以方程式给出的。对于传感器来说,这些方程式也就是许多传感器在工作时的数学模型。这类传感器的特点是传感器的工作原理是以结构(如形状、尺寸等)为基础,通过传感器本身结构参数的变化来实现信号转换的,而不是以材料特性变化为基础。例如,电容式传感器是通过极板间距离发生变化而引起电容量的变化;电感式传感器是通过活动衔铁的位移引起自感或互感的变化等。必须依靠精密设计的结构予以保证。

物性型:物性型传感器是利用敏感器件材料本身物理性质的变化来实现信号的检测。例如,用水银温度计测温是利用了水银的热胀冷缩的现象;用光电传感器测速是利用了光电器件本身的光电效应;用压电测力计测力是利用了石英晶体的压电效应等。

按能量转换情况分

能量控制型:在信息变化过程中,不能直接转换能量形式,但它能控制从另一输入端输入的能量或激励能。其能量需要外电源供给。如电阻、电感、电容等电路参量传感器都属于这一类传感器。基于应变电阻效应、磁阻效应、热阻效应、光电效应、霍尔效应等的传感器也属于此类传感器。

能量转换型:能将一种能量形式直接转变成另一种,不需要外接的能源或激励源,直接由被测对象输入能量使其工作。如基于压电效应、热电效应、光电动势效应等的传感器都属于此类传感器。由于这类传感器在转换过程中需要吸收被测物体的能量,容易造成测量误差。

按物理原理分

可分为电参量式(包括电阻式、电感式、电容式等3个基本形式)、磁电式(包括磁电感应式、霍尔式、磁栅式等)、压电式、光电式(包括一般光电式、光栅式、激光式、光电码盘式、光导纤维式、红外式、摄像式等)、气电式、热电式、波式(包括超声波式、雷达波式等)、射线式、半导体式、其他原理等。有些传感器的工作原理具有两种以上原理的复合形式,如不少半导体式传感器也可看成电参量式传感器。

2) 化学型

化学型传感器包括那些以化学吸附、电化学反应等现象为因果关系的传感器,被测信号量的微小变化将转换成电信号。最常用的是离子选择性电极。核心部分是离子选择性敏感膜。主要应用于化学分析、化学工业的在线检测及环保中。化学传感器技术问题较多,例如可靠性问题,规模生产的可能性、价格问题等,解决了这类难题,化学传感器的应用将会有巨大增长。

3) 生物型

生物型传感器是利用生物活性物质选择性的识别和测定生物化学物质的传感器。它由两大部分组成:功能识别物质,即酶、抗体、抗原、微生物、细胞等;电、光信号转换装置,最常用的是电极。最大的特点是能在分子水平上识别物质,应用于化学工业检测和医学诊断。

2. 按用途(输入信号)分

可以按照传感器的用途来分类,例如位移、速度、加速度、力、压力、流速、振动、温度、光度、湿度、黏度、浓度传感器等。

3. 按输出信号分

按传感器输出量的性质可分为模拟式和数字式两种,前者的输出量为连续变化的模拟量,而后的输出量为数字量。由于计算机在工程测试中的应用,数字式传感器是很有发展前途的。当然,模拟量也可以通过模/数转换变为数字量。

4. 按材料的晶体结构分

可分为单晶、多晶、非晶材料传感器。

5. 按制造工艺分

可以将现代传感器分为:集成传感器、薄膜传感器、厚膜传感器、陶瓷传感器。集成传感器是用标准的生产硅基半导体集成电路的工艺技术制造的。通常还将用于初步处理被测信号的部分电路也集成在同一芯片上。

薄膜传感器则是通过沉积在介质衬底(基板)上的相应敏感材料的薄膜形成的。使用混合工艺时,同样可将部分电路制造在此基板上。

厚膜传感器是利用相应材料的浆料,涂覆在陶瓷基片上制成的,基片通常是 Al_2O_3 制成的,然后进行热处理,使厚膜成形。

陶瓷传感器采用标准的陶瓷工艺或其某种变种工艺(溶胶-凝胶等)生产。完成适当的预备性操作之后,已成形的元件在高温中进行烧结。

上述每种工艺技术都有自己的优点和不足。由于陶瓷和厚膜传感器的研究、开发和生产所需的资本投入较低,以及传感器参数的高稳定性等原因,因此陶瓷和厚膜传感器得到了广泛的应用。

1.1.3 传感器的要求和发展

1.1.3.1 现代传感器的一般要求

现代传感器由于原理、结构不同,使用环境、条件、目的不同,其技术指标也不可能相同。但是有些一般要求却基本上是共同的,这就是高灵敏度、抗干扰的稳定性(对噪声不敏感)、线性、容易调节(校准简易)、高精度、高可靠性、无迟滞性、工作寿命长(耐用性)、可重复性、抗老化、高响应速率、抗环境影响(热、振动、酸、碱、空气、水、尘埃)的能力、选择性、安全性(传感器应是无污染的)、互换性、低成本、宽测量范围、小尺寸、质量轻、高强度和宽工作温度范围等。

可靠性、静态精度、动态性能、量程的要求是不言而喻的。现代传感器是通过检测功能来达到各种技术目的的,很多传感器要在动态条件下工作,精度不够、动态性能不好或出现故障,整个工作就无法进行。在某些系统中或设备上往往装上许多传感器,若有一个传感器失灵,会影响全局。所以传感器的工作可靠性、静态精度和动态性能是最基本的要求。

抗干扰能力也是十分重要的,因为使用现场总会存在这样或那样的干扰,总会出现各种意想不到的情况,因此要求现代传感器应有这方面的适应能力;同时还应包括在恶劣环境下使用的安全性;通用性主要是指传感器应可用于各种不同的场合,避免一种应用搞一种设计,以便达到事半功倍的目的。

1.1.3.2 现代传感器技术的发展

现代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”。于是,传感器开始受到普遍重视,从 20 世纪 80 年代起,逐步在世界范围内掀起了一股“传感器热”。美国国防部将现代传感器技术视为 20 项关键技术之一,日本把现代传感器技术与计算机、通信、激光半导体、超导并列为六大核心技术,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,现代传感器技术发展十分迅速,近 20 年来,现代传感器的产量及市场需求年增长率均在 10% 以上。

人类社会对传感器提出越来越高的要求是现代传感器技术发展的强大动力。现代传感器技术的发展,主要体现在以下几个方面。

1. 改善传感器性能

1) 差动技术

差动技术是现代传感器中普遍采用的技术。它的应用可显著地减小温度变化、电源波动、外界干扰等对传感器精度的影响,抵消了共模误差,减小非线性误差等。不少传感器由于采用了差动技术,还可使灵敏度提高。

2) 平均技术

在现代传感器中普遍采用平均技术可产生平均效应,其原理是利用若干个传感单元同时感受被测量,其输出则是这些单元输出的平均值,若将每个单元可能带来的误差 δ 均可看作随机误差且服从正态分布,根据误差理论,总的误差将减小为

$$\delta_z = \pm \delta / \sqrt{n} \quad (1-1)$$

式中 n ——传感单元数。

可见,在传感器中利用平均技术不仅可使传感器误差减小,且可增大信号量,即增大传感器灵敏度。

光栅、磁栅、容栅、感应同步器等传感器,由于其本身的工作原理决定有多个传感单元参与工作,可取得明显的误差平均效应的效果。这也是这一类传感器固有的优点。另外,误差平均效应对某些工艺性缺陷造成的误差同样起到弥补作用。在懂得这个道理之后,设计时在结构允许情况下,适当增多传感单元数,可收到很好的效果。例如圆光栅传感器,若让全部栅线都同时参与工作,设计成“全接收”形式,误差平均效应就可较充分地发挥出来。

3) 补偿与修正技术

补偿与修正技术在现代传感器中得到了广泛的应用。这种技术的运用大致是针对两种情况。一种是针对传感器本身特性的,找出误差的变化规律,或者测出其大小和方向,采用适当的方法加以补偿或修正。例如不少传感器对温度敏感,由于温度变化引起的误差变化十分可观。为了解决这个问题,必要时可以控制温度,设计恒温装置,但往往费用太高,或使用现场不允许。而在传感器内引入温度误差补偿又常常是可行的。这时应找出温度对测量值影响的规律,然后引入温度补偿措施。另一种是针对传感器工作条件或

外界环境进行误差补偿,也是提高传感器精度的有力技术措施。例如在激光式传感器中,常常把激光波长作为标准尺度,而波长受温度、气压、湿度的影响,在精度要求较高的情况下,就需要根据这些外界环境情况进行误差修正才能满足要求。

本身特性修正、工作条件或外界环境修正,可以通过硬件或软件实现。随着电子技术的发展,许多弱电平、非线性严重的传感器在高性能放大器和微电脑帮助下大大提高了测量精度。

4)屏蔽、隔离与干扰抑制

传感器大都在现场工作,现场的条件往往是难以充分预料的,有时是极其恶劣的。为了减小测量误差,保证其原有性能,就应设法削弱或消除外界因素对传感器的影响。对于电磁干扰,可以采用屏蔽、隔离措施,也可用滤波等方法抑制。对于如温度、湿度、机械振动、气压、声压、辐射、甚至气流等,可采用相应的隔离措施,如隔热、密封、隔振等,或者在变换成为电量后对干扰信号进行分离或抑制,减小其影响。

5)稳定性处理

传感器作为长期测量或反复使用的器件,其稳定性显得特别重要,其重要性甚至胜过精度指标,尤其是对那些很难或无法定期鉴定的场合。造成传感器性能不稳定的原因是:随着时间的推移和环境条件的变化,构成传感器的各种材料与元器件性能将发生变化。

为了提高传感器性能的稳定性,应该对材料、元器件或传感器整体进行必要的稳定性处理。如结构材料的时效处理、冰冷处理、永磁材料的时间老化、温度老化、机械老化及交流稳磁处理,电气元件的老化筛选等。

在使用传感器时,若测量要求较高,必要时也应对附加的调整元件、后续电路的关键元器件进行老化处理。

2. 发现并利用新现象

传感器的工作机理是基于各种效应和定律,由此启发人们进一步利用物理现象、化学反应和生物效应设计制作各种用途的传感器,这是传感器技术的重要基础工作。探索具有新效应的敏感功能材料,并以此研制出具有新原理的新型物性型传感器,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。结构型传感器发展得较早,目前日趋成熟。结构型传感器,一般说它的结构复杂,体积偏大,价格偏高。物性型传感器大致与之相反,具有不少诱人的优点,加之过去发展也不够。世界各国都在物性型传感器方面投入大量人力、物力加强研究,从而使它成为一个值得注意的发展动向。其中利用量子力学诸效应研制的低灵敏阈传感器,用来检测微弱的信号,是发展新动向之一。例如利用光子滞后效应,做出了响应速度极快的红外传感器等。

大自然是生物传感器的优秀设计师和工艺师。它通过漫长的岁月,不仅造就了集多种感官于一身的人类,而且还构造了许多功能奇特、性能高超的生物感官。例如狗的嗅觉,鸟的视觉,蝙蝠、飞蛾、海豚的听觉等等。这些动物的感官功能,超过了当今传感器技术所能实现的范围。研究它们的机理,开发仿生传感器,也是引人注目的方向。

3. 开发新材料

传感器材料是传感器技术的重要基础,随着材料科学的发展,人们可制造出各种新型传感器。与采用新材料紧密相关的传感器开发工作,可以归纳为下述3个方向:

(1)在已知的材料中探索新的现象、效应和反应,然后使它们能在传感器技术中得到

实际使用。

(2)探索新的材料,应用那些已知的现象、效应和反应来改进传感器技术。

(3)在研究新型材料的基础上探索新现象、新效应和新反应,并在传感器技术中加以具体实施。

近年来对传感器材料的开发研究有较大进展,其主要发展趋势有以下几个方面:

(1)单晶体到多晶体、非晶体;

(2)单一型材料到复合材料;

(3)原子(分子)型材料的人工合成。

现代传感器制造业的发展取决于用于传感器技术的新材料和敏感元件的开发。传感器开发的基本趋势是和半导体以及介质材料的应用密切关联的。

4. 采用新工艺

在发展新型传感器中,离不开新工艺的采用。新工艺的含义范围很广,这里主要指与发展新型传感器联系特别密切的微细加工技术,又称微机械加工技术。半导体技术中的氧化、光刻、扩散、沉积、平面电子工艺,各向异性腐蚀及蒸镀,溅射薄膜等加工方法都已引进到传感器制造中。因而产生了各种新型传感器,如利用半导体技术制造出硅微传感器,利用薄膜工艺制造出快速响应的气敏、湿敏传感器等。

以应变式传感器为例。应变片可分为体型应变片、金属箔式应变片、扩散型应变片和薄膜应变片,而薄膜应变片则是今后的发展趋势,这主要是由于近年来薄膜工艺发展迅速,除采用真空淀积、高频溅射外,还发展了磁控溅射、等离子体增强化学汽相淀积、金属有机化合物化学汽相淀积、分子束外延、光 CVD 技术,这些对传感器的发展起了很大推动作用。如目前常见的溅射型应变计,是采用溅射技术直接在应变体即产生应变的柱梁、振动片等弹性体上形成的。这种应变计厚度很薄,大约为传统的箔式应变计的 1/10 以下,故又称薄膜应变计。溅射型应变计的主要优点是:可靠性好,精度高,容易做成高阻抗的小型应变计,无迟滞和蠕变现象,具有良好的耐热性和耐冲击性能等。

5. 集成化

传感器集成化包括两种定义:一是同一功能的多元件并列化,即将同一类型的单个传感元件用集成工艺在同一平面上排列起来,排成一维的为线性传感器,CCD 图像传感器就属于这种情况。集成化的另一个定义是多功能一体化,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。

目前,各类集成化传感器已有许多系列产品,有些已得到广泛应用。集成化已经成为传感器技术发展的一个重要方向。

随着集成化技术的发展,各类混合集成和单片集成式压力传感器相继出现,有的已经成为商品。集成化压力传感器有压阻式、电容式等类型,其中压阻式集成化传感器发展快、应用广。自从压阻效应发现后,有人把 4 个力敏电阻构成的全桥做在硅膜上,就成为一个集成化压力传感器。由于采用了集成工艺,将压敏部分和集成电路分为几个芯片,然后混合集成为一体。提高了输出性能及可靠性,有较强的抗干扰能力,完全消除了二次仪表带来的误差。

6. 智能化

传感器与微处理机相结合,使之不仅具有检测功能,还具有信息处理、逻辑判断、自诊

断、以及“思维”等人工智能,就称之为传感器的智能化。借助于半导体集成化技术把传感器部分与信号预处理电路、输入输出接口、微处理器等制作在同一块芯片上,即成为大规模集成智能传感器。可以说智能传感器是传感器技术与大规模集成电路技术相结合的产物,它的实现将取决于传感技术与半导体集成化工艺水平的提高与发展。

智能传感器又称为灵巧(Smart)传感器。这一概念最早是由美国宇航局在开发宇宙飞船过程中提出来的。飞船上天后需要知道其速度、位置、姿态等数据。为使航天员能正常生活,需要控制舱内的温度、湿度、气压、加速度、空气成分等。为了进行科学考察,需要进行各种测试工作。所有这些都需要大量的传感器。众多传感器获得的大量数据需要处理,显然在飞船上安放大型电子计算机是不合适的。为了不丢失数据,又要降低费用,提出了分散处理这些数据的方法,即传感器获得的数据自行处理,只送出必要的少量数据。

智能化传感器与传统传感器相比有很多特点:

- (1)具有判断和信息处理功能,能对测量值进行修正、误差补偿,因而提高测量精度;
- (2)可实现多传感器多参数测量;
- (3)有自诊断和自校准功能,提高可靠性;
- (4)测量数据可存取,使用方便;
- (5)有数据通信接口,能与微型计算机直接通信,实现网络化或远程通信;
- (6)具有智能算法及自学习功能。

我国在这方面的研究与开发还很落后,主要是因为我国半导体集成电路工艺水平有限。

7. 多功能化

传感器的多功能化也是其发展方向之一。所谓多功能化的典型实例,美国某大学传感器研究发展中心研制的单片硅多维力传感器可以同时测量3个线速度、3个离心加速度(角速度)和3个角加速度。主要元件是由4个正确设计安装在一个基板上的悬臂梁组成的单片硅结构,9个正确布置在各个悬臂梁上的压阻敏感元件。多功能化不仅可以降低生产成本,减小体积,而且可以有效地提高传感器的稳定性、可靠性等性能指标。

为同时测量几种不同被测参数,可将几种不同的传感器元件复合在一起,做成集成块。例如一种温、气、湿三功能陶瓷传感器已经研制成功。美国 HONY WELL 公司 ST-3000型智能传感器,芯片尺寸才有 $3\text{mm} \times 4\text{mm} \times 2\text{mm}$,采用半导体工艺,在同一芯片上制成 CPU、EPROM、静压、压差、温度等3种敏感元件。

把多个功能不同的传感元件集成在一起,除可同时进行多种参数的测量外,还可对这些参数的测量结果进行综合处理和评价,可反映出被测系统的整体状态。由上还可以看出,集成化对固态传感器带来了许多新的机会,同时它也是多功能化的基础。

近20年来,我国传感器技术虽然有了较快的发展,有不少传感器走上市场,但大多数只能用于测量常用的参数、常用的量程、中等的精度,远远满足不了我国现代化建设的要求。而与国际水平相比,我国的传感器不论在品种、数量、质量等方面,都有较大的差距。为此,努力开发各种新型传感器,是摆在我国科技工作者面前的紧迫任务。