



普通高等教育“十二五”规划教材

传感器与 测试技术

主编◎杨 娜



航空工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

传感器与测试技术

主 编 杨 娜

副主编 李孟源 贾 磊 周吉生

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书以测试系统的组成为主线,着重介绍了传感器与测试技术的基础知识,内容包括测试系统的静动态特性、常用传感器的原理及应用、机器人传感技术、信号调理电路、测试信号的分析与处理、传感器应用技术、智能传感器与传感器网络等。本书条理清晰,文字简练,具有很强的实用性,且每章后配有适当的思考与练习题,既便于教学又利于自学。

本书可作为仪器仪表类、机械类、机电类等相关专业的教材,也可供从事相关工作的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与测试技术 / 杨娜主编. -- 北京 : 航空工业出版社, 2012.7

ISBN 978-7-80243-984-9

I. ①传… II. ①杨… III. ①传感器—测试技术
IV. ①TP212.06

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第106422号

传感器与测试技术 Chuanganganqi yu Ceshi Jishu

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

发行部电话: 010-64815615 010-64978486

北京市科星印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经售

2012年7月第1版

2012年7月第1次印刷

开本: 787×1092

1/16

印张: 19.00

字数: 474千字

印数: 1—3000

定价: 38.00元



本书是作者根据多年的教学经验、科研成果和工程实践,按照仪器仪表及自动化类专业的学科要求,综合国内外专家学者的优秀论文、论著以及传感器的发展动态而精心编写的。书中主要介绍了非电量电测量(即将各种被测的像温度、位移、压力等非电量参数转换成电量参数进行测量)的基础理论知识和应用技术,其中包括测试系统的组成、传感器、中间调理电路、测试系统的特性、测试系统的干扰及其抑制、信号分析与处理等内容。本书既有测试系统静态特性、信号分析与处理等方面比较系统的理论,又具有传感器器件、系统抗干扰技术等方面的实用参考价值。

为了便于读者学习和掌握传感器与测试技术的基础理论及应用技术,本书在编排上遵循由浅入深、循序渐进的规律,从测试系统的首要关键环节——传感器开始,依次对测试系统各组成部分的原理、功能及应用做了较详细的介绍,同时基于传感器原理,列举了一些传感器工程应用实例,从而使教材的章节结构与工程实际中的测试系统紧密地结合在一起。这种结构体系不仅贴近读者的思维习惯,还能在传感器工程应用方面对读者有所启发,具有很强的适用性。

随着新技术、新材料、新工艺的不断出现,新型传感器的开发研制也迅速兴起。本书不仅介绍了传统传感器,同时也介绍了一些新型传感器知识,如涉及全民健康与环境保护的生物传感器和化学传感器,将集成技术、计算机技术和传感器技术相融合的智能传感器、传感器网络和机器人传感技术等。

本书由商丘工学院杨娜老师主编并统稿,商丘工学院李孟源、贾磊和周口职业技术学院周吉生任副主编,其中杨娜编写第1、2、3章,李孟源编写第4、5章,贾磊编写第6、7章,周吉生编写第8章。

由于编者学识水平和实践经验有限,加上时间仓促,书中疏漏及错误之处在所难免,恳请广大师生、读者批评指正,以便进一步修订和完善本教材。

编 者
2012年6月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 测试基础	1
1.1.1 测试的含义	1
1.1.2 测试基本原理及过程	2
1.2 传感器概述	2
1.2.1 传感器的定义和作用	3
1.2.2 传感器的组成和分类	5
1.2.3 传感器的发展趋势	8
1.3 本课程的特点及任务要求	9
思考与练习	10
第2章 测试系统的特性	11
2.1 概 述	11
2.1.1 测试系统的基本要求	11
2.1.2 线性系统及其主要性质	12
2.2 测试系统的静态特性	13
2.2.1 测试系统的误差与精度	13
2.2.2 测试系统的静态特性参数	15
2.3 测试系统的动态特性	19
2.3.1 传递函数	19
2.3.2 频率特性	21
2.3.3 瞬态响应	28
2.3.4 动态特性参数的测定	35
2.3.5 实现不失真测试的条件	40
2.3.6 负载效应	42
思考与练习	46
第3章 常用传感器原理及应用	48
3.1 电阻式传感器	48
3.1.1 应变式传感器	48
3.1.2 压阻式传感器	61
3.1.3 电位器式传感器	64
3.2 电容式传感器	66
3.2.1 工作原理及结构类型	67
3.2.2 电容式传感器的应用	73



3.3 电感式传感器	75
3.3.1 自感式传感器	76
3.3.2 差动变压器式传感器	81
3.3.3 电涡流式传感器	85
3.3.4 感应同步器	90
3.4 压电式传感器	93
3.4.1 工作原理	93
3.4.2 压电材料	95
3.4.3 等效电路与信号调理电路	97
3.4.4 压电式传感器的应用	101
3.4.5 声表面波 (SAW) 传感器	105
3.5 热电式传感器	108
3.5.1 热电偶传感器	108
3.5.2 热电阻传感器	116
3.5.3 PN 结温度传感器	122
3.5.4 集成温度传感器	124
3.6 光电式传感器	129
3.6.1 光电器件	130
3.6.2 光纤传感器	137
3.6.3 光栅传感器	142
3.6.4 电荷耦合器件 (CCD)	147
3.7 其他传感器	150
3.7.1 生物传感器	150
3.7.2 化学传感器	164
思考与练习	171
第4章 机器人传感技术	174
4.1 机器人触觉传感技术	174
4.1.1 触觉传感器	174
4.1.2 仿生皮肤	178
4.2 机器人接近觉传感技术	179
4.2.1 接近觉传感器	179
4.2.2 接近觉传感器的应用	183
4.3 机器人视觉传感技术	184
4.3.1 视觉传感系统	185
4.3.2 图像处理技术	187
4.3.3 视觉传感系统的应用	189
4.4 机器人嗅觉传感技术	191
4.4.1 气敏传感器	191
4.4.2 电子鼻	192



4.5 机器人味觉传感技术	193
4.5.1 味觉传感器	193
4.5.2 味觉传感器的模式识别	194
4.6 机器人听觉传感技术	195
4.6.1 听觉传感器	195
4.6.2 语音识别技术	196
思考与练习	196
第5章 信号调理电路	198
5.1 测量电桥	198
5.1.1 直流电桥	198
5.1.2 交流电桥	203
5.1.3 带感应耦合臂的电桥	206
5.2 调制与解调	206
5.2.1 调幅及其解调	207
5.2.2 调频及其解调	212
5.3 滤波器	214
5.3.1 概述	214
5.3.2 理想滤波器	215
5.3.3 实际滤波器	217
5.3.4 MATLAB 在滤波器分析中的应用举例	224
思考与练习	225
第6章 信号分析与处理	227
6.1 概 述	227
6.1.1 信号的概念和分类	227
6.1.2 信号的时域分析和频域分析	229
6.2 周期信号及其频谱	229
6.2.1 周期信号的定义	229
6.2.2 傅里叶级数的三角函数展开式	230
6.2.3 周期信号的频谱	231
6.2.4 复数形式的傅里叶级数	232
6.3 非周期信号及其频谱	236
6.3.1 傅里叶积分	236
6.3.2 傅里叶变换与非周期信号的频谱	238
6.3.3 傅里叶变换的性质	240
6.3.4 几种特殊信号的频谱	241
6.4 数字信号分析与处理	245
6.4.1 信号的数字化	246
6.4.2 离散傅里叶变换(DFT)	247
6.4.3 数字化分析处理中的若干问题	250



6.4.4 快速傅里叶变换 (FFT)	253
6.5 随机信号分析与处理	255
6.5.1 基本概念	255
6.5.2 各态历经随机过程的统计参数	256
6.5.3 相关分析	259
6.5.4 功率谱分析	263
思考与练习	266
第7章 传感器应用技术	268
7.1 传感器的选择	268
7.1.1 选择传感器时应考虑的因素	268
7.1.2 选择传感器的一般步骤	268
7.2 供电电源	269
7.2.1 电池	269
7.2.2 稳压电源	269
7.3 抗干扰技术	270
7.3.1 电磁干扰	270
7.3.2 屏蔽、接地、隔离、布线与灭弧技术	272
7.3.3 电源干扰抑制技术	276
思考与练习	277
第8章 智能传感器与传感器网络	278
8.1 智能传感器	278
8.1.1 智能传感器的组成	278
8.1.2 智能传感器的功能	279
8.1.3 智能传感器的硬件结构	279
8.1.4 智能传感器的应用	288
8.2 传感器网络	292
8.2.1 传感器网络概述	292
8.2.2 传感器网络的作用	293
8.2.3 传感器网络的结构	293
8.2.4 传感器网络信息交换体系	295
思考与练习	295
参考文献	296

第 1 章 绪 论

【引 子】

人类认识和改造客观世界是以测量工作为基础的,进入以知识经济为特征的信息时代,传感技术、计算机技术与通信技术一起构成了现代信息的三大基础。

公元前,我国历史上第一位中央集权的统治者——秦始皇,在建立政权不久就统一了度量衡,这对发展生产和促进社会交往起到了极大的推动作用;17世纪开普勒发明制造的望远镜,可观测到数亿颗星星;利用现代宇宙航天、遥感、遥测技术,可在数万米高空识别地面 1 m^2 内的事物;扫描隧道电子显微镜的分辨力达 0.1 nm ,可以检测空气或液体中有生命状态的样品。这些强有力的观测工具在为人类揭开物质世界的新的微观世界提供大量信息的同时,也对电子技术、材料科学的发展做出了突出贡献。因此,测试技术的水平在相当程度上影响科学技术发展的速度和深度。历来许多新的发明制造都是与测试、测量技术的发展分不开的,科学技术上的某些突破也是以某一测试方法的突破为基础的。

在生产过程中,为了保证正常、高效的生 产,对生产过程的自动化程度提出了愈来愈高的要求。产品的性能、品质参数和加工过程中的在线测量,以及产品的包装等都离不开测试,先进的测试技术已成为生产系统不可缺少的组成部分。

随着国民经济和科学技术的飞速发展,测控技术与仪器起着越来越重要的作用。如果没有性能好、精度高、质量可靠的传感器检测各种有关信息,要实现诸如宇航飞行器、激光器等就是一句空话。

1.1 测试基础

1.1.1 测试的含义

测试技术是一项综合运用了多种学科知识的学科,特别是现代测试技术,几乎应用了所有近代新技术和新理论。从广义的角度讲,测试工作的范围涉及试验设计、模型理论、传感器、信号加工与处理、控制工程、系统辨识、参数估计等诸多学科的内容;从狭义的角度讲,测试的目的就是借助专门设备,通过合适的试验和必要的数据处理,从研究对象中获取有用的信息,而信息蕴含于信号之中。因此,测试就是对信号进行获取、加工、处理、显示记录及分析的过程。

所谓测试,就是具有试验性质的测量,它是试验和测量的综合。

试验是对未知事物探索认识的过程,是对被研究的对象或系统进行试验性研究的过程。通常是将研究对象或系统置于某种特定的或人为构建的环境条件下,通过试验数据来探讨

被研究对象的性能的过程。

测量则是为确定被测对象的量值而进行的实验过程,是指一个被测量与一个预定标准之间进行定量比较,从而获得被测对象的数值结果。

1.1.2 测试基本原理及过程

测试技术有时也称检测技术,又称广义测量,即将被测量(信号)转换为可检测、传输、处理、显示或记录的量,再与标准量比较的过程。这些环节由一套专门的设备来完成,通常称为测试系统。

这里以商业用电子秤为例来说明测试技术与测试系统的概念。待称物品置于秤盘上,与秤盘接触的荷重传感器感受被测重量的信息并将其转换为电参量的变化,经信号调理电路(如电桥)转换为便于传输、处理的电信号,再经模数转换和运算处理单元对电信号进行处理,最后显示或记录出被称物品的重量及相关信息。此例表明,典型的测试系统组成通常如图 1-1 所示。



图 1-1 测试系统组成框图

不难看出,传感器作为测试系统的首要环节,是获取信息的工具,就像人类为了从外界获取信息,必须借助于感觉器官一样。如果将计算机比作神经指挥中枢(相当于人的大脑),传感器就类似于人的感觉器官。很难想象,人类仅有大脑而失去感觉器官将如何准确获取外界信息。如果计算机技术和通信技术没有传感器技术作为基础,现代工业、航空航天、生物工程、医学诊断等也都将无法发展。

传感器的输出信号一般很微弱,需要通过滤波、放大、调制解调等中间处理环节将传感器输出的信号转换成便于传输处理、适于观察记录的信号。

显示或记录装置的作用是将中间处理环节输出的电信号指示或记录下来,以供人们观察或进一步分析处理。

测试信号携带的信息中既含有人们需要的信息,也含有人们不感兴趣的成分,后者称为干扰噪声,测试工作的任务就是剔除干扰噪声,提取有用信息。

信号有多种类型,分析的方法也很多,从分析域上看,经典的分析方法有时域法和频域法。时域分析又称波形分析、幅值域分析,它通过分析信号的幅值随时间变化的图形或数学表达式,研究信号幅值的变化规律和分布情况。频域分析又称频谱分析,频谱分析是现代信号分析的重要手段,它把信号的幅值、相位、能量等变换为以频率表示的函数或图形,进而分析其频率结构和频率特性,可获取更多的有用信息。

1.2 传感器概述

传感器是一种获取被测信号的装置,是人类探索自然界信息,实现测试和控制的首要环

节。传感器性能的优劣将直接影响整个测试系统的工作特性,从而影响整个测试任务的完成。

1.2.1 传感器的定义和作用

1. 传感器的定义

传感器技术与现代通信技术、计算机技术并列为现代信息产业的三大支柱。若计算机相当于人的大脑,通信相当于人的神经,而传感器就相当于人的感觉器官。其中,视觉传感器相当于人的眼睛,如X射线、紫外线、红外线、可见光传感器等;听觉传感器相当于人的耳朵,如超声波、声波传感器等;嗅觉传感器相当于人的鼻子,如气敏传感器等;味觉传感器相当于人的舌头,如离子敏传感器等;触觉传感器相当于人的皮肤,如压力、温度、湿度传感器等。

传感器是一种能感受规定的被测量,并按一定规律将其转换成某种可用输出信号的测量装置。这一定义表明:① 传感器是测量装置,能感受被测量的变化,完成检测任务;② 被测量可以是物理量,也可以是化学量、生物量等;③ 输出信号是某种便于传输、转换、处理、显示的可用信号,如电参量(电阻、电容、电感)、电信号(电压、电流、电荷)、光信号、频率信号等,输出信号的形式由传感器的原理确定。由于电信号易于传输、转换和处理,所以一般概念上的传感器是指将被测量转换成电信号输出的测量装置。

传感器作为测量与控制系统的首要环节,必须具有快速、准确、可靠且又能经济地实现信息转换的基本特点,应满足一些必要的条件:

- (1) 输出信号与被测量之间具有唯一确定的因果关系,是被测量的单值函数。
- (2) 输出信号能够与电子系统、信号处理系统或光学系统匹配,适于传输、转换、处理和显示。
- (3) 具有尽可能宽的动态范围、良好的响应特性、足够高的分辨率和信号噪声比。
- (4) 对被测量的干扰尽可能小,尽可能不消耗被测系统的能量,不改变被测系统原有的状态。
- (5) 性能稳定可靠,不受被测量参数因素的影响,抗外界干扰能力强。
- (6) 便于加工制造,具有可互换性。
- (7) 适应性强,具有一定的过载能力。
- (8) 成本低、寿命长、使用维修方便等。

2. 传感器的作用

传感器是人类探知自然界信息的触角,通过传感器可以探索人的感觉器官无法感知的信息。例如,传感器不仅可以检测人无法忍受的高温、高压、辐射等恶劣环境,还能检测出人体感官不能感知的高频、高能、微电磁场、射线等各种信息。

传感器处于被测量与测控系统的接口位置,是感知、获取与检测自然界信息的窗口,是现代测量技术、自动控制技术的重要基础。如果没有高保真和性能可靠的传感器对原始信息进行准确可靠的捕获与转换,一切准确的测量与控制将无法实现。例如,我国神舟五号和神舟六号载人飞船的成功发射离不开传感器;美国阿波罗10号飞船共用了3295个传感器;美国的NMD(国家导弹防御系统)计划2001年1月和7月两次实验均因传感器发生故障而使



每次耗资 9000 万美元的实验以失败告终；2005 年 7 月 13 日“发现号”航天飞机外挂燃料箱上的 4 个引擎控制传感器之一发生故障，直接导致原发射计划推迟，使得本已一波三折的美国重返太空计划再次出现波折。

可见，传感器是科学技术迅速发展、人类生存环境发生改变以及向未来空间拓展的关键基础部件，传感器技术早已渗透到工农业生产、交通运输、环境保护、资源开发、生物工程、医疗卫生、家用电器、宇宙探索、海洋探测等极其广泛的领域。可以毫不夸张地说，从宏观的茫茫宇宙探索到微观的粒子研究，从各种复杂的工程系统到日常生活的衣食住行，几乎每一个领域都离不开各种各样的传感器。归纳起来，传感器具有以下作用。

(1) 信息采集

现代信息技术的基础是信息采集、信息传输与信息处理。传感器位于信息采集系统之首，是感知、获取各个领域信息的关键部件，科学技术研究与自动化生产过程中所要获取的各种信息都要通过传感器获取并转换成可用信号。如科学技术中的计量测试、产品制造与销售中所需的计量等都要由传感器获取准确的信息。没有传感器技术的发展，信息技术就成为一句空话，通信技术和计算机技术也就成了无源之水。

(2) 诊断与报警

传感器可以对所关心的信息进行采集，然后对系统或装置的某种状态进行监测判断，若发现异常情况，会发出警告信号并启动保护电路，这样就可以对系统或装置进行安全管理。如产品质量是否合格、设备工况是否正常、人体部位异常诊断等都要由传感器监测判断来完成。科学技术越发达，自动化程度越高，工业生产和科学研究对传感器的依赖性就越强。

(3) 检测与控制

在现代化工业生产中，随着生产过程自动化程度的提高，传感器已成为实现检测与控制的关键部件。如果没有传感器对生产过程中的各个参数进行检测与控制，生产设备将无法达到最佳的工作状态，产品质量也将无法保证。

在航空航天技术领域，现代飞行器上安装着各种各样的传感器、显示器与控制系统，传感器首先对反映飞行器的飞行参数和姿态以及发动机工作状态的各种参数进行检测，然后由显示器提供给驾驶员去控制和操作飞行器，或者由控制系统去控制自动驾驶仪、发动机调节器，使飞机进行自动驾驶和发动机的自动调节，以保证各种飞行任务的顺利完成。

在家用电器和医疗卫生方面，传感器也得到普遍应用。如自动洗衣机、微波炉、电热水器、电冰箱、空调、电子体温计、电子血压计、脉搏计等家用电器和医疗保健产品进入千家万户，对提高人们的生活水平和健康水平起到了非常重要的作用。

21 世纪人类全面进入信息电子化的时代，随着人类探知领域和空间的拓展，传感器技术的重要性显得更为突出。如美国将传感器技术列为 20 世纪 90 年代 22 项关键技术之一；日本将传感器技术列为 20 世纪 80 年代十大技术之首；我国也将传感器技术列为 20 世纪 80 年代国家重点发展的高新技术之一。可见，传感器技术是一项与现代技术密切相关的尖端技术，世界上各个国家都十分重视发展传感器技术，相继将传感器技术列为国家未来发展的核心技术之一。

1.2.2 传感器的组成和分类

1. 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、信号调理电路和辅助电源等组成，如图 1-2 所示。其中，敏感元件直接感受或响应规定的被测量，并按一定规律转换成与被测量有确定关系的其他量（如位移、应变、压力、光强等）；转换元件将敏感元件的输出量转换成适于传输或测量的可用信号（如电阻、电容、电压、电荷等）；信号调理电路将转换元件输出的可用信号进行转换、放大、运算、调制、滤波等处理，以便于实现远距离传输、显示、记录和控制；辅助电源为信号调理电路和转换元件提供稳定的工作电源。

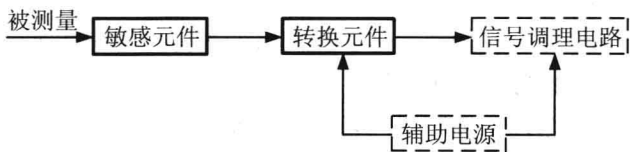
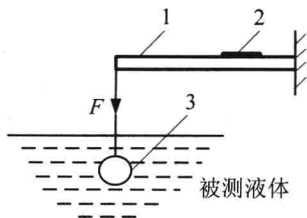


图 1-2 传感器组成框图

传感器的敏感元件与转换元件之间并无严格的界限，有些传感器很简单，有些传感器较为复杂。最简单的传感器只有一个敏感元件（兼转换元件），它直接感受被测量并输出可用信号。如热电偶传感器直接将温度转换成热电势输出，电容式位移传感器直接将位移转换成电容量的变化等。这里热电偶和电容器既是敏感元件，又是转换元件。

有些传感器由敏感元件和转换元件组成。如应变式压力传感器由弹性膜片和电阻应变片组成，弹性膜片先将被测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再将应变转换成电阻量的变化，弹性膜片就是敏感元件，电阻应变片就是转换元件。又如压电式加速度传感器由弹簧、质量块和压电晶片等组成，质量块被预先加载的弹簧紧压在压电晶片上，当传感器与被测物体一起振动时，质量块先将振动加速度转换成作用在压电晶片上的惯性力，由于正压电效应，压电晶片再将惯性力转换成电荷输出，质量块就是敏感元件，压电晶片就是转换元件。

有些传感器不止一个转换元件，而要经过多次转换。如应变式密度传感器，它由浮子、悬臂梁和电阻应变片等组成，如图 1-3 所示。浮子先将被测液体的密度转换成浮力变化，浮力作用在悬臂梁上使梁产生变形，粘贴在悬臂梁上的电阻应变片再将梁的变形转换成电阻量的变化，这样经过三次转换才将被测液体的密度转换成电阻量的变化。



1—悬臂梁；2—应变片；3—浮子

图 1-3 应变式密度传感器



随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用,传感器的信号调理电路和辅助电源既可以安装在传感器的壳体里,也可以与敏感元件一起集成在同一芯片上构成集成传感器(如ADI公司生产的AD22100型模拟集成温度传感器等),还可以根据传感器原理、敏感元件类型单独设计构成专用测量仪器(如电阻应变仪、电荷放大器等)。

2. 传感器的分类

传感器技术是一门知识密集型技术,与很多学科有关。现已发展起来的传感器用途广泛,原理各异,形式多样,种类繁多。对同一个被测量可以用不同类型的传感器来测量,而利用同一原理设计的传感器又可以测量多种被测量。因此,传感器的分类方法也不尽相同,目前广泛采用的分类方法有以下几种。

(1) 按工作原理分类

传感器按其工作原理划分,将物理、化学和生物等学科的某些机理、规律、效应作为分类依据,一般可分为物理型传感器、化学型传感器和生物型传感器三大类,其中物理型传感器又可分为结构型传感器和物性型传感器,如图1-4所示。这种分类方法的特点是对传感器的工作原理分析得比较清楚,有利于从原理、设计及应用上进行归纳。

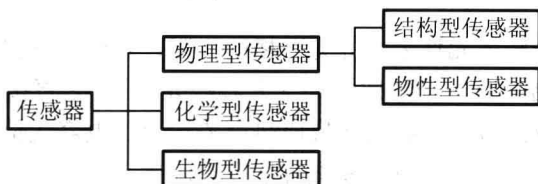


图 1-4 传感器分类

① 物理型传感器是利用某些敏感元件的物理结构或某些功能材料的物理特性及效应制成的传感器。例如金属电阻丝在被测应力作用下发生机械变形,从而引起电阻量变化(电阻应变效应)的应变式传感器;半导体材料在被测应力作用下其电阻率发生变化,从而引起电阻量变化(压阻效应)的压阻式传感器;电容器在被测量作用下其极板产生位移,从而引起电容量变化的电容式传感器;线圈在磁场中作直线运动或转动时产生感应电势输出(电磁感应原理)的磁电式传感器;压电晶体在被测力作用下产生电荷输出(正压电效应)的压电式传感器等。

结构型传感器是基于某种敏感元件的结构形状或几何尺寸(如厚度、角度、位置等)的变化来感受被测量,并转换成可用信号的传感器。例如电容式压力传感器,当被测压力作用在电容器的动极板(敏感元件)上时,电容器的动极板发生位移导致电容量发生变化。如果谐振装置中采用这种电容器,其谐振频率就随电容量发生变化,所以检测谐振频率的变化就可实现对压力的测量。这类传感器虽然开发较早,但近年来由于新材料、新工艺、新技术的开发应用,在精度、灵敏度、稳定性和可靠性等方面都有了很大的提高,所以至今仍广泛应用于工业生产自动化和过程控制的检测设备中。

物性型传感器是利用某些功能材料本身具有的内在特性及效应来感受被测量,并转换成可用信号的传感器。例如利用压电特性的石英晶体材料制成的压电式压力传感器,它是利用石英晶体的正压电效应而实现对压力的测量的;利用半导体材料在被测压力作用下引起内部

应力变化导致电阻量变化而制成的压阻式压力传感器,它是利用半导体材料的压阻效应实现对压力的测量的。这类传感器一般没有可动结构部分,具有结构简单、重量轻、体积小、响应快、易于集成化和小型化等优点。随着半导体材料和高分子功能材料的飞速发展,物性型传感器越来越引起人们的重视。

② 化学型传感器是利用电化学反应原理,将各种化学物质(如电解质、化合物、分子、离子)的状态、成分、浓度等转换成可用信号的传感器。例如离子敏传感器,它是利用离子选择性电极来测量溶液的 pH 值或离子(如 K^+ 、 Na^+ 、 H^+ 等)活度的传感器。其测量原理就是根据电极界面(固相)和被测溶液(液相)之间的电化学反应原理,利用电极对溶液中离子的选择性响应所产生的电位差与离子活度的对数呈线性关系的特性,检测出电化学反应过程中的电位差而实现对离子活度的测量的。这类传感器具有携带方便、选择性好、灵敏度高、易微型化等特点,广泛应用于化学分析、化学工业的在线检测及环境保护中。

③ 生物型传感器是利用生物反应(酶反应、微生物反应、免疫学反应等)原理,将生物体内的葡萄糖、DNA 等转换成可用信号的传感器。例如葡萄糖酶传感器,葡萄糖氧化酶在催化葡萄糖氧化时产生过氧化氢电极,若把葡萄糖氧化酶和过氧化氢电极一起做成复合酶膜,就可以用来测量葡萄糖溶液的浓度或人体血液的血糖。这类传感器是以生物体活性物质(酶、抗体、抗原、激素、细胞、微生物等)作为敏感元件,以选择性电极(氧电极、氢电极、过氧化氢电极等)作为转换元件,具有选择性高、分析速度快、操作简单等特点,在生化、医药、环境、食品及军事等领域都有着广泛的应用前景。

(2) 按能量转换分类

传感器按被测量与输出量的能量转换关系划分,可分为能量控制型传感器和能量转换型传感器两大类。

① 能量控制型传感器先将被测量转换成电参量(电阻、电容、电感等)的变化,再依靠外部辅助电源将电参量的变化转换成电能输出,并且由被测量控制输出电能的变化,属于这种类型的传感器有电阻式、电容式、电感式等。例如电阻应变式传感器先将被测应力、应变转换成应变片的电阻量变化,应变片作为电阻元件接入电桥电路,电桥工作电源由外部供给,应变片电阻量的变化控制电桥的失衡程度,从而导致测量电桥输出的电压或电流发生变化。这类传感器在进行信号转换时,需要外部提供电源,故也称为无源传感器。

② 能量转换型传感器直接将被测量转换成电能输出。属于这种类型的传感器有压电式、磁电式、热电偶、太阳能电池等。例如磁电式传感器直接将速度或转速转换成感应电势输出;压电式传感器直接将冲击力转换成电荷输出等。这类传感器在进行信号转换时,不需要另外提供电源,故也称为有源传感器。

(3) 按输出信号分类

传感器按输出信号的形式划分,可分为模拟型传感器和数字型传感器。

① 模拟型传感器输出连续的模拟信号,而输出周期性信号的传感器实质上也是模拟型传感器。例如感应同步器的滑尺相对定尺移动时,定尺上产生的感应电势为周期性信号,感应同步器就是一种模拟型传感器。

② 数字型传感器输出“1”或“0”两种信号电平,两种信号电平的高低由电路的通断、信号的有无、极性的正负、绝对值的大小等来实现。例如用光电式接近开关检测不透明的物体,当物体位于光源和光电器件之间时,光路阻断,光电器件截止,输出高电平“1”;当物体离开后,



光电器件导通, 输出低电平“0”。根据光电器件输出的高低电平就可实现对被测物体的检测或计数。数字型传感器便于与计算机联用, 且抗干扰能力强, 如码盘式角位移传感器、双金属温度开关等。

(4) 按被测量分类

传感器按被测量的性质划分, 可分为位移传感器、速度传感器、加速度传感器、转速传感器、力矩传感器、压力传感器、流量传感器、温度传感器、湿度传感器、浓度传感器等等。由于这种分类方法是按被测量命名的, 因而能够明确地指出传感器的用途, 方便地表示传感器的功能, 便于使用者选用。生产厂家和用户都习惯于这种分类方法。

除以上几种常用的分类方法外, 还有按作用形式可分为主动型传感器和被动型传感器; 按构成可分为基本型传感器、组合型传感器和应用型传感器; 按材料可分为陶瓷传感器、半导体传感器、有机高分子材料传感器和气体传感器; 按用途可分为工业用、民用、军用、医疗卫生用、环境保护用、科学研究用等类型的传感器。

1.2.3 传感器的发展趋势

从 20 世纪 80 年代开始, 人类社会进入了信息技术时代, 信息技术对社会发展、科学技术进步起着决定性的作用。而传感器技术作为现代信息技术的三大支柱之一, 其作用和地位就显得尤为重要, 没有传感器技术就没有信息技术, 没有信息技术就没有科学技术。传感器是感知、获取自然界信息的关键部件, 其发展趋势可以概括为以下几个方面。

1. 新材料、新功能的开发

传感器材料是传感器技术的重要基础, 而新材料又是开发新型传感器的基础。随着材料科学的飞速发展, 人们已研制、设计与制造出各种用于传感器的新功能材料。

(1) 半导体材料

半导体材料包括单晶硅、多晶硅、非晶硅、硅蓝宝石等半导体硅材料。由于半导体材料对很多信息量具有敏感特性, 又有成熟的平面工艺, 易于实现多功能化、集成化和智能化, 并且具有相互兼容、性能优良的电学特性和机械特性, 所以在压敏、光敏、气敏、热敏、湿敏和固态图像等传感器中得到了广泛应用。

(2) 压电材料

压电材料包括石英晶体、压电陶瓷、压电半导体等。其中, 天然的石英晶体(单晶体)稳定性很好, 机械强度很高, 但资源少, 一般只用来研制各种微型化的高精度传感器和校准用的标准传感器; 人工合成的压电陶瓷(多晶体)灵敏度高, 制造工艺成熟, 可通过合理配方和掺杂来拓展应用领域; 压电半导体既有压电特性, 又有半导体特性, 便于与信号调理电路集成于一体, 形成集成传感器。

(3) 功能材料

功能材料包括半导体氧化物、有机材料、光导纤维等。随着材料科学的发展, 人们在研制材料时, 可以根据功能要求随意、方便地控制它的成分, 从而设计制成各种用于传感器的功能材料。例如控制半导体氧化物的成分, 制成各种气敏传感器; 将有机材料作为功能材料, 制成力敏、湿敏、光敏、气敏和离子敏传感器; 光导纤维既可以作为传光元件, 又可以作为敏感元件, 制成位移、温度、压力、振动、速度等传感器。



此外,一些高分子材料、纳米材料、生物敏感材料、复合材料、薄膜材料、形状记忆合金材料等,在传感器技术中也得到了成功的应用。

2. 新工艺、新技术的应用

传感器敏感元件的性能、尺寸不仅与材料有关,而且还与加工工艺及技术有关。例如以IC技术发展起来的微细加工技术,能加工出性能稳定、可靠性高、体积小、质量轻的敏感元件。微细加工技术除了继承氧化、光刻、扩散、淀积、溅射等平面电子工艺技术外,还发展了刻蚀工艺技术、固相键合工艺技术、各向异性腐蚀技术、离子注入技术、外延技术、薄膜技术、机械切割技术和整体封装技术等,利用这些技术对半导体硅材料进行三维形状的加工,能制造出各式各样的新型传感器。例如,利用光刻、扩散工艺研制出的压阻式传感器;利用薄膜工艺研制出的气敏和湿敏传感器;利用各向异性腐蚀技术,在硅片上构成孔、沟、棱、锥、半球等各种形状的微型机械元件,研制出的全硅谐振式压力传感器等。

利用IC技术将敏感元件和信号调理电路集成在同一芯片上,就可制成低成本、高精度、超小型的集成传感器。目前集成传感器主要使用半导体硅材料,它既可以制作磁敏、力敏、温敏、光敏和离子敏等敏感元件,又可以制作电路,便于传感器的微型化与集成化。目前,一些发达国家正在把传感器与信号调理电路、辅助电源等集成在一起进行研究。

3. 多功能、智能化传感器的研制

将多种功能的敏感元件或同一功能的多个敏感元件集成在一个芯片上,就可以检测多种被测量。例如我国研制出的复合式热阻传感器,就可以同时测量压力与温度;日本丰田研究所研制的 Na^+ 、 K^+ 、 H^+ 多离子传感器,芯片尺寸为 $2.5\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}$,仅用一滴血液就可快速检测出钠、钾、氢离子的浓度,非常适用于医院的临床诊断。

将传感器、信号调理电路和微处理器等组装在一起构成多功能、智能化传感器,不仅具有信号检测与转换功能,而且还能实现信息采集、记忆存储、统计处理、双向通信及自诊断、自校正、自适应等功能。例如美国霍尼韦尔公司研制的ST3000系列智能传感器,可以通过现场通信来设定、检查传感器的工作状态,芯片尺寸为 $3\text{ mm}\times 4\text{ mm}\times 2\text{ mm}$,在一个芯片上能同时测量差压、静压和温度三个信号。

1.3 本课程的特点及任务要求

传感器与测试技术是一门技术基础课,它涉及到工程数学、电工电子学、控制技术、计算机技术、机械技术、数据处理技术等多门学科和技术。在学习中要综合运用所学的各种知识,在获得测试技术知识和技能的基础上,着重培养灵活合理应用基础知识解决工程实际问题的能力。

本课程实践性很强,为了使学生巩固和加深所学的基础知识,提高解决测试问题的能力,各章配有一定量的习题,同时开设较多的实验,使学生在掌握传感器与测试技术基础理论和方法的同时,了解并熟悉几种测试设备的原理和使用方法,为将来工作打下坚实的基础。

通过本课程的学习,学生应做到:

- (1) 掌握传感器与测试技术的基本理论。
- (2) 熟练掌握测试系统静、动态特性的评价方法和实现不失真测试的条件。