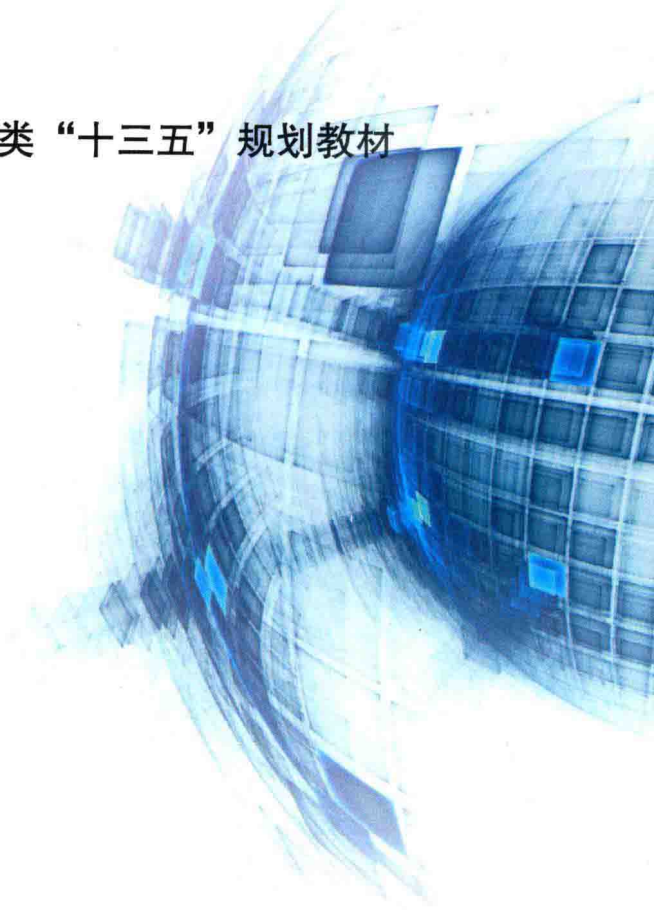




高职高专电子信息类“十三五”规划教材



传感器原理 及应用(第二版)

主编 刘振廷 翟维

主审 王煜东



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专电子信息类“十三五”规划教材

传感器原理及应用

(第二版)

主 编 刘振廷 翟 维

副主编 刘成刚 许 刚 何 红

主 审 王煜东

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了传感器的基本结构、工作原理、特性及相应的测量电路。全书共 13 章：第 1 章介绍了传感器的基本概念与特性；第 2~13 章分别介绍了电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、霍尔传感器、光电式传感器、光纤传感器、温度传感器、气敏传感器、湿度传感器、数字式传感器、谐振式传感器、智能传感器的结构、工作原理及应用，并且介绍了常用非电量温度、湿度的电测技术。书中提供了大量的应用实例，并附有小结、习题，以及实验、实训建议，突出了技术的实际应用。

本书所述内容精练实用，深入浅出，便于读者自学。本书可作为高职高专电子信息类专业教材，也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理及应用/刘振廷, 翟维主编. —2 版. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2017. 4
高职高专电子信息类“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5606-4480-6

I. ① 传… II. ① 刘… ② 翟… III. ① 传感器 IV. ① TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 065654 号

责任编辑 王 瑛 刘小莉

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2017 年 4 月第 2 版 2017 年 4 月第 4 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 12.5

字 数 289 千字

印 数 9001~12 000 册

定 价 22.00 元

ISBN 978-7-5606-4480-6/TP

XDUP 4772002-4

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

《传感器原理及应用》一书自 2011 年 1 月出版以来,得到了广大读者的认可。为满足市场发展需求,特进行了本次修订。本书在保持原有内容的基本结构和风格的基础上,从“增加可读性”、“体现先进性”、“增加新知识”等方面进行了完善。

谐振式传感器具有高精度、高分辨力、高抗干扰能力,适于长距离传输,能直接与数字设备相连,且因无活动部件而具有高稳定性和高可靠性,目前已迅速发展成一个新的传感器家族,故本次修订新增了“谐振式传感器”一章,重点介绍谐振式传感器的原理、类型、结构及应用实例。

本次修订中,西安航空技术高等专科学校的刘振廷、翟维担任主编,济南职业学院电子系的刘成刚、西安航空技术高等专科学校的许刚和何红担任副主编。本书第 1~3 章及第 12 章由翟维编写;第 4~6 章由刘成刚编写;第 7、8 章由何红编写;第 9~11 章由许刚编写;第 13 章由刘振廷编写。全书由河南工业职业技术学院的王煜东教授主审。

对长期支持与关注本书的读者,编者在此表示衷心的感谢。

编 者

2017 年 2 月

第一版前言

传感器技术是测量技术、半导体技术、计算机技术、信息处理技术、微电子学、光学、声学、精密机械、仿生学和材料学等众多学科相互交叉的综合型和高新技术密集型前沿技术之一,是现代新技术革命和信息社会的重要基础,是自动检测和自动控制技术不可缺少的重要组成部分。目前,传感器技术已成为我国国民经济不可或缺的支柱产业的一部分。传感器在工业部门的应用普及率已被国际社会作为衡量一个国家智能化、数字化、网络化的重要标志。本书是按照高职高专电子信息类专业的“传感器原理及应用”课程教学大纲的要求,集作者多年来的教学、科研经验,参考国内外有关资料编写而成的。本书对当前使用较多的几类传感器,如电阻应变式、电感式、电容式、压电式、磁电式、光电式传感器的基本原理、静/动态特性、信号调节电路及其应用都作了较为详细的分析,对光纤、气敏、湿敏和智能等新型传感器也作了介绍。

本书内容丰富、全面,结构新颖,叙述简明,深入浅出。为满足高职高专学生的学习需要,本书避开了过多的公式推导和有关传感器设计制造方面的内容,注重学生自我学习能力的提高和动手能力的训练。全书共分12章,部分章节配有本章小结、习题和实验、实训建议,参考学时为60~64学时。本书可作为高职高专电子信息类专业教材,也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

本书由西安航空技术高等专科学校刘振廷教授担任主编,济南职业学院电子系刘成刚、西安航空技术高等专科学校许刚担任副主编,并由河南工业职业技术学院王煜东教授担任主审。编写分工如下:第1~3章由西安航空技术高等专科学校翟维老师编写;第4~6章由济南职业学院电子系刘成刚老师编写;第7、8章由西安航空技术高等专科学校何红老师编写;第9~11章由西安航空技术高等专科学校许刚老师编写;第12章由西安航空技术高等专科学校刘振廷老师编写。本书在编写过程中还得到了有关老师给予的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2010年5月

西安电子科技大学出版社
高职高专电子信息类“十三五”规划教材
编审专家委员会名单

主任：杨 勇

副主任：张小虹

成 员：（按姓氏笔画排列）

马 琳	王 平	王宏军	丛迎九
卢庆林	刘 勇	李常峰	李德家
李文森	张玉莲	张 伟	战德刚
段智毅	祝瑞花	郭亚红	栾春光
曾照香	彭丽英	雷少刚	黎 伟

项目策划：毛红兵

目 录

第1章 传感器的基本概念与特性	1	第3章 电容式传感器	32
1.1 基本概念	1	3.1 电容式传感器的工作原理及特性	32
1.1.1 传感器的定义	1	3.1.1 变极距型电容式传感器	32
1.1.2 传感器的组成	2	3.1.2 变面积型电容式传感器	34
1.2 传感器的分类	3	3.1.3 变介电常数型电容式传感器	34
1.3 传感器的作用和发展	4	3.1.4 差动电容式传感器	35
1.3.1 传感器的作用	4	3.1.5 电容式传感器的性能改善	36
1.3.2 传感器的发展	5	3.2 电容式传感器的测量电路	37
1.4 传感器的一般特性	6	3.2.1 变压器电桥电路	37
1.4.1 灵敏度	7	3.2.2 运算放大器电路	38
1.4.2 分辨力	7	3.2.3 环形二极管充放电电路	39
1.4.3 线性度	8	3.2.4 调频电路	39
1.4.4 稳定性	10	3.3 电容式传感器的应用	40
1.4.5 电磁兼容性	10	3.3.1 电容式测厚传感器	40
本章小结	10	3.3.2 电容式湿敏传感器	41
习题	10	3.3.3 电容式油量表	42
		3.3.4 电容式接近开关	43
第2章 电阻应变式传感器	12	本章小结	44
2.1 工作原理	12	习题	44
2.1.1 应变效应	12	实验、实训建议	47
2.1.2 应变片的结构、种类及其粘贴	14		
2.2 温度误差及补偿	16	第4章 电感式传感器	49
2.2.1 温度误差	17	4.1 自感式传感器	49
2.2.2 温度误差的补偿方法	18	4.1.1 变气隙型电感式传感器	50
2.3 测量转换电路	20	4.1.2 截面型电感式传感器	51
2.3.1 单臂半桥工作方式	21	4.1.3 测量电路	51
2.3.2 双臂半桥工作方式	22	4.2 差动变压器式(互感式)传感器	52
2.3.3 全桥工作方式	22	4.2.1 差动变压器式传感器的 结构与工作原理	52
2.4 应用举例	23	4.2.2 差动变压器式传感器的 输出特性	54
2.4.1 应变式压力传感器	23	4.2.3 差动变压器式传感器的 测量电路	55
2.4.2 应变式加速度传感器	25	4.3 电涡流式传感器	58
2.4.3 应变式荷重传感器	26	4.3.1 电涡流式传感器的基本原理	59
本章小结	27	4.3.2 电涡流式传感器的种类	59
习题	28		
实验、实训建议	30		

4.4 电感式传感器的应用	60	7.2.1 光敏电阻应用电路	97
4.4.1 压力测量	60	7.2.2 光敏二极管应用电路	98
4.4.2 位移测量	61	7.2.3 光敏三极管应用电路	98
4.4.3 电感式圆度计	63	7.3 光电式传感器的应用	99
本章小结	63	7.3.1 灯光亮度自动控制器	99
习题	64	7.3.2 邮政信函过戳装置	100
实验、实训建议	64	7.3.3 主回路与控制回路的隔离电路	100
第5章 压电式传感器	66	7.4 图像传感器	101
5.1 压电式传感器的原理	66	本章小结	102
5.1.1 压电效应及其可逆性	66	习题	102
5.1.2 石英晶体的压电效应	67	实验、实训建议	103
5.1.3 压电陶瓷的压电效应	69	第8章 光纤传感器	105
5.2 压电材料	70	8.1 光纤的基本概念	105
5.2.1 石英晶体	71	8.1.1 光的全反射	105
5.2.2 压电陶瓷	71	8.1.2 光纤的结构及分类	105
5.2.3 新型压电材料	72	8.2 光纤传感器的分类及特性	106
5.3 压电式传感器的等效电路	72	8.2.1 光纤传感器的分类	106
5.4 压电式传感器的测量电路	73	8.2.2 光纤传感器的优缺点	107
5.5 压电式传感器的应用	76	8.3 光纤传感器的应用举例	107
本章小结	78	8.3.1 光纤液位传感器	107
习题	78	8.3.2 光纤加速度传感器	108
实验、实训建议	79	8.3.3 光纤温度传感器	109
第6章 霍尔传感器	80	8.3.4 光纤流量与流速传感器	110
6.1 霍尔元件与霍尔传感器的工作原理	80	本章小结	112
6.1.1 霍尔元件	80	习题	112
6.1.2 霍尔传感器的工作原理	81	实验、实训建议	112
6.2 霍尔集成电路	82	第9章 温度传感器	115
6.2.1 霍尔集成电路的特点	82	9.1 温度测量的基本概念	115
6.2.2 霍尔集成电路的类型	82	9.1.1 温度的基本概念	115
6.3 霍尔位移传感器	83	9.1.2 温度测量及传感器分类	117
6.3.1 霍尔位移传感器的工作原理	83	9.2 热电偶传感器的工作原理	118
6.3.2 霍尔位移传感器的特性及应用	84	9.2.1 热电效应	118
本章小结	87	9.2.2 基本定律	120
习题	87	9.3 热电偶的材料及结构	122
实验、实训建议	89	9.3.1 热电偶材料	122
第7章 光电式传感器	90	9.3.2 热电偶的结构和常用热电偶	123
7.1 光电效应及光电元件	90	9.4 热电偶的应用	127
7.1.1 光电效应的分类	90	9.4.1 热电偶冷端的延长	127
7.1.2 光电元件及其特性	90	9.4.2 热电偶温度补偿的技术处理	128
7.2 光电元件的基本应用电路	97	9.5 热电阻传感器及其应用	131
		9.5.1 金属热电阻传感器	131

9.5.2 半导体热敏电阻传感器	133	11.3.1 光栅传感器的结构和原理	159
9.6 集成温度传感器	136	11.3.2 光栅传感器的测量电路	161
9.6.1 集成温度传感器的测温原理	136	11.3.3 光栅传感器的应用	163
9.6.2 集成温度传感器的类型	137	11.4 磁栅传感器	165
本章小结	138	11.4.1 磁栅传感器的结构	164
习题	138	11.4.2 磁栅传感器的工作原理	165
实验、实训建议	139	本章小结	165
		习题	165
第 10 章 气敏传感器、湿度		第 12 章 谐振式传感器	166
传感器及其应用	140	12.1 概述	166
10.1 气敏传感器	140	12.2 谐振式传感器的类型与原理	166
10.1.1 电阻型半导体气敏传感器	140	12.2.1 谐振式传感器的类型	166
10.1.2 气敏传感器的应用	143	12.2.2 谐振式传感器的基本原理	168
10.2 湿度传感器	145	12.3 谐振式传感器应用举例	170
10.2.1 湿度的定义及其表示方法	145	12.3.1 振弦式传感器应用举例	170
10.2.2 湿度传感器的基本 原理和分类	146	12.3.2 振梁式传感器应用举例	171
10.2.3 湿敏元件的主要特性参数	146	12.3.3 振膜式压力传感器应用举例	172
10.2.4 半导体及陶瓷湿度传感器	147	12.3.4 振筒式传感器应用举例	172
10.2.5 有机物及高分子聚合物 湿度传感器	149	12.3.5 压电式谐振传感器应用举例	173
本章小结	151	12.3.6 微型硅谐振式传感器 应用举例	174
习题	151	本章小结	175
		习题	175
第 11 章 数字式传感器	152	第 13 章 智能传感器	176
11.1 数字编码器	152	13.1 智能传感器发展的历史背景	176
11.1.1 增量式编码器	152	13.2 智能传感器的概念及其功能特点	176
11.1.2 绝对式光电编码器	153	13.3 智能传感器的实现	177
11.2 感应同步器	153	本章小结	181
11.2.1 感应同步器的结构和 工作原理	154	习题	181
11.2.2 信号处理方式	156	部分习题参考答案	182
11.2.3 直线式感应同步器的接长与 定尺激励方式	157	附录 A	186
11.2.4 感应同步器的绝对坐标 测量系统	158	附录 B	189
11.2.5 误差分析	158	参考文献	190
11.3 光栅传感器	159		

第 1 章 传感器的基本概念与特性

在当今的信息时代,人们越来越迫切地希望能准确地掌握自然界和生产领域更多的各类信息,而传感器则是人们获取这些信息的主要途径和手段。传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节,它对于提高生产的自动化程度、促进现代科学技术的发展具有极其重要的作用。

近 30 年来,快速发展的 IC 技术与电子计算机技术为传感器的高速发展提供了非常良好与可靠的科学技术基础,同时也提出了更高的要求。所以,在近 20 年中,世界各国都将传感器技术列为尖端技术,尤其是在经济发达的美、英、德、俄、日等国,对传感器及其技术的发展更是倍加重视。现代信息技术的三大基础是信息的采集、传输和处理技术(即传感器技术),通信技术,计算机技术,这些技术分别构成了信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”。

目前,传感器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极其广泛的领域。几乎每一个现代化项目都离不开各种各样的传感器。

本章将阐述传感器的定义、组成、分类、作用、地位以及一般特性。

1.1 基 本 概 念

1.1.1 传感器的定义

国家标准(GB 7665—87)中传感器(transducer/sensor)的定义为: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含义:

(1) 传感器是测量装置,能完成检测任务。例如我们常见的发电机,它是一种可以将机械能转变成电能的转换装置,从能量角度来看,它是一种发电设备,不能称之为传感器;但从另一个角度看,人们可以通过发电机发电量的大小来测量调速系统的机械转速,这时发电机就可以看成是一种用于测量转速的装置,是一种速度传感器,通常称之为测速发电机。应用传感器是为了获得被测量的准确信息,这也是本课程的学习目的。

(2) 传感器定义中的“可用输出信号”是指便于传输、转换及处理的信号,主要包括气、光和电等信号,现在一般是指电信号(如电压、电流、电势及各种电参数等),而“规定的被测量”一般是指非电量信号,主要包括各种物理量、化学量和生物量等,在工程中常需要测量的非电量信号有力、压力、温度、流量、位移、速度、加速度、转速、浓度等。正是由于这类非电量信号不能像电信号那样可由电工仪表和电子仪器直接测量,因而需要利用传感器

技术来实现由非电量到电量的转换。

(3) 传感器的输入和输出信号应该具有明确的对应关系，并且应保证一定的精度。

(4) 关于“传感器”这个词，目前国外还有许多提法，如变换器(transducer)、转换器(converter)、检测器(detector)和变送器(transmitter)等，而根据我国的规定，传感器定名为 sensor，当传感器的输出信号为标准信号(1~5 V、4~20 mA)时，称为变送器。注意二者不要混淆。

1.1.2 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、测量电路三部分组成，有时还需外加辅助电源提供转换能量，如图 1-1 所示。

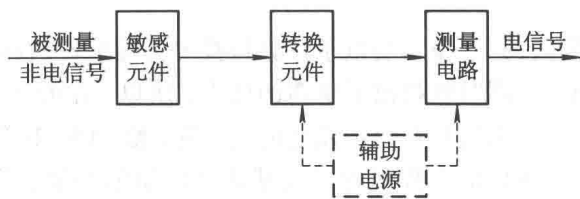


图 1-1 传感器组成框图

(1) 敏感元件：传感器中能直接感受被测量的变化并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。敏感元件是传感器的核心，也是研究、设计和制作传感器的关键。图 1-2 所示是一气体压力传感器的示意图。膜盒 2 的下半部与壳体 1 固定，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，后者接入测量电路 5。这里的膜盒就是敏感元件，其外部与大气压力 p_a 相通，内部感受被测压力 p 。当 p 变化时，引起膜盒上半部移动，即输出相应的位移量。

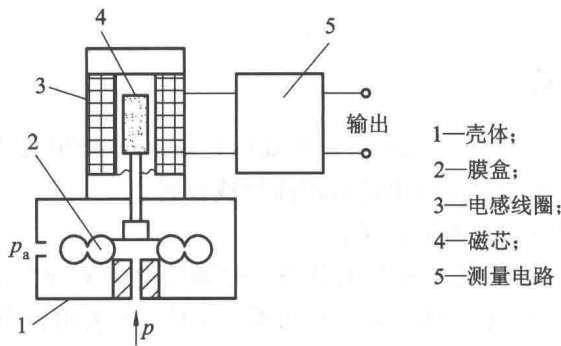


图 1-2 气体压力传感器

(2) 转换元件：传感器中能将敏感元件输出的物理量转换成适于传输或测量的电信号的部分。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。

需要指出的是，并不是所有的传感器都能明显地区分敏感元件和转换元件两部分，有的传感器转换元件不止一个，需要经过若干次转换，有的则是二者合二为一。

(3) 测量电路：又称转换电路或信号调理电路，它的作用是将转换元件输出的电信号进行进一步的转换和处理，如放大、滤波、线性化、补偿等，以获得更好的品质特性，便于

后续电路实现显示、记录、处理及控制等功能。测量电路的类型视传感器的工作原理和转换元件的类型而定，一般有电桥电路、阻抗变换电路、振荡电路等。

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。有些传感器由敏感元件和转换元件组成，没有转换电路，如压电式加速度传感器，其中质量块 m 是敏感元件，压电片(块)是转换元件。有些传感器，转换元件不止一个，要经过若干次转换。

敏感元件与转换元件是装在一起的，而转换电路由于空间的限制或者其他原因，常装在电箱中。然而，因为不少传感器要在通过转换电路后才能输出电信号，所以转换电路是传感器的组成环节之一。

1.2 传感器的分类

传感器行业是知识密集、技术密集的行业，它与许多学科有关，并且种类繁多。下面将目前广泛采用的传感器分类方法作一简单的介绍。

1. 根据传感器的工作原理分类

根据传感器的工作原理分类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，有利于对传感器的工作原理进行阐述，对传感器进行深入研究与分析，但不便于使用者根据用途选用。

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等)、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其各自的物理效应原理命名的。

2. 根据传感器的用途分类

根据传感器的不同用途，传感器可分为位移传感器、压力传感器、振动传感器、温度传感器等，这对人们系统地使用传感器很有帮助。

3. 根据传感器的材料类别分类

近年来对传感器材料的开发研究有较大的进展，用复杂材料来制造性能更加良好的传感器是今后发展的方向之一。

1) 半导体材料

半导体材料在传感技术中有较大的优势。它对很多信息量具有敏感特性，又有成熟的集成电路工艺，易于实现多功能化、集成化和智能化，同时也是很好的基底材料，所以是理想的传感器材料。其中用得最多的是硅材料。硅质量轻，具有较高的强度密度比和刚度密度比，因此适合制作传感器。半导体硅在力敏、热敏、光敏、磁敏、气敏、离子敏及其他敏感元件方面均具有广泛用途。

2) 陶瓷材料

陶瓷材料在敏感技术中有较大的技术潜力。它具有耐热性、耐腐蚀性、多孔性、光电

性、介电性及压电性。利用陶瓷材料已制成了诸如温度(新型热敏电阻)、气体、湿度、光电、离子、超声、加速、力、陀螺等多种传感器。

3) 磁性材料

许多传感器都采用磁性材料。目前磁性材料正向非晶化、薄膜化的方向发展。非晶磁性材料具有磁导率高、矫顽力小、电阻率高、耐腐蚀、硬度大等特点,因而将获得越来越广泛的应用。由于非晶体不具有磁的各向同性,因而是一种高磁导率和低损耗的材料,很容易获得旋转磁场,所以可以用来制作磁力计或磁通敏感元件,也可以利用应力-磁效应制得高灵敏度的应力传感器,基于磁致伸缩效应的力敏元件也会得到发展。这类材料的灵敏度比坡莫合金(铁镍合金)高几倍,能大大降低涡流损耗,从而获得优良的磁特性,这对高频更为可贵。利用这一特点,可以制造出磁性晶体很难获得的快速响应型传感器。

4) 智能材料

智能材料是指设计和控制材料的物理、化学、机械、电学等参数,研制出生物体材料所具有的特性或者优于生物体材料性能的人造材料。智能材料具备对环境的自适应判断功能、自诊断功能、自修复功能、自增强功能等性能。智能材料的探索才刚刚开始,相信不久的将来会有很大的发展。

1.3 传感器的作用和发展

1.3.1 传感器的作用

传感器相当于人体的感觉器官,常将传感器的功能与人类5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。

传感器能将各种非电量(如机械量、化学量、生物量及光学量等)转换成电量,从而实现非电量的电测技术。在自动控制系统中,检测是实现自动控制的首要环节,没有对被控对象的精确检测,就不可能实现精确控制。例如,数控机床中的位移测量装置利用高精度位移传感器(光栅传感器或感应同步器)进行位移测量,从而实现对零部件的精密加工。

现代汽车技术的发展特征之一就是越来越多的部件采用电子控制,电子自动控制的工作要依赖传感器的信息反馈,传感器作为汽车电控的关键部件,直接影响着汽车技术性能的发挥。据统计,目前一般轿车上有几十个传感器,高级轿车上有100多个传感器,全球的车用传感器需求量达到12.7亿个。这些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中。下面以汽车传感器为例,说明传感器在汽车中的重要作用。

发动机控制用传感器有多种:①压力传感器,反映进气压力、发动机油压、轮胎压力等;②流量传感器,测量发动机吸入的空气量和燃油流量;③角度传感器,检测曲轴转角及发动机转速等;④温度传感器,检测进气温度;⑤水温传感器,检测冷却液的温度;⑥爆燃传感器,安装在缸体上,专门检测发动机的爆燃状况。利用这些传感器可以提高发动机的动力性,降低油耗,减少废气,反映故障等。

除了过去单纯用于发动机上的传感器,现在汽车传感器已扩展到底盘、车身和灯光电气系统上。这些系统采用的传感器有100多种。在种类繁多的传感器中,常见的有:

进气压力传感器：反映进气歧管内的绝对压力大小的变化，向 ECU(发动机电控单元)提供计算喷油持续时间的基准信号。

空气流量传感器：测量发动机吸入的空气量，提供给 ECU 作为喷油时间的基准信号。

节气门位置传感器：测量节气门打开的角度，提供给 ECU 作为断油、控制燃油空气比、修正点火提前角的基准信号。

曲轴位置传感器：检测曲轴及发动机转速，提供给 ECU 作为确定点火正时及工作顺序的基准信号。

氧传感器：检测排气中的氧浓度，提供给 ECU 作为控制燃油空气比在最佳值(理论值)附近的基准信号。

进气温度传感器：检测进气温度，提供给 ECU 作为计算空气密度的依据。

冷却液温度传感器：检测冷却液的温度，向 ECU 提供发动机的温度信息。

爆燃传感器：安装在缸体上专门检测发动机的爆燃状况，提供给 ECU 用于根据信号调整点火提前角。

这些传感器主要应用在变速器、方向器、悬架和 ABS 上。

车身控制系统中也存在大量的传感器，如自动空调中的温度传感器、风量传感器和日照传感器，安全气囊系统中的加速度传感器，死角报警系统中的超声波传感器等。这类传感器的主要目标是提高汽车的安全性、可靠性和舒适性。

在工业生产中，传感器的大量使用，实现了生产的自动化或半自动化，大大减轻了工人的劳动强度，提高了产品的质量，降低了产品成本。在家用电器和医疗卫生方面，新颖的、智能化的传感器不断涌现，使人们的生活越来越轻松、舒适。总而言之，在信息技术不断发展的今天，传感器将会在信息的采集和处理过程中发挥出巨大的作用。

1.3.2 传感器的发展

传感器技术的主要发展动向：一是传感器本身的基础研究，即研究新的传感器材料和工艺，发现新现象；二是与微处理器组合在一起的传感器系统的研究，即研究如何将检测功能与信号处理技术相结合，向传感器的智能化、集成化发展。

1. 发现新现象

传感器的工作机理是基于各种效应、反应和物理现象的。重新认识压电效应、热释电现象、磁阻效应等已发现的物理现象以及各种化学反应和生物效应，并充分利用这些现象与效应设计制造各种用途的传感器，是传感器技术领域的重要工作。同时还要开展基础研究，以求发现新的物理现象、化学反应和生物效应。各种新现象、反应和效应的发现可极大地扩大传感器的检测极限和应用领域。

2. 开发新材料

随着物理学和材料科学的发展，人们在很大程度上已经能够根据对材料功能的要求来设计材料的组分，并通过对生产过程的控制制造出各种所需的材料。目前最为成熟、先进的材料技术是以硅加工为主的半导体制造技术。例如，人们利用该项技术设计制造的多功能精密陶瓷气敏传感器有很高的工作温度，弥补了硅(或锗)半导体传感器温度上限低的缺点，可用于汽车发动机燃空比控制系统，大大地扩展了传统陶瓷传感器的使用范围。有机材料、光导纤维等材料在传感器上的应用，也已取得重大突破，引起了国内外学者的极大

关注。

3. 采用微细加工技术

将硅集成电路技术加以移植并发展,形成了传感器的微细加工技术。这种技术能将电路尺寸加工到光波长数量级,并能形成低成本超小型传感器的批量生产。

微细加工技术除全面继承氧化、光刻、扩散、淀积等微电子技术外,还发展了平面电子工艺技术、各向异性腐蚀、固相结合工艺和机械切断技术。利用这些技术对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、扩散工艺已制造出压阻式传感器,利用薄膜工艺已制造出快速响应的气敏、湿敏传感器等。日本横河公司综合利用微细加工技术,在硅片上构成孔、沟、棱锥、半球等各种形状的微型机械元件,并作出了全硅谐振式压力传感器。

4. 传感器的智能化

“电五官”与“电脑”的结合就是传感器的智能化。智能化传感器不仅具有信号检测、转换功能,同时还具有记忆、存储、解析、统计处理以及自诊断、自校准、自适应等功能。

5. 仿生传感器

传感器相当于人的五官,且在许多方面超过人体,但在检测多维复合量方面,传感器的水平则远不如人体。尤其是那些与人体生物酶反应相当的嗅觉、味觉等化学传感器,还远未达到人体感觉器官那样高的选择性。实际上,人体感觉器官由非常复杂的细胞组成并与人脑联系紧密,配合协调。工程传感器要完全替代人的五官,则须具备相应复杂细密的结构和相应高度的智能化,这一点目前看来还是不可能的事。但是,研究人体感觉器官,开发能够模仿人体嗅觉、味觉、触觉等感觉的仿生传感器,使其功能尽量向人自身的功能逼近,已成为传感器发展的重要课题。

1.4 传感器的一般特性

传感器所测量的物理量基本上有两种形式:一种是稳态(静态或准静态)的形式,这种形式的信号不随时间变化(或变化很缓慢);另一种是动态(周期变化或瞬态)的形式,这种形式的信号是随时间而变化的。由于输入物理量的形式不同,传感器所表现出来的输入-输出特性也不同,因此存在所谓的静态特性和动态特性。不同的传感器有着不同的内部参数,因此它们的静态特性和动态特性表现出不同的特点,对测量结果的影响也各不相同。一个高精度传感器必须同时具有良好的静态特性和动态特性,才能完成对信号(或能量)的无失真转换。

传感器输入与输出的关系可用微分方程来描述。理论上,将微分方程中一阶及以上的微分项取为零时,即得到静态特性。因此,传感器的静态特性只是动态特性的一个特例。传感器的输入与输出具有确定的对应关系,最好呈线性关系。但在一般情况下,输入和输出不会符合所要求的线性关系,同时由于存在迟滞、蠕变、摩擦、间隙和松动等各种因素以及外界条件的影响,输入、输出对应关系的唯一确定性也不能实现。考虑了这些情况之后,传感器的输入、输出作用图大致如图1-3所示。

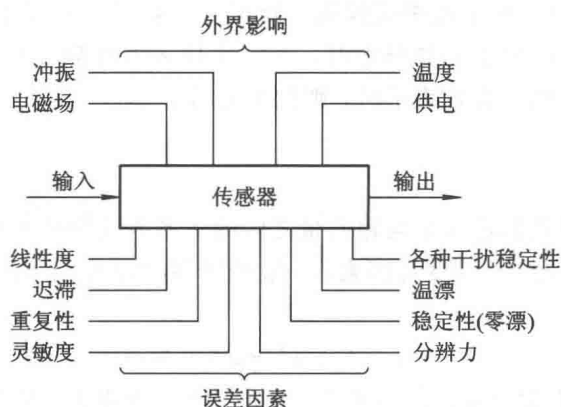


图 1-3 传感器输入、输出作用图

下面主要讨论传感器的几个静态特性。

1.4.1 灵敏度

传感器或检测系统在稳态下输出变化量 Δy 和引起此变化的输入变化量 Δx 的比值，即为其静态灵敏度，其表达式为

$$k_n = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-1)$$

式中， k_n 为静态灵敏度。

如位移传感器，当输入变化量 Δx 为 $1 \mu\text{m}$ ，输出变化量 Δy 为 0.2 mV 时，灵敏度 k_n 为 $0.2 \text{ mV}/\mu\text{m}$ 。

对于线性传感器，它的灵敏度就是其特性曲线的斜率，是一个常数，与输入量大小无关；而对于非线性传感器，其灵敏度是一个随工作点而变的变量，如图 1-4 所示。一般希望传感器的灵敏度高，且在满量程范围内是恒定的，这样就可保证在传感器输入量相同的情况下，输出信号尽可能大，从而有利于对被测量的转换和处理。

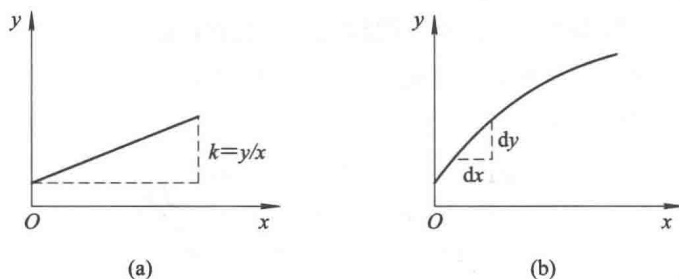


图 1-4 传感器的灵敏度

(a) 线性传感器；(b) 非线性传感器

1.4.2 分辨力

传感器能检测到输入量的最小变化量的能力称为分辨力。对于某些传感器，如电位器式传感器，当输入量连续变化时，输出量只做阶梯变化，则分辨力就是输出量的每个“阶

梯”所代表的输入量大小。对于数字式仪表，分辨力就是仪表指示值的最后一位数字所代表的值。当被测量的变化量小于分辨力时，数字式仪表的最后一位数不变，仍指示原值。当分辨力以满量程输出的百分数表示时，则称为分辨率。

1.4.3 线性度

传感器的线性度是指其输出量与输入量之间的关系曲线偏离理想直线的程度，又称为非线性误差。如不考虑迟滞、蠕变等因素，一般传感器的输入-输出特性关系可用 n 次多项式表示为

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \cdots + a_nx^n \tag{1-2}$$

式中： x 为输入量； y 为输出量； a_0 为零输入时的输出，也称为零位输出； a_1 为传感器线性项系数，也称为线性灵敏度； $a_2, a_3, \cdots, a_n$ 为非线性项系数。在不考虑零位输出的情况下，传感器的线性度可分为以下几种情况：

(1) 理想线性特性。当式(1-2)中的 a_1 为常数，而 $a_0 = a_2 = a_3 = \cdots = a_n = 0$ 时，有

$$y = a_1x \tag{1-3}$$

称为理想线性特性，如图 1-5(a)所示，这时传感器的线性最好，这也是我们最希望传感器所具有的特性。具有该特性的传感器的灵敏度为直线 $y = a_1x$ 的斜率，即

$$k = \frac{y}{x} = a_1 = \text{常数} \tag{1-4}$$

(2) 仅有偶次非线性项。传感器的输入-输出特性为

$$y = a_0 + a_2x^2 + a_4x^4 + \cdots + a_{2n}x^{2n}, \quad n = 0, 1, 2, \cdots \tag{1-5}$$

此传感器特性没有对称性，线性范围较窄，线性度较差，如图 1-5(b)所示，一般传感器设计很少采用这种特性。

(3) 仅有奇次非线性项。传感器的输入-输出特性为

$$y = a_1 + a_3x^3 + a_5x^5 + \cdots + a_{2n+1}x^{2n+1}, \quad n = 0, 1, 2, \cdots \tag{1-6}$$

此传感器特性相对于坐标原点对称，其线性范围较宽，线性度较好，如图 1-5(c)所示，是比较接近于理想直线的非线性特性。

(4) 普遍情况。一般情况下，传感器的输入-输出特性为

$$y = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \cdots + a_nx^n \tag{1-7}$$

其特性曲线如图 1-5(d)所示。

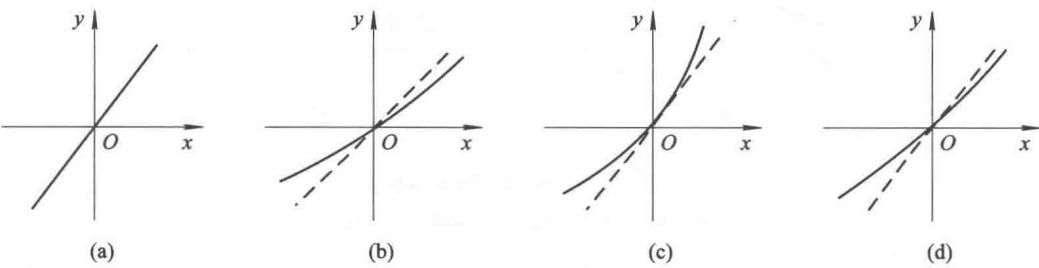


图 1-5 传感器的线性度

(a) 理想线性特性；(b) 仅有偶次非线性项；(c) 仅有奇次非线性项；(d) 普遍情况

在实际使用非线性传感器时，如果非线性项的次数不高，则在输入量变化范围不大的