

高等院校精品课程系列教材

传感器原理及应用

第3版

吴建平◎主编

彭颖 覃章健◎副主编



Principles and Applications
of Sensors Third Edition



机械工业出版社
China Machine Press

高等院校精品课程系列教材

传感器原理及应用

第3版

吴建平 主编

彭颖 覃章健 副主编



Principles and Applications
of Sensors Third Edition



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

传感器原理及应用 / 吴建平主编. —3 版. —北京: 机械工业出版社, 2015.12
(高等院校精品课程系列教材)

ISBN 978-7-111-52341-3

I. 传… II. 吴… III. 传感器—高等学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 289466 号

传感器在现代信息技术中有着举足轻重的地位, 因此作为理工科专业的学生, 学习和掌握现代传感器技术知识是非常必要的。本书充分考虑教学规律, 突出专业特点, 重点叙述传感器的结构原理和基本特性, 同时详细介绍了传感器的工程应用和使用方法, 对于各种类型的传感器都有较为系统和全面的论述。

本书的主要内容包括: 传感器的基本特性、电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、磁电及磁敏式传感器、压电元件与超声波传感器、光电效应及光电器件、新型光电传感器、半导体式化学传感器、射线式传感器、热电式传感器、生物传感器、集成智能传感器、物联网应用系统, 最后给出了实验指南与综合练习。

本书可作为高等院校测控技术、自动化、仪器仪表、电子工程、信息工程、核工程与核技术应用等专业的本科生教材, 也可作为相关专业的研究生教材, 还可作为教师以及工程技术人员的参考书籍。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 谢晓芳

责任校对: 董纪丽

印刷: 三河市宏图印务有限公司

版次: 2016 年 1 月第 3 版第 1 次印刷

开本: 185mm×260mm 1/16

印张: 19.75

书号: ISBN 978-7-111-52341-3

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

读者热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

前言

当今世界已经进入信息时代，传感器技术、通信技术、计算机技术是构成现代信息技术的三大支柱，它们在信息系统中分别起到“感官”、“神经”和“大脑”的作用。我们在利用信息的过程中首先要获取信息，传感器是获取信息的主要途径和手段。传感器技术是多学科交叉的知识汇集，它涉及物理、机械、电子、材料、化工、生物、环境、地质、核技术等多方面的知识，是定量认知自然现象不可缺少的一种技术手段。

自工业革命以来，为提高和改善机器的性能，传感器发挥了巨大的作用。而现代传感器利用新材料以及半导体集成加工工艺，使传感器技术越来越成熟，种类越来越多。除了使用半导体材料、陶瓷材料外，纳米材料、光纤以及超导材料的发展也为传感器集成化和小型化的发展提供了物质基础。目前，现代传感器正从传统的分立式朝着集成化、智能化、数字化、系统化、多功能化、网络化、光机电一体化、无维护化并向着低功耗、高精度、高可靠性、高信噪比、宽量程的方向发展。另外，物联网技术被认为是继计算机、互联网之后的又一次产业浪潮，而传感器作为物联网应用系统的核心产品，将成为这一新兴产业优先发展的关键器件。

成都理工大学核技术与自动化工程学院的教师们在长期教学、科研工作中，积累了丰富的教学和实践经验，精心编写出这本教材，并在第1版和第2版的基础上再次完善与修改。本教材在编写中充分考虑教学规律，突出专业特点，重点叙述了传感器的结构原理和基本特性，同时每个章节都详细介绍了传感器的工程应用和使用方法，对各种类型的传感器都有较为系统和全面的论述。本书特色鲜明，适用性强，实例丰富。为适应传感器技术的发展，新编传感器教材突出了新型传感器的介绍，再版后的教材内容新增了生物传感器、物联网应用系统介绍，并对部分章节进行修改、删减与补充。

本书第3版共分16章，新增两章，其中，第13章由彭颖老师编写，第15章由覃章健老师编写，其他章节由吴建平老师编写、修改，甘媛、吴旸旸老师参与了第3版的部分编写和修改工作。本教材可使用学时在80学时以上，部分章节可以作为选修或自学内容。为方便教

学,将传感器部分实验内容和综合练习编入教材,可为相关专业的传感器实践教学和教学质量评估提供参考内容。教材配有高质量的 PowerPoint 多媒体课件。在多媒体课件制作过程中,注重现代教学手段和方法的运用,注意教学效果和提高学生学习兴趣,课件内容有生动的模拟动画设计,尤其是课堂练习可方便教师授课并检验理论教学效果。教材中每章附有思考题,可辅助学生巩固所学内容。

参与编写、修改、整理第3版教材的人员还包括成都理工大学相关专业部分青年教师、研究生,在此表示衷心感谢!由于作者水平有限,难免有错误和不妥之处,恳请专家和广大读者批评指正。

编者

2015年11月于成都

目 录

前言

第1章 概述..... 1

1.1 传感器的作用和地位 1

1.1.1 什么是传感器..... 1

1.1.2 传感器的作用..... 2

1.2 传感器现状和发展趋势 3

1.2.1 传感器现状 3

1.2.2 传感器的发展..... 4

1.3 传感器的定义、组成、分类及图形符号 5

1.3.1 传感器定义 5

1.3.2 传感器组成 6

1.3.3 传感器分类 6

1.3.4 传感器图形符号与命名 7

思考题..... 8

第2章 传感器的基本特性..... 9

2.1 传感器的静态特性 9

2.1.1 线性度 10

2.1.2 迟滞特性 11

2.1.3 重复性 12

2.1.4 灵敏度 12

2.1.5 漂移和稳定性 13

2.1.6 分辨率和阈值 13

2.2 传感器的动态特性 14

2.2.1 传感器动态误差 14

2.2.2 传递函数 15

2.2.3 一阶传感器系统 17

2.2.4 二阶传感器系统 19

2.3 传感器的校准 21

思考题 22

第3章 电阻式传感器 23

3.1 金属丝电阻应变片 23

3.1.1 金属丝电阻应变片结构和种类 23

3.1.2 金属丝电阻应变片工作原理 24

3.1.3 金属丝电阻应变片的主要特性 25

3.2 电阻应变片测量电路..... 27

3.2.1 直流电桥 28

3.2.2 交流电桥 30

3.2.3 电阻应变仪原理 32

3.2.4 相敏检波电路 34

3.3 电阻式传感器的应用..... 35

3.3.1 测力与称重传感器 35

3.3.2 膜片式压力传感器 37

3.3.3 应变式加速度传感器 38

3.3.4 电子秤 39

3.4 半导体压阻式传感器..... 40

3.4.1 压阻效应 40

3.4.2 压阻式传感器 41

思考题 42

第4章 电容式传感器 44

4.1 电容式传感器概述 44

4.1.1 工作原理 44

4.1.2 结构类型 44

4.2 电容式传感器的输出特性 45

4.2.1 变极距型 45

4.2.2 平板变面积型 47

4.2.3 变介电常数型 48

4.3 测量电路 49

4.3.1 电容式传感器等效电路 49

4.3.2 转换电路	50	6.2.1 霍尔效应	85
4.4 应用举例	54	6.2.2 霍尔元件	86
4.4.1 压差式电容压力传感器	55	6.2.3 霍尔元件的应用	87
4.4.2 电容测厚仪	56	6.2.4 集成霍尔传感器	89
4.4.3 电容传声器测声	56	6.3 磁敏元件	91
4.5 电容式集成传感器	57	6.3.1 磁敏电阻器	91
4.5.1 硅电容式集成传感器	57	6.3.2 磁敏晶体管	95
4.5.2 新型电容式指纹传感器	59	思考题	98
思考题	62	第7章 压电元件与超声波传感器	99
第5章 电感式传感器	63	7.1 压电效应	99
5.1 变磁阻式传感器(自感式)	63	7.1.1 正压电效应	99
5.1.1 工作原理	63	7.1.2 逆压电效应	99
5.1.2 输出特性	64	7.2 压电材料	100
5.1.3 差动变间隙式传感器结构		7.2.1 石英晶体	100
原理	65	7.2.2 压电陶瓷	101
5.1.4 测量转换电路	65	7.2.3 聚偏氟乙烯压电材料	103
5.1.5 变磁阻式传感器的应用	67	7.3 测量电路	103
5.2 差动变压器式传感器(互感式)	68	7.3.1 压电元件结构	103
5.2.1 螺线管式差动变压器工作		7.3.2 压电传感器等效电路	104
原理	68	7.3.3 压电传感器测量电路	105
5.2.2 基本特性	69	7.4 压电传感器的应用	107
5.2.3 零点残余电压	70	7.4.1 压电加速度计传感器	108
5.2.4 测量电路	71	7.4.2 压电式玻璃破碎报警器	108
5.2.5 应用举例	72	7.4.3 压电引信	108
5.3 电涡流式传感器	73	7.5 超声波传感器	109
5.3.1 工作原理	73	7.5.1 超声波及其物理性质	109
5.3.2 等效电路分析	73	7.5.2 超声波传感器结构原理	111
5.3.3 涡流的分布和强度	74	7.5.3 超声波传感器的应用	112
5.3.4 测量电路	75	思考题	118
5.3.5 电涡流传感器的应用	77	第8章 光电效应及光电器件	119
思考题	79	8.1 光电效应	119
第6章 磁电、磁敏式传感器	80	8.1.1 外光电效应	119
6.1 磁电感应式传感器(电动式)	80	8.1.2 内光电效应	120
6.1.1 工作原理和结构形式	80	8.2 光电器件	121
6.1.2 基本特性	81	8.2.1 光电管	121
6.1.3 测量电路	82	8.2.2 光电倍增管	121
6.1.4 应用	83	8.2.3 光敏电阻	123
6.2 霍尔传感器	84	8.2.4 光敏二极管和光敏三极管	125

8.2.5 光电池	128	10.2.2 氯化锂湿敏电阻	177
8.2.6 其他特性的光电器件	130	10.2.3 半导体陶瓷湿敏电阻	178
8.2.7 半导体色敏传感器	131	10.2.4 湿度传感器的特性参数	178
8.3 光电器件应用实例	132	10.2.5 湿度传感器的应用	179
8.3.1 遥控器检测电路	132	10.3 离子敏传感器	181
8.3.2 光敏电阻脉搏测量计	132	10.3.1 MOSFET 场效应晶体管	181
8.3.3 光电鼠标	133	10.3.2 离子敏传感器工作原理	182
8.3.4 光电开关用于智能电动 小车	134	10.3.3 离子敏传感器测量电路	182
8.3.5 红外报警器	135	10.3.4 离子敏传感器的应用	182
8.4 光栅式传感器	136	思考题	183
8.4.1 莫尔条纹	136	第 11 章 射线式传感器	184
8.4.2 光栅测量装置	138	11.1 核辐射物理基础	184
思考题	140	11.1.1 放射性同位素	185
第 9 章 新型光敏传感器	142	11.1.2 核辐射与物质间的相互 作用	185
9.1 新型固态光敏传感器	142	11.2 射线式传感器	186
9.1.1 普通光敏器件阵列	142	11.2.1 辐射源	187
9.1.2 PSD 光敏位置传感器	144	11.2.2 核辐射探测器	187
9.1.3 SSPD 自扫描光敏二极管 阵列	145	11.3 射线式传感器的应用	192
9.2 CCD	148	11.3.1 测厚	192
9.2.1 CCD 工作原理及特性	148	11.3.2 物位测量	193
9.2.2 CCD 器件	151	11.3.3 烟雾报警器(电离室)	193
9.2.3 CCD 传感器的应用	155	11.3.4 探伤	194
9.3 光纤传感器	157	11.3.5 X 射线荧光分析仪	194
9.3.1 光纤的结构和传光原理	158	11.3.6 CT 技术	195
9.3.2 几个重要参数	158	11.3.7 核子秤	197
9.3.3 光波调制技术	160	思考题	197
9.3.4 光纤传感器的应用	163	第 12 章 热电式传感器	198
思考题	166	12.1 温度传感器的分类及温标	198
第 10 章 半导体式化学传感器	168	12.1.1 温度传感器分类方法	198
10.1 气敏传感器	168	12.1.2 温度单位	199
10.1.1 电阻型半导体气敏传感器	169	12.2 热电偶	199
10.1.2 非电阻型半导体气敏器件	172	12.2.1 工作原理和热电效应	199
10.1.3 气敏传感器的应用	173	12.2.2 热电偶基本定律	202
10.2 湿敏传感器	176	12.2.3 热电偶的分类和结构	203
10.2.1 湿度及其表示方法	176	12.2.4 热电偶测量电路及应用	204
		12.3 热电阻与热敏电阻	205

12.3.1	热电阻	205	14.1.2	发展趋势	238
12.3.2	热敏电阻	206	14.1.3	主要产品	240
12.3.3	应用举例	207	14.2	单片智能温度传感器	240
12.4	集成温度传感器	208	14.2.1	基于 1-Wire 总线的 DS18B20 型智能温度传感器	240
12.4.1	测温原理	208	14.2.2	基于 SMBus 的 MAX6654 型 智能温度传感器	243
12.4.2	PTAT 信号输出方式	209	14.3	集成湿度传感器	244
12.5	红外传感器	211	14.3.1	HM1500/HM1520 型电压 输出式集成湿度传感器	245
12.5.1	红外辐射	211	14.3.2	SHT10 型数字湿度/温度 传感器	247
12.5.2	红外探测器	212	14.4	单片硅压力传感器	249
12.5.3	红外传感器的应用	214	14.4.1	MPX2100/4100/5100/5700 系列集成硅压力传感器	249
思考题		217	14.4.2	ST3000 系列智能压力 传感器	251
第 13 章	生物传感器	219	14.5	单片集成磁场传感器	253
13.1	概述	219	14.5.1	HMC 系列集成磁场 传感器	253
13.1.1	生物传感器的工作原理	219	14.5.2	AD22151 型线性输出集成 磁场传感器	256
13.1.2	生物传感器的分类	221	思考题		258
13.1.3	生物传感器的特点	221	第 15 章	无线传感器网络与物联网	259
13.2	酶传感器	222	15.1	物联网概述	259
13.2.1	酶的特性	222	15.1.1	物联网的体系结构	259
13.2.2	酶传感器的结构及原理	222	15.1.2	支持物联网发展的技术	261
13.2.3	酶的固化技术	224	15.2	无线传感器网络	261
13.2.4	酶传感器的应用	225	15.2.1	智能传感器与无线 传感器	262
13.3	免疫传感器	226	15.2.2	无线传感网络的概念	263
13.3.1	免疫传感器的基本原理	226	15.2.3	无线传感网络技术	264
13.3.2	抗体的固定	228	15.3	典型行业应用的物联网传感器	266
13.3.3	免疫传感器的应用	229	15.3.1	周界防护物联网传感器	266
13.4	微生物传感器	229	15.3.2	智能家居物联网传感器	268
13.4.1	微生物传感器的原理	230	15.3.3	环境监测物联网传感器	269
13.4.2	微生物的固定化	231	15.3.4	PPT 系列网络化智能压力 传感器	269
13.4.3	微生物传感器的应用	231			
13.5	其他常见生物传感器及应用	233			
13.5.1	血糖测试仪	233			
13.5.2	水源监测光纤阵列 传感器	235			
思考题		236			
第 14 章	集成智能传感器	237			
14.1	概述	237			
14.1.1	基本特点	237			

思考题	273	16.2 综合练习	299
第 16 章 实验指南与综合练习	274	16.2.1 填空	299
16.1 传感器实验	274	16.2.2 选择填空	300
16.1.1 基本实验	275	16.2.3 分析与计算	301
16.1.2 设计型实验	287	16.2.4 简述题	303
16.1.3 综合性工程实验	291	参考文献	305

第 1 章 概 述

传感器是自动化检测技术和智能控制系统的重要部件。测试技术中通常把测试对象分为两大类：电参量与非电参量。电参量有：电压、电流、电阻、功率、频率等，这些参量可以表征设备或系统的性能；非电参量有：机械量（如位移、速度、加速度、力、扭矩、应变、振动等）、化学量（如浓度、成分、气体、pH 值、湿度等）、生物量（酶、组织、菌类）等。过去，非电参量的测量多采用非电测量的方法，如用尺子测量长度，用温度计测量温度等；而现代的非电测量多采用电测量的方法，其中的关键技术是如何利用传感器将非电参量转换为电参量。

1.1 传感器的作用和地位

当今，传感器技术已广泛用于工业、农业、商业、交通、环境监测、医疗诊断、军事科研、航空航天、自动化生产、现代办公设备、智能楼宇和家用电器等领域，传感器技术已经成为构建现代信息系统的重要组成部分。目前传感器技术已经在越来越多的领域得到应用，值得一提的是，传感器对于检测和自动化技术所起的作用远比在家用电器中所起到的作用大得多，这几乎是无可争议的事实。

1.1.1 什么是传感器

到底什么是传感器呢？其实只要你细心观察就可以发现，在我们日常生活中使用着各种各样的传感器，例如电冰箱、电饭煲中的温度传感器，空调中的温度和湿度传感器，煤气灶中的煤气泄漏传感器，电视机和影碟机中的红外遥控器，照相机中的光传感器，汽车中的燃料计和速度计等，不胜枚举。今天，传感器已经给我们的生活带来了太多便利和帮助。

为了说明什么是传感器，我们不妨用人的五官和皮肤作比喻。我们知道，眼睛有视觉，耳朵有听觉，鼻子有嗅觉，皮肤有触觉，舌头有味觉，人通过大脑感知外界信息。人在从事体力劳动和脑力劳动过程中，通过感觉器官接收外界信号，这些信号传送给大脑，大脑对这些信号进行分析处理，传递给肌体。如果用机器完成这一过程，计算机相当于人的大脑，执行机构相当于人的肌体，传感器相当于人的五官和皮肤，图 1-1 将智能机器和人体结构进行对比。传感器又好比人体感官的延长，所以又称“电五官”。对于各种各样的被测量，有着各种各样的传感器。

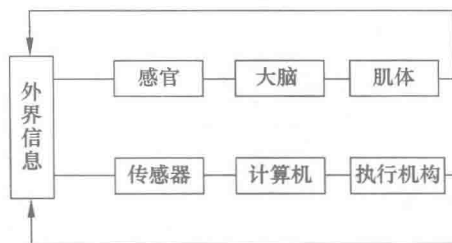


图 1-1 智能机器与人体结构的对比

1.1.2 传感器的作用

目前传感器涉及的领域包括：现代大工业生产、基础学科研究、宇宙开发、海洋探测、军事国防、环境保护、资源调查、医学诊断、智能建筑、汽车、家用电器、生物工程、商检质检、公共安全，甚至文物保护等极其广泛的领域。

在基础学科研究中，传感器更有突出的地位，传感器的发展往往是一些边缘学科开发的先驱。如宏观上的茫茫宇宙、微观上的粒子世界、长时间的天体演化、短时间的瞬间反应，超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、弱磁场等极端技术研究。

现代大工业生产尤其是自动化生产过程中的质量监控或自动检测，需要用各种传感器监视和控制生产过程的各个参数，传感器是自动控制系统的关键性基础器件，直接影响到自动化技术的质量和水平。

在航空航天领域里，宇宙飞船飞行的速度、加速度、位置、姿态、温度、气压、磁场、振动等每个参数的测量都必须由传感器完成，例如，“阿波罗”10号飞船需对3295个参数进行检测，其中有温度传感器559个，压力传感器140个，信号传感器501个，遥控传感器142个。有专家说，整个宇宙飞船就是高性能传感器的集合体。

在机器人研究中，其重要的内容是传感器的应用研究，机器人外部传感器系统包括平面视觉、立体视觉传感器；非视觉传感器有触觉、滑觉、热觉、力觉、接近觉传感器等。可以说，机器人的研究水平在某种程度上代表了一个国家的智能化技术和传感器技术的水平。智能机器人模型如图1-2a所示。

在楼宇自动化系统中，计算机通过中继器、路由器、网络、网关、显示器，控制管理各种机电设备的空调制冷、给水排水、变配电系统、照明系统、电梯等，而实现这些功能需使用的传感器包括：温度、湿度、液位、流量、压差、空气压力传感器等；安全防护、防盗、防火、防燃气泄漏可采用CCD(电子眼)监视器、烟雾传感器、气体传感器、红外传感器、玻璃破碎传感器；自动识别系统中的门禁管理主要采用感应式IC卡识别、指纹识别等方式，这种门禁系统打破了人们几百年来用钥匙开锁的传统。智能楼宇中的指纹门禁如图1-2f所示。

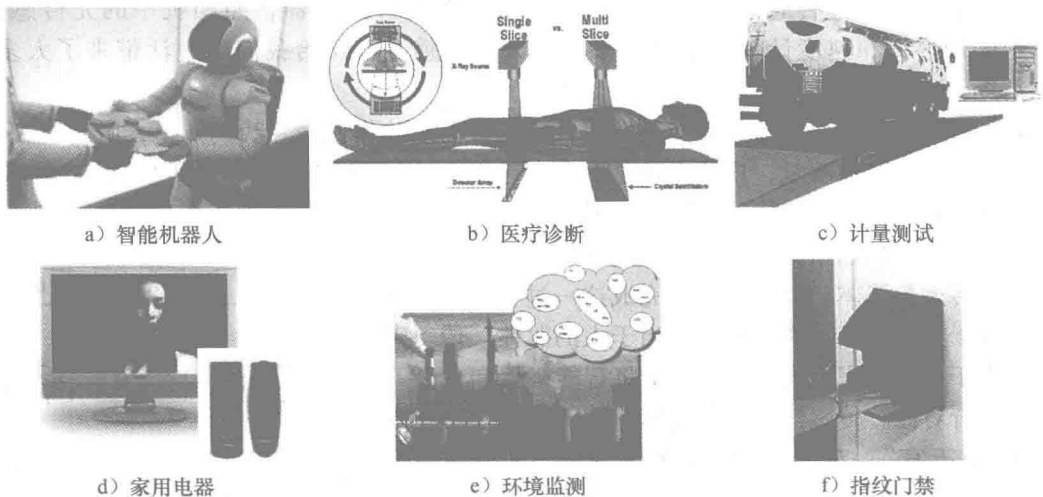


图 1-2 传感器应用

传感器在医疗诊断、计量测试、家用电器、环境监测等应用实例不胜枚举,图 1-2b~e 分别是传感器在医疗诊断、计量检测、家用电器、环境监测中的应用。

21 世纪是信息技术的时代,构成现代信息技术的三大支柱是传感器技术、通信技术与计算机技术,在信息系统中它们分别完成信息的采集、信息的传输与信息的处理,其作用可以形象地比喻为人的“感官”、“神经”和“大脑”。其中传感器技术是构成现代信息技术的三大支柱之一,人们在利用信息的过程中,首先要获取信息,而传感器是获取信息的重要途径和手段。世界各国都十分重视这一领域的发展,让科学家实现更多从前无法实现的梦想。

图 1-3 为智能化水质检验过程示意图,勾画了未来的自动化水质监测系统,通过水质感应器将水质信息传送给检测中心,而无需现场取水。未来世界还会有智能房屋(自动识别主人,由太阳能提供能源)、智能衣服(自动调节温度)、智能公路(自动显示并记录公路的压力、温度、车流量)、智能汽车(无人驾驶、卫星定位)。

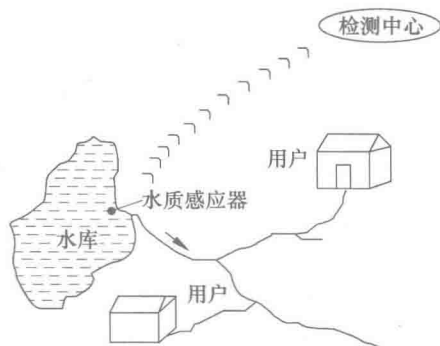


图 1-3 智能化水质检验过程示意图

1.2 传感器现状和发展趋势

今天,传感器已成为测量仪器、智能化仪表、自动控制系统等装置中必不可少的感知元件。然而传感器的历史远比近代科学来得古老,例如“天平”,自古代埃及王朝时代已经开始使用并一直沿用到现在;利用液体的热膨胀特性进行温度测量在 16 世纪前后就实现了;自产业革命以来,传感器对提高机器性能起到极大作用,如瓦特发明“离心调速器”实现蒸汽机车的速度控制,其本质是一个把旋转速度变换为位移的传感器。

1.2.1 传感器现状

据统计,目前全世界约有 40 多个国家从事传感器的研制、生产和开发,研发机构有 6000 余家。其中以美、日、俄等国实力较强,美、日、俄等国建立了包括物理量、化学量、生物量三大门类的传感器产业,产品有 20000 多种,大企业的年生产能力达到几千万支到几亿支,2014 年全球传感器市场规模达到千亿美元。

在国家“大力加强传感器的开发和在国民经济中的普遍应用”等一系列政策导向和资金的支持下,我国的传感器技术及产业近年来也取得了较快发展。目前有 1700 多家传感器研发机构,产品约 6000 种。2015 年我国敏感元器件与传感器年总产量达到 20 亿支。

但我国的传感器产业在科技经费投入、新品开发周期、关键材料与组件等多方面的综合竞争能力低于美国、日本、欧洲等发达国家,主要表现在传感器的精度、智能化水平等方面,同时,传感器自身在智能化和网络方面也相对落后。我国“十一五”规划中提出了“自主立国”、“自主创新”新的战略导向,就是要引进技术,要充分消化、吸收并再创新。

1.2.2 传感器的发展

实际上被测对象涉及各个领域。人类最初的测量对象是长度、体积、质量和时间。18世纪以来,随着科学技术飞速发展,被测对象的范围迅速扩大。现在的被测对象更加广泛复杂:工业领域的光泽度、光滑度等品质测量;机器人的视觉、触觉、滑觉、接近觉等各种信息测量;卫星上监视地球的红外线测量,如GPS定位系统;医疗领域的人体心电、脑电波等体表电位测量,生物断面测量……20世纪60年代,世界各国主要研究以电量为输出的传感器,70年代以来传感器得到飞速发展,现在我们讨论的传感器是指已经具有电量输出的传感器。

传感器技术大体可分三代。第一代是结构型传感器,它利用结构参量变化来感受和转化信号,如电阻、电容、电感等电参量。第二代是20世纪70年代发展起来的固体型传感器,这种传感器由半导体、电介质、磁性材料等固体元件构成,是利用材料某些特性制成,如利用热电效应、霍尔效应、光敏效应,分别制成热电偶传感器、霍尔传感器、光敏传感器。第三代传感器是刚刚发展起来的智能型传感器,是微型计算机技术与检测技术相结合的产物,使传感器具有一定的人工智能。几十年来传感技术的发展分为两个方面:一是提高与改善传感器的技术指标;二是寻找新原理、新材料、新工艺。为改善传感器性能指标采用的技术途径有差动技术、平均技术、补偿修正技术、隔离抗干扰抑制、稳定性处理等。

现代传感器利用新的材料、新的集成加工工艺使传感器技术越来越成熟,传感器种类越来越多。除了早期使用的半导体材料、陶瓷材料外,光纤以及超导材料的发展为传感器的发展提供了物质基础。未来还会有更新的材料,如纳米材料,更有利于传感器的小型化。现代传感器的基本构成如图1-4所示,现代传感器正从传统的分立式朝着集成化、数字化、多功能化、微(小)型化、智能化、网络化、光机

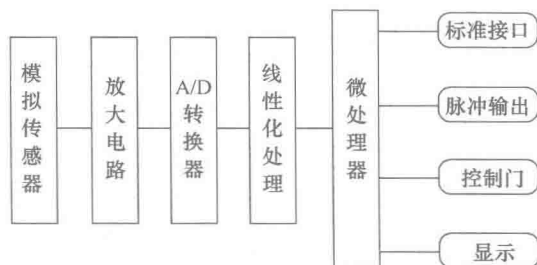


图 1-4 现代传感器基本结构示意图

电一体化的方向发展,具有高精度、高性能、高灵敏度、高可靠性、高稳定性、长寿命、高信噪比、宽量程、无维护等特点。发展趋势主要体现在这样几个方面:发展、利用新效应,开发新材料,提高传感器性能和检测范围,使其微型化与低功耗,集成化与多功能化,传感器的智能化和网络化。

特别值得一提的是传感器的数字化和网络化。网络技术的发展可使现场数据就近登录,通过Internet网与用户之间异地地交换数据,实现远程控制。

新兴的物联网(The Internet of Things)技术开始进入各个领域。物联网的概念是在1999年提出的。物联网就是“物物相连的互联网”,它是将各种信息传感器设备,如射频识别装置(RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等装置按约定的协议与互联网结合起来,形成一个巨大的网络,进行信息交换和通信,以实现智能化的识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理。这里的“物”要满足以下条件才能够被纳入“物联网”的范围:1)要有相应信息的接收器——传感器;2)要有数据传输通路;3)要有一定的存储功能;4)要有CPU;5)要有操作系统;6)要有专门的应用程序;7)要有

数据发送器；8)遵循物联网的通信协议；9)在世界网络中有可被识别的唯一编号。

可见，只有通过计算机与传感器的协调发展，现代科学技术才能有所突破。可以说，传感器技术已成为现代技术进步的重要因素之一。

1.3 传感器的定义、组成、分类及图形符号

各种传感器输出信号的形式各不相同，如热电偶、pH电极等以直流电压形式输出，热敏电阻、应变计、半导体气体传感器输出为电阻……无论传感器的输出形式如何，测量的输出信号必须转化为电压、电流或其他数字量中的一种。信号检测系统就是将传感器接收信号通过信号转换、放大、解调、A/D转换得到所希望的输出信号，这是基本检测系统中共同使用的技术。

1.3.1 传感器定义

从广义的角度来说，可以把传感器定义为：一种能把特定的信息(物理、化学、生物)按一定规律转换成某种可用信号输出的器件和装置。广义传感器一般由信号检出器件和信号处理器件两部分组成，其原理结构框图如图1-5所示。



图 1-5 广义传感器原理结构框图

从狭义角度对传感器的定义是：能把外界非电信息转换成电信号输出的器件。

我国国家标准(GB 7665—87)对传感器(Sensor/Transducer)的定义是：“能够感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件和装置”。

以上定义表明传感器有这样三层含义：它是由敏感元件和转换元件构成的一种检测装置；能按一定规律将被测量转换成电信号输出；传感器的输出与输入之间存在确定的关系。按使用的场合不同，传感器又称为变换器、换能器、探测器。

需要指出的是，国外在传感器和敏感元件的概念上也不完全统一，能完成信号感受和变换功能的器件名称较多，部分器件的中英文名称如表1-1所示。

表 1-1 部分传感功能器件的中英文名称

功能器件	翻译名称	功能器件	翻译名称
Transducer	换能器、转换器、变换器、传感器	Measuring Transducer	测量变换器、测量传感器、传感器
Sensor	敏感器件、敏感元件、传感元件、检测元件、传感器	Sensing Element	敏感元件、传感元件
Transduction Element	转换元件	Transmitter	变送器
Converter	转换器	Detector	检测器、探测器、检出器
Cell	光电(池)元件、力敏元件、传感器	Pick-up	拾音器、检振器、传感器
Gauge	应变计、应变片、应变仪	Probe	探头、测头

在美国, Transducer 和 Sensor 是通用的, 皆称传感器。英国对 Sensor 和 Transducer 是严格区分的, 前者叫敏感元件, 后者叫变换器, 当用于检测目的时, 则称 Measuring Transducer (即传感器)。日本把 Sensing Element 和 Sensor 通称为“检知器”, Transducer 则称为变换器。在 IEC(国际电工委员会)标准中, 把 Transducer 称为换能器, 把 Measuring Transducer 称做传感器, 而把 Sensor 看成是 Measuring Transducer 的组成部分, 即一次元件(Primary Element)。

1.3.2 传感器组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、基本电路三部分组成, 如图 1-6 所示。敏感元件感受被测量, 转换元件将响应的被测量转换成电参量, 基本电路把电参量接入电路转换成电量。核心部分是转换元件, 转换元件决定传感器的工作原理。

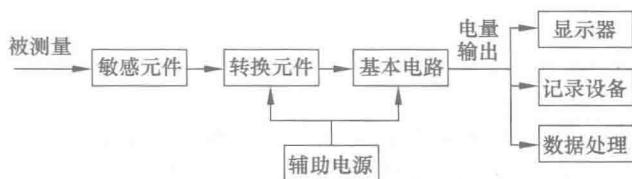


图 1-6 传感器组成

有的文献将传感器和敏感元件相互混用, 实际上它们是两个不同的概念。敏感元件是指“传感器中能直接感受或响应被测量的部分”。显然, 从其结构和功能角度看, 传感器是包含敏感元件及其辅助电路在内的功能器件(Function Device), 敏感元件是藏于传感器内部的元件(Element)。当传感器的输出为标准信号时, 则称做变送器(Transmitter)。图 1-7 示出了传感器及敏感元件之间的关系。

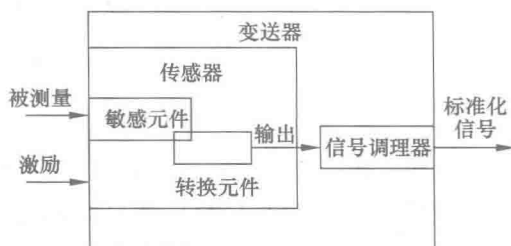


图 1-7 传感器与敏感元件的关系

1.3.3 传感器分类

就被测对象而言, 工业上需要检测的量有电量和非电量两大类。非电量信息早期多用非电量的方法测量。较传统的传感器可以完成从非电量到非电量的转换, 但无法实现现代智能仪器仪表的自动测量, 无法完成过程控制的自动检测与控制。随着科学技术的发展, 对测量的精确度、速度提出了新的要求, 尤其在对动态变化的物理过程和物理量远距离进行测量时, 用非电方法无法实现, 必须采用电测法。今后我们讨论的都是以电量为输出的传感器。

按传感器的检测对象可分为: 力学量、热学量、流体量、光学量、电量、磁学量、声学量、化学量、生物量、机器人等。此外, 还有从材料、工艺、应用角度进行分类的, 这些分类方式从不同的侧面为我们提供了探索和开发传感器的技术空间。这些传感器分类体系中, 按被测量(检测对象)分类的方法简单实用, 在实际应用中使用较多。检测对象的信号形式决定了选用传感器的类型, 传感器检测信号大致可以归类以下不同领域中的不同信号:

- 1) 机械自动化: 位移、速度、加速度、扭矩、力、振动;

- 2) 电磁学：电流、电压、电阻、电容、磁场；
- 3) 生物化学：浓度、成分、pH 值等；
- 4) 工业过程控制：流量、压力、温度、湿度、黏度等；
- 5) 辐射测量：无线电磁波、微波、宇宙射线， α 、 γ 、X 射线。

按照我国传感器分类体系表，传感器分为物理量传感器、化学量传感器以及生物量传感器三大类，下含 11 个小类：力学量传感器、热学量传感器、光学量传感器、磁学量传感器、电学量传感器、射线传感器（以上属于物理量传感器）、气体传感器、离子传感器、温度传感器（以上属于化学量传感器）以及生化量传感器与生物量传感器（属于生物量传感器），各小类又按两个层次分成若干品种。传感器分类方法较多，常用的有下列几种：

- 1) 按传感器检测的范畴分类，可分为物理量传感器、化学量传感器、生物量传感器；
- 2) 按传感器的输出信号性质分类，可分为模拟传感器、数字传感器；
- 3) 按传感器的结构分类，可分为结构型传感器、物性型传感器、复合型传感器；
- 4) 按传感器的功能分类，可分为单功能传感器、多功能传感器、智能传感器；
- 5) 按传感器的转换原理分类，可分为机-电传感器、光-电传感器、热-电传感器、磁-电传感器、电化学传感器；
- 6) 按传感器的能源分类，可分为有源传感器、无源传感器。

按能量转换原理进行分类也是较好的分类方法，但是由于一些传感器涉及的转换原理尚在探索之中，难以给出固定的模式和框架，因而多局限于学术领域的交流。传感器种类繁多，随着材料科学、制造工艺及应用技术的发展，传感器品种将如雨后春笋大量涌现。如何将这些传感器加以科学分类，是传感器领域一个重要的课题。

1.3.4 传感器图形符号与命名

传感器图用图形符号是电器图用图形符号的一个组成部分。图形符号通常用于图样或技术文件中来表示一个设备或概念的图形、标记或字符。由于它能象征性或形象化地标记信息，因而可以越过语言障碍，直截了当地表达或交流设计者的思想和意图。依照国标 GB/T 14479—93《传感器图用图形符号》的规定，传感器图用图形符号由符号要素正方形和等边三角形组成，正方形表示转换元件，三角形表示敏感元件，“X”表示被测量，“*”表示转换原理。图用图形符号表示方法与几个典型传感器的图用图形符号如图 1-8 所示。



图 1-8 典型传感器图用图形符号

在使用这种图形符号时应注意几个问题：当无需强调具体的转换原理时，传感器图用图形符号也可简化，如图 1-9a 所示，对角线表示内在能量转换功能，(A)、(B) 分别表示输入、输出信号。对于传感器的电器引线，应根据接线图设计需要，从正方形的三个变线垂直引出，表示方法如图 1-9b 所示，如果引线需要接地或接壳体、接线板，应按标准规定绘制。对于某些转换原理难以用图形符号简单、形象地表达时，例如离子选择电极是钠离子传感