



普通高等院校“十二五”规划教材

# 传感器

CHUANGANQI  
YUANLI YU JIANCE JISHU

# 原理与检测技术

潘雪涛 温秀兰 主 编  
李洪海 王 峰 金祥曙 副主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 传感器原理与检测技术

潘雪涛 温秀兰 主 编  
李洪海 王 峰 金祥曙 副主编  
潘雪涛 温秀兰 等编著

国防工业出版社

·北京·

# 前 言

信息技术的发展给人们的生产、生活正带来巨大变化,科技越发达,自动化程度越高,对传感器与检测技术等信息获取与处理技术的依赖也就越强烈。传感器与检测技术既是现代信息系统的“源头”或“感官”,又是信息社会赖以存在和发展的物质与技术基础。如果没有性能可靠的传感器,没有先进的检测技术,那么信息的准确获取和精密检测就是一句空话,通信技术和计算机技术也就成了无源之水、无本之木。因此,应用、研究和发展传感器与检测技术是生产过程自动化和信息时代的必然要求。

本书主要是为各类高校,尤其是应用型本科院校的测控技术与仪器、电子信息工程、光电信息工程、电气工程与自动化、机械设计与自动化等专业编写的专业课教材;也可作为从事传感器与检测技术的工程技术人员的参考用书。

全书共分 11 章,绪论主要介绍传感器的作用、定义、组成及分类;第 1 章主要介绍传感器与测试系统的基本特性,传感器的标定与校准,传感器性能的改善措施与传感器的选择原则以及传感器与检测技术的发展展望;第 2 章至第 8 章重点介绍了各类常用传感器(包括电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、磁电式传感器、压电式传感器、光电式传感器、热电式传感器)的转换原理、组成结构、输出特性、测量电路、误差分析与补偿以及典型应用;第 9 章和第 10 章简要介绍了集成化智能传感器和系统以及现代新型传感器的基本知识;第 11 章从现代检测技术和测试系统集成设计角度出发,详细介绍了传感器与测试系统的信号调理技术、数据采集与处理技术,并通过实例详细讲述了现代测试系统的集成设计与性能评价方法。

本书以信息的获取、转换、处理为主线,从测控系统集成角度讲述各类传感器的原理、结构、测量电路以及在测控系统中的应用,不拘泥于单个的传感器件。书中既讲传感器的基础理论,但更加注重实际应用,每类传感器都给出了实物图片和技术参数。同时添加了大量传感器在实际生产、生活中的应用实例,很多实例都给出了完整电路,读者可以参照这些实例或者在此基础上举一反三进行科技制作,更好地锻炼实践能力。

本书的电子配套教学资源十分丰富,目前已初步建成传感器网络教学平台,运行良好,网上资源包括:课程大纲、课程教案、电子教材、PPT 课件、各类动画、实践指导、虚拟仿真实验、自测试题和每章习题等。

本书由常州工学院潘雪涛、南京工程学院温秀兰任主编,淮阴工学院李洪海、太原理工大学王峰、常州工学院金祥曙任副主编,参加编写工作的还有中北大学曹凤才、太原理工大学白静、常州工学院张美凤、孟飞。其中,潘雪涛编写绪论和第 7 章,温秀兰编写第 4 章,李洪海编写第 6 章和第 8 章,王峰编写第 1 章和第 5 章,金祥曙编写第 3 章,曹凤才编写第 10 章,白静

编写第9章,张美凤编写第2章,孟飞编写第11章。

全书在编写过程中参考并引用了许多文献,在此向参考文献作者表示衷心感谢。北京理工大学娄文忠教授审阅了全稿并提出了很多宝贵意见和建议,在此表示诚挚的谢意。

由于传感器是多学科知识的综合,种类多、发展快、应用领域广,而编者的水平和经验有限,书中的错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者  
2010年12月

# 目 录

绪论	1
0.1 传感器的作用	1
0.2 传感器的定义与组成	3
0.2.1 传感器的定义	3
0.2.2 传感器的组成	4
0.3 传感器的分类	5
0.4 对传感器的一般要求	7
<b>第1章 传感器与检测技术的基本概念</b>	<b>8</b>
1.1 传感器与检测技术的基本特性	8
1.1.1 传感器的静态特性	8
1.1.2 传感器的动态特性	13
1.2 传感器的标定与校准	19
1.2.1 传感器的静态特性标定	20
1.2.2 传感器的动态特性标定	20
1.2.3 振动传感器的标定和校准	22
1.3 传感器与测试系统无失真测试的条件	23
1.4 传感器性能的改善措施与传感器的选择原则	24
1.4.1 改善传感器性能的基本技术	24
1.4.2 传感器的选择原则	25
1.5 传感器与检测技术的发展展望	26
习题与思考题	28
<b>第2章 电阻式传感器</b>	<b>29</b>
2.1 电位器式传感器	29
2.1.1 绕线式线性电位器	30
2.1.2 绕线式非线性电位器	30
2.1.3 非绕线式电位器	32
2.1.4 电位器式压力传感器	33
2.2 应变式传感器	33
2.2.1 应力和应变	34

2.2.2	应变效应	34
2.2.3	应变片的结构、类型、材料和粘贴	35
2.2.4	应变片的主要特性	40
2.2.5	应变片的测量电路	44
2.2.6	应变片的温度误差及分析	48
2.2.7	应变式传感器的接口电路设计	50
2.2.8	应变式传感器的应用	51
2.3	固态压阻式传感器	58
2.3.1	工作原理	58
2.3.2	结构与特性	59
2.3.3	压阻式传感器的接口电路设计	63
2.3.4	压阻式传感器的应用	66
	习题与思考题	67
<b>第3章</b>	<b>电感式传感器</b>	<b>69</b>
3.1	自感式电感传感器	69
3.1.1	工作原理	69
3.1.2	特性分析	71
3.1.3	测量电路	73
3.1.4	自感式电感传感器的误差因素分析	75
3.1.5	自感式电感传感器的应用	76
3.2	差动变压器式传感器	79
3.2.1	螺管式差动变压器	81
3.2.2	变气隙式差动变压器	84
3.2.3	测量电路	86
3.2.4	差动变压器的应用	89
3.3	电涡流式传感器	92
3.3.1	工作原理	92
3.3.2	结构形式	93
3.3.3	电涡流的形成范围	93
3.3.4	基本特性	96
3.3.5	测量电路	97
3.3.6	被测导体材料、形状、大小和安装对传感器灵敏度的影响	98
3.3.7	电涡流式传感器的应用举例	99
	习题与思考题	101
<b>第4章</b>	<b>电容式传感器</b>	<b>103</b>
4.1	电容式传感器的工作原理	103

4.2	电容式传感器的结构类型和主要特性	103
4.2.1	结构类型	103
4.2.2	主要特性	105
4.3	测量电路	111
4.3.1	等效电路	111
4.3.2	调频电路	112
4.3.3	交流电桥电路	113
4.3.4	运算放大器电路	114
4.3.5	二极管双T形交流电桥	114
4.3.6	脉冲宽度调制电路	116
4.3.7	环形二极管充放电法	118
4.4	引起电容式传感器测量误差的因素及改进措施	119
4.5	电容式传感器的应用	122
4.6	容栅式传感器	128
4.6.1	工作原理及转换电路	128
4.6.2	容栅式传感器的结构形式	130
	习题与思考题	131
<b>第5章</b>	<b>磁电式传感器</b>	<b>133</b>
5.1	磁电感应式传感器	133
5.1.1	磁电感应式传感器工作原理	133
5.1.2	磁电感应式传感器基本特性	136
5.1.3	磁电感应式传感器的应用	137
5.2	霍尔式传感器	138
5.2.1	霍尔效应及霍尔元件	138
5.2.2	霍尔集成电路	145
5.2.3	霍尔元件的连接方式	149
5.2.4	霍尔传感器的应用	149
5.3	磁阻式传感器	154
5.3.1	磁阻效应和磁阻器件	154
5.3.2	磁阻器件的应用	157
5.4	磁敏二极管	158
5.4.1	磁敏二极管的结构	158
5.4.2	磁敏二极管的工作原理	159
5.4.3	磁敏二极管的主要特性	159
5.5	磁敏三极管	161
5.5.1	磁敏三极管的结构	161
5.5.2	磁敏三极管的工作原理	161

5.5.3	磁敏三极管的主要特性 .....	162
5.6	磁栅式传感器 .....	163
5.6.1	磁栅 .....	163
5.6.2	磁头 .....	165
5.6.3	信号处理方式 .....	168
5.6.4	磁栅传感器的特点与误差分析 .....	169
	习题与思考题 .....	169
<b>第6章</b>	<b>压电式传感器</b> .....	<b>171</b>
6.1	压电式传感器的工作原理 .....	171
6.1.1	压电效应 .....	171
6.1.2	压电常数和表面电荷的计算 .....	173
6.2	压电材料 .....	178
6.2.1	压电晶体 .....	178
6.2.2	压电陶瓷 .....	179
6.2.3	聚偏二氟乙烯 .....	179
6.3	压电元件的常用结构形式 .....	180
6.4	压电式传感器的等效电路 .....	181
6.5	压电式传感器的测量电路 .....	182
6.5.1	电压放大器 .....	183
6.5.2	电荷放大器 .....	185
6.6	压电式传感器的应用 .....	187
6.6.1	压电式加速度传感器 .....	188
6.6.2	压电式力传感器 .....	190
6.7	影响压电式传感器精度的因素分析 .....	195
	习题与思考题 .....	198
<b>第7章</b>	<b>光电式传感器</b> .....	<b>199</b>
7.1	概述 .....	199
7.1.1	光电式传感器的组成 .....	199
7.1.2	光源及光学元件 .....	199
7.2	光电效应、器件及其应用 .....	202
7.2.1	光电效应 .....	202
7.2.2	光电管和光电倍增管 .....	204
7.2.3	光敏电阻 .....	206
7.2.4	光电池 .....	209
7.2.5	光敏二极管和光敏三极管 .....	211
7.2.6	光电器件的应用 .....	214



7.3	光纤传感器	217
7.3.1	光纤的结构和传输原理	217
7.3.2	光纤传感器的工作原理	221
7.3.3	光纤传感器的应用	223
7.4	光栅式传感器	225
7.4.1	光栅的结构与分类	226
7.4.2	光栅的工作原理	226
7.4.3	辨向原理和细分技术	228
7.4.4	光栅传感器的应用	231
7.5	光固态图像传感器	233
7.5.1	CCD 的结构和工作原理	233
7.5.2	CCD 图像传感器	236
7.5.3	CCD 图像传感器的应用	238
7.6	位置敏感器件	239
7.6.1	PSD 的工作原理	239
7.6.2	PSD 的结构	240
7.6.3	PSD 的特性	241
7.6.4	PSD 的优点	242
7.6.5	PSD 的应用	242
	习题与思考题	243
<b>第8章</b>	<b>热电式传感器</b>	<b>244</b>
8.1	概述	244
8.2	热电偶	245
8.2.1	热电偶的测温原理	245
8.2.2	热电偶的基本定律	248
8.2.3	常用热电偶	250
8.2.4	常用热电偶的结构	252
8.2.5	热电偶的误差及补偿措施	254
8.2.6	热电偶实用测温电路	260
8.3	热电阻式传感器	262
8.3.1	热电阻测温原理	262
8.3.2	金属热电阻	262
8.3.3	热敏电阻	264
8.3.4	热电阻传感器的应用	266
8.4	半导体温度传感器	270
8.4.1	半导体单晶非结型温度传感器	270
8.4.2	PN 结型温度传感器	270

习题与思考题 .....	278
<b>第9章 智能传感器</b> .....	<b>279</b>
9.1 智能传感器的概念、功能、特点和发展趋势 .....	279
9.1.1 智能传感器的概念 .....	279
9.1.2 智能传感器的功能 .....	279
9.1.3 智能传感器的特点和发展趋势 .....	280
9.2 智能传感器的组成与实现 .....	281
9.2.1 智能传感器的组成 .....	281
9.2.2 智能传感器的实现 .....	282
9.3 典型的智能传感器 .....	283
9.3.1 智能温度传感器 .....	283
9.3.2 轮胎压力传感器 .....	284
9.3.3 智能差压传感变送器 .....	285
习题与思考题 .....	286
<b>第10章 新型传感器</b> .....	<b>287</b>
10.1 辐射式传感器 .....	287
10.1.1 红外辐射式传感器 .....	287
10.1.2 超声波传感器 .....	290
10.1.3 核辐射传感器 .....	293
10.2 气敏、湿敏传感器 .....	295
10.2.1 气敏传感器 .....	295
10.2.2 湿敏传感器 .....	297
10.3 生物传感器 .....	298
10.3.1 生物传感器的原理与分类 .....	299
10.3.2 生物传感器的特点 .....	299
10.3.3 常见的生物传感器 .....	299
10.4 机器人传感器 .....	301
10.4.1 机器人传感器的分类 .....	301
10.4.2 内部传感器 .....	301
10.4.3 外部传感器 .....	303
习题与思考题 .....	305
<b>第11章 现代检测技术与测试系统设计</b> .....	<b>306</b>
11.1 现代检测系统的组成 .....	306
11.2 传感器与测试系统的信号调理技术 .....	306
11.2.1 滤波器 .....	306

11.2.2	放大与采样保持电路 .....	314
11.3	数据采集与处理 .....	317
11.3.1	模拟信号的数字化 .....	317
11.3.2	A/D 转换器接口设计 .....	318
11.3.3	测量误差与不确定度 .....	324
11.4	现代检测系统设计及实例 .....	336
11.4.1	现代检测系统中信号传输的标准概述 .....	336
11.4.2	现代检测系统的设计 .....	337
11.4.3	基于 1 - Wire 总线的多点温湿度测量系统应用实例 .....	339
	习题与思考题 .....	344
	<b>参考文献</b> .....	<b>345</b>

# 绪 论

## 0.1 传感器的作用

从生产技术的发展角度看,人类社会的发展历程大致可以分为四个阶段:以人与简单工具为标志的手工化阶段,以动力与机械为标志的机械化阶段,以自动测量与控制为标志的自动化阶段,以及以智能机械与装置为标志的信息化阶段。用机械代替体力劳动是第一次产业革命,在那次革命中,火车、汽车取代了人力车,各种动力机械取代了繁重的体力劳动。用机械、电子装置代替部分脑力劳动,可以说是第二次产业革命。而现在以及未来,人们正不懈地探索着机器与人之间的机能模拟,即人工智能,并不断地创造出自动化机械甚至智能机器人,这是第三次产业革命的象征。

实际上,不管是哪个阶段,对客观世界信息的获取、分析与处理都是至关重要的。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。但在第二次尤其是第三次产业革命中,人们发现在研究自然现象和规律以及生产活动中,单靠自身的感觉器官已远远不够。一方面,大量需要利用的信息已经超出了人体感官的感应范畴。例如,人耳能感受到音频段的声波,却听不到超低频段或超高频段的声音。又如,人的眼睛能分辨出自然光或白光中的主要光波的颜色,但却无法分辨出红外或紫外光。另一方面,在工业化、信息化社会,除了要能定性地了解信息,还需要对其进行定量检测,并利用这些信息精确地控制机械、电子装置,改善其性能和提高自动化程度,更好地为人类服务。伟大的科学家开尔文说过:“当你能够测量你所关注的事物,而且能够用数量来描述它的时候,你就对其有所认识;当你不能测量它,也不能将其量化的时候,你对它的了解就是贫乏和不深入的”。而要实现对信息的定量检测,人体感官就更加无能为力了。

为了克服人类感官的局限性,人们研究出了具备人体感觉器官感觉功能的检测元件,即传感器。传感器是人类感官的扩展和延伸,又称为“电五官”。借助传感器,人类可以去精确探测那些无法直接用感官获取的信息。传感器与人的五官一一对应,相当于人眼(视觉)的光传感器,如光敏元件、电荷耦合器件(CCD)等;相当于人耳(听觉)的音响传感器,如传声器、压电元件等;相当于人皮肤(触觉)的振动传感器、温度传感器和压力传感器,其中振动传感器有应变片、半导体压力传感器等,温度传感器有热敏电阻、铂电阻、热电偶等;相当于人舌头(味觉)的味觉传感器,如铂、氧化物、离子传感器等;相当于人鼻子(嗅觉)的嗅觉传感器,如生物化学元件等。

人类通过五官感知外界信息,这些信息经过大脑分析、处理,做出判断和反应,控制肢体的动作。而机器系统则通过传感器感知外界信息,这些信息经计算机处理后,控制各类执行器(如自动化机械和智能机器人等)工作在最佳状态。人与机器系统的机能对应关系如图 1-1 所示。

由图 1-1 可知,作为模拟人体感官的“电五官”(传感器)是猎取所研究对象信息的“窗

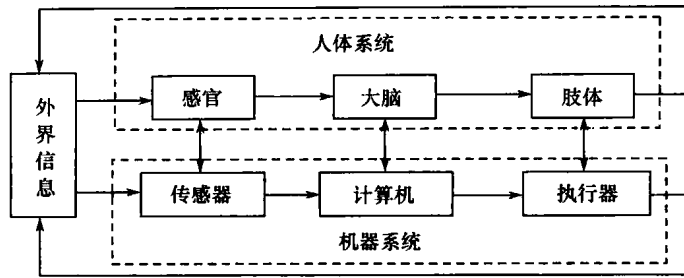


图 1-1 人与机器系统的机能对应关系

口”。如果对象也视为系统,从广义上讲传感器是系统之间实现信息交流的“接口”,它为系统提供着赖以进行处理和决策所必须的对象信息,它是高度自动化系统乃至现代尖端技术必不可少的重要组成部分。

新技术革命的到来,世界开始进入信息时代。被誉为“中国航天之父”的杰出科学家钱学森说过:“信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术,测量技术是信息技术的关键和基础”。传感器是实现测量的首要环节,是信息采集系统的首要部件,可以认为,它既是现代信息技术系统的源头和“感官”,又是信息社会赖以存在和发展的物质与技术基础。如果没有高度保真和性能可靠的传感器,没有先进的传感器技术,那么信息的准确获取就成为一句空话,信息技术和计算机技术就成了无源之水、无本之木。因此,应用、研究和发展传感器与检测技术是生产过程自动化和信息时代的必然要求。

事实上,传感器与检测技术正日益广泛地应用于工业制造、航空航天、交通通信、灾害预报、资源探测、安全防卫、医疗卫生以及日常生活的各个领域,从而促进现代社会的迅速发展。

(1)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,使设备工作在最佳状态或正常状态,并使产品达到最好的质量。高度自动化的工厂、设备、装置或系统,可以说是传感器的大集合地。工厂自动化中的柔性制造系统(FMS)或计算机集成制造系统(CIMS)、几十万千瓦的大型发电机组、连续生产的轧钢生产线、无人驾驶的自动化汽车等均需配置数以千计的传感器,用于检测各种各样的工况参数,以达到运行监控的目的。例如,在化工产品自动生产过程中,首先,进料时要自动对原料称重、分析原料成分或浓度,使它们按比例混合;混合后,在反应容器中自动反应,又必须测定容器中的压力或体积;如果是液体,还需要自动控制容器液位高度;然后,半成品在生产线(管道)中传输,需要自动控制传输速度或流量,这里必须使用液动或气动设备产生推动力,因而要检测压力或压强等,最后成品自动分装还要称重。所有这些环节均需要使用各种传感器对相应的非电量进行检测和控制,使设备或系统自动、正常地运行在最佳状态,保证生产的高效率和高质量。

(2)国防和高科技的发展离不开传感器与检测技术。在现代战争中,传感器与测试的精度决定了武器系统的打击精度,其测试速度、诊断能力决定了武器系统的反应能力。又如在各种航天器上,都利用多种传感器测定和控制航天器的飞行参数、姿态和发动机工作状态,将传感器获取的各种信号再输送到各种测量仪表和自动控制系统,进行自动调节,使航天器按人们预先设计的轨道正常运行。“阿波罗”10号宇宙飞船的运载火箭部分,检测加速度、声学、温度、压力、振动、流量、应变等参数的传感器共有2077个,宇宙飞船部分共有各种传感器1218个,保证了宇宙飞船的精密测控。

(3)现代生活和人类生存离不开传感器与检测技术。例如,家用电器中的温度、湿度控

制,音响系统、电视机和电扇的遥控,煤气和液化气的泄露报警,路灯的声控等都离不开传感器与测试技术。一辆汽车装有几个传感器,用于检测汽车运行中的状况,包括车速、车况、发动机运转工作及路面信息等,以便使发动机处于最佳工作状态、排放废气污染最小,同时控制车身稳定,以保证行车安全。图1-2所示为汽车中所用的部分传感器。

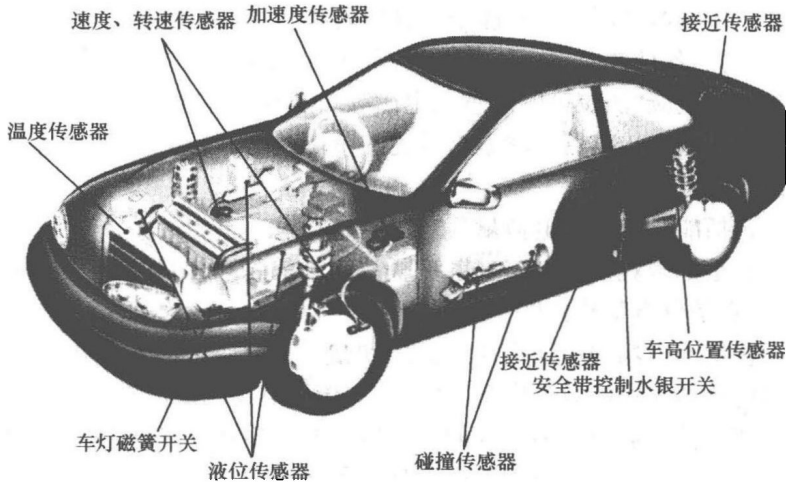


图1-2 汽车中所用的部分传感器

总之,传感器已经渗透到工农业生产、宇宙探索、海洋探测、环境保护、医学诊断、生物工程等各个方面。从茫茫太空到浩瀚的海洋,以至各种复杂的工程系统到日常生活的衣食住行,几乎无一不与传感器技术紧密联系着。因此,毫不夸张地说,没有传感器与检测技术将没有现代科学技术的迅速发展。

## 0.2 传感器的定义与组成

### 0.2.1 传感器的定义

(GB 7765—2005)《传感器通用术语》中传感器(transducer/sensor)的定义:“能感受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,通常由敏感元件和转换元件组成”。同时指出,当输出为规定的标准信号时,则称为变送器(transmitter)。现有的很多教科书根据这一定义引申出更加通俗更易理解的定义:传感器是一种按照一定规律以一定精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种输出信号的测量装置。

其实不管采用何种定义,都包含了如下几方面的内容。

(1)传感器是测量装置,能完成检测任务,以测量为最终目的。例如,发电机是将机械能转换为电能的一种装置,它为人类提供电能,但不是用于测量的,所以,发电机仅作为发电设备时,就不是传感器。但是,当利用发电机发电量的大小来测定调速系统机械转速时,发电机就可以作为一种用于测量的传感器,可以称为发电机测速传感器。

(2)传感器的输入量是某一被测量,这个被测量一般指非电量,可能是物理量,也可能是化学量、生物量等。如压力、流量、位移、质量、温度、速度、湿度、浓度、酸碱度等。

(3)传感器的输出量是某种可用信号,这种信号要便于传输、转换、处理、显示等,可以是气、光、电信号。但就科技发展水平而言,在当今信息微电子时代,电信号是最易于处理和便于

传输的信号。如电压、电流、电阻、电容、电感、频率等。所以,也常将传感器技术称为“非电量电测技术”。当然可以预料,随着科学技术的进步,“可用信号”的内涵也会随之改变,如当人们跨入光子时代,则光信号将成为更便于快速、高效处理与传输的“可用信号”了。

(4)传感器的输出与输入量转换必须遵循客观规律,同时两者之间应有确定的对应关系和一定的精确程度。传感器之所以具有能量信息的转换机能,在于它的工作机理是基于各种物理的、化学的和生物的各种效应,并受相应的各种定律和法则所支配。如热辐射现象、光电效应、霍尔效应、多普勒效应、法拉第电磁感应定律等。了解这些效应和定律,有助于理解传感器的工作原理和开发新效应传感器。就本书所述的范围,作为传感器工作的物理基础的基本定律,概括起来有以下四种类型:

①守恒定律 包括能量、动量、电荷量等守恒定律。

②统计法则 它是把微观系统与宏观系统联系起来的物理法则。这些法则,常常与传感器的工作状态有关,它是分析某些传感器的理论基础。

③场的定律 包括动力场的运动定律、电磁场的感应定律等,一般可由物理方程给出,这些方程可作为许多传感器工作的数学模型。例如,利用静电场制成的电容式传感器,利用电磁感应定律制成的电感式传感器等。利用场的定律构成的传感器,可统称为结构型传感器。

④物质定律 它是表示各种物质本身内在性质的定律,例如,胡克定律、欧姆定律等。这些性质通常以该物质所固有的物理常数加以描述,这些常数的大小决定着传感器的主要性能。例如,利用半导体物质法则(包括压阻、热阻、光阻、湿阻等效应)可分别制成压敏、热敏、光敏、湿敏等传感器件,利用压电晶体物质法则(压电效应)可制成压电式传感器等。这种基于物质定律的传感器,可统称为物性型传感器。

## 0.2.2 传感器的组成

由定义可知,传感器通常由敏感元件和转换元件组成。

(1)敏感元件(sensing element) 是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分。敏感元件输出与被测量成确定关系的某一物理量(一般仍然为非电量)。图1-3所示为某一测力传感器的结构示意图。砝码与弹簧相连,弹簧一端固定,另一端与可变电位器的电刷相连。电位器接入电路。这里的弹簧就是敏感元件,感受作用在砝码上的被测力 $F$ 。当 $F$ 变化时,引起弹簧压缩或者伸长,即输出相应的位移量。

(2)转换元件(transducing element) 是指传感器中能敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号的部分。在图1-3中,转换元件是可变电位器。通过电刷的移动,将输入的位移量转换成电阻的变化。

应该指出的是,大多数的传感器都具有这样的结构。例如,应变式压力传感器利用弹性膜片(敏感元件)将被测压力转换成膜片的变形,应变片(转换元件)将膜片的变形量转换成电阻值的变化,实现非电量的电测量。但也有一些传感器的敏感元件能够直接输出电信号,则这种敏感元件同时兼为转换元件,两者合二为一。如热电偶能将温度变化直接转换为热电势输出。当然还有些传感器,转换元件不只一个,要经过若干次转换。

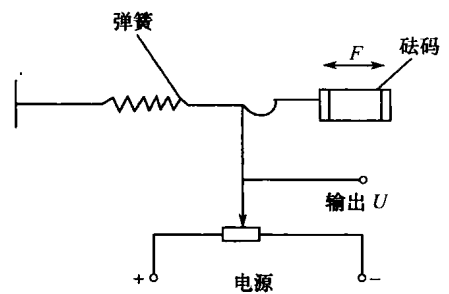


图1-3 测力传感器

由于传感器转换元件输出的电信号一般较微弱,而且存在各种误差,再加上诸如电阻、电感、电容等电参量难以直接进行显示、记录、处理和控制在,这时需要进一步变换成可直接利用的电信号,如电压、电流信号等。传感器中能够完成这一功能的部分称为转换电路。如图 1-3 所示,把可变电位器接入电路中,就可将电阻的变化转为电压的变化输出。又如,应变式压力传感器中的转换电路是一个电桥电路,它可以将由应变片输出的电阻值转换为对应的电压信号,经过放大后就可推动记录、显示仪表的工作。转换电路的选择视转换元件的类型而定,经常采用的有电桥电路、放大电路、脉宽调制电路、振荡回路、阻抗变换电路等。另外很多传感器的转换元件和转换电路需要外接辅助电源供电,才能正常工作。

综上所述,传感器的一般组成如图 1-4 所示。

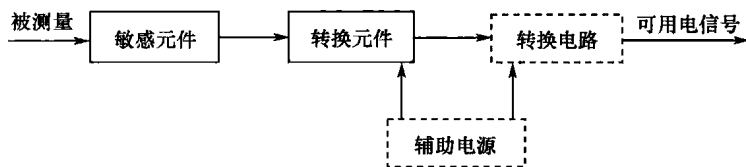


图 1-4 传感器的一般组成

随着集成电路制造技术的发展,转换、调理电路集成化后,可以与传感器集成在一起,构成可直接输出标准信号(0~10mA,4mA~20mA;0~2V,1V~5V;…)的一体化传感器,这是目前传感器技术的主要趋势。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、误差校证、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。

### 0.3 传感器的分类

传感器的种类繁多、原理各异,目前,世界传感器的种类约有 2 万种。一般来讲,对于同一种被测量,可以用多种传感器进行检测。同样地,同一种传感器也可以测量多种不同类型的参量,所以,传感器的分类方法很多。按照不同的方法对传感器进行分类,将有助于从总体上认识和掌握传感器的原理、性能与应用。

#### 1. 按照工作原理分类

按照工作原理,可分为物理型、化学型、生物型三类。

(1) 物理型传感器 是利用某些变换元件的物理性质以及某些功能材料的特殊物理性能制成的,因此,它又可以分为结构型和物性型两类。

① 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传感器中元件相对位置变化引起场的变化为基础,而不是以材料特性变化为基础。

② 物性型传感器 是利用某些功能材料本身所具有的内在特性及效应将被测量直接转换为电量的传感器。因此,物性型传感器的性能随材料的不同而异。例如,光电管就是物性型传感器,它利用了物质法则中的外光电效应。显然,其特性与涂覆在电极上的材料有着密切的关系。又如,所有半导体传感器,以及所有利用各种环境变化而引起的金属、半导体、陶瓷、合金



等特性能变化的传感器,都属于物性型传感器。这类传感器的“敏感体”就是材料本身,无所谓“结构变化”,通常具有响应迅速快的特点,易于实现小型化、集成化、智能化。

(2)化学型传感器 是利用敏感材料与物质间的电化学反应原理,把无机和有机化学成分、浓度等转换为电信号的传感器,如气体传感器、湿度传感器和离子传感器等。

(3)生物型传感器 是利用材料的生物效应构成的传感器,如酶传感器、微生物传感器、生理量(血液成分、血压、激素、血蛋白等)传感器、组织传感器等。

本书主要讲授物理型传感器,同时各类传感器是以其对信号转换的作用原理命名的,如电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、磁电式传感器、压电式传感器、光电式传感器、热电式传感器等。这种分类方法有助于减少传感器的类别数,并使传感器的研究与信号调理电路直接相关;缺点是对传感器不够了解的用户会感到不方便。

## 2. 按照被测量对象(传感器的用途)分类

按照被测量对象,可以分为位移传感器、速度传感器、加速度传感器、压力传感器、振动传感器、温度传感器、湿度传感器等。传感器以被测量来命名。这种分类方法比较明确地指出了传感器的用途,便于用户选用。但是因为需要测量的对象几乎有无限多个,所以,这种分类方法会造成传感器明目繁多,又把原理互不相同的、同一用途的传感器归为一类,这就很难找出各种传感器在转换原理上的共性与差异,不利于掌握传感器的原理与性能。

## 3. 按照检测过程中对外界能源的需要分类

按照检测过程中对外界能源的需要,可分为有源传感器和无源传感器两类。

(1)有源传感器 也称能量转换型传感器或换能器,它不需要外电源,敏感元件能直接将非电量转换为电信号。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。

(2)无源传感器 也称能量控制型传感器,在信息变化过程中,敏感元件本身无能量转换能力,而是随输入信号而改变本身的电特性,因此,必须采用外加激励源对其进行激励,才能得到输出信号。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。由于需要激励源,无源传感器通常需要比有源传感器更多的引线,传感器的总灵敏度也会受到激励信号幅度的影响。

## 4. 按照输出信号的性质分类

按照输出信号的性质,可分为模拟式传感器和数字式传感器两类。

(1)模拟式传感器 将被测非电量转换成模拟电信号,其输出信号中的信息一般由信号的幅度表达,通过模拟/数字(A/D)转换器将模拟信号数字化后,可由计算机对其进行分析、处理。

(2)数字式传感器 将被测非电量转换成数字信号输出,数字信号不仅重复性好、可靠性高,而且不需要A/D转换,比模拟信号更容易传输。但由于敏感机理、研发历史等原因,目前,实用的数字式传感器种类很少,市场上更多的其实是准数字式传感器。准数字式传感器输出为方波信号,其频率或占空比随被测量变化而变化。这类信号可以直接输入到微处理器内,利用微处理器内的计数器即可获得相应的测量值。准数字式传感器与数字电路具有很好的兼容性。

## 5. 按照输入/输出(I/O)信号间的动态关系分类

按照输入/输出信号间的动态关系,可分为零阶、一阶、二阶或高阶传感器等。具体的阶次