



21世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information •
Science and Technology

传感器原理与检测技术

童敏明 唐守锋 董海波 编著



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

传感器原理与检测技术

童敏明 唐守锋 董海波 编著



机械工业出版社

本书从传感器检测应用技术的角度出发,详细介绍了电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、热电阻传感器、热电偶传感器、集成温度传感器、霍尔传感器、光电传感器、超声波传感器、压电式传感器等常用传感器的工作原理和典型应用,以及传感器及检测技术的一些基本概念、传感器信号采集与处理技术和抗干扰技术,同时还介绍了传感器创新应用方法,列举了应用实例。

本书可作为电气工程、自动化、信息技术、测控技术等专业学生的专业基础课教材,也可供有关专业师生、从事测试工程工作的技术人员参考。

本书配套授课电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 2399929378, 电话 010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与检测技术/童敏明,唐守峰,董海波编著. —北京:机械工业出版社,2013.11

21世纪高等院校电气信息类系列教材

ISBN 978-7-111-44437-4

I. ①传… II. ①童… ②唐… ③董… III. ①传感器-高等学校-教材
IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第246309号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:时静

责任印制:张楠

北京玥实印刷有限公司印刷

2014年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20.5印张·505千字

0001—3500册

标准书号:ISBN 978-7-111-44437-4

定价:43.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教学情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业教材。

本套教材涵盖多层面专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前 言

传感器及检测技术是信息技术的核心之一。随着人类探知领域和空间的拓展,人们需要获得的信息种类日益增多,这就要求对各种信息的获取技术(即传感器及检测技术)要不断满足信息化发展的需要。

本书从传感器及检测技术应用的角度出发,主要介绍了传感器的原理、传感器的测量电路、传感器的应用、传感器信号采集与处理技术、抗干扰技术、创新设计方法及案例等内容。全书共分16章,第1章是传感器及检测技术的基本概念,介绍传感器的组成、定义和分类;传感器检测装置的基本性能以及静态特性和动态特性。第2章是误差分析基础,介绍误差的表示及特征;误差的分类与判断处理方法;误差的合成与分配。第3~12章介绍了十种常用传感器的原理、测量电路和应用。第13章是信号变换电路,介绍直流-交流-直流、电压-电流-电压、电压-频率-电压、数-模-数等变换器的工作原理及应用。第14章是传感器信号采集与处理技术,介绍传感器数据采集装置的功能和结构;多路模拟开关和采样/保持器;数据采集装置的技术性能;数据采集系统设计的基础知识;传感器信号数字滤波技术、标度变换技术、非线性补偿技术。第15章是抗干扰技术,介绍干扰产生的危害和原因;不同类型的干扰及特点;干扰的耦合方式;抗干扰的屏蔽、隔离和接地技术。第16章是创新设计方法及案例,介绍检测技术创新应用的思维方法和技巧;根据日常生活中发生的事件,提出利用检测技术解决的方案。

本书从培育学生实际应用和创新能力出发,力求突出以下特点:

(1) 每章在结构上按照本章要点、学习要求、本章内容、知识拓展(或创新、设计与应用)、问题与思考、本章小结、习题的形式编写。

(2) 本教材属专业基础教学用书,内容涉及面较宽,侧重基本概念、基本原理和应用方法,避免繁琐的理论推导和公式演算。

(3) 传感器作为检测技术的关键,种类很多。本教材主要介绍了电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、热电阻传感器、热电偶传感器、集成温度传感器、霍尔传感器、光电传感器、超声波传感器、压电式传感器等常用传感器,目的是借此介绍传感器应用的基本方法。

(4) 为了适应创新应用型人才的培养要求,本教材在章节内容中或习题中设计了一些创新思考的问题,并特别增加了“创新设计方法及案例”一章内容。

本书由中国矿业大学信息与电气工程学院童敏明、唐守锋、董海波共同编写。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,殷切希望各院校师生及广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

出版说明	
前言	
绪论	1
0.1 本教材的性质和内容	1
0.2 传感器及检测技术的广泛应用及发展前景	1
0.3 本教材的目的	2
问题与思考	2
第1章 传感器及检测技术的基本概念	3
1.1 传感器的定义	3
1.2 传感器的分类	4
1.3 测量方法及检测装置的基本性能	8
1.3.1 测量方法的分类	8
1.3.2 真值与平均值	12
1.3.3 检测装置的基本性能	12
1.4 传感器的静态特性	13
1.4.1 传感器静态特性的表示方法	13
1.4.2 传感器的主要静态性能指标	16
1.5 传感器的动态特性	20
1.5.1 一阶传感器系统	21
1.5.2 二阶传感器系统	22
知识拓展	23
问题与思考	24
本章小结	24
习题	24
第2章 误差分析基础	26
2.1 测量与误差	26
2.1.1 学习误差的意义	26
2.1.2 误差的表示方法	26
2.2 测量误差的分类	28
2.2.1 按误差出现的规律分类	28
2.2.2 按误差来源分类	30
2.2.3 按照被测量随时间变化的速度分类	30
2.2.4 按使用条件分类	31
2.3 误差的判断与处理方法	31
2.3.1 系统误差	31
2.3.2 随机误差分析方法	35
2.3.3 疏失误差或粗大误差的处理	40
2.4 测量误差的合成与分配	45
2.4.1 测量误差的合成	45
2.4.2 测量误差的分配	47
知识拓展	47
问题与思考	49
本章小结	50
习题	51
第3章 电阻应变式传感器	52
3.1 电阻应变式传感器的工作原理	52
3.1.1 电阻应变片(计)	52
3.1.2 电阻应变片的种类	56
3.1.3 电阻应变片的选用及粘贴	59
3.1.4 应变片的动态响应特性	63
3.1.5 电阻应变片的温度误差及其补偿	66
3.2 电桥检测原理及电阻应变片桥路	71
3.2.1 电桥概述	71
3.2.2 不平衡单臂电桥的工作特性	72
3.2.3 差动电桥的工作特性	74
3.2.4 双差动电桥的工作特性	74
3.2.5 相对臂电桥的工作特性	75
3.2.6 提高不平衡电桥输出线性度的方法	75
3.2.7 直流电桥的调零	76
3.2.8 交流电桥及其平衡	77
3.3 电阻应变式传感器的典型应用	80
3.3.1 电阻应变式传感器应用特点	80

3.3.2 电阻应变式传感器的应用	81	5.2.1 螺管型互感传感器	121
问题与思考	86	5.2.2 互感传感器的主要性能	122
本章小结	86	5.2.3 差动变压器的测量电路	123
习题	86	5.3 电涡流式传感器	127
第4章 电容式传感器	88	5.3.1 电涡流传感器原理	127
4.1 电容式传感器的定义与工作原理	88	5.3.2 电涡流传感器特性分析	128
4.1.1 电容式传感器的定义	88	5.3.3 高频反射电涡流传感器	129
4.1.2 电容式传感器的工作原理	89	5.3.4 低频透射电涡流传感器	130
4.2 电容式传感器的工作特性	89	5.3.5 测量电路	130
4.2.1 变极距型电容传感器	89	5.4 电感式传感器的应用	130
4.2.2 变面积型电容传感器	92	5.4.1 电(自)感式传感器的应用	130
4.2.3 变介质型电容传感器	93	5.4.2 差动变压器式传感器的应用	132
4.2.4 电容式传感器的其他特性	95	5.4.3 电涡流传感器的应用	133
4.3 电容式传感器的结构及抗干扰问题	97	问题与思考	135
4.3.1 温度变化对结构稳定性的影响	97	本章小结	135
4.3.2 温度变化对介质介电常数的 影响	98	习题	136
4.3.3 绝缘问题	98	第6章 热电阻传感器	137
4.3.4 电容电场的边缘效应	99	6.1 金属热电阻	137
4.3.5 寄生电容	99	6.1.1 金属热电阻的工作原理和 材料	137
4.4 电容式传感器的测量电路	100	6.1.2 常用金属热电阻	138
4.4.1 调幅型测量电路	100	6.1.3 金属热电阻传感器的结构	139
4.4.2 谐振测量电路	103	6.1.4 金属热电阻传感器的测量 电路	139
4.4.3 脉冲宽度调制电路	105	6.1.5 金属热电阻的应用	140
4.5 电容式传感器的应用	107	6.2 半导体热敏电阻	141
知识拓展	110	6.2.1 热敏电阻分类及结构	142
问题与思考	111	6.2.2 热敏电阻的特性	142
本章小结	111	6.2.3 新材料热敏电阻	143
习题	112	6.2.4 热敏电阻的线性化	143
第5章 电感式传感器	113	6.2.5 热敏电阻的应用	145
5.1 自感式传感器	113	问题与思考	146
5.1.1 闭磁路式自感传感器	114	本章小结	146
5.1.2 螺管型自感传感器	115	习题	147
5.1.3 差动自感传感器	115	第7章 热电偶传感器	148
5.1.4 自感传感器的测量电路	117	7.1 热电偶传感器的工作原理	148
5.1.5 自感传感器的主要误差	120	7.2 热电偶应用定则	149
5.2 互感式传感器	120		

7.3 常用热电偶	150	10.2 光电传感器的光源及测量电路	186
7.4 补偿导线与冷端补偿	151	10.2.1 光电传感器的光源	186
7.4.1 补偿导线	151	10.2.2 光电传感器的测量电路	186
7.4.2 冷端补偿	152	10.3 一般形式的光电传感器及其应用	188
7.5 热电偶实用测量电路	152	10.3.1 一般形式的光电传感器	188
7.6 热电偶应用实例	155	10.3.2 光电传感器的应用	189
问题与思考	156	问题与思考	190
本章小结	156	本章小结	191
习题	157	习题	191
第8章 集成温度传感器	158	第11章 超声波传感器	192
8.1 集成温度传感器的基本工作原理	158	11.1 超声波及其物理性质	192
8.2 集成温度传感器的信号输出方式	159	11.1.1 超声波的波形及其传播速度	193
8.3 常用集成温度传感器	160	11.1.2 超声波的反射和折射	193
8.4 集成温度传感器的应用	162	11.2 超声波传感器的分类	194
问题与思考	164	11.2.1 超声探头的分类	195
本章小结	164	11.2.2 超声换能器	195
习题	165	11.3 超声波传感器应用	196
第9章 霍尔传感器	166	知识拓展	200
9.1 霍尔效应和工作原理	166	问题与思考	202
9.2 霍尔元件连接方式和输出电路	168	本章小结	202
9.2.1 基本测量电路	168	习题	203
9.2.2 霍尔元件的连接方式	168	第12章 压电式传感器	204
9.2.3 霍尔电势的输出电路	169	12.1 压电式传感器的工作原理	204
9.3 霍尔元件的测量误差和补偿方法	170	12.1.1 压电效应	204
9.3.1 零位误差及补偿方法	170	12.1.2 压电效应表达式	205
9.3.2 温度误差及其补偿	171	12.1.3 石英晶体的压电效应机理	206
9.4 霍尔传感器的应用	172	12.1.4 压电陶瓷的压电效应机理	208
问题与思考	175	12.1.5 压电式传感器的预载与技巧	209
本章小结	175	12.1.6 压电式传感器的特性	210
习题	175	12.2 压电式传感器的测量电路	213
第10章 光电传感器	176	12.2.1 压电式传感器的等效电路	213
10.1 光电效应及光电器件	176	12.2.2 压电式传感器的测量电路	214
10.1.1 光电效应	176	12.3 压电式传感器的应用	216
10.1.2 光电管、光电倍增管	177	问题与思考	219
10.1.3 光敏电阻	179	本章小结	219
10.1.4 光敏晶体管	181	习题	219
10.1.5 光电池	184	第13章 信号变换电路	220

13.1 直流-交流-直流变换	220	14.5.2 系统设计的一般步骤	256
13.1.1 微弱信号的直流-交流变换		14.6 数字滤波技术	259
工作原理	220	14.6.1 算术平均值法	260
13.1.2 交流-直流变换工作原理	222	14.6.2 移动平均滤波	261
13.1.3 集成调制式直流放大器	222	14.6.3 加权平均滤波	262
13.2 电压-电流变换	223	14.6.4 中值法	262
13.2.1 浮动负载的电压-电流		14.6.5 一阶惯性滤波法	263
变换器	223	14.6.6 抑制脉冲算术平均法	264
13.2.2 负载接地的电压-电流		14.7 标度变换	264
变换器	224	14.7.1 标度变换原理	265
13.2.3 实用电压-电流变换器	226	14.7.2 非线性检测信号的标度变换	265
13.2.4 集成V-I变换器	227	14.8 非线性补偿技术	266
13.3 电流-电压变换	228	14.8.1 线性插值法	267
13.4 电压-频率和频率-电压变换	229	14.8.2 二次抛物线插值法	267
13.4.1 电压-频率变换器	229	14.8.3 查表法	268
13.4.2 频率-电压变换器	231	知识拓展	269
13.5 数/模变换与模/数变换	232	问题与思考	271
13.5.1 数/模(D-A)转换器	233	本章小结	271
13.5.2 模/数(A-D)转换器	238	习题	273
知识拓展	245	第15章 抗干扰技术	275
问题与思考	245	15.1 电磁干扰及其危害	275
本章小结	245	15.1.1 电磁干扰及三要素	275
习题	246	15.1.2 被干扰装置的敏感度	276
第14章 传感器信号采集与处理		15.1.3 电磁干扰的危害	278
技术	247	15.2 干扰的分类	280
14.1 传感器数据采集装置的功能	247	15.2.1 电磁干扰源的分类	280
14.2 数据采集装置的结构配置	248	15.2.2 按噪声产生的原因分类	281
14.2.1 多路扫描数据采集结构	248	15.2.3 按噪声传导模式分类	281
14.2.2 多路数据并行采集结构	249	15.2.4 按噪声波形及性质分类	283
14.3 多路模拟开关和采样/保持器	250	15.3 干扰的耦合方式	283
14.3.1 多路模拟开关	250	15.3.1 电导性耦合方式	284
14.3.2 采样/保持器	252	15.3.2 公共阻抗耦合方式	284
14.4 数据采集装置的技术性能	254	15.3.3 电容耦合方式	284
14.4.1 分辨率与精度	254	15.3.4 电磁感应耦合方式	285
14.4.2 采样速度	254	15.3.5 辐射耦合干扰	285
14.5 数据采集系统设计	255	15.3.6 漏电耦合方式	286
14.5.1 数据采集系统设计的基本		15.4 屏蔽技术	286
原则	255		

15.4.1 屏蔽的一般原理	286	方法	301
15.4.2 电场屏蔽	287	16.2 检测技术创新设计案例	302
15.4.3 电磁场屏蔽	287	16.2.1 设计案例一——司机瞌睡监测提醒装置	302
15.4.4 磁场屏蔽	288	16.2.2 设计案例二——跳远犯规检测器	304
15.5 隔离技术	289	16.2.3 设计案例三——安全输液报警器	305
15.5.1 光电隔离	290	16.2.4 设计案例四——雨天自动收衣装置	306
15.5.2 继电器隔离	291	16.2.5 设计案例五——玻璃破碎监测系统	307
15.6 接地技术	291	16.2.6 设计案例六——热电阻真空度测量装置	308
15.6.1 接地概述	292	16.2.7 设计案例七——台灯照度检测及自动调光装置	309
15.6.2 工作接地	292	16.2.8 设计案例八——防止酒后驾车装置	309
15.6.3 屏蔽接地	293	16.2.9 设计案例九——燃气灶防干烧装置	310
15.7 抗干扰设计举例	294	16.2.10 设计案例十——公交投币箱假硬币检测仪	311
15.7.1 传输线抗干扰设计	294	知识拓展	312
15.7.2 印制电路板的抗干扰设计	295	创新设计	313
15.7.3 传感器电路的屏蔽与接地设计	296	参考文献	316
15.7.4 电源所致干扰的抑制	297		
知识拓展	298		
问题与思考	299		
本章小结	299		
习题	300		
第16章 创新设计方法及案例	301		
16.1 检测技术创新设计方法	301		
16.1.1 检测技术创新设计的一般步骤	301		
16.1.2 检测技术创新设计的基本			

绪 论

0.1 本教材的性质和内容

传感器及检测技术是当今信息技术的重要组成部分。它是研究信息提取、信息转换和信息处理的应用技术学科。

传感器及检测技术的信息提取是从自然界、社会、生产过程或科学实验中获取人们需要的信息，如压力、重量、速度、温度等；信息的转换是将采集的信息转换成可以进行传输、显示及其他便于处理的信号。信息处理的目的是，把人们已经获得的信息进行加工、运算、分析或综合，以便进行显示、报警、预测、计量、保护、控制、调度和管理等，达到预防自然灾害或事故的发生、实现生产和管理的自动化、提高生产效率和产品质量、顺利完成科学研究的试验探索等目的。

“传感器原理与检测技术”不仅是一门实用性很强的学科，而且是一门综合型、边沿性的学科。其综合性表现在它包含了传感器技术、误差理论、信号处理、电子技术、单片机技术、人工智能、模糊处理等理论和技术；边沿性表现在检测技术渗透在各个不同的学科领域，如机械、电气、信息、采矿、勘探、环保、化工、建筑、生物、医学等。

0.2 传感器及检测技术的广泛应用及发展前景

传感器及检测技术是人类感觉器官的扩展和延伸，是人类观察自然和测量自然界各种现象的电路手段。人类通过视觉、听觉、嗅觉、触觉和味觉获得外部信息，而检测技术则通过不同的传感器获得外部信息，其范围和能力都远远超过人类。比如：人的视觉能力是非常有限的，但是激光传感器却可以非常精确地探测地球至月球的距离，其测量误差已达毫米级；红外传感器可以清晰地观察夜间的事物；超声波传感器可以“听”见人耳听不见的超声波；人的嗅觉只能识别少量有刺激性的气味，但气体传感器不仅识别的气体种类多，而且还可以非常准确地识别气体的浓度，比如大家所熟悉的煤气，当煤气泄漏时，人们之所以能够嗅出，是有意在煤气中人为掺入了少量的硫化氢，而真正燃烧的气体 CO 是没有气味的，但是传感器却可以非常灵敏地检测出这些气体；传感器的触觉比人更敏感和准确，比如人们一般会用手触摸额头，以判断是否发烧，但这种判断是不准确的，因此医生要用体温表或测温仪对人体进行较精确的测试，此外对压力、重量等的测量也是如此，先进的检测手段能够精确地对压力、重量等进行计量；人的味觉能够大致地识别酸甜苦辣，但是味觉传感器却能够非常精确地识别食品的含糖量、酸碱度等。

传感器及检测技术的应用是非常广泛的。它在军事方面的应用，催生了许多先进的军事武器，如各种命中率高的导弹、飞弹、导弹防御系统、武器瞄准系统、智能地雷、无人驾驶飞机等；它在医疗方面的应用，产生了许多先进的医疗诊断设备，如 X 光透射仪、超声波

诊断仪、CT 诊断仪、核磁共振诊断仪等；它在工矿安全方面的应用，对保障生产安全发挥了重要的作用，如矿井顶板监测、煤与瓦斯突出预测、可燃易爆气体泄漏的监测等；它是生产自动化中必不可少的重要环节，如自动机床、食品的自动配料生产控制、各种电子设备的自动装配生产线等；它还广泛地应用在航天、机器人等先进的研究领域中，并发挥着重要的作用。

传感器及检测技术虽然得到广泛的应用，但是检测技术还在不断地发展，还存在许多需要解决的问题。比如目前人们可以检测的是地震发生后的规模，即准确地检测出地震的级别，但是如何在地震发生前进行预报，还是一个世界级的难题。为什么有些动物在地震发生前有异常的行为，这说明肯定有一些反映地震发生的前兆，是电磁场的变化？是地球内壳发出的某种声波？人们正在进行积极的研究，相信能得到解决。目前人们探测火灾主要采用离子或光电式的烟雾传感器和温度传感器，这些检测技术只能对火灾发生后的状态进行检测报警，如何在火灾发生前进行监测预警，对避免或减小火灾的损失是非常重要的。人们正在对此进行研究，也提出了各种有效的方案，比如分析火灾发生前的气体就是一种很有前途的火灾预警方法。癌症及其他一些诸如肿瘤等疑难疾病，发现的越早，越有希望治愈。但是目前有些疾病难以早期发现，比如胰腺癌，一旦发现便是晚期，治愈率很低，是否可以利用先进的检测技术解决这个问题呢，人们对此进行了大量的研究，并发现在人体内细胞病变时，往往其局部温度要高于周围的温度，如果能够探测这一温度的变化，完全可以早期发现癌症及肿瘤，以便及早采取措施进行治疗。人体生物电信息检测是一个具有广泛应用前景的研究课题，其中有一个应用涉及“学习”问题。人类有一个梦想，如果能够将通过感觉器官获取知识的生物电信息检测出来，则完全可以将书本的内容转换成相应的电信息输送给人的大脑，那时候，学习的模式将产生巨大的变化。在高速公路上，由于汽车速度较快，在天气不好、能见度较差的时候，经常发生汽车追尾的事故，即前面一辆汽车一旦停下来，后面的汽车一辆接一辆地撞向前车，这种事故完全可以利用超声波检测技术去避免。

0.3 本教材的目的

使学生掌握“传感器原理与检测技术”的基本概念、基本理论以及常用传感器的工作原理、检测电路和典型应用，了解和熟悉信号处理变换及抗干扰等常用技术，为今后的工作及其他专业课程的学习奠定基础。

问题与思考

- (1) 在我们的日常生活中，传感器及检测技术的应用无所不在，如冰箱、空调、洗衣机等，传感器及检测技术是如何应用的？它们发挥了哪些作用？
- (2) 在我们周围还有哪些可以应用传感器及检测技术解决的新问题？

第1章 传感器及检测技术的基本概念

本章要点

传感器的定义和分类；测量方法及检测装置的基本性能；检测系统的静态特性和动态特性。

学习要求

掌握传感器的定义、组成和分类；掌握各种检测方法的基本原理和基本概念；了解检测系统的静态特性和动态特性特点。

检测技术是以研究检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论与技术为主要内容的一门应用技术学科。检测技术研究的主要内容包括针对被测量的测量原理、测量方法、测量系统和数据处理四个方面。

测量原理是指用什么样的原理去测量被测量。因为不同性质的被测量要用不同的原理去测量，同一性质的被测量亦可用不同的原理去测量。测量原理确定后，就要考虑用什么方法去测量被测量，这就是我们所要研究的测量方法。确定了被测量的测量原理和测量方法后，就要设计或选用装置组成测量系统。有了已标定过的测量系统，就可以实施实际的检测工作。在实际检测中得到的数据必须加以处理，即数据处理，以得到正确可信的检测结果。

1.1 传感器的定义

1. 传感器的定义

广义地说，传感器是指能感知某一物理量、化学量或生物量等的信息，并能将之转化为可以加以利用的信息的装置。人的五官就可被广义地看做为传感器。又例如测量仪器就是将测量转化为人们可感知或定量认识的信号的传感器。传感器狭义的定义是：感受被测量，并按一定规律将其转化为同种或别种性质的输出信号的装置。中华人民共和国国家标准 GB7665 - 1987 对传感器 (transducer/sensor) 的定义是：能感受规定的被测量并按一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。由于电信号易于保存、放大、计算、传输，且是计算机唯一能够直接处理的信号，所以传感器的输出一般是电信号（如电流、电压、电阻、电感、电容、频率等）。

2. 传感器的组成

传感器的作用一般是把被测的非电量转换成电量输出，因此它首先应包含一个元件去感受被测非电量的变化。但并非所有的非电量都能利用现有手段直接转换成电量，这是需要将非电量先转换成易于转换成电量的某一中间非电量。传感器中完成这一功能的元件称为

敏感元件（或预变换器）。例如应变式压力传感器的作用是将输入的压力信号转换成电压信号输出，它的敏感元件是一个弹性膜片，其作用是将压力转换成膜片的变形。

传感器中将敏感元件输出的中间非电量转换成电量输出的元件称为转换元件（或转换器），它是利用某种物理的、化学的、生物的或其他的效应来达到这一目的的。例如应变式压力传感器的转换元件是一个应变片，它利用电阻应变效应（金属导体或半导体的电阻随其所受机械变形的大小而发生变化的现象），将弹性膜片的变形转换为电阻值的变化。

敏感元件（sensing element）是能直接感受或响应被测量的部分；转换元件（transduction element）是将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输和测量的电信号部分。需要说明的是，有些被测非电量可以直接被转换为电量，这时传感器中的敏感元件和转换元件就合二为一了。例如热电阻温度传感器利用铂电阻或铜电阻，可以直接将被测温度转换成电阻值的输出。

转换元件输出的电量常常难以直接进行显示、记录、处理和控制在，这时需要将其进一步转换成可直接利用的电信号，而传感器中完成这一功能的部分称为测量电路。测量电路也称为信号调节与转换电路，它是把传感元件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理和控制的有用电信号的电路。例如应变式压力传感器中的测量电路是一个电桥电路，它可以将应变片输出的电阻值转换为一个电压信号，经过放大后即可推动记录、显示仪表的工作。测量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、脉宽调制电路、振荡电路、高阻抗输入电路等。

综上所述，传感器一般由敏感元件、转换元件、测量电路和辅助电源四部分组成，如图 1-1 所示。其中敏感元件和转换元件可能合二为一，而有的传感器不需要辅助电源。

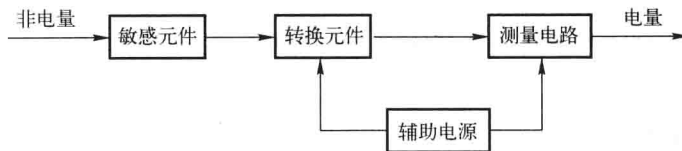


图 1-1 传感器的组成框图

可见，传感器技术包括敏感元件技术（新材料和新工艺等）、测量电路技术、信号转换技术和信号处理技术。

1.2 传感器的分类

传感器种类繁多，功能各异。由于同一被测量可用不同转换原理实现探测，利用同一种物理法则、化学反应或生物效应可设计制作出检测不同被测量的传感器，而功能大同小异的同一类传感器可用于不同的技术领域，故传感器有不同的分类方法。了解传感器的分类，旨在加深理解，便于应用。

1. 按外界输入的信号变换为电信号采用的效应分类

按外界输入的信号变换为电信号采用的效应分类，传感器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，如图 1-2 所示。

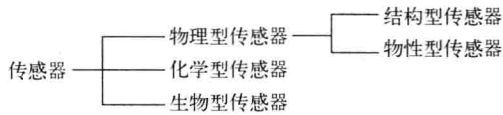


图 1-2 传感器的分类

其中利用物理效应进行信号变换的传感器称为物理型传感器，它利用某些敏感元件的物理性质或某些功能材料的特殊物理性能进行被测非电量的变换。如：利用金属材料在被测量作用下引起的电阻值变化的应变效应的应变式传感器；利用半导体材料在被测量作用下引起的电阻值变化的压阻效应制成的压阻式传感器；利用电容器在被测量作用下引起电容值的变化制成的电容式传感器；利用磁阻随被测量变化的简单电感式、差动变压器式传感器；利用压电材料在被测力作用下产生的压电效应制成的压电式传感器等。

物理型传感器又可以分为结构型传感器和物性型传感器。

1) 结构型传感器是以结构（如形状、尺寸等）为基础，利用某些物理规律来感受（敏感）被测量，并将其转换为电信号实现测量的。例如：电容式压力传感器，必须有按规定参数设计制成的电容式敏感元件，当被测压力作用在电容式敏感元件的动极板上时，引起电容间隙的变化导致电容值的变化，从而实现对压力的测量。又比如：谐振式压力传感器，必须设计制作一个合适的感受被测压力的谐振敏感元件，当被测压力变化时，改变谐振敏感结构的等效刚度，导致谐振敏感元件的固有频率发生变化，从而实现对压力的测量。

2) 物性型传感器就是利用某些功能材料本身所具有的内在特性及效应感受（敏感）被测量，并转换成可用电信号的传感器。例如：利用具有压电特性的石英晶体材料制成的压电式压力传感器，就是利用石英晶体材料本身具有的正压电效应而实现对压力测量的；利用半导体材料在被测压力作用下引起其内部应力变化导致其电阻值变化制成的压阻式传感器，就是利用半导体材料的压阻效应而实现对压力测量的。

一般而言，物理型传感器对物理效应和敏感结构都有一定要求，但侧重点不同。结构型传感器强调要依靠精密设计制作的结构，才能保证其正常工作；而物性型传感器则主要依靠材料本身的物理特性、物理效应来实现。

近年来，由于材料科学技术的飞速发展与进步，物性型传感器应用越来越广泛。这与该类传感器便于批量生产、成本较低及易于小型化等特点密切相关。

化学传感器是利用电化学反应原理，把无机或有机化学的物质成分、浓度等转换为电信号的传感器。最常用的是离子敏传感器，即利用离子选择性电极，测量溶液的 pH 值或某些离子的活度，如 K^+ ， Na^+ ， Ca^{2+} 等。电极的测量对象不同，但其测量原理基本相同，主要是利用电极界面（固相）和被测溶液（液相）之间的电化学反应，即利用电极对溶液中离子的选择性响应而产生的电位差。所产生的电位差与被测离子活度对数成线性关系，故检测出其反应过程中的电位差或由其影响的电流值，即可给出被测离子的活度。化学传感器的核心部分是离子选择性敏感膜。膜可以分为固体膜和液体膜。玻璃膜、单晶膜和多晶膜属固体膜；而带正、负电荷的载体膜和中性载体膜则为液体膜。

化学传感器广泛应用于化学分析、化学工业的在线检测及环保检测中。

生物传感器是近年来发展很快的一类传感器。它是一种利用生物活性物质的选择性来识别和测定生物化学物质的传感器。生物活性物质对某种物质具有选择性亲和力，也称其为功

能识别能力。利用这种单一的识别能力来判定某种物质是否存在，其浓度是多少，进而利用电化学的方法进行电信号的转换。生物传感器主要由两大部分组成。其一是功能识别物质，其作用是对被测物质进行特定识别。这些功能识别物有酶、抗原、抗体、微生物及细胞等。用特殊方法把这些识别物固化在特制的有机膜上，从而形成具有对特定的从低分子到大分子化合物进行识别功能的功能膜。其二是电、光信号转换装置，此装置的作用是把在功能膜上进行的识别被测物所产生的化学反应，转换成便于传输的电信号或光信号。其中最常应用的是电极，如氧电极和过氧化氢电极。近来有人把功能膜固定在场效应晶体管上代替栅-漏极的生物传感器，使得传感器整个体积做得非常小。如果采用光学方法来识别在功能膜上的反应，则要靠光强的变化来测量被测物质，如荧光生物传感器等。变换装置直接关系着传感器的灵敏度及线性度。生物传感器的最大特点是能在分子水平上识别被测物质，不仅在化学工业的监测上，而且在医学诊断、环保监测等方面都有着广泛的应用前景。

本书将重点讨论物理型传感器。

表 1-1 给出了与五官对应的传感器。

表 1-1 与五官对应的传感器

感 觉	传 感 器	效 应
视觉	光敏传感器	物理效应
听觉	声敏传感器	物理效应
触觉	热敏传感器	物理效应
嗅觉	气敏传感器	化学效应、生物效应
味觉	味敏传感器	化学效应、生物效应

2. 按工作原理分类

按工作原理分类是以传感器对信号转换的作用原理命名的，如应变式传感器、电容式传感器、压电式传感器、热电式传感器、电感式传感器、霍尔传感器、热电式传感器等。这种分类方法较清楚地反映出了传感器的工作原理，有利于对传感器研究的深入分析。本书后面各章就是按传感器的工作原理分类进行编写的。

3. 按被测量对象分类

按传感器的被测量对象——输入信号分类，能够很方便地表示传感器的功能，也便于用户选用。按这种分类方法，传感器可以分为温度、压力、流量、物位、加速度、速度、位移、转速、力矩、湿度、粘度、浓度等传感器。生产厂家和用户都习惯于这种分类方法。同时，这种方法还将种类繁多的物理量分为两大类，即基本量和派生量。例如，将“力”视为基本物理量，可派生出压力、重量、应力、力矩等派生物理量，当我们需要测量这些派生物理量时，只要采用基本物理量传感器就可以了。所以，了解基本物理量和派生物理量的关系，对于选用传感器是很有帮助的，表 1-2 是常用的基本物理量和派生物理量。

表 1-2 常用的基本物理量和派生物理量

基 本 物 理 量		派 生 物 理 量
位移	线位移	长度、厚度、应变、振动、磨损、不平度
	角位移	旋转角、偏转角、角振动

(续)

基本物理量		派生物理量
速度	线速度	速度、振动、流量、动量
	角速度	转速、角振动
加速度	线加速度	振动、冲击、质量
	角加速度	角振动、扭矩、转动惯量
力	压力	重力、应力、力矩
时间	频率	周期、计数、统计分布
温度		热容量、气体速度、涡流
光		光通量与密度、光谱分布

按输入物理量进行传感器分类的方法，将原理不同的传感器归为一类，不易找出每种传感器在转换机理上的共性和差异，因此，不利于掌握传感器的一些基本原理和分析方法。仅温度传感器中就包括用不同材料和方法制成的各种传感器，如热电偶温度传感器、热敏电阻温度传感器、金属热电阻温度传感器、P-N 结二极管温度传感器、红外温度传感器等。通常对传感器的命名就是将其工作原理和被测参数结合在一起，先说工作机理，后说被测参数，如硅压阻式压力传感器、电容式加速度传感器、压电式振动传感器、谐振式质量流量传感器等。

针对传感器的分类，不同的被测量可以采用相同的测量原理，同一个被测量可以采用不同的测量原理。因此，必须掌握在不同的测量原理之间测量不同的被测量时，各自具有的特点。

4. 按外加电源分类

传感器按外加电源方式分类，可分为有源传感器和无源传感器。

有源传感器的特点是无需外加电源便可将被测量转换成电量。如光电传感器能将光射线转换成电信号，其原理类似太阳能电池；压电传感器能够将压力转换成电压信号；热电偶传感器能将被测温度场的能量（热能）直接转换为电压信号的输出等。

无源传感器需要外加辅助电源才能将检测信号转换成电信号。大多数传感器都属于此类，如电阻式、电感式和电容式传感器都属于这一类。

5. 按构成传感器的功能材料分类

按构成传感器的功能材料不同，可将传感器分为半导体传感器、陶瓷传感器、光纤传感器、高分子薄膜传感器等。

6. 按某种高新技术命名的传感器分类

有些传感器是根据某种高新技术命名的，如集成传感器、智能传感器、机器人传感器、仿生传感器等。

应该指出，由于敏感材料和传感器的数量特别多，类别十分繁杂，相互之间又有着交叉和重叠，这里就不再赘述。为了揭示诸多传感器之间的内在联系，表 1-3 中给出了传感器分类、转换原理和它们的典型应用，供选用传感器时参考。