

CHUANGAN JISHU
JI YINGYONG

传感技术及应用

杨清梅 孙建民 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>

高等学校物联网专业规划教材

传感技术及应用

杨清梅 孙建民 编著

清华大学出版社

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

传感技术是物联网工程、电子信息工程、自动控制工程、机械工程等领域中不可缺少的重要技术。本书是根据物联网工程本科专业的发展方向和教学需要,结合传感技术的最新发展及其应用编写而成。

本书系统地介绍了各类常用传感器的基本概念、基本原理和基本特性,并分析了相应的测量电路和应用实例。全书共分13章,可分为三部分:第一部分重点介绍了传感器的定义、组成、分类及传感器的静、动态特性;第二部分具体介绍了电阻式、电感式、电容式、磁电式、压电式、光电式、热电式、气敏、湿敏、磁敏及生物传感器;第三部分介绍了传感网技术,传感网是物联网的重要技术支撑,是由各种传感器组成的信息获取的网络,是物联网感知和获取信息的主要手段。

本书内容较广泛,在编写中兼顾传感器的原理和实用性,可作为高等院校物联网工程、电子信息工程、自动化、机械工程等专业的教学用书,也可作为相关工程技术人员学习和参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

传感技术及应用/杨清梅,孙建民编著.—北京:北京交通大学出版社:清华大学出版社,2013.10

(高等学校物联网专业规划教材)

ISBN 978-7-5121-1679-5

I. 传… II. ①杨… ②孙… III. 传感器-高等学校-教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 239921 号

责任编辑:郭东青 特邀编辑:张诗铭

出版者:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京瑞达方舟印务有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:23.5 字数:587千字

版 次:2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-1679-5/TP·763

印 数:1~3000册 定价:48.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

序

物联网是继计算机、互联网和移动通信之后的又一次信息产业的革命性发展。目前物联网被正式列为国家重点发展的战略性新兴产业之一。作为一项战略性新兴产业，物联网的繁荣发展需要大量精通物联网技术的专业人才，教育部针对国家战略性新兴产业发展的需要设置了物联网相关专业。

为配合高等学校物联网相关专业教学需要，填补物联网相关专业教材的空白，清华大学出版社和北京交通大学出版社以“厚基础，重理论，强实践，求创新，促应用”为出发点，根据物联网相关专业培养目标和课程设置，联合编辑出版了这套“高等学校物联网专业规划教材”。

本系列教材突出了以下特点：

1. 在编写思路上，强调理论知识，结合实际应用，培养学生工程实践能力。
2. 在内容阐述上，强调对基本概念、基本知识、基本理论、特别是基本方法和技能给予准确的表述；为培养学生分析问题的能力，教材提供配套习题。
3. 在编写风格上，力求文字精炼，图文并茂，版式明快。
4. 在教材体系上，建立了较为完整的课程体系，突出了各课程之间的内在联系。

本套教材不仅可以作为高等学校物联网相关专业的教学参考书，也适合作为物联网相关领域人员的重要参考资料。相信此套教材必将受到读者的欢迎！

中国科学院院士
北京交通大学教授
物联网专家

姚建铨

2013 年 12 月

前 言

物联网是新一代信息技术的重要组成部分，物联网就是“物物相连的互联网”。物联网是通过射频识别、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何物品与互联网连接起来，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。物联网被称为继计算机、互联网之后，世界信息产业的第三次浪潮。根据美国研究机构 Forrester 预测，物联网所带来的产业价值将比互联网大 30 倍，物联网将成为下一个万亿元级别的信息产业业务。

在社会信息化发展进程中，无论信息的转换和处理，还是数据的显示和控制，无一不建立在对原始的各种参数进行精确可靠测量的基础上。因此，若没有精确可靠的传感器，就不存在精确可靠的自动检测和控制系统。传感技术是现代信息技术的重要基础技术之一。传感器的性能对自动化系统的功能起着决定作用，许多国家都把传感器技术列为尖端技术。随着现代检测、控制和自动化技术的发展，传感器技术越来越受到人们的重视。由于科学技术、经济发展及生态平衡的需要，传感器在各个领域中的作用日益显著。在工业生产自动化、能源、交通、环境与安全监测以及军事等方面开发的各种传感器，不仅具有人的感官功能，并且在检测特殊状态参数方面具有明显优势，这对以智能工业、智能农业、智能物流、智能交通、智能电网、智能环保、智能安防、智能医疗和智能家居等为代表的物联网技术尤其重要。

本书以培养生产一线所需的技术应用型人才为目标，突出传感理论知识的技术应用，以应用为目的，以掌握概念、强化应用为重点。本教材共分 13 章，第 1 章、第 2 章介绍了传感器的定义、组成、分类及一般特性；第 3 章至第 12 章分别介绍了电阻式传感器、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、气敏传感器、湿敏传感器、磁敏传感器及生物传感器的工作原理、特性、结构形式、测量电路、误差分析及补偿方法和应用实例；第 13 章介绍了传感网技术，传感网是物联网的重要技术支撑，是由各种传感器组成的信息获取的网络，是物联网感知和获取信息的主要手段。

本书内容较广泛，对传感理论与实用技术进行了探索。本书内容全部按传感器的工作原理分章，力求详简得当、条理清晰、重点突出，每章末附有一定数量的思考题与习题，以便对书中的难点和重点进行学习掌握，以提高解决实际问题的能力。本教材可作为高等院校物联网工程、电子信息工程、自动化、机械工程等专业的教学用书，也可作为相关工程技术人员学习和参考用书。

本书由北京联合大学杨清梅和北京建筑大学孙建民编写。孙建民编写第 1 章至第 4

章，由杨清梅编写第 5 章至第 13 章。全书在编写过程中得到了北京建筑大学陈宝江教授的热情指导和帮助。在此，表示诚挚的谢意。同时，对本书参考文献的作者致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之经验不足，书中难免出现错误和疏漏之处，恳请关心和阅读本书的同行与广大读者批评指正。

编 者
2013 年 9 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 传感器技术概述	1
1.1.1 传感技术的定义及作用	1
1.1.2 传感技术与传感系统	2
1.1.3 物联网与传感技术	3
1.2 传感器的组成及分类	3
1.2.1 传感器的组成	3
1.2.2 传感器的分类	5
1.3 传感技术的发展趋势	7
1.3.1 传感技术发展现状	7
1.3.2 传感技术的发展趋势	7
1.4 传感网络的应用	8
第2章 传感器的一般特性	11
2.1 传感器的静特性	11
2.1.1 测量范围和量程	11
2.1.2 线性度（非线性误差）	11
2.1.3 迟滞	14
2.1.4 重复性	14
2.1.5 灵敏度与灵敏度误差	15
2.1.6 分辨力与阈值	15
2.1.7 稳定性	15
2.1.8 漂移	15
2.1.9 精确度（精度）	16
2.1.10 误差表达	17
2.2 传感器的动态特性	17
2.2.1 动态特性的一般模型	18
2.2.2 传感器对任意输入信号的时域响应与脉冲响应函数	20
2.2.3 传感器的频率响应特性	22
2.2.4 传感器典型环节的动态响应	23
2.2.5 传感器的无失真检测条件	26
2.2.6 传感器的动态性能指标	27

2.3 传感器的标定与校准	28
2.3.1 传感器的标定	28
2.3.2 传感器的静态标定	29
2.3.3 传感器的动态标定	29
思考题与习题2	32
第3章 电阻式传感器	33
3.1 应变式电阻传感器	33
3.1.1 电阻应变片的工作原理	33
3.1.2 电阻应变片的种类和材料	35
3.1.3 电阻应变片的主要特性	41
3.1.4 电阻应变片的测量电路	45
3.1.5 电阻应变片的温度误差及补偿	51
3.1.6 应变式传感器	55
3.2 压阻式传感器	64
3.2.1 压阻效应与压阻系数	64
3.2.2 结构与特性	72
3.2.3 测量电路	74
3.2.4 温度补偿	76
3.2.5 压阻式传感器及应用	77
3.3 电位器式传感器	78
3.3.1 线性电位器	79
3.3.2 非线性电位器	81
3.3.3 负载特性及负载误差	84
思考题与习题3	88
第4章 电感式传感器	90
4.1 自感式传感器	90
4.1.1 工作原理	90
4.1.2 结构形式及特性	91
4.1.3 转换电路	95
4.1.4 误差分析	96
4.1.5 自感式传感器的应用	97
4.2 差动变压器式传感器	99
4.2.1 工作原理	99
4.2.2 结构形式及特性	100
4.2.3 转换电路	102
4.2.4 误差分析	103
4.2.5 差动变压器的应用	104
4.3 电涡流式传感器	106

4.3.1 工作原理及等效电路	106
4.3.2 结构特点	109
4.3.3 转换电路	110
4.3.4 电涡流式传感器的应用	112
4.4 自感式和差动变压器式传感器设计	114
4.4.1 设计步骤	115
4.4.2 设计举例	117
思考题与习题4	119
第5章 电容式传感器	121
5.1 工作原理、类型及性能	121
5.1.1 工作原理	121
5.1.2 基本类型	121
5.1.3 主要性能	126
5.2 转换电路	128
5.2.1 电容式传感器的等效电路	128
5.2.2 电桥电路	129
5.2.3 运算放大器式电路	131
5.3 误差分析	132
5.4 电容式传感器的特点及应用	135
5.4.1 电容式传感器的特点	135
5.4.2 电容式传感器的应用	136
思考题与习题5	139
第6章 磁电式传感器	140
6.1 磁电式传感器理论基础	140
6.2 磁电式传感器	141
6.2.1 恒定磁通磁电式传感器	141
6.2.2 变磁阻磁电式传感器	142
6.3 磁电式传感器设计基础	144
6.3.1 磁路设计	144
6.3.2 线圈参数计算与设计	148
6.3.3 传感器固有频率的确定及弹簧刚度的计算	149
6.3.4 阻尼器设计及阻尼系数的计算	152
6.4 磁电式传感器的误差	154
6.4.1 电流和电压灵敏度的误差	154
6.4.2 温度误差	154
6.4.3 永久磁铁不稳定误差	155
6.4.4 非线性误差	156
6.5 磁电式传感器的应用	156

6.5.1 振动测量	156
6.5.2 扭矩测量	158
6.5.3 流量测量	159
思考题与习题6	160
第7章 压电式传感器	161
7.1 压电效应与压电材料	161
7.1.1 压电效应	161
7.1.2 压电材料	166
7.2 压电式传感器测量电路	169
7.2.1 压电式传感器等效电路	169
7.2.2 电压放大器	170
7.2.3 电荷放大器	171
7.3 压电式传感器的误差	172
7.3.1 环境温度的影响	172
7.3.2 环境湿度的影响	174
7.3.3 横向灵敏度	174
7.3.4 基座应变的影响	175
7.3.5 电缆噪声	175
7.3.6 接地回路噪声	175
7.4 压电式传感器的应用	176
7.4.1 压电式加速度传感器	176
7.4.2 压电式力传感器	181
7.4.3 压电式压力传感器	183
7.4.4 压电式超声波传感器	185
7.4.5 压电式微位移传感器	187
思考题与习题7	188
第8章 光电式传感器	189
8.1 光电效应及光电器件	189
8.1.1 光电效应	189
8.1.2 外光电型光电器件	191
8.1.3 光电导型光电器件	193
8.1.4 光伏型光电器件	196
8.1.5 光电传感器的应用	201
8.2 光纤传感器	203
8.2.1 光纤的结构和传光原理	203
8.2.2 光纤的性能	204
8.2.3 光纤传感器及应用	205
8.3 电荷耦合器件	217

8.3.1	CCD 的基本结构和工作原理	217
8.3.2	电荷的注入和输出	219
8.3.3	CCD 图像传感器	220
8.3.4	CCD 的主要参数	222
8.3.5	CCD 传感器的应用	224
思考题与习题 8		226
第 9 章 热电式传感器		227
9.1	热电偶传感器	227
9.1.1	热电偶测温原理	227
9.1.2	热电偶的基本定律	230
9.1.3	热电偶传感器	231
9.1.4	热电偶的误差及补偿措施	235
9.1.5	热电偶的标定	241
9.2	热电阻传感器	243
9.2.1	热电阻测温原理	243
9.2.2	金属热电阻	244
9.2.3	半导体热敏电阻	246
9.3	其他测温传感器	249
9.3.1	晶体管 PN 结温度传感器	249
9.3.2	晶体三极管温度传感器	251
9.3.3	集成温度传感器	251
9.3.4	薄膜热敏传感器	252
思考题与习题 9		253
第 10 章 气、湿敏传感器		254
10.1	气敏传感器	254
10.1.1	半导体气敏传感器	254
10.1.2	固体电解质气敏传感器	258
10.2	湿敏传感器	258
10.2.1	烧结型半导体陶瓷湿敏传感器	259
10.2.2	多孔氧化物湿敏传感器	262
10.2.3	结型和 MOS 型湿敏传感器	264
10.2.4	其他湿敏传感器	267
10.3	气、湿敏传感器的应用	268
10.3.1	自动吸排油烟机	269
10.3.2	便携式缺氧监视器	270
10.3.3	SMC-2 型湿度传感器的应用	271
10.3.4	自动去湿器	272
10.3.5	自动烹调湿度检测系统	273

思考题与习题 10	274
第 11 章 磁敏传感器	275
11.1 霍尔传感器	275
11.1.1 霍尔效应	275
11.1.2 霍尔元件	276
11.1.3 霍尔传感器的应用	285
11.2 磁阻传感器	288
11.2.1 磁阻效应	288
11.2.2 磁阻元件	289
11.2.3 磁阻传感器的应用	289
11.3 磁敏二极管和磁敏三极管	292
11.3.1 磁敏二极管	292
11.3.2 磁敏三极管	296
11.3.3 磁敏二极管和磁敏三极管的应用	298
思考题与习题 11	300
第 12 章 生物传感器	301
12.1 生物传感器概述	301
12.1.1 生物传感器的发展	301
12.1.2 生物传感器的应用	302
12.2 生物传感器的分类	303
12.2.1 生物传感器的基本原理	303
12.2.2 生物传感器的分类	305
12.3 生物传感器原理	307
12.3.1 酶传感器	307
12.3.2 免疫类传感器	310
12.3.3 微生物传感器	312
12.3.4 生物芯片	313
12.3.5 分子传感器	315
12.3.6 仿生传感器	317
思考题与习题 12	319
第 13 章 传感网技术	320
13.1 传感网概述	320
13.1.1 传感网的分类	321
13.1.2 传感网的管理	321
13.1.3 传感网的特点	323
13.2 网络传感器	324
13.2.1 网络传感器的组成	325

13.2.2 网络传感器的分类	326
13.2.3 智能网络传感器举例	330
13.3 无线网络传感器	332
13.3.1 无线网络传感器基本结构	332
13.3.2 无线网络传感器天线	335
13.3.3 无线网络传感器应用	338
13.4 无线传感网络	341
13.4.1 无线传感网络构成	342
13.4.2 无线传感网络节点	344
13.4.3 无线传感网络管理	346
13.4.4 无线传感网络的关键技术	347
13.5 无线传感网络的设计与应用	352
13.5.1 无线传感网络设计简介	352
13.5.2 Mica2 节点设计分析	353
13.5.3 无线传感网络应用	356
思考题与习题 13	358
参考文献	359

第1章 绪论



1.1 传感技术概述

在信息化时代发展过程中，高科技的快速发展是重要标志。物联网通过智能感知、识别技术与普适计算、泛在网络的融合应用，被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。在电子信息工程应用中，各种信息的感知、采集、转换、传输和处理都需要必不可少的“感觉器官”，这就是传感器，也被称为“电五官”。实际上，目前一些传感器具有的功能已经超出人类五官感知信息的功能。

由海量的多种类型传感器组成的传感网是物联网四大关键领域之一。物联网上部署了海量的多种类型传感器，每个传感器都是一个信息源，不同类别的传感器所捕获的信息内容和信息格式不同。传感器获得的数据具有实时性，按一定的频率周期性地采集环境信息，不断更新数据。

物联网的目的是实现对“物”的感知，即获取现实世界的各种信息。传感技术与传感器作为获取信息的技术手段是物联网的实现基础，是构成物联网系统的基础单元，是信息采集系统的首要部件，是实现现代化测量和自动控制的主要环节，是现代信息产业的源头，又是信息社会赖以存在和发展的物质与技术基础。目前，从宇宙探索、海洋开发、环境保护、灾情预报到包括生命科学在内的每一项现代科学技术的研究及人类的日常生活，几乎无一不与传感器和传感技术紧密联系着。可见，应用、研究和开发传感器和传感技术是信息时代的必然要求。

1.1.1 传感技术的定义及作用

传感器是一种把物理量或化学量转变成便于利用的电信号的器件，国际电工委员会（International Electrotechnical Committee, TEC）的定义为“传感器是测量系统中的一种前置部件，它将输入变量转换成可供测量的信号”。在国家标准 GB/T 7665—2005《传感器通用术语》中，传感器被定义为“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。其中，敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分；转换元件是指传感器中能将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部分”。原机械工业部在制定的《过程检测控制仪表术语》中，对传感器的定义是“借助于检测元件接收物理量形式的信息，并按一定规律将它转换成同样或别种物理量形式的信息仪表”。《新韦氏大词典》中对传感器的定义是“传感器是从一个系统接收功率，通常以另一种形式将功率送到第二个系统中的器件”。

传感技术是关于从自然信息源获取信息，并对之进行处理（变换）和识别的一门多学科交叉的现代科学与工程技术，它涉及传感器、信息处理和识别的规划设计、开发、制造、测试、应用、评价及改进等活动。传感器输出的信号具有不同形式，例如电压、电流、频率、脉冲等，以满足信息的传输、处理、记录、显示和控制等要求。

传感器是测量装置和控制系统的重要组成部分。获取信息靠各类传感器，如各种物理量、化学量或生物量的传感器。传感器的功能与品质决定了传感系统获取自然信息的数据量和质量，是高品质传感系统构造的关键因素之一。现代电子技术和电子计算机为信息转换与处理提供了先进的手段，使检测与控制技术发展到了崭新阶段。但是，如果没有各种精确可靠的传感器检测各种原始数据并提供真实的信息，电子计算机也无法发挥其应有的作用。

根据能源供应情况可以将传感器分为两大类，即有源传感器和无源传感器。有源传感器能将一种能量形式直接转变成另一种，不需要外界的能源或激励源；无源传感器不能直接转换能量形式，但是它能控制从另一输入端输入的能量或激励能，传感器承担着将某个对象或过程的特定特性转换成可度量的特性的工作。传感器的对象可以是固体、液体或气体等，对象的状态可以是静态的，也可以是动态（即过程）的。对象特性被转换量化后可以通过多种方式检测，对象的特性可以是物理性质的，也可以是化学性质的。传感器一般将对象特性或状态参数转换成可测定的电学量，然后将此电信号分离出来，送入传感器系统。

1.1.2 传感技术与传感系统

传感系统是执行测试任务的传感器、仪器和设备的总称，当测试的目的和要求不同时，所用的测量装置差别较大，从简单的温度计到复杂的虚拟测试系统都是传感系统。智能传感系统结合自动控制系统可以构成自动测量与控制系统，它以计算机为核心，通过应用程序将计算机与功能化硬件（测量系统与控制系统）结合起来，用户可通过计算机图形界面实现目标系统的测量与控制，使测量控制系统的用户不但能够像在传统程控化仪器中那样完成过程控制、数据运算和处理工作，而且可以采用软件代替传统仪器的某些硬件功能，通过显示终端对生产过程进行监督和操纵，键盘和显示屏幕代替了庞大的控制仪表盘及大量的开关和按钮。

图 1-1 给出测量与控制系统的组成与信号流向。图中的实线框部分组成了智能传感系统，测控对象、数据处理显示单元与虚线框部分构成自动控制系统。

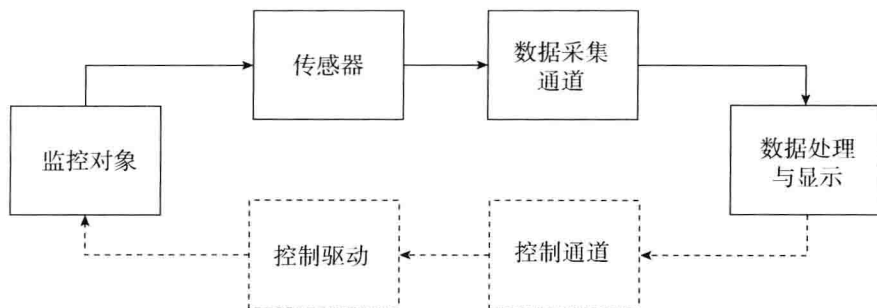


图 1-1 测量与控制系统框图

监控对象为感兴趣的测控目标，比如各种机械、设备、环境、建筑、生产加工过程等。

传感器是感受被测量的大小并输出相应信号的器件或装置,传感器负责采集监控对象的有关信息,并转换成系统可以识别的信号,经过数据采集通道送到数据处理与显示单元。处理单元对采集数据进行加工处理,并以要求的方式返回给用户,从而实现传感系统的功能。数据显示环节将被测量信息变成人体感官能接受的形式,以完成监视、控制或分析的目的。测量结果可以采用模拟显示或数字显示,也可以由记录装置进行自动记录或由打印机将结果打印出来。如果需要对目标施加控制,数据采集与显示单元在采集数据加工处理的基础上,根据应用系统的逻辑要求,通过控制通道向控制驱动部分发出控制信号,控制驱动部分根据控制信号控制监控对象执行相关操作,从而实现控制系统的功能。传感器的数量与控制驱动的复杂度及需要监控的参数数量直接相关。数据采集与控制通道完成必要的信号处理和变换、传输及电气隔离等功能,如对信号进行放大、运算、线性化、数/模或模/数转换,变换成另一种参数信号或变换成某种标准化的统一信号,使其输出信号既可用于自动测控系统,也可与计算机系统连接,以便对测量信号进行信息处理。传输的信号一般包括模拟量、开关量、数字量等。

物联网对传感系统或测量与控制系统提出了新要求,主要体现在数据处理与显示部分的网络连接能力及由分布式传感与控制系统所带来的问题。网络连接能力要考虑连接的方便性、可靠性、连接成本、连接手段的多样性、信息传输延迟等;分布式传感与控制要考虑网络设备搜索与辨识能力、分布式数据管理与使用方法、数据综合与信息融合、信息安全与认证等。

1.1.3 物联网与传感技术

物联网主要涉及三个因素,即“物”、“网”及“联”。“物”是与物联网相关的客观对象,即需要连入网络的各种目标;“网”是用于连接各种目标的信息传输载体,随着三网融合的推进及各种传输技术的普及,除包括传统互联网,网络的内涵会进一步丰富,将不断融合各种传输技术以满足不同应用需求;要实现“物”与“网”的“联”通,则必然要用到传感技术与传感器,只有通过传感器才能采集量化“物”的各项物理指标,“联”的核心是传感器与传感技术,它是“物”与“网”之间的桥梁和纽带。

衡量传感器的性能有很多指标,比如灵敏度、线性度、误差率、响应范围、特性漂移等,物联网的发展对传感技术提出了更高的要求。随着应用的发展及监控对象及种类的不断增加,要求开发更新的传感技术及传感器,以满足目标检测的可行性与方便性要求;需要提供丰富的传感器种类,以满足各种应用条件下对精度、响应速度、应用环境、装配条件、成本控制、抗干扰能力的要求;具有一定处理能力的复合型多功能智能传感器会具有更大的市场需求。



1.2 传感器的组成及分类

1.2.1 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成,组成框图如图1-2所示。



图 1-2 传感器组成框图

1. 敏感元件

敏感元件是直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的某一种量的元件。图 1-3 是一种气体压力传感器的示意图。膜盒 2 的下半部与壳体 1 固定连接，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，电感线圈接入转换电路 5。这里的膜盒就是敏感元件，其外部与大气压力 P_a 相通，内部与被测量压力 P 相通。当 P 变化时，引起膜盒上半部移动，即输出相应的位移量。

2. 转换元件

敏感元件的输出量就是转换元件的输入量，转换元件把输入量转换成电路参量。在图 1-3 中，转换元件是电感线圈 3，它把输入的位移量转换成电感的变化。

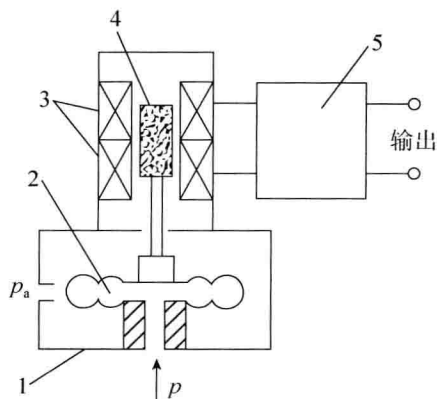


图 1-3 压力传感器

1 - 壳体 2 - 膜盒 3 - 电感线圈 4 - 磁芯 5 - 转换电路

3. 转换电路

上述电路参数接入转换电路，便可转化成电量输出。

对于数量众多的传感器，有些很简单，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，其中的质量块是敏感元件，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在结构上常常装在一起的。为了减小外界的影响也希望将转换电路和它们装在一起，不过由于空间的限制或者其他原因，转换电路常置于传感器外部。尽管如此，因为不少传感器要在通过转换电路之后才能输出电量信号，从而决定了转换电路是传感器的组成环节之一。一般情况下，转换电路后面的后续电路，如信号放大、处理、显示等电路，就不再包括在传感器范围之内了。