



“十三五”江苏省高等学校重点教材
普通高等教育“十三五”系列教材

传感器原理与应用

(第2版)

主 编 钱显毅
副主编 钱爱玲 陈先博 徐 军



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



“十三五”江苏省高等学校重点教材 (编号: 2018-1-061)
普通高等教育“十三五”系列教材

传感器原理与应用

(第2版)

主 编 钱显毅

副主编 钱爱玲 陈先博 徐 军



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

传感器是实现产业转移升级,实现产业高质量发展的重要器件。本教材是江苏省“十三五”重点建设项目,主要内容包括传感器的物理定律与技术基础、应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、热电式传感器、磁电式传感器、光电式传感器、信号检测与传输放大电路等。

本教材可作为普通高等学校电子信息工程、电气工程、自动化、电子科学与技术、光电工程、计算机科学与技术等的教材或参考书,也可供相关工程技术人员参考,特别适合卓越工程师培养之用。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与应用 / 钱显毅主编. -- 2版. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2020. 5

“十三五”江苏省高等学校重点教材 普通高等教育
“十三五”系列教材

ISBN 978-7-5170-8570-6

I. ①传... II. ①钱... 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(2020)第106504号

书 名	“十三五”江苏省高等学校重点教材 普通高等教育“十三五”系列教材 传感器原理与应用 (第2版) CHUANGANQI YUANLI YU YINGYONG
作 者	主编 钱显毅 副主编 钱爱玲 陈先博 徐 军
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.25印张 322千字
版 次	2013年2月第1版 2013年2月第1次印刷 2020年5月第2版 2020年5月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	36.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第 2 版前言

本教材坚持新时代中国特色社会主义思想 and 党的十九大精神，以 2018 年全国教育大会成都会议精神为导向，依据《教育部关于做好 2018 年普通高校招生工作的通知》（〔2018〕（2）号）和江苏省《省教育厅关于做好 2018 年高等学校省重点教材立项建设工作的通知》（苏教高函〔2018〕36 号）的精神改编。编者紧紧围绕全面提高人才培养能力这个核心点，为加快形成高水平人才培养体系，培养全面发展的社会主义建设者和接班人，加快建设高水平本科教育，全面提高人才培养能力，对《传感器原理与应用》进行了改编。

传感器是实现产业转移升级，实现产业高质量发展的重要器件。本教材能反映学科行业新知识、新技术、新成果，内容创新、富有特色；能更好地培养和开发大学生创新创业能力。

本教材的改革思路有以下 5 个方面：

(1) 以教材项目建设为契机，通过校企合作的工作机制，与江苏省高新企业特别是江苏省传感器企业合作，聘请这些企业的一线技术骨干参与教材修订工作，使本教材成为理论与实践相结合、满足毕业要求指标点的典范教材。

(2) 增强传感器实践设计和创新设计教学，加强创新和应用性的教学引导。教材以培养应用型和创新人才为出发点，在阐述电气工程施工组织与管理的同时，强调理论联系实际，并以培养学生解决工程实际组织管理问题的能力为目标。

(3) 紧跟传感器技术发展前沿，不断更新传感器理论和应用知识，补充完善传感器在节能环保、生态建设方面的内容，增加绿色环保案例教学内容，增强学生在传感器与电气工程方面的绿色环保意识。

(4) 建设立体化教材，紧密结合新时代发展，优化教师教学内容和方式，变革学生的学习模式。以教材为载体，通过物联网技术建设网络教学资源，实现网络共享，教材内容电子化、信息化，让学生可以通过手机扫描，随时随地进行学习。

(5) 紧紧围绕教育部品牌专业建设和专业论证的要求，依据毕业核心指

标点的以下要求：能应用电气工程专业知识，通过文献研究，对电气工程领域复杂工程问题进行识别、分析、表达，以获得有效结论；能够根据实验方案构建实验系统，正确地操作实验装置，安全地开展实验，提取有效数据；理解电气技术、产品的开发和应用对社会、健康、安全、法律及文化的影响和应承担的责任。

本教材具有以下特色：

(1) 具有时代性、先进性、创新性、实践性。符合教育部2018年(2)号文件和江苏省《省教育厅关于做好2018年高等学校省重点教材立项建设工作的通知》(苏教高函〔2018〕36号)的精神，为培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量工程技术人才和卓越工程师打下良好的专业基础。

(2) 特色鲜明，实用性强，方便读者自学。相关章节中有传感器的应用知识，方便学生自学；将每个知识点紧密结合到相关学科，可以提高学生学习兴趣，适应不同基础的学生自学。

(3) 重点突出，简明清晰，结论表述准确。本教材对传感器的公式不求严格证明过程，但对传感器的结构、原理表达清晰，结论准确，有助于学生建立传感器的数理模型，培养学生的形象思维能力和解决工程实际问题的能力。

(4) 难易适中，适用面广，符合因材施教的要求，适合不同的基础读者学习和参考，也有利于普通高校教学。

(5) 系统性强，强化应用，培养学生动手能力。本教材在编写过程中，在确保传感器知识系统性的基础上，调研并参考了相关行业专家的意见，特别适用于卓越工程师的培养，可用于培养创新型、实用型人才。

(6) 使用方便，内容丰富，便于考试考查。习题与思考题便于教师教学和学生自学。

本教材由钱显毅(常州工学院)编写第1~5章、各章习题与工程设计，钱爱玲(台州学院)编写第6~7章，陈先博(江苏贝豪控股集团有限公司)编写第8章，徐军(昆山百希奥电子科技有限公司)编写第9章。

由于时间仓促，本书中的错误或不妥之处，恳请读者指正。

需用本教材教学资料的教师请与QQ634918683或QQ群236425612联系。

编者

2020年5月

第1版前言

为了贯彻落实教育部《国家中长期教育改革和发展规划纲要》和《国家中长期人才发展规划纲要》的重大改革,根据教育部2011年5月发布的《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》,本着教材必须符合教育规律,具有科学性、先进性、适用性,进一步完善具有中国特色的普通高等教育本科教材体系的精神和“卓越工程师教育培养计划”的具体要求,编写了本书。

本书具有以下特色:

(1) 符合教育部《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》的精神,具有时代性、先进性、创新性,可为培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才和卓越工程师打下良好的专业基础。

(2) 特色鲜明,实用性强,方便读者自学。相关章节中安排有传感器的应用知识,方便学生自学,将每个知识点紧密结合到相关学科,可以提高学生学习兴趣,适应不同基础的学生自学。

(3) 重点突出,简明清晰,结论表述准确。对传感器的有关计算公式不要求严格证明过程,但对传感器结构、原理表达清晰,结论准确,有利于帮助学生建立传感器的数理模型,培养学生的形象思维能力和解决实际工程的能力。

(4) 难易适中,适用面广,符合因材施教的原则。适合不同基础的读者学习和参考,也有利于普通高校教学。

(5) 系统性强,强化应用,培养动手能力。本书编写过程中,在确保传感器知识系统性的基础上,调研并参考了相关行业专家的意见,特别适用于卓越工程师等创新型、实用型人才的培养。

(6) 使用方便,容易操作,便于考试考查。习题与思考题便于教师教学和学生自学。

本书共12章,绪论和附录由钱显毅编写,第1~5章由何一鸣编写,第6~8章由张刚兵编写,第9~12章由钱爱玲、钱显忠、钱显毅、李青龙共同编

写。全书由钱显毅负责统稿。

由于时间仓促，本书中的错误或不妥之处，恳请读者指正。

需要教学用 PPT 等教学资料的，请与 QQ634918683 或 QQ 群 236425612 联系。

编者

2012 年 6 月

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第 1 章 传感器的物理定律与技术基础	1
1.1 传感器的物理定律	1
1.1.1 传感器的检测与传输	1
1.1.2 数理规律是传感器的基本定律	2
1.1.3 传感器的结构与类型	3
1.1.4 传感器的主要性能与要求	5
1.2 传感器技术基础	5
1.2.1 传感器的数学模型	5
1.2.2 传感器的特性与指标	7
1.2.3 改善传感器性能的技术途径	18
1.2.4 传感器的合理选用	21
1.2.5 传感器的标定与校准	24
1.3 传感器的地位、作用与发展趋势	27
1.3.1 传感器的地位、作用	27
1.3.2 传感器的发展趋势	28
习题与工程设计	31
参考文献	33
第 2 章 应变式传感器	35
2.1 电阻应变片的原理	35
2.1.1 电阻应变效应与应变片结构	35
2.1.2 电阻应变片工作原理	35
2.1.3 应变片种类	37
2.2 金属应变片的主要特性	37
2.2.1 应变片的灵敏系数	37
2.2.2 横向效应	38
2.2.3 应变片温度误差及补偿方法	38

2.3	电阻应变片测量电路	40
2.3.1	直流电桥工作原理	40
2.3.2	交流电桥工作原理	43
2.4	应变式传感器的工程应用	45
2.4.1	力传感器(测力与称重)	45
2.4.2	膜片式压力传感器	48
2.4.3	应变式加速度传感器	48
2.4.4	压阻式传感器	49
	习题与工程设计	49
	参考文献	50
第3章	电容式传感器	52
3.1	工作原理与分类	52
3.1.1	变极距型电容式传感器	53
3.1.2	变面积型电容式传感器	54
3.1.3	变介质型电容式传感器	56
3.2	测量电路	56
3.2.1	交流电桥(调幅电路)	56
3.2.2	运算放大器式电路	57
3.2.3	调频电路	57
3.3	电容式传感器的工程应用	58
3.3.1	变面积型电容式位移传感器	59
3.3.2	电容式压力传感器	59
3.3.3	电容式条干仪	60
	习题与工程设计	63
	参考文献	65
第4章	电感式传感器	67
4.1	自感式传感器	67
4.1.1	变隙式传感器	67
4.1.2	变面积式传感器	70
4.1.3	螺管式传感器	70
4.1.4	差动式传感器	71
4.1.5	电感式传感器的测量电路	71
4.2	互感式传感器	73
4.2.1	变隙式差动变压器	73
4.2.2	螺管式差动变压器	75
4.3	电涡流式传感器	79
4.3.1	工作原理	79

4.3.2	测量电路	81
4.3.3	电涡流式传感器的应用	83
	习题与工程设计	84
	参考文献	88
第5章	压电式传感器	89
5.1	压电效应及材料	89
5.1.1	压电效应	89
5.1.2	压电材料	90
5.2	压电方程及压电常数	92
5.2.1	石英晶体的切型及符号	93
5.2.2	压电方程及压电常数矩阵	93
5.3	等效电路及测量电路	94
5.3.1	等效电路	94
5.3.2	测量电路	95
5.4	压电式传感器及其应用	99
5.4.1	类型、形式和应用特点	99
5.4.2	压电式加速度传感器	100
5.4.3	压电式力和压力传感器	105
	习题与工程设计	107
	参考文献	109
第6章	热电式传感器	111
6.1	热电阻传感器	111
6.1.1	热电阻材料的特点	111
6.1.2	铂、铜热电阻的特性	112
6.1.3	热敏电阻	112
6.1.4	其他热电阻	115
6.2	热电偶传感器	115
6.2.1	热电效应及其工作定律	115
6.2.2	热电偶	117
6.3	热电式传感器的应用	119
6.3.1	测量管道流量	119
6.3.2	热电式继电器	119
	习题与工程设计	120
	参考文献	121
第7章	磁电式传感器	123
7.1	磁电感应式传感器	123
7.1.1	工作原理和结构形式	123

7.1.2	磁电感应式传感器基本特性	124
7.1.3	磁电感应式传感器测量电路	125
7.1.4	磁电感应式传感器的应用	126
7.2	霍尔式传感器	127
7.2.1	霍尔效应	127
7.2.2	霍尔元件	128
7.2.3	霍尔元件的误差及补偿	128
7.2.4	霍尔元件的应用	130
7.2.5	霍尔集成传感器	131
7.3	磁敏电阻传感器	133
7.3.1	磁敏电阻	133
7.3.2	磁敏晶体管	135
	习题与工程设计	139
	参考文献	141
第 8 章	光电式传感器	142
8.1	光源	143
8.1.1	对光源的要求	143
8.1.2	常用光源	144
8.2	常用光电器件	145
8.2.1	外光电效应及器件	146
8.2.2	内光电效应及器件	147
8.2.3	光电器件的特性	149
8.3	光敏器件	152
8.3.1	光位置敏感器件	152
8.3.2	集成光敏器件	152
8.3.3	固态图像传感器	153
8.3.4	高速光电器件	155
8.3.5	半导体色敏器件	156
8.4	光电式传感器的类型与应用	158
8.4.1	光电式传感器的类型	158
8.4.2	光电式传感器的应用	159
	习题与工程设计	164
	参考文献	166
第 9 章	信号检测与传输放大电路	168
9.1	电压和电流放大电路	168
9.1.1	信号源及等效电路	169
9.1.2	集成运算放大器	169

9.1.3	比例放大电路	170
9.1.4	仪用放大器	171
9.2	电桥及其放大电路	176
9.2.1	交流电桥	176
9.2.2	电桥放大器	177
9.3	高输入阻抗放大器	178
9.3.1	复合跟随器	179
9.3.2	自举型高输入阻抗放大器	180
9.3.3	高输入阻抗放大器的计算	181
9.3.4	高输入阻抗放大器信号保护	182
9.3.5	高输入阻抗放大器制作装配工艺	183
9.4	低噪声放大电路	184
9.4.1	噪声的基本知识	185
9.4.2	噪声电路计算	187
9.4.3	信噪比与噪声系数	188
9.4.4	晶体三极管的噪声	189
9.4.5	低噪声电路设计	193
	习题与工程设计	194
	参考文献	197

第 1 章 传感器的物理定律与技术基础

内容摘要：本章主要介绍传感器的基本定律、数学模型及技术指标。强调数理规律是传感器的基本定律，传感器在实现产业升级和装备智能化中的重要作用，以及传感器技术是应对社会老龄化的重要举措。

理论教学要求：理解数理规律是传感器的基本定律，了解传感器的结构与类型、主要性能与要求，初步了解改善传感器性能的技术途径以及传感器的地位、作用与发展趋势。

实践教学要求：根据本章所学内容，参考相关资料，写出有关传感器基础知识方面的报告（要求 5000 字左右，内容包括传感器的基本定律、数理模型及技术指标，以及传感器在实现产业升级和装备智能化中的重要作用，强调传感器技术是应对社会老龄化的重要举措）。

1.1 传感器的物理定律

1.1.1 传感器的检测与传输

传感器发展到今天，其功能应该是“感、传、显、控”，即“感知（检测）、传输、显示、控制”，严格地讲，“感传显控器”更加名副其实，更能代表传感器的本意。传统意义上，传感器更强调感知功能。

(1) “感”。什么是传感器？生物体的感官就是天然的传感器。如人的“五官”——眼、耳、鼻、舌、皮肤分别具有视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉。人们的大脑神经中枢通过五官的神经末梢（感受器）就能感知外界的信息^[1]。

也可以说，眼，具有视觉功能，相当于光学视频传感器敏感元件；耳，具有听觉功能，相当于声学传感器敏感元件；鼻，具有嗅觉功能，相当于生化传感器敏感元件；舌，具有味觉功能，相当于化学传感器敏感元件；皮肤，具有触觉功能，相当于压力传感器敏感元件^[2]。

由图 1.1 所示的人与机器的功能对应关系可见，传感器作为模拟人体感官的“电五官”，是机器系统猎取外界信息的“窗口”。如果将外界研究对象也视为系统，从广义上讲传感器就是系统之间实现信息交流的“接口”，它为机器系统提供进行处理和决策所必需的对象信息，是高度自动化系统乃至现代尖端技术设备必不可少的关键组成部分^[2]。

(2) “传”。感知（检测）不是传感器的目的，而是传感器工作的第一步过程，将感知（检测）的信号进行传输、显示和控制，才是目的。在工程科学与技术领域里，可以认为：传感器是人体“五官”的工程模拟物。传感器也可以定义为：能感受规定的被测量（包括

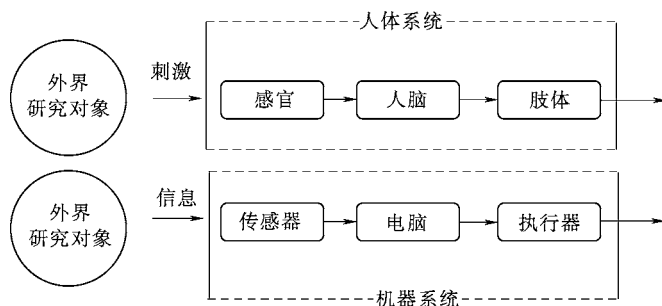


图 1.1 人与机器的功能对应关系

物理量、化学量、生物量等）并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置，通常由敏感元件（sensing element）和转换元件（transduction element）组成。

应当指出，这里所谓的可用信号是指便于处理、传输的信号。当今电信号最易于处理和便于传输，因此，可把传感器狭义地定义为：能把外界非电信息转换成电信号输出的器件或装置。可以预料，当人类跨入光子时代，特别是随着量子通信技术的发展，光信息成为更便于快速、高效处理与传输的信号时，传感器的概念将随之发展成为：能把外界信息或能量转换成光信号或能量输出的器件或装置。

介于感知元件与输出器件中间对信号进行变换和传送的过程，称为传输，这部分对应的电路称为传输电路，也就是“传”。

(3) “显”。将感知元件与输出器件的输出信号显示并记录下来的过程称为“显”。随着信息科学与微电子技术，特别是微型计算机与通信技术的迅猛发展，近期传感器的发展走上了与微处理器、微型计算机和通信技术相结合的必由之路，传感器的概念因此进一步扩充，如智能（化）传感器、传感器网络化等新概念应运而生。而“显”也变成了由计算机显示与记录。

(4) “控”。传感器技术是以传感器为核心，论述其内涵、外延的学科；也是一门由测量技术、功能材料、微电子技术、精密与微细加工技术、信息处理技术和计算机技术等相互结合形成的密集型综合技术。随着计算机技术的发展，计算机不仅用于显示与记录信号，也用于控制，现代传感器的控制也变成了由计算机或计算中心执行完成。

传感器的广义定义为：“凡是利用一定的物质（物理、化学、生物）法则、定理、定律、效应等进行能量转换与信息转换，并且输出与输入严格一一对应的器件或装置均可称为传感器。”因此，传感器又被称作检测器、换能器、变换器等。

党的十九大以来，党和国家高度重视产业转移升级。传感器是智能化、自动化的关键器件，是实现产业转移升级的重要元素，学习好传感器是实现产业转移升级、应对人口老龄化、实现中国梦的基础。^[3]

1.1.2 数理规律是传感器的基本定律

传感器之所以具有能量信息转换的机能，在于它的工作机理是基于各种物理的、化学的和生物的效应，并受相应的定律和法则所支配。了解这些定律和法则，有助于我们对传感器本质的理解和对新效应传感器的开发。在本书论述的范围内，作为传感器工作物理基

础的基本定律和法则有以下四种类型：

(1) 守恒定律，包括能量、动量、电荷量等守恒定律。这些定律是探索、研制新型传感器或分析、综合现有传感器时，都必须严格遵守的基本法则。

(2) 场的定律，包括运动场的运动定律、电磁场的感应定律等。其相互作用与物体在空间的位置及分布状态有关，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。例如利用静电场定律研制的电容式传感器；利用电磁感应定律研制的自感、互感、电涡流式传感器；利用运动定律与电磁感应定律研制的磁电式传感器等。利用场的定律构成的传感器，其形状、尺寸（结构）决定了传感器的量程、灵敏度等主要性能，故此类型传感器可统称为结构型传感器。

(3) 物质定律。它是表示各种物质本身内在性质的定律（如胡克定律、欧姆定律等），通常以这种物质所固有的物理常数来描述，这些常数的大小决定着传感器的主要性能。如利用半导体物质法则——压阻、热阻、磁阻、光阻、湿阻等效应，可分别做成压敏、热敏、磁敏、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、声表面波、超声等传感器。这些基于物质定律的传感器，可统称为物性型传感器，是当代传感器技术领域中具有广阔发展前景的传感器。

(4) 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。这方面的研究有待进一步深入。

综上所述，数学逻辑和物理规律是传感器主要的基本定律。

1.1.3 传感器的结构与类型

由 1.1.1~1.1.2 节已知，当今的传感器是一种能把非电输入信息转换成电信号输出的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。其典型的组成及功能如图 1.2 所示。其中敏感元件是构成传感器的核心。

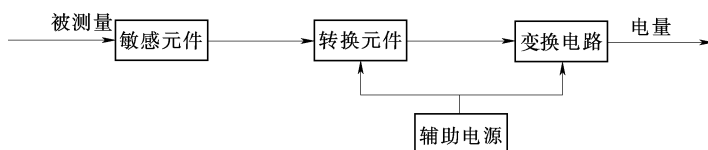


图 1.2 传感器典型组成及功能框图

图 1.2 的功能原理具体体现在结构型传感器中。

对物性型传感器而言，其敏感元件集敏感、转换功能于一身，即可实现被测非电量—有用电量的直接转换。

实际上，传感器的具体构成方法视被测对象、转换原理、使用环境及性能要求等具体情况的不同而有很大差异。图 1.3 所示为典型的传感器构成形式。

(1) 自源型。此形式为仅含有敏感元件的最简单、最基本的传感器构成形式。此形式的特点是无需外能源，故又称为无源型。其敏感元件具有从被测对象直接吸取能量，并转换成电量的效应，但输出电量较弱。如热电偶、压电器件等。

(2) 辅助能源型。它是敏感元件外加辅助激励能源的构成形式。辅助能源可以是电

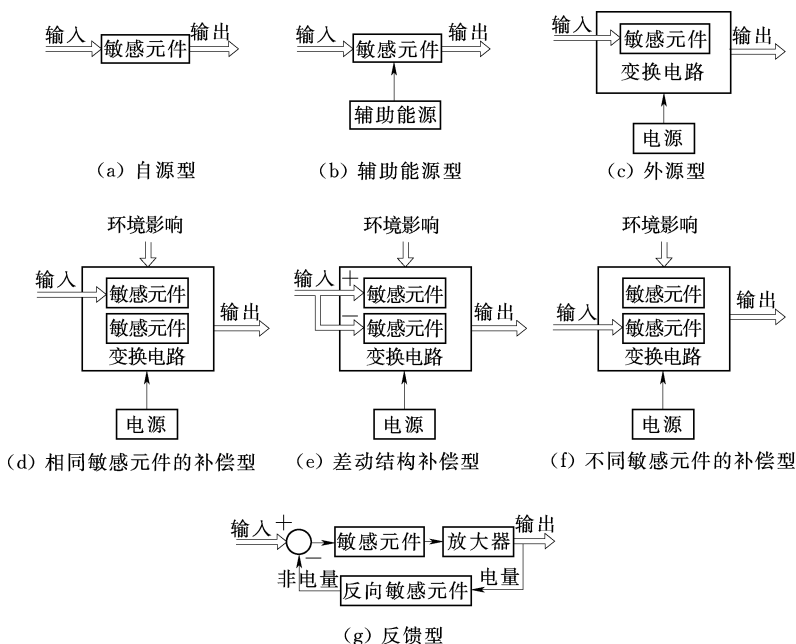


图 1.3 传感器的构成形式

源，也可以是磁源。传感器输出的能量由被测对象提供，因此是能量转换型结构。如光电 2 管、光敏二极管、磁电式和霍尔等电磁感应式传感器即属此型。其特点是，不需要变换（测量）电路即可进行较大的电量输出。

(3) 外源型。它由能对被测量阻抗变换的敏感元件和带有外电源的变换（测量）电路构成。其输出能量由外电源提供，属于能量控制（调制）型结构，如电阻应变式、电感式、电容式位移传感器及气敏、湿敏、光敏、热敏等传感器均属于此型。所谓变换（测量）电路，是指能把转换元件输出的电信号调理成便于显示、记录、处理和控制的可用信号的电路，故又称为信号调理与转换电路。常用的变换（测量）电路有电桥、放大器、振荡器、阻抗变换器和脉冲调宽电路等。

实际应用中，这种构成形式的传感器特性要受到使用环境的影响，图 1.3 (d)、(e)、(f) 是目前消除环境变化的干扰而广泛采用的线路补偿法构成形式。

(4) 相同敏感元件的补偿型。采用两个原理和特性完全相同的敏感元件，并置于同一环境中，其中一个接收输入信号和环境影响，另一个只接收环境影响，通过电路，使后者消除前者的环境干扰影响。这种构成法在应变式、固态压阻式等传感器中常被采用。

(5) 差动结构补偿型。它也采用了两个原理和特性完全相同的敏感元件，同时接收被测输入量，并置于同一环境中。巧妙的是，两个敏感元件对被测输入量作反向转换，对环境干扰量作同向转换，通过变换（测量）电路，使有用输出量相加，干扰量相消。如差动电阻式、差动电容式、差动电感式传感器等即属此型。

(6) 不同敏感元件的补偿型。采用两个原理和性质不相同的敏感元件，两者同样属于同一环境中。其中一个接收输入信号，并已知其受环境影响的特性；另一个接收环境影响量，并通过电路向前者提供等效的抵消环境影响的补偿信号。如采用热敏元件的温度补

偿，采用压电补偿片的温度和加速度干扰补偿等。

(7) 反馈型。这种构成法引入了反馈控制技术，用正向、反向两个敏感元件分别作测量和反馈元件，构成闭环系统，使传感器输入处于平衡状态。因此，此种形式的传感器又称为闭环式传感器或平衡式传感器，如图 1.3 (g) 所示。这种传感器系统具有高精度、高灵敏度、高稳定、高可靠性等特点，如力平衡式压力、称重、加速度传感器等。

在此，再引入传感器系统的构成概念。

目前，人们已日益重视借助于各种先进技术手段来实现传感器的系统化。例如利用自适应控制技术、微型计算机软硬件技术来实现传统传感器的多功能与高性能。将传感器技术和其他先进技术相结合，从结构与功能的扩展上构成一个传感器系统。或者，可根据复杂对象监控的需要，将上述各种基本形式的传感器作为选择组合，构成一个复杂的多传感器系统。近年来也相应出现了多信息融合技术传感器、智能传感器等十分先进的传感器系统。

1.1.4 传感器的主要性能与要求

用于不同科技领域或行业的传感器种类繁多：一种被测量可以用不同的传感器来测量；而同一原理的传感器通常又可分别测量多种被测量。因此，传感器的分类方法五花八门。了解传感器的分类，旨在从总体上加深理解，便于应用。

还有按与某种高技术、新技术相结合而得名的传感器，如集成传感器、智能传感器、机器人传感器、仿生传感器等，不胜枚举。

无论何种传感器，作为测量与控制系统的首要环节，都必须满足快速、准确、可靠而又经济地实现信息转换的基本要求，即：

(1) 足够的容量。传感器的工作范围或里程足够大；具有一定的过载能力。

(2) 灵敏度高，精度适当。即要求其输出信号与被测输入信号成对应关系（通常为线性），且比值要大；传感器的静态响应与动态响应的准确度能满足要求。

(3) 响应速度快，工作稳定，可靠性好。

(4) 适用性和适应性强。体积小，重量轻，动作能量小，对被测对象的状态影响小；内部噪声小而又不易受外界干扰的影响；其输出力要求采用通用或标准形式，以便与系统对接。

(5) 成本低，寿命长，节能高效，利于保护生态环境，且便于使用、维修和校准。

当然，能完全满足上述性能要求的传感器是很少有的。应根据应用的目的、使用环境、被测对象状况、精度要求和信息处理等具体条件做全面综合考虑。

1.2 传感器技术基础

1.2.1 传感器的数学模型

传感器是感受被测量信息的器件，希望它能按照一定的规律输出有用信号，需要研究其输出-输入关系及特性，以使用理论指导其设计、制造、校准与使用。为此，有必要建立传感器的数学模型。由于传感器可能用来检测静态量（即输入量是不随时间变化的常量）、准静态量或动态量（即输入量是随时间而变的变量），应该以带随机变量的非线性微