

仪器科学与技术学科研究生系列教学参考书

YIQI KEXUE YU JISHU XUEKE YANJIUSHENG XILIE JIAOXUE CANKAOSHU

XIANDAI CHUANGAN JISHU YU XITONG

现代传感 技术与系统

XIANDAI CHUANGAN JISHU YU XITONG

林玉池 曾周末 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件

仪器科学与技术学科研究生系列教学参考书

现代传感技术与系统

林玉池 曾周末 主 编



机械工业出版社

本书从传感器的基础理论入手,围绕传感技术的应用,介绍现代传感技术的共性知识,通过介绍典型传感技术和实际应用中传感系统的组成、结构,使读者掌握传感器及测试系统的原理、结构和应用的一般规律,以便举一反三,能通过检索、阅读相关资料轻松使用新的传感器。书中内容既有传统传感器,又有近年出现的新传感技术介绍,体现了现代传感技术的发展脉络。

本书内容突出传感领域的共性知识,涉及面宽,实用性强,适合作为仪器仪表、电子信息、自动化、机械工程、物理、材料等学科的研究生教学或自学用书,以及本科生的参考书,也可供相关领域的工程技术和科学研究人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代传感技术与系统/林玉池,曾周末主编. —北京:机械工业出版社, 2009.6

(仪器科学与技术学科研究生系列教学参考书)

ISBN 978-7-111-27236-6

I. 现… II. ①林…②曾… III. 传感器—研究生—教学参考资料
IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第082297号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王小东 贡克勤 责任编辑:王雅新 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 封面设计:马精明 责任印制:李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2009年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·30.5印张·753千字

标准书号:ISBN 978-7-111-27236-6

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379728

封面无防伪标均为盗版

前 言

传感技术作为信息的源头技术是现代信息技术的三大支柱之一，以传感器为核心逐渐外延，与物理学、测量学、电子学、光学、机械学、材料学、计算机科学等多门学科密切相关，是一门对高新技术极度敏感，由多种技术相互渗透、相互结合而形成的新技术密集型工程技术学科，是现代科学技术发展的基础。

随着现代科学技术的进步，传感技术学科内涵已发生深刻变化。它正在成为诸多自然科学领域的共性技术，成为多学科交汇点；传感器及其集成技术是信息获取的关键，被众多的产业广泛采用，它与信息科学另外两个部分——信息传输、信息处理正逐渐融为一体，并导致科学知识结构发生深刻变化。

目前，传感器的教材很多，适合不同专业、不同学科领域本科层次的教材不下几十种版本，但适合研究生层次的教材并不多。实际上，目前世界上传感器的种类多达2万多种，而新的传感器还在不断涌现，任何教材也难以穷尽。

本书为满足相关学科研究生教学的需要，力图从传感器的基础理论入手，围绕传感技术的应用，介绍现代传感技术的共性知识，通过介绍典型传感技术和实际应用中传感系统的组成、结构，使读者掌握传感器及测试系统的原理、结构和应用的一般规律，以便举一反三，能通过检索、阅读相关资料轻松使用新的传感器。书中内容既有传统传感器，又有近年出现的新传感技术介绍，体现了现代传感技术的发展脉络。

全书内容分三篇共15章。

第1篇传感基础。主要介绍传感器的共性问题以及所依据的定律、效应，包括传感器的定义、分类、信息与传感、传感器与自然规律、传感器的基础效应、传感器构成论、传感器的基础特性与评价等。

第2篇典型传感技术。针对几种典型的传感技术，从传感原理、方法入手，介绍传感技术应用中的共性内容，包括作用原理、常用典型传感器介绍、应用系统中涉及的辅助系统、部件、器件，以及典型应用实例等。选材突出近年来的新技术成果。

第3篇现代传感系统。主要介绍现场总线、分布式传感系统、多传感器数据融合、智能传感器系统和无线传感器网络等近年新出现的传感应用系统，以便为读者提供测试测量系统的应用范例。

本书第1~4、11章由天津大学林玉池教授编写，第5章由上海交通大学赵辉教授编写，第6章由上海交通大学陶卫副教授编写，第7章由天津大学郑继贵教授编写，第8章由上海交通大学吉小军副教授编写，第9、10章由北京化工大学王建林教授编写，第12.1、12.2节及第15章由北京航空航天大学万江文教授编写，第12.3节由万江文教授和天津大学刘常杰副教授编写，第12.4节由天津大学李健副教授编写，第13章由天津大学曾周末教授编写，第14章由华南理工大学刘桂雄教授编写。天津大学齐永岳博士参加了本书的资料收集和整理工作。全书由林玉池、曾周末组织并统稿。

由于时间仓促，编者水平有限，错误和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

2009年2月

目 录

前言

第 1 篇 传感基础

第 1 章 绪论 1

1.1 传感器及其分类 1

1.1.1 传感器的定义 1

1.1.2 传感器的分类 2

1.1.3 传感器与传感技术 4

1.2 信息与传感 5

1.2.1 信息与信息技术 5

1.2.2 信息的基本特征 7

1.2.3 传感技术是信息的源头技术 10

1.2.4 测量系统的信息模型 12

1.3 传感技术的特点和作用 17

1.3.1 传感技术的特点 17

1.3.2 传感技术的地位与作用 18

1.4 现代传感技术的发展现状与趋势 21

1.4.1 现代传感技术的发展现状 21

1.4.2 我国传感器产业发展现状及与国外的差距 23

1.4.3 现代传感技术的发展趋势 25

思考题 27

第 2 章 传感器的理论基础 28

2.1 信息获取与信息感知 28

2.1.1 信息获取 28

2.1.2 传感器涉及的基础理论 29

2.2 自然规律与传感器 32

2.2.1 守恒定律 32

2.2.2 场的定律——关于物质作用的定律 33

2.2.3 物质定律 35

2.2.4 统计物理学法则 39

2.3 传感器的基础效应 40

2.3.1 物质效应与物性型传感器 40

2.3.2 光电效应 40

2.3.3 电光效应 44

2.3.4 磁光效应 45

2.3.5 磁电效应 47

2.3.6 热电效应和热释电效应 48

2.3.7 压电、压阻和磁致伸缩效应 50

2.3.8 约瑟夫逊效应与核磁共振 52

2.3.9 光的多普勒效应和萨古纳克效应 54

2.3.10 声音的多普勒效应及声电、声光效应 56

2.3.11 与化学有关的效应 57

2.3.12 纳米效应 58

2.4 传感器的新型敏感材料 61

2.4.1 敏感材料的工作机理 61

2.4.2 敏感材料的类型与特性 61

2.4.3 新型敏感材料 63

2.5 弹性敏感元件 73

2.5.1 概述 73

2.5.2 弹性敏感元件的基本特性 74

2.5.3 弹性敏感元件的材料 76

2.5.4 典型弹性敏感元件 76

思考题 78

第 3 章 传感器构成论 79

3.1 传感器的构成方法 79

3.1.1 传感器的基本构成 79

3.1.2 传感器的结构类型 80

3.2 传感器与被测对象的关联 84

3.2.1 传感器与固体对象的关联 84

3.2.2 传感器与流体对象的关联 85

3.3 传感器对信号的选择 85

3.3.1 传感器信号选择机理 85

3.3.2 传感器的信号选择方式 86

3.4 传感器的传递矩阵 89

3.4.1 二端口传感器的一般表达式 89

3.4.2 二端口传感器的传递矩阵 90

3.4.3 二端口传感器的负载效应 91

3.4.4 传感器的广义输入、输出特性 92

3.4.5 负载效应的理论机理及消除方法 94

3.5 双向传感器统一理论.....	95	4.6.2 接地	141
3.6 传感器敏感元件的加工新 技术	95	4.6.3 浮置	142
3.6.1 薄膜技术.....	95	4.6.4 滤波	142
3.6.2 微细加工技术.....	96	4.6.5 光电耦合	144
3.6.3 离子注入技术.....	96	4.6.6 印制电路板的抗干扰	144
3.7 传感器的性能指标	97	4.6.7 传感器的抗干扰	145
3.7.1 传感器的静态数学模型及其静态 特性指标	98	4.7 改善传感器性能的技术途径.....	146
3.7.2 传感器的动态数学模型及其动态 特性指标	102	4.7.1 结构、材料与参数的合理选择	146
3.7.3 传感器的其他性能指标	109	4.7.2 差动技术	146
3.8 传感器的不失真测量条件	114	4.7.3 平均技术	146
3.8.1 输出信号的失真	114	4.7.4 补偿与校正	147
3.8.2 不失真测量条件	115	4.7.5 稳定性处理	147
思考题	116	4.7.6 屏蔽、隔离和干扰抑制	148
第4章 传感器的应用基础	117	4.7.7 零示法、微差法与闭环技术	148
4.1 测量概述	117	4.7.8 集成化与智能化	150
4.1.1 测量与计量	117	4.8 选用传感器的一般原则	151
4.1.2 测量误差的概念	118	思考题	151
4.1.3 测量精度	120	第1篇参考文献	153
4.1.4 测量的基本方法	122	第2篇 典型传感技术	
4.1.5 测量系统	123	第5章 光电传感技术	155
4.2 量值的传递与溯源	124	5.1 概述	155
4.2.1 量值的概念	124	5.1.1 光学基础知识	155
4.2.2 量值的传递	124	5.1.2 光电式传感器的组成及特点	159
4.2.3 量值的溯源	125	5.2 传感器用光源.....	159
4.2.4 量值传递与量值溯源的区别	126	5.2.1 对光源的基本要求	160
4.3 传感器的标定与校准	127	5.2.2 常用光源	160
4.3.1 标定和校准	127	5.3 光电探测器件及弱信号探测 技术	163
4.3.2 传感器的静态标定	130	5.3.1 光电探测器件	163
4.3.3 传感器的动态标定	130	5.3.2 弱信号探测	167
4.4 传感器的误差与信噪比	133	5.4 激光传感技术.....	172
4.4.1 传感器的误差	133	5.4.1 激光干涉法	172
4.4.2 传感器的信噪比.....	133	5.4.2 激光衍射法	173
4.5 噪声及其抑制.....	135	5.4.3 激光莫尔法	175
4.5.1 干扰与噪声	135	5.4.4 激光扫描法	176
4.5.2 传感器的噪声	135	5.4.5 激光准直法	177
4.5.3 噪声的耦合方式	136	5.4.6 激光测距	178
4.5.4 传感器的低噪化方法	137	5.4.7 散斑测量	179
4.6 传感器中的抗干扰措施	138	5.4.8 全息干涉测量	182
4.6.1 屏蔽	138	5.5 红外传感技术.....	185
		5.5.1 红外辐射的基本知识	185
		5.5.2 红外辐射的基本定律	185

5.5.3 红外探测器	187	7.2.5 CCD与CMOS图像传感器的 比较	233
5.5.4 红外传感系统的组成	188	7.3 3D视觉传感技术	234
5.5.5 红外探测的光学系统	189	7.3.1 3D视觉传感原理	234
5.5.6 红外探测的辅助电路	189	7.3.2 摄像机模型及结构参数标定 技术	235
5.5.7 红外测温	191	7.3.3 结构光视觉传感器	237
5.5.8 红外成像	192	7.3.4 双目立体视觉传感器	239
5.5.9 红外无损检测	193	7.3.5 组合视觉测量系统	240
思考题	194	7.4 智能视觉传感技术	241
第6章 光纤传感技术	195	7.4.1 智能视觉传感器及其结构组成 ..	241
6.1 光纤概述	195	7.4.2 智能视觉传感器的特点及其 发展趋势	242
6.1.1 光纤的基本概念	195	7.4.3 典型的智能视觉传感器	243
6.1.2 光纤的损耗与色散	197	7.5 视觉传感应用技术	244
6.1.3 光纤的偏振与双折射	198	7.5.1 汽车车身视觉检测系统	244
6.2 光纤用光源和传输连接器件	199	7.5.2 钢管直线度、截面尺寸在线视觉 测量系统	245
6.2.1 光纤用光源	199	7.5.3 三维形貌视觉测量	246
6.2.2 光纤无源器件	200	7.5.4 光学数码三维坐标测量	247
6.3 光纤传感原理	205	思考题	248
6.3.1 光纤传感器	205	第8章 声表面波传感技术	249
6.3.2 光纤中的光波调制技术	206	8.1 概述	249
6.4 光纤光栅传感器	209	8.2 声表面波技术基础知识	251
6.4.1 光纤光栅概述	209	8.2.1 声波及声表面波	251
6.4.2 光纤光栅传感器原理及特点	211	8.2.2 声表面波的主要性质	251
6.4.3 光纤光栅的耦合模理论	212	8.2.3 声表面波的激发——叉指 换能器	253
6.4.4 光纤光栅传感探测解调技术	212	8.3 研究SAW问题的相关基本 理论	254
6.4.5 长周期光纤光栅	216	8.3.1 压电效应及其本构方程	254
6.5 光纤传感器的应用	218	8.3.2 压电体内的波动方程	254
6.5.1 光纤位移传感器	218	8.3.3 压电介质中的Christofel方程	255
6.5.2 光纤压力传感器	220	8.3.4 压电基片切型表示	255
6.5.3 光纤温度传感器	221	8.3.5 张量的坐标转换	257
6.5.4 化学溶液浓度的测量	222	8.3.6 声表面波特性的理论分析	258
6.5.5 船舶结构健康监测系统	222	8.4 SAW传感器技术	259
思考题	223	8.4.1 SAW传感器的结构形式与 基本原理	259
第7章 视觉传感技术	224	8.4.2 SAW传感器的信号检测与处理 ..	261
7.1 概述	224	8.4.3 SAW传感器的温度补偿	264
7.1.1 生物视觉与机器视觉	224	8.5 典型声表面波传感器简介	267
7.1.2 Marr计算机视觉理论	225		
7.1.3 视觉传感测量技术的发展	226		
7.2 图像传感器	227		
7.2.1 摄像管工作原理	227		
7.2.2 电荷耦合摄像器件工作原理	228		
7.2.3 CCD图像传感器	230		
7.2.4 CMOS图像传感器	231		

8.5.1 声表面波压力(应力)传感器	267	10.3.6 离子选择性场效应晶体管	326
8.5.2 声表面波气体传感器	269	10.3.7 离子选择性电极的特点及应用	329
8.5.3 声表面波标签	272	思考题	332
思考题	274	第 11 章 前沿传感技术	333
第 9 章 生物传感技术	275	11.1 概述	333
9.1 概述	275	11.2 微机电传感器	333
9.1.1 生物传感器的工作原理	275	11.2.1 微传感器	333
9.1.2 生物传感技术的发展历史	276	11.2.2 微机电传感器的基础理论和 技术基础	333
9.1.3 生物传感器的分类	276	11.2.3 几种典型微机电传感器	338
9.2 生物传感技术的分子识别原理 与技术	277	11.3 软测量与软传感器	343
9.2.1 酶反应	277	11.3.1 软测量概述	343
9.2.2 微生物反应	279	11.3.2 软测量技术基本原理	344
9.2.3 免疫反应	280	11.3.3 软测量技术的应用	347
9.2.4 膜技术	282	11.4 模糊传感器	349
9.3 生物传感器仪器技术及其 应用	284	11.4.1 模糊理论与模糊传感器	349
9.3.1 酶传感器	284	11.4.2 模糊传感器的结构	351
9.3.2 微生物传感器	286	11.4.3 模糊传感器的应用	353
9.3.3 免疫传感器	290	11.5 混沌测量	356
9.3.4 基因传感器	295	11.5.1 混沌理论概述	356
9.3.5 微悬臂梁生物传感器	298	11.5.2 混沌在测量中的应用	358
9.3.6 生物芯片技术	301	11.6 仿生传感器	362
思考题	303	11.6.1 仿生学概述	362
第 10 章 化学传感技术	305	11.6.2 仿生传感器的工作原理	363
10.1 概述	305	11.6.3 电子鼻	364
10.1.1 化学传感器的工作原理	305	思考题	367
10.1.2 化学传感技术的发展历史	306	第 2 篇 参考文献	368
10.1.3 化学传感器的分类	306	第 3 篇 现代传感系统	
10.2 气敏化学传感技术及其应用	307	第 12 章 现代传感系统概述	371
10.2.1 引言	307	12.1 现代传感系统的组成特点和 发展趋势	371
10.2.2 气敏传感器的主要特性	308	12.1.1 现代传感系统的组成及特点	371
10.2.3 半导体气敏传感器	309	12.1.2 现代传感系统的发展趋势	372
10.2.4 固态电解质气敏传感器	313	12.2 分布式测量系统	373
10.2.5 其他气敏传感器	315	12.2.1 分布式测量系统及其特征	373
10.3 化学离子选择电极及其应用	317	12.2.2 典型分布式测量系统的组成 结构	374
10.3.1 引言	317	12.2.3 分布式测量系统的软件支持	376
10.3.2 离子敏选择电极的原理及 基本构造	318	12.2.4 分布式测量系统的设计开发	376
10.3.3 pH 玻璃电极	320	12.3 现场总线系统	377
10.3.4 晶体膜电极	322	12.3.1 现场总线系统的体系结构	378
10.3.5 活动载体膜电极	323		

12.3.2 典型现场总线协议	379	14.2.2 线性化校正	423
12.3.3 现场总线仪表	382	14.2.3 自诊断	424
12.3.4 现场总线系统的实现	384	14.2.4 动态特性校正	425
12.4 虚拟仪器	386	14.2.5 自校准与自适应量程	426
12.4.1 虚拟仪器的组成与特点	386	14.2.6 电磁兼容性	427
12.4.2 虚拟仪器的硬件支持	388	14.3 智能传感器系统的总线标准 ..	428
12.4.3 虚拟仪器软件标准与开发环境 ..	389	14.3.1 基于典型芯片级的总线	428
12.4.4 网络化虚拟仪器	391	14.3.2 USB 总线	437
12.4.5 虚拟仪器应用设计	393	14.3.3 IEEE1451 智能传感器接口	
思考题	396	标准	439
第 13 章 多传感器数据融合	397	14.4 智能传感器技术新发展	452
13.1 多传感器数据融合概述	397	14.4.1 嵌入式智能传感器	452
13.1.1 多传感器数据融合过程	397	14.4.2 阵列式智能传感器	453
13.1.2 多传感器数据融合的形式	399	思考题	454
13.2 多传感器数据融合模型	400	第 15 章 无线传感器网络	455
13.2.1 多传感器数据融合结构	400	15.1 网络组成	455
13.2.2 多传感器数据融合模型	402	15.1.1 无线传感器网络的网络结构	455
13.3 多传感器数据融合技术	406	15.1.2 传感器节点	456
13.3.1 多传感器数据融合算法的		15.1.3 无线传感器网络协议栈	456
基本类型	406	15.1.4 无线传感器网络的特点	457
13.3.2 Kalman 滤波	407	15.2 通信协议	458
13.3.3 基于 Bayes 理论的数据融合	408	15.2.1 物理层	458
13.3.4 基于神经网络的数据融合	409	15.2.2 MAC 协议	458
13.3.5 基于专家系统的数据融合	411	15.2.3 路由协议	460
13.3.6 基于聚类分析的数据融合	412	15.2.4 时间同步	462
13.4 多传感器数据融合技术的		15.2.5 定位	463
应用	413	15.2.6 拓扑结构控制	465
13.4.1 人体对气温的感受	413	15.3 硬件平台	466
13.4.2 管道泄漏检测中的数据融合	415	15.3.1 传感器节点	467
13.4.3 医学咨询与诊断专家系统	417	15.3.2 网关节点设计	468
13.4.4 多传感器数据融合技术的		15.3.3 WSN 测试平台	470
局限性	418	15.3.4 操作系统	472
思考题	419	15.4 无线传感器网络应用实例	473
第 14 章 智能传感技术	420	15.4.1 军事应用	474
14.1 智能传感器概述	420	15.4.2 城市生命线	475
14.1.1 智能传感器	420	15.4.3 健康监测	475
14.1.2 智能传感器的结构	420	15.4.4 环境监测	476
14.1.3 智能传感器的基本功能	421	15.4.5 大型场馆安全监测	476
14.2 智能传感器的关键技术	421	思考题	476
14.2.1 间接传感	422	第 3 篇参考文献	477

第1篇 传感基础

第1章 绪论

1.1 传感器及其分类

传感技术、通信技术和计算机技术是现代信息技术的三大支柱，构成信息系统的感官、神经和大脑，实现信息的获取、传递、转换和控制。传感技术是信息技术的基础、传感器的性能、质量和水平直接决定了信息系统的功能和质量。因此，国外一些著名专家评论说“征服了传感器就等于征服了科学技术。”

1.1.1 传感器的定义

人的大脑通过五种感觉器官（人的“五官”——眼、耳、鼻、舌、皮肤分别具有视、听、嗅、味、触觉），对外界的刺激做出反应。人们为了从外界获取信息，必须借助于感觉器官。而单靠人们自身的感觉器官，在研究自然现象和规律以及生产活动中，它们的功能就远远不够了。为了获取更多的信息，人类发明了传感器。人体的感官属于天然的传感器；而人们常说的传感器是人类五官的延伸，是人类的第六感官，也称之为电五官。它是人体“五官”的工程模拟物，是一种能把特定的被测量的信息（包括物理量、化学量、生物量等）按一定规律转换成某种可用信号输出的器件或装置。

国家标准（GB/T7665—1987）对传感器的定义是：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。

传感器是一种信息拾取、转换装置，是一种能把物理量或化学量或生物量等按照一定规律转换为与之有确定对应关系的、便于应用的、以满足信息传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求的某种物理量的器件或装置。这里包含了以下几方面的意思：①传感器是测量器件或装置，能完成一定的检测任务；②它的输入量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量、生物量等；③它的输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示和控制等，这种量可以是气、光、磁、电量，也可以是电阻、电容、电感的变化量等；④输出输入有确定的对应关系，且应有一定的精确度。由于电学量（电压、电流、电阻等）便于测量、转换、传输和处理，所以当今的传感器绝大多数都是以电信号输出的，以至于可以简单地认为，传感器是一种能把物理量或化学量或生物量转变成便于利用的电信号的器件或装

置，或者说一种把非电量转变成电学量的器件或装置。

国际电工委员会 (International Electrotechnical Committee, IEC) 把传感器定义为：“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”。德国和俄罗斯学者认为“传感器是包括承载体和电路连接的敏感元件”，传感器应是由两部分组成的，即直接感知被测量信号的敏感元件部分和初始处理信号的电路部分。按照这种理解，传感器还包含了信号初始处理的电路部分。

关于传感器，初期曾出现过许多种名称，如发送器、传送器、变送器、敏感元件等，它们的内涵相同或者相似，近来已逐渐趋向统一，即按国家标准规范使用传感器这一名称。从字面上可以作如下解释：传感器的功用是一感二传，即感受被测信息，并传出去。

一般来讲传感器由敏感元件和转换元件组成，但由于传感器输出信号较弱，需要由信号调节与转换电路将其放大或转换为容易传输、处理、记录和显示的信号。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用，传感器的信号调节

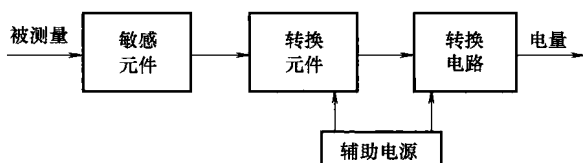


图 1-1 传感器组成框图

与转换电路可能安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在同一芯片上。因此，信号调节与转换电路以及所需电源都应作为传感器组成的一部分，其组成如图 1-1 所示。

1.1.2 传感器的分类

传感器的种类繁多，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测量多种被测量，因此分类方法各不相同，目前尚没有统一的分类方法。一般常见的分类方法有以下几种（见表 1-1）：

表 1-1 传感器的典型分类

分类方法	传感器的类型	说明
按基本效应分类	物理型、化学型、生物型	分别以效应命名为物理、化学、生物传感器
按构成原理分类	结构型 物性型	以其转换元件结构参数变化实现信号转换 以其转换元件结构物理特性变化实现信号转换
按作用原理分类	应变式、电容式、压电式、热电式等	以传感器对信号转换的作用原理命名
按能量关系分类	能量转换型（自源型） 能量控制型（外源型）	传感器输出量直接由被测量能量转换而得 传感器输出量能量由外源供给但受被测输入量控制
按敏感材料分类	半导体、光纤、陶瓷、高分子材料、复合材料等	以使用的敏感材料命名
按输入量分类	位移、压力、温度、流速、气体、振动、湿度、粘度等	以被测量命名（即按用途分类法）
按输出信号分类	模拟式 数字式	输出量为模拟信号 输出量为数字信号
按与某种高新技术结合分类	集成、智能、机器人、仿生等	按基于的高新技术命名

1) 根据传感器的工作机理,即感知外界信息所依据的基本效应的科学属性,可以将传感器分成三大类:基于物理效应如光、电、声、磁、热等效应进行工作的物理传感器;基于化学效应如化学吸附、离子化学效应等进行工作的化学传感器;基于酶、抗体、激素等分子识别功能的生物传感器。

2) 根据传感器的构成原理,物理传感器分为结构型与物性型两大类。

结构型传感器是遵循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,这些方程式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。它的基本特征是以其结构的部分变化引起场的变化来反映被测量(力、位移等)的变化。如电容传感器就是利用静电场定律研制的结构型传感器。

物性型传感器是基于物质定律构成的,如胡克定律、欧姆定律等。物质定律是表示物质某种客观性质的法则。这种法则,大多数是以物质本身的常数形式给出的。这些常数的大小决定了传感器的主要性能。因此,物性型传感器的性能随材料的不同而异。如,光电管,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、合金等性能变化的传感器都属于物性型传感器。如压敏传感器是利用半导体材料的压阻效应制成的物性型传感器。

3) 根据传感器的工作原理,可分为电容式、电感式、电磁式、压电式、热电式、气电式及应变式传感器等。

4) 根据传感器的能量转换情况,可分为能量转换型传感器和能量控制型传感器。能量转换型是由传感器输入量的变化直接引起能量的变化。如热电效应中热电偶,当温度变化时,直接引起输出的电动势改变。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。能量转换型传感器一般不需外部电源或外部电源只起辅助作用,它的输出能量是从被测对象上获取的,所以又称自源型传感器。能量控制型是指其变换的能量是由外部电源供给的,而外界的变化(即传感器输入量的变化)只起到控制的作用,所以又称外源型传感器。如用电桥测量电阻温度的变化时,温度的变化改变了热敏电阻的阻值,热敏电阻阻值的变化使电桥的输出发生变化,这时电桥输出的变化是由电源供给的。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。

5) 根据传感器使用的敏感材料,可分为半导体传感器、光纤传感器、陶瓷传感器、高分子材料传感器、复合材料传感器等。

6) 根据被测量或输入信息可分为位移、速度、加速度、流速、力、压力、振动、温度、湿度及粘度、浓度传感器等。

有时把被测量进一步归类,物理量分为机械量、热学、电学、光学、声学、磁学、核辐射传感器等,化学量分为气体、离子、湿度传感器等,生物量分为生物、微生物、酶、组织、免疫传感器。

按被测量分类方法体现了传感器的功能、用途,对用户选择传感器有一定的方便之处。

7) 根据传感器输出信号为模拟信号或数字信号,可分为模拟量传感器和数字量(开关量)传感器。

8) 根据传感器是否使用外部电源,可分为有源传感器和无源传感器。

9) 根据传感器与被测对象的空间关系,可分为接触式传感器和非接触式传感器。

10) 根据与某种高新技术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。

上述分类尽管有较大的概括性,但由于传感器是知识密集、技术密集的门类,它与许多学科有关,它的种类十分繁多,至今又不统一,各种分类方法都具有相对的合理性。从学习的角度来看,按传感器的工作原理分类,对理解传感器的工作原理、工作机理很有利;而从使用的角度来看,按被测量(或输入信息)分类,为正确选择传感器提供了方便。

1.1.3 传感器与传感技术

根据定义,传感器是一种能把特定的被测量(包括物理量、化学量、生物量等)的信息按一定规律转换成某种可用信号输出的器件或装置。

随着科学技术的发展,传感器和传感器相关的技术,如传感器设计、材料、制造、应用等相关的技术得到迅速发展,逐渐形成了一门新的独立学科——传感器技术。传感器技术的含义比传感器更为广泛,传感器技术包括传感(检测)原理、传感器件设计制造和开发应用等全部工程技术领域,也被称为传感器工程学。

传感器技术是研究传感器的材料、设计、工艺、性能和应用等的综合技术,是以传感器为核心逐渐外延,与测量学、微电子学、物理学、光学、机械学、材料学、计算机科学等多门学科密切相关,多种技术相互渗透、相互结合而形成一种新技术密集型综合性学科领域——传感技术。

传感技术就是传感器技术,但是在当前信息技术的分类中,往往把信息获取都归入传感技术,传感技术的内涵进一步扩充。

传感技术是关于从自然资源获取信息,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。它涉及传感器、信息处理和识别的规划设计、开发、制/建造、测试、应用及评价改进等活动。获取信息靠各类传感器,它们有各种物理量、化学量或生物量的传感器。按照信息论的凸性定理,传感器的功能与品质决定了传感系统获取自然信息的信息量和信息质量,是高品质传感系统构造的第一个关键环节。信息处理包括信号的预处理、后置处理、特征提取与选择等。识别的主要任务是对经过处理信息进行辨识与分类。它利用被识别(或诊断)对象与特征信息间的关联关系模型对输入的特征信息集进行辨识、比较、分类和判断。因此,传感技术是遵循信息论和系统论的,它包含了众多的高新技术、被众多的产业广泛采用。它也是现代科学技术发展的基础条件,因此受到广泛重视。

归纳起来,传感器与传感技术具有如下联系与区别:

1) 传感器是获取信息的工具,是一种能把特定的被测量的信息(包括物理量、化学量、生物量等)按一定规律转换成某种可用信号输出的器件或装置。

2) 传感技术是关于传感器设计、制造及开发应用的综合技术。

3) 传感技术是以传感器为核心逐渐外延,与物理学、测量学、电学、光学、机械学、材料学、计算机科学等多门学科密切相关,多种技术相互渗透、相互结合而形成的一种新技术密集型前沿学科。

4) 传感技术是信息获取技术,是信息技术(传感与控制技术、通信技术和计算机技术)

的三大支柱之一。

1.2 信息与传感

1.2.1 信息与信息技术

1. 信息的概念

人类从产生那天起,就生活在信息的海洋中。自古以来,人们就对信息的表达、存储、传递和处理进行了研究。原始人的“结绳记事”也许是最初期的表达、存储和传递信息的方法。我国古代的“烽火告警”是一种最早快速、远距离传递信息的方式。信息的传递和表达与生产和科学技术的发展是相互促进的,尤其是近百年来,随着生产和科学技术的发展,使信息的处理、传输、存储、提取和利用的方式及手段达到了更新更高的水平。

1950年至今,计算机技术、微电子技术、传感技术、激光技术、航空航天技术、生物工程、海洋技术、新能源技术和新材料技术等新技术的发展和令人眼花缭乱,尤其是近年来以计算机为主体的互联网技术的兴起和发展,它们互相结合、互相促进、以空前的威力推动着人类社会高速进入信息时代。

在当今“信息社会”中,人们在各种生产、科学研究和社会活动中无处不涉及信息的交换和利用。如何迅速获取信息、正确处理信息和充分利用信息,直接影响到科学技术和国民经济的发展,所以信息技术的重要性是不言而喻的。

现代信息论实际上是从20世纪20年代奈奎斯特(Nyquist, H.)和哈特莱(R. V. L. Hartley)的工作开始的。1924年奈奎斯特发表了“影响电报速率因素的确定”一文,1928年哈特莱发表了“信息传输”一文。他们最早研究了通信系统传输信息的能力,并给出了信息度量的方法。

控制论创始人之一,美国科学家维纳(N. Wiener)在1948年出版的奠基性著作《控制论——动物和机器中的通信与控制问题》一书中指出:“信息就是信息,不是物质,也不是能量。”他的这个论断,在信息与物质和能量之间划了一道界限。后来,他又在《人有人的用处》一书中,提出了新的看法:“信息就是人和外界互相作用的过程中互相交换的内容的名称”。

信息论奠基人,美国科学家香农(C. E. Shannon),1948年在《通信的数学理论》一文中指出:“凡是在一种情况下能减少不确定性的任何事物都叫做信息(Information)”。他把信息定义为人们对事物了解的不确定性的消除或减少。

意大利学者朗格(G. Longe)提出用变异度、变异量来度量信息,认为“信息就是差异”,他在1975年出版的《信息论:新的趋势与未决问题》一书序言中提出:“信息是反映事物的形式、关系和差别的东西。信息是包含于客体间的差别中,而不是客体本身中”。

我国学者钟义信教授在《信息科学原理》一书中说:信息是“事物运动的状态和方式,也就是事物内部结构和外部联系的状态和方式”。

对信息定义的争论从来就没有停止过,人们从各自的角度和学科领域出发,提出了100多种定义,其中典型的也有数十种之多,对于信息的定义呈现出多定义而又无定论的局面。这一局面的形成是由于观察事物的多维视野造成的。多维视野是现代自然科学、社会科学、

人文科学以及横向科学研究的一个显著特点，因此，不同学科有不同的信息定义，即使是同一学科也可能由于领域和视觉不同，存在很大的差异。自然科学、信息科学、管理科学中所说的信息常常不是一回事，前者多指数据、指令，后者多指消息、情报，但即便如此，同属社会科学的消息、情报与信息也有一定的差距。

我国国家标准《情报与文献工作词汇 基本术语》(GB/T 4894-1985)中，关于“信息”的解释是：“信息是物质存在的一种方式、形态或运动状态，也是事物的一种普遍属性，一般指数据、消息中所包含的意义，可以使消息中所描述事件的不定性减少。”

信息是事物运动的状态与方式，是物质的一种属性。在这里，“事物”泛指一切可能的研究对象，包括外部世界的物质客体，也包括主观世界的精神现象；“运动”泛指一切意义上的变化，包括机械运动、化学运动、思维运动和社会运动；“运动方式”是指事物运动在时间上所呈现的过程和规律；“运动状态”则是事物运动在空间上所展示的形状与态势。

这个定义首先明确了信息的本质是物质的属性，而不是物质实体本身。客观存在的一切事物，包括自然界、人体本身和人类社会，都是在不断运动着的，运动的物质，必然会产生相互作用和影响，从而引起物质结构、数量等多方面的变化，事物的这些变化，便成为信息产生的物质基础。因此，信息不是事物本身，而是由事物发出的数据、消息中所包含的意义。

这个定义把信息这一概念放到人类社会以及人类交往中考察，也纠正了控制论信息定义中对信息概念的泛化倾向，继而明确指出信息是物质的属性，而不是事物本身，是由事物发出的消息、指令、数据、信号等所包含的内容，是数据、消息中的意义。

这一定义明确了信息的认知功能，即能减少不确定性的能力，可以说，信息是知识的源泉，知识是对获得信息进行处理并使之系统化的结果。这一功能是信息的基本功能，是人类解释客观世界发展规律的重要途径，知识的积累、科技的发展进步、经济文化的繁荣都离不开信息的这一功能，经过大脑对信息的鉴别、筛选、归纳、提炼和存储，人类对客观世界的认识逐步深入，人类逐步进化、进步、发展。

其次，这一定义明确了信息是指数据与消息中所包含的意义，是数据与消息这样的信息中所包含的内容，区分了信息与消息，使信息的概念更加准确。信息不同于消息，消息只是信息的外壳，信息则是消息的内核；信息不同于信号，信号是信息的载体，信息则是信号所载荷的内容；信息不同于数据，数据是记录信息的一种形式，同样的信息也可以用文字或图像来表述。信息还不同于情报和知识。总之，信息是物质存在的一种方式、形态或运动状态，也是事物的一种普遍属性。

2. 信息技术

信息技术是研究信息的获取、传输和处理的技术，是指有关信息的收集、识别、提取、变换、存储、传递、处理、检索、检测、分析和利用等的技术，是用于管理和处理信息所采用的各种技术的总称。凡是扩展人的信息功能的技术，都是信息技术。信息技术的主体内容包括传感技术、通信技术和计算机技术。传感技术主要包括信息的识别、检测、提取、变换以及某些信息处理技术，它是人的感官功能的扩展和延伸；通信技术包含信息的变换、传递、存储、处理以及某些控制与调节技术，它是人的信息传输系统（神经系统）功能的扩展和延长；计算机技术主要包括信息的存贮、检索、处理、分析、产生（决策或称指令信息），以及控制等，它是人的信息处理器官（大脑）功能的延长。传感、通信和计算机技术

三者相辅相成的。它们构成了信息技术的核心，又被称为“3C”技术，即信息收集、通信和计算机（Collection, Communication and Computer）技术。

信息技术主要包括以下几方面技术：

(1) **感测与识别技术** 它包括信息识别、信息提取、信息检测等技术，其作用是扩展人获取信息的感觉器官功能。这类技术的总称是“传感技术”。它几乎可以扩展人类所有感觉器官的传感功能。传感技术、测量技术与通信技术相结合而产生的遥感技术，更使人感知信息的能力得到进一步的加强。

(2) **信息传递技术** 它的主要功能是实现信息快速、可靠、安全的转移。各种通信技术都属于这个范畴。广播技术也是一种传递信息的技术。由于存储、记录可以看成是从“现在”向“未来”或从“过去”向“现在”传递信息的一种活动，因而也可将它看作是信息传递技术的一种。

(3) **信息处理与再生技术** 信息处理包括对信息的编码、压缩、加密等。在对信息进行处理的基础上，还可形成一些新的更深层次的决策信息，这称为信息的“再生”。信息的处理与再生都有赖于现代电子计算机的超凡功能。

(4) **信息应用技术** 是信息过程的最后环节，它包括控制技术、显示技术等。

1.2.2 信息的基本特征

1. 物质、能量和信息三者的关系

现代科学认为：构成客观世界的三大基础是物质、能量和信息。世界是由物质构成的，没有物质，世界便虚无飘渺。宇宙万物无时不在运动，物质运动的动力是能量，能量是物质的属性，是一切物质运动的动力，没有能量，物质就静止呆滞。而信息是物质运动的状态与方式，是物质的一种属性，只要有运动的物质就需要有能量，就会产生各种各样事物运动的状态和方式，也就产生信息。信息是客观事物和主观认识相结合的产物，没有信息，物质和能量便无从认识。

信息是物质的属性，但不是物质自身。事物运动的状态和方式一旦体现出来，就可以脱离原来的事物而相对独立地负载于别的事物上而被提取、表示、处理、存储和传输。因此，信息不等于它的原事物，也不等于它的载体。信息虽不等于物质本身，但它也不能脱离物质而独立存在，必须以物质为载体，以能量为动力。物质、能量和信息三者相辅相成，缺一不可。

信息总是直接或间接描述客观世界的，但信息不是事物本身，而是事物的表征，是事物发出的信号、消息等所包含的内容是表征事物的运动状态及事物之间的差异或相互关系的一种普遍形式。信息是自然界普遍联系、相互作用的一种形式。

信息与能量息息相关，传输信息或处理信息总需要一定的能量来支持，而控制和利用能量总需要有信息来引导。例如物体受热这一信息，是通过温度上升、红外线辐射强度加大等能量或体积膨胀、形态改变、磁导率和电导率变化等物质形式来表现的，检测其中任一量的变化都可用来判断这一信息。但是信息与能量有本质的区别，信息是事物运动的状态与状态变化方式，能量是事物做功的本领，提供的是动力。

信息既不是物质，也不是能量。在物理学家眼中，信息是一种负熵。它们以物质和能量作为载体，人们通过对物质和能量特征差异性的研究得以了解它们。信息是具体的，并且可

以被人（生物、机器等）所感知、提取、识别，可以被传递、储存、变换、处理、显示检索和利用。信息可以被复制、可以被共享。

在非电量电测量系统中，信息、物质和能量是构成系统的三大要素。其中，信息是系统传输和处理的对象，它载荷于数据、信号之中，并由经过整理的有一定规则的能量流传输。因此，在测量系统中，信息传递的负熵原理的基本内容为：测量信息的运载者是能量，为了将信息送入传感器的输入端并作传送，就必须做功，即注入足够的负熵，如果被测对象完全不能供给能量，那么被测量信息的传递过程就不可能实现。被传送的信息的量并不取决于其能量的绝对值，而是取决于其能量与其他能量流（为干扰）的比值。因此传感器从被测对象索取的能量相对于干扰能量越大，就越能传送信息。也就是测量对象应具有足够的负熵，才能将所需的能量输至传感器。如果测量对象的负熵低于周围背景（即起干扰作用）的负熵，那么无论采用哪种传感器，原则上是无法进行测量的。

当测量某些表征能量值的参数，如力、压力、温度等时，传感器（如压电式传感器、热电偶）从被测对象直接获取能量，这时能量流的方向是与信息传递的方向一致的。当用电容、电感或电阻等参数式传感器测量某些非电量时，能量则由外加电源通过传感器的转换电路传向传感器，而信息则相反，它是由被测对象通过传感器传向转换电路。这种情况下，表面上能量流的方向与信息传递的方向是不一致的，有时是相对的。但实际上由外加电源通过转换电路供给的能量并不载有信息，仅用于激励无源对象，这时进入传感器的信息并不取决于用来激励（如照射）被测对象的外加全部能量流，而仅取决于在被测对象发生变化时所引起的能量流的变化量，例如用雷达测量飞行目标时，雷达发射的电磁波遇到飞行目标将反射，即外加能量流与信息是面对面相迎的，但发射的电磁波（外加的能量流）并不载有飞行目标（信息），仅用于“照射”飞行目标，至于飞行目标的信息则是由飞行目标反射回来的弱电磁波所运载，雷达（传感器）所接收到的是飞行目标所引起的能量流的变化量，而飞行目标的反射能力（即被测量）决定了反射电磁波能量与雷达发射电磁波能量之比。因此，应用参数式传感器进行测量时，携带信息的能量流和信息的传递方向仍然是一致的。这时，传感器并非获取被测对象的能量，而是获取经被测对象信息调制的外加能源的能量。为了使传感器能正常工作，外加电源能量必须稳定。

综上所述，可得如下几点结论：

- 1) 信息是由能量或物质形态表示的；
- 2) 信息是载荷于能量流传输的；
- 3) 信息在传输过程中要消耗能量，维持信息传输必须供给能量；
- 4) 信息传输的方向与携带信息的能量流方向是一致的；
- 5) 测量过程中，被测对象应具有足够的负熵才能保证有效测量。

2. 信息是一种人类生存与发展的重要资源

构成客观世界的三大基础是物质、能量和信息，正像物质和能源是人类生存和发展所必需的资源一样，信息也是一种不可缺少的资源。物质提供各种各样有用的材料；能源提供各种形式的动力；而信息向人们所提供的则是无穷无尽的知识 and 智慧。

人类生存没有必需的材料和动力不行，没有信息更不行，其他各种生物也是如此。生物进化的一条重要法则则是“适者生存”，环境总是不断地变化，任何生物如果不能从变化着的环境中获得对它的生存直接有关的信息——环境有关因素的运动状态和方式，它就不能适应