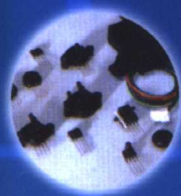
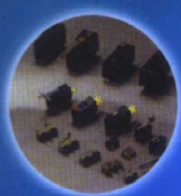


传感器及其应用手册

孙宝元 杨宝清 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



传感器及其应用手册

孙宝元 杨宝清 主编



机械工业出版社

本手册从实际应用的角度出发,将传统传感器技术与当前新型传感器研究成果有机结合,全面、系统地介绍了力学量、热学量、流体量、光学量、电学量、磁学量、声学量、化学量、生物与医学、仿生与机器人以及生态环境等传感器的基础理论与应用知识,是一本工程、科学技术领域中不可缺少的实用工具书。

本手册取材广泛,内容新颖,实用性强,适合于从事机电工程、信息工程、自动控制、测控技术计算机应用、生态环境、生物医学方面的传感器研制及传感器研发及应用的工程技术人员阅读,并可供有关专业的高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器及其应用手册/孙宝元,杨宝清主编. —北京:
机械工业出版社, 2004.5
ISBN 7-111-13624-1

I. 传… II. ①孙…②杨… III. 传感器 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 115329 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:高金生 版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟 程俊巧

封面设计:陈 沛 责任印制:闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·34.5 印张·853 千字

0 001—4 000 册

定价:58.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

《传感器及其应用手册》编审委员会

主 编 孙宝元 杨宝清

主 审 田大超

编审委员 (按姓氏笔画排列)

丁彦闯	于清旭	王丽颖	王殿龙	田大超
孙宝元	孙咏红	李 平	张 军	张松涛
张美娟	杨宝清	金仁成	唐贞安	赵常志
高长银				

前 言

人们通常把电子计算机称作电脑,把传感器称作“电五官”,把执行器称作“电手足”,只有具备信息采集的传感器、信息处理的电脑、信息执行的执行器,才能构成完整的自动化系统。所以,传感器在科学研究和技术开发中,特别是在信息技术、自动化技术、现代制造等技术中,起着不可替代的作用。有人把传感器称为支撑现代文明的支柱之一,也不为过分。事实上,随着社会和科学技术的进步,人们对传感器的需求越来越多,要求也越来越高,传感器发挥的作用也将越来越大。与之相应的有关传感器知识、技术普及与应用自然成为人们所关注的事情。

目前,虽然相继有些传感器的书籍以及手册等出版,但仍然不能满足社会大量的需求。为此,作者们根据多年来在教学、科研、应用中的丰富的理论与实践经验,在学习、借鉴与总结国内外研制、使用传感器文献资料的基础上编写了《传感器及其应用手册》。

本手册所写的内容并没有囊括目前传感器领域中的所有内容,而是从传感器发展的历史出发,既充分介绍一些传统传感器的内容,同时也融合了当今新型传感器领域中的最新成果(大多都是自己研究成果)。其主要内容包括力学量传感器、热学量传感器、流体量传感器、光学量传感器、电学量传感器、磁学量传感器、声学量传感器、化学量传感器、生物与医学传感器、仿生与机器人传感器以及生态环境传感器等。

《传感器及其应用手册》由大连理工大学孙宝元教授、博士生导师,大连铁道学院杨宝清教授主编;大连铁道学院田大超教授主审。本手册第一章由孙宝元教授、博导和高长银博士(大连理工大学)编著;第二章由王殿龙教授、博士(大连理工大学)编著;第三章由丁彦阁副教授、博士(大连铁道学院)编写;第四章由张松涛教授(大连理工大学)编著;第五章由于清旭教授、博导(大连理工大学)编著;第六章由李平副教授、硕导(大连铁道学院)编著;第七章由张军博士(大连理工大学)编写;第八章由唐贞安教授、博导和金仁成副教授、博士(大连理工大学)编著;第九章、第十二章由孙咏红副教授、硕导(大连铁道学院)编著;第十章由赵常志教授、博士(大连理工大学)编著;第十一章由张美娟博士(大连铁道学院)编写;第十三章由王丽颖博士(大连铁道学院)编写。

黄勇、田微、梁志红等同志参加了手册的部分整理工作。在编写过程中,得到了所在单位领导和有关同志的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于传感器的知识深广、科技发展迅速,而编写人员水平有限,不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

《传感器及其应用手册》编审委员会

目 录

前言

第一章 传感器技术基础	1
第一节 传感器的概念与定义	1
一、传感器的概念	1
二、传感器的定义	2
第二节 传感器在当今社会中的地位与 作用	2
第三节 传感器分类	3
第四节 传感器的构成	5
一、传感器的基本组成	5
二、传感器的构成方法	6
三、传感器的安装形式	8
四、传感器信号选择的方式	9
第五节 传感器的物理基础与物质效应及 模型	13
一、传感器的物理基础	13
二、传感器的物质效应及其模型	13
第六节 传感器的性能及其评价方法	21
一、传感器数学模型的一般式	21
二、传感器的静态特性及其评价	24
三、传感器的动态特性及其评价	27
四、传感器的标定	31
第七节 传感器技术的现状与发展 趋势	35
一、支持现代文明的传感器技术	35
二、国内外传感器市场现状与 预测	36
三、国内外传感器的发展趋势	40
第八节 传感器的选择程式与应用 守则	45
一、传感器的选择程式与方法	45
二、传感器应用的守则及注意 事项	46
参考文献	47
第二章 力学量传感器	49
第一节 几何量传感器	49
一、电阻应变式位移传感器的原理 及应用	49
二、电感式位移传感器	52
三、电容式精密位移传感器	56
四、电涡流式传感器	58
五、光电式位移、位置传感器	60
六、几何量数字式传感器	65
七、几何量传感器的应用实例	72
第二节 力学量传感器	73
一、弹性敏感元件	73
二、应变式力传感器	75
三、压阻式力传感器	77
四、压电式力传感器与测力仪	77
五、压磁式力传感器	83
第三节 运动量（速度、加速度、振动） 传感器	85
一、电动式速度传感器	86
二、压电式加速度传感器	86
三、压阻式加速度传感器	87
四、谐振式传感器	89
第四节 力学量传感器在生产过程监测和 航空航天测控中的应用实例	92
一、金属加工中切削力的测量	92
二、回转轴径向运动误差的测量	92
三、陀螺仪	93
参考文献	93
第三章 热学量传感器	94
第一节 热电动势温度传感器（热 电偶）	94
一、热电动势与温差电动势	94
二、热电偶材料、结构、常用种类 和选择	96
三、热电偶测温电路应用实例	99
第二节 电阻式温度传感器（热敏 电阻）	100
一、热敏电阻的分类	100
二、各种 NTC 元件的构造与特点	100

三、国内外热敏电阻产品及选择	101	过程中的应用	122
四、热敏电阻测温电路	102	一、集成温度传感器在粮仓多点温度 智能监控系统中的应用	122
第三节 半导体 PN 结特性测温传 感器	103	二、DS1820 数字式温度传感器在高速机 车轴温监测中的应用	123
一、半导体 PN 结特性测温原理	103	参考文献	125
二、热敏集成元件与热敏集成 电路	103	第四章 流体量传感器	126
第四节 光纤温度传感器	105	第一节 流体量传感器计量原理	126
一、半导体谱带吸收式光纤温度传感 器的测温原理(基于波长方式 的测温原理)	106	一、概述	126
二、光纤温度传感器的构造	107	二、流体量传感器将非电量转换成电 量的步骤	126
三、光纤温度传感器在轴承计测中 的应用	107	三、流体量传感器类型	126
第五节 石英温度传感器	108	第二节 流量、流速传感器	127
一、测温原理、结构与特点(数字化 输出、遥控遥测)	108	一、流量传感器	127
二、石英温度计的应用电路	109	二、流速传感器	130
第六节 NQR(核四极矩共振)温度传 感器	110	第三节 液位传感器	131
一、NQR 温度计工作原理、特点及 应用场合	110	一、浮力式液位传感器	131
二、NQR 温度计测量电路	110	二、吹气式液位传感器	132
第七节 热噪声温度计	111	三、电容式液位传感器	133
一、热噪声测温原理	111	四、压力传感器式液位计	134
二、传感器的测量电路	111	五、超声波式液位传感器	135
第八节 热辐射高温计	112	六、放射线式液位传感器	135
一、热辐射高温计工作原理	112	七、雷达式液位计	135
二、热辐射传感器的结构与电路	112	第四节 粘度传感器	136
三、红外辐射高温计的使用	113	一、振动式粘度计	136
第九节 热流传感器	116	二、旋转式粘度计	137
一、热流计原理	116	第五节 密度传感器	137
二、测量电路	117	第六节 流体成分传感器	138
第十节 表面温度传感器	118	一、烟雾传感器	138
一、半导体点温计	118	二、液体成分传感器	140
二、表面波温度传感器	118	三、离子传感器	141
第十一节 湿度传感器	119	四、真空式紫外感光传感器	141
一、氯化锂湿度传感器	119	第七节 气敏传感器	142
二、功能陶瓷湿度传感器	119	一、半导体气敏传感器	142
三、微量水分检测原理与测试 系统	120	二、固定电位电解气敏传感器	142
四、微波湿度计及其应用	120	三、气体成分分离与检测传感器	142
第十二节 热学量传感器在生活与生产 中的应用	122	第八节 流体量传感器在过程生产中的 应用	144
		一、燃油舱监测传感器	144
		二、数据的采集与处理	145
		三、燃油加装监控界面	146
		参考文献	147
		第五章 光学量传感器	149

第一节 光传感器的基本效应	149	二、三相双向功率/电能测量 电路	215
一、光的物理性质	149	第六节 电量隔离传感器/变送器	219
二、外光电效应	149	一、概述	219
三、内光电效应	150	二、电流传感器/变送器	220
四、光热效应	151	三、电压传感器/变送器	223
五、光探测器的特性参数	151	第七节 光纤电量传感器	225
第二节 基于外光电效应的光探测器	152	参考文献	226
一、光电阴极的特性	152	第七章 磁学量传感器	227
二、光电管与光电倍增管的工作 原理	154	第一节 霍尔效应传感器	227
三、光电倍增管的主要参数和 特性	156	一、霍尔元件	227
四、光电倍增管的供电和信号输出 电路	159	二、半导体霍尔元件	227
五、信号输出的电流-电压转换	162	三、霍尔元件的应用	228
六、光电倍增管的应用	164	第二节 压磁式(磁弹性)传感器	232
第三节 基于内光电效应的光探测器	166	一、压磁效应	232
一、光电导探测器	166	二、压磁式传感器结构	232
二、光伏型光电探测器	167	三、磁弹性应变计及其传感器	236
第四节 光纤传感器	170	四、逆魏德曼效应与涅赛姆效应	236
一、光纤的基本性质	170	五、巴克豪森效应传感器	238
二、光纤传感器基本原理	176	六、压磁式传感器的测量电路	239
三、光纤传感器的特点	178	七、压磁式传感器的特点及应用 实例	241
四、几种典型的光纤传感器及其 应用	178	第三节 磁致伸缩与超磁致伸缩传感器 与执行器	242
参考文献	193	一、磁致伸缩效应	242
第六章 电量传感器	194	二、磁致伸缩与超磁致伸缩传感器 与执行器上的应用	242
第一节 电量传感器概述	194	第四节 磁敏二极管和三极管	247
第二节 霍尔式电量传感器	194	一、磁敏二极管及其应用	247
一、霍尔式电量传感器基本原理	194	二、磁敏三极管及其应用	253
二、霍尔直测式电流传感器	195	第五节 磁阻元件与传感器	256
三、霍尔磁平衡式电流传感器	196	一、长方形元件与曲折元件的结构 分类及特性	256
四、霍尔电压传感器	198	二、InSb-NiSb 元件	258
五、霍尔电量传感器的应用	198	三、主要应用实例	259
六、真有效值 AC/DC 转换	201	四、半导体磁传感器的特点及 应用	261
第三节 取样电阻式电流传感器	206	第六节 核磁共振(NMR)传感器	262
一、基本转换原理	206	第七节 超导磁敏传感器	262
二、LM3824 电流传感器芯片	206	参考文献	263
第四节 磁阻式电流传感器	211	第八章 声学量传感器	264
一、基本工作原理	211	第一节 概述	264
二、ZMC 系列磁阻式电流传感器	211	一、基本概念	264
第五节 互感式电流传感器	214		
一、基本工作原理	214		

二、声学研究的频率范围	264	系统	304
三、术语	265	四、压电化学传感器的应用	305
第二节 音响传感器	266	参考文献	306
一、传声器	266	第十章 生物传感器	307
二、水听器的原理及结构	268	第一节 生物传感器简介	307
三、录音拾音器	269	一、生物传感器的发展趋势	307
第三节 超声波传感器	269	二、生物传感器的原理	309
一、超声波的特性	269	三、生物传感器的分类	313
二、超声波传感器	270	第二节 生物传感器中的换能器	314
三、超声波传感器的应用实例	275	一、电化学型换能器	314
第四节 声发射(AE)传感器	276	二、光学换能器	319
一、声发射现象及应用领域	276	三、压电晶体型声波换能器	321
二、声发射检测的原理	277	四、热敏电阻型换能器	323
三、声发射传感器	277	第三节 生物敏感膜和敏感元件的制 备技术	324
四、声发射技术的应用	279	一、生物敏感膜与敏感元件	324
第五节 声表面波传感器	282	二、敏感膜的构成材料	324
一、声表面波原理	282	三、吸附法	326
二、声表面波(SAW)传感器检测 原理	283	第四节 酶传感器	334
三、声表面波(SAW)传感器	284	一、酶的本质和特性	334
参考文献	286	二、酶电极传感器	336
第九章 化学量传感器	287	三、场效应晶体管型酶传感器	341
第一节 化学量传感器的定义与 分类	287	四、光纤型酶传感器	342
一、化学量传感器的定义	287	第五节 免疫传感器	344
二、化学量传感器的分类	288	一、免疫反应与免疫识别	344
第二节 电化学传感器	288	二、免疫传感器的检测模式	346
一、电化学传感器工作原理及离子选择 性电极概述	288	三、电化学免疫传感器	348
二、离子选择性电极的基本特性	289	四、光学免疫传感器	351
三、晶体膜电极	291	五、电化学发光免疫传感器	352
四、非晶体膜电极	292	六、压电晶体免疫传感器	354
五、敏化离子选择性电极	293	第六节 基因传感器和基因芯片	356
第三节 光纤化学传感器	294	一、基因与基因诊断	356
一、概述	294	二、基因传感器的基本结构和 类型	357
二、光纤化学传感器的工作原理及 分类	294	三、电化学 DNA 传感器	358
三、光纤化学传感器装置	297	四、光学 DNA 生物传感器	362
四、光纤化学传感器的应用	298	五、压电晶体 DNA 传感器	366
第四节 质量传感器	302	六、基因芯片	368
一、质量传感器概述	302	参考文献	374
二、压电化学传感器的基本原理	303	第十一章 仿生及机器人传感器	376
三、压电化学传感器的构造及测量		第一节 机器人内部传感器	376

三、速度检测器	385	一、概述	472
四、力觉检测器	390	二、一氧化碳传感器	472
五、温度检测器	402	三、氮氧化物传感器	475
六、平衡觉检测器	408	四、硫化氢传感器	480
第二节 机器人外部传感器	414	五、二氧化硫传感器	484
一、定义和分类	414	六、其他空气监测传感器	485
二、视觉传感器	415	第三节 环境噪声传感器	488
三、听觉传感器	418	一、噪声污染和监测	488
四、触觉传感器	419	二、声级计	489
五、压觉传感器	429	参考文献	492
六、接近觉传感器	433	第十三章 传感器接口与信号处理	
七、滑觉传感器	441	电路	493
第三节 嗅觉传感器	446	第一节 传感器的信号分类	493
一、生物嗅觉系统	446	一、对传感器信号分类的意义	493
二、机器人嗅觉系统	446	二、传感器信号的分类	493
第四节 味觉传感器	449	三、分类表的说明	493
一、SH-SAW 味觉传感器	449	第二节 传感器用基本电路单元	499
二、LAPS 味觉图像传感器	451	一、传感器电子电路	499
第五节 鲜度传感器	452	二、传感器电子电路的基本组成和	
一、蔬菜和水果的鲜度检测	452	要求	500
二、鱼和肉的鲜度检测	453	三、电桥电路	500
参考文献	453	四、放大器	502
第十二章 生态环境传感器	456	五、滤波器	511
第一节 水质监测传感器	456	六、调制、解调电路	517
一、概述	456	七、A/D、D/A 转换电路	521
二、溶解氧传感器	456	八、非线性补偿电路	524
三、生化需氧量 (BOD) 传感器	458	第三节 典型传感器电路举例	529
四、水质毒性监测传感器	461	一、力敏传感器电路	529
五、水中有机物检测传感器	464	二、光敏传感器电路	532
六、农药传感器	467	三、热敏传感器电路	533
七、氨氮传感器	469	四、声敏传感器电路	536
八、光纤传感器	471	五、磁敏传感器电路	538
九、生物传感器	471	参考文献	540
第二节 大气质量与污染监测传感器	472		

第一章 传感器技术基础

第一节 传感器的概念与定义

一、传感器的概念

传感器最早是来自“感觉”一词。人用眼睛看，可以感觉到物体的形状、大小和颜色；用耳朵听，可以感觉到声音；用鼻子嗅，可以感觉到气味。这种视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉，是人感觉外界刺激所必须具备的感官，称为“五官”它们就是天然的传感器。

在工程技术领域中，传感器认为是生物体“五官”的工程模拟物。从字面上来看，要求传感器不但要对被测量敏感，即“感”；而且具有把它对被测量的响应传送出去的功能，即“传”。通常传感器又被称为变换器、转换器、检测器、敏感元件、换能器和一次仪表等。传感器的英文一般用 sensor、transducer、detector、pick-up、element、sensing element 等词^[1]。这些不同提法，反映了在不同的技术领域中，只是根据器件用途对同一类型的器件使用着不同的技术术语而已。如从仪器仪表学科的角度强调，它是一种感受信号的装置，所以称之为“传感器”；从电子学的角度，则强调它是能感受信号电子元件称为“敏感元件”，如热敏元件、磁敏元件、光敏元件及气敏元件等，在超声波技术中，则强调的是能量的转换，称之为“换能器”，如压电式换能器。这些不同的名称在大多数情况下并不矛盾，譬如，热敏电阻既可以称其为“温度传感器”，也可以称之为“热敏元件”。但有些情况下，则只能用“传感器”一词，如利用压敏元件并具有质量块、弹簧和阻尼等结构的加速度传感器，则很难用“敏感元件”等词来称谓，而只有用“传感器”才更为贴切。可见，其他的提法在含义上有些狭窄，而传感器一词是使用最为广泛而概括的用词。

传感器是一种能把特定的被测量信息按一定规律转换成某种可用信号输出的器件或装置，以满足信息的传输、处理、记录、显示和控制等要求。应当指出，这里所谓的“可用信号”是指便于处理、传输的信号，一般为电信号，如电压、电流、电阻、电容、频率等。社会进步到今天，我们周围使用着各种各样的传感器，电冰箱、微波炉、空调机有温度传感器；电视机有红外传感器；录像机、摄像机有湿度传感器；液化气灶有气体传感器；汽车有速度、压力、湿度、流量、氧气等多种传感器……。这些传感器的共同特点是利用各种物理、化学、生物效应等实现对被检测量的测量。可见，在传感器中包含两个必不可少的概念，其一是检测信号；其二能把检测的信息转换成一种与被测量有确定函数关系的，而且便于传输和处理的量。例如，传声器（话筒）就是一种传感器，它感受声音的强弱，并转换成相应的电信号；又如电感式位移传感器能感受位移量的变化，并把它转换成相应的电信号。

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、微型计算机相结合的必由之路，传感器的概念得到了进一步的扩充。如智能传感器，它是传感器（通过信号调理电路）与微处理器、微型计算机所赋予的智能相结合，兼有检测信息和信息处理等多功能的传感器。可以预见，当人类跨入光子时代，

光信息成为更便于快速、高效地处理与传输的可用信号，传感器的概念将随之发展成为能把外界信息或能量转换为光信号或能量的器件。

目前，传感器的含义在不断扩充与发展，它已经与测量科学、现代电子技术、微电子技术、生物技术、材料科学、化学科学、光电技术、精密机械技术、微细加工技术、信息处理技术以及计算机技术相互交叉渗透而成为一门高度综合性、知识密集型的科学。各种高新技术的智能武器、机器及家用电器的水平高低的分界就在于其传感器的数量和水平不同，所以传感器是智能高技术的前驱与标志，是现代科学技术发展的基础，也是一个国家科技水平的重要标志。

二、传感器的定义

传感器的定义时至今日在国内、国外尚无统一的规定。国内有，原机械工业部在所制定的《过程检测控制仪表术语》中对传感器的定义是：“借助于检测元件接受物理量形式的信息，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”。在新韦氏大词典中定义：传感器是从一个系统接受功率，通常以另一种形式将功率送到第二个系统中的器件。

在国家标准 GB/T7665—1987《传感器通用术语》中，传感器的定义为：“能感受规定的被测量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”。

在国外也有不同定义，将传感器定义为一种能响应物理量（如热能、电磁能、声能、压力、磁、电或者运动等）的刺激而产生相应信号（通常为电信号）的装置；又如传感器能将不适合直接应用作为信号的量转换为能进一步处理的信号量的器件装置，它一般包括信号处理单元。美国仪器仪表协会（ISA）的定义是：“传感器是把被测量变换为有用信号的一种装置。它包括敏感元件、变换电路以及把这些元件和电路组合在一起的机构。”

从上述定义可见，这是传感器的狭义定义，它们都仅从一个侧面对传感器进行了描述。综合国内外传感器的定义可得到其广义定义为：“凡是利用一定的物性（物理、化学、生物）法测、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和装置均可称为传感器”。

第二节 传感器在当今社会中的地位与作用

传感器是人类通过仪器探知自然界的触角，它的作用与人的感官相类似。电子计算机相当于人的大脑；执行器相当于人的肌体；则传感器就相当于人的五官。人的五官如果出了毛病，大脑就不能得出正确的结论，行为就会陷入盲目性，由此可见传感器的重要性。

在科学技术高度发达的现代社会中，人类已进入瞬息万变的信息时代，人们在从事工业生产和科学实验等活动中，主要依靠对信息资源的开发、获取、传输和处理，传感器处于研究对象与测控系统的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口，它提供系统赖以进行决策和处理所必需的原始数据。一切科学实验和生产过程，特别是在自动检测和自动控制系统中要获取的信息，都要通过传感器转换为容易传输与处理的信号。如果没有传感器对原始参数进行精确可靠的测量，如果传感器不能灵敏地感受被测量，或者不能把感受到的被测量精确地转换成电信号，其他仪表和装置的精确度再高也无意义，无论是信号转换或信息处理，或

者最佳数据的显示与控制，都将成为一句空话。

不难看出，传感器是自动控制系统和信息系统的**关键基础器件**，其技术水平直接影响到自动化系统和信息系统的水平，自动化技术水平越高，对传感器技术依赖程度越大。所以传感器技术的日新月异必将对科学技术的迅猛发展、人类生存环境的改变以及向未来空间的拓展起到举足轻重的作用。归纳起来传感器具有以下作用与功能：

(1) **测量与数据采集** 这是传感器最基本的功能，绝大多数的传感器都能实现测量与数据采集。如科学研究中的实验测量产品制造与销售中所需的计量等都需要传感器来完成。

(2) **检测与控制作用** 检测控制系统处于某种状态的信息，并由此来跟踪和控制系统的状态。如在现代的飞行器上，装备着极其多样的显示与控制系统，以保证各种战斗和飞行任务的完成。在这些系统中，传感器首先对反映飞行器的飞行参数和姿态、发动机工作状态的各个物理参数加以检测，显示在各类显示器上，提供给驾驶和领航人员去控制和操纵飞行器，或者传输给各种自动控制系统，如自动驾驶仪、自动领航仪、发动机调节器，进行飞行器的自动驾驶和发动机的自动调节。

(3) **诊断与监测作用** 传感器对所关心的信号进行采集，然后进行判断是否正确工作。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。例如，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装备指挥系统；直至宇宙飞船或星际、航海、海洋探测器等等，均需配置数以千计的传感器，用以检测各种各样的工况参数，以达到运行监控的目的。

(4) **辅助观测仪器** 仪器仪表是科学研究和工业技术的“耳目”在基础科学和尖端技术的研究中，大到上千光年的茫茫宇宙，小到 10^{-13}cm 的粒子世界。长到数十亿年的天体演变，短到 10^{-24}s 的瞬间反应；高达 $5 \times 10^4 \sim 10^8^\circ\text{C}$ 的超高温，或 $3 \times 10^8\text{Pa}$ 的超高压，低到 0.01K 的超低温，或 10^{-13}Pa 的超真空；强到 25T 以上的超强磁场，弱到 10^{-11}T 的超弱磁场……要检测如此极端巨微的信息单靠人的感官或一般电子设备已无能为力，必须借助配有相应的高精度传感器或大型检测系统才能奏效。因此，某些传感器的发展，是一些边缘科学研究和高新技术开发的先驱。

(5) **资源探测与环境保护** 传感器可用于陆地、海洋、太空资源以及空间环境、气象等方面的测量，以便于开发与利用，如测定农田土地实际状态、作物分布，预防判断灾情；掌握森林资源、海洋资源、渔业资源等等。在环境保护方面，可用于对大气、水质污染的检测、放射性和噪声的测量等。

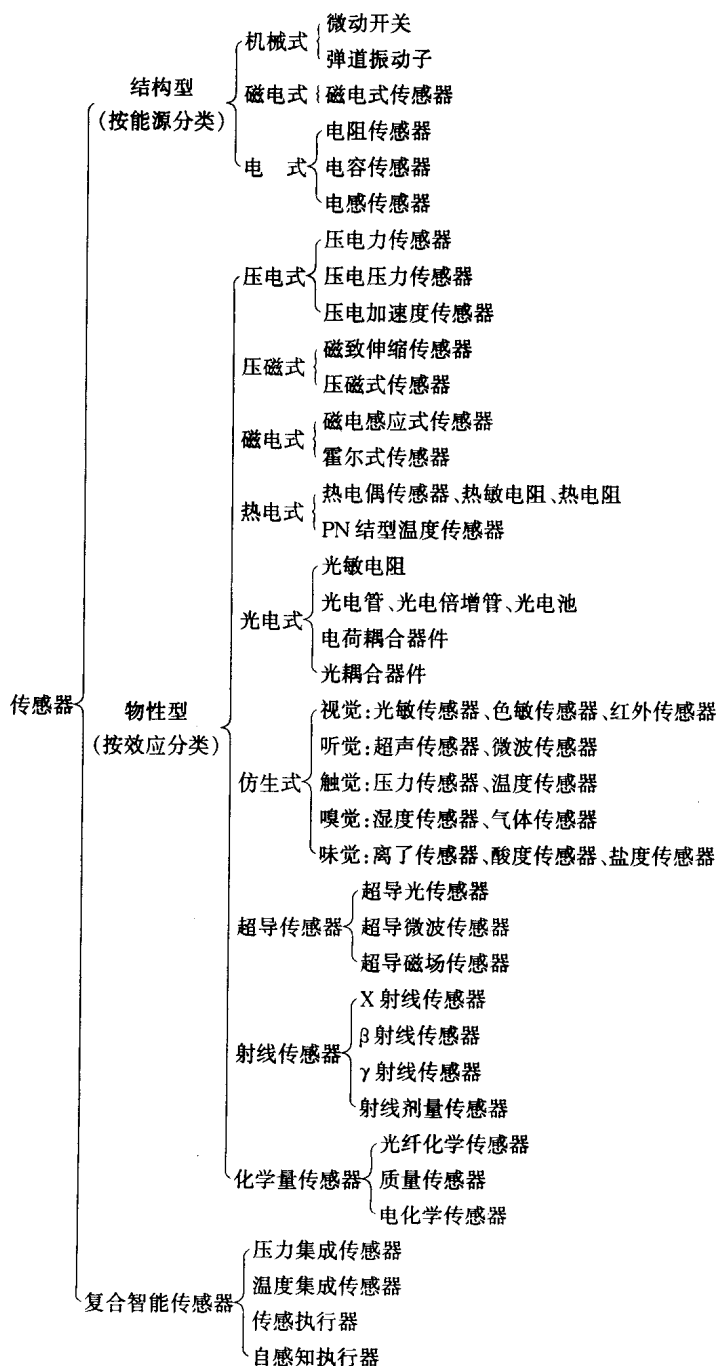
(6) **医疗卫生和家用电器** 现在应用医用传感器可以对人体的表面和内部温度、血压及腔内压力、血液及呼吸流量、肿瘤、血液的分析、脉波及心音、心脑电波等进行高准确度的诊断，还能实现对病患的自动监测与监护。传感器在家用电器中得到普遍应用，如烤面包和电锅等加热器使用双金属接点温度传感器，空调机、电热水器和电冰箱等中都有各种各样的温度传感器。这些传感器为家庭生活提供了使用方便、性能安全可靠和节省能源的家用电器。资料统计表明，家用电器中所采用的热敏传感器占热敏传感器总产量的 40% 左右。

第三节 传感器分类

对不同科技领域、不同行业的成百上千种传感器进行分类本身就是一门科学，科学地、

正确地分类取决于对传感器认识的程度与水平。对传感器进行分类将有助于从总体上认识和掌握传感器，而且对传感器的开发与应用都是很有意义的。由于传感器的种类繁多，一种被测量，可以用不同的传感器来测量；而且传感器应用的原理又各种各样，同一原理的传感器，又可以测量多种被测量。因此，对传感器的分类是仁者见仁，智者见智，分类的方法也是五花八门，目前国内外对传感器尚无统一的分类方法。

表 1-1 传感器的分类表



传感器可以按被测量、能源种类、工作机理（作用原理）、使用要求、技术水平等进行分类。按被测量主要有位移、压力、力、速度、温度、流量、气体成分等传感器；按能量种类分为机、电、热、光、声、磁等6种能量传感器；按工作机理可分为结构型（空间型）和物性型（材料型）两大类，结构型传感器是依靠传感器结构参数的变化实现信号变换，从而检测出被测量，这是目前应用最多、最普遍的传感器。物性型传感器是利用某些材料本身的物性变化来实现被测量的变换，其主要是以半导体、电介质、磁性体等作为敏感材料的固态器件。结构型常采用按能源种类再分类，如机械式、磁电式、电式等等，物性型传感器主要按其物性效应再分类，如压电式、压磁式、磁电式、热电式、光电式、仿生式等；按所使用的材料可以将传感器分为陶瓷传感器、半导体传感器、复合材料传感器、金属材料传感器、高分子材料传感器等；按技术水平又可分为普通型和先进型两大类。

为了便于对传感器的种类有个宏观的掌握，下面给出一种根据综合分类法而得到的分类，见表1-1。

第四节 传感器的构成

一、传感器的基本组成

当前，由于电子技术、微电子技术、电子计算机技术的迅速发展，使电学量具有最便于处理、便于测量等特点，因此传感器一般由敏感元件、转换元件和测量电路三部分组成，有时还加上辅助电源，通常可用框图来表示，如图1-1所示。

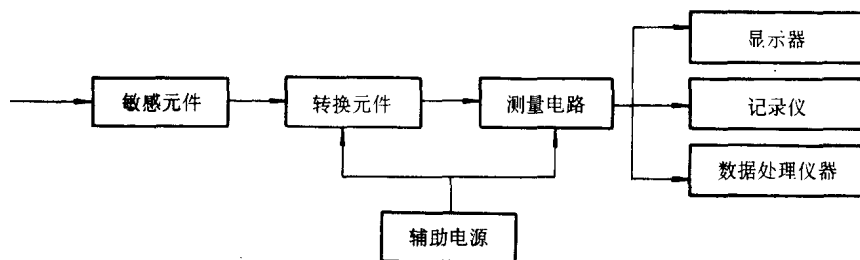


图 1-1 传感器的组成框图

敏感元件——直接感受被测量（一般为非电量），并输出与被测量成确定关系的其他量（也可以包括电量）的元件，如膜片和波纹管可以把被测压力变成位移量。敏感元件如果直接输出电量就同时兼为转换元件了，如热电偶感受被测温差时直接输出电动势，压阻式和谐振式压力传感器、差动变压器式位移传感器等的敏感元件和传感元件完全合为一体。

转换元件——将敏感元件输出的非电物理量（如位移、应变、应力、光强等）转换为电学量（包括电路参数量、电压与电流等），如热电偶和热敏电阻。转换元件也可以不直接感受被测量，而只感受与被测量成确定关系的其他非电量。例如，差动变压器式压力传感器，并不直接感受压力，只是感受与被测压力成确定关系的衔铁位移量，然后输出电量。有些传感器，转换元件不止一个，要经若干次转换才输出信号。

测量电路——能把转换元件输出的电信号转换为便于显示、记录、控制和处理的有用电信号的电路，由于传感器的输出信号一般都很微弱，常需要有信号调理与转换电路对其进行

放大、运算调制等，测量电路的类型视传感器的工作原理和转换元件的类型而定，如电桥电路、高阻输入电路、维持振荡的激振电路等。

二、传感器的构成方法

由上已知，传感器是以敏感元件为主体，加上输入输出及辅助单元而构成的，单独的敏感元件未必是实用的传感器。对物性型传感器而言，一般可由敏感元件单独构成，即可直接实现“被测非电量—有用电量”的转换；而对结构型传感器来说，通常必须通过前置敏感元件预转换后，再由转换元件进行二次转换才能完成，即只能间接实现“被测非电量—有用非电量（或电量）—有用电量”的转换。此时，传感器的构成就相对复杂，须由敏感元件、转换元件和其他辅助器件等组成。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，可将传感器的构成方法分为以下几类：

1. 基本型 基本型是最简单、最基本的传感器构成形式（图 1-2），也叫做自源型，它只由敏感元件单独组成。输入量多为力学量（力、温度、速度、加速度），输出量一般是电学量。这种构成形式的特点是，不需外能源，其敏感元件能从被测对象直接获得能量，并转换成电量，但一般输出能量较弱。如热电偶传感器、压电传感器等。

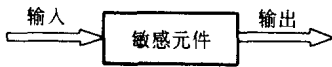


图 1-2 传感器的基本型结构

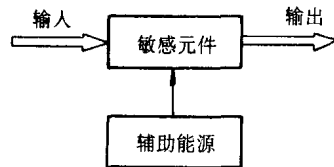


图 1-3 传感器的有源型结构

2. 有源型 有源型是在基本型构成法的基础上而建立的（图 1-3），它与基本型的不同在于为了使敏感元件的工作点稳定，采用了辅助能源。这里的辅助能源起激励作用，它既可以是电源，也可以是磁源。这种构成法的特点是，不需要变换（测量）电路即可有较大的电量输出。如光电管、光敏二极管、霍尔式传感器等。

3. 有源变换型 有源变换型是在有源型结构的基础上加上变换电路而构成的（图 1-4），它的敏感元件能实现对输入信号的阻抗变换，并且由能源向它提供能量，从而可获得输出信号。常用的变换电路有电桥、放大器、振荡器、阻抗变换器和脉宽调制电路等。属于这种构成法的传感器有电阻应变式、电感位移式、电涡流位移式以及气敏电阻、湿敏电阻、热敏电阻等传感器。在实际应用中，这种构成形式的传感器特性容易受到使用环境变化的影响，以下的几种构成形式，即双敏感元件补偿型、推挽型、环境敏感元件补偿型就是为了消除环境干扰的影响，而在有源变换型基础上改进的形式。

4. 双敏感元件补偿型 双敏感元件补偿型是采用原理相同，性能一致的两个敏感元件加辅助电路构成的（图 1-5）。将其中之一接输入信号，而另外一个虚设，作为补偿用，环境条件的改变使得两个敏感元件性能变化相同，以此达到消除环境干扰的影响。这种构成形式多数情况下，需要外部能源，在应变式、固态压阻式等传感器中常被采用。

5. 推挽型 推挽型是比双敏感元件补偿型更为完善的敏感元件的活用方式，见图 1-6。

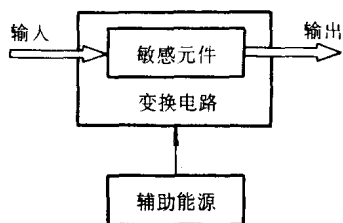


图 1-4 传感器的有源变换型结构

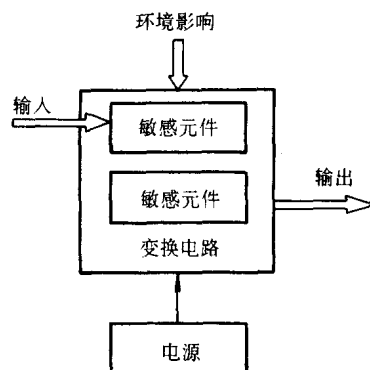


图 1-5 传感器的双敏感元件补偿型结构

测量时输入信号是同时加到原理相同、性能一致的两个敏感元件上的，但对于输入信号，两个敏感元件的参数变化是成相反方向的；而对于环境变化，两个敏感元件的变化则是成相同方向的，通过变换（测量）电路，使有用输出量增加，干扰量相减便可以消除环境变动的影响。如差动变压器、差动式电容传感器等。

6. 环境敏感元件补偿型 环境敏感元件补偿型是由两个原理和性质不相同的敏感元件为核心而组成的（图 1-7），其中一个能对输入信号进行响应，并已知其受环境影响的特性；另一个接受环境影响量，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、压电补偿片的温度和加速度干扰补偿等。

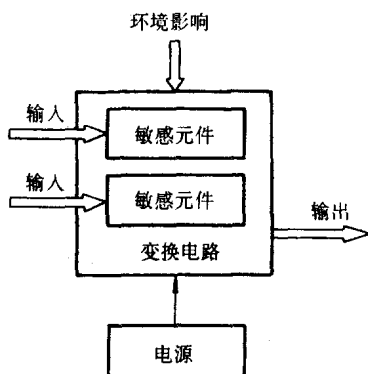


图 1-6 传感器的推挽型结构

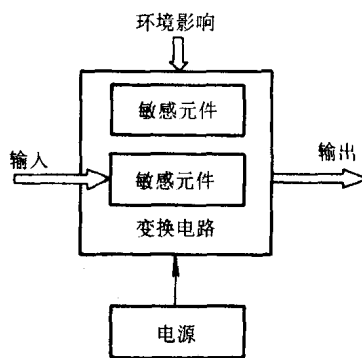


图 1-7 传感器的环境敏感元件补偿型结构

7. 反馈型 反馈型传感器是一种闭环系统，其特点是传感器敏感元件（或转换元件）同时兼做反馈元件，使传感器输入处于平衡状态，因此亦称为平衡式传感器（图 1-8）。目前主要有有力反馈型（包括位移反馈型）和热反馈型两类，如差动电容力平衡式加速度传感器、热线热反馈型流速传感器等。

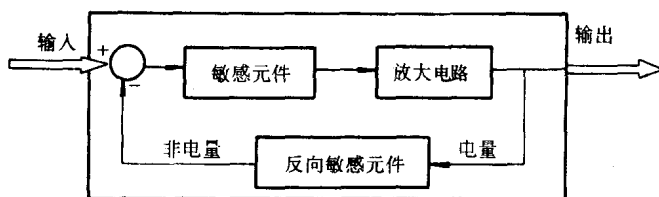


图 1-8 传感器的反馈型构成方式