



全国高等职业教育规划教材

传感器技术及应用项目教程

刘娇月 杨聚庆 主 编
史亚贝 副主编

- 采用“项目+任务”模式编写，每个项目介绍一类被测量
- 利用工程实践中的典型案例进行讲解，淡化理论推导
- 介绍了RFID、机器人等新型传感器技术的应用

电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

传感器技术及应用项目教程

主 编 刘娇月 杨聚庆
副主编 史亚贝
参 编 任 燕 王明绪 郭素娜 赵丹丹
邱兵涛 邓 晓 杨 笋
主 审 韩全立



机械工业出版社

本书从实用角度出发,按照传感器技术在工业生产与日常生活中的典型应用进行内容编排。全书以绪论开篇,共分7个项目,每个项目下又由多个相关任务组成,主要内容包括常用传感器的工作原理、基本结构、性能特点和应用案例等。

本书内容丰富精练,以传感器的应用为目的,尽量回避过深、过难的理论分析和公式推导,突出介绍了现代新型传感器与检测技术发展,提供了丰富的应用案例。书中插入了大量传感器实物照片和电路图,增强了内容的直观性,易于读者接受。

本书可作为高职高专院校机电技术类、自动化类、仪器仪表类、电子技术类等专业的教材,也可供从事检测、控制技术等工程技术人员以及科研人员自学参考。

为配合教学,本书配有电子课件,读者可登录机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com 免费注册后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369,电话(010) 88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及应用项目教程/刘娇月,杨聚庆主编. —北京:机械工业出版社, 2016. 8

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-54252-0

I. ①传… II. ①刘…②杨… III. ①传感器—高等职业教育—教材
IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第158131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:刘闻雨 版式设计:霍永明

责任校对:肖琳 责任印制:李洋

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2016年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 15.75印张·378千字

0001—3000册

标准书号:ISBN978-7-111-54252-0

定价:39.00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

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

全国高等职业教育规划教材机电专业

编委会成员名单

主 任 吴家礼

副 主 任 任建伟 张 华 陈剑鹤 韩全立 盛靖琪 谭胜富

委 员 (按姓氏笔画排序)

王启洋	王国玉	王建明	王晓东	龙光涛	田林红
史新民	代礼前	吕 汀	任艳君	刘 震	刘靖华
纪静波	李 宏	李长胜	李柏青	李晓宏	李益民
杨 欣	杨士伟	杨华明	杨显宏	吴元凯	何 伟
张 伟	陆春元	陈文杰	陈志刚	陈黎敏	苑喜军
金卫国	徐 宁	奚小网	陶亦亦	曹 凤	盛定高
韩满林	覃 岭	程时甘			

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 郝秀凯

出版说明

《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》指出：到 2020 年，形成适应发展需求、产教深度融合、中职高职衔接、职业教育与普通教育相互沟通，体现终身教育理念，具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系，推进人才培养模式创新，坚持校企合作、工学结合，强化教学、学习、实训相融合的教育教学活动，推行项目教学、案例教学、工作过程导向教学等教学模式，引导社会力量参与教学过程，共同开发课程和教材等教育资源。机械工业出版社组织全国 60 余所职业院校（其中大部分是示范性院校和骨干院校）的骨干教师共同策划、编写并出版的“全国高等职业教育规划教材”系列丛书，已历经十余年的积淀和发展，今后将更加紧密地结合国家职业教育文件精神，致力于建设符合现代职业教育教学需求的教材体系，打造充分适应现代职业教育教学模式的、体现工学结合特点的新型精品化教材。

“全国高等职业教育规划教材”涵盖计算机、电子和机电三个专业，目前在销教材 3 000 余种，其中“十五”“十一五”“十二五”累计获奖教材 60 余种，更有 4 种获得国家级精品教材。该系列教材依托于高职高专计算机、电子、机电三个专业编委会，充分体现职业院校教学改革和课程改革的需要，其内容和质量颇受授课教师的认可。

在系列教材策划和编写的过程中，主编院校通过编委会平台充分调研相关院校的专业课程体系，认真讨论课程教学大纲，积极听取相关专家意见，并融合教学中的实践经验，吸收职业教育改革成果，寻求企业合作，针对不同的课程性质采取差异化的编写策略。其中，核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时，增加实训和习题以及相关的多媒体配套资源；实践性较强的课程则强调理论与实训紧密结合，采用理实一体的编写模式；涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法，同时重视企业参与，吸纳来自企业的真实案例。此外，根据实际教学的需要对部分课程进行了整合和优化。

归纳起来，本系列教材具有以下特点：

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度，强调专业技术应用能力的训练，适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁，多用图表来表达信息；增加相关技术在生产中的应用实例，引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新，及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念，并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合，提高教学服务水平，为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快，加之我们的水平和经验有限，因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和疏漏。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息，以利于我们今后不断提高教材的出版质量，为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

传感器作为信息获取的工具,在当今现代化事业中的重要性越来越为人们所认识。传感器技术作为现代信息技术的支柱之一,也是自动测控系统正常工作的重要保障,国内外均已将其列为优先发展的高科技领域之一。

掌握和应用传感器原理与技术,是相关工程技术人员必须具备的基本技能与素养。因此,在各高职高专院校的自动化、机电类专业中,都开设了传感器及应用类课程。该课程涉及机电、自动控制、电子信息等多个学科,是机电类专业的专业基础课程。

本书根据高职高专“理实一体化”教学改革需要进行编写,从本专业毕业生所从事职业的实际需求出发,合理确定高职学生所应具备的能力结构和知识结构,整合其专业知识及技能,以培养高端技能型人才为目标,培养职业能力为主线,形成了以应用为主线的项目化结构,体现了“基本理论够用为度,职业技能贯穿始终”的编写原则。

本书压缩了大量的理论推导,将重点放在实用技术的掌握和运用上。

本书是编者结合多年的职业院校教学、职业技能培训和工程实践经验的基础上编写而成的,具有如下特点。

1) 在内容的编排上,采用“项目+任务”的模式,将同一被测量放在一个项目中进行介绍,针对一种传感器的典型应用用一个任务予以介绍。

2) 从工程实践中提炼传感器应用的典型案例,并充分结合教学实际,使选取的案例更具有针对性。

3) 每个任务中的知识点简明扼要、层次分明、重点突出,再通过技能提升的展开来提升学生的职业能力。

4) 在每个项目任务的内容组织上,主要以传感器应用为主线,结合传感器的原理、结构、分类、特性及选用装调原则,适当保留传统的理论知识,突出其实用技术。

全书除绪论外共分为7个项目,项目1为温度的检测;项目2为力和压力的检测;项目3为流量的检测;项目4为运动学量的检测;项目5为物位的检测;项目6为环境量的检测;项目7介绍现代检测技术中新型传感器的应用。

本书由河南工业职业技术学院刘娇月组织编写,由韩全立教授担任主审,刘娇月、杨聚庆担任主编,史亚贝担任副主编。具体编写分工是:绪论、项目3由刘娇月编写;项目1由杨聚庆编写;项目2任务2、3、4由王明绪编写;项目4任务1、项目7任务1、2由任燕编写;项目4任务2、3由史亚贝编写;项目4任务4、项目5任务1由郭素娜编写;项目5任务2、3由赵丹丹编写;项目6由邱兵涛编写;项目7任务3由邓晓编写;项目2任务1、项目7任务4由河南省经济管理学校杨笋编写。全书由刘娇月、郭素娜进行统稿。

在编写过程中,编者参考了许多同行专家们的论著文献,同时还参考了许多网络资源,在此一并表示真诚谢意。

限于编者的学术水平和实践经验,书中疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论 初识传感器	1
项目 1 温度的检测	12
任务 1.1 金属热电阻测温	12
1.1.1 金属热电阻的测温原理	13
1.1.2 热电阻的结构和分类	13
1.1.3 金属热电阻传感器性能	14
1.1.4 热电阻传感器的检测电路	14
1.1.5 热电阻温度传感器的选择注意事项	16
1.1.6 感温元件的安装	16
巩固与拓展	16
任务 1.2 热敏电阻测温	17
1.2.1 热敏电阻的定义	17
1.2.2 热敏电阻的测温原理	17
1.2.3 热敏电阻的材料和结构	18
1.2.4 热敏电阻的分类	19
1.2.5 热敏电阻的选用	21
巩固与拓展	21
任务 1.3 热电偶测温	22
1.3.1 热电偶的测温原理	22
1.3.2 热电偶的基本定律	25
1.3.3 热电偶的结构	27
1.3.4 热电偶的冷端温度补偿	28
1.3.5 热电偶的选择、安装与使用	30
1.3.6 热电偶的定期校验	31
巩固与拓展	31
任务 1.4 集成温度传感器测温	32
1.4.1 集成温度传感器	32
1.4.2 集成温度传感器分类	32
1.4.3 集成温度传感器举例——数字温度计 DS18B20	33
1.4.4 集成温度传感器的选择	36
巩固与拓展	37
任务 1.5 非接触式温度传感器	37
1.5.1 辐射式温度传感器	38

1.5.2	红外线测温仪	40
1.5.3	接触式温度传感器和非接触式温度传感器的特点和区别	42
1.5.4	温度传感器的发展趋势	43
1.5.5	红外测温技术的应用	43
	巩固与拓展	44
任务 1.6	应用技能实训——冰箱温控中的热敏电阻	45
	项目小结	47
项目 2	力和压力的检测	48
任务 2.1	电阻应变式传感器测力	49
2.1.1	电阻应变片的结构	49
2.1.2	电阻应变片的工作原理	51
2.1.3	电阻应变片式传感器的测量电路	52
2.1.4	电阻应变片式传感器的温度误差及补偿	54
2.1.5	应变片的粘贴	56
2.1.6	应变片的选型	56
	巩固与拓展	57
任务 2.2	压电式传感器测力	57
2.2.1	压电效应	57
2.2.2	压电式传感器的等效电路	59
2.2.3	压电式传感器的测量电路	60
2.2.4	新型压电材料及应用	62
2.2.5	正确使用测力传感器	64
	巩固与拓展	65
任务 2.3	电感式传感器测力	66
2.3.1	电感式压力传感器工作原理	66
2.3.2	自感式压力传感器	66
2.3.3	差动变压器式传感器	68
2.3.4	电感式差动压力变送器的选型规则	71
2.3.5	电感式压力传感器的日常维护	72
	巩固与拓展	73
任务 2.4	应用技能实训——高速公路车辆超载检测系统中的电阻应变式称重 传感器	73
	项目小结	76
项目 3	流量的检测	77
任务 3.1	超声波传感器检测流量	77
3.1.1	超声波基本知识	77
3.1.2	超声波传感器	79
3.1.3	超声波流量传感器的测量原理	81
3.1.4	超声波流量计的组成和分类	82

3.1.5	超声波流量计的选用技巧	85
3.1.6	超声波传感器在其他领域的应用	86
	巩固与拓展	88
任务 3.2	电磁式流量传感器检测流量	89
3.2.1	电磁流量计工作原理	89
3.2.2	电磁流量计的结构	90
3.2.3	电磁式流量计的分类	91
3.2.4	电磁流量计的优缺点	91
3.2.5	电磁流量计的选型依据	93
3.2.6	电磁流量计的安装注意事项	94
3.2.7	使用电磁流量计的注意事项	95
	巩固与拓展	96
任务 3.3	光纤传感器检测流量	96
3.3.1	光纤结构	96
3.3.2	光纤传感器的工作原理	97
3.3.3	光纤传感器的分类	97
3.3.4	光纤传感器的调制方法	97
3.3.5	光纤传感器的特点	98
3.3.6	光纤传感器涡轮流量计	98
3.3.7	光纤传感器的发展前景和应用范围	100
3.3.8	光纤传感器的其他应用	101
	巩固与拓展	102
任务 3.4	应用技能实训——电磁流量计在制浆造纸厂的应用	103
3.4.1	进配浆池 NBKP 浆（漂白针叶木硫酸盐浆）电磁流量计选型	103
3.4.2	水流量测量电磁流量计选型	104
3.4.3	流量传感器的装调	104
3.4.4	流量传感器的日常维护	104
	项目小结	105
项目 4	运动学量的检测	106
任务 4.1	霍尔传感器检测运动学量	106
4.1.1	霍尔效应	107
4.1.2	霍尔元件	108
4.1.3	霍尔集成传感器	109
4.1.4	霍尔传感器使用注意事项	112
4.1.5	霍尔传感器的其他应用	113
	巩固与拓展	115
任务 4.2	电涡流传感器检测运动学量	116
4.2.1	电涡流传感器工作原理	117
4.2.2	电涡流传感器的测量电路	118

4.2.3	电涡流传感器使用注意事项	121
4.2.4	集肤效应	121
4.2.5	电涡流传感器的其他应用	122
	巩固与拓展	123
任务 4.3	光栅传感器检测运动学量	124
4.3.1	光栅	124
4.3.2	莫尔条纹	126
4.3.3	光栅位移传感器	128
4.3.4	光栅尺选型	129
4.3.5	光栅尺线位移传感器的安装	130
4.3.6	光栅尺使用注意事项	131
	巩固与拓展	132
任务 4.4	应用技能实训——传感器在小型无人机飞行控制器中的应用	133
4.4.1	飞行控制器硬件系统的设计	134
4.4.2	软件系统设计	136
4.4.3	飞行效果	137
	项目小结	138
项目 5	物位的检测	139
任务 5.1	电容式传感器检测物位	140
5.1.1	电容式传感器基本原理	140
5.1.2	电容式传感器的灵敏度及非线性	142
5.1.3	电容式传感器的等效电路	143
5.1.4	电容式传感器的测量转换电路	144
5.1.5	电容式传感器的特点	148
5.1.6	电容式传感器使用中的注意事项	151
5.1.7	电容式传感器的其他应用	151
	巩固与拓展	154
任务 5.2	接近开关的物位检测	156
5.2.1	接近式传感器的分类	156
5.2.2	常用接近式传感器的基本特性	157
5.2.3	接近式传感器件的选用要求与原则	164
5.2.4	接近式传感器的接线	166
5.2.5	接近式传感器的装调与维护	167
	巩固与拓展	168
任务 5.3	应用技能实训——热释电红外探头报警器	168
5.3.1	报警器电路图设计及原理	169
5.3.2	元器件选型	169
5.3.3	参考电路板制作与调试	170
	项目小结	170

项目 6 环境量的检测	171
任务 6.1 气敏传感器对常见气体的检测	171
6.1.1 气敏传感器概述	171
6.1.2 电阻型半导体气敏材料的导电机理	172
6.1.3 电阻型半导体气敏传感器的结构	173
6.1.4 气敏元件的基本特性	174
6.1.5 半导体气敏传感器的应用	177
巩固与拓展	178
任务 6.2 湿敏传感器对湿度的检测	179
6.2.1 湿度的概念和湿度检测	179
6.2.2 湿敏传感器分类	180
6.2.3 其他湿敏传感器——电容式湿敏传感器	184
6.2.4 湿敏电阻和湿敏电容传感器的比较	184
6.2.5 湿敏传感器的选择依据	185
6.2.6 湿敏传感器的主要参数	186
6.2.7 湿敏传感器使用注意事项	186
巩固与拓展	186
任务 6.3 应用技能实训——实用酒精检测报警器	187
6.3.1 报警器的工作原理	187
6.3.2 酒精传感器参数	188
任务 6.4 应用技能实训——基于 ZigBee 技术的节水灌溉系统设计	188
6.4.1 系统体系结构	189
6.4.2 传感器节点模块	190
6.4.3 无线通信模块	190
6.4.4 软件设计	191
项目小结	192
项目 7 现代检测技术中新型传感器的应用	193
任务 7.1 RFID 在物流自动化领域的应用	193
7.1.1 认识 RFID 技术	194
7.1.2 RFID 物流系统的构成环节	196
7.1.3 物流系统中使用 RFID 需要注意的事项	198
7.1.4 RFID 技术在农产品管理中的应用	200
7.1.5 RFID 技术在智能档案管理系统中的应用	201
7.1.6 RFID 技术目前存在的问题	203
巩固与拓展	204
任务 7.2 图像传感器在数码产品中的应用	205
7.2.1 CCD 图像传感器	206
7.2.2 CMOS 图像传感器	210
7.2.3 CMOS 图像传感器在高速图像采集中的应用	213

7.2.4 智能图像传感器	214
巩固与拓展	215
任务 7.3 传感器在机器人中的应用	215
7.3.1 机器人传感器的分类	216
7.3.2 机器人视觉传感器	217
7.3.3 机器人触觉传感器	217
7.3.4 接近觉传感器	220
7.3.5 听觉传感器	221
7.3.6 感觉传感器	222
7.3.7 机器人的应用领域	224
7.3.8 新型仿生机器人	228
7.3.9 未来软体机器人	229
巩固与拓展	230
任务 7.4 应用技能实训——多传感器在智能循迹小车中的应用	230
7.4.1 控制器系统硬件设计	232
7.4.2 软件系统设计	234
项目小结	235
附录 书中非标准符号与国标的对照表	236
参考文献	237

绪论 初识传感器

伴随着工业化、信息化时代的到来，传感器技术已经成为一门迅猛发展的综合性技术学科，广泛应用于人类的社会生产和科学研究中，并起着越来越重要的作用，成为国民经济发展和社会进步的一项不可或缺的重要技术。它与通信技术、计算机技术共同构成了信息技术系统的“感官”“神经”和“大脑”，三者一起成为信息技术的三大支柱。对于机电一体化产品来说，三者都不可或缺。自动化程度越高，系统对传感器的依赖性就越大，传感器对系统功能的决定作用就越明显。

传感器（Transducer/Sensor）是一种检测装置，是获取自然界和生产领域中相关信息的主要途径与手段。它能感受到被测量信息，并将其按一定规律变换成电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求，是实现自动检测和自动控制的首要环节，为自动控制提供控制依据。

一、传感器的认知

1. 传感器的应用

从 20 世纪 80 年代起，全世界范围内掀起了一股“传感器热”，各先进工业国都极为重视传感技术和传感器的研究、开发和生产。传感技术领域已成为重要的现代科技领域，传感技术已经成为科学和生产实践的必要手段，其水平的高低是科技现代化的重要标志之一，传感器及其系统的生产成为重要的新兴产业。

在现代工业生产尤其是自动化生产过程中，各种传感器通常被用来监视和控制生产过程中的各个参数，使设备能工作在正常状态或最佳状态，并使产品达到最好的质量。如一辆汽车需要配备 30 ~ 100 种传感器及配套检测仪表用于检测车速、方位、转矩、振动、油压、油量、温度等参数；一条自动化生产线则需要配备 20 ~ 100 种传感器及配套检测仪表用于监测生产部位的参数，如位置、压力、流量等（如图 0-1 所示）。可见传感器与检测技术在工程技术领域占有非常重要的地位，没有众多优良的传感器，现代化生产就失去了基础，现代化

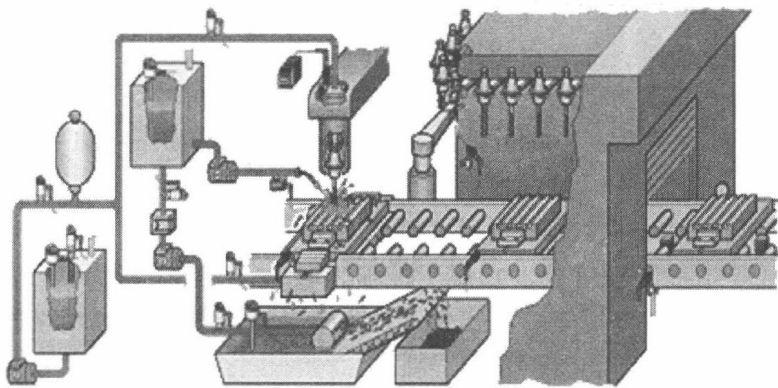


图 0-1 传感器在生产线中的应用示意图

的工业产品也就失去了功能。

在基础学科研究中，传感器更具有突出的地位。现代科学技术的发展，已经迈入了许多新领域。例如宏观上要观察上万或上亿光年的茫茫宇宙，微观上要观察小到纳米的粒子世界，纵向上要观察长达数十万年的天体演化和短到毫秒的瞬间反应（如图 0-2 所示）。此外，还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术的研究，如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等。以上的这些研究领域都离不开传感器的帮助。

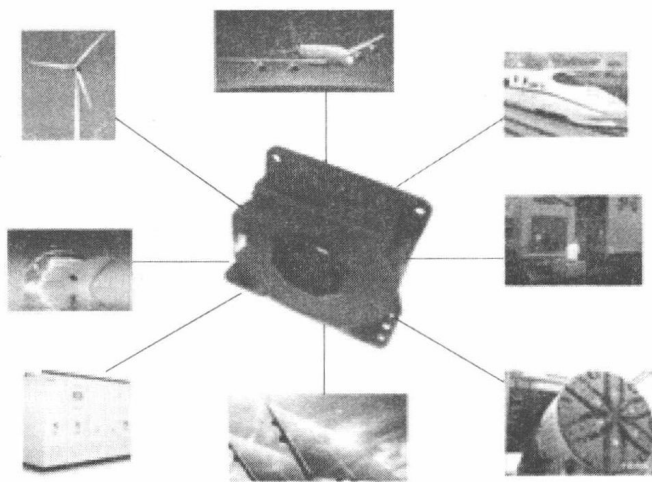


图 0-2 传感器的广泛应用

传感器早已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、甚至文物保护等领域，应用极其广泛。可以毫不夸张地说，从茫茫的太空，到浩瀚的海洋，以及各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。

由此可见，传感器技术在发展经济、推动社会进步等方面的重要作用。世界各国也都十分重视这一领域的发展。相信在不久的将来，传感器技术将会出现一个飞跃，达到与其重要地位相称的新水平。

2. 传感器的定义

国家标准 GB/T 7665—2005 对传感器的定义是：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。

在韦氏大词典中定义传感器为：从一个系统接受功率，再将功率以其他形式传送到另一个系统中的器件（A device that is actuated by power from one system and supplies power usually in another form to a second system.）。根据这个定义可知，传感器的作用是将一种能量形式转换成另一种能量形式，所以不少学者也用“换能器（Transducer）”来表示“传感器”。

传感器的输出量通常是电信号，它便于传输、转换、处理、显示等。电信号有很多形式，如电压、电流、电容、电阻等，输出信号的形式通常由传感器的原理决定。

3. 传感器的组成

传感器的组成按其定义一般由敏感元件、转换元件、信号调理转换电路三部分组成，如图 0-3 所示，有时还需外加辅助电源提供转换能量。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合于传输或测量的电信号部分。由于传感器输出信号一般都很微弱，因此需要将其进行信号调理、转换、放大、运算与调制之后才能进行显示和参与控制。

随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用，目前已经实现了将传感器的信号调理转换电路与敏感元件一起集成在同一芯片上的传感器模块和集成电路传感器，如集成温度传感器 AD590、DS18B20 等。

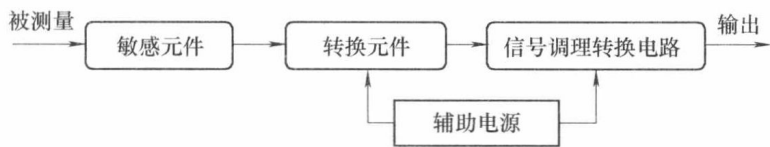


图 0-3 传感器的组成

4. 传感器的分类

从不同的角度来讲，传感器有许多分类方法，对某一物理量的测量可以使用不同类型的传感器，而同一种传感器也可以测量多种不同的物理量。目前对传感器一般采用两种分类方法：一种是按被测参数分类，如对温度、压力、位移、速度等的测量，相应的有温度传感器、压力传感器、位移传感器、速度传感器等；另一种是按传感器的工作原理分类，如按应变、电容、压电、磁电、光电效应等原理工作时，相应的有应变式传感器、电容式传感器、压电式传感器、磁电式传感器、光电式传感器等。

5. 传感器的发展趋势

在科学技术领域、工农业生产以及日常生活中，传感器发挥着越来越重要的作用。人类社会对传感器提出越来越高的要求是传感器技术发展的强大动力，而现代科学技术突飞猛进的发展则为其提供了坚强的后盾。随着科技的发展，传感器也在不断地更新换代。

当前传感器的发展方向是：智能化、微型化、多功能化和网络化。

(1) 智能化

传感器与微处理器相结合，使之不仅具有检测功能，还具有信息处理、逻辑判断、自诊断以及“思维”等人工智能，这称之为传感器的智能化，智能化传感器如图 0-4 所示。借助于半导体集成技术把传感器部分与信号预处理电路、输入输出接口、微处理器等制作在同一块芯片上，成为大规模集成智能传感器。可以说智能传感器是传感器技术与大规模集成电路技术相结合的产物，它的实现取决于传感技术与半导体集成化工艺水平的提高与发展。

与一般传感器相比，智能式传感器有以下几个显著特点。

1) 精度高。智能传感器具有信息处理的功能，通过软件可以修正各种确定性系统误差（如传感器的非线性误差、温度误差、零点误差、正反行程误



图 0-4 智能化传感器

差等), 还可以适当补偿随机误差, 降低噪声, 从而使传感器的精度大大提高。

2) 稳定性、可靠性好。智能传感器具有自诊断、自校准和数据存储功能, 对于智能结构系统还有自适应功能。

3) 检测与处理方便。智能传感器不仅具有一定的可编程自动化能力, 能根据检测对象或条件的改变, 方便地改变量程及输出数据的形式等, 而且输出的数据可以通过串行通信线路直接送入远程计算机进行处理。

4) 功能广。智能传感器不仅可以实现多传感器多参数的综合测量, 能扩大其测量与使用范围, 还允许有多种形式输出。

(2) 微型化

由于计算机技术的发展, 辅助设计 (CAD) 技术和集成电路技术迅速发展, 微机械电子系统 (MEMS) 技术应用于传感器技术, 从而引发了传感器的微型化。图 0-5 所示为 MEMS 陀螺与传统陀螺仪的差别。

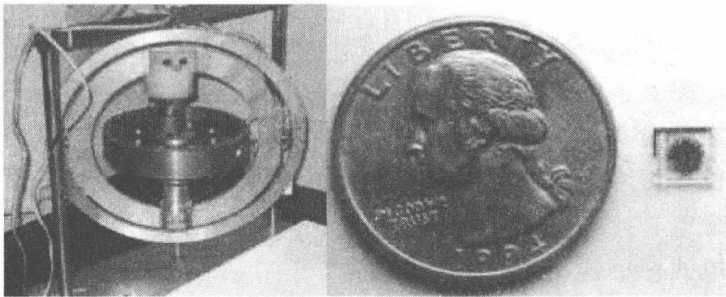


图 0-5 传统陀螺仪与 MEMS 陀螺

MEMS 是“微机械电子系统”的英文缩写。微机电系统是采用微机械加工技术, 将微型传感器、微型执行器、微型机构和相应的处理电路集成在一起的微型器件或微型系统。MEMS 为“微米级”加工技术 (可参阅“知识拓展”中相关内容)。1988 年美国科学家成功研制第一台静电电动机, 其转子直径 $120\mu\text{m}$, 厚 $1\mu\text{m}$ 。在 380V 电压驱动下, 最大转速可达 500 转/min。

(3) 多功能化

传感器的多功能化也是其发展方向之一。作为多功能化的典型实例, 美国研制的单片硅多维力传感器, 主要元件是由 4 个正确设计安装在一个基板上的悬臂梁组成的单片硅结构, 以及 9 个准确布置在各个悬臂梁上的压阻敏感元件。该传感器可以同时测量 3 个线速度、3 个离心加速度 (角速度) 和 3 个角加速度。多功能化不仅可以降低生产成本, 减小体积, 而且可以有效地提高传感器的稳定性、可靠性等性能指标。

(4) 网络化

随着通信技术和无线技术的广泛应用, 无线传感器网络也得到了大量应用。如在航天技术中, 可通过卫星把多个传感器的采集数据发回地面, 从而了解到太空中的所有情况。

无线传感器网络是利用大量的微型传感器 (结点), 通过无线通信形成网络, 用来感知现场的信息。结点中的微处理器对原始数据进行初步处理后, 经网络层层转发, 最终发送给基站, 再由基站传送给用户, 从而实现对现场的监控。无线传感器网络由成千上万个微型传

传感器组成，每个微型传感器称为网络的一个“结点”。

无线传感器网络被称为 21 世纪最具影响的技术之一，位居改变世界的十大新兴技术之首，是全球未来的四大高新技术产业之一。无线传感器的应用越来越广泛，被认为是继互联网以来的第二大网络。我国在无线传感器网络技术的应用与研究方面，目前拥有较强的实力，位居世界前列。

综上所述，传感器的发展日新月异，特别是人类由高度工业化进入信息时代以来，传感器技术向更新、更高的方向发展。美日等发达国家的传感器技术发展最快，我国的传感器技术与之相比还有差距，因此我们应该加大对传感器技术研究和开发的投入，促进我国仪器仪表工业和自动化技术的发展。

二、传感器的特性

传感器一般将各种信息量（物理量、化学量、生物量）转换为电信号，描述这种转换的输入与输出关系表达了传感器的基本特性（如图 0-6 所示）。它有静态、动态之分。静态特性是指当输入量为常量或变化极慢时，即被测量各个值处于稳定状态时的输入输出关系。动态特性是指当输入量随时间变化的响应特性。本教材主要介绍传感器静态特性的一些指标。

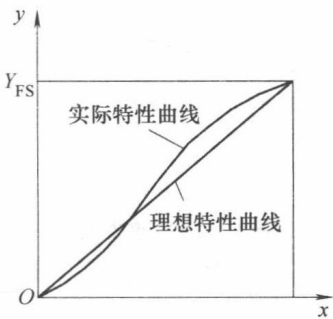


图 0-6 传感器的输入与输出关系

1. 传感器静态特性

(1) 线性度

线性度也称为非线性误差，是指传感器的输出与输入之间关系的线性程度，即实际特性曲线与拟合直线（也称为理论直线）之间的最大偏差与传感器满量程输出的百分比。理论上希望传感器具有理想的线性化输入输出关系，实际上传感器大多为非线性，传感器线性度示意图如图 0-7 所示。

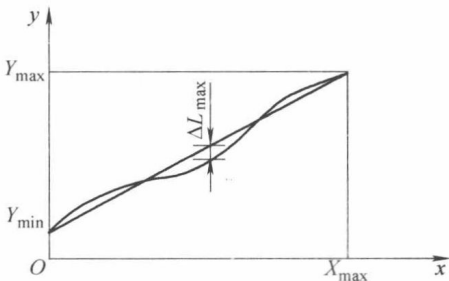


图 0-7 传感器线性度示意图

线性度通常用相对误差 γ_L 表示，即

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (0-1)$$

式中 $\Delta L_{\max}$ ——最大非线性绝对误差；

Y_{FS} ——满量程输出。

(2) 迟滞

传感器在正（输入量增大）反（输入量减小）行程中输入输出特性曲线不重合的现象称为迟滞。

正反行程的特性曲线是不重合的，且反行程特性曲线的终点与正行程特性曲线的起点也不重合。也就是说，对于同一大小的输入信号，传感器的正反行程输出信号大小不相等。这种现象主要是由于传感器敏感元件材料的物理性质和机械零部件的缺陷所造成的，如弹性敏感元件的弹性滞后、运动部件摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动等。