

21世纪全国高等院校 **自动化系列** 实用规划教材



传感器基础

(第2版)

主 编 赵玉刚 邱 东



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材

传感器基础

(第 2 版)

主 编 赵玉刚 邱 东
副主编 曹昕燕 徐沪萍 崔利娜



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是在已出版的《传感器基础》之上,针对应用型人才而编写。第2版教材增加了几种类型的传感器,尽量引入传感器的实物图;版式、封面重新设计以吸引读者。本书修订后内容丰富、全面,原理描述由浅入深、浅显易懂,应用实例广泛、实用。本书以传统的典型传感器为主,同时增加多种新型传感器,主要介绍传感器的原理、结构特点、测量电路及传感器在工业生产、日常生活中的实际应用。

本书共分12章。第1章讲述有关传感器的理论基础;第2~11章分别讲述电阻式、电感式、电容式、压电式、光电式、光纤式、热电式、半导体式、波式和辐射式及智能传感器,主要阐述各种类型传感器的原理、特性、测量电路及其应用;第12章讲述传感器的选用、补偿和抗干扰技术。

本书可作为自动化、电子信息、测控技术及仪器、电气工程及计算机等专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

传感器基础/赵玉刚,邱东主编. —2版. —北京:北京大学出版社,2013.6

(21世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-19174-3

I. ①传… II. ①赵…②邱… 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(2011)第 125238 号

书 名: 传感器基础(第2版)

著作责任者: 赵玉刚 邱 东 主编

策 划 编 辑: 程志强 姜晓楠

责 任 编 辑: 程志强

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-19174-3/TP·1174

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京富生印刷厂

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 15.75印张 360千字

2006年8月第1版 2013年6月第2版 2013年6月第1次印刷

定 价: 32.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

第 2 版前言

现代化生产与自动控制系统是以计算机为核心,以传感器为基础组成的。传感器可以说是实现自动检测和自动控制的首要环节,没有好的传感器,就没有精确可靠的自动检测和控制系统。近年来,随着科学技术的发展,各种类型的传感器已广泛应用到工业生产与控制的各个领域。

要及时准确地获取各种信息,解决工程、生产及科研中遇到的各种具体的检测问题,就必须了解和熟悉传感器,同时也要学会合理选择和应用各种传感器及传感技术。《传感器基础》是自动化系列教材之一,书中内容丰富、全面,原理描述由浅入深、浅显易懂,应用实例广泛、实用。本书是以传统的典型传感器为主,同时增加多种新型传感器,在介绍传感器的原理、结构特点、测量电路的基础上,更加注重传感器的选择和在生产、日常生活中的实际应用。

本书在第 1 版的基础上,对部分内容进行修改,以便更加符合实际需要。

1. 体系创新

本书力求改变工科教材的难读、难懂、难理解并且枯燥无味的内容。每章开始增加了教学目标、教学要求和导入案例,使读者对该章内容一目了然,对该类传感器能够快速了解;同时,注重拓展学生的知识面,坚持科技知识与人文知识的结合,增强教材的可读性。

2. 内容更新

(1) 删减了不必要的理论内容,使其讲解更简单实用,更加注重传感器的实际应用。增加了光栅式传感器、磁敏晶体管传感器和传感器的基本选择原则等内容,使得本书内容更加完善、全面。

(2) 强化案例式教学,重视实践环节。每章开始通过相关的应用案例来引入传感器的应用场合,中间以实物图片展示传感器的外观形式,使学生更容易接受和理解;在最后应用一节,列举出传感器在多种参数检测中的应用,并通过实验环节和简单的系统设计,让学生掌握传感器的选择和使用。

(3) 内容符合应用型本科教学。本书以学生为根本,从实际出发,站在学生的角度思考问题,考虑学生看到本书后的感受,由浅入深、循序渐进地阐述章节内容。如每个章节均包括原理、特点、转换电路和应用几项内容。通过知识点的提醒和有关问题的思考,锻炼学生的思维能力以及运用概念解决问题的能力。

本书共分 12 章,包括三个单元:第一单元(第 1 章)介绍传感器的基础知识;第二单元(第 2~11 章)介绍各种传感器的原理、结构及应用;第三单元(第 12 章)介绍传感器的选择、补偿和抗干扰技术。书中每章内容具有独立性,使用本书时,可根据不同专业的要求和特点,有选择性地教学。

本书由北华大学赵玉刚主编。其中赵玉刚编写第 4 章、第 5 章、第 6 章的 6.5 和 6.6



节、第9章的9.3.2节、第10章和第12章的12.1节；邱东编写第1章、第2章和第11章；长春大学曹昕燕编写第6章的6.1~6.4节和第7章；武汉理工大学徐沪萍编写第3章和第9章；长春工业大学崔利娜编写第8章和第12章的12.2~12.4节。本书在修改过程中，得到了许多同行的支持和帮助，他们提出了许多宝贵意见，同时也得到了北京大学出版社第六事业部编辑的大力支持，对他们的悉心指导和帮助表示真挚的谢意！对本书参考文献中的有关作者致以衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正，提出宝贵意见。

编 者

2013年3月

北京大学出版社本科计算机系列实用规划教材

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
1	7-301-10511-5	离散数学	段禅伦	28	38	7-301-13684-3	单片机原理及应用	王新颖	25
2	7-301-10457-X	线性代数	陈付贵	20	39	7-301-14505-0	Visual C++程序设计案例教程	张荣梅	30
3	7-301-10510-X	概率论与数理统计	陈荣江	26	40	7-301-14259-2	多媒体技术应用案例教程	李 建	30
4	7-301-10503-0	Visual Basic 程序设计	闵联营	22	41	7-301-14503-6	ASP .NET 动态网页设计案例教程(Visual Basic .NET 版)	江 红	35
5	7-301-21752-8	多媒体技术及其应用(第2版)	张 明	39	42	7-301-14504-3	C++面向对象与 Visual C++程序设计案例教程	黄贤英	35
6	7-301-10466-8	C++程序设计	刘天印	33	43	7-301-14506-7	Photoshop CS3 案例教程	李建芳	34
7	7-301-10467-5	C++程序设计实验指导与习题解答	李 兰	20	44	7-301-14510-4	C++程序设计基础案例教程	于永彦	33
8	7-301-10505-4	Visual C++程序设计教程与上机指导	高志伟	25	45	7-301-14942-3	ASP .NET 网络应用案例教程(C# .NET 版)	张登辉	33
9	7-301-10462-0	XML 实用教程	丁跃潮	26	46	7-301-12377-5	计算机硬件技术基础	石 磊	26
10	7-301-10463-7	计算机网络系统集成	斯桃枝	22	47	7-301-15208-9	计算机组成原理	娄国焕	24
11	7-301-22437-3	单片机原理及应用教程(第2版)	范立南	43	48	7-301-15463-2	网页设计与制作案例教程	房爱莲	36
12	7-5038-4421-3	ASP .NET 网络编程实用教程(C#版)	崔良海	31	49	7-301-04852-8	线性代数	姚喜妍	22
13	7-5038-4427-2	C 语言程序设计	赵建锋	25	50	7-301-15461-8	计算机网络技术	陈代武	33
14	7-5038-4420-5	Delphi 程序设计基础教程	张世明	37	51	7-301-15697-1	计算机辅助设计二次开发案例教程	谢安俊	26
15	7-5038-4417-5	SQL Server 数据库设计与应用	姜 力	31	52	7-301-15740-4	Visual C# 程序开发案例教程	韩朝阳	30
16	7-5038-4424-9	大学计算机基础	贾丽娟	34	53	7-301-16597-3	Visual C++程序设计实用案例教程	于永彦	32
17	7-5038-4430-0	计算机科学与技术导论	王昆仑	30	54	7-301-16850-9	Java 程序设计案例教程	胡巧多	32
18	7-5038-4418-3	计算机网络应用实例教程	魏 峥	25	55	7-301-16842-4	数据库原理与应用(SQL Server 版)	毛一梅	36
19	7-5038-4415-9	面向对象程序设计	冷英男	28	56	7-301-16910-0	计算机网络技术基础与应用	马秀峰	33
20	7-5038-4429-4	软件工程	赵春刚	22	57	7-301-15063-4	计算机网络基础与应用	刘远生	32
21	7-5038-4431-0	数据结构(C++版)	秦 锋	28	58	7-301-15250-8	汇编语言程序设计	张光长	28
22	7-5038-4423-2	微机应用基础	吕晓燕	33	59	7-301-15064-1	网络安全技术	骆耀祖	30
23	7-5038-4426-4	微型计算机原理与接口技术	刘彦文	26	60	7-301-15584-4	数据结构与算法	佟伟光	32
24	7-5038-4425-6	办公自动化教程	钱 俊	30	61	7-301-17087-8	操作系统实用教程	范立南	36
25	7-5038-4419-1	Java 语言程序设计实用教程	董迎红	33	62	7-301-16631-4	Visual Basic 2008 程序设计教程	隋晓红	34
26	7-5038-4428-0	计算机图形技术	龚声蓉	28	63	7-301-17537-8	C 语言基础案例教程	汪新民	31
27	7-301-11501-5	计算机软件技术基础	高 巍	25	64	7-301-17397-8	C++程序设计基础教程	郝亚辉	30
28	7-301-11500-8	计算机组装与维护实用教程	崔明远	33	65	7-301-17578-1	图论算法理论、实现及应用	王桂平	54
29	7-301-12174-0	Visual FoxPro 实用教程	马秀峰	29	66	7-301-17964-2	PHP 动态网页设计与制作案例教程	房爱莲	42
30	7-301-11500-8	管理信息系统实用教程	杨月江	27	67	7-301-18514-8	多媒体开发与编程	于永彦	35
31	7-301-11445-2	Photoshop CS 实用教程	张 瑾	28	68	7-301-18538-4	实用计算方法	徐亚平	24
32	7-301-12378-2	ASP .NET 课程设计指导	潘志红	35	69	7-301-18539-1	Visual FoxPro 数据库设计案例教程	谭红杨	35
33	7-301-12394-2	C# .NET 课程设计指导	龚自霞	32	70	7-301-19313-6	Java 程序设计案例教程与实训	董迎红	45
34	7-301-13259-3	Visual Basic .NET 课程设计指导	潘志红	30	71	7-301-19389-1	Visual FoxPro 实用教程与上机指导(第2版)	马秀峰	40
35	7-301-12371-3	网络工程实用教程	汪新民	34	72	7-301-19435-5	计算方法	尹景本	28
36	7-301-14132-8	J2EE 课程设计指导	王立丰	32	73	7-301-19388-4	Java 程序设计教程	张剑飞	35
37	7-301-21088-8	计算机专业英语(第2版)	张 勇	42	74	7-301-19386-0	计算机图形技术(第2版)	许承东	44

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
75	7-301-15689-6	Photoshop CS5 案例教程 (第 2 版)	李建芳	39	84	7-301-16824-0	软件测试案例教程	丁宋涛	28
76	7-301-18395-3	概率论与数理统计	姚喜妍	29	85	7-301-20328-6	ASP. NET 动态网页案例教程 (C#.NET 版)	江 红	45
77	7-301-19980-0	3ds Max 2011 案例教程	李建芳	44	86	7-301-16528-7	C#程序设计	胡艳菊	40
78	7-301-20052-0	数据结构与算法应用实践教程	李文书	36	87	7-301-21271-4	C#面向对象程序设计及 实践教程	唐 燕	45
79	7-301-12375-1	汇编语言程序设计	张宝剑	36	88	7-301-21295-0	计算机专业英语	吴丽君	34
80	7-301-20523-5	Visual C++程序设计教程与上 机指导(第2版)	牛江川	40	89	7-301-21341-4	计算机组成与结构教程	姚玉霞	42
81	7-301-20630-0	C#程序开发案例教程	李挥剑	39	90	7-301-21367-4	计算机组成与结构实验实训 教程	姚玉霞	22
82	7-301-20898-4	SQL Server 2008 数据库应 用案例教程	钱 哨	38	91	7-301-22119-8	UML 实用基础教程	赵春刚	36
83	7-301-21052-9	ASP.NET 程序设计与开发	张绍兵	39					

北京大学出版社电气信息类教材书目(已出版)

欢迎选订

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
1	7-301-10759-1	DSP 技术及应用	吴冬梅	26	38	7-5038-4400-3	工厂供配电	王玉华	34
2	7-301-10760-7	单片机原理与应用技术	魏立峰	25	39	7-5038-4410-2	控制系统仿真	郑恩让	26
3	7-301-10765-2	电工学	蒋 中	29	40	7-5038-4398-3	数字电子技术	李 元	27
4	7-301-19183-5	电工与电子技术(上册)(第2版)	吴舒辞	30	41	7-5038-4412-6	现代控制理论	刘永信	22
5	7-301-19229-0	电工与电子技术(下册)(第2版)	徐卓农	32	42	7-5038-4401-0	自动化仪表	齐志才	27
6	7-301-10699-0	电子工艺实习	周春阳	19	43	7-5038-4408-9	自动化专业英语	李国厚	32
7	7-301-10744-7	电子工艺学教程	张立毅	32	44	7-5038-4406-5	集散控制系统	刘翠玲	25
8	7-301-10915-6	电子线路 CAD	吕建平	34	45	7-301-19174-3	传感器基础(第2版)	赵玉刚	32
9	7-301-10764-1	数据通信技术教程	吴延海	29	46	7-5038-4396-9	自动控制原理	潘 丰	32
10	7-301-18784-5	数字信号处理(第2版)	阎 毅	32	47	7-301-10512-2	现代控制理论基础(国家级十一 五规划教材)	侯媛彬	20
11	7-301-18889-7	现代交换技术(第2版)	姚 军	36	48	7-301-11151-2	电路基础学习指导与典型题解	公茂法	32
12	7-301-10761-4	信号与系统	华 容	33	49	7-301-12326-3	过程控制与自动化仪表	张井岗	36
13	7-301-19318-1	信息与通信工程专业英语 (第2版)	韩定定	32	50	7-301-12327-0	计算机控制系统	徐文尚	28
14	7-301-10757-7	自动控制原理	袁德成	29	51	7-5038-4414-0	微机原理及接口技术	赵志诚	38
15	7-301-16520-1	高频电子线路(第2版)	宋树祥	35	52	7-301-10465-1	单片机原理及应用教程	范立南	30
16	7-301-11507-7	微机原理与接口技术	陈光军	34	53	7-5038-4426-4	微型计算机原理与接口技术	刘彦文	26
17	7-301-11442-1	MATLAB 基础及其应用教程	周开利	24	54	7-301-12562-5	嵌入式基础实践教程	杨 刚	30
18	7-301-11508-4	计算机网络	郭银景	31	55	7-301-12530-4	嵌入式 ARM 系统原理与实例 开发	杨宗德	25
19	7-301-12178-8	通信原理	隋晓红	32	56	7-301-13676-8	单片机原理与应用及 C51 程 序设计	唐 颖	30
20	7-301-12175-7	电子系统综合设计	郭 勇	25	57	7-301-13577-8	电力电子技术及应用	张润和	38
21	7-301-11503-9	EDA 技术基础	赵明富	22	58	7-301-20508-2	电磁场与电磁波(第2版)	郭春明	30
22	7-301-12176-4	数字图像处理	曹茂永	23	59	7-301-12179-5	电路分析	王艳红	38
23	7-301-12177-1	现代通信系统	李白萍	27	60	7-301-12380-5	电子测量与传感技术	杨 雷	35
24	7-301-12340-9	模拟电子技术	陆秀令	28	61	7-301-14461-9	高电压技术	马永翔	28
25	7-301-13121-3	模拟电子技术实验教程	谭海曙	24	62	7-301-14472-5	生物医学数据分析及其 MATLAB 实现	尚志刚	25
26	7-301-11502-2	移动通信	郭俊强	22	63	7-301-14460-2	电力系统分析	曹 娜	35
27	7-301-11504-6	数字电子技术	梅开乡	30	64	7-301-14459-6	DSP 技术与应用基础	俞一彪	34
28	7-301-18860-6	运筹学(第2版)	吴亚丽	28	65	7-301-14994-2	综合布线系统基础教程	吴达金	24
29	7-5038-4407-2	传感器与检测技术	祝诗平	30	66	7-301-15168-6	信号处理 MATLAB 实验教程	李 杰	20
30	7-5038-4413-3	单片机原理及应用	刘 刚	24	67	7-301-15440-3	电工电子实验教程	魏 伟	26
31	7-5038-4409-6	电机与拖动	杨天明	27	68	7-301-15445-8	检测与控制实验教程	魏 伟	24
32	7-5038-4411-9	电力电子技术	樊立萍	25	69	7-301-04595-4	电路与模拟电子技术	张绪光	35
33	7-5038-4399-0	电力市场原理与实践	邹 斌	24	70	7-301-15458-8	信号、系统与控制理论(上、 下册)	邱德润	70
34	7-5038-4405-8	电力系统继电保护	马永翔	27	71	7-301-15786-2	通信网的信令系统	张云麟	24
35	7-5038-4397-6	电力系统自动化	孟祥忠	25	72	7-301-16493-8	发电厂变电所电气部分	马永翔	35
36	7-5038-4404-1	电气控制技术	韩顺杰	22	73	7-301-16076-3	数字信号处理	王震宇	32
37	7-5038-4403-4	电器与 PLC 控制技术	陈志新	38	74	7-301-16931-5	微机原理及接口技术	肖洪兵	32

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
75	7-301-16932-2	数字电子技术	刘金华	30	107	7-301-20506-8	编码调制技术	黄 平	26
76	7-301-16933-9	自动控制原理	丁 红	32	108	7-301-20763-5	网络工程与管理	谢 慧	39
77	7-301-17540-8	单片机原理及应用教程	周广兴	40	109	7-301-20845-8	单片机原理与接口技术实验与课程设计	徐懂理	26
78	7-301-17614-6	微机原理及接口技术实验指导书	李干林	22	110	301-20725-3	模拟电子线路	宋树祥	38
79	7-301-12379-9	光纤通信	卢志茂	28	111	7-301-21058-1	单片机原理与应用及其实验指导书	邵发森	44
80	7-301-17382-4	离散信息论基础	范九伦	25	112	7-301-20918-9	Mathcad 在信号与系统中的应用	郭仁春	30
81	7-301-17677-1	新能源与分布式发电技术	朱永强	32	113	7-301-20327-9	电工学实验教程	王士军	34
82	7-301-17683-2	光纤通信	李丽君	26	114	7-301-16367-2	供配电技术	王玉华	49
83	7-301-17700-6	模拟电子技术	张绪光	36	115	7-301-20351-4	电路与模拟电子技术实验指导书	唐 颖	26
84	7-301-17318-3	ARM 嵌入式系统基础与开发教程	丁文龙	36	116	7-301-21247-9	MATLAB 基础与应用教程	王月明	32
85	7-301-17797-6	PLC 原理及应用	缪志农	26	117	7-301-21235-6	集成电路版图设计	陆学斌	36
86	7-301-17986-4	数字信号处理	王玉德	32	118	7-301-21304-9	数字电子技术	秦长海	49
87	7-301-18131-7	集散控制系统	周荣富	36	119	7-301-21366-7	电力系统继电保护(第2版)	马永翔	42
88	7-301-18285-7	电子线路 CAD	周荣富	41	120	7-301-21450-3	模拟电子与数字逻辑	邹春明	39
89	7-301-16739-7	MATLAB 基础及应用	李国朝	39	121	7-301-21439-8	物联网概论	王金甫	42
90	7-301-18352-6	信息论与编码	隋晓红	24	122	7-301-21849-5	微波技术基础及其应用	李泽民	49
91	7-301-18260-4	控制电机与特种电机及其控制系统	孙冠群	42	123	7-301-21688-0	电子信息与通信工程专业英语	孙桂芝	36
92	7-301-18493-6	电工技术	张 莉	26	124	7-301-22110-5	传感器技术及应用电路项目化教程	钱裕禄	30
93	7-301-18496-7	现代电子系统设计教程	宋晓梅	36	125	7-301-21672-9	单片机系统设计与实例开发(MSP430)	顾 涛	44
94	7-301-18672-5	太阳能电池原理与应用	靳瑞敏	25	126	7-301-22112-9	自动控制原理	许丽佳	30
95	7-301-18314-4	通信电子线路及仿真设计	王鲜芳	29	127	7-301-22109-9	DSP 技术及应用	董 胜	39
96	7-301-19175-0	单片机原理与接口技术	李 升	46	128	7-301-21607-1	数字图像处理算法及应用	李文书	48
97	7-301-19320-4	移动通信	刘维超	39	129	7-301-22111-2	平板显示技术基础	王丽娟	52
98	7-301-19447-8	电气信息类专业英语	缪志农	40	130	7-301-22448-9	自动控制原理	谭功全	44
99	7-301-19451-5	嵌入式系统设计与应用	邢吉生	44	131	7-301-22474-8	电子电路基础实验与课程设计	武 林	36
100	7-301-19452-2	电子信息类专业 MATLAB 实验教程	李明明	42	132	7-301-22484-7	电文化——电气信息学科概论	高 心	30
101	7-301-16914-8	物理光学理论与应用	宋贵才	32	133	7-301-22436-6	物联网技术案例教程	崔逊学	40
102	7-301-16598-0	综合布线系统管理教程	吴达金	39	134	7-301-22598-1	实用数字电子技术	钱裕禄	30
103	7-301-20394-1	物联网基础与应用	李蔚田	44	135	7-301-22529-5	PLC 技术与应用(西门子版)	丁金婷	32
104	7-301-20339-2	数字图像处理	李云红	36	136	7-301-22386-4	自动控制原理	佟 威	30
105	7-301-20340-8	信号与系统	李云红	29	137	7-301-22528-8	通信原理实验与课程设计	邹春明	34
106	7-301-20505-1	电路分析基础	吴舒辞	38					

相关教学资源如电子课件、电子教材、习题答案等可以登录 www.pup6.com 下载或在线阅读。

扑六知识网(www.pup6.com)有海量的相关教学资源和电子教材供阅读及下载(包括北京大学出版社第六事业部的教学资源),同时欢迎您将教学课件、视频、教案、素材、习题、试卷、辅导材料、课改成果、设计作品、论文等教学资源上传到 pup6.com, 与全国高校师生分享您的教学成就与经验,并可自由设定价格,知识也能创造财富。具体情况请登录网站查询。

如您需要免费纸质样书用于教学,欢迎登陆第六事业部门户网(www.pup6.com)填表申请,并欢迎在线登记选题以到北京大学出版社来出版您的大作,也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱,我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

扑六知识网将打造成全国最大的教育资源共享平台,欢迎您的加入——让知识有价值,让教学无界限,让学习更轻松。

联系方式: 010-62750667, pup6_czq@163.com, szheng_pup6@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信咨询。

目 录

第 1 章 传感器理论基础	1	第 3 章 电感式传感器	51
1.1 传感器基础概述	2	3.1 自感式传感器	52
1.1.1 传感器的概念	2	3.1.1 工作原理	52
1.1.2 传感器的组成和分类	3	3.1.2 特性分析	54
1.1.3 传感器的基本特性	5	3.1.3 测量电路	56
1.1.4 传感器的命名及符号	11	3.2 互感式传感器	58
1.1.5 传感器的发展趋势	13	3.2.1 工作原理及特性	59
1.2 检测技术理论基础	15	3.2.2 测量电路	61
1.2.1 检测技术	15	3.2.3 零点残余电压及消除 方法	63
1.2.2 检测方法	16	3.3 电涡流式传感器	64
1.2.3 检测系统	18	3.3.1 工作原理	64
1.2.4 测量误差及数据处理	19	3.3.2 测量电路	66
本章小结	27	3.4 电感式传感器的应用	69
思考题与习题	28	3.4.1 自感式传感器的应用	69
第 2 章 电阻式传感器	29	3.4.2 差动变压器的应用	70
2.1 电阻应变式传感器	30	3.4.3 电涡流式传感器的应用	71
2.1.1 应变效应和工作原理	30	本章小结	73
2.1.2 电阻应变片的种类、 材料及粘贴	31	思考题与习题	74
2.1.3 电阻应变片的主要 特性	34	第 4 章 电容式传感器	75
2.1.4 电阻应变片的温度 误差及补偿	36	4.1 传感器原理和结构类型	76
2.1.5 测量电路	39	4.1.1 工作原理	76
2.2 压阻式传感器	43	4.1.2 结构类型	76
2.2.1 工作原理	43	4.2 测量电路	79
2.2.2 影响压阻系数的因素	43	4.2.1 等效电路	79
2.2.3 压阻式传感器的材料	45	4.2.2 测量电路	80
2.3 电阻式传感器的应用	46	4.3 主要性能、特点	84
本章小结	50	4.3.1 主要性能	84
思考题与习题	50	4.3.2 特点	85
		4.4 电容式传感器的应用	86
		4.4.1 电容式压力传感器	86

4.4.2 电容式加速度传感器	88
4.4.3 荷重传感器	88
4.4.4 电容式测厚传感器	89
4.4.5 电容式液位传感器	89
本章小结	90
思考题与习题	90

第5章 压电式传感器 92

5.1 压电式传感器的工作原理	93
5.1.1 压电效应及压电材料	93
5.1.2 压电式传感器的基本原理 ...	96
5.2 等效电路和测量电路	97
5.2.1 等效电路	97
5.2.2 测量电路	98
5.3 压电式传感器的应用	100
5.3.1 压电式测力传感器	100
5.3.2 压电式加速度传感器	101
5.3.3 压电式报警器	101
5.3.4 压电式压力传感器	102
本章小结	102
思考题与习题	103

第6章 光电式传感器 104

6.1 光电效应	105
6.1.1 外光电效应	105
6.1.2 内光电效应	105
6.2 外光电效应器件	106
6.2.1 光电管	106
6.2.2 光电倍增管	107
6.2.3 外光电效应器件的 应用	108
6.3 光电导器件	110
6.3.1 光敏电阻	110
6.3.2 光电导器件的应用	111
6.4 光生伏特器件	113
6.4.1 光敏二极管	113
6.4.2 光敏三极管	114
6.4.3 光电池	115
6.4.4 光生伏特器件的应用	115

6.5 光栅数字传感器	117
6.5.1 工作原理	117
6.5.2 辨向和细分	121
6.5.3 光栅传感器的应用	122
6.6 图像传感器	123
6.6.1 CCD 图像传感器	123
6.6.2 CCD 图像传感器分类 ...	126
6.6.3 CCD 图像传感器的 应用	127
本章小结	128
思考题与习题	128

第7章 光纤传感器 130

7.1 光导纤维的结构及传光原理	131
7.1.1 光纤的结构	131
7.1.2 光纤的分类	131
7.1.3 传光原理	132
7.2 光纤传感器概述	133
7.2.1 光纤传感器的组成	133
7.2.2 光纤传感器的性能 特点	133
7.2.3 光纤传感器的分类	134
7.2.4 光纤传感器的工作 原理	135
7.3 光纤传感器的应用	136
7.3.1 光纤加速度传感器	136
7.3.2 光纤速度传感器	137
7.3.3 光纤压力传感器	138
7.3.4 光纤温度传感器	138
7.3.5 光纤位移传感器	139
7.3.6 光纤光电传感器	139
7.3.7 光纤图像传感器	140
本章小结	140
思考题与习题	141

第8章 热电式传感器 142

8.1 热电偶温度传感器	143
8.1.1 工作原理	143
8.1.2 基本定律	145



8.1.3 热电偶的材料、结构及 常用热电偶	147
8.1.4 热电偶冷端温度补偿	149
8.2 热电阻温度传感器	151
8.2.1 测温原理及类型	151
8.2.2 热电阻的结构	152
8.2.3 测量电路	152
8.3 热敏电阻温度传感器	153
8.3.1 热敏电阻测温原理	153
8.3.2 结构、材料和特性	153
8.3.3 热敏电阻的应用	155
8.4 集成温度传感器	156
8.4.1 工作原理	157
8.4.2 集成温度传感器的 应用	158
本章小结	160
思考题与习题	160
第 9 章 半导体式传感器	162
9.1 半导体气敏传感器	163
9.1.1 半导体气敏传感器的 分类	163
9.1.2 电阻型半导体气敏 传感器	164
9.1.3 气敏传感器的应用	165
9.2 半导体湿敏传感器	168
9.2.1 概述	168
9.2.2 湿敏电阻的类型及 原理	169
9.2.3 湿敏传感器的应用	172
9.3 半导体磁敏传感器	173
9.3.1 磁敏电阻器	174
9.3.2 磁敏晶体管	176
9.3.3 霍尔式传感器	179
9.4 离子敏传感器	184
9.4.1 ISFET 传感器的结构和工作 原理	185
9.4.2 ISFET 传感器的应用	188
本章小结	190

思考题与习题	190
第 10 章 波式和辐射式传感器	192
10.1 超声波传感器	193
10.1.1 超声波的测量原理	193
10.1.2 超声波传感器的 应用	195
10.2 微波传感器	198
10.2.1 微波传感器的原理	198
10.2.2 微波传感器的组成和 分类	198
10.2.3 微波传感器的应用	199
10.3 辐射式传感器	201
10.3.1 红外辐射传感器	201
10.3.2 核辐射传感器	203
10.3.3 辐射传感器的应用	206
本章小结	207
思考题与习题	207
第 11 章 智能传感器	209
11.1 智能传感器概述	210
11.1.1 智能传感器的概念	210
11.1.2 智能传感器的功能	210
11.1.3 智能传感器的特点	211
11.2 智能传感器的实现途径	212
11.2.1 非集成化实现	212
11.2.2 集成化实现	213
11.2.3 混合实现	215
11.3 集成化智能传感器	216
11.3.1 集成化智能传感器的 形式	216
11.3.2 集成智能传感器实例	216
11.4 智能传感器的发展方向	219
本章小结	222
思考题与习题	222
第 12 章 传感器的选择和使用	223
12.1 传感器的选择	223
12.1.1 传感器的选用原则	224

12.1.2 传感器的选用条件		12.4.2 干扰的类型	231
要求	225	12.4.3 干扰信号的耦合方式 ...	232
12.2 传感器的补偿技术	225	12.4.4 常用的抑制干扰的	
12.2.1 非线性误差及补偿	225	措施	234
12.2.2 温度误差及补偿	227	本章小结	235
12.3 传感器的标定	229	思考题与习题	236
12.4 抗干扰技术	230	参考文献	237
12.4.1 干扰的产生	231		

第 1 章 传感器理论基础

教学目标

要求了解传感器技术的发展；掌握传感器的概念、特性及组成，检测的概念、测量方法及误差，检测系统与传感器的关系；熟悉传感器的命名和测量数据的处理方法。

教学要求

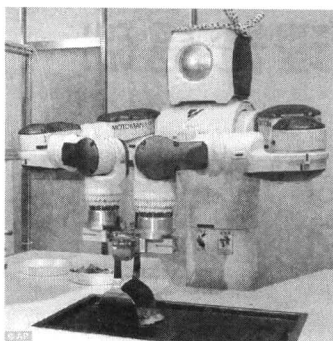
知识要点	能力要求	相关知识
传感器基础知识	了解传感器的发展，掌握传感器的概念、组成、特性	物理、数学
检测技术知识	掌握检测的概念、误差的表示和分类、数据的处理	电路、电子等
检测系统	熟悉传感器与系统的关系	综合



导入案例

传感器技术是现代信息技术的主要内容之一，是检测和自动控制应用中的主要环节。把计算机看成人的大脑，通信就相当于神经系统的网络，而传感器就相当于人的感官。如人眼相当于光电传感器（光敏元件、电荷耦合器件 CCD 等）；人耳相当于声传感器（压电元件等）；皮肤相当于触觉传感器（热敏电阻、力敏聚合物等）。

在工业自动化生产中，各种参数的监测；在航天领域，宇宙飞船的速度、位置、温度、压力和磁场等参数的测量；在机器人的研究中，外部的平面和立体视觉传感器、触觉传感器、热觉传感器、力觉传感器和滑觉传感器等，智能机器人模型如图 1(a) 所示；在智能建筑系统中，安全防护、防盗、防火和防燃气泄漏等，用到了 CCD 电子监视器、烟雾传感器、气体传感器、玻璃破碎传感器和红外传感器，以及门禁系统中的指纹传感器等，如图 1(b) 所示；在医疗诊断中，超声波检查、核磁共振、心电图和照相等，如图 1(c) 所示；人们的日常生活中，汽车的倒车雷达如图 1(d) 所示。家用电冰箱、空调、电饭煲和洗衣机等，都用到了各种传感器。



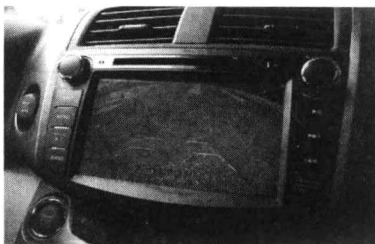
(a) 智能机器人



(b) 指纹门禁



(c) 医疗诊断



(d) 可视倒车

图 1 传感器的应用

在系统学习各类传感器之前，首先应该掌握传感器的基本理论及检测技术的相关知识，主要包括传感器的概念、分类和基本特性，检测系统的组成与功能，基本测量方法，测量误差及数据处理等内容，为后续知识的学习打下基础。

1.1 传感器基础概述

在当今的信息时代，人们越来越迫切地希望能准确地掌握自然界和生产领域更多的各类信息，而传感器则是人们获取这些信息的主要途径和手段，因此传感器与人们的关系越来越密切。传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节，它对于提高生产的自动化程度、促进现代科学技术的发展具有极其重要的作用。

1.1.1 传感器的概念

关于传感器的概念，我国国家标准 GB 7665—1987 规定：“传感器(Sensor)是能感受规定的被测量并按一定规律转换成可用输出信号的器件或装置”。也就是说，传感器是一种按一定的精度把被测量转换为与之有确定关系的、便于应用的某种物理量的测量器件或装置，用于满足系统信息传输、存储、显示、记录及控制等要求。

(1) 传感器首先是一种测量器件或装置，它的作用体现在测量上。例如，我们常见的



发电机，它是一种可以将机械能转变成电能的转换装置，从能量转换的角度看，它是一种发电设备，不能称为传感器；但从另一个角度看，人们可以通过发电机发电量的大小来测量调速系统的机械转速，这时，发电机就可看成是一种用于测量转速的测量装置，是一种速度传感器，通常称为测速发电机。应用传感器的目的就是为了获得被测量的准确信息，这也是本课程的学习目的之一。

(2) 传感器定义中所谓“可用输出信号”是指便于传输、转换及处理的信号，主要包括气、光和电等信号，现在一般就是指电信号(如电压、电流、电势及各种电参数等)，而“规定的被测量”一般是指非电量信号，主要包括各种物理量、化学量和生物量等，在工程中常需要测量的非电量信号有力、压力、温度、流量、位移、速度、加速度、转速、浓度等。正是由于这类非电量信号不能像电信号那样可由电工仪表和电子仪器直接测量，所以需要利用传感器技术实现由非电量到电量的转换。

(3) 传感器的输入和输出信号应该具有明确的对应关系，并且应保证一定的精度。

(4) 关于“传感器”这个词，目前国外还有许多提法，如变换器(Transducer)、转换器(Converter)、检测器(Detector)和变送器(Transmitter)等，而根据我们国家的规定，传感器定名为 sensor；当传感器的输出信号为标准信号(1~5V、4~20mA)时，称为变送器(Transmitter)，注意两者不要混淆。

1.1.2 传感器的组成和分类

1. 传感器的组成

传感器的种类繁多，其工作原理、性能特点和应用领域各不相同，所以结构、组成差异很大。但总的来说，传感器通常由敏感元件、转换元件及测量电路组成，有时还加上辅助电源，如图 1.1 所示。

1) 敏感元件(Sensing Element)

敏感元件是指传感器中能直接感受被测量的变化，并且输出与被测量成确定关系的某一个物理量的元件。敏感元件是传感器的核心，也是研究、设计和制作传感器的关键。图 1.2 所示是某个气体压力传感器的示意图。膜盒 2 的下半部与壳体 1 固定，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，后者接入测量电路 5。这里的膜盒就是敏感元件，其外部与大气压力 p_a 相通，内部感受被测压力 p 。当 p 变化时，引起膜盒上半部移动，即输出相应的位移量。

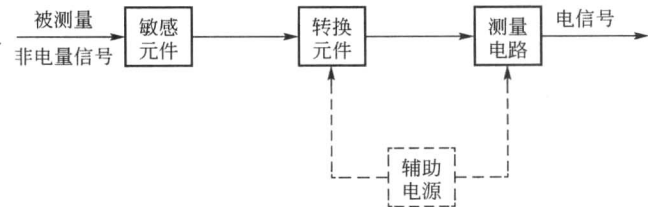


图 1.1 传感器组成框图

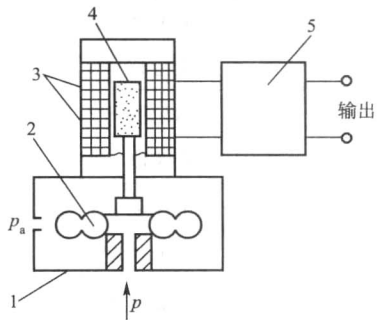


图 1.2 气体压力传感器

1—壳体；2—膜盒；3—电感线圈；
4—磁芯；5—测量电路

2) 转换元件(Transduction Element)

转换元件是指传感器中能将敏感元件输出的物理量转换成适于传输或测量的电信号的部分。在图 1.2 中,转换元件是可变电感线圈 3,它把输入的位移量转换成电感的变化。

需要指出的是,并不是所有的传感器都能明显地区分敏感元件和转换元件两部分,有的传感器转换元件不止一个,需要经过若干次的转换;有的则是两者合二为一。

3) 测量电路(Measuring Circuit)

测量电路又称转换电路或信号调理电路,它的作用是将转换元件输出的电信号进行进一步的转换和处理,如放大、滤波、线性化、补偿等,以获得更好的品质特性,便于后续电路实现显示、记录、处理及控制等功能。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,一般有电桥电路、阻抗变换电路、振荡电路等。

2. 传感器的分类

通常,一种传感器可以检测多种参数,一种参数又可以用多种传感器测量,所以传感器的分类方法也很多,至今尚无统一规定,归纳起来一般有以下几种。

1) 按工作原理分类

按工作原理分类是传感器最常见的分类方法,这种分类方法将物理、化学、生物等学科的原理、规律和效应作为分类的依据,有利于对传感器工作原理的阐述和对传感器的深入研究与分析,本书主要就是按这一分类方法作为编写体系介绍各种类型的传感器。

按照传感器工作原理的不同,传感器可分为电参数式传感器(包括电阻式、电感式和电容式传感器)、压电式传感器、光电式传感器(包括一般光电式、光纤式、激光式和红外式传感器等)、热电式传感器、半导体式传感器、波式和辐射式传感器等。这些类型的传感器大部分是分别基于其各自的物理效应原理命名的。

2) 按被测量分类

按被测量的性质进行分类,有利于准确表达传感器的用途,对人们系统地使用传感器很有帮助。为更加直观、清晰地表述各类传感器的用途,将种类繁多的被测量分为基本被测量和派生被测量,见表 1-1。对于各派生被测量的测量也可通过对基本被测量的测量来实现。

表 1-1 基本被测量和派生被测量

基本被测量		派生被测量
位移	线位移	长度、厚度、应变、振动、磨损、平面度
	角位移	旋转角、偏转角、角振动
速度	线速度	振动、流量
	角速度	转速、角振动
加速度	线加速度	振动、冲击、质量
	角加速度	角振动、转矩、转动惯量
力	压力	质量、应力、力矩
时间	频率	周期、计数