

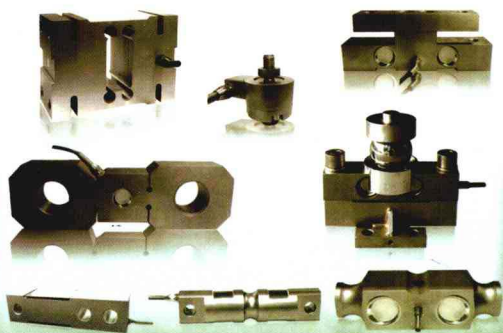


普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

DIANQI
XINXILEI

传感器与检测技术

■ 胡向东 刘京诚 余成波 等编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费
电子课件

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

传感器与检测技术

胡向东 刘京诚 余成波 崔 屏 编著
李 锐 蔡 军 彭向华 吕霞付



机械工业出版社

本书全面介绍了传感器与检测技术的基本概念、基本原理和典型应用。按照传感器、检测技术与检测系统三大模块组织内容,依次为概述、传感器基本特性、电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、磁敏式传感器、热电式传感器、光电式传感器、辐射与波式传感器、化学传感器、生物传感器、新型传感器;参数检测、微弱信号检测、软测量、多传感器数据融合、测量不确定度与回归分析;虚拟仪器、自动检测系统。本书系统性强,内容上注重经典与现代的结合,目标上强调工程实践应用与创新能力的培养,具有良好的教学适宜性和可读性。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电气工程与自动化、机械设计制造及其自动化、通信工程、计算机应用等专业的本科生教材,也可供从事传感器与检测技术相关领域应用和设计开发的研究人员、工程技术人员参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 WWW.cmpedu.com 下载或发邮件到 yu57sh@163.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/胡向东等编著. —北京:机械工业出版社, 2009. 1

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 25808 - 7

I. 传… II. 胡… III. 传感器 - 检测 - 高等学校 - 教材
IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 200954 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:于苏华 责任编辑:蔡家伦 于苏华

版式设计:霍永明 责任校对:姚培新

封面设计:张静 责任印制:李妍

北京富生印刷厂印刷

2009 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·23.75 印张·585 千字

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 25808 - 7

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

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) 88379727

封面防伪标均为盗版

前 言

先进的信息技术和自动化系统已成为引领和衡量各个国家迈向高度现代化的支撑性技术之一。目前,世界上许多国家(特别是西方发达国家)已将目光转向信息技术的前端——信息获取与处理的研究和发展上,提出下一代因特网和智能环境的建设,以强化信息获取和智能信息处理,建立人与物理环境更紧密的信息联系。我国政府也高度重视我国仪器仪表产业的发展,根据国家相关部门的发展规划,到2010年,我国仪器仪表产业将有一系列战略目标得以实现。当前,我国仪器科学技术的研究与产业都取得了重大进展,在仪器仪表产品微型化、集成化、智能化、总线化等方向上紧跟国际发展步伐,并加大具有自主知识产权的先进仪器仪表的研制力度。技术的发展、应用的研发、仪器的使用与维护都需要大批专门人才作为支撑;与此同时,它们也对人才培养的内容和目标提出了与时俱进的新要求。

本书的内容体系优化,基于长期的教学实践和精品课程建设的经验积累,并得益于《传感技术》(重庆大学出版社)、《智能检测技术与系统》(高等教育出版社)等教材的实践应用和相关教改研究成果的指导。

本书全面介绍了传感器与检测技术的基本概念、基本原理和典型应用。按照传感器、检测技术与检测系统三大模块组织内容,依次为概述、传感器基本特性、电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、磁敏式传感器、热电式传感器、光电式传感器、辐射与波式传感器、化学传感器、生物传感器、新型传感器;参数检测、微弱信号检测、软测量、多传感器数据融合、测量不确定度与回归分析;虚拟仪器、自动检测系统。本书系统性强,内容上注重经典与现代的结合,目标上强调工程实践应用与创新能力的培养,具有良好的教学适宜性和可读性。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电气工程与自动化、机械设计制造及其自动化、通信工程、计算机应用等专业的本科生教材,也可供从事传感器与检测技术相关领域应用和设计开发的研究人员、工程技术人员参考。

本书由重庆邮电大学胡向东教授、重庆大学刘京诚教授和重庆工学院余成波教授组织编写;第7章由蔡军、胡向东编写,第9、11章由刘京诚、彭向华、胡向东编写,第12章由吕霞付、胡向东编写,第13、19章由余成波编写,其余章节由胡向东、崔屏、李锐编写。蔡东强、刘光财、朱运波、罗蔚、张杰等参与了部分书稿的资料整理、图表绘制等工作。胡向东负责全书统稿。

在这里要特别感谢参考文献中所列各位作者,包括众多未能在参考文献中一一列出的作者,正是因为他们各自领域的独到见解和特别的贡献为作者提供了宝贵的参考资料,使作者能够在总结现有成果的基础上,汲取各家之长,形成一套具有自身特色的传感器与检测技术精品教材。

本书配有由机械工业出版社出版的《传感器与检测技术学习指导》、PPT教学课件和精品课程网站,更多的信息请访问:<http://ac.cqupt.edu.cn/webroot/course/sensor/>。

IV 传感器与检测技术

本书的编写得到了国家“863”高技术研究计划 RFID 重大专项(2006AA04A123)、重庆市教委科技研究项目(KJ070518)、重庆市教委教育教学改革研究项目(0824120、0825115、0834216)、重庆邮电大学教育教学改革研究项目(XJG 0706)和重庆邮电大学博士基金项目(A2007—03)的资助。

传感器与检测技术内容丰富、应用广泛,且技术本身处于不断的发展进步之中,本书的出版是作者在此领域的一次努力尝试。限于自身的水平和学识,书中难免存在疏漏和错误之处,诚望读者不吝赐教,以利修正,让更多的读者获益。作者电子邮箱:huxd@cqupt.edu.cn。

作者
2008年9月

目 录

前言

上篇 传 感 器

第 1 章 概述	1	思考题和习题	21
1.1 课程简介	1	第 3 章 电阻式传感器	23
1.1.1 本课程的地位和作用	1	3.1 工作原理	23
1.1.2 本课程内容体系结构	2	3.1.1 应变效应	23
1.1.3 本课程的任务及要求	3	3.1.2 应变片种类	24
1.2 传感器的定义与组成	5	3.1.3 电阻应变片温度误差及其 补偿	26
1.3 传感器的分类	6	3.2 测量电路	28
1.4 传感器技术的发展	7	3.2.1 直流电桥	28
1.4.1 传感器性能的改善	8	3.2.2 交流电桥	31
1.4.2 开展基础理论研究	8	3.3 典型应用	34
1.4.3 传感器的集成化	10	3.3.1 电阻式力传感器	34
1.4.4 传感器的智能化	10	3.3.2 电阻式压力传感器	36
1.4.5 传感器的网络化	10	3.3.3 电阻式液体重量传感器	36
1.4.6 传感器的微型化	11	能力拓展一：电阻式加速度传感器的 原理分析	37
能力拓展：生活中的传感器	11	能力拓展二：数字血压计的设计	38
思考题和习题	11	思考题和习题	38
第 2 章 传感器的基本特性	12	第 4 章 电感式传感器	39
2.1 传感器的静态特性	12	4.1 变磁阻式传感器	39
2.1.1 线性度	12	4.1.1 工作原理	39
2.1.2 灵敏度	13	4.1.2 输出特性	40
2.1.3 分辨率	13	4.1.3 测量电路	42
2.1.4 迟滞	14	4.1.4 变磁阻式传感器的应用	44
2.1.5 重复性	14	4.2 差动变压器式传感器	45
2.1.6 漂移	14	4.2.1 变隙式差动变压器	45
2.2 传感器的动态特性	14	4.2.2 螺线管式差动变压器	47
2.2.1 传感器的数学模型	16	4.2.3 差动变压器式传感器的应用	52
2.2.2 传递函数	16	4.3 电涡流式传感器	53
2.2.3 频率响应函数	17	4.3.1 工作原理	53
2.2.4 传感器的动态特性分析	17	4.3.2 等效电路	54
2.3 传感器的标定与校准	19	4.3.3 测量电路	55
2.3.1 静态标定	20	4.3.4 电涡流式传感器的应用	57
2.3.2 动态标定	20		
能力拓展：实现不失真测量的条件	21		

VI 传感器与检测技术

能力拓展一：电感式传感器在滚珠直径分 选中的应用	57	7.1.3 磁电感应式传感器的应用	92
能力拓展二：电涡流式安全门的应用调查 与原理分析	58	7.2 霍尔式传感器	94
思考题和习题	58	7.2.1 工作原理	94
第5章 电容式传感器	59	7.2.2 测量电路	98
5.1 工作原理	59	7.2.3 霍尔式传感器的应用	99
5.1.1 变面积型	60	能力拓展：基于霍尔元件的油气管道无损 探伤系统的设计	101
5.1.2 变介质型	61	思考题和习题	101
5.1.3 变极距型	62	第8章 热电式传感器	102
5.2 测量电路	65	8.1 热电偶	102
5.2.1 调频电路	65	8.1.1 热电偶测温原理	102
5.2.2 变压器式交流电桥	66	8.1.2 热电偶的结构与种类	109
5.2.3 运算放大器	66	8.1.3 热电偶的冷端温度补偿	111
5.2.4 二极管双T型交流电桥	67	8.1.4 热电偶的实用测温电路	114
5.2.5 脉冲宽度调制电路	68	8.1.5 热电偶的选用与安装	116
5.3 典型应用	70	8.1.6 热电偶的应用	116
5.3.1 电容式压力传感器	70	8.2 热电阻	117
5.3.2 电容式位移传感器	71	8.2.1 铂热电阻	118
5.3.3 电容式加速度传感器	72	8.2.2 铜热电阻	118
5.3.4 电容式厚度传感器	72	8.2.3 热电阻的测量电路	119
能力拓展：工业生产料位测量方 案的设计	73	8.2.4 热电阻的应用	120
思考题和习题	73	8.3 热敏电阻	121
第6章 压电式传感器	74	8.3.1 热敏电阻的特性	122
6.1 工作原理	74	8.3.2 热敏电阻的应用	122
6.1.1 压电效应	74	能力拓展：火灾探测报警系统的设计	123
6.1.2 压电材料	74	思考题和习题	123
6.2 测量电路	79	第9章 光电式传感器	125
6.2.1 等效电路	79	9.1 概述	125
6.2.2 测量电路	80	9.1.1 光电式传感器的类别	125
6.2.3 压电元件的连接与变形	83	9.1.2 光电式传感器的基本形式	125
6.3 典型应用	84	9.2 光电效应与光电器件	127
6.3.1 压电式力传感器	84	9.2.1 外光电效应型光电器件	127
6.3.2 压电式加速度传感器	85	9.2.2 内光电效应型光电器件	130
能力拓展：压电式传感器在汽车中的 应用	85	9.3 CCD 固体图像传感器	141
思考题和习题	85	9.3.1 CCD 的工作原理	142
第7章 磁敏式传感器	87	9.3.2 CCD 固体图像传感器的分类	144
7.1 磁电感应式传感器	87	9.3.3 CCD 固体图像传感器的特性 参数	146
7.1.1 工作原理	87	9.3.4 CCD 固体图像传感器的应用	147
7.1.2 测量电路	91	9.4 光纤传感器	149
		9.4.1 光纤	149
		9.4.2 光纤传感器	151
		9.4.3 光纤传感器的应用	153

9.5 光电式编码器	154	12.1.1 生物传感器的概念	206
9.5.1 码盘式编码器	155	12.1.2 生物传感器的特点	207
9.5.2 脉冲盘式编码器	157	12.1.3 生物传感器的分类	207
9.5.3 光电式编码器的应用	159	12.1.4 生物传感器的应用	207
9.6 计量光栅	160	12.2 工作原理	208
9.6.1 光栅的结构和工作原理	160	12.2.1 生物分子特异性识别	209
9.6.2 计量光栅的组成	162	12.2.2 生物放大	210
9.6.3 计量光栅的应用	164	12.2.3 信号转换与处理	210
能力拓展一: 光电式传感器应用调查	165	12.2.4 几种主要的生物传感器	211
能力拓展二: 手机生产线表面安装元件定位 检测与控制系统设计	165	12.3 生物芯片	212
思考题和习题	165	12.4 生物传感器的发展	214
第 10 章 辐射与波式传感器	167	能力拓展: 生物传感器的应用状况 调查	214
10.1 红外传感器	167	思考题和习题	215
10.1.1 工作原理	167	第 13 章 新型传感器	216
10.1.2 红外传感器的应用	169	13.1 智能传感器	216
10.2 微波传感器	173	13.1.1 智能传感器的特点	216
10.2.1 微波传感器的原理、组成及 特点	173	13.1.2 智能传感器的作用	217
10.2.2 微波传感器的应用	175	13.1.3 智能传感器的设计	218
10.3 超声波传感器	179	13.1.4 智能传感器的实现	219
10.3.1 工作原理	179	13.1.5 智能传感器的应用实例	220
10.3.2 超声波传感器的应用	182	13.2 模糊传感器	222
能力拓展: 入侵探测报警系统的设计	187	13.2.1 模糊传感器概述	223
思考题和习题	187	13.2.2 模糊传感器的结构	224
第 11 章 化学传感器	189	13.2.3 典型模糊传感器举例	226
11.1 气敏传感器	189	13.3 微传感器	229
11.1.1 气敏传感器概述	189	13.3.1 MEMS 与微加工	229
11.1.2 半导体式气敏传感器的 工作原理	191	13.3.2 微传感器概述	231
11.1.3 气敏传感器的应用	194	13.3.3 压阻式微传感器	231
11.2 湿敏传感器	196	13.3.4 电容式微传感器	234
11.2.1 湿敏传感器概述	196	13.3.5 电感式微传感器	236
11.2.2 常用湿敏传感器的基本 原理	198	13.3.6 热敏电阻式微传感器	237
11.2.3 湿敏传感器测量电路	202	13.4 网络传感器	238
11.2.4 湿敏传感器的应用	203	13.4.1 网络传感器的概念	238
能力拓展: 防止酒后开车控制器的 设计	205	13.4.2 网络传感器的类型	238
思考题和习题	205	13.4.3 基于 IEEE1451 标准的网络 传感器	239
第 12 章 生物传感器	206	13.4.4 网络传感器测控系统体系 结构	246
12.1 概述	206	13.4.5 网络传感器的应用前景	246
		能力拓展: 新型传感器发展前 景预测	247
		思考题和习题	247

中篇 检测技术

第 14 章 参数检测	248	17.1.2 数据融合的目的	281
14.1 概述	248	17.1.3 数据融合的定义	282
14.1.1 检测技术在国民经济中的地位 和作用	248	17.1.4 数据融合的特性	282
14.1.2 参数检测的基本概念	248	17.1.5 数据融合的优点	283
14.1.3 工业检测的主要内容	252	17.2 数据融合的基本原理	283
14.2 参数检测的一般方法	253	17.2.1 数据融合的层次	283
14.2.1 过程参数检测	254	17.2.2 数据融合的处理形态	284
14.2.2 机械量参数检测	259	17.2.3 数据融合模型	285
14.2.3 其他参数检测	261	17.2.4 数据融合的关键技术	287
14.3 检测技术的发展	261	17.3 数据融合的方法	288
能力拓展: 同一被测量的不同检测方 法比较	262	17.3.1 随机类方法	288
思考题和习题	262	17.3.2 人工智能类方法	289
第 15 章 微弱信号检测	263	17.4 数据融合系统的应用	290
15.1 概述	263	思考题和习题	291
15.2 噪声	263	第 18 章 测量不确定度与回 归分析	292
15.3 微弱信号检测方法	265	18.1 测量误差概述	292
15.3.1 相关检测法	265	18.2 测量误差的处理	296
15.3.2 同步积累法	270	18.2.1 粗大误差的处理	296
思考题和习题	274	18.2.2 随机误差的处理	297
第 16 章 软测量	275	18.2.3 系统误差的处理	300
16.1 概述	275	18.2.4 间接测量误差的传递	301
16.2 软测量的方法	275	18.2.5 测量误差的合成	302
16.2.1 选择辅助变量	275	18.2.6 测量误差的分配	303
16.2.2 输入数据的处理	276	18.3 测量不确定度	305
16.2.3 建立软测量模型	277	18.3.1 概述	305
16.2.4 软测量模型的在线校正	279	18.3.2 测量不确定度的评定方法	306
16.3 软测量的意义及其适用条件	279	18.4 最小二乘法与回归分析	309
思考题和习题	280	18.4.1 最小二乘法	309
第 17 章 多传感器数据融合	281	18.4.2 一元线性拟合	312
17.1 概述	281	18.4.3 多元线性拟合	312
17.1.1 数据融合的起源	281	18.4.4 曲线拟合	313
		思考题和习题	313

下篇 检测系统

第 19 章 虚拟仪器	315	19.1.2 虚拟仪器的构成与特点	315
19.1 概述	315	19.1.3 虚拟仪器技术的应用	318
19.1.1 虚拟仪器的基本概念	315	19.1.4 虚拟仪器的整体设计	318

19.2 虚拟仪器系统的开发环境	319	20.2.2 系统总体设计	347
19.2.1 LabWindows/CVI	319	20.2.3 采样速率的确定	348
19.2.2 LabVIEW	323	20.2.4 标度变换	349
19.3 虚拟仪器系统的数据采集	325	20.2.5 硬件设计	350
19.3.1 基于 LabWindows/CVI 的 数据采集	325	20.2.6 软件设计	353
19.3.2 基于 LabVIEW 的数据采集	325	20.2.7 系统的集成与维护	353
19.4 基于虚拟仪器的综合工程实例	328	20.3 典型自动检测系统举例	354
19.4.1 概述	329	20.3.1 自动温度测量系统	354
19.4.2 系统关键技术	329	20.3.2 无线传感器网络	356
19.4.3 系统功能及运行结果	334	20.4 自动检测系统的发展	362
能力拓展: 虚拟仪器设计实践	337	能力拓展一: 液体点滴速度监控装置 的设计	363
思考题与习题	337	能力拓展二: 无线温度采集系统的 设计	363
第 20 章 自动检测系统	338	能力拓展三: 智能环境的设想	364
20.1 自动检测系统的组成	338	思考题和习题	364
20.1.1 数据采集系统	338	附录	365
20.1.2 输入输出通道	343	参考文献	368
20.1.3 自动检测系统的软件	344		
20.2 自动检测系统的基本设计方法	346		
20.2.1 系统需求分析	346		

上篇 传 感 器

第 1 章 概 述

1.1 课程简介

1.1.1 本课程的地位和作用

“传感器与检测技术”是工科电气信息类专业的重要专业（基础）课，有很广的适应面，其覆盖的知识领域如图 1-1 所示。该课程旨在培养学生在电子信息、计算机应用、精密仪器、测量与控制等多领域中，具备生产过程中各种电量、非电量参量的检测（信息采集、变换、分析、处理）、显示、控制及系统的产品设计制造、科技开发、应用研究等方面的能力。本课程定位于为教学研究型大学的自动化、测控技术与仪器和电气工程与自动化等专业的本科学生提供“传感器与检测技术”方面的基础知识和基本技能的培训，兼顾计算机应用、通信工程、生物医学工程等专业的人才培养需要；特别强调从应用需求的角度培养学生具备本领域坚实的基础知识与掌握信息的能力，善于观察、发现和提炼问题的能力，善于把握解决问题切入点的能力。

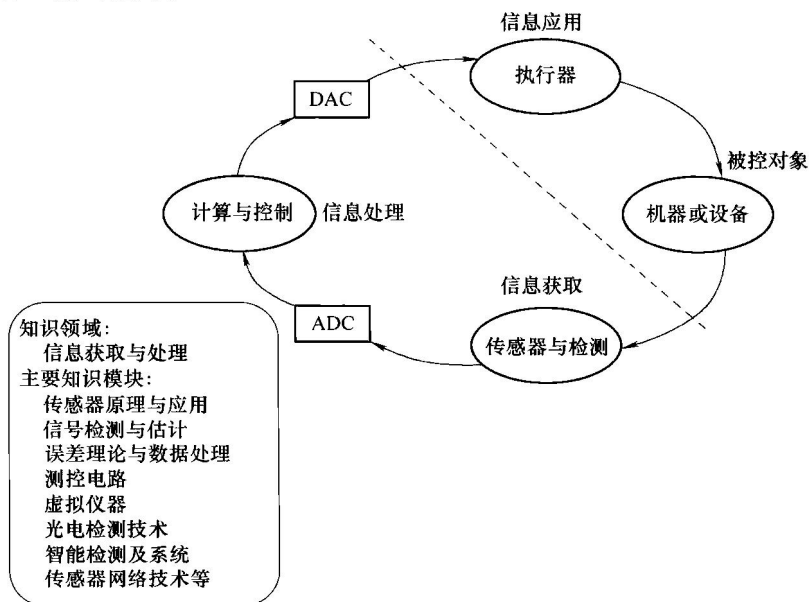


图 1-1 “传感器与检测技术”课程在信息链中所覆盖的知识领域

传感器起源于仿生研究。每一种生物在其生命周期内都需要经常与周围环境交换信息，因此所有生物都有感知周围环境或自身状态的器官或组织。如人的眼、耳、口、鼻、皮肤等，能够获取视觉、听觉、味觉、嗅觉、触觉等信息。传感器位于研究对象与测控系统之间的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口。一切科学实验和生产过程，特别是自动控制系统中要获取的信息，都要首先通过传感器获取并转换为容易传输和处理的电信号。传感器技术可以给人们带来巨大的经济效益和社会效益。自动化水平是衡量一个国家现代化程度的重要指标，而自动化水平的高低将受制于检测控制类仪表及传感器的种类和数量多少。科技越发达，自动化程度越高，对传感器的依赖也就越强烈。这是自 20 世纪 80 年代以来，世界各国都将传感器技术列为重点优先发展的高技术的原因。

信息技术正在推动着人类社会快速地向发展，传感器是实现物理环境信息获取的基本工具，是测量或检测系统的首要环节。传感器与计算机、通信和自动控制技术等一起构成一条从信息采集、处理、传输和应用的完整信息链。因此，传感器在信息技术领域具有十分重要的基础性地位和作用。传感器在产品检验和质量控制、系统安全经济运行监测、自动化生产与控制系统的搭建和推动现代科学技术的进步等方面均有重要意义。

近年来，信息技术正经历着日新月异的深刻变革，信息技术正给人们的生产、生活带来巨大的变化。科技越发达，自动化程度越高，对传感器与检测技术的依赖也就越强烈。到目前为止，信息产业链中的信息应用（自动化与控制）、信息传输（通信）和信息处理（计算机）等与人们对信息的利用越接近的部分得到了很好的发展。目前，世界上许多国家（特别是西方发达国家）已将目光转向信息技术的前端——信息获取与处理的研究和发展上，提出了下一代因特网和智能环境的建设，以强化信息获取和智能信息处理，建立人与物理环境更紧密的信息联系。我国政府也高度重视仪器仪表产业的发展。根据国家相关部门的发展规划，到 2010 年，我国仪器仪表产业将实现一系列的战略目标；当前，我国仪器仪表科学技术取得了重大进展，在仪器仪表产品微型化、集成化、智能化、总线化等发展方向上紧跟国际发展步伐，并加大了具有自主知识产权的先进仪器仪表的研制力度。技术的发展、仪器的研发、使用与维护都需要大批的专门人才作为支撑；与此同时，它们也对人才培养的内容和目标提出了与时俱进的新要求。因此，“传感器与检测技术”课程地位的重要性也日益提高，其覆盖的专业越来越宽，修读的学生越来越多。这些变化推动着“传感器与检测技术”课程的建设快速地向发展，即以六个“一流”（一流的教师队伍、一流的教学水平、一流的教学内容和教学手段、一流的教学条件、一流的教学管理、一流的教学效果）的精品课程建设理念为指导，坚持“原创性”、“高水平”、“示范性”的精品课程建设标准，特别注重课程的内涵建设和课程特色的培育，强调“产学研”结合的课程建设模式，加强应用创新型人才培养，为工科电气信息类专业学生学习有关传感器与检测技术方面的知识提供平台，让优质课程资源有效地服务于人才培养。

1.1.2 本课程内容体系结构

本课程按照专业培养方案和课程教学大纲的要求，进行了课程内容体系结构的优化，使课程内容既能充分展示核心领域知识，又能反映该领域的最新技术发展和研究成果，体现学科发展方向，并与其他相关课程进行有效衔接。

优化后的课程内容分为传感器、检测技术和检测系统三大模块。传感器部分主要包括传

传感器的基本特性、传统与新型传感器（应变式、电感式、电容式、压电式、磁敏式、热电式、光电式、辐射与波式、智能式传感器，化学传感器，生物传感器，微传感器等）的工作原理与应用。检测技术主要包括参数检测、微弱信号检测、软测量、多传感器数据融合、测量不确定度与回归分析等。检测系统主要包括虚拟仪器和自动检测系统等。课程着重分析了各类传感器的基本工作原理及其测量电路，给出了典型应用，进一步强化了原理阐述并导向应用实践，精心设计的能力拓展项目用于培养学生的创新思维和运用所学知识解决实际问题的能力。同时，内容中体现本领域的一些最新发展，如微传感器、生物传感器、模糊传感器、网络传感器、微弱信号检测、无线传感器网络等。

1.1.3 本课程的任务及要求

“传感器与检测技术”是一门涉及到电工电子技术、传感器技术、光电检测技术、控制技术、计算机技术、数据处理技术、精密机械设计技术等众多基础理论和技术的综合性技术。现代检测系统通常集光、机、电于一体，软硬件相结合。

“传感器与检测技术”课程以高等数学、大学物理、模拟电子技术、电子电路、电路分析基础、信号与系统、概率论与数理统计等课程为基础，着重培养学生掌握传感器与检测技术基本理论、基本方法，本课程是一门实践性很强的课程，在理论学习的同时，要求学生通过实验和实践熟练掌握各类典型传感器的基本原理和适用场合，掌握常用测量仪器的基本工作原理和工作性能，能合理选用常用电子仪器、测量电路等，能根据测量要求设计各类测量系统，能对测量结果进行误差分析和数据处理等，达到理论与实践的高度统一，突出能力的培养。

根据有关专业指导委员会编撰的《高等学校本科自动化指导性专业规范（试行）》所确定的专业知识领域及其要求，就“传感器与检测技术”课程涉及的知识领域而言，其主要知识单元、知识点和基本要求如表 1-1 所示。关于本课程更多的内容可访问精品课程网站：<http://ac.cqupt.edu.cn/webroot/course/sensor/>。

表 1-1 “传感器与检测技术”课程的知识单元、知识点及要求

知识单元	知 识 点	学校专业类型及掌握程度			
		研究主导型	工程研究应用型	应用技术主导型	
信息获取与处理的基本概念	检测方法 与原理	检测系统的结构与基本类型	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		直接与间接测量	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		接触与非接触测量	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		静态与动态测量	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
	传感器	传感器的定义、组成	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		传感器的分类	掌握	掌握	掌握
测量不确定度与回归分析	基本概念	真值、测量准确度的定义	掌握	掌握	掌握
		误差的来源、分类及其表示	掌握	掌握	掌握
	误差的处理与真值的估计	随机误差的估算与修正	掌握	掌握	掌握
		间接测量中误差的传递算法，误差合成与分配的基本方法	掌握	掌握	掌握
		真值的最佳估计值与不确定度	掌握	掌握	掌握

(续)

知识单元	知 识 点		学校专业类型及掌握程度		
			研究主导型	工程研究应用型	应用技术主导型
测量不确定度与回归分析	回归分析	最小二乘法	掌握	掌握	掌握
		一元线性拟合	掌握	掌握	掌握
		多元线性拟合	了解	了解	了解
		曲线拟合	了解	了解	了解
检测系统的静、动态特性	检测系统的特性	静、动态特性的概念	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		一般数学模型:微分方程、传递函数,频率响应	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
	静、动态特性指标	静态特性基本参数与指标	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		动态响应的特性指标与分析	掌握	掌握	掌握
		频率响应的特性指标与分析	掌握	掌握	掌握
	静态校准和动态校准	静态标定与校准的基本方法	了解	了解	了解
动态标定与校准的基本方法		了解	了解	了解	
检测变换原理与传感器	传感器工作原理及应用	电阻式传感器	掌握	掌握	掌握
		电感式传感器	掌握	掌握	掌握
		电容式传感器	掌握	掌握	掌握
		光电式传感器	掌握	掌握	掌握
		磁敏式传感器	掌握	掌握	掌握
		热电式传感器	掌握	掌握	掌握
		压电式传感器	掌握	掌握	掌握
		波式传感器	了解	了解	了解
		射线式传感器	了解	了解	了解
		化学传感器	了解	了解	了解
		生物传感器	了解	了解	了解
参数检测	过程参数	温度、压力、流量、物位、成份及物性等参数的概念	掌握	掌握	掌握
		常用检测方法	掌握	掌握	掌握
	机械量参数	位移、转速、速度、振动及厚度等参数的检测方法	掌握	掌握	掌握
其他参数	同一被测参数的不同检测方法的性能比较	了解	了解	了解	
自动检测系统设计初步	自动检测系统	组成与基本设计方法	掌握	掌握	掌握
		传感器的选型	掌握	掌握	掌握
		微处理器、A/D转换器选择	掌握	掌握	掌握
		采样周期的确定	掌握	掌握	掌握
		标度变换的概念	掌握	掌握	掌握

(续)

知识单元	知 识 点		学校专业类型及掌握程度		
			研究主导型	工程研究应用型	应用技术主导型
自动检测系统设计初步	检测信号处理的基本软件方法	测量数据处理的基本软件方法	掌握	掌握	掌握
		自动检测系统的设计步骤与方法	了解	了解	了解
	检测领域新技术	软测量技术	了解	了解	了解
		多传感器数据融合	了解	了解	了解
		模糊传感器	了解	了解	了解
		智能传感器	了解	了解	了解
		网络传感器	了解	了解	了解

1.2 传感器的定义与组成

根据我国国家标准 (GB/T7665—2005), 传感器 (Transducer/sensor) 定义为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和装置, 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和响应被测量的部分; 转换元件是指传感器中能将敏感元件的感受或响应的被测量转换成适于传输和测量的电信号部分。传感器的共性就是利用物理定律或物质的物理、化学、生物特性, 将非电量 (如位移、速度、加速度、力等) 输入转换成电量 (电压、电流、电容、电阻等) 输出。

根据传感器的定义, 传感器的基本组成为敏感元件和转换元件两部分, 分别完成检测和转换两个基本功能。值得指出的是, 一方面, 并不是所有传感器都能明显地区分敏感元件和转换元件这两个部分, 如半导体气敏或湿度传感器、热电偶、压电晶体、光电器件等, 它们一般是将感受到的被测量直接转换为电信号输出, 即将敏感元件和转换元件两者的功能合二为一了; 另一方面, 只由敏感元件和转换元件组成的传感器通常输出信号较弱, 还需要信号调理电路将输出信号进行放大并转换为容易传输、处理、记录和显示的形式。信号调理电路的作用: 一是把来自传感器的信号进行转移和放大, 使其更适合于作进一步处理和传输, 多数情况下是将各种电信号转换为电压、电流、频率等少数几种便于测量的电信号; 二是进行信号处理, 即对经过调理的信号, 进行滤波、调制和解调、衰减、运算、数字化处理等。常见的信号调节与转换电路有放大器、电桥、振荡器、电荷放大器等。另外, 传感器的基本部分和信号调理电路还需要辅助电源提供工作能量。

传感器的典型组成如图 1-2 所示。

利用电路中电信号的强弱传送信息的方法称为“电传送”, 目前, 电子信息技术发展最成熟, 电信号使用最普遍和方便。传感器的输出信号一般为电信号, 由于不同种类的传感器的检测原理各不相同, 因此它们输出的电信号也有多种形式, 如连续信号 (模拟信号) 与离散信号 (脉冲信号、开关信号等), 周期性信号与非周期性信号, 电压、电流、频率信号等。传感器输出的电信号形式取决于其工作原理和设计要求。

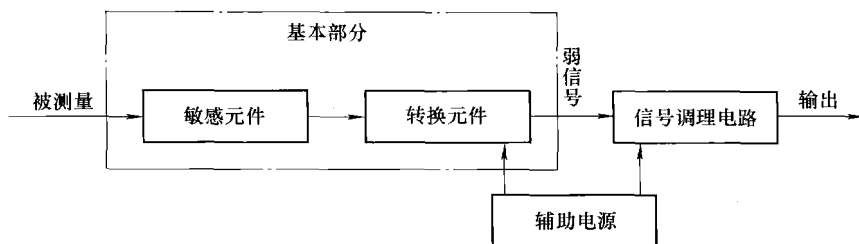


图 1-2 传感器的组成

1.3 传感器的分类

传感器可按输入量、输出量、工作原理、基本效应、能量变换关系以及所蕴含的技术等分类，其中按输入量和工作原理的分类方式应用较为普遍。

(1) 按传感器的输入量（即被测参数）进行分类

按输入量分类的传感器以被测物理量命名，如位移传感器、速度传感器、温度传感器、湿度传感器、压力传感器等。这种分类方法通常在讨论传感器的用途时使用。

(2) 按传感器的输出量进行分类

传感器按输出量可分为模拟式传感器和数字式传感器两类。模拟式传感器是指传感器的输出信号为连续形式的模拟量；数字式传感器是指传感器的输出信号为离散形式的数字量。

目前，模拟式传感器占绝大多数，现在设计的测控系统往往要用到微处理器，因此，通常需要将模拟式传感器输出的模拟信号通过 ADC（模/数转换器）转换成数字信号；数字式传感器输出的数字信号便于传输，具有重复性好、可靠性高的优点。虽然数字式传感器的种类目前还不太多，但却是一个重要的发展方向。

(3) 按传感器的工作原理进行分类

根据传感器的工作原理（物理定律、物理效应、半导体理论、化学原理等），可以分为电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、磁敏式传感器、热电式传感器、光电式传感器等。这种分类方法通常在讨论传感器的工作原理时使用。

(4) 按传感器的基本效应进行分类

根据传感器敏感元件所蕴含的基本效应，可以将传感器分为物理传感器、化学传感器和生物传感器。

物理传感器是指依靠传感器的敏感元件材料本身的物理特性变化来实现信号的变换，如水银温度计是根据水银热胀冷缩的性质把温度变化转变为水银柱的高低变化，从而实现温度的测量。物理传感器按其构成可细分为物性型传感器和结构型传感器。

1) 物性型传感器是指依靠敏感元件材料本身物理特性的变化来实现信号的转换，如水银温度计；物性型传感器主要指近年来出现的半导体类、陶瓷类、光纤类或其他新型材料的传感器，如利用材料在光照下改变其特性可以制成光敏传感器，利用材料在磁场作用下改变其特性可以制成磁敏传感器等。

2) 结构型传感器是指依靠传感转换元件的结构参数变化来实现信号的转换，主要是通过机械结构的几何尺寸和形状变化，转化为相应的电阻、电感、电容等物理量的变化，从而

检测出被测信号，如变极距型电容式传感器就是通过极板间距的变化来实现位移等物理量的测量的。

化学传感器是指依靠传感器的敏感元件材料本身的电化学反应来实现信号的变换，用于检测无机或有机化学物质的成分和含量，如气敏传感器、湿度传感器。化学传感器广泛用于化学分析、化学工业的在线检测及环境保护检测中。

生物传感器是利用生物活性物质选择性的识别来实现对生物化学物质的测量，即依靠传感器的敏感元件材料本身的生物效应来实现信号的变换。由于生物活性物质对某种物质具有选择性亲和力（即功能识别能力），可以利用生物活性物质的这种单一识别能力来判定某种物质是否存在、其含量是多少；待测物质经扩散作用进入固定化生物敏感膜层，经分子识别，发生生物学反应，产生的信息被相应的化学或物理换能器转变成可定量和可处理的电信号。如酶传感器、免疫传感器。生物传感器近年发展很快，在医学诊断、环保监测等方面有着广泛的应用前景。

(5) 按传感器的能量关系进行分类

按能量关系，传感器分为能量变换型传感器和能量控制型传感器。

能量变换型传感器，又称为发电型或无源型传感器，其输出端的能量是由被测对象取出的能量转换而来的。它无需外加电源就能将被测的非电能量转换成电能量输出；它无能量放大作用，要求从被测对象获取的能量越大越好。这类传感器包括热电偶、光电池、压电式传感器、磁电感应式传感器、固体电解质气敏传感器等。

能量控制型传感器，又称为参量型或有源型传感器，这类传感器本身不能换能，其输出的电能量必须由外加电源供给，而不是由被测对象提供。但由被测对象的信号控制电源提供给传感器输出端的能量，并将电压（电流）作为与被测量相对应的输出信号。由于能量控制型传感器的输出能量是由外加电源供给的，因此，传感器输出端的电能可能大于输入端的非电能量，所以这种传感器具有一定的能量放大作用。属于这种类型的传感器包括电阻式、电感式、电容式、霍尔式、谐振式和某些光电式传感器等。

(6) 按传感器所蕴含的技术特征进行分类

按所蕴含的技术特征，传感器可分为普通传感器和新型传感器。

普通传感器发展较早，是一类应用传统技术的传感器。随着计算机、嵌入式系统、网络通信和微加工等技术的发展，出现了许多新型的传感器，如传感器与微处理器的结合，产生了具有一定数据处理能力和自检、自校、自补偿等功能的智能传感器；模糊数学原理在传感器中的应用，产生了输出量为非数值符号的模糊传感器；传感器与 MEMS 技术的结合，产生了具有微小尺寸的微传感器；网络接口芯片、嵌入式通信协议和传感器的结合，产生了能够方便接入现场总线测控网络或组建传感器网络的网络传感器。所有这些新型传感器的出现，对传感器与检测技术的发展起到了巨大的推动作用。

1.4 传感器技术的发展

一方面，传感器技术在科学研究、工农业生产、日常生活等许多方面发挥着越来越重要的作用；另一方面，人们的应用需求对传感器技术又提出了越来越高的要求，这推动着传感器技术不断地向前发展。总体上说，传感器技术的发展趋势表现为四个方面：一是提高与改