



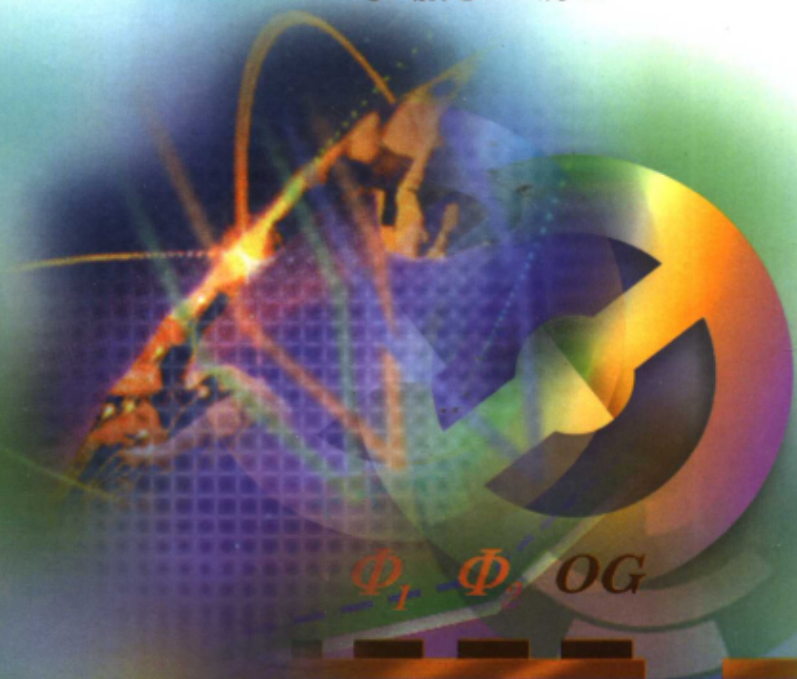
中等专业学校
电子信息类

DIANZIKEJIDAXUECHUBANSHE
XILIEJIAOCAI
规划教材

中专电子技术

传感技术

李瑜芳 编著



P-Si



电子科技大学出版社

UESTC PUBLISHING HOUSE

责任编辑 舒 标 郭 彬 刘 丽
版式设计 舒 标
封面设计 周元勋

本社出版·中专电子技术·教材

- 无线电技术基础——信号与线性电路
- 电工基础
- 脉冲与数字电路
- 模拟电子线路（低频部分）
- 模拟电子线路（高频部分）
- 电子线路CAD
- 移动通信原理与设备
- 电子技术专业英语
- 激光音视设备
- 多媒体技术应用
- 电视机新技术
- 有线电视技术
- 机械基础与机械制图
- 通信技术
- 模拟电路、数字电路实验与实习
- 传感技术

ISBN 7-81065-217-6



9 787810 652179 >

ISBN 7-81065-217-6/TN·16

定价：25.00 元

UESTC PUBLISHING HOUSE

中等专业学校 规划教材
电子信息类

传感技术

李瑜芳 编著

电子科技大学出版

内 容 简 介

本书系全国电子信息类中等专业学校电子技术专业“九五”规划教材，书中主要介绍了传感技术的概念与方法，各类传感器的工作原理、相应的测量电路和大量的应用实例，能较大限度地反映国内外传感技术领域的新成果和新进展。本书有三个特点，其一是按被测量性质归类，结构与内容较新，较适合于以应用为主的中专学生使用。其二是本书重于实践，专门编写了实践指导。其三是注重对学生自学能力的培养，在绪论中介绍了学生自学的方法。全书共十一章内容信息量较大，突出传感器的原理与应用，每章均有思考题或习题，并附有部分答案。

本书可作为中等专业学校及中等职业学校电子技术类、电气工程类、自动化类、仪器仪表类、机电技术类、计算机应用类专业教学用书，也可作为有关工程技术人员的技术参考书。

声 明

本书无四川省版权防盗标识，不得销售；版权所有，违者必究，举报有奖，举报电话：(028) 6636481 6241146 3201496

中等专业学校 规划教材
电子信息类

传 感 技 术

李瑜芳 编著

出 版：电子科技大学出版社（成都建设北路二段四号，邮编：610054）

责任编辑：舒 标 郭 彬 刘 丽

发 行：新华书店经销

印 刷：四川导向印务有限公司

开 本：787×1092 1/16 印张 22.375 字数 544.5 千字

版 次：1999年11月第一版

印 次：2000年12月第二次印刷

书 号：ISBN 7-81065-217-6/TN·16

印 数：3001—5000册

定 价：25.00元

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社、各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程改革体系改革的要求，编制了《1996~2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我部教材办协商各专指委、出版社后，审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需，尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本书系全国电子信息类中等专业学校“九五”规划教材，由全国中专电子技术专业教学指导委员会编审、推荐出版。本教材由福建电子工业学校李瑜芳老师担任主编，主审是常州无线电工业学校夏敖敖老师，责任编辑是南昌无线电工业学校柳大川老师。

本教材的参考学时数 60~80 学时，全书共十一章内容。第一章传感技术概论，介绍了传感器的分类、特性、命名方法、传感器的材料、制作技术、设计方法以及传感器应用电路的组成及信号处理方法，力求使读者对传感技术有一整体的认识。第二章及第九章分别介绍了力学量、光学量、温度、几何量、运动学量、磁学量、化学量和其它量传感器的机理、结构、测量电路及应用。教材用浅显的定性说明代替繁琐的理论推导，用方框图代替模拟电路、数字电路或测量电路中已学过的较复杂的电路，以突出传感器的机理与应用。第十章传感器应用辅助电路中介绍了传感器应用电路中所必须的信息处理电路、线性化处理电路、抗干扰电路及微机测控系统。第十一章实践指导介绍了正确选择传感器的方法，并编写了三类实践内容，其一是社会调查，其二是验证性实验，其三是制作简单的传感器应用电路。每章均有思考题或习题，附录中有部分习题答案。本书按 60 课时编写，打“*”号章节属于各校各专业自选章节。

本书编写过程中，始终受到全国中专电子技术专业教学指导委员会的直接指导，同时得到了福建电子工业学校林维根老师的大力支持。参加审阅工作的还有福州大学电气工程系的杜民老师，福建电子工业学校林东老师，武汉无线电工业学校的祝惠芳老师、宋烈武老师，上海电子技术学校的华天京老师，他们都为本书提出许多宝贵意见。同时也得到了电子科技大学出版社吴艳玲等同志的全力支持，在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

1999 年 4 月

目 录

绪 论

一、传感技术的地位和作用.....	1
二、传感技术的特点.....	2
三、本课程的任务.....	3
四、对学生学习方法的指导.....	3

第一章 传感技术概论

第一节 传感器分类与特性.....	6
一、传感器的组成.....	6
二、传感器分类.....	6
三、传感器的基本特性.....	7
四、传感器性能指标.....	10
五、传感器特性的应用.....	11
第二节 传感器的命名方法及代号.....	11
一、传感器命名方法.....	11
二、传感器代号标记方法.....	12
三、传感器代号.....	14
四、传感器产品名称.....	18
第三节 传感器材料.....	21
一、半导体材料.....	22
二、敏感陶瓷材料.....	24
三、石英敏感材料.....	24
四、金属氧化物及合金材料.....	24
五、无机材料.....	26
六、有机材料.....	26
七、生化材料.....	27
八、高分子敏感材料.....	27
九、合成材料.....	27
第四节 传感器制作技术.....	28
一、概述.....	28
二、刻蚀(腐蚀)技术.....	29
三、薄膜技术.....	30

四、固相键合工艺.....	32
五、纳米技术(毫微技术).....	32
六、微型传感器结构.....	33
第五节 传感器设计方法.....	35
一、传感器的建模.....	35
二、传感器应用到的各种定理、法则、效应.....	36
三、结构、材料与参数的合理选择.....	37
四、信号转换方式.....	38
五、传感器的标定与校准.....	38
第六节 传感器应用电路组成.....	40
一、传感器应用电路组成.....	40
二、显示器.....	40
三、执行机构.....	41
四、信号放大、比较.....	41
五、系统信息处理.....	42
六、微机在测控系统中的作用.....	44
本章小结.....	44
思考题与习题.....	45

第二章 力学量传感器

第一节 弹性敏感元件.....	46
一、弹性敏感元件概念.....	46
二、弹性敏感元件的特性.....	47
三、对弹性敏感元件材料的要求.....	48
四、常用的弹性敏感元件材料.....	49
五、弹性敏感元件的分类.....	49
六、变换力的弹性敏感元件.....	49
七、变换压力的弹性敏感元件.....	51
第二节 电阻应变计.....	53
一、基本工作原理.....	54
二、金属丝应变计的结构.....	55
三、半导体应变计结构.....	57
四、应变计使用注意事项.....	58
五、应变计的命名.....	59
第三节 应变式力传感器.....	59
一、电阻应变计测量电路.....	60
二、电桥电路的温度补偿.....	61
三、电阻应变式传感器的应用.....	61

四、使用注意事项.....	66
第四节 压电传感器.....	67
一、基本工作原理.....	67
二、石英晶体的压电效应机理.....	67
三、压电陶瓷工作原理.....	69
四、压电传感器的等效电路.....	70
五、测量电路.....	71
六、压电式力传感器的合理使用.....	72
七、压电传感器应用.....	74
第五节 压力传感器.....	75
一、概念.....	75
二、弹性压力传感器.....	76
三、半导体压阻式压力传感器.....	76
四、谐振式压力传感器.....	77
五、声表面波(SAW)压力传感器.....	78
六、压力传感器应用举例.....	79
七、压力传感器的选择原则.....	81
本章小结.....	82
思考题与习题.....	83

第三章 光学量传感器

第一节 光电转换元件.....	85
一、光电管、光电倍增管.....	85
二、光敏电阻(光导管).....	87
三、光电池.....	90
四、光敏晶体管(光电晶体管).....	93
五、光敏晶闸管.....	97
六、光电阵列.....	98
七、光电耦合器.....	98
第二节 光电传感器的应用.....	99
一、反射式烟雾报警检测器.....	100
二、光电池应用.....	101
三、光电耦合器应用.....	102
四、光电式转速传感器.....	102
五、光电式浊度计.....	103
第三节 红外光辐射传感器.....	103
一、红外光特点.....	103
二、红外辐射的基本定律.....	104

三、红外传感器.....	105
四、红外传感器应用.....	105
五、热释电元件.....	106
第四节 光纤传感器.....	110
一、光纤的结构.....	111
二、光纤的导波原理.....	111
三、光纤的分类.....	113
四、光纤传感器的应用.....	114
五、光纤器件市场的发展动向.....	117
第五节 激光传感器.....	118
一、激光的产生和特点.....	119
二、常用的激光器.....	119
三、激光探测器的应用.....	120
四、激光二极管 LD 发展状况.....	123
第六节 固态成像传感器.....	124
一、概述.....	124
二、CCD 的基本结构与工作原理.....	125
三、CCD 图像传感器.....	127
本章小结.....	128
思考题与习题.....	129

第四章 温度传感器

第一节 热电偶传感器.....	130
一、热电偶工作原理.....	130
二、热电偶定律.....	132
三、热电偶的测温电路.....	134
四、热电偶的结构、种类和特点.....	135
五、应用热电偶的注意事项.....	139
六、应用举例.....	141
第二节 热电阻传感器.....	144
一、金属热电阻.....	144
二、热敏电阻.....	148
三、热敏电缆.....	150
四、热电阻传感器的应用举例.....	151
第三节 集成温度传感器.....	152
一、工作原理.....	152
二、测温注意事项.....	157
本章小结.....	158

思考题与习题	158
--------------	-----

第五章 几何量传感器

第一节 电阻与电容式几何量传感器	159
一、电阻式几何量传感器	159
二、电容式传感器工作原理	160
三、电容式传感器测量电路	162
四、电容传感器特点	165
五、应用举例	165
第二节 电感式几何量传感器	167
一、自感传感器	167
二、差动变压器（互感传感器）	168
三、电涡流传感器	169
四、测量电路	171
五、应用	173
第三节 波式几何量传感器	176
一、超声波传感器	176
二、微波传感器	178
第四节 角度传感器	180
一、脉冲盘式角度——数字传感器	181
二、接触编码式数字传感器	182
三、光电编码式数字传感器	183
四、电磁编码盘式数字传感器	184
五、感应同步器	184
第五节 光栅几何量传感器	184
一、莫尔条纹形成的基本原理	185
二、莫尔条纹的主要特性	186
三、光栅传感器	186
四、光栅传感器应用	189
第六节 磁栅几何量传感器	190
一、磁尺	190
二、录磁	190
三、磁头	192
四、磁栅的工作原理	192
五、磁栅传感器的应用	193
第七节 液位几何量传感器	195
一、液位传感器分类	195
二、浮子式液位计	195

三、差压式液位计.....	196
四、电容式液面传感器.....	197
五、电极式液位计.....	198
六、电阻短路式液位计.....	198
七、玻璃计与磁力计.....	198
八、波式液位传感器.....	199
九、放射线式液位传感器.....	199
十、应用举例.....	200
本章小结.....	200
思考题与习题.....	200

第六章 运动学量传感器

第一节 流速与流量传感器.....	202
一、流量测定原理.....	202
二、节流式流量计原理.....	202
三、超声波流速传感器.....	203
四、智能化流量积算仪.....	207
五、流速流量传感器使用注意事项.....	208
第二节 运动学量传感器.....	209
一、磁电传感器.....	209
二、空间滤波器.....	212
三、振动传感器.....	212
四、陀螺传感器.....	215
五、运动学量传感器的应用.....	215
本章小结.....	216
思考题与习题.....	217

第七章 磁学量传感器

第一节 霍尔传感器.....	218
一、霍尔效应.....	218
二、霍尔元件的基本测量电路.....	219
三、霍尔元件的特性参数.....	220
四、霍尔集成传感器.....	221
五、霍尔传感器的应用.....	224
第二节 新型磁学量传感器.....	228
一、磁敏电阻.....	228
二、磁敏二极管(SMD).....	231

三、磁敏三极管	231
四、应用	232
本章小结	235
思考题与习题	235

第八章 化学量传感器

第一节 气敏传感器	236
一、半导体气敏传感器的工作机理及分类	237
二、电阻型半导体气敏传感器的结构	237
三、半导体气敏传感器基本测量电路	239
四、半导体气敏传感器的应用	239
五、使用气敏传感器的注意事项	242
六、气体传感器的新动态	242
第二节 湿敏传感器	244
一、湿度的测量方法	245
二、半导体陶瓷湿敏元件	246
三、高分子湿敏元件	247
四、非水分子亲和力和型湿敏传感器	248
五、湿敏传感器的应用	248
本章小结	250
思考题与习题	250

第九章 其它量传感器

第一节 生物传感器简介	251
一、分子识别和敏感膜	251
二、换能器和各种生物传感器	253
第二节 机器人传感器简介	256
一、机器人传感器的功能与分类	256
二、视觉传感器	259
三、听觉传感器	261
四、接触觉传感器	262
五、压觉传感器	262
六、接近觉传感器	264
七、力觉传感器	266
八、滑觉传感器	266
九、智能机器人的现状及未来	267
第三节 智能控制与 SMART 传感器	268

一、智能控制.....	268
二、Smart 传感器的含义.....	269
三、传感器智能化的技术途径.....	272
四、智能传感器举例.....	275
五、智能传感器的发展前景.....	276
本章小结.....	276
思考题与习题.....	277

第十章 传感器应用辅助电路

第一节 传感器信号处理电路.....	278
一、有效值检测电路.....	278
二、绝对值检测电路.....	281
三、峰值保持电路.....	282
四、峰-峰值检测电路.....	283
第二节 传感器线性化处理电路.....	284
一、造成非线性原因.....	284
二、非线性的线性化.....	286
第三节 测控系统实用抗干扰技术.....	289
一、消除或抑制干扰源.....	290
二、破坏干扰途径.....	291
三、削弱接收电路对噪声干扰的敏感性.....	295
四、接地技术.....	295
五、滤波技术.....	298
六、光电耦合技术.....	299
第四节 微机测控系统的工作过程与应用.....	300
一、带微机的测控系统原理.....	301
二、系统中的几种重要部件.....	302
三、检测技术与可编程控制器间的关系.....	305
四、微机在测控系统中的主要应用.....	306
五、应用实例.....	307

第十一章 实践指导

一、选择传感器时主要考虑的因素.....	311
二、选择传感器的一般步骤.....	311
三、传感器开发方法.....	312
四、传感技术新趋向.....	312
五、传感器应用电路制作步骤.....	313

六、应用传感器经验点滴.....	313
七、本课程实践分类.....	313
实践一 市场调查和参观工厂.....	314
一、实践内容.....	314
二、实践目的.....	314
实践二 应变式力传感器实验.....	314
一、实验目的.....	314
二、实验设备.....	314
三、实验步骤.....	314
四、注意事项.....	315
附录 11-1 ZCY-I 型综合传感器实验仪说明书.....	316
一、ZCY—I 型综合传感器实验仪简介.....	316
二、性能和技术参数.....	316
三、注意事项.....	318
实践三 光电传感器实验.....	319
一、实验目的.....	319
二、实验设备与器件.....	319
三、实验步骤.....	319
四、注意事项.....	320
五、思考题.....	320
实践四 光纤传感器实验.....	320
一、实验目的.....	320
二、实验设备.....	321
三、实验步骤与要求.....	321
四、实验注意.....	322
五、思考题.....	322
附录 11-2 GSY—4303 型光纤传感器实验仪说明书.....	322
一、功能.....	322
二、性能指标.....	322
三、总体指标.....	323
四、结构示意图.....	323
实践五 热电偶温控电炉和风扇实验.....	324
一、实验目的.....	324
二、实验设备.....	324
三、实验步骤.....	324
四、实验提示与注意事项.....	325
附录 11-3 电子式温度指示调节仪产品说明书.....	325
一、仪表的外形结构.....	325
二、仪表作用原理.....	325

三、仪表接线图.....	326
四、主要技术性能.....	326
五、仪表的使用.....	326
六、注意事项.....	327
实践六 电涡流式传感器实验.....	327
一、实验目的.....	327
二、实验设备.....	327
三、实验步骤.....	328
四、注意事项.....	329
实践七 霍尔传感器实验.....	329
一、实验目的.....	329
二、实验设备.....	329
三、实验步骤.....	329
四、注意事项.....	330
实践八 自制传感器应用电路(课程设计).....	330
一、实践目的.....	330
二、实验设备.....	330
三、课程设计步骤.....	331
四、注意事项.....	333

部分思考题与习题解答

第一章思考题与习题解答.....	334
第二章思考题与习题解答.....	334
第三章思考题与习题解答.....	336
第四章思考题与习题解答.....	337
第五章思考题与习题解答.....	338
第六章思考题与习题解答.....	338
第七章思考题与习题解答.....	339
第八章 思考题与习题解答.....	340

参考文献

绪 论

传感技术是以研究传感器的材料、传感器的设计、传感器的制作、传感器的应用为主要内容;以传感器敏感材料的电、磁、光、声、热、力等物理“效应”、“现象”,化学中的各种“反应”以及生物学中的各种“机理”作为理论基础;并综合了物理学、微电子学、光学、化学、生物工程、材料科学、精密机械、微细加工、试验测量等方面的知识和技术而形成的一门综合性学科。传感技术与通信技术和计算机技术一起分别构成信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”,是现代信息产业的三大支柱之一。

何谓传感器?它是一种能把特定的被测量信息(包括物理量、化学量、生物学量等)按一定规律转换成某种可用信号输出的器件或装置。当今的“可用信号”是适于处理和传输的电信号等,因此可把传感器狭义地定义为:能把外界非电信息按一定规律转换成电信息输出的器件或装置。可以预料,将来的“可用信号”或许是光信息或者是更先进更实用的其它信息。

一、传感技术的地位和作用

社会的需求是传感技术发展的动力。在基础学科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化,短到 10^{-24}s 的瞬间反应;高达 $5\times 10^4\sim 10^8\text{℃}$ 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……要测量或控制如此极端巨微的信息,人的感官或一般电子设备远已无能为力,必须借助于配备有相应传感器的高精度测控仪器或大型测控系统才能奏效。而传感器的发展依赖于传感器敏感材料的开发;依赖于传感器制作加工技术的提高;依赖于材料新的物理“效应”、新的化学“反应”、新的生物“机理”的挖掘;依赖于传感器应用的推广普及。因而,传感技术已成为一些发达国家的最重要的热门技术之一,美国把八十年代看作传感器时代,把传感技术列为九十年代 22 项关键技术之一;日本将传感技术列为十大技术之首。

从茫茫太空,到浩瀚海洋;从各种复杂工程系统,到日常生活的衣食住行,几乎每一个领域,都离不开各种各样的传感器。

在机器人技术领域,作为第三次产业革命的典型代表—智能机器人将大量使用视觉、触觉、听觉、嗅觉以及各种内脏传感器。一些机器人专家认为“智能机器人系统应该是一个传感器系统的集成而不是机构的集成”。

在航空、航天技术领域,传感器应用得早也应用得多,仅阿波罗 10 号飞船就使用了大量传感器对 3295 个测量参数进行监测。可以说整个飞船就是高性能传感器的集合体。

兵器领域中,现代引信实质就是完成引爆战斗部的传感器系统,可以使用机械式、压电、电容、电磁、光纤、红外、紫外、激光、超声、微波等传感器。国外新设计的引信,同时采用几个传感器以分别监测环境和目标信息,从而更好地解决了安全、可靠和通用性问题,并增加了功能。战场侦察传感器系统是六十年代在美国、前苏联和欧洲等国家和地区发展起来并装备部队的侦察武器。这是由于现代战争的突发性,使侦察兵难以隐蔽和参