



高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材
机械工业出版社精品教材

传感器与自动检测技术

第2版



张玉莲 主编



赠电子课件及习题解答



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专“十一五”电子信息类专业教材

 模拟电子技术及应用	曹光跃	主编 23706
 数字电子技术及应用	刘淑英	主编 21488
 高频电子线路	江 力	主编 32935
 电子产品工艺与实训	王成安 毕秀梅	主编 20663
 电子产品工艺与管理	赵便华	主编 31623
 单片机原理及应用	林毓梁	主编 25863
 音像系统工程	周 遐	主编 12095
 彩色电视机原理与维修	林春方	主编 22060
 电子测量技术	李延廷	主编 27309
 电子设计自动化技术	张永生	主编 24285
 传感器与自动检测技术(第2版)	张玉莲	主编 37976
电子信息类专业英语	温丹丽	主编 25689
 电器产品强制认证基础 ★	余少华	主编 24859
 电子设备维修技术(第2版) ★	陈梓城	主编 07909
 音像技术及应用(第2版) ★	周 遐	主编 24129
 Protel 2004 EDA技术及应用	王廷才 王崇文	主编 30418
 电子工艺技术综合技能教程	许涌清 武昌俊 刘 瑞	编著 31202

注：★ 表示普通高等教育“十一五”国家级规划教材

 表示赠送电子课件

地址：北京市百万庄大街22号

邮政编码：100037

电话服务

社服务中心：010-88361066

销售一部：010-68326294

销售二部：010-88379649

读者购书热线：010-88379203

网络服务

教材网：<http://www.cmpedu.com>

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

机工微博：<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 传感器及自动检测类

ISBN 978-7-111-37976-8

策划编辑◎于宁

ISBN 978-7-111-37976-8



9 787111 379768 >

定价：33.00元

高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材
机械工业出版社精品教材

传感器与自动检测技术

第2版

主 编 张玉莲
副主编 宋双杰
参 编 王宏军 王 莹 黄安春 李 颖
主 审 曲 波



机械工业出版社

本书是高职高专“十一五”规划教材。全书共分14章,主要介绍了传感器的基本知识,力、压力、温度、位移、物位、光电式、磁电式、波式、生物、化学物质、机器人等传感器的基本工作原理及其在工业生产和日常生活中的应用,传感器输出信号的处理技术,传感器的标定以及传感器的发展展望,传感器的综合应用——小制作,最后实战演练介绍了常见参数的检测方法。全书主要根据被测参数进行分类讲解,以便于使用者根据被测参数选取相应的传感器。

本书可作为高职高专院校电气自动化、机电一体化、楼宇智能化、仪器仪表、计算机控制以及电子与信息技术类专业用书;由于教材中各章节具有一定的独立性,所以其他有关专业如数控、机械、汽车、航空电子等专业也可根据需要选用不同章节。本书亦可供从事检测、控制等方面的工程技术人员参考。

为方便教学,本书配有免费电子课件、章后习题解答和模拟试卷及答案,凡选用本书作为授课教材的老师均可来电索取,咨询电话:010-88379375。Email:cmpgaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与自动检测技术/张玉莲主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2012.7(2013.1重印)

高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材 机械工业出版社精品教材

ISBN 978-7-111-37976-8

I. ①传… II. ①张… III. ①传感器—高等职业教育—教材
②自动检测—高等职业教育—教材 IV. ①TP212②TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第063837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:于宁 责任编辑:于宁 版式设计:霍永明
责任校对:潘蕊 封面设计:陈沛 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013年1月第2版第2次印刷

184mm×260mm·17.75印张·435千字

4001—8000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37976-8

定价:33.00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

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是高职高专“十一五”规划教材。本书从使用者的角度出发,对高职高专学生坚持“**理论联系实际,以技术应用为主**”;着眼于提高高职高专学生的应用能力和解决实际问题的能力,使学生在学完本课程后,能成为适应生产、建设、管理、服务第一线需要的,能够掌握传感器与检测技术的基本知识,具有较高素质的高等技术应用性专门人才。

本书简单介绍了工业常用传感器的工作原理、测量转换电路,着重介绍传感器的应用。在取材方面,参照了国内、国外大量先进的测量技术,收集了各种先进的测试产品技术资料,融理论与实践于一体,保证了知识的先进性与前沿性。压缩了大量的理论推导,突出了高职高专教材的实用性。本书语言简洁、精炼,通俗易懂。在2009年陕西省普通高等学校优秀教材评比中获得了优秀教材一等奖。

针对第1版有关传感器的外形结构和应用实例介绍的不足,这次修订各章节都增加了大量的传感器的外形结构简图和应用实例,第5章还增加了“热释电红外传感器”一节,增加了“第14章 实战演练——常见参数的检测”一章,通过实际操作,以提高学生的动手与创造能力,加深学生对传感器应用的认识与理解。针对高职高专学生理论知识上的不足,采用了大量的图形来进一步指导学生的学习。

全书共分14章。参考学时为60~104学时,其中实验学时44学时。第1章介绍传感器的基本知识;第2章~第10章分别介绍了力、压力传感器,温度传感器,位移、物位传感器,光电式传感器,磁电式传感器,波式传感器,生物传感器,化学物质传感器,机器人传感器;第11章介绍了传感器输出信号的处理技术;第12章介绍了传感器的标定和传感器的发展展望;第13章介绍了传感器的综合应用——小制作;第14章为实战演练——常见参数的检测,详细介绍了针对本书各章节的传感器的实验。全书主要根据被测参数进行分类讲解,以便于使用者根据被测参数选取相应的传感器。

本书由西安航空职业技术学院张玉莲教授担任主编并统稿,其中,第1、4、13、14章由张玉莲编写;第2、3章由西安航空职业技术学院宋双杰编写;第5、6章由西安航空职业技术学院宋双杰与山东职业学院李颖编写;第7章由大连职业技术学院黄安春与西安航空职业技术学院王宏军编写;第8、9章由烟台职业学院王莹编写;第10章由黄安春编写;第11、12章及附录由王宏军编写。这次的修订工作参阅了大量的国内外相关资料,调研了部分企事业单位,力求使全



书的内容保持前沿性、先进性。各章的修订全部由张玉莲、宋双杰老师来完成。全书由苏州大学曲波担任主审。主审以高度的责任心审阅了全文，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于传感器技术发展较快，检测技术涉及的知识面较广，加之作者的水平有限，所以在编写中难免有遗漏和不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见。请您将意见或建议发到邮箱：zylian999@126.com，以便和广大读者及时交流与探讨。

编 者

目 录

前言

第1章 传感器的基本知识 1

- 1.1 传感器的作用与地位 1
- 1.2 传感器的应用与发展 1
- 1.3 传感器的定义与组成 2
 - 1.3.1 传感器的定义 2
 - 1.3.2 传感器的组成 2
- 1.4 传感器的分类 3
 - 1.4.1 按被测物理量分类 3
 - 1.4.2 按传感器工作原理分类 4
- 1.5 传感器的命名及代号 5
 - 1.5.1 传感器命名法的构成 5
 - 1.5.2 传感器代号的标记方法 6
- 1.6 传感器的基本特性 6
 - 1.6.1 传感器的静态特性 6
 - 1.6.2 传感器的动态特性 10
- 习题 13

第2章 力、压力传感器 14

- 2.1 概述 14
- 2.2 弹性敏感元件 15
 - 2.2.1 弹性敏感元件的特性 15
 - 2.2.2 弹性敏感元件的分类 16
- 2.3 电阻应变式传感器 18
 - 2.3.1 电阻应变片的结构 18
 - 2.3.2 电阻应变片的分类 19
 - 2.3.3 电阻应变片的工作原理 19
 - 2.3.4 电阻应变片的测量电路 21
 - 2.3.5 应变片的温度误差及补偿 23

- 2.3.6 应变片的粘接剂及粘贴、固化和检查 24
- 2.3.7 电阻应变片传感器的应用 25
- 2.3.8 常见电阻应变式传感器 27
- 2.4 压电式传感器 27
 - 2.4.1 压电式传感器的工作原理——压电效应 28
 - 2.4.2 压电式传感器的等效电路 31
 - 2.4.3 压电式传感器的测量电路 32
 - 2.4.4 压电式传感器的应用 34
 - 2.4.5 常见压电式传感器 36
- 2.5 电容式传感器 37
 - 2.5.1 变间隙式电容传感器 38
 - 2.5.2 变面积式电容传感器 39
 - 2.5.3 变介电常数式电容传感器 41
 - 2.5.4 电容式传感器的测量转换电路 42
 - 2.5.5 电容式传感器的应用 44
 - 2.5.6 常见电容式传感器 46
- 2.6 电感式传感器 47
 - 2.6.1 自感式电感传感器 47
 - 2.6.2 互感式电感传感器——差动变压器式传感器 50
 - 2.6.3 电感式传感器的应用 52
 - 2.6.4 常见电感式传感器 54
 - 2.6.5 电涡流式传感器及其应用 55
 - 2.6.6 常见电涡流传感器 59
- 2.7 压阻式压力传感器 60
 - 2.7.1 压阻式压力传感器的工作原理 60
 - 2.7.2 常见压阻式压力传感器 60
- 习题 61

第3章 温度传感器 63

- 3.1 温标及温度的测量方法 63



3.1.1 温标·····	63	4.2 光栅位移传感器·····	92
3.1.2 温度的测量方法·····	63	4.2.1 光栅的概念·····	92
3.2 膨胀式温度计·····	64	4.2.2 光栅位移传感器的工作原理——莫尔条纹·····	92
3.2.1 玻璃液体温度计·····	64	4.2.3 光栅位移传感器的结构·····	93
3.2.2 固体膨胀式温度计·····	65	4.2.4 光栅位移传感器的特点及应用·····	93
3.2.3 气体膨胀式温度计·····	65	4.3 磁栅位移传感器·····	94
3.3 电阻式温度传感器·····	67	4.3.1 磁栅的概念·····	94
3.3.1 金属热电阻传感器·····	67	4.3.2 磁栅的种类·····	94
3.3.2 半导体热敏电阻·····	71	4.3.3 磁栅位移传感器的结构和工作原理·····	95
3.4 热电偶温度传感器·····	73	4.3.4 磁栅位移传感器的应用·····	96
3.4.1 热电偶温度传感器的工作原理·····	74	4.4 接近传感器·····	96
3.4.2 热电极的材料及常用热电偶·····	77	4.4.1 电容式接近传感器·····	97
3.4.3 热电偶传感器的结构·····	77	4.4.2 电感式接近传感器·····	97
3.4.4 热电偶冷端温度补偿·····	79	4.4.3 接近传感器的应用·····	98
3.4.5 热电偶测温电路·····	80	4.5 液位传感器·····	98
3.4.6 热电偶温度传感器的应用·····	81	4.5.1 导电式水位传感器·····	99
3.5 集成温度传感器·····	82	4.5.2 压差式液位传感器·····	100
3.5.1 集成温度传感器的基本工作原理·····	82	4.5.3 常见液位传感器·····	101
3.5.2 电压输出型集成温度传感器·····	83	4.5.4 磁致伸缩液位(位移)传感器·····	101
3.5.3 电流输出型集成温度传感器·····	83	4.6 电容式物位传感器·····	103
3.5.4 集成温度传感器的应用·····	83	4.6.1 电容式液位传感器的工作原理·····	103
3.5.5 常见集成温度传感器·····	85	4.6.2 电容式物位传感器·····	104
3.6 辐射式温度传感器·····	85	4.6.3 电容式物位传感器的应用·····	104
3.6.1 辐射测温的原理·····	85	4.7 流量传感器·····	105
3.6.2 红外线温度传感器·····	86	4.7.1 电磁流量计·····	105
3.6.3 亮度式温度传感器·····	86	4.7.2 涡轮式流量传感器·····	107
3.6.4 比色温度传感器·····	86	习题·····	109
习题·····	87		
第4章 位移、物位传感器·····	88	第5章 光电式传感器·····	110
4.1 电位器式位移传感器·····	88	5.1 光电效应及光电器件·····	110
4.1.1 电位器的基本概念·····	88	5.1.1 光电效应·····	110
4.1.2 电位器的类型、结构与材料·····	89	5.1.2 光电管、光电倍增管·····	111
4.1.3 电位器的主要技术指标·····	90	5.1.3 光敏电阻·····	112
4.1.4 线位移传感器·····	90	5.1.4 光敏二极管、光敏晶体管·····	114
4.1.5 角位移传感器·····	90	5.1.5 光电池·····	116
4.1.6 电位器式传感器的应用·····	90	5.2 光电式传感器的测量电路·····	117
4.1.7 常见电位器式位移传感器·····	91	5.2.1 光电管路灯自动控制器·····	117



5.2.2 光敏电阻控制的报警电路	118	第7章 波式传感器	155
5.2.3 光敏二极管测量电路	118	7.1 超声波传感器	155
5.2.4 光敏晶体管测量电路	119	7.1.1 超声波的物理基础	155
5.2.5 光电池的测量电路	119	7.1.2 超声波换能器及耦合技术	157
5.3 光纤传感器	120	7.1.3 各种超声波探头	158
5.3.1 光纤的结构和传光原理	120	7.1.4 超声波传感器的应用	158
5.3.2 光纤传感器的工作原理	122	7.2 微波传感器	163
5.3.3 光纤传感器的特点	123	7.2.1 微波的性质与特点	163
5.3.4 光纤传感器的应用	123	7.2.2 微波传感器的工作原理 及其分类	164
5.4 电荷耦合摄影器件	125	7.2.3 微波传感器的应用	164
5.4.1 电荷耦合器件的基本 工作原理	125	7.3 多普勒传感器	167
5.4.2 电荷耦合器件图像传感器	126	7.3.1 多普勒效应	167
5.5 红外传感器	127	7.3.2 多普勒效应的应用	168
5.5.1 红外光电探测器	127	习题	169
5.5.2 红外热敏探测器	128	第8章 生物传感器	170
5.5.3 热释电红外传感器	129	8.1 生物传感器的工作原理	170
5.6 光电式传感器的应用	131	8.2 最常用的生物传感器	171
5.6.1 光电式传感器的类型	132	8.2.1 酶传感器	171
5.6.2 光电式传感器的应用	132	8.2.2 葡萄糖传感器	172
5.6.3 光电开关	135	8.2.3 微生物传感器	173
习题	137	8.2.4 免疫传感器	174
第6章 磁电式传感器	139	8.3 常见生物传感器	174
6.1 概述	139	8.4 生物传感器的应用	176
6.2 霍尔传感器的工作原理与特性	139	习题	177
6.2.1 霍尔效应	139	第9章 化学物质传感器	178
6.2.2 霍尔元件的结构和主要参数	141	9.1 气敏传感器	178
6.2.3 霍尔集成传感器	142	9.1.1 气敏传感器的分类	178
6.3 磁敏传感器	143	9.1.2 电阻型半导体气敏传感器	179
6.3.1 磁敏电阻	143	9.1.3 非电阻型半导体气敏传感器	181
6.3.2 磁敏二极管	145	9.1.4 气敏传感器的应用	181
6.3.3 磁敏晶体管	147	9.1.5 常见气敏传感器	185
6.4 磁电式传感器的应用	149	9.2 湿度传感器	186
6.4.1 霍尔传感器的应用	149	9.2.1 湿度的表示方法	186
6.4.2 磁敏电阻的应用	152	9.2.2 湿度传感器的分类	186
6.4.3 磁敏二极管和磁敏 晶体管的应用	152	9.2.3 电阻式湿度传感器	187
6.4.4 半导体磁传感器的特点及应用	153		
习题	154		



9.2.4 电容式湿度传感器	190	12.1.3 动态标定	215
9.2.5 常见湿度传感器	190	12.2 传感器的发展展望	216
9.2.6 湿度传感器的应用	191	12.2.1 传感器性能的改进	216
习题	196	12.2.2 传感器的发展	217
第10章 机器人传感器	197	习题	220
10.1 概述	197	第13章 传感器的综合应用——	
10.1.1 机器人的类型	197	小制作	221
10.1.2 机器人的特征	198	13.1 电阻应变式力传感器制作的	
10.1.3 机器人的进化过程	198	数显电子秤	221
10.1.4 常见机器人的种类与外形	199	13.1.1 工作原理	221
10.2 视觉传感器	200	13.1.2 元器件选择	221
10.3 听觉传感器	201	13.1.3 制作与调试	221
10.4 触觉传感器	202	13.2 敲击式电子门铃	223
10.5 压觉传感器	202	13.2.1 工作原理	223
10.6 力觉传感器	203	13.2.2 元器件选择	223
10.7 接近觉传感器	204	13.2.3 制作与调试	224
10.8 滑觉传感器	205	13.3 超温报警电路	224
10.9 感觉传感器	206	13.3.1 工作原理	224
习题	206	13.3.2 元器件选择	225
第11章 传感器输出信号的处理技术	207	13.3.3 制作与调试	225
11.1 传感器输出信号的特点	207	13.4 水位指示及水满报警器	225
11.1.1 传感器输出信号的形式	207	13.4.1 工作原理	225
11.1.2 传感器输出信号具有的特点	207	13.4.2 元器件选择	226
11.1.3 输出信号的处理方法	208	13.4.3 制作与调试	226
11.2 传感器输出信号的检测电路	208	13.5 光控延时照明灯	226
11.2.1 检测电路的形式	209	13.5.1 工作原理	226
11.2.2 常用信号的检测电路	209	13.5.2 元器件选择	227
11.3 输出信号的干扰及控制技术	211	13.5.3 制作与调试	227
11.3.1 干扰的类型与要素	211	13.6 热释电红外探头报警器	227
11.3.2 干扰控制的方法	211	13.6.1 工作原理	227
习题	213	13.6.2 元器件选择	228
第12章 传感器的标定和传感器的		13.6.3 制作与调试	228
发展展望	214	13.7 超声波遥控照明灯	228
12.1 传感器的静态标定和动态标定	214	13.7.1 工作原理	229
12.1.1 标定	214	13.7.2 元器件选择	229
12.1.2 静态标定	214	13.7.3 制作与调试	230
		13.8 感应式防盗报警器	230
		13.8.1 工作原理	230



13.8.2 元器件选择	230	压力测量	248
13.8.3 制作与调试	231	实验十 热电阻温度传感器	
13.9 吸烟报警器	231	温度测量	250
13.9.1 工作原理	231	实验十一 热电偶温度传感	
13.9.2 元器件选择	231	器温度测量	251
13.9.3 制作与调试	232	实验十二 热电偶冷端温度补偿	252
13.10 触摸式延时照明灯	232	实验十三 集成温度传感器	
13.10.1 工作原理	232	温度测量	253
13.10.2 元器件选择	233	实验十四 光纤传感器位移测量	254
13.10.3 制作与调试	233	实验十五 光纤传感器转速测量	256
第14章 实战演练——常见参数的		实验十六 光电式转速传感器的	
检测	234	转速测量	257
14.1 CSY 系列传感器与检测技术		实验十七 霍尔传感器位移测量	257
实验台简介	234	实验十八 霍尔转速传感器	
14.1.1 实验台组成	234	转速测量	259
14.1.2 传感器的简要特性	235	实验十九 气体流量的测定	260
14.2 实验项目简介	236	实验二十 气体成分检测——气敏(酒精)	
实验一 应变式力传感器重量测量——		传感器	261
电子秤	236	实验二十一 湿度检测	261
实验二 压电式传感器振动测量	239	实验二十二 超声波传感器测距	262
实验三 电容式传感器的位移测量	241	附录	264
实验四 差动变压器式传感器		附录 A 传感器分类表	264
位移测量	242	附录 B 热电阻分度表	268
实验五 差动变压器零点残余		附录 C 热电偶分度对照表	269
电压补偿	244	附录 D 常用传感器中英文对照表	270
实验六 电涡流式传感器位移测量	245	部分习题参考答案	271
实验七 被测体材质对电涡流		参考文献	272
传感器的特性影响检测	246		
实验八 电涡流传感器振动测量	247		
实验九 压阻式压力传感器			

第1章 传感器的基本知识

学习目的

- 1) 掌握传感器的概念及组成。
- 2) 熟悉传感器的分类方法。
- 3) 了解传感器的命名方法。
- 4) 掌握传感器的一般特性。

1.1 传感器的作用与地位

世界是由物质组成的，各种事物都是物质的不同形态。人们为了从外界获得信息，必须借助于感觉器官。人的“五官”——眼、耳、鼻、舌、皮肤分别具有视、听、嗅、味、触觉等直接感受周围事物变化的功能，人的大脑对“五官”感受到的信息进行加工、处理，从而调节人的行为活动。

人们在研究自然现象、规律以及生产活动中，有时需要对某一事物的存在与否作定性了解，有时需要进行大量的实验测量以确定对象的量值的确切数据，所以单靠人的自身感觉器官的功能是远远不够的，需要借助于某种仪器设备来完成，这种仪器设备就是传感器。传感器是人类“五官”的延伸，是信息采集系统的首要部件。

表征物质特性及运动形式的参数很多，根据物质的电特性，可分为电量和非电量两类。电量一般是指物理学中的电学量，例如电压、电流、电阻、电容及电感等；非电量则是指除电量之外的一些参数，例如压力、流量、尺寸、位移量、重量、力、速度、加速度、转速、温度、浓度及酸碱度等。人类为了认识物质及事物的本质，需要对物质特性进行测量，其中大多数是对非电量的测量。

非电量不能直接使用一般的电工仪表和电子仪器进行测量，因为一般的电工仪表和电子仪器只能测量电量，要求输入的信号为电信号。非电量需要转化成与其有一定关系的电量，再进行测量，实现这种转换技术的器件就是传感器。传感器是获取自然或生产中信息的关键器件，是现代信息系统和各种装备不可缺少的信息采集工具。采用传感器技术的非电量电测方法，就是目前应用最广泛的测量技术。

随着科学技术的发展，传感器技术、通信技术和计算机技术构成了现代信息产业的三大支柱产业，分别充当信息系统的“感官”、“神经”和“大脑”，它们构成了一个完整的自动检测系统。在利用信息的过程中，首先要解决的问题就是获取可靠、准确信息，而传感器精度的高低直接影响计算机控制系统的准确度，可以说没有性能优良的传感器，就没有现代化技术的发展。

1.2 传感器的应用与发展

传感器几乎渗透到所有的技术领域，如工业生产、宇宙开发、海洋探索、环境保护、资



源利用、医学诊断、生物工程和文物保护等领域,并逐渐深入到人们的生活中。如在机器人的技术发展中,传感器采用与否及采用数量的多少是衡量机器人是否具有智能的标志,现代智能机器人因为采用了大量性能更好的、功能更强的、集成度更高的传感器,才使得其具有自我诊断、自我补偿、自我学习等能力,机器人通过传感器实现类似于人的知觉作用。传感器被称为机器人的“电五官”。

在航空、航天技术领域,仅阿波罗10号飞船就使用了数千个传感器对3295个测量参数进行监测。在兵器领域中,使用了诸如机械式、压电、电容、电磁、光纤、红外、激光、生物、微波等传感器,以实现对周围环境的监测与目标定位信息的收集,从而更好地实现了安全、可靠的防卫能力。

在民用工业生产中,传感器也起着至关重要的作用,如一座大型炼钢厂就需要2万多台传感器和检测仪表;大型的石油化工厂需要6千多台传感器和检测仪表;一部现代化汽车需要90多个传感器;一台复印机需要20多个传感器;日常生活中的电冰箱、洗衣机、电饭煲、音像设备、电动自行车、空调器、照相机、电热水器、报警器等家用电器都安装了传感器;在医学上,人体的体温、血压、心脑电波及肿瘤等的准确诊断与监测都需要借助各种传感器来完成。

当今信息时代,随着电子计算机技术的飞速发展,自动检测、自动控制技术显露出非凡的能力,传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节。没有传感器对原始信息进行精确可靠的捕获和转换,就没有现代化的自动检测和自动控制系统;没有传感器就没有现代科学技术的迅速发展。

自1980年以来,世界传感器的产值年增长率达15%~30%,1985年世界传感器市场的年产值为50亿美元,1990年为155亿美元,2010年突破825亿美元,产品达2万多种。传感器的发展势如破竹,不可阻挡,它是衡量一个国家经济发展及现代化程度的重要标志。

1.3 传感器的定义与组成

1.3.1 传感器的定义

传感器的作用是将被测量转换成与其有一定关系的易于处理的电量,它获得的信息正确与否,直接关系到整个系统的准确度。依照中华人民共和国国家标准(GB/T 7665—2005 传感器通用术语)的规定,传感器的定义是:“能感受(或响应)规定的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”。

这一定义包含了4个方面的含义:①传感器是测量装置,能完成测量任务;②它的输入量是某一被测量,可能是物理量、化学量、生物量等;③它的输出量是某一物理量,这种量要便于传输、转换、处理和显示等,这就是所谓的“可用信号”的含义;④输出与输入有一定的对应关系,这种关系要有一定的规律。根据字义可以理解传感器为一感二传,即感受信息并传递出去。

1.3.2 传感器的组成

传感器通常由敏感元器件、转换元器件、转换电路及辅助电源组成,如图1-1所示。其中敏感元器件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分;转换元器件是指传感器中能将



敏感元器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。转换电路是把转换元器件输出的电信号变换为便于处理、显示、记录、控制和传输的可用电信号。其电路的类型视转换元器件的不同而定，经常采用的有电桥电路和其他特殊电路，例如高阻抗输入电路、脉冲电路、振荡电路等。

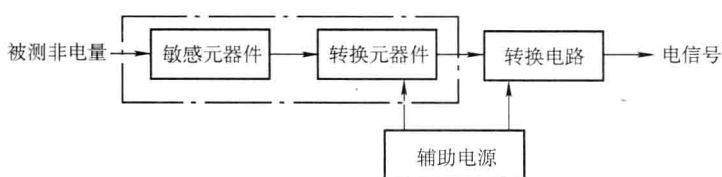


图 1-1 传感器组成框图

辅助电源提供转换能量，有的传感器需要外加电源才能工作，例如应变片组成的电桥、差动变压器等；有的传感器则不需要外加电源便能工作，例如压电晶体等。

图 1-2 所示为电感式压力传感器结构简图。当被测压力 p 变化时，膜盒上半部产生位移变化，通过测杆带动铁心在线圈中上下移动，从而使线圈产生感应电动势，再通过转换电路进行放大整形等处理，输出与被测压力 p 成比例的直流电压信号。在这个传感器测量系统中，膜盒为敏感元器件，它将压力转换成位移。线圈为转换元器件，它将位移转换为电信号的变化。

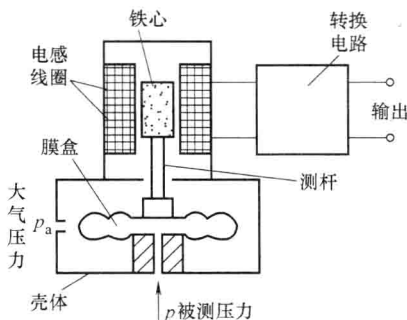


图 1-2 压力传感器结构简图

应该指出的是，并不是所有的传感器必须包括敏感元器件和转换元器件。如果敏感元器件直接输出的是电量，它就同时兼为转换元器件；如果转换元器件能直接感受被测量而输出与之成一定关系的电量，它就同时兼为敏感元器件。例如压电晶体、热电偶、热敏电阻及光敏器件等。敏感元器件与转换元器件两者合二为一的传感器是很多的。

1.4 传感器的分类

根据某种原理设计的传感器可以同时测量多种非电物理量，而有时一种非电物理量又可以用几种不同的传感器来测量。因而传感器有许多分类方法，但常用的分类方法有两种，一种是按被测物理量来分，另一种是按传感器的工作原理来分。

1.4.1 按被测物理量分类

这种方法是根据被测量的性质进行分类，如温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器、加速度传感器及转矩传感器等。

这种分类方法把种类繁多的被测量分为基本被测量和派生被测量。例如力可视为基本被测量，从力可派生出压力、重量、应力和力矩等派生被测量。当需要测量这些被测量时，只要采用力传感器就可以了。了解基本被测量和派生被测量的关系，对于系统使用何种传感器是很有帮助的。

常见的非电基本被测量和派生被测量见表 1-1。这种分类方法的优点是比较明确地表达了传感器的用途，便于使用者根据其用途选用。其缺点是没有区分每种传感器在转换机理上有什么共性和差异，不便于使用者掌握其基本原理及分析方法。



表 1-1 基本被测量和派生被测量

基本被测量		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	力	压力	重量、应力、力矩
	角位移	旋转角、偏转角、角振动	时间	频率	周期、记数、统计分布
速度	线速度	速度、振动、流量、动量	温度		热容、气体速度、涡流
	角速度	转速、角振动、角动量	光		光通量与密度、光谱分布
加速度	线加速度	振动、冲击、质量	湿度		水分、水气、露点
	角加速度	角振动、转矩、转动惯量			

1.4.2 按传感器工作原理分类

这种分类方法是以工作原理划分,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。这种分类的优点是对传感器的工作原理表达得比较清楚,而且类别少,有利于传感器专业工作者对传感器进行深入的研究分析。其缺点是不便于使用者根据用途选用。具体划分如下。

1. 电学式传感器

电学式传感器是应用范围较广的一种传感器,常用的有电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、电磁式传感器及电涡流式传感器等。

电阻式传感器是利用变阻器将被测非电量转换成电阻信号的原理制成的。电阻式传感器一般有电位器式、触点变阻式、电阻应变片式及压阻式等。电阻式传感器主要用于位移、压力、力、应变、力矩、气体流速、液位和液体流量等参数的测量。

电容式传感器是利用改变极板间几何尺寸或改变介质的性质和含量,从而使电容量发生变化的原理制成的。电容式传感器主要用于压力、位移、液体、厚度及水分含量等参数的测量。

电感式传感器是利用改变磁路几何尺寸、磁体位置来改变线圈的电感或互感,或利用压磁效应原理制成的。电磁式传感器主要用于位移、压力、力、振动及加速度等参数的测量。

磁电式传感器是利用电磁感应原理,把被测非电量转换成电量而制成。磁电式传感器主要用于流量、转速和位移等参数的测量。

电涡流式传感器是利用金属导体在磁场中运动,在金属内形成涡流的原理而制成。电涡流式传感器主要用于位移及厚度等参数的测量。

2. 磁学式传感器

磁学式传感器是利用铁磁物质的一些物理效应而制成的。磁学式传感器主要用于位移、转矩等参数的测量。

3. 光电式传感器

光电式传感器在非电量电测及自动控制技术中占有重要的地位。它是利用光电器件的光电效应和光学原理制成的。光电式传感器主要用于光强、光通量、位移和浓度等参数的测量。

4. 电动势型传感器

电动势型传感器是利用热电效应、光电效应及霍耳效应等原理而制成的。电动势型传感



器主要用于温度、磁通量、电流、速度、光通量及热辐射等参数的测量。

5. 电荷型传感器

电荷型传感器是利用压电效应原理而制成的，主要用于力及加速度的测量。

6. 半导体型传感器

半导体型传感器是利用半导体的压阻效应、内光电效应、电磁效应及半导体与气体接触产生物质变化等原理而制成的。半导体型传感器主要用于温度、湿度、压力、加速度、磁场和有害气体的测量。

7. 谐振式传感器

谐振式传感器是利用改变电或机械固有参数来改变谐振频率的原理而制成的，主要用来测量压力。

8. 电化学式传感器

电化学式传感器是以离子导电原理为基础而制成的。根据其电特性的形成不同，电化学式传感器可分为电位式传感器、电导式传感器、电量式传感器、极谱(极化)式传感器和电解式传感器等。电化学式传感器主要用于分析气体成分、液体成分、溶于液体的固体成分、液体的酸碱度、电导率及氧化还原电位参数的测量。

除了上述两种分类方法外，还有按能量的关系分类，将传感器分为有源传感器和无源传感器；按输出信号的性质分类，将传感器分为模拟式传感器和数字式传感器。数字式传感器输出为数字量，便于与计算机连接，且抗干扰性较强，例如盘式角度数字传感器、光栅传感器等。

本书主要按被测量分类编写，适当加以工作原理的分析，重点讲述各种传感器的应用，使读者学会使用传感器。

1.5 传感器的命名及代号

1.5.1 传感器命名法的构成

一种传感器产品的名称，应由主题词及4级修饰语构成。

(1) 主题词 传感器。

(2) 第1级修饰语 被测量，包括修饰被测量的定语。

(3) 第2级修饰语 转换原理，一般可后续以“式”字。

(4) 第3级修饰语 特征描述，指必须强调的传感器结构、性能、材料特征、敏感元器件及其他必须的性能特征，一般可后续以“型”字。

(5) 第4级修饰语 主要技术指标(量程、准确度、灵敏度等)。

本命名法在有关传感器的统计表格、图书索引、检索以及计算机汉字处理等特殊场合使用。

例1：传感器，绝对压力，应变式，放大型，1~3500kPa。

例2：传感器，加速度，压电式， $\pm 20g$ 。

在技术文件、产品样书、学术论文、教材及书刊的陈述句子中，作为产品名称应采用与上述相反的顺序。



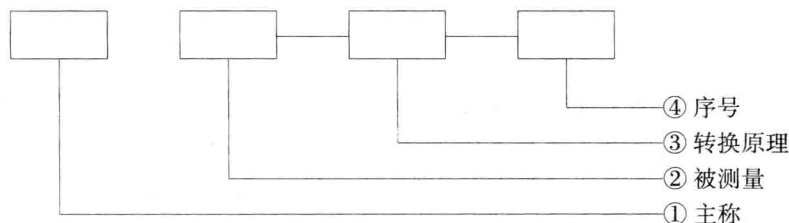
例 3: 1 ~ 3500kPa 放大型应变式绝对压力传感器。

例 4: $\pm 20g$ 压电式加速度传感器。

在侧重传感器科学研究的文献、报告及有关教材中, 为方便对传感器进行原理及其分类的研究, 允许只采用第 2 级修饰语, 省略其他各级修饰语。

1.5.2 传感器代号的标记方法

一般规定用大写汉语拼音字母和阿拉伯数字构成传感器的完整代号。传感器的完整代号应包括以下 4 个部分: ①主称(传感器); ②被测量; ③转换原理; ④序号。4 部分代号格式为



在被测量、转换原理、序号 3 部分代号之间有连字符“—”连接。

例 5: 应变式位移传感器, 代号为 CWY—YB—10。

例 6: 光纤压力传感器, 代号为 CY—GQ—1。

例 7: 温度传感器, 代号为 CW—01A。

例 8: 电容式加速度传感器, 代号为 CA—DR—2。

有少数代号用其英文的第一个字母表示, 如加速度用“A”表示。

1.6 传感器的基本特性

在生产和科学实验中, 要对各种各样的参数进行检测和控制, 就要求传感器能感受被测非电量的变化并不失真地变换成相应的电量, 这主要取决于传感器的基本特性, 即输入—输出特性。传感器的基本特性通常可分为静态特性和动态特性。静态特性是指被测量不随时间变化或随时间变化缓慢时输入与输出间的关系。动态特性是指被测量随时间快速变化时传感器输入与输出间的关系。

传感器作为感受被测量信息的器件, 总是希望它能按照一定的规律输出有用的信号, 因此需要研究其输入—输出之间的关系及特性, 以使用理论指导其设计、制造、校准与使用。在理论和技术上表征输入—输出之间的关系通常是建立数学模型, 这也是研究科学问题的基本出发点。

1.6.1 传感器的静态特性

1. 传感器的静态数学模型

静态数学模型是指在静态信号作用下, 传感器输出量与输入量之间的一种函数关系。如果不考虑迟滞特性和蠕动效应, 传感器的静态数学模型一般可用 n 次多项式来表示为

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (1-1)$$