



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
2008年度普通高等教育国家精品教材
高职高专机电类专业规划教材

传感器及应用

王煜东◎主编

第2版

赠电子课件等

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
2008 年度普通高等教育国家精品教材
高职高专机电类专业规划教材

传 感 器 及 应 用

第 2 版

主编 王煜东
主审 蔡祖光



机械工业出版社

本书系统地介绍了传感器的基本知识,全面介绍了应变式、电位器式、电容式、电感式、电涡流式、压电式、超声波式、霍尔式、光电式、光纤、激光、热敏、气敏、湿敏、频率式、数字编码器、感应同步器、磁栅、光栅、容栅、球栅等传感器的原理、特性及应用,其中有红外、紫外、CCD、PSD、色彩等新型敏感元件及其应用,以及智能式传感器的原理;完整介绍了传感器信号的处理技术、数据采集技术及抗干扰技术;适当介绍了显示与调节仪表的基本组成、原理及应用;重点介绍了传感器在制造业中的机械量和热工量检测中的应用;列举了传感器在机床、自动生产线、汽车、家用电器和安全防范系统中的应用实例;突出介绍了传感器的安装、调整等实践技能。

本书内容丰富新颖、涵盖面广、语言精练、概念清晰、结构严谨、重点明确;书中适当插入了一些传感器的实物照片,增强了直观性和真实感;每章末均附有适当的思考与练习以便于教学,是一本能够适应经济发展、科技进步和生产实践的实用性和教学功能较强的教科书。

本书可作为高职高专机电技术、电气自动化、汽车电子、楼宇智能化、应用电子等专业的教材,也适用于成人教育和职业培训的同类专业,还可供有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器及应用/王煜东主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2008.2
(2011.6重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 2008年度普通高等教育国家精品教材 高职高专机电类专业规划教材
ISBN 978-7-111-13281-3

I. 传… II. 王… III. 传感器—高等学校:技术学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第004632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:王宗锋 版式设计:霍永明
责任校对:申春香 封面设计:陈沛 责任印制:乔宇
北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)
2011年6月第2版第8次印刷
184mm×260mm·18.5印张·456千字
28001—32000册
标准书号:ISBN 978-7-111-13281-3
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

第2版前言

本书第1版自2003年出版以来,已经过多次印刷,深受广大读者欢迎。近年来,传感器的应用市场迅速扩大,在有些领域已成普及之势。为满足市场需求和读者要求,对原版进行了修订。本次修订,主要体现以下三个方面。

1. 拓宽领域。与原版比较,本版增加了传感器在安全防范系统中的应用,充实、完善了传感器在汽车中的应用,使本书内容涵盖了目前传感器的常用领域。

2. 调整结构。本书将原版的9章和绪论重新组合扩展为11章。其中,第1章为传感器的基本知识,包括了传感器的定义、作用和地位等;第2章为线性位移传感器及应用,包括原版第2、3章及5.1节,主要介绍传感器的位移转换原理和特性;第3章为位移传感器在制造业中的应用,主要是原版5.2~5.5节的内容并适当扩展,突出了数字式位置传感器在现代自动化机床上的安装、调整和应用,还包括原版第9章中接近传感器及应用、传感器在MPS系统中的应用及传感器在无损检测中的应用等内容;第4章为力与运动学量传感器及应用;第5章为压力、流量和物位传感器及应用;第6章为温度传感器及应用,第7章为气体与湿度传感器及应用,它们是原版第4章内容,分章后使结构更加合理,内容更加充实;第8章为传感器在汽车中的应用,从实用角度,对原版9.4节重新编写;第9章为传感器在家用电器和安全防范中的应用,在原版9.5节基础上扩展了智能建筑中的防火、防盗等内容;第10章为传感器与微机接口和抗干扰技术,合并了原版第6、7章,并突出了传感器信号的补偿问题;第11章为显示与调节仪表,对原版第8章进行了增、减,增加了数字式仪表的使用的内容。这样,将传感器及应用按应用项目进行模块化设置,使应用领域更加完整、系统,应用目标更加明确,应用方法更加具体,选用更加方便。

3. 突出技能。本版以实践技能为重点,增加了光栅传感器的安装与调整、磁栅传感器的组装与调整、接近传感器的选择、压力计的选择和使用、流量测量仪表的选用、传感器的温度补偿等内容;汽车传感器以识别和故障检修为重点;防盗和防火报警探测器,也以选择和安装为重点,删除了智能化仪表和自动测试系统等内容。本书能够指导现场操作,达到学以致用目的。

以上修订,使本书更能适应我国当前机械制造业、汽车制造业、智能建筑业和其他制造业的发展需求。

本书由河南工业职业技术学院王煜东主编。其中,第1章由马林编写,第2、8、9章由王煜东编写,第3章由石社轩编写,第4、5章由胡雪梅编写,第6、7章由党丽辉编写,第10章由刘娇月编写,第11章由连晗编写,无锡中德高等职业技术学院胡海清



为 3.9 节重新提供了图片。

本书由上海电子信息职业技术学院蔡祖光主审，他认真仔细地审阅了全部书稿，提出了大量宝贵意见，在此表示衷心感谢。

为了便于教师教学，本书配有免费电子课件、模拟试卷及习题解答等，凡选用本书作为教材的学校，均可来电索取，咨询电话：010-88379375。

由于作者水平有限，书中难免有缺点和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

第1版前言

本书是面向21世纪高等职业教育国家规划教材,是根据2001年颁发的全国高等职业学校机电技术应用专业“传感器及应用”课程教学大纲编写的。

为适应教育改革的现状与发展,以及现代职业教育的特点与规律,本书进行了大胆的改革尝试。全书共分9章和绪论:绪论中阐明了传感器的定义、作用、应用领域、发展方向及本课程的性质、任务、特点和学习方法;第1章为传感器及测量的基本知识,包括传感器基本概念、测量概念、误差分析及数据处理;第2章为结构型传感器,包括电位器式、应变式、电容式、电感式、电涡流式传感器等;第3章为物性型传感器,包括压电式、超声波、霍尔式、光电式、光纤、激光等传感器,侧重介绍了近年来发展较快、应用较广的新型敏感元件;第4章将温度、湿度、气敏、离子敏传感器融合为环境量传感器;第5章为频率及数字式传感器;第6章为抗干扰技术;第7章为传感器与微机的接口技术,介绍了传感器信号的预处理方法、信号放大电路、数据采集技术、线性化方法、标度变换概念及智能式传感器;第8章对常用模拟、数字、智能化检测仪表及自动测试系统做了简介;第9章为传感器的应用举例,包括机械量和热工量的检测,既有传感器在现代自动生产线中的应用,又有在与生活密切相关的汽车和家用电器中的应用,同时还列举了传感器实用装置制作示例。通过实例增强了本课程对能力的培养,具有开发智力、拓宽知识面、扩大视野的功效。本书结构紧凑、内容丰富新颖、具有普遍性和实用性。本书语言简练、通俗易懂,体现了“四新”(新知识、新技术、新工艺、新方法)的精神和科学性、简约性及以人为本、能力为目标的思想原则。

本书由河南工业职业技术学院王煜东主编,王兴举、胡应占、冀秀焕及无锡中德高等职业技术学院胡海清协编。王煜东编写了绪论及第3、6、9章,其中第9章第3节由胡海清编写;胡应占编写了第1、8章;王兴举编写了第2、5、7章;冀秀焕编写了第4章。全书由王煜东统稿。

本书由上海电子信息职业技术学院蔡祖光主审,他认真仔细地审阅了全部书稿,提出了大量宝贵意见。参加本书审稿的还有韩全立、苏海滨等,在此表示衷心感谢。在本书编写过程中得到了马林、田林红及一些企业的支持和帮助,提供了不少新的、实用的资料,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 传感器的基本知识 1

- 1.1 传感器的定义与作用 1
 - 1.1.1 传感器的定义 1
 - 1.1.2 传感器的作用和应用领域 1
- 1.2 传感器的组成与分类 3
 - 1.2.1 传感器的组成 3
 - 1.2.2 传感器的分类 3
- 1.3 传感器的基本特性 4
 - 1.3.1 传感器的静态特性 4
 - 1.3.2 传感器的动态特性 6
- 1.4 传感器的测量误差与准确度 6
 - 1.4.1 误差的类型 7
 - 1.4.2 误差的表示方法 7
 - 1.4.3 准确度 8
- 1.5 传感器中的弹性敏感元件 8
 - 1.5.1 应力与应变的概念 8
 - 1.5.2 弹性敏感元件的特性 9
 - 1.5.3 弹性敏感元件的材料 10
 - 1.5.4 弹性敏感元件的类型 10
- 思考与练习 12

第2章 线性位移传感器及应用 13

- 2.1 电阻式传感器 13
 - 2.1.1 应变式传感器 13
 - 2.1.2 电位器式传感器 16
- 2.2 电容式传感器 17
 - 2.2.1 电容式传感器的类型 17
 - 2.2.2 电容式传感器的转换电路 18
 - 2.2.3 电容式位移传感器的实用结构 19
- 2.3 电感式传感器 20
 - 2.3.1 自感式传感器 20
 - 2.3.2 差动变压器 21
- 2.4 电涡流式传感器 23
 - 2.4.1 电涡流式传感器的工作原理 24
 - 2.4.2 电涡流式传感器的结构 24

- 2.4.3 电涡流式传感器的转换电路 24
- 2.4.4 电涡流式传感器使用注意事项 25
- 2.4.5 电涡流式传感器测位移 25
- 2.5 压电式传感器 26
 - 2.5.1 压电材料与压电效应 26
 - 2.5.2 电荷放大器 29
- 2.6 超声波传感器 30
 - 2.6.1 超声波的传播特性 30
 - 2.6.2 超声波换能器 31
- 2.7 磁敏传感器 32
 - 2.7.1 霍尔式传感器 33
 - 2.7.2 集成磁敏电阻传感器 36
- 2.8 光电式传感器 37
 - 2.8.1 光的知识 37
 - 2.8.2 光电效应 38
 - 2.8.3 光电元件 38
 - 2.8.4 光电传感器的类型 49
- 2.9 光纤与激光传感器 51
 - 2.9.1 光纤传感器 51
 - 2.9.2 激光传感器 54
- 2.10 频率式传感器 56
- 2.11 智能式传感器 57
 - 2.11.1 智能式传感器的特点 58
 - 2.11.2 智能式传感器的构成 58
- 思考与练习 58

第3章 位移传感器在制造业中的应用 60

- 3.1 角编码器及应用 60
 - 3.1.1 角编码器的原理与结构 60
 - 3.1.2 角编码器的应用与注意事项 62
- 3.2 感应同步器及应用 63
 - 3.2.1 感应同步器的结构和种类 64
 - 3.2.2 感应同步器数显表及其应用 65
 - 3.2.3 感应同步器在镗床上的应用 66
- 3.3 光栅传感器及应用 66
 - 3.3.1 光栅的类型与结构 66
 - 3.3.2 莫尔条纹的形成原理和特点 67

3.3.3 直线光栅在机床上的安装与调整	69
3.4 磁栅传感器及应用	71
3.4.1 磁栅传感器的类型	71
3.4.2 磁栅传感器的原理	72
3.4.3 磁栅传感器的结构	73
3.4.4 磁栅传感器的组装	73
3.5 容栅传感器	74
3.5.1 容栅传感器的结构及工作原理	75
3.5.2 容栅传感器的测量电路	76
3.5.3 容栅传感器的特点	76
3.6 球同步器	76
3.6.1 球同步器的特点	76
3.6.2 球同步器的外形和结构	77
3.6.3 球同步器的基本工作原理	78
3.7 数显表与数显量具	79
3.7.1 数显表	79
3.7.2 数显量具	82
3.8 接近传感器及应用	84
3.8.1 接近传感器的类型与选择	84
3.8.2 接近传感器	87
3.9 传感器在 MPS 系统中的应用	91
3.9.1 工作站 1 中使用的来料检测传感器	91
3.9.2 工作站 2 中使用的材料检测传感器	92
3.9.3 工作站 3 中使用的多种传感器	92
3.9.4 工作站 4 中使用的位置传感器	93
3.9.5 工作站 5 中使用的光断续器	93
3.10 传感器在无损检测中的应用	94
3.10.1 超声波检测	94
3.10.2 红外无损检测技术	95
思考与练习	95

第 4 章 力与运动学量传感器及应用

4.1 测力与称重	97
4.1.1 测力传感器及应用	97
4.1.2 扭矩测量	98
4.1.3 电子皮带秤	100
4.1.4 电子计价秤	101

4.1.5 数显电子秤的制作	103
4.2 运动学量传感器及应用	104
4.2.1 振动的测量	104
4.2.2 加速度传感器与刀具磨损监测	105
4.2.3 多普勒效应测量线速度	109
4.2.4 转速测量方法	110
思考与练习	111

第 5 章 压力、流量和物位传感器及应用

5.1 压力传感器及应用	112
5.1.1 压力的基本概念及单位	112
5.1.2 压力传感器及其类别	113
5.1.3 集成压力传感器的应用电路	119
5.1.4 压力计的选择和使用	120
5.2 流量传感器及应用	122
5.2.1 流量及其测量方法	122
5.2.2 几种速度式流量传感器	123
5.2.3 流量测量仪表的选用	129
5.3 物位传感器及应用	130
5.3.1 物位测量概述	130
5.3.2 静压式液位计	131
5.3.3 超声波物位传感器及应用	133
5.3.4 微波物位传感器及应用	136
思考与练习	138

第 6 章 温度传感器及应用

6.1 温度与温标	139
6.2 热电偶及应用	140
6.2.1 热电偶	140
6.2.2 热电偶的使用	141
6.2.3 热电偶的基本放大电路	143
6.3 电阻式温度传感器及应用	144
6.3.1 热电阻温度传感器及应用	144
6.3.2 热敏电阻温度传感器及应用	146
6.4 PN 结和集成温度传感器及应用	150
6.4.1 PN 结温度传感器及其应用电路	150
6.4.2 集成温度传感器	151
6.4.3 集成温度传感器应用电路	153
6.5 光电温度计	155
6.5.1 光电高温计	155
6.5.2 红外测温仪	156
6.5.3 光纤温度传感器	157



思考与练习	158
第7章 气体与湿度传感器及应用	159
7.1 气体传感器及应用	159
7.1.1 可检测气体的种类与性质	159
7.1.2 气体传感器	160
7.1.3 气体检测电路	163
7.1.4 气体成分分析	165
7.1.5 部分半导体气敏元件的特性	167
7.2 湿度传感器及应用	168
7.2.1 湿度的概念和检测方法	169
7.2.2 湿度传感器	169
7.2.3 湿度传感器的应用	174
7.2.4 湿度检测与控制电路实例	175
思考与练习	176
第8章 传感器在汽车中的应用	177
8.1 汽车用传感器的特点	177
8.2 温度传感器的应用	178
8.2.1 热敏电阻式温度传感器的结 构与检修	178
8.2.2 其他类型的温度传感器的结 构与检修	180
8.3 压力与流量传感器的应用	182
8.3.1 压力传感器的应用	182
8.3.2 流量传感器的应用	185
8.4 气体传感器的应用	189
8.4.1 氧传感器的结构与检修	189
8.4.2 稀薄混合气传感器	190
8.4.3 宽域空燃比传感器	190
8.4.4 烟尘浓度传感器	190
8.5 速度传感器的应用	191
8.5.1 转速传感器的结构与检修	191
8.5.2 车速传感器	192
8.5.3 角速度传感器	193
8.6 加速度和振动传感器的应用	194
8.6.1 爆震传感器	194
8.6.2 碰撞传感器	195
8.7 位置传感器的应用	197
8.7.1 节气门位置传感器	197
8.7.2 车高与转向传感器	199
8.7.3 液位传感器	200
8.7.4 霍尔式座椅位置传感器	201
8.7.5 方位传感器	202
8.7.6 曲轴和凸轮轴位置传感器	202
8.8 传感器在汽车中的其他应用	207
思考与练习	209
第9章 传感器在家用电器及安全 防范中的应用	210
9.1 传感器在家用电器中的应用	210
9.1.1 传感器在电冰箱与空调中的 应用	210
9.1.2 传感器在厨具中的应用	212
9.1.3 传感器在洗涤及卫生电器中 的应用	213
9.1.4 家用电器中常用的部分国产 热敏电阻	216
9.2 传感器在防盗报警系统中的应用	217
9.2.1 入侵探测和防盗报警系统 概述	217
9.2.2 红外入侵探测器	219
9.2.3 超声波入侵探测器	222
9.2.4 微波入侵探测器	224
9.2.5 复合探测技术和防范报警 系统	225
9.3 传感器在火灾探测报警中的应用	227
9.3.1 火灾的信息检测	228
9.3.2 火灾探测器	228
9.3.3 火灾探测器的安装	232
9.4 遥控与防盗装置的制作	233
9.4.1 微波多普勒效应防盗报警器的 制作	233
9.4.2 超声波汽车倒车防撞电路的 制作	235
思考与练习	236
第10章 传感器与微机的接口和 抗干扰技术	237
10.1 传感器信号的预处理电路	237
10.1.1 开/关式传感器信号的预 处理	237
10.1.2 模拟脉冲式传感器信号的 预处理	238
10.1.3 模拟连续式传感器信号的 预处理	239
10.1.4 模拟频率式传感器信号的 预处理	239
10.1.5 数字式传感器信号的预处理	240

10.1.6 相敏检波电路	240
10.2 传感器的信号放大电路	241
10.2.1 测量放大器	242
10.2.2 集成仪表放大电路介绍	243
10.3 传感器的补偿与标度变换	243
10.3.1 传感器的温度补偿	243
10.3.2 传感器的非线性补偿	246
10.3.3 传感器的标度变换	252
10.4 数据采集	253
10.4.1 数据采集系统的概念	253
10.4.2 A/D 转换器	255
10.4.3 其他数据采集部件	256
10.5 抗干扰技术	257
10.5.1 干扰的来源及形式	257
10.5.2 干扰的抑制技术	261
思考与练习	265

第 11 章 显示与调节仪表	267
11.1 模拟式仪表	267
11.1.1 动圈式指示与调节仪表	267
11.1.2 自动平衡显示仪表	270
11.1.3 电动单元组合仪表	272
11.2 数字式仪表	274
11.2.1 数字式显示调节仪表的分类 与组成	274
11.2.2 数字面板表	275
11.2.3 数字显示调节仪表的使用	276
思考与练习	280
附录	281
附录 A 几种常用传感器性能比较表	281
附录 B S、K 型热电偶分度表	282
附录 C 热电阻分度表	283
参考文献	285

第 1 章 传感器的基本知识

本章主要介绍传感器的定义、作用、组成、分类和基本特性，传感器的测量误差与准确度，弹性敏感元件的作用、特性和种类。这些都是传感器及其应用的通用知识。

1.1 传感器的定义与作用

随着工业、农业、交通、军事、科技、办公、安防、家庭等各个领域的现代化，“传感器”这个名字已为众人皆知。

1.1.1 传感器的定义

什么是传感器？演员在舞台上演唱时要用传声器（话筒），传声器就是把声波（机械波）转换成电信号的传感器。传感器是指能感受规定的被测量，并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。表 1-1 中列出了部分传感器的输入量、输出量及其转换原理。从表 1-1 可以看出，传感器就是利用物理效应、化学效应、生物效应，把被测的物理量、化学量、生物量等非电量转换成电量的器件或装置。

表 1-1 传感器的输入量、输出量及其转换原理

输 入 量				转换原理	输出量
物 理 量	机 械 量	几何学量	长度、位移、应变、厚度、角度、角位移	物理定律 或物理 效应	电量 (电压或 电流)
		运动学量	速度、角速度、加速度、角加速度、振动、频率、时间		
		力学量	力、力矩、应力、质量、荷重		
	流体量		压力、真空度、流速、流量、液位、黏度		
	温度		温度、热量、比热		
	湿度		湿度、露点、水分		
	电量		电流、电压、功率、电场、电荷、电阻、电感、电容、电磁波		
	磁场		磁通、磁场强度、磁感应强度		
	光		光度、照度、色、紫外光、红外光、可见光、光位移		
	放射线		X、α、β、γ射线		
化学量			气体、液体、固体分析、pH、浓度	化学效应	
生物量			酶、微生物、免疫抗原、抗体	生物效应	

1.1.2 传感器的作用和应用领域

1. 传感器的作用

人对外界的感受有触觉、视觉、听觉、嗅觉和味觉。在科学技术领域，对自然界的各种物质信息都需要通过传感器进行采集。如图 1-1 所示，人们把电子计算机比作人的大脑，把



传感器比作人的五种感觉器官, 执行器比作人的四肢, 便制造出了工业机器人。尽管传感器与人的感觉器官相比还有许多不完善的地方, 但在诸如高温、高湿、深井、高空等环境及高精度、高可靠性、远距离、超细微等方面是人的感觉器官所不能代替的。因此, 传感器的作用可包括信息的收集、信息数据的交换及控制信息的采集三个方面。

2. 传感器的应用领域

传感器不仅充当着计算机、机器人、自动化设备的“感觉器官”及机电结合的接口, 而且已渗透到军事和人类生命、生活、生产的各个领域, 从太空到海洋, 从各种复杂的工程系统到人们日常生活的衣食住行, 都已经离不开各种各样的传感器。

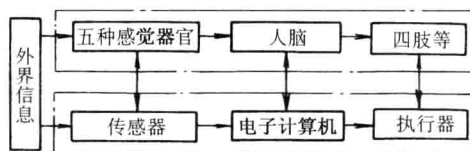


图 1-1 人机对应关系

(1) 传感器在制造业中的应用 在石油、化工、电力、钢铁、机械等工业生产中, 需要及时检测各种工艺参数的相关信息, 并通过电子计算机或控制器对生产过程进行自动化控制。如图 1-2 所示, 传感器是一个自动控制系统中必不可少的环节。

(2) 传感器在汽车中的应用 在汽车上, 温度、压力、流量、湿度、气体、位置、速度、加速度、扭矩等各种各样的传感器已经得到了广泛应用。利用传感器检测的信息, 实现发动机燃油喷射系统的精确控制, 以保障汽车安全行驶。

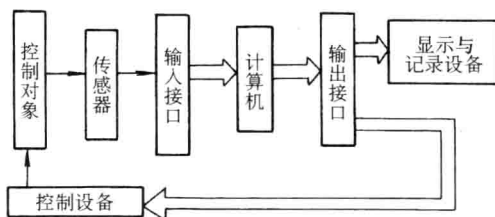


图 1-2 微机化检测与控制系统的基本组成

(3) 传感器在智能建筑中的应用 采用新材料、新信息及通信技术的智能建筑是现代楼宇建设的发展趋势。在智能建筑物的各个方面, 如信息和通信系统、交通管理、加热与通风及空气调节 (HAVC)、能源管理、个人安全与保障系统、维护管理、灵巧的居室装置以及新的智能建筑结构, 都要应用各种传感器。

(4) 传感器在家用电器中的应用 现代家庭中, 用电厨具、空调器、电冰箱、洗衣机、电热水器、安全报警器、吸尘器、电熨斗、照相机、音像设备等都用到了传感器。

(5) 传感器在安全防范中的应用 火灾、盗窃, 不断地给人类生命和财产安全带来极大的威胁。安全防范技术在世界各国已经形成产业。防火、防盗, 广泛应用了光电、热电、压电、气体、红外、超声波、微波及图像等传感器。

(6) 传感器在机器人中的应用 在生产用的单能机器人中, 传感器用来检测臂的位置和角度; 在智能机器人中, 传感器用作视觉和触觉。传感器占机器人成本的二分之一以上。

(7) 传感器在人体医学上的应用 在医疗上应用传感器可以对人体温度、血压、心脑电波及肿瘤等进行准确地测量与诊断。

(8) 传感器在环境保护中的应用 为保护环境, 研制用以监测大气、水质及噪声污染的传感器, 已为世界各国所重视。

(9) 传感器在航空航天中的应用 在飞机及火箭等飞行器上, 要使用传感器对飞行速度、加速度、飞行距离及飞行方向、飞行姿态进行检测。

(10) 传感器在遥感技术中的应用 在飞机及卫星等飞行器上利用紫外、红外光电传感器及微波传感器探测气象、地质等；在船舶上利用超声波传感器进行水下探测。

(11) 传感器在军事方面的应用 利用红外探测仪可以探测地形、发现地物及敌方各种军事目标；红外雷达具有搜索、跟踪、测距等功能，可以搜索几十到上千千米内的目标；其他还有红外制导、红外通信、红外夜视、红外对抗等。再如，用压电陶瓷制成的压电引信称为弹丸起爆装置，具有瞬发度高、安全可靠、不用配置电源等特点，常用在破甲弹上。

3. 传感器在国民经济中的地位

传感器技术对现代化科学技术、现代化农业及工业自动化的发展起到基础和支柱的作用，在世界各国已成为一种重要产业。可以说没有传感器就没有现代化的科学技术；没有传感器也就没有人类现代化的生活环境和条件。传感器技术已成为科学技术和国民经济发展水平的标志之一。

1.2 传感器的组成与分类

1.2.1 传感器的组成

从功能上讲，传感器通常由敏感元件、转换元件及转换电路组成，如图 1-3 所示。

敏感元件是指传感器中能直接感受（或响应）被测量的部分。在完成非电量到电量的变换时，并非所有的非电量都能利用现有手段直接转换成电量，往往是先变换为另一种易于变成电量的非电量，然后再转换成电量。

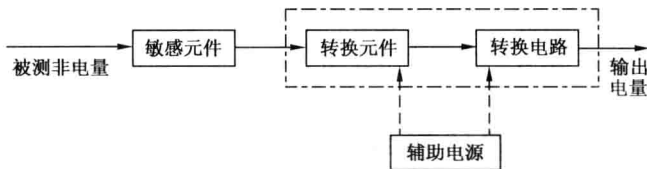


图 1-3 传感器的组成

如传感器中各种类型的弹性元件，常被称为弹性敏感元件。

转换元件是指能将感受到的非电量直接转换成电量的器件或元件。如光电池将光的变化量转换为电动势，应变片将应变转换为电阻量等。

转换电路是指将无源型传感器输出的电参数量转换成电量。常用的转换电路有电桥电路、脉冲调宽电路、谐振电路等，它们将电阻、电容、电感等电参数转换成电压、电流或频率等电量。

实际上，有些传感器的敏感元件可以直接把被测非电量转换成电量输出，如压电晶体、光电池、热电偶等。通常称它们为有源型传感器。

辅助电源为无源传感器的转换电路提供电能。

1.2.2 传感器的分类

传感器的种类很多，目前尚没有统一的分类方法，下面介绍几种常用分类方法。

1. 按输入量分类

输入量即被测对象，按此方法分类，传感器可分为物理量传感器、化学量传感器和生物量传感器三大类。其中，物理量传感器又可分为温度传感器、压力传感器和位移传感器等。



这种分类方法给使用者提供了方便，容易根据被测对象选择所需要的传感器。

2. 按转换原理分类

从传感器的转换原理来说，通常分为结构型、物性型和复合型三大类。结构型传感器是利用机械构件（如金属膜片等）在动力场或电磁场的作用下产生变形或位移，将外界被测参数转换成相应的电阻、电感和电容等物理量，它是利用物理学运动定律或电磁定律实现转换的。物性型传感器是利用材料的固态物理特性及其各种物理、化学效应（即物质定律，如胡克定律、欧姆定律等）实现非电量的转换。它是以半导体、电介质、铁电体等作为敏感材料的固态器件。复合型传感器是由结构型传感器和物性型传感器组合而成的，兼有两者的特征。例如：电阻式、电感式、电容式、压电式、光电式、热敏、气敏、湿敏和磁敏等。这种分类方法清楚地指明了传感器的原理，便于学习和研究。

3. 按输出信号的形式分类

按输出信号的形式，传感器可分为开关式、模拟式和数字式。

4. 按输入和输出的特性分类

按输入和输出特性，传感器可分为线性和非线性两类。

5. 按能量转换的方式分类

按转换元件的能量转换方式，传感器可分为有源型和无源型两类。有源型也称能量转换型或发电型，它将非电量直接变成电压量、电流量、电荷量等，如磁电式、压电式、光电池、热电偶等。无源型也称能量控制型或参数型，它将非电量变成电阻、电容、电感等量。

按上述后三种分类方法进行分类便于选择测量电路。

1.3 传感器的基本特性

传感器的特性参数有很多，且不同类型的传感器，其特性参数的要求和定义也各有差异，但都可以通过其静态特性和动态特性进行全面描述。

1.3.1 传感器的静态特性

静态特性表示传感器在被测各量值处于稳定状态时的输入与输出的关系。它主要包括灵敏度、分辨力（或分辨率）、测量范围及误差特性。

1. 灵敏度

灵敏度是指稳态时传感器输出量 y 和输入量 x 之比，或输出量 y 的增量和相应输入量 x 的增量之比，用 k 表示，即

$$k = \frac{\text{输出量增量}}{\text{输入量增量}} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-1)$$

线性传感器的灵敏度 k 为一常数；非线性传感器的灵敏度 k 是随输入量变化的量。

2. 分辨力

传感器在规定的测量范围内能够检测出的被测量的最小变化量称为分辨力。它往往受噪声的限制，所以噪声电平的大小是决定传感器分辨力的关键因素。

实际中，分辨力可用传感器的输出值代表的输入量表示：模拟式传感器以最小刻度的一半所代表的输入量表示；数字式传感器则以末位显示一个字所代表的输入量表示。注意不要

与分辨率混淆。分辨力是与被测量有相同量纲的绝对值，而分辨率则是分辨力与量程的比值。

3. 测量范围和量程

在允许误差范围内，传感器能够测量的下限值（ $y_{\min}$ ）到上限值（ $y_{\max}$ ）之间的范围称为测量范围，表示为 $y_{\min} \sim y_{\max}$ ；上限值与下限值的差称为量程，表示为 $y_{F.S} = y_{\max} - y_{\min}$ 。如某温度计的测量范围是 $-20 \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，量程则为 120°C 。

4. 误差特性

传感器的误差特性包括线性度、迟滞、重复性、零漂和温漂等。

(1) 线性度 线性度即非线性误差。为了便于对传感器进行标定和数据处理，要求传感器的特性为线性关系，而实际的传感器特性常呈非线性，这就需要对传感器进行线性化。传感器的静态特性是在标准条件下校准（标定）的。即在没有加速度、振动、冲击及温度为 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 、湿度不大于 85% RH、大气压力为 $(101327 \pm 7800) \text{ Pa}$ 的条件下，用一定等级的设备，对传感器进行反复循环测试，得到的输入和输出数据用表格列出或画出曲线，这条曲线称为校准曲线。传感器的校准曲线与理论拟合直线之间的最大偏差（ $\Delta L_{\max}$ ）与满量程值（ $y_{F.S}$ ）的百分比称为线性度，用 γ_L 表示，即

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{F.S}} \times 100\% \quad (1-2)$$

由此可知非线性误差是以一定的拟合直线为基准算出来的，拟合直线不同，所得线性度也不同。图 1-4 所示为常用的两种拟合直线，即端基拟合直线和独立拟合直线。

① 端基拟合直线是由传感器校准数据的零点输出平均值和满量程输出平均值连成的一条直线。由此所得的线性度称为端基线性度。这种拟合方法简单直观，应用较广，但拟合精度很低，尤其对非线性比较明显的传感器，拟合精度更差。

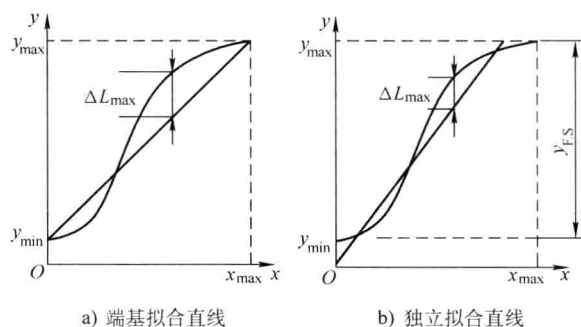


图 1-4 传感器拟合直线示意图

② 独立拟合直线方程是用最小二乘法求得的，在全量程范围内各处误差都最小。由此所得的独立线性度也称最小二乘法线性度。这种方法拟合精度最高，但计算很复杂。

(2) 迟滞 迟滞是指在相同工作条件下，传感器正行程特性与反行程特性的不一致的程度，如图 1-5 所示。其数值为对应同一输入量的正行程和反行程输出值间的最大偏差 $\Delta H_{\max}$ ，与满量程输出值的百分比，用 γ_H 表示，即

$$\gamma_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{y_{F.S}} \times 100\% \quad (1-3)$$

或用其一半表示。

(3) 重复性 重复性是指在同一工作条件下，输入量按同一方向在全测量范围内连续变化多次所得特性曲线的不一致性，如图 1-6 所示。在数值上用各测量值正、反行程标准偏差



最大值 σ 的两倍或三倍与满量程的百分比表示, 记作 γ_k , 即

$$\gamma_k = \pm \frac{c\sigma}{y_{F.S}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, c 为置信因数, 取 2 或 3。置信因数取 2 时, 置信概率为 95%; 置信因数取 3 时, 置信概率为 99.73%。

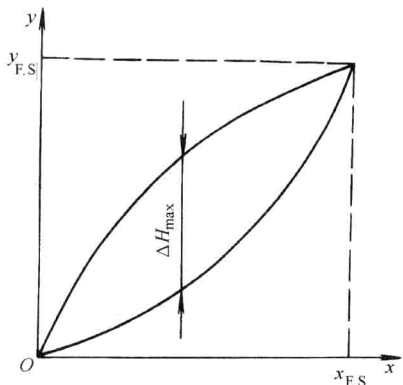


图 1-5 传感器的迟滞特性

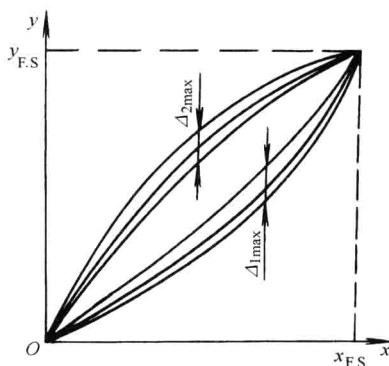


图 1-6 传感器的重复性

从误差的性质讲, 重复性误差属于随机误差。若误差完全按正态分布, 则随机误差的标准误差 σ , 可由各次校准测量数据间的最大误差 Δ_{im} 求出, 即

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{im}^2}{n-1}} \quad (1-5)$$

式中, n 为重复测量的次数。

(4) 零漂和温漂 传感器无输入 (或某一输入值不变) 时, 每隔一定时间, 其输出值偏离原示值的最大偏差与满量程的百分比, 即为零漂。温度每升高 1°C , 传感器输出值的最大偏差与满量程的百分比, 称为温漂。

1.3.2 传感器的动态特性

动态特性是描述传感器在被测量随时间变化时的输出和输入的关系。对于加速度等动态测量的传感器必须进行动态特性的研究, 通常是用输入正弦或阶跃信号时传感器的响应来描述的, 即传递函数和频率响应。

1.4 传感器的测量误差与准确度

不言而喻, 测量的目的是希望得到被测事物的真实量值——真值。但是, 在实际测量中并不能绝对精确地测得被测量的真值, 即总会出现误差。这是因为: 测量系统及标准量本身精度有限; 实验手段不完善, 有些方法在理论上就是近似的; 测量者的知识和技术水平有限; 多数被测量值不可能用一个有限数字表示出来; 被测量是随时间变化的; 外界噪声的干

扰等。因此,测量的目的仅在于根据实际需要得到被测量真值的逼近值。测量值与真值的差异程度称为误差,实际计算中用约定真值代替真值。对某一被测量用精度高一级的仪表测得的值,可视为精度低一级仪表的约定真值。掌握测量误差的概念,明确产生误差的原因及消除方法,是实现测量目的的重要前提。

1.4.1 误差的类型

1. 按误差的性质分类

(1) 系统误差 在相同测量条件下多次测量同一物理量,其误差大小和符号保持恒定或按某一确定规律变化,此类误差称为系统误差。系统误差表征测量的准确度。

(2) 随机误差 在相同测量条件下多次测量同一物理量,其误差没有固定的大小和符号,呈无规律的随机性,此类误差称为随机误差。通常用精密度表征随机误差的大小。

通常将准确度和精密度的综合称为精确度,简称精度。

(3) 粗大误差 明显偏离约定真值的误差称为粗大误差。它主要是由于测量人员的失误所致,如测错、读错或记错等。含有粗大误差的数值称为坏值,应予以剔除。在测量中,若误差大于极限误差 $C\sigma$,即为粗大误差。

2. 按被测量与时间的关系分类

(1) 静态误差 被测量不随时间变化时测得的误差称为静态误差。

(2) 动态误差 在被测量随时间变化过程中测得的误差称为动态误差。动态误差是由于检测系统对输入信号响应滞后,或对输入信号中不同频率成分产生不同的衰减和延迟所造成的。动态误差值等于动态测量和静态测量所得误差的差值。

1.4.2 误差的表示方法

(1) 绝对误差 某被测量的指示值 A_x 与其真值 A_0 之间的差值,称为绝对误差 Δ 。即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-6)$$

当 $A_x > A_0$ 时,为正误差;反之为负误差。在计量工作和实验室测量中常用修正值 C 表示真值 A_0 与指示值 A_x 之差,它等于绝对误差的相反数 ($C = -\Delta$),则

$$A_0 = A_x + C \quad (1-7)$$

绝对误差和修正值的量纲必须与示值量纲相同。

绝对误差可表示测量值偏离实际值的程度,但不能表示测量的准确程度。

(2) 相对误差 相对误差即百分比误差。

① 实际相对误差:它等于绝对误差与约定真值的百分比。用 γ_A 表示,即

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-8)$$

② 示值(标称)相对误差:它等于绝对误差与指示值的百分比。用 γ_x 表示,即

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-9)$$

③ 满度(引用)相对误差:它等于绝对误差与仪表满量程值 $A_{F.S}$ 的百分比。用 γ_n 表示,即

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_{F.S}} \times 100\% \quad (1-10)$$