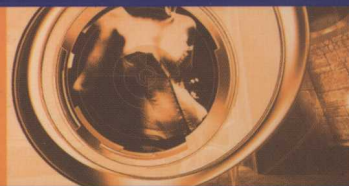
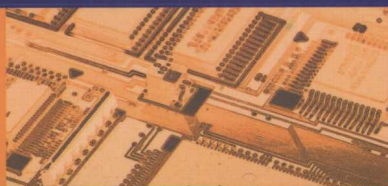
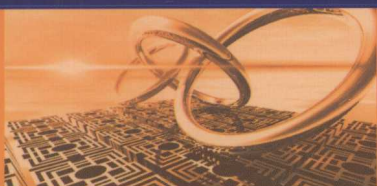




高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材

传感器与 自动检测技术



张玉莲 主编

赠送电子教案等



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

CHUANGGANQI YU ZIDONG JIANCE JISHU

高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材

传感器与自动检测技术

主 编 张玉莲

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13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,最后介绍传感器的综合应用——小制作。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等专业用书;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、汽车等专业也可根据需要选用不同的章节。本书亦可供从事检测、控制等方面的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与自动检测技术/张玉莲主编. —北京:机械工业出版社,2007.9

高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材
ISBN 978-7-111-21945-3

I. 传… II. 张… III. ①传感器—高等学校:技术学校—教材②自动检测—高等学校:技术学校—教材 IV. TP212
TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第111053号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:于宁 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2007年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14印张·342千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-21945-3

定价:22.00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)88379758

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，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，能够掌握传感器与自动检测技术的基本知识的，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，融实践与理论于一体，保证了知识的先进性与前沿性。同时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。

全书共分13章，参考学时为60~80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，化学物质传感器和机器人传感器；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。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。

本书由张玉莲担任主编并统稿。其中，第1、2、3、4、13章由张玉莲编写；第5、6章由李颖编写；第7章由黄安春与王宏军编写；第8、9章由王莹编写；第10章由黄安春编写；第11、12章及附录由王宏军编写。全书由曲波副教授担任主审。主审以高度的责任心审阅了全书，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于传感器技术发展较快，自动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。请将您的意见或建议发送Email到：zylian999@126.com 邮箱，以便编者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 5
- 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 12

第 2 章 力、压力传感器 13

- 2.1 概述 13
- 2.2 弹性敏感元件 14
 - 2.2.1 弹性敏感元件的特性 14
 - 2.2.2 弹性敏感元件的分类 15
- 2.3 电阻应变式传感器 17
 - 2.3.1 电阻应变片的结构 17
 - 2.3.2 电阻应变片的分类 18
 - 2.3.3 电阻应变片的工作原理 18
 - 2.3.4 电阻应变片的测量电路 20
 - 2.3.5 应变片的温度误差及补偿 22
 - 2.3.6 应变片的粘接剂及粘贴、

固化和检查 23

- 2.3.7 电阻应变片传感器的应用 24
- 2.4 压电式传感器 25
 - 2.4.1 压电式传感器的工作原理——压电效应 26
 - 2.4.2 压电式传感器的等效电路 29
 - 2.4.3 压电式传感器的测量电路 29
 - 2.4.4 压电式传感器的应用 32
- 2.5 电容式传感器 33
 - 2.5.1 变间隙式电容传感器 34
 - 2.5.2 变面积式电容传感器 35
 - 2.5.3 变介电常数式电容传感器 36
 - 2.5.4 电容式传感器的测量转换电路 38
 - 2.5.5 电容式传感器的应用 39
- 2.6 电感式传感器 41
 - 2.6.1 自感式电感传感器 41
 - 2.6.2 互感式电感传感器——差动变压器式传感器 44
 - 2.6.3 电感式传感器的应用 46
 - 2.6.4 电涡流式传感器及其应用 48
- 2.7 压阻式压力传感器 52
 - 习题 53

第 3 章 温度传感器 55

- 3.1 温标及温度的测量方法 55
 - 3.1.1 温标 55
 - 3.1.2 温度的测量方法 55
- 3.2 膨胀式温度计 56
 - 3.2.1 玻璃液体温度计 56
 - 3.2.2 固体膨胀式温度计 57
 - 3.2.3 气体膨胀式温度计 57
- 3.3 电阻式温度传感器 59
 - 3.3.1 金属热电阻传感器 59



3.3.2 半导体热敏电阻	62	4.3.4 磁栅位移传感器的应用	83
3.4 热电偶温度传感器	64	4.4 接近传感器	84
3.4.1 热电偶温度传感器的工作原理	64	4.4.1 电容式接近传感器	84
3.4.2 热电极的材料及常用热电偶	67	4.4.2 电感式接近传感器	84
3.4.3 热电偶传感器的结构	68	4.4.3 接近传感器的应用	85
3.4.4 热电偶冷端温度补偿	68	4.5 液位传感器	86
3.4.5 热电偶测温线路	70	4.5.1 导电式水位传感器	86
3.4.6 热电偶温度传感器的应用	71	4.5.2 压差式液位传感器	87
3.5 集成温度传感器	72	4.5.3 磁致伸缩液位(位移)传感器	88
3.5.1 集成温度传感器的基本 工作原理	72	4.6 电容式物位传感器	89
3.5.2 电压输出型集成温度传感器	72	4.6.1 电容式液位传感器的工作原理	89
3.5.3 电流输出型集成温度传感器	73	4.6.2 电容式物位传感器	90
3.5.4 集成温度传感器的应用	73	4.6.3 电容式物位传感器的应用	90
3.6 辐射式温度传感器	74	4.7 流量传感器	91
3.6.1 辐射测温的原理	74	4.7.1 电磁流量计	91
3.6.2 红外线温度传感器	75	4.7.2 涡轮式流量传感器	93
3.6.3 亮度式温度传感器	75	习题	95
3.6.4 比色温度传感器	75	第5章 光电式传感器	96
习题	75	5.1 光电效应及光电器件	96
第4章 位移、物位传感器	77	5.1.1 光电效应	96
4.1 电位器式位移传感器	77	5.1.2 光电管、光电倍增管	97
4.1.1 电位器的基本概念	77	5.1.3 光敏电阻	98
4.1.2 电位器的类型、结构与材料	78	5.1.4 光敏二极管、光敏晶体管	99
4.1.3 电位器的主要技术指标	79	5.1.5 光电池	102
4.1.4 线位移传感器	79	5.2 光电式传感器的测量电路	103
4.1.5 角位移传感器	79	5.2.1 光敏电阻测量电路	103
4.1.6 电位器式传感器的应用	79	5.2.2 光敏二极管测量电路	103
4.2 光栅位移传感器	80	5.2.3 光敏晶体管测量电路	104
4.2.1 光栅的概念	80	5.2.4 光电池的测量电路	105
4.2.2 光栅位移传感器的工作原理 ——莫尔条纹	80	5.3 光纤传感器	105
4.2.3 光栅位移传感器的结构	81	5.3.1 光纤的结构和传光原理	105
4.2.4 光栅位移传感器的特点及应用	81	5.3.2 光纤传感器的工作原理	106
4.3 磁栅位移传感器	82	5.3.3 光纤传感器的特点	107
4.3.1 磁栅的概念	82	5.3.4 光纤传感器的应用	108
4.3.2 磁栅的种类	82	5.4 电荷耦合摄影器件	109
4.3.3 磁栅位移传感器的结构和 工作原理	82	5.4.1 CCD电荷耦合器件的基本 工作原理	109
		5.4.2 CCD图像传感器	111



5.5 红外传感器	111	习题	147
5.5.1 红外光电探测器	112	第8章 生物传感器	148
5.5.2 红外热敏探测器	112	8.1 生物传感器的工作原理	148
5.6 光电式传感器的应用	113	8.2 最常用的生物传感器	149
5.6.1 光电式传感器的类型	113	8.2.1 酶传感器	149
5.6.2 光电式传感器的应用	114	8.2.2 葡萄糖传感器	150
5.6.3 光电开关	117	8.2.3 微生物传感器	150
习题	118	8.2.4 免疫传感器	151
第6章 磁电式传感器	119	8.3 生物传感器的应用	152
6.1 概述	119	习题	153
6.2 霍尔传感器的工作原理与特性	119	第9章 化学物质传感器	154
6.2.1 霍尔效应	119	9.1 气敏传感器	154
6.2.2 霍尔元件的结构和主要参数	121	9.1.1 气敏传感器的分类	154
6.2.3 霍尔集成传感器	122	9.1.2 电阻型半导体气敏传感器	155
6.3 磁敏传感器	123	9.1.3 非电阻型半导体气敏传感器	156
6.3.1 磁敏电阻	123	9.1.4 气敏传感器的应用	157
6.3.2 磁敏二极管	125	9.2 湿度传感器	161
6.3.3 磁敏晶体管	127	9.2.1 湿度的表示方法	161
6.4 磁电式传感器的应用	128	9.2.2 湿度传感器的分类	161
6.4.1 霍尔传感器的应用	128	9.2.3 电阻式湿度传感器	162
6.4.2 磁敏电阻的应用	130	9.2.4 电容式湿度传感器	165
6.4.3 磁敏二极管和磁敏 晶体管的应用	131	9.2.5 湿度传感器的应用	165
6.4.4 半导体磁传感器的特点及应用	132	习题	170
习题	132	第10章 机器人传感器	171
第7章 波式传感器	134	10.1 概述	171
7.1 超声波传感器	134	10.1.1 机器人的类型	171
7.1.1 超声波的物理基础	134	10.1.2 机器人的特征	172
7.1.2 超声波换能器及耦合技术	136	10.1.3 机器人的进化过程	172
7.1.3 超声波传感器的应用	137	10.2 视觉传感器	173
7.2 微波传感器	141	10.3 听觉传感器	173
7.2.1 微波的性质与特点	141	10.4 触觉传感器	174
7.2.2 微波传感器的工作原理 及其分类	141	10.5 压觉传感器	175
7.2.3 微波传感器的应用	142	10.6 力觉传感器	176
7.3 多普勒传感器	144	10.7 接近觉传感器	177
7.3.1 多普勒效应	144	10.8 滑觉传感器	177
7.3.2 多普勒效应的应用	145	10.9 感觉传感器	179



习题	179	13.3.2 元器件选择	198
第 11 章 传感器输出信号的处理技术 ..	180	13.3.3 制作与调试	198
11.1 传感器输出信号的特点	180	13.4 水位指示及水满报警器	198
11.1.1 传感器输出信号的形式	180	13.4.1 工作原理	198
11.1.2 传感器输出信号具有的特点 ..	180	13.4.2 元器件选择	199
11.1.3 输出信号的处理方法	181	13.4.3 制作与调试	199
11.2 传感器输出信号的检测电路	181	13.5 光控延时照明灯	199
11.2.1 检测电路的形式	182	13.5.1 工作原理	199
11.2.2 常用信号的检测电路	182	13.5.2 元器件选择	200
11.3 输出信号的干扰及控制技术	184	13.5.3 制作与调试	200
11.3.1 干扰的类型与要素	184	13.6 热释电红外探头报警器	200
11.3.2 干扰控制的方法	184	13.6.1 工作原理	200
习题	186	13.6.2 元器件选择	201
第 12 章 传感器的标定和传感器的发展展望	187	13.6.3 制作与调试	201
12.1 传感器的静态标定和动态标定	187	13.7 超声波遥控照明灯	201
12.1.1 标定	187	13.7.1 工作原理	202
12.1.2 静态标定	187	13.7.2 元器件选择	202
12.1.3 动态标定	188	13.7.3 制作与调试	203
12.2 传感器的发展展望	189	13.8 感应式防盗报警器	203
• 12.2.1 传感器性能的改进	189	13.8.1 工作原理	203
12.2.2 传感器的发展	190	13.8.2 元器件选择	203
习题	193	13.8.3 制作与调试	204
第 13 章 传感器的综合应用——小制作	194	13.9 吸烟报警器	204
13.1 电阻应变式力传感器制作的数显电子秤	194	13.9.1 工作原理	204
13.1.1 工作原理	194	13.9.2 元器件选择	204
13.1.2 元器件选择	194	13.9.3 制作与调试	205
13.1.3 制作与调试	194	13.10 触摸式延时照明灯	205
13.2 敲击式电子门铃	196	13.10.1 工作原理	205
13.2.1 工作原理	196	13.10.2 元器件选择	206
13.2.2 元器件选择	196	13.10.3 制作与调试	206
13.2.3 制作与调试	197	附录	207
13.3 超温报警电路	197	附录 A 传感器分类表	207
13.3.1 工作原理	197	附录 B 热电阻分度表	211
		附录 C 热电偶分度对照表	212
		附录 D 常用传感器中英文对照表	212
		习题参考答案	213
		参考文献	214



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，所以传感器精度的高低直接影响计算机控制系统的精度，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 3 295 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，以实现对外部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 亿，1990 年为 155 亿。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

传感器的作用是将非电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精度。依照中华人民共和国国家标准(GB/T 7665—1987 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”。

这一定义包含了几个方面的含义：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。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。

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



图 1-1 传感器组成框图

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，一种是按被测输入量来分，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、浓度等参数的测量。

4. 电势型传感器

电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、精确度、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, 1~3 500kPa。

例2: 传感器, 加速度, 压电式, $\pm 20\text{g}$ 。

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。

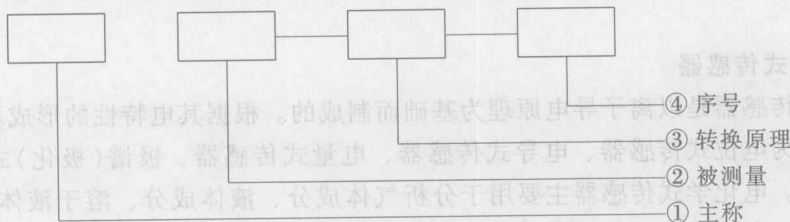
例3: 1~3 500kPa 放大型应变式绝对压力传感器。

例4: $\pm 20\text{g}$ 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转换成相应的电量, 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

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

式中, x 是输入量, 即被测量; y 是传感器的理论输出量; a_0 是零输入时的输出, 也叫零位输出; a_1 是传感器线性项系数也称线性灵敏度, 常用 K 或 S 表示; a_2, \dots, a_n 是非线性项系数, 其数值由具体传感器非线性特性决定。

传感器静态数学模型有 4 种有用的特殊形式:

(1) 理想的线性特性 其线性度最好, 通常是所有传感器都希望具有的特性, 只有具备这样的特性才能准确无误地反映被测的真值。其数学模型为

$$y = a_1x \quad (1-2)$$

具有该特性的传感器, 其特性曲线是一条通过原点的直线, 如图 1-2a 所示。其灵敏度为直线 $y = a_1x$ 的斜率, 其中 a_1 为常数。



(2) 线性特性 当 $a_2 = a_3 = \dots = a_n = 0$, $a_0 \neq 0$ 时, 特性曲线是一条不过原点的直线, 如图 1-2b 所示, 这是线性传感器的特性。其数学模型为

$$y = a_0 + a_1 x \quad (1-3)$$

(3) 仅有偶次非线性项 其线性范围较窄, 线性度较差, 灵敏度为相应曲线的斜率, 特性曲线对 Y 轴对称, 如图 1-2c 所示。一般传感器设计很少采用这种特性。其数学模型为

$$y = a_0 + a_2 x^2 + a_4 x^4 + \dots + a_{2n} x^{2n}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1-4)$$

(4) 仅有奇次非线性项 其线性范围较宽, 且特性曲线相对坐标原点对称的, 如图 1-2d 所示。线性度较好, 灵敏度为该曲线的斜率。其数学模型为

$$y = a_0 + a_1 x + a_3 x^3 + \dots + a_{2n+1} x^{2n+1}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1-5)$$

具有这种特性的传感器使用时应采取线性补偿措施。

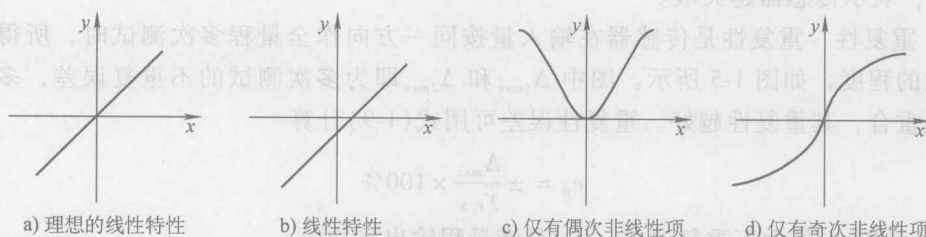


图 1-2 传感器典型静态特性曲线

2. 传感器的静态性能指标

传感器的静态特性主要由线性度、灵敏度、重复性、迟滞、分辨力和阈值、稳定性、漂移、测量范围和量程等几种性能指标来描述。

(1) 线性度 线性度是传感器输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离理论拟合直线的程度, 又称非线性误差。通常用相对误差表示其大小, 线性度可用式(1-6)表示为

$$e_L = \pm \frac{\Delta_{\max}}{\bar{y}_{F.S}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, Δ_{\max} 是实际曲线与拟合直线之间的最大偏差; $\bar{y}_{F.S}$ 是满量程输出平均值, $\bar{y}_{F.S} = \bar{y}_{\max} - \bar{y}_0$; \bar{y}_{\max} 是最大输出平均值; \bar{y}_0 是最小输出平均值。

需要指出的是: 线性度是以拟合直线作为基准来确定的, 拟合方法不同, 线性度的大小也不同, 常用的拟合方法有理论直线法、端点连线法、割线法、最小二乘法等。其中端点连线法简单直观, 应用比较广泛, 但没有考虑所有测量数据的分布, 拟合精度较低。最小二乘法拟合精度最高, 但计算繁琐, 需要借助计算机来完成。图 1-3 所示为不同拟合直线的线性度。

(2) 灵敏度 灵敏度是指传感器在稳态下, 输出增量与输入增量的比值。对于线性传感器, 其灵敏度就是它的静态特性曲线的斜率, 如图 1-4a 所示, 其中

$$K = \frac{y}{x} \quad (1-7)$$

对于非线性传感器, 其灵敏度是一个随工作点而变的变量, 它是特性曲线上某一点切线的斜率。如图 1-4b 所示, 其表达式为

$$K = \frac{dy}{dx} \quad (1-8)$$

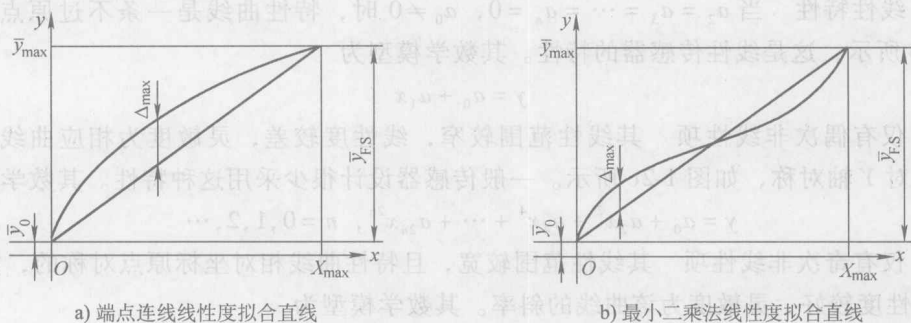


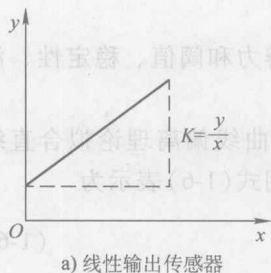
图 1-3 传感器的线性度

K 值越大, 表示传感器越灵敏。

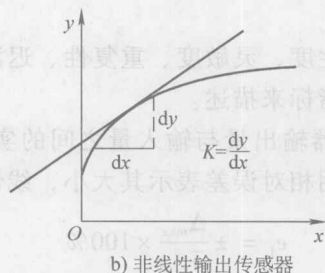
(3) 重复性 重复性是传感器在输入量按同一方向作量程多次测试时, 所得特性曲线不一致的程度, 如图 1-5 所示。图中 Δ_{1max} 和 Δ_{2max} 即为多次测试的不重复误差, 多次测试的曲线越重合, 其重复性越好。重复性误差可用式 (1-9) 计算

$$e_R = \pm \frac{\Delta_{max}}{y_{F.S}} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中, Δ_{max} 是输出最大不重复误差; $\bar{y}_{F.S}$ 是满量程输出平均值。



a) 线性输出传感器



b) 非线性输出传感器

图 1-4 传感器的灵敏度

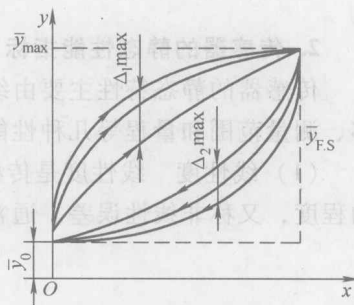


图 1-5 重复性

重复性误差反映的是校准数据的离散程度, 属随机误差, 按上述方法计算就不太合理。由于测量次数不同, 其最大偏差也不一样。因此一般按标准偏差来计算重复性误差, 其表达式为

$$e_R = \pm \frac{(2 \sim 3) \sigma_{max}}{\bar{y}_{F.S}} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中, σ_{max} 是全部校准点正、反行程输出值标准偏差中的最大值。

标准偏差常用贝塞尔公式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1}} \quad (1-11)$$

式中, y_i 是某校准点的输出值; \bar{y}_i 是在第 i 个校准点上输出量的平均值; n 是测量次数。

传感器输出特性的不重复性主要由传感器的机械部分的磨损、间隙、松动、部件的内摩擦、积尘、电路老化、工作点漂移等原因产生。



(4) 迟滞 迟滞是传感器在正向行程(输入量增大)和反向行程(输入量减小)期间,输出一输入特性曲线不一致的程度,如图1-6所示。也就是说,对于同一大小的输入信号,传感器正反行程的输出信号大小不相等。在行程中同一输入量 x_i 对应的不同输出量 y_i 、 y_d 的差值叫滞环误差,最大滞环误差用 Δ_{\max} 表示,它与满量程输出值的比值称迟滞误差,用 e_H 表示,则

$$e_H = \frac{\Delta_{\max}}{y_{F.S.}} \times 100\% \text{ 或 } e_H = \pm \frac{\Delta_{\max}}{2y_{F.S.}} \times 100\% \quad (1-12)$$

迟滞反映了传感器机械部分不可避免的缺陷,如轴承摩擦、间隙、螺钉松动、元器件腐蚀或碎裂、材料内摩擦、积尘等。

(5) 分辨力和阈值 实际测量时,传感器的输入输出关系不可能保持绝对连续。有时输入量开始变化了,但输出量并不立刻随之变化,而是在输入量变化到某一程度时输出才突然产生一小的阶跃变化。实际上传感器的特性曲线并不是十分平滑,而是呈阶梯形变化的,如图1-7所示。传感器的分辨力是指在规定测量范围内所能检测的输入量的最小变化量 Δ_{\min} 。有时也用该值相对满量程输入值的百分数表示,称为分辨率。

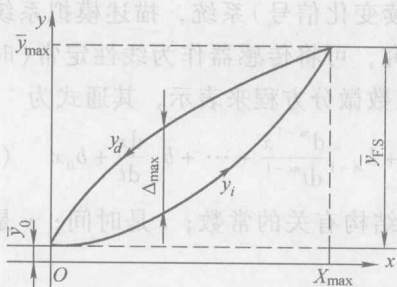


图1-6 迟滞特性

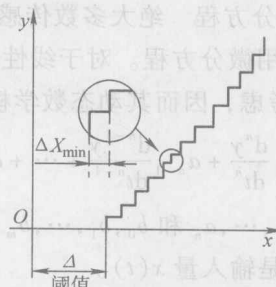


图1-7 分辨力和阈值

对于数字仪表而言,指示数字的最后一位数字所代表的值就是它的分辨力,当被测量的变化小于分辨力时,仪表的最后一位数字保持不变。分辨力是一个可反映传感器能否精密测量的性能指标,即可用输入量来表示,也可用输出量来表示。造成传感器具有有限分辨力的因素很多,如机械运动造成的干摩擦和卡塞等。

阈值通常又称为死区、失灵区、灵敏限、灵敏阈、钝感区,是输入量由零变化到使输出量开始发生可观变化的输入量的值,如图1-7中的 Δ 值。

(6) 稳定性 稳定性有短期稳定性和长期稳定性之分。传感器常用长期稳定性表示,它是指在室温条件下,经过相当长的时间间隔,如一天、一月或一年,传感器的输出与起始标定时的输出之间的差异。通常又用其不稳定度来表征其输出的稳定度。

(7) 漂移 传感器的漂移是指在外界的干扰下,输出量发生与输入量无关的、不需要的变化。漂移包括零点漂移和灵敏度漂移。零点漂移和灵敏度漂移又可分为时间漂移和温度漂移。时间漂移是指在规定的条件下,零点或灵敏度随时间而缓慢变化的情况;温度漂移为因环境温度变化而引起的零点或灵敏度的变化。

(8) 测量范围和量程 传感器所能测量的最大被测量(输入量)的数值称为测量上限,最小被测量的数值称为测量下限,上限与下限之间的区间,则称为测量范围。测量范围可能是单向的(只有正向与负向)、也可能是双向的、双向不对称的和无零值的等。测量上限与