



高等院校电子信息与电气学科特色教材

黑龙江省精品课程教材

传感器原理与应用

周真 苑惠娟 主编

樊尚春 主审

清华大学出版社





高等院校电子信息与电气学科特色教材

黑龙江省精品课程教材

传感器原理与应用

周真 苑惠娟 主编
樊尚春 主审

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统论述了各类传感器的组成结构、工作原理、器件特性、物理参数、电路结构及典型的工程应用。全书共分12章,第1章介绍传感器的典型组成、分类及性能指标;第2~6章介绍当前最为常用的传感器,如电阻应变式、电容式、电感式、压电式、磁电式传感器等,分析了它们的工作原理、静态与动态特性、测量电路、设计方法及实际应用;第7~11章介绍热、光、电、波、化学、MEMS等新型传感器的原理及应用;第12章介绍无线传感器网络与物联网技术。

本书是黑龙江省精品课程教材,附带有精心制作的教学课件及全部习题解答。本书适合作为普通高等院校自动化、测控技术与仪器、电子信息工程、电气工程及其自动化等相关专业本科生及研究生的教学用书,也可供相关科研技术人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与应用/周真,苑惠娟主编. —北京:清华大学出版社,2011.7

(高等院校电子信息与电气学科特色教材)

ISBN 978-7-302-25497-3

I. ①传… II. ①周… ②苑… III. ①传感器—高等学校—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 084374 号

责任编辑:盛东亮

责任校对:李建庄

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:14.5 字 数:363千字

版 次:2011年7月第1版 印 次:2011年7月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00元

出版说明

随着我国高等教育逐步实现大众化以及产业结构的进一步调整,社会对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这反映到高等学校的定位与教学要求中,必然带来教学内容的差异化和教学方式的多样性。而电子信息与电气学科作为当今发展最快的学科之一,突出办学特色,培养有竞争力、有适应性的人才是很多高等院校的迫切任务。高等教育如何不断适应现代电子信息与电气技术的发展,培养合格的电子信息与电气学科人才,已成为教育改革中的热点问题之一。

目前我国电类学科高等教育的教学中仍然存在很多问题,例如在课程设置和教学实践中,学科分立,缺乏和谐与连通;局部知识过深、过细、过难,缺乏整体性、前沿性和发展性;教学内容与学生的背景知识相比显得过于陈旧;教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息与电气学科人才还不能很好地满足社会的需求,等等。为了适应 21 世纪人才培养的需要,很多高校在电子信息与电气学科专业建设和课程建设方面都做了大量工作,包括国家级、省级、校级精品课的建设等,充分体现了各个高校重点专业的特色,也同时体现了地域差异对人才培养所产生的影响,从而形成各校自身的特色。许多一线教师在多年教学与科研方面已经积累了大量的经验,将他们的成果转化为教材的形式,向全国其他院校推广,对于深化我国高等学校的教学改革是一件非常有意义的事。

为了配合全国高校培育有特色的精品课程和教材,清华大学出版社在大量调查研究的基础之上,在教育部相关教学指导委员会的指导下,决定规划、出版一套“高等院校电子信息与电气学科特色教材”,系列教材将涵盖通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、自动化、电气工程、光电信息工程、微电子学、信息安全等电子信息与电气学科,包括基础课程、专业主干课程、专业课程、实验实践类课程等多个方面。本套教材注重立体化配套,除主教材之外,还将配套教师用 CAI 课件、习题及习题解答、实验指导等辅助教学资源。

由于各地区、各学校的办学特色、培养目标和教学要求均有不同,所以对特色教材的理解也不尽一致,我们恳切希望大家在使用本套教材的过程中,及时给我们提出批评和改进意见,以便我们做好教材的修订改

版工作,使其日趋完善。相信经过大家的共同努力,这套教材一定能成为特色鲜明、质量上乘的优秀教材,同时,我们也欢迎有丰富教学和创新实践经验的优秀教师能够加入到本丛书的编写工作中来!

清华大学出版社

高等院校电子信息与电气学科特色教材编委会

联系人:盛东亮 shengdl@tup.tsinghua.edu.cn

前言

传感器是系统获取信息的第一道“门槛”，传感器的性能对系统的功能起决定性作用；系统的自动化程度越高，对传感器的依赖性就越大。而现代技术的发展，促进传感器正在向小型化、高准确度、集成化和智能化方向发展；新工艺、新材料的应用也使其制造成本不断降低，性能指标不断提高，应用领域不断扩大。目前，传感器已经在国民经济的各个领域发挥着越来越重要的作用。

本书的突出特点是集教材、习题集、多媒体课件三位一体，便于教师讲授、学生自学。习题集也是重要的学习辅导材料，其中包含有多所高校的研究生入学考试的专业课的考试题目，便于要进一步提高的学生作为参考。本书涵盖内容丰富、系统性强，具有一定的深度和广度。本书是作者二十多年来对教学和科研中的成果总结，通过精选内容，以有限的篇幅取得较大的覆盖面。各位作者在教学中不断地总结经验，在科研中不断地钻研新技术，力求能够真切地把握当前传感器的发展趋势。在不削弱传统的较为成熟的传感器基本内容的同时，叙述新型传感器技术的篇幅占到30%以上，较全面地反映了近年来传感器技术的新成就。

全书共分12章。第1章介绍传感器的技术基础。第2~6章论述了当前常见的、应用广泛的传感器，如电阻应变式、电容式、电感式、压电式、磁电式传感器等，分析了它们的基本原理、静态与动态特性、测量电路和有关设计知识及其应用。第7~11章介绍了热、光电、波、化学、MEMS等新型传感器的原理及其应用。第12章对无线传感器网络与物联网技术进行了介绍。

本书的编写工作得到诸多兄弟院校教师的大力支持。本书第1、2、7章由哈尔滨理工大学周真教授编写，第3章由哈尔滨理工大学吴海滨副教授编写，第4章由黑龙江工程学院宋起超副教授编写，第5、6章由哈尔滨理工大学苑惠娟教授编写，第8章由哈尔滨理工大学张晓冰教授编写，第9章由哈尔滨工程大学李万臣教授编写，第10、11章由哈尔滨理工大学施云波教授编写，第12章由哈尔滨理工大学秦勇副教授编写。本书的多媒体课件与习题集由吴海滨、秦勇和黑龙江科技学院王丽共同编写完成。全书由北京航空航天大学樊尚春教授主审。作者在编写本教材的过程中，参阅了相关教材和专著，在此向各位原编著者致谢。

本书的相关讲义资料和多媒体课件已经连续多年用在哈尔滨理工大学“传感技术”课程，该课程于2004年被评为黑龙江省省级精品课。在此基础上，几位作者共同编著成书，经多所高等院校试用，教学效果良好。本教材适合作为电子信息、电气信息、仪器仪表及机械类专业的本



科高年级学生和研究生的教材,也可作为高职类相关专业学生的实用参考书,还可供从事传感器技术的研究与开发、生产与应用的科技工作者和工程技术人员参考。

本书涉及的知识非常广泛,而且传感技术本身也在飞速发展,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者不吝赐教。

编 者

2011年5月

目 录

第 1 章 传感器的基本知识	1
1.1 传感器的定义	1
1.2 传感器的分类	2
1.3 传感器的组成	3
1.4 传感器的基本特性	4
1.4.1 传感器的静态特性	4
1.4.2 传感器的动态特性	8
1.5 传感器的发展趋势	14
本章习题	16
第 2 章 电阻式传感器	17
2.1 电阻应变式传感器	17
2.1.1 金属电阻应变效应	17
2.1.2 应变片的基本结构和测量原理	19
2.2 应变片的静态特性	20
2.3 应变片的动态特性	23
2.3.1 应变波的传播过程	23
2.3.2 应变片工作频率范围的估算	24
2.4 测量电路	25
2.4.1 直流电桥	25
2.4.2 交流电桥	27
2.4.3 差动电桥	29
2.5 应变片的温度效应和补偿	31
2.5.1 温度误差	31
2.5.2 温度误差补偿方法	32
2.6 应变片的选用与粘贴	34
2.6.1 应变片的类型	34
2.6.2 应变片的选用	37
2.6.3 应变片的粘贴	37
2.7 应变式传感器的种类	39
2.8 电阻应变式传感器的应用	40
本章习题	42

第 3 章 电容式传感器	43
3.1 电容式传感器的工作原理及类型	43
3.2 电容式传感器的主要性能及特点	48
3.2.1 电容式传感器的主要性能	48
3.2.2 电容式传感器的特点	49
3.2.3 电容式传感器的设计要点	50
3.3 电容式传感器的测量电路	53
3.3.1 变压器电桥	53
3.3.2 双 T 二极管交流电桥电路	54
3.3.3 差动脉冲宽度调制电路	55
3.3.4 运算放大器电路	56
3.3.5 调频电路	56
3.4 电容式传感器的应用	57
本章习题	59
第 4 章 压电式传感器	60
4.1 压电效应	60
4.2 压电晶体	61
4.2.1 石英晶体的压电机理和压电常数	61
4.2.2 压电陶瓷	63
4.2.3 压电元件的基本变形和连接方式	64
4.2.4 PVDF 压电薄膜	66
4.3 测量电路	67
4.3.1 压电式传感器等效电路	67
4.3.2 测量电路	67
4.4 压电式传感器的应用	70
本章习题	71
第 5 章 电感式传感器	72
5.1 自感式传感器	72
5.1.1 工作原理	72
5.1.2 变隙式自感传感器	73
5.1.3 变截面式自感传感器	75
5.1.4 螺线管式自感传感器	75
5.1.5 自感式传感器转换电路	76
5.1.6 自感式传感器的应用	79
5.2 差动变压器	79
5.2.1 工作原理	79

5.2.2	差动变压器式传感器转换电路	81
5.2.3	差动变压器式传感器的应用	82
5.3	零点残余电压	83
5.4	电涡流式传感器	84
5.4.1	工作原理	84
5.4.2	高频反射式电涡流传感器	86
5.4.3	低频透射式电涡流传感器	86
5.4.4	电涡流式传感器转换电路	87
5.4.5	电涡流式传感器的应用	88
5.5	压磁式传感器	90
5.5.1	压磁效应	90
5.5.2	压磁式传感器	90
	本章习题	91
第 6 章	磁电式传感器	92
6.1	磁电感应式传感器	92
6.1.1	工作原理	92
6.1.2	相对运动式磁电感应传感器	92
6.1.3	磁阻式磁电感应传感器	93
6.1.4	磁电感应式传感器的应用	94
6.2	霍尔式传感器	96
6.2.1	霍尔效应	96
6.2.2	霍尔元件	97
6.2.3	霍尔元件的主要参数	98
6.2.4	霍尔元件的误差补偿	99
6.2.5	霍尔式传感器的应用	101
	本章习题	102
第 7 章	热电式传感器	103
7.1	热电偶传感器	103
7.1.1	热电偶的工作原理	103
7.1.2	常用热电偶	106
7.1.3	热电偶温度补偿	107
7.2	热电阻传感器	109
7.2.1	热电阻材料与工作原理	109
7.2.2	常用热电阻	109
7.3	热敏电阻传感器	110
7.3.1	热敏电阻的结构形式	111
7.3.2	负温度系数热敏电阻的特性	111

7.4 集成温度传感器	112
7.4.1 集成温度传感器的原理	112
7.4.2 电流型集成温度传感器(AD590)	113
本章习题	115
第8章 光电式传感器	116
8.1 光电效应	116
8.1.1 外光电效应	116
8.1.2 内光电效应	117
8.2 光电器件	118
8.2.1 光电管及光电倍增管	118
8.2.2 光敏电阻	121
8.2.3 光电池	123
8.2.4 光电二极管和光电三极管	125
8.3 光源	127
8.3.1 热致发光光源	127
8.3.2 气体放电发光光源	128
8.3.3 固体发光光源	129
8.3.4 激光光源	130
8.4 光电式传感器的应用	131
8.5 CCD 传感器	133
8.5.1 电荷耦合器件	133
8.5.2 CCD 传感器的应用	135
8.6 光栅传感器	136
8.6.1 光栅的结构	136
8.6.2 光栅的工作原理	137
8.6.3 光栅传感器的应用	137
8.7 光纤传感器	138
8.7.1 光纤及传光原理	138
8.7.2 光纤传感器的组成和分类	139
8.7.3 光纤传感器的调制原理	141
本章习题	147
第9章 波传感器	148
9.1 声传感器	148
9.1.1 声波的基本概念	148
9.1.2 声敏传感器	151
9.2 声表面波传感器	154
9.2.1 声表面波传感器的工作原理	155

9.2.2 声表面波传感器的应用	156
9.3 超声波传感器	158
9.3.1 超声波的基本特性	159
9.3.2 超声波传感器的工作原理	160
9.3.3 超声波传感器的应用	161
9.4 微波传感器	162
9.4.1 微波传感器的组成及工作原理	162
9.4.2 微波传感器的应用	164
本章习题	165
第 10 章 化学量传感器	166
10.1 气体传感器	166
10.1.1 半导体式气体传感器	166
10.1.2 其他气体传感器	172
10.1.3 气体传感器的应用	173
10.2 湿度传感器	174
10.2.1 湿度及其表示方法	175
10.2.2 湿度传感器的基本原理	175
10.2.3 湿度传感器的发展	176
10.2.4 电解质和陶瓷湿度传感器	177
10.2.5 高分子湿度传感器	179
10.2.6 湿度传感器的应用	182
10.3 离子传感器	183
10.3.1 离子选择性电极	183
10.3.2 离子敏感场效应管	189
本章习题	190
第 11 章 MEMS 传感器	191
11.1 MEMS 传感器及其特点	191
11.2 MEMS 传感器加工技术	193
11.3 微传感器的应用	193
本章习题	199
第 12 章 无线传感器网络	200
12.1 传感器网络体系结构	200
12.1.1 传感器网络结构	200
12.1.2 传感器节点结构	201
12.1.3 传感器网络协议栈	201
12.2 传感器网络的特征	202



12.2.1	与现有无线网络的区别	202
12.2.2	传感器节点的限制	203
12.2.3	传感器网络的特点	204
12.3	传感器网络的应用	206
12.4	传感器网络的关键技术	208
12.5	物联网传感器	213
12.5.1	物联网的技术基础	214
12.5.2	物联网应用发展动向	216
参考文献		218

第1章

传感器的基本知识

为了研究自然现象,人类必须了解外界的各类信息。人通过眼(视觉)、耳(听觉)、鼻(嗅觉)、舌(味觉)、皮肤(触觉)五种器官来感知和接收外界信号,并将这些信号通过神经传导给大脑,从而感知外界事物和信息。随着人类实践的发展,只依靠感官来获取的外界信息量是远远不够的,人们必须利用已掌握的知识和技术制造一些器件或装置,以补充或替代人们感官的功能,于是出现了传感器。

人类社会进入到信息时代后,传感器在信息技术中的地位就更加重要。信息技术是指有关信息的采集、识别、提取、变换、存储、分析和利用等技术。信息采集和信息处理是信息社会的两大基础。信息采集的主要手段是传感器。它涉及的技术领域非常宽广,包括微电子技术、传感器技术、通信技术、计算机技术、软件技术、材料技术等。但作为一个信息技术系统,其构成单元只包括三个,即传感器、通信系统和计算机,它们相当于人的“感官”、“神经”和“大脑”,被称为信息技术的三大支柱。有人把传感器比作“支撑现代文明的科学技术”,可以看出研究传感器的意义。

传感器是信息采集系统的首要部件,是实现现代化测量和自动控制的主要组成,是现代信息技术的源头,又是信息社会得以存在和发展的物质和技术基础。传感器的出现及应用促进了科学技术的发展、社会的进步,丰富了人类的生活。有专家预言,“人类征服了传感器技术就几乎等于征服了现代科学技术”。由此可见,传感器技术在现代科技的地位和作用是何等重要。

1.1 传感器的定义

传感器最早来自于“sensor”一词,就是“感觉”和“敏感”的意思。随着传感器技术的发展,在工程技术领域中,传感器被认为是生物体的工程模拟物;而且要求传感器既能对被测量敏感,又能把它测量的响应传送出去,也就是说真正实现能“感”、会“传”的功能。

传感器是获取信息的一种装置,其定义可分为广义和狭义两种。广义定义的传感器是指那些能感受外界信息并按一定规律转换成某种可用信号输出的器件和装置,以满足信息的传输、处理、记录、显示和控制等要求。这里的“可用信号”是指便于处理、传输的信号,一般为电信号,如电压、电流、电阻、电容、频率等。狭义定义的传感器是指将外界信息按一定规律转换成电量的装置。

按照国家标准 GB7665—87 对传感器下的定义是:“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,通常由敏感元件和转换元件组成”。敏感元件指传感器中能直接感受或响应被测量的部分;转换元件指传感器中能将敏感元件感受的或响应的被测量转换成适用于传输和(或)测量的电信号部分。国际电工委员会(IEC)将传感器

定义为：传感器是测量系统中的一种前置部件，它将输入变量转换成可供测量的信号。美国测量协会将传感器定义为“对应于特定被测量提供有效电信号输出的器件”。如前所述，感受被测量、并将被测量转换为易于测量、传输和处理的信号的装置或器件称为传感器。传感器的基本功能是检测信号和信号变换。传感器是获取和转换信息的一种工具，这些信息包括电、磁、光、声、热、力、位移、振动、流量、浓度、湿度等。所以传感器又被称为变换器、转换器、探测器、检测器、敏感元件和换能器等。传感器的英文一般表达形式为 sensor、transducer、detector、sensing element 等。

1.2 传感器的分类

传感器技术包括了传感器本身的制造和测量技术，又包括了制造传感器所需要的相关技术及应用技术。传感器的种类繁多，涉及的范围也非常广，几乎包括所有现代学科。对不同科技领域，不同行业的成百上千种传感器进行分类本身就是一门科学，能够科学地、正确地分类取决于对传感器认识的程度和水平。对传感器进行分类将有助于从总体上认识和掌握传感器。传感器的分类方法也有多种。对于传感器的分类方法至今尚无统一的规定，主要按工作原理、输入信息和应用范围来分类。

1. 按传感器与外界信息变换效应的工作原理分类

据此，传感器可分为物理传感器、化学传感器和生物传感器三大类。

物理传感器是利用某些元件的物理性质以及某些功能材料的特殊物理性能把被测的物理量转化为便于处理的能量形式的信号的传感器，诸如压电效应，磁致伸缩现象，离子化、热电、光电、磁电等效应。被测信号量的微小变化都将转换成电信号。其中起导电作用的是电子，相对后续开发难度较小。

化学传感器主要是利用敏感材料与物质间的电化学反应原理，把无机和有机化学成分、浓度等转换为电信号的传感器，如气体传感器、湿度传感器和离子传感器。其中起导电作用的是离子。离子的种类很多，故化学传感器变化极多，较为复杂，相对后续开发难度较大。

生物传感器是利用生物活性物质(如分子、细胞甚至某些生物机体组织)对某些物质特性的选择能力构成的传感器，如葡萄糖和微电极结合形成的葡萄糖传感器，类似还有酶传感器、微生物传感器、组织传感器和免疫传感器等。生物传感器的研究历史较短，但发展非常迅速，随着半导体技术、微电子技术和生物技术的发展，它的性能将进一步完善，多功能、集成化和智能化的生物传感器将成为现实，前景十分广阔。

有些传感器既不能划分到物理类，也不能划分为化学类。大多数传感器是以物理原理为基础制造的。目前，化学传感器存在的技术问题较多，例如，可靠性问题、规模生产的可能性、价格问题等，解决了这些难题，化学传感器的应用将会有巨大的发展空间。

2. 按输入信息分类

传感器按输入信息分类有灵敏传感器、位置传感器、液面传感器、能耗传感器、速度传感器、热敏传感器、振动传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、真空度传感器等。这种分类对传感器的选择应用很方便。

3. 按应用范围分类

根据传感器应用范围的不同,通常分为工业用传感器、民用传感器、科研用传感器、医用传感器、军用传感器等。按具体使用场合,还可分为汽车用传感器、舰船用传感器、航空航天用传感器等。如果根据使用目的不同,还可分为计测用传感器、监测用传感器、检查用传感器、控制用传感器、分析用传感器等。

当然,还有其他的分类方法,通常工科类以原理分类介绍;材料、微电子类按制作工艺来分类;而应用类则以应用目的来划分。

1.3 传感器的组成

传感器把外界不同的物理量、化学量和生物量转换成容易处理的电量并输出。传感器的核心部件是敏感元件,它是传感器中用来感知外界信息和转换成有用信息的元件。传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路三部分组成,如图 1-1 所示。

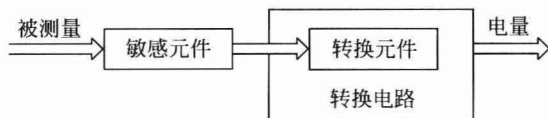


图 1-1 传感器的组成

(1) 敏感元件: 直接感受被测量,并以确定的关系输出某一物理量。

(2) 转换元件: 将敏感元件输出的非电物理量转换成电路参数量或电量。

(3) 转换电路: 将电路参数转换成便于测量的电量。转换电路的类型又与不同工作原理的传感器有关。因此常把基本转换电路作为传感器的组成环节之一。

常用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,它们分别与相应的传感器相配合。需要指出的是,并非所有的传感器都包括敏感元件和转换元件,如热敏电阻、光电器件等。而另外一些传感器,其敏感元件和转换元件可合二为一,如固态压阻式压力传感器等。而测量电路的类型视转换元件的分类而定,经常采用的有电桥电路及其他特殊电路,如高阻抗输入电路、脉冲调宽电路、振荡回路等。

在大多数情况下,通过传感器的敏感元件、转换元件,被测非电量往往转换为电路参数后再通过转换电路转换为相应的电量。但要把一些外界信息直接变换成为电量是不容易的,常要采取两级或两级以上的变化,这就增加了传感器涉及的自由度和适应条件。在实际应用中,仅由一个转换元件构成的传感器是很少的,通常是把具有不同性能的转换元件结合起来构成传感器。另外,被测量的种类很多,测量条件也是各种各样的,所以有的被测量用现有的转换元件不能直接检测,或虽然能检测,但由于成本条件或其他条件,实际检测比较困难。为此,在多数情况下采取的方法是先把被测量转换为其他物理量,再选用能把这个物理量进行变换的转换元件进行再变换。例如,压力传感器,虽然有压电元件将压力直接变换为电压信号,但由于绝缘电阻有限,在测量稳态或接近稳态的缓慢变化压力时,必须用到电荷放大器,而电荷放大器存在工作稳定性和信噪比等问题,这样会使变换较困难。往往选用弹性膜片先把压力变换为膜片位移,然后再用位移转换元件获得输出信号,也就是压力到弹

性位移再到电量的两级变换来进行压力测量,从广义上讲,弹性膜片也是一个转换元件。这种起中间作用的变换元件叫做一次变换元件。因此传感器的具体组成还是很复杂的。

1.4 传感器的基本特性

为了掌握和使用传感器,充分了解其特性是非常必要的。传感器的特性主要是指输出与输入之间的关系。通常,传感器的理想特性是要求它在任何情况下输入和输出都是一一对应的,即传感器能不失真地再现输入信号。而根据被测输入量的性质可对描述传感器输入—输出关系的数学模型和特性指标进行划分,被测输入量可分为静态量、准静态量和动态量。与之相应,将描述被测输入量为静态量和准静态量的数学模型称为传感器的静态数学模型,将描述被测输入量为动态量的数学模型称为传感器的动态数学模型。类似地,描述传感器输入—输出关系的基本特性指标也分为静态特性指标和动态特性指标,静态特性指标用以描述被测输入量为静态、准静态量时传感器的输入—输出特性,而动态特性指标用以描述被测输入量为动态量时传感器的输入—输出关系。

由于输入信号的状态不同,传感器所表现出来的输出特性不同,所以实际上是将传感器的静态与动态特性分开来研究。

1.4.1

传感器的静态特性

1. 传感器的静态特性

传感器的静态特性是在静态标准条件下,利用校准数据来确立。静态标准条件是指没有加速度、震动和冲击(除非这些参数本身就是被测物理量);环境温度一般为室温(20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$;相对湿度不大于 85%;大气压力为 0.1MPa 的情况。在这样的标准工作状态下,利用一定等级的校准设备,对传感器进行往复循环测试,得到输入—输出数据,并用表格列出或画成曲线。

研究传感器的静态特性,首先建立传感器的静态数学模型。传感器的静态数学模型是指当输入量为静态量时,传感器的输出量与输入量之间的数学模型。在不考虑传感器滞后及蠕变的情况下,传感器的静态数学模型可以用一个代数方程来表示,即

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

式中 x ——输入量;

y ——输出量;

a_0 ——零位输出(输入量 x 为零时的输出量);

a_1 ——传感器的线性灵敏度,常用 K 或 S 表示;

a_2, \cdots, a_n ——非线性项的待定常数。

它是一个不含时间变量的代数方程,也可用以输入量作横坐标,把与其对应的输出量作纵坐标而画出的特性曲线来描述。

在研究传感器的静态特性时,可先不考虑零位输出,根据传感器的内在结构参数不同,式(1-1)可能有图 1-3 所示的四种情况。