



21st CENTURY
规划教材

高等院校信息与电子技术类规划教材
University Textbooks of Information Technology

传感与检测技术

Sensing and Detecting Technology

唐露新 主编



21st CENTURY



科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院教材建设专家委员会教材建设立项项目
高等院校信息与电子技术类规划教材



传感与检测技术

唐露新 主编
骆德汉 徐今强 副主编
季林红 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了传感与检测技术的基础知识、传感器基本原理、特性分析方法与应用技术。本书共 11 章。第 1 章介绍传感与检测技术的基本概念、传感器的静态特性、测量方法、测量误差和校正,以及传感器标定概念、方法和设备。第 2~9 章从基本原理出发,结合工程应用,介绍电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、电动势传感器、光电式传感器、热电式传感器、半导体传感器和其他传感器(如微波、红外、视觉、超声波和生物等传感器)。第 10 章介绍传感与检测系统的常用基本电路,主要包括信号放大电路、信号处理电路、信号转换电路和抗干扰技术等。第 11 章针对传感与检测技术的发展,介绍当前一些最新技术,如智能传感器、传感器数据融合、软测量技术、虚拟仪器、网络化检测仪器等。

本书层次分明,重点突出,理论与应用相结合,适合理工科院校培养工程应用型人才的要求。书中每章附有针对重点和难点的习题,可作为自动化、电子科学与技术、信息工程、机电一体化、测控技术与仪器等专业的大学本科生及研究生教材,也可供相关领域的科技工作者和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感与检测技术/唐露新主编. —北京:科学出版社, 2006

(高等院校信息与电子技术类规划教材)

ISBN 7-03-017282-5

I. 传… II. 唐… III. 传感器-高等学校-教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 051734 号

责任编辑:李 伟/责任校对:耿 耘

责任印制:吕春珉/封面设计:飞天创意

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006 年 7 月第一次印刷 印张:19

印数:1—3 000 字数:428 000

定价:26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138978-8220

高等院校信息与电子技术类规划教材

编 委 会

主 任 吴黎明（广东工业大学信息工程学院副院长、教授）

副主任 贺前华（华南理工大学电子与信息学院副院长、教授）

委 员 （按姓氏笔画排序）

马文华（广东外语外贸大学信息科学与技术学院副教授）

汤 庸（中山大学信息科学与技术学院副院长、教授）

杨振野（广东技术师范学院电子系教授）

吴正光（广州大学实验中心副主任、高级工程师）

周美娟（广东海洋大学信息学院院长、教授）

洪添胜（华南农业大学信息学院院长、教授）

徐 杜（广东工业大学信息工程学院院长、教授）

颜国正（上海交通大学电子信息与电气工程学院测控系主任、
教授）

前 言

现代科学技术迅速发展,人们在研究自然现象和规律及生产活动时,必然从外界获得大量信息,要及时正确地获取这些信息,就必须合理地选择和应用各种传感和检测技术。21世纪是信息化时代,其特征是人类社会活动和生产活动的信息化,传感和检测技术的重要性更为突出。现代信息科学(技术)的三大支柱是信息的采集、传输与处理技术,即传感器技术、通信技术和计算机技术。传感器既是现代信息系统的源头或“感官”,又是信息社会赖以存在和发展的物质与技术基础。

本书在透彻讲解基本概念、基本理论的基础上,注重理论与工程实际相结合,强调工程实际的概念,尽可能反映传感器与传感器技术的发展水平,有选择地将部分新方法和新技术编入本书中。在编写本书的过程中,我们力求做到取材广泛、结构清晰、概念清楚、通俗易懂、系统性强,将性能指标和表示符号等进行规范统一。本书共11章。

第1章介绍传感与检测技术的基本知识,从传感器特性、基本参数、测量方法、测量误差和校正、标定等方面进行系统介绍。

第2~9章按原理结构方式对传感器进行分类,系统地介绍各种传感器的原理、特点、检测方法和应用,使读者对各类传感器有比较全面的了解。

第10章介绍传感器在工程检测中的常用电路,主要是接口与检测电路、转换电路和抗干扰电路等,将前面所学的传感器原理与电子电路有机联系起来,方便应用。

第11章介绍自动检测的新技术、共性技术和传感与检测技术的发展方向。

书中各章相对独立,在使用时,可根据不同专业的需要和特点,对内容进行取舍;也可根据课程的需要,对其中一些内容的前后顺序进行调换,以方便教学。

实验是本课程不可缺少的重要组成部分,使用本教材时,可根据各校具体的实验仪器设备情况,结合教材内容开设实验,以加深对理论知识的理解。本书由广东工业大学唐露新(第1、5、6、7、章)、广东工业大学骆德汉(第8、9、10章)、广东海洋大学徐今强(第2、3、4、11章)编写。在成稿过程中,广东工业大学郭中华、邓晓慧、刘伟学和黄健明等做了很多工作,对他们付出的艰辛劳动在此表示衷心感谢。

清华大学季林红教授仔细审阅了书稿,提出了宝贵的指导意见;清华大学唐劲天教授、华南理工大学刘桂雄教授、广东工业大学陈益民副教授和广东海洋大学王荣辉副教授等也提出不少宝贵意见。在编写本书的过程中,我们参阅了许多教材、著作和论文,还得到有关同行和企业的支持,在此致以真诚的谢意。

限于编者水平,加之时间仓促,书中难免有疏漏和错误之处,恳请广大读者不吝赐教,批评指正。

目 录

第 1 章 传感与检测技术基础	1
1.1 传感与检测的概念	1
1.1.1 检测技术	1
1.1.2 自动检测系统	1
1.2 传感与检测技术概述	2
1.2.1 传感器定义	2
1.2.2 传感器构成	2
1.2.3 传感器分类	3
1.2.4 传感与检测技术的基本概况	4
1.3 传感器的基本特性	5
1.3.1 静态特性	6
1.3.2 动态特性	9
1.4 测量方法	16
1.4.1 直接测量、间接测量与联立测量	16
1.4.2 偏差式测量、零位式测量和微差式测量	16
1.5 测量误差	17
1.5.1 测量技术的基本概念	17
1.5.2 测量误差的概念	18
1.5.3 一般测量误差的表示方法	19
1.5.4 测量误差的估计与校正	20
1.6 传感器标定	22
1.6.1 传感器标定的基本概念	22
1.6.2 常用传感器标定设备	26
1.6.3 传感器标定实例	30
习题	32
第 2 章 电阻式传感器	34
2.1 电位器式传感器	34
2.1.1 线性电位器	34
2.1.2 非线性电位器	37
2.1.3 负载特性与负载误差	38
2.2 应变式传感器	39
2.2.1 工作原理	40
2.2.2 电阻应变片的基本特性	41

2.2.3 电阻应变片的转换电路	44
2.3 压阻式传感器	48
2.3.1 半导体应变式传感器	48
2.3.2 扩散型压阻式传感器	50
2.4 电阻式传感器的应用	53
2.4.1 电位器式传感器的应用	53
2.4.2 应变式电阻传感器的应用	53
习题	54
第3章 电感式传感器	56
3.1 自感式传感器	56
3.1.1 闭磁路自感式传感器	56
3.1.2 开磁路自感式传感器	59
3.1.3 转换电路	61
3.1.4 零点残余电压	64
3.1.5 自感式传感器的应用	65
3.2 互感式传感器	65
3.2.1 螺线管式互感传感器	66
3.2.2 互感式传感器的应用	67
3.3 电涡流式传感器	68
3.3.1 工作原理	68
3.3.2 简化模型及等效电路	69
3.3.3 转换电路	71
3.4 压磁式传感器	72
3.4.1 工作原理	72
3.4.2 工作方式	72
3.5 感应同步器	75
3.5.1 工作原理	75
3.5.2 输出信号的测量	77
习题	80
第4章 电容式传感器	82
4.1 电容式传感器	82
4.1.1 平行板电容式传感器工作原理	82
4.1.2 圆柱形电容式传感器工作原理	86
4.1.3 电容式传感器的特性	87
4.1.4 转换电路	89
4.2 容栅式传感器	92
4.2.1 容栅式传感器的工作原理	92
4.2.2 容栅式传感器的特点	93
4.2.3 容栅式传感器的信号处理方式	93
4.3 电容式传感器的应用	96

4.3.1 电容式传感器的设计及应用要点	96
4.3.2 电容式传感器的应用举例	98
习题	101
第5章 电动势传感器	103
5.1 磁电感应式传感器	103
5.1.1 工作原理	103
5.1.2 磁电感应式传感器类型	104
5.1.3 特性分析	106
5.1.4 磁电感应式传感器应用	108
5.2 霍尔传感器	111
5.2.1 霍尔效应原理	111
5.2.2 霍尔元件结构及其特性分析	112
5.2.3 霍尔元件的驱动电路	114
5.2.4 霍尔元件的误差分析及补偿	114
5.2.5 霍尔传感器的应用	117
5.3 压电式传感器	120
5.3.1 压电效应	120
5.3.2 工作原理	121
5.3.3 测量电路	123
5.3.4 压电式传感器的应用	125
习题	128
第6章 光电式传感器	130
6.1 光电检测器件	130
6.1.1 热释电探测器	130
6.1.2 光电效应	132
6.1.3 光电管	133
6.1.4 光电倍增管	134
6.1.5 光敏电阻	134
6.1.6 光敏二极管和光敏三极管	137
6.1.7 光电池	140
6.1.8 CCD 器件	142
6.2 光电式编码器	147
6.2.1 光电式编码器原理	147
6.2.2 提高光电式编码器分辨率的方法	150
6.2.3 光电式编码器的应用	151
6.3 光纤传感器	153
6.3.1 光纤传感器基础	153
6.3.2 光纤传感器的分类	155
6.3.3 光纤传感器的应用	156
6.4 光栅式传感器	159
6.4.1 光栅传感器的结构	160



6.4.2 光栅传感器原理	161
6.5 激光传感器	164
6.5.1 激光特性	164
6.5.2 激光器原理与特性	165
6.5.3 激光传感器的应用	166
习题	167
第7章 热电式传感器	169
7.1 热电偶传感器	169
7.1.1 热电偶传感器原理	169
7.1.2 热电偶种类及结构	172
7.1.3 热电偶的误差分析	176
7.1.4 热电偶温度补偿	177
7.1.5 热电偶应用	179
7.2 热电阻式传感器	181
7.2.1 热电阻	181
7.2.2 热敏电阻	182
7.2.3 热电阻式传感器的应用	184
习题	185
第8章 半导体传感器	187
8.1 气敏传感器	187
8.1.1 半导体气敏传感器	187
8.1.2 半导体气敏传感器的工作机理	187
8.1.3 半导体气敏传感器的主要参数	188
8.1.4 半导体气敏传感器的结构	189
8.2 湿敏传感器	191
8.2.1 湿度的表示方法	191
8.2.2 湿敏传感器的特性参数	192
8.2.3 半导体陶瓷湿敏电阻	193
8.3 磁敏传感器	196
8.3.1 磁阻传感器	196
8.3.2 磁敏二极管	197
8.3.3 磁敏三极管	199
8.4 色敏传感器	199
8.4.1 半导体色敏传感器基本原理	200
8.4.2 半导体色敏传感器的基本特性	202
8.5 半导体传感器的应用	202
8.5.1 气敏传感器的应用	202
8.5.2 湿度传感器的应用	203

8.5.3 色敏传感器的应用	204
习题	206
第9章 其他传感器	207
9.1 微波传感器	207
9.1.1 微波的性质与特点	207
9.1.2 微波振荡器与微波天线	207
9.1.3 微波传感器及其分类	208
9.1.4 微波传感器的应用	208
9.2 红外传感器	210
9.2.1 红外辐射的基本知识	210
9.2.2 红外辐射的基本定律	212
9.2.3 红外传感器	213
9.2.4 红外辐射检测技术的应用	214
9.3 视觉传感器	216
9.3.1 视觉传感器	216
9.3.2 机器人视觉	218
9.4 超声波传感器	218
9.4.1 超声波的基本特性	218
9.4.2 超声波对传播介质的作用	220
9.4.3 超声波传感器的结构及工作原理	220
9.4.4 超声波传感器的应用	221
9.5 生物传感器	223
9.5.1 生物传感器类型及特点	223
9.5.2 酶传感器及其应用	225
9.5.3 微生物传感器	226
9.5.4 免疫传感器	228
习题	228
第10章 常用的检测电路	230
10.1 信号放大电路	230
10.1.1 测量放大器	230
10.1.2 程控增益放大器	233
10.1.3 隔离放大器	235
10.2 信号处理电路	237
10.2.1 滤波电路	237
10.2.2 采样保持电路	241
10.3 信号转换电路	243
10.3.1 模/数与数/模转换器	243
10.3.2 电压/频率与频率/电压转换器	246

10.3.3 电压/电流转换	249
10.4 抗干扰技术	250
10.4.1 干扰的类型及信号耦合方式	250
10.4.2 常用的抑制干扰的措施	252
习题	253
* 第11章 传感检测新技术	256
11.1 智能传感器	256
11.1.1 智能传感器的概念	256
11.1.2 智能传感器的功能和特点	257
11.1.3 传感器智能化的技术途径	258
11.1.4 智能传感器的应用	259
11.1.5 智能传感器的发展前景	260
11.2 传感器数据融合技术	261
11.2.1 数据融合的基本内容	261
11.2.2 数据融合的体系结构	262
11.2.3 数据融合的方法	263
11.2.4 多传感器数据融合技术的应用举例	267
11.3 软测量技术	269
11.3.1 辅助变量的选择	270
11.3.2 测量数据的处理	270
11.3.3 软测量模型的建立	271
11.3.4 软测量模型的自校正及维护	273
11.3.5 模型实时演算的工程化实施技术	274
11.3.6 软测量的工业应用	274
11.4 虚拟仪器	275
11.4.1 系统构成	275
11.4.2 软件结构	278
11.4.3 硬件结构	279
11.4.4 软件开发平台	280
11.5 网络化检测仪器	281
11.5.1 网络测控及其特点	282
11.5.2 网络测控系统的类型	282
11.5.3 IEEE 1451 通用网络化智能传感器接口标准	284
习题	287
主要参考文献	289

第 1 章 传感与检测技术基础

人类对外界的感知最初只是由人的感官实现，常常只是一些定性的认识。随着人类文明的发展，特别是产业革命以后，人类为认识世界和改造世界，尤其是提高生产效率和产品质量，越来越多地采用传感和检测技术。随着信息时代的高速发展，国内外对传感与检测技术越来越重视，许多发达国家已将该技术列为优先发展的科技领域之一。

为更好地掌握传感与检测技术，需掌握传感器的构成、传感器的基本特征、测量方法和测量误差等基本知识，并对传感与检测技术的发展方向有较全面的了解。只有这样，才能更有效地完成检测任务。

1.1 传感与检测的概念

传感与检测是实现自动控制、自动调节的关键环节，它与信息系统的输入端相连，并将检测到的信号输送到信息处理部分，是感知、获取、处理与传输的关键。传感与检测技术是关于传感器设计制造及应用的综合技术，它是信息技术（传感与控制技术、通信技术、计算机技术）的三大支柱之一。

1.1.1 检测技术

检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论和技
术为主要内容的一门应用技术学科。检测技术的任务是寻找与自然信息具有对应关系的种种表现形式的信号，以及确定二者间的定性、定量关系；从反映某一信息的多种信号表现中挑选出最适合所处条件的表现形式，以及寻求最佳的采集、变换、处理、传输、存储、显示等方法和相应设备。

信息采集是指从自然界诸多被测量（物理量、化学量、生物量与社会量等）中提取有用的信息。

信息变换是将所提取出的有用信息进行电量形式的幅值、功率等的转换。

信息处理的任务，视输出环节的需要，可将变换后的电信号进行数字运算（求均值、极值等）、模拟量—数字量变换等处理。

信息传输是在排除干扰时，经济地、准确无误地把信息进行远、近距离的传递。

1.1.2 自动检测系统

自动检测系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号处理等诸多系统的总称。在上述诸系统中，都包含被测量、敏感元件、电子测量电路、电源和输出单元，其区别仅在于输出单元。如果输出单元是显示器或记录器，则系统叫做自动测量系统；如果输出单元是控制器或报警器，则系统称为自动保护系统或自动诊断系统。

一个完整的检测系统或装置通常由传感器、测量电路和显示记录等部分组成，分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能，当然其中还包括电源和传输通道等不可缺少的部分。图 1.1 给出了通常的检测系统组成框图，其中传感器是检测系统中最基本的元件，也是检测技术中的关键部分之一，直接关系到系统的测量范围、精度和可靠性。

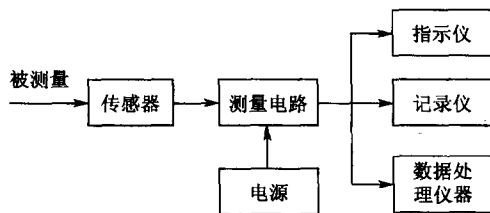


图 1.1 检测系统组成框图

1.2 传感与检测技术概述

1.2.1 传感器定义

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系、便于应用的某种物理量的测量装置。传感器（transducer 或 sensor）有时亦被称为换能器、变换器、变送器或探测器，其主要特征是感知和检测某一形态的信息，并将其转换成另一形态的信息，当然这里的信息应包括电量或非电量。因此，传感器是指对被测对象的某一确定信息具有感受（或响应）与检出功能，并按一定规律转换成对应的有用输出信号的元器件或装置。在不少场合，人们将传感器定义为对于待测非电量敏感，并可将其转换为与之对应的电信号的元件、器件或装置的总称。当然，将非电量转换为电信号并不是唯一的形式。例如，可将一种形式的非电量转换成另一种形式的非电量（如将力转换成位移等）；另外，从发展的眼光来看，将非电量转换成光信号或许更为有利。

1.2.2 传感器构成

传感器一般是利用物理、化学和生物等学科的某些效应或机理按照一定的工艺和结构研制出来的。因此，传感器组成的细节有较大差异。但总的来说，传感器应由敏感元件、转换元件和信号调理电路组成，有些包含辅助电源电路，如图 1.2 所示。

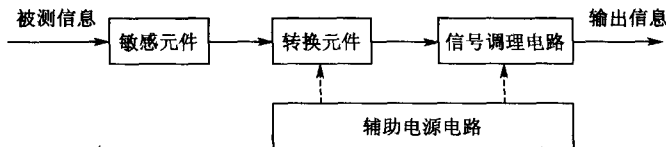


图 1.2 传感器组成框图

传感器各部分的含义如下:

- 1) 敏感元件指传感器中能直接感受(或响应)与检出被测对象的待测信息的部分。
- 2) 转换元件指传感器中能将敏感元件所感受(或响应)出的信息直接转换成电信号的部分。例如,应变式压力传感器由弹性膜片和电阻应变片组成,其中弹性膜片为敏感元件,它将压力转换成应变(形变),而弹性膜片的应变施加在电阻应变片上,将应变转换成电阻的变化量,电阻应变片就是转换元件。
- 3) 信号调理电路是把转换元件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理和控制的有用电信号的电路。
- 4) 辅助电源电路通常包括电源,即交、直流供电系统。

应该指出,并不是所有传感器都必须包括转换元件,如果敏感元件直接输出的是电量,它就同时兼为转换元件。因此,敏感元件和转换元件两者合一的传感器是很多的,如压电晶体、热电偶、热敏电阻、光电器件等都是这种形式的传感器。

1.2.3 传感器分类

传感技术是一门知识密集型技术,传感器的原理各种各样,它与许多学科有关,种类繁多,分类方法也很多,目前广泛采用的分类方法有如下几种。

(1) 按工作机理分类

按传感器的工作机理,可分为物理型、化学型、生物型等类型。

(2) 按构成原理分类

按传感器的构成原理,可分为结构型和物性型两大类。

1) 结构型传感器是利用物理学中场的定律构成的,包括力场运动定律、电磁场电磁定律等。对于传感器而言,这种方程式也是其工作时的数学模型,这类传感器的特点是其性能与结构材料没有多大关系,如差动变压器。

2) 物性型传感器是利用物质定律构成的,如欧姆定律等。物质定律是表示某些客观性质的法则,多数以物质本身的常数形式表示,代表了传感器的主要性能,因此,物性型传感器的性能随材料的不同而异,如光电管、半导体传感器等。

(3) 按物理原理分类

按传感器的物理原理,可分为电参量式传感器(包括电阻式、电感式、电容式等基本类型)、磁电式传感器(包括磁电感应式、霍尔式、磁栅式等)、压电式传感器、光电式传感器、气电式传感器、波式传感器(包括超声波式、微波式等)、射线式传感器、半导体式传感器,以及其他原理的传感器(如振弦式和振筒式等)。有些传感器的工作原理具有两种以上的复合形式,如一些半导体式传感器。

(4) 按能量转换情况分类

按传感器的能量转换情况,可分为能量控制型传感器和能量转换型传感器。

1) 能量控制型传感器在信息变换过程中,其能量需外电源供给,如电阻、电感、电容等电路参量传感器都属于这一类传感器。

2) 能量转换型传感器主要由能量变换元件构成,它不需要外电源,如基于压电效应、热电效应、光电效应、霍尔效应等原理构成的传感器属于此类传感器。

(5) 按用途分类

按传感器的应用,分为位移传感器、压力传感器、振动传感器和温度传感器等。

另外,根据传感器输出是模拟信号还是数字信号,可分为模拟传感器和数字传感器;根据转换过程可逆与否,可分为双向传感器和单向传感器等。

1.2.4 传感与检测技术的基本概况

1. 传感器的基本要求

各种传感器的原理、结构不同,使用环境、条件、目的不同,其技术指标也不可能相同。但有些一般要求基本是相同的,如可靠性、静态特性、动态性能、量程、抗干扰能力、通用性、轮廓尺寸、成本、能耗及对被测对象的影响等。

在实际应用中,对传感器的可靠性、静态精度、动态性能及量程有各种要求,传感器通过检测功能达到各种技术指标。很多传感器要在动态条件下工作,如果精度不够、动态性能不好或出现故障,整个工作就无法进行。某些设备或系统中往往有许多传感器,若有一个失灵,就会影响全局。所以传感器功能的可靠性、静态精度和动态性能是最基本的要求。

抗干扰能力也是十分重要的,因为使用现场总会存在各种各样的干扰,总会出现各种意想不到的情况,因此要求传感器应有较强的适应能力,同时还应包括在恶劣环境下使用的安全性,通用性主要是指传感器应可用于各种不同的场合,避免一种应用要做一种设计,达到事半功倍的目的。

2. 检测技术的一般方法

几十年来传感技术的发展主要体现在两方面:一是提高与改善传感器的技术性能;二是寻找新原理、新材料、新工艺及新功能等。改善传感器性能通常采用下列技术。

(1) 差动技术

差动技术是传感器中普遍采用的技术。采用差动技术可显著地减小温度变化、电源波动、外界干扰等对传感器精度的影响,抵消共模误差,减少非线性误差等。不少传感器由于采用了差动技术,还可使灵敏度增大。

(2) 平均技术

在传感器中普遍采用平均技术可产生平均效应,其原理是利用若干个传感单元同时感受被测量,其输出则是这些单元输出的平均值,若将每个单元可能带来的误差 δ 均看成随机误差且服从正态分布,根据误差理论,总的误差将减小为 $\delta_x = \pm \delta / \sqrt{n}$,其中 n 为传感单元数。可见,在传感器中利用平均技术不仅可使传感器误差减小,且可增大信号量,即增大传感器灵敏度。

光栅、磁栅、容栅、感应同步器等传感器,由于其本身的工作原理决定需有多个传感单元参与工作,可取得明显的误差平均效应的效果。另外,误差平均效应对某些工艺性缺陷造成的误差同样可起到弥补作用。如圆光栅传感器,若让全部栅线都同时参与工作,设计成“全接收”形式,误差平均效应就可较充分地发挥出来。

(3) 补偿与修正技术

补偿与修正技术在传感器中被广泛应用。这种技术的运用主要针对传感器本身的特性和工作条件这两种情况。补偿与修正可以利用电子线路(硬件)来解决,也可以利用微型计算机通过软件来实现。

1) 对于传感器特性,可找出误差的变化规律,采用适当的方法加以补偿或修正。

2) 针对传感器工作条件或外界环境进行误差补偿,也是提高传感器精度的有力技术措施。不少传感器对温度敏感,由于温度变化引起的误差十分可观。为了解决这个问题,必要时可采用恒温装置控制温度,但往往费用高,或使用现场不允许。而常常在传感器内引入温度误差补偿,即找出温度对测量值影响的规律,然后引入温度补偿措施。

在激光式传感器中,常把激光波长作为标准尺度,而波长受温度、气压、湿度的影响,在精度要求较高时,就需要根据外界环境进行误差修正才能满足要求。

(4) 干扰抑制

传感器大都要在现场工作,现场的条件往往是难以充分预料的,有时是极其恶劣的,各种外界因素都有可能影响传感器的精度与有关性能。为减小测量误差,保证其性能稳定,应设法削弱或消除外界因素对传感器的影响。归纳起来可在两个方面采取措施:一是减小传感器对影响因素的灵敏度;二是降低外界因素对传感器实际作用的强度。

对于电磁干扰,可以采用屏蔽、隔离措施,也可用滤波等方法抑制。对于温度、湿度、机械振动、气压、声压、辐射甚至气流等,可采用相应的隔离措施,如隔热、密封、隔振等,或在变换为电量后对干扰信号进行分离或抑制,以减小其影响。

(5) 稳定性处理

传感器作为长期测量或反复使用的器件,其稳定性显得特别重要,其重要性甚至胜过精度指标,尤其是对那些很难或无法定期检定的场合。

造成传感器性能不稳定的原因是:随着时间的推移和环境条件的变化,制作传感器的各种材料与元器件性能将发生变化。

为了提高传感器性能的稳定性,应该对材料、元器件或传感器整体进行必要的稳定性处理。例如,结构材料的时效处理,冰冷处理,永磁材料的时间老化、温度老化、机械老化及交流稳磁处理,电气元件的老化筛选等。

在使用传感器时,若测量要求较高,必要时也应对附加的调整元件、后续电路的关键元器件进行老化处理。

1.3 传感器的基本特性

传感器的输出-输入关系特性是传感器的基本特性,从误差角度去分析输出-输入关系特性是测量技术所要研究的主要内容之一。输出-输入关系特性虽是传感器的外部特性,但与其内部参数有密切关系。因为传感器不同的内部结构参数决定它具有不同的外部特性,所以测量误差也与内部结构参数密切相关。

传感器所测量的物理量有两种基本形式,一种是稳态(静态或准静态)形式,这种

信号不随时间变化（或变化缓慢）；另一种是动态（周期变化或瞬态）形式，这种信号是随时间而变化的。由于输入物理量状态的不同，传感器所表现出来的输出-输入关系特性也不同，因此存在静态特性和动态特性。由于不同传感器有不同的内部结构和参数，其静态特性和动态特性也表现出不同的特点，对测量结果的影响也各异。一个高精度传感器必须有良好的静态特性和动态特性，这样才能完成信号（或能量）无失真的转换。

1.3.1 静态特性

传感器在稳态信号作用下，其输出-输入的关系特性称为静态特性。衡量传感器静态特性的重要指标是线性度、灵敏度、重复性、迟滞、零点漂移和温度漂移等技术指标，传感器本身的特点、被测量及外界条件都可能影响这些技术指标。

1. 线性度

所谓传感器的线性度就是其输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离直线的程度，又称为非线性误差。非线性误差可用下式表示：

$$\delta_L = \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1.1)$$

式中， $\Delta L_{\max}$ ——输出量和输入量实际曲线与拟合直线间的最大偏差；

Y_{FS} ——输出满量程值。

实际上许多传感器的输出-输入特性是非线性的，如果不考虑迟滞和蠕变效应，一般可用下列多项式表示输出 y 与输入 x 特性。

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (1.2)$$

式中， a_0 ——零位输出；

a_1 ——传感器线性灵敏度；

$a_2, a_3, \cdots, a_n$ ——待定常数。

在研究线性特性时，可以不考虑零位输出。多项式（1.2）的输出特性曲线如图 1.3（d）所示。下面介绍式（1.2）的三种特殊情况。

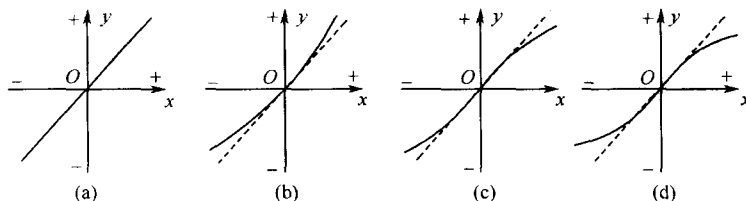


图 1.3 传感器静态特性

1) 理想线性特性，如图 1.3(a) 所示的直线。在这种情况下，有 $a_0 = a_2 = a_3 = \cdots = a_n = 0$ ，因此得到

$$y = a_1x \quad (1.3)$$