

卓越工程师培养计划·电子信息

传感器技术及应用

汇集各类传感器的基本原理、接口电路及应用实例

韩裕生
乔志花
张 金
编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

卓越工程师培养计划·电子信息

传感器技术及应用

韩裕生 乔志花 张 金 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书既详细阐述了各类传感器的基本原理、工作特性,又着重分析了其接口电路的设计原理和工程应用实例。全书共12章,第1、2章介绍传感器的概念、分类及基本特性;第3~11章分别讲述电阻式、电感式、电容式、压电式、磁电及磁敏式、热电偶、超声波、光电式、数字式、固态图像、红外、光纤、集成式传感器的工作原理、性能、接口电路和实际应用;第12章介绍传感器的典型应用实例。

本书结构清晰、体系完整、实例丰富、叙述浅显易懂,既可作为电子设计工程师的培训和参考用书,也可作为高等院校自动化、电子信息工程、电气工程及其自动化、电子科学与技术、测控技术与仪表等专业本科生的教材或参考用书,还可供从事检测、测控技术的工程人员参考或作为自学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及应用/韩裕生,乔志花,张金编著. —北京:电子工业出版社,2013.2
(卓越工程师培养计划·电子信息)

ISBN 978-7-121-19502-0

I. ①传… II. ①韩… ②乔… ③张… III. ①传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第017979号

策划编辑:王敬栋(wangjd@phei.com.cn)

责任编辑:谭丽莎

印 刷:北京市李史山胶印厂

装 订:北京市李史山胶印厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:21 字数:538千字

印 次:2013年2月第1次印刷

印 数:4000册 定价:49.00元



凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

目 录

第1章 概述	1
1.1 现代电子信息系统的基本组成	1
1.2 传感器技术的发展	2
1.2.1 通过不同途径改善传感器的技术性能	2
1.2.2 传感器技术的发展新动向	3
1.3 传感器的基本概念	6
1.4 传感器的分类和命名法	8
1.4.1 传感器的分类	8
1.4.2 传感器的命名法	10
第2章 传感器的基本特性	12
2.1 传感器的静态特性及指标	12
2.1.1 传感器的静态特性	12
2.1.2 传感器的静态性能指标	13
2.2 传感器的动态特性及指标	18
2.2.1 线性传感器的传递函数	18
2.2.2 传感器的动态性能指标	19
2.3 不失真测试条件	23
2.4 传感器对典型激励的响应函数	24
2.4.1 单位脉冲输入下传感器的响应函数	24
2.4.2 单位阶跃输入下传感器的响应函数	25
2.4.3 单位斜坡输入下传感器的响应函数	26
2.4.4 传感器对任意输入的响应	27
2.5 传感器的标定与校准	28
第3章 电阻式传感器及应用	30
3.1 滑动触点式变阻器	30
3.2 电阻应变传感器	33
3.2.1 应变电阻效应	33
3.2.2 金属电阻应变传感器	34
3.2.3 半导体应变传感器	36
3.2.4 电阻应变传感器的应用	37
3.2.5 电阻应变传感器的测量电路及补偿	40

3.3	电阻式温度传感器	44
3.3.1	电阻式温度计	44
3.3.2	热敏电阻	48
3.4	气敏电阻	52
3.4.1	材料和结构	52
3.4.2	工作原理	53
3.4.3	气敏传感器的应用	53
3.5	湿敏电阻	59
3.5.1	氯化锂湿敏电阻	59
3.5.2	半导体湿敏电阻	60
3.5.3	高分子膜湿敏电阻	61
3.5.4	湿度传感器的应用	61
3.6	电阻式传感器的应用	63
3.6.1	分压电路	63
3.6.2	电阻/电流转换电路	64
3.6.3	电阻/频率转换电路	64
第4章	电感式传感器及应用	66
4.1	自感式传感器	66
4.1.1	结构及工作原理	66
4.1.2	等效电路	69
4.1.3	接口电路	69
4.2	互感式传感器	72
4.2.1	工作原理与类型	72
4.2.2	测量电路	76
4.3	电涡流式传感器	79
4.3.1	工作原理	79
4.3.2	测量电路	81
4.4	磁弹性测力传感器	82
4.5	压磁式互感传感器	83
4.6	电感式传感器的应用	84
第5章	电容式传感器及应用	93
5.1	基本原理与结构类型	93
5.1.1	基本原理	93
5.1.2	结构类型	93
5.2	电容式传感器的等效电路	98
5.3	接口电路	98
5.3.1	运算放大器式电路	98
5.3.2	交流电桥	99

5.3.3	二极管电桥	100
5.3.4	脉冲宽度调制电路	102
5.3.5	调频电路	104
5.4	电容式传感器的应用	105
5.5	电容式触摸屏	113
5.5.1	触摸屏简介	113
5.5.2	电容式触摸屏概述	113
第6章	压电式传感器及应用	115
6.1	压电效应	115
6.2	压电材料	117
6.3	压电式传感器的等效电路	121
6.4	压电式传感器的接口电路	122
6.4.1	电压放大器	123
6.4.2	电荷放大器	123
6.5	压电式传感器的应用	125
第7章	磁电及磁敏式传感器及应用	134
7.1	动圈式传感器	134
7.2	磁阻式传感器	137
7.3	涡流-磁电式相对加速度传感器	138
7.4	磁电式传感器的接口电路	139
7.5	磁电式传感器的灵敏度 K	139
7.5.1	线圈电阻与负载电阻的匹配问题	140
7.5.2	线圈的发热问题	140
7.5.3	温度影响问题	140
7.6	磁敏式传感器	141
7.6.1	磁敏电阻	141
7.6.2	磁敏二极管	142
7.6.3	磁敏三极管	145
7.6.4	霍尔传感器	147
7.7	磁电式传感器的应用	152
7.8	磁敏式传感器的应用	153
第8章	热电偶传感器及应用	162
8.1	热电效应	162
8.2	热电偶的基本定律	163
8.2.1	中间温度定律	163
8.2.2	中间导体定律	163
8.2.3	标准电极定律	164

8.2.4 均质导体定律	164
8.3 热电偶类型和热电偶材料	165
8.4 热电偶的结构形式	167
8.4.1 普通型热电偶	167
8.4.2 铠装热电偶	168
8.4.3 薄膜热电偶	169
8.5 热电偶的误差及补偿措施	169
8.5.1 热电偶的冷端误差及其补偿	169
8.5.2 热电偶的动态误差及时间常数	172
8.5.3 热电偶测温线路	173
第9章 超声波传感器及应用	174
9.1 超声波及其物理性质	174
9.2 超声波传感器	176
9.2.1 以固体为传导介质的超声波探头	176
9.2.2 以空气为传导介质的超声波探头	178
9.2.3 耦合剂	179
9.2.4 超声波传感器的主要性能指标	179
9.3 超声波传感器的发射/接收电路	179
9.3.1 超声波传感器的发射电路	179
9.3.2 超声波传感器的接收电路	181
9.4 集成超声波传感器	182
9.5 超声波传感器的应用	183
9.5.1 应用注意事项	183
9.5.2 超声波测厚	184
9.5.3 超声波测量液位和物位	184
9.5.4 超声防盗报警器	185
9.5.5 超声探伤	186
9.5.6 超声测距仪	188
第10章 光电式传感器及应用	195
10.1 光电效应	195
10.1.1 外光电效应	195
10.1.2 内光电效应	196
10.1.3 光生伏特效应	196
10.2 光电器件	197
10.2.1 光敏电阻	197
10.2.2 光敏晶体管	200
10.2.3 光电管	205
10.2.4 光电倍增管	206

10.2.5	光电池	208
10.2.6	光电耦合器件	211
10.3	光源及光学元件	213
10.4	光电传感器的应用	214
10.4.1	基本应用电路	214
10.4.2	模拟式光电传感器的应用	216
10.4.3	脉冲式光电传感器的应用	220
10.4.4	光电池的应用	223
第 11 章	新型传感器	225
11.1	固态图像传感器及应用	225
11.1.1	结构及工作原理	225
11.1.2	线阵列固态图像传感器	227
11.1.3	面阵列固态图像传感器	228
11.1.4	固态图像传感器的应用	228
11.1.5	CMOS 图像传感器	232
11.2	红外传感器及应用	234
11.2.1	红外线及其特性	234
11.2.2	红外探测器	236
11.2.3	热释电探测器	237
11.2.4	红外传感器的应用	238
11.3	光纤传感器	245
11.3.1	光导纤维的结构和传光原理	245
11.3.2	光纤传感器的基本原理和类型	248
11.3.3	光纤传感器的应用	250
11.4	数字式传感器及应用	254
11.4.1	编码器	254
11.4.2	频率式传感器	257
11.4.3	光栅传感器	261
11.5	微型传感器及应用	267
11.5.1	微型传感器概述	267
11.5.2	电容式微型传感器及应用	267
11.5.3	电感式微型传感器及应用	270
11.5.4	热敏电阻式微型传感器及应用	271
11.5.5	压阻式微型传感器及应用	272
11.6	集成智能传感器及应用	273
11.6.1	集成智能传感器概述	273
11.6.2	智能传感器的功能	276
11.6.3	智能传感器的应用	277

第 12 章 传感器的综合应用	284
12.1 数字式压力测量仪	284
12.1.1 压力传感器的基本结构和特性	284
12.1.2 温度补偿	284
12.1.3 传感器放大电路	285
12.1.4 A/D 转换器	286
12.1.5 电路装调及压力连接	286
12.1.6 校准	286
12.2 近红外光谱品质检测系统的设计	287
12.2.1 近红外光谱品质检测原理	287
12.2.2 近红外光谱品质检测系统的具体设计	287
12.2.3 近红外光谱品质检测实例分析	290
12.3 智能温度测量装置	290
12.3.1 单线总线技术与 DS18B20 温度传感器	290
12.3.2 DS18B20 数字温度计	300
12.3.3 由 DS18B20 构成的智能温度测量装置	308
12.4 传感器在现代汽车中的应用	310
12.4.1 概述	310
12.4.2 汽车传感器的分类	312
12.4.3 传感器在汽车发动机控制系统中的应用	313
12.4.4 传感器在汽车底盘电子控制系统中的应用	317
12.4.5 传感器在车身上的应用	319
12.4.6 传感器在汽车导航系统中的应用	322
参考文献	323

第1章 概述

广义而言，大到航天飞机的测控系统，小到电子计时器，凡可以完成一个特定功能的完整的电子装置都可以称为电子系统。现代电子信息系统则是以新型智能电子元器件为核心，通过电子设计自动化（EDA）技术设计完成的，具备外界环境信息感知、信号处理、信号传输和显示输出等功能的电子系统。其外界环境信息的感知是指研究采取何种技术手段及装置将待测量（多为非电量）转换成可以处理的电量，即传感器技术。



1.1 现代电子信息系统的基本组成

一个完整的现代电子信息系统一般包括信息的获得、转换、显示、处理及执行等几个部分。该系统的原理框图如图 1-1 所示。

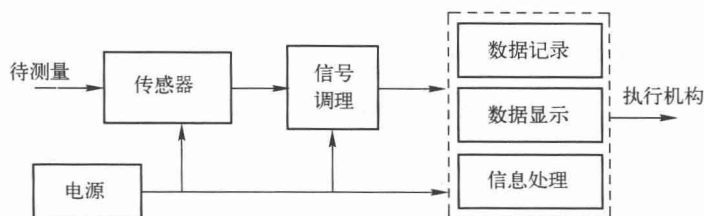


图 1-1 现代电子信息系统的原理框图

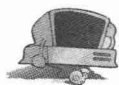
传感器用于从被测对象获取有用的信息，它是一种能感应被测参量功能的转换元件（或装置），能将光、磁、热、力、超声、气体、射线和酶等物理学、化学、光学、生物学等的待测量转换成与之有对应关系或容易精确处理的电量和其他形式的信号。对于一个测量任务来说，第一步是能够（有效地）从被测对象中获得能用于测量的信息，因此传感器在整个现代电子信息系统中的作用十分重要。对于不同的被测物理量，需要采用不同的传感器。例如，在测量物体的振动时，可以采用磁电式传感器，将物体振动的位移或振动速度通过电磁感应原理转换成电压变化量。

从传感器出来的信号往往具有光、机、电等多种形式，而且混杂有各种有害的干扰和噪声。信号调理就是指对从传感器所输出的信号做转换、匹配、放大、滤波、隔离、屏蔽、储存、重放、调制解调、模拟和数字计算等进一步的加工和处理，最终希望获取能便于传输、显示和记录，以及可做进一步后续处理的信号。例如，若传感器为电参量式的，即被测信号的变化引起传感器的电阻、电感或电容等参数的变化，传感器的输出为电路参数 R 、 L 、 C ，则通过基本转换电路可以将其转换为容易测量的电量（如电压、电流或电荷等）。如果被测模拟量需要通过计算机处理，则必须把模拟量转化为相应的数字量，此工作由模数（A/D）转换电路来完成。如果需要推动控制系统的执行元件或模拟显示、记录仪器，则要将计算机处理输出的数字信号转换成模拟信号，即进行必要的数模（D/A）转换，此工作由数模转

换电路来完成。

常用的显示方式有三种：模拟显示、数字显示和图形显示。模拟显示就是利用表头指针的偏转角度的大小来显示读数，常用的有毫伏表、毫安表、微安表等指示器。数字显示是指用数字形式来显示读数，实际上常用的有数字电压表、数字电流表或数字频率计等。图形显示是指通过屏幕显示读数或被测参数变化的曲线。在测量过程中，有时不仅需要读出被测参数的数值，还需要了解它的变化过程，特别是动态过程的变化。动态过程的变化根本无法用显示仪表指示，因此需要将信号送至记录仪进行自动记录。常用的自动记录仪有笔式记录仪（如电平记录仪、 $x-y$ 函数记录仪等）、光线示波器、磁带记录仪、电传打字机等。对于动态信号的测量过程，有时需要对测得的信号数值加以分析和数据处理，如对复杂波形进行频谱分析和运算。属于信号处理的仪器有频谱分析仪、波形分析仪、实时信号分析仪、快速傅里叶变换仪、逻辑分析仪等。

智能处理器在现代电子信息系统中的应用，使得测量系统产生了极大的飞跃，极大地提高了系统的信息处理能力。例如，计算机数据采集系统、智能数据采集系统及虚拟设备技术等，都是计算机技术在测量系统中应用的结果。测量数据的微型计算机处理，不仅可以用来对信号进行分析、判断、推理，产生控制量，还可以用数字、图表显示测量结果。如果在微机中采用多媒体技术，则可以使测量结果的显示更逼真。数据显示和记录是指将经信号调理部分处理过的信号用便于人们观察和分析的介质和手段进行记录或显示。



1.2 传感器技术的发展

近几年迅速发展起来的现代信息技术的三大技术基础是信息的获取、信息的传输和信息的分析处理，也就是传感器技术、通信技术和计算机技术，它们分别构成信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”。20 世纪 70 年代以来，由于微电子技术的大力发展与进步，极大地促进了通信技术和计算机技术的快速发展。相对而言，传感器技术的发展却十分缓慢，被称为技术发展的瓶颈。这种发展不协调的状况及由此带来的负面影响在近几年科学技术的大发展过程中表现得尤为突出，制约了现代信息的整体发展与进步。因此，许多国家都把传感器技术列为重点发展的关键技术之一。美国曾把 20 世纪 80 年代看成传感器技术时代，将其并列为 20 世纪 90 年代 22 项关键技术之一；日本把传感器技术列为 20 世纪 80 年代 10 大技术之首。从 20 世纪 80 年代中后期开始，我国也把传感器技术列为国家优先发展的技术之一。

近年来，传感器技术的发展体现在提高与改善传感器的技术性能，寻找新原理、新材料、新工艺及新功能等方面。

1.2.1 通过不同途径改善传感器的技术性能

1. 差动技术

差动技术是传感器中普遍采用的技术。它的应用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，减小非线性误差等。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。若每个单元可能带来的误差均可看成随机误差且服从正态分布,则根据误差理论,总的误差将减小为

$$\delta_{\Sigma} = \pm \delta / \sqrt{n} \quad (1-1)$$

式中, n 为传感单元数。

由此可见,在传感器中利用平均技术不仅可使传感器的误差减小,还可增大信号量,即增大传感器的灵敏度。

3. 补偿与修正技术

补偿与修正技术的运用大致针对两种情况:① 传感器本身的特性;② 传感器的工作条件或外界环境。针对传感器特性,可以找出误差的变化规律,或者测出其大小和方向,采用适当的方法加以补偿或修正。针对传感器的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,必要时可以控制温度,设置恒温装置,但这样做往往费用太高,或使用现场不允许。而在传感器内引入温度误差补偿常常是可行的,这时应首先找出温度对测量值影响的规律,然后引入温度补偿措施。补偿与修正既可以利用电子线路(硬件)来实现,也可以采用微型计算机通过软件来实现。

4. 屏蔽、隔离与干扰抑制

传感器大都需要在现场工作,现场的条件往往是难以充分预料的,有时甚至是极其恶劣的。各种外界因素会影响传感器的精度与各有关性能。为了减小测量误差,保证其原有性能,应设法削弱或消除外界因素对传感器的影响。其方法有:① 减小传感器对影响因素的灵敏度;② 降低外界因素对传感器实际作用的程度。

对于电磁干扰,既可以采用屏蔽、隔离措施,也可采用滤波等方法抑制。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,或者在将测量信号变换成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标定的场合来说。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,构成传感器的各种材料与元器件的性能将发生变化。提高传感器性能的稳定性措施为对材料、元器件或传感器整体进行必要的稳定性处理,如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。

1.2.2 传感器技术的发展新动向

传感器技术目前正朝着开展基础研究,发现新现象,开发传感器的新材料和新工艺,实

现传感器的集成化与智能化方向发展。

1. 开发新型传感器

新型传感器包括采用新原理, 填补传感器空白, 仿生传感器等方面的内容, 它们之间是互相联系的。

传感器的工作机理是基于各种效应和定律, 由此启发人们进一步探索具有新效应的敏感功能材料, 并以此研制出具有新原理的新型物性型传感器件, 这是发展高性能、多功能、低成本和小型化传感器的重要途径。结构型传感器发展得较早, 目前日趋成熟。结构型传感器一般结构复杂, 体积偏大, 价格偏高。物性型传感器大致与之相反, 具有不少诱人的优点, 加之过去发展得也不够, 世界各国都在物性型传感器方面投入了大量人力、物力加强研究, 从而使它成为一个值得注意的发展动向。

例如, 利用核磁共振吸收效应的磁敏传感器, 可将检测限扩展到地磁强度的 10^{-7} ; 利用约瑟夫逊效应的热噪声温度传感器, 可测量 10^{-6} K 的超低温; 由于光子滞后效应的利用, 出现了响应速度极快的红外传感器等。

大自然是生物传感器的优秀设计师。它通过漫长的岁月, 不仅造就了集多种感官于一身的人类本身, 而且还设计了许多多功能奇特、性能高超的生物传感器, 如狗的嗅觉 (灵敏阈为人的 1060 倍); 鸟的视觉 (视力为人的 8 ~ 50 倍); 蝙蝠、飞蛾、海豚的听觉 (主动型生物雷达——超声波传感器); 蛇的接近觉 (分辨率达 0.001℃ 的红外测温传感器) 等。这些动物的感官性能, 是当今传感器技术所望尘莫及的。研究它们的机理, 开发仿生传感器, 也是引人注目的方向。

2. 开发新材料

传感器材料是传感器技术的重要基础。由于材料科学的进步, 人们在制造材料时, 可任意控制它们的成分, 从而设计制造出了用于各种传感器的功能材料。用复杂材料制造性能更加良好的传感器是今后的发展方向之一, 如半导体氧化物可以制造各种气体传感器, 而陶瓷传感器的工作温度远高于半导体; 光导纤维的应用是传感器材料的重大突破, 用它研制的传感器与传统的相比有突出的特点。有机材料作为传感器材料的研究, 引起了国内外学者的极大兴趣。

人们所应用的新型材料主要有以下几类。

(1) 半导体敏感材料。包括单晶硅、多晶硅、非晶硅、硅蓝宝石等。硅具有相互兼容的、优良的电学特性和机械特性, 因此, 可以采用硅材料研制各种类型的硅微结构传感器。

(2) 石英晶体材料, 包括压电石英晶体和熔凝石英晶体 (又称石英玻璃), 具有极高的机械品质因数和非常好的温度稳定性。同时, 天然的石英晶体还具有良好的压电特性。因此, 可以采用石英晶体材料研制各种微小型化的高精密传感器。

(3) 功能陶瓷材料。目前已经能够按着人为的设计配方, 制造出所要求性能的功能陶瓷材料。特别是对于气体传感器而言, 用不同配方混合的原料, 在精密调制化学成分的基础上, 经高精度成型烧结而成的对某一种或某几种气体进行识别的功能识别陶瓷, 可以用来制成新型气体传感器。

此外, 一些化合物半导体材料、复合材料、薄膜材料、磁性材料、形状记忆合金材料、智能材料等, 在传感器技术中也得到了成功的应用。

3. 新工艺的采用

在发展新型传感器中,离不开新工艺的采用。传感器有逐渐小型化、微型化的趋势,这为传感器的应用带来了许多方便。基于IC制造技术发展起来的微机械加工工艺(微细加工技术,它是将离子束、电子束、分子束、激光束和化学刻蚀等用于微电子加工的技术)可使被加工的敏感结构的尺寸达到微米、亚微米级,并可以批量生产,从而制造出既微型化,又便宜的传感器。例如,可以利用半导体技术制造出压阻式传感器,利用薄膜工艺制造出快速响应的气敏、湿敏传感器。日本横河公司利用各向异性腐蚀技术进行高精度三维加工,在硅片上构成孔、沟、棱锥、半球等各种形状,制作出了全硅谐振式压力传感器。

微机械加工工艺主要包括:

- (1) 平面电子加工工艺技术,如光刻、扩散、沉积、氧化、溅射等;
- (2) 选择性的三维刻蚀工艺技术、各向异性腐蚀技术、外延技术、牺牲层技术、LIGA技术(X射线深层光刻、电铸成型、注塑工艺的组合)等;
- (3) 固相键合工艺技术,如Si-Si键合,实现硅一体化结构;
- (4) 机械切割技术,它将每个芯片用分离切断技术分割开来,以避免损伤和残余应力;
- (5) 整体封装工艺技术,它将传感器芯片封装于一个合适的腔体内,隔离外界干扰对传感器芯片的影响,使传感器工作在较理想的状态。

4. 集成化、多功能化

固态功能材料——半导体、电介质、强磁体的进一步开发和集成技术的不断发展,为传感器集成化、多功能化开辟了广阔的前景。

所谓集成化,就是指在同一芯片上,或将众多同一类型的单个传感器件集成为一维线型、二维阵列(面)型传感器;或将传感器件与调理、补偿等电路集成一体化。前一种集成化使传感器的感测参数通过“点→线→面→体”的方式实现多维图像化,甚至能加上时序,变单参数检测为多参数检测。例如,一种温、气、湿三功能陶瓷传感器已经研制成功。再如一种同时感测 Na^+ 、 K^+ 和 H^+ 离子的传感器,可感测血液中的钠、钾和氢离子的浓度,对诊断心血管疾病非常有意义,该传感器的尺寸为 $(2.5\text{mm} \times 0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm})$,可直接用导管送到心脏内进行检测。把多个功能不同的传感元件集成在一起,除了可以同时多种参数的测量外,还可以对这些参数的测量结果进行综合处理和评价,从而可反映出被测系统的整体状态。后一种集成化使传感器由单一的信号变换功能,扩展为兼有放大、运算、干扰补偿等多功能——实现了横向和纵向的多功能化。

5. 传感器的智能化发展

随着微处理器技术的进步,传感器技术正在向智能化方向发展,这也是信息技术发展的必然趋势。所谓智能传感器就是将传感器获取信息的基本功能与专用的微处理器的信息分析、处理功能紧密结合在一起,并具有诊断、数字双向通信等新功能的传感器。由于微处理器具有强大的计算与逻辑判断功能,故可以方便地对数据进行滤波、变换、校正补偿、存储记忆与输出标准化(甚至是具有标准通信协议的总线式输出模式)等;同时,实现必要的自诊断、自感测、自校验,以及通信与控制等功能,能对已获得的大量数据进行分割处理,

实现远距离、高速度、高精度传输等。

智能传感器是传感器技术与大规模集成电路技术相结合的产物，它的实现取决于传感技术与半导体集成化工艺水平的提高与发展。这类传感器具有多功能、高性能、体积小、适宜大批量生产和使用方便等优点，是传感器重要的发展方向之一。

6. 传感器模型及其仿真技术

随着传感器技术的发展，涉及敏感元件输入/输出特性规律的参数，影响传感器输入/输出特性的不同环节的参数越来越多。因此，在分析、研究传感器的特性，设计、研制传感器的过程中，甚至在选用、对比传感器时，都要对传感器的工作机理进行有针对性的建立模型和深入细致的模拟计算。



1.3 传感器的基本概念

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的、便于应用的某种物理量的测量装置。这一概念包含以下四方面的含义。

(1) 传感器是测量装置，能完成感测任务。

(2) 它的输入量是某一被测量，该被测量既可能是物理量，也可能是化学量、生物量等。

(3) 它的输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示等。它可以是气、光、电量，但主要是电量。

(4) 输出与输入有对应关系，且应有一定的精确程度。

一种非电量常常可以采用多种电测方法来测量，尽管非电量的电测方法很多，但就其转换方法而言可以归纳为两大类：直接转换法和间接转换法。

直接转换法就是用传感器直接将被测非电量 x 转换为电量 y 。直接转换法所使用的传感器的可用非电量必须正好是被测量，而且其输出电量 y 应是被测量 x 的单值函数，即

$$y = f(x) \quad (1-2)$$

直接转换法所使用的这种传感器，称为直接传感器。

间接转换法就是先用敏感器将被测量 x 转换为传感器的可用非电量 z ，再用传感器将可用非电量 z 转换为电量 y 。设传感器的转换关系为

$$y = \varphi(z) \quad (1-3)$$

敏感器的转换关系为

$$z = \psi(x) \quad (1-4)$$

由敏感器与传感器组合成的非电量 x 的电测装置的转换关系便为复合函数，即

$$y = \varphi[\psi(x)] = f(x) \quad (1-5)$$

按照传感器的定义，这种敏感器与传感器的组合装置仍可称为传感器，但却不是原来的非电量 z 的传感器，而是被测量 x 的传感器。因为其转换关系为复合函数，故称之为复合传感器或间接传感器。

在很多情况下，传感器所转换得到的电量并不是后面的显示记录电路所能直接利用的。例如，电阻应变传感器把应变转换为电阻的变化，虽然电阻属于电量，但不能像热电偶产生

的热电势那样被电压显示仪表所接受,这就需要使用某种电路来对传感器转换出来的电量进行变换和处理,使之成为便于显示、记录、传输或处理的可用电信号。接在传感器后面的具有这种功能的电路,称为传感器接口电路。例如,电阻应变片接入电桥,将电阻变化转换成电压变化,这里的电桥便是电阻式传感器常用的接口电路。

很多传感器产品的广告和说明书中把凡能够输出标准信号的传感器称为变送器。也就是说,“变送器”是“传感器”配接能输出标准信号的“接口电路”后构成的将非电量转换为标准信号的器件或装置。所谓“标准信号”是物理量的形式和数值范围都符合国际标准的信号。由于直流信号具有不受线路中电感、电容及负载性质的影响,不存在相移问题等优点,所以国际电工委员会(IEC)将电流信号 $4 \sim 20\text{mA}$ (DC)和电压信号 $1 \sim 5\text{V}$ (DC)确定为过程控制系统电模拟信号的统一标准。有了统一的信号形式和数值范围,就便于将各种变送器和其他仪表组成感测系统或调节系统。无论什么仪表或装置,只要有同样标准的输入电路或接口,就可以从各种变送器获得被测变量的信号。这样,兼容性和互换性大为提高,仪表的配套也极为方便。传感器与被测对象的关联方式有接触式和非接触式两种。接触式的优点是传感器与被测对象被视为一体,传感器的标定无须在使用现场进行,其缺点是传感器与被测对象接触会对被测对象的状态或特性不可避免地产生或多或少的影。非接触式则没有这种影响,但是非接触式传感器的输出会受到被测对象与传感器之间介质或环境的影响。因此,传感器标定必须在使用现场进行。

传感器的功用是一感二传,即感知被测信息,并传出去。传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路和辅助电源四部分组成,如图1-2所示。



图 1-2 传感器的组成框图

1. 敏感元件

敏感元件是能够直接感知(响应)被测量,并按一定规律将其转换成与被测量有确定关系的其他量的元件。例如,应变式压力传感器的弹性膜片就是敏感元件,其作用是将压力转换成弹性膜片的变形。敏感元件是直接感受被测量,并且输出与被测量成确定关系的某一物理元件。

2. 转换元件

转换元件指能将敏感元件的输出量直接转换成电量输出的元件,一般情况下不直接感知(响应)被测量(特殊情况例外)。例如,应变式压力传感器中的应变片就是转换元件,其作用是将弹性膜片的变形转换成电阻值的变化。

3. 转换电路

转换电路又称信号调节(转换)电路,也称二次仪表,是把转换元件输出的电信号放大、转换为便于显示、记录、处理和控制的有用电信号的电路。这些电路的类型视传感器类

型而定,通常采用的有电桥电路、放大器电路、变阻器电路、A/D 与 D/A 转换电路、调制电路和振荡器电路等。

4. 电源电路

有的传感器需要外部电源供电,有的传感器则不需要外部电源供电,如压电式传感器。

实际上,传感器的构成方法因被测量(对象)、转换原理、使用环境及性能指标要求等具体情况的不同而有较大的差异。最简单的传感器由一个敏感元件(兼转换元件)组成,它感知被测量后直接输出电量,如热电偶。有些传感器由敏感元件和转换元件组成,没有转换电路,如压电式加速度传感器,其中质量块是敏感元件,压电片是转换元件。有些传感器的转换元件不止一个,而且被测信号要经过若干次转换。

如果所要测量的非电量正好是某传感器能转换的那种非电量,而该传感器转换出来的电量又正好能为后面的显示记录电路所利用(如热电偶测温度时产生的热电势可以驱动动圈式毫伏计),则只要有这种传感器和显示仪表便可构成一个非电量测量系统。

如果把传感器称为变换器,那么敏感器则可称为预变换器。例如,用电阻应变片测压力时,就要将应变片粘贴到受压力的弹性元件上,弹性元件将压力转换为应变,应变片再将应变转换为电阻变化,这里的应变片便是传感器,而弹性元件便是敏感器。敏感器与传感器虽然都是对被测非电量进行转换的,但敏感器是把被测非电量转换为可用非电量,而不是像传感器那样把非电量转换成电量。



1.4 传感器的分类和命名法

1.4.1 传感器的分类

传感器一般都是根据物理学、化学、生物学的效应和规律设计而成的,因此大体上可分为物理型、化学型和生物型三大类。化学型传感器是利用电化学反应原理,把无机和有机化学物质的成分、浓度等转换为电信号的传感器。生物型传感器是利用生物活性物质选择性识别和测定生物和化学物质的传感器。这两类传感器广泛应用于化学工业、环保监测和医学诊断。物理型传感器应用于工业测控技术领域。

按构成原理,物理型传感器又可分为物性型传感器和结构型传感器。物性型传感器是利用其物理特性变化实现信号转换的,如热敏电阻、光敏电阻等。结构型传感器是利用其结构参数变化实现信号转换的,如变极距型电容式传感器、变气隙式电感传感器等。

根据能量观点,物理型传感器又可分为能量转换型和能量控制型两类。前者将非电能量转换为电能量,不需要外电源,因此又称为有源传感器,也称为换能器。压电式、磁电式传感器和热电偶等就属于这一类。另一类传感器需要外部电源供给能量,因此又称为无源传感器。这类传感器本身不是一个换能器,被测非电量仅对传感器中的能量起控制或调节作用。电阻式、电感式和电容式传感器都属于这一类。

按照人类的感官功能,传感器分为视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉五类传感器,如表 1-1 所示。另外,为了对多个传感器得到的信息进行综合利用,更准确、全面和低成本地获取所处环境的信息,发展多信息处理技术,形成了多传感器信息的集成与融合(Multi-sensor Integra-