

Sensors and Detecting Technology

传感器与检测技术

彭 军 编著

*Specially Designed
for Engineers and Technicians of Electronics*

传感器与检测技术

彭 军 编著

西安电子科技大学出版社

2003

内 容 简 介

本书包含传感器及其检测技术两部分内容。

传感器部分主要介绍以半导体传感器为主的各种固态传感器,包括热敏、磁敏、光敏及力学量等物理传感器,气敏、湿敏、离子敏及生物敏等化学传感器。介绍了诸如汽车电子系统传感器、环保用传感器、电子鼻、DNA 生物传感器等多种新型传感器。此外还介绍了已经成为研究热点并具有广泛应用前景的微电子机械系统(MEMS)、声表面波(SAW)传感器、光纤传感器。从传感器制造技术以及应用的需要出发,还对新型功能敏感材料以及传感器的可靠性技术作了介绍。

传感器检测技术部分除介绍传感器应用的共性技术外,还介绍了多传感器系统数据融合技术、模糊传感器理论与实现方法、传感器的智能化以及智能传感器的网络技术。

本书既有较系统的基础理论,又有大量实用技术;既反映出近年来传感器技术的新成果,又展现出新世纪传感器技术的发展前景。

本书适用对象主要是电子电信科学类、电气信息类、仪器仪表类等专业的学生,也可供相关领域的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/彭军编著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2003. 11

ISBN 7-5606-1294-6

Ⅰ. 传… Ⅱ. 彭… Ⅲ. ① 传感器 ② 传感器-检测-技术 N. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 085791 号

责任编辑 臧延新

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)8242885 8201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 33.5

字 数 802 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 45.00 元

ISBN 7-5606-1294-6/TN·0237

XDUP 1565001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书是作者在 10 多年从事传感器技术的科研实践和教学活动的基础上,吸收国内外文献资料的精华编写而成的。

本书基本按物理传感器、化学传感器以及生物传感器三大类进行分类,融传感器基本理论、器件特性、检测技术以及应用范例于一体。对诸如光纤传感器、SAW 传感器这类既可以检测物理量,又能检测化学量,应用范围广泛的传感器也单列成章。

传感器门类繁多,传感器技术涉及从敏感材料到基本物理与化学效应、制造技术、检测技术、数据处理等众多领域,要全面地介绍传感器所涉及的各种技术领域是困难的,本书是以固态传感器的基本原理、应用技术为主,在内容上有所取舍,突出重点。

为适应新世纪信息技术发展的需要,本书介绍了新型敏感材料、智能传感器与微电子机械系统技术方面的内容,以及多传感器数据融合技术的基本知识;面对全民健康和环保意识的增强,在化学传感器以及生物传感器方面也充实了新内容。

本书适用对象主要是电子电信科学类、电气信息类、仪器仪表类等相关专业的本科生,也可供有关专业专科学生学习选用,以及相关领域与部门的工程技术人员学习参考。

本书编写过程中得到贾新章教授的帮助,刘笃仁教授提供了很好的资料,在此表示感谢。还要感谢臧延新编辑对本书编写和出版的支持与帮助。

由于书中内容涉及电子材料、半导体与微电子学、电子线路、生物化学、计算机技术等多学科知识,加之编著者水平有限,难免有不妥和错误之处,敬请各位读者批评指正。

作 者

2003 年 10 月于西安电子科技大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 人类文明史与传感器	1
1.2 传感器与人体感官的比较	1
1.3 传感器的发展方向	3
第 2 章 传感器基础知识	5
2.1 传感器的命名、分类及图形符号	5
2.2 传感器的基本特性	9
2.3 用于传感器信息处理的电路技术	20
第 3 章 敏感材料概述	34
3.1 半导体材料在传感器技术领域的应用	34
3.2 高分子材料在传感器技术领域的应用	39
3.3 纳米材料与传感器技术	45
3.4 智能材料	52
第 4 章 力学量传感器	64
4.1 半导体的压阻效应	64
4.2 半导体应变片	68
4.3 压阻式压力传感器	69
4.4 压阻式集成压力传感器	79
4.5 压阻式加速度传感器	82
4.6 电容式压力传感器	84
4.7 差压传感器	87
4.8 压力传感器的温度漂移及其补偿	92
4.9 高温压力传感器	99
4.10 压力传感器的应用	104
第 5 章 温度传感器	108
5.1 热电势式测温传感器	108
5.2 金属测温电阻器	116
5.3 半导体温度传感器	117
5.4 集成温度传感器	127
第 6 章 磁敏传感器	135
6.1 概述	135
6.2 磁电效应及敏感材料	138

6.3	霍尔器件与传感器	140
6.4	磁阻元件及传感器	158
6.5	磁敏二极管	175
6.6	磁敏三极管	179
6.7	强磁性金属薄膜磁敏电阻及传感器	182
第7章	光敏传感器	188
7.1	光敏传感器的基本效应	188
7.2	光电导型传感器	193
7.3	光敏二极管	195
7.4	光敏晶体管	201
7.5	色敏传感器	201
7.6	CCD 图像传感器	205
7.7	红外热释电式光敏器件	219
第8章	光纤传感器	231
8.1	基础知识	231
8.2	光纤传感器的结构及特性	236
8.3	功能型光纤传感器	243
8.4	非功能型光纤传感器	247
8.5	光纤传感器的应用举例	251
第9章	气、湿敏传感器	263
9.1	气敏传感器基础	263
9.2	可燃性气体传感器	269
9.3	氧传感器及其应用	280
9.4	化学传感器在环境监控中的应用	291
9.5	湿度传感器	296
9.6	传感器检测系统的设计	306
9.7	电子鼻简介	315
第10章	离子敏、生物敏传感器	321
10.1	离子选择性电极(ISE)	321
10.2	离子敏场效应晶体管的基本理论	322
10.3	生物敏传感器概述	335
10.4	场效应晶体管生物敏传感器	339
10.5	DNA 生物敏传感器概述	344
第11章	压电传感器与 SAW 传感器	350
11.1	压电效应	350
11.2	压电材料	354
11.3	压电传感器的等效电路与测量电路	356
11.4	压电传感器及其应用	361
11.5	石英晶体微天平	366

11.6	SAW 传感器的基本知识	370
11.7	SAW 传感器举例	376
第 12 章	多传感器数据融合技术	385
12.1	多传感器集成融合技术概述	385
12.2	数据融合系统的建模	386
12.3	层次化融合结构	398
12.4	融合算法与分布式多传感器数据融合	399
12.5	基于模糊理论的分布式一致性数据融合	403
第 13 章	智能传感器和多功能传感器	409
13.1	智能传感器概述	409
13.2	智能传感器的结构框图	411
13.3	智能传感器件常用软件及设计	413
13.4	信号处理与 μP 接口技术	416
13.5	几种智能传感器简介	423
13.6	人工神经网络智能气体传感器	426
13.7	多功能传感器	429
第 14 章	MEMS 技术	433
14.1	概述	433
14.2	材料与加工技术	435
14.3	CAD 及测试技术	443
14.4	MEMS 技术的应用	445
第 15 章	传感器的可靠性	454
15.1	概论	454
15.2	可靠性特征量与概率分布	455
15.3	寿命分布	469
15.4	敏感元件与传感器可靠性寿命试验的设计	473
15.5	敏感元件与传感器的寿命试验数据的处理	476
15.6	传感器的失效模式与效应分析	481
15.7	传感器的故障树分析	486
15.8	传感器的加速寿命试验	491
第 16 章	模糊逻辑与模糊传感器	497
16.1	模糊传感器概述	497
16.2	模糊数学基础	498
16.3	符号化表示与多级映射	508
16.4	模糊传感器的基本结构	513
16.5	模糊推理及模糊传感器的应用	517
参考文献		523

第 1 章 绪 论

在过去的几十年里，传感器经历了从诞生到家喻户晓的发展过程。今天，很难找到一个科学领域或产业部门，能够完全脱离传感器而存在。

1.1 人类文明史与传感器

传感器是人类探知自然界信息的触角。在人类文明的发展历史中，感受、处理外部信息的传感技术一直扮演着一个重要的角色。在古代，传感技术由人的感官来实现，人观天象而仕农耕，察火色而冶铜铁。从 18 世纪产业革命以来，特别是在 20 世纪信息革命中，传感技术越来越多地由人造感官，即传感器来实现。目前，传感器的应用如此广泛，可以说任何机械电气系统都离不开它。

1.2 传感器与人体感官的比较

人们常常将传感器称之为电五官，这是说如果将计算机比作人的大脑而称为电脑的话，那么传感器的地位和功能就相当于人的眼、耳、鼻、舌、身五官。

目前，五花八门的传感器种类繁多，仅我国敏感元件与传感器产品的品种已超过 6000 余种。在许多方面传感器的性能已经凌驾于人的感官之上。

例如，传感器可以轻而易举地测量人体所无法感知的量，如紫外线、红外线、超声波、磁场等，从这个意义上讲，传感器具有人类所梦寐以求的特异功能。

其次，有些量虽然人的感官也能检测，但是传感器则更快、更精确。例如在检测可见光方面，人眼的视觉残留约为 0.1 s，而光晶体管的响应时间可短到纳秒以内；人眼的角分辨率为 1'，而光栅测距的精确度可达 1"；激光定位的精度在月球距离(38×10^4 km)范围内可达 10 cm 以内。

最后，传感器可以把人所不能看到的物体通过数据处理变为视觉图像。CT 就是一个例子，它能把人体的内部形貌用断层图像显示出来。遥感技术也是如此。

应该承认，人的感官在许多方面仍然优于传感器，主要表现在以下几个方面。

1. 零维探测与多维感知

当我们进入一个房间时，一瞬间就能判断出房间的大小，天花板的高低，房间内人的多少等。这就是说，当时间一定时，人的感知在空间上是多维的，人的感官是多维检测。如果用测距型传感器检测这个房间，则在某一特定时刻只能判断某一指定点到传感器的距离。如果要测量一面墙的各点到传感器的距离，必须采用扫描的办法。这就是说，对于某一时刻而言，传感器是点到点间的零维检测。

2. 单功能与多功能

同样，当人进入这个房间后，除了房间大小等几何尺寸外，还能感受到墙壁的颜色、

房间的冷热、空气流通情况、人数的多少等多种信息，就是说人的感官是多功能的；而传感器，例如温度传感器，就只能测出房间某一点的温度，所以说传感器是单功能的。

3. 微分与积分

还是在这个房间里，假如室内温度常年始终保持在 20℃，那么温度传感器检测到的温度指示是一个常数。然而人的感觉则更丰富：在严冬季节会觉得温暖而盛夏时又觉得凉爽。这种现象说明人所感受的量往往不单取决于某一时刻量的绝对值，而且与前一时刻的比较关系密切相关。用数学的概念，这意味着传感器测量的是积分型变量，而人感官所感知的是微分型变量。

4. 非智能型与智能型

传感器是非智能型，而人的感官是智能型。这一点可以用几个效应形象地说明。

1) 宴会效应：选择功能

当我们出席一个嘈杂的宴会时，对于周围人的高谈阔论可能充耳不闻，可是如果大会主席讲到你的名字，你会异常敏锐地捕捉到这个声音。这就是说人在背景噪声很高的情况下能选择性地提高对于特定信号的接收灵敏度。而传感器则没有这种能力，它对所有信号不加区分地以同样的灵敏度接受。这是由于人的感官具有一种智能：选择功能。

2) 咖啡桌效应：学习功能

当你已知桌子上摆了一杯咖啡，并且发现在它的旁边放有一个装有白色粉末的盘子时，你会立即判断出它是白糖。这是因为人能够根据经验判断出咖啡旁边的白色粉末应当是白糖而不可能是食盐，更不可能是其它化学药品。这个例子说明了人的感官所具有的另一种智能：学习功能。

3) 高桥效应：联想功能

如果在地面上放一块 20 厘米宽、十几米长的木板，不用说，谁都可以毫不胆怯地从上面走过去。但是如果把同样的木板架在几百米的深渊之上，构成一个高桥，恐怕绝大多数人都不敢走过去。同样的木板因放置高度不同导致如此不同的结果，是因为人在观察木板的几何形状、质地等外在特性的同时，还注意到木板桥架设的高度，进而预测到万一从木板上掉下去的后果，最后决定是否过桥。如果让装有传感器的机器人来过桥的话，那么机器人将无视桥下是平地还是深渊，都将按照既定的方向走过去。这说明人既有瞬时多元观测的能力，又有联想和预见能力。这种联想功能是人的感官智能化的又一标志。当然传感器缺乏洞察危险的能力也并非坏事，我们可以把危险的、环境恶劣的工作交给传感器控制的机器人，让它去老老实实在地完成。

4) 模糊效应：模拟量识别

人所感受的量许多都是模糊量，如房间的舒适、环境的整洁、心情的愉快、饮食的美味等。而传感器检测这些状态时，只能对某个量值，如房间的面积、照度、灰尘等做出判断。所以说传感器的工作是数字量的检测，而人感官的功能是模糊量的识别。

5) 森林效应：全局与局部

“只见树木不见森林”可以说是传感器的写照。就是说传感器检测到的是个体性质，而人的感官既可以观察整体的森林，又可以观察个体的树木。这就是人的感官的空间广延性。人通过对个体事物的观察，升华为对于全局的把握，才能深刻揭示全局的本质。

人与传感器之具所以有这些不同,首先是因为人脑的作用。人脑具有学习功能,不仅能学习新知识,还能把过去学到的知识加以组织利用。人脑的分析判断能力是过去无数经验的综合,人脑可以处理不完全的、暧昧的信息。人的左、右脑各有所长:左脑是逻辑地、微观地处理问题,而右脑是感觉地、宏观地处理问题。单纯地用左脑处理问题很类似于传感器。人具有独到的认知能力归功于右脑的贡献。

人与传感器具有这些不同点的另一个重要原因是人体感官是由生物体材料构成的,它具有环境适应、自修复、自诊断、自增殖等功能,是智能材料,而传感器目前所使用的工程材料尚不具备上述这些智能。

1.3 传感器的发展方向

21 世纪是人类全面进入信息电子化的时代,随着人类探知领域和空间的拓展,使得人们需要获得的电子信息种类日益增加,要求加快信息传递的速度和增强信息处理的能力,因而要求与此相对应的信息技术中的三大核心技术——信息采集技术(传感技术)、信息传递技术(通信技术)和信息处理技术(计算机技术)必须跟上人类信息化飞速发展的需要。

21 世纪初期,传感器领域的主要技术将在现有基础上予以延伸和提高,并加速新一代传感器的开发和产业化。

(1) 微电子机械系统技术(MEMS)的出现是传统机械加工技术的巨大变革,具有划时代的意义。微电子机械系统技术将成为 21 世纪传感器领域中带有革命性变化的高新技术。采用 MEMS 制作的微传感器与微系统,具有划时代的微小体积、低成本、高可靠等独特的优点,预计由微传感器、微执行器以及信号和数据处理装置集成的微系统将很快进入商业市场。

(2) 新型敏感材料将加速开发,纳米材料与技术的发展,微电子、光电子、生物化学、信息处理等各学科、各种新技术的相互渗透和综合利用,可望研制出一批新颖、先进的传感器,如:新一代光纤传感器、生物传感器、诊断传感器、超导传感器、焦平面阵列红外探测器、智能传感器以及模糊传感器等。

敏感技术发展的总趋势是小型化、集成化、多功能化、智能化和系统化。传感器将从具有单纯判断功能发展到具有学习功能,最终发展到具有创造能力。其表现如下:

- 传感器的多功能化。传感器的多功能化经历了以下几个阶段:最初是孤立的传感器件,只能检测单一的量;后来把多个不同功能的传感器集成在一起,可以检测多种量;目前传感器的多功能化进展处于把电子线路与传感器集成在一起,能够实现信号处理,以及加上机械结构,使之具有执行功能,甚至把能源也集成在一起,实现有源、智能、多功能传感器系统的阶段。

- 向模糊识别方向发展。从传感器的模式看,微观信息由人工智能完成,感觉信息由神经元完成,宏观信息由模糊识别完成。以往传感器的局限性在于它只见树木不见森林,只见微观不见宏观,未来的神经元加模糊识别传感器将既见树木又见森林。

- 传感器由经典型向量子型转化。以往的传感器由于尺寸大,可以用经典物理很好地描述。随着传感器尺寸的微型化,量子效应将越来越起支配作用。从波动理论来看,当尺寸大的时候是光波发挥作用,在量子效应起支配作用的范围内,电子波(得布罗意波)将

发挥作用。在将来，把两种波统一在一起的统一波(Union Wave)将用来揭示传感器的工作规律。

- 由数字传感器向模拟传感器发展。目前传感器的转换原理是以数字方式工作的。数字方式的含义并不是说检测量与输出量是数字编码形式，而是指它的检测方式是检测时间轴上的一点(瞬间)，空间轴上的一点(零维)，是单一检测量。未来的传感器将在时间上实现广延，空间上实现扩张(三维)，检测量实现多元，检测方式实现模糊识别。从这个意义上讲，传感器的识别方式将由数字方式向模拟方式发展。

第 2 章 传感器基础知识

2.1 传感器的命名、分类及图形符号

随着传感器技术的发展,形形色色的传感器产品应运而生。由于传感器的原理、结构、材料及制造工艺的不同,传感器的品种千差万别。据不完全统计,国内各类传感器产品已超过 6000 余种。这些名目繁多、性能各异的传感器产品,如果不加以科学的命名和分类,不赋予它明确的内涵,势必要妨碍传感器技术的交流与发展,也会给用户带来诸多不便。因此,作为传感器领域软件建设工程的基础——传感器命名、术语、分类、文字符号和图形符号等,必须引起足够的重视。

这里就国标中有关传感器和敏感元件的概念、传感器命名法及代号以及传感器图用图形符号等基本知识作一介绍。

2.1.1 关于传感器和敏感元件的概念

在科技文献和学术报告中,经常发现传感器和敏感元件相互混用的情况。实际上它们是两个不同的概念。根据 GB 7665 规定,传感器是指“能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置”。敏感元件是指“传感器中能直接感受或响应被测量的部分”。

显然,从其结构和功能角度看,传感器是包含敏感元件及其辅助电路在内的功能器件(Function Device)。敏感元件是内藏于传感器中的元件(Element)。当传感器的输出为标准信号时,则称作变送器(Transmitter)。图 2.1、图 2.2 示出了传感器及敏感元件之间的关系。

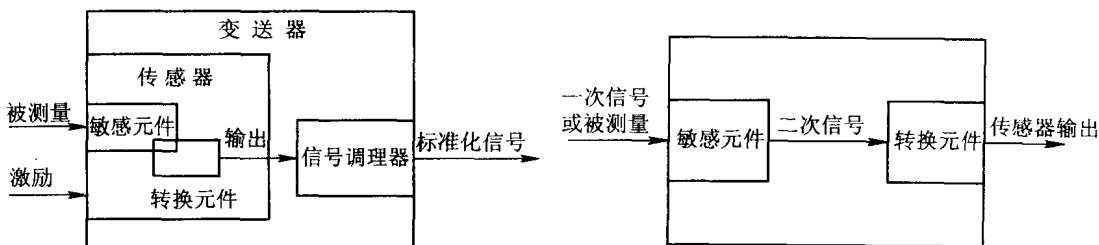


图 2.1 传感器及敏感元件之间的关系(一)

图 2.2 传感器及敏感元件之间的关系(二)

需要指出的是,国外在传感器和敏感元件的概念上也不完全统一,一词多义、一义多词的现象不时出现。据国外文献报道,能完成信号感受和变换功能的器件不下十几种名称,如表 2.1 所示。

表 2.1 感受和交换功能器件的名称

功能器件	国译名称	功能器件	国译名称
Transducer	换能器、转换器、变换器、传感器	Measuring Transducer	测量变换器、测量传感器、传感器
Sensor	敏感器件、敏感元件、传感元件、检测元件、传感器	Sensing Element	敏感元件、传感元件
Transduction Element	转换元件	Transmitter	变送器
Converter	变送器、转换器	Detector	检测器、探测器、检出器
Cell	光电(池)元件、力敏元件、传感器	Pick-up	拾音器、检振器、传感器
Gauge	应变计、应变片、应变仪	Probe	探头、测头
Transponder	应答器、转发器	X-meter	X-计(其中 X 代表被测量。例如,当 X 为 flow 时,即 flow-meter 流量计,X 为 acceler 时,即 accelerometer 加速度计)

在美国, Transducer 和 Sensor 是通用的, 皆称传感器, 偶尔也出现 Pick-up, 例如, Vibration and Shock Pick-up(振动与冲击传感器)。英国对 Sensor 和 Transducer 是严格区分的, 前者叫敏感元件, 后者叫变换器, 当用于检测目的时, 则称 Measuring Transducer(即传感器), 而 Sensing Element 不常用。日本把 Sensing Element 和 Sensor 通称“检知器”, Transducer 则称变换器。在 IEC 标准中, 把 Transducer 称为换能器, 把 Measuring Transducer 称作传感器, 而把 Sensor 看成是 Measuring Transducer 的组成部分, 即一次元件(Primary Element)。

我国对传感器、敏感元件定义及其概念在 GB 7665—87 中做了明确规定。国标将 Sensor 定名为传感器, 这是因为随着微电子技术的发展, 半导体集成传感器将成为主流, Sensor 恰恰能更科学地反映相当于人体感官的全部内涵。Transducer 基本意义为转换器、换能器, 只有当被转换的信号用于测量目的时, 才称作传感器。Sensing Element 是直接感受外部信息(一次信号)的部分, 如热敏电阻器、光敏电阻器等。

2.1.2 关于传感器的命名

根据国标 GB 7666 规定, 一种传感器的全称应由“主题词+四级修饰语”组成, 即主题词——传感器。

一级修饰语——被测量, 包括修饰被测量的定语。

二级修饰语——转换原理, 一般可后续以“式”字。

三级修饰语——特征描述, 指必须强调的传感器结构、性能、材料特征、敏感元件以

及其它必要的性能特征，一般可后续以“型”字。

四级修饰语——主要技术指标(如量程、精确度、灵敏度范围等)。

在运用这种命名法时，应注意以下几个问题：

(1) 使用场合不同，修饰语的排序亦不同。在有关传感器的统计报表、图书检索及计算机文字处理等场合，传感器名称应采用正序排列：

传感器←一级修饰语←二级修饰语←三级修饰语←四级修饰语

示例：“传感器、位移、应变计式、100 mm”

在技术文件、产品说明书、学术论文、教材、书刊等的陈述句中，传感器名称应采用反序排列：

四级修饰语→三级修饰语→二级修饰语→一级修饰语→传感器

示例：“100 mm 应变计式位移传感器”

“100~160 dB 电容式声压传感器”

(2) 传感器(主称)+ 四级修饰语组成全称。在实际运用中，可根据产品具体情况省略任何一级修饰语。但国标规定，传感器作为商品出售时，第一级修饰语不得省略。

示例：

“我厂购进了 150 只各种测量范围的电位器式线位移传感器”(此例省略了第三、第四级修饰语)。

“压电式传感器是一种很有发展前途的物性型传感器”(省略了第一、第三、第四级修饰语)。

根据 GB 7666 规定，一种传感器的代号应包括以下四部分：

a——主称(传感器)；

b——被测量；

c——转换原理；

d——序号。

四部分代号表述格式如图 2.3 所示。

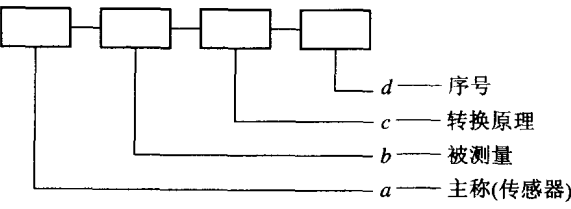


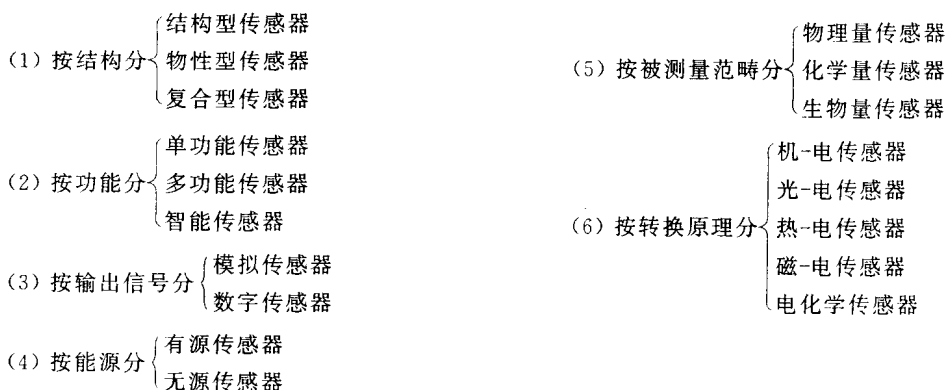
图 2.3 传感器产品代号的编制格式

在被测量、转换原理、序号三部分代号之间须有连字符“-”连接。

2.1.3 传感器的分类体系

传感器种类繁多，五花八门。随着材料科学、制造工艺及应用技术的发展，传感器品种将如雨后春笋大量涌现。如何将这些形形色色的传感器加以科学分类，是传感器领域一个重要的课题。

据国外文献报道,传感器分类多种多样,归纳起来大体有以下几种:



此外,还有从材料、工艺、应用角度进行分类的。这些分类方式从不同侧面为我们提供了探索和开发传感器的技术空间。

在这些传感器分类体系中,按被测量(检测对象)分类的方案简单、明了、实用、概括性强,在实际应用习惯上使用最多。按能量转换原理分类也是较好的分类方法,但是由于一些传感器涉及的转换原理在探索之中,难以给出固定的模式和框架,因而多局限于学术领域交流。

按照我国国标制定的传感器分类体系表,传感器分为物理量传感器、化学量传感器以及生物量传感器三大门类,下含 12 小类:力学量传感器、热学量传感器、光学量传感器、磁学量传感器、电学量传感器、声学量传感器、射线传感器(以上归属物理量传感器)、气体传感器、离子传感器、温度传感器(以上归属化学传感器)以及生化量传感器与生理量传感器(属生物量传感器),各小类又按两个层次分成若干品种。

2.1.4 关于传感器的图用图形符号

图形符号通常用于图样或技术文件中来表示一个设备或概念的图形、标记或字符。由于它能象征性或形象化地标记信息,因而当事者可以越过语言障碍,直截了当地表达或交流设计者的思想和意图。

传感器图用图形符号是电气图用图形符号的一个组成部分。1994 年 2 月 1 日国家批准实施的 GB/T 14479—93 《传感器图用图形符号》是与国际接轨的。依照它的规定,传感器图用图形符号由符号要素正方形和等边三角形组成,如图 2.4 所示。

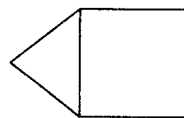


图 2.4 传感器图用图形符号

在图 2.4 中,正方形表示转换元件,三角形表示敏感元件。

在使用这种图形符号时应注意以下几个问题:

(1) 表示转换原理的限定符号应写进正方形内,表示被测量的限定符号应写进三角形内,如图 2.5 所示。

(2) 当无需强调具体的转换原理时,传感器图用图形符号亦可简化,如图 2.6 所示。

(3) 对于传感器的电气引线,应根据接线图设计需要,从正方形的三个边线垂直引出,

如图 2.7 所示。如果引线需要接地或接壳体、接线板，应按 GB 4728.2 中的规定绘制，如图 2.8、图 2.9 所示。

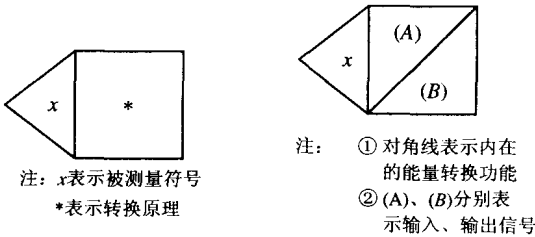


图 2.5

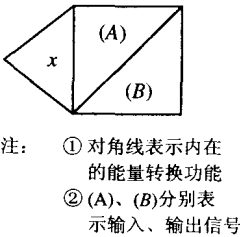


图 2.6

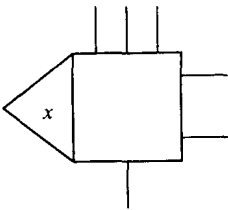


图 2.7

(4) 对于某些转换原理难以用图形符号简单、形象地表达时，例如离子选择电极式钠离子传感器，也可用文字符号替代，如图 2.10 所示。

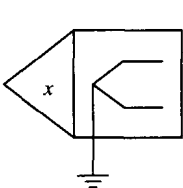


图 2.8

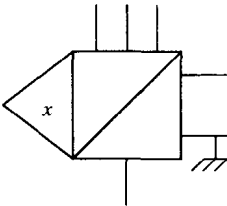


图 2.9

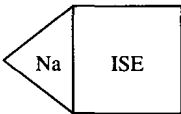


图 2.10

下面给出几个典型传感器的图用图形符号，如图 2.11~2.13 所示。

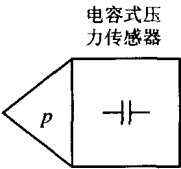


图 2.11 电容式压力传感器

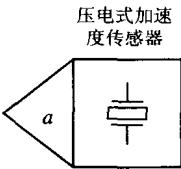


图 2.12 压电式加速度传感器

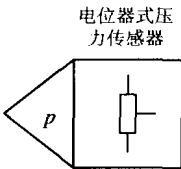


图 2.13 电位器式压力传感器

国标 GB/T 14479—93 给出了 43 种常用传感器的图用图形符号示例。标准规定，对于采用新型或特殊转换原理或检测技术的传感器，亦可参照标准的有关规定自行绘制，但必须经主管部门认可。

2.2 传感器的基本特性

静态特性和动态特性是传感器的两种基本特性，它可以表征一个传感器性能的优劣。

静态特性是指当被测量的各个值处于稳定状态(静态测量之下)时，传感器的输出值与输入值之间关系的数学表达式、曲线或数表。当一个传感器制成后，可用实际特性反映它在当时使用条件下实际具有的静态特性。借助实验方法确定传感器静态特性的过程称为静态校准，校准时获得的静态特性称为校准特性。当校准使用的仪器设备有足够高的精度时，工程上常将该校准曲线作为传感器的实际特性看待。

所谓动态特性是指当被测量随时间变化时,传感器的输出值与输入值之间关系的数学表达式、曲线或数表。当测量某些随时间变化的参数时,只考虑静态特性指标是不够的,还要注意其动态性能指标。只有这样才能使检测、控制比较正确和可靠。

2.2.1 静态特性

任何传感器的输出与输入关系不会是完全符合所要求的线性或非线性的关系。衡量传感器静态特性的重要指标有线性度、重复性、迟滞、精度、灵敏度、阈值和分辨力、漂移等。

1. 线性度

人们为了标定和数据处理方便,总是希望传感器的输出与输入呈现线性关系,并能准确无误地反映被测量的真值,但实际上往往是不可能的。

假设传感器没有迟滞和蠕变效应,其静态特性可用下面多项式来描述:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n = a_0 + \sum_{i=1}^n a_ix^i \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \quad (2.1)$$

式中: x ——输入量;

y ——输出量;

a_0 ——零位输出;

a_1 ——传感器的灵敏度,常用 k 表示;

$a_2, a_3, \cdots, a_n$ ——非线性项的待定常数。

式(2.1)即为传感器静态特性的数学模型。该多项式可能有四种情况,如图 2.14 所示。

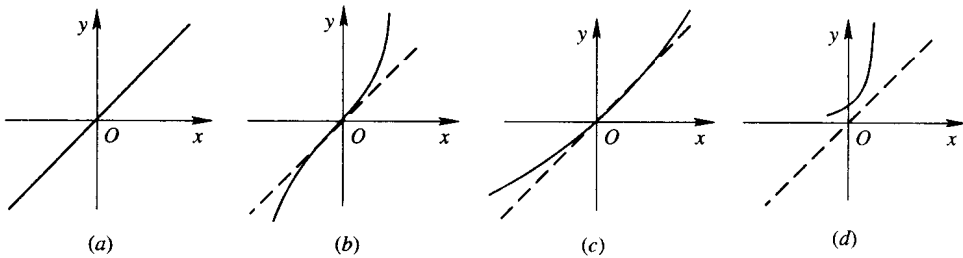


图 2.14 传感器静态特性曲线

设 $a_i \geq 0, a_0 \geq 0$ 。

(1) 理想线性。如图 2.14(a)所示,此时

$$a_0 = a_2 = a_3 = \cdots = a_n = 0$$

于是

$$y = a_1x \quad (2.2)$$

因为直线上任何点的斜率都相等,所以传感器的灵敏度为

$$a_1 = \frac{y}{x} = k = \text{常数} \quad (2.3)$$

(2) 输出-输入特性曲线关于原点对称。这种情况见图 2.14(b),此时在原点附近相当范围内曲线基本呈线性,式(2.1)只存在奇次项,即