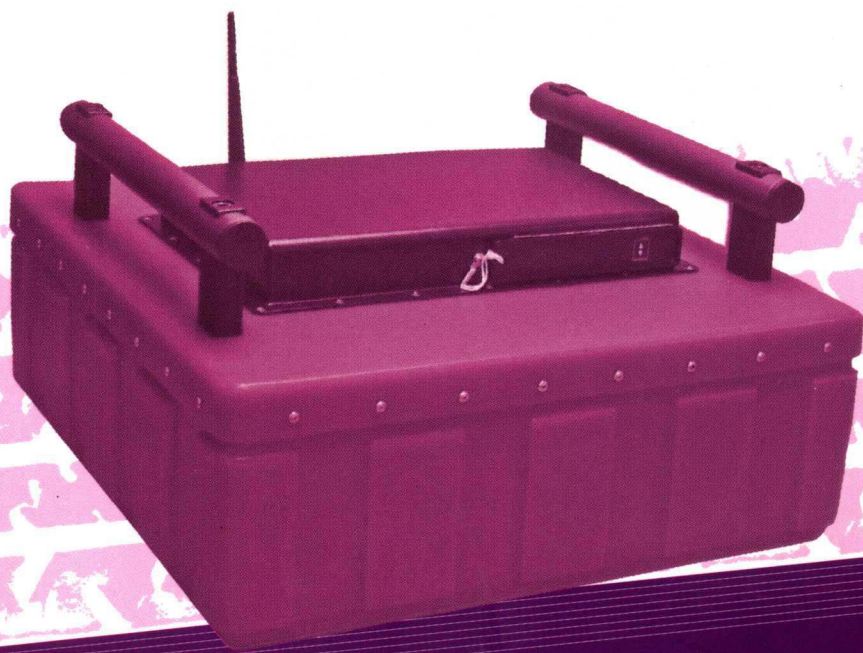


21世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材



传感器检测技术及应用

主 编 王晓敏 王志敏



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材

传感器检测技术及应用

主 编	王晓敏	王志敏	
副主编	卫书满	陈经文	
参 编	幸小燕	何朝阳	陈小飞
	刘海燕	吕建明	

内 容 简 介

本书介绍了传感器的基本知识、传感器组成与分类、传感器的材料及特性、传感器标定与校准、传感检测技术的作用和发展,重点讲解了位移、力、视觉、触觉、温度、气敏、湿度、光电、智能、生物、微波、超声波、机器人等各种传感器的工作原理与应用方法,对传感器检测的输出信号处理、传感器与微机的接口、传感器网络进行了详细叙述。书中列举了传感器在工农业生产、科学研究、医疗卫生、家用电器等许多方面的应用实例,特别是介绍了传感器在机电一体化系统中的具体应用。本书根据工学结合课程的教学安排,还编写了与内容相关的综合实训课题。本书共 10 个项目,每个项目前后均附有知识目标、能力目标及习题。

本书选材广泛,图文并茂,层次分明,条理清晰,结构合理,重点突出,深入浅出,通俗易懂,通过大量的传感器实例分析和综合实训课题来帮助读者理解传感器的工作原理。

本书深度适宜,实用性强,可作为高职院校、大专院校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校机电一体化、应用电子技术、自动控制、仪器仪表测量、计算机应用、机械制造、数控加工、模具技术等专业的教学用书,也可作为相关专业培训教材或相关工程技术人员的参考学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器检测技术及应用/王晓敏,王志敏主编. —北京:北京大学出版社,2011.1

(21 世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-18470-7

I. ①传… II. ①王… ②王… III. ①传感器—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 011805 号

书 名: 传感器检测技术及应用

著作责任者: 王晓敏 王志敏 主编

策划编辑: 赖 青 张永见

责任编辑: 李娉婷

标准书号: ISBN 978-7-301-18470-7/TP · 1150

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者: 北京富生印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16 开本 19.25 印张 450 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

当代社会被称为信息社会，传感技术作为信息科学的一个重要分支，与计算机应用技术、自动控制技术和通信技术等一起构成了信息技术的完整学科。包含传感检测与自动控制的信息技术成为当代工业技术中的一个重要组成部分。电子计算机、机器人、自动控制技术、机电一体化技术以及单片机嵌入系统的迅速发展，迫切需要各种各样的传感器。传感器的应用也极其广泛，从家用电器到工业设备都要用到传感器，现在计算机为信息转换与处理提供了十分完善的手段，但如果没有各种精确可靠的传感器去检测原始数据并提供真实的信息，各个系统的计算机也无法发挥其应有的作用。

显而易见，传感器在现代科学技术领域中占有极其重要的地位。我国和世界各国都视传感技术为现代电子信息技术的关键技术之一，了解、掌握和应用传感器成了许多专业工程技术人员的需求。传感检测技术已成为机电一体化、应用电子、自动控制、自动信号技术、测量技术、机器人技术、计算机应用、机械制造及数控加工模具技术等专业的必修课。

本书是根据 21 世纪高职院校人才培养方案及课程教学的要求，结合现代电子技术、计算机技术发展的最新趋势，并总结了作者多年的教学和科研经验，从实用角度出发而编写的一本独具特色的教材。本书力求内容新颖、叙述简练、应用灵活，参考学时为 82 学时，若调整部分内容也可适用于 42~64 学时。具体安排可参考下表：

序号	课程内容	学 时 数		
		合计	讲授	实训
项目 1	认识传感器	2	2	-
项目 2	位移、速度、流量传感器及其应用	10	6	4
项目 3	力学传感器及其应用	10	6	4
项目 4	温度传感器及其应用	10	6	4
项目 5	气敏、湿度传感器及其应用	10	6	4
项目 6	光电传感器及其应用	10	6	4
项目 7	视觉传感器及其应用	10	6	4
项目 8	新型传感器及其应用	4	2	2
项目 9	传感检测系统及其应用	8	4	4
项目 10	传感器在机电一体化系统中的应用	8	4	4
总 计		82	48	34

本书的特点是实用性较强，从实践和应用的角度出发，主要介绍常用传感器的原理、特性和使用原则，并提供大量传感器基本应用电路及接口电路。书中除了介绍温度、力、光、磁、位移、湿度及气体、生物、微波、超声波、机器人等传感器的原理、结构、性能与应用以外，还介绍了传感器输出信号的处理以及与微机的连接。本书根据工学结合课程的教学安排，还编写了与内容相关的综合实训课题。读者可从本书中直接选用适用的传感器应用电路，还可对本书提供的电路稍加修改应用到自己设计的系统中。

本书在编写过程中，力求做到以培养能力为主线，在保证基本概念、基本原理和基本

分析方法的基础上,力求避免烦琐的数学推导。本书在内容的编排方面,力求做到由浅入深、由易到难、循序渐进;在内容的阐述方面,努力贯彻理论与实践相结合,以应用为目的,以必需够用为度的原则,力求简明扼要,通俗易懂。

本书项目1由三峡电力职业学院王晓敏副教授编写,项目2、3由湖北第二师范学院王志敏教授编写,项目4由葛洲坝集团机电建设有限公司三峡项目部卫书满总工程师编写,项目5由三峡电力职业学院幸小燕高级讲师编写,项目6由三峡电力职业学院何朝阳讲师编写,项目7由三峡电力职业学院陈小飞讲师编写,项目8由三峡电力职业学院刘海燕讲师编写,项目9由三峡电力职业学院陈经文讲师编写,项目10由三峡电力职业学院吕建明讲师编写,全书由王晓敏副教授统稿。本书在编写过程中参考了一些感测技术、传感器应用和机电一体化控制等方面的文献材料,在此,对其著作者一并表示诚挚的谢意。

由于编者的水平所限,加之时间仓促,书中不妥及疏漏之处在所难免,恳切希望专家学者和读者不吝指教。

编 者

2010年10月

目 录

项目 1 认识传感器	1	项目 5 气敏、湿度传感器及其应用	123
1.1 认识传感器的组成与分类	2	5.1 气敏传感器	125
1.2 了解传感器的性能指标	9	5.2 湿度传感器	133
1.3 传感器的标定	15	5.3 水分传感器	141
1.4 认识传感技术的现状和发展趋势	18	5.4 气敏和湿度传感器应用实例	145
习题	22	5.5 综合实训：检测电容式传感器 的性能	150
项目 2 位移、速度、流量传感器 及其应用	23	习题	152
2.1 参量型位移传感器	24	项目 6 光电传感器及其应用	153
2.2 光栅磁栅位移传感器	35	6.1 光电效应及光电器件	154
2.3 速度、加速度传感器	39	6.2 红外传感器	163
2.4 物位流量流速传感器	51	6.3 激光传感器	167
2.5 位移传感器的应用	56	6.4 光纤传感器	172
2.6 综合实训：检测电感式传感器	59	6.5 光电传感器应用实例	177
习题	60	6.6 综合实训：光电传感器(反射型) 测转速	180
项目 3 力学传感器及其应用	62	6.7 综合实训：光纤位移测量	181
3.1 测力传感器	63	习题	183
3.2 扭矩传感器	72	项目 7 视觉传感器及其应用	184
3.3 压力传感器	76	7.1 光导视觉传感器	186
3.4 力学传感器的应用	84	7.2 CCD 视觉传感器	188
3.5 综合实训：了解电阻应变式传感器	90	7.3 CMOS 视觉传感器	195
习题	92	7.4 人工视觉	200
项目 4 温度传感器及其应用	93	7.5 视觉传感器应用实例	205
4.1 热电式温度传感器	94	7.6 综合实训：电涡流式传感器的 应用	213
4.2 电阻式温度传感器	101	习题	215
4.3 非接触式温度传感器	106	项目 8 新型传感器及其应用	216
4.4 半导体集成温度传感器	110	8.1 机器人传感器	217
4.5 温度传感器的应用	113	8.2 生物传感器	236
4.6 综合实训：了解热电偶的 原理及现象	119	8.3 微波传感器	243
习题	122	8.4 超声波传感器	246

8.5 新型传感器应用实例	248	习题	280
8.6 综合实训：压电传感器的 动态响应	251	项目 10 传感器在机电一体化系统中 的应用	281
习题	253	10.1 传感器在工业机器人中的应用	282
项目 9 传感检测系统及其应用	254	10.2 传感器在 CNC 机床与加工中心中 的应用	286
9.1 传感检测系统的组成	255	10.3 传感器在汽车机电一体化中 的应用	288
9.2 传感器检测信号处理	257	10.4 传感器在家用电器中的应用	296
9.3 传感器的微机接口	259	习题	299
9.4 传感器网络	264	参考文献	300
9.5 传感器接口电路应用实例	268		
9.6 综合实训：检测霍尔传感器的 直流激励特性	278		

项目1

认识传感器

知识目标

通过本项目的学习，要求：了解传感器的组成与分类，掌握传感器的定义及人与机器的机能对应关系；熟悉传感器的命名代号，合理选择和使用传感器；掌握传感器的性能指标，分析传感器的静态特性和动态特性；了解传感器标定的基本方法，了解传感器的应用现状和发展趋势。

能力目标

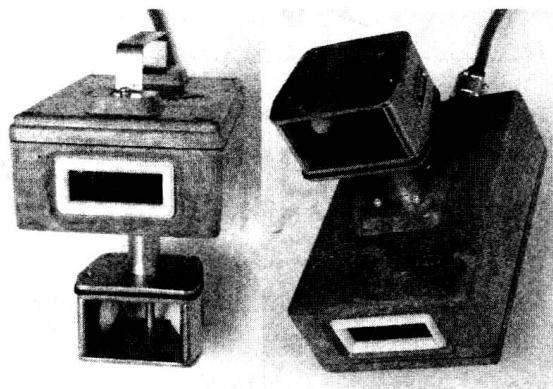
能力目标	知识要点	相关知识	权重	自测分数
传感器的组成与分类	传感器的定义、组成、分类、命名代号	传感器与信息技术关系、传感器输出信号与输入信号定义	40%	
传感器的性能指标	传感器的静态特性、动态特性及有关指标	传感器的一般特性和选用原则	20%	
传感器的标定	传感器的标定和校准方法、静态标定和动态标定	传感器的特性原理、静态标定和动态标定的参数	20%	
传感器的作用	传感器的地位、作用、应用现状和发展趋势	世界各国传感技术的发展、我国的传感技术及研制开发工作	20%	

项目导读

在人类进入信息时代的今天，人们的一切社会活动都是以信息获取与信息转换为中心的，传感技术作为信息获取与信息转换的重要手段，是信息科学最前端的一个阵地，是实现信息化的基础技术之一。传感器作为整个检测系统的前哨，它提取信息的准确与否直接决定着整个检测系统的精度。

图 1.1 所示为各种传感器的外形。现在，传感器早已渗透到诸如生产、生活、

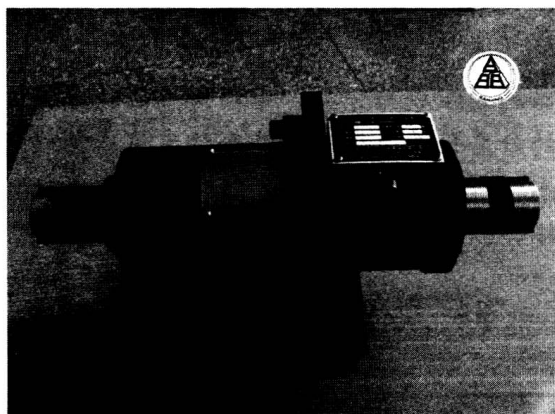
宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程，甚至文物保护等极其之泛的领域。可以毫不夸张地说，从茫茫的太空，到浩瀚的海洋，以至各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。



(a) 风速传感器



(b) 烟雾传感器



(c) JN338B 型三参数传感器



(d) 其他类型的传感器

图 1.1 各种传感器

1.1 认识传感器的组成与分类

1.1.1 传感技术的重要性

当代社会被称为信息社会，信息技术成为当代工业技术中的一个重要组成部分。信息技术包含了以下部分：

信息采集——依赖各类传感器代替人的触觉、嗅觉、味觉、视觉、听觉(电五官)。

信息传输——神经网络、通信技术等。

信息控制——利用各类计算机、微处理器等。

传感器及检测技术是信息技术的关键与首要环节。

如果没有传感器对原始参数进行精确可靠的测量，那么，对信号的传输、转换、处理、记录、显示都失去了意义。传感器质量的优劣，检测技术的先进与否，直接决定了测试和自控过程的成败。然而信息技术的这两个关键问题，长期以来并未协调发展，从而形成了“头脑发达、四肢简单”的状态。

造成信息技术这种状态的内在原因是：计算机输入、输出都是电信号，从其发明到现在短短几十年，经历了电子管→晶体管(分立元件)→集成电路的发展阶段，尤其近三四十年大规模、超大规模集成电路的发明使计算机技术有了突飞猛进的发展，其体积越来越小、速度越来越快、功能越来越多、应用越来越广。

传感器的问题就不那么简单了，它与计算机最大区别在于：①传感器直接与五花八门的被测对象打交道，工作环境差，更兼压力、湿度、粉尘、辐射、振动等影响；②传感器的输入、输出往往是不同种类的信息，造成其工作机理、材料和结构上千差万别。虽然传感器的历史很长，但与计算机技术相比，明显处于落后的地位，成为许多检测与控制系统的难点或者说是薄弱环节，在信息技术的发展中已经拖了后腿。

随着科学技术发展的需要，人们越来越认识到传感器的重要地位，国内外高新技术各行业都十分重视研制开发与生产各种用途的传感器。20世纪80年代，日本就将传感器列为近来应大力发展的五项(后为十项)重要技术之首，美国、西欧及俄罗斯等国都以巨额投资进行传感器的技术开发。美国近年来进行火星研究的“勇气号”、“机遇号”、“凤凰号”等探测器，就使用了大量的传感器。传感技术在我国也被列为重点科技发展项目，我国先后成立了许多科研机构与学术团体，在许多学校设立了相关专业，近年来连续召开了许多全国及国际性的学术会议及展览会。

随着社会文明的进步，传感器的使用将无处不在，传感技术已逐步发展成为一个独立的学科，在未来的国民经济发展中将发挥越来越重要的作用。



特别提示

(1) 传感技术属交叉学科，涉及知识面广，原理与过去学过的数学、物理(物理现象、定律、效应)、电路理论(测量电路)都有联系，要综合运用各方面的理论知识，复习巩固已学电路、电子技术等方面的知识，多看一些相关参考书及相关的技术期刊杂志。

(2) 传感技术实践性强，针对工程实际问题，解决检测手段与方法，要注意通过检测技术实验巩固理论知识，训练实验研究能力与动手能力。许多传感器的静态特性与动态特性实际上都是通过实测来校准获取的。所以平时要多留心观察各种传感器，了解传感器的作用、原理、结构。

1.1.2 传感器的定义

传感器是一种传递感觉的器件或装置，如：冰箱中的温度传感器、监视煤气溢出浓度(一氧化碳)的气敏传感器、防止火灾的烟雾传感器、测试物体质量的电子秤等。

传感器能感受规定的被测量(输入信号)，并按照一定的规律转换成可用输出信号(以电量为主)，以满足信息的传输、处理、存储、记录、显示和控制等要求。国际电工委员会(International Electrotechnical Committee, IEC)对传感器的定义为：“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。”我国的国家标准(GB 7665—1987)对传感器的定义为：“传感器是能够感受规定的被测量并按一定规律和精度转换成可用输出信号的器件或装置。”

以上定义说明，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。广义地说，传感器是一种能把物理量或化学量等转变成便于利用的电信号的器件。它是传感检测系统的一个组成部分，是被测量信号输入的第一道关口。

传感器由于应用场合(领域)的不同,称呼也有所不同。如在过程控制中传感器被称为变送器,在射线检测中传感器被称为发送器、接收器、探头。在有些场合它又被称为换能器、检测器、一次仪表、探测器一次仪表等。

传感器的输入信号有如下几种。

- (1) 物理量: 力、温度、湿度、压力、流量、位移、速度、加速度、物位、振动等。
- (2) 化学量: 各种气体、pH 值等。
- (3) 状态量: 颜色、表面光洁度、透明度、磨损量、裂纹、缺陷、表面质量等。
- (4) 生物量: 血压、颅压、体温等。
- (5) 社会量: 人口流动情况等。



特别提示

传感器的输出信号有很多形式,如电压、电流、频率、脉冲等。输出信号的形式由传感器的原理确定,但它们主要是电量。输出信号基本是电量的原因是电量最便于传输、转换、处理及显示。输出信号与输入信号之间有对应关系,且应有一定的精确程度。

1.1.3 传感器的组成

传感器的组成框图如图 1.2 所示。

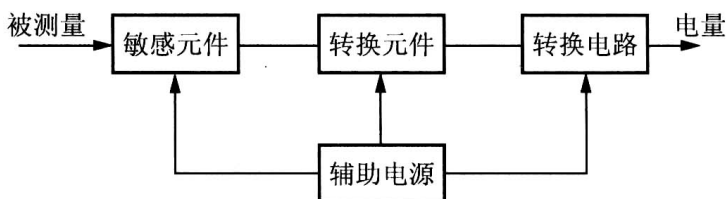


图 1.2 传感器的组成框图

敏感元件: 直接感受被测量, 输出信号量。

转换元件: 一般不感受被测量, 将敏感元件的输出变为电量输出, 有时也直接感受被测量, 如热电偶传感器。

转换电路: 将传感元件输出的电量转变为便于显示、记录、处理、控制的有用电信号, 也叫信号调节与转换电路。有电桥、放大器、振荡器、电荷放大器等(因传感器种类而异)。由于空间的限制或者其他原因, 转换电路常装入后续设备中。然而, 因为不少传感器要在通过转换电路后才能输出电信号, 从而决定了转换电路是传感器的组成环节之一。

辅助电源: 为传感器各元件和电路提供工作能源。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。

进入传感器的被测量信号幅度是很小的, 而且混杂了干扰信号和噪声。为了方便随后的处理过程, 首先要将信号整理成具有最佳特性的波形, 有时还需要将信号线性化, 该工作是由放大器、滤波器以及其他一些模拟电路完成的。在某些情况下, 这些电路的一部分是和传感器部件直接相邻的。成形后的信号随后转换成数字信号, 并输入到微处理器。

但是, 不是所有传感器都能明显分清敏感元件与转换元件两个部分, 而是两者合为一体。例如半导体气体、湿度传感器等, 它们一般都是将感受的被测量直接转换为电信号,

没有中间转换环节。实际上,有些传感器很简单,有些则较复杂,大多数传感器是开环系统,也有些是带反馈的闭环系统。最简单的传感器由一个敏感元件(兼转换元件)组成,它感受被测量时直接输出电量,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 m 是敏感元件,压电片(块)是转换元件。有些传感器,转换元件不止一个,要经过若干次转换。

传感检测系统的性能主要取决于传感器,传感器把某种形式的能量转换成另一种形式的能量。传感器有两类:有源的和无源的。有源传感器能将一种能量形式直接转变成另一种,不需要外接的能源或激励源。无源传感器不能直接转换能量形式,但它能控制从另一输入端输入的能量或激励能。

传感器承担将某个对象或过程的特性转换成数量的工作。其“对象”可以是固体、液体或气体,而其状态可以是静态的,也可以是动态(即过程)的。对象特性被转换量化后可以通过多种方式检测。对象的特性可以是物理性质的,也可以是化学性质的。按照其工作原理,传感器将对象特性或状态参数转换成可测定的电学量,然后将此电信号分离出来,送入传感器系统加以评测或标示。

各种物理效应和工作机理被用于制作不同功能的传感器。传感器可以直接接触被测量对象,也可以不接触。用于传感器的工作机制和效应类型不断增加,其包含的处理过程日益完善。

1.1.4 人与机器的机能对应关系

人们常将传感器的功能与人类五大感觉器官相比拟,如:

光敏传感器——自然人的视觉;

声敏传感器——自然人的听觉;

气敏传感器——自然人的嗅觉;

化学传感器——自然人的味觉;

压敏、温敏、流体传感器——自然人的触觉。

自然人通过感官感觉外界对象的刺激,通过大脑对感受的信息进行判断、处理,肢体作出相应的反映。在机器系统中,传感器相当于人的感官,常被称为“电五官”,外界信息由它提取,并转换为系统易于处理的电信号,微机对电信号进行处理,发出控制信号给执行器,执行器对外界对象进行控制。人与机器的机能对应关系如图 1.3 所示。

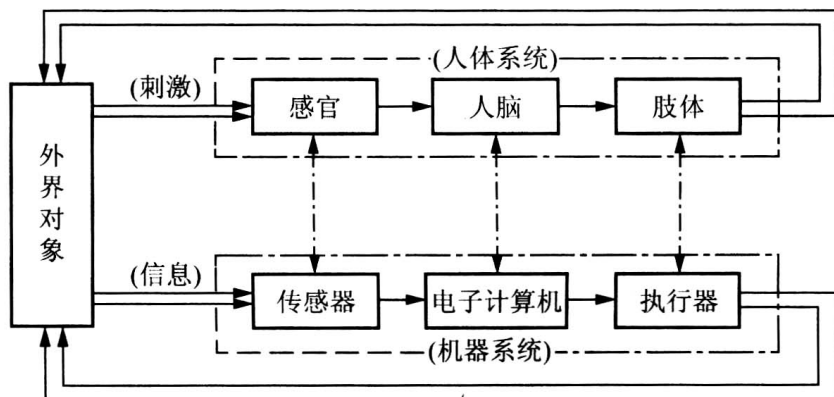


图 1.3 人与机器的机能对应关系

与现在的传感器相比,人类的感覺能力好得多,但也有一些传感器比人的感覺功能优越,例如人类没有能力感知紫外线或红外线辐射,感觉不到电磁场、无色无味的气体等。

1.1.5 传感器的分类

传感器的种类繁多,可以根据它们的转换原理(传感器工作的基本物理或化学效应)、用途、输出信号类型以及制作它们的材料和工艺等进行分类。

1. 按传感器的输入/输出量分类

1) 按输入量分类

常用的有机械、光、电和化学等传感器。例如:位移、速度、加速度、力、温度和流量传感器等。

2) 按输出量分类

常用的有参数式:电阻、电感、电容、频率和离子传感器;发电式:压电式、霍尔式、光电和热电式传感器等。

2. 按传感器的工作原理分类

根据传感器工作原理,可分为物理传感器和化学传感器两大类。

1) 物理传感器

物理传感器应用的是物理效应,诸如压电效应,磁致伸缩现象,离子化、极化、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。物理传感器按物理效应可分为两类。

(1) 结构型(构造型)传感器。依赖结构参数变化,实现信息转换,如应变式、电压式、电容式、磁电式传感器。

结构型传感器是利用物理学中场的定律构成的,包括动力场的运动定律、电磁场的电磁定律等。物理学中的定律一般是以方程式给出的。对于传感器,这些方程式就是许多传感器在工作时的数学模型。这类传感器的工作原理是以传感器中元件相对位置变化引起场的变化为基础,而不是以材料特性变化为基础的。其特点是:原理明确、不受环境影响、易研制、构造复杂、价格高、可靠性高。

(2) 物性型(材料型)传感器。依赖敏感元件物理特性变化,实现信息转换,如:光电、霍尔、压电式传感器。利用功能材料的压电、压阻、热敏、湿敏、光敏、磁敏、气敏等效应可把压力、温度、湿度、光量、磁场、气体成分等物理量转换成电量。

物性型传感器是利用物质定律构成的,如胡克定律、欧姆定律等。物质定律是表示物质某种客观性质的法则。这种法则,大多数是以物质本身的常数形式给出。这些常数的大小,决定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。例如,光电管,它利用了物质法则中的外光电效应。显然,其特性与涂覆在电极上的材料有着密切的关系。又如,所有半导体传感器,以及所有利用各种环境变化而引起的金属、半导体、陶瓷、合金等性能变化的传感器,都属于物性型传感器。其特点是:简单、小巧、价廉,但工艺要求高,稳定性差,在一些要求高、可靠、稳定的场合及恶劣环境下不能普遍应用,目前正在这方面加速研制、发现、改进,有广泛的发展前途。

2) 化学传感器

化学传感器包括那些以化学吸附、电化学反应等现象为因果关系的传感器,被测信号量的微小变化也将转换成电信号。化学传感器技术问题较多,例如可靠性问题,规模生产的可能性,价格问题等,解决了这类难题,化学传感器的应用将会有良好的前景。

按被测物理量对传感器进行分类,有温度传感器、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。其优点是比明确地表达了传感器的用途,便于使用者根据其用途选用;缺点是没有区分每种传感器在转换机理上的共性和差异,不便于使用者掌握其基本原理及分析方法。

按工作原理对传感器进行分类,即将物理、化学、生物等学科的原理、规律和效应作为分类的依据,有电学式传感器、磁学式传感器、光电式传感器、电势型传感器、电荷型传感器、半导体型传感器、谐振式传感器、电化学式传感器等。其优点是对传感器的工作原理表达比较清楚,而且类别少,有利于对传感器进行深入研究分析;缺点是不便于使用者根据用途选用。



特别提示

大多数传感器是以物理原理为基础运作的。但有些传感器既不能划分到物理类,也不能划分为化学类。有些传感器的工作原理具有两种以上原理的复合形式,如不少半导体式传感器,也可看成电参量式传感器。

3. 按传感器的能量关系分类

按传感器的能量关系情况分类,有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

在信息变化过程中,能量控制型传感器将从被测对象获取的信息能量用于调制或控制外部激励源,使外部激励源的部分能量载运信息而形成输出信号,这类传感器必须由外部提供激励源,电阻、电感、电容等电路参量传感器都属于这一类传感器。基于应变电阻效应、磁阻效应、热阻效应、光电效应、霍尔效应等的传感器也属于此类传感器。

2) 能量转换型传感器

能量转换型传感器又称有源型传感器或发生器型传感器,传感器将从被测对象获取的信息能量直接转换成输出信号能量,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、光电动势效应等的传感器都属于此类传感器。

4. 按传感器输出信号的性质分类

常用的有模拟传感器、数字传感器和开关传感器。模拟传感器将被测量的非电学量转换成模拟电信号。数字传感器将被测量的非电学量转换成数字输出信号(包括直接和间接转换)。开关传感器在一个被测量的信号到达某个特定的阈值时,相应地输出一个设定的低电平或高电平信号。

5. 按传感器的用途分类

按用途分类,传感器可分为压敏和力敏传感器、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、加速度传感器、射线辐射传感器、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、生物传感器等。

6. 按传感器的材料分类

在外界因素的作用下,所有材料都会作出相应的、具有特征性的反应。它们中的那些对外界作用最敏感的材料,即那些具有功能特性的材料,被用来制作传感器的敏感元件。传感器是利用材料的固有特性或开发的二次功能特性,再经过精细加工而成的。从所应用的材料观点出发可将传感器分成下列几类。

- (1) 按照其所用材料的类别分类,有金属、聚合物、陶瓷、混合物传感器等。
- (2) 按材料的物理性质分类,有导体、绝缘体、半导体、磁性材料传感器等。
- (3) 按材料的晶体结构分类,有单晶、多晶、非晶材料传感器等。

7. 按传感器的制造工艺分类

按制造工艺分类,传感器可分为集成传感器、薄膜传感器、厚膜传感器、陶瓷传感器等。

集成传感器是用标准的生产硅基半导体集成电路的工艺制造的。通常还将用于初步处理被测信号的部分电路也集成在同一芯片上。

薄膜传感器则是通过沉积在介质衬底(基板)上的,相应敏感材料的薄膜形成的。使用混合工艺时,同样可将部分电路制造在此基板上。

厚膜传感器是利用相应材料的浆料,涂覆在基片上制成的,基片通常由陶瓷制成,然后进行热处理,使厚膜成形。

陶瓷传感器采用标准的陶瓷工艺或某种变种工艺(溶胶-凝胶等)生产。完成适当的预备性操作之后,将已成形的元件在高温中进行烧结。

厚膜和陶瓷传感器这两种工艺之间有许多共性,在某些方面,可以认为厚膜工艺是陶瓷工艺的一种变型。每种工艺技术都有自己的优点和不足。由于研究、开发和生产所需的资本投入较低,以及传感器参数的高稳定性等原因,采用陶瓷和厚膜传感器比较合理。

1.1.6 传感器的命名代号

传感器的命名代号由四部分构成。

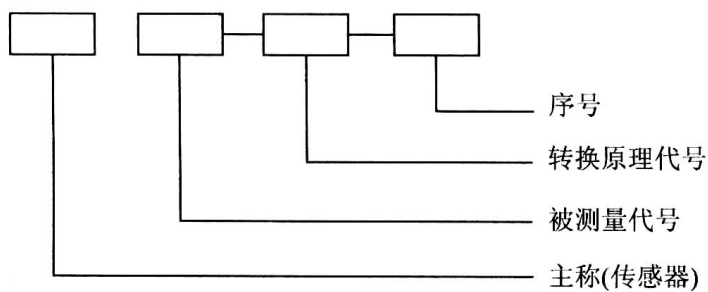
第一部分:主称(传感器),用传感器汉语拼音的第一个大写字母C标记。

第二部分:被测量代号——被测量的物理、化学、生物学原理规定的符号,用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记。当这组代号与该部分的另一个代号重复时,则取汉语拼音的第二个大写字母作代号,以此类推。当被测量为离子、粒子或气体时,可用其元素符号、粒子符号或分子式加括号表示。

第三部分:转换原理代号——被测量转换机理的规定符号,用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记。当这组代号与该部分的另一个代号重复时,则用其汉语拼音的第二个大写字母代替,以此类推。

第四部分:序号,用阿拉伯数字代替。序号可表征产品设计特性、性能参数、产品系列等。

四部分代号表述格式如下:



例如：应变式位移传感器。

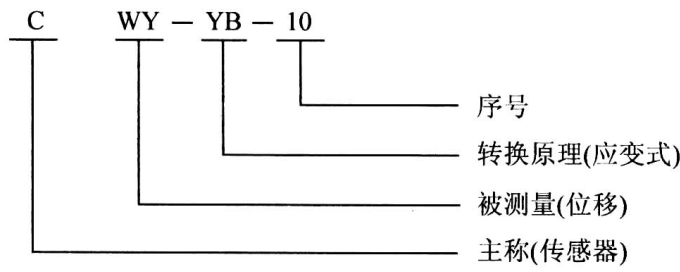


图 1.4(a)、(b)所示为 KGW—10 型温度传感器和 ZEP—S 型声控传感器，从中可以看到其命名代号。



(a) KGW—10 型温度传感器



(b) ZPC—S 型声控传感器

图 1.4 温度传感器和声控传感器

1.2 了解传感器的性能指标

传感器的一般特性主要是指传感器输出与输入之间的关系。一般用曲线、图表、数学表达式等方式表达。传感器的一般特性是与其内部结构、参数有密切关系的外部特性。

传感器的一般特性又因输入量(又称被测量)状态的不同而分为静态特性和动态特

性。当输入量为常量或变化极慢时,称为静态特性。当输入量随时间变化较快时,称为动态特性。

传感器的输出与输入关系可用微分方程来描述。理论上,将微分方程中的一阶及以上的微分项取为零时,即得到静态特性。因此,传感器的静态特性只是动态特性的一个特例。

传感器的输出与输入应具有确定的对应关系,两者间最好成线性关系。但一般情况下,输出和输入不会符合所要求的线性关系,同时由于存在迟滞、蠕变、摩擦、间隙和松动等各种因素以及外界条件的影响,使输出、输入对应关系的唯一确定性也不能实现。对传感器的纯理论分析往往很复杂,因为实际应用的传感器,影响其特性的因素很多,有些是不确定的、随机变化的,难以反映客观规律,所以传感器的特性多用实验方法获得。经过一定的理论计算、处理,一般用校准数据来建立数学模型,将一定条件下实测得到的校准特性作为传感器的实际特性。

1.2.1 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指被测量的值处于稳定状态时的输出、输入关系。衡量静态特性的重要指标是线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。它们也是衡量传感器优劣的指标。

1. 静态特性的定义

传感器在稳态(静态、缓变)信号作用下,其输入与输出的关系称为传感器的静态特性。

2. 静态特性的数学模型

传感器如没有迟滞或蠕变效应,静态特性的数学模型为多次多项式:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + \cdots + a_nx^n \quad (1-1)$$

式中, y 为输出量; a_0 为零位输出; $a_1, \dots, a_n$ 为线性灵敏度; x 为输入量。各项系数不同,决定了特性曲线的具体形式。

3. 静态特性的有关指标

1) 线性度

传感器的线性度是指传感器的输出与输入之间数量关系的线性程度。线性度又称非线性误差,指实际特性曲线与拟合曲线之间的最大偏差(绝对值)与传感器满量程输出值之比,线性度可用下式表示为

$$E = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{fs}} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, $\Delta L_{\max}$ 为实际曲线与拟合直线之间的最大偏差; y_{fs} 为输出满量程值,如图 1.5 所示。

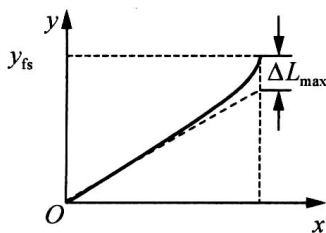


图 1.5 传感器的线性度