

国家中等职业教育改革发展示范校建设系列教材

传感器技术 与应用

◎ 张玉安 乔玉丰 主编



河北科学技术出版社

国家中等职业教育改革发展示范校建设系列教材

传感器技术 与应用

◎ 张玉兰 乔玉丰 主编

常州大学图书馆
藏书章

河北科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

传感器技术及应用 / 张玉安, 乔玉丰主编. -- 石家庄: 河北科学技术出版社, 2015. 5
ISBN 978 - 7 - 5375 - 7673 - 4

I. ①传… II. ①张… ②乔… III. ①传感器 - 中等专业学校 - 教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015) 第 114106 号

传感器技术与应用

张玉安 乔玉丰 主编

出版发行 河北科学技术出版社
地 址 石家庄市友谊北大街 330 号 (邮编: 050061)
印 刷 石家庄燕赵创新印刷有限公司
开 本 787 × 1092 1/16
印 张 9
字 数 180 000
版 次 2015 年 5 月第 1 版
2015 年 5 月第 1 次印刷
定 价 18.00 元

《传感器技术与应用》

编写人员

主 编 张玉安 乔玉丰

副主编 闵红艳 刘海红 叶金卓 张静文

编 委 张玉安 乔玉丰 闵红艳 刘海红 叶金卓

张静文 张艳青 刘秀冬 周志国 张学永

任立杰 杜凤新 尚 杰 李晓侠 崔国玲

张立红

前 言

QIANYAN

本书根据教育部印发的中等职业教育学校重点专业教学指导方案和相关传感器教学大纲，结合目前中等职业学校教学需要编写的。供电子类、电工类、工业自动化、冶炼等专业教学使用。

本书主要内容包括：传感器概述、温度传感器、压力传感器、流量传感器、称重传感器、其他传感器、抗干扰技术。每单元都有大量的传感器实物图让学生加以辨认，提高了教学的趣味性和实用性。为了突出传感器应用和工艺方面的内容，反映传感器技术和元器件在自动检测领域中的应用。本书把“以服务为宗旨，以就业为导向”作为指导方针，把提高学生素质，培养职业能力为行动目标，针对目前中等职业学校学生基础差，理解力低，动手能力强等特点，降低了传感器理论知识的深度和难度，并注重知识的系统性、连续性，注重实际教学和技能训练的实用性、可靠性和层次性，突破了以往理论教学的枯燥，充分调动学生积极性，让学生变被动为主动。

全书由张玉安、乔玉丰任主编，闵红艳、叶金卓、刘海红、张静文任副主编，第一单元由乔玉丰编写；第二单元由张玉安编写；第三单元由张静文、张艳青、周志国编写；第四单元由叶金卓、崔国玲编写；第五单元由刘海红、刘秀冬编写；第六单元由闵红艳、张学永编写；第七单元由尚杰、张立红（企业）编写，第八单元由李晓侠、杜凤新、任立杰编写。

本书在编写过程中，参考和借鉴了大量相关书籍和文献资料，征询了多所学校的意见，在这里向各位编者、老师一并表示感谢。

由于时间仓促，作者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者提出批评和修改意见。

编 者



附 学时分配:

总学时: 80 学时, 其中理论教学为 44 学时, 技能训练 36 学时。

序号	课程内容	学时数			
		合计	理论	技能	技能
1	绪论	1	1		
2	传感器的作用与分类	1	1		
3	传感器的基本特性	1	1	1	
4	传感器的基本误差	2	2		
5	热电偶传感器	6	4	2	
6	热电阻传感器	2	1	1	
7	其他温度传感器	3	2	1	
8	温度传感器的主要应用	3	2	1	
9	电容式压力传感器	4	2	2	
10	扩散硅式压力传感器	2	2		1*
11	弹性式压力传感器	4	2	2	1*
12	压力传感器的主要应用	4	2	2	
13	节流式传感器	6	4	2	
14	其他流量传感器	4	3	1	1*
15	流量传感器的主要应用	6	4	2	
16	电阻应变式称重传感器	4	2	2	1*
17	称重传感器的主要应用	4	2	2	
18	气敏温敏传感器	1	1		
19	电涡流传感器	2	1	1	
20	霍尔传感器	2	1	1	1*
21	超声波传感器	1	1		
22	干扰的来源与途径	4	2	2	
23	抗干扰技术	4	2	2	
24	传感器小结、复习	1	1		
总计		80	44	36	5*

目 录

MULU

第一单元 传感器概述	(1)
学习任务一 传感器的作用与分类	(1)
一、传感器的发展历史	(1)
二、传感器的地位与作用	(3)
三、传感器的分类	(4)
学习任务二 传感器的基本特性	(6)
一、传感器的定义与组成	(6)
二、传感器的基本特性	(7)
学习任务三 传感器的基本误差	(12)
一、仪表的误差	(12)
二、测量误差	(13)
三、仪表精度	(16)
第二单元 温度传感器	(19)
学习任务一 热电偶传感器	(19)
一、热电偶的组成	(20)
二、热电偶测量原理	(21)
三、热电偶的种类	(23)
学习任务二 热电阻传感器	(24)
一、热电阻的组成	(25)
二、热电阻的测量原理	(25)
三、热电阻的种类	(26)
学习任务三 其他温度传感器	(26)
一、膨胀式温度传感器	(27)



二、压力式温度传感器	(27)
三、辐射式温度传感器	(27)
学习任务四 温度传感器的主要应用	(28)
一、温度测量显示仪表	(28)
二、温度变送器	(32)
第三单元 压力传感器	(38)
学习任务一 电容式压力传感器	(38)
一、电容式传感器的组成	(38)
二、电容式传感器的测量原理	(40)
学习任务二 弹性式压力传感器	(41)
一、弹性元件的种类	(41)
二、单管弹簧管压力传感器	(42)
学习任务三 压力传感器的主要应用	(43)
一、压力变送器	(43)
二、压力测量系统	(44)
第四单元 流量传感器	(47)
学习任务一 节流式传感器	(47)
一、节流定义和单位	(48)
二、流量测量仪表的分类	(48)
三、装置的测量原理和流量方程	(48)
四、节流装置种类及取压方式	(49)
五、节流装置的维护	(50)
学习任务二 其他流量传感器	(52)
一、电磁式流量传感器	(52)
二、容积式流量传感器	(55)
三、涡街式流量传感器	(56)
学习任务三 流量传感器的主要应用	(57)
一、流量测量系统简述	(57)
二、流量测量显示仪表功能及分类	(58)
三、流量差压变送器	(59)
第五单元 称重传感器	(63)
学习任务一 电阻应变式称重传感器	(63)

一、电阻应变片的结构、工作原理	(64)
二、弹性元件	(66)
三、电阻应变式称重传感器的测量原理	(66)
学习任务二 称重传感器的主要应用	(68)
一、电子容器秤	(68)
二、电子皮带秤	(71)
三、电子行车秤	(74)
四、电子轨道衡	(75)
第六单元 物位传感器	(79)
学习任务一 物位测量原理	(79)
一、恒浮力法液位测量	(80)
二、变浮力法液位测量	(80)
学习任务二 恒浮力式液位计	(82)
一、浮球式液位计	(82)
二、磁翻转式液位计	(83)
三、浮子钢带式液位计	(84)
学习任务三 变浮力式液位计	(86)
一、扭力管式浮筒液位计	(86)
二、差压式液位计	(88)
第七单元 其他传感器	(93)
学习任务一 气敏传感器	(93)
一、气敏传感器的结构与分类	(94)
二、气敏传感器的应用	(96)
学习任务二 湿敏传感器	(97)
一、湿敏传感器的工作原理	(98)
二、常用湿敏传感器	(98)
学习任务三 电涡流传感器	(100)
一、电涡流传感器的工作原理	(102)
二、电涡流传感器的结构及特性	(102)
三、电涡流传感器的测量转换电路	(102)
四、电涡流传感器的应用	(104)
学习任务四 霍尔传感器	(105)



一、霍尔效应及特性参数	(105)
二、霍尔集成电路	(107)
三、霍尔传感器的应用	(108)
学习任务五 超声波传感器	(109)
一、超声波及其物理性质	(110)
二、超声波传感器的应用	(111)
第八单元 抗干扰技术	(115)
学习任务一 干扰来源与途径	(115)
一、形成干扰的三个要素	(116)
二、信噪比	(116)
三、干扰途径与作用方式	(116)
学习任务二 抗干扰技术	(118)
一、抑制干扰的基本措施	(118)
二、屏蔽技术	(119)
三、接地技术	(120)
四、其他抗干扰技术	(122)
附录	(127)
参考文献	(132)

第一单元 传感器概述

传感器是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。在有些学科领域，传感器又称为敏感元件、检测器、转换器等。这些不同的提法，反映了在不同的技术领域中，只是根据器件用途对同一类型的器件使用者的技术术语不同而已。如在电子技术领域，常把能感受信号电子元件称为敏感元件，如热敏元件，磁敏元件，光敏元件及气敏元件等；在超声波技术中则强调的是能量的转换，如压电式换能器等。这些提法在含义上有些狭窄，因此传感器是使用最为广泛的一个词。在本单元，我们主要介绍一下传感器的发展历史、基本类别和一些基本的特性。

学习任务一 传感器的作用与分类

学习目标

1. 了解传感器的发展史。
2. 熟悉传感器的类别。
3. 了解传感器在检测与控制系统中的作用和地位。

一、传感器的发展历史

传感器技术是在探头技术的基础上产生的，至今已有半个多世纪了。在最初的时候，传感器是电阻应变式传感器，它利用电阻应变片将应变转换为电阻变化；利用电磁感应原理将被测非电量转换为线圈自感系数或互感系数的变化的电感式传感器；近几十年来，传感器技术在工业自动化，国防军事以及宇宙、海洋开发为代表的简短科学技术等重要领域广泛应用的同时，正以它巨大的潜力和独特的魅力向着与人类生活息息相关的各个层面进行渗透。如红外技术在工农业、医学、军事、科研和日常生活中的广泛应用，其应用在军事上的有热成像系统、搜索跟踪系统、红外辐射计、警戒系统等；在航空航天技术上的有人造卫星的遥感遥测、红外线研究天体的烟花；在医学上的有红外诊断和辅助治疗；在工农业上有温度探测及红外烘干等；在日常生活中的有红外取暖等，



由此发明了红外传感器。随着计算机的迅速发展，对信号的检测、控制和处理必然进入数字化阶段，由此出现了数字式传感器。在 20 世纪 70 年代，出现了智能式传感器，它具有逻辑判断，统计处理功能；自诊断，自校准功能；自适应，自调整功能；组态功能和记忆，存储以及数据通讯功能。

随着科学技术的不断进步，特别是自动化技术的广泛应用，传感器技术与相应的检测技术必将得到更大的发展，其发展的趋势将向以下几个方面突破。

（一）集成化

集成化技术利用集成加工技术，将敏感元件、放大电路、运算电路、补偿电路等集成在一块芯片上，或是在同一个芯片上，将众多同类型的单个传感器件集成为一维、二维或是三维阵列型传感器，使它们成为一体化装置或区间。集成化后的传感器或装置的优点是可简化电路设计，节省安装和调试的时间，增加可靠性。缺点是一旦损坏就得更更换整个器件或装置。

（二）微型化

微型化就是利用微型加工技术，尽可能使传感器的体积和重量做到最小。微米、纳米技术的问世以及微机械加工技术的不断实用化，为微型传感器的研制、加工提供了可能。微型传感器最显著的特征就是体积微小，重量很轻，其敏感元件的尺寸一般都为微米级。它是由微加工技术制作而成的。近年来风靡一时的畅销书《数字化生存》的作者预言，微型化电脑十年后将变得无所不在，在人们的日常生活中可能布满了各种电脑芯片，到那时，人类可以把一种含有微型传感器的微型电脑像吃药片一样吞下去，从而可在人体进行各种检测，帮助医生进行诊断。微型传感器的研制和应用，目前乃至今后一个时期，最引人关注的是航天领域。

（三）数字化

在全球进入信息时代的同时，人类也进入了数字化时代，因为数字化技术是信息技术的基础。数字化传感器是指能把检测量直接转化成数字量的传感器。因此，测量精度高、分辨率高、测量范围广、抗干扰能力强、稳定性好、自动控制程度高、便于动态和多路检测、性能可靠就是这类传感器的主要特点。

（四）智能化

智能化传感器是一种将普通传感器与专用微处理器一体化，兼有检测与信息处理功能，具有双向通信功能的新型传感器系统，它不仅具有信号采集、转换和处理的功能，还同时具有信息存储、记忆、识别、自补偿、自诊断等多功能。传感器智能化后，就具备了认识广阔空间状态的能力，在复杂的自动化系统中，在机器人、宇宙飞船、人造卫星等领域都发挥着重要的作用。

(五) 仿生化

大自然是生物传感器的优秀设计师。在漫长的岁月里，它不仅造就了集多种感官于一身的人类本身，还设计了许多多功能奇特，性能高超的生物传感器。仿生传感器就是人类在对生物界不断认识，不断研究的过程中发展起来的。例如，研究狗的嗅觉，鸟的视觉，蝙蝠、海豚的听觉等，分析它们的激励，利用生物效应和化学效应研制出可供实用的仿生传感器在国外已初具规模，国内还有待于开发。随着技术的发展，这种仿生化的程度会越来越强。

二、传感器的地位与作用

我们先从定性、定量两方面，将传感器与人进行对比分析：

定性是指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，肢体做出相应的反映。

定量是指传感器相当于人的感官，称“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。

图 1-1 为人与机器的机能对应关系图。

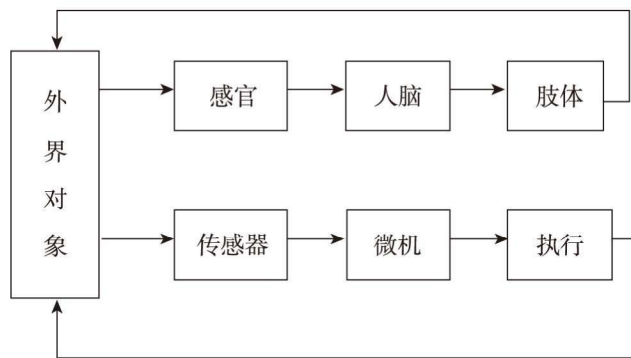


图 1-1 人与机器的机能对应关系图

传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将检测感受到的信息，按一定规律转换为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。在工农业生产过程及工程检测中，为了对各种参数（如压力，温度，流量，物位等）进行检测与控制，首先要把这些参数转换成便于传送的信息，这就要用到各种传感器，把传感器与其他装置组合在一起，组成一个检测系统或调节系统，完成对工业参数的检测与控制。

如图 1-2，用辐射温度计测量热轧带钢表面温度的方法已被广泛采用。从加热炉出来的钢坯最后到卷取机之前的整个轧制线上，如加热炉出口、粗轧机的入口和出口、精轧机的入口和出口以及在卷取机之前都设有辐射温度计，用以测量各阶段带钢的表面



温度。并用此温度信号来控制轧制速度、轧辊压下力和冷却水流量等。

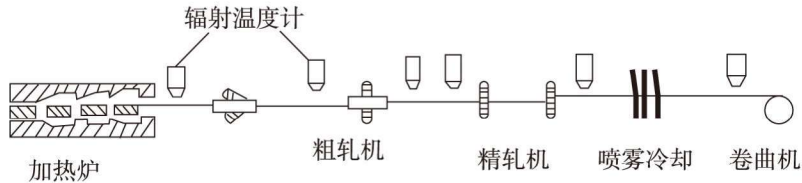


图 1-2

传感器作为整个检测系统的前哨，它提取信息的准确与否决定着整个检测系统的精度。

一个国家的现代化水平是用其自动化水平来衡量的。而自动化水平是用仪表及传感器的种类和数量多少来衡量的。信息化技术包括传感器技术、通讯技术和计算机技术。传感器技术列为信息技术之首，由此可见一斑。

三、传感器的分类

传感器技术是一门知识密集型技术。传感器的原理有各种各样，它与许多学科有关，其种类十分繁多，分类方法也很多。可以用不同的观点对传感器进行分类：它们的转换原理（传感器工作的基本物理或化学效应）、它们的用途、它们的输出信号类型以及制作它们的材料和工艺等。由此可见，传感器的分类方法五花八门，目前尚无一个统一的方法。比较常用的分类方法如表 1-1。

表 1-1 传感器的分类

分类方法	传感器名称
按被测物量分类	位移传感器、力传感器、速度传感器、温度传感器、流量传感器、气体传感器等
按工作原理分类	电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、电压式传感器、霍尔式传感器、光电式传感器、光栅式传感器、热电偶传感器等
按输出信号的性质分类	开关型传感器、模拟式传感器、数字式传感器

下面介绍一些传感器的分类方法，以便于学生更好的了解传感器。

(一) 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

传感器工作原理的分类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。

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。

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运作的。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巨大发展。

(二) 按照用途分类

按照用途，传感器可分为：

压力敏和力敏传感器	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。

(三) 以其输出信号为标准分类

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）。

膺数字传感器——将被测量的信号量转换成频率信号或短周期信号的输出（包括直接或间接转换）。

开关传感器——当一个被测量的信号达到某个特定的阈值时，传感器相应地输出一个设定的低电平或高电平信号。

在外界因素的作用下，所有材料都会做出相应的、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。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为金属、聚合物、陶瓷、混合物。

(2) 按材料的物理性质分为导体、绝缘体、半导体、磁性材料。

(3) 按材料的晶体结构分为单晶、多晶、非晶材料。

(4) 按照其制造工艺，可以将传感器区分为：集成传感器、薄膜传感器、厚膜传感器、陶瓷传感器。

集成传感器是用标准的生产硅基半导体集成电路的工艺技术制造的。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，涂覆在陶瓷基片上制成的，基片通常是 Al_2O_3



制成的，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其某种变种工艺（溶胶-凝胶等）生产。

完成适当的预备性操作之后，已成形的元件在高温中进行烧结。厚膜和陶瓷传感器这二种工艺之间有许多共同特性，在某些方面，可以认为厚膜工艺是陶瓷工艺的一种变形。

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。

学习任务二 传感器的基本特性

学习目标

1. 了解传感器的定义。
2. 掌握传感器的组成。
3. 掌握传感器的基本特性。

一、传感器的定义与组成

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信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。” 它是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将检测感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

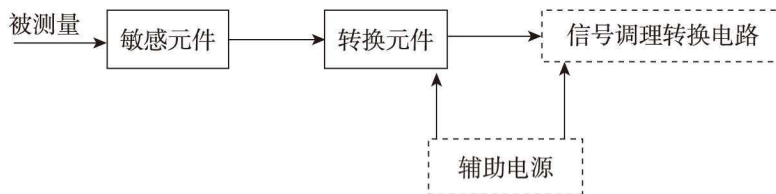


图 1-3 传感器组成图

如图 1-3 所示，通常传感器由敏感元件和转换元件组成。其中，敏感元件是指传感器中能直接感受或相应被测量的部分。转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分。由于传感器输出信号一般都很微弱，需要由信号调理与装换电路，进行放大，运算调制等，此外信号调理装换电路以及传感

器的工作必须有辅助电源，因此信号调理转换电路以及所需的电源都应作为传感器组成的一部分。随着半导体器件与集成技术在传感器的应用，传感器的信号调理装换电路与敏感元件一起集中在同一芯片上，安装在传感器的壳体里。

二、传感器的基本特性

在先进制造领域中，传感器同其他制造产品一样，其市场竞争力是由许多因素决定的。但主要影响竞争力的因素是传感器的功能、性能、质量（品质）、成本与交货期。对于相同或相近功能和交货期的传感器主要取决于其性能、品质和成本，它们构成传感评价的主要方面。在生产过程和科学实验中，要对各种各样的参数进行检测和控制，就要求传感器能感受被测非电量的变化并不失真地变换成相应的电量——基本特性。按照传感器技术的习惯，把传感器的特性分为静态特性与动态特性。

（一）传感器静态特性

传感器的静态特性是指对静态的输入信号，传感器的输出量与输入量之间所具有相互关系。因为这时输入量和输出量都和时间无关，所以它们之间的关系，即传感器的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程，或以输入量作横坐标，把与其对应的输出量作纵坐标而画出的特性曲线来描述。表征传感器静态特性的主要参数有：线性度、灵敏度、分辨力、迟滞、重复性、漂移等。

传感器静态输入、输出关系一般可表示为：

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

1. 线性度

传感器的输入、输出间成线性关系的程度；非线性特性的线性化处理。线性度是指输出与输入之间数量关系的线性程度。理想传感器的线性特性应该是线性方程 $y = a_1x$ 的直线，但是由于传感器在加工、装配、调试等过程中不可避免地受到结构材料、元器件、加工设备、装备手段及操作人员技术水平等诸多方面的影响，所以通常情况下，传感器的输出不可能丝毫不差地反应出被测量的变化，总会存在一定的误差。因此它的实际特性曲线并不完全符合测量时所要求的线性关系。在实际工作中，为了读数方便，使仪表具有均匀刻度的标尺和便于分析、处理测量结果，常用一条模拟直线近似地代表实际的特性曲线。线性度就是用来表示实际特性曲线与拟合直线之间的一个性能指标，它采用实际特性曲线与拟合直线如图 1-4 之间的最大偏差数学表达式：

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-2)$$