



职业技术·职业资格培训教材

传感器

应用技术

劳动保障部教材办公室 组织编写
上海市职业培训指导中心



中国劳动社会保障出版社



职业技术·职业资格培训教材

传感器

应用技术

主 编 马学鸣

执行主编 蒋冬梅

编 者 马学鸣 蒋冬梅 林 燕 魏 莉

主 审 李 劲



中国劳动社会保障出版社

林慧琳 陈学昌 马学昌 张梦欣



图书在版编目(CIP)数据

传感器应用技术/马学昌主编. —北京:中国劳动保障出版社, 2006

职业技术·职业资格培训教材

ISBN 978-7-5045-5815-2

I. 传… II. 马… III. 传感器 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 102051 号

马学昌 主编

陈学昌 副主编

林慧琳 陈学昌 马学昌 张梦欣

张梦欣 主审

中国劳动保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 399 千字

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

定价: 30.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

中国劳动保障出版社

内 容 简 介

本教材由劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业培训指导中心依据上海 1+X 职业技能鉴定考核细目——传感器应用技术组织编写。本教材从培养强化操作技能，掌握一门实用技术的角度出发，较好地体现了本职业当前最新的实用知识与操作技术，对于提高从业人员基本素质，掌握传感器应用技术的核心知识与技能有很好的帮助和指导作用。

本教材在编写中根据本职业的工作特点，从掌握实用操作技能的角度考虑，以能力培养为根本出发点，采用模块化的编写方式，介绍各类传感器的认知、传感器应用实验等。内容包括：传感器概论、敏感材料概述、结构型传感器、物性型传感器、新型传感器、传感器接口技术、常用传感器电路，以及实验内容。

为便于读者掌握本教材的重点内容，教材每单元后附有单元测试题及答案，全书后附有知识考核模拟试卷和技能考核模拟试卷及答案，用于检验和巩固所学知识与技能。

本教材可作为传感器应用技术职业技能培训与鉴定考核教材，也可供中、高等职业技术学院相关专业师生，以及相关从业人员参加岗位培训、就业培训使用。

前言

职业资格证书制度的推行,对广大劳动者系统地学习相关职业的知识和技能,提高就业能力、工作能力和职业转换能力有着重要的作用和意义,也为企业合理用工以及劳动者自主择业提供了依据。

随着我国科技进步、产业结构调整以及市场经济的不断发展,特别是加入世界贸易组织以后,各种新兴职业不断涌现,传统职业的知识和技术也愈来愈多地融进当代新知识、新技术、新工艺的内容。为适应新形势的发展,优化劳动力素质,上海市劳动和社会保障局在提升职业标准、完善技能鉴定方面做了积极的探索和尝试,推出了1+X的鉴定考核细目和题库。1+X中的1代表国家职业标准和鉴定题库,X是为适应上海市经济发展的需要,对职业标准和题库进行的提升,包括增加了职业标准未覆盖的职业,也包括对传统职业的知识技能要求的提高。

上海市职业标准的提升和1+X的鉴定模式,得到了国家劳动和社会保障部领导的肯定。为配合上海市开展的1+X鉴定考核与培训的需要,劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业培训指导中心联合组织有关方面的专家、技术人员共同编写了职业技术·职业资格培训系列教材。

职业技术·职业资格培训教材严格按照1+X鉴定考核细目进行编写,教材内容充分反映了当前从事职业活动所需要的最新核心知识与技能,较好地体现了科学性、先进性与超前性。聘请编写1+X鉴定考核细目的专家,以及相关行业的专家参与教材的编审工作,保证了教材与鉴定考核细目和题库的紧密衔接。

职业技术·职业资格培训教材突出了适应职业技能培训的特色,按等级、分模块单元的编写模式,使学员通过学习与培训,不仅能够有助于通过鉴定考核,而且能够有针对性地系统学习,真正掌握本职业的实用技术与操作技能,从而实现我会做什么,而不只是我懂什么。每个模块单元所附单元测试题和答



案用于检验学习效果,教材后附本级别的知识考核模拟试卷和技能考核模拟试卷,使受培训者巩固提高所学知识与技能。

本教材结合上海市对职业标准的提升而开发,适用于上海市职业培训和职业资格鉴定考核,同时,也可为全国其他省市开展新职业、新技术职业培训和鉴定考核提供借鉴或参考。

新教材的编写是一项探索性工作,由于时间紧迫,不足之处在所难免,欢迎各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议,以便教材修订时补充更正。

劳动保障部教材办公室

上海市职业培训指导中心

目 录

第1单元 传感器概论

- 1.1 传感器的基本概念 3
- 1.2 传感器的构成及分类 5
- 1.3 传感器的基本特性 11
- 1.4 传感器的应用 18
- 1.5 传感器技术的现状及发展趋势 21
- 单元小结 26
- 单元测试题 28
- 单元测试题答案 30

第2单元 敏感材料概述

- 2.1 半导体材料在传感器技术领域的应用 33
- 2.2 高分子材料在传感器技术领域的应用 36
- 2.3 智能材料在传感器技术领域的应用 40
- 单元小结 49
- 单元测试题 50
- 单元测试题答案 52

第3单元 结构型传感器

- 3.1 应变式电阻传感器 57
- 3.2 电容式传感器 62
- 3.3 电感式传感器 69
- 单元小结 77
- 单元测试题 78

单元测试题答案	81
---------------	----

● 第4单元 物性型传感器

4.1 压电式传感器	85
4.2 光电式传感器	90
4.3 热电式传感器	97
4.4 磁电式传感器	107
单元小结	114
单元测试题	116
单元测试题答案	120

● 第5单元 新型传感器

5.1 光纤传感器	125
5.2 生物传感器	132
5.3 声/超声波传感器	142
5.4 智能传感器	151
5.5 纳米材料与传感器技术	161
单元小结	166
单元测试题	167
单元测试题答案	171

● 第6单元 传感器接口技术

6.1 计算机检测系统的基本组成	175
6.2 传感器与微型计算机的接口技术	178

6.3 传感器与微控制器的连接	188
6.4 传感器的通信系统	192
单元小结	194
单元测试题	195
单元测试题答案	198
第7单元 常用传感器电路	
7.1 电桥电路	203
7.2 信号放大器	204
7.3 信号分离及运算电路	208
单元小结	220
单元测试题	220
单元测试题答案	224
第8单元 实验内容	
实验一 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验	229
实验二 金属箔式应变片——半桥性能实验	231
实验三 金属箔式应变片——全桥性能实验	232
实验四 金属箔式应变片的温度影响实验	233
实验五 直流全桥的应用——电子秤实验	234
实验六 压阻式压力传感器的压力测量实验	235
实验七 差动变压器的性能实验	237
实验八 激励频率对差动变压器特性的影响	239
实验九 差动变压器零点残余电压补偿实验	240

实验十 电容式传感器的位移实验	241
实验十一 电容传感器动态特性实验	242
实验十二 直流激励时霍尔式传感器位移特性实验	243
实验十三 交流激励时霍尔式传感器的位移实验	244
实验十四 霍尔测速实验	246
实验十五 磁电式转速传感器测速实验	247
实验十六 压电式传感器测振动实验	247
实验十七 电涡流传感器位移实验	248
实验十八 被测体材质对电涡流传感器特性影响	250
实验十九 电涡流传感器测量振动实验	251
实验二十 电涡流传感器的应用——电子秤实验	252
实验二十一 光纤传感器的位移特性实验	253
实验二十二 光纤传感器测量振动实验	254
实验二十三 光纤传感器测速实验	255
实验二十四 光电转速传感器的转速测量实验	256
实验二十五 湿度传感器实验	256
知识考核模拟试卷（一）	258
知识考核模拟试卷（二）	265
知识考核模拟试卷（一）答案	271
知识考核模拟试卷（二）答案	273
技能考核模拟试卷（一）	275
技能考核模拟试卷（二）	279
参考文献	282

目 录

第 1 单元

传感器概论

- | | | |
|-----|---------------|-----|
| 1.1 | 传感器的基本概念 | /3 |
| 1.2 | 传感器的构成及分类 | /5 |
| 1.3 | 传感器的基本特性 | /11 |
| 1.4 | 传感器的应用 | /18 |
| 1.5 | 传感器技术的现状及发展趋势 | /21 |



引 导 语

传感器最早来自于“感觉”一词。从字面上来看，要求传感器不但要对被测量敏感，即“感”；而且还具有把对被测量的响应传送出去的功能，即“传”。传感器是人类通过仪器探知自然界的触角，它的作用与人的感官相似。如果电子计算机相当于人的大脑，通信系统相当于人的神经，执行器相当于人的肌体，则传感器就相当于人的五官。由此可见传感器的重要性。

在科学技术高度发达的现代社会中，人类已进入了瞬息万变的信息时代，人们在从事工业生产和科学实验等活动中，主要依靠对信息资源的开发、获取、传输和处理，传感器处于研究对象与测控系统的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口，它提供系统赖以进行决策和处理所必需的原始数据。一切科学实验和生产过程，特别是在自动检测和自动控制系统中要获取的信息，都要通过传感器转换为容易传输与处理的信号。不难看出，传感器是自动控制系统和信息系统的关健基础器件，其技术水平直接影响到自动化系统和信息系统的水平。

本单元主要介绍了关于传感器的基本知识，从理论到应用都对传感器做了概述，有助于从总体上认识和掌握传感器，而且对传感器的开发与应用都是很有意义的。

1.1 传感器的基本概念

1.1.1 传感器定义

传感器是能感受（或响应）规定的被测量并按照一定规律将响应转换成可用信号输出的器件或装置，它是一种获取信息的装置。广义的定义是：借助于检测元件接收一种形式的信息，并按一定的规律将所获取的信息转换成另一种可用信息的装置。它获取的信息可以为各种物理量、化学量和生物量，而转换后的信息也可以有各种形式。但目前，传感器转换的大多为电量信号。因而从狭义上讲，将传感器定义为，把外界输入的非电量信号转换成电量信号的装置。所以一般也称传感器为变换器、换能器和探测器，其输出的电量信号继续输送给后续配套的测量电路及终端装置，以便进行电信号的调节、分析、记录或显示等。在一个自动化系统中，首先要能检测到信息，才能去进行自动控制，因此，传感器是首当其冲的装置。广义的定义为，“凡是利用一定的物性（物理、化学、生物）法则、定理、定律、效应等进行能量转换与信息转换，并且输出与输入严格一一对应的器件和装置均称为传感器”。

1.1.2 传感器命名及代号

1. 传感器命名

传感器命名由主题词加四级修饰语构成，按照以下规则进行：

- (1) 主题词。直接表示传感器种类。
- (2) 第一级修饰语。被测量，包括修饰被测量的定语。
- (3) 第二级修饰语。转换原理，一般可后续以“式”字。
- (4) 第三级修饰语。特征描述，指必须强调的传感器结构、性能、材料特征、敏感元件及其他必要的性能特征，一般可后续以“型”字。
- (5) 第四级修饰语。主要技术指标（量程、精确度、灵敏度等）。

在有关传感器的统计表格、图书索引、检索以及计算机汉字处理等特殊场合，应采用上述的顺序。如：传感器，位移，应变计式，100 mm。

正文中的用法是在技术文件、产品样本、学术论文、教材及书刊的陈述句子中，作为产品名称应采用与上述相反的顺序。如：100 mm 应变计式位移传感器。

2. 传感器代号

传感器的代号依次为主称（传感器）、被测量、转换原理、序号。

- (1) 主称。即传感器，代号 C。
- (2) 被测量。用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记。
- (3) 转换原理。用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记。
- (4) 序号。用一个阿拉伯数字标记，厂家自定，用来表征产品设计特性、性能参数、

产品系列等。若产品性能参数不变, 仅在局部有改动或变动时, 其序号可在原序号后面顺序地加注大写字母 A, B, C 等 (其中 I, Q 不用)。

例: 应变式位移传感器: CWY-YB-20, 光纤压力传感器: CYL-GQ-2。

1.1.3 传感器图形符号

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制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。按照它的规定, 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 1—1 所示。

在图 1—1 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 1—2 所示。

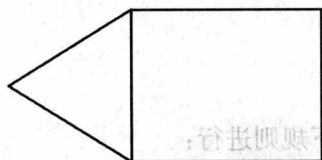


图 1—1 传感器图用图形符号表示

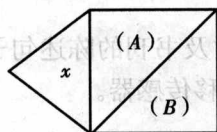


注: x 表示被测量符号
* 表示转换原理

图 1—2 转换原理、被测量标注

(2) 当无须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 1—3 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 1—4 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 1—5 和图 1—6 所示。



注: ① 对角线表示内在的能量转换功能
② (A)、(B) 分别表示输入、输出信号

图 1—3 无须强调具体转换原理的标注

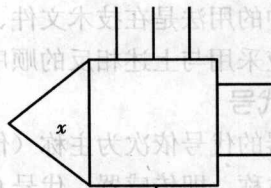


图 1—4 电气引线图

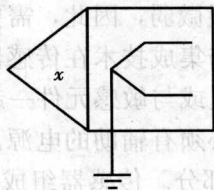


图 1—5 引线接地图

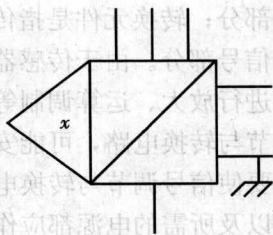


图 1—6 引线接壳体、接线板图

(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，也可用文字符号代替，如图 1—7 所示。

下面给出几个典型传感器的图用图形符号，如图 1—8 至图 1—10 所示。

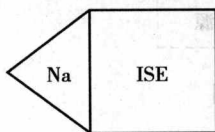


图 1—7 电极式钠离子传感器图

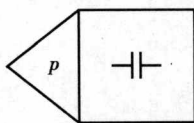


图 1—8 电容式压力传感器

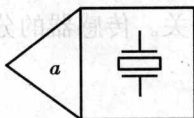


图 1—9 压电式加速度传感器

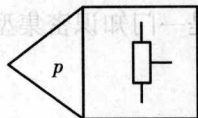


图 1—10 电位器式压力传感器

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。

1.2 传感器的构成及分类

1.2.1 传感器的基本组成

传感器是能感受规定的被测量并按照一定的规律将其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。这些不同提法，反映了在不同的技术领域，只是根据器件用途对同一类型的器件使用着不同的技术术语而已。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。这些提法在含义上有些狭窄，而传感器一词是使用较为广泛而概括的用语。

传感器的输出信号通常是电量，它便于传输、储存、转换、处理、显示等。电量有很多形式，如电压、电流、电容、电阻等，输出信号的形式由传感器的原理确定。

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

响应被测量的部分；转换元件是指传感器中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。由于传感器的输出信号一般都很微弱，因此，需要有信号调节与转换电路对其进行放大、运算调制等。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用，传感器的信号调节与转换电路，可能安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在同一芯片上。此外，要使信号调节与转换电路以及传感器工作必须有辅助的电源。因此，信号调节与转换电路以及所需的电源都应作为传感器组成的一部分。传感器组成框图如图 1—11 所示。

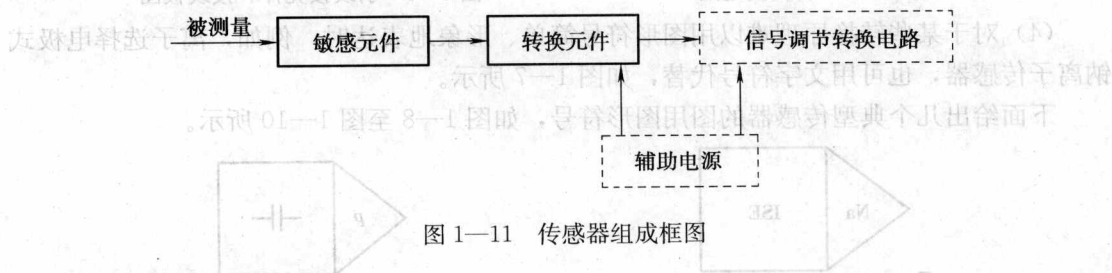


图 1—11 传感器组成框图

1.2.2 传感器分类

传感器技术是一门知识密集型技术，它与许多学科有关。传感器的分类方法很多，常用的有以下几种。

1. 按被测量分类

这种分类方法以被测量命名传感器，阐明了传感器的用途，如位移传感器、压力传感器、温度传感器等，便于使用者选择。但是这种方法将原理互不相同的传感器归为一类，难以找出各种传感器在工作原理上有什么异同点，对建立传感器的一些基本概念，掌握其基本工作原理和分析方法是不利的。

2. 按工作原理分类

这种方法是传感器的原理命名，如应变式、压电式传感器，专业工作者从原理、设计及应用上做归纳性的分析研究。

3. 按信号变换特征分类

按信号变换特征可将传感器分为结构型和物性型两大类。结构型传感器依靠传感器结构参数的变化来实现信号变换的。例如，电容式传感器依靠极板间距变化引起电容量变化；电感式传感器依靠衔铁或铁心位移引起自感或互感的变化。结构型也称为参量变换型。物性型传感器则是依靠传感元件材料本身物理性质的变化来实现信号变换的。例如，热电偶测温是利用某些材料的热电效应；压电式测力传感器是利用了石英等材料的压电效应等。物性型又常称为发电型。

4. 按能量关系分类

根据传感器与被测对象之间的能量关系，可将传感器分为能量转换型和能量控制型两大类。能量控制型传感器的两种形式如图 1—12 所示。

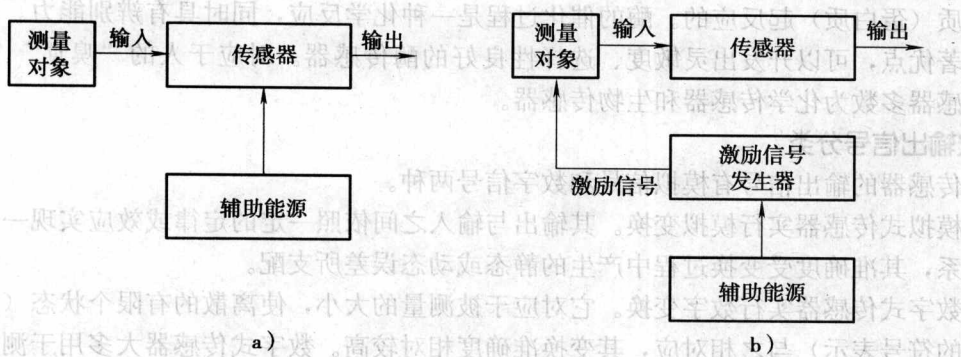


图 1—12 能量控制型传感器的基本形式

a) 由外部供给传感器能量的能量控制型传感器

b) 从外部以信号激励被测对象的能量控制型传感器

能量转换型传感器直接将被测量的能量转换为输出量的能量，如热电偶温度计、弹性压力计等。由于被测对象与传感器之间存在着能量传输，必然导致被测对象状态的变化，造成测量误差。能量转换型传感器又称有源传感器，其能量转换一般是可逆的，在结构上常附有力学系统，一般只能用在接触式测量中，以便于能量的传递。也有一些能量转换型传感器不附有力学系统，如热电偶温度传感器等。

能量控制型传感器是由外部供给传感器能量（辅助能源），而由被测量控制输出的能量，如电阻应变片接于电桥桥臂，电桥工作电源由外部供给，而由被测量变化引起的应变片电阻变化来控制电桥的不平衡输出。能量控制型传感器又称无源传感器，它必须具有辅助电源，由于不和被测对象进行能量转换，因此，一般为不可逆的，也不附有力学系统。在这种传感器中，被控制的电能（辅助电源供给）要比起控制作用的能量（被测对象提供）大，故有一种放大作用。

能量控制型传感器的另一种形式是从外部以信号激励被测对象。传感器所测信号是被测对象对激励信号的响应，它反映了被测对象的性质或状态。例如，超声波探伤等。

5. 按变换原理的科学范畴分类

按传感器变换原理的科学范畴可将其分为三类：利用物理效应进行变换的物理传感器、利用化学效应进行变换的化学传感器、利用生物效应进行变换的生物传感器。

物理传感器开发较早，技术上比较成熟。由于电量和物理传感器要处理的光、声、磁和力学等量都是物理量，因而信号变换较易实现。如果把传感器类比为人的感官，则对应于视、听、触觉的传感器多数为物理传感器。物理传感器的显著特征是其所转换成电量的主角是电子。

和物理传感器不同，化学传感器是以离子为导电主角，而且，无论其选择方法、结构，还是开发，都要比物理传感器难得多。在化学传感器的研制中，经常面临着两个重要的问题，一是如何提高灵敏度，二是如何提高选择性。

为了解决这两个问题，人们借鉴于生物界。例如，酶就是作为一种催化剂选择某种特