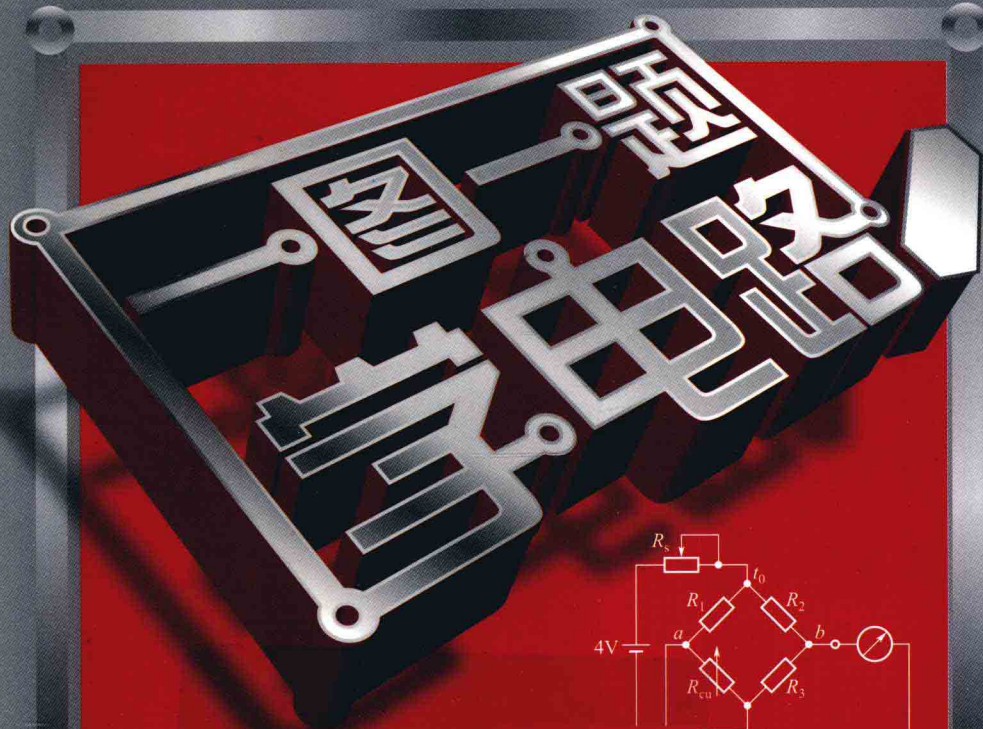
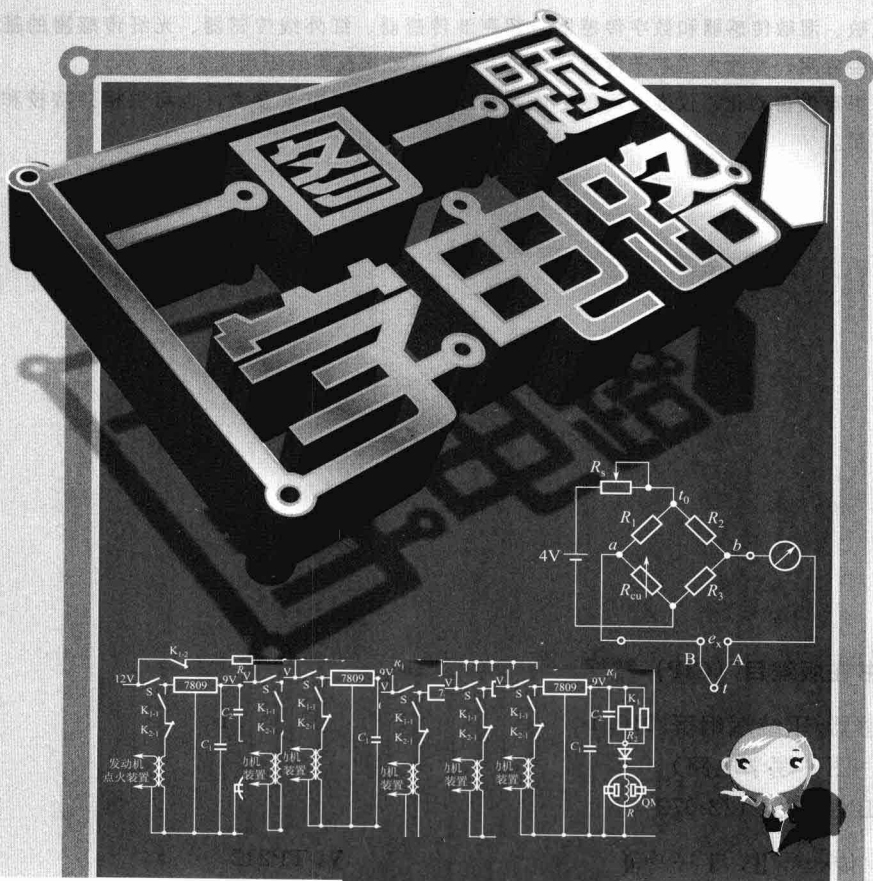


传感器

丁继斌 编著



化学工业出版社



传一器

丁继斌 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从基础讲起,以图形结合例题、习题的方式,介绍了电量、力敏、磁敏、光敏、热敏、气敏、湿敏传感器和数字传感器、超声波传感器、红外线传感器、光纤传感器的基本原理和典型应用,并收入了若干传感器实验,帮助读者提高实际应用能力。

本书可供自动化、仪表、测量工作人员以及无线电爱好者参考,也可供相关院校和专业教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

传感器/丁继斌编著. —北京:化学工业出版社,2010.1
(一图一题学电路)

ISBN 978-7-122-07273-3

I. 传… II. 丁… III. 传感器-基本知识 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第226189号

责任编辑:李玉晖 宋 薇

装帧设计:尹琳琳

责任校对:蒋 宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张13¼ 字数243千字 2010年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.00元

版权所有 违者必究



前 言

传感器是科学实验和工业生产等活动中获取信息的重要技术,了解和熟悉传感器的原理、结构、测量与转换电路对合理选择和应用各种传感器及传感技术是非常必要的。

本书面向初学者,采用单元式结构,对常用传感器进行了分析,浅显易懂,每个单元都配有实例分析,同时对练习题也进行了详细解答,便于初学者使用。内容具有一定的可调性,配合应用型人才和工程技术人才培养的需求,旨在培养学习者的实际应用能力。本书内容取材以工程应用中所需传感器的基本知识、基本理论、基本技能为主,注重内容的实用性。

全书由 26 个单元组成,每个单元又分为若干知识点,每个知识点有电路图、电路分析、知识要点、例题、例题分析、练习题等模块,有以下特点:

1. 基础性——把传感器结构、理论融合到各单元中进行描述。
2. 应用性——注重知识的实用性,通过工程实例来分析、说明传感器相关理论。

本书由南京工业职业技术学院丁继斌编写,江苏大学李金伴教授主审。李教授在百忙中仔细审阅了全部书稿并提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。

衷心感谢江苏大学陆一心教授对本书的大力支持与帮助。

本书参阅了相关著作和论文,得到各界有关单位和人士的帮助、指导和支持,在此谨致谢意。

限于编者水平,书中若有不妥之处,恳请读者批评指正。

编者
2009. 10



目 录

第 1 章 传感器技术基础

001

单元 1 传感器的基本组成	002
单元 2 传感器的特性	005
单元 3 传感器的选择	010

第 2 章 基本电量传感器

013

单元 4 电阻传感器	014
单元 5 电容传感器	032
单元 6 电感传感器	039

第 3 章 力敏传感器

047

单元 7 压阻式传感器	048
单元 8 压电式传感器	053

第 4 章 磁敏传感器

059

单元 9 压磁传感器	060
单元 10 霍尔传感器	064
单元 11 磁阻传感器	072



第 5 章 光敏传感器

081

单元 12	光敏电阻	082
单元 13	光电管	087
单元 14	光生伏特元件	093

第 6 章 热敏传感器

103

单元 15	金属热电阻	104
单元 16	半导体热敏电阻	108
单元 17	热电偶	112

第 7 章 气敏、湿敏传感器

123

单元 18	气敏传感器	124
单元 19	湿敏传感器	134

第 8 章 数字传感器

143

单元 20	感应同步器	144
单元 21	磁栅传感器	152
单元 22	光栅传感器	158
单元 23	光电编码器	165



第 9 章 新型传感器

169

单元 24 超声波传感器	170
单元 25 红外线传感器	176
单元 26 光纤传感器	181

第 10 章 传感器实验

187

实验 1 金属箔式应变片单臂、半桥、全桥比较实验	188
实验 2 差动螺管式电感传感器工作特性实验	190
实验 3 差动变面积式电容传感器实验	192
实验 4 霍尔传感器及其应用实验	194
实验 5 热电偶测温性能实验	198
实验 6 光纤传感器实验	201
实验 7 磁敏传感器实验	202

参考文献

205



第1章 传感器技术基础

- 单元1 传感器的基本组成
- 单元2 传感器的特性
- 单元3 传感器的选择

单元 1

传感器的基本组成



电路图

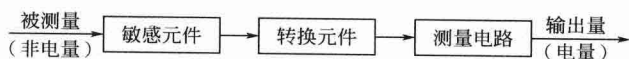


图 1.1 传感器组成

电路分析



传感器是一种按一定的精度把被测量转换为与之有确定关系的、便于应用的某种物理量的测量器件或装置，用于满足系统信息传输、存储、显示、记录及控制等要求。传感器的种类繁多，工作原理、性能特点和应用领域各不相同、结构和组成差异很大，但总的来说，传感器通常由敏感元件、转换元件及测量电路组成，如图 1.1。

敏感元件是传感器中能直接感受（或响应）被测量的部分，是输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件，敏感元件是传感器的核心，也是研究、设计和制作传感器的关键。

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和（或）测量的电信号部分。并不是所有的传感器都能明显地区分敏感元件和转换元件，有时将二者合二为一。

测量电路又称转换电路或信号调理电路，它的作用是将转换元件输出的电信号进行进一步的转换和处理，如放大、滤波、线性化、补偿等，以获得更好的品质特性，便于后续电路实现显示、记录、处理及控制等功能。测量电路的类型视传感器的工作原理和转换元件的类型而定，一般有电桥电路、阻抗变换电路和振荡电路等。



知识要点

传感器是测试系统中的第一级，是感受和拾取被测信号的装置，传感器的性能直接影响到测试系统的测量精度。我国国家标准 GB 7665—1987 对传感器的定义是：“传感器（sensor）是能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置”。这一定义包含了以下几方面的意思：

- ① 传感器是测量装置，能完成检测任务。
- ② 它的输入量是某一被测量，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，这种量可以是气、光、电等物理量，但主要是电量。
- ④ 输出和输入有对应关系，且应有一定的精确度。

传感器作为测试系统的第一环节，将被测系统或过程中需要观测的信息转化为人们所熟悉的各种信号，这是测试过程必须实现的第一步任务。通常，传感器将被测物理量转换成以电量为主要形式的电信号。例如，将机械位移转换为电阻、电容或电感等电参数的变化；将振动或声音转换成电压或电荷的变化。图 1.1 的各组成部分具有“功能块”的含义，在实际工作中，这些功能块所表达的具体装置或仪器的伸缩性是很大的。例如，信号转换部分有时可以由很多仪器组合成的一个完成特定功能的复杂群体；有时却可能简单到仅有一个转换电路，甚至可能仅是一根导线。



例题

请说出图 1.2 所示传感器的敏感元件、转换元件和测量转换电路。



例题分析

图 1.2 是简单自感式装置的原理图。当一个简单的单线圈作为敏感元件时，机械位移输入会改变线圈产生的磁路的磁阻，从而改变自感式装置的电感。电感的变化由合适的电路进行测量，就可从表头上指示输入值。磁路的磁阻变化可以通过空气间隙的变化来获得，也可以通过改变铁芯材料的数量或类型来获得。

电感传感器的敏感元件与转换元件是电感线圈，其转换原理基于电磁感应原理。它把被测量的变化转换成线圈自感系数 L （或互感系数 M ）的变化（在电路

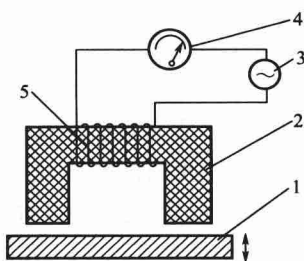


图 1.2 简单自感式装置工作原理图

1—衔铁；2—永久磁铁；3—激励电源；4—测量仪表；5—线圈

中表现为感抗 X_L 的变化)，从而达到被测量到电参量的转换。

习题

1. 何谓传感器？传感器一般由哪几部分组成？
2. 请说出图 1.3 所示传感器的敏感元件、转换元件。

习题答案

1. 传感器“传感器（sensor）是能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置”。传感器一般由敏感元件、转换元件和测量转换电路等组成。

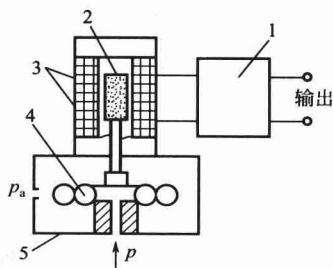


图 1.3 气体压力传感器
工作原理图

1 测量电路；2 磁芯；
3 电感线圈；4 膜盒；
5—壳体

2. 敏感元件是膜盒 4，转换元件是可变电感线圈 3。图 1.3 所示是气体压力传感器工作原理示意图。膜盒 4 的下半部与壳体 5 固定，上半部通过连杆与磁芯 2 相连，磁芯 2 置于两个电感线圈 3 中，电感线圈 3 接入测量电路 1。敏感元件膜盒外部与大气压力 p_a 相通，内部感受被测压力 p 。当 p 变化时，引起膜盒上半部移动，输出相应的位移量，可变电感线圈 3 把输入的位移量转换成电感的变化。

单元 2

传感器的特性

电路图

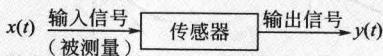


图 1.4 传感器系统框图

电路分析

系统输出信号 $y(t)$ 与输入信号（被测量） $x(t)$ 之间的关系是传感器的基本特性，如图 1.4。根据传感器输入信号 $x(t)$ 是否随时间变化，其基本特性分为静态特性和动态特性，它们是系统对外呈现出的外部特性，与其内部参数密切相关。不同的传感器内部参数不同，因此其基本特性也表现出不同的特点。一个高精度传感器，必须具有良好的静态特性和动态特性，才能保证信号无失真地按规律转换。

知识要点

1. 传感器的静态特性。

传感器的静态特性是指传感器转换的被测量（输入信号）数值是常量（处于稳定状态）或变化极缓慢时，传感器的输出与输入的关系。传感器静态特性的主要技术指标有：线性度、灵敏度、迟滞和重复性。

（1）线性度。传感器的线性度是指其输出量与输入量之间的关系曲线偏离理想直线的程度，又称为非线性误差。如不考虑迟滞、蠕变等因素，一般传感器的输出输入特性关系可用 n 次多项式表示为

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \cdots + a_n x^n \quad (1.1)$$

式中 x ——输入量;
 y ——输出量;
 a_0 ——零输入时的输出 (也称为零位输出);
 a_1 ——传感器线性项系数 (也称为线性灵敏度);
 $a_2, a_3, \dots, a_n$ ——非线性项系数。

传感器的线性度可分为理想线性特性、仅有偶次非线性项、仅有奇次非线性项、一般输入特性四种情况, 如图 1.5。

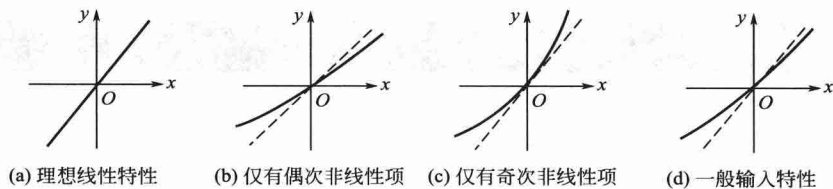


图 1.5 传感器的非线性

① 理想线性特性。如图 1.5(a), 此时

$$a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = \dots = a_n$$

传感器的输入/输出特性为

$$y = a_1 x \quad (1.2)$$

直线上任意点的斜率相等, 传感器的灵敏度为

$$k = a_1 = \frac{y}{x} \quad (1.3)$$

② 仅有偶次非线性项。如图 1.5(b), 此特性线性范围较窄, 没有对称性, 线性度较差, 一般传感器设计很少采用这种特性。传感器的输入/输出特性为

$$y = a_0 + a_2 x^2 + a_4 x^4 + \dots + a_{2n} x^{2n} \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (1.4)$$

③ 仅有奇次非线性项。如图 1.5(c), 传感器特性相对于坐标原点对称, 线性范围较宽, 线性度好, 是接近理想直线的非线性特性。传感器的输入/输出特性为

$$y = a_1 x + a_3 x^3 + \dots + a_{2n+1} x^{2n+1} \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (1.5)$$

④ 一般输入特性。如图 1.5(d), 传感器特性相对于坐标原点对称, 其线性范围较宽, 线性度较好, 是比较接近于理想直线的非线性特性。传感器的输入/输出特性为

$$y = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots + a_n x^n \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (1.6)$$

在实际使用非线性传感器时, 如果非线性项的次数不高, 则在输入量变化范围不大的情况下, 可采用直线近似地代替实际输入输出特性曲线的某一段, 使传

传感器的非线性特性得到线性化处理。

(2) 灵敏度。灵敏度是传感器输出量增量与被测输入量增量之比, 用 k 来表示。

线性传感器的灵敏度就是拟合直线的斜率

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1.7)$$

非线性传感器的灵敏度不是常数, 表达式为

$$k = \frac{dy}{dx} \quad (1.8)$$

灵敏度用输出/输入量之比表示。例如, 某位移传感器在位移变 1mm 时, 输出电压变化 300mV, 则其灵敏度为 300mV/mm。有些情况下灵敏度有另一种含义, 因为有许多传感器的输出电压与其电源电压有关, 在同样输入量情况下, 输出电压是不同的, 这时, 灵敏度计算中还要考虑单位电源的作用。若电源电压为 10V, 则上述位移传感器的灵敏度应为 30mV/(mm·V)。灵敏度 k 为定值是有条件的, 它有时会随着工作区间的变化而改变; 有时会随工作点的不同而不同。即使是利用同一变换原理的传感元件, 如改变传感器元件的工作点, 灵敏度 k 也会随之改变。

(3) 迟滞。迟滞特性表明传感器在正(输入量增大)反(输入量减小)行程中输出与输入曲线不重合的程度, 如图 1.6 所示。迟滞大小一般由实验方法测得。迟滞误差以正、反向输出量的最大偏差与满量程输出之比的百分数表示

$$\gamma_H = \pm \frac{1}{2} \times \frac{\Delta H_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1.9)$$

式中 $\Delta H_{\max}$ ——正、反行程间输出的最大误差;

y_{FS} ——理论满量程输出值。

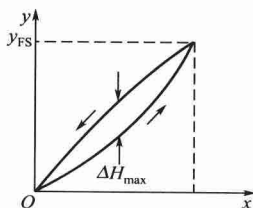


图 1.6 传感器的迟滞特性

传感器材料的物理性质是产生迟滞的主要原因。例如, 把应力施加于某弹性材料时, 弹性材料产生形变, 应力取消后, 弹性材料仍不能完全恢复原状。又如, 铁磁体、铁电体在外加磁场、电场作用下也均有迟滞现象。此外, 传感器机械部分存在不可避免的缺陷, 如摩擦、磨损、间隙、松动、积尘等也是造成迟滞现象的重要原因。



(4) 重复性。重复性是指传感器在输入量按同一方向作全量程连续多次变动时所得特性曲线间不一致的程度。各条特性曲线越靠近,说明重复性就越好。正行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 1}$,反行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 2}$ 。重复性偏差取这两个最大偏差中之较大者为 $\Delta R_{\max}$,再以满量程输出的百分数表示,这就是重复误差

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1.10)$$

重复性是反映传感器精密程度的重要指标。同时,重复性的好坏也与许多随机因素有关,它属于随机误差,要用统计规律来确定。

2. 传感器的动态特性。

在实际测量中,大量被测量是随时间变化的动态信号,这就要求传感器的输出不仅能精确地反映被测量的大小,还要正确地再现被测量随时间变化的规律。传感器的动态特性是指在测量动态信号时传感器的输出反映被测量的大小和随时间变化的能力。动态特性差的传感器在测量过程中,将会产生较大的动态误差。

静态特性不考虑时间变动的因素,而动态特性是反映传感器对于随时间变化的输入量的响应特性。在利用传感器测量随时间变化的参数时,除了要注意其静态指标以外,还要关心其动态性能指标。实际被测量随时间变化的形式可能是各种各样的,所以在研究动态特性时,通常根据正弦变化与阶跃变化两种标准输入来考察传感器的动态特性。传感器的动态特性分析和动态标定都以这两种标准输入状态为依据。对于任一传感器,只要输入量是时间的函数,其输出量也应是时间的函数。

为了便于分析和处理传感器的动态特性,同样需要建立数学模型,用数学中的逻辑推理和运算方法来研究传感器的动态响应。对于线性系统的动态响应研究,最广泛使用的数学模型是普通线性常系数微分方程。只要对微分方程求解,就可得到动态性能指标。

传感器的动态性能指标有时域指标和频域指标两种。



什么是传感器的静态特性和动态特性?



传感器的静态特性是指传感器转换的被测量(输入信号)数值是常量(处于

稳定状态)或变化极缓慢时,传感器的输出与输出的关系。传感器的动态特性是指在测量动态信号时传感器的输出反映被测量的大小和随时间变化的能力。

习题

衡量传感器静态特性的主要性能参数有哪些?

习题答案

传感器静态特性的主要技术指标有:线性度、灵敏度、迟滞和重复性。



单元 3

传感器的选择



电路图

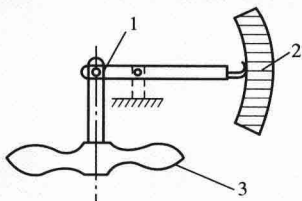


图 1.7 电位器式压力传感器原理图

1—杠杆；2—电位器；3—膜盒

电路分析



图 1.7 所示为电位器式压力传感器的工作原理。在弹性敏感元件膜盒 3 的内腔，通入被测流体压力，在此压力的作用下，膜盒 3 中心产生位移，推动杠杆 1 上移，使曲柄轴带动电刷在电位器 2 的电阻丝上滑动，使传感器的电阻值发生变化，最后输出一个与被测压力成正比的电压信号。

测量压力可以采用的传感器很多，如电容传感器、压电传感器等，要根据实际情况正确选择。



知识要点

由于传感器的研制和发展非常快，各种各样的传感器应运而生，对传感器的选择就变得更加灵活。对于同一种类的被测物理量，可以选用多种不同的传感器。为选择最适合于测试目的的传感器，一般说来，应按照下述原则选择传