




国家开放大学  
THE OPEN UNIVERSITY OF CHINA

# 传感器与测试技术

CHUANGANQI YU CESHI JISHU

胡广大 主编

 中央广播电视大学出版社



国家开放大学  
THE OPEN UNIVERSITY OF CHINA

# 传感器与测试技术

CHUANGANQI YU CESHI JISHU

胡广大 主编

中央广播电视大学出版社

北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

传感器与测试技术 / 胡广大主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2013. 12

ISBN 978 - 7 - 304 - 06387 - 0

I. ①传… II. ①胡… III. ①传感器—测试技术  
IV. ①TP212.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 299875 号

版权所有, 翻印必究。

## 传感器与测试技术

胡广大 主编

---

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010 - 66490011

总编室 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

---

策划编辑: 李永强

版式设计: 赵 洋

责任编辑: 邹伯夏

责任校对: 王 亚

责任印制: 赵连生

---

印刷: 北京宏伟双华印刷有限公司

印数: 5001 ~ 10000

版本: 2013 年 12 月第 1 版

2014 年 12 月第 2 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 22.5 字数: 493 千字

---

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 06387 - 0

定价: 39.00 元

---

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

“传感器与测试技术”是机械制造及其自动化专业学生必修的一门技术基础课。随着网络信息化的飞速发展，传感器与测试技术已成为自动化和信息化的基础与前提，其在工业控制领域中的应用日益广泛。

LabVIEW 是一种程序开发环境，是由美国国家仪器（National Instruments, NI）有限公司研制开发的，且类似于 C 语言和 BASIC 语言的开发环境。它与其他计算机语言的显著区别是：其他计算机语言都是采用基于文本的语言产生代码，而 LabVIEW 使用的是图形化编辑语言 G 编写程序，产生的程序是框图的形式。学生可以通过运用 LabVIEW 进行程序编写，自行完成实验，分析其中的问题。

本书分为 11 章。每一章以概述开始，介绍了本章将要讨论的内容。

第 1 章是绪论，简单地介绍了传感器与测试技术的主要内容，以及它们的发展趋势。

第 2 章讲述了几种测量转换基本电路。虽然学习者可能已经学习过这些电路，但这里着重讲述的是其中的一些重要特点以及应用方式。

第 3 章至第 7 章着重讲述了几种典型的传感器，分别是电路参量式传感器、电动势式传感器、光电式传感器、辐射式传感器、智能传感器。

第 8 章讲述了机器人传感技术，是围绕传感器在机器人方面的应用展开的。

第 9 章讲述了虚拟仪器及其在测试系统中的应用，主要讲述了 LabVIEW 的应用。

第 10 章讲述了传感器与测试技术的应用实例。这一章分两方面介绍了传感器在现实生活中的应用。

第 11 章是实验。针对前面几个章节介绍的传感器，设计了简单的应用实验，以便学生能够熟练掌握。

希望通过对本书的学习，使学习者掌握测试系统的设计和分析方法，能够根据工程需要选用合适的传感器，并能够对测试系统的性能进行分析、对测得的数据进行处理。

本教材由国家开放大学传感器与测试技术课程教材编写组完成编著，胡广大教授任主编并统稿，崔家瑞、田琥、郝智红、刘涛老师参与了教材的编写工作，北京交通大学张晓冬教授负责主审。其中，北京科技大学胡广大教授编写了第1章，崔家瑞工程师编写了第2章、第5章和第8章，刘涛副教授编写了第9章、第10章和第11章，国家开放大学田琥讲师编写了第3章和第4章，郝智红讲师编写了第6章及第7章。

本书在编写中参考了大量文献，在此对文献的作者致以真诚的谢意！

传感器与测试技术处于朝气蓬勃的发展时期，相关技术和测试手段仍在不断更新。限于编者自身的学识和水平，书中难免存在疏漏和错误，恳请读者指正。

编者  
2013年10月



<b>第1章 绪 论</b> .....	1
1.1 传感器与测试技术概述 .....	2
1.1.1 传感器与测试技术的应用 .....	2
1.1.2 测试工作的任务 .....	4
1.2 传感器技术 .....	5
1.2.1 传感器的定义、组成、分类 .....	5
1.2.2 传感器常用技术指标及选用原则 .....	6
1.2.3 传感器的静态特性、动态特性及标定 .....	7
1.2.4 传感器技术的发展趋势 .....	10
1.3 测试技术 .....	11
1.3.1 测试技术的基本概念、测试系统的组成、测试方法的分类 .....	11
1.3.2 测试系统的静态特性、动态特性及标定 .....	13
1.3.3 测试系统标定的意义 .....	17
1.3.4 测试技术的发展趋势 .....	17
本章小结 .....	18
本章习题 .....	18
思考题 .....	18
<b>第2章 测量转换基本电路</b> .....	19
2.1 测量转换基本电路概述 .....	20
2.1.1 测量转换电路在测试系统中的作用 .....	20
2.1.2 测量转换电路的应用范围与原则 .....	21
2.2 电桥 .....	22
2.2.1 直流电桥 .....	22
2.2.2 交流电桥 .....	25
2.2.3 电桥平衡的调节 .....	27
2.2.4 使用方法 .....	28
2.3 信号放大电路 .....	29
2.3.1 基本放大电路 .....	29
2.3.2 测量放大电路 .....	35
2.3.3 隔离放大电路 .....	37
2.4 信号滤波电路 .....	41
2.4.1 滤波器分类 .....	41

2.4.2	理想滤波器	42
2.4.3	实际滤波器	43
2.4.4	无源滤波器	44
2.4.5	有源滤波器	47
2.4.6	数字滤波器	48
2.5	信号转换电路	49
2.5.1	A/D 转换与 D/A 转换	50
2.5.2	U/F 转换与 F/U 转换	55
2.6	调制与解调	58
2.6.1	调制	59
2.6.2	解调	63
	本章小结	66
	本章习题	66
	思考题	66

### 第3章 电路参量式传感器原理与应用 67

3.1	电阻式传感器	68
3.1.1	工作原理及特性	68
3.1.2	测量电路及应用实例	74
3.2	压阻式传感器	75
3.2.1	工作原理及特性	76
3.2.2	测量电路及应用实例	79
3.3	电位计式传感器	82
3.3.1	工作原理及特性	82
3.3.2	测量电路及应用实例	86
3.4	热电阻式传感器	87
3.4.1	工作原理及特性	87
3.4.2	测量电路及应用实例	91
3.5	电容式传感器	93
3.5.1	工作原理及特性	93
3.5.2	测量电路及应用实例	96
3.6	电感式传感器	98
3.6.1	工作原理及特性	98
3.6.2	测量电路及应用实例	101
3.6.3	电涡流式传感器	103

本章小结·····	108
本章习题·····	108
思考题·····	109

## 第4章 电动势式传感器原理及应用 ····· 111

4.1 压电式传感器·····	112
4.1.1 工作原理及特性·····	112
4.1.2 测量电路·····	114
4.1.3 应用实例·····	119
4.2 磁电式传感器·····	121
4.2.1 工作原理及特性·····	121
4.2.2 测量电路·····	126
4.2.3 应用实例·····	126
4.3 热电偶传感器·····	128
4.3.1 工作原理及特性·····	128
4.3.2 热电偶温度测量连接方式·····	133
4.3.3 应用实例·····	137
4.4 霍尔传感器·····	138
4.4.1 工作原理及特性·····	138
4.4.2 应用实例·····	140
本章小结·····	142
本章习题·····	143
思考题·····	144

## 第5章 光电传感器原理及应用 ····· 145

5.1 光电效应与光电器件·····	146
5.1.1 光电效应·····	146
5.1.2 光电器件的基本特性·····	146
5.1.3 光电器件的应用·····	149
5.2 光纤传感器·····	151
5.2.1 工作原理及特性·····	151
5.2.2 应用实例·····	153
5.3 光电式编码器·····	155
5.3.1 工作原理及特性·····	155
5.3.2 应用实例·····	157



5.4 光栅式传感器 .....	158
5.4.1 工作原理及特性 .....	158
5.4.2 辨向原理及应用实例 .....	160
5.5 激光传感器 .....	162
5.5.1 工作原理及特性 .....	162
5.5.2 应用实例 .....	167
5.6 CCD 图像传感器 .....	168
5.6.1 工作原理及特性 .....	168
5.6.2 应用实例 .....	171
5.7 CMOS 图像传感器 .....	173
5.7.1 工作原理及特性 .....	173
5.7.2 应用实例 .....	175
本章小结 .....	177
本章习题 .....	177
思考题 .....	178

## **第 6 章 辐射式传感器原理及应用** .....

6.1 红外传感器 .....	180
6.1.1 工作原理及特性 .....	180
6.1.2 应用实例 .....	182
6.2 超声波传感器 .....	185
6.2.1 工作原理及特性 .....	185
6.2.2 测量电路及应用实例 .....	188
6.3 核辐射传感器 .....	193
6.3.1 工作原理及特性 .....	194
6.3.2 应用实例 .....	197
本章小结 .....	200
本章习题 .....	201
思考题 .....	201

## **第 7 章 智能传感器原理及应用** .....

7.1 微型传感器 .....	204
7.1.1 概念及特点 .....	204
7.1.2 典型微型传感器及应用实例 .....	205
7.2 模糊传感器 .....	214

7.2.1 工作原理及特性 .....	214
7.2.2 典型模糊传感器及应用实例 .....	220
7.3 网络传感器 .....	223
7.3.1 基本概念及类型 .....	223
7.3.2 典型网络传感器及应用实例 .....	225
本章小结 .....	230
本章习题 .....	230
思考题 .....	231

## **第8章 机器人传感技术** .....

8.1 机器人视觉传感技术 .....	234
8.1.1 固态图像传感器 .....	234
8.1.2 双目立体视觉系统 .....	234
8.2 机器人触觉传感技术 .....	236
8.2.1 触觉传感器 .....	236
8.2.2 仿生皮肤 .....	239
8.3 机器人嗅觉传感技术 .....	240
8.3.1 气敏传感器 .....	240
8.3.2 电子鼻 .....	241
8.4 机器人味觉传感技术 .....	242
8.4.1 味觉传感器 .....	242
8.4.2 电子舌 .....	243
8.5 机器人听觉传感技术 .....	243
8.5.1 听觉传感器 .....	244
8.5.2 语音识别系统 .....	245
本章小结 .....	245
本章习题 .....	246
思考题 .....	246

## **第9章 虚拟仪器及在测试系统中的应用** .....

9.1 虚拟仪器概述 .....	248
9.1.1 虚拟仪器技术 .....	248
9.1.2 NI LabVIEW 概述 .....	250
9.2 LabVIEW 程序设计基础 .....	252
9.2.1 LabVIEW 数据类型 .....	252

9.2.2	相关函数 .....	258
9.2.3	数据分析与处理模板 .....	262
9.2.4	程序设计基础 .....	268
9.2.5	NI 测量与自动化浏览器介绍 .....	281
9.2.6	DAQ 助手 .....	287
9.3	虚拟仪器在传感器与测试技术中的应用实例 .....	289
9.3.1	LabVIEW 辅助测试技术 .....	289
9.3.2	基于虚拟仪器技术的电机参数测试系统 .....	291
	本章小结 .....	295
	本章习题 .....	295
	思考题 .....	296

## **第 10 章 传感器与测试技术应用实例** .....

10.1	传感器在飞行器交会对接中的应用 .....	298
10.1.1	相关传感器技术 .....	298
10.1.2	线速度和线加速度的测量 .....	301
10.1.3	角速度和角加速度的测量 .....	302
10.1.4	目标飞行器姿态的测量 .....	306
10.2	传感器与测试技术在直流输电在线监测系统中的应用 .....	309
10.2.1	相关传感器技术 .....	309
10.2.2	气象信息的测量 .....	310
10.2.3	微风振动信息的测量 .....	312
10.2.4	线路舞动信息的测量 .....	313
10.2.5	其他信息的测量 .....	314
	本章小结 .....	315
	本章习题 .....	315
	思考题 .....	315

## **第 11 章 实验内容及要求** .....

11.1	温度测量 .....	317
11.1.1	热电阻传感器测量温度性能实验 .....	317
11.1.2	热电偶传感器测量温度性能实验 .....	318
11.1.3	集成温度传感器测量温度性能实验 .....	320
11.2	位移测量 .....	321
11.2.1	电容式传感器位移测量 .....	321

11.2.2 电感式传感器位移测量	323
11.2.3 光电传感器位移测量	325
11.3 电磁流量计测量实验	326
11.4 基于 CMOS 图像传感器的图像测量	329
11.5 LabVIEW 模拟电压采集实验	331
<b>附录 本书习题参考答案</b>	337
<b>参考文献</b>	343

# 第 1 章

## 绪 论

### 导 言

当今社会,随着人类步入信息化时代,无论是在工农业生产、交通、物流、社会服务,还是在教育、科研等各方面都离不开信息技术。而现代信息技术的三大支柱是传感器与测试技术、通信技术和计算机技术。在这三大支柱中,传感器与测试技术作为获取信息的基础技术,是整个信息技术的源头,在信息社会起着非常重要的作用。世界上的很多发达国家及我们国家都已经将传感器与测试技术列为重点发展的高新技术,在科研和应用方面都给予了很大的支持。

本章内容主要讲述了传感器与测试技术的一些概论,包括其定义、组成、作用、分类、检测方法、参数特性等方面的内容。希望通过这些简要的介绍,能够拓宽学习者的视野,使学习者对传感器和测试技术有一个基本的感性的认识,提高对传感器学习和应用的兴趣,方便理解以后将要学习的内容。

### 学习目标

1. 掌握传感器与测试技术的定义、分类和组成。
2. 理解传感器的各项指标及标定方法。
3. 了解传感器与测试系统的动态模型的建立与分析方法。

### 学习建议

本章内容是围绕传感器和测试技术的概念、组成、分类、作用等基本问题展开的,目的是使学习者了解本科目所要学习和涉及的方面,提高学习和应用的兴趣。学习者应该在学习本章内容的基础上,对于有兴趣的部分自行查阅资料,了解传感器及测试技术的应用方向、背景及所需的基础知识,以便做到深入理解,为后面的学习打好基础。



## 1.1 传感器与测试技术概述

传感器与测试技术是多门学科交叉、有机结合的产物,其中包括自动控制技术、微电子技术、通信技术、计算机科学和物理学等。传感器与测试技术被广泛应用于工业生产、航空航天、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程等领域,为它们提供用于监视、控制、保证和提高质量的重要依据。几乎每一个现代化工程项目,都离不开传感器与测试技术。

### 1.1.1 传感器与测试技术的应用

当今社会,各行各业对传感器的依赖和需求都非常大,如工农业生产、物流、交通、社会服务等各方面都需要获取实时信息,这就需要用到传感器及测试技术。

测试技术是自动化和信息化的基础和前提。例如,在石化行业,为了保证化工生产过程正常、高效、经济的运行,需要对生产过程中的温度、压力、流量等重要工艺参数进行在线控制和优化,而要实现优化控制,则必须配置控制精度更高的温度、压力、流量监测系统。

#### 1. 生活中的应用——声控灯

声控灯是一种常见的声控电子照明装置,采用发生器发出约1s的控制信号(如“嘶”声),即可方便、及时地打开和关闭声控照明装置。其上还设有防误触发的自动延时关闭功能,并设有手动开关,使其应用更加方便。声控灯的特点是,操作简便、灵活、抗干扰能力强。常见的声控灯产品如图1-1所示。



图1-1 常见的声控灯产品

#### 2. 农业中的应用——自动化温室

自动化温室也被称为智能温室,是指配备了由计算机控制的可移动天窗、遮阳系统、保温系统、湿窗帘/风扇降温系统、喷滴灌系统或滴灌系统、移动苗床等自动化设施,基于农业温室环境的高科技“智能”温室。自动化温室的控制一般由信号采集系统、中心计算机、控制系统3大部分组成。而其中的信号采集系统一般需要传感器采集温室内的温湿度、日光照量、土壤水分、土壤温度等信息。图1-2给出了自动化温室的示意图。

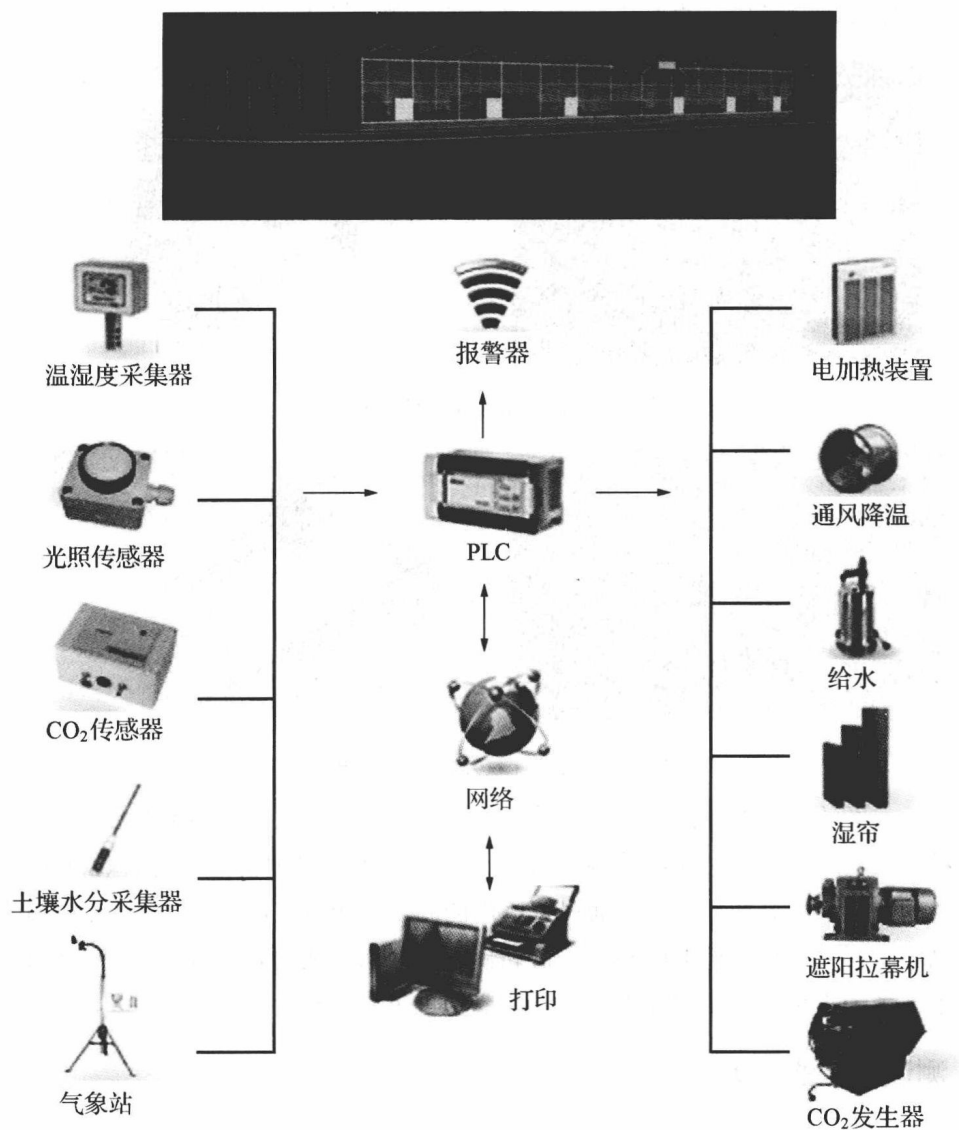


图 1-2 自动化温室示意图

### 3. 工业中的应用——数控机床

数控机床是数字控制机床（computer numerical control machine tools）的简称，它是一种装有程序控制系统的自动化机床。数控机床中的位移测量装置就是利用高精度位移传感器（如光栅传感器）对位移进行测量，从而实现精密加工。图 1-3 给出了典型的数控机床及位移传感器的外观图。

### 4. 军事中的应用——飞机

飞机在正常使用时，需要装备几百个各类传感器，组成十几甚至几十种检测系统，以实时检测和指示飞机各部位的工作状况。例如，当飞机高度发生变化时，传感器检测到大气数据的变化，计算机自动发出实际高度与给定高度的差值信号，通过自动驾驶仪操作升降舵，

使飞机恢复给定高度。飞机（直升机）及空速管的外观如图 1-4 所示。

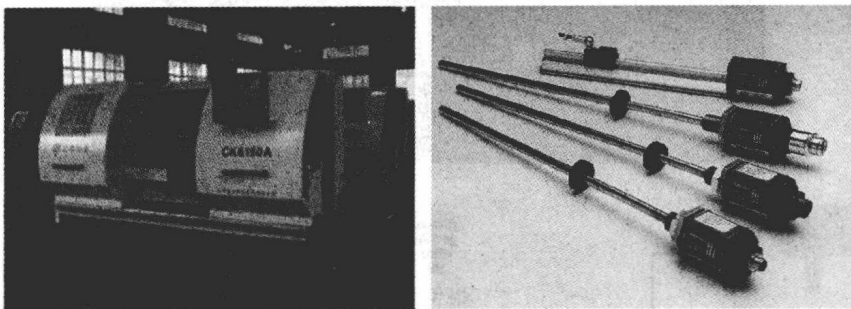


图 1-3 数控机床及位移传感器

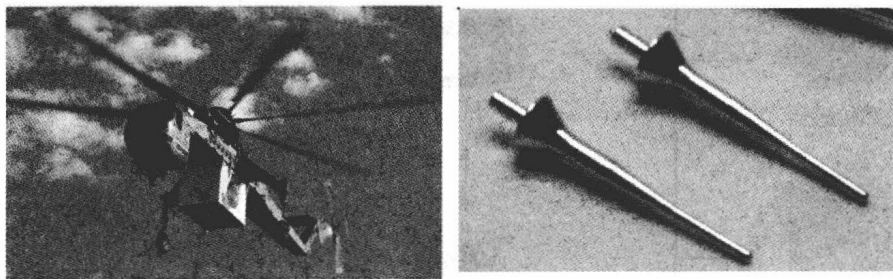


图 1-4 飞机（直升机）及空速管

随着生活水平的提高，传感器与测试技术与人们日常生活的关系越来越密切。例如，新型建筑材料里的物理、化学性能的检测，医学上先进的医疗检测仪器对各种疾病的检测等，都需要高精确度的检测系统；而城镇居民家庭内的温度、湿度、防火、防盗及家用电器的安全检测，也均需要大量物美价廉的检测仪器和传感器。从上述内容不难看出，传感器与测试技术的应用领域越来越广泛，因此人们对它的要求也更为多样化。

### 1.1.2 测试工作的任务

测试技术的发展非常迅速，其应用也已经渗透到信息社会的很多领域，十分广泛。

测试技术是科学实验必不可少的手段。任何一项现代自然科学的技术发明，都必须通过测试技术获取大量、准确的数据，而通过测试技术所获得的数据精度也在一定程度上决定了现代科技进步的深度与广度。

测试技术在工业生产中同样是一项重要的技术基础。利用测试技术获得的大量数据，可以对产品的质量和性能做出较为客观的评价，能为设计人员进行最佳设计、为工艺人员改进工艺操作提供可靠的依据。

测试技术在自动控制系统中也是一个十分重要的环节。利用测试技术可以对生产系统中的一些非电参数及其变化进行实时测试，最终可以作为反馈信号对自动控制系统进行控制，使系统运行在最佳状态。在自动控制系统中，测试技术的水平是衡量自动控制技术水平的一个重要标志。

测试技术在日常生活中的应用也非常广泛，它在一定程度上提高了人们的生活水平，如家电中的冰箱、空调就是测试技术在温度控制方面的典型应用。

## 1.2 传感器技术

传感器技术是实现测试与自动控制的重要环节。在测试系统中，传感器被视为仪表，其主要作用是能准确传递和检测出某一形态的信息，并将其转换成另一形态的信息。

### 1.2.1 传感器的定义、组成、分类

#### 1. 传感器的定义

传感器 (transducer/sensor) 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号进行输出，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。

国家标准《传感器通用术语》(GB 7665—2005) 给出的传感器的定义是：“能感受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，通常由敏感元件和转换元件组成。”这一定义表明：

(1) 传感器是一种实物测量装置，可用于对指定的被测量进行检测。

(2) 它能感受某种被测量 (传感器的输入量)，如某种非电的物理量、化学量、生物量的大小，并把被测量按一定规律转换成便于人们应用、处理的另一种参量 (传感器的输出量)，这一参量通常为电参量。

(3) 在传感器规定的精确度范围内，它的输出量与输入量具有对应关系。

#### 2. 传感器的组成

传感器通常是由敏感元件、转换元件和基本转换电路 3 部分组成的，组成框图如图 1-5 所示。

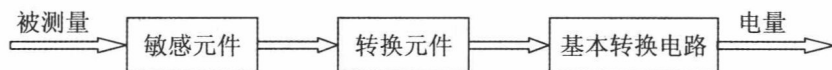


图 1-5 传感器的组成框图

敏感元件是指传感器中直接感受被测量的部分；转换元件通常是指将敏感元件在传感器内部的输出转换为便于人们应用、处理外部输出信号的部分；由于传感器的输出信号非常微弱，所以除了敏感元件和转换元件两大部分外，还需要加入转换电路和辅助电源，以便对弱小的信号进行放大，这部分即为基本转换电路。

实际上有一些传感器很简单，而有一些则很复杂，并不是所有的传感器都能明显分出敏感元件、转换元件和基本转换电路的。

虽然一些国家和某些学科领域也将传感器称为检测器、探测器、转换器等，但这些称呼的内容都相同或相似。