



無錫職業技術學院

国家示范性高职院校建设项目成果

机电一体化专业

# 传感器与检测技术

俞云强 编著



高等教育出版社  
Higher Education Press

国家示范性高职院校建设项目成果

# 传感器与检测技术

俞云强 编著  
倪森寿 主审



高等教育出版社

## 内容简介

本书介绍了传感器与检测技术的基本概念、特性、作用以及发展趋势；各类常用传感器的基本结构、主要性能和工作原理；传感器的测量电路和应用实例；传感器的选用知识；测量及误差处理的基本知识；检测系统的基本组成、主要部件和系统的抗干扰技术等。

本书在内容编排上，由实例引入，采用任务引领的项目课程教学方式，将传感器与检测技术的技能和知识点融入项目的工作任务之中，减少了复杂公式的推导过程，增加了大量传感器的性能介绍和在实际工作、生活中的应用实例。

本书可作为高等职业技术学院机电一体化、电气自动化、应用电子等专业的教学用书，也可作为有关工程技术人员的参考与自学用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

传感器与检测技术/俞云强编著. —北京：高等教育出版社，2008.11

ISBN 978-7-04-025626-0

I. 传… II. 俞… III. 传感器-检测-高等学校：技术学校-教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 170254 号

策划编辑 孙杰 责任编辑 唐笑慧 封面设计 赵阳 责任绘图 尹莉  
版式设计 陆瑞红 责任校对 张颖 责任印制 韩刚

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京中科印刷有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×1092 1/16	版 次	2008 年 11 月第 1 版
印 张	12.5	印 次	2008 年 11 月第 1 次印刷
字 数	300 000	定 价	18.60 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25626-00

# 前 言

---

随着我国高职教育改革的不断推进，高职教育的教学模式、教学方法在不断地创新，高职教材也必须与之相适应，进行重新调整和定位，突出高职特色，以满足培养技术应用型人才的需要。

本课程教学内容的组织与安排的特点是：由实例引入，采用任务引领的项目课程教学方式，将传感器与检测技术的技能和知识点融入项目的工作任务之中，在符合工作过程的基础上，充分考虑了学习者的认知心理过程，将课程内容划分为8个项目，再细化为多个工作任务的的教学内容，从典型检测对象着手，选择合适的传感器，通过认识该类传感器的外形、性能指标、基本结构和基本概念，再介绍测量原理，在掌握基本知识的基础上，介绍相应的测量转换电路、信号处理电路，来完成检测任务。

本书还介绍了测量及误差处理的基本知识，检测系统的基本组成、主要部件和抗干扰技术等。

本书是编者结合多年来从事传感器与检测技术的教学、科研和生产的实践与体会，学习、吸收了国内外文献资料的精华撰写而成的。本书的编写以“够用、实用”为原则，尽可能地紧密结合生产实践和日常生活，突出应用，满足高职教育的需求。

全书由无锡职业技术学院俞云强编写。无锡职业技术学院倪森寿副教授审阅了全部文稿，在本书的编写过程中，无锡职业技术学院顾京教授、吕玫副教授、陆荣副教授也提出了很多宝贵意见，并提供了很多资料，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有欠妥和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2008年8月

# 目 录

绪论 .....	1
一、传感器与检测技术的作用和地位 .....	1
二、基本概念 .....	2
三、检测系统简介 .....	2
四、传感器与检测技术的发展趋势 .....	4
五、本课程的内容、任务和学习方法 .....	5
[思考与练习题] .....	6
项目一 温度检测 .....	7
任务一 轧钢炉的温度检测 .....	8
* 任务提出 .....	8
* 相关知识 .....	8
一、热电偶的外形结构、种类和特性 .....	9
二、热电偶的工作原理 .....	11
三、热电偶的基本定律 .....	12
* 任务实施 .....	14
一、合理选择热电偶传感器的类型 .....	14
二、正确使用热电偶传感器 .....	14
* 其他案例 .....	16
任务二 管道温度的检测 .....	17
* 任务提出 .....	17
* 相关知识 .....	17
一、热电阻的外形、结构及性能 .....	17
二、热电阻工作原理 .....	18
* 任务实施 .....	19
一、合理选择热电阻的类型 .....	19
二、正确使用热电阻传感器 .....	19
* 其他案例 .....	19
任务三 电冰箱温度检测 .....	20
* 任务提出 .....	20

* 相关知识 .....	20
一、热敏电阻的外形结构及符号 .....	20
二、热敏电阻的工作原理 .....	20
三、热敏电阻的分类 .....	21
* 任务实施 .....	22
一、合理选择热敏电阻的类型 .....	22
二、正确使用热敏电阻传感器 .....	22
* 其他案例 .....	22
任务四 空调器的温度检测 .....	24
* 任务提出 .....	24
* 相关知识 .....	25
一、AD590 系列集成温度传感器 .....	25
二、AN6701S 集成温度传感器 .....	26
* 任务实施 .....	26
一、合理选择集成温度传感器的类型 .....	26
二、正确使用 AN6701S 集成温度传感器 .....	26
* 其他案例 .....	27
任务五 非接触式体温检测 .....	28
* 任务提出 .....	28
* 相关知识 .....	28
一、红外辐射 .....	28
二、红外传感器 .....	29
* 任务实施 .....	31
一、合理选择红外传感器的类型 .....	31
二、正确使用红外测温传感器 .....	31
* 其他案例 .....	32
[思考与练习题] .....	34
项目二 力检测 .....	35
任务一 吊杆秤的重量检测 .....	35
* 任务提出 .....	35
* 相关知识 .....	35
一、测力传感器的弹性敏感元件 .....	35
二、电阻应变式传感器 .....	36
三、压阻式传感器 .....	40
* 任务实施 .....	42
一、合理选择测力传感器的类型 .....	42
二、正确使用测力传感器 .....	42

* 其他案例 .....	47
任务二 桥墩水下部位缺陷的检测 .....	48
* 任务提出 .....	48
* 相关知识 .....	48
一、压电传感器的外形、技术指标和压电材料的外形 .....	48
二、压电传感器的工作原理 .....	49
三、压电传感器的等效电路与测量电路 .....	51
四、压电传感器的使用注意事项 .....	52
* 任务实施 .....	52
一、合理选择压电传感器的类型 .....	52
二、正确使用压电式加速度传感器 .....	52
* 其他案例 .....	53
[思考与练习题] .....	55
<b>项目三 位移检测</b> .....	57
任务一 轴承滚柱的直径检测 .....	57
* 任务提出 .....	57
* 相关知识 .....	57
一、电感测微传感器的外形 .....	58
二、自感式电感传感器 .....	58
三、互感式电感传感器 .....	63
* 任务实施 .....	65
一、合理选择电感传感器 .....	65
二、正确使用电感传感器 .....	66
* 其他案例 .....	68
任务二 振动和偏心检测 .....	69
* 任务提出 .....	69
* 相关知识 .....	69
一、电涡流传感器的外形结构和性能指标 .....	69
二、电涡流传感器的工作原理 .....	70
三、高频反射式电涡流传感器 .....	70
四、低频透射式电涡流传感器 .....	71
五、电涡流传感器的测量电路 .....	71
* 任务实施 .....	72
一、合理选择电涡流传感器 .....	72
二、正确使用电涡流传感器 .....	72
* 其他案例 .....	75
任务三 数控机床的位移检测（光栅传感器） .....	77

* 任务提出 .....	77
* 相关知识 .....	77
一、光栅传感器的外形与结构 .....	77
二、光栅的类型与结构 .....	77
三、莫尔条纹及特性 .....	78
四、光栅传感器的组成 .....	79
五、光栅传感器测量位移的原理 .....	79
六、光栅传感器的测量电路 .....	80
* 任务实施 .....	83
一、合理选择光栅传感器 .....	83
二、正确使用直线光栅位移传感器 .....	83
任务四 数控机床的位移检测 (磁栅传感器) .....	84
* 任务提出 .....	84
* 相关知识 .....	84
一、磁栅传感器的外形结构 .....	84
二、磁栅的结构 .....	84
三、磁头的结构和原理 .....	85
四、磁栅传感器的组成和测量原理 .....	86
* 任务实施 .....	86
一、合理选择磁栅传感器 .....	86
二、正确使用磁栅位移传感器 .....	87
[思考与练习题] .....	87
<b>项目四 速度检测</b> .....	89
* 任务提出 .....	89
任务一 机床转轴的转速检测 (霍尔传感器) .....	89
* 相关知识 .....	89
一、霍尔传感器的外形结构和性能 .....	90
二、霍尔传感器的工作原理 .....	91
三、霍尔传感器的测量电路及补偿 .....	93
四、霍尔集成传感器 .....	94
* 任务实施 .....	94
一、合理选择霍尔传感器的类型 .....	94
二、正确使用霍尔传感器 .....	94
* 其他案例 .....	97
任务二 机床转轴的转速检测 (磁电传感器) .....	99
* 相关知识 .....	99
一、磁电传感器的工作原理 .....	99



二、变磁通式磁电传感器.....	100
三、恒磁通式磁电传感器.....	100
* 任务实施.....	100
一、合理选择磁电传感器的类型.....	100
二、正确使用变磁通式磁电传感器.....	101
* 其他案例.....	102
任务三 机床转轴的转速检测（光电传感器）.....	103
* 相关知识.....	103
一、光电传感器的工作原理.....	103
二、光电元件.....	104
三、光电传感器的组成及原理.....	107
* 任务实施.....	108
一、合理选择光电传感器的类型.....	108
二、正确使用光电传感器.....	108
* 其他案例.....	109
任务四 机床转轴的转速检测（光电编码器）.....	114
* 相关知识.....	114
一、光电编码器和码盘的外形.....	114
二、增量式光电编码器.....	114
三、绝对式光电编码器.....	115
* 任务实施.....	116
一、合理选择光电编码器的类型.....	116
二、正确使用增量式光电编码器.....	116
[思考与练习题] .....	118
<b>项目五 液位检测</b> .....	120
任务一 汽车油箱的液位检测.....	120
* 任务提出.....	120
* 相关知识.....	120
一、电容式液位传感器的外形.....	120
二、几种电容传感器的结构.....	121
三、电容传感器的工作原理.....	121
四、电容传感器的测量电路.....	124
* 任务实施.....	127
一、合理选择电容式液位传感器.....	127
二、正确使用电容式液位传感器.....	128
* 其他案例.....	130
任务二 高压密闭容器的液位检测.....	133

* 任务提出	133
* 相关知识	133
一、超声波传感器的外形结构和特性	133
二、超声波的特性	134
三、超声波探测用耦合剂	134
* 任务实施	135
一、合理选择超声波传感器的类型	135
二、正确使用超声波液位传感器	135
* 其他案例	136
[思考与练习题]	138
<b>项目六 气体检测</b>	140
任务 厨房可燃气体泄漏检测	140
* 任务提出	140
* 相关知识	140
一、气敏电阻的外形和结构	140
二、气敏电阻的组成、工作原理及特性	141
三、接触燃烧式气敏传感器	142
* 任务实施	142
一、合理选择气敏传感器的类型	142
二、正确使用气敏电阻和报警器	142
* 其他案例	144
[思考与练习题]	146
<b>项目七 湿度检测</b>	147
任务 粮仓水分检测	147
* 任务提出	147
* 相关知识	147
一、湿度的概念	147
二、湿敏器件的外形	148
三、湿敏传感器的结构与工作原理	148
四、湿敏传感器的使用注意事项	150
* 任务实施	150
一、合理选择湿度传感器的类型	150
二、正确使用湿敏传感器	151
* 其他案例	152
[思考与练习题]	153

<b>项目八 检测与检测系统</b> .....	154
<b>任务一 检测基本知识</b> .....	154
一、测量的概念及方法 .....	154
二、测量误差的分析基础 .....	156
三、测量误差的分类 .....	157
四、测量误差的处理 .....	158
五、检测系统的特性 .....	162
<b>任务二 检测系统</b> .....	164
一、检测系统的组成和工作原理 .....	164
二、检测系统各部分介绍 .....	164
<b>任务三 传感器的选用知识</b> .....	170
一、传感器的选择要求 .....	170
二、选择传感器的原则 .....	171
<b>任务四 检测系统的抗干扰技术</b> .....	171
一、两种测量干扰 .....	171
二、外部干扰的抑制 .....	172
三、内部干扰的抑制 .....	173
<b>[思考与练习题]</b> .....	173
 <b>附录</b> .....	174
附录 1 热电偶分度表 .....	174
附录 2 热电阻分度表 .....	182
附录 3 测量的基准、标准和单位制简介 .....	183
附录 4 几种常用传感器的性能比较 .....	184
 <b>参考文献</b> .....	186

# 绪 论



## 教学目标

1. 掌握检测技术的一些基本概念。
2. 了解检测技术的作用和地位。
3. 掌握检测系统和传感器的组成并了解各组成部分的作用。
4. 了解检测系统的主要应用及检测技术的发展方向。
5. 了解本课程的内容、任务和学习方法。

在科学技术高速发展的现代社会，人类已进入瞬息万变的信息时代。世界各国纷纷加快信息化建设步伐，而传感器与检测技术正是实现信息化、自动化的基础和前提。它汇集和包容了多种学科的成果，是人类探索自然界、实现自动测量和自动控制的首要环节。

### 一、传感器与检测技术的作用和地位

人类是通过耳、眼、鼻、舌、皮肤所具有的听、视、嗅、味、触觉功能来感知外界事物的。在工农业生产、科学研究和日常生活中，来自生产过程和自然界的各种信息是通过传感器进行采集的，通常人们把传感器比作人的感觉器官，计算机比作人的大脑，执行器比作人的四肢，如图 0-1 所示。因此传感器是系统对外猎取信息的窗口。

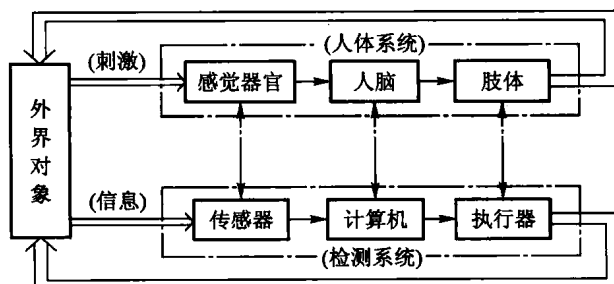


图 0-1 检测系统与人体系统的对照图

在工业生产中，采用各种检测技术对生产全过程进行检查、监测，是确保安全生产、保证产品质量、提高产品合格率、降低能耗和原材料消耗、提高劳动生产率和经济效益的重要

手段。

在各种现代装备系统中，检测技术是其安全经济运行的重要保证，是其先进性和实用性的重要标志。检测系统的成本一般已达到该装备系统总成本的50%~70%，甚至更高。

在自动控制系统中，检测技术是不可缺少的组成部分。要实现自动化，只有精确检测出被控对象的参数并转换成易于处理的信号，控制系统才能正常地工作。

在人们的日常生活中，检测技术也是随处可见的。家庭室内的温湿度、防火、防盗、煤气的检测，装饰材料有害成分是否超标的检测，自动洗衣机、空调、冰箱、电子血压计等都离不开检测技术。

在现代国防工业中，飞机、潜艇、火箭、导弹等都装备了大量的传感器，检测技术水平越高，其性能就越好。

在医疗检查中，检测设备可大大提高疾病的检查、诊断速度和准确性。

可见，检测技术已进入现代社会的方方面面，现代科学技术的进步、生产自动化水平的提高、人们生活水平的改善都离不开检测技术。

## 二、基本概念

### 1. 测量

测量是将被测量与同性质的标准量通过专门的技术和设备进行比较，从而获取被测量是标准量的多少倍的过程。

### 2. 检验

检验只需分辨出参数量值所归属的某一范围带，以此判别被测参数是否合格或现象是否存在。

### 3. 计量

计量也是一种测量，一般是指用精度等级更高的标准量具、器具或标准仪器对送检品的鉴定测量，具有非实时和标定的性质。

### 4. 检测

检测是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性的了解和定量的掌握所采取的一系列技术措施，是更为广泛的测量。

或者，检测是对未知量或欲控量进行不断地测量、检验，并把测量结果进行转换、处理的过程。

### 5. 检测技术

检测技术是对生产过程和运动对象实施定性检查和定量测量的技术。

### 6. 自动检测与转换技术

自动检测与转换技术是能够自动地完成整个检测处理过程的技术。

## 三、检测系统简介

### (一) 检测系统的组成

#### 1. 检测系统的组成框图

检测系统的组成框图如图0-2所示。

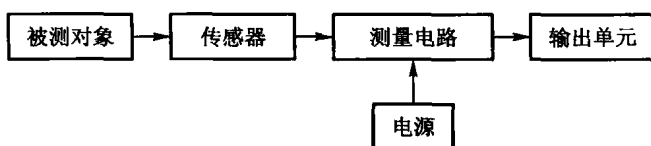


图 0-2 检测系统的组成框图

## 2. 检测系统的组成及功能

检测系统由传感器、测量电路、输出单元及电源等组成，它们分别完成信息的获取、转换、显示和处理等功能。

### (二) 传感器

#### 1. 定义

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为另一种与之有确定对应关系的并且便于测量的量的装置。

它有 4 层含义。

- ① 测量装置——完成信息的获取任务。
- ② 输入量——某一被测量。它可以是物理量、化学量、生物量等。
- ③ 输出量——某种便于传输、转换、处理和显示的物理量。它可以是光、气或电量，但主要是电量。
- ④ 一定的精确度——保证测量的准确性。

#### 2. 组成

传感器一般由敏感元件、转换元件和基本转换电路 3 部分组成，如图 0-3 所示。

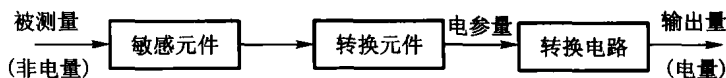


图 0-3 传感器的组成框图

- ① 敏感元件：直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。
- ② 转换元件：将敏感元件的输出量转换成电路参数量的元件。
- ③ 转换电路：电参量转换成可直接利用的电信号。

需要说明的是有些被测非电量可直接变换为电参量，这时传感器中的敏感元件和转换元件就合二为一了。

#### 3. 分类

① 按照被测物理量分：温度、压力、位移、转速、加速度、位置、湿度、气体浓度、流量、流速等传感器。

- ② 按照传感器的工作原理分：
- |      |   |          |
|------|---|----------|
| 电参数型 | { | 电阻、电感、电容 |
|      |   | 频率       |
| 电量型  | { | 计数       |
|      |   | 电动势      |
|      |   | 电荷       |

- ③ 按照转换能量分：
  - 能量转换型——发电型，无需外加电源，如热电偶、压电片
  - 能量控制型——参量型，需外加电源，如电阻传感器、电容传感器、电感传感器
- ④ 按照转换机理分：
  - 结构型——传感器的结构发生变化，如电容传感器
  - 物性型——某些物质的某些性质随被测参数变化，如半导体传感器、压电传感器

### (三) 测量电路

将传感器的输出信号转换成易于测量的电压或电流信号。通常传感器输出信号是很微弱的，需经测量电路放大、处理后才能显示、记录。不同的传感器所要求的测量电路是不同的。

### (四) 输出单元

包含显示装置、打印装置、记录装置、数据通信接口和控制执行装置等。它使人们能了解检测数值的大小和变化，并能完成控制和保护操作等功能。

## 四、传感器与检测技术的发展趋势

随着时代的发展，现代化步伐的加快，人们对检测技术的要求越来越高。而科学技术，特别是大规模集成电路技术、新材料技术、微型计算机技术和机电一体化技术等的不进步，大大促进了传感器与检测技术的发展，主要表现在以下几方面。

### 1. 不断提高传感器检测水平

#### (1) 发现新效应

传感器的工作原理是基于各种物理、化学和生物的现象和效应，探索新现象、发现新效应是传感器发展的一项重要工作，是研制新型传感器的重要基础。它为提高传感器的性能、扩大传感器的检测极限和拓展传感器的应用领域提供了新的可能。

#### (2) 开发新材料

传感器材料是传感器发展的重要基础，随着物理学和材料学的发展，人们可以根据所需材料功能的要求来控制材料的成分，制造出各种新型传感器的功能材料。

#### (3) 采用新技术、新工艺

将硅集成电路技术加以移植并发展，形成传感器的微细加工技术。这种技术能将电路尺寸加工到光波长数量级，形成低成本超小型传感器的批量生产，可极大地提高传感器的性能指标，实现传感器的微型化。

#### (4) 传感器的集成化

利用集成加工技术，将敏感元件、转换元件、转换电路、测量电路、补偿电路等制作在同一芯片上，使传感器具有高可靠性、高稳定性、体积小、成本低、电路设计简单、安装调试方便等优点。

#### (5) 传感器的智能化

将传感器与微处理器集成在同一芯片上，使它不仅具有信号检测与转换的功能，而且还具有记忆、存储、处理、自诊断、自校正和自适应等功能，实现传感器的智能化。

#### (6) 仿生传感器

仿生传感器是模仿人的感觉器官的传感器。至今真正能代替人的感觉器官功能的传感器还

极少,在当今机器人技术向智能化高级机器人发展的时代,需要加速研究,跟上机器人发展的步伐。

### 2. 不断拓展测量范围,提高检测精度和可靠性

随着科学技术的不断发展,对检测系统的性能要求,特别是精度、测量范围和可靠性指标的要求越来越高。如测高温,尽管目前已研制和生产出最高上限超过 $2\ 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热电偶,但测温范围一旦超过 $2\ 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,其准确度将下降,而且极易氧化,严重影响测量可靠性和使用寿命。因此,寻找能可靠测量高温的新材料、新方法,研制出相应的测温传感器是要解决的一个课题。事实上,目前在超高温检测、超低温检测、超高压检测、高温高压下物质成分检测、分子量检测、高精度检测、大吨位重量检测、微差压检测、脉动流量检测、混相流量检测等方面都是需要攻克检测难题。

### 3. 推进新的检测方法,发展非接触法检测技术

在检测过程中,把传感器置于被测对象上,可灵敏地感知被测量的变化,这种接触式检测方法直接、可靠、测量精度较高,但在某些情况下,传感器的装入会影响测量精度或根本不能装入传感器,这就要用非接触式检测。目前,已有光电传感器、电涡流传感器、超声波传感器、核辐射传感器等得到了广泛的应用,今后将更快地发展非接触法检测技术,改进和克服非接触法检测易受外界干扰及检测绝对精度较低等缺点。

### 4. 实现检测系统智能化

随着集成电路技术的快速发展,微处理器等电路的成本和价格不断下降,集成度和功能不断提高,为检测系统的智能化创造了有利的条件。智能化检测系统以计算机为中心,进行电量、非电量的多种测量,多输入通道的多点测量,在线动态实时测量,信号的分析处理,排除噪声干扰,消除偶然误差,修正系统误差等,以实现测量结果的高准确度和对被测信号的高分辨率。

## 五、本课程的内容、任务和学习方法

本课程是机电一体化、自动控制、电气自动化、应用电子等专业的一门专业课程,要求学生能认识常用传感器,掌握其工作原理、输出特性、误差补偿,理解各种测量转换电路,了解传感器的典型应用等知识,达到能正确使用常用传感器的目的。

检测技术的主要内容包括了自动检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理,测量理论、测量方法,相应的测量工具、装置,以及对测量结果进行正确的处理分析。它涵盖了传感器技术、误差理论、测试计量技术、抗干扰技术以及电量间的互相转换技术等。

本课程教学内容的组织与安排:在符合工作过程的基础上,充分考虑了学习者的认知心理过程,将课程内容划分为8个项目,再细化为多个工作任务的教学内容,从典型检测对象着手,选择合适的传感器,通过认识该类传感器的外形、性能指标,再介绍测量原理,在掌握基本知识的基础上,介绍相应的测量转换电路、信号处理电路,来完成该类检测任务。

本课程的任务是:在阐明测量基本原理的基础上,逐一分析各种传感器是如何将非电量转换为电量的,并介绍相应的测量转换电路、信号处理电路及各种传感器在工业中的应用。

本课程的学习方法是:要理论联系实际,举一反三,富于联想,善于借鉴,关心和观察周围的各种机械、电气等设备,重视实验和实训,这样才能学得活、学得好,才有利于提高今后解决实际问题的能力。



[思考与练习题]

- 0-1 什么是测量、检测？举两个例子说明。
- 0-2 描述自动检测系统的组成，说明各部分的作用，并举例说明。
- 0-3 简述传感器的组成和各部分的作用。
- 0-4 说出日常生活中见到、用过的传感器，它们检测的各是什么非电量？