



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
国家精品课程教材

Sensor and  
Detecting Technology

# 传感器与检测技术

第2版

◎ 胡向东 等编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



013066749

TP212-43  
43-2

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
国家精品课程教材  
重庆市精品资源共享课教材  
重庆市普通高等教育本科“十二五”规划教材

# 传感器与检测技术

## 第2版

胡向东 李锐 程安宇 等编著  
仇国庆 耿道渠 朴昌浩



机械工业出版社



北航

C1674585

TP212-43  
43-2

013088439

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材、国家精品课程教材。本书全面介绍了传感器与检测技术的基本概念、基本原理和典型应用。按照传感器原理、检测技术与检测系统三大模块组织内容,分为概述、传感器的基本特性、电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、磁敏式传感器、热电式传感器、光电式传感器、辐射与波式传感器、化学传感器、生物传感器、新型传感器;参数检测、微弱信号检测、软测量、多传感器数据融合、测量不确定度与回归分析;虚拟仪器、自动检测系统。本书体系结构优化,内容上注重经典与现代的结合、传感器原理与检测技术的结合,目标上强调发散性思维能力训练和工程实践应用与创新能力的培养。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、电子信息工程、物联网工程、智能电网信息工程、车辆工程、交通工程、计算机应用、物理等专业本科生教材,也可供从事传感器与检测技术相关领域应用和设计开发的研究人员、工程技术人员参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/胡向东等编著. —2版. —北京:机械工业出版社, 2013. 8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 国家精品课程教材  
ISBN 978-7-111-42870-1

I. ①传… II. ①胡… III. ①传感器-检测-高等学校-教材  
IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第127703号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于苏华 责任编辑:于苏华 王寅生

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:张静 责任印制:杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2013年9月第2版第1次印刷

184mm×260mm·27印张·685千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42870-1

定价:52.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版



“学而不思则罔，思而不学则殆”

本书所遵从的基本理念：教育最重要的是充分利用优质教学资源培养人一种追求进步的科学精神，激发起基于实践探索未知的无穷兴趣！

**本书是：**

- ◇ “十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
- ◇ 国家精品课程教材
- ◇ 重庆市精品资源共享课教材
- ◇ 重庆市普通高等教育本科“十二五”规划教材

**本书所服务的本科专业包括：**

- ◇ 国家级特色专业
- ◇ 教育部卓越工程师培养计划入选专业
- ◇ 测控技术与仪器、自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化等面向传统制造业的专业
- ◇ 物联网工程、智能电网信息工程等面向战略性新兴产业的专业

**本书的特色：**

- ◇ 体系结构优化、重点突出、现实感强、资源丰富，体现“以学习者为中心”的写作定位
- ◇ 形式上追求贯穿学习过程的目标导向与“学”“思”交融的学习模式
- ◇ 内容上注重经典知识与前沿技术的结合
- ◇ 目标上强调工程实践应用与创新能力培养



题参考答案(完全版)和精品资源共享课网站,提供课内学习与课外拓展、课程学习与自评自测相结合的集成学习环境。更多的信息请访问:<http://ac.cqupt.edu.cn/asp/course/sensor/>。本书体现了“以学习者为中心”的写作定位。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、电子信息工程、物联网工程、智能电网信息工程、车辆工程、交通工程、计算机应用、物理等专业本科生教材,也可供从事传感器与检测技术领域应用和设计开发的研究人员、工程技术人员参考。

本书由胡向东、李锐、程安宇、仇国庆、耿道渠、朴昌浩、余成波等编著,向敏、徐洋、赵双、蔡军、张毅、张登国、蒋琳等参加了资料的搜集、案例的撰写或修改意见的提供;许宏如、韩恺敏、王凯、秦晓鹏、牟海明、刘竹林、徐慧芬、龚子谟、成勇等研究生参与了部分书稿的资料整理、图表绘制等工作;胡向东负责全书的统稿。要特别感谢清华大学王俊杰教授、天津大学曾周末教授、靳世久教授、东南大学周杏鹏教授、燕山大学侯培国教授、上海交通大学蔡萍教授、电子科技大学陈光祚教授、重庆大学石为人教授、陈伟民教授、王代华教授和重庆邮电大学陈流汀教授、杜惠平教授、刘宴兵教授、鲜继清教授等在课程和教材建设与改革过程中给予的指导、支持和帮助,以及参考文献中所列各位作者,包括众多未能在参考文献中一一列出的作者,正是因为他们各自领域的独到见解和特别的贡献为编著者提供了宝贵而丰富的参考资料,才能够在总结现有成果基础上,汲取各家之长,不断凝练提升,最终再版形成了这本《传感器与检测技术》国家级规划教材。

本书的编著受到重庆市高等教育教学改革研究重大课题(1201004)和一般课题(113029)的指导,同时得到了国家自然科学基金面上项目(61170219)、重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2013jcyjA40002)、重庆市高等学校优秀人才支持计划项目(渝教人[2011]65号)以及机械工业出版社的资助。

传感器与检测技术内容丰富、应用广泛,且技术本身处于不断的发展进步中,本书的出版是我们在此领域的再一次努力尝试。限于自身的水平和学识,书中难免存在疏漏和错误之处,诚望读者不吝赐教,以利修正,让更多的读者获益。编著者电子邮箱:huxd@cqupt.edu.cn。

编著者

2013年7月



# 目 录

## 第2版前言

## 上篇 传感器原理

### 第1章 概述 ..... 1

#### 1.1 课程简介 ..... 1

##### 1.1.1 本课程的地位和作用 ..... 1

##### 1.1.2 本课程内容体系结构 ..... 3

##### 1.1.3 本课程的任务及要求 ..... 4

#### 1.2 传感器的定义与组成 ..... 6

#### 1.3 传感器的分类 ..... 7

#### 1.4 传感器技术的发展 ..... 10

##### 1.4.1 传感器性能的改善 ..... 10

##### 1.4.2 开展基础理论研究 ..... 11

##### 1.4.3 传感器的集成化 ..... 12

##### 1.4.4 传感器的智能化 ..... 13

##### 1.4.5 传感器的网络化 ..... 13

##### 1.4.6 传感器的微型化 ..... 13

#### 能力拓展：生活中的传感器 ..... 14

#### 习题云 ..... 14

### 第2章 传感器的基本特性 ..... 15

#### 2.1 传感器的静态特性 ..... 15

##### 2.1.1 线性度 ..... 16

##### 2.1.2 灵敏度 ..... 16

##### 2.1.3 分辨率 ..... 17

##### 2.1.4 迟滞 ..... 17

##### 2.1.5 重复性 ..... 18

##### 2.1.6 漂移 ..... 18

#### 2.2 传感器的动态特性 ..... 18

##### 2.2.1 传感器的数学模型 ..... 19

##### 2.2.2 传递函数 ..... 20

##### 2.2.3 频率响应函数 ..... 20

#### 2.2.4 传感器的动态特性分析 ..... 20

#### 2.3 传感器的标定与校准 ..... 24

##### 2.3.1 静态标定 ..... 25

##### 2.3.2 动态标定 ..... 25

#### 能力拓展：实现不失真测量的条件 ..... 26

#### 习题云 ..... 26

### 第3章 电阻式传感器 ..... 28

#### 3.1 工作原理 ..... 28

##### 3.1.1 应变效应 ..... 29

##### 3.1.2 应变片种类 ..... 30

##### 3.1.3 电阻应变片温度误差及其补偿 ..... 31

##### 3.1.4 工程测试中的注意事项 ..... 34

#### 3.2 测量电路 ..... 35

##### 3.2.1 直流电桥 ..... 35

##### 3.2.2 交流电桥 ..... 38

#### 3.3 典型应用 ..... 41

##### 3.3.1 电阻式力传感器 ..... 41

##### 3.3.2 电阻式压力传感器 ..... 44

##### 3.3.3 电阻式差压传感器 ..... 45

##### 3.3.4 电阻式液体重量传感器 ..... 47

##### 3.3.5 电阻式加速度传感器 ..... 48

#### 能力拓展一：电子秤的设计 ..... 49

#### 能力拓展二：数字血压计的设计 ..... 49

#### 习题云 ..... 49

### 第4章 电感式传感器 ..... 51

#### 4.1 变磁阻电感式传感器 ..... 51

##### 4.1.1 工作原理 ..... 51

##### 4.1.2 输出特性 ..... 53

4.1.3 测量电路	56	6.2 测量电路	101
4.1.4 变磁阻电感式传感器的应用	58	6.2.1 等效电路	101
4.2 差动变压器电感式传感器	59	6.2.2 测量电路	101
4.2.1 变隙式差动变压器	59	6.2.3 压电元件的连接	104
4.2.2 螺线管式差动变压器	62	6.3 典型应用	105
4.2.3 差动变压器电感式传感器的应用	68	6.3.1 压电式力传感器	105
4.3 电涡流电感式传感器	68	6.3.2 压电式加速度传感器	106
4.3.1 工作原理	69	6.3.3 压电式交通检测	106
4.3.2 等效电路	70	能力拓展: 压电式传感器在汽车中的应用	107
4.3.3 测量电路	71	习题云	108
4.3.4 电涡流电感式传感器的应用	72	<b>第7章 磁敏式传感器</b>	<b>109</b>
能力拓展一: 电感式传感器在滚珠直径自动分选与计数中的应用	73	7.1 磁电感应式传感器	109
能力拓展二: 电涡流式安全门的应用调查与原理分析	73	7.1.1 工作原理	110
习题云	73	7.1.2 测量电路	114
<b>第5章 电容式传感器</b>	<b>75</b>	7.1.3 磁电感应式传感器的应用	114
5.1 工作原理	75	7.2 霍尔式传感器	116
5.1.1 变面积型	78	7.2.1 工作原理	116
5.1.2 变介质型	79	7.2.2 测量电路	121
5.1.3 变极距型	81	7.2.3 霍尔式传感器的应用	121
5.2 测量电路	84	能力拓展: 基于霍尔元件的油气管道无损探伤系统的设计	123
5.2.1 调频电路	84	习题云	124
5.2.2 运算放大器	85	<b>第8章 热电式传感器</b>	<b>125</b>
5.2.3 变压器式交流电桥	86	8.1 热电偶	126
5.2.4 二极管双T型交流电桥	86	8.1.1 热电偶测温原理	126
5.2.5 脉冲宽度调制电路	87	8.1.2 热电偶的结构与种类	134
5.3 典型应用	90	8.1.3 热电偶的冷端温度补偿	135
5.3.1 电容式压力传感器	91	8.1.4 热电偶的实用测温电路	139
5.3.2 电容式位移传感器	92	8.1.5 热电偶的选用与安装	140
5.3.3 电容式加速度传感器	92	8.1.6 热电偶的应用	141
5.3.4 电容式厚度传感器	93	8.2 热电阻	142
能力拓展: 工业生产料位测量方案的设计	93	8.2.1 铂热电阻	142
习题云	93	8.2.2 铜热电阻	143
<b>第6章 压电式传感器</b>	<b>95</b>	8.2.3 热电阻的测量电路	144
6.1 工作原理	95	8.2.4 热电阻的应用	146
6.1.1 压电效应	95	8.3 热敏电阻	146
6.1.2 压电材料	96	8.3.1 热敏电阻的特性	147
		8.3.2 热敏电阻的应用	148
		能力拓展: 火灾探测报警系统设计	149



习题云 .....	149	10.3.1 工作原理 .....	212
<b>第9章 光电式传感器</b> .....	<b>150</b>	10.3.2 超声波传感器的应用 .....	215
9.1 概述 .....	150	能力拓展一: 入侵探测报警系统的设计 .....	221
9.1.1 光电式传感器的类别 .....	151	能力拓展二: 红外无损探伤 .....	221
9.1.2 光电式传感器的基本形式 .....	151	习题云 .....	221
9.2 光电效应与光电器件 .....	153	<b>第11章 化学传感器</b> .....	<b>222</b>
9.2.1 外光电效应型光电器件 .....	153	11.1 气敏传感器 .....	222
9.2.2 内光电效应型光电器件 .....	157	11.1.1 气敏传感器概述 .....	223
9.3 CCD 图像传感器 .....	168	11.1.2 半导体式气敏传感器的 工作原理 .....	225
9.3.1 CCD 的工作原理 .....	169	11.1.3 气敏传感器的应用 .....	228
9.3.2 CCD 图像传感器的分类 .....	172	11.2 湿敏传感器 .....	230
9.3.3 CCD 图像传感器的特性参数 .....	173	11.2.1 湿敏传感器概述 .....	231
9.3.4 CCD 图像传感器的应用 .....	175	11.2.2 湿敏传感器的工作原理 .....	232
9.4 光纤传感器 .....	176	11.2.3 湿敏传感器测量电路 .....	236
9.4.1 光纤 .....	177	11.2.4 湿敏传感器的应用 .....	237
9.4.2 光纤传感器的组成与分类 .....	178	能力拓展: 防止酒后开车控制器的设计 .....	238
9.4.3 光纤传感器的应用 .....	180	习题云 .....	239
9.5 光电式编码器 .....	183	<b>第12章 生物传感器</b> .....	<b>240</b>
9.5.1 码盘式编码器 .....	183	12.1 概述 .....	240
9.5.2 脉冲盘式编码器 .....	186	12.1.1 生物传感器的概念 .....	240
9.5.3 光电式编码器的应用 .....	188	12.1.2 生物传感器的特点 .....	241
9.6 计量光栅 .....	189	12.1.3 生物传感器的分类 .....	241
9.6.1 光栅的结构和工作原理 .....	190	12.1.4 生物传感器的应用 .....	242
9.6.2 计量光栅的组成 .....	191	12.2 工作原理 .....	243
9.6.3 计量光栅的应用 .....	194	12.2.1 生物分子特异性识别 .....	243
能力拓展一: 光电式传感器应用调查 .....	195	12.2.2 生物放大 .....	244
能力拓展二: 光电器件在工业烟尘浊度监测 中的应用 .....	195	12.2.3 信号转换与处理 .....	244
能力拓展三: 手机生产线表面安装元件定位 检测与控制系统设计 .....	195	12.2.4 几种主要生物传感器 .....	245
习题云 .....	196	12.3 生物芯片 .....	248
<b>第10章 辐射与波式传感器</b> .....	<b>197</b>	12.4 生物传感器的发展 .....	249
10.1 红外传感器 .....	197	能力拓展: 生物传感器的应用状况调查 .....	249
10.1.1 工作原理 .....	197	习题云 .....	250
10.1.2 红外传感器的应用 .....	200	<b>第13章 新型传感器</b> .....	<b>251</b>
10.2 微波传感器 .....	205	13.1 智能传感器 .....	251
10.2.1 工作原理 .....	205	13.1.1 智能传感器的特点 .....	252
10.2.2 微波传感器的应用 .....	207	13.1.2 智能传感器的作用 .....	252
10.3 超声波传感器 .....	211	13.1.3 智能传感器的设计 .....	253

13.1.4 智能传感器的实现	255	13.3.6 热敏电阻式微传感器	273
13.1.5 智能传感器的应用实例	255	13.4 网络传感器	273
13.2 模糊传感器	257	13.4.1 网络传感器的概念	273
13.2.1 模糊传感器概述	258	13.4.2 网络传感器的类型	274
13.2.2 模糊传感器的结构	259	13.4.3 基于 IEEE1451 标准的 网络传感器	275
13.2.3 典型模糊传感器举例	262	13.4.4 网络传感器测控系统体系 结构	281
13.3 微传感器	264	13.4.5 网络传感器的应用前景	282
13.3.1 MEMS 与微加工	264	能力拓展: 新型传感器发展前景预测	282
13.3.2 微传感器概述	266	习题云	282
13.3.3 压阻式微传感器	267		
13.3.4 电容式微传感器	269		
13.3.5 电感式微传感器	271		

## 中篇 检测技术

### 第 14 章 参数检测 284

14.1 概述	284
14.1.1 检测技术的地位和作用	284
14.1.2 参数检测的基本概念	285
14.1.3 工业检测的主要内容	289
14.2 参数检测的一般方法	289
14.2.1 过程参数检测	290
14.2.2 机械量参数检测	298
14.2.3 其他参数检测	301
14.3 检测技术的发展	301
能力拓展: 同一被测量的不同检测方法 比较	302
习题云	302

### 第 15 章 微弱信号检测 303

15.1 概述	303
15.2 噪声	304
15.3 微弱信号检测方法	305
15.3.1 相关检测法	305
15.3.2 同步积累法	310
习题云	314

### 第 16 章 软测量 315

16.1 概述	315
16.2 软测量的方法	316

16.2.1 选择辅助变量	316
16.2.2 处理输入数据	317
16.2.3 建立软测量模型	317
16.2.4 软测量模型的校正	320
16.3 软测量的意义及适用条件	320
习题云	321

### 第 17 章 多传感器数据融合 322

17.1 概述	322
17.1.1 数据融合的起源	322
17.1.2 数据融合的目的	323
17.1.3 数据融合的定义	323
17.1.4 数据融合的特性	324
17.1.5 数据融合的优点	324
17.2 数据融合的基本原理	325
17.2.1 数据融合的层次	325
17.2.2 数据融合的处理形态	326
17.2.3 数据融合模型	326
17.2.4 数据融合的关键技术	328
17.3 数据融合的方法	329
17.3.1 随机类方法	329
17.3.2 人工智能类方法	330
17.4 数据融合系统的应用	331
习题云	333

第 18 章 测量不确定度与回归分析 ... 334

18.1 测量误差概述 ..... 334

18.2 测量误差的处理 ..... 339

    18.2.1 随机误差的处理 ..... 339

    18.2.2 系统误差的处理 ..... 342

    18.2.3 粗大误差的处理 ..... 344

    18.2.4 间接测量误差的传递 ..... 345

    18.2.5 测量误差的合成 ..... 346

    18.2.6 测量误差的分配 ..... 347

18.3 测量不确定度 ..... 349

    18.3.1 概述 ..... 349

    18.3.2 评定方法 ..... 350

18.4 最小二乘法与回归分析 ..... 353

    18.4.1 最小二乘法 ..... 353

    18.4.2 一元线性拟合 ..... 356

    18.4.3 多元线性拟合 ..... 357

    18.4.4 曲线拟合 ..... 357

习题云 ..... 358

下篇 检测系统

第 19 章 虚拟仪器 ..... 359

19.1 概述 ..... 359

    19.1.1 虚拟仪器的基本概念 ..... 359

    19.1.2 虚拟仪器的构成与特点 ..... 360

    19.1.3 虚拟仪器技术的应用 ..... 362

    19.1.4 虚拟仪器的整体设计 ..... 363

    19.1.5 虚拟仪器的发展方向 ..... 364

19.2 虚拟仪器系统的开发环境 ..... 364

    19.2.1 LabWindows/CVI ..... 364

    19.2.2 LabVIEW ..... 368

19.3 虚拟仪器系统的实现 ..... 370

    19.3.1 基于 LabWindows/CVI 的数据采集 ..... 370

    19.3.2 基于 LabVIEW 的数据采集 ..... 370

19.4 基于虚拟仪器的综合工程实例 ..... 373

    19.4.1 概述 ..... 373

    19.4.2 系统关键技术 ..... 374

    19.4.3 系统功能及运行结果 ..... 378

能力拓展：虚拟仪器设计实践 ..... 380

习题云 ..... 381

第 20 章 自动检测系统 ..... 382

20.1 自动检测系统的组成 ..... 382

    20.1.1 数据采集系统 ..... 382

    20.1.2 输入输出通道 ..... 387

20.1.3 自动检测系统的软件 ..... 388

20.2 自动检测系统的设计方法 ..... 390

    20.2.1 系统需求分析 ..... 391

    20.2.2 系统总体设计 ..... 391

    20.2.3 采样速率的确定 ..... 393

    20.2.4 标度变换 ..... 393

    20.2.5 硬件设计 ..... 394

    20.2.6 软件设计 ..... 397

    20.2.7 系统的集成与维护 ..... 398

20.3 典型自动检测系统举例 ..... 398

    20.3.1 自动温度测量系统 ..... 398

    20.3.2 无线传感器网络 ..... 400

    20.3.3 物联网 ..... 407

20.4 自动检测系统的发展 ..... 411

能力拓展一：液体点滴速度监控装置的设计 ..... 413

能力拓展二：无线温度采集系统的设计 ..... 413

能力拓展三：智能环境的设想 ..... 413

习题云 ..... 414

附录 ..... 415

附录 A 传感器样例 ..... 415

附录 B 部分习题参考答案（精减版） ..... 418

参考文献 ..... 420



# 上篇 传感器原理

## 第1章 概述

知识单元 与知识点	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 课程简介；</li> <li>➢ 传感器的定义、传感器的共性、传感器的基本功能；</li> <li>➢ 传感器的组成；</li> <li>➢ 传感器的分类；</li> <li>➢ 传感器技术的发展趋势。</li> </ul>
能力点	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 深入理解传感器的概念；</li> <li>◇ 把握传感器的组成、传感器的基本功能和传感器的共性；</li> <li>◇ 理解传感器的分类方法；</li> <li>◇ 了解传感器技术的发展趋势；</li> <li>◇ 会分析不同传感器的类别；</li> <li>◇ 会结合生活生产实际举例说明传感器的应用。</li> </ul>
重难点	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 重点：传感器的定义、组成、分类。</li> <li>■ 难点：传感器技术的发展趋势。</li> </ul>
学习要求	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 了解本门课程的地位、作用、内容体系结构和任务要求；</li> <li>✓ 熟练掌握传感器的定义、组成；</li> <li>✓ 掌握传感器的分类；</li> <li>✓ 了解传感器技术的发展趋势。</li> </ul>

### 1.1 课程简介

#### 1.1.1 本课程的地位和作用

“传感器与检测技术”是工科电气信息类专业的重要专业（基础）课，有很广的适应面，其覆盖的知识领域如图 1-1 所示。该课程旨在培养学生在电子信息、计算机应用、精密仪器、测量与控制等多领域中，具备生产过程中各种电量、非电量参量的检测（信息采集、变换、分析、处理）、显示、控制及系统的产品设计制造、科技开发、应用研究等方面的能力。本课程定位于为教学研究型大学的自动化、测控技术与仪器、电气工程与自动化、物联网工程、智能电网信息工程等专业的本科学子提供“传感器与检测技术”方面的基础知识

和基本技能的训练，兼顾电子与电气工程、通信工程、车辆工程、交通工程、生物医学工程、物理等专业的人才培养需要；特别强调从应用需求的角度培养学生具备本领域坚实的基础知识与掌握信息的能力，善于观察、发现和提炼问题的能力，善于把握解决问题切入点的能力。

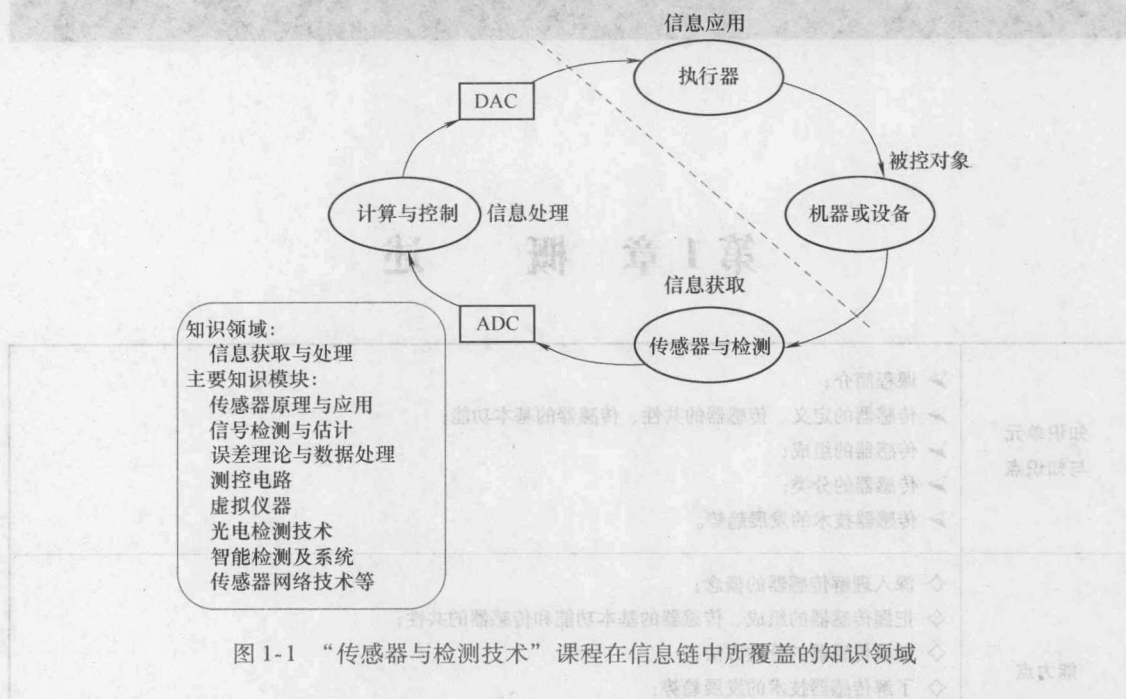


图 1-1 “传感器与检测技术”课程在信息链中所覆盖的知识领域

传感器起源于仿生研究。每一种生物在其生命周期内都需要经常与周围环境交换信息，因此所有生物都有感知周围环境或自身状态的器官或组织。如人的眼、耳、口、鼻、皮肤等，能够获取视觉、听觉、味觉、嗅觉、触觉等信息。传感器位于研究对象与测控系统之间的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口。一切科学实验和生产过程，特别是自动控制系统中要获取的信息，都要首先通过传感器获取并转换为容易传输和处理的电信号。传感器技术可以给人们带来巨大的经济效益和社会效益。自动化水平是衡量一个国家现代化程度的重要指标，而自动化水平的高低将受制于检测、控制类仪表及传感器的种类和数量多少。科技越发达，自动化程度越高，对传感器的依赖也就越强烈。这是自 20 世纪 80 年代以来，世界各国都将传感器技术列为重点优先发展的高技术的原因。

信息技术正在推动着人类社会快速地向发展，传感器是实现物理环境或人类社会信息获取的基本工具，是检测系统的首要环节，是信息技术的源头；感知、通信和计算技术是 ICT (Information and Communications Technology) 技术的三大支柱，传感器与计算机、通信和自动控制技术等一起构成一条从信息获取、处理、传输和决策应用的完整信息链，因此，传感器在信息技术领域具有十分重要的基础性地位和作用。传感器在产品检验和质量控制、系统安全经济运行监测、自动化生产与控制系统的搭建和推动现代科学技术的进步等方面均有重要意义。

近年来，信息技术正经历着日新月异的深刻变革，信息技术正给人们的生产、生活带来巨大的变化。到目前为止，信息产业链中的信息应用（自动化与控制）、信息传输（通信）和信息处理（计算机）等这些与人们对信息的利用越接近的部分得到了很好的发展。目前，世界上许多国家（特别是西方发达国家）已将目光转向信息链的前端——信息获取与处理

的研究和发展上,提出下一代网络 and 智能环境的建设,掀起了以物联网为典型代表、以“无线化、泛在化、智能化、网络化”等为基本特征的第三次信息化浪潮,从而强化信息获取和智能信息处理,以信息为纽带建立人与物理环境更紧密、便捷和安全可靠的逻辑联系。我国政府也高度重视仪器仪表产业的发展,重视传感器与智能检测技术在信息产业及现代服务业、制造业等行业的重要应用,在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》的“重点领域及其优先主题”部分明确列出“传感器、智能化检测控制技术”、“新一代信息功能材料及器件”、“传感器网络及智能信息处理”,在“前沿技术”部分明确提出发展“智能感知技术”、“自组织网络技术”的要求,所有这些内容都与“传感器与检测技术”相关联。当前,我国仪器仪表科学技术取得了重大进展,在仪器仪表产品微型化、集成化、无线化、智能化、网络化等方向上紧跟国际发展步伐,加大具有自主知识产权的先进仪器仪表的研制力度。技术的发展、仪器的研发、使用与维护都需要大批的专门人才作为支撑;与此同时,它们也对人才培养的内容和目标提出了与时俱进的新要求。因此,“传感器与检测技术”课程地位的重要性也日益提高,其覆盖的专业越来越宽,修读的学生越来越多。这些变化推动着“传感器与检测技术”课程的建设快速地向发展,即以六个“一流”(一流的教师队伍、一流的教学水平、一流的教学内容和教学手段、一流的教学条件、一流的教学管理、一流的教学效果)的精品课程建设理念为指导,坚持“原创性”、“高水平”、“示范性”的精品课程建设标准,特别注重课程内涵建设、课程特色的培育以及精品资源的共享水平与示范辐射效应,强调“产学研”结合的工程建设模式,加强应用创新型人才培养,为工科电气信息类专业学生学习有关传感器与检测技术方面知识提供精品课程平台,让优质课程资源有效地服务于人才培养。



**【问题】** ①“科学是从测量开始的”;②“仪器是认识和改造物质世界的工具”,“仪器仪表是工业生产的‘倍增器’,科学研究的‘先行官’,军事上的‘战斗机’,国民活动中的‘物化法官’”。这两个论断分别是哪两个著名科学家提出来的?

**【提示】** 19世纪发现元素周期律的俄国著名化学家德米特里·伊万诺维奇·门捷列夫;我国著名光学仪器和测试技术科学家王大珩院士。

### 1.1.2 本课程内容体系结构

本课程按照专业培养方案和课程教学大纲的要求,进行了课程内容体系结构的优化,使课程内容既能充分展示本课程的核心领域知识,又能反映该领域的最新技术发展和研究成果,以前沿技术提升课程内涵,体现学科发展方向,并与其他相关课程进行有效衔接。

优化后的课程内容由传感器原理、检测技术和检测系统三大模块组成,如图1-2所示。传感器原理部分主要包括传感器的基本特性、各类传统与新型传感器的工作原理与应用(应变式、电感式、电容式、压电式、磁敏式、热电式、光电式、辐射与波式、智能式传感器,化学传感器,生物传感器,微传感器等);检测技术主要包括参数检测、微弱信号检测、软测量、多传感器数据融合、测量不确定度与回归分析等;检测系统主要包括虚拟仪器和自动



检测系统等。着重分析各类传感器的基本工作原理及其测量电路，给出典型应用进一步强化原理阐述并导向应用实践，精心设计的能力拓展项目用于培养学生的创新思维和运用所学知识解决实际问题的能力；同时，内容中体现本领域的一些最新发展，如微传感器、生物传感器、模糊传感器、网络传感器、微弱信号检测、无线传感器网络与物联网等。

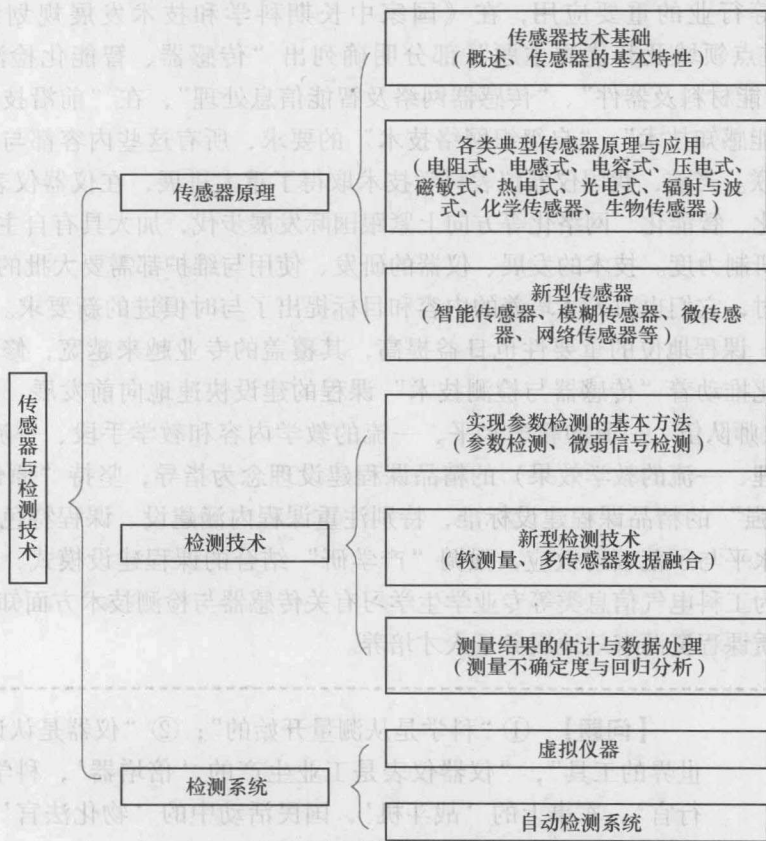


图 1-2 传感器与检测技术课程知识结构与体系

### 1.1.3 本课程的任务及要求

“传感器与检测技术”是一门涉及电工电子技术、传感器技术、光电检测技术、控制技术、计算机技术、数据处理技术、精密机械设计技术等众多基础理论和技术的综合性技术。现代检测系统通常集光、机、电于一体，软硬件相结合。

“传感器与检测技术”课程以高等数学、大学物理、模拟电子技术、电子电路、电路分析基础、信号与系统、概率论与数理统计等课程为基础，着重培养学生掌握传感器与检测技术基本理论、基本方法，本课程是一门实践性很强的课程，在理论学习的同时，要求学生通过实验和实践熟练掌握各类典型传感器的基本原理和适用场合，掌握常用测量仪器的基本工作原理和工作性能，能合理选用常用电子仪器、测量电路等，能根据测量要求设计各类测量系统，能对测量结果进行误差分析和数据处理等，达到理论与实践的高度统一，突出能力的培养。

根据有关专业教学指导委员会编撰的《高等学校本科自动化指导性专业规范（试行）》

所确定的专业知识领域及其要求,就“传感器与检测技术”课程涉及的知识领域而言,其主要知识单元、知识点和基本要求如表 1-1 所示。关于本课程更多的内容可访问精品资源共享课程网站: <http://ac.cqupt.edu.cn/asp/course/sensor/>。

表 1-1 “传感器与检测技术”课程的知识单元、知识点及要求

知识单元	知 识 点	学校专业类型及掌握程度			
		研究主导型	工程研究应用型	应用技术主导型	
信息获取与处理的基本概念	检测方法 与原理	检测系统的结构与基本类型	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		直接与间接测量	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		接触与非接触测量	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		静态与动态测量	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
	传感器	传感器的定义、组成	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		传感器的分类	掌握	掌握	掌握
测量不确定度与回归分析	基本概念	真值、测量准确度的定义	掌握	掌握	掌握
		误差的来源、分类及其表示	掌握	掌握	掌握
	误差的处理与真值的估计	随机误差的估算与修正	掌握	掌握	掌握
		间接测量中误差的传递算法,误差合成与分配的基本方法	掌握	掌握	掌握
		真值的最佳估计值与不确定度	掌握	掌握	掌握
	回归分析	最小二乘法	掌握	掌握	掌握
		一元线性拟合	掌握	掌握	掌握
		多元线性拟合	了解	了解	了解
		曲线拟合	了解	了解	了解
	检测系统的静、动态特性	检测系统的特性	静、动态特性的概念	熟练掌握	熟练掌握
一般数学模型;微分方程,传递函数,频率响应			熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
静、动态特性指标		静态特性基本参数与指标	熟练掌握	熟练掌握	熟练掌握
		动态响应的特性指标与分析	掌握	掌握	掌握
		频率响应的特性指标与分析	掌握	掌握	掌握
静态校准和动态校准		静态标定与校准的基本方法	了解	了解	掌握
	动态标定与校准的基本方法	了解	了解	了解	
检测变换原理与传感器	传感器工作原理及应用	电阻式传感器	掌握	掌握	掌握
		电感式传感器	掌握	掌握	掌握
		电容式传感器	掌握	掌握	掌握
		光电式传感器	掌握	掌握	掌握
		磁敏式传感器	掌握	掌握	掌握
		热电式传感器	掌握	掌握	掌握
		压电式传感器	掌握	掌握	掌握

知识单元	知识点	学校专业类型及掌握程度			
		研究主导型	工程研究应用型	应用技术主导型	
检测变换原理与传感器	传感器工作原理及应用	波式传感器	了解	了解	了解
		射线式传感器	了解	了解	了解
		化学传感器	了解	了解	了解
		生物传感器	了解	了解	了解
参数检测	过程参数	温度、压力、流量、物位、成分及物性等参数的概念	掌握	掌握	掌握
		常用检测方法	掌握	掌握	掌握
	机械量参数	位移、转速、速度、振动及厚度等参数的检测方法	掌握	掌握	掌握
		其他参数	同一被测参数的不同检测方法的性能比较	了解	了解
自动检测系统设计初步	自动检测系统	组成与基本设计方法	掌握	掌握	掌握
		传感器的选型	掌握	掌握	掌握
		微处理器、A/D 转换器选择	掌握	掌握	掌握
		采样周期的确定	掌握	掌握	掌握
		标度变换的概念	掌握	掌握	掌握
	检测信号处理的基本软件方法	测量数据处理的基本软件方法	掌握	掌握	掌握
		自动检测系统的设计步骤与方法	了解	了解	了解
	检测领域新技术	软测量技术	了解	了解	了解
		多传感器数据融合	了解	了解	了解
		模糊传感器	了解	了解	了解
智能传感器		了解	了解	了解	
网络传感器		了解	了解	了解	

## 1.2 传感器的定义与组成

传感器概念的英语表述一般为“A sensor is a device that receives a stimulus and responds with an electrical signal”。根据我国国家标准(GB/T 7665—2005),传感器(Transducer/Sensor)定义为能够感受规定的被测量(Stimulus/Measurand)并按照一定规律转换成可用输出信号的器件和装置,通常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和响应被测量的部分;转换元件是指传感器中能将被敏感元件的感受或响应的被测量转换成适于传输和测量的电信号部分。传感器的共性就是利用物理定律或物质的物理、化学或生物特性,将非电量(如位移、速度、加速度、力等)输入转换成电量(电压、电流、频率、电荷、电容、电阻等)输出。