



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 现代检测技术

张宏建 孙志强 等编著



化学工业出版社

TP274/118

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 现代检测技术

张宏建 孙志强 等编著



化学工业出版社

·北京·

本书主要介绍现代检测技术的基本原理、方法以及相应的应用技术。全书分为两篇。第1篇为基础篇,主要介绍现代传感技术、现代信息检测技术、现代检测技术中常用的各种基础理论、各种专门技术和方法,如现代信号处理技术、神经网络、遗传算法、模糊集合理论、信息融合、软测量等。第2篇为应用篇,主要介绍现代检测技术在图像检测系统、气液两相流参数检测、复杂生产过程参数检测、变压器故障诊断等中的应用。

本书可作为高等学校自动化、测控技术与仪器等相关专业高年级本科生、研究生教材,亦可满足相关学科研究生和工程技术人员的学习需要。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代检测技术/张宏建,孙志强等编著. —北京:化学工业出版社,2007.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

·ISBN 978-7-122-01038-4

I. 现… II. ①张…②孙… III. 自动检测-高等学校-教材 IV. TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第136027号

---

责任编辑:唐旭华

文字编辑:李玉峰

责任校对:陶燕华

装帧设计:韩飞

---

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)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15 $\frac{3}{4}$  字数387千字 2007年9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:29.80元

版权所有 违者必究

# 前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，可作为“自动化”和“测控技术与仪器”等相关本科专业高年级学生以及“控制科学与工程”和“仪器科学与技术”等相关学科的研究生的教学用书。本书共分两篇。第1篇为基础篇，主要介绍现代传感技术、现代信息检测技术、现代检测技术中主要用到的各种理论基础知识、各种专门技术和方法，其中包括：现代信号处理理论与方法、人工神经网络、遗传算法、模糊集合论、信息融合、软测量等。第2篇为应用篇，主要介绍几个综合应用各种现代检测理论与技术的测量系统，其中有基于计算机视觉的检测技术及应用、复杂工业过程动态参数的软测量技术的应用、现代检测技术在两相流参数测量中的应用、基于专家系统的故障诊断技术、过程层析成像技术及其应用等。通过本书的学习，读者可以基本掌握现代检测技术的基本理论和基本方法，并应用这些理论和方法设计新的测量系统。

本书比较全面地阐述了现代检测技术的相关理论知识和应用方法，不仅内容新，而且系统性较强。本书摆脱了传统教材以参数或以传感技术为主线的编排方式，而采用理论方法为主线编排，从而达到灵活使用各种方法实现检测要求的目的。特别是本书理论介绍与实际应用相结合，具有较好的可读性。

由于本书涉及的内容比较多，在每一章中只能介绍主要的概念和主要的方法，读者可以根据自己的需要进一步阅读其他方面的参考书。在教学安排上，可有重点地介绍书中一部分内容，其余部分安排自学和辅导相结合的方式，也可以采用带问题的学习方法。教学中，还可以通过大型综合性练习来提高学习效果。

本书也作为机械、化工、能源、计算机等工科类学科与专业高年级本科生和研究生的教材，也可作为从事检测技术的工程技术人员和研究工作者的参考用书。

参加本书编写的有张宏建（第1、12章）、黄咏梅（第2、3章）、孙斌（第4、5、13章）、孙志强（第6、8~11章）、周洪亮（第7、14章）、冀海峰（第15章），漆随平参加了第6、8、9、11章初稿的编写。全书由张宏建和孙志强统稿并定稿。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

**编著者**

**2007年7月**

# 目 录

## 第1篇 基础篇

<b>1. 绪 论</b> .....	1
1.1 传统检测技术 .....	1
1.1.1 检测技术的基本概念 .....	1
1.1.2 测量误差 .....	1
1.2 现代检测技术 .....	2
1.2.1 现代检测技术的含义和特征 .....	3
1.2.2 现代检测技术中常用的方法 .....	3
思考题 .....	5
参考文献 .....	5
<b>2. 先进传感技术</b> .....	6
2.1 概述 .....	6
2.2 新型传感效应 .....	6
2.2.1 物理效应 .....	6
2.2.2 化学效应 .....	11
2.2.3 生物效应 .....	13
2.3 新型传感材料 .....	14
2.3.1 半导体敏感材料 .....	14
2.3.2 陶瓷敏感材料 .....	15
2.3.3 高分子材料 .....	16
2.3.4 纳米材料 .....	17
2.4 先进加工技术 .....	18
2.4.1 薄膜加工技术 .....	18
2.4.2 光刻技术 .....	20
2.4.3 腐蚀加工技术 .....	20
2.4.4 键合技术 .....	20
2.4.5 X射线深层光刻电铸成型技术 .....	21
思考题 .....	21
参考文献 .....	22
<b>3. 信息论概述</b> .....	23
3.1 概述 .....	23
3.1.1 信息与信息技术 .....	23
3.1.2 信息论基本概念 .....	24
3.1.3 信息技术在现代检测中的应用 .....	25
3.2 信息定量描述——信息熵 .....	25
3.2.1 离散信源模型 .....	25

3.2.2	连续信源模型 .....	28
3.2.3	信息与熵守恒定律 .....	30
3.3	信息传输 .....	31
3.3.1	信道 .....	31
3.3.2	Shannon 信道容量关系式 .....	31
3.3.3	信道频率特性 .....	33
3.3.4	信息检测及传输过程中的噪声干扰 .....	34
3.3.5	噪声模型及信噪比最大信道 .....	36
	思考题 .....	37
	参考文献 .....	38
<b>4.</b>	<b>现代信号处理方法 .....</b>	<b>39</b>
4.1	随机过程的统计描述 .....	39
4.1.1	随机过程的统计描述 .....	39
4.1.2	随机过程的各态历经性 .....	40
4.2	平稳随机过程的相关函数与功率谱分析 .....	42
4.2.1	自相关函数的性质 .....	42
4.2.2	相关系数与相关时间 .....	42
4.2.3	随机过程的联合分布和互相关函数 .....	43
4.2.4	相关函数的应用 .....	45
4.2.5	功率谱估计与应用 .....	46
4.3	随机信号的高阶谱分析 .....	47
4.3.1	高阶累积量与高阶矩谱 .....	47
4.3.2	累积量与双谱的性质 .....	49
4.3.3	高阶谱的应用 .....	50
4.4	非平稳信号处理方法 .....	52
4.4.1	短时 Fourier 变换 .....	53
4.4.2	小波变换法 .....	53
4.4.3	Wigner-Ville 分布 .....	54
4.4.4	Hilbert-Huang 变换方法 .....	55
	思考题 .....	57
	参考文献 .....	58
<b>5.</b>	<b>人工神经元网络 .....</b>	<b>59</b>
5.1	人工神经元网络 .....	59
5.1.1	人工神经元 .....	59
5.1.2	人工神经网络的分类及学习 .....	60
5.2	BP 神经网络原理与算法 .....	61
5.2.1	BP 神经网络原理 .....	61
5.2.2	BP 神经网络学习算法 .....	62
5.2.3	BP 神经网络小结 .....	64
5.3	径向基函数神经网络 .....	65
5.3.1	径向基函数神经网络结构 .....	65

5.3.2	径向基函数神经网络计算 .....	65
5.3.3	径向基函数神经网络学习算法 .....	65
5.3.4	RBF 神经网络在气液两相流流型识别中的应用 .....	68
5.4	自组织神经网络 .....	69
5.4.1	竞争学习原理 .....	69
5.4.2	竞争型神经网络的学习规则 .....	70
5.4.3	自组织特征映射网络原理 .....	71
	思考题 .....	74
	参考文献 .....	74
<b>6.</b>	<b>遗传算法 .....</b>	<b>76</b>
6.1	概述 .....	76
6.2	遗传算法的理论基础 .....	76
6.2.1	生物进化理论与遗传学基础 .....	76
6.2.2	数学基础 .....	78
6.3	基本遗传算法 .....	79
6.3.1	构成要素和计算流程 .....	79
6.3.2	染色体编码 .....	80
6.3.3	个体适应度评价 .....	82
6.3.4	遗传算子 .....	83
6.3.5	运行参数 .....	87
6.3.6	应用举例 .....	87
6.4	遗传算法的发展与改进 .....	90
6.4.1	分层遗传算法 .....	90
6.4.2	变长度染色体遗传算法 .....	91
6.4.3	自适应遗传算法 .....	92
6.4.4	小生境遗传算法 .....	92
6.4.5	混合遗传算法 .....	93
6.4.6	并行遗传算法 .....	95
6.5	遗传算法在检测技术中的应用 .....	96
	思考题 .....	98
	参考文献 .....	99
<b>7.</b>	<b>专家系统 .....</b>	<b>100</b>
7.1	专家系统的概念 .....	100
7.1.1	专家系统的功能 .....	100
7.1.2	专家系统的特征 .....	100
7.1.3	专家系统的分类 .....	101
7.1.4	专家系统与一般计算机程序的区别 .....	102
7.2	知识表达 .....	103
7.2.1	知识的概念 .....	103
7.2.2	知识表达的类型 .....	103
7.3	推理机制 .....	110

7.3.1	数据驱动控制策略 .....	110
7.3.2	目标驱动控制策略 .....	110
7.3.3	混合控制策略 .....	111
7.4	专家系统的结构 .....	111
7.4.1	知识库 .....	112
7.4.2	推理机 .....	112
7.4.3	动态数据库 .....	112
7.4.4	解释机制 .....	112
7.4.5	知识获取 .....	112
7.4.6	人机界面 .....	114
	思考题 .....	114
	参考文献 .....	115
<b>8.</b>	<b>模糊集合论 .....</b>	<b>116</b>
8.1	概述 .....	116
8.2	模糊集合及其运算 .....	116
8.2.1	模糊集合的定义 .....	116
8.2.2	模糊集合的基本关系和运算 .....	118
8.2.3	模糊集合运算的基本性质 .....	119
8.2.4	隶属度函数的建立 .....	119
8.3	模糊关系 .....	121
8.3.1	模糊关系的定义 .....	121
8.3.2	模糊关系的运算 .....	121
8.3.3	模糊关系的合成 .....	121
8.4	模糊逻辑与模糊推理 .....	123
8.4.1	模糊语言变量 .....	123
8.4.2	模糊蕴含关系 .....	123
8.4.3	单输入模糊推理 .....	124
8.4.4	多输入模糊推理 .....	126
8.4.5	多输入多规则模糊推理 .....	127
8.5	解模糊化 .....	128
	思考题 .....	130
	参考文献 .....	130
<b>9.</b>	<b>信息融合 .....</b>	<b>131</b>
9.1	概述 .....	131
9.2	信息融合的定义与模型 .....	131
9.2.1	信息融合的定义 .....	131
9.2.2	信息融合的模型 .....	132
9.3	信息融合的层次与结构 .....	133
9.3.1	信息融合的结构 .....	133
9.3.2	信息融合的层次 .....	135
9.4	信息融合的方法 .....	136



9.4.1	概率统计法 .....	136
9.4.2	逻辑推理法 .....	139
9.4.3	人工智能法 .....	141
	思考题 .....	143
	参考文献 .....	143
<b>10.</b>	<b>软测量技术 .....</b>	<b>144</b>
10.1	概述 .....	144
10.2	软仪表的一般设计方法 .....	144
10.2.1	辅助变量的选择 .....	145
10.2.2	测量数据的处理 .....	145
10.2.3	软测量模型的分类 .....	146
10.2.4	软测量模型的校正与维护 .....	146
10.3	软测量建模技术 .....	147
10.3.1	概述 .....	147
10.3.2	基于回归分析的软测量技术 .....	149
10.3.3	基于神经网络的软测量技术 .....	152
10.4	软测量技术的应用 .....	154
10.4.1	基于工艺机理分析的气力输送固相流量的软测量 .....	154
10.4.2	基于回归分析的造纸过程成纸水分的软测量 .....	155
	思考题 .....	156
	参考文献 .....	157

## 第 2 篇 应用篇

<b>11.</b>	<b>基于计算机视觉的检测技术 .....</b>	<b>158</b>
11.1	概述 .....	158
11.2	计算机视觉基础 .....	158
11.2.1	人类视觉 .....	158
11.2.2	计算机视觉系统的结构 .....	160
11.3	计算机视觉的有关理论 .....	161
11.3.1	引言 .....	161
11.3.2	Marr 视觉计算理论 .....	162
11.3.3	Gestalt 感知组织理论 .....	163
11.4	基于计算机视觉的检测系统 .....	164
11.4.1	系统组成 .....	164
11.4.2	硬件部分 .....	164
11.4.3	软件部分 .....	165
11.5	计算机视觉在检测技术中的应用 .....	166
11.5.1	应用背景 .....	166
11.5.2	检测系统 .....	166
11.5.3	识别算法 .....	168
11.5.4	应用情况 .....	170
	思考题 .....	172

参考文献 .....	173
<b>12. 复杂工业过程碳化塔中关键参数的软测量技术</b> .....	<b>174</b>
12.1 引言 .....	174
12.2 碳化塔结构及反应机理 .....	174
12.2.1 碳化塔的结构和工艺流程 .....	174
12.2.2 碳化塔反应机理与软测量 .....	175
12.3 碳化塔内温度预测技术 .....	176
12.3.1 软测量模型辅助变量的选择与系统降维 .....	176
12.3.2 现场数据的采集和预处理 .....	178
12.3.3 三种模型的离线训练及训练结果比较 .....	179
12.3.4 辅助变量对模型输出的影响分析 .....	182
12.4 碳化转化率的软测量 .....	183
12.4.1 碳化转化率的离线分析 .....	183
12.4.2 模型的训练与校验 .....	183
思考题 .....	184
参考文献 .....	184
<b>13. 现代检测技术在两相流参数检测中的应用</b> .....	<b>186</b>
13.1 气液两相流的流型及其识别方法 .....	186
13.1.1 气液两相流的流型 .....	186
13.1.2 气液两相流流型识别的传统方法 .....	187
13.1.3 气液两相流流型的间接识别法 .....	189
13.2 气液两相流空隙率与检测方法 .....	198
13.2.1 空隙率的定义 .....	198
13.2.2 空隙率的主要检测方法 .....	198
13.2.3 基于 HHT 的空隙率检测方法 .....	200
思考题 .....	205
参考文献 .....	205
<b>14. 基于专家系统的故障诊断技术</b> .....	<b>208</b>
14.1 变压器故障诊断专家系统总体设计 .....	209
14.1.1 系统功能 .....	209
14.1.2 实现过程 .....	210
14.2 知识获取 .....	210
14.2.1 变压器故障专家知识 .....	210
14.2.2 变压器故障检测 .....	214
14.2.3 变压器故障的综合判断方法 .....	219
14.3 变压器故障诊断专家系统结构 .....	221
14.4 知识库的设计 .....	221
14.4.1 知识库结构和知识库管理系统设计 .....	221
14.4.2 变压器故障诊断系统知识库设计 .....	223
14.4.3 规则库设计 .....	224
14.5 推理机的设计 .....	224

14.5.1 基于案例的推理 .....	225
14.5.2 基于规则的推理 .....	225
14.5.3 综合推理 .....	226
14.6 故障诊断专家系统的自学习 .....	226
思考题 .....	226
参考文献 .....	227
<b>15. 过程层析成像技术及其应用 .....</b>	<b>228</b>
15.1 概述 .....	228
15.1.1 过程层析成像技术的发展历程 .....	228
15.1.2 过程层析成像技术的特点及其构成 .....	229
15.2 基本原理 .....	231
15.3 过程层析成像技术在两相流参数测量中的应用 .....	233
15.3.1 流型可视化 .....	233
15.3.2 流型辨识 .....	234
15.3.3 分相含率的测量 .....	238
思考题 .....	239
参考文献 .....	240

# 第 1 篇 基础篇

## 1. 绪 论

### 1.1 传统检测技术

#### 1.1.1 检测技术的基本概念

所谓检测技术就是利用敏感元件或其它信息获取手段得到被测量的信息。检测是人类认识自然界、改造自然界的重要途径。

传统的检测仪表或系统由敏感元件、信号放大与变换单元和显示装置等环节组成，如图 1-1 所示。



图 1-1 传统检测仪表或系统的组成框图

敏感元件也称检测元件，其作用是感受被测参数并将被测参数的变化转换成另一种物理量的变化，以便进一步进行信息的变换和信息显示。例如，用铜丝绕制而成的铜电阻感受其周围温度的升降能引起其电阻值的增减，所以铜电阻是一种温度敏感元件。

由于敏感元件的输出信息一般都比较小或输出的信号通常不能直接被显示装置所接受，所以敏感元件的输出需经过必要的信号变换（将敏感元件输出的非电量信号转换成电量信号）和信号放大（将电信号放大到显示装置规定的范围），以保证信号的正常显示。

显示装置可以是模拟指针式的，数字式的，还可以是屏幕式的；显示的值可以直接代表被测参数的大小，也可以以满量程的百分数表示。

从以上的分析可以看到，传统检测的特点如下。

① 被测变量与待测变量的统一：敏感元件所感受的被测变量就是要测量的量（即待测量），也就是说，用单个传感器实现与之对应的一个参数的测量。

② 被测变量的大小与传感器输出的统一：传感器的输出与被测变量有单值的、确定的函数关系，常常是线性关系，其它环境参数对传感器的输出几乎没有影响，或有明确的影响关系，或可以用函数来描述。

#### 1.1.2 测量误差

测量的目的总是希望通过测量得到被测参数的真实值（真值）。但由于各种原因，如测

量方法不尽完善、敏感元件的缺陷、信号变换和放大过程的失真、环境因素和人为因素的不良影响等，都会造成被测参数的测量值与真值并不一致，它们之间总会存在一定的差异。在传统的测量中，用来描述被测参数的测量值与真值的不一致程度，有以下方式。

### (1) 绝对误差

绝对误差是仪表（或测量系统）输出值与被测参数真值之间的差值，即

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-1)$$

式中， $\Delta x$  为绝对误差； $x$  为仪表的输出值； $x_0$  为被测参数的真值。由于真值不能得到，实际上是用标准仪表（准确度等级更高的仪表）的测量结果作为约定真值。

### (2) 相对误差

仪表的绝对误差与约定真值比的百分数，即

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中， $\delta$  为仪表的相对误差。对于检测仪表较多地采用引用误差代替相对误差。

### (3) 引用误差

仪表的绝对误差与仪表的量程比的百分数，也用  $\delta$  表示，即

$$\delta = \frac{\Delta x}{\text{量程}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中，量程是指仪表的测量上限和测量下限的代数差。

### (4) 不确定度

测量不确定度的定义是“表征合理地赋予被测量之值的分散性，与测量结果相联系的参数”。不确定度是对测量结果分散性的描述，是对测量结果误差限的估计。

测量不确定度是由一些不确定度分量组成的，这些分量可以分成两类：其中由测量列按统计理论计算得到的称为 A 类不确定度，它是可测的，是通过测量列确定的；其中由非统计分析方法，即由其它方法估计的称为 B 类不确定度。这类不确定度的估计主要用于不能通过多次重复性测量，由测量列确定不确定度的情况。所用的方法主要有以前的测量数据，有关的技术资料和数据等。

标准不确定度的 A 类评定方法如下。

#### ① 单次测量不确定度 $u(x)$

$$u(x) = s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (1-4)$$

式中， $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$ ，它是  $n$  个独立观测值  $x_k$  的算术平均值。

#### ② 在重复条件下 $n$ 次测量算术平均值 $\bar{x}$ 的不确定度 $u(\bar{x})$

$$u(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (1-5)$$

## 1.2 现代检测技术

随着科学技术的不断发展、社会的日益进步，现代化生产的规模越来越大，管理的形式

和方式趋于多样性,对产品的产量和质量的要求也越来越高,这就导致常规的检测参数、检测手段、检测仪表难以满足现代生产和生活的需求。从一般的单参数测量到相关多参数的综合自动检测,从一般的参数的量值测量到参数的状态估计,从确定性的测量到模糊的判断等等,已成为当前检测领域中的发展趋势,正受到越来越广泛的关注,从而形成了各种新的检测技术和新的检测方法,这些技术和方法统称为现代检测技术。

### 1.2.1 现代检测技术的含义和特征

现代检测技术是指采用先进的传感技术、信息处理技术、建模与推理等技术实现用常规仪表、方法和手段无法直接获取的对待测参数的检测。

现代检测技术的特征可归纳如下。

① 从待测参数的性质看,现代检测技术主要用于非常见的参数的测量,对于这些参数的测量目前还没有合适的传感器所对应,难以实现常规意义的“一一对应”的测量;另一种情况是待测参数虽然已有传感器,但测量误差比较大,受各种因素的影响较大,不能满足测量要求。

② 从应用的领域(对象)看,现代检测技术主要用于复杂设备(对象)、复杂过程的影响性能质量等方面的综合性参数,如高速运动机械的故障分析、多相流系统中的流动参数的测量、油品质量的检测等。对于这样的被测对象或测量要求,很难用单一传感器来完成。

③ 从使用的技术或方法看,现代检测技术主要利用了新型的传感技术或传感器。更多地利用软技术,即通过对传感器输出的信号进行处理得到特征量;通过建立传感器的输出与待测量之间的模型;通过应用专家知识、数据库、规则等进行推理,根据被测量的信息获取待测量。

### 1.2.2 现代检测技术中常用的方法

#### (1) 先进传感技术

传感器的工作原理是建立在各种物理效应、化学效应和生物效应基础之上的,所以新材料、新效应、新工艺的不断问世,大大促进了传感技术的发展。例如,基于声表面波(SAW)的谐振器可用来制成各种传感器,包括SAW温度传感器、SAW应变传感器、SAW加速度传感器、SAW气体传感器、SAW湿度传感器等。

在材料方面,采用纳米技术制备的纳米半导体陶瓷材料,可以利用其特有的尺寸效应和表面效应来改善传感器的性能。利用纳米技术制成的纳米传感器,可深入细胞内产生各种生化反应,得到化学信息和电化学信息,可对致病机理进行研究,深化对生命现象的理解。

在制造工艺方面,以集成电路制造技术为基础的微机械加工技术可使加工出来的敏感元件尺寸达到光的波长级,并可大批量生产,从而制造出超小型并且价格便宜的传感器。利用半导体加工,可以将多个敏感元件集成在一个芯片上,实现参数的自动补偿或多参数的同时测量。

#### (2) 现代信息处理技术

应用现代信号处理方法就是对传感器输出的信号进行处理或变换,获取信号的某些特征值,并通过这些特征值与待测参数的关系来得到待测参数的信息。常见的现代信号处理方法主要如下。

① 幅域分析方法:以信号的幅值大小为分析的依据,主要有信号的均值、均方根值、

幅值的概率密度计算等。

② 时域分析方法：以信号的时间系列为分析依据，主要有自相关函数、互相关函数的分析等。

③ 频域分析方法：以信号的频率特性为分析依据，主要有傅里叶变换、小波变换、Hilbert 变换等。

### (3) 软测量技术

软测量技术自 20 世纪 80 年代中后期作为一个概括性的科学术语被提出以来，研究异常活跃，发展十分迅速，应用日趋广泛，几乎渗透到了工业领域的各个方面，已成为过程检测与仪表技术的主要研究方向之一。

软测量技术的基本原理是，利用较易测量的辅助变量（或称为二次变量），依据这些辅助变量与难以直接测量的待测变量（称为主导变量）之间的数学关系（称为软测量模型），通过各种数学计算和估计方法以实现对主导变量的测量。所以软测量实际上是以现有传感器为基础，以各种计算机软件为核心的一种硬件与软件相结合的新测量方法。软测量技术发展的重要意义如下。

① 能够测量目前由于技术或经济原因无法或难以用传统的仪表直接检测而又十分重要的过程参数。

② 能够综合运用多个可测信息对被测对象做出状态估计、诊断和趋势分析，以适应现代工业发展对被测对象特性日益提高的测量要求。

③ 能够在线获得被测对象微观的二维/三维时空分布信息，以满足许多复杂工业过程中场参数测量的需要。

④ 能够对测量系统进行误差补偿处理和故障诊断，从而提高测量精度和可靠性。

⑤ 能够为测量系统动态校准和动态性能改善提供一种有效手段。

### (4) 数据融合技术

基于多传感器数据融合技术的检测系统是由若干个传感器和具有数据综合和决策功能的计算机系统组成，以完成通常单个传感器无法实现的测量。多传感器融合就像人的大脑综合处理信息一样，它充分利用多传感器资源，把多传感器在空间或时间上的冗余或互补信息依据某种准则进行组合，以获得被测对象的一致性解释或描述。多传感器数据融合技术具有很多优点，如可以增加检测的可信度，降低不确定性，改善信噪比，增加对待测量的时间和空间覆盖程度等。

多传感器数据融合技术在军事和非军事领域都有较重要的应用。在军事领域方面，主要用于目标自动识别、自动导航、战场监视、遥感遥测、无人侦察、卫星侦察及威胁评估系统等。在非军事领域方面，主要的应用包括工业过程监测和维护、机器人行动、医疗诊断、环境监测等。

### (5) 基于专家系统的检测技术

专家系统是一个计算机软件系统，它综合集成了某个或几个特殊领域的专家的知识 and 经验，能像人类专家那样运用这些知识，通过推理，模拟人类专家做出决定的过程，来解决人类专家才能解决的复杂问题。从结构组成的角度来看，专家系统是由一个存放专门领域知识的知识库和一个能选择和运用知识的机构组成的计算机系统。

专家系统在博弈、医疗诊断、气象及地震等灾害的预报方面有比较成功的应用。在检测方面，目前较多地用于生产设备的运行诊断、检测系统的数据分析等。

## 思考题

1. 传统检测技术有哪些主要特点？
2. 请说明传统检测技术中“一一对应”的基本含义。
3. 传感器易受各种环境因素的影响，在设计和使用传感器时应如何采取措施来减少或消除环境因素对各种参数的影响？
4. 基于现代检测技术构成的检测系统主要由哪些部分组成？各组成部分的作用是什么？
5. 现代检测技术与传统检测技术相比有哪些异同点？它们之间的关系如何？
6. 现代检测技术主要适用于哪些参数的检测？请列举几个采用现代检测技术实现参数测量的例子。

## 参考文献

- [1] 张宏建, 蒙建波. 自动检测技术与装置. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 王化祥. 自动检测技术. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [3] 张毅, 张宝芬, 曹丽, 彭黎辉. 自动检测技术及仪表控制系统. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2005.



## 2. 先进传感技术

### 2.1 概述

传感技术是关于传感器原理、结构、材料、设计、制造及应用的综合技术。传感器处于检测过程的第一个环节，它直接感受被测参数，并将被测参数的变化转换成一种易于传送的物理量，是获得信息的重要手段，与通信技术、计算机技术并称为现代信息技术中的三大核心技术。人类已进入信息时代，获取信息是利用信息的先决条件。通过传感器获得的信息正确与否直接关系到整个测量或控制系统的成败与精度，因此在检测系统中占有十分重要的位置。

目前，传感技术已广泛应用于包括国防、环保、工业、农业、交通运输、日常生活等几乎所有领域，并伴随着现代科学技术的进步而不断发展。在现代科学技术进步过程中，若出现了一种新效应、新材料、新工艺，就会很快被引用到传感技术中，进而研制出一种新型传感器，同时，各种新型传感器的问世，又不断为各学科技术的发展提供有效的研究手段，促进了现代科学技术的进一步发展。

本章将从新效应、新材料、新工艺三方面介绍几种具有广泛应用前景的先进传感技术。

### 2.2 新型传感效应

传感器的工作原理是建立在各种物理效应、化学效应和生物效应基础之上的，所以研究发现新现象和新效应对传感技术的发展具有重要意义。

#### 2.2.1 物理效应

物理效应是指利用某些物理规律，使敏感元件或功能材料的物理性质在被测量的作用下引起变化的特性，利用物理效应制成的传感器称为物理型传感器。目前发展较快并在传感器领域得到应用的物理效应主要有以下几种。

##### 2.2.1.1 光电效应

当光照射到光电材料上，材料发射电子或者其电导率发生变化，或者产生感生电动势，这种因光照使材料电学特性发生改变的现象就称为光电效应。根据光电效应可以制成不同的光电转换器件，将光信号转换成电信号，具有非接触、高灵敏度、高精度、抗干扰性强等特点，目前已广泛用于测距、测温、测速以及通信、遥感等领域，发展速度很快。

光可以认为是由一定能量的粒子（光子）所组成，每个光子具有的能量正比于光的频率，光的频率越高，光子的能量就越大。光电效应实质是入射光粒子与物质中束缚于晶格的电子或自由电子的相互作用，使电子能态发生改变，并且这种变化与光子能量大小有关，所以光电效应是一种波长选择性物理效应。按照是否发射电子，光电效应分为内光电效应和外光电效应。