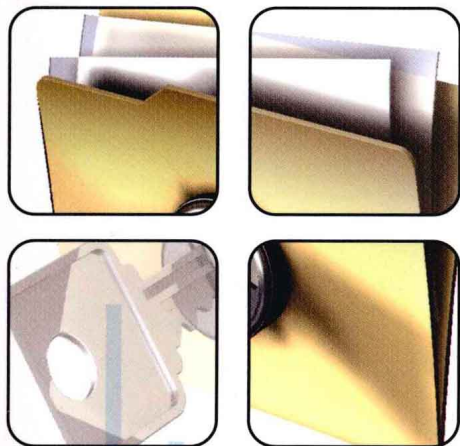




全国高等院校测控技术与仪器专业**创新型**人才培养规划教材

现代测试技术

主 编 陈科山 王 燕



- 以全新面貌展示现代测试技术和测量仪器
- 依实践经验讲述检测系统设计与技术应用



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国高等院校测控技术与仪器专业创新型人才培养规划教材

现代测试技术

主 编 陈科山 王 燕
副主编 何光林 张明鸣 高振清
主 审 李晋尧



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书取材新颖,内容广泛,反映了本学科的最新进展。本书共分11章,第1章为绪论,第2章为常规传感器,第3章为微机械传感器,第4章为测量误差分析,第5章为常见工程量的测量,第6章为信号调理,第7章为数字信号处理,第8章为现代信号分析方法,第9章为虚拟仪器,第10章为现代测试系统,第11章为测试系统设计。

本书在编写内容和形式上采用创新型方法,非常适合作为仪器科学与技术、电子科学与技术等专业教材,也可作为从事电子工程的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代测试技术/陈科山,王燕主编. —北京:北京大学出版社,2011.8

(全国高等院校测控技术与仪器专业创新型人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19316-7

I. ①现… II. ①陈…②王… III. ①测试技术—高等学校—教材 IV. ①TB4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第154905号

书 名: 现代测试技术

著作责任者: 陈科山 王 燕 主编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-19316-7/TH·0251

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 三河市富华印装厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 22.25印张 507千字

2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

定 价: 43.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

“千里眼、顺风耳”的古代神话传说是人类对扩展感觉器官的能力、更好地了解客观事物本质属性的一种美好憧憬。为此人们经历了千百年的奋斗，陆续发明了各种各样的传感器、探测器和检测装置或系统等，一步一步地实现着古人的愿望。尤其是进入 21 世纪以来，在科技飞速发展的推动下将人们获取信息的能力提高到新的水平。以检测技术为基础发展起来的各种测量方法和测量装置已经成为人类生产生活、科学研究和防灾保护等活动中获取信息的重要工具，是现代文明的重要标志之一。现代检测技术和现代化的检测系统设计技术也必将成为 21 世纪教学和科研的最重要理论基础和核心技术。

检测技术应用的领域十分广泛，就这一学科的主要内容来说，有信号获取技术即传感器技术、误差理论、测试计量技术、信号处理技术、抗干扰技术以及在自动化系统中的应用技术等。检测技术的基础就是利用物理、化学和生物的方法来获取被测对象的组分、状态、运动和变化的信息，通过转换和处理，将这些信息以易于人们观察的形式输出。由于检测技术在各个行业中均有广泛的应用，使得这门技术在现代信息(获取→处理→传输→应用)链中作为源头技术，其发展代表着科技进步的前沿，是现代科技发展的重要支柱之一。

科学技术与生产力水平的高度发达，要求更先进的检测技术与测量仪器作为基础。检测技术与科学研究和工程实践密切相关，科学技术的发展促进检测技术的进步，检测技术的发展又促进科学技术水平的提高，相互促进推动社会生产力不断前进。由于检测技术属于信息科学范畴，是信息技术三大支柱(检测技术、计算机技术与通信技术)之一。因此，在当今信息社会，现代化的检测技术在很大程度上决定了生产力和科学技术的发展水平，而科学技术的进步又不断为现代检测技术提供了新的理论基础和新的工艺。

本书是按参考学时为 48~64 学时编写的，共分 11 章，第 1 章为绪论，第 2 章为常规传感器，第 3 章为微机械传感器，第 4 章为测量误差分析，第 5 章为常见工程量的测量，第 6 章为信号调理，第 7 章为数字信号处理，第 8 章为现代信号分析方法，第 9 章为虚拟仪器，第 10 章为现代测试系统，第 11 章为测试系统设计。

本书主要覆盖传统“传感器原理与应用”、“检测与转换”和“电子测量技术”等课程或教材的核心内容，通过精选和整合，加上编者多年从事该领域科研和教学的经验总结编写而成。主要涉及检测基本方法及误差处理的基本概念、传感器的选型与使用，并以传感器、信号调理电路及计算机为核心构成的信息处理系统，以软件作为信号处理的主体，进而学习并掌握检测系统的设计方法，在最后介绍了目前该领域的最新发展和先进技术。全书突出理论联系实际，在讲清楚重点难点的基础上，通过实例加深理解，从而形成全书的主线。书中内容既具有广泛的基础性又具有先进性，不仅可以学习到目前各个领域和部门进行科学实验与工程应用所需要的检测技术的基础，也可了解新一代先进检测系统和测试仪器方面的内容，为从事检测技术应用和系统的设计打下良好的基础。

本书由北京交通大学陈科山教授和北京印刷学院王燕博士共同担任主编，北京印刷学院李晋尧教授主审。北京理工大学何光林副教授、北京印刷学院张明鸣博士、高振清博士担任

副主编。编写分工如下：何光林编写第 1、11 章，陈科山编写第 2、3 章，张明鸣编写第 4、5 章和第 8 章的第 3、4 节，王燕编写第 6、7 章和第 8 章的第 1、2 节，高振清编写第 9、10 章。

北京交通大学王媛硕士、郑辉硕士也为本书付出辛勤工作，在此表示感谢。

鉴于现代测试技术的迅速发展和广泛应用，限于编者水平，本书定然存在疏漏和不妥，欢迎广大读者批评指正。

编 者
2011 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.6.2 霍尔式传感器	39
1.1 现代测试技术的发展趋势	1	2.6.3 磁阻效应传感器	40
1.2 传感器的发展	1	2.7 光电式传感器	41
1.3 测试手段的发展	4	2.7.1 光电效应及光电器件	41
1.4 测量信号处理的发展	5	2.7.2 光电式传感器的形式	44
1.5 开发平台的发展趋势	5	2.8 半导体传感器	46
第 2 章 常规传感器	7	2.8.1 气敏传感器	46
2.1 传感器概述	8	2.8.2 湿敏传感器	47
2.1.1 传感器的作用	9	2.8.3 半导体色敏传感器	49
2.1.2 传感器的定义和组成	9	2.9 数字式传感器	50
2.1.3 传感器的分类及要求	9	2.9.1 编码器	51
2.1.4 传感器开发的新趋势	10	2.9.2 光栅传感器	53
2.2 电阻式传感器	12	2.9.3 感应同步器	57
2.2.1 电阻应变式传感器	12	2.10 热电偶传感器	61
2.2.2 压阻式传感器	15	2.10.1 热电偶传感器简介	61
2.2.3 变阻式传感器	16	2.10.2 热电偶工作原理	61
2.3 电容式传感器	18	2.10.3 热电偶传感器的应用	64
2.3.1 工作原理及类型	18	2.11 热电阻传感器	68
2.3.2 特点与应用	20	2.12 光纤传感器	72
2.3.3 电容式传感器应用举例	21	2.13 传感器应用实例	73
2.4 电感式传感器	22	小结	74
2.4.1 自感式传感器	22	思考与练习	74
2.4.2 互感型(差动变压器式) 传感器	27	第 3 章 微机械传感器	79
2.4.3 压磁式传感器	29	3.1 微机械传感器的概念及特点	80
2.5 压电式传感器	31	3.2 微机电系统的主要加工技术	80
2.5.1 压电效应与压电材料	31	3.3 微机械传感器原理	83
2.5.2 压电式传感器及其等效 电路	33	3.3.1 微机械加速度传感器	83
2.5.3 压电元件常用的结构 形式	34	3.3.2 微机械压力传感器	89
2.5.4 测量电路	35	3.3.3 微机械陀螺	90
2.6 磁电式传感器	36	3.3.4 其他微机械传感器	94
2.6.1 磁感应电式传感器	36	小结	95
		思考与练习	95
		第 4 章 测量误差分析	96
		4.1 测量误差的基本概念	97

4.1.1	测量误差及研究的意义和 内容	97	5.4	力与压力测量	123
4.1.2	测量误差的来源	97	5.4.1	力的测量	123
4.1.3	测量误差的表示方法	97	5.4.2	压力的测量	126
4.1.4	测量误差的分类	99	5.5	振动测量	128
4.1.5	测量不确定度与置信 概率	99	5.5.1	测振传感器	129
4.2	随机误差的处理	100	5.5.2	测振仪电路原理	131
4.2.1	随机误差的特征和概率 分布	100	5.5.3	振动的记录方法	131
4.2.2	随机误差的方差和 标准差	100	5.5.4	振动试验设备	132
4.2.3	不等精度直接测量的数据 处理	100	5.6	噪声测量	133
4.3	系统误差的分析	101	5.6.1	噪声测量的物理量	133
4.3.1	系统误差的判别	101	5.6.2	噪声测量常用仪器	135
4.3.2	系统误差的消除	103	5.7	案例分析	137
4.4	粗大误差的剔除	105	小结	140	
4.4.1	拉依达准则	105	思考与练习	141	
4.4.2	格拉布斯准则	105	第6章 信号调理	142	
4.5	误差的合成与分配	107	6.1	信号放大	144
4.5.1	误差的合成	107	6.1.1	运算放大器	144
4.5.2	误差的分配	109	6.1.2	差分放大器	145
4.6	案例分析	110	6.1.3	隔离放大器	149
小结	110	6.1.4	仪用放大器	151	
思考与练习	111	6.1.5	可变增益放大器	152	
第5章 常见工程量的测量	112	6.2	信号滤波	153	
5.1	位移测量	113	6.2.1	理想滤波器	153
5.1.1	滑线电阻式位移传感器	114	6.2.2	低通滤波器	155
5.1.2	应变片式位移传感器	115	6.2.3	高通滤波器	157
5.1.3	差动变压器式位移 传感器	116	6.2.4	带通滤波器	158
5.2	速度测量	117	6.3	调制与解调	159
5.2.1	线速度测量	117	6.3.1	幅值调制与解调	159
5.2.2	转速测量	118	6.3.2	频率调制与解调	164
5.3	加速度测量	119	6.4	信号转换	168
5.3.1	惯性式加速度计	120	6.4.1	电压/电流转换	169
5.3.2	应变片式加速度传感器	121	6.4.2	电压/频率转换	173
5.3.3	差动变压器式加速度 传感器	122	6.5	案例分析	175
5.3.4	压电式加速度传感器	122	小结	179	
			思考与练习	179	
			第7章 数字信号处理	181	
			7.1	模拟信号的数字化	182
			7.1.1	数字信号处理的基本 步骤	182
			7.1.2	信号数字化出现的问题	183

7.2 信号的时域截断与能量泄漏	185	9.2 虚拟仪器硬件系统	251
7.2.1 频域采样、时域周期延拓和 栅栏效应	185	9.2.1 基于数据采集卡的虚拟 仪器	251
7.2.2 常用窗函数	188	9.2.2 基于 GPIB 总线方式的虚拟 仪器	252
7.3 离散傅里叶变换(DFT)	190	9.2.3 基于 VXI 总线方式的虚拟 仪器	253
7.3.1 DFT 推导	190	9.2.4 基于 PXI 总线方式的虚拟 仪器	253
7.3.2 DFT 说明	192	9.3 虚拟仪器软件系统	254
7.3.3 DFT 的隐含周期性	193	9.3.1 输入/输出(I/O)接口 软件	254
7.3.4 DFT 的主要性质	193	9.3.2 虚拟仪器驱动程序	255
7.3.5 频域采样	195	9.3.3 应用软件及开发环境	262
7.3.6 DFT 的应用	196	9.4 案例分析	265
7.4 快速傅里叶变换(FFT)	196	小结	271
7.4.1 快速傅里叶变换的定义	196	思考与练习	271
7.4.2 快速傅里叶变换的应用	203	第 10 章 现代测试系统	272
7.5 DSP 应用系统设计	205	10.1 计算机测试系统的基本组成	273
7.5.1 DSP 技术介绍	206	10.1.1 多路模拟开关	273
7.5.2 DSP 芯片介绍	207	10.1.2 采样保持(S/H)	274
7.5.3 DSP 系统开发	208	10.1.3 模/数与数/模转换	275
7.6 案例分析	211	10.2 现场总线技术概述	279
小结	214	10.2.1 CAN 总线技术	279
思考与练习	214	10.2.2 FF 总线技术	281
第 8 章 现代信号分析方法	217	10.3 测试系统的智能化和网络化 技术	282
8.1 随机过程的统计描述	218	10.3.1 智能测试系统	282
8.1.1 随机变量分析	219	10.3.2 测试系统的网络化 技术	289
8.1.2 随机过程的分析	220	10.4 案例分析 1	293
8.2 相关函数与功率谱分析	223	10.5 案例分析 2	295
8.2.1 相关分析及其应用	223	小结	296
8.2.2 功率谱分析及应用	228	思考与练习	296
8.3 随机信号的高阶谱分析	231	第 11 章 测试系统设计	297
8.3.1 高阶累积量与高阶矩谱	231	11.1 测试系统设计原则	297
8.3.2 双谱分析	233	11.2 传感器的选用原则	299
8.3.3 阶谱分析应用	236	11.3 测试系统的组成	300
8.4 时频分析	239	11.3.1 测量信号的特性	300
8.4.1 短时傅里叶变化	240	11.3.2 测试系统的电路形式	302
8.4.2 小波分析	241		
8.5 案例分析	243		
小结	245		
思考与练习	246		
第 9 章 虚拟仪器	249		
9.1 虚拟仪器简介	250		

11.3.3	测试系统各单元之间的 匹配条件	304
11.4	接地噪声和消除方式	306
11.4.1	接地问题	306
11.4.2	接地干扰分析	307
11.4.3	正确接地方式	309
11.5	屏蔽技术	312
11.5.1	噪声传播的方式	312
11.5.2	电场屏蔽	316
11.5.3	磁场屏蔽	318
11.6	测量信号的电平偏置与电流 传送	322
11.6.1	偏置	322
11.6.2	以电流的形式传送 信息	324
11.7	测试系统的误差与总合	325
11.7.1	误差的来源及分类	325
11.7.2	误差的总合	328
11.8	案例分析	329
	小结	335
	思考与练习	335

附录	336
一	国际单位制(SI)	336
二	一些物理和化学的基本常数 (1986年国际推荐制)	338
三	常用的单位换算	339
四	镍铬硅-镍硅热电偶(N型) E(t)分度表	340
五	镍铬-镍硅(分度号EU-2) 热电偶毫伏值与温度换算	341
六	铂铈-铂(分度号LB-3)热电偶 毫伏值与温度换算表	342
七	铂热电阻PT100分度表 (IIS-90)	343
八	铂热电阻(Pt10型)R(t)分度表 (IIS-90)	344
九	镍铬-铜镍(康铜)热电偶(E型) 分度表	345
十	铁-铜镍合金(康铜)热电偶(J型) E(t)分度表	346
参考文献	347

第 1 章 绪 论

1.1 现代测试技术的发展趋势

测试技术与计算机技术几乎是同步、协调向前发展的。计算机技术是测试技术的核心，若脱离计算机、软件、网络、通信发展的轨道，测试技术产业就不可能壮大。测试应采用开放式工业标准、互换性、互操作性的产品，基于此出发点，20 世纪 80 年代末出现了 VXI (VME bus eXtensions for Instrumentation) 总线技术，1995 年前后又推出了 CompactPCI、PXI (PCI eXtension for Instrumentation, 面向仪器系统的 PCI 扩展) 体系结构。VEM 总线自 20 世纪 70 年代推出已发展了近 40 年，可以预计，VXI、CompactPCI、PXI 技术在未来的测试领域中将扮演重要角色。此外，以现场总线(Field Bus)、IEEE 1394(Fire Wire)、Internet 分布、高速、互连体系等为特征的测试系统也将越来越广泛地得到应用，总线和网络将是测试工程师未来关注的热点问题。对综合测试技术的发展，当前软件的发展要远远落后于硬件，综合技术本身的软件比硬件更重要。

系统开放化、通信多元化、远程智能化、人机交互形式多样化、测控系统大型化和微型化、数据处理网络化等将成为工业仪器与测控系统新的发展方向，如图 1.1 所示。

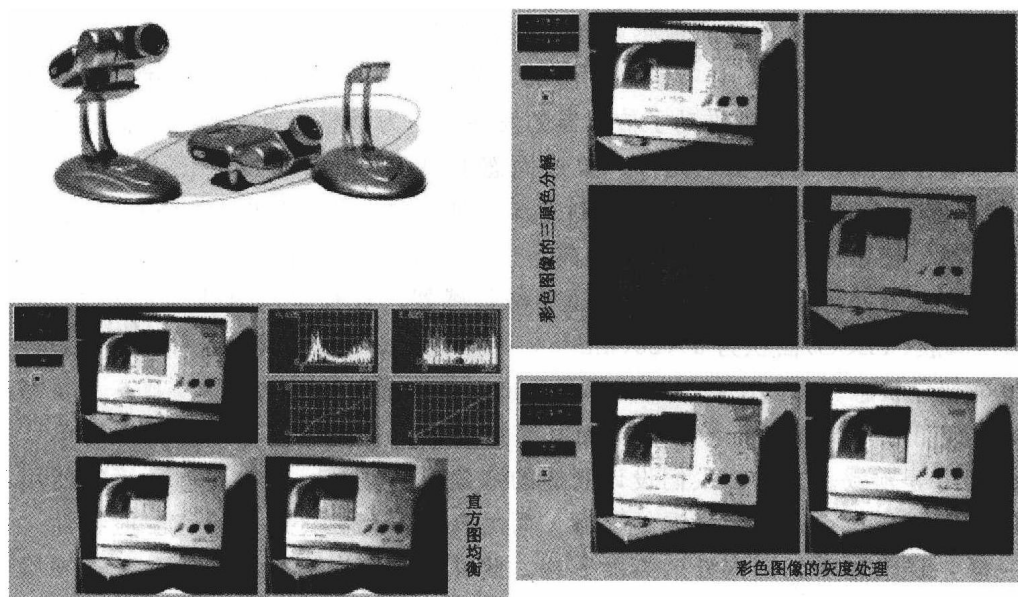


图 1.1 数字式图像传感器与虚拟仪器构成的图像信号采集与分析系统

1.2 传感器的发展

传感器的主要作用是获取信息。传感器是信息技术的源头。现代社会中，所有以计算机为核心的测控系统，都需要传感器，而系统中的信息处理、转换、存储和显示等都与计算机

直接相关，属于共性技术，唯独传感器是千变万化、多种多样的，所以测控系统的功能更多体现在传感器方面，如图 1.2 所示。

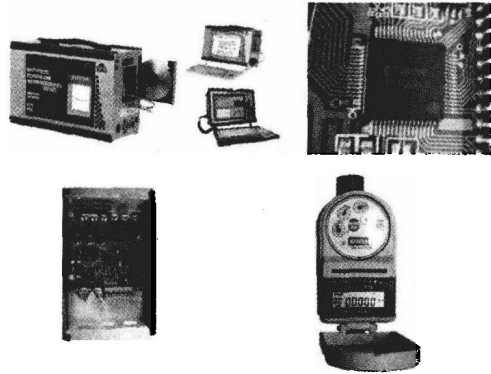


图 1.2 计算机软、硬件技术的发展推动测试仪器的更新换代

如何才能使传感得到更好的发展？纵观传感器的过去、现在的发展情况与将来的需要，可以总结为以下三点：一是抓住与传感器技术相关的新效应、新材料、新技术与新工艺的基础研究；二是在 IC(Integrated Circuit, 集成电路板)、 μP (Micro Processor, 微处理器)与 μC IOS(Micro Controller Operation System, 微控制器操作系统)技术的基础上实现传感器的微型化、多功能与智能化；三是继续在各个领域里推广与开拓应用各种类型的传感器，提高生产自动化和改善人类生活的质量与水平。

新的物理、化学、生物效应传感器是传感技术的重要发展方向之一。每一种新的物理效应的应用，都会出现一种新型的敏感元件，或者能测量某种新的参数。例如，除常见的力敏、压敏、光敏、磁敏之外，还有声敏、湿敏、色敏、气敏、味敏、化学敏、射线敏等。新材料与新元件的应用，有力地推动了传感器的发展，因为敏感元件全赖于敏感功能材料，例如嗅敏、味敏传感器，集成霍尔元件、集成固态 CCD(Charge Couple Device, 电荷耦合器件)图像传感器等。被开发的敏感功能材料有半导体、电介质(晶体或陶瓷)、高分子合成材料、磁性材料、超导材料、光导纤维、液晶、生物功能材料、凝胶、稀土金属等。例如日本夏普公司利用超导技术研制成功的高温超导磁传感器，在稳定的氧化锆上制作 5mm 厚的 Ba_3CuO_7 ，薄膜(YBCO)面积为 $5 \times 20(\text{mm}^2)$ ，4 个接点采用钛金属，这种超导材料在温度为 80K 时呈全超导状态。可以说超导磁传感器的出现是传感器技术的重大突破，其灵敏度比霍尔器件高，仅低于超导量子干涉器件，而其制造工艺远比超导量子干涉器件简单，并可用于磁成像技术等领域。又如，人们设计制造的陶瓷传感器材料可在高温环境中使用，弥补了半导体传感器材料难以承受高温的弊病。而另有不少有机材料的特殊功能特性，也和陶瓷材料一样，越来越受到国内外的高度重视。此外，人们在工程、生活和医学领域中，越来越要求传感器的微型化。目前的微机械加工技术已获得高速发展，除了氧化、光刻、扩散、沉积等传统的微电子技术外，还发展了平面电子工艺技术、各向异性腐蚀、固相键合工艺和机械分断技术等新型微加工技术。这些新技术为新的微型传感器的研制开发提供了良好的条件。例如采用平面电子工艺技术用薄膜制作的快速响应的传感器，已用于检测 NH_3 或 H_2S 的快速响应变化；又如利用各向异性腐蚀技术进行的高精度三维加工，在细小的硅片上构成孔、沟、棱锥、半球等各种形状的微机械元件(为此，日本的横河公司制作了高质量的全硅谐振式压力传感器，其 Q 值(衡量电感器的主要参数)达到 5×10^5 ，稳定

度为 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)；再如固相键合工艺是将两个硅片直接键合在一起，(不用中间粘接剂，也不加电场，只需要表面活化处理，在室温下两个热氧化硅片面对面接触，经过一定温变退火，就可以使两个硅片键合在一起。美国诺瓦公司(NOVA Corp)公司利用这种工艺研制的 $0.4\text{mm}\times 0.90\text{mm}\times 0.15\text{mm}$ 微型压力传感器，能够承受高达 400°C 的温度环境)。传感器技术的主要发展方向如下。

1. 智能化传感器

进行快变参数和动态测量，是自动化过程控制系统中的重要一环，其主要支柱是微电子与计算机技术。传感器与微计算机结合，产生了智能传感器。它能自动选择量程和增益，自动校准与实时校准，进行非线性校正、漂移等误差补偿和复杂的计算处理，完成自动故障监控和过载保护等。

智能化是传感器技术的发展动向。智能化就是将传感器与计算机结合在一起。也就是说，所谓智能传感器，就是实现“信息识别+信息处理+信息存储+信息提取”一体化的传感器。

2. 多维传感器

近年来，要求传感器向由点(零维)到线(一维)，由线到面(二维)，进而由空间(三维)到时空(四维)方向发展。只有传感器的微细化、小型化才可能实现多维传感器。

可以把几个传感器在同一基板上制成一体。传感器数量多时，可把内部用于持续切换的电子电路也集成在其中。在多传感器中，有的是把同一传感器沿一维或二维配置成传感器阵。对于流速等矢量信息的检测，使检测各方向分量的传感器一体化是最佳方案。另外，把其他种类的传感器，例如做温度补偿用的温度传感器集成化，或把同种类但测量量程不同的传感器集成化，可扩大测量范围。

3. 多功能化和高精度化

现代传感技术的另一个发展趋势是以传感器为核心，积极引入各种先进技术和方法以使传感器具有多功能化和高精度化的特点。如智能型传感器，就是利用微处理器来提高传感器精度和线性度，修正温漂和时漂的。有的传感器不仅具有测量功能，还具有选择和判断多种信息的功能。

4. 传感器的融合

目前，传感器高精度化和微型化的特长还没有得到充分体现，特别是在总体的融合方面。大多数生物体能很自如地把检测、判断、控制、行动等实施到最佳状态。把握该机理，并作为传感器信息处理系统在工程上加以实现，这就是“传感器融合”所要研究的内容。今后把各个微传感器的单一功能加以融合，得出综合的输出信息会变得越来越重要。

例如日本丰田研究所开发的多离子传感器，芯片尺寸只有 $2.5\text{nm}\times 0.5\text{nm}$ ，仅用一滴血液就能同时快速检测出 Na^+ 、 K^+ 和 H^+ 的浓度，其对临床很有用。又如美国霍尼威尔公司生产的 ST-3000 型智能传感器，是一种带有 μP 的兼有检测和信息处理功能的传感器，其芯片尺寸仅为 $3\text{nm}\times 4\text{nm}\times 0.2\text{nm}$ 。它采用离子注入等半导体工艺在同一芯片上制作差压、静压和湿度等敏感元件，每一部分都有一个专用的 EPROM 用于存储其特性数据，以供三维补偿。

1.3 测试手段的发展

自 20 世纪 90 年代后,随着个人计算机价格的大幅度降低,出现了用“PC+仪器板卡+应用软件”构成的计算机虚拟仪器;虚拟仪器采用计算机开放体系结构来取代传统的单机测量仪器。将传统测量仪器中的公共部分(如电源、操作面板、显示屏幕、通信总线和 CPU)集中起来通过计算机共享,通过计算机仪器扩展板卡和应用软件在计算机上实现多种物理仪器的功能。虚拟仪器的突出优点是与计算机技术结合,仪器就是计算机,主机供货渠道多、价格低、维修费用低,并能进行升级换代;虚拟仪器功能由软件确定,不必担心仪器永远保持出厂时既定的功能模式,用户可以根据实际生产环境变化的需要,通过更换应用软件来拓展虚拟仪器功能,适应实际科研、生产需要;另外,虚拟仪器能与计算机的文件存储、数据库、网络通信等功能相结合,具有很大的灵活性和拓展空间。在现代网络化、计算机化的生产、制造环境中,虚拟仪器更能适应现代制造业复杂、多变的应用需求,能更迅速、更经济、更灵活地解决工业生产、新产品实验中的测试问题。

在现阶段,测试技术正向多功能、集成化、智能化方向发展。

1. 硬件功能软件化

随着微电子技术的发展,微处理器的运算速度越来越快,价格越来越低,使得一些实时性要求很高、原本要由硬件完成的功能,可以通过软件来实现。甚至许多原来用硬件电路难以解决或根本无法解决的问题,也可以采用软件技术很好地加以解决。数字信号处理技术的发展和高速数字信号处理器的广泛采用,极大地增强了仪器的信号处理能力。数字滤波、FFT(快速傅氏变换)、相关、卷积等是信号处理的常用方法,其共同特点是,主要的算法运算都是由迭代式的乘和加组成的,这些运算如果在通用微机上用软件完成,运算时间会较长,而数字信号处理器通过硬件完成上述乘、加运算,大大提高了仪器性能。

2. 集成化、模块化

大规模集成电路(LSI)技术发展到今天,集成电路的密度越来越高,体积越来越小,内部结构越来越复杂,功能也越来越强大,从而大大提高了每个模块甚至整个仪器系统的集成度。模块化功能硬件是现代仪器仪表的一个强有力的支持,它使得仪器更加灵活,仪器的硬件组成更加简洁。比如在需要增加某种测试功能时,只需增加少量的模块化功能硬件,再调用相应的软件来使用此硬件即可。

仪器与计算机技术的深层次结合产生了全新的仪器结构概念。由数据采集卡、计算机、输出(D/A)及显示器这种结构模式组成简单的仪器通用硬件平台。在此平台基础上,在软件导引下即可进行信号采集、运算、分析、输出和处理等操作,实现相应物理仪器功能并完成测试和控制的全过程。通过上述方法构成了相应功能的测量或控制仪器,即成为了具有虚拟面板的虚拟仪器。在同一平台上,调用不同的测控软件就可构成不同功能的虚拟仪器,故可方便地将多种测控功能集于一体,实现多功能集成仪器,因此,出现了“软件就是仪器”的概念。如对采集的数据通过测试软件进行标定和数据点的显示,就构成一台数字存储示波器;若对采集的数据利用软件进行 FFT 变换,则构成一台频谱分析仪。

3. 参数整定与修改实时化

随着各种现场可编程器件和在线编程技术的发展,仪器仪表的参数甚至结构不必在设计

时就确定，可以在仪器使用的现场实时置入和动态修改。

4. 硬件平台通用化

现代仪器仪表强调软件的作用，选配一个或几个带共性的基本硬件来组成一个通用硬件平台，通过调用不同的软件来扩展或组成各种功能的仪器或系统。一台仪器大致可分解为三个部分：

- (1) 数据采集部分。
- (2) 数据的分析与处理部分。
- (3) 存储、显示或输出部分。

传统的仪器是由厂家将上述三类功能部件，根据仪器功能按固定的方式组建，一般一种仪器只有一种或数种功能。而现代仪器则是将具有上述一种或多种功能的通用硬件模块组合起来，通过编制不同的软件在同一台计算机中构成不同的仪器。

1.4 测量信号处理的发展

信号处理芯片是近年来出现的一种用于快速处理信号的器件。它的出现，对简化信号处理系统的结构，提高运算速度，加快信号处理的实时能力等，有很大影响。美国 Texas 公司 1986 年推出的 TMS320C25 芯片，运算速度达 1000 万次每秒，用其进行 1024 复数点 FFT 运算，只需 14ms 便可完成。这一进展，在图像处理、语言处理、频谱分析、振动噪声生物医学信号的处理方面，展示了很大的应用前景。

目前，信号分析技术的发展目标是：进一步提高在线实时能力；提高分辨力和运算精度；扩大和发展新的专用功能；专用机结构小型化，性能标准化，价格低廉。

1.5 开发平台的发展趋势

面向仪器与测控系统的计算机软件应用平台技术的发展十分迅速，自 20 世纪 90 年代末以来，各种面向仪器与测控系统的计算机软件应用平台层出不穷，使仪器与测控系统的设计方法产生了革命性的进步，极大地缩短了开发周期，降低了开发费用。随着计算机技术的进一步发展，可以相信，基于网络平台的应用开发环境将成为主流，网络技术、虚拟现实技术、三维成像技术将成为新一代软件应用平台的新特点。流场测试、天文测试、生物工程等领域的测试、控制需求将使传统测控系统产生巨大的革命。

在测试平台上，调用不同的测试软件就构成不同功能的仪器，因此软件在系统中占有十分重要的地位。在大规模集成电路迅速发展的今天，系统的硬件越来越简化，软件越来越复杂；集成电路器件的价格逐年下降，而软件成本费用则不断上升。测试软件不论对大的测试系统还是单台仪器子系统都是十分重要的，而且是未来发展和竞争的焦点。有专家预言：“在测试平台上，下一次大变革就是软件。”信号分析与处理要求的特征值，如峰值、有效值、均值、方均值、方差、标准差等，若用硬件电路来获取，其电路是极为复杂的，若要获得多个特征值，电路系统则很庞大。而另一些数据特征值，如相关函数、频谱、概率密度函数等则是不可能用一般硬件电路来获取的，即使是具有微处理器的智能化仪器，如频谱分析仪、传递函数分析仪等，因其价格极其昂贵，而使人们对这种“贵族式”仪器往往望而却步。而在测试平台上，信号数据特征的定义式用软件编程很容易实现，从而使得那些只能是

“贵族式”分析仪器才具有的信号分析与测量功能得以在一般工程测量中实现，使得信号分析与处理技术能够广泛地为工程生产实践服务。

软件技术对于计算机测试系统的重要性，表明了计算机技术在现代测试系统中的重要地位。但不能认为，掌握了计算机技术就等于掌握了测试技术。这是因为，其一，计算机软件永远不可能全部取代测试系统的硬件；其二，不懂得测试系统的基本原理，就不可能正确地组建测试系统，也不可能正确地应用计算机。因此，现代测试技术既要求测试人员熟练掌握计算机应用技术，又要求测试人员深入掌握测试技术的基本理论。

通用集成仪器平台的构成技术与数据采集、数字信号分析处理的软件技术是决定现代测试仪器、系统性能与功能的两大关键技术。以虚拟/集成仪器为代表的现代测试仪器、系统与传统测试仪器相比较的最大特点是：用户在集成仪器平台上根据自己的要求开发相应的应用软件，就能构成自己需要的实用仪器和实用测控系统，其仪器的功能不限于厂家的规定。

第2章 常规传感器



学习目标

明确各种传感器的定义、组成与分类，以及传感器最新技术发展动向，对传感器的基本特性有一个深入的认识。掌握常规传感器的作用原理与基本测量电路，熟悉各种常规传感器性能的测试与典型应用。通过对常规传感器的学习，达到在工作实际中能够合理选择和灵活使用传感器。



学习要求

了解各种传感器的特征、作用与基本性能，掌握电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、磁电式传感器、光电式传感器、半导体传感器的作用原理与典型测量电路，熟悉数字式传感器、热电偶传感器、光纤传感器、压磁式传感器的作用原理与特性，了解各种传感器的应用状况，为工程中的实际测量工作打下较坚实的基础。



引例

传感器是人类获取自然领域中信息的主要途径与手段，在现代科技中它所起的作用越来越重要。

作为人脑的一种模拟电子计算机的发展极为迅速，可是起五种感觉模拟作用的传感器却发展很慢，因而引起了人们的高度关注。如果不进行传感器的开发，现在的电子计算机将处于一种不能适应实际需要的状态。为了很好地相当于“体力劳动”的传感器和执行器与相当于“脑力劳动”的电子计算机进行协调一样，也要求传感器、电子计算机和执行器三者都能相互协调才行。这样，传感器就成了现代科学的中枢神经系统，它日益受到人们的普遍重视，这已成为现代传感器技术的必然趋势。当传感器技术在工业自动化、军事国防和以宇宙开发、海洋开发为代表的尖端科学与工程等重要领域广泛应用的同时，它正以自己的巨大潜力，向着与人们生活密切相关的方面渗透：生物工程、医疗卫生、环境保护、安全防范、家用电器、网络家居等方面的传感器已层出不穷，并在日新月异地发展。

例如：

(1) 方便转换频道等功能的遥控电视机、可随意改变风速的遥控电风扇中都有传感器的身影。在防盗防入侵的报警装置中也装有红外传感器。

(2) 自动化洗衣机中装有浊度传感器，可以合理地安排漂洗次数，起到节水、节电的作用。

(3) 全自动照相机中的光电传感器保证在不同的光线下适度曝光。

(4) 汽车用的速度、加速度传感器能在两车碰撞时及时弹出安全气囊，防止意外伤害的发生。图 2.1、图 2.2 是汽车用各种传感器以及加速度传感器在汽车中的应用。

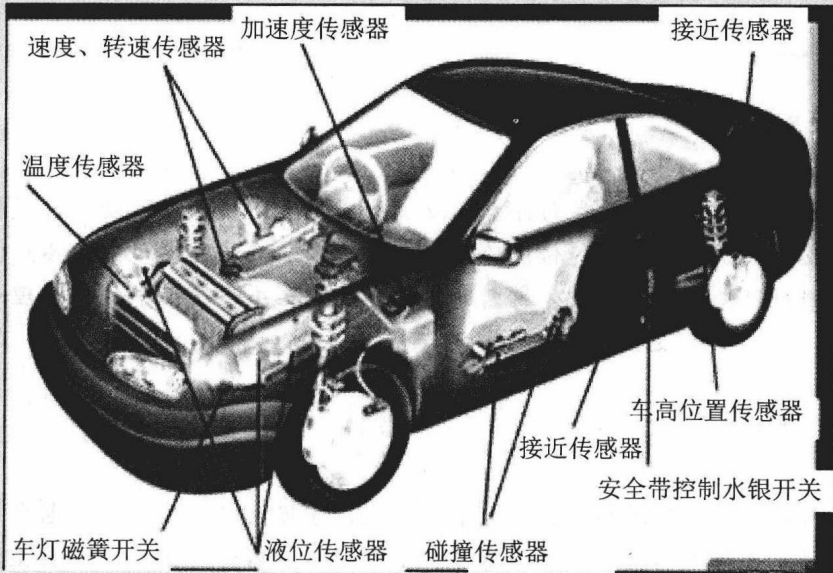


图 2.1 汽车用各种传感器

图 2.2 所示，右边小图为安全气囊。加速度传感器安装在轿车上，可以作为碰撞传感器。当测得的负加速度值超过设定值时，微处理器据此判断发生了碰撞。于是就启动了轿车前部折叠式安全气囊迅速充气而膨胀，托住驾驶人及前排的乘员的头部和胸部。



图 2.2 加速度传感器在汽车中的应用

2.1 传感器概述

目前，五花八门的传感器种类繁多，仅我国敏感元件与传感器的品种已超过 6000 余种。在许多方面传感器的性能已凌驾于人的感官之上。如紫外线、红外线、超声波等。从这个意义上讲传感器具有人类所梦寐以求的特异功能。但是人所具有的智能是任何东西所无法替代的。