



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

传感器与检测技术

第二版（配光盘）

陈杰 黄鸿 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

传感器与检测技术

Chuanganganqi yu Jiance Jishu

第二版（配光盘）

陈杰 黄鸿 编著



高等教育出版社·北京

HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/陈杰, 黄鸿编著. —2 版. —北京:
高等教育出版社, 2010. 11

ISBN 978 - 7 - 04 - 029949 - 6

I. ①传… II. ①陈…②黄… 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(2010)第 121052 号

策划编辑	金春英	责任编辑	王莉莉	封面设计	于文燕	责任绘图	尹 莉
版式设计	王 莹	责任校对	金 辉	责任印制	尤 静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

版 次 2003 年 7 月第 1 版
2010 年 11 月第 2 版
印 次 2010 年 11 月第 1 次印刷
定 价 43.30 元(含光盘)

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 24.25
字 数 590 000

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 29949 - 00

第二版前言

随着社会的发展和科学技术的进步，人们在研究自然现象和规律及生产活动时，必然从外界获得大量信息，信息的获取、处理、传输已经成为信息领域的关键技术。要及时正确地获取这些信息，就必须合理地选择和应用各种传感器和检测技术。作为信息技术的三大支柱之一，传感器与检测技术已渗透到人类的科学研究、工程实践和日常生活的各个方面，在促进生产发展和科学技术进步的广阔领域中发挥着重要的作用。

本书在第一版的基础上进行了重新修订。为了保持本书紧密联系传感器与检测技术的最新进展，全面介绍这些领域的相关知识的特色，本书在原有基础上新增加了生物传感器及无线传感器网络测控系统，重新修订了集成智能传感器，并整理了实验部分。生物传感器章节分别介绍了电化学 DNA 传感器、半导体生物传感器等应用前景广泛的传感器。智能传感器章节介绍了单片集成化智能传感器、网络化智能压力传感器、单片指纹传感器和特种集成传感器。无线传感器网络测控系统主要讲述无线传感器网络的应用、特点和关键技术等内容，使读者对传感器在网络测控系统中的应用有一个清晰的认识。在编写本书的过程中，我们力求做到取材广泛、结构清晰、概念清楚、通俗易懂、系统性强。

全书共 17 章，分三大部分，第一部分为传感器，第二部分为检测技术，第三部分为实验。第 0 章介绍传感器与检测技术的基本概念；第 1 章介绍传感器的特性；第 2 章到第 11 章描述当前使用较多的几类传感器，如电阻式、电感式、电容式、磁电式、压电式、光电式、热电式、核辐射传感器及生物传感器的基本原理和设计知识，并对集成智能传感器作了介绍；第 12 章和第 13 章介绍传感器的标定方法和传感器可靠性技术；第 14 章是检测技术基础，介绍了数据的检测及处理方法；第 15 章介绍了多传感器信息融合技术；第 16 章介绍的是现代检测系统，使读者对传感器与检测技术的现状和未来发展有全面的了解；第 17 章为实验部分，旨在提高读者理论联系实际和动手的能力。

本书由王普教授主审，同时还得到了其他各方面专家的支持，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，加之时间仓促，书中难免有疏漏和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2010 年 1 月于北京

第一版前言

信息科学是众多领域中发展最快的一门科学，也是最具有发展活力的学科之一。信息科学中的四大环节(信息捕获、提取、传输、处理)是人们最关心、对社会发展和进步起着十分重要的作用的重要内容。信息捕获技术是信息科学最前端的一个“阵地”和手段，而信息捕获的主要工具就是传感器。传感器作为测控系统中对象信息的入口，在现代化事业中的重要性已被人们所认识。

随着信息时代的到来，国内外已将传感器技术列为优先发展的科技领域之一。国内许多高校相继都开设了相应课程。随着高新技术的发展，专业面的拓宽和适应传感器与检测技术的开发、应用的需要，作者在北京理工大学多年讲义的基础上，广取兄弟院校教材之所长，博采国内外文献、专著之精髓，结合多年来教学经验和科研实践的成果，编著了本书。

全书共 15 章，分两大部分，第一部分为传感器，第二部分为检测技术。本书第 0 章介绍传感器和检测技术的基本概念；第 1 章介绍传感器的特性；第 2 章至第 10 章描述当前使用较多的几类传感器，如电阻式、电感式、电容式、磁电式、压电式、光电式、热电式、核辐射传感器的基本原理和设计知识，并对智能式传感器作了介绍；第 11 章和第 12 章介绍传感器的标定方法和传感器可靠性；第 13 章是检测技术基础，介绍了数据的检测及处理方法；第 14 章介绍的是传感器信息融合技术；第 15 章介绍的是现代测试系统，旨在使读者对传感器与检测技术的现状和未来发展有较全面的了解。

本书与国内现有的教材比较具有以下特色：

1. 本书将传感器与检测技术有机地结合在一起，使学生能够更全面学习和掌握信号传感、信号采集、信号转换、信号处理及信号传输的整个过程。

2. 本教材增加了传感器标定和传感器可靠性等章节，使学生对制作传感器的全过程有一个全面的认识，并通过相关实验提高学生的动手能力。传感器的可靠性技术对于整个自动检测系统的数据获取的准确性和稳定性是至关重要的，这也是我国传感器产品与国外产品相比的最大薄弱环节，因此，本教材特别增加了可靠性技术方面的内容。

3. 紧密联系传感器与检测技术的最新进展，全面介绍这些领域的相关知识，以拓宽学生的眼界。本项目除介绍传统的结构性传感器外，还介绍了借助现代相关新技术和新方法，特别是与微型计算机技术相结合，给予其功能的扩展和性能的提高，注入了新的活力的传感器。

4. 本教材附有的习题及思考题、多媒体课件和相关实验，使学生更容易学习和掌握课程的内容。

本书内容新颖、丰富、全面，具有一定的深度和广度。叙述简明，深入浅出。可作为高等学校检测技术、仪器仪表及自动控制等专业的教材，也可供有关专业人员使用和参考。

本书由涂序彦教授主审。陈绿深教授和张训文副教授对本书的内容及实验的编写提供了许

多帮助。

由于本书涉及的传感器应用的电路较多，加之时间仓促和编者的水平有限，难免存在疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评和指正。

另外，本教材还配有 CAI 课件。

作 者

2002 年 5 月于北京

目 录

0 传感器与检测技术概念	1	2.1.4 电位器的结构与材料	28
0.1 传感器的组成与分类	1	2.1.5 电位器式传感器应用举例	29
0.1.1 传感器的定义	1	2.2 应变片式电阻传感器	30
0.1.2 传感器的组成	1	2.2.1 电阻应变片的工作原理	31
0.1.3 传感器的分类	1	2.2.2 金属电阻应变片主要特性	31
0.2 传感器的作用与地位	2	2.2.3 温度误差及其补偿	36
0.3 传感器技术的发展动向	2	2.2.4 应变片式电阻传感器的测量	
0.4 检测技术的定义	4	电路	39
0.5 检测技术的作用	4	2.2.5 应变片式电阻传感器的应用	
1 传感器的特性	5	举例	42
1.1 传感器的静态特性	5	3 电感式传感器	46
1.1.1 线性度	5	3.1 自感式传感器	46
1.1.2 迟滞	7	3.1.1 工作原理	46
1.1.3 重复性	7	3.1.2 灵敏度及非线性	48
1.1.4 灵敏度与灵敏度误差	8	3.1.3 等效电路	48
1.1.5 分辨率与阈值	8	3.1.4 转换电路	48
1.1.6 稳定性	8	3.1.5 零点残余电压	52
1.1.7 温度稳定性	8	3.1.6 自感式传感器的特点及应用	52
1.1.8 多种抗干扰能力	8	3.2 变压器式传感器	53
1.1.9 静态误差	9	3.2.1 工作原理	53
1.2 传感器的动态特性	9	3.2.2 等效电路及其特性	54
1.2.1 动态特性的数学描述	9	3.2.3 差分变压器式传感器的测量	
1.2.2 线性系统的传递函数	11	电路	56
1.2.3 传感器的动态特性指标	11	3.2.4 零点残余电压的补偿	60
1.2.4 动态响应分析的基本方法	13	3.2.5 变压器式传感器的应用举例	61
1.2.5 典型环节的动态响应特性	15	3.3 涡流式传感器	62
2 电阻式传感器	23	3.3.1 工作原理	62
2.1 电位器式电阻传感器	23	3.3.2 转换电路	63
2.1.1 线性电位器	23	3.3.3 涡流式传感器的特点及应用	64
2.1.2 非线性电位器	26	3.4 压磁式传感器	66
2.1.3 负载特性与负载误差	27	3.4.1 工作原理	66

3.4.2 结构形式	66	6.1 压电效应	107
4 电容式传感器	70	6.1.1 石英晶体的压电效应	108
4.1 电容式传感器的工作原理及 类型	70	6.1.2 压电陶瓷的压电效应	109
4.1.1 工作原理	70	6.1.3 高分子材料的压电效应	110
4.1.2 类型	70	6.1.4 压电方程与压电常数	111
4.2 电容式传感器的灵敏度及 非线性	72	6.2 压电材料	113
4.3 电容式传感器的特点及等 效电路	73	6.3 等效电路	115
4.3.1 特点	73	6.4 测量电路	116
4.3.2 等效电路	74	6.4.1 电压放大器	116
4.4 电容式传感器的设计要点	75	6.4.2 电荷放大器	118
4.4.1 保护绝缘材料的绝缘性能	75	6.5 压电式传感器的应用举例	120
4.4.2 消除和减小边缘效应	76	6.5.1 压电式测力传感器	120
4.4.3 消除和减小寄生电容的影响	76	6.5.2 压电式加速度传感器	121
4.4.4 防止和减小外界干扰	78	6.6 影响压电式传感器精度的 因素分析	121
4.5 电容式传感器的转换电路	79	6.6.1 非线性	121
4.5.1 调制型电路	79	6.6.2 横向灵敏度	122
4.5.2 脉冲型电路	82	6.6.3 环境温度的影响	123
4.6 电容式传感器的应用举例	85	6.6.4 湿度的影响	123
4.6.1 差分式电容压力传感器	85	6.6.5 电缆噪声	123
4.6.2 电容式加速度传感器	86	6.6.6 接地回路噪声	123
4.6.3 电容式料位传感器	86	7 光电式传感器	124
4.6.4 电容式位移传感器	86	7.1 光电效应	124
5 磁电式传感器	88	7.1.1 外光电效应	124
5.1 磁电感应式传感器	88	7.1.2 内光电效应	125
5.1.1 工作原理和结构类型	88	7.1.3 光生伏特效应	125
5.1.2 动态特性分析	90	7.2 光电器件及其特性	125
5.1.3 测量电路	94	7.2.1 光电管与光电倍增管	125
5.1.4 磁电感应式传感器应用举例	98	7.2.2 光敏电阻	128
5.2 霍尔式传感器	99	7.2.3 光敏二极管及光敏三极管	128
5.2.1 霍尔效应和霍尔元件材料	99	7.2.4 光电池	129
5.2.2 霍尔元件构造及测量电路	101	7.2.5 半导体光电元件的特性	130
5.2.3 霍尔元件的主要技术指标	102	7.3 光电式传感器的测量电路	134
5.2.4 霍尔元件的补偿电路	103	7.3.1 光源	134
5.2.5 霍尔式传感器的应用举例	105	7.3.2 测量电路	134
6 压电式传感器	107	7.4 光电传感器及其应用	137
		7.4.1 模拟式光电传感器	137
		7.4.2 脉冲式光电传感器	138

7.5 光纤传感器	139	10.1.1 生物传感器基本结构	185
7.5.1 光导纤维	140	10.1.2 生物传感器的类型	186
7.5.2 光纤传感器的工作原理	141	10.1.3 生物传感器的优点	186
7.6 电荷耦合器件(CCD)	144	10.1.4 生物传感器的固定化技术	186
7.6.1 CCD的工作原理	145	10.2 电化学 DNA 传感器	187
7.6.2 CCD应用举例	147	10.2.1 电化学 DNA 传感器原理	187
7.7 光栅式传感器	148	10.2.2 DNA在固体电极上的固定	188
7.7.1 基本工作原理	148	10.2.3 电化学 DNA 传感器中的 标识物	189
7.7.2 莫尔条纹	151	10.2.4 电化学 DNA 传感器的应用	190
7.7.3 辨向原理和细分电路	152	10.3 半导体生物传感器	191
7.8 激光式传感器	156	10.3.1 原理与特点	192
7.8.1 激光干涉仪测位移	156	10.3.2 生物场效应晶体管结构类型	193
7.8.2 激光测长度原理	158	10.3.3 应用研究实例	195
8 热电式传感器	159	11 集成智能传感器	199
8.1 热电阻	159	11.1 单片集成化智能传感器	199
8.1.1 热电阻的材料及工作原理	159	11.1.1 智能传感器的基本特点	199
8.1.2 测量电路	161	11.1.2 智能传感器的发展趋势 及应用	202
8.2 热电偶	161	11.1.3 单片智能传感器主要产品 的分类	205
8.2.1 热电效应	162	11.2 网络化智能压力传感器	207
8.2.2 热电偶基本定律	163	11.2.1 PPT、PPTR系列网络化智能 压力传感器的工作原理	207
8.2.3 热电偶材料及常用热电偶	165	11.2.2 PPT系列网络化智能压力 传感器的典型应用	209
8.2.4 热电偶测温线路	166	11.3 单片指纹传感器	212
8.2.5 热电偶参考端温度	168	11.3.1 生物识别技术的发展概况	212
8.3 热敏电阻	172	11.3.2 指纹识别的基本原理	217
8.3.1 热敏电阻的主要特性	172	11.3.3 FCD4B14/AT77C101B型 指纹传感器	222
8.3.2 热敏电阻的特性线性化	174	11.4 特种集成传感器	228
8.3.3 热敏电阻的应用举例	175	11.4.1 LM1042型集成液位传感器	228
9 核辐射传感器	177	11.4.2 MC系列烟雾检测报警 集成电路	233
9.1 核辐射的基本特性	177	12 传感器的标定	241
9.1.1 核辐射的特性	177	12.1 传感器的静态特性标定	241
9.1.2 测量中常用的同位素	180	12.1.1 静态标准条件	241
9.2 核辐射传感器	181		
9.2.1 电离室	181		
9.2.2 气体放电计数管	182		
9.3 核辐射传感器的应用举例	183		
9.4 放射性辐射的防护	184		
10 生物传感器	185		
10.1 概述	185		

12.1.2 标定仪器设备精度等级的 确定	241	14.3 测量系统	273
12.1.3 静态特性标定的方法	241	14.3.1 测量系统的构成	274
12.2 传感器的动态特性标定	242	14.3.2 主动式测量系统与被动式测量 系统	275
12.3 测振传感器的标定	243	14.3.3 开环式测量系统与闭环式测量 系统	275
12.3.1 绝对标定法	244	14.4 测量数据处理方法	276
12.3.2 比较标定法	244	14.4.1 静态测量数据的处理方法	276
12.4 压力传感器的标定	244	14.4.2 动态测量数据的处理方法	294
12.4.1 动态标定压力源	244	15 多传感器信息融合技术	299
12.4.2 激波管标定法	246	15.1 概述	299
13 传感器可靠性技术	252	15.1.1 概念	299
13.1 可靠性技术基础概述	252	15.1.2 意义及应用	299
13.1.1 可靠性技术定义及其特点	252	15.2 传感器信息融合的分类和 结构	300
13.1.2 可靠性技术的基本特征量	253	15.2.1 传感器信息融合的分类	300
13.2 可靠性设计	257	15.2.2 信息融合的结构	301
13.2.1 可靠性设计的重要性	257	15.2.3 信息融合系统结构的实例	302
13.2.2 可靠性设计程序和原则	257	15.3 传感器信息融合的一般方法	303
13.2.3 系统的可靠性框图模型及 计算	258	15.3.1 嵌入约束法	303
13.3 可靠性管理	259	15.3.2 证据组合法	304
13.3.1 可靠性管理的意义及特点	259	15.3.3 人工神经网络法	306
13.3.2 可靠性管理机构 and 职责	259	15.4 传感器信息融合的实例	306
13.3.3 可靠性标准、情报与保证	260	15.4.1 机器人中的传感器信息融合	306
13.3.4 可靠性管理的实施	260	15.4.2 舰船上的传感器信息融合	307
13.4 可靠性试验	260	16 现代检测系统	310
13.4.1 传感器环境试验概述	260	16.1 计算机检测系统的基本组成	310
13.4.2 传感器的可靠性试验实例	263	16.1.1 多路模拟开关	310
13.5 敏感元件及传感器的失效 分析	264	16.1.2 A/D 转换与 D/A 转换	311
13.5.1 概述	264	16.1.3 取样保持	314
13.5.2 分析方法	265	16.2 总线技术	315
14 检测技术基础	271	16.2.1 总线的基本概念及其标准化	315
14.1 检测技术概述	271	16.2.2 总线的通信方式	316
14.2 测量方法	271	16.2.3 测控系统内部总线	316
14.2.1 直接测量、间接测量和联立 测量	271	16.2.4 测控系统外部总线	319
14.2.2 偏差式测量、零位式测量和微 差式测量	272	16.3 虚拟仪器	322
		16.3.1 虚拟仪器的出现	323
		16.3.2 虚拟仪器的硬件系统	324

16.3.3 虚拟仪器的软件系统	325	17.3.3 气敏传感器演示实验	347
16.3.4 虚拟仪器的发展趋势	325	17.4 光电传感器实验	348
16.4 网络化检测仪器	326	17.4.1 光敏电阻实验	348
16.4.1 基于现场总线技术的网络化 测控系统	326	17.4.2 光敏电阻的应用——暗光亮灯 电路	350
16.4.2 面向 Internet 网络测控系统	327	17.4.3 光敏二极管特性实验	350
16.4.3 网络化检测仪器与系统实例	328	17.4.4 光敏三极管特性测试	352
16.4.4 无线传感器网络测控系统	329	17.4.5 光敏三极管对不同光谱的 响应	353
17 传感器与检测技术实验	334	17.4.6 光电开关(红外发光管与光敏 三极管)	354
17.1 温度传感器实验	334	17.4.7 光电传感器——热释电红外 传感器性能实验	355
17.1.1 铂热电阻实验	334	17.4.8 红外光敏管应用——红外 检测	356
17.1.2 温度变送器实验	335	17.4.9 光电池特性测试	356
17.1.3 热电偶测温实验	337	17.4.10 光纤位移传感器原理	358
17.1.4 热电偶标定实验	339	17.4.11 光纤传感器——位移测试	359
17.1.5 PN 结温敏二极管实验	339	17.4.12 光纤传感器应用——测温 传感器	359
17.1.6 半导体热敏电阻实验	340	17.4.13 光纤传感器——动态测量	360
17.1.7 集成温度传感器	341	17.4.14 光栅衍射实验——光栅距 的测定	360
17.2 电涡流传感器实验	341	17.4.15 光栅传感器——衍射演示 及测距实验	361
17.2.1 电涡流传感器静态标定	341	17.4.16 电荷耦合图像传感器——CCD 摄像法测径实验	362
17.2.2 被测材料对电涡流传感器特性 的影响	342	附录 习题与思考题	363
17.2.3 电涡流传感器振幅测量	343	参考文献	370
17.2.4 涡流传感器测转速实验	343		
17.2.5 综合传感器——力平衡式传感 器实验	344		
17.3 半导体传感器实验	345		
17.3.1 湿敏传感器——湿敏电容 实验	345		
17.3.2 湿敏传感器——湿敏电阻 实验	346		

0 传感器与检测技术概念

0.1 传感器的组成与分类

0.1.1 传感器的定义

传感器是能感受规定的被测量并按照一定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。其中，敏感元件是指传感器中直接感受被测量的部分，转换元件是指传感器能将敏感元件的输出转换为适于传输和测量的电信号部分。

有些国家和有些学科领域，将传感器称为变换器、检测器或探测器等。应该说明，并不是所有的传感器都能明显区分敏感元件与转换元件两个部分，而是二者合为一体。例如，半导体气体、湿度传感器等，它们一般都是将感受的被测量直接转换为电信号，没有中间转换环节。

传感器输出信号有很多形式，如电压、电流、频率、脉冲等，输出信号的形式由传感器的原理确定。

0.1.2 传感器的组成

通常，传感器由敏感元件和转换元件组成。但是由于传感器输出信号一般都很微弱，需要有信号调节与转换电路将其放大或变换为容易传输、处理、记录和显示的形式。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用，传感器的信号调节与转换可以安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在同一芯片上。因此，信号调节与转换电路以及所需电源都应作为传感器的组成部分，如图 0-1 所示。

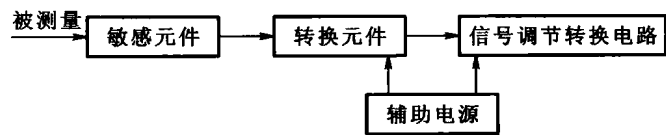


图 0-1 传感器组成方框图

常见的信号调节与转换电路有放大器、电桥、振荡器、电荷放大器等，它们分别与相应的传感器相配合。

0.1.3 传感器的分类

传感器的种类繁多，不胜枚举。传感器的分类方法很多，表 0-1 给出了常见的分类方法。

表 0-1 传感器的分类

分 类 方 法	传感器的种类	说 明
按输入量分类	位移传感器、速度传感器、温度传感器、压力传感器等	传感器以被测物理量命名
按工作原理分类	应变式、电容式、电感式、压电式、热电式等	传感器以工作原理命名
按物理现象分类	结构型传感器	传感器依赖其结构参数变化实现信息转换
	特性型传感器	传感器依赖其敏感元件物理特性的变化实现信息转换
按能量关系分类	能量转换型传感器	传感器直接将被测量的能量转换为输出量的能量
	能量控制型传感器	由外部供给传感器能量，而由被测量来控制输出的能量
按输出信号分类	模拟式传感器 数字式传感器	输出为模拟量 输出为数字量

0.2 传感器的作用与地位

人类社会已进入信息时代，人们的社会活动主要依靠对信息资源的开发及获取、传输与处理。传感器处于研究对象与测试系统的接口位置，即检测与控制系统之首。因此，传感器成为感知、获取与检测信息的窗口，一切科学研究与自动化生产过程要获取的信息，都要通过传感器获取并通过它转换为容易传输与处理的电信号，所以传感器的作用与地位特别重要。

若将计算机比喻为人的大脑，那么传感器则可以比喻为人的感觉器官。可以设想，没有功能正常而完美的感觉器官，不能迅速而准确地采集与转换欲获得的外界信息，纵有再好的大脑也无法发挥其应有的作用。科学技术越发达，自动化程度越高，对传感器的依赖性就越大。所以，20 世纪 80 年代以来，世界各国都将传感器技术列为重点发展的高技术，备受重视。

0.3 传感器技术的发展动向

传感器技术所涉及的知识非常广泛，渗透到各个学科领域。但是它们的共性是利用物理定律和物质的物理、化学和生物特性，将非电量转换成电量。所以，如何采用新技术、新工艺、新材料以及探索新理论达到高质量的转换，是总的发展途径。

当前，传感器技术的主要发展动向，一是开展基础研究，发现新现象，开发传感器的新材

料和新工艺；二是实现传感器的集成化与智能化。

1. 发现新现象

利用物理现象、化学反应和生物效应是各种传感器工作的基本原理，所以发现新现象与新效应是发展传感器技术的重要的工作，是研究新型传感器的重要基础，其意义极为深远。例如，日本夏普公司利用超导技术研制成功高温超导磁传感器，是传感器技术的重大突破，其灵敏度比霍尔器件高，仅次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，它可用于磁成像技术，具有广泛推广价值。

2. 开发新材料

传感器材料是传感器技术的重要基础，由于材料科学的进步，人们在制造时，可任意控制它们的成分，从而设计制造出用于各种传感器的功能材料。例如，半导体氧化物可以制造各种气体传感器，而陶瓷传感器工作温度远高于半导体，光导纤维的应用是传感器材料的重大突破，用它研制的传感器与传统的相比有突出的特点。有机材料作为传感器材料的研究，引起国内外学者的极大兴趣。

3. 采用微细加工技术

半导体技术中的加工方法，如氧化、光刻、扩散、沉积、平面电子工艺、各向异性腐蚀以及蒸镀、溅射薄膜工艺都可用于传感器制造，因而制造出各式各样的新型传感器。例如，利用半导体技术制造出压阻式传感器，利用薄膜工艺制造出快速响应的气敏、湿敏传感器，日本横河公司利用各项异性腐蚀技术进行高精度三维加工，在硅片上构成孔、沟棱锥、半球等，制作出全硅谐振式压力传感器。

4. 研究多功能集成传感器

日本丰田研究所开发出同时检测 Na^+ 、 K^+ 和 H^+ 等多离子传感器。这种传感器的芯片尺寸为 $2.5\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ ，仅用一滴血液即可同时快速检测出其中 Na^+ 、 K^+ 、 H^+ 的浓度，适用于医院临床，使用非常方便。

催化金属栅与 MOSFET 相结合的气体传感器已广泛用于检测氧、氨、乙醇、乙烯和一氧化碳等。

我国某传感器研究所研制的硅压阻式复合传感器可以同时测量压力与温度。

5. 智能化传感器

智能化传感器是一种带微处理器的传感器，它兼有检测、判断和信息处理功能。其典型产品如美国霍尼尔公司的 ST-3000 型智能传感器，其芯片尺寸为 $3\text{ mm} \times 4\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ ，采用半导体工艺，在同一芯片上制作 CPU、EPROM 和静压、压差、温度等三种敏感元件。

6. 新一代航天传感器研究

众所周知，在航天器的各大系统中，传感器对各种信息参数的检测，保证了航天器按预定程序正常工作，起着极为重要的作用。随着航天技术的发展，航天器上需要的传感器越来越多，例如，航天飞机上安装约 3 500 个传感器，对其指标性能都有严格要求，如小型化、低功耗、高精度、高可靠性等都有具体指标。为了满足这些要求，必须采用新原理、新技术研制出新型的航天传感器。

7. 仿生传感器研究

值得注意的一个发展动向是仿生传感器的研究，特别是在机器人技术向智能化高级机器人

发展的今天。仿生传感器就是模拟人的感觉器官的传感器，即视觉传感器、听觉传感器、嗅觉传感器、味觉传感器、触觉传感器等。目前只有视觉与触觉传感器解决的比较好，其他几种远不能满足机器人发展的需要。也可以说，至今真正能代替人的感觉器官功能的传感器极少，需要加速研究，否则将会影响机器人技术的发展。

0.4 检测技术的定义

检测技术属于信息科学的范畴，与计算机技术、自动控制技术和通信技术构成完整的信息技术学科。测量是指确定被测对象属性量值为目的的全部操作。测试是具有试验性质的测量，或者可以理解为测量和试验的综合。

0.5 检测技术的作用

客观世界的一切物质都以不同形式在不断地运动着。运动着的物质是以一定的能量或状态表现出来的，这就是信号。人们为了认识物质世界，就必须寻找表征物质运动的各种信号以及信号与物质运动的关系。这就是检测的任务。

自古以来，检测技术早就渗透到人类的生产活动、科学实验和日常生活的各个方面，如计时、产品交换、气候和季节的变化规律等。

在工业生产这个领域内，广泛地应用检测技术，如生产过程中产品质量的检测、产品质量的控制、提高生产经济效益、节能和生产过程的自动化等。这些都要测量生产过程中的有关参数和(或)进行反馈控制，以保证生产过程中的这些参数处在最佳最优状态。

在科学研究领域内，人们通过观察、试验，并用已有的知识和经验，对试验结果进行分析、对比、概括、推理。通过不断地观察、试验，从而找出新的规律，再上升为理论。因而能否通过观察试验得到结果，而且是可靠的结果，决定于检测技术的水平，所以，从这个意义上讲，科学的发展、突破是以检测技术的水平为基础的。例如，人类在光学显微镜出现以前，只能用肉眼来分辨物质。而16世纪出现了光学显微镜，这就使人们能借助显微镜观察细胞，从而大大推动了生物科学的发展。而到20世纪30年代，出现了电子显微镜，又使人们的观察能力进入微观世界，这又推动了生物科学、电子科学和材料科学的发展。当然，科学技术的发展又反过来促进检测技术的发展。

现代人们的日常生活中，也越来越离不开检测技术。例如现代化起居室中的温度、湿度、亮度、空气新鲜度、防火、防盗和防尘等的测试、控制，以及由有视觉、听觉、嗅觉、触觉和味觉等感觉器官，并有思维能力的机器人来参与各种家庭事务管理和劳动等，都需要各种检测技术。尤其是自动化生产出现以后，要求生产过程参数的检测能自动进行。这时就产生了自动检测系统。

1 传感器的特性

传感器的特性是指传感器所特有性质的总称。而传感器的输入-输出特性是其基本特性,一般把传感器作为二端网络研究时,输入-输出特性是二端网络的外部特性,即输入量和输出量的对应关系。由于输入作用量的状态(静态、动态)不同,同一个传感器所表现的输入-输出特性也不一样,因此有静态特性、动态特性之分。由于不同传感器的内部参数各不相同,它们的静态特性和动态特性也表现出不同的特点,对测量结果的影响也各不相同。因此从分析传感器的外特性入手,分析它们的工作原理,输入-输出特性与内部参数的关系,误差产生的原因、规律,量程关系等是一项重要内容。本章主要是从静态和动态角度研究输入-输出特性。

静态特性是指当输入量为常量或变化极慢时传感器输入-输出特性。动态特性是指当输入量随时间变化时传感器的输入-输出特性。

1.1 传感器的静态特性

衡量传感器静态特性的主要指标是线性度、迟滞、重复性、分辨率、稳定性、温度稳定性、多种抗干扰能力等。

1.1.1 线性度

传感器的输入-输出关系或多或少地都存在非线性问题。在不考虑迟滞、蠕变等因素的情况下,其静态特性可用下列多项式代数方程来表示

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (1-1)$$

式中: y ——输出量;

x ——输入量;

a_0 ——零点输出;

a_1 ——理论灵敏度;

$a_2, a_3, \cdots, a_n$ ——非线性项系数。

各项系数不同,决定了特性曲线的具体形式。

静态特性曲线可由实际测试获得,在获得特性曲线之后,可以说问题已经解决。但是为了标定和数据处理的方便,希望得到线性关系,这时可采用各种方法,其中也包括计算机硬件和软件补偿,进行线性化处理。一般来说,这些方法都比较复杂,所以在非线性误差不太大的情况下,总是采用直线拟合的方法来线性化。

在采用直线拟合线性化时,输入输出的校正曲线与其拟合直线之间的最大偏差,称为非线性误差,通常用相对误差 γ_L 来表示,即

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中： $\Delta L_{\max}$ ——非线性最大偏差；

y_{FS} ——满量程输出。

由此可见，非线性误差的大小是以一定的拟合直线为基准而得出来的。拟合直线不同，非线性误差也不同。所以，选择拟合直线的主要出发点，应是获得最小的非线性误差，另外，还应考虑使用、计算方便等。

目前常用的拟合方法有：①理论拟合；②过零旋转拟合；③端点拟合；④端点平移拟合；⑤最小二乘法拟合等。前四种方法如图 1-1 所示。图中实线为实际输出的校正曲线，虚线为拟合直线。

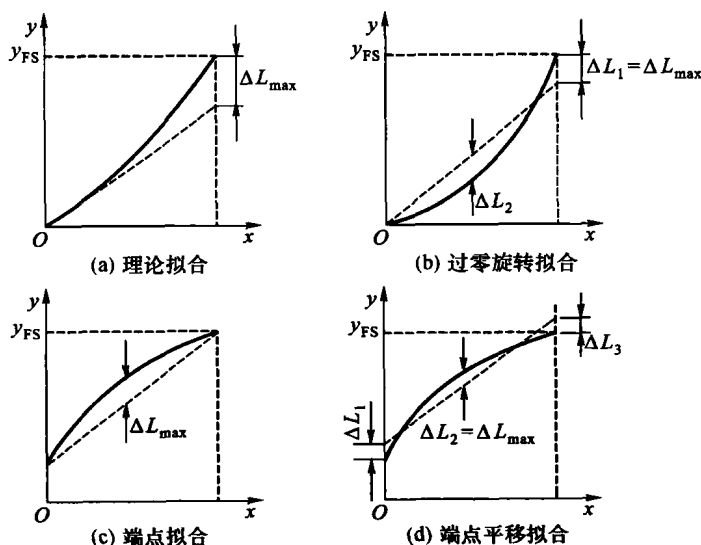


图 1-1 各种直线拟合方法

在图 1-1(a)中，拟合直线为传感器的理论特性，与实际测试值无关。这种方法十分简便，但一般说来 $\Delta L_{\max}$ 很大。

图 1-1(b)为过零旋转拟合，常用于校正曲线过零的传感器。拟合时，使 $\Delta L_1 = |\Delta L_2| = \Delta L_{\max}$ 。这种方法也比较简单，非线性误差比前一种小很多。

图 1-1(c)中，把校正曲线两端点的连线作为拟合直线。这种方法比较简便，但 $\Delta L_{\max}$ 较大。

图 1-1(d)在图(c)基础上使直线平移，移动距离为图(c)的 $\Delta L_{\max}$ 的一半。这条校正曲线分布于拟合直线的两侧， $\Delta L_2 = |\Delta L_1| = |\Delta L_3| = \Delta L_{\max}$ 。与图(c)相比，非线性误差减小一半，提高了精度。

最小二乘法在误差理论中的基本含义是：在具有等精度的多次测量中求最可靠值时，是当各测定值的残值的残差平方和为最小时所求得的值，也就是说，把所有校准点数据都标在坐标图上，用最小二乘法拟合的直线，其校准点对应的拟合直线上的点之间的残差平方和为最小。设拟合直线方程式为