

高等院校精品课程系列教材·省级

传感器原理及应用

第2版

吴建平◎编著

精
程
品

Principle and Application of Sensor



机械工业出版社
China Machine Press

高等院校精品课程系列教材·省级

传感器原理及应用

第2版

吴建平 〇编著

精
课
程
品



Principle and Application of Sensor



机械工业出版社
China Machine Press

传感器在现代信息技术中有着举足轻重的地位,因此作为理工科专业的学生,学习和掌握现代传感器技术知识是非常必要的。本书充分考虑教学规律,突出专业特点,重点叙述传感器的结构原理和基本特性,同时详细介绍了传感器的工程应用和使用方法,对于各种类型的传感器都有较为系统和全面的论述。

本书的主要内容包括:传感器的基本特性、电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、磁电及磁敏式传感器、压电元件与超声波传感器、光电效应及光电器件、新型光电传感器、半导体式化学传感器、射线式传感器、热电式传感器、集成智能传感器,最后给出了实验指南与综合练习。

本书可作为高等院校测控技术、自动化、仪器仪表、电子工程、信息工程、核工程与核技术应用等专业的本科生教材,也可作为相关专业的研究生教材,还可作为教师以及工程技术人员的参考书籍。

封底无防伪标均为盗版

版权所有,侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理及应用 第2版/吴建平编著. —北京:机械工业出版社,2012.1
(高等院校精品课程系列教材·省级)

ISBN 978-7-111-36554-9

I. 传… II. 吴… III. 传感器—高等学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第242831号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:曾珊

北京京北印刷有限公司印刷

2012年3月第2版第1次印刷

185mm×260mm·18印张

标准书号:ISBN 978-7-111-36554-9

定价:36.00元

凡购本书,如有倒页、缺页、脱页,由本社发行部调换

客服热线:(010)88378991;88361066

购书热线:(010)68326294;88379649;68995259

投稿热线:(010)88379604

读者信箱:hzjsj@hzbook.com

出版者的话

机械工业出版社华章公司秉承“全球采集内容，服务中国教育”的理念，经过十余年的不懈努力，引进、翻译、出版了大量在计算机科学界、电子科学界享有盛名的专家名著与名校教材，其中包括 Donald E. Knuth、Alfred V. Aho、Jim Gray、Jeffrey D. Ullman、R. Jacob Baker 等大师名家的一批经典作品，这些作品对国内计算机教育事业的发展起到了一定的推动作用。今天，全国高等学校精品课程建设工作的蓬勃开展为我们更好地服务于计算机教育、电子信息科学教育提供了良好的契机，我们将以严谨的治学态度及全面服务的专业出版精神，在国内广大院校老师们的支持与帮助下，陆续推出具有国内一流教学水平的“高等院校精品课程系列教材”。

精品课程是具有一流教师队伍、一流教学内容、一流教学方法、一流教材、一流教学管理等特点的示范性课程，是教育部实施的“高等学校教学质量与教学改革工程”的重要组成部分，是教育部深化教学改革，以教育信息化带动教育现代化的一项重要举措。自 2003 年精品课程建设项目持续推进以来，国内高校中的优秀教师纷纷在总结本校富有历史传统而又特色突出的课程教学方法与经验成绩的基础上，充分运用现代网络传播技术将优质的教学资源上网共享，使国内其他高校在实施同类课程教学的过程中能够借鉴、使用这些优质的教学资源，在更大范围内提高高等学校的教学和人才培养质量，提升我国高等教育的综合实力和国际竞争能力。经过几年的共同努力，已经建立起了较为齐全的各门类及各专业的校、省、国家三级精品课程体系，期间先后有总计 750 门课程通过了专家评审，获得了“国家精品课程”称号。

这些各个层次的“精品课程”建设过程都比较充分地体现了教育部所要求的七个重点，即：具有科学的建设规划，配备高水平的教学队伍，不断进行教学内容和课程体系的改革，使用先进的教学方法和手段，注重建设系列化的优秀教材，高度重视理论与实践两个环节，切实激励各方人员共同参与。也正因为这样的多方面积极参与，使得我国的高等教育在近年来由精英教育转向大众教育的跨越式发展中取得了教学质量上的突破与飞跃。精品课教材作为精品课程的要件之一，比以往教材更加具有实践检验性，教学辅助资源经过不断地更新与补

充更加丰富，是精品课教学团队智慧的共同体现。

“师者，所以传道授业解惑也”。教材是体现教学内容和教学要求的知识载体，是教师进行教学活动的基本工具，是提高教学质量的重要保证。精品课程教学团队中优秀的老师们集多年治学经验撰写出版相关教材，也是精品课程建设的一个重要方面。华章作为专业的出版团队，长久以来以“传承专业知识精华，服务中国教育事业”为使命，遵循“分享、专业、创新”的价值观，实践着“国际视野、专业出版、教育为本、科学管理”的出版方针，愿与高等院校的老师共同携手，为中国的高等教育事业走向国际化而努力。

为更好地服务于精品课程配套教材的出版，华章不仅密切关注高校的优秀课程建设，而且还将利用自身的优势帮助教师完善课程设置、提供教辅资料、准备晋级申报、推广教学经验。具体详情可访问专门网站 <http://www.hzbook.com/jpkc.aspx>，并可在线填写出版申请，欢迎您对我们的工作给予帮助和指导。

投稿专线：010-88379604

投稿 Email: hzsj@hzbook.com



华章科技图书出版中心

前言

传感器技术汇集了多学科交叉的知识,涉及物理、机械、电子、材料、化工、环境、地质、核技术等方面。传感器技术是在定量认知自然现象过程中不可缺少的一种技术手段。工业革命以来,传感器在提高和改善机器的性能方面,发挥了巨大的作用。现代的新材料、新的集成加工工艺使传感器技术越来越成熟,种类越来越多,除了使用半导体材料、陶瓷材料外,光纤以及超导材料的发展也为传感器的发展提供了物质基础。未来还会有更新的材料(如纳米材料),更有利于传感器的集成化和小型化。目前,现代传感器正从传统的分立式,朝着集成化、智能化、数字化、系统化、多功能化、网络化、光机电一体化、无维护化,并向着低功耗、高精度、高可靠性、高信噪比、宽量程的方向发展。由于传感器在现代信息技术有着举足轻重的地位,因此作为理工科专业的学生,学习和掌握现代传感器技术知识是非常必要的。

作者在长期从事相关专业的本科生和研究生教学工作中,积累了实践经验和教学经验,精心编写出这本教材。第2版在第1版的基础上再次完善与修改,充分考虑了教学规律,突出专业特点。全书共分14章,重点叙述了传感器的结构原理和基本特性,同时详细介绍了传感器的工程应用和使用方法,对各种类型的传感器都有较为系统和全面的论述。本书特色鲜明,适用性强,还特别介绍了现代新型传感器、集成智能型传感器以及多种现代单片集成传感器。

本书可作为高等院校测控技术、自动化、仪器仪表、电子工程、信息工程、核工程与核技术应用等专业的本科生教材,也可作为相关专业的研究生教材,还可作为教师以及工程技术人员的参考书籍。本书作为教材使用时,建议安排学时在60学时以内,部分章节(如集成智能传感器)可以作为选学或自学内容。为方便教学,编入了部分传感器实验内容,可为相关专业的传感器实践教学提供参考。

本教材配有高质量的PowerPoint多媒体课件,在多媒体课件制作过程中,注重现代教学手段和方法的运用,注重教学效果和提高学生学习兴趣。

在本书编写过程中,吴春蓉、殷文娟、周丹、杜焱焱、邹永祥、

成国栋等参加了部分图件绘制及文稿整理等工作，在此表示衷心感谢！由于作者水平有限，书中难免有误，恳请专家和读者批评指正。

编者

2011年7月于成都

教学建议

章节	课程教学内容和要求	建议学时
第1章 概述	<p>教学内容: 传感器的作用和地位; 传感器现状和国内外发展趋势; 检测系统的组成原理; 传感器的定义、组成和分类方法。</p> <p>教学重点: 国标对传感器的定义; 传感器的组成。</p> <p>基本要求: 了解传感器检测技术在现代信息技术、现代工业化生产、基础研究中的地位和作用。</p>	教学: 2 学时
第2章 传感器的基本特性	<p>教学内容: 传感器静态特性和动态特性, 静态特性的线性度、迟滞、重复性、灵敏度、稳定性; 动态传感器的瞬态响应特性、频率响应特性, 一阶传感器、二阶传感器的传递函数。</p> <p>教学重点: 传感器的输入与输出关系, 了解实际传感器的性能参数, 如灵敏度、精度、准确度, 动态传感器的幅频特性、相频特性。</p> <p>基本要求: 了解传感器的基本特性指标是反映传感器的输入与输出的关系。掌握分析传感器的静态特性指标和动态传感器的基本方法。根据实际传感器的主要性能参数, 满足设计要求。</p>	教学: 4 学时
第3章 电阻式传感器	<p>教学内容: 电阻式传感器的工作原理; 应变片转换及测量电路; 电阻式传感器应用, 如: 电阻应变仪原理; 测力与称重传感器; 压力、位移、应变、加速度等测量传感器; 硅压阻式压力传感器。</p> <p>教学重点: 金属丝应变片的应变效应, 金属丝应变片主要特性与应用; 半导体压阻效应, 使用范围与场合; 电阻式传感器转换测量电路。</p> <p>基本要求: 了解不同电阻式传感器的结构特征、基本组成; 掌握电阻式传感器测量应变的基本原理, 了解电阻式应变片传感器测量电路和分析方法, 以及不同形式传感器的应用和正确使用方法。</p> <p>实验内容: 金属丝应变片直流电桥(单桥、半桥、全桥); 交流电桥。</p>	教学: 6 学时 实验: 4 学时
第4章 电容式传感器	<p>教学内容: 变极距型、变面积型、变介电常数式电容传感器的结构类型和工作原理, 电容传感器输出特性; 电容传感器等效电路分析及转换测量电路应用。</p> <p>教学重点: 电容式传感器的结构特征, 不同形式电容传感器输出特性以及适用的场合和测量范围。电容传感器测量电路讨论“二极管双 T 型电路”、“差动脉冲调宽电路”, 差压传感器原理结构。</p> <p>基本要求: 掌握不同形式电容式传感器的结构、工作原理和输出特性。了解电容式传感器测量转换电路原理和工程上使用检测方法。</p> <p>实验内容: 差动变面积式电容传感器特性实验。</p>	教学: 4 学时 实验: 2 学时

章节	课程教学内容与要求	建议学时
<p style="text-align: center;">第5章 电感式传感器</p>	<p>教学内容: 变磁阻式、差动变压器式、电涡流式电感传感器的工作原理、输出特性、转换测量电路以及电感式传感器的应用。转换电路介绍差动整流电路、相敏检波电路、零点残余电压补偿电路等。</p> <p>教学重点: 变磁阻式传感器气隙厚度与电感量的关系; 差动变压器输出与互感的关系; 电涡流阻抗变化与被测材料的性质、位置、厚度的关系。了解这些传感器的实际应用特征。</p> <p>基本要求: 了解变磁阻式传感器(自感式)工作原理, 掌握差动变压器式传感器(互感式)结构特征、工作原理和等效电路, 零点残余电压的影响和补偿抑制方法。掌握电涡流传感器工作原理和实际应用。</p> <p>实验内容: 螺线管式差动变压器性能测试; 电涡流传感器测材料。</p>	<p style="text-align: center;">教学: 4 学时 实验: 6 学时</p>
<p style="text-align: center;">第6章 磁电、磁敏式传感器</p>	<p>教学内容: 磁电感应式传感器介绍恒定磁通式、变磁通式工作原理和结构形式; 霍尔式传感器介绍霍尔传感器工作原理, 霍尔效应、霍尔元件、霍尔集成传感器及霍尔传感器的应用; 磁敏传感器介绍磁敏电阻、磁敏晶体管(磁敏二极管; 磁敏三极管)与应用。</p> <p>教学重点: 霍尔传感器工作原理; 线性型和开关型霍尔集成传感器输出特性。霍尔元件和其他磁敏元件的相同与不同之处。</p> <p>基本要求: 理解磁电式传感器的磁电转换原理及结构特征; 了解霍尔式传感器的磁电转换原理, 理解霍尔效应, 掌握实际使用方法。</p> <p>实验内容: 霍尔元件特性测试; 集成霍尔开关应用设计实验。</p>	<p style="text-align: center;">教学: 4 学时 实验: 4 学时</p>
<p style="text-align: center;">第7章 压电元件与超声波传感器</p>	<p>教学内容: 压电效应: 正压电效应、逆压电效应; 压电材料: 石英晶体、压电陶瓷、新型压电材料; 压电元件结构和等效电路; 压电式传感器的应用。超声波传感器结构原理, 超声波传感器应用。</p> <p>教学重点: 了解压电元件的压电效应具有发电性和可逆性, 是典型的双向传感器; 压电式传感器的加速度测量。了解超声波传感器的发射与接收是利用压电元件的双向性质, 掌握超声波测距的工作原理。</p> <p>基本要求: 了解压电式传感器工作原理及压电式传感器的结构, 理解传感器测量电路中的电压放大器与电荷放大器; 认识超声波传感器结构形式, 了解超声波传感器测距, 测液位、测流量的应用原理与方法。</p>	<p style="text-align: center;">教学: 4 学时</p>
<p style="text-align: center;">第8章 光电效应及光电器件</p>	<p>教学内容: 光电效应: 外光电效应、内光电效应; 光电器件: 光电管、光电倍增管、光敏电阻、光敏二极管和光敏三极管、光电池、其他光电管; 光电器件应用实例; 光栅式传感器工作原理及测量装置。</p> <p>教学重点: 普通光电器件都分别基于哪种光电效应; 掌握光电器件的光电转换电路及应用条件和检测方法; 光栅式传感器产生莫尔条纹的条件和测距原理。</p> <p>基本要求: 理解光电效应, 掌握普通光电器件结构、工作原理、输出特性、光谱特性、光照特性、温度特性以及频率特性等。认识光电传感器电路符号, 了解基本测量转换电路和应用方式。</p> <p>实验内容: 光电开关控制应用, 设计型实验。</p>	<p style="text-align: center;">教学: 4 学时 实验: 4 学时</p>

(续)

章节	课程教学内容与要求	建议学时
<p>第9章 新型光电传感器</p>	<p>教学内容: 新型固态光电传感器; 电荷耦合器件(CCD); CCD工作原理、CCD的应用; 光纤传感器结构和传输原理, 光纤性能和光波调制技术, 光纤传感器及光纤传感器测距。</p> <p>教学重点: CCD基本结构和工作原理; 光纤结构和传光原理, 光纤的性能与光纤传感器的应用。</p> <p>基本要求: 了解电荷耦合器件、光纤传感器的工作原理; 认识各种新型光电传感器结构特征, 掌握其检测方法与应用范围。</p> <p>实验内容: 反射式光纤传感器位移检测实验; 光纤传感器测电机转速。</p>	<p>教学: 4学时 实验: 4学时</p>
<p>第10章 半导体式化学传感器</p>	<p>教学内容: (电阻型、非电阻型)气敏传感器; 湿敏传感器: 湿度及表示方法, 氯化锂湿敏电阻器、半导体陶瓷湿敏电阻; 离子敏传感器。</p> <p>教学重点: 电阻型与非电阻型气敏传感器的结构有什么区别, 检测对象有什么不同; 气敏传感器、湿敏传感器检测原理与应用电路。</p> <p>基本要求: 了解半导体传感器的工作机理及结构类型, 掌握半导体传感器的应用范围和使用方法。理解认识半导体传感器的检出限、灵敏度、输出特性和极限参数。</p> <p>实验内容: 利用电阻型气敏传感器检测酒精浓度, 设计型实验。</p>	<p>教学: 4学时 实验: 4学时</p>
<p>第11章 射线式传感器</p>	<p>教学内容: 核辐射物理基础: 放射性同位素、核辐射与物质间的相互作用; 核辐射探测器: 电离室、盖革计数器、正比计数器、闪烁计数器、半导体探测器; 核辐射传感器应用: 测厚、烟雾、荧光分析、CT技术。</p> <p>教学重点: 核辐射式探测器的结构特征和工作原理, 各种探测器的应用。</p> <p>基本要求: 了解认识核辐射式传感器和核辐射的物理基础, 掌握射线式传感器工作原理和检测方法、转换电路; 了解核辐射式探测器的应用领域、发展趋势以及各种应用的基本原理。</p>	<p>教学: 6学时</p>
<p>第12章 热电式传感器</p>	<p>教学内容: 温度传感器的分类及温标; 温度传感器: 热电偶、热敏电阻、热电阻、集成温度传感器、红外热电传感器。</p> <p>教学重点: 热电偶的热电效应、热电偶测量电路; 热敏电阻, 金属热电阻和热敏电阻的特性; 集成温度传感器测温原理, AD590集成温度传感器特性和典型应用测量电路; 热释电效应。</p> <p>基本要求: 了解掌握不同热电式传感器的工作原理、结构特征、性能差别、转换电路以及应用方法、使用范围、影响因素。掌握温度自动控制设备中最常见的温度传感器电路设计。</p>	<p>教学: 4学时</p>
<p>第13章 集成智能传感器</p>	<p>教学内容: 单片集成化智能传感器的基本特点发展趋势, 主要产品: 智能温度传感器、集成湿度传感器、单片硅压力传感器、单片集成磁场传感器、电容式集成传感器。</p> <p>教学重点: 了解认识现代单片智能传感器是如何将传感器、前级信号调理电路、微处理器和后端接口电路集成在一个芯片上, 新型传感器如何直接实现信息的检测、处理、存储和输出。掌握集成传感器的使用方法和工作原理, 了解各种智能传感器的应用协议。</p> <p>基本要求: 了解掌握不同单片集成化智能传感器的特点、工作原理、结构特征、性能差别、转换电路、应用方法、使用范围、协议编程等。</p>	<p>教学: 6学时</p>

目 录

出版者的话
前言
教学建议

第1章 概述	1
1.1 传感器的作用和地位	1
1.1.1 什么是传感器	1
1.1.2 传感器的作用	2
1.2 传感器现状和发展趋势	3
1.2.1 传感器现状	3
1.2.2 传感器的发展	4
1.3 传感器的定义、组成、分类及图形符号	5
1.3.1 传感器定义	5
1.3.2 传感器组成	6
1.3.3 传感器分类	6
1.3.4 传感器图形符号与命名方法	7
思考题	8
第2章 传感器的基本特性	9
2.1 传感器的静态特性	9
2.1.1 线性度	10
2.1.2 迟滞	11
2.1.3 重复性	12
2.1.4 灵敏度	12
2.1.5 漂移和稳定性	13
2.1.6 分辨率和阈值	13
2.2 传感器的动态特性	14
2.2.1 传感器动态误差	14
2.2.2 传递函数	15
2.2.3 一阶传感器系统	17
2.2.4 二阶传感器系统	19
思考题	21

第3章 电阻式传感器	22
3.1 金属丝电阻应变片	22
3.1.1 金属丝电阻应变片结构和种类	22
3.1.2 金属丝电阻应变片工作原理	23
3.1.3 金属丝电阻应变片的主要特性	24
3.2 电阻应变片测量电路	26
3.2.1 直流电桥	27
3.2.2 交流电桥	29
3.2.3 电阻应变仪原理	31
3.2.4 相敏检波电路	33
3.3 电阻式传感器的应用	34
3.3.1 测力与称重传感器	34
3.3.2 膜片式压力传感器	36
3.3.3 应变式加速度传感器	37
3.3.4 电子秤	38
3.4 半导体压阻式传感器	39
3.4.1 压阻效应	39
3.4.2 压阻式传感器	40
思考题	41
第4章 电容式传感器	43
4.1 电容式传感器概述	43
4.1.1 工作原理	43
4.1.2 结构类型	43
4.2 电容式传感器的输出特性	44
4.2.1 变极距型	44
4.2.2 平板变面积型	46
4.2.3 变介电常数型	47
4.3 测量电路	48

4.3.1 电容式传感器等效电路	48	6.2 霍尔传感器	79
4.3.2 转换电路	49	6.2.1 霍尔效应	80
4.4 应用举例	53	6.2.2 霍尔元件	81
4.4.1 压差式电容压力传感器	54	6.2.3 霍尔元件的应用	82
4.4.2 电容测厚仪	55	6.2.4 集成霍尔传感器	84
4.4.3 力平衡式加速度传感器	55	6.3 磁敏元件	86
4.4.4 电容传声器测声	56	6.3.1 磁敏电阻器	86
思考题	57	6.3.2 磁敏晶体管	90
第5章 电感式传感器	58	思考题	93
5.1 变磁阻式传感器(自感式)	58	第7章 压电元件与超声波传感器	94
5.1.1 工作原理	58	7.1 压电效应	94
5.1.2 输出特性	59	7.1.1 正压电效应	94
5.1.3 差动变间隙式传感器结构		7.1.2 逆压电效应	94
原理	60	7.2 压电材料	95
5.1.4 测量转换电路	60	7.2.1 石英晶体	95
5.1.5 变磁阻式传感器的应用	62	7.2.2 压电陶瓷	96
5.2 差动变压器式传感器		7.2.3 聚偏氟乙烯压电材料	98
(互感式)	63	7.3 测量电路	98
5.2.1 螺线管式差动变压器工作		7.3.1 压电元件结构	98
原理	63	7.3.2 压电传感器等效电路	99
5.2.2 基本特性	64	7.3.3 压电传感器测量电路	100
5.2.3 零点残余电压	65	7.4 压电传感器的应用	102
5.2.4 测量电路	66	7.4.1 压电加速度计传感器	103
5.2.5 应用举例	67	7.4.2 压电式玻璃破碎报警器	103
5.3 电涡流式传感器	68	7.4.3 压电引信	103
5.3.1 工作原理	68	7.5 超声波传感器	104
5.3.2 等效电路分析	68	7.5.1 超声波及其物理性质	104
5.3.3 涡流的分布和强度	69	7.5.2 超声波传感器结构原理	106
5.3.4 测量电路	70	7.5.3 超声波传感器的应用	107
5.3.5 电涡流传感器的应用	72	思考题	113
思考题	74	第8章 光电效应及光电器件	114
第6章 磁电、磁敏式传感器	75	8.1 光电效应	114
6.1 磁电感应式传感器(电动式)	75	8.1.1 外光电效应	114
6.1.1 工作原理和结构形式	75	8.1.2 内光电效应	115
6.1.2 基本特性	76	8.2 光电器件	116
6.1.3 测量电路	77	8.2.1 光电管	116
6.1.4 应用	78	8.2.2 光电倍增管	116

8.2.3	光敏电阻	118	10.2.2	氯化锂湿敏电阻	172
8.2.4	光敏二极管和光敏三极管	120	10.2.3	半导体陶瓷湿敏电阻	173
8.2.5	光电池	123	10.2.4	湿度传感器的特性参数	173
8.2.6	其他特性的光电器件	125	10.2.5	湿度传感器的应用	174
8.2.7	半导体色敏传感器	126	10.3	离子敏传感器	176
8.3	光电器件应用实例	127	10.3.1	MOSFET 场效应晶体管	176
8.3.1	遥控器检测电路	127	10.3.2	离子敏传感器工作原理	177
8.3.2	光敏电阻脉搏测量计	127	10.3.3	离子敏传感器测量电路	177
8.3.3	光电鼠标	128	10.3.4	离子敏传感器的应用	177
8.3.4	光电开关用于智能电动小车	129	思考题		178
8.3.5	红外报警器	130	第 11 章	射线式传感器	179
8.4	光栅式传感器	131	11.1	核辐射物理基础	179
8.4.1	莫尔条纹	131	11.1.1	放射性同位素	180
8.4.2	光栅测量装置	133	11.1.2	核辐射与物质间的相互 作用	180
思考题		135	11.2	射线式传感器	181
第 9 章	新型光电传感器	137	11.2.1	辐射源	182
9.1	新型固态光电传感器	137	11.2.2	核辐射探测器	182
9.1.1	普通光敏器件阵列	137	11.3	射线式传感器的应用	187
9.1.2	PSD 光电位置传感器	139	11.3.1	测厚	187
9.1.3	SSPD 自扫描光电二极管 阵列	140	11.3.2	物位测量	188
9.2	CCD(电荷耦合器件)	143	11.3.3	流量测量	188
9.2.1	CCD 工作原理及特性	143	11.3.4	烟雾报警器(电离室)	188
9.2.2	CCD 器件	146	11.3.5	探伤	189
9.2.3	CCD 传感器的应用	150	11.3.6	X 射线荧光分析仪	189
9.3	光纤传感器	152	11.3.7	CT 技术	190
9.3.1	光纤的结构和传光原理	153	11.3.8	核子秤	192
9.3.2	几个重要参数	153	思考题		192
9.3.3	光波调制技术	155	第 12 章	热电式传感器	193
9.3.4	光纤传感器的应用	158	12.1	温度传感器的分类及温标	193
思考题		161	12.1.1	温度传感器分类方法	193
第 10 章	半导体式化学传感器	163	12.1.2	温度单位	194
10.1	气敏传感器	163	12.2	热电偶	194
10.1.1	电阻型半导体气敏传感器	164	12.2.1	工作原理和热电效应	194
10.1.2	非电阻型半导体气敏器件	167	12.2.2	热电偶基本定律	197
10.1.3	气敏传感器的应用	168	12.2.3	热电偶的分类和结构	198
10.2	湿敏传感器	171	12.2.4	热电偶测量电路及应用	199
10.2.1	湿度及其表示方法	171	12.3	热电阻与热敏电阻	200

12.3.1	热电阻	200	13.4	单片硅压力传感器	227
12.3.2	热敏电阻	201	13.4.1	MPX2100/4100/5100/5700 系列集成硅压力传感器	227
12.3.3	应用举例	202	13.4.2	ST3000 系列智能压力 传感器	229
12.4	集成温度传感器	203	13.4.3	PPT 系列网络化智能压力 传感器	231
12.4.1	测温原理	203	13.5	单片集成磁场传感器	234
12.4.2	PTAT 集成温度传感器信号 输出方式	204	13.5.1	HMC 系列集成磁场传 感器	235
12.5	红外传感器	206	13.5.2	AD22151 型线性输出集成 磁场传感器	237
12.5.1	红外辐射	206	13.6	电容式集成传感器	240
12.5.2	红外探测器	207	13.6.1	硅电容式集成传感器	240
12.5.3	红外传感器的应用	209	13.6.2	新型电容式指纹传感器	243
思考题		212	思考题		245
第 13 章	集成智能传感器	214	第 14 章	实验指南与综合练习	246
13.1	概述	214	14.1	传感器实验	246
13.1.1	基本特点	214	14.1.1	基本实验	247
13.1.2	发展趋势	215	14.1.2	设计型实验	259
13.1.3	主要产品	217	14.1.3	综合性工程实验	263
13.2	单片智能温度传感器	217	14.2	综合练习	267
13.2.1	基于 1-Wire 总线的 DS18B20 型智能温度传感器	217	14.2.1	填空	267
13.2.2	基于 SMBus 的 MAX6654 型智能温度传感器	220	14.2.2	选择填空	269
13.3	集成湿度传感器	221	14.2.3	分析与计算	269
13.3.1	HM1500/HM1520 型电压输出 式集成湿度传感器	222	14.2.4	简述题	271
13.3.2	HTF3223 型频率/温度输出 式集成湿度传感器	224	参考文献		273
13.3.3	SHT10 型数字湿度/温度 传感器	225			

第 1 章 概 述

传感器是自动化检测技术和智能控制系统的重要部件。测试技术中通常把测试对象分为两大类：电参量与非电参量。电参量有：电压、电流、电阻、功率、频率等，这些参量可以表征设备或系统的性能；非电参量有：机械量（如位移、速度、加速度、力、扭矩、应变、振动等）、化学量（如浓度、成分、气体、pH 值、湿度等）、生物量（酶、组织、菌类）等。过去，非电参量的测量多采用非电测量的方法，如用尺子测量长度，用温度计测量温度等；而现代的非电测量多采用电测量的方法，其中的关键技术是如何利用传感器将非电参量转换为电参量。

1.1 传感器的作用和地位

当今，传感器技术已广泛用于工业、农业、商业、交通、环境监测、医疗诊断、军事科研、航空航天、自动化生产、现代办公设备、智能楼宇和家用电器等领域，传感器技术已经成为构建现代信息系统的重要组成部分。目前传感器技术已经在越来越多的领域得到应用，值得一提的是，传感器对于检测和自动化技术所起的作用远比在家用电器中所起到的作用大得多，这几乎是无可争议的事实。

1.1.1 什么是传感器

到底什么是传感器呢？其实只要你细心观察就可以发现，在我们日常生活中使用着各种各样的传感器，例如电冰箱、电饭煲中的温度传感器，空调中的温度和湿度传感器，煤气灶中的煤气泄漏传感器，电视机和影碟机中的红外遥控器，照相机中的光传感器，汽车中的燃料计和速度计等，不胜枚举。今天，传感器已经给我们的生活带来了太多便利和帮助。

为了说明什么是传感器，我们不妨用人的五官和皮肤做比喻。我们知道，眼睛有视觉，耳朵有听觉，鼻子有嗅觉，皮肤有触觉，舌头有味觉，人通过大脑感知外界信息。人在从事体力劳动和脑力劳动过程中，通过感觉器官接收外界信号，这些信号传送给大脑，大脑对这些信号进行分析处理，传递给肌体。如果用机器完成这一过程，计算机相当于人的大脑，执行机构相当于人的肌体，传感器相当于人的五官和皮肤，图 1-1 将智能机器和人体结构进行对比。传感器就好比人体感官的延长，所以又称“电五官”。对于各种各样的被测量，有着各种各样的传感器。

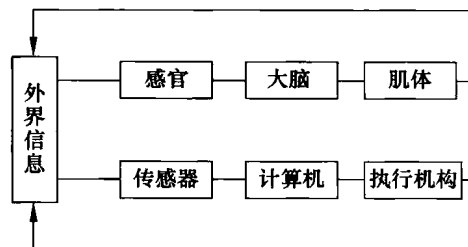


图 1-1 智能机器与人体结构的对比

1.1.2 传感器的作用

目前传感器涉及的领域包括：现代大工业生产、基础学科研究、宇宙开发、海洋探测、军事国防、环境保护、资源调查、医学诊断、智能建筑、汽车、家用电器、生物工程、商检质检、公共安全，甚至文物保护等极其广泛的领域。

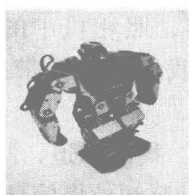
在基础学科研究中，传感器更有突出的地位，传感器的发展往往是一些边缘学科开发的先驱。如宏观上的茫茫宇宙、微观上的粒子世界、长时间的天体演化、短时间的瞬间反应，超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、弱磁场等极端技术研究。

现代大工业生产尤其是自动化生产过程中的质量监控或自动检测，需要用各种传感器监视和控制生产过程的各个参数，传感器是自动控制系统的关键性基础器件，直接影响到自动化技术的质量和水平。

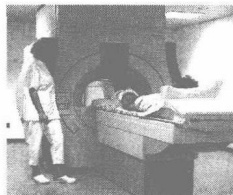
在航空航天领域里，宇宙飞船飞行的速度、加速度、位置、姿态、温度、气压、磁场、振动等每个参数的测量都必须由传感器完成，例如，“阿波罗”10号飞船需对3295个参数进行检测，其中有温度传感器559个，压力传感器140个，信号传感器501个，遥控传感器142个。有专家说，整个宇宙飞船就是高性能传感器的集合体。

在机器人研究中，其重要的内容是传感器的应用研究，机器人外部传感器系统包括平面视觉、立体视觉传感器；非视觉传感器有触觉、滑觉、热觉、力觉、接近觉传感器等。可以说，机器人的研究水平在某种程度上代表了一个国家的智能化技术和传感器技术的水平。智能机器人模型如图1-2a所示。

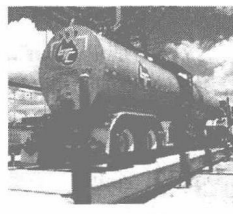
在楼宇自动化系统中，计算机通过中继器、路由器、网络、网关、显示器，控制管理各种机电设备的空调制冷、给水排水、变配电系统、照明系统、电梯等，而实现这些功能需使用的传感器包括：温度、湿度、液位、流量、压差、空气压力传感器等；安全防护、防盗、防火、防燃气泄露可采用CCD(电子眼)监视器、烟雾传感器、气体传感器、红外传感器、玻璃破碎传感器；自动识别系统中的门禁管理主要采用感应式IC卡识别、指纹识别等方式，这种门禁系统打破了人们几百年来用钥匙开锁的传统。智能楼宇中的指纹门禁如图1-2f所示。



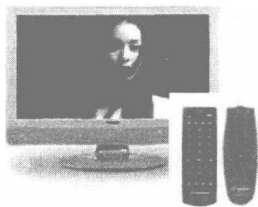
a) 智能机器人



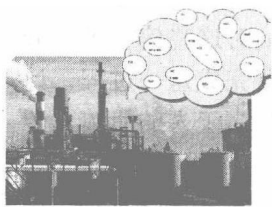
b) 医疗诊断



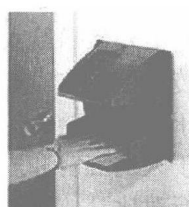
c) 计量检测



d) 家用电器



e) 环境监测



f) 指纹门禁

图1-2 传感器应用

传感器在医疗诊断、计量测试、家用电器、环境监测等应用实例不胜枚举,图 1-2b~e 分别是传感器在医疗诊断、计量检测、家用电器、环境监测中的应用。

21 世纪是信息技术的时代,构成现代信息技术的三大支柱是传感器技术、通信技术与计算机技术,在信息系统中它们分别完成信息的采集、信息的传输与信息的处理,其作用可以形象地比喻为人的“感官”、“神经”和“大脑”。其中传感器技术是构成现代信息技术的三大支柱之一,人们在利用信息的过程中,首先要获取信息,而传感器是获取信息的重要途径和手段。世界各国都十分重视这一领域的发展,让科学家实现更多从前无法实现的梦想。

图 1-3 为智能化水质检验过程示意图,勾画了未来的自动化水质监测系统,通过水质感应器将水质信息传送给检测中心,而无需现场取水。未来世界还会有智能房屋(自动识别主人,由太阳能提供能源)、智能衣服(自动调节温度)、智能公路(自动显示并记录公路的压力、温度、车流量)、智能汽车(无人驾驶、卫星定位)。

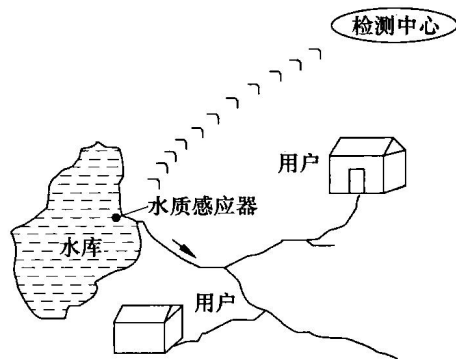


图 1-3 智能化水质检验过程示意图

1.2 传感器现状和发展趋势

今天,传感器已成为测量仪器、智能化仪表、自动控制系统等装置中必不可少的感知元件。然而传感器的历史远比近代科学来得古老,例如“天平”,自古代埃及王朝时代已经开始使用并一直沿用到现在;利用液体的热膨胀特性进行温度测量在 16 世纪前后就实现了;自产业革命以来,传感器对提高机器性能起到极大作用,如瓦特发明“离心调速器”实现蒸汽机车的速度控制,其本质是一个把旋转速度变换为位移的传感器。

1.2.1 传感器现状

据统计,目前全世界约有 40 多个国家从事传感器的研制、生产和开发,研发机构有 6000 余家。其中以美、日、俄等国实力较强,美、日、俄等国建立了包括物理量、化学量、生物量三大门类的传感器产业,产品有 20000 多种,大企业的年生产能力达到几千万支到几亿支,据统计 2006 年全世界传感器市场销售额已达 500 多亿美元。

在国家“大力加强传感器的开发和在国民经济中的普遍应用”等一系列政策导向和资金的支持下,我国的传感器技术及产业近年来也取得了较快发展。目前有 1700 多家传感器研发机构,产品约 6000 种。在“十五”期末,敏感元器件与传感器年总产量达到 20 亿支,销售总额约 120 亿元。

但我国的传感器产业在科技经费投入、新品开发周期、关键材料与组件等多方面的综合竞争能力低于美国、日本、欧洲等发达国家,主要表现在传感器的精度、智能化水平等方面,同时,传感器自身在智能化和网络方面也相对落后。我国“十一五”规划中提出了“自主立国”、“自主创新”新的战略导向,就是要引进技术,要充分消化、吸收并再创新。