



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

传感器技术与应用

董春利 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

传感器技术与应用

主 编 董春利
编 写 黄安春 潘洪坤
主 审 梁 森



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”高职高专教育规划教材，是辽宁省省级精品课程建设和提升教学质量工程的结晶。根据高职高专教育的特点，以职业岗位核心能力为目标，精选教学内容，力求观点新颖、文字简练、学习为矢、应用为的，学以致用。本书以传感器的效应为主线，以原理特性、性能参数、电路处理、应用实例为脉络，介绍了电阻式、电容式、电感式、压变式、磁电式、热电式、热阻式、光电式、半导体、波式和数字式传感器。与其他教材不同之处在于，本书重点讲解了实际使用的一些传感器产品及其在自动化系统中的应用案例。

本书可作为高职高专和成人高校的电气自动化技术、机电一体化技术、应用电子技术、生产过程自动化技术、计算机控制技术、电子信息工程技术、楼宇智能化技术、测控技术与仪器、汽车维修与维护及电子信息类与机械电气类相关专业的教材，也可供与自动化技术领域相关的从业人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

传感器技术与应用/董春利主编. —北京: 中国电力出版社, 2013. 12

普通高等教育“十二五”规划教材·高职高专教育
ISBN 978-7-5123-5105-9

I. ①传… II. ①董… III. ①传感器—高等职业教育—教材
IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 256337 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 12 月第一版 2013 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 514 千字

定价 38.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

“传感器技术与应用”这门课程是众多专业的专业基础课程，又是很多专业的专业应用课程，在这些专业中起到非常重要的作用。在高职高专的很多课程建设体系中都是专业核心课程。如何按照高职高专教育的特点，以职业岗位核心能力为目标进行内容、形式、材料、实例的选择，成为最重要的工作。本书根据高职高专教学改革“淡化理论，够用为度，培养技能，重在运用，能力本位”的指导思想，力图使高职高专自动化类各专业的学生在学完本课程后能获得具有生产一线技术和运行人员所必需掌握的传感器理论知识、应用能力和测量技术等方面的基本知识和基本应用技能。

本书分为三大板块，第一板块讲解了电气自动化专业和传感器技术的基本体系、背景、基础知识。第二板块着重提炼出各种传感器的规律性内容，以传感器的物理和化学效应为主线，从效应入手，讲解原理以期学生知其所以然并作为理解其他内容的基础；讲解信号电路和性能参数，让学生能够熟悉传感器使用的方式方法；讲解产品示例和各种应用实例让学生认识真实的传感器成品和打开运用传感器的思路，是本书的主要内容。第三板块主要讲解了目前在传感器领域研究开发的智能传感器、MEMS 器件和采用的先进的检测技术，以便开阔学生的视野、开拓学生的思路，对即将使用的新技术有初步的了解。

本书主要的着眼点在于结合实际来提高高职高专学生的知识水平和解决实际问题的能力；在有效的组织材料的基础上，适当降低习题的数量和难度，突出了在实际工作中出现的解决实际问题的要求。在取材方面，既考虑了检测技术日新月异的发展趋势，又考虑到目前高职高专教育对象的实际基础水平和课内课后学习习惯，使得本教材既有深度又有广度。

本书可作为高职高专学校自动化类、仪器仪表类、电子技术类、机电技术类等电类专业的用书，由于本书各章具有一定的独立性，因此在教学中，可以根据专业方向和特点选用不同的章节，安排总学时为 48~96 学时的教学内容。其他有关专业（如计算机技术、数控技术、汽车类专业）可根据需要选用不同的章节，安排课时。此外，本书也可供从事自动检测、控制技术、楼宇智能化等工程技术人员参考。

本书由大连职业技术学院辽宁省精品课程“传感器与检测技术”课题组编写，并在教学质量提升工程中立项。全书由董春利教授担任主编，黄安春编写了第一章，潘洪坤编写了第十一章，其他章节由董春利编写。全书由上海电机学院梁森教授主审。

本书在编写过程中，还得到大连职业技术学院和课题组其他老师、英特尔半导体（大连）有限公司 ESAP 部门的讲师们、西门子传感器与通讯（大连）有限公司的培训师们的帮助，编写中参考和应用了许多专家、学者的著作，在此一并表示衷心的感谢。

由于传感器技术发展较快，涉及的知识面非常广泛，也由于编者的水平有限，在接触领域和理解上又有一定局限性，因此，在内容选择和安排上，不免会存在遗漏和不妥之处，诚请读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月于大连

目 录

前言	
绪论	1
第一节 课程内容总体认识与学习方法	1
第二节 传感器技术与应用课程标准	5
第三节 传感器技术在国民经济中的地位与应用范围	8
作业与思考题	14
第一章 传感器技术与应用基础知识	15
第一节 检测技术的术语与参数	15
第二节 测量数据的估计和处理	22
第三节 传感器的组成与分类	24
第四节 传感器的基本特性	26
作业与思考题	31
第二章 电阻式传感器技术与应用	33
第一节 电阻应变式传感器	33
第二节 固态压阻式传感器	42
作业与思考题	49
第三章 电容式传感器技术与应用	50
第一节 电容式传感器的测量原理	50
第二节 电容式传感器的测量电路	55
第三节 电容式传感器的应用	59
作业与思考题	69
第四章 电感式传感器技术与应用	71
第一节 自感式电感传感器	71
第二节 差动变压器式传感器	77
第三节 电涡流式传感器	82
作业与思考题	97
第五章 压变式传感器技术与应用	99
第一节 压电式传感器	99
第二节 压磁式传感器	112
作业与思考题	117
第六章 磁电式传感器技术与应用	119
第一节 磁电感应式传感器	119
第二节 霍尔式传感器	129
作业与思考题	138

第七章 热电式传感器技术与应用	140
第一节 热电偶传感器	140
第二节 热释电传感器	153
作业与思考题	159
第八章 热阻式传感器技术与应用	161
第一节 热电阻式传感器	161
第二节 热敏电阻传感器	170
作业与思考题	178
第九章 光电式传感器技术与应用	179
第一节 光电效应与光电传感器	179
第二节 光纤传感器	200
第三节 红外传感器	208
第四节 激光传感器	215
第五节 图像传感器	222
作业与思考题	228
第十章 半导体传感器技术与应用	229
第一节 气敏传感器	229
第二节 湿敏传感器	239
第三节 色敏传感器	245
作业与思考题	250
第十一章 波式传感器技术与应用	251
第一节 超声波传感器	251
第二节 微波传感器	259
作业与思考题	262
第十二章 数字式传感器技术与应用	263
第一节 光栅传感器	263
第二节 磁栅传感器	269
第三节 数字编码器	275
作业与思考题	285
第十三章 智能传感器与检测技术的发展	286
第一节 智能传感器	286
第二节 检测技术的新技术发展	293
第三节 物联网关键技术及其进展	302
第四节 MEMS 传感器技术与应用	313
作业与思考题	319
附录 热电偶分度表	321
参考文献	329

绪 论



内容提要

本章主要讲述了本课程在本专业课程体系中的位置与作用，本课程需要的基础知识和学习方法，以及本课程的定位、学习目标和基本内容。传感器技术在国民经济中的地位、作用、应用领域和发展趋势。

学习完本章内容学生能够很好地理解专业课程的整体体系，理解学好本课程对于促进本专业学习所具有的意义。

“传感器技术与应用”课程是众多专业的专业基础课程，也是很多专业的专业应用课程，在这些专业中起到非常重要的作用。在高职高专的很多课程建设体系中都是专业核心课程。如何按照高职高专教育的特点，以职业岗位核心能力为目标进行内容、形式、材料、实例的选择，成为最重要的工作。本教材根据高职高专教学改革“淡化理论，够用为度，培养技能，重在运用，能力本位”的指导思想，力图使高职高专自动化类各专业的学生在学完本课程后能获得具有生产一线技术和运行人员所必须掌握的传感器理论与应用的知识与能力、抗干扰技术和测量技术应用等方面的基本知识和基本应用技能。

第一节 课程内容总体认识与学习方法

一、本课程在自动化类专业中的地位

1. 自动化的定义

自动化是利用机器、设备或装置代替人或帮助人自动地完成某个任务或实现某个过程。

自动化是在没有人的直接参与下，利用外加的设备或装置（传感器、控制器、执行器），各种技术手段，通过自动检测、信息处理、分析判断、操纵控制，使机器、设备或生产过程（统称为被控对象）的某个工作状态或参数（即被控量）自动地按照预定的规律运行。实现预期的目标，或使生产过程、管理过程、设计过程等按人的要求高效自动地完成。

自动化全面提升、取代和扩展了人的功能。机器延伸了人的四肢；计算机延伸了人的大脑；传感器及检测技术延伸了人的感官；通信技术延伸了人的神经传导和信息传递功能。

2. 自动化与人的关系

人的各个部分与自动化系统的各个设备的机能之间具有相应的对应关系。

从人的角度来看，人通过感官感觉外界对象的刺激，通过大脑对感受的信息进行判断、处理，肢体作出相应的反应。

从自动化系统方面来看，传感器相当于人的感官，称“电五官”，外界信息由它提取，并转换为系统易于处理的电信号；控制器对传感器传来的电信号进行运算处理，发出控制信号给执行器；执行器对外界的被控对象进行控制，如图 0-1 所示。

3. 自动化系统的框图

自动化系统又叫自动控制系统，是指由图 0-1 所示的传感器、控制器、执行器组成的

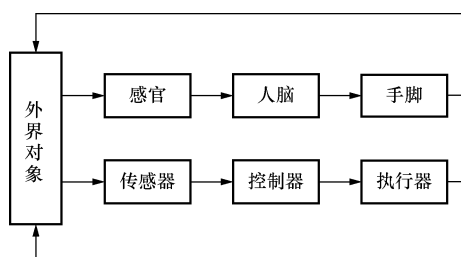


图 0-1 人与自动化系统的对应关系

系统。以完成自动检测、信息处理、分析判断、操纵控制，使被控对象的某个工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。

计算机控制系统是将计算机技术应用于自动控制系统以实现对被控对象的控制，其基本框图如图 0-2 所示。它利用计算机强大的计算能力、逻辑判断能力及存储容量大、可靠性高、通用性强、体积小等特点，可以解决常规控制技术解决不了的难题，实现常规控制技术无法达到的优异性能。

在计算机控制系统的控制过程中，被控对象的有关参数（如电压、电流、温度、压力、状态等）由传感器、转换器进行采样并转换成统一的标准信号，再经由模拟量输入通道或数字量输入通道输入计算机，计算机根据这些信息，按照预先设定的控制规律进行运算和处理，并经由输出通道把运算结果以数字量或模拟量的形式输出到执行机构，实现对被控对象的控制。

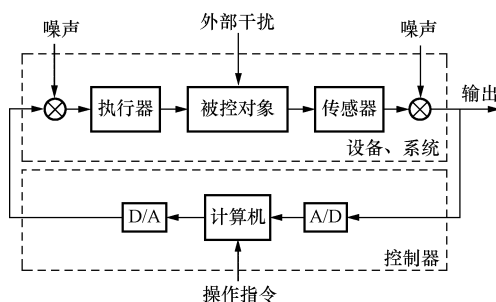


图 0-2 自动化系统的控制框图

4. 自动化课程的组成

可见，在电气自动化领域其主干课程一定是与传感器、控制器、执行器相关的课程。根据一般高职学校的课程设置，基本上有如图 0-3 所示的体系。从中可以看出传感器技术与应用课程所处的位置十分重要。

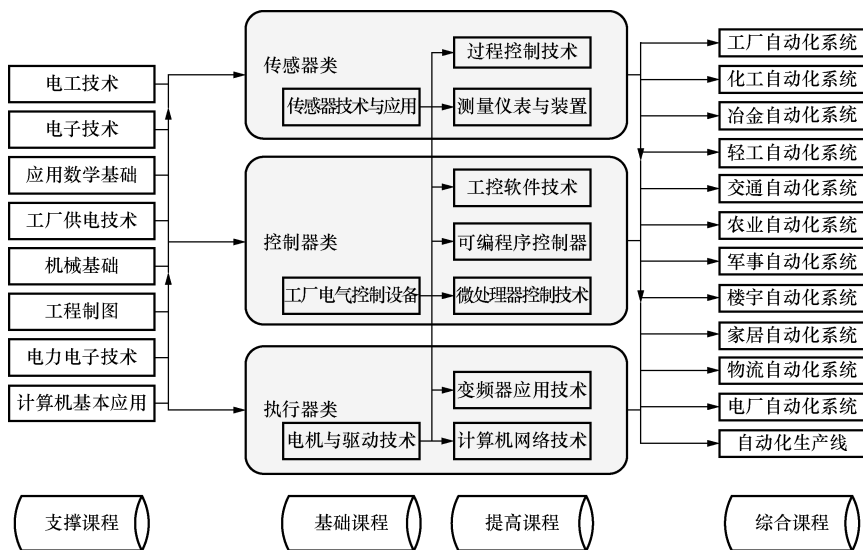


图 0-3 电气自动化技术专业课程体系

二、本课程的基础与学习方法

1. 本课程的基础

本课程的先修课程是高等数学、电工技术基础、模拟电子技术、数字电子技术等，后续

课程是微控制器技术应用、可编程控制器应用等。同时，学习本课程之前，应已经掌握了高中时期的一些课程，并在课前做复习。

(1) 初等数学。方程式（一元、二元、多元，一次方程、二次方程、多次方程、泰勒定律）、平面几何（圆形、方形、矩形）、立体几何（球体、立方体）、解析几何（直角坐标、极坐标、直线方程、圆与椭圆的方程、抛物线方程、双曲线方程）。

(2) 高等数学。微分、积分、函数、传递函数、一阶方程、二阶方程。

(3) 普通物理。机械力学、液体力学、电学、声学、光学、磁学的基本定律、基本公式、基本效应与基本运算。

(4) 普通化学。基本原理（化合、分解、氧化、还原、酸碱盐）、原子结构（质子、中子、电子、能级、跃迁）、分子结构（离子键、共价键、金属键）、物质基本特性。

(5) 电工技术。欧姆定律，电流、电压、电容、电感的基本原理与公式，矢量、振荡电路、三相正弦电路的基本定律与运算。

(6) 模拟电子技术。PN结、二极管、晶体管、场效应管、放大电路、集成运算放大电路、反馈与负反馈电路。

(7) 数字电子技术。二进制、逻辑运算、基本门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、A/D与D/A转换。

2. 学习的要求

(1) 能够理解和记忆概念与定义，掌握每一章出现的基本术语及其含义。

(2) 理解并记忆效应与原理，熟悉它们的来龙去脉，便于更好地熟练应用。

(3) 触类旁通的应用，由此及彼，联系记忆。对所举出的实例能推举出其他可能的应用。

(4) 多用纸和笔。本课程的内容是发展中的技术，教师是不可能原封不动地讲解教科书的内容的，学生仅看教科书是没有办法掌握当前最先进的技术的。好的教师一定会随时将目前正在应用的行业内的最新技术讲解给学生，学生就需要多用纸和笔，以便能随时记录老师所讲内容。

这些概念、定义、效应与原理是要能够记下来的，要在理解的基础上能够熟练地运用。记忆与理解课程内容包括下列方法。

1) 找关键词。每一个概念中都有一些关键词，记忆概念时一定要抓住关键词，抓住了关键词，等于就抓住了概念的灵魂。

例如，传感器的定义是“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置”，这个概念中关键词有三个，即感受、转换和器件。抓住了这三个关键词，记忆传感器定义就不再困难了。

2) 加强理解。记忆概念不能死记硬背，需要在理解的基础上去记忆，而且要有自己的理解，并可以用自己的语言表述出来。

如传感器的定义中对三个关键词的理解是：传感器一定是器件，但是，不能感受和转换的器件一定不是传感器；传感器一定有感受和转换两个环节组成。理解透彻了，即使记不住原话，也可以用自己的理解去表达，理解问题、解决问题时就应该不再困难了。

3) 结合实例。在概念记忆时，我们可以参照一些实例来对照记忆。如传感器的定义是“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置”。

如我们在记忆这个概念时，联想到玻璃管体温计不是温度传感器，因为这个器件只能感受温度信号，不能转换出可用信号，而电子式数显体温计就是温度传感器，因为这个器件不仅能感受温度信号，还能按一定规律转换出可用的信号。对概念掌握更透彻了，也更容易记忆了。

4) 对比记忆。对比记忆就是把一些相似或相反的概念对比记忆，这样记忆起来更深刻，理解也会更加透彻，也不容易遗忘。如正反馈调节和负反馈调节等。

总之，不同的概念我们可以采用不同的记忆方式，而不要一味采取死记硬背的记忆方式，既能够有助于概念的理解，也有利于其记忆，运用起来也会更加得心应手。

3. 学习的诀窍

(1) 记住结论公式。用记忆公式的方法来记忆概念与定义是一个很好的方式。例如，准确地叙述出欧姆定律是一个比较困难的事，但是把欧姆定律的公式写出来后，就可以很容易地叙述出来了。

(2) 喜欢用框图理解工作原理。框图是一个很好的工具，是表示某一系统工作原理的一种简图。其中，整个系统或部分系统连同其功能关系均用称为功能框的符号或图形及连线和字符表示。框图能表示出一个系统各部分和各环节之间关系，它的作用在于能够清晰地表达比较复杂系统各部分之间的关系，本章中图 0-1、图 0-2、图 0-3 都是框图的一种表现形式。

(3) 出现问题从原理上找原因。作为高职学生，从业之后的主要工作是解决工厂一线设备出现的故障和问题。任何设备之所以能够正常运行，是因为他们遵循着设备工作的基本原理，如果设备出现问题而无法工作，往往顺着工作原理就可以找出其中的原因。

对于无法理清的问题，使用框图就可以非常清楚的理解程序的处理、判断、输入/输出、起始或终止等基本功能的执行逻辑过程。

框图已经广泛应用于算法、计算机程序设计，工序、流程的表述，设计方案的比较等方面，也是表示数学计算与证明过程中的主要逻辑步骤的工具，而且是日常生活、公司管理和各门学科中进行交流的一种常用表达方式。

因此，一方面在知识内容上，学生要学会理解流程图和结构图的特征，掌握框图的使用法；另一方面在方法上，学生要体验用框图表示问题解决过程及事物发生、发展过程的优越性，提高抽象概括能力和逻辑思维能力，以及清晰地表达和交流的能力。

利用框图方式，不仅在原理解上可以给我们有效地指导，在故障查询与排除、故障原因辨析方面也可以更好地运用。

4. 学习的方法

(1) 课前要求。提前阅读要讲解的章节的有关内容，将定义查出来，试图去理解概念，演绎推理过程。记录没有理解清楚或理解与教科书不同的内容。

(2) 课内要求。上课时可以不看书，在听老师讲课的同时，记录下老师的讲解，写下自己的理解。特别是对在预习中没有理解的内容，一定要搞清楚，如果还是不清楚，课后要问老师。带笔、带纸、记笔记。按老师在上课时的要求去做，认真听讲、积极思考、积极参与教学互动。

(3) 课后要求。下课后一定要看书，并对照笔记加深理解老师所讲课的内容。自己主动做课后思考题和练习题。作业要独立完成，不可抄袭别人的。如果做不出来，可以让同学讲解然后在自己理解的基础上，独立完成。作业完成之后，预习下次课的内容。

要养成良好的阅读习惯，阅读时要有纸和笔在手上，随时记录不明白的内容，随时记录自己理解的观点，随时记录书中的重点与难点。

第二节 传感器技术与应用课程标准

一、课程定位

“传感器技术与应用”是电气自动化技术专业、机电一体化技术专业、应用电子技术专业、生产过程自动化技术专业、楼宇智能化工程技术专业等电子信息技术与自动化技术等类专业必修的一门专业课。一方面它是用于其他课程（如测量仪表与装置、过程控制技术）的专业基础课程，另一方面它又是一门面向应用的专业课程。主要是非电量参数测量的传感器技术。

课程主要讲授工业生产和民用生活中常用的传感元件的工作原理、性能特点、处理技术、处理电路及其应用。通过本课程的学习，能学会各种常用传感器的使用与应用方法；能够处理与自动测量、过程检测和仪器仪表等相关的技术问题。

整个教学内容的设计以传感器在工业控制系统中的应用为载体，并将工业控制系统中所必需的电子技术、电路技术等知识融入教学内容，为工业自动化各个综合自动控制系统的实施、计算机控制技术、毕业实习与设计等课程的学习打下了坚实的基础，起到了承前启后的作用，与前、后续课程衔接得当。

通过讲授各种工业企业中常用的传感器装置、测量技术、数据处理、抗干扰技术、综合应用技术等内容。它将给予高职高专学生岗位所需要的“实务”能力，包括必需的理论知识、数据处理能力、读图能力、按图纸装配设备并调试其中的传感器装置的能力、综合在校期间所学各课程知识，配合工程师共同完成系统设计的能力，完成综合性的毕业设计的能力等。该课程较注重实作和技能的培养，也注意学生的思考能力和创造能力的培养。

二、学习目标

通过本课程的学习和训练，使学生掌握分析企业典型应用传感器测量非电量所必需的专业理论知识，具有合理选择、安装、调试和维护各种传感器及其检测系统的专业能力，具有良好的职业道德素养和严谨的工作作风及学习能力。

1. 专业能力

了解国内外传感器技术的最新发展状况和发展趋势；

熟练使用常用实验仪器；

熟悉传感器的主要性能指标与计算；

掌握常用的基本传感器的特性；

掌握非电量的一般测量方法；

能使用常见的传感器，会测试其基本参数，判定传感器的质量；

能独立完成参数测量并进行数据处理；

能独立完成实验与实训报告；

能根据检测要求，设计检测方案，进行检测系统的装配与调试；

具有分析、排除、检测电路中简单故障的能力。

2. 方法能力

能分析常见各类传感器原理、转换处理电路、性能参数和应用；
具有利用网络、手册、厂商名录等获取和查阅传感器技术资料的能力；
具有一定的组织能力、查阅信息及处理实验数据能力；
具有一定的自学传感器知识的能力；
具有良好的检测与测量的职业准则；
具有自我控制与管理能力；
具有评估工作结果的能力；
具有制定工作计划的能力。

3. 社会能力

具有较强的团队和协作精神；
具有良好的心理素质；
具有人际交流、公共关系处理能力；
具有语言和文字表达能力；
具有集体意识和社会责任心；
具有质量、安全、环保意识；
具有劳动组织能力；
能够认识自己和规划自己的职业未来；
培养爱岗敬业、勇于创新的工作作风。

三、实训内容

本课程是一个与实际应用密切相关的课程，基本上应该包括两个方面的实验和实训。

开设本课程的学校一般会设有教学设备厂生产的定型产品系列“传感器与检测技术实训台”。通过这些实训台，可以进行传感器的原理、特性和信号处理电路等方面的基本实训，或在指导老师协助下自行设计实训内容。

这些装置可进行应变式、压阻式、电感式、霍尔式、磁电式、压电式、电涡流式、光纤式、热电偶式、热电阻式、热敏电阻式、湿度式、气敏式传感器等数十种传感器的试验。

1. 常规实验

常规实验一般都是对特定的传感器进行的特性验证式实验。例如，金属电阻应变片特性实验、差动变压器特性实验、电容式传感器特性实验、温度传感器特性实验、位移电涡流传感器特性实验、压电式传感器特性实验、电涡流传感器特性实验、光纤传感器的位移特性实验、铜热电阻测温特性实验、热电偶测温性能实验、气敏传感器实验、湿敏传感器实验。

在这部分的实验中要强化学生养成实际操作的规矩，让学生知道“结果不重要，过程很重要，安全更重要”。需要受训者用正确的步骤、正确的行为、正确的方法安全行事。

(1) 规划。在动手前，要做好文件准备。如阅读实验指导书，查阅接线图和原理图等图纸，查数连接线的数量、线之间的关系，书面记录接线的长度等。

(2) 准备。在动手前，要做好材料准备。如按照上述的书面记录将连接线找出、理好，并按位置分出哪些线放在哪些地方。

(3) 执行。在动手时，要按一定的原则做事。包括以下几个方面。

1) 接线的路径匹配。相邻地点输入接到相邻地点输出的几根线要走同一个线路保持其

整洁、使用同一长度便于理顺，使用不同颜色来区分。

2) 接线的颜色的匹配。正电压用红线、负电压用黑线、接地用蓝或绿线，而且要求养成习惯（国外设备有时候会不同，在接触国外设备之后认真加以区别）。

3) 接线的长度的匹配。接线要尽量使用合理的线长，不要太长防止盘结，不要太短容易绷断和松动。全部接线不能有交叉、绞合、盘结；这样易于接线，也易于检查。

(4) 开车。在上电前，要有一定的程序。一要自我检查或互检电源的正确性，二要有上级负责人确认检查。例如，不以完成接线的速度为目标，而以完成接线的正确性为目标。每次完成接线后，要互相检查，然后由指导教师检查。

(5) 规范。在任何时间工作中要牢记。一是不知道后果的行为不能做；二是坚决不能有侥幸心理。如不能乱动与实训无关的设备。

使用工具要按照规定进行。例如，设备要安放稳定牢靠；对于万用表的挡位，不用时放在电压的最大位，换挡位时要断电后进行。

2. 常规实训

常规实训一般都是使用特定的传感器对特定的参数进行实际测量的操作式实训。例如，光电转速传感器速度测量实训、热电偶传感器温度测量实训、扩散硅压力传感器压力测量实训、利用光电传感器控制电机转速实训、热电偶冷端温度补偿实训等。

在这部分的试验中要强化学生养成实训报告的书写规矩，让学生知道“一切结论的产生来自于对实训数据的处理”。需要受训者用正确的格式、正确的表示、正确的分析书写报告。

3. 自主类实训

学生在完成基础类常规实验实训后，即可进入自主类实训模块的学习。利用 LABVIEW 虚拟仪器系统，进一步用现场模拟的方式检查和验证传感器的特性，并模拟测试某些参数并进行分析，同时也熟悉了仪器的使用。

这部分的实训不再给出实训步骤和具体的实训内容，而将以任务书的形式出现。例如，虚拟电子秤的设计与实现、虚拟位移测量仪的设计与实现、虚拟温度计的设计与实现、多种（不少于三种）类型速度传感器特性比较和研究、位移测试与测试系统标定、加热源温度控制、集成温度传感器温度测试调理电路设计、直流电机速度检测和控制、压力测试系统实现、直流电机的远程网络控制设计与实现、基于虚拟仪器的多通道实时测试系统设计与实现、可视化远程测控实训系统设计与实现等。

4. 课程综合设计

课程设计为综合性应用实训，是本课程教学中的一个重要环节。为了突出传感器及检测技术这门课的特点可以精心选择一些题目，对学生掌握本课程起到明显的效果。

按照一个简单检测系统的给定功能要求，综合运用所学知识，拟定检测系统的基本构成方案，对其中的传感器部分进行选择、选配检测电路并对与微机的接口部分进行设计，记录实验数据并进行数据处理及误差分析，提交实验报告。通过实践环节，使学生更好地掌握和加深理解本课程的基本理论和方法，进一步提高学生查阅技术资料、绘制电路图和运用计算机的能力，初步培养学生进行创新设计的能力。

通过课程设计的学习，学生能够使用常用仪器检查各种传感器性能，判别其好坏；能够根据检测要求合理选用各种类型的传感器；能够根据被测信号的特点，合理选用信号处理芯片，组成高效合理的检测电路；能够运用所学知识设计制作基本检测单元模块电路；能够对

制作的模块电路进行简单地测试；检测系统组成及维护使用能力；在讲授传感器原理等理论知识的时候，充分利用现代多媒体技术网络教学平台，让学生通过自主性实训项目学会它的应用，最后通过设计制作型实训来培养学生的职业技能，以实现学生传感器应用和检测系统集成能力的培养。

学生通过进行以上各实践环节，专业素质和技术能力会有大的提高。特别是后两种方式能够提高学生的软、硬件开发能力，更重要的是在提高了学生能力的同时，强化了学生的协作精神和实干作风，增强了创造性，是一条切实可行的和可以具体操作实施的人才培养之路。

第三节 传感器技术在国民经济中的地位与应用范围

当今信息社会几乎没有任何一种生产活动和科学技术的发展能离开传感器和信号探测技术的支持，即使人们的日常生活也与信息资源的开发、采集、传送和处期息息相关。原理不同、功能各异、形式多样的探测器作为信息感知、捕获和探测的窗口，在信号探测与信息处理系统中起着极为重要的作用。

与此同时，在当今的信息量激增和新的信息类型纷纷涌现的情况下，传感器不断面临新的问题和新的需求，许多新型传感器，如光纤传感器、CCD传感器、红外传感器、生物传感器、遥控传感器、微波传感器、超导体传感器及液晶传感器等应运而生，而新型传感器的出现反过来又推动着信息技术的更快速发展。

一、传感器技术的地位和作用

传感器技术不仅对现代化科学技术、现代化农业及工业自动化的发展起到基础和支柱的作用，同时也被世界各国列为关键技术之一。可以说“没有传感器就没有现代化的科学技术，没有传感器也就没有人类现代化的生活环境和条件”，传感器技术已成为科学技术和国民经济发展水平的标志之一。

1. 传感器的重要地位

传感器通常应用于测试系统和控制系统中，它处于探测对象和检测系统的接口位置，构成了信息输入的主要窗口，为检测系统提供必需的原始信息，因而是整个检测系统最重要的环节。检测系统获取信息的质量往往取决于传感器的性能，因为检测系统的其他环节无法添加新的检测信息，并且不易消除传感器所引入的误差。显然，如果没有传感器对原始参数进行精确可靠的测量，则无论是信号转换或信息处理还是最优控制都将无法实现。

在现代工业生产尤其是自动化生产过程中，要保证产品的质量，必须用各种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数，使设备工作在最佳状态或正常状态，倘若没有众多的优良传感器，现代化生产也就失去了基础。

在基础科学研究中，传感器更具有突出的地位。随着现代科学技术的发展，传感器进入了许多先进的领域，例如，在宏观上要观察巨大尺度的茫茫宇宙，微观上要观察基本粒子世界，纵向上要观察长达数十万年的天体演变，短到 10^{-24} s 的瞬间反应。此外，还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种尖端技术的研究，如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等。显然要获取大量人类感官无法获取的信息，没有相应的传感器是不可能的。许多基础科学研究的障碍，首先就在于对象信息的获取

存在着困难，而一些新机理和高灵敏度的检测传感器的出现，往往会导致该领域内的突破。实践表明，新型传感器的发展往往是一些边缘学科开发的先驱。

2. 传感器的作用

目前，传感器早已渗透到工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、健康管理、生物工程、甚至文物保护等极其广泛的领域。可以毫不夸张地说，从玄妙的太空到浩瀚的海洋，以至各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目都离不开传感器。

传感器的作用主要表现在下述三个方面。

(1) 信息的收集。科学研究中的计量测试、产品制造与销售中所需的计量等，都须由测量获得准确的定量数据。对某种特定的检测目标物存在或状态的判别，需要由传感器把某些状态信息转换为数据。对系统或装置的运行状态监测及安全管理，依赖于传感器发现异常情况，发出警告、启动保护电路。判断产品是否合格或人体各部位的疾病诊断等，则需用传感器来测量完成。

(2) 信息数据的交换。把文字、符号、代码、图形等多种信息记录在纸、胶片、盘片、磁卡或其他载体上的信号数据转换成计算机、传真机等易处理的信号数据，或读出记录在各种媒介体上的信息并进行转换，如磁盘与光盘的信息读出磁头就是一种传感器。

(3) 信息的采集。检测控制系统处于某种状态的信息，并由此控制系统的状态或者跟踪系统变化的目标值。

二、传感器技术的应用领域

传感器的应用范围很广，广泛的涵盖在流程工业、机械制造业、汽车工业、智能楼宇、家用电器、安全防范、机器人、人体医学、环境保护、航空航天、遥感技术、军事技术等

1. 应用领域综述

(1) 传感器在工业检测和自动控制系统中的应用。在石油、化工、电力、钢铁、机械等工业生产中需要及时检测各种工艺参数的信息，传感器是任何一个自动控制系统必不可少的环节。

(2) 传感器在汽车中的应用。目前，传感器在汽车上不只限于测量行驶速度、行驶距离、发动机旋转速度及燃料剩余量等有关参数，而且在一些新设施中，如汽车安全气囊、防滑控制等系统，防盗、防抱死、排气循环、电子变速控制、电子燃料喷射等装置及汽车“黑匣子”等都安装了相应的传感器。美国为实现汽车自动化，曾在—辆汽车上安装了 90 多只传感器去检测不同的信息。最近，风靡一时的谷歌自动行驶汽车已经行驶超过 100 万 km，获得美国的上路许可。

(3) 传感器在家用电器中的应用。现代家庭中，用电厨具、空调器、电冰箱、洗衣机、电子热水器、安全报警器、吸尘器、电熨斗、照相机、音像设备等都用到了传感器。

(4) 传感器在机器人中的应用。在生产用的单能机器人中，传感器用来检测臂的位置和角度；在智能机器人中，传感器用作视觉和触觉感知器。在日本，机器人成本的二分之一是耗费在高性能传感器上的。

(5) 传感器在医学中的应用。在医疗上，应用传感器可以准确测量人体温度、血压、心脑电波，并帮助医生对肿瘤等进行诊断。

(6) 传感器在环境保护中的应用。为了保护环境，研制用以监测大气、水质及噪声污染

的传感器，已被世界各国所重视。

(7) 传感器在航空航天中的应用。飞机、火箭等飞行器上，要使用传感器对飞行速度、加速度、飞行距离及飞行方向、飞行姿态进行检测。

(8) 传感器在遥感技术中的应用。在飞机及卫星等飞行器上，利用紫外、红外光电传感器及微波传感器来探测气象、地质等信息。在船舶上，利用超声波传感器进行水下探测。

(9) 传感器在军事方面的应用。利用红外探测可以发现地形、地物及敌方各种军事目标。红外雷达具有搜索、跟踪、测距等功能，可以搜索几十到上千千米的目标。红外探测器在红外制导、红外通信、红外夜视、红外对抗等方面也有广泛的应用。

2. 传感器与家用电器

(1) 冰箱与传感器。冰箱要解决的最大问题是节能。减少能量消耗的措施，①改进冰箱压缩机和隔热材料，②使整个控制系统向电子化方向发展。

冰箱需要的传感器有五种：①代替过去压力式热电开关的热敏电阻或热敏舌簧式继电器；②显示冰箱开关的报警器；③除霜传感器；④结霜传感器；⑤保持蔬菜新鲜度的湿度传感器。

(2) 室内空调与传感器。室内空调，既要考虑节能，又要考虑消除过冷或温度转换时给人的不舒适感觉。

解决的办法是通过微型计算机和传感器组成的电控系统进行控制。空调机的压力式热电开关已改为热敏电阻。今后需要的主要传感器：①稳定性好的长寿命温度传感器；②结霜传感器；③冷煤气压力传感器；④空气流量传感器等。

利用这些传感器能实现：①防止就寝时过冷；②控制室外气温给定温度的变送器；③控制室内负荷压缩机能力的切换；④湿度控制；⑤冬天启动系统除霜。

(3) 家用传感器展望。家用传感器今后希望发展家庭防灾用传感器和类似于机器人感觉的传感器。前者分两类，①检测煤气泄漏和火灾前征兆的煤气、温度、烟雾等传感器；②防止强盗入侵的传感器。后者是实现家务劳动自动化和省力化的各种家用电器用传感器，如全自动洗衣机用传感器。若将清扫机、洗碗机等跟视觉、感觉传感器组合在一起，则可完成家庭主人不愿干的家务事。随着家用电器智能化，家庭生活将会变得更舒适愉快。

3. 汽车电子控制与传感器

(1) 汽车自动控制系统中的传感技术。随着传感器技术和其他新技术的应用，现代化汽车工业进入了全新时期。汽车的机电一体化要求用自动控制系统取代纯机械式控制部件，这不仅体现在发动机上，为更全面地改善汽车性能，增加人性化服务功能，降低油耗，减少排气污染，提高行驶安全性、可靠性、操作方便和舒适性，先进的检测和控制技术已扩大到汽车全身。在其所有重点控制系统中，必不可少地使用曲轴位置传感器、吸气及冷却水温度传感器、压力传感器、气敏传感器等各种传感器。

(2) 空气流量传感器。为了净化排气和降低燃料消耗，需要精确地控制空气—燃料比。这种控制要求空气流量是质量流量。故必须根据压力与温度将目前的体积（或流速）流量传感器转换为质量流量传感器。代替过去叶片式空气流量传感器的卡门旋涡型和热线型空气流量传感器已用于发动机的电子控制。

(3) 新的需求动向。汽车对传感器的新需求：①燃料通过泉喷射的发动机仅需要空气流量传感器。但若用燃料汽化器，则还需要汽油流量传感器；②随着增压涡轮螺旋发动机的普

及,需要振动传感器;③使用汽油和酒精混合的燃料,为了调整发动机控制参数,需要用酒精传感器;④为了将司机的视野扩展到整个汽车,避免汽车前方和后方有司机看不见的死角,需要有视觉传感器和超声传感器。

4. 机器人与传感器

在发达国家,机器人已相当普及,焊接和喷漆机器人已发挥了很大的作用,但装有传感器的机器人却很少。为了让机器人能从事高难度的作业,机器人必须设置各种传感器。

人的信息70%由眼睛获取,可工作主要依靠手的触觉。因此,机器人最重要的感官是视觉和触觉传感器。为了使机器人能完成更复杂的动作,要解决的技术关键是机械手。美国犹他大学研制的机械人其形状、大小和外形像人手而动作速度超过人手。这种手有4个手指、19个关节,用了32个电动机、500个滑轮和几千米复合材料制成的“肌腱”。

哈佛大学研制的机械手的手指布满小气垫,气垫内填塞微磁体的硅有机树脂。若这种手指按住什么东西,则磁场变形,传感器记下变化。根据信号变化程度,机器人感觉出物体的形状和重量。

此外,专家们沿手指安装独特的神经纤维(细导线),周围设置微粒,表面设置橡胶膜。微粒被压得越厉害,则沿导线通过的电流越大。机器人触摸表面,能辨别出不平整度仅1mm的表面。这种传感器的灵敏度仅比人的指尖灵敏度稍差。目前,虽然已有能感觉硬度、湿度和温度的传感器,但还难以将它们组装在一个机械手上。

为了将目前水平比较低的机器人改造成智能机器,要考虑的首要问题是传感器的研究。

5. 机械加工与传感器

(1) 切削过程和机床运行过程的传感技术。切削过程传感检测的目的在于优化切削过程的生产率、制造成本或(金属)材料的切除率等。切削过程传感检测的目标有切削过程的切削力及其变化、切削过程颤震、刀具与工件的接触和切削时切屑的状态及切削过程辨识等,而最重要的传感参数有切削力、切削过程振动、切削过程声发射、切削过程电机的功率等。

对于机床的运行来讲,主要的传感检测目标有驱动系统、轴承与回转系统、温度的监测与控制及安全性等,其传感参数有机床的故障停机时间、被加工件的表面粗糙度和加工精度、功率、机床状态与冷却润滑液的流量等。

(2) 工件的过程传感。与刀具和机床的过程监视技术相比,工件的过程监视是研究和应用最早、最多的。它们多数以工件加工质量控制为目标。20世纪80年代以来,工件识别和工件安装位姿监视要求也提到日程上来。

粗略地讲,工序识别是为辨识所执行的加工工序是否是工(零)件加工要求的工序;工件识别是辨识送入机床待加工的工件或者毛坯,是否是要求加工的工件或毛坯。同时还要求辨识工件安装的位姿是否是工艺规程要求的位姿。

此外,还可以利用工件识别和工件安装监视待加工毛坯或工件的加工裕量和表面缺陷。完成这些识别与监视将采用或开发许多传感器,如基于TV或CCD的机器视觉传感器、激光表面粗糙度传感系统等。

(3) 刀具的检测传感。切削与磨削过程是重要的材料切除过程。刀具与砂轮磨损到一定限度(按磨钝标准判定)或出现破损(破损、崩刃、烧伤、塑变或卷刀的总称),使它们失去切(磨)削能力或无法保证加工精度和加工表面完整性时,称为刀具/砂轮失效。

工业统计证明,刀具失效是引起机床故障停机的首要因素,由其引起的停机时间占机床