

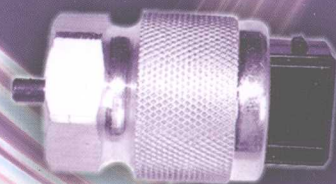
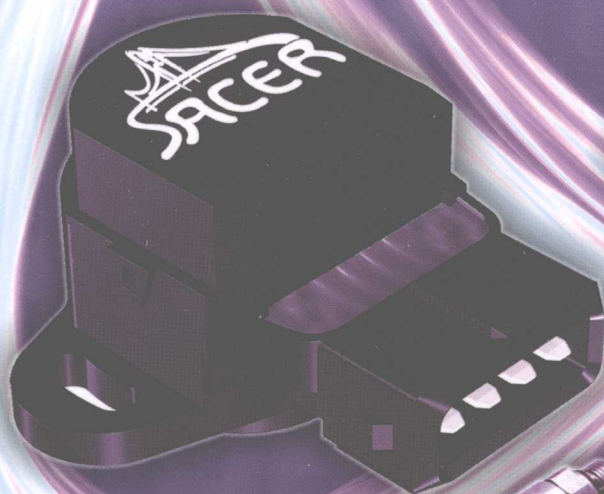


教育部中等职业教育示范专业规划教材(机电技术应用专业)

传感器应用基础

苗玲玉 主编

155.155.155.155.155.155



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

教育部中等职业教育示范专业规划教材（机电技术应用专业）

传感器应用基础

主 编 苗玲玉
副主编 周福星 屈 娟
参 编 杨 鹤 俞 红 邵 震
主 审 魏 民



机械工业出版社

本书以面向中职教育为准则,以职业岗位对人才的需求出发,强调通俗易懂,以实用为本,以应用为主,着眼于学生在应用能力方面的培养。主要包括传感器基础知识,电阻应变式、电感式、电容式、光、电动势型、半导体、超声波等类型传感器的应用,信号处理方法,传感器在机电产品应用,传感器实验项目等内容,并以活页的形式将实验报告附录在后面供师生使用存档。

本书在编写中力求简化传感器原理,突出传感器的应用,并辅以大量当前市场上正在使用的传感器图片,注重新技术、新工艺的引进,融入近年来国内外新兴的传感器知识,并引入很多日常生产生活中的实际应用,力求将科技发展与实际应用相结合。使学生学得进、跟得上,融知识、技能、实践于兴趣之中,让学生有针对性地学习。

本书可供中等职业学校和技校类的学生作为教材和学习参考书使用,也可供希望了解和使用传感器的工程技术人员阅读。

本书配有免费电子教案,配有丰富的图片和自制的 flash 课件,供教师教学或者学生自学。凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379195。

图书在版编目(CIP)数据

传感器应用基础/苗玲玉主编. —北京:机械工业出版社,2008.3
教育部中等职业教育示范专业规划教材(机电技术应用专业)
ISBN 978-7-111-23297-1

I. 传… II. 苗… III. 传感器—专业学校教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 005130 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:高 倩 责任编辑:张值胜 版式设计:霍永明
责任校对:陈延翔 封面设计:王奕文 责任印制:李 妍
保定市中国画美凯印刷有限公司印刷
2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 14 印张 · 329 千字
0001—4000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-23297-1
定价:21.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379195

封面无防伪标均为盗版

前言

本书是根据教育部颁发的中等职业学校机电技术应用专业“传感器及应用教学基本要求”编写的教材。

本书注重中等职业教育的特点，强调通俗易懂，以实用为本，以应用为主，着眼于学生在应用能力方面的培养。在编写中力求简化原理，突出传感器的应用，并辅以大量当前市场正在使用的传感器图片，注意新技术、新工艺的引进，融入近年来国内外新兴的传感器，拓宽学生的知识面，并引入很多日常生产生活中的实际应用，力求将科技发展与实际应用相结合。

本书的建议学时为 60 学时。兼顾到不同地区、不同学校的具体情况，增加了很多阅读资料，教学学时可以在 60~90 之间机动选择。各章的参考教学时分分配及编者如下：

教材内容	学时数		编者
	理论学时	实验学时	
绪论	2		苗玲玉
第 1 章 基础知识	2		杨 鹤
第 2 章 电阻应变式传感器及其应用	4	2	
第 3 章 电感式传感器及其应用	4	4	俞 红
第 4 章 电容式传感器及其应用	4	2	周福星
第 5 章 光传感器及其应用	4	4	苗玲玉
第 6 章 电动势型传感器及其应用	4	8	
第 7 章 半导体传感器及其应用	4		周福星
第 8 章 超声波传感器及其应用	4		苗玲玉 屈 娟
第 9 章 信号处理方法	2		苗玲玉
第 10 章 传感器在机电产品中的应用	4		屈 娟
第 11 章 传感器实验项目			苗玲玉 屈 娟
机动	2		

目 录

前言	
绪论	1
0.1 传感器的应用	1
0.2 传感器的分类	6
0.3 传感器的发展	7
0.4 本课程的任务和教学要求	7
第1章 基础知识	8
1.1 测量	8
1.2 测量误差	9
1.3 传感器的基本特性	12
阅读材料:传感器的选用原则	14
本章小结	15
复习与思考	16
第2章 电阻应变式传感器及其应用	17
2.1 电阻应变式传感器	17
2.2 电阻应变式传感器的测量电路	19
2.3 电阻应变式传感器的应用	23
本章小结	27
复习与思考	27
第3章 电感式传感器及其应用	29
3.1 自感式传感器及其应用	29
3.2 差动变压器及其应用	34
3.3 电涡流式传感器及其应用	39
阅读材料:SIMATIC PXI 系列电感式接近开关	45
本章小结	46
复习与思考	46
第4章 电容式传感器及其应用	48
4.1 电容式传感器	48
4.2 电容式传感器的测量转换电路	51
4.3 电容式传感器的应用	53
阅读材料:电容式指纹识别传感器的应用	56
本章小结	59
复习与思考	59
趣味小制作:电容式接近开关	60
第5章 光传感器及其应用	62
5.1 光电式传感器	62
5.2 光电式传感器的应用	66
阅读材料:光电式传感器在自动化生产线上的应用	71
5.3 光纤式传感器	73
5.4 光纤式传感器的应用	76
5.5 CCD 传感器	78
阅读材料:CCD 图像传感器在军事上的应用	83
本章小结	84
复习与思考	84
趣味小制作:报警器	86
第6章 电动势型传感器及其应用	88
6.1 热电偶及其应用	88
6.2 压电式传感器及其应用	91
阅读材料:压电薄膜传感器的典型应用	96
6.3 磁电式传感器及其应用	98
6.4 霍尔式传感器及其应用	101
本章小结	105
复习与思考	106
第7章 半导体传感器及其应用	108
7.1 热敏电阻及其应用	108
7.2 湿敏传感器及其应用	111
7.3 气敏传感器及其应用	114
7.4 磁敏传感器及其应用	119
阅读材料:磁敏传感器国内外概况及其应用	125
本章小结	128
复习与思考	128
趣味小制作:湿度检测器	129
第8章 超声波传感器及其应用	130
8.1 超声波	130
8.2 超声波传感器	131
8.3 超声波传感器的应用	133

阅读材料：超声波传感器在倒车雷达上 的发展	141
--------------------------------	-----

本章小结	142
------------	-----

复习与思考	143
-------------	-----

第9章 信号处理方法

9.1 电桥	144
--------------	-----

9.2 调制与解调	146
-----------------	-----

9.3 滤波器	149
---------------	-----

9.4 信号的显示和记录	150
--------------------	-----

9.5 抗干扰技术	152
-----------------	-----

本章小结	153
------------	-----

复习与思考	153
-------------	-----

第10章 传感器在机电产品中的 应用

10.1 机器人中的传感器	155
---------------------	-----

10.2 家用电器中的传感器	162
----------------------	-----

10.3 汽车中的传感器	167
--------------------	-----

10.4 气动自动化系统中的传感器	169
-------------------------	-----

本章小结	172
------------	-----

复习与思考	172
-------------	-----

第11章 传感器实验项目

11.1 应变式传感器测力实验	173
-----------------------	-----

11.2 差动变压器位移测量实验	176
------------------------	-----

11.3 电涡流式传感器位移测量实验	178
--------------------------	-----

11.4 电容式传感器位移测量实验	179
-------------------------	-----

11.5 光电式转速传感器转速测量实验	181
---------------------------	-----

11.6 光纤式传感器位移测量实验	182
-------------------------	-----

11.7 热电偶温度测量实验	184
----------------------	-----

11.8 压电式传感器振动测量实验	185
-------------------------	-----

11.9 磁电式传感器转速测量实验	187
-------------------------	-----

11.10 霍尔式传感器位移测量实验	188
--------------------------	-----

本章小结	189
------------	-----

附录

附录A 复习思考题要点	190
-------------------	-----

附录B 传感器实验报告	197
-------------------	-----

参考文献

绪 论



学习目标

1. 认识传感器，了解传感器在不同领域的应用；
2. 了解传感器的分类；
3. 了解传感器的发展。

0.1 传感器的应用



思考一：夏季买西瓜的时候，你会怎样挑选呢？

买西瓜的时候，有的人习惯看颜色或者形状，更多人习惯用手拍拍，此时手就不知不觉被当做了一种传感器，人的大脑根据从西瓜上传回来的振动模糊判断这个西瓜的好坏。

传感器（又叫探测器、换能器等）实质上就是代替人的五种感觉（视、嗅、听、味、触）器官的装置。它是一种能感受被测量并按一定规律将其转换成可供测量的信号的器件。

在我们的日常生活中，传感器随处可见：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；煤气灶中监测煤气泄漏的气敏传感器；电视机和影碟机中用于遥控的红外光电传感器；照相机中的光传感器；汽车中的流量传感器等，不胜枚举。图 0-1 所示为几个生活中常见的利用传感器工作的设备。



图 0-1 我们身边的传感器

随着科技的发展、自动化程度的提高，对测量的精度和速度，尤其是对被测量动态变化过程的测量和远距离的测量提出更高的要求。而实际生产生活中的被测量多数是非电量，因此绝大多数传感器是将非电量转换成电量后再进行测量的。本书中的传感器多指那些将非电量转换成电量的传感器。



思考二：洗澡前用手试试水温，我们能够知道水的温度需要怎样调节才合适。那么

通过传感器检测到的非电量，我们怎么才能知道其具体结果呢？

一个完整的非电量电测系统，一般由传感器、中间转换器、显示记录装置组成，如图0-2所示。从中可以看出传感器在系统中占有重要的位置。



图0-2 非电量电测系统框图

传感器直接感受被测量，并按一定规律将其转换成电量输出；中间变换器再将传感器输出的电量转换成便于传输、显示和记录的电信号；显示记录装置将中间变换器的输出量转换成人的感官能接受的信号显示或者存储。



思考三：传感器都应用在哪些领域呢？

传感器是现代测控系统中不可缺少的器件。随着计算机、自动化生产、生物医学、环保、能源、海洋开发、遥感、遥测、宇航等科技的发展，传感器的应用逐渐渗透到人类生活的各个领域。从各种复杂的工程系统到日常衣食住行，都离不开各种传感器，传感器技术的发展对国民经济的发展起着日益重要的作用。

1. 传感器与工业自动化生产和自动控制系统

传感器在工业自动化生产中占有极其重要的地位。在石油、化工、电力、钢铁、机械等行业中，传感器在各自的工作岗位上担负着相当于人类感觉器官的作用，它们每时每刻按照需要完成对各种信息的检测，再把测得的信息通过自动控制、计算机处理等环节进行反馈，用于生产过程、质量、工艺管理与安全方面的控制。图0-3所示的是楼宇自动控制系统。

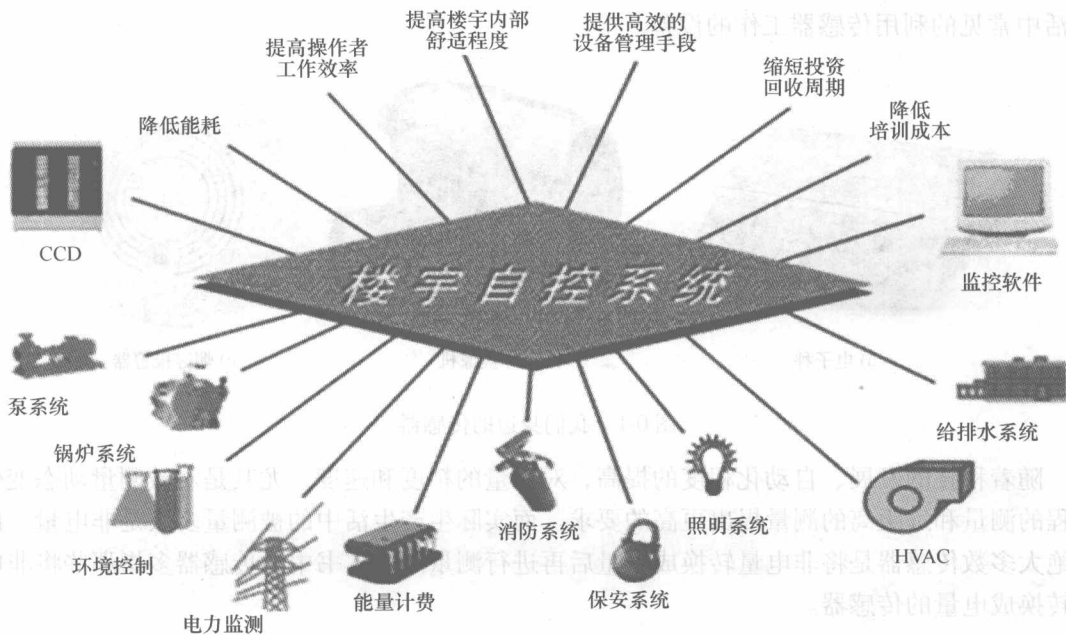


图0-3 楼宇自动控制系统

楼宇自动控制系统 BAS (Building Automation System) 对建筑物内的变配电系统、空调系统、通风系统、给排水系统、照明系统、电梯系统、自动识别系统、巡更系统和消防系统等所有系统设备进行控制和管理,从而提高建筑物内的智能化管理水平和管理效率、减少管理人员、降低设备故障率、提高设备运行的可靠性、节约能源,在楼宇内营造一个健康舒适的工作、生活环境。

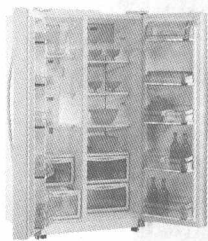
为实现控制以上系统设备使用的传感器有温度、湿度、液位、流量、压差等传感器。

2. 传感器与汽车

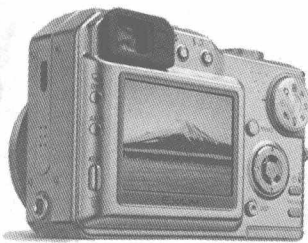
目前,传感器在汽车上的应用已不只局限于对行驶速度、行驶距离和发动机旋转速度的监控及燃料剩余量等有关参数的测量。由于汽车交通事故的不断增多和汽车对环境的污染危害日益加重,传感器在一些新的设备,如汽车的安全气囊、防盗、防滑控制、防抱死、电子变速控制、排气循环、电子燃料喷射及“黑匣子”等装置中都得到了实际应用。可以预见,随着汽车各项技术的发展,传感器在汽车领域的应用将会更为广泛。

3. 传感器与家用电器

现代家用电器中普遍应用了传感器。图 0-4 所示的是几种应用了传感器的常见家用电器。在电子炉灶、电饭锅、吸尘器、空调器、热水器、热风取暖器、电熨斗、电风扇、游戏机、电子驱蚊器、洗衣机、洗碗机、照相机、电冰箱、彩色电视机、录像机、录音机、收音机、家庭影院等家用电器中,传感器都得到了广泛的应用。



a) 冰箱



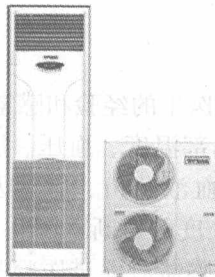
b) 数码相机



c) 电饭煲



d) 电视机



e) 空调



f) 洗衣机

图 0-4 部分应用传感器的常见家用电器

目前,家庭自动化的蓝图正在设计之中,未来的家庭将由微型计算机作为中央控制装

置,通过各种传感器监视家庭的各种状态,并通过控制设备进行各种控制。家庭自动化的主要内容包括安全监视与报警、空调及照明控制、耗能控制、太阳光自动跟踪、家务劳动自动化及人身健康管理等。家庭自动化的实现,可使人们有更多的时间用于学习、教育和休闲娱乐。

4. 传感器与机器人

目前,在劳动强度大或危险作业的场所,已逐步使用机器人取代人的工作。一些高速度、高精度的工作,由机器人来承担也是非常合适的。但实际应用中的机器人多数是用来进行加工、组装、检验等限于生产使用的自动机械式单能机器人,图 0-5 所示为单能机器人中的机械手。在这些机器人身上仅采用了检测机械臂位置和角度的传感器。

要使机器人和人的功能更为接近,以便从事更高级的工作,就要求机器人具有判断能力,这就要给机器人安装视觉传感器和触觉传感器,使机器人通过视觉传感器对物体进行识别和检测,通过触觉传感器对物体产生接触觉、压觉、力觉和滑觉。这类机器人被称为智能机器人。图 0-6 所示为智能机器人中的双脚步行机器人。它不仅可以从事特殊的作业,而且一般的生产活动和生活家务,也可全部交由它来处理。

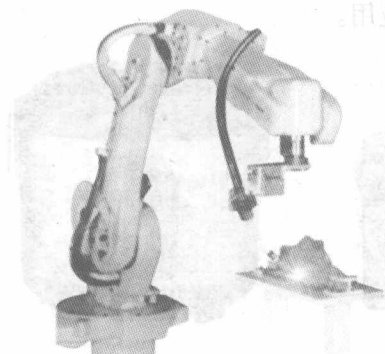


图 0-5 单能机器人—机械手

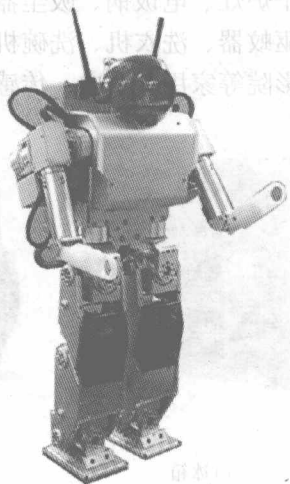


图 0-6 智能机器人—双脚步行机械人

5. 传感器与医疗医学

随着医用电子学的发展,仅凭医生的经验和感觉进行诊断的时代将会结束。现在,应用医学传感器可以对人体的表面和内部温度、血压、腔内压力、血液及呼吸流量、肿瘤、血液分析、脉搏及心音、心脑电波等身体特征进行高难度的诊断。图 0-7 所示为螺旋 CT 检测设备。显然,传感器对促进医疗技术的发展起着非常重要的作用。

为增进全民的健康水平,医疗工作将不再局限于治疗疾病。今后,在疾病的早期诊断、早期治疗、远距离诊断及人工器官的研制等广泛的范围内,医疗工作将会

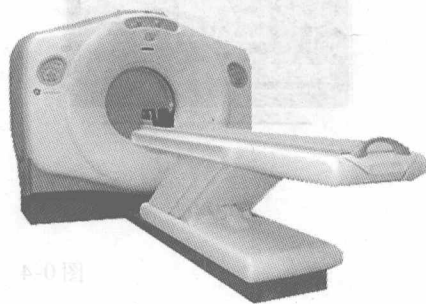


图 0-7 螺旋 CT 检测设备

发挥更重要的作用，而传感器也将会得到越来越多的应用。

6. 传感器与环境保护

目前，全球的大气污染、水污染及噪声污染已严重地破坏了地球的生态平衡和生存环境，这一现状已引起了世界各国的重视。为保护环境，利用传感器制成的各种环境监测仪器发挥了积极的作用。图 0-8 所示为工厂区的烟气检测。通过传感器对工厂上空大气成分的检测、控制相关地区工厂的废气排放，保护环境。

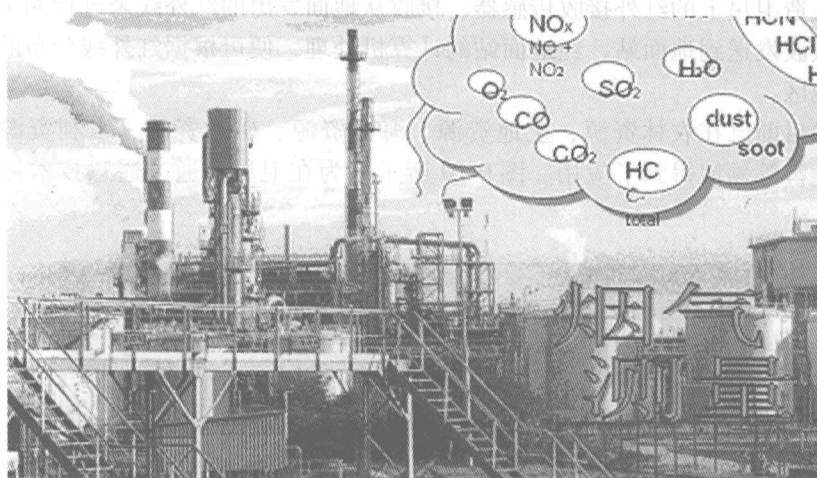


图 0-8 工厂区的烟气检测

7. 传感器与航空航天

在航空航天飞行器上广泛应用着各种各样的传感器。图 0-9 所示为神舟五号飞行器发射现场。为了解飞行器的飞行轨迹，并把它们控制在预定的轨道上，就要使用传感器进行速度、加速度和飞行距离的测量，为了解飞行器飞行的方向，就必须掌握它的飞行姿态，飞行姿态可以使用红外水平线传感器陀螺仪、阳光传感器、星光传感器及地磁传感器等进行测



图 0-9 神舟五号飞行器发射现场

量。此外，对飞行器周围的环境、飞行器内部设备的监控也都要通过传感器进行检测。

8. 传感器与遥感技术

所谓遥感技术，简单地说就是从飞机、人造卫星、宇宙飞船或船舶上对远距离的广大区域中的被测物体及其状态进行大规模探测的一门技术。

在飞机及航天飞行器上装用的传感器是近紫外线、可见光、远红外线及微波传感器等，在船舶上向水下观测时多采用的是超声波传感器。例如，要探测一些矿产资源的埋藏方位，就可以利用人造卫星上的红外接收传感器，接收从地面发出的红外线来进行测量，然后由人造卫星通过微波发送到地面站，经地面站的计算机处理，便可根据红外线分布的差异判断出埋有矿藏的地区。

遥感技术目前已在农林资源、土地资源、海洋资源、矿产资源、水利资源、地质、气象、军事及公害等领域得到了应用。图 0-10 所示即为在卫星上通过遥感技术拍摄的美国空军基地。



图 0-10 遥感拍摄照片—美国空军基地

0.2 传感器的分类

传感器的分类方法很多。有的传感器可以同时测量多种参数，而对同一物理量又可用多种不同类型的传感器来进行测量。因此同一传感器可分为不同种类，有不同的名称，具体分类见表 0-1。

表 0-1 传感器分类

序号	分类方法	传感器名称
1	被测量	物理量传感器、化学量传感器、生物量传感器
2	传感器输出信号	数字传感器、模拟传感器
3	传感器的结构	结构型传感器、物性型传感器、复合型传感器
4	传感器的转换原理	机-电、光-电、热-电、磁-电、电化学等传感器

0.3 传感器的发展

传感器是新技术革命和建设信息社会的重要技术基础，各种新能源的开发、交通运输效率的提高、环境的保护和监测、遥感技术和航天技术的发展，都有赖于各式各样的高性能传感器。从当前高新技术的发展趋势来看，传感技术的发展方向主要有以下几个方面。

(1) 传感器技术向量子化发展。传感器的检测极限正在迅速延伸，如利用核磁共振吸收的磁传感器。

(2) 传感技术向集成化、多功能化发展。把敏感元件与信号处理电路以及电源部分集成在同一个基片上，从而使检测及信号处理一体化。集成化的传感器与一般传感器相比，具有结构简单、重量轻、体积小、速度快、稳定性好等特点。为了使传感器进一步简化，现在已经出现了多功能传感器，使一种传感器可以测量多种参数或具有多种功能。

(3) 传感技术向智能化发展。大大地扩大了其使用功能，并提高了精度。

 **思考四：**还会有什么样先进的传感器呢？

- (1) 智能房屋（自动识别主人）；
- (2) 智能衣服（自动调节温度）；
- (3) 智能公路（自动显示、记录公路的压力、温度、车流量）；
- (4) 智能汽车（无人驾驶、卫星定位）；
-

例如图 0-11 所示的智能化水质检验系统。

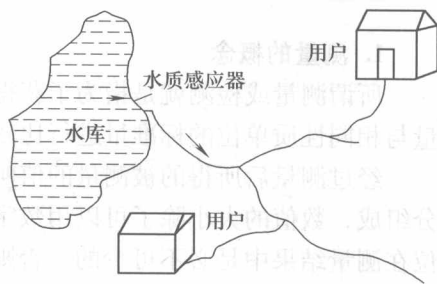


图 0-11 智能化水质检验系统

0.4 本课程的任务和教学要求

本书在介绍传感器的结构、外形和原理的基础上，着重介绍了传感器的应用情况，给出了传感器在许多领域的应用实例。本书可供中等职业学校的学生作为教材和学习参考书使用，也可供希望了解和使用传感器的工程技术人员阅读。

作为教材，建议以实验或者现场演练为主，每章理论教学约 4 学时（详见前言中的参考学时）。实验条件受限的学校，可以根据各自情况酌情增加理论学时。

第1章 基础知识

在实际工程中提出的检测任务是正确及时地掌握各种信息，大多数情况下是要获取被测对象信息的大小。这样，信息采集的主要含义就是测量和取得测量数据。检测信号需要由传感器与多台检测仪表组合在一起进行测量，这样就构成了检测系统。计算机技术及信息处理技术的发展，使得测量系统所涉及的内容不断得以充实。

为了更好地掌握传感器的应用方法，需要对测量的基本概念、测量的误差、检测系统的基本特性等方面的理论进行学习，只有了解这些基本理论，才能更好地完成检测任务。

1.1 测量



思考一：在我们的课堂上，你的课桌有多长？



学习目标

1. 了解测量的概念；
2. 熟悉测量的几种方法及其选用。

1. 测量的概念

所谓测量或检测就是指为了获得测量结果或被测量的值而进行的一系列操作，它将被测量与相同性质单位的标准量进行比较，并确定被测量对标准量的倍数。

经过测量后所得的被测量的值叫测量结果。测量结果一般是由数值大小和测量单位两部分组成，数值的大小除了可以用数字表示外，还可以用曲线或图形的方式进行表示。测量单位在测量结果中是必不可少的，否则测量的结果没有任何意义。

在实际的测量中，为了得到测量结果，我们可采取不同的测量方法来实现对被测量的测量，通常根据被测量的性质、特点和测量的要求来选择适当的测量方法。

2. 测量的方法

在检测过程中，对于被测量的测量，按测量方法可分为两类：直接测量和间接测量。

(1) 直接测量。直接测量是用测量仪器和被测量进行比较，直接读取被测量的测量结果；或将测量值与同类标准量比较而得出结果。例如用刻度尺、游标卡尺、天平、直流电流表等进行的测量就是直接测量。

(2) 间接测量。间接测量是不能直接用测量仪器得到被测量的大小，而要依据与被测量有确定函数关系的几个量，代入相关函数关系式，从而得到被测量的大小。例如重力加速度，可通过测量单摆的摆长和周期，再由单摆周期公式算出，这种类型的测量就是间接测量。

按照被测量获得的方法可分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

(1) 偏差式测量。用测量仪表指针相对于刻度起始点的位移（偏差）来表示被测量大小的测量方法称为偏差式测量。使用这种测量方法的仪表内并没有标准量具，而是只有经过标准量具校准过的标尺或刻度盘，在测量时利用仪表指针在标尺或刻度盘上的相对偏差，读取被测量的大小，这种测量方法测量速度快捷、方便，但是测量的精度较低，被广泛应用在各种工程测量中。

(2) 零位式测量。用指零式仪表来反映测量系统的平衡状态，在测量过程中，当指零式仪表指零，测量系统达到平衡时，用已知的标准量来确定被测量的大小，这样的测量方法称为零位式测量。天平就是典型的从零位式测量方法来实现对被测量的测量，在左侧托盘放入被测物体后用已知质量的砝码放在天平的右侧托盘里，使天平达到平衡状态，这样就可以通过已知砝码的质量来测量出天平左边托盘里的被测量的质量了。由于指零式仪表比较灵敏，所以使指零式仪表达到平衡是一个比较慢的过程，虽然测量的精度很高，但测量过程复杂，时间较长，因此零位式测量只适合于被测量是变化缓慢的量，而不适合测量变化很快的被测量。

(3) 微差式测量。将被测量与已知的标准量进行比较，得到差值后，再用偏差式测量的方法得到这个差值，最后把差值和已知的标准量相加，从而获得我们需要测量的被测量的大小，这种测量方法就是微差式测量。可以看出微差式测量实际上综合了偏差式测量和零位式测量。如图 1-1 所示，P 为灵敏度很高的偏差式仪表，通过它来指示被测量 x 与已知标准量 s 的差值，很容易可以看出被测量 $x = s + \Delta$ 。只要偏差式仪表准确度高， Δ 足够小，那么被测量的准确度就基本上取决于已知标准量的准确度。微差式测量不仅测量速度快，而且准确度高，既避免了偏差式测量精度低的缺点，又避免了零位式测量反复调节已知标准量大小的麻烦，因此微差式测量常应用在精密测量或生产线控制参数的测量上。

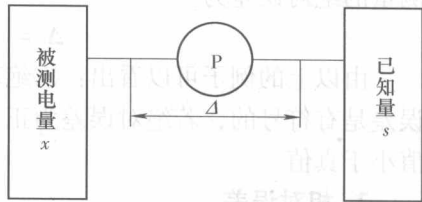


图 1-1 微差式测量示意图

1.2 测量误差



思考二：每个同学的课桌长度都相同，为什么会存在不同的测量结果呢？



学习目标

1. 了解测量误差及其表示方法；
2. 熟悉如何确定检测系统的精度等级；
3. 了解各类误差的产生和消除方法。

1.2.1 测量误差的定义

1. 理论真值

严格定义的理论值或者客观存在的实际值称为理论真值，如三角形的内角和是 180° 等。在实际的测量当中理论真值是很难获得的，所以常用约定真值或相对真值来代替理论真值。

2. 示值

检测系统（仪器）指示或显示被测量的数值叫示值，也称为测量值。

1.2.2 测量误差的表示方法

检测系统的基本误差通常有两种表示形式：绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

绝对误差就是测量值与被测量的真值之间的代数差，即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

式中， Δ 为绝对误差， A_x 为测量值， A_0 为真值。由于 A_0 一般很难得到，所以常用高一级的标准仪器的示值即相对真值来代替 A_0 。

绝对值与 Δ 大小相等，而符号相反的值称为修正值，常用 C 表示，即有

$$C = -\Delta \quad (1-2)$$

例如，已知三角形的内角和为 180° ，用量角器测量三角形的内角和为 181° ，那么此次测量的绝对误差为

$$\Delta = A_x - A_0 = 181^\circ - 180^\circ = 1^\circ$$

由以上的例子可以看出：①绝对误差是有单位的，其单位与测量值和真值相同。②绝对误差是有符号的，若绝对误差为正，则表示测量值大于真值；若绝对误差为负，则表示测量值小于真值。

2. 相对误差

(1) 实际相对误差。实际相对误差就是绝对误差 Δ 与真值 A_0 的比值，即

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

(2) 示值相对误差。示值相对误差就是绝对误差 Δ 与示值 A_x 的比值，即

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-4)$$

(3) 最大相对误差。最大相对误差就是绝对误差 Δ 与最大值 $A_{\max}$ 的比值，即

$$\gamma_{\max} = \frac{\Delta}{A_{\max}} \times 100\% \quad (1-5)$$

3. 精度

检测系统（仪器）常以满度相对误差的最大值作为判断检测系统精度等级的标准，即用满度相对误差的最大值去掉正负号和百分号后的数字表示该仪器的精度等级。

根据国家有关精度等级的规定，将精度 S 划分为 7 个等级，从高到低依次是 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 级。但是，当我们通过测量和计算所得到的测量仪器精度不是这 7 个中的某一个时，应该如何处理才符合国家规定的标准精度等级呢？

例如，有一个量程为 0 ~ 1000V 的数字电压表，假设这个电压表整个量程中的最大绝对误差为 1.21V，即有

$$S = \frac{|\Delta_{\max}|}{A_{\max}} \times 100\% = \frac{1.21}{1000} \times 100\% = 0.121\%$$

结果 0.121 不是 7 个精度等级中的某一个，所以我们需要对这个结果进行一下处理。