

国家职业教育电力系统自动化技术专业教学资源库配套教材
新形态一体化教材

传感器技术及应用

主 编 李东晶
副主编 聂 兵 路荣亮 周伟伟 董建民
主 审 魏召刚

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

前 言

本书是根据国家职业教育电力系统自动化技术专业教学资源库及高职院校优质校建设项目工厂智能控制专业群课程体系构建与核心课程建设需要编写的,体现了“淡化理论,够用为度,培养技能,重在运用”的指导思想,培养具有“创造性、实用性”的适应社会需求的人才。针对高职高专学生的理论基础相对薄弱,在校理论学习时间相对较少的特点,本书压缩了大量的理论推导,重点放在实用技术的掌握和运用上。在编写过程中结合各位教师多年的教学经验,并参阅大量有关文献资料,精选内容,突出技术的实用性,加强了项目实训及应用案例的介绍。本书在编写过程中注重项目教学的特点,既符合教育教学的规律,又满足企业的岗位需求。

全书共7个项目。每个项目分为项目场景、需求分析、方案设计、相关知识和技能、任务描述、任务分析、知识准备、任务实施、任务总结、项目评价、拓展提高、练习与思考等部分。

“需求分析”中提出实施的具体项目、项目实施的原理和项目特点以及通过本项目的学习所达到的要求;“知识准备”中对项目实施所用到的相关知识进行详细的介绍,为项目的实施打下理论基础;“任务实施”是利用相关知识和项目要求进行设计、安装和调试;“拓展提高”则是对本项目所涉及的知识进行延伸,介绍与项目知识相关的其他方面的应用以及当今最新的发展和应用;“任务总结”和“练习与思考”供同学们复习、巩固。

在内容编写方面,注重难点分散、循序渐进;在文字叙述方面,注重言简意赅、重点突出;在实例选取方面,注意选用最新传感器及检测系统,实用性强、针对性强。本书以传感器的应用为目的,给出了较多的应用实例。

本书由山东工业职业学院李东晶担任主编,山东工业职业学院聂兵、路荣亮、周伟伟、董建民担任副主编。其中,李东晶编写了项目一、项目六、项目七;聂兵编写了项目二;周伟伟编写了项目三;路荣亮编写了项目四;董建民编写了项目五。山东工业职业学院魏召刚教授主审了全书,并提出了很多宝贵的修改意见,在此表示诚挚的感谢!同时感谢北京和利时有限公司和杭州浙大中控有限公司的参与和支持。全书由李东晶统稿。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 传感器技术的认识与实践	1
任务一 传感器的认识	2
任务二 测量误差与数据处理	11
项目二 电阻式传感器及应用	27
任务一 基于电阻式传感器的称重电子秤系统的设计	28
任务二 压阻式传感器在液位测量中的应用设计	36
项目三 变电抗式传感器及应用	47
任务一 电感式传感器及应用	48
任务二 电涡流式传感器及应用	63
任务三 电容式传感器及应用	73
项目四 压电式与磁电式传感器及应用	94
任务一 压电式传感器及应用	95
任务二 磁电式传感器及应用	104
项目五 光学量传感器及应用	118
任务一 光电传感器及应用	119
任务二 光纤传感器及应用	135
项目六 温度传感器及应用	148
任务一 温度测量概述	149
任务二 热电偶及应用	152
任务三 热电阻及应用	180
项目七 流量传感器及应用	199
任务一 流量测量概述	200
任务二 差压式流量计及应用	205
任务三 转子流量计及应用	224
任务四 超声波流量计及应用	230
任务五 电磁流量计及应用	234
任务六 其他流量计及应用	240
参考文献	258

传感器技术的认识与实践



项目场景

检测是指在各类生产、科研、实验及服务各个领域，为及时获得被测、被控对象的有关信息而实时或非实时地对一些参量进行定性检查和定量测量。

对工业生产而言，采用各种先进的检测技术对生产全过程进行检查、监测，对确保安全生产，保证产品质量，提高产品合格率，降低能源和原材料消耗，提高企业的劳动生产率和经济效益是必不可少的。在工程实践中经常碰到这样的情况：某个新研制的检测（仪器）系统在实验室调试时测得的精度已达到甚至超过设计指标，可一旦安装到环境比较恶劣、干扰严重的工作现场，其实测精度却往往大大低于实验室测得的水平，甚至出现严重超差和无法正常运行的情况。因此，设计人员需要根据现场测量获得的数据，结合该检测系统本身的静、动态特性，检测系统与被测对象的现场安装、连接情况及现场存在的各种噪声情况等进行分析，找出影响和造成检测系统实际精度下降的种种原因，然后对症下药，采取相应改进措施，直至该检测系统的实际测量精度和其他性能指标全部达到设计要求，这就是通常所说的现场调试过程。只有现场调试过程完成后，该检测系统才能投入正常运行。可见，“检测”通常是指在生产、实验等现场，利用某种合适的检测仪器或综合测试系统对被测对象的某些重要工艺参数（如温度、压力、流量、物位等）进行在线、连续的测量。

传感器用于非电量的检测，检测的目的不仅是为了获得信息或数据，在一定程度上讲更是为了生产和研究的需要。因此，检测系统的终端设备应该包括各种指示、显示和记录仪表以及可能的各种控制用的伺服机构或元件。

测量精度（高、低）从概念上与测量误差（小、大）相对应，目前误差理论已发展成为一门专门学科，涉及内容很多。为适应读者的不同需要和便于后面各项目的介绍，下面对测量的定义和过程，测量方法的分类及其特点，测量误差产生的原因、表示方法、性质及处理方法，测量数据的处理及测量结果的评价做一简单介绍，并引入自动检测系统的概念和传感器定义及其相关参数。



需求分析

在现代工业生产中，为了检查、监督和控制某个生产过程或运动对象，使它们处于所选工况最佳状态，就必须掌握描述它们特性的各种参数，这就首先要测量这些参数的大小、方向、变化速度等。以传感器为核心的检测系统就像神经和感官一样，源源不断地向人类提供宏观与微观世界的种种信息，成为人们认识自然、改造自然的有力工具。

“没有传感器就没有现代科学技术”的观点已为全世界所公认。检测技术作为信息科学的一个重要分支，与计算机技术、自动控制技术和通信技术等技术一起构成了信息技术的完整学科。为了学好检测技术，首先要了解检测技术的基本知识。



方案设计

针对项目需求，设计的内容主要包含：传感器的基本概念、组成、分类、作用及其相关参数，测量的定义和过程，测量方法的分类及其特点，测量误差产生的原因、表示方法、性质及处理方法等。本项目设置了：任务一传感器的认识；任务二测量误差与数据处理。通过本项目的学习，了解传感器的基本知识，并掌握测量及误差的基本概念及其处理方法。



相关知识和技能

【知识目标】

- (1) 了解检测技术在人们生活、生产、科研等方面的重要性。
- (2) 了解测量的概念。
- (3) 掌握测量误差的特点。
- (4) 了解传感器的作用和分类。
- (5) 掌握自动检测系统的结构及其组成。
- (6) 了解自动检测技术的发展趋势。

【技能目标】

- (1) 掌握误差的表达方式。
- (2) 能正确选择仪表进行测量。
- (3) 了解测量数据的分析和处理方法。
- (4) 熟悉传感器的基本性能指标。

任务一 传感器的认识

【任务描述】

通过本任务的学习，学生应达到的教学目标如下。

【知识目标】

- (1) 熟悉传感器的定义及组成。
- (2) 熟悉传感器的特性。

【技能目标】

- (1) 掌握作图法求取传感器的灵敏度。
- (2) 掌握作图法求取传感器的线性度。

【任务分析】

传感器是人类五官的延伸，又称为电五官。它已广泛应用于工业自动化、航天技术、军事领域、机器人开发、环境检测、医疗卫生、家电行业等各学科和工程领域。据有关资料统计，大型发电机组需要 3 000 台传感器及配套仪表，大型石油化工厂需要 6 000 台，一个钢铁厂需要 20 000 台，一个电站需要 5 000 台，“阿波罗”宇宙飞船用了 1 218 个传感器，运载火箭部分用了 2 077 个传感器，一辆现代化汽车装备的传感器也有几十种。

传感器技术是现代科技的前沿技术，是现代信息技术的三大支柱之一。传感器技术的水平高低是衡量一个国家科技发展水平的主要标志之一。

【知识准备】

检测（Detection）技术就是利用各种物理效应，选择合适的方法与装置，将生产、科研、生活中的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。能够自动完成整个检测处理过程的技术称为自动检测与转换技术。

一、传感器的定义及其组成

《传感器通用术语》（GB 7665—2005）对传感器的定义：能感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。它获取的信息可以为各种物理量、化学量和生物量，而转换后的信息也可以有各种形式。目前传感器转换后的信号大多为电信号，因而从狭义上讲，传感器是把外界输入的非电信号转换成电信号的装置。一般也称传感器为变换器、换能器和探测器，其输出的电信号被陆续输送给后续配套的测量电路及终端装置，以便进行电信号的调理、分析、记录或显示等。

传感器通常由直接响应于被测量的敏感元件和产生可用信号输出的转换元件以及相应的转换电路组成，其组成框图如图 1-1 所示。



图 1-1 传感器组成框图

敏感元件是传感器中直接感受被测量，并转换成与被测量有确定关系、更易于转换的非电量。图 1-2 中的弹簧管就属于敏感元件。当被测压力 p 增大时，弹簧管拉直。通过齿条带动齿轮转动，从而带动电位器的电刷产生角位移。

被测量通过敏感元件转换后，再经转换元件转换成电参量。图 1-2 中的

电位器就属于转换元件，它通过机械传动结构将角位移转换成电阻的变化。

测量转换电路的作用是将转换元件输出的电参量转换成易于处理的电压、电流或频率。在图 1-2 中，当电位器的两端加上电源后，电位器就组成分压比电路，它的输出量是与压力成一定关系的电压 U_o 。电位器式压力传感器原理框图如图 1-3 所示。

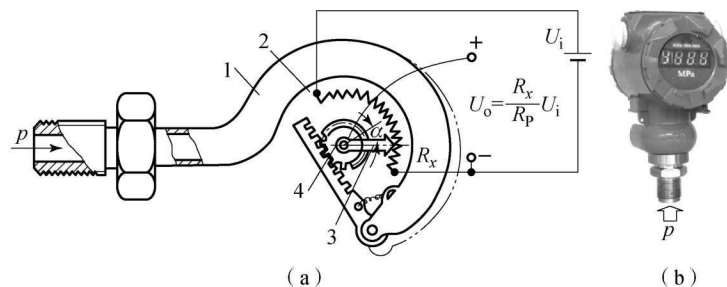


图 1-2 电位器式压力传感器

(a) 原理示意图；(b) 外形图

1—弹簧管（敏感元件）；2—电位器（转换元件、测量转换电路）；
3—电刷；4—传动机构（齿轮—齿条）

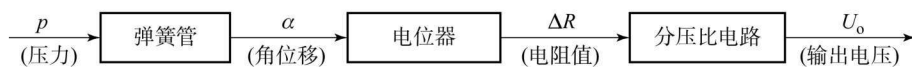


图 1-3 电位器式压力传感器的原理框图

二、传感器的分类

传感器的种类名目繁多，分类不尽相同。常用的分类方法有以下几个。

(1) 按被测量分类，可分为位移、力、力矩、转速、振动、加速度、温度、压力、流量、流速等传感器。

(2) 按测量原理分类，可分为电阻、电容、电感、光栅、热电偶、超声波、激光、红外、光导纤维等传感器。

(3) 按传感器输出信号的性质分类，可分为输出为开关量（“1”和“0”或“开”和“关”）的开关型传感器、输出为模拟量的模拟型传感器、输出为脉冲或代码的数字型传感器。

三、传感器的基本特性

传感器的特性一般是指输入输出特性，有静态与动态之分。传感器动态特性的研究方法与控制理论中介绍的相似，故不再重复。下面仅介绍其静态特性的一些指标。

1. 灵敏度

灵敏度（Sensitivity）是指传感器在稳态下输出量的变化值与相应的被测量的变化值之比，用 K 表示，即

$$K = \frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-1)$$

式中 x ——输入量;
 y ——输出量。

对线性传感器而言,灵敏度为一常数;对非线性传感器而言,灵敏度随输入量的变化而变化。从传感器输出曲线看,曲线越陡,灵敏度越高。可以通过作该曲线切线的方法(作图法)求得曲线上任一点的灵敏度。用作图法求取传感器的灵敏度如图 1-4 所示。从切线的斜率可以看出, x_2 点的灵敏度比 x_1 点高。

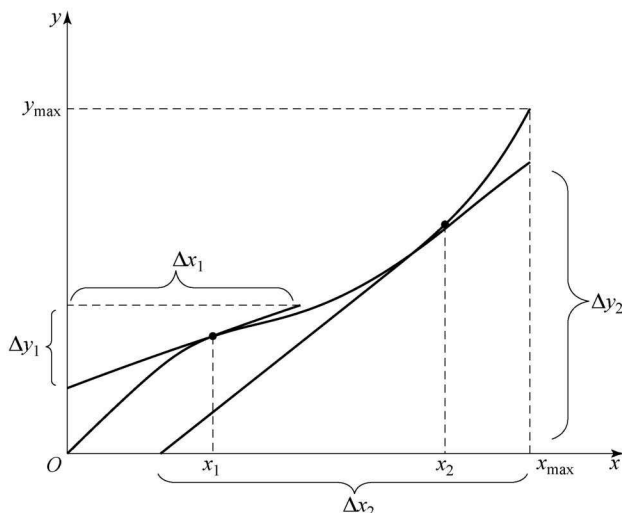


图 1-4 用作图法求传感器的灵敏度

2. 分辨力

分辨力 (Resolution) 是指传感器能检出被测信号的最小变化量,是有量纲的数。当被测量的变化小于分辨力时,传感器对输入量的变化无任何反应。对数字仪表而言,如果没有其他附加说明,一般可以认为该表的最后一位所表示的数值就是它的分辨力。一般情况下,不能把仪表的分辨力当作仪表的最大绝对误差。例如,数字式温度计的分辨力为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,若该仪表的准确度为 1.0 级,则最大绝对误差将达到 $\pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,比分辨力大得多。

仪表或传感器中还经常用到“分辨率”的概念。将分辨力除以仪表的满量程就是仪表的分辨率,分辨率常以百分比或几分之一表示,是量纲为 1 的数。

3. 线性度

人们总是希望传感器的输入与输出的关系成正比,即线性关系。这样可使显示仪表的刻度均匀,在整个测量范围内具有相同的灵敏度,并且不必采用线性化措施。但大多数传感器的输入输出特性总是具有不同程度的非线性,可以用下列多项式代数方程表示,即

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \cdots + a_n^n \quad (1-2)$$

式中 y ——输出量;

- x ——输入量；
- a_0 ——零点输出；
- a_1 ——理论灵敏度；
- $a_2、a_3、\dots、a_n$ ——非线性项系数。

线性度 (Linearity) 是指传感器实际特性曲线与拟合直线 (有时也称理论直线) 之间的最大偏差与传感器满量程范围内的输出之百分比, 它可用下式表示, 且多取其正值

$$\gamma_L = \frac{\Delta_{Lmax}}{y_{max} - y_{min}} \times 100\% \quad (1-3)$$

- 式中 Δ_{Lmax} ——最大非线性误差；
- y_{max} ——量程最大值；
- y_{min} ——量程最小值。

求取拟合直线的方法有很多种, 对于不同的拟合直线, 得到的非线性误差也不同。可以将传感器输出起始点与满量程点连接起来的直线作为拟合直线, 这条直线也称为端基理论直线, 按上述方法得出的线性度称为端基线性度, 作图方法如图 1-5 所示。设计者和使用者总是希望非线性误差越小越好, 即希望仪表的静态特性接近于直线, 这是因为线性仪表的刻度是均匀的, 容易标定, 不容易引起读数误差。

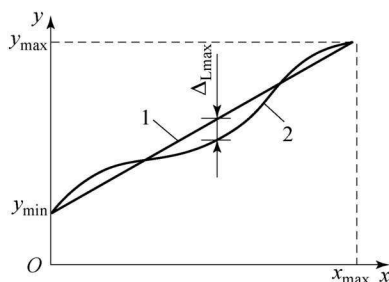


图 1-5 端基线性度作图方法

1—端基拟合直线 $y = Kx + b$; 2—实际特性曲线

4. 迟滞

迟滞 (Hysteresis) (又称为回差或变差) 是指传感器正向特性和反向特性的不一致程度。可用式 (1-4) 表示, 即

$$\gamma_H = \frac{\Delta_{Hmax}}{y_{max} - y_{min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

- 式中 Δ_{Hmax} ——最大迟滞偏差；
- y_{max} ——量程最大值；
- y_{min} ——量程最小值。

迟滞会引起重复性和分辨力变差, 导致测量盲区, 故一般希望迟滞越小越好。

产生迟滞现象的原因: 传感器敏感元件材料的弹性滞后、运动部件摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动等。

5. 稳定性

稳定性 (Regulation) 包含稳定度 (Stability) 和环境影响量 (Influence Quantity) 两个方面。稳定度指的是仪表在所有条件都恒定不变的情况下, 在规定的时间内能维持其示值不变的能力。稳定度一般以仪表的示值变化量和时间的长短之比来表示。例如, 某仪表输出电压值在 8 h 内的最大变化量为 1.2 mV, 则表示为 1.2 mV/(8 h)。

实际应用中的稳定度调整方法: 在测量前, 可以将输入端短路, 通过重新调零来克服。

灵敏度漂移将使仪表的输入输出曲线的斜率产生变化。

方法: 将标准信号, 如由“能隙稳压二极管”产生的 2.500 V 电压, 经确定的衰减器之后施加到仪表的输入端, 测出受环境影响前后输出信号的比例系数, 将其作为乘法修正系数。

例如, 某放大器的输入为 0 ~ 10 mV, $K = 1\ 000$ 倍, 满度输出为 10 V。在野外工作现场, 发现温度升高后数据漂移严重, 请调整之。

解: (1) 将输入端短路, 发现放大器的输出为 0.38 V, 调整“调零电位器”, 使之为零。

(2) 将 10.00 mV 的标准信号施加于输入端, 调整“调满度电位器”, 使之成为 10.00 V。

即: 根据线性仪表的 $y = a_0 + a_1x$ 设计方程, 使 $a_0 = 0$, a_1 恢复设计值。

四、传感器目前的发展现状与趋势

传感器技术作为信息技术的三大基础之一, 是当前各发达国家竞相发展的高新技术, 是进入 21 世纪以来优先发展的十大顶尖技术之一。传感器技术所涉及的知识领域非常广泛, 其研究和发展也越来越多地和其他学科技术的发展紧密联系。下面介绍传感器技术的发展现状, 综述近几年世界高端前沿的 MEMS 传感器技术的主要研究状况, 并通过简述当前我国传感器的发展状况, 展望现代传感器技术的发展和前景。

1. 国际发展现状

美国早在 20 世纪 80 年代就认为世界已进入了传感器时代, 成立了国家技术小组 (BTG), 帮助政府组织和领导各大公司与国家企事业单位的传感器技术开发工作, 美国国家长期安全和经济繁荣至关重要的 22 项技术中有 6 项与传感器信息处理技术直接相关。日本把开发和利用传感器技术作为国家重点发展六大核心技术之一。日本科学技术厅制定的 20 世纪 90 年代重点科研项目中有 70 个重点课题, 其中有 18 项与传感器技术密切相关。传感器与通信、计算机被称为现代信息系统的三大支柱。因其技术含量高、渗透能力强以及市场前景广阔等特点, 引起了世界各国的广泛重视。

传感器在资源探测、海洋、环境监测、安全保卫、医疗诊断、家用电

器、农业现代化等领域都有广泛应用。在军事方面，美国已为 F-22 战机装备了新型的多谱传感器，实现了全被动式搜索与跟踪，可在诸如有雾、烟或雨等各种恶劣天气情况下使用，不仅可以全天候作战，还提高了隐身能力。英国在航天飞机上使用的传感器有 100 多种，总数达到 4 000 多个，用于监测航天器的信息，验证设计的正确性，并可以在遇到问题时作出诊断。日本则在“雷达 4 号”卫星上安装了传感器，可全天候对地面目标进行拍摄。

在世界范围内传感器增长速度最快的是汽车市场，还有通信市场。汽车电子控制系统水平的高低关键在于采用传感器数量的多少，目前一台普通家用轿车安装几十到上百个传感器，豪华轿车传感器数量可达 200 多。我国是汽车生产大国，年产汽车一千多万辆，但是汽车用的传感器几乎被国外垄断。

2. 传感器发展趋势

随着我们对事物的进一步认识以及科技的不断发展，传感器技术大体上也经历了 3 个时代。

第一代是结构型传感器，它利用结构参量变化来感受和转换信号。例如，电阻应变式传感器，它是利用金属材料发生弹性形变时电阻的变化来转换成电信号的。

第二代传感器是 20 世纪 70 年代开始发展起来的固体传感器，这种传感器由半导体、电介质、磁性材料等固体元件构成，是利用材料某些特性制成的，如利用热电效应、霍尔效应、光敏效应，分别制成热电偶传感器、霍尔传感器、光敏传感器等。20 世纪 70 年代后期，随着集成技术、分子合成技术、微电子技术及计算机技术的发展，出现了集成传感器。集成传感器包括两种类型，即传感器本身的集成化和传感器与后续电路的集成化，如电荷耦合器件（CCD）、集成温度传感器 AD590、集成霍尔传感器 UG3501 等。这类传感器主要具有成本低、可靠性高、性能好、接口灵活等特点。集成传感器发展非常迅速，现已占传感器市场的 2/3 左右，它正向着低价格、多功能和系列化方向发展。

第三代传感器是 20 世纪 80 年代发展起来的智能传感器。智能传感器是指其对外界信息具有一定检测、自诊断、数据处理及自适应能力，是微型计算机技术与检测技术相结合的产物。20 世纪 80 年代智能化测量主要以微处理器为核心，把传感器信号调节电路、微计算机、存储器及接口集成到一块芯片上，使传感器具有一定的人工智能。20 世纪 90 年代智能化测量技术有了进一步的提高，在传感器一级水平实现智能化，使其具有自诊断功能、记忆功能、多参量测量功能以及联网通信功能等。

新技术的层出不穷，让传感器的发展呈现出新的特点。传感器与 MEMS（微机电系统）的结合，已成为当前传感器领域关注的新趋势。

目前美国相关机构已经开发出名为“智能灰尘”的 MEMS 传感器。这种传感器的大小只有 1.5 mm^3 ，质量只有 5 mg，但是却装有激光通信、

CPU、电池等组件，以及速度、加速度、温度等多个传感器。以往做这样一个系统，尺寸会非常大，智能灰尘尺寸如此之小，却可以自带电源、通信，并可以进行信号处理，可见传感器技术进步速度之快。MEMS 传感器目前已在多个领域有所应用。比如，很多人使用的 iPhone 手机中就装有陀螺仪、麦克风、电子快门等多个 MEMS 传感器；耐克公司推出的一款“智能鞋垫”也内置了 MEMS 传感器，可以记录用户运动的数据，并与手机连接将数据上传。此外，MEMS 传感器在医疗领域也发挥着重要的作用。比如患者在测量眼压时可能因过于紧张，导致眼压很难测准的情况。而利用 MEMS 传感器技术，将眼压计内嵌到隐形眼镜中，这样就可以更方便地对患者进行监测，测量出来的数据也更为准确。

除了与 MEMS 结合外，传感器还与仿生信息学结合，并产生了诸多新的应用。法国已研制出模仿人类眼睛的视觉晶片，可以模仿人类眼睛的能力，分辨不同颜色，并观测动作。奔腾处理器每秒能处理数百万项指令，这种视觉晶片每秒能处理大约两百亿项指令。这种仿生视觉晶片将会引起感测与成像的革命，并在国防领域得到广泛的应用。

3. 我国传感器发展状况

我国早在 20 世纪 60 年代开始涉足传感器制造业，“八五”期间，我国将传感器技术列为国家重点科技攻关项目，建成了“传感器技术国家重点实验室”“国家传感器工程中心”等研究开发基地。而且 MEMS 等研究项目列入了国家高新技术发展重点。目前，传感器产业已被国内外公认为具有发展前途的高技术产业，它以技术含量高、经济效益好、渗透力强、市场前景广等特点为世人所瞩目。我国工业化进程和电子信息产业以每年 20% 以上的速度高速增长，带动传感器市场快速上升。我国手机产量突破 7.5 亿，手机市场增长给传感器市场带来新机遇，该领域占传感器市场的 1/4。我国是家电生产大国，2009 年总产量达到 3 亿多台，占传感器市场的 1/5。传感器在医疗环保专业设备中应用高速增长，占市场份额的 15% 左右。

与此同时，我国在传感器发展方面的问题也日益突出。我国虽然传感器企业众多，但大都面向中低端领域，技术基础薄弱，研究水平不高。许多企业都是引用国外的芯片加工，自主研发的产品较少，自主创新能力薄弱，在高端领域几乎没有市场份额。此外，科研院所在传感器技术的研究方面已与国际接轨，但产业化瓶颈迟迟未能突破。目前我国从事传感器技术研发的主要是高校、中国科学院和相关部委的研究机构，企业的技术实力较弱，很多是与国外合作，或是进行二次封装。而在发达国家，传感器的研发和产业化更多由企业来主导。那么，我国的传感器产业该如何突破当前的发展瓶颈？

近年来，我国也不断提高对传感器产业的重视，并出台了一系列政策推进其发展。2011 年 7 月出台的《中国电子元件“十二五”规划》指出，“十二五”期间将投资 5 000 亿元，主要集中在新型电子元件的研发和产

业化领域。而在2012年2月由工信部等四部委联合印发的《加快推进传感器及智能化仪器仪表产业发展行动计划》中，还制定了具体的产业发展目标，并给出了2013—2025年的发展路线图。

根据国家规划，未来将在传感器领域建立超百亿元的创新产业集群，以及产值超过10亿元的行业龙头和产值超过5000万元的小而精的企业。

上述目标的实现应该从两方面入手：一是要走产业化的道路；二是要采取整体解决方案的模式。

在传感器技术的产业化方面，除了需要成熟的市场和产品以及充足的资本和人才外，志在长远的经营理念也是传感器产业化成功的基础。传感器研发和推广的周期比较长，想短期见到效果往往比较难。比如汉威，从创业到上市共走过了10年的历程，整体解决方案的模式，是经汉威实践后的一条行之有效的路径。传感器虽然是关键器件，技术含量很高，但需要依存于其他系统和具体应用，其本身很难形成很大的产值和规模。因此，他建议从核心元器件入手，向下游产业链进行延伸，并为客户提供整体的解决方案。通过这种整体解决方案的模式，能够得到第一手的用户体验信息，并根据这些信息对传感器进行完善和改进。同时，由于末端应用的利润比较高，企业可以把在末端应用赚来的钱投入到前端的核心技术研发上，这样研发也有了后续的力量。

4. 传感器未来的发展方向

当前技术水平下的传感器系统正向着微小型化、智能化、多功能化和网络化的方向发展。今后，随着CAD技术、MEMS技术、信息理论及数据分析算法的继续向前发展，未来的传感器系统必将变得更加微型化、综合化、多功能化、智能化和系统化。在各种新兴科学技术呈辐射状广泛渗透的当今社会，作为现代科学“耳目”的传感器系统，作为人们快速获取、分析和利用有效信息的基础，必将进一步得到社会各界的普遍关注。我国也加大了研发新型传感器的力度。

【任务实施】

- (1) 学生归纳总结传感器的定义、组成及其基本特性。
- (2) 线上学习并举出生活中传感器的应用及工业中常用传感器的例子。

【任务总结】

在信息社会的一切活动领域中，检测是科学地认识各种现象的基础性方法和手段。现代化的检测手段在很大程度上决定了生产、科学技术的发展水平，而科学技术的发展又为检测技术提供了新的理论基础和制造工艺，同时又对检测技术提出了更高的要求。检测技术是所有科学技术的基础，是自动化技术的支柱之一，而传感器是检测必备的工具。

现代信息技术包括计算机技术、通信技术和传感器技术等，计算机相当于人的大脑，通信相当于人的神经，而传感器则相当于人的感觉器官。如果没有各种精确可靠的传感器去检测原始数据并提供真实的信息，即使是性能非常优越的计算机，也无法发挥其应有的作用。

任务二 测量误差与数据处理

【任务描述】

通过本任务的学习，学生应达到的教学目标如下。

【知识目标】

- (1) 掌握测量的定义。
- (2) 掌握真值、测量值的概念及精度等级定义。
- (3) 了解测量方法的分类。
- (4) 掌握误差的分类。
- (5) 掌握测量误差和数据处理。

【技能目标】

- (1) 能正确选择仪表的精度等级。
- (2) 知道各类误差处理的方法。

【任务分析】

测量是检测技术的主要组成部分，测量得到的是定量的结果。现代社会要求测量必须达到更高的精确度、更小的误差、更快的速度、更高的可靠性，本任务主要介绍测量的基本概念、精度等级、测量方法、误差分类、测量结果的数据统计处理。

【知识准备】

本任务主要介绍测量的基本概念、精度等级、测量方法、误差分类、测量结果的数据统计处理。

一、测量

测量是人们用以获得数据信息的过程，是定量观察、分析、研究事物发展过程时必需的重要方式。因此，测量就是借助专用技术工具将研究对象的被测变量与同性质的标准量进行比较并确定出测量结果准确程度的过程，该过程的数学描述为

$$X = X_m V \quad (1-5)$$

式中 X ——被测量；

X_m ——标准量（基准单位）；

V ——被测量所包含的基准单位数。

显然，基准单位确定后，被测量 X 在数值上约等于对比时包含的基准单位数 V 。例如，用精度为 0.5%，量程为 0 ~ 500 mm 的直尺以 mm 为基准单位测量容器中液位的高度，得到 $X = 350$ mm，则表示液位 X 的高度约为 350 mm，相应的误差不超过 25 mm。以上表明，测量过程包含 3 层含义：确定基准单位；将被测量与基准单位进行比较；估计测量结果的误差。测量仪表就是比较过程中使用的专门技术工具。实际上，大多数被测对象中的被测量是无法直接借助通常的测量仪表进行比较的，这时必须将被测量进行变换，将其转换成有确定函数关系且可以比较的另一个物理

量，这就是信号的检测。例如，温度的测量，利用水银热胀冷缩的原理制成的水银温度计，将温度的变化转换为水银柱高度的变化，同时将温度基准单位用刻度表示出来，这样水银柱高度对应的刻度就是包含基准单位的个数，即测量出的当时温度。因此，检测是一个更广泛的测量概念，它包括信息转换、确定基准单位和对比 3 个基本内容。

二、测量方法

测量方法是测量被测量的方法。从不同的角度出发，有不同的分类方法，按测量结果精确度可分为工程测量和精密测量；按测量条件可分为等精度测量和不等精度测量；按被测对象在测量过程中所处的状态可分为静态测量和动态测量；按测量敏感元件是否与被测介质接触可分为接触式测量和非接触式测量；根据测量的手段不同可分为直接测量和间接测量；按测量原理可分为偏差法、零位法、微差法等。

（一）按比较方式分类

1. 直接测量

直接测量是指用事先标定好的测量仪表对某被测量直接进行比较，从而得到测量结果的过程，如弹簧秤、游标卡尺等。

2. 间接测量

间接测量是指由多个仪表（或称环节）所组成的一个测量系统。它包含被测量的测量、变换、传输、显示、记录和数据处理等过程。这种测量方法在工程中应用广泛。例如，用电子皮带秤测量煤的输送量，可通过荷重传感器测出检测点处有效称量段 L_0 上煤的重量 W ，通过测速传感器测出检测点处煤的传送速度 u ，经信息处理单元对 W/L_0 及 u 进行合成处理后送入显示单元显示瞬时输送量，送入比例积算器显示输送总量。

一般来说，间接测量比直接测量要复杂些。但随着计算机的应用，仪表功能加强，间接测量方法的应用也正在扩大，测量过程中的数据处理完全可以由计算机快速而准确地完成，使间接测量方法变得比较直观而简单。

（二）按测量原理分类

1. 偏差法

用测量仪表的指针相对于刻度初始点的位移（偏差）来直接表示被测量的大小。指针式仪表是最常用的一种类型。图 1-6 所示为弹簧秤原理。在用此种方法测量的仪表中，分度是预先用标准仪器标定的，如弹簧秤用砝码标定。这种方法的优点是：直观、简便；相应的仪表结构比较简单。缺点是精度较低、量程窄。

2. 零位法

零位法是将被测量与标准量进行比较，二者的差值为零时，标准量的

读数就是被测量的大小。这就要有一灵敏度很高的指零机构。例如，天平
称重及电位差计测量电动势就是利用这个原理，如图 1-7 所示。

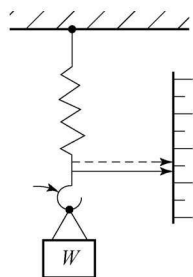


图 1-6 弹簧秤

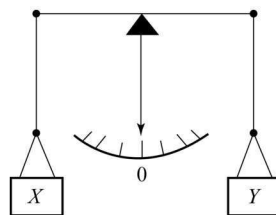


图 1-7 天平

零位法具有很高的测量精度，但响应慢，测量时间长，不能测量快速变化的信号。

3. 微差法

微差法是将偏差法和零位法组合起来的一种测量方法。测量过程中将被测量的大部分用标准信号去平衡，而剩余部分采用偏差法测量。

微差法的特点：准确度高，不需要微进程的可变标准量，测量速度快，指零机构用一个有刻度可指示偏差量的指示机构代替。

利用不平衡电桥测量电阻的变化量，是检测仪表中使用最多的微差法测量的典型例子。桥路中被测电阻的基本部分（静态电阻）使电桥处于平衡状态，而变化的电阻将使电桥失去平衡产生相应的输出电压。这样，桥路输出电压的变化只反映电阻的变化，被测电阻将是基本部分及输出电压决定的电阻变化部分之和。

这种方法可以使测量精度大大提高。这是因为电阻的主要部分采用了零位法测量，具有很高的测量精度，尽管偏差法测量剩余部分时造成了一定的误差，但这部分误差相对于整个被测量而言是非常微小的。

例如， $R_x = 101 \Omega$ ，基本部分是 100Ω ，变化部分是 1Ω ，如果变化部分用偏差法测量的误差是 1% ，则为 $\pm 0.01 \Omega$ ，相对于 101Ω 的整个电阻而言，相对误差约为 0.01% ，如果再考虑基本部分用零位法测量时的相对误差是 0.01% ，总的相对误差将为 0.02% 。可见，微差法测量过程比绝对用零位法测量时简便、迅速（因零位法测量时需要用标准量反复地与被测量相平衡），所以它在工程测量中得到大量应用。

三、测量系统的概念

在《通用计量术语及定义》(JJF 1001—1998)中对测量系统的定义：组装起来以进行特定测量的全套测量仪器和其他设备。测量系统可能是仅有一只测量仪表的简单测量系统，也可能是一套复杂的、包括多只仪表、高度自动化的测量系统。

测量系统可按显示件及计算机应用情况分为模拟量测量系统、数字量

显示测量系统、微机型多参数采集显示系统及数据采集系统等。

对于组成测量系统的仪表，也可简单地按被测参数的名称分为压力仪表、温度仪表、流量仪表、料位仪表、成分分析仪表等。

四、 测量误差与仪表精确度等级

(一) 真实值与测量值

1. 真实值

真实值是指某一被测量在一定条件下客观存在的量值。由于测量误差的普遍存在，若想通过测量得到某些被测量的真实值是不可能的。通过测量得到的只能是真实值的近似值。但在实际工作中可把下面 3 种量值看作真实值。

(1) 真值。

真值也称为理论值、理论真值或定义值，即根据一定的理论，在严格的条件下，按定义确定的数值。在实际测量中这种值是测不到的，但这种值又确实存在。

根据误差理论可把真值定义为在排除系统误差的条件下，经过等精度多次重复测量，当测量次数 n 趋近无穷大时，所测得值的算术平均值就是被测量的真值。

在实际进行测量的过程中，绝对排除系统误差是不可能的。另外，进行测量的次数也总是有限的。所以，尽管理论上能把真值定义出来，但通过实际测量是得不到的。在实际测量中得到的测量值只能是随着科学技术的发展逐渐接近真值。

(2) 指定值。

指定值又称为约定真值、相对真值或代替真值。由于被测量的真值不能通过测量得到，所以指定值就是由国际计量大会确定的、得到国际上公认的各种基准或标准的指示值。指定值还应具有足够的稳定性和复现性，它是人为约定的量值。因此，指定值会随着科学技术的发展不断得到完善和修正。

(3) 实际值。

由于指定值的获得比较困难，而在实际测量中对测量结果的精度要求又不是那么高，因此，在满足实际需要的前提下，相对于实际测量所要求的精度，其测量误差可以忽略的测量结果，即被称为实际值（或传递值）。

2. 测量值

测量值包括通过各种实验测量所得到的量值，其来源多是测量仪器或各种测量装置的读数和指示值。由于测量过程中普遍存在的测量误差，所以，测量值都是被测量真值的近似值。对一般的测量，可直接把测量值作为测量结果表示出来。对于精密测量，则应根据数据处理和误差理论及有关知识对测量值进行加工处理，以充分利用所具备的测量条件，得出比较