

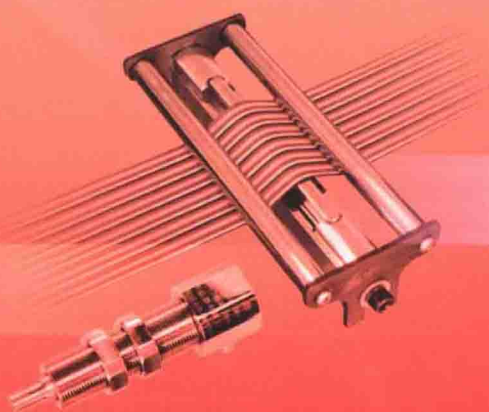


职业教育课程改革规划新教材
机械工业出版社精品教材

传感器原理 及应用(项目式教学)

于 彤 主编

第2版



赠电子教案



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

职业教育课程改革规划新教材
机械工业出版社精品教材

传感器原理及应用(项目式教学)

第2版

主 编 于 彤
参 编 张冰川 王 娟 周海君 徐美德
主 审 刘玉娟



机械工业出版社

本书系统地讲解了传感器及其应用的基本知识,全面介绍了工业及其他领域使用的各类传感器,包括检测温度湿度、压力、液位流量、位置位移等物理量的传感器件。本书在内容选取和编写体例上进行深度改革,立足于技能培训,以工业生产中的检测任务为主线,采用项目式教学形式编写。为突出应用,本书采用大量实训指导材料和测控电路小制作作为素材,以实训或动手制作的形式编写,便于实践教学指导和学生实训。本书分为八个项目,分别是:认识传感器、温度及环境量的检测、力和压力的检测、液位和流量的检测、位置检测、位移检测、新型传感器应用、传感器的综合应用。本书内容丰富新颖、适应性强、循序渐进;使用了大量实物照片和插图,增强了教材的直观性和真实感,便于读者学习和实践;每个项目都设有技能与知识要点、学习目标、项目小结和思考练习与作业,方便教学和学生自修。

本书可作为高职高专及中等职业学校机电类、电气类及相关专业的教材,也适用于有关专业职业培训或成人教育,还可供有关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理及应用:项目式教学/于彤主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2012.3

职业教育课程改革规划新教材

ISBN 978-7-111-37172-4

I. ①传… II. ①于… III. ①传感器—中等专业学校—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第010375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:王娟

版式设计:石冉 责任校对:纪敬

封面设计:马精明 责任印制:李妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2012年4月第2版第1次印刷

184mm×260mm·13.25印张·299千字

0 001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37172-4

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书第1版自2008年出版以来,已经过多次印刷,深受读者好评,被评为机械工业出版社精品教材。4年来,传感器及检测技术发展迅速,为更好地满足教学和读者需求,参照相关实训设备的资源,对原版进行了修订。修订版的特色主要体现在以下三个方面。

1. 拓宽内容。与第1版相比较,本版增加了新型传感器应用和传感器的综合应用两个项目。已有项目也做了如下改进:在项目一中引用更多实例说明传感器作用,充实了项目二中的温度传感器、项目三中的力传感器、项目五中的光电元件等内容,增加了项目四中的液位流量仪表、项目六中的角编码器、磁栅应用等内容,使本书更全面地涵盖了传感器的应用领域。

2. 增加实训。本版更突出技能培训,各单元都增加了实训项目或实践操作素材,如高温报警器、花盆缺水报警器、超声波开关、简易光控开关、红外式感应灯、环形输送线实训等。在“传感器综合应用”项目中,介绍了家用电器、汽车、工业流水线等领域的传感器实际知识,给出了传感器检测系统的典型分析与设计方法,使本书能够指导学生达到学以致用目的。

3. 调整结构。将原版的六个项目增加为八个项目。重新编写的项目一为传感器基本知识,包括传感器的作用、地位、测量及其误差的基本常识,采用了更直观和具体的图片说明传感器及其系统的作用;项目二是温度及环境量的检测,在温度仪表和气体传感器方面适当进行了扩展,突出介绍了实际应用;项目三是力与压力的检测,增加了应变电桥原理、电容和电感式传感器的内容;项目四是液位和流量的检测,在原版的基础上,从实用角度全面拓宽了液位和流量仪表的内容;项目五是位置检测,扩展了光电元件及光电开关的应用内容,并增加了实践内容素材;项目六是位移检测,新增了角编码器、磁栅、容栅的应用等内容;项目七为新型传感器应用,主要介绍近年来发展较快的新型传感器及其应用,如光纤、图像传感器、红外传感器、机器人传感器等,书中列举诸多生活实例如数码相机、光电鼠标、卫星遥感等,使读者更容易阅读和理解;项目八为传感器的综合应用,讲述了传感器在家用电器、汽车、生产线方面的应用,然后介绍传感器测量系统的分析设计方法,综合已学过的知识于典型实例中,完成设计思路,引导学生形成科学理性的思维方式。本书将原版附录D改为综合实验设备介绍,便于使用设备和指导学生实训。

以上修订,使本教材能更好地适应职业教育特点,满足机电类和电气类专业学习要求。

本书由北京电子科技职业学院于彤主编。吉林航空工程学校王娟编写项目一和项目三,张家口北方机电工业学校张冰川编写项目四,北京电子科技职业学院周海君、徐美德编写项目五、项目七,于彤编写项目二、项目六及项目八,并负责全书统稿。

本书由北京电子科技职业学院刘玉娟副教授主审,她提出了许多宝贵意见;在改编过程中得到北京机械局王为教授和北内集团公司吴升荣高级工程师的大力帮助;书中内容还采用了一些教学仪器厂商提供的资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在错漏和不妥之处,恳请读者批评并提出,以便修改。

编者

第 1 版前言

本书是职业教育机电类和电气类专业规划教材之一。全书在取材和组稿上,本着提高读者职业能力的目标,突出实践环节,力争为扩大学生的就业面和今后的继续学习打下良好基础。

为适应现代职业教育的特点与规律,本书进行了较多的改革尝试。教材主要特点包括:

1. 以工业生产中检测任务为主线,将知识点贯穿于完成任务中。
2. 简化了理论,避免过多公式推导和电路分析。
3. 采用项目(案例)教学思路编写,内容紧密联系专业工程实际。
4. 利用活动完成教学任务,依托典型器件或系统来完成活动,增强教材的广泛适用性。
5. 全书内容尽可能多地利用图片或现场照片,以增强直观效果。

全书分为六个项目。项目一是认识传感器,包括测量及其误差的基本常识;项目二是温度及环境量的检测;项目三是力和压力的检测,主要学习检测元件和系统原理,应变元件和压电元件的使用训练;项目四是液位和流量检测,目的是完成液位和流量检测的学习和训练,以电容传感器和超声波传感器为主要内容;项目五是位置检测,介绍各类接近开关,同时学习光电元件及光电开关的应用;项目六是位移检测,主要包括电位器、差动变压器、光栅的基本知识和使用训练;传感器接口、抗干扰技术、综合应用及检测仪表等问题安排在附录中,便于读者查阅。

本教材计划学时数为 60 学时,各项的教学时数分配可参考下表,学时数可根据学校具体情况进行调整。

内容	项目一	项目二	项目三	项目四	项目五	项目六
学时	6	12	12	8	14	8

本书由北京电子科技职业学院于彤主编。具体编写分工为:吉林航空工程学校王娟编写项目一和项目三,张家口北方机电工业学校张冰川编写项目四和项目六的单元二,北京电子科技职业学院周海君编写项目五,于彤编写项目二和项目六的单元一,并负责全书统稿。

本书由刘玉娟老师主审,提出了许多宝贵意见。同时,在制订编写大纲时得到北京电子科技职业学院曹良玉老师的大力帮助。书中内容还涉及一些教学仪器厂商提供的产品资料,在此一并表示感谢。由于作者水平所限,书中难免有错漏或不妥之处,恳请读者提出以便修改。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

项目一 认识传感器	1
任务一 认识机电设备中的传感器	1
任务二 了解常用传感器的作用和基本构成	3
任务三 了解传感器的分类、发展和主要性能指标	6
项目二 温度及环境量的检测	14
单元一 金属热电阻测温	15
任务一 认识热电阻	15
任务二 热电阻应用训练	16
单元二 热敏电阻测量温度	17
任务一 认识热敏电阻	17
任务二 了解家用电器中的热敏电阻	20
任务三 热敏电阻应用训练	22
单元三 热电偶及其应用	30
任务一 认识热电偶	31
任务二 热电偶应用训练	34
单元四 气敏和湿敏传感器	36
任务一 了解气敏传感器	36
任务二 了解湿敏传感器	41
项目三 力和压力的检测	48
单元一 电阻应变式传感器测力	48
任务一 认识电阻应变式传感器及电阻应变片	48
任务二 制作简易电子秤	55
单元二 压电式传感器测力	57

任务一 认识压电式传感器	57
任务二 制作简易压电式力传感器	65
单元三 差动变压器式传感器	66
项目四 液位和流量的检测	73
单元一 电容式传感器测量液位	74
任务一 认识电容式传感器	75
任务二 电容式传感器的液位检测应用训练	78
单元二 超声波传感器	83
任务一 认识超声波传感器	83
任务二 使用超声波传感器检测距离	86
单元三 流量的检测方法	89
任务 了解流量检测的意义及常见方法	89
项目五 位置检测	95
单元一 金属物位置检测	96
任务一 了解电感式接近开关	96
任务二 测量近距离物位置	99
单元二 磁性物位置检测	102
任务一 霍尔接近开关检测磁性物体	102
任务二 干簧管接近开关检测磁性物体	105
单元三 光电式接近开关	106
任务一 了解光电器件特性	107
任务二 制作光电亮通和暗通控制电路	112
任务三 用光电接近开关测量物体位置	114
任务四 分辨颜色	117

任务五 使用热释电传感器	119	任务三 制作红外式照明灯自动开关 ...	161
单元四 其他位置检测方法	120	单元四 集成压力传感器	162
任务 了解电容接近开关的特性和		任务一 了解压阻效应及压阻传感器 ...	162
使用方法	120	任务二 了解压阻传感器的应用	163
单元五 位置检测应用实验	125	单元五 机器人传感器	164
项目六 位移检测	128	任务一 了解机器人的发展	164
单元一 机械位移传感器检测位移	128	任务二 认识机器人传感器	164
任务一 电位器式传感器应用训练	128	项目八 传感器的综合应用	170
任务二 差动变压器式传感器应用		单元一 家用电器中的传感器	170
实训	131	单元二 汽车中的传感器	173
单元二 光栅位移传感器	133	单元三 自动生产线中的传感器	177
任务一 认识光栅位移传感器	133	单元四 传感器测量系统的设计	181
任务二 光栅位移传感器的使用		任务一 了解传感器测量系统的设计	
训练	137	流程	182
单元三 其他数字式位移传感器	141	任务二 检测生产线上的工件尺寸	182
任务一 认识旋转编码器	141	任务三 检测容器内液体的液位	184
任务二 了解磁栅传感器	145	任务四 汽车 ABS 中转速的测量	186
任务三 了解容栅传感器	146	附录	189
项目七 新型传感器应用	149	附录 A 常用传感器的性能比较	189
单元一 光纤与激光传感器	149	附录 B 热电偶分度表	190
任务一 了解光纤的结构和原理	149	附录 C 热电阻分度表	191
任务二 查询光纤传感器的应用实例 ...	151	附录 D 传感器综合实验设备简介	191
任务三 了解激光传感器及其应用	151	附录 E 常用检测仪表	197
单元二 图像传感器	153	附录 F 传感器与计算机接口技术	
任务一 了解 CCD 元件	153	简介	199
任务二 了解 CMOS 图像传感器	154	附录 G 抗干扰技术简介	200
单元三 红外线传感器及应用	157	参考文献	203
任务一 了解红外线传感器的特征	157		
任务二 描述热释电式传感器的应用 ...	158		

项目一 认识传感器

【项目描述】

本项目要学习传感器的基本知识，特点、作用和组成，传感器在机电设备和其他设备中的主要应用，传感器的发展方向以及有关仪表和测量误差的知识。

【技能要点】

认识机电设备及其他设备中的最常见传感器。

【知识要点】

了解什么是传感器，掌握传感器的作用和基本构成，了解传感器的分类、主要性能指标和发展趋势。熟悉测量误差的基本概念和相关计算。

任务一 认识机电设备中的传感器

【学习知识】

日常生活中，我们大量地使用着传感器。图 1-1a 所示为电视机遥控器利用红外光（红外线）接收、发射传感器控制电视机。传声器（俗称麦克风，话筒）就是一种将声音信号转换为电信号的传感器（见图 1-1b）。

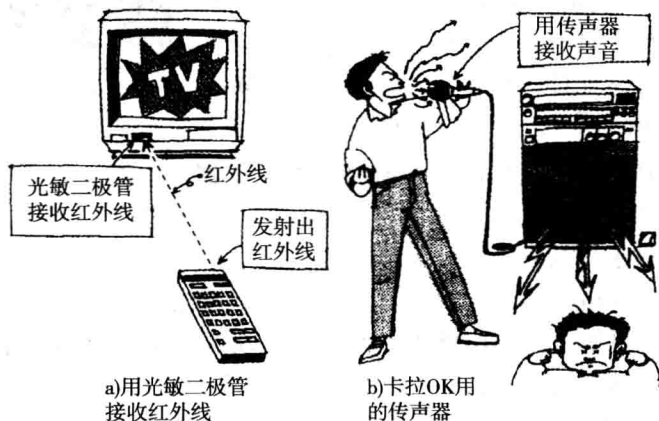


图 1-1 日常生活中使用的部分传感器

传感器是利用各种物理、化学效应以及生物效应实现非电量到电量转换的装置或器件。传感器在现代科学技术、工农业生产和日常生活中都起着不可替代的作用，是衡量一个国家科学技术发展水平的重要标志之一，有极其重要的地位。

传感器可以是一些单个的装置，也可以是多个装置的复杂组合体。但是无论怎么样构成，传感器都能够感受外界信息，并将外界信息转换成电信号。传感器感受外界信息的过

程称为检测过程，检测过程也是传感器将各种物理量转换为电学量的过程，如图 1-2 所示。

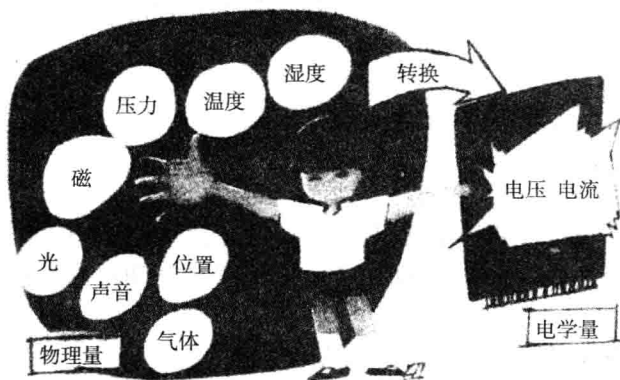


图 1-2 传感器将物理量转换为电学量

在自动检测和控制系统中，传感器对系统各项功能指标的的实现起着重要的作用。系统的自动化程度越高，对传感器的依赖性就越强。

传感器遍布各行各业、各个领域，如工业生产、科学研究、现代医学，现代农业、国防科技、家用电器，甚至儿童玩具中也少不了传感器。

半个世纪前，人们就发明了世界上第一台机器人，接着又发明了数控机床和汽车电子燃料喷射装置等自动化产品和设备。这些自动化产品和设备都是将机与电有机地结合在一起，是典型的机电一体化设备，它们都离不开传感器对信号的检测。在图 1-3 所示机器人的手中，为了使机器人的手具有触觉，在手掌和手指上都装有带有弹性触点的触敏元件（即传感器，如果要感知冷暖，还可以装上热敏元件）。当触及物体时，触敏元件

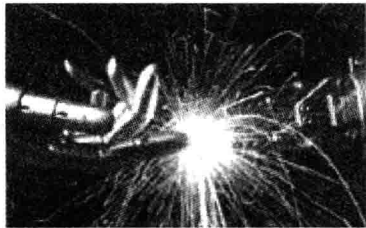


图 1-3 机器人的手

发出接触信号。在各指节的连接轴上装有精巧的电位器，它能把手指的弯曲角度转换成“外形弯曲信息”。外形弯曲信息和各指节产生的“接触信息”一起送入计算机，通过计算就能迅速判断机械手所抓物体的形状和大小。

在日常生活中，机电一体化产品也大量地使用各种传感器，如全自动照相机、全自动洗衣机、音响设备、计算机、打印机等。例如全自动照相机可以自动根据现场光线的强弱、对象的远近选择适当的光圈、焦距和速度进行曝光，这些功能是由其中的电路（处理器）根据传感器感受到的信息作出判断，然后由调节器进行自动调节而实现的。

传感器的种类繁多，从外观上看更是千差万别。图 1-4 所示为部分传感器的外观，这只是成千上万种传感器中的极小一部分。

【观察现象】 通过观察，想一想在我们的生活中还存在哪些带有传感器的设备或电器？举几个例子。

【实践操作】 从工业控制的技术资料或家用电器的说明书中搜集传感器使用的相关知识。



图 1-4 各种不同形状传感器

任务二 了解常用传感器的作用和基本构成

[学习知识]

一、传感器的作用

在工业控制领域中，只有准确的检测才能有精确的控制，这句话生动地反映了工业生产传感器的地位。

机电一体化系统一般由机械本体、传感器、控制装置和执行机构四部分组成，如图 1-5 所示。

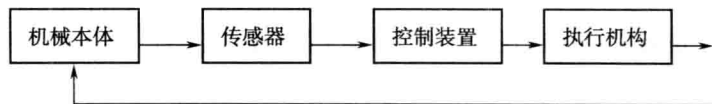


图 1-5 机电一体化系统化的组成

传感器把代表机械本体的工作状态、生产过程等工业参数转换成电量，以便采用控制装置使控制对象按给定的规律变化，推动执行机构适时地调整机械本体的各种工业参数，使之处于自动运行状态，并实行自动监控和自动保护。显然，传感器是机械本体与控制装置的“纽带”和“桥梁”。

人类借助于感觉器官（耳、目、口、鼻和皮肤）从自然界获取信息，再将信息输入大脑进行分析判断（即人的思维）和处理，再由大脑指挥四肢作出相应的动作，这是人类认识和改造世界的最基本模式。现代科学技术使人类进入了信息时代，自然界的信息都需要通过传感器进行采集才能获取。机器人是典型的机电一体化产品。图 1-6 形象地表示了人体与工业机器人各部分的对应关系：把控制器比作人的大脑，传感器比作人的五官，执行

器比作人的四肢,它们共同协调机体根据不同情况做出反应。传感器的耐高温、高湿能力及高精度、超细微等特点是人的感觉器官所不能比拟的,它可以实现信息的收集、数据的交换和控制信息的采集等功能。

随着自动化等新技术的发展,传感器的使用数量越来越大,一切现代化仪器、设备几乎都离不开传感器。传感器的应用领域大致有以下几个方面。

1) 在机械制造业中,需要利用传感器来测量刀架、床身等有关部位的振动、机械阻抗等参数以检验系统的动态特性。在超精加工中,要求对零件尺寸在线检测与控制,只有具有“耳目”作用的传感器才能提供有关信息。

2) 农业生产中,必须掌握农作物的分布情况,以此预防并判断灾情;掌握森林资源;观察海洋环境;农、林、渔产品的储藏、流通、病虫害诊断等。所有这些工作都离不开传感器。

3) 在汽车工业中,传感器已经不仅限于测量车速、距离、转速等参数,在一些新设施如安全气囊、防滑系统、防抱死系统、电子燃料喷射、电子变速控制等装置中都安装了相应的传感器。有资料显示,美国某汽车生产厂曾在—辆汽车上安装了90余只传感器来测量不同的参数。

4) 在家用电器中,电厨具、空调器、电冰箱、洗衣机、安全报警器、电熨斗、照相机、音像设备等都用到了传感器。

5) 在机器人技术中,生产用的单能机器人用传感器检测位置、角度等;智能机器人用传感器感受视觉和触觉等。在日本,机器人成本的1/2是耗费在传感器上面的。

6) 传感器还在医学、环境保护、航空航天、遥感技术和军事等方面得到越来越多的应用。

为了形象地了解传感器的应用,这里介绍一个典型的实例——液位自动控制系统,其工作原理如图1-7a所示。

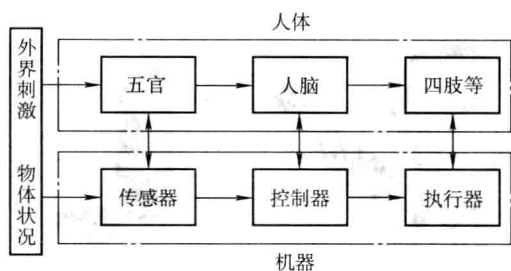
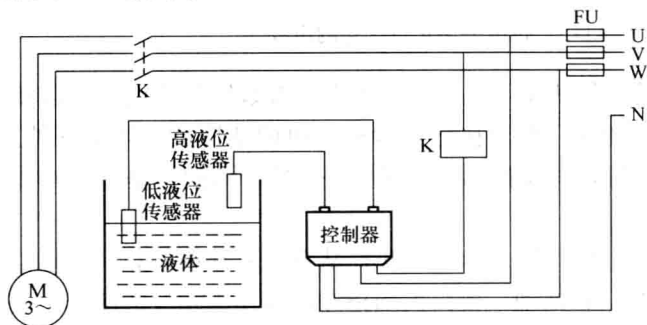
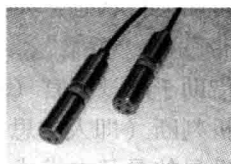


图 1-6 人体与工业机器人各功能部分的对应关系



a) 工作原理图



b) 传感器

图 1-7 液位自动控制系统

被控制的液体中放置两个传感器（见图 1-7b）分别作为高液位传感器和低液位传感器。当液体接近高液位或低液位传感器的感应面时，相应传感器就会发出一个信号到控制器，然后按照设定的程序断开或闭合接触器 K，停止或起动水泵电动机 M，这样容器中液体储量就可以控制在一定的范围内，不用人去控制，整个系统便处于自动控制状态，降低了人的劳动强度。

二、传感器的基本构成

传感器通常由敏感元件、传感元件和测量转换电路构成，如图 1-8 所示。其中，敏感元件是指传感器中能直接感受被测量的部分，传感元件（也称转换元件）指传感器中能将敏感元件输出的非电量信号转换为适于传输和测量的电信号的元器件。由于传感器输出信号一般都很微弱，故需要有测量转换电路将其放大或转换为容易传输、处理、记录和显示的形式。

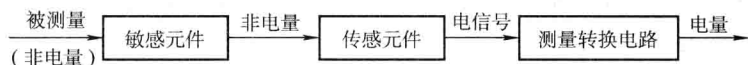


图 1-8 传感器的组成框图

传感器输出的信号有很多形式，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。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。

电容式压力传感器是常用的传感器之一，其外形和工作原理如图 1-9 所示。电容式压力传感器底侧为被测压力入口，左侧是信号电缆接口。待测压力作用于可动电极，使之（向上）变形，造成可动电极与固定电极的距离变化，从而使电容量发生变化。传感器输出电容的变化经处理电路进一步变换后得到与压力对应的输出电压信号。

实际上，有些传感器很简单，最简单的传感器由一个敏感元件（兼传感元件）组成，当它感受被测量时直接输出电量，图 1-10 所示热电偶就是这样。两种不同的金属材料 A 和 B，一端连接在一起，放在被测温度 T 中，另一端为参考温度 T_0 ，则在回路中将产生一个与温度 T 、 T_0 有关的电动势，从而进行温度测量。

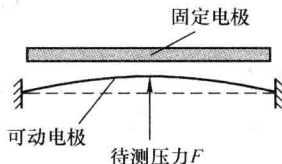


图 1-9 电容式压力传感器的外形和工作原理

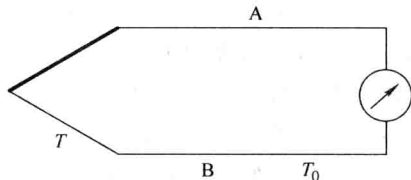


图 1-10 热电偶

在某些领域，将传感器称为变换器、检测器或探测器等。应该说明的是，并不是所有的传感器都能明确分为敏感元件、传感元件和测量转换电路三个部分，它们可能是三者合为一体。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用，传感器的测量转换电路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。例如半导体气体传感器、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，没有中间环节。

任务三 了解传感器的分类、发展和主要性能指标

[学习知识]

一、传感器的分类

传感器技术是一门知识密集型技术。传感器的原理多种多样，一般为许多学科交叉。传感器种类十分繁多，分类方法也五花八门，目前尚无一个统一的分类标准。比较常用的分类方法如下。

1. 按工作原理分类

按工作原理传感器可以分为参量传感器、发电传感器、脉冲传感器及特殊传感器。其中参量传感器有触点传感器、电阻传感器、电感传感器、电容传感器等；发电传感器有光电池、热电偶、压电式传感器、磁电式传感器等；脉冲传感器有光栅、磁栅、感应同步器、码盘等；特殊传感器是不属于以上三种类型的传感器，如超声波探测器、红外探测器、激光检测装置等。

这种分类方法的优点是可以把传感器按工作原理分门别类地归纳起来，避免名目过多，且较为系统。

2. 按被测量性质分类

按被测量性质传感器可以分为机械量传感器、热工量传感器、成分量传感器、状态量传感器、探伤传感器等。其中机械量传感器检测力、长度、位移、速度、加速度等；热工量传感器检测温度、压力、流量等；成分量传感器检测各种气体、液体、固体的化学成分，如检测可燃气体泄漏的气敏传感器；状态量传感器检测设备运行状态，如由干簧管、霍尔元件做成的各种接近开关；探伤传感器检测金属制品内部的气泡和裂纹、人体内部器官的病灶等，如超声波探伤探头、CT 探测器等。

这种分类方法对使用者比较方便，容易根据测量对象的性质来选择所需用的传感器。本书就是采用这种分类方法。

3. 按输出量种类分类

按输出量种类传感器可分为模拟式传感器和数字式传感器。模拟式传感器输出与被测量成一定关系的模拟信号，如果需要与计算机配合或用数字显示，还必须经过模 - 数（A - D）转换电路。数字式传感器输出的是数字量，可直接与计算机连接或用数字显示，读取方便，抗干扰能力强。

传感器常常按工作原理及被测量的性质两种分类方式合二为一，进行命名。例如：电感式位移传感器、光电式转速计、压电式加速度计等。这种命名使被测量与传感器的工作原理一目了然，便于使用者正确选用。

二、传感器的发展

传感器在科学技术领域、工农业生产以及日常生活中发挥着越来越重要的作用，更高的自动化要求是传感器技术发展的动力，同时科技水平不断提高也为传感器的发展提供了条件。

传感器的发展方向主要有以下几方面。

1. 开发新型传感器

传感器的工作原理是基于各种理化效应，由此启发人们进一步探索具有新效应的敏感

功能材料,并以此研制出具有新原理的新型物性型传感器件,这是发展高性能、多功能、低成本和小型化传感器的重要途径。例如,利用量子力学效应研制的低灵敏阈传感器,用来检测微弱的信号;利用核磁共振吸收效应研制的磁敏传感器,可将灵敏阈提高到地磁强度的 10^{-7} 倍;利用约瑟夫逊效应研制的热噪声温度传感器,可测 10^{-6} K的超低温;利用光子滞后效应做出了响应速度极快的红外传感器等。此外,利用化学效应和生物效应开发的、可供实用的化学传感器和生物传感器,更是有待开拓的新领域。研究发现,狗的嗅觉灵敏度是人的 10^6 倍、鸟的视觉能力是人的8~50倍,蝙蝠、飞蛾、海豚的听觉(主动型生物雷达——超声波传感器)也比人敏锐得多。这些动物的感官功能,超过了当今传感器技术所能实现的范围。通过研究它们的感官机理,开发仿生传感器,也是传感器引人注目的发展方向。

2. 开发新材料

近年来对传感器材料的开发研究有较大进展,主要的新型材料有半导体敏感材料、陶瓷材料、磁性材料、智能材料等。新材料的研制成功往往会催生新型传感器。

3. 采用新工艺

发展新型传感器离不开新工艺的采用。新工艺的含义范围很广,这里主要指与发展新兴传感器联系特别密切的微细加工技术。该技术又称微机械加工技术,是近年来随着集成电路工艺发展起来的,它包括离子束、电子束、分子束、激光束和化学刻蚀等用于微电子加工的技术,目前已越来越多地用于传感器领域。

4. 集成化、多功能化与智能化

传感器集成化包括两方面,一是同一功能的多元件并列化,就是将同一类型的多个传感元件用集成工艺在同一平面上排列起来,排成1维的为线性传感器,CCD图像传感器就属于这种情况。集成化的另一个定义是多功能一体化,即将传感器与放大、运算以及温度补偿等电路一体化,组装成一个器件。集成化已经成为传感器技术发展的一个重要方向。

传感器的多功能化也是其发展方向之一。把多个功能不同的传感元件集成在一起,除可同时进行多种参数的测量外,还可对这些参数的测量结果进行综合处理和评价,反映出被测系统的整体状态。集成化给固态传感器带来了许多新的机会,同时它也是多功能化的基础。

传感器与微处理器相结合,使传感器不仅具有检测功能,还具有信息处理、逻辑判断、自诊断以及“思维”等人工智能,称为传感器的智能化。借助于半导体集成化技术把传感器部分与信号预处理电路、输入/输出接口、微处理器等制作在同一块芯片上,成为大规模集成智能传感器。这类传感器具有多功能、高性能、小体积、适宜大批量生产和使用方便等优点,是传感器重要的发展方向之一。

三、传感器的主要性能指标

在生产过程和科学实验中,要对各种各样的参数进行检测和控制,就要求传感器能感受被测非电量的变化并不失真地变换成相应的电量,这个要求是否达到取决于传感器的基本特性,即输出输入特性。传感器的基本特性通常可以分为静态特性和动态特性。下面分析传感器特性的方法也同样适用于测量系统。

1. 传感器的静态特性

静态特性是指输入的被测量不随时间变化或随时间变化缓慢时,传感器的输出量与输

入量的关系,主要有线性度、灵敏度、分辨力和迟滞等。

(1) 线性度 线性度指传感器的输出与输入之间数量关系的线性程度。输出与输入关系可分为线性特性和非线性特性。从性能看,希望传感器具有线性关系,即理想输入输出关系。但实际传感器的输入输出关系大多为非线性。

在实际使用中,为了标定和数据处理的方便,希望得到线性的输入输出关系,因此引入各种非线性补偿环节来使传感器的输出与输入关系为线性或接近线性。但如果传感器非线性不明显,输入量变化范围较小时,可用一条直线近似地代表实际曲线的一段,使传感器输入输出特性线性化,所采用的直线称为拟合直线,如图1-11所示。

传感器的线性度是指在全量程范围内实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差 $|\Delta L_{\max}|$ 与输出量程范围之比。线性度也称为非线性误差,用 γ_L 表示,即

$$\gamma_L = \frac{|\Delta L_{\max}|}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 $|\Delta L_{\max}|$ ——最大非线性绝对误差;

$y_{\max} - y_{\min}$ ——输出量程范围。

(2) 灵敏度(S) 灵敏度是指传感器在稳态工作情况下,传感器输出量增量 Δy 与被测量增量 Δx 的比值,即 $S = \Delta y / \Delta x$ 。它是输出输入特性曲线的斜率。如果传感器的输出和输入之间呈线性关系,则灵敏度 S 是一个常数。灵敏度的量纲是输出、输入的量纲之比。例如,某位移传感器在位移变化1mm,输出电压变化为50mV时,则其灵敏度应表示为50mV/mm。当传感器的输出、输入的量纲相同时,灵敏度可理解为放大倍数。

(3) 分辨力 分辨力是指传感器在规定测量范围内检测被测量最小变化量的能力。只有当输入量的变化超过了分辨力量值时,传感器的输出才会发生变化。分辨力越小,表明传感器检测非电量的能力越强。分辨力的高低从某一个侧面反映了传感器的精度。对于模拟(指针)式仪表,分辨力就是面板刻度盘上的最小分度(一格),而对于数字仪表,分辨力就是仪表最小显示数字的一个单位字。

(4) 迟滞 迟滞是指传感器的正向特性与反向特性的不一致程度。产生迟滞的主要原因是传感器的机械部分不可避免地存在着间隙、摩擦及松动。

2. 传感器的动态特性

若要检测的输入信号是随时间而变化的,则传感器应能跟踪输入信号的变化,这样才可以获得准确的输出信号。如果输入信号变化得太快,传感器就可能跟踪不上。这种跟踪输入信号变化的特性就是响应特性,即为动态特性。动态特性是传感器的重要特性之一。

四、测量误差及其分类

任何测量都存在误差,只要误差在允许范围内即可认为符合标准。传感器也不例外,所谓传感器的误差,即传感器的实际输出值与理论输出值的差值。因此在设计与制造传感器时,允许有误差,但必须在规定的误差范围之内。

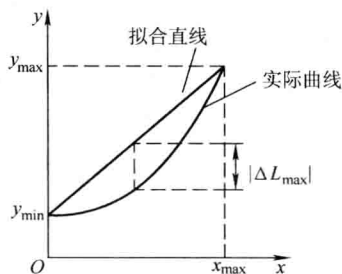


图 1-11 线性度示意图

1. 传感器的误差

由传感器的定义可知,传感器可将未知的物理量转换成可知的电信号,其误差也就是测量误差。下面介绍有关测量的部分名词。

(1) 真值 被测量本身所具有的真实量值称为真值。真值是一个理想的概念,一般是不知道的。但在某些特定情况下,真值又是可知的,例如一个整圆的圆周角为 360° 等。

(2) 约定真值 由于真值往往是未知的,所以一般用基准器的量值来代替真值,称作约定真值,它与真值之间的误差可以忽略不计。

(3) 实际值 误差理论指出,在排除了系统误差的前提下,对于精度测量,当测量次数为无限多时,测量结果的算术平均值接近于真值,因而可将它视为被测量的真值。但是测量次数是有限的,故按有限测量次数得到的算术平均值只是统计平均值的近似值。而且由于系统误差不可能完全被排除掉,故通常只能把精度更高一级的标准器具所测得的值作为“真值”。为了强调它并非是真的“真值”,故把它称为实际值。

(4) 标称值 测量器具上所标出用来参考的数值。

(5) 示值 由测量器具读数装置指示出来的被测量的数值。

(6) 测量误差 用器具进行测量时,测量出来的数值与被测量的实际值之间的差值。

2. 误差的分类

在测量中由不同因素产生的误差是混合在一起同时出现的。为了便于分析和研究误差的性质、特点和消除方法,下面将对各种误差进行分类讨论。

(1) 按表示方法分类 绝对误差:示值 A_x 与约定真值 A_0 的差值,即 $\Delta = A_x - A_0$ 。

绝对误差是有正、负并有量纲的。在实际测量中,有时要用到修正值,修正值是与绝对误差大小相等、符号相反的值,即 $\alpha = -\Delta$ 。只要得到修正 α 、示值 A_x ,便可得知约定真值 A_0 。修正值通常用高一级的测量仪器或标准仪器获得。

采用绝对误差表示测量误差,不能很好地说明测量质量的好坏。例如,在温度测量时,绝对误差 $\Delta = 1^\circ\text{C}$,对体温测量来说是不允许的,而对钢水温度来说是极好的测量结果,所以用相对误差可以比较客观地反映测量的准确性。

相对误差:针对绝对误差有时不足以反映示值偏离约定真值的大小程度而设定,在实际测量中相对误差有下列表示形式:

实际相对误差 γ_a ——用绝对误差 Δ 与约定真值 A_0 的百分比表示,即

$$\gamma_a = \pm \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

标称相对误差 γ_x ——用绝对误差 Δ 与示值 A_x 的百分比表示,即

$$\gamma_x = \pm \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-3)$$

满度(或引用)相对误差 γ_m ——用绝对误差 Δ 与仪器满刻度值 A_m 百分比表示,即

$$\gamma_m = \pm \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

在式(1-4)中,当 Δ 取为最大值 Δ_m 时,满度(或引用)相对误差就被用来确定仪表的精度等级 S (如 $0.5\% < \text{满度相对误差} \leq 1\%$ 时,则称精度等级为1级),即

$$S = \frac{|\Delta_m|}{A_m} \times 100 \quad (1-5)$$

当仪表显示值下限不为零时, 精度等级 S 应用式 (1-6) 表达:

$$S = \frac{|\Delta_m|}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100 \quad (1-6)$$

其中 $A_{\max}$ 和 $A_{\min}$ 分别为仪表刻度盘上的上限和下限。

我国电工仪表等级分为七级, 即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 级。

【例 1-1】 现有 0.5 级的 0~300℃ 和 1.0 级的 0~100℃ 两个温度计, 要测 100℃ 的温度, 试问采用哪一个温度计好?

解: 用 0.5 级仪表测量时, 最大标称相对误差为

$$\gamma_{x_1} = \frac{\Delta_{m1}}{A_x} \times 100\% = \frac{300 \times (\pm 0.5\%)}{100} \times 100\% = \pm 1.5\%$$

用 1.0 级仪表测量时, 最大标称相对误差为

$$\gamma_{x_2} = \frac{\Delta_{m2}}{A_x} \times 100\% = \frac{100 \times (\pm 1.0\%)}{100} \times 100\% = \pm 1.0\%$$

$$\gamma_{x_1} < \gamma_{x_2}$$

显然用 1.0 级仪表比用 0.5 级仪表更合适。因此在选用传感器时应兼顾精度等级和量程。

(2) 按误差出现的规律分类 系统误差: 指误差的数值及符号都保持不变, 或在条件改变时误差按某一确定规律变化的一类误差。系统误差主要由材料、零部件及工艺缺陷、环境温度和湿度、压力变化及其他外界干扰所引起。系统误差表明了一个测量结果偏离真值和实际值的程度。系统误差愈小, 测量愈准确, 系统误差是有规律的, 它可以通过实验方法或引入修正值方法予以修正。

随机误差: 由于偶然因素的影响而引起的误差, 在同一条件下多次测量同一量时, 误差的绝对值和符号随机变化。它的特点是具有随机性, 时大时小, 时正时负, 不能预知。

由于随机误差具有偶然的性质, 不能预先知道, 因而也就无法从测量过程中予以修正或把它消除。但是随机误差在多次重复测量中服从统计规律, 在一定条件下, 可以用增加测量次数的方法加以控制。

过失误差 (粗大误差): 明显歪曲测量结果的误差。这是由于测量者在测量和计算中方法不合理、粗心大意、记错数据等所引起的误差。只要实验者操作正确、态度认真, 这种误差是可以避免的。

以上三种误差综合归纳成表 1-1。

表 1-1 三种误差比较

误差种类	产生原因	表现特征	解决方法
系统误差	测量设备自身原因或测量环境的干扰	误差值恒定或按一定规律变化	改进测量设备或引入修正值
随机误差	大量偶然因素	误差值不定、不可预测	多次测量、算术平均
过失误差	人为因素	测量值明显偏离实际值	避免过失和错误方法