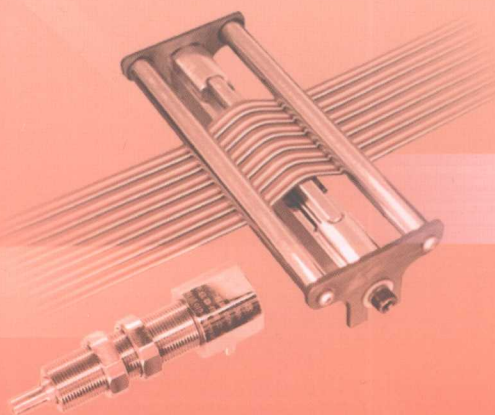




职业教育“十一五”规划教材

传感器原理 及应用(项目式教学)

于 彤 主编



赠电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



职业教育“十一五”规划教材

传感器原理及应用

(项目式教学)

主 编 于 彤

参 编 张冰川

王 娟

周海君

主 审 刘玉娟



机械工业出版社

本书为职业教育机电类和电气类专业规划教材。在内容选取和编写体例上进行了改革尝试,立足于技能培训,介绍工业生产现场常用的传感器原理和应用技能。全书以工业生产中检测任务为主线,采用项目教学的形式编写。项目的选取贴近机电专业,突出应用,应用部分以实训或动手制作的形式出现,图文并茂。全书分为六个项目,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、位置检测和位移检测,内容由浅入深,循序渐进。为帮助学生理解,本书每部分均设计了适量例题和习题。

本书采用项目式编写方式,可供中职中专、高职高专、技校层次学校机电类、电气类及相关专业使用,也可作为相关行业岗位培训用书。

为方便教学,本书配有免费电子教案,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

传感器原理及应用:项目式教学/于彤主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 11

职业教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-22772-4

I. 传... II. 于... III. 传感器—专业学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 173155 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:高倩 张值胜 责任校对:陈立辉

封面设计:姚毅 责任印制:邓博

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·8.5 印张·189 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-22772-4

定价:15.00 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,各项目的教学时分分配可参考下表,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

前言	任务一 认识压电式传感器	45
	任务二 制作简易压电式力传感器	53
项目一 认识传感器	单元三 差动变压器式传感器	54
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	项目四 液位和流量的检测	57
单元一 金属热电阻测温	单元一 电容传感器测量液位	58
任务一 认识热电阻	任务一 认识电容式传感器	59
任务二 热电阻应用训练	任务二 电容式传感器的液位检测应用训练	62
单元二 热敏电阻测量温度	单元二 超声波传感器	65
任务一 认识热敏电阻	任务一 认识超声波传感器	65
任务二 了解家用电器中的热敏电阻	任务二 使用超声波传感器检测距离	67
任务三 热敏电阻应用训练	单元三 流量的检测方法	70
单元三 热电偶及其应用	任务 了解流量检测的意义及常见方法	70
任务一 认识热电偶	项目五 位置检测	74
任务二 热电偶应用训练	单元一 金属物位置检测	75
单元四 气敏和湿敏传感器	任务一 了解电感接近开关	75
任务一 了解气敏传感器	任务二 测量近距离物位置	78
任务二 了解湿敏传感器	单元二 磁性物位置检测	81
项目三 力和压力的检测	任务一 霍尔开关检测磁性物体	81
单元一 电阻应变式传感器测力	任务二 干簧管接近开关检测磁性物体	84
任务一 认识电阻应变式传感器及电阻应变片	单元三 光电开关	86
任务二 制作简易电子秤	任务一 了解光电器件特性	86
单元二 压电式传感器测力	任务二 制作光电亮通和暗通控制电路	89
	任务三 用光电接近开关测量物体	

位置	91	任务二 光栅位移传感器的使用	113
任务四 分辨颜色	95	训练	113
任务五 使用热释电传感器	96	附录	118
单元四 其他位置检测方法	97	附录 A 常用传感器的性能比较	118
任务 了解电容接近开关的特性和		附录 B 热电偶分度表	119
使用方法	97	附录 C 热电阻分度表	121
项目六 位移检测	104	附录 D 传感器在机器人中的应用	121
单元一 机械位移传感器检测位移	104	附录 E 常用检测仪表	123
任务一 电位器式传感器应用训练 ...	104	附录 F 传感器与计算机接口技术	
任务二 差动变压器式传感器应用		简介	124
实训	107	附录 G 抗干扰技术简介	126
单元二 光栅位移传感器	109	参考文献	128
任务一 认识光栅位移传感器	109		

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。

日常生产生活中,我们大量地使用着传感器。如图 1-1 所示,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。麦克风(话筒)就是一种将声音信号转换为电信号的传感器。



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。有极其重要的地位。

传感器能够感受外界信息，并将其转换为电信号，其感受外界信息的过程也称为检测过程，传感器的转换作用如图 1-2 所示。

在自动检测和控制系统中，传感器技术对系统各项功能的实现起着重要作用。系统的自动化程度越高，对传感器的依赖性就越强。

传感器技术遍布各行各业、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用于汽车的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。如图 1-3 所示，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，触敏元件发出接触信号。在各指节的连接轴上装有精巧的电位器（一种利用转动来改变电路的电阻从而输出电流信号的元件），它能把手指的弯曲角度转换成“外形弯曲信息”。把外形弯曲信息和各指节产生的“接触信息”一起送入计算机，再通过计算就能迅速判断机械手所抓物体的形状和大小。



图 1-2 传感器将物理量转换为电学量

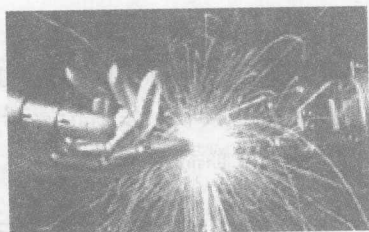


图 1-3 机器人的手

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，它可以自动地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形貌，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，说一说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中传感器的重要地位。

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。

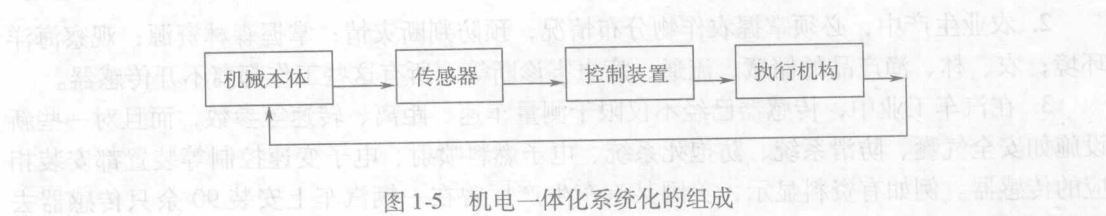


图 1-5 机电一体化系统化的组成

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，从而便于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，使机械本体处于自动运行状态，并实行自动监视和自动保护。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，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得。机器人是典型的机电一体化产品。图 1-6 形象地表达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,便有了工业机器人。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。传感器的作用包括信息的收集、信息数据的交换和控制信息的采集。

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,要进行动态特性测量,如加工精度等,需要利用传感器测量刀架、床身等有关部位的振动、机械阻抗等参数来检验其动态特性。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。

图 1-7 所示为数控车床的传感器。用光传感器监测车刀的位置;刀尖的形状对工件尺寸、表面精度等影响最大,用安装在车刀上的振动传感器检测车刀的磨钝程度,车床所用的润滑油,液压系统的油量,通过液面传感器进行监测。

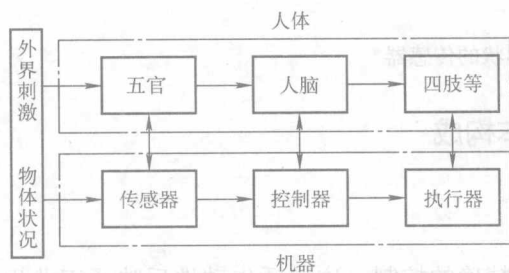


图 1-6 人体与工业机器人各功能部分的对应关系

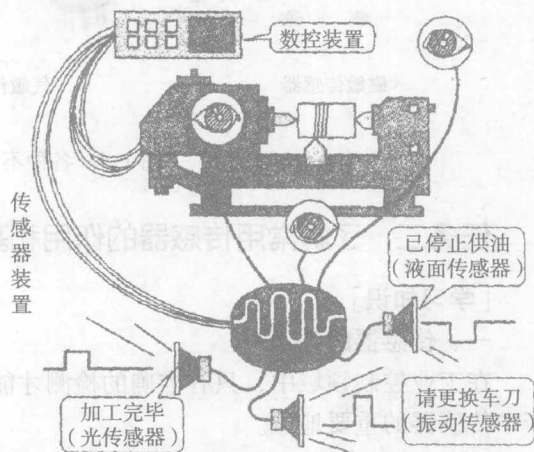


图 1-7 数控车床的传感器

2. 农业生产中,必须掌握农作物分布情况,预防判断灾情;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,而且对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都安装相应的传感器。例如有资料显示,美国某汽车生产厂曾在—辆汽车上安装 90 余只传感器去测量不同的参数。

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作为视觉和触觉等。在日本,机器人成本的二分之一是耗费于传感器上面的。

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

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，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。

图 1-9 所示为一种气体压力传感器的示意图。膜盒 2 的下半部与壳体 1 固定连接，上半部通过连杆与磁心 4 相连，磁心 4 置于电感线圈 3 中，后者接入转换电路 5。这里的膜盒就是敏感元件，其外部与大气相通，内部感受被测压力 p 。当 p 变化时，引起膜盒上半部移动，即输出相应的位移量。传感元件是可变电感线圈 3，它把位移量转换成电感的变化。然后通过测量转换电路转换成电量输出。

实际上有些传感器很简单，有些则较复杂。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，如图 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。

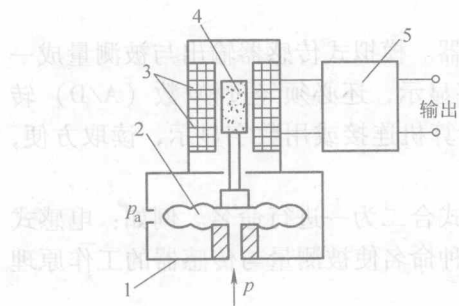


图 1-9 气体压力传感器的示意图

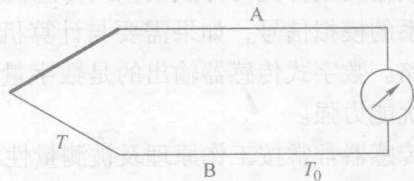


图 1-10 热电偶

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显分为敏感元件、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。传感器的原理有各种各样,它一般与许多学科有关,其种类十分繁多,分类方法也五花八门,目前尚无一个统一的方法。比较常用的分类方法如下。

1. 按工作原理分类

按工作原理可以分成参量传感器、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、热电偶传感器、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

按被测量性质可以分成机械量传感器、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、固体化学成分等,如检测可燃气泄漏的气敏传感器;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

按输出量种类可分成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。科技水平的提高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 $8\sim 50$ 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,也是引人注目的方向。

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产生新型传感器。

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,可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。

传感器与微处理机相结合,使之不仅具有检测功能,还具有信息处理、逻辑判断、自诊断以及“思维”等人工智能,这就称之为传感器的智能化。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,即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、体积小、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。下面分析传感器的特性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。它主要有线性度、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。从传感器的性能看,希望具有线性关系,即理想输入输出关系。但实际遇到的传感器大多为非线性。

在实际使用中,为了标定和数据处理方便,希望得到线性关系,因此引入各种非线性补偿环节,从而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。

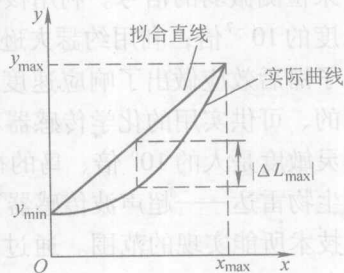


图 1-11 线性度示意图

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 ($\dot{S}$)。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的最小变化量的能力。只有当输入量的变化超过了分辨力量值时,其输出才会发生变化。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,分辨力就是仪表的最小显示数字的一个单位字。

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

2. 传感器的动态特性

传感器要检测的输入信号是随时间而变化的,传感器的特性应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。

1. 传感器的基本误差

由传感器的定义得知,传感器可将未知的物理量转换成可知的电信号,传感器的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之为真值。量的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。测量器具上所标出来的数值。

(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,所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:指示值 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——指误差的数值是一个常数或按一定规律变化的误差。

系统误差是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, 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

3. 传感器和仪表的精度

精度一词可细分为精密度、准确度和精确度。

(1) 精密度。表示一组测量值的偏离程度。或者说，多次测量时，表示测得值重复性的高低。如果多次测量的值都互相很接近，即随机误差小，则称为精密度高。可见精密度与随机误差相联系。

(2) 准确度。表示一组测量值与真值的接近程度。测量值与真值越接近，或者说系统误差越小，其准确度越高。所以准确度与系统误差相联系。

(3) 精确度。它反映系统误差与随机误差合成大小的程度。在实验测量中，精密度高、准确度不一定高；准确度高的，精密度不一定高，但精确度高的，则精密度和准确度都高。

图 1-12 所示为用射击弹点表示精度。



图 1-12 用射击弹点表示精度

[思考与训练]

一、填空

1. 传感器通常由 ()、()、() 构成。
2. 传感器相当于人的五官，因此又被称为 ()。
3. 传感器输出信号有很多形式，如电压、()、频率、() 等，输出信号的形式由 () 决定。常见的信号调节与转换电路有 ()、电桥、振荡器、电荷放大器等，它们分别与相应的传感器配合。
4. 传感器也可以称为 ()、() 或探测器等。
5. 数字式传感器输出的是 ()，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。
6. 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 () 与 () 的关系。它主要有 ()、()、分辨力、迟滞等。
7. 某位移传感器在位移变化 1mm 时，输出电压变化为 50mV，则其灵敏度应表示为 ()。

二、选择

1. () 是指传感器中能直接感受被测量的部分。
A. 传感元件 B. 敏感元件 C. 测量转换电路
2. 由于传感器输出信号一般都很微弱，需要有信号调节与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，这一部分称为 ()。