



21世纪高职高专规划教材·计算机系列

传感器应用技术 项目化教程

冯成龙 刘洪恩 主 编
高 锋 副主编
蔡冬林 主 审



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

21 世纪高职高专规划教材·计算机系列

传感器应用技术项目化教程

冯成龙	刘洪恩	主 编
	高 锋	副主编
	蔡冬林	主 审

清 华 大 学 出 版 社

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以被测物理量为研究对象,采用“模块+项目”的编排方式,每个模块由若干个项目组成,每个项目以一个具体的工程项目为主线,介绍常见物理量的检测方法、传感器的基本原理、常用传感器的参数、传感器的选用原则和应用电路,并介绍每个电路的调试步骤与方法。本书内容包括:检测技术基本知识、温度传感器应用、压力传感器应用、位移传感器应用、光传感器应用、气敏与湿敏传感器应用、速度传感器及流量传感器应用。本书是一本“项目化”的实用性较强的实训教材。

本书体系新颖,内容丰富,实用性突出,可作为高职院校、成人职高电子、电气、自动化及仪表等专业的教材和教学参考书,也可供相关领域的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

传感器应用技术项目化教程/冯成龙,刘洪恩主编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2009.7

(21世纪高职高专规划教材·计算机系列)

ISBN 978-7-81123-688-0

I. 传… II. ①冯… ②刘… III. 传感器-高等学校:技术学校-教材 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第101895号

责任编辑:韩 乐

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京东光印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:9.75 字数:243千字

版 次:2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-81123-688-0/TP·503

印 数:1~4 000册 定价:19.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

本书是为满足教育部对高等职业教育教学改革的要求而编写的,全书采用项目化编写模式,内容满足岗位需求,并邀请了企业人员参与编写;本教材是一本实用性较强的实践教材。

传感器应用技术是一门融合众多学科的技术,但对于一般的技术人员来说,重点在于传感器的应用,即如何通过检测电路将被测物理量转换成电压、电流或频率信号,供后续电路处理。传感器及其检测电路则为传感器应用中的核心技术,应用传感器则要重点解决传感器的选型和接口技术,本书正是为解决这些问题而编写的。

在本书的编写过程中,与多家企业进行了紧密合作,并满足教育部课程改革的要求,本书具有以下特点:

① 在总内容的安排上,采用“模块+项目”的模式,将同一被测物理量放在一个模块中,每一个项目则介绍一种不同传感器的应用;

② 在每个项目中,以传感器应用为主线,结合传感器的原理、技术参数及选用原则,并通过具体的电路来加深对以上内容的理解;

③ 在每个项目的内容组织上,适当保留传统的理论知识,但放在整个内容的最后;而将每个传感器的应用电路放在前面,突出了传感器的应用电路;

④ 对于每个教学项目,从传感器的参数入手,设计出具体的应用电路,分析电路的工作原理,并阐述电路的制作与调试;通过各项目学习,可以提高学生的动手能力及分析、解决问题的能力,培养学生的职业能力,实现了“教、学、做”一体化。

全书分为八个模块,它们是:模块一 检测及传感器基本知识;模块二 温度传感器的应用;模块三 压力传感器的应用;模块四 位移传感器的应用;模块五 光电传感器的应用;模块六 气敏与湿敏传感器的应用;模块七 速度测量;模块八 流量传感器的应用。

本书由淮安信息职业技术学院冯成龙、刘洪恩担任主编,冯成龙编写了模块四、模块六和模块七,刘洪恩编写了模块二,高锋编写了模块一、模块五、模块八,陈玉华编写了模块三,上海擎科仪表电子有限公司高级工程师范家保参与了模块七的编写,并提供了大量有价值的资料,江苏淮钢集团高级工程师蔡冬林审阅了全部书稿、计量处工程师谷士品审阅了部分书稿,提出了大量宝贵的意见。在本书的编写过程中,还得到了深圳市米诺电子有限公司、郑州炜盛电子科技有限公司等知名传感器生产企业技术人员的大力支持,淮安信息职业技术学院领导对教材的出版给予了极大的支持和帮助,同时还参考了许多教材、文献及网络资料,在此深表感谢。

由于编者水平有限及企业工作经验不足,加之时间仓促,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。希望本书能对广大读者有所帮助,欢迎您将建议和意见通过 E-mail 发给我们(fcl@hcit.edu.cn),以便再版时进行修改。

编者

2009年6月

目 录

模块一 检测及传感器基本知识	1
项目一 传感器的基本知识	1
一、传感器在各领域中的应用	2
二、传感器的发展趋势	3
三、传感器及其基本特性	4
项目二 测量及误差的基本知识	7
一、测量	7
二、测量误差及其分类	8
项目三 传感器接口电路	11
一、传感器输出信号的特点	11
二、常见传感器接口电路	11
三、抗干扰技术	13
复习与训练	14
模块二 温度传感器的应用	15
项目一 热敏电阻温度传感器在指针式温度表中的应用	15
项目二 PN 结温度传感器在温度表中的应用	19
项目三 AD590 温度传感器在温度测量中的应用	21
一、热敏电阻温度传感器	23
二、热电阻温度传感器	24
三、PN 结温度传感器	29
四、热电偶温度传感器	30
五、集成温度传感器	36
复习与训练	37
模块三 压力传感器的应用	39
项目一 传感器在商用电子秤中的应用	39
项目二 LED 显示排压力计设计	43
项目三 压力变送器在恒压供水系统中的应用	46
一、电阻应变片	48
二、电感式传感器	51
三、电容式传感器	54
复习与训练	55
模块四 位移传感器的应用	56
项目一 电位器式位移传感器在位置检测与控制中的应用	56
项目二 光栅位移传感器在数控机床中的应用	58

一、位移传感器的分类	63
二、各种位移传感器的特点	64
三、位移的测量方法	65
四、位移传感器的选用原则	66
五、电位器式位移传感器的分类	66
六、电位器式位移传感器的结构	67
七、电位器式位移传感器的工作原理及应用电路	68
八、光栅位移传感器	68
复习与训练	71
模块五 光电传感器的应用	72
项目一 光敏电阻在报警器中的应用	72
项目二 光敏二极管在路灯控制器中的应用	75
项目三 热释电红外传感器在公共照明中的应用	78
复习与训练	85
模块六 气敏与湿敏传感器的应用	86
项目一 气敏传感器在有害气体检测中的应用	86
项目二 电阻型湿敏传感器在简易湿度计中的应用	90
一、气敏传感器	92
二、湿敏传感器	95
复习与训练	98
模块七 速度测量	99
项目一 霍尔开关传感器在转速仪中的应用	99
项目二 光电对射传感器在转速测量仪中的应用	102
项目三 磁电传感器在转速测量仪中的应用	106
一、速度测量概述	109
二、霍尔传感器	114
三、光电开关	117
四、磁电传感器	118
复习与训练	119
模块八 流量传感器的应用	120
一、流体和流量	120
二、流量计量中常用的物性参数	120
项目一 电磁流量计的应用	123
一、原理与机构	124
二、优缺点	125
三、分类	125
四、选用原则	126
五、安装注意事项	129
项目二 热式质量流量计的应用	132

一、工作原理和结构	132
二、优缺点	135
三、分类	135
四、应用概况	136
五、流体种类和物性	136
六、仪表性能考虑	139
七、安装使用	140
项目三 超声流量计的应用	141
一、工作原理	141
二、优缺点	144
三、分类与结构	145
四、安装注意事项	146
复习与训练	147
参考文献	148

模块一 检测及传感器基本知识

知识点

- (1) 传感器的概念、组成及特点。
- (2) 传感器的地位与作用。
- (3) 测量及误差的基本知识。
- (4) 传感器接口电路及其原理、调试方法。

技能点

- (1) 能根据误差选择(精度)合适的测量仪表。
- (2) 会制作与调试基本的接口电路。

模块学习目标

本模块主要学习传感器的概念、测量与误差及传感器接口电路等知识。通过本模块的学习,明白传感器在现代测控系统中的地位、作用,掌握传感器的定义,了解其发展趋势;掌握与测量有关的名词、测量的分类、误差的表示形式,并能够根据测量精度要求选择仪表;由于传感器是现代测控系统的感知元件,一般情况下,要通过接口电路实现传感器与控制电路的连接,所以接口电路非常重要,尤其作为一名高职毕业生,应理解并熟练掌握接口的电路形式、原理及作用,在工作中,能根据现象判断故障的位置。

在学习本模块前,应复习一下电路基本理论、电子技术相关的知识,通过学习能制作一些简单的接口电路,以锻炼动手和解决问题的能力。

项目一 传感器的基本知识

知识点

- (1) 传感器的定义、组成。
- (2) 传感器的静态特性指标。
- (3) 传感器的数学模型。

技能点

- (1) 理解传感器的静态特性指标。
- (2) 掌握传感器的定义及组成。

传感器是利用各种物理、化学、生物现象将非电量转换为电量的器件,传感器可以检测自然界所有的非电量,它在社会生活中发挥着不可替代的作用。传感器技术是自动控制技术的核心技术。

当今社会的发展,就是信息技术的发展。早在 20 世纪 80 年代,美国首先认识到世界已

进入传感器时代,日本也将传感器技术列为“十大”技术之首,我国将传感器技术列为国家“八五”重点科技攻关项目,建成了“传感器技术国家重点实验室”、“微纳米国家重点实验室”、“国家传感器工程中心”等研究开发基地。传感器产业已被国内外公认为是具有发展前途的高技术产业。它以其技术含量高、经济效益好、渗透力强、市场前景广等特点为世人所瞩目。

传感器检测涉及的范畴很广,常见的检测涉及的内容如表 1-1 所示。

表 1-1 传感器检测涉及的内容

被测量类型	被 测 量	被测量类型	被 测 量
机械量	速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动等	热工量	温度、热量、比热容、压强、物位、液位、界面、真空度等
几何量	长度、厚度、角度、直径、平行度、形状等	物质成分量	气体、液体、固体的化学成分,浓度、湿度等
电参量	电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、相位、波形、频谱等	状态量	运动状态(启动、停止等)、异常状态(过载、超温、变形、堵塞等)

一、传感器在各领域中的应用

随着现代科技技术的高速发展,人们生活水平的迅速提高,传感器技术越来越受到普遍的重视,它的应用已渗透到国民经济的各个领域。

1. 在工业生产过程中的应用

在工业生产过程中,必须对温度、压力、流量、液位和气体成分等参数进行检测,实现对工作状态的监控,诊断生产设备的各种情况,使生产系统处于最佳状态,从而保证产品质量,提高效益。目前传感器与微机、通信等技术的结合,使工业监测实现了自动化。更具有准确、效率高等优点。如果没有传感器,现代工业生产自动化程度将会大大降低。

2. 在汽车电控系统中的应用

随着人们生活水平的提高,汽车已逐渐走进千家万户。汽车的安全舒适、低污染、高燃率越来越受到社会重视,而传感器在汽车中相当于感官和触角,只有它才能准确地采集汽车工作状态的信息,提高自动化程度。汽车传感器主要分布在发动机控制系统、底盘控制系统和车身控制系统中。普通汽车上大约装有 10~20 只传感器,而高级豪华车中使用的传感器多达 300 个。因此传感器作为汽车电控系统的关键部件,将直接影响到汽车技术性能的发挥。

3. 在现代医学领域中的应用

社会的飞速发展需要人们快速、准确地获取相关信息。医学传感器作为拾取生命体征信息的五官,它的作用日益显著,并得到广泛应用。例如:在图像处理、临床化学检验、生命体征参数的监护监测、呼吸、神经、心血管疾病的诊断与治疗等方面,使用传感器十分普遍。传感器在现代医学仪器设备中已无所不在。

4. 在环境监测方面的应用

近年来,环境污染问题日益严重。人们迫切希望拥有一种能对污染物进行连续、快速、在线监测的仪器,传感器满足了人们的要求。目前,已有相当一部分生物传感器应用于环境监测中,如大气环境监测。二氧化硫是酸雨雾形成的主要原因,传统的检测方法很复杂,现在将亚细胞类脂类固定在醋酸纤维膜上,和氧电极制成安培型生物传感器,可对酸雨酸雾样品溶液进行检测,大大简化了检测方法。

5. 在军事中的应用

传感器技术在军用电子系统中的运用促进了武器、作战指挥、控制、监视和通信方面的智能化。传感器在远方战场监视系统、防空系统、雷达系统、导弹系统等方面,都有广泛的应用,是提高军事战斗力的重要因素。

6. 在家用电器中的应用

20 世纪 80 年代以来,随着以微电子为中心的技术革命的兴起,家用电器正向自动化、智能化、节能、无环境污染的方向发展。自动化和智能化的中心就是研制由微型计算机和各种传感器组成的控制系统,如:一台空调器采用微型计算机控制配合传感器技术,可以实现压缩机的启动、停机、风扇摇头、风门调节、换气等,从而对温度、湿度和空气浊度进行控制。随着人们对家用电器的方便、舒适、安全、节能等性能要求的提高,传感器将越来越得到显著应用。

7. 在科学研究方面的应用

科学技术的不断发展,蕴生了许多新的学科领域,无论是宏观宇宙,还是微观粒子世界,许多未知的现象和规律要获取大量人类感官无法获得的信息,没有相应的传感器是不可能的。

8. 在智能建筑领域中的应用

智能建筑是未来建筑的一种必然趋势,它涵盖智能自动化、信息化、生态化等多方面的内容,具有微型集成化、高精度与数字化和智能化特征的智能传感器将在智能建筑中占有重要的地位。

二、传感器的发展趋势

科学技术的发展使得人们对传感器技术越来越重视,认识到它是影响人们生活水平的重要因素之一。随着世界各国现代化步伐的加快,对检测技术的要求也越来越高,因此对传感器的开发成为目前最热门的研究课题之一。而科学技术,尤其是大规模集成电路技术、微型计算机技术、机电一体化技术、微机械和新材料技术的不断进步,大大促进了现代检测技术的发展。传感器技术发展趋势可以从以下几方面来看:一是开发新材料、新工艺和新型传感器;二是实现传感器的多功能、高精度、集成化和智能化;三是通过传感器与其他学科的交叉整合,实现无线网络化。

1. 开发新型传感器

传感器的工作原理是基于各种物理(化学或生物)效应和定律的,由此启发人们进一步探索具有新效应的敏感功能材料,并以此研制具有新原理的新型传感器,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。

2. 开发新材料

传感器材料是传感器技术的重要基础,随着传感器技术的发展,除了早期使用的材料,如:半导体材料、陶瓷材料以外,光导纤维、纳米材料和超导材料等相继问世,人工智能材料更是给我们带入了一个新的天地,它同时具有三个特征:能感知环境条件的变化(传统传感器)的功能;识别、判断(处理器)功能;随着研究的不断深入,未来将会有更多更新的传感器材料被开发出来。

3. 开发多功能集成化传感器

传感器集成化包含两个含义:一个是同一功能的多元件并列,目前发展很快的自扫描光

电二极管阵列, CCD 图像传感器就属此类; 另一个含义是功能一体化, 即将传感器功能与放大、运算及温度补偿等功能一体化, 组装成一个器件, 例如把压敏电阻、电桥、电压放大器 and 温度补偿电路集成在一起的单块压力传感器。

多功能是指一器多能, 即一个传感器可以检测两个或两个以上的参数, 如最近国内已经研制的硅压阻式复合传感器, 可以同时测量温度和压力等。

4. 开发智能传感器

智能传感器是将传感器与计算机集成在一块芯片上的装置, 它与敏感技术信息处理技术相结合, 除了感知的本能外, 还具有认知能力, 例如: 将多个具有不同特性的气敏元件集成在一个芯片上, 利用图像识别技术处理, 可得到不同灵敏模式, 然后将这些模式所获取的数据进行计算, 与被测气体的模式类比推理或模糊推理, 可识别出气体的种类和各自的浓度。

5. 推动多学科交叉融合

无线传感器网络是由大量无处不在的, 由具有无线通信与计算能力的微小传感器节点构成的自组织分布式网络系统, 是能根据环境自主完成指定任务的“智能”系统。它是涉及微传感器与微机械、通信、自动控制、人工智能等多学科的综合技术, 其应用已由军事领域扩展到反恐、防爆、环境监测、医疗保健、家居、商业、工业等众多领域, 有着广泛的应用前景, 因此 1999 年和 2003 年美国商业周刊和 MIT 技术评论 Technology Review 在预测未来技术发展的报告中, 分别将其列为 21 世纪最具影响的 21 项技术和改变世界的 10 大新技术之一。

6. 加工技术微精细化

随着传感器产品质量档次的提升, 加工技术的微精细化在传感器的生产中占有越来越重要的地位。微机械加工技术是近年来随着集成电路工艺发展起来的, 它是离子束、电子束、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制造工艺。例如: 溅射、蒸镀等离子体刻蚀、化学气相淀积(CVD)、外延生长、扩散、腐蚀、光刻等。另外一个发展趋势是越来越多的生产厂家将传感器作为一种工艺品来精雕细琢。无论是每一根导线, 还是导线防水接头的出孔; 无论是每一个角落, 还是每一个细节, 传感器的制作都达到了工艺品水平。如日本久保田公司的柱式传感器, 外加一个黑色的防尘罩, 柱式传感器的底座一般易进沙尘及其他物质, 而底座一旦进了沙尘或其他物质后, 对传感器来回摇摆产生了影响, 外加防尘罩后, 显然克服了上述弊端。这个附件的设计不仅充分考虑了用户使用现场的环境要求, 而且制作工艺、外观非常考究。

三、传感器及其基本特性

1. 传感器的定义

国家标准 GB 7665—87 对传感器的定义是: “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, 通常由敏感元件和转换元件组成”。传感器是一种检测装置, 能感受到被测量的信息, 并能将检测感受到的信息, 按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出, 以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求, 它是实现自动检测和自动控制的首要环节。传感器的输出信号多为易于处理的电量, 如电压、电流、频率等。

传感器的组成如图 1-1 所示。

图 1-1 中敏感元件是在传感器中直接感受被测量的元件, 即被测量通过传感器的敏感



图 1-1 传感器组成框图

元件转换成一个与之有确定关系、更易于转换的非电量。这一非电量通过转换元件被转换成电参量。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、电流或频率量。应该指出，有些传感器将敏感元件与转换元件合二为一。

2. 传感器分类

根据某种原理设计的传感器可以同时检测多种物理量，而有时一种物理量又可以用几种传感器测量。传感器有很多种分类方法，但比较常用的有如下三种。

① 按传感器的物理量分类，可分为位移、力、速度、温度、湿度、流量、气体成分等传感器。

② 按传感器工作原理分类，可分为电阻、电容、电感、电压、霍尔、光电、光栅、热电偶等传感器。

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。

3. 传感器数学模型

传感器检测被测量，应该按照规律输出有用信号，因此，需要研究其输出—输入之间的关系及特性，理论上用数学模型来表示输出—输入之间的关系和特性。

传感器可以检测静态量和动态量，输入信号的不同，传感器表现出来的关系和特性也不尽相同。在这里，将传感器的数学模型分为动态和静态两种，本书只讨论静态数学模型。

静态数学模型是指在静态信号作用下，传感器输出与输入量之间的一种函数关系。表示为

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n$$

式中， x ——输入量；

y ——输出量；

a_0 ——零输入时的输出，也称零位误差；

a_1 ——传感器的线性灵敏度，用 K 表示；

$a_2 \cdots a_n$ ——非线性项系数。

根据传感器的数学模型，一般把传感器分为三种：

① 理想传感器，静态数学模型表现为 $y = a_1x$ ；

② 线性传感器，静态数学模型表现为 $y = a_0 + a_1x$ ；

③ 非线性传感器，静态数学模型表现为 $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n$ （ $a_2 \cdots a_n$ 中至少有一个不为零）。

4. 传感器的特性与技术指标

传感器的静态特性是指对静态的输入信号，传感器的输出量与输入量之间的关系。因为输入量和输出量都和时间无关，它们之间的关系，即传感器的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程表示，或用以输入量作横坐标，与其对应的输出量作纵坐标而画出的特性曲线来描述。表征传感器静态特性的主要参数有：线性度、灵敏度、分辨力和迟滞等，传感器的

参数指标决定了传感器的性能及选用传感器的原则。

1) 传感器的灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态工作情况下输出量的变化 Δy 与输入量的变化 Δx 的比值。它是输出—输入特性曲线的斜率。

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

如果传感器的输出和输入之间呈线性关系,则灵敏度 K 是一个常数,即特性曲线的斜率。否则,它将随输入量的变化而变化。

灵敏度的量纲是输出、输入量的量纲之比。例如,某位移传感器,在位移变化 1 mm 时,输出电压变化为 200 mV,则其灵敏度应表示为 200 mV/mm。当传感器的输出、输入量的量纲相同时,灵敏度可理解为放大倍数。

提高灵敏度,可得到较高的测量精度。但灵敏度越高,测量范围越窄,稳定性也往往越差。

2) 传感器的线性度

通常情况下,传感器的实际静态特性是条曲线而非直线。在实际工作中,为使仪表具有均匀刻度,常用一条拟合直线近似地代表实际的特性曲线,线性度(非线性误差)就是这个近似程度的一个性能指标。拟合直线的选取有多种方法,如将零输入和满量程输出点相连的理论直线作为拟合直线;或将与特性曲线上各点偏差的平方和为最小的理论直线作为拟合直线,此拟合直线称为最小二乘法拟合直线。

$$E = \pm \frac{\Delta_{\max}}{Y_m} \times 100\%$$

式中, $\Delta_{\max}$ ——实际曲线和拟合直线之间的最大差值;

Y_m ——量程。

3) 传感器的分辨力

分辨力是指传感器能够感受到的被测量的最小变化的能力。也就是说,如果输入量从某一非零值缓慢地变化,当输入变化值未超过某一数值时,传感器的输出不会发生变化,即传感器对此输入量的变化是分辨不出来的。只有当输入量的变化超过分辨力时,其输出才会发生变化。

通常传感器在满量程范围内各点的分辨力并不相同,因此常用满量程中能使输出量产生阶跃变化的输入量中的最大变化值作为衡量分辨力的指标,上述指标若用满量程的百分比表示,则称为分辨力。

4) 重复性

重复性是指传感器在对输入量按同一方向做全量程多次测试时,所得特性曲线不一致的程度。

$$E_x = \pm \frac{\Delta_{\max}}{Y_m} \times 100\%$$

式中, $\Delta_{\max}$ ——多次测量曲线之间的最大差值;

Y_m ——传感器的量程。

5) 迟滞现象

迟滞现象是指传感器在正向行程(输入量增大)和反向行程(输入量减小)期间,特性曲

线不一致的程度。闭合路径称为滞环。

$$E_{\max} = \pm \frac{\Delta_{\max}}{Y_{\text{fs}}} \times 100\%$$

式中, $\Delta_{\max}$ ——正向曲线与反向曲线之间的最大差值;

Y_{fs} ——传感器的量程。

6) 稳定性与漂移

传感器的稳定性有长期和短期之分。一般指一段时间以后,传感器的输出和初始标定时的输出之间的差值。通常用不稳定度来表征其输出的稳定的程度。

传感器的漂移是指在外界干扰下,输出量出现与输入量无关的变化。漂移有很多种,如时间漂移和温度漂移等。时间漂移指在规定的条件下,零点或灵敏度随时间发生变化;温度漂移指环境温度变化而引起的零点或灵敏度的变化。

项目二 测量及误差的基本知识

知识点

- (1) 测量的基本概念。
- (2) 测量误差的分类及表示方法。

技能点

- (1) 掌握误差的表示方法。
- (2) 能根据测量结果计算各种误差。
- (3) 能根据要求选择精度符合要求的测量仪表。

由于测量方法和仪器设备的不完善,周围环境的影响,以及人的观察力等限制,实际测量值和真值之间,总是存在一定的差异。人们常用绝对误差、相对误差等来说明一个近似值的准确程度。为了评定实验测量数据的精确性或误差,认清误差的来源及其影响,需要对测量的误差进行分析和讨论。由此可以判定哪些因素是影响实验精确度的主要方面,从而进一步改进测量方法,缩小实际测量值和真值之间的差值,提高测量的精确性。

一、测量

测量是指借助专门的技术与设备,通过实验和计算的方法取得事物量值的认识过程。即将被测量与一个同性质的、作为测量单位的标准量进行比较,从而确定被测量是标准量的若干倍或几分之几的比较过程。

测量的结果包括大小、符号(正或负)、单位三个要素。

测量的方法多种多样。根据被测量是否随时间变化,可分为静态测量和动态测量;根据测量的手段可分为直接测量和间接测量等。测量是人类认识事物本质所不可缺少的手段,通过测量和实验能使人们对事物获得定量的概念和发现事物的规律性,科学上很多新的发现和突破都是以实验测量为基础的。

测量的目的就是为最接近地求真值,下面介绍真值概念和一般情况下真值的确定方法。

真值是待测物理量客观存在的确定值,也称理论值或定义值。通常真值是无法测得的。

若测量的次数无限多时,根据误差的分布定律,正负误差的出现概率相等。再经过细致地消除系统误差,将测量值加以平均,可以获得非常接近于真值的数值。但是实际上测量的次数总是有限的。用有限测量值求得的平均值只能是近似真值,常用的平均值有下列几种。

1. 算术平均值

算术平均值是最常见的一种平均值。设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为各次测量值, n 代表测量次数,则算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

2. 几何平均值

几何平均值是将一组 n 个测量值连乘并开 n 次方求得的平均值,即

$$\bar{x}_{\text{几}} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \dots x_n}$$

3. 均方根平均值

均方根平均值为

$$\bar{x}_{\text{均}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$$

二、测量误差及其分类

测量值与真值之间的差值称为测量误差,简称误差。

1. 误差的表示方法

利用任何量具或仪器进行测量时,总存在误差,测量结果总不可能准确地等于被测量的真值,而只是它的近似值。根据测量误差的大小来估计测量的精确度。测量结果的误差愈小,则认为测量就愈精确。

1) 绝对误差

测量值 X 和真值 A_0 之差为绝对误差,通常称为误差。记为

$$\Delta = X - A_0$$

由于真值 A_0 一般无法求得,因而上式只有理论意义。常用高一级标准仪器的示值作为实际值 A 以代替真值 A_0 。由于高一级标准仪器存在较小的误差,因而 A 不等于 A_0 ,但总比 X 更接近于 A_0 。 X 与 A 之差称为仪器的示值绝对误差。记为

$$\Delta = X - A$$

与 Δ 相反的数称为修正值,记为

$$C = -\Delta = A - X$$

2) 相对误差

衡量某一测量值的准确程度,一般用相对误差来表示。示值绝对误差 Δ 与被测量的实际值 A 的百分比值称为实际相对误差。记为

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A} \times 100\%$$

以仪器的示值 X 代替实际值 A 的相对误差称为示值相对误差。记为

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{X} \times 100\%$$

一般来说,除了某些理论分析外,用示值相对误差较为适宜。

3) 引用误差

为了计算和划分仪表精确度等级,提出引用误差概念。其定义为仪表示值的绝对误差与量程范围之比。

$$\gamma_n = \frac{\text{示值绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{\Delta}{X_n} \times 100\%$$

式中, Δ ——示值绝对误差;

X_n ——标尺上限值与标尺下限值之差。

2. 测量仪表精确度

测量仪表的精度等级是用最大引用误差(又称允许误差)来标明的。它等于仪表示值中的最大绝对误差与仪表的量程范围之比的百分数。

$$\gamma_{n,\max} = \frac{\text{最大示值绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{\Delta_{\max}}{X_n} \times 100\%$$

式中, $\Delta_{\max}$ ——仪表示值的最大绝对误差;

X_n ——标尺上限值与标尺下限值之差。

测量仪表的精度等级是国家统一规定的,把允许误差中的百分号去掉,剩下的数字就称为仪表的精度等级。仪表的精度等级常以圆圈内的数字显示在仪表的面板上。例如某台压力计的允许误差为 1.5%,则这台压力计电工仪表的精度等级就是 1.5,通常简称 1.5 级仪表。我国仪表的精度等级分 7 级,分别是 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。

仪表的精度等级为 a ,它表明仪表在正常工作条件下,其最大引用误差的绝对值不能超过的界限,即

$$\gamma_{n,\max} = \frac{\Delta_{\max}}{X_n} \times 100\% \leq a\%$$

由此可知,因此在应用仪表进行测量时所能产生的最大绝对误差(简称误差限)为

$$\Delta_{\max} \leq a\% \cdot X_n$$

【例 2-1】用量程为 5 A,精度为 0.5 级的电流表,分别测量两个电流, $I_1 = 5$ A, $I_2 = 2.5$ A,试求测量 I_1 和 I_2 的相对误差为多少?

解答: $\gamma_{A1} = a\% \times \frac{I_n}{I_1} = 0.5\% \times \frac{5}{5} = 0.5\%$

$$\gamma_{A2} = a\% \times \frac{I_n}{I_2} = 0.5\% \times \frac{5}{2.5} = 1.0\%$$

由此可见,当仪表的精度等级选定时,所选仪表的测量上限越接近被测量的值,则测量的误差的绝对值越小。

【例 2-2】欲测量约 90 V 的电压,实验室现有 0.5 级 0~300 V 和 1.0 级 0~100 V 的电压表,问选用哪一种电压表进行测量误差较小。

解答:用 0.5 级 0~300 V 的电压表测量 90 V 的相对误差为

$$\gamma_{A1} = a_1\% \times \frac{U_n}{U} = 0.5\% \times \frac{300}{90} = 1.7\%$$

用 1.0 级 0 ~ 100 V 的电压表测量 90 V 的相对误差为

$$\gamma_{A2} = a_2\% \times \frac{U_n}{U} = 1.0\% \times \frac{100}{90} = 1.1\%$$

上例说明, 如果选择得当, 用量程范围适当的 1.0 级仪表进行测量, 能得到比用量程范围大的 0.5 级仪表更准确的结果。因此, 在选用仪表时, 应根据被测量值的大小, 在满足被测量数值范围的前提下, 尽可能选择量程小的仪表, 并使测量值大于所选仪表满刻度的三分之二, 即 $X > 2X_n/3$ 。这样既可以达到减小测量误差的要求, 又可以选择精度等级较低的测量仪表, 从而降低仪表的成本。

3. 误差分类

误差产生的原因多种多样, 根据误差的性质和产生的原因, 一般分为以下三类。

1) 系统误差

系统误差是指在测量和实验中由未确认的因素所引起的误差, 而这些因素影响结果永远朝一个方向偏移, 其大小及符号在同一组实验测定中完全相同, 当实验条件一经确定, 系统误差就获得一个客观上的恒定值。

当改变实验条件时, 就能发现系统误差的变化规律。

系统误差产生的原因: 测量仪器不良, 如刻度不准, 仪表零点未校正或标准表本身存在偏差等; 周围环境的改变, 如温度、压力、湿度等偏离校准值; 实验人员的习惯和偏向, 如读数偏高或偏低等引起的误差。针对仪器的缺点、外界条件变化影响的大小、个人的偏向, 待分别加以校正后, 系统误差是可以清除的。

2) 随机误差

在已消除系统误差的一切量值的观测中, 所测数据仍在末一位或末两位数字上有差别, 而且它们的绝对值和符号的变化, 时大时小, 时正时负, 没有确定的规律, 这类误差称为偶然误差或随机误差。随机误差产生的原因不明, 因而无法控制和补偿。但是, 倘若对某一量值作足够多次的等精度测量后, 就会发现偶然误差完全服从统计规律, 误差的大小或正负具有随机性。因此, 随着测量次数的增加, 随机误差的算术平均值趋近于零, 所以多次测量结果的算数平均值将更接近于真值。

3) 粗大误差

粗大误差是一种显然与事实不符的误差, 它往往是由于实验人员粗心大意、过度疲劳和操作不正确等原因引起的。此类误差无规则可循, 只要加强责任感、细心操作, 粗大误差是可以避免的。

4. 精密度、准确度和精确度

反映测量结果与真实值接近程度的量, 称为精度(也称精确度)。它与误差大小相对应, 测量的精度越高, 其测量误差就越小。“精度”应包括精密度和准确度两层含义。

(1) 精密度: 测量中所测得数值重现性的程度, 称为精密度。它反映随机误差的影响程度, 精密度高就表示随机误差小。

(2) 准确度: 测量值与真值的偏移程度, 称为准确度。它反映系统误差的影响精度, 准确度高就表示系统误差小。