



普通高等教育“十二五”规划教材

传感器技术

HUANGANQI JISHU YU JIANCE

与检测

◆主 编 董小琼 程继兴 蒲新征

项目教学
任务驱动



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

普

五”规划教材

传感器技术与检测

Chuanganganqi Jishu yu Jiance

主 编	董小琼	程继兴	蒲新征
副主编	刘 越	王 菲	徐祥兵
	赵桂良	王治功	吴玉娟
	张立霞		



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

内容简介

本书按照最新的职业教育教学改革理论,结合作者多年的教学改革经验进行编写,集理论、实践于一体,是一本实用性强、易于教学的项目式课程教材。全书主要包含9个模块,每个模块由若干个项目组成,每个项目以一个具体的项目为主线,提出了具体的目标要求、学习的知识点和要达到的技能要求,突出了工作任务与知识的联系,让学生在职业实践活动的基础上掌握知识,增强了课程内容与职业岗位能力要求的相关性,强化了知识学习的针对性和应用性。本书内容主要包括:检测技术与传感器基本知识、温度传感器的应用、压力传感器的应用、位移传感器的应用、光电传感器的应用、气敏与湿敏传感器的应用、速度传感器的应用、流量及物位传感器的应用、自动检测系统及其设计。本书通过每个模块介绍了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、选用原则和应用电路,并介绍了每个电路的调试步骤与方法。

本书可作为普通高等院校电子类、电气类、机电类、数控类、自动化及仪表类专业学生的教材和教学参考书,也可作为应用型本科、成人教育、函授学院相关专业学生的教材以及相关领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术与检测 / 董小琼,程继兴,蒲新征主编. —武汉:中国地质大学出版社, 2012.6

ISBN 978-7-5625-2784-8

I. ①传…

II. ①董… ②程… ③蒲…

III. ①传感器-检测

IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 124663 号

传感器技术与检测

董小琼 程继兴 蒲新征 主 编

责任编辑:湛福兴 刘红娟

选题策划:庞 晏

责任校对:李谷娟

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电话:(010)82967039 传真:(010)82967037

E-mail:bxbook88@163.com

经销:全国新华书店

<http://www.zgbook88.com>

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

字数:352 千字

印张:13.75

版次:2012 年 6 月第 1 版

印次:2012 年 6 月第 1 次印刷

印刷:北京市彩虹印刷有限责任公司

印数:1—5 000 册

ISBN 978-7-5625-2784-8

定价:33.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

传感器技术是一门融合众多学科的技术,在现代科学技术领域中占有极其重要的地位,了解、掌握和应用传感器成了许多专业工程技术人员必备的技能,传感器技术与检测课程为应用电子技术、自动控制技术、测量技术、机电一体化等专业的必修课。

本书贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》和《教育部关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)的精神,结合作者多年的教学改革经验采用“项目教学法”模式进行编写,集理论、实践于一体,是一本实用性强、易于教学的项目式课程教材。其内容重点体现了“以能力为本、以职业实践为主线”的课程设计要求,紧紧围绕完成项目的需要来选择和组织课程内容,让学生在职业实践活动的基础上掌握知识,增强了课程内容与职业岗位能力要求的相关性,强化了知识学习的针对性和实用性。

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。

本书在编写过程中紧扣教育部课程改革的要求,从内容与方法、教与学、做与练等方面多角度体现了高职教育的教学特色。本书的特点包括以下几个方面。

(1)以工作任务为导向,由任务引入项目,通过项目训练引出相关传感器知识及其检测电路,体现做中学、学中练的教学思路,贴切高职高专院校的教学特点。

(2)任务设计具有针对性,贴近职业岗位要求。全书安排了9个典型的工作任务,每个工作任务的完成引入了相关实际设计经验,拉近了传感器教学与职业岗位需求的距离。

(3)在每个项目的内容组织上,先介绍相关理论知识后引入项目应用,既突出了知识的衔接性,又突出了传感器的应用。

全书分为9个模块。模块1:检测技术与传感器基本知识;模块2:温度传感器的应用;模块3:压力传感器的应用;模块4:位移传感器的应用;模块5:光电传感器的应用;模块6:气敏与湿敏传感器的应用;模块7:速度传感器的应用;模块8:流量及物位传感器的应用;模块9:自动检测系统及其设计。

本书在编写过程中,还得到了许多同志的热情帮助,他们提出了许多宝贵意见,在此深表感谢。本书部分内容参考了其他院校的相关教材、传感器与检测技术等方面的著作及网络资料,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限及企业工作经验不足,书中难免有不足,殷切希望各院校师生及广大读者批评指正。

编者
2012年6月

目 录

模块 1 检测技术与传感器基本知识	(1)
项目 1.1 传感器的基本知识	(1)
项目 1.2 测量及误差的基本知识	(12)
项目 1.3 传感器接口电路	(17)
习题 1	(23)
模块 2 温度传感器的应用	(24)
项目 2.1 热电偶传感器在燃气热水器中的应用	(42)
项目 2.2 热敏电阻温度传感器在指针式温度表中的应用	(44)
项目 2.3 AD590 温度传感器在温度测量中的应用	(48)
习题 2	(51)
模块 3 压力传感器的应用	(53)
项目 3.1 传感器在电子秤中的应用	(66)
项目 3.2 LED 显示排压力计设计	(70)
习题 3	(72)
模块 4 位移传感器的应用	(73)
项目 4.1 电位器式位移传感器在位置检测与控制中的应用	(85)
项目 4.2 光栅位移传感器在数控机床中的应用	(87)
习题 4	(91)
模块 5 光电传感器的应用	(92)
项目 5.1 煤气炉熄火报警器电路的设计	(103)
项目 5.2 光敏三极管在语音报警电路中的应用	(106)
项目 5.3 热释电红外传感器在照明灯控制中的应用	(111)
习题 5	(114)
模块 6 气敏与湿敏传感器的应用	(116)
项目 6.1 气敏传感器在有害气体检测中的应用	(129)
项目 6.2 电阻型湿敏传感器在空气湿度控制中的应用	(132)

习题 6	(136)
模块 7 速度传感器的应用	(137)
项目 7.1 霍尔开关传感器在转速测量仪表中的应用	(153)
项目 7.2 磁电传感器在转速测量仪中的应用	(156)
习题 7	(160)
模块 8 流量及物位传感器的应用	(161)
项目 8.1 电磁流量计的应用	(171)
项目 8.2 超声流量计的应用	(176)
项目 8.3 液位测量传感器系统的设计与实现	(182)
习题 8	(186)
模块 9 自动检测系统及其设计	(187)
项目 9.1 基于多种传感器的车载信息系统	(198)
项目 9.2 粮仓温湿度检测系统设计	(203)
项目 9.3 家居防盗报警系统的设计	(207)
习题 9	(210)
附录	(211)
参考文献	(214)

模块 1 检测技术与传感器基本知识

知识目标

1. 熟悉传感器的命名和代号。
2. 掌握传感器的应用及基本特征。
3. 了解传感器的地位与作用。
4. 掌握测量及误差的基本知识。
5. 掌握传感器接口电路及其原理、调试方法。

技能目标

1. 能根据误差选择合适(精度)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

在学习本课程前,必须具备电路基本理论、电子技术相关的知识,在实际学习过程中,同学们应根据相关传感器知识制作相应传感器测量电路。通过本模块的学习,学习制作一些简单的接口电路,以锻炼自己分析和解决问题的实际能力。

本模块主要学习传感器的特征、传感器的命名及代号、测量误差知识和传感器接口电路等知识。通过该模块的学习,应了解传感器在现在测控系统中的地位、作用及其发展趋势;应根据测量精度要求来选择仪表。另外,接口电路也非常重要,一般情况下,传感器要通过接口电路实现其与控制电路的连接。通过这个模块的学习,应理解并熟练掌握接口电路的形式、原理及作用,并能根据故障现象判断故障的位置所在。

项目 1.1 传感器的基本知识

知识点

1. 传感器命名和代号。
2. 传感器的定义、组成及分类。
3. 传感器的基本特性。

技能点

1. 理解传感器的静态特性指标。
2. 理解传感器命名和代号的构成。
3. 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成电量的器件,处于研究对象与测试系统的接口位置,即检测与控制系统之首。实际上,传感器对人们来说并不陌生,在生活和生产中都可以看到它们的身影,如声光控节能开关中的光敏电阻、驻极体话筒、电视机遥控系统的红外接收器件等都是传感器。

传感器实际上是一种功能模块,其作用是将来自外界的各种信号转换成电信号,然后再利用后续装置或电路对此电信号进行处理。它是实现自动检测和自动控制的首要环节,是自动控制技术的核心技术。其感受外界信息的过程称为检测过程。它可以检测自然界所有的非电量,在社会生活中发挥着不可替代的作用。20 世纪 80 年代以来,传感器技术被世界各国列为重点发展的高技术,倍受重视。

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。传感器检测涉及的范畴很广,常见的检测涉及内容见表 1-1。

表 1-1 常见传感器检测范围

输入量				转换原理	输出量
物理量	机械量	几何学量	长度、位移、应变、厚度、角度、角位移	物理定律或物理效应	电量 (电流或电压)
		运动学量	速度、角速度、加速度、角加速度、振动、频率、时间		
		力学量	力、力矩、应力、质量、荷重		
	流体量		压力、真空度、流速、流量、液位、黏度		
	温度		温度、热量、比热		
	湿度		湿度、露点、水分		
	电量		电流、电压、功率、电场、电荷、电阻、电感、电容、电磁波		
	磁场		磁通、磁场强度、磁感应强度		
	光		光度、照度、色、紫外光、红外光、可见光、光位移		
	放射量		X、α、β、γ 射线		
化学量		气体、液体、固体分析、pH、浓度	化学效应		
生物量		酶、微生物、免疫抗体、抗体	生物效应		

一、传感器在各领域中的应用

传感器技术与通信技术、计算机技术构成信息科学技术的三大支柱。它是材料学、力学、电学、磁学、微电子学、光学、声学、化学、生物学、精密机械、仿生学、测量技术、半导体技术、计算机技术、信息处理技术,乃至系统科学、人工智能、自动化技术等众多学科相互交叉的综合性高新技术密集型前沿技术,广泛应用于航空航天、兵器、信息产业、机械、电力、能源、交通、冶金、石油、建筑、邮电、生物、医学、环保、材料、灾害预测预防、农林渔业、食品、烟酒制造、汽车、舰船、机器人、家电、公共安全等领域。

1. 在工业生产过程的自动检测与自动控制系统中的应用

在电力、冶金、石化、化工等流程工业中,生产线上设备的运行状态关系到整个生产流程。通常建立 24 h 在线监测系统,对温度、压力、流量、液位和气体成分等参数进行检测,从而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,从而保证生产质量,提高效益。例如,石化企业输油管道、储油罐等压力容器的破损和泄露检测;在汽车、机床、电机、发动机等产品出厂时,必须对其性能质量检测以了解产品质量。

2. 传感器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。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。普通汽车上装有 10~20 个传感器,而豪华高级车使用的传感器多达 30~100 种,分别用于对温度、压力、位置、距离、转速、加速度、湿度、电磁、光电、振动等进行实时准确的测量,如图 1-1 所示。传感器作为汽车电控系统的关键部件,直接影响到汽车技术性能的发挥。

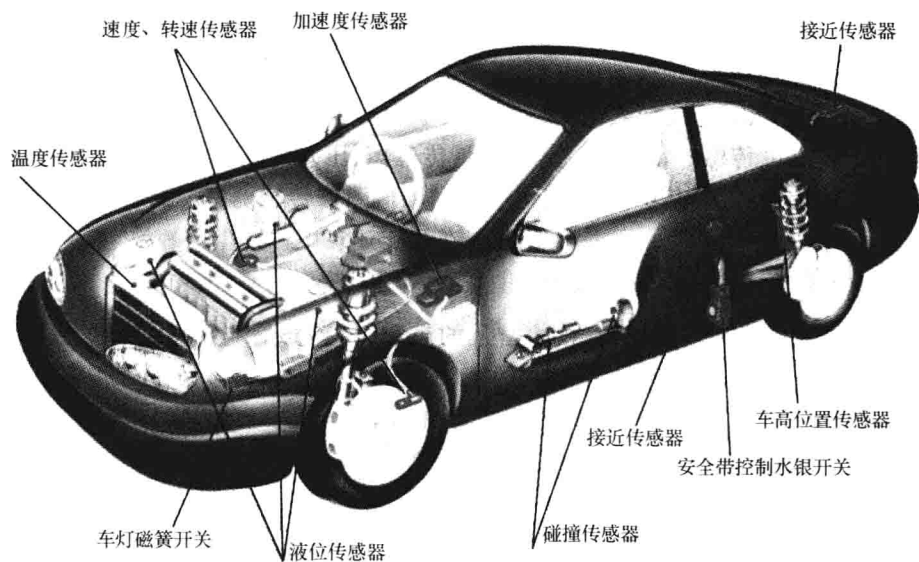


图 1-1 传感器在汽车上的应用

3. 在家用电器方面的应用

现代家庭中,自动电饭锅、吸尘器、空调器、电子热水器、风干器、电熨斗、电风扇、洗衣机、洗碗机、照相机、电冰箱、电视机、录像机、家庭影院等都用到传感器。如全自动洗衣机中的传感器有衣物重量传感器、衣质传感器、水温传感器、水质传感器、透光率光传感器(洗净度)、液位传感器、电阻传感器(衣物烘干检测)。

4. 在现代医学领域的应用

在医疗上应用传感器可以对人体温度、血压、心脑电波及肿瘤等进行准确的测量与诊

断。国内已经成功地开发出了用于测量近红外组织血氧参数的检测仪器。人类基因组计划的研究也大大促进了对酶、免疫、微生物、细胞、DNA、RNA、蛋白质、嗅觉、味觉和体液组分以及血气、血压、血流量、脉搏等传感器的研究。

5. 在环境监测方面的应用

为保护环境和生态平衡,实现可持续发展,必须进行大气监测和江河湖海水质监测,需要大量用于污水流量、pH 值、电导、浊度、COD、BOD、TP、TN、矿物油、氰化物、氨氮、总氮、总磷、金属离子浓度(特别是重金属离子浓度)以及风向、风速、温度、湿度、工业粉尘、烟尘、烟气、SO₂、NO、O₃、CO 等参数测量的传感器,这些传感器中大多数亟待开发。

6. 在军事方面的应用

例如,利用红外探测仪可以探测地形,发现地物及敌方各种军事目标;红外雷达具有搜索、跟踪、测距等功能,可以搜索几十到上千千米内的目标;其他还有红外制导、红外通信、红外夜视、红外对抗等。再如,用压电陶瓷制成的压电引信称为弹丸起爆装置,具有瞬发度高、安全可靠、不用配置电源等特点,常用在破甲弹上。

7. 在楼宇控制与安全防护中的应用

智能建筑是未来建筑的一种必然趋势,为使建筑物成为安全、健康、舒适、温馨的生活、工作环境,并能保证系统运行的经济性和管理的智能化,在楼宇中应用了许多测试技术,如闯入监测、空气监测、温度监测、电梯运行状况监测等。实现以上功能使用的传感器有温度传感器、湿度传感器、液位传感器、流量传感器、压差传感器、空气压力传感器、烟雾传感器、气体传感器、红外传感器、玻璃破碎传感器、图像传感器等。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地位。

8. 传感器在农业生产方面的应用

21 世纪的农业将是知识密集、技术密集的产业,传感器的应用可以有效提高农业生产效益和增强抗灾能力。借助温室及其配套装置来调节和控制作物生产环境条件,可以摆脱自然制约,达到高产、高效、优质的目的。

信息获取手段是实现高水平设施农业的关键技术之一,涉及农业用传感器的品种较多,主要用于温度、湿度、土壤干燥度、CO₂ 光照度、土壤养分等参数的测量。信息获取技术还在农田和果园生产、农业生物学研究、农药残留量检测等方面得到了广泛的应用。

二、传感器的发展趋势

21 世纪是人类全面进入信息电子化的时代,随着人类探知领域和空间的拓展,人们需要获得的自然信息的种类日益增加,需要信息传递的速度加快、信息处理能力增强,因此要求与此相对应的信息获取技术即传感技术必须跟上信息化发展的步伐。

传感器的发展趋势包括社会对传感器需求的新动向和传感器新技术的发展趋势这两个方面。

社会需求是传感器技术发展的强大动力。随着现代科学技术,特别是微电子技术和信息产业的飞速发展,以及“电脑”的普及,传感器在新的技术革命中的地位和作用将更为突出,一股竞相开发和应用传感器的热潮已在世界范围内掀起。主要原因有以下几点。

(1)“电五官”(传感器相当于人的五官部分,俗称“电五官”,又是人类五官的延伸,用来感受外界信息)落后于“电脑”的现状,已成为微型计算机进一步开发和应用的一大障碍。

(2)许多有竞争力的新产品开发和卓有成效的技术改造,都离不开传感器。

(3)传感器的应用直接带来了明显的经济效益和社会效益。

(4)传感器普及于社会各个领域,将形成良好的销售前景。

当前,传感器技术的主要发展动向有3个:一是开展基础研究,发现新现象,开发传感器的新材料和新工艺;二是实现传感器的集成化与智能化;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. 发现新现象,开发新材料

新现象、新原理、新材料是发展传感器技术、研究新型传感器的重要基础,每一种新原理、新材料的发现都会伴随着新的传感器种类诞生。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、超导材料等相继问世,人工智能材料更是将人们带入了一个新的天地,它同时具有3个特征:感知环境条件变化(传统传感器)的功能;识别、判断(处理器)功能;发出指令和自采取行动(执行器)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。

2. 集成化,多功能化

向敏感功能装置和集成化发展,可以将半导体集成电路技术及其开发思想应用于传感器制造。例如,采用微细加工技术 MEMS 制作微型传感器,采用厚膜和薄膜技术制作传感器等。为同时测量几种不同被测参数,可将几种不同的传感器元件复合在一起,做成集成块。目前,一种温、气、湿三功能集成的陶瓷传感器已经研制成功。

3. 向未开发的领域挑战

到目前为止,开发的传感器大多为物理传感器,今后应积极开发研究化学传感器和生物传感器,特别是智能机器人技术的发展,需要研制各种模拟人的感觉器官的传感器,如已有的机器人视觉传感器、触觉传感器、味觉传感器等。

4. 智能传感器,具有判断能力

智能传感器事实上是一种带微处理器的传感器,它将敏感技术和信息处理技术相结合,具有检测、判断和信息处理功能。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,然后对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. 多学科交叉融合

多学科交叉融合推动了无线传感器网络的发展。无线传感器网络是由大量无处不在的、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》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十大新技术之一。

三、改善传感器性能的技术途径

改善传感器性能的技术途径有以下几种。

1. 差动技术

差动技术是传感器中普遍采用的技术。它的应用可显著地减小温度变化、电源波动、外界干扰等对传感器精度的影响,抵消共模误差,减小非线性误差等。不少传感器由于采用了差动技术,灵敏度得以增大。

2. 平均技术

在传感器中普遍采用平均技术可产生平均效应,其原理是利用若干个传感单元同时感受被测量,其输出则是这些单元输出的平均值。在传感器中利用平均技术不仅可使传感器误差减小,且可增大信号量,即增大传感器灵敏度。

3. 补偿与修正技术

补偿与修正技术的运用大致针对以下两种情况。

(1) 针对传感器本身特性

针对传感器特性,找出误差的变化规律,或者测出其大小和方向,采用适当的方法加以补偿或修正。

(2) 针对传感器的工作条件或外界环境

针对传感器工作条件或外界环境进行误差补偿,也是提高传感器精度的有力技术措施。不少传感器对温度敏感,由温度变化引起的误差十分常见,为了解决这个问题,必要时可以控制温度。但安装恒温装置,往往费用太高,或使用现场不允许。这时,在传感器内引入温度误差补偿常常是可行的,即找出温度对测量值影响的规律,引入相应的温度补偿措施。

补偿与修正,可以利用电子线路(硬件)来解决,也可以采用微型计算机通过软件来实现。

4. 屏蔽、隔离与干扰抑制

传感器大都要在现场工作。现场的条件往往是难以充分预料的,有时又是极其恶劣的。各种外界因素会影响传感器的精度与各有关性能。为了减小测量误差,保证其原有性能,就应设法削弱或消除外界因素对传感器的影响。其方法有以下两种。

(1) 减小传感器对影响因素的灵敏度。

(2) 降低外界因素对传感器实际作用的程度。

对于电磁干扰,可以采用屏蔽、隔离措施,也可用滤波等方法抑制。对于如温度、湿度、机械振动、气压、声压、辐射、气流等,可采用相应的隔离措施,如隔热、密封、隔振等,或者在变换成为电量后对干扰信号进行分离或抑制,减小其影响。

5. 稳定性处理

传感器作为长期测量或反复使用的器件,其稳定性特别重要。在那些很难或无法定

期标定的场合,稳定性的重要程度甚至胜过了精度指标。

造成传感器性能不稳定的原因是:随着时间的推移和环境条件的变化,构成传感器的各种材料与元器件性能将发生变化。

提高传感器性能的稳定性措施是:对材料、元器件或传感器整体进行必要的稳定性处理。例如,永磁材料的时间老化、温度老化、机械老化及交流稳磁处理,电气元件的老化筛选等。

在使用传感器时,若测量要求较高,必要时也应对附加的调整元件、后续电路的关键元器件进行老化处理。

四、传感器的命名和代号

在 GB7666-1987 中,国家标准规定了传感器的命名方法和代号,作为统一传感器命名和代号的依据。它适用于传感器的研究、开发、生产、销售、教学等相关领域。

1. 传感器名称

传感器的名称由主题词加四级修饰语构成,如下所示。

- 主题词——传感器。
- 第一级修饰语——被测量,包括修饰被测量的定语。
- 第二级修饰语——转换原理,一般可后续以“式”字。
- 第三级修饰语——特征描述,指必须强调的传感器结构、性能、材料特征、敏感元件及其他必要的性能特征,一般可后续以“型”字。
- 第四级修饰语——主要技术指标(量程、精确度、灵敏度等)。

传感器命名构成及各级修饰语如附录中的附表 1 所示。

传感器命名法的使用分为以下两种情况。

(1) 题目中的用法

在有关传感器的统计表格、图书索引、检索以及计算机汉字处理等特殊场合,应采用上述顺序,如“传感器,位移,应变计[式],100 mm”。

(2) 正文中的用法

在技术文件、产品样本、学术论文、教材及书刊的陈述句子中,作为产品名称应采用与上述相反的顺序,如“100 mm 应变计式位移传感器”。

2. 传感器代号

国家标准规定,传感器代号用大写汉语拼音字母和阿拉伯数字构成。这包括 4 个部分,依次为:主称(传感器)-被测量-转换原理-序号。

- 主称——传感器,代号 C。
- 被测量——用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记。
- 转换原理——用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记。
- 序号——用一个阿拉伯数字标记,厂家自定,用来表征产品设计特性、性能参数、产品系列等。若产品性能参数不变,仅在局部有改动或变动时,其序号可在原序号后面顺序地加注大写字母 A、B、C 等(其中 I、Q 不用),如“应变式位移传感器 C WY-YB-20”;

“光纤压力传感器 C Y - G Q - 2”。

常用被测量代码如附录中附表 2 所示,常用转换原理代码如附录中附表 3 所示。

五、传感器及其基本特性

1. 传感器

中华人民共和国国家标准 GB7665 - 1987 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装置组成。传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将这些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、储存、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 1-2 所示。

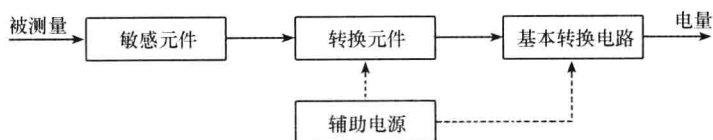


图 1-2 传感器组成框图

图 1-2 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元件转换成一个与之有确定关系、更易于转换的非电量。敏感元件的输出量就是转换元件的输入量,它把输入量转换成电路参数量。由于传感器的转换元件的输出信号一般都比较微弱,因此需要有基本转换电路对其进行放大、运算调制等,转换成易于处理的电压、电流或频率量,才能被后续电路应用。另外,需要指出的是,在实际应用中,有些传感器将敏感元件与转换元件合二为一了。

2. 传感器分类

在实际应用中,传感器种类繁多,同一种被测量可以用不同的传感器来测量,而同一原理的传感器又可以测量多种被测量,所以,传感器的分类标准比较多。目前常用的分类方法有 3 种:一种是以被测量来分类;另一种是以传感器原理来分类;还有一种是按传感器输出信号的性质来分类。

以被测量来分类时,使用的对象比较明确,适于传感器的选用;以工作原理来分类时,传感器采用的原理比较清楚,适于系统学习。

(1)按传感器的被测量分类,可分为位移、力、速度、温度、湿度、流量、气体成分等传感器,如表 1-2 所示。

表 1-2 按被测量分类

被测量类别	被 测 量
热工量	温度、热量、比热、压力、压差、真空度、流量、流速、风速

续表

被测量类别	被 测 量
机械量	位移(线位移、角位移)、尺寸、形状、力、力矩、应力、重量、质量、转速、线速度、振动幅度、频率、加速度、噪声
物性和成分量	气体化学成分、液体化学成分、酸碱度(pH)、盐度、浓度、黏度、密度、比重
状态量	颜色、透明度、磨损量、材料内部裂缝或缺陷、气体泄漏、表面质量

(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,如表 1-3 所示。

(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”、“开”和“关”)的开关型传感器;输出为模拟信号的模拟型传感器;输出为脉冲或数码的数字型传感器。

表 1-3 按工作原理分类

序号	工作原理	序号	工作原理
1	电阻式	8	光电式(红外式、光导纤维式)
2	电感式	9	谐振式
3	电容式	10	霍尔式
4	阻抗式	11	超声波式
5	磁电式	12	同位素式
6	热电式	13	电化学式
7	压电式	14	微波式

3. 传感器的基本特征

传感器所测量的被测量经常处在变动过程中。例如测量温度时,若温度恒定,传感器的输出值可能十分稳定;若遇到温度不恒定甚至出现突变时,传感器的输出值可能有缓慢起伏或者周期性脉动变化,甚至出现突变的尖锋值。传感器能否将这些被测量的变化不失真地变换成相应的电量,就需要考虑传感器本身的基本特性,即输出-输入特性。该基本特性通常用传感器的静态特性和动态特性来描述。

传感器的静态特性是指传感器的被测量数值处于稳定状态(输入量为常量,或变化非常缓慢)时,传感器输出与输入的关系;传感器的动态特性是指在测量动态信号时,传感器的输出反映被测量的大小和随时间变化的特性。理论上用数学模型来表示输出-输入之间的关系和特性。

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。在不考虑迟滞、蠕变等因素的情况下,传感器的静态特性可用以下线性方程式来表示:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \cdots + a_n x^n$$

式中: x 为输入量, y 为输出量, a_0 为 0 输入时的输出,也称零位误差; a_1 为传感器的线性灵敏度,用 K 表示; $a_2, \cdots, a_n$ 为非线性项系数。

根据传感器的数学模型,一般把传感器分为以下 3 种。

(1)理想传感器,静态数学模型表现为 $y = a_1 x$ 。

(2)线性传感器,静态数学模型表现为 $y = a_0 + a_1 x$ 。

(3)非线性传感器,静态数学模型表现为 $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \cdots + a_n x^n$ ($a_2, \cdots, a_n$ 中至少有一个不为零)。

传感器的输出与输入具有确定的对应关系,最好呈线性关系。但一般情况下,输出与输入不会符合所要求的线性关系,同时由于存在迟滞、蠕变、摩擦、间隙和松动等各种因素以及外界条件的影响,输出输入对应关系的唯一确定性也不能实现。通常用线性度、灵敏度、分辨力、重复性、迟滞等技术指标来描述传感器的静态特性。传感器的参数指标决定了传感器的性能以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定工作情况下输出量变化 Δy 与输入量变化 Δx 的比值。它是输出-输入特性曲线的斜率,即:

$$K = \Delta y / \Delta x$$

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。非线性传感器的灵敏度不是常数,以 dy/dx 表示。一般希望灵敏度 K 在整个测量范围内保持为常数,这样,可得均匀刻度的标尺,使读数方便,也便于分析和处理测量结果。

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。当传感器的输出量、输入量的量纲相同时,灵敏度可理解为放大倍数。

传感器的灵敏度越高,可以感知的变化量越小,即被测量稍有微小变化时,传感器即有较大的输出。提高灵敏度,可得到较高的测量精度。但灵敏度越高,与测量信号无关的外界噪声也越容易混入,并且噪声也会被放大。因此,对传感器往往要求有较大的信噪比。灵敏度愈高,测量范围也愈窄,稳定性也往往愈差。

(2)传感器的线性度

实际遇到的传感器大多为非线性。在实际应用中,为了标定和数据处理的方便,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。但是如果传感器的非线性不明显,输入量变化范围较小时,可用一条直线近似代替实际曲线的一段,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。拟合直线的选取有多种方式,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,如图 1-3 所示;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。

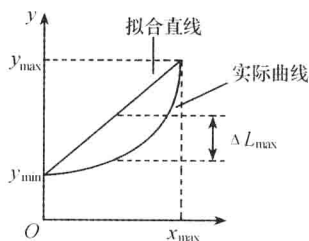


图 1-3 拟合直线

实际曲线与拟合直线之间的偏差称为传感器的非线性误差。取其最大偏差与理论满量程之比作为评价线性度(或非线性误差)的指标,即:

$$E = \pm \Delta L_{\max} / Y_{fs} \times 100\%$$

式中, $\Delta L_{\max}$ 是实际曲线和拟合直线之间的最大差值, Y_{fs} 为输出满量程值。

传感器线性范围愈宽, 则表明传感器的工作量程愈大。然而, 任何传感器都不容易保证其绝对线性, 在某些情况下, 许可限度内, 也可以在其近似线性区域应用。例如, 变极距型电容、电感传感器均采用在初始间隙附近的近似线性区内工作。选用时必须考虑被测物理量的变化范围, 令其非线性误差在允许范围以内。

(3) 传感器的分辨力

分辨力是指传感器可能感受到的被测量的最小的变化能力。输入量从某个任意值缓慢增加, 直到可以测量到输出的变化为止, 此时的输入量就是分辨率。也就是说, 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。传感器的灵敏度愈高, 分辨率愈好。

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) 迟滞

传感器在正行程(输入量增大)和反行程(输入量减小)期间其输入/输出特性曲线不重合的现象称为迟滞现象。也就是说, 对于同一大小的输入信号, 传感器的正反行程输出信号大小不相等。一般用两曲线之间输出量的最大差值与满量程输出的百分比来表示迟滞误差, 即:

$$E_h = \pm \Delta H_{\max} / Y_{fs} \times 100\%$$

$\Delta H_{\max}$ 是正向曲线与反向曲线之间的最大差值, Y_{fs} 为满量程输出值。

产生迟滞现象的主要原因是由于传感器敏感元件材料的物理性质和机械零部件的缺陷所造成的。例如, 弹性敏感元件的弹性滞后、运动部件摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动等。

(5) 重复性

传感器在输入量按同一方向作全量程多次测试时, 所得特性曲线不一致的程度为重复性误差。该误差可用正反行程的最大偏差表示, 即:

$$E_z = \pm \Delta_{\max} / Y_{fs} \times 100\%$$

$\Delta_{\max}$ 是多次测量曲线之间的最大差值, Y_{fs} 为满量程输出值。多次重复测试的曲线重复性好, 误差也小。重复性的好坏是与许多因素有关的, 与产生迟滞现象的原因相同。

(6) 稳定性与漂移

传感器的稳定性有长期和短期之分。传感器常用的长期稳定性是指在室温条件下, 经过相当长的时间间隔, 如一天、一月或一年, 传感器的输出与起始标定时的输出之间的差异。通常又用其不稳定度来表征其输出的稳定程度。

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。漂移包括零点漂移和灵敏度漂移等。零点漂移和灵敏度漂移又可分为时间漂移和温度漂移。时间漂移是指在规定的条件下, 零点或灵敏度随时间的缓慢变化; 温度漂移为环境温度变化而引起