



普通高等教育应用技术型“十三五”规划系列教材

传感器原理与检测技术

CHUANGANQI YUANLI YU JIANCE JISHU

◎ 余愿 刘芳 主编

 华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

普通高等教育应用技术型“十三五”规划系列教材

传感器原理与检测技术

主 编 余 愿 刘 芳

副主编 蔡晓燕 叶玉杰 王珊珊 马华玲

华中科技大学出版社

中国·武汉

36
2018

内 容 简 介

本书系统地介绍了各种传感器的一般结构、工作原理、主要特性、测量电路及其典型应用。

全书共 12 章。第 1 章介绍传感器的基本概念,第 2 章介绍传感器的特性,第 3 章至第 10 章分别对电阻应变式传感器、压阻式传感器、电容传感器、电感传感器、压电式传感器、热电式传感器、光电传感器、霍尔传感器进行单独介绍,第 11 章介绍其他类型的传感器,第 12 章对传感技术未来的智能化发展进行介绍。

本书内容丰富,由浅入深,便于读者从了解各类传感器的基本原理延伸至目前传感器在实际中的应用,将理论与应用技术紧密结合。

本书可作为高等院校自动控制、测控技术、电子与信息工程、计算机应用技术、仪器与仪表及机电类各专业的教材,也可供有关工程技术人员使用、参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与检测技术/余愿,刘芳主编. —武汉:华中科技大学出版社,2017.1

ISBN 978-7-5680-2496-9

I. ①传… II. ①余… ②刘… III. ①传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 012302 号

传感器原理与检测技术

余 愿 刘 芳 主 编

Chuanganganqi Yuanli yu Jiance Jishu

策划编辑:范 莹

责任编辑:熊 慧

封面设计:原色设计

责任校对:张 琳

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13

字 数:322 千字

版 次:2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:32.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

传感器技术是信息社会和新技术革命的重要技术基础,它与计算机技术、通信技术构成信息产业的三大支柱。在信息时代的今天,以传感器为核心的检测系统像神经和感官一样向人类源源不断地提供各种信息,可以说没有传感器就没有现代科学技术。因此,传感器在现代科学技术领域占据极其重要的地位。

全书共 12 章。第 1 章介绍传感器的基本概念,第 2 章介绍传感器的特性,第 3 章至第 10 章分别对电阻应变式传感器、压阻式传感器、电容传感器、电感传感器、压电式传感器、热电式传感器、光电传感器、霍尔传感器进行单独介绍,第 11 章介绍其他类型的传感器,第 12 章对传感技术未来的智能化发展进行介绍。

本书立足于基本知识,重点介绍常用传感器的工作原理、测量电路,并结合实例,与应用挂钩,加强了理论知识和实际应用的衔接。本书可作为高等院校自动控制、测控技术、电子与信息工程、计算机应用技术、仪器与仪表及机电类各专业的教材,也可供有关工程技术人员使用、参考。

本书由余愿、刘芳等人编写,其中第 1、6、9 章由余愿编写,第 2、5、12 章由刘芳编写,第 3、4 章由叶玉杰编写,第 7 章由王珊珊编写,第 8、11 章由蔡晓燕编写,第 10 章由马华玲编写。本书在编写过程中,参考了很多宝贵的文献,在此向这些文献的作者表示诚挚的谢意。

传感器技术发展迅速,且检测技术涉及的知识面非常广泛,限于编者水平,书中不免有疏漏和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 传感器的地位与作用	(1)
1.2 传感器的定义与分类	(2)
1.3 传感器的发展趋势	(4)
1.4 测量方法及测量误差	(6)
思考题	(9)
第 2 章 传感器的特性	(10)
2.1 传感器的静态特性	(10)
2.2 传感器的动态特性	(15)
2.3 传感器的标定与校准	(26)
思考题	(31)
第 3 章 电阻应变式传感器	(32)
3.1 电阻应变片的工作原理	(32)
3.2 电阻应变片的种类	(33)
3.3 电阻应变片的测量电路	(35)
3.4 电阻应变片的温度补偿	(38)
3.5 电阻应变式传感器的应用	(40)
思考题	(45)
第 4 章 压阻式传感器	(46)
4.1 压阻式传感器的工作原理	(46)
4.2 压阻式传感器的温度补偿	(47)
4.3 压阻式传感器的应用	(48)
思考题	(50)
第 5 章 电容传感器	(51)
5.1 电容传感器的基本原理	(51)
5.2 电容传感器的分类	(52)
5.3 电容传感器的测量电路	(58)
5.4 电容传感器的抗干扰问题	(64)
5.5 电容传感器的应用	(68)

思考题	(73)
第 6 章 电感传感器	(74)
6.1 自感式传感器	(74)
6.2 差动式变压器传感器	(80)
6.3 电涡流式传感器	(85)
6.4 电感传感器的应用	(89)
思考题	(95)
第 7 章 压电式传感器	(96)
7.1 压电式传感器的工作原理	(96)
7.2 压电元件常用结构形式	(101)
7.3 压电元件的等效电路及测量电路	(101)
7.4 压电式传感器的抗干扰问题	(104)
7.5 压电式传感器的应用	(105)
思考题	(109)
第 8 章 热电式传感器	(110)
8.1 热电偶	(110)
8.2 热电阻	(115)
8.3 热敏电阻	(119)
8.4 集成温度传感器	(124)
思考题	(125)
第 9 章 光电传感器	(126)
9.1 光源	(126)
9.2 光电效应	(129)
9.3 光敏电阻	(131)
9.4 光敏晶体管	(135)
9.5 光电池	(138)
9.6 光电发射器件	(141)
9.7 光电传感器的应用	(144)
思考题	(147)
第 10 章 霍尔传感器	(148)
10.1 霍尔效应与霍尔元件	(148)
10.2 集成霍尔传感器	(150)
10.3 霍尔传感器的应用	(151)

思考题	(156)
第 11 章 其他传感器原理与应用	(157)
11.1 超声波传感器	(157)
11.2 红外辐射传感器	(159)
11.3 光纤传感器	(162)
思考题	(166)
第 12 章 传感技术的智能化发展	(167)
12.1 智能化传感器的概述	(167)
12.2 智能化传感器的实现	(169)
12.3 无线传感器应用分析	(170)
12.4 智能化传感器的应用	(180)
思考题	(185)
附录 A 常用热电偶分度表	(186)
附录 B Pt100 热电阻分度表	(197)
参考文献	(200)

第 1 章 绪 论

1.1 传感器的地位与作用

随着科学技术的高度发展,人类已经进入信息时代,而在利用外部信息的过程中,首先要解决的问题就是如何获取准确可靠的信息,而传感器是获取外部信息的主要途径和重要手段。

如果用计算机控制的自动化装置或设备来替代人的劳动,则可以说计算机相当于人的大脑,而传感器则相当于人的五官部分,能感知各种信息,例如色彩、光线、声音、湿度、温度、压力,等等。它又具备人类五官在许多方面所不具备的能力,能够在人类无法忍受的缺氧、高温、放射性以及其他各种各样的恶劣环境下工作,还可以感知一些人类五官无法感知的信息,例如微弱的电流、磁场、射线等。

收集和处理信息是传感器必不可少的两个重要作用,其中处理信息是将收集的信息进行一系列变换,变换成一种与被测量具有确定的数学或物理上的函数关系的量,这种量便于传输和处理,一般是电量。例如,温度传感器将温度值转变成与被测温度值有某种确定关系的电流或电压的变化;压力传感器把压力转变成相应的电阻变化;化学传感器把被测液体中的 pH 值转变成电压的变化。

传感器技术是信息社会和新技术革命的重要技术基础,它与计算机技术、通信技术构成信息产业的三大支柱,它们在信息系统中分别起到“感官”“大脑”和“神经”的作用。在现代工业生产过程中,需要利用各种各样的传感器来监督和控制生产过程中的各个参数,使机器设备工作在正常状态或是最佳状态,以保证生产出来的产品达到最好的质量,可以说传感器是现代科学技术的开路先锋。同时,在基础学科研究中,传感器更具有突出的地位。宏观上的茫茫宇宙、微观上的粒子世界、超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、弱磁场等极端技术研究中的大部分障碍,主要在于所需对象信息的获取存在困难,而一些采用新机理和具有高灵敏度的检测传感器的问世,往往会带来相关领域内的突破。

传感器技术的应用领域涉及基础学科研究、现代工业生产、现代农业生产、家用电器、公共交通、宇宙开发、航空航天、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、军事国防等。

在工农业生产领域,工厂的自动流水生产线、全自动加工设备、许多智能化的检测仪器设备,都大量采用了各种类型的传感器来检测生产中的温度、湿度、压力、流量等参数;在交通领域,一辆汽车中的传感器就有十几种之多,分别用于检测方位、负载、车速、振动、温度、油压、油量、燃烧过程等;在家用电器领域,洗衣机要控制衣物重量、水位,空调要控制房间温度、湿度,都离不开传感器的作用;在医学诊断领域,超声波诊断仪、血压仪、电子脉搏仪,都大量使用了各种各样的传感器。

可以说“没有传感器就没有现代化的科学技术,没有传感器也就没有人类现代化的生活环境和条件”,传感器在发展科学和经济、推动社会进步方面具有十分重要的作用。

1.2 传感器的定义与分类

1.2.1 传感器的定义及组成

1. 传感器的定义

中华人民共和国国家标准《传感器通用术语》(GB/T 7665—1987)对传感器下的定义是：能感受规定的被测量件按照一定的规律(数学函数法则)转换成可用信号的器件或者装置，通常由敏感元件和转换元件组成。其中“可用信号”即便于加工处理、便于传输利用的信号，一般指电信号。

目前，对传感器定义的普遍认识局限性在于非电量与其电量的转换，即传感器是把被测的非电量(如温度、重量、力、位移、速度、加速度、角度、声音、物体的尺寸等)，转换成相应的、便于精确处理电量(如电流、电压、电阻等)的装置。当然也有少部分传感器的能量转换是可逆的，换句话说，就是传感器不仅可以把非电量转换成为电量，同时也可以把电量转换成为非电量。

通常情况下，传感器也可称为换能器、变换器、探测器。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。从狭义上讲，传感器就是能把外界非电信息转换成电信号输出的器件。从广义上讲，传感器就是能感受规定的被测量并按照一定规律将其转换成可用输出信号的器件或装置，包括如下三方面的含义。

(1) 传感器是一种测量装置，能获取外界信息。

(2) 传感器的输入量通常是非电量信号，如物理量、化学量、生物量等；而输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示等，主要是电量。

(3) 传感器的输出与输入间有对应关系，且有一定的精确度。

目前，传感器从技术角度而言发展极为迅速，已经逐渐形成一门新的学科。现在，相关技术以传感器为核心逐渐外延，形成与材料学、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、自动化等众多学科相互交叉的综合性高新密集型前沿技术。例如，美国生产出的一种智能传感器，它将硅膜片作为感知压力的敏感元件，同时其精度以及线性化精度高，并可利用微处理器修正温度漂移问题。

2. 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件和测量电路三部分组成，如图 1-1 所示。

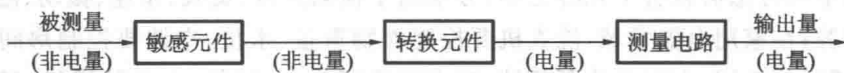


图 1-1 传感器的组成

(1) 敏感元件。敏感元件是直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。

(2)转换元件。转换元件是将敏感元件的输出量转换为适合传输和测量的电信号的部分,即将非电量转换为电量的功能元件。

(3)测量电路。测量电路将转换元件输出的电量变换成便于显示、记录、控制和处理的电压、电流、频率等电信号。根据转换元件的不同,测量电路有诸多类型,常见的测量电路有放大器、振荡器、电桥、电荷放大器等。

传感器的核心部分是转换元件,它决定了传感器的工作原理。值得注意的是,并非所有传感器都必须包括敏感元件和转换元件。如果敏感元件直接输出的是电量,它同时也是转换元件,如热电偶;如果转换元件能直接感受被测量,且能输出与之有一定关系的电量,它同时也是敏感元件,如压电元件。

1.2.2 传感器的分类

由于传感器是知识技术密集的器件,与许多学科有关,且种类繁多,因此分类方法也很多。根据国家标准制定的传感器分类体系表,将传感器分为物理型、化学型、生物型传感器三大门类,其中又包含12个小类:热学量、力学量、光学量、电学量、磁学量、声学量、气体、射线、离子、温度传感器,以及生化量、生理量传感器。各小类又有一些更为细致的分类。目前传感器的分类没有统一方法,大体有以下几种:

1. 按工作机理分类

1) 物理型传感器

物理型传感器是利用转换元件的物理性质,以及一些材料自身所独有的特殊物理性质制成的一类传感器。如利用磁阻随被测量变化而变化的电感、差动式变压器传感器;利用半导体材料、金属在被测量的作用下引起的电阻变化的电阻传感器;利用被测力作用在压电晶体下产生的压电效应而制成的压电式传感器等。

令人值得注意的是,近年来利用半导体材料制成的传感器层出不穷,主要是因为半导体材料具备一些普通材料没有的特殊性质,如利用半导体材料的压阻效应、光电效应和霍尔效应制成的压敏、光敏和磁敏传感器。

2) 化学型传感器

化学型传感器是利用电化学反应原理,监测无机和有机化学物质中的成分、浓度等,再将其转换为电信号的传感器,其中离子选择性电极是最常用的,它通过电极来测量溶液中一些经常需要的量,如pH值或某些离子活度。

电极测量的原理主要是利用电极界面(固相)与被测溶液(液相)间产生的化学反应,电极会对溶液中的离子产生选择性响应而产生电位差。电位差与被测离子活度的对数呈线性关系,因此只要测出被测离子在反应过程中引起的电位差或由其影响的电流值,即可表示成为被测离子的活度。化学传感器广泛应用于化学分析、化学工业的在线检测以及环保检测。

3) 生物型传感器

生物型传感器也是近年来发展很快的一类传感器。它是一种能够选择性地识别生物活性物质和测定生物化学物质的传感器。生物活性物质可以选择性地亲和某种物质,这种特殊功能也称功能识别能力。这种识别能力可用来判断某种物质存在与否及其浓度,再利用电化

的方法将其转换为电信号。

生物型传感器主要由两大部分组成。其一为功能识别物质,被测物质可以被它特定识别。其二是电、光信号转换装置,此装置可以将功能膜上进行的识别被测物所产生的化学反应转换成便于传输的电信号或光信号。生物型传感器最大的特点就是能在分子水平上识别被测物质,因此它在医学诊断上有着广阔的应用前景。

2. 按构成原理分类

1) 结构型传感器

结构型传感器是利用物理学中场的定律构成的,包括动力场的运动定律、电磁场的电磁定律等。传感器的工作原理是以传感器中元件相对位置变化引起场的变化为基础而不是以材料特性变化为基础,这是这类传感器的特点。

2) 物性型传感器

物性型传感器是利用物质定律构成的,如胡克定律、欧姆定律等。这种定律大多数是以物质本身的常数形式给出的。传感器的主要性能由这些常数的大小决定。因此,物性型传感器的性能随材料的不同而异。

3. 按能量转换情况分类

1) 能量转换型传感器

能量转换型传感器主要由能量变换元件构成,不需外加电源(有源传感器)。

2) 能量控制型传感器

能量控制型传感器在信息变化过程中,其能量需要外电源供给(无源传感器)。

4. 按测量原理分类

目前市面上传感器的测量原理主要是在电磁原理和固体物理学理论的基础上发展而来的。例如,电位器式、应变式传感器是根据变电阻的原理构成的;电感式、差动变压器式、电涡流式传感器是根据变磁阻的原理构成的;半导体力敏、热敏、光敏、气敏等固态传感器是根据半导体有关理论构成的。

5. 按输入量分类

如输入量分别为加速度、速度、位移、湿度、压力、温度等非电量,则对应的传感器分别称为加速度传感器、速度传感器、位移传感器、湿度传感器、压力传感器、温度传感器等。按输入量分类的优点是比较明确直接地表达了传感器的用途,便于使用者根据用途选用。但缺点是没有区分每种传感器在转换机理上有什么共性和差异,不便于使用者比较各种传感器的原理异同点。

当然,还有一些其他的分类方法,诸如:按传感器的功能分类,有单功能传感器、多功能传感器和智能传感器;按传感器的转换原理分类,有机械—电传感器、光—电传感器、热—电传感器、磁—电传感器及电化学传感器等。

1.3 传感器的发展趋势

从17世纪初,人们就开始利用温度计测量温度,直到1821年德国物理学家赛贝发明了传

感器,才真正把温度变成电信号,这就是后来的热电偶传感器。在半导体经过相当长一段时间的发展以后,又开发了PN结温度传感器、半导体热电偶传感器和集成温度传感器。与之相应,根据波与物质的相互作用规律,相继开发了红外传感器、微波传感器和声学温度传感器。

美国早在20世纪80年代就声称世界已经进入传感器时代。我国的传感器发展也有50多年历史。20世纪80年代,改革开放给传感器行业带来了生机与活力,传感器行业进入了新的发展时期。现在,传感器的应用已经遍及工业生产、海洋探测、环境保护、医学诊断、生物工程等多方面的领域,几乎所有的现代化项目都离不开传感器的应用。在我国的传感器市场中,国外的厂商占据了较大的份额,虽然国内厂商也有了较快的发展,但其产品仍然与国际传感器技术有差距。近年来,由于国家的大力支持,我国建立了传感器技术国家重点实验室、微米/纳米国家重点实验室、机器人国家重点实验室等研发基地,初步建立了敏感元件和传感器产业。于此同时,强烈的技术竞争必然会导致技术的飞速发展,促进我国传感器技术的快速进步。

目前,从发展前景来看,传感器今后的发展将会具有以下几个特点:

1. 传感器的固态化

物性型传感器又可以称为固态传感器,目前发展很快。它包括电介质、强磁性体和半导体三类,最引人注目的则是半导体传感器的发展。它不仅小型轻量、灵敏度高、响应速度快,而且对传感器的集成化和多功能化发展十分有利。例如,目前最先进的固态传感器,在一块芯片上集成了差压、静压和温度三个传感器,差压传感器具有温度和压力补偿功能。传感器的固态化是基于新材料的开发才得以发展的。

2. 传感器的集成化

随着传感器应用领域的不断扩大,借助半导体的光刻技术、蒸镀技术、组装技术及精密细微加工等相关技术的发展,传感器正朝着集成化方向发展。将敏感元件、信息处理或转换单元及电源等部分利用半导体技术制作在同一芯片上即是传感器的集成化,如集成压力传感器、集成温度传感器、集成磁敏传感器等。

3. 传感器的多功能化

传感器的多功能化就是把具有不同功能传感器元件集成在一起,传感器也因此具有多种参数的检测功能,这是传感器发展方向之一。例如,美国某大学传感器研究发展中心研制的单片硅多维力传感器可以同时测量3个线速度、3个离心加速度(角速度)和3个角加速度。其主要组成是由4个正确设计安装在一个基板上的悬臂梁组成的单片硅结构、9个正确布置在各个悬臂梁上的压阻敏感元件。多功能化不仅可以有效提高传感器的稳定性、可靠性等性能指标,而且可以降低生产成本、减小体积。

4. 传感器的微型化

随着计算机技术的发展,辅助设计(CAD)技术和集成电路技术迅速发展,微机电系统(MEMS)技术应用于传感器技术,从而引发了传感器的微型化。

5. 传感器的图像化

目前,传感器的应用不仅只限于对某一点物理量的测量,从是开始研究从一维、二维到三维空间的测量问题。现在已经研制成功的二维图像传感器有MOS型、CCD型、CID型全固体式摄像器件等。

6. 传感器的智能化

传感器的智能化就是将传感器与微处理机结合,使其不仅具有检测功能,还具有信息处理、逻辑判断、自诊断及“思维”等人工智能的技术。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。可以说智能传感器是传感器技术与大规模集成电路技术相结合的产物,而传感器技术与半导体集成化工艺水平的提高与发展会大大促进传感器智能化的进程。

1.4 测量方法及测量误差

1.4.1 测量方法的分类

测量是借助专门的技术和仪表设备,采用一定方法取得在某一条件下被测量客观存在的实际值的过程,它直接关系到检测任务是否能够顺利完成,是检测系统中十分重要的环节。因此需针对不同的检测目的和具体情况进行分析,然后找出切实可行的测量方法,再根据测量方法选择合适的检测技术工具,组成一个完整的检测系统,进行实际测量。对于测量方法,从不同的角度出发,可有不同的分类方法。

1. 根据测量手段分类

根据测量手段,测量可分为直接测量、间接测量和组合测量(联立测量)。

1) 直接测量

在使用传感器仪表进行测量时,只需读出测量仪表的读数,无须任何运算处理,就可以得到测量所需要的结果,称为直接测量。例如,用针式电压表测量电路电压,用弹簧管式压力表测量锅炉的压力等就是直接测量。直接测量的优点是测量过程十分迅速,比较简单,缺点是测量精度不是很高。这种测量方法在工程上被广泛采用。

2) 间接测量

有的被测量不便于或无法直接测量,在使用仪表进行测量的过程中,首先测量与被测物理量有确定函数关系的几个量,然后将测量值代入函数关系式,经过计算得到所需结果,这种方法称为间接测量。例如,为了求出生产线传送带传送物件的速度,先用直接测量测出物件被传送的距离和传送时间,然后由速度公式计算出物件的速度。

间接测量比直接测量所需要测量的量要多,而且需要根据函数进行计算,引起误差的因素也比较多,但如果对误差进行分析并选择和确定优化的测量方法,在比较理想的条件下进行间接测量,测量结果的精度不一定低,有时还可得到较高的测量精度。间接测量一般用于不方便直接测量或者缺乏直接测量手段的场合。

3) 组合测量

在使用仪表进行测量时,若被测物理量必须经过联立方程组经运算求解,才能得到最后结果,则称这样的测量为组合测量。在使用这种测量方法时,一般需要多次改变测试条件,才能获得一组联立方程所需要的数据。组合测量是一种特殊的精密测量方法,操作较复杂,花费时间很长,一般适用于科学实验或特殊场合。

2. 根据测量方式分类

根据测量方式,测量可分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

1) 偏差式测量

被测量的量值由仪表指针的位移(即偏差)决定,这种测量方法称为偏差式测量。应用偏差式测量时,仪表刻度事先用标准器具标定。在测量过程中,先将被测量输入,按照仪表指针标示在标尺上的测量值,决定被测量的数值。这种方法测量过程比较简单、迅速,但测量结果精度一般都较低。

2) 零位式测量

零位式测量是指检测测量系统的平衡状态用仪表的零位表示,在测量系统平衡时,被测量的量值由已知的标准量决定的测量方法。应用这种测量方法进行测量时,将已知标准量直接与被测量相比较,已知量应连续可调。所谓连续可调是指零仪表指零时,已知标准量与被测量相等。例如,天平、电位差计等都属于零位式测量仪器。零位式测量的优点是可以获得比较高的测量精度,但测量过程比较复杂,测量时要进行平衡操作,耗时较长,所以不适用于测量快速变化的信号。

3) 微差式测量

微差式测量是将偏差式测量与零位式测量的优点综合起来而得到的一种测量方法。它将被测量与已知的标准量相比较,取得差值后,再用偏差式测量测得此差值。故这种方法的优点是反应快,而且测量精度高,特别适合用于在线控制参数的测量。

3. 根据测量的精度分类

根据测量的精度,测量可分为等精度测量和非等精度测量。

在整个测量过程中,若影响和决定测量精度的全部因素(条件)始终保持不变,如用同一台仪器,用同样的方法,在同样的环境条件下,对同一被测量进行多次重复测量,这种测量称为等精度测量。在实际中,很难做到这些因素(条件)全部始终保持不变,所以一般情况下只是近似地认为是等精度测量。用不同精度的仪表或不同的测量方法,或在环境条件相差很大的情况下对同一被测量进行多次重复测量,称为非等精度测量。

4. 根据被测量变化情况分类

根据被测量变化情况,测量可分为静态测量和动态测量。

被测量在测量过程中认为是固定不变的这种测量称为静态测量。静态测量不需要考虑时间因素对被测量的影响。若被测量在测量过程中是随时间变化而不断变化的,这种测量称为动态测量。

1.4.2 测量误差

1. 测量误差的基本概念

在学习测量误差前需要了解一些基本术语的概念。

真值:被测量在一定条件下客观存在的、实际具备的量值。真值是无可确切获知的,实际测量中常用“约定真值”和“相对真值”。约定真值是由约定的办法而确定的真值,如砝码的质量。相对真值是指具有更高精度等级的计量器的测量值。

标称值:标注在计量或测量器具上的量值,如标准砝码上标注的质量。

测量误差:测量结果与被测量真值之间的差值。

误差公理:一切测量都具有误差,误差自始至终存在于所有科学实验的过程之中。找出适当的方法减小误差是研究误差的目的,使测量结果更接近真值。

准确度:用于综合测量结果中系统误差与随机误差,表示测量结果与真值的一致程度,由于真值未知,准确度是个定性的概念。

测量不确定度:表示不能确定测量结果的程度,或说是表征测量结果分散性的一个参数。它只涉及测量值,是可以量化的。经常由被测量算术平均值的标准差、相关量的标定不确定度等联合表示。

重复性:对同一被测量在相同条件下进行多次测量所得到的结果之间的一致性。相同条件包括相同的测量方法、观测人员、测量程序、测量地点和测量设备等。

2. 误差的表示方法

(1)绝对误差 ΔA :测量值 A_x 与真值 A_0 之差。它的相反数称为修正值。

$$\Delta A = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

(2)相对误差 γ_0 :绝对误差与真值之比。

$$\gamma_0 = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

(3)引用误差 γ_m :绝对误差与测量仪表量程 A_m 之比。

$$\gamma_m = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

式(1-3)中,当 ΔA 取仪表的最大绝对误差 ΔA_{\max} 时,引用误差常被用来评价仪表的精度等级 S ,即

$$S = \left| \frac{\Delta A_{\max}}{A_m} \right| \times 100 \quad (1-4)$$

我国目前规定的仪表精度等级 S 有 0.005、0.01、0.02、0.04、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0、5.0。精度等级数值越小,测量的精确度越高,仪表的价格越昂贵。仪表的精度等级同时也表示对应仪表的引用误差不应超过的百分比。工业上常用等级仪表的精度等级和基本误差如表 1-1 所示。

表 1-1 仪表的精度等级和基本误差

精度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	4.0	5.0
基本误差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 4.0\%$	$\pm 5.0\%$

3. 误差的分类

1)按引起误差的原因和类型分类

引起误差的原因和类型很多,表现形式也多种多样。按其分类,误差可分为如下几种。

(1)工具误差:由测量仪器和装置所带来的误差。

(2)方法误差:测量方法不正确引起的误差,包括测量时所依据的原理不正确而产生的误差,这种误差也称原理误差或理论误差。

(3)环境误差:在测量过程中,因环境条件的变化而产生的误差,包括环境的温度、湿度、电

场、磁场、振动等的变化而产生的误差。

(4) 人员误差: 测量者主观判断和操作熟练程度引起的误差。

2) 按误差性质分类

按误差性质, 误差可分为以下几种。

(1) 粗大误差: 指那些误差数值特别大, 测量结果中有明显错误的误差, 也称粗差。出现粗大误差的原因是测量人员测错、读错、记错、计算错误、测量时仪器出错等。

(2) 系统误差: 在重复性测量条件下, 多次测量同一物理量时, 误差不变或按一定规律变化, 这样的误差称为系统误差。它是具有确定性规律的误差, 可以用非统计的函数来描述。引起系统误差的原因是系统效应, 如环境条件的变化、电源电压不稳、机械零件变形移位、仪表零点漂移等。

(3) 随机误差: 在相同测量条件下, 多次测量同一物理量时, 误差的绝对值与符号以非预定的方式变化着。也就是说, 产生误差的原因及误差数值的大小、正负是随机的, 没有确定的规律性, 这样的误差就称为随机误差。

思考题

1. 什么是传感器?
2. 传感器的组成是什么? 每部分有什么作用?
3. 传感器有哪些分类方法?
4. 传感器的发展方向是什么?
5. 某 1.0 级电压表, 量程为 300 V, 求测量值 U_x 分别为 100 V 和 200 V 时的最大绝对误差和相对误差。

第2章 传感器的特性

为了更好地掌握和使用传感器,必须充分地了解传感器的基本特性。传感器的基本特性是指系统的输入-输出关系特性,即系统输出信号 $y(t)$ 与输入信号(被测量) $x(t)$ 之间的关系。根据传感器输入信号 $x(t)$ 是否随时间变化而变化,其基本特性分为静态特性和动态特性两类,它们是系统对外呈现的外部特性,但与其内部参数密切相关。不同的传感器,其内部参数不同。因此其基本特性也表现出不同的特点。一个高精度传感器必须具有良好的静态特性和动态特性,才能保证信号无失真地按规律转换。对传感器性能的研究分为静态特性研究和动态特性研究两种。

2.1 传感器的静态特性

静态量指输入量不随时间变化而变化的信号或变化很慢的信号。当传感器的输入信号是常量,不随时间变化而变化(或变化极缓慢)时,其输入-输出关系特性称为静态特性。传感器的静态特性表示输入量 x 不随时间变化而变化,输出量 y 与输入量 x 之间的函数关系。但是,实际上,输出量与输入量之间的关系在不考虑迟滞及蠕变效应下,可由下列代数方程式确定,通常表示为

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots + a_n x^n \quad (2-1)$$

式中: y 为输出量; x 为输入量; a_0 为零位(点)输出; a_1 为理论灵敏度; a_2, a_3, \dots, a_n 为非线性项系数。

当 $a_0 = 0$ 时,由以上多项式方程获得的静态特性经过原点,此时,静态特性由线性项($a_1 x$)和非线性项($a_2 x^2, a_3 x^3, \dots, a_n x^n$)叠加而成。各项系数不同,决定了特性曲线的具体形式。

- (1)理想线性性: $y = a_1 x$
- (2)具有 x 奇次项的非线性性: $y = a_1 x + a_3 x^3 + a_5 x^5 + \dots$
- (3)具有 x 偶次项的非线性性: $y = a_2 x^2 + a_4 x^4 + a_6 x^6 + \dots$
- (4)具有 x 奇、偶次项的非线性性: $y = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots$

传感器的静态指标包括以下 9 个。

(1)线性度:指系统标准输入-输出特性(标定曲线)与拟合直线的不一致程度,也称非线性误差。也可以说,线性度是指其输出量与输入量之间的关系曲线偏离理想直线的程度。一般传感器的输入-输出特性关系如图 2-1 所示。

静态特性曲线可实际测试获得。在获得特性曲线之后,可以说问题已经得到解决。但是为了标定和数据处理的方便,希望得到线性关系。这时可采用各种方法,其中也包括硬件或软件补偿,进行线性化处理。

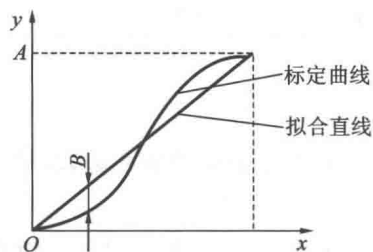


图 2-1 输入-输出特性关系
 y —输出量; x —输入量