

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术 / 张永花, 龙志文主编. —上海: 华东
师范大学出版社, 2014. 2
十二五创新机电一体化系列教材
ISBN 978—7—5675—1736—3

I. ①传… II. ①张… ②龙… III. ①传感器—高等
职业教育—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 024228 号

传感器技术

总 主 编 吕景泉
主 编 张永花 龙志文
项目编辑 吴 余
装帧设计 创图文化

出版发行 华东师范大学出版社
社 址 上海市中山北路 3663 号 邮编 200062
网 址 www.ecnupress.com.cn
电 话 021—60821616 行政传真 021—62572105
客服电话 021—62865537 门市(邮购)电话 021—62869887
地 址 上海市中山北路 3663 号华东师范大学校内先锋路口
网 店 <http://hdsdcbs.tmall.com>

印 刷 者 成都市海翔印务有限公司
开 本 787×1092 16 开
印 张 19.5
字 数 490 千字
版 次 2014 年 7 月第 1 版
印 次 2014 年 7 月第 1 次
书 号 ISBN 978—7—5675—1736—3/TB·075
定 价 49.00 元

出 版 人 朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题,请寄回本社客服中心调换或电话 021—62865537 联系)

目 录



项目一 认识传感器

任务一	传感器在各领域的应用	3
任务二	传感器的发展趋势	7
任务三	传感器的基本特性	13

项目二 温度的检测

任务一	金属热电阻测温	25
任务二	热敏电阻测温	32
任务三	热电偶测温	39
任务四	集成温度传感器测温	50
任务五	数字式温度传感器测温	57
任务六	温度传感器在热处理电炉温度控制中的应用	62

项目三 力与压力的检测

任务一	电阻应变式传感器测力	71
任务二	压电式传感器测力	81
任务三	力传感器在电子秤中的应用	90

项目四 流量的检测

任务一	电磁式流量计	96
任务二	热式质量流量计	102
任务三	超声波式流量计	108
任务四	流量计在家用水表中的应用	113



项目五 位置的检测

任务一 金属物的位置检测	126
任务二 磁性物的位置检测	133
任务三 光电式接近开关	143
任务四 电容式接近开关	157
任务五 位置传感器在自动生产线中的应用	161

项目六 物位的检测

任务一 浮力式液位检测	171
任务二 压力法检测液位	177
任务三 其他物位传感器	183
任务四 物位传感器在锅炉液位调节中的应用	190

项目七 位移的检测

任务一 电位器式位移传感器测量位移	203
任务二 差动变压器式位移传感器测量位移	209
任务三 感应同步器测量位移	216
任务四 光栅位移传感器测量位移	227
任务五 其他位移传感器测量位移	236
任务六 光纤位移传感器在测距中的应用	245

项目八 环境量的检测

任务一 环境的湿度检测	253
任务二 气体浓度的检测	261

项目九 信号处理与抗干扰技术

任务一 信号处理与变换	275
任务二 抗干扰技术	294

参考文献	304
------------	-----

项目一 认识传感器

项目目标

本项目包括传感器的概念、构成、应用、发展以及性能指标等内容。

知识目标	技能目标
1. 了解传感器的应用及发展趋势； 2. 理解测试系统的组成； 3. 掌握传感器的基本特性。	1. 认识传感器的作用； 2. 了解传感器的应用场合。



传感器能够把自然界的各种物理量、化学量等转换成电信号,再经过处理,从而实现非电量的检测,这个过程跟人的感官系统相类似。人们要感官外界的信息,需要用到视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉等,如通过视觉(眼睛)我们可以看到物体的大小、形状、颜色等,通过听觉(耳朵)可以听到声音,通过嗅觉(鼻子)可以闻到气味,通过触觉(皮肤)可以感觉到物体的冷热等。人的眼睛相当于光电式传感器,如 CCD、光敏电阻等;耳朵相当于压力传感器,如电容式和压电式传感器等;人的皮肤相当于压力、温度、湿度传感器的集成,如应变传感器、热电阻传感器等;人的鼻子相当于气敏传感器;人的舌头相当于味觉传感器,如离子传感器等。

传感器技术是一门随着现代科学技术发展而迅猛发展的综合性技术学科,广泛应用于人类的社会生产和科学研究中,起着越来越重要的作用,成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要技术。它与通信技术、计算机技术一起分别构成信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”,是信息技术的三大支柱(传感技术、通信技术和计算机技术)之一。

传感器(transducer/sensor)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。



任务一 传感器在各领域的应用

任务目标

- 理解传感器的概念；
- 了解传感器的组成及分类；
- 了解传感器的应用。

任务描述

本任务包括传感器应用、概念、分类等内容,通过完成任务的学习,熟悉传感器的分类;通过查阅资料,了解传感器在工业控制等领域中的应用,培养学习本门课程的兴趣。



相关知识

1. 传感器的主要应用

新技术革命的到来,世界开始进入信息时代。在利用信息的过程中,首先要解决的就是要获取准确可靠的信息,而传感器是获取自然和生产领域中信息的主要途径与手段。

在现代工业生产尤其是自动化生产过程中,要用各种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数,使设备工作在正常状态或最佳状态,并使产品达到最好的质量。可以说,没有众多优良的传感器,现代化生产也就失去了基础,现代化的工业产品也就失去了功能。一辆汽车需要检测车速、方位、转矩、振动、油压、油量、温度等参数,需要配备 30~100 余种传感器及配套检测仪表;一条自动生产线中需要 20~100 余种传感器及配套检测仪表,用来监测各部位的参数(如:位置、压力、流量等)。如图 1-1、图 1-2 所示。可见传感器与检测技术在工程技术领域占有非常重要的地位。

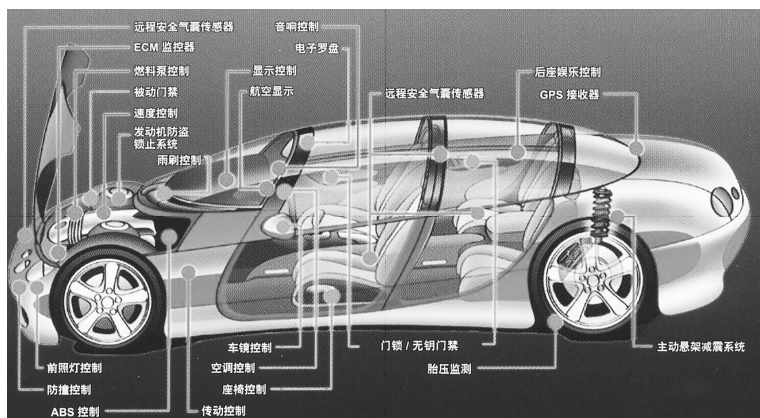


图 1-1 传感器在汽车中的应用

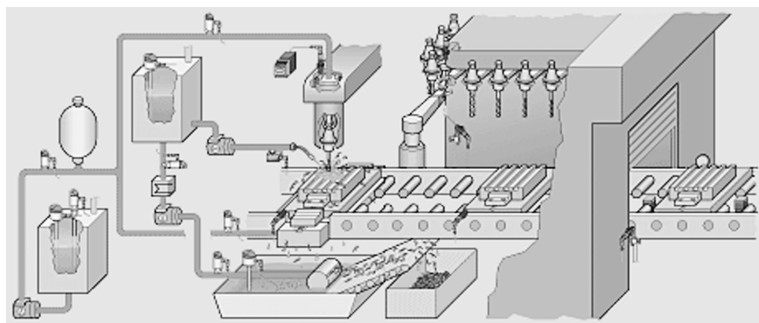


图 1-2 传感器在生产中的应用示意图

在军事上传感器的应用极为广泛,可以说无时不用、无处不用,大到星体、导弹、飞机、舰船、坦克、火炮等装备系统,小到单兵作战武器;从参战的武器系统到后勤保障;从军事科学试验到军事装备工程;从战场作战到战略、战术指挥;从战争准备、战略决策到战争实施,遍及整个作战系统及战争的全过程,而且必将在未来的高技术战争中促使作战的时域、空域和频域更加扩大,更加影响和改变作战的方式和效率,大幅度提高武器的威力和作战指挥及战场管理能力。



图 1-3 传感器在军事中的应用

在基础学科研究中,传感器更具有突出的地位。现代科学技术的发展,进入了许多新领域:例如在宏观上要观察上千光年的茫茫宇宙,微观上要观察小到纳米的粒子世界,纵向上



要观察长达数十万年的天体演化,短到毫秒的瞬间反应。此外,还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术研究,如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等。

传感器在我们的生活中无处不在,下面是在我们身边的一些传感器的应用。



图 1-4 传感器在生活中的应用

传感器早已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、甚至文物保护等等极其广泛的领域。可以毫不夸张地说,从茫茫的太空,到浩瀚的海洋,乃至各种复杂的工程系统,几乎每一个现代化项目,都离不开各种各样的传感器。

由此可见,传感器技术在发展经济、推动社会进步方面的重要作用,是十分明显的。世界各国都十分重视这一领域的发展。

查阅资料,看一下传感器的最新应用。

链接一:中国传感器网:<http://www.8339.org/>

链接二:中国传感器门户:<http://www.cgqmh.com/>

2. 什么是传感器

国家标准 GB7665—87 对传感器下的定义是:能感受规定的被测量件并按照一定的规律(数学函数法则)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。

在新韦式大词典中定义为:从一个系统接受功率,通常以另一种形式将功率送到第二个系统中的器件。根据这个定义,传感器的作用是将一种能量转换成另一种能量形式,所以不少学者也用“换能器(Transducer)”来称谓“传感器”。

传感器的输出量通常是电信号,它便于传输、转换、处理、显示等。电信号有很多形式,如电压、电流、电容、电阻等,输出信号的形式通常由传感器的原理确定。



3. 传感器的组成

传感器的组成按其定义一般由敏感元件、转换元件、信号调理转换电路三部分组成，有时还需外加辅助电源提供转换能量。其中，敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分；转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适合于传输或测量的电信号部分。由于传感器输出信号一般都很微弱，因此传感器输出的信号一般需要进行信号调理与转换、放大、运算与调制之后才能进行显示和参与控制。

随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用，已经实现了将传感器的信号调理转换电路与敏感元件一起集成在同一芯片上成为传感器模块或集成式传感器，如集成温度传感器 AD590、DS18B20 等。

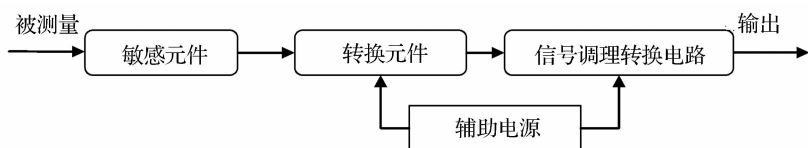


图 1-5 传感器的组成

4. 传感器的分类

传感器从不同的角度有许多分类方法，对某一物理量的测量可以使用不同的传感器，而同一传感器也可以测量不同的多种物理量。目前一般采用两种分类方法：一种是按被测量分类，如对温度、压力、位移、速度等的测量，相应的有温度传感器、压力传感器、位移传感器、速度传感器等；另一种是按传感器的工作原理分类，如按应变原理工作式、按电容原理工作式、按压电原理工作式、按磁电原理工作式、按光电效应原理工作式等，相应的有应变式传感器、电容式传感器、压电式传感器、磁电式传感器、光电式传感器等。

典型案例 1-1 传感器在装配生产线中的使用

生产线中传感器用于感知外部信息，用于检测位置、颜色等信息，并且把相应的信号传递给生产线的控制系统。

常见的传感器有：压电传感器、磁电传感器（磁控开关等）、光电传感器（光电开关、光纤传感器等）、气敏传感器等。

知识链接：自动生产线安装与调试精品课程网站：<http://222.133.182.252/zdscx/>



检查与评价

1. 举几个传感器典型应用案例,查阅资料,明确传感器的名称和类别。
2. 传感器在装配生产线中广泛应用,请根据知识链接查询传感器在某种自动线中的应用。

小结

任务从工业生产线、医学、军事、家庭等场合讲解了传感器的应用,让读者对传感器有基础的了解,知道传感器就在我们的身边,与我们的生活息息相关,从而让读者对课程产生兴趣。任务还给出了传感器的定义以及组成,使读者可以规范化地理解传感器。

任务二 传感器的发展趋势

任务目标

- 了解传感器的发展趋势。

任务描述

本任务包括传感器的发展趋势,通过完成本任务的学习,了解传感器的发展方向,掌握学习和研究的方法,培养学习本门课程的兴趣。



相关知识

在科学技术领域、工农业生产以及日常生活中,传感器发挥着越来越重要的作用。人类社会对传感器提出越来越高的要求是传感器技术发展的强大动力,而现代科学技术突飞猛进的发展则提供了坚强的后盾。随着科技的发展,传感器也在不断的更新发展。未来传感器将沿着人们的需求向更好的服务方向发展。

未来的传感器必须具有:智能化、微型化、多功能化、高灵敏化、网络化等优良特征。



1. 智能化

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,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。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,它的实现将取决于传感技术与半导体集成化工艺水平的提高与发展。这类传感器具有高性能、体积小、适宜大批量生产和使用方便等优点,可以肯定地说,是传感器重要的方向之一。



图 1-6 智能化传感器

2. 微型化

由于计算机技术的发展,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,从而引发了传感器微型化。

MEMS 是“微机械电子系统”的英文缩写。微机电系统是采用微机械加工技术,将微型传感器、微型执行器、微型机构和相应的处理电路集成在一起的微型器件或微型系统。MEMS 为“微米级”加工技术。1988 年美国科学家研制成功第一台静电电动机,其转子直径 120 微米,厚 1 微米。在 380V 电压驱动下,最大转速每分钟 500 转。



图 1-7 静电电动机

下面两张图是传统陀螺仪跟 MEMS 陀螺仪的比较:



图 1-8 传统陀螺仪与 MEMS 陀螺仪

自海湾战争以来,美军越来越多地使用精确制导武器,实行战场上的精确打击。为了提高命中精度,将惯性导航系统(陀螺仪)和 GPS 复合后作为制导技术。

GPS 提供时间和定位数据,并校准陀螺仪;而陀螺仪提供飞行参数,在 GPS 信号中断期间进行导航。二者取长补短,提高导航精度。

3. 网络化

随着通讯技术的发展,无线技术也应用到传感器中。在航天技术中,我们通过卫星把传感器的采集数据发回地面,从而了解太空中的所有情况。

无线传感器网络是利用大量的微型传感器(结点),通过无线通信形成网络,用来感知现场的信息。结点中的微处理器对原始数据进行初步处理后,经网络层层转发,最终发送给基站,再由基站传送给用户,从而实现对现场的监控。无线传感器网络由成千上万个微型传感器组成,每个微型传感器称为网络的一个“结点”。

无线传感器网络起源于军事研究。现代战争被喻为“感知者的胜利”。只有拥有全天候、抗干扰、高灵敏度的传感器,才会有“透明的战场”。自阿富汗和伊拉克战争以来,各军事强国都非常重视网络和传感器的重要作用,以提高“战场感知”能力。

上世纪 60 年代越战期间,越南北方通过老挝和柬埔寨境内的秘密通道——胡志明小道向南方输送军用物资和人员。胡志明小道处于密林中,美军很难发现。为了切断这条运输通道,美军对其狂轰滥炸,但效果不大。



图 1-9 越南胡志明小道

后来,美军在胡志明小道投下 2 万多枚,被称为“热带树”的战场传感器系统,为轰炸机提供准确的信息。“热带树”由震动和音响传感器组成。传感器落地后插入泥土中,仅露出伪装成树枝的无线电天线,因而被称为“热带树”。当人员和车辆在其附近活动时,“热带树”便探测到目标产生的震动和声音信息,并通过无线电通信传送到指挥中心。“热带树”的



传感器技术

成功应用,促使许多国家纷纷研制各种地面传感器系统。这是无线传感器最早的应用。

如今无线传感器的应用越来越广泛。

(1)精准农业:精准农业是在现代信息技术、生物技术、工程技术基础上发展起来的现代农业生产形式。其核心技术是农田地理信息系统、全球定位系统、遥感技术和计算机自动控制技术。



图 1-10 传感器在现代农业中的应用

(2)桥梁结构监测:监测风速、风向、温度、湿度、能见度、降雨强度等。

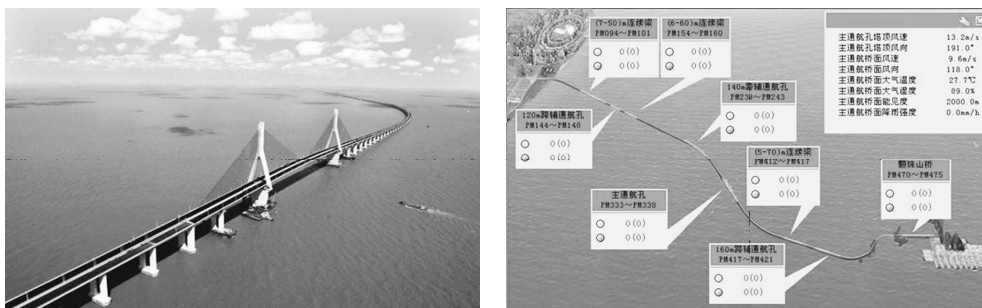


图 1-11 传感器在桥梁中的应用

(3)上海浦东机场的周界防入侵系统:在机场四周设立无线传感器警戒网,形成低空、地面、地下三维立体报警体系。每个结点由震动、声响、磁场和微波传感器等组成。通过网络,可以随时监测周边实况。



图 1-12 浦东机场中的传感器

(4)便携式心脏监护器:监护器内整合了电极、生物传感器、微型计算机芯片和无线发射电路。将监护器安置在患者身上或植入体内,24 小时监测心律不齐症状。医生通过无线网络可以及时了解每位病人的病情。这种便捷诊断可以大范围实施,并可降低急救成本。

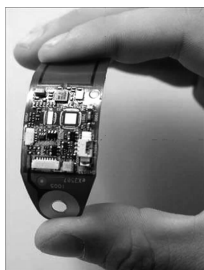


图 1-13 便携式心脏监护器

(5)太湖水自动监测工程:在太湖大范围水域布放传感器,通过无线传输方式 24 小时监测太湖水质的各项变化,并将数据及时传回数据中心。



图 1-14 太湖水自动监测工程

无线传感器网络引起了全世界的关注,被认为是继互联网之后的第二大网络。无线传



传感器技术

感器网络被称为 21 世纪最具影响的技术之一,是改变世界的十大新兴技术之首,是全球未来的四大高新技术产业之一。在无线传感器网络研究及其应用方面,我国与发达国家几乎同步启动,它已经成为我国信息领域位居世界前列的少数项目之一。

4. 微型化

纳米技术的发展,为传感器提供了优良的敏感材料,纳米技术中的关键技术 STM、研究对象向纳米尺度过度的 MEMS 技术等,推动了传感器的制作水平,为传感器的微型化提供了可能。

5. 功能化

传感器的多功能化也是其发展方向之一。所谓多功能化的典型实例: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,主要元件是由 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及 9 个准确布置在各个悬臂梁上的压阻敏感元件,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。多功能化不仅可以降低生产成本,减小体积,而且可以有效地提高传感器的稳定性、可靠性等性能指标。



图 1-15 二氧化碳智能控制器

检查与评价

1. 总结传感器的发展趋势;
2. 预测传感器未来发展方向。

巩固与拓展



1. 医护衬衣

这种衬衣带有多个传感器以及信号发射装置。它可以检测穿着者的体温、心跳和血压等数据,并通过卫星将这些数据传送到医院,便于医护人员对病人实行远程看护。一旦发生



紧急情况,医护人员可以通过衬衣上的卫星定位装置及时找到病人进行抢救。

2. 变色衣服

这种衣服里面有很多传感器,能依照周围的环境变化改变颜色,能测量人们的心跳,自动调节衣服里的温度,并能检测周围环境的好坏。它的面料是透气的,平时穿着十分舒适,但在检测到周围环境污染严重时又能在瞬间密闭,与外界完全隔离。

小结

任务主要介绍了传感器的发展趋势,主要有智能化、微型化、功能化、网络化等。并给出了一定的实例,增强了对传感器的认识,让读者明确传感器的发展方向,以及自己的学习重点。

任务三 传感器的基本特性

任务目标

- 掌握传感器的静态特性指标;
- 理解传感器的动态特性参数;
- 理解传感器的标定和校准;
- 掌握传感器的选用原则。

任务描述

本任务包括传感器的性能指标、传感器的标定和校准、选用原则等内容,通过完成任务的学习,熟悉传感器的静态、动态性能指标,传感器的标定和校准、着重掌握传感器的选用原则。



相关知识

传感器一般将各种信息量(物理量、化学量、生物量)转换为电量,描述这种转换的输入



与输出关系表达了传感器的基本特性。对不同的输入信号,输出特性是不同的,对快变信号与慢变信号,由于受传感器内部储能元件(电感、电容、质量块、弹簧等)的影响,反应传感器的不同特性。快变信号要考虑传感器系统的动态特性,即随时间变化的特性;慢变信号要研究静态特性,即不随时间变化的特性。

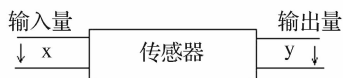


图 1-16 传感器的输入输出关系

传感器的各种性能由传感器输入与输出之间的关系来描述,视传感器为具有输入输出的二端口网络。

当输入量(X)为静态(常量)或变化缓慢的信号时(如温度、压力),讨论传感器的静态特性,输入输出关系称静态特性。

当输入量(X)随时间变化时(如加速度、振动),讨论传感器的动态特性,输入输出关系称动态特性。

1. 传感器静态特性

(1) 线性度

传感器输入输出关系可以用多项式表示:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \cdots + a_n x^n \quad (1.1)$$

其中:

X:输入量;Y:输出量; a_0 : $x = 0$ 时的输出值; a_1 :理想灵敏度; $a_2, a_3, \cdots, a_n$:为非线性项系数。

一个理想的传感器我们希望它们具有线性的输入输出关系,由于实际传感器输入总有非线性(高次项)存在,X—Y总是非线性关系。在小范围内用割线、切线近似代表实际曲线使输入输出线性化。近似后的直线与实际输入-输出的特性曲线之间存在的最大偏差称传感器的非线性误差——线性度,通常用相对误差表示:

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1.2)$$

式中: $\Delta L_{\max}$ 为最大非线性绝对误差, Y_{FS} 为满量程输出值, γ_L 为线性度。

提出传感器系统的非线性误差,必须说明所依据的基准直线,按照基准直线获取的方法不同,选取拟合的方法有:理论线性度、端基线性度、独立线性度、最小二乘法线性度。

(2) 迟滞

传感器在正、反行程期间,输入、输出曲线不重合的现象称迟滞。例:一个电子秤称重过程如下:

加砝码: 10g — 50g — 100g — 200g 减砝码: 200g — 100g — 50g — 10g
电桥输出: 0.5mv — 2mv — 4mv — 10mv 电桥输出: 10mv — 5mv — 1mv — 0.5mv



其输入输出特性如图 1-17 所示。可以看出,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,这个差值称为迟滞差值。传感器在全量程范围内最大的迟滞差值 $\Delta H_{\max}$ 与满量程输出值 Y_{FS} 之比称为迟滞误差,用 γ_H 表示,即 $\gamma_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\%$, $\Delta H_{\max} = Y_2 - Y_1$ 为正、反行程输出值间的最大差值。

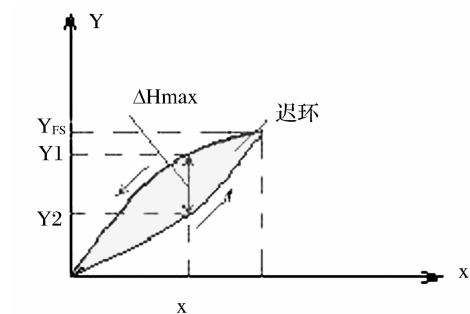


图 1-17 传感器迟滞特性

这种现象是由敏感元件材料的物理性质缺陷造成,如弹性元件的滞后,铁磁体、铁电体在外加磁场、电场也有这种现象。

(3) 重复性

传感器输入量按同一方向作多次测量时,输出特性不一致的程度。如图 1-18 所示。重复性误差属于随机误差,可用标准偏差表示: $\gamma_R = \pm \frac{(2 \sim 3)\sigma_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\%$, 其中 $\sigma_{\max}$ 最大标准差。

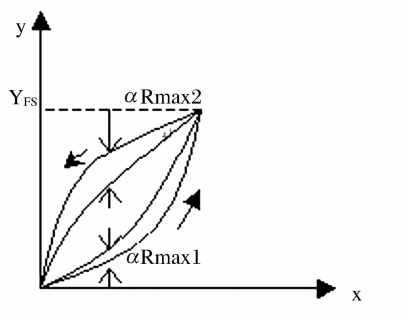


图 1-18 传感器重复性

(4) 灵敏度

灵敏度是传感器静态特性的一个重要指标,是在稳定条件下,输出微小变量与引起该输出的输入微小变量的比值。对线性传感器而言,灵敏度就是直线的斜率,其值为一常数: $S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$ 。S 值越大,传感器对单位输入量的变化越灵敏,如图 1-19 所示。

而对于输入输出为非线性关系的传感器,其灵敏度为工作点处的切线斜率: $S = \frac{dy}{dx}$

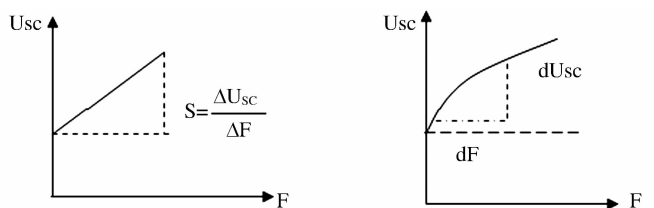


图 1-19 传感器的灵敏度

(5) 漂移

传感器的漂移是指在输入量不变的情况下,传感器输出量随着时间发生变化,此现象称为漂移。产生漂移的原因有两个方面:一是传感器自身结构特性;二是周围环境(如温度、湿度等)的变化。最常见的漂移是温度漂移,即周围环境温度变化而引起输出量的变化,温度漂移主要表现为温度零点漂移和温度灵敏度漂移。

温度漂移通常用传感器工作环境温度偏离标准环境温度(一般为 20°C)时的输出值的变化量与温度变化量之比(ξ)来表示,即 $\xi = \frac{y_t - y_{20}}{\Delta t}$ 。

式中, Δt ——工作环境温度 t 与标准环境温度 $t = 20^{\circ}\text{C}$ 之差,即 $\Delta t = t - 20^{\circ}\text{C}$;

y_t ——传感器在环境温度 t 时的输出;

y_{20} ——传感器在标准环境温度 $t = 20^{\circ}\text{C}$ 时的输出。

(6) 分辨率和阈值

分辨率是指传感器能够检测到的最小输入变量;阈值指输入小到某种程度时输出不再变化的输入值 ΔX 或称门槛灵敏度,指输入零点附近的分辨能力。存在门槛的原因有两个:一是传感器输入信号的变化量被传感器内部吸收,从而反映不到输出;二是传感器输出存在噪声干扰,如果噪声比输入信号还大,就无法将信号与噪声分开,所以输入信号必须大于噪声电平。

(7) 稳定性

表示传感器在一较长时间内保持性能参数的能力。理想情况下,不随时间变化;实际情况中,大多数传感器特性会随时间延长发生变化,如:放置长期不用、使用次数增多、随温度漂移等。应对使用仪器的日、月、年变化情况做到有标准数据的记录和登记。图 1-20 为射线仪器稳定性检查实验。

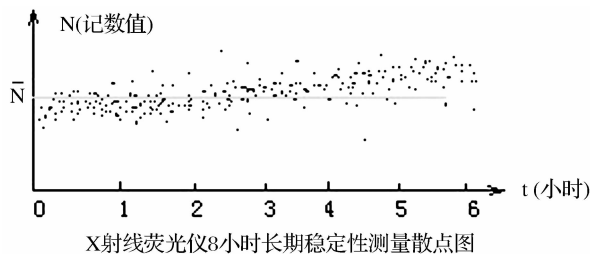


图 1-20 射线仪器稳定性检查



2. 传感器动态特性

传感器动态特性是指传感器输出对随时间变化的输入量的响应特性： $Y(t) \rightarrow X(t)$ 。

通常除理想状态，输出信号一定不会与输入信号有相同的时间函数。这种输入输出之间的差异就是动态误差，即反映了传感器的动态特性。下面用动态测温说明。

设环境温度为 T_0 ，水槽中水的温度为 T ，而且 $T > T_0$ ，用热电偶测温。把温度传感器（热电偶）迅速插入水中。

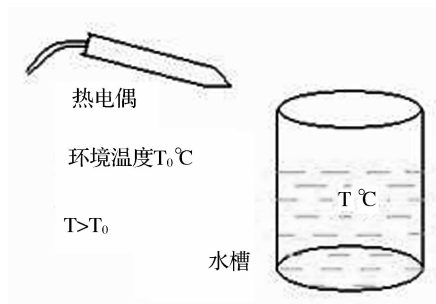


图 1-21 热电偶检测水温

理想情况；测试曲线在 T_0 处温度从 T_0 到 T 是阶跃变化。

实际特性；热电偶输出的值是缓慢变化，经历 t_0 到 t 时间。存在一个过渡过程，这个过程与阶跃特性的误差就是动态误差，产生这种动态误差的原因是温度传感器的热惯性、传热热阻引起的，是温度传感器影响动态特性的“固有因素”，任何传感器都存在动态误差，只是表现形式不同。

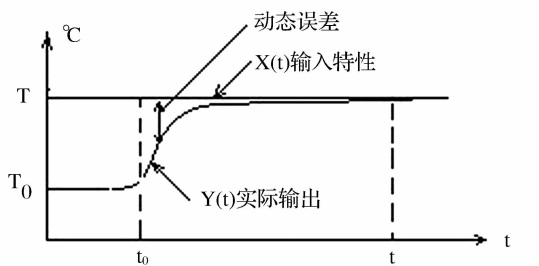


图 1-22 热电偶检测变化曲线

动态特性是指检测系统的输入为随时间变化的信号时，系统的输出与输入之间的关系特性。

如图 1-23 所示为震荡的二阶传感器输出的单位阶跃响应曲线。单位阶跃响应的性能指标主要有：

峰值时间 t_p —振荡峰值所对应的时间；

最大超调量 σ_p —响应曲线偏离单位阶跃曲线的最大值；

上升时间 t_r —响应曲线从稳态值的 0 上升到稳态值的 90% 所需的时间；



延迟时间 t_d —响应曲线上升到稳态值的 50% 所需的时间；

响应时间 t_s —响应曲线进入并且不再超出误差带所需要的时间。误差带通常规定为稳态值的 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ ；

稳态误差 e_{ss} —系统响应曲线的稳态值与希望值之差。

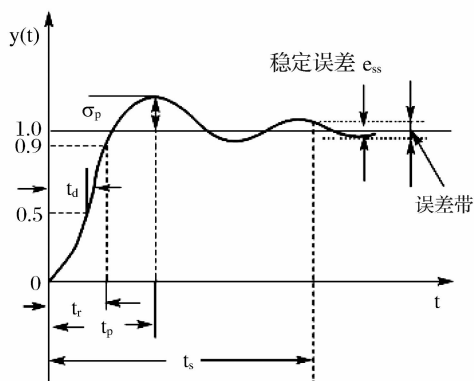


图 1-23 二阶传感器的单位阶跃响应曲线

如图 1-24 所示为一阶传感器输出的单位阶跃响应曲线。单位阶跃响应的性能指标主要有：

时间常数 τ —一阶传感器输出上升到稳态值的 63.2% 所需的时间；

延迟时间 t_d —传感器输出达到稳态值的 50% 所需的时间；

上升时间 t_r —传感器输出达到稳态值的 90% 所需的时间。

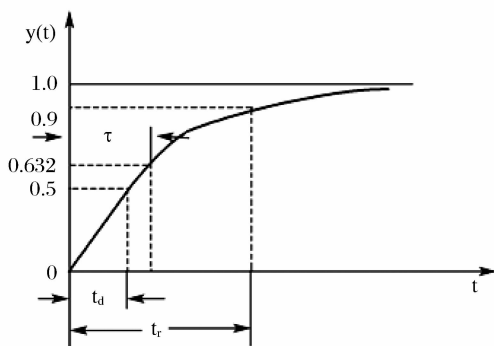


图 1-24 一阶传感器的单位阶跃响应曲线

最大超调量反映传感器响应的平稳性(即稳定性)；上升时间、延迟时间、响应时间等反映传感器响应的快速程度；稳态误差反映传感器响应的稳态精确度。

另外,反映传感器频率响应的频域性能指标主要有通频带(或频带),上、下限截止频率及固有频率等。

3. 提高传感器性能的技术途径

(1) 采用线性化技术



要保证传感器的输出能够不失真地复现被测量,要求传感器的输出与输入必须具有线性关系,而实际的传感器特性或多或少都具有不同程度的非线性,这就要求在设计和制造传感器时对其输出输入特性进行必要的线性化处理,以提高和改善传感器的性能。如在一定条件下忽略某些高次项,或者以直线代替曲线等。

(2) 采用闭环技术

利用电子技术和自动控制理论中的闭环反馈控制理论,采用传感器、放大电路等组成闭环反馈测量控制系统,可以有效地改善测量精度和控制系统的性能。

(3) 采用补偿和校正技术

在传感器产生误差的规律比较复杂时,可以设法找出产生误差的原因及变化规律,从而进行补偿。如进行温度补偿、应用计算机软件实行误差修正等。

(4) 采用差动技术

用两个相同的传感器,使其输入信号大小相等而方向相反,并且使两个传感器的输出相减,则差值中的非线性项将只存在奇次项,差值输出曲线关于坐标原点对称,并且在坐标原点附近的一定范围内近似为直线。这种方法不仅可以减小非线性误差,还能很好地抵消共模误差,使灵敏度提高一倍。差动技术在电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器等传感器中得到了广泛应用。

此外,采用平均技术、零位法和微差法、抗干扰技术、稳定性处理技术等方法,对改善传感器的性能、提高其技术指标都有着积极的意义。

4. 传感器的标定和校准

标定是利用某种标准器具对新研制或生产的传感器进行全面的技术检定和标度。

校准是指对传感器在使用中和储存后进行的性能再次测试。

标定的基本方法是利用标准仪器产生已知的非电量并输入到待标定的传感器中,然后将传感器的输出量与输入的标准量进行比较从而得到一系列标准数据或者曲线。实际应用中输入的标准量可以用标准传感器检测得到,即将待标定的传感器与标准传感器进行比较。

传感器的标定是通过实验建立传感器输入量与输出量之间的关系。同时,确定出不同使用条件下的误差关系。

(1) 传感器的标定工作分类

新研制的传感器需进行全面技术性能的检定,用检定数据进行量值传递,同时检定数据也是改进传感器设计的重要依据;亦可用于传感器经过一段时间的储存或使用后的复测工作。

(2) 静态标定

静态标定是指在输入信号不随时间变化的静态标准条件下,对传感器的静态特性如灵敏度、线性度、滞后和重复性等指标的检定。

静态标定的目的是确定传感器的静态特性指标,如线性度、灵敏度、滞后和重复性等。



(3) 动态标定

动态标定主要是研究传感器的动态响应特性。常用的标准激励信号源是正弦信号和阶跃信号。

动态标定的目的是确定传感器的动态特性参数,如频带、时间常数、固有频率和阻尼比等。

对传感器进行标定,是根据实验数据确定传感器的各项性能指标,实际上也是确定传感器的测量精度。

标定传感器时,所用的测量仪器的精度至少要比被标定的传感器的精度高一个等级。这样,通过标定确定的传感器的性能指标才是可靠的,所确定的精度才是可信的。

(4) 标定过程主要步骤

①将传感器全程(测量范围)分成若干等间距点。

②根据传感器量程分点情况,由小到大一点一点地输入标准量值,并记录下与各输入值相对应的输出值。

③将输入值由大到小一点一点的减小,同时记录下与各输入值相对应的输出值;

④按②、③所述过程,对传感器进行正、反行程往复循环多次测试,将得到的输出与输入测试数据用表格列出或画成曲线。

⑤对测试数据进行必要的处理,根据处理结果就可以确定传感器的线性度、灵敏度、滞后和重复性等静态特性指标。

5. 传感器选用原则

现代传感器在原理与结构上千差万别,如何根据具体的测量目的、测量对象以及测量环境合理地选用传感器,是在进行某个物理量的测量时首先要解决的问题。当传感器确定之后,与之相配套的测量方法和测量设备也就可以确定了。测量结果的成败,在很大程度上取决于传感器的选用是否合理。

传感器的品种很多,对于同一种被测物理量,可选不同的传感器。例如被测物理量是位移,可以选电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、光栅式传感器等。当然,选用传感器时应考虑的因素很多,但选用时不一定能满足所有要求,应根据被测参数的变化范围、性能指标、环境等要求选用,侧重点有所不同。通常,选用传感器应从以下几个方面考虑。

测试条件:主要包括测量目的、被测试物理量特性、测量范围、输入信号最大值和频带宽度、测量精度要求、测量所需时间要求等。

传感器性能:主要包括精度、稳定性、响应速度、输出量(模拟量还是数字量)、对被测物体产生的负载效应、校正周期、输入端保护等。

使用条件:主要包括设置场地的环境条件(温度、湿度、振动等)、测量时间、所需功率容量、与其他设备的连接、备件与维修服务等。