

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



策划编辑 刘子嘉
责任编辑 胡思佳
封面设计 刘文东

传感器与控制应用技术

CHUANGANQI YU KONGZHI YINGYONG JISHU

高等职业教育机电系列精品教材

传感器与控制应用技术

主编 李梅红 杜鹃 郭红霞



上海交通大学出版社

高等职业教育机电系列精品教材

传感器与控制 应用技术

CHUANGANQI YU KONGZHI YINGYONG JISHU

主编 李梅红 杜鹃 郭红霞

免费提供

★★★ 精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233
www.huatengzy.com



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-29786-0



9 787313 297860 >

定价: 45.00元



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

高等职业教育机电系列精品教材

传感器与控制 应用技术

CHUANGANQI YU KONGZHI YINGYONG JISHU

主编 李梅红 杜 鹃 郭红霞



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书内容分为知识篇、实验篇和附录三个部分。其中,知识篇包括绪论、传感器与智能控制的基础知识、温度传感器、力和压力传感器、光电式传感器、湿度传感器、位移传感器、物位传感器、传感器信号处理与控制应用;实验篇包括5个典型的传感器实验;附录包括传感器与控制应用技术常用中英文对照、传感器分类、K型热电偶分度电压表、热电阻分度表。

本书既可作为高等职业教育自动化类、机电设备类相关课程的教材,也可作为相关专业技术人员的自学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与控制应用技术/李梅红,杜鹃,郭红霞主

编. —上海:上海交通大学出版社,2024.4

ISBN 978-7-313-29786-0

I. ①传… II. ①李… ②杜… ③郭… III. ①传感器—
—高等职业教育—教材 ②自动控制—高等职业教育—教材
IV. ①TP212 ②TP273

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2024)第 002887 号

传感器与控制应用技术

CHUANGANQI YU KONGZHI YINGYONG JISHU

主 编:李梅红 杜 鹃 郭红霞

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 制:三河市骏杰印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

字 数:349 千字

版 次:2024 年 4 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-29786-0

定 价:45.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:14

印 次:2024 年 4 月第 1 次印刷

电子书号:ISBN 978-7-89424-185-6

版权所有 侵权必究

告读者:如您发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0316-3662258

编写委员会

主 编	李梅红	杜 鹃	郭红霞
副 主 编	高慧敏	李晓慧	周春梅
	李十芬	孙国坤	孙 艳
参 编	侯晓静	史喆琼	王春杰

传感器的功能就是将在实际测量和控制系统中检测到的信号输入上位机中进行处理和控制。传感器就像是一双“慧眼”，可以精准捕捉被测量信号，以保证接收、处理、控制和显示的精准。本书描绘了一个关于常用传感器的全局视图，涵盖了传感器应用、传感器电路系统及原理等内容，从控制应用技术的角度提出了传感器应用的多学科观点，展示了包括智能控制在内的实际应用中的传感器系统。

党的二十大报告中指出，要“推进新型工业化，加快建设制造强国、质量强国……”“高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务”。我国正从制造大国向制造强国迈进，制造加工出来的产品更要追求精益求精。我们要深入贯彻党的二十大精神，把智慧和力量凝聚到实现党的二十大确定的目标任务上来，坚定信心、守正创新，踔厉奋发、勇毅前行，干在实处、奋勇突破，为建设现代化产业体系而努力奋斗。

本书详细介绍了各种典型传感器应用及常用传感器实验等内容。通过学习，学生能够掌握传感器的知识和实际应用。本书坚持将思政元素融入专业课程，把思政考核要素加入课程教学评价体系中，由单一的知识与技能的考核变成“德、能、勤、绩”多元化考核，着重考核学生在掌握理论知识和专业技能的同时，是否具有良好的职业道德、较强的竞争意识和团队协作精神，是否树立了正确的世界观、人生观和价值观。

为了锻炼学生多维思考的学习能力，本书设置了“温故知新”“模拟测试”等板块；为了提高学生学习传感器的兴趣，本书与企业合作，列举了在企业真实生产环境中应用传感器的案例。

本书内容基于“传感器与控制应用技术”课程人才培养方案，要求学生对传感器技术的发展和應用有所了解，深入了解相关的控制应用学科技术和传感器相关技术，基本掌握传感器的应用与维护。

本书以传感器的基础知识为着手点，增加实训内容，注重职业素质培养，融合安全教育基础知识，以促进学生全面发展。本书注重交叉学科知识的互相联系，意在帮助学生了解所学知识的横向应用及纵向发展。

本书由天津工业职业学院李梅红、杜鹃，天津轻工职业技术学院郭红霞任主编；由天津中德应用技术大学高慧敏，天津职业大学李晓慧，天津滨海职业学院周春梅，天津工业职业

学院李十芬、孙国坤,天津轻工职业技术学院孙艳任副主编;天津工业职业学院侯晓静、史喆琼,企业工程师王春杰参与编写。

在本书编写过程中,编者参阅了多种同类教材和专著,在此向相关作者致谢!同时感谢有关人员的大力支持!本书涉及的学科众多,编者学识有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

知 识 篇

	绪论	3
	温故知新	10
	模拟测试	11
项目一	传感器与智能控制的基础知识	13
1	任务一 传感器的基础知识	13
	任务二 智能控制的基础知识	26
	温故知新	31
	模拟测试	32
项目二	温度传感器	34
2	任务一 温度传感器基础	34
	任务二 温度传感器的应用	37
	温故知新	60
	模拟测试	61
项目三	力和压力传感器	63
3	任务一 力和压力传感器基础	63
	任务二 力和压力传感器的应用	67
	温故知新	87
	模拟测试	88
项目四	光电式传感器	90
4	任务一 光电式传感器基础	90
	任务二 光电式传感器的应用	97
	温故知新	112
	模拟测试	113

5	<p>项目五 湿度传感器 115</p> <p>任务一 湿度传感器基础 115</p> <p>任务二 湿度传感器的应用 118</p> <p>温故知新 124</p> <p>模拟测试 124</p>
6	<p>项目六 位移传感器 126</p> <p>任务一 位移传感器基础 126</p> <p>任务二 位移传感器的应用 128</p> <p>温故知新 144</p> <p>模拟测试 144</p>
7	<p>项目七 物位传感器 146</p> <p>任务一 物位传感器基础 146</p> <p>任务二 物位传感器的应用 148</p> <p>温故知新 157</p> <p>模拟测试 157</p>
8	<p>项目八 传感器信号处理与控制应用 159</p> <p>任务一 传感器信号处理基础 159</p> <p>任务二 传感器的综合应用 165</p> <p>温故知新 178</p> <p>模拟测试 179</p>

实 验 篇

实验一	电阻应变传感器实验 183
实验二	光敏电阻特性测试实验 192
实验三	湿度传感器实验 194
实验四	直流电机驱动实验 196
实验五	光纤传感器测速实验 199

附 录

附录一	传感器与控制应用技术常用中英文对照 203
附录二	传感器分类 205
附录三	K型热电偶分度电压表 210
附录四	热电阻分度表 212
参考文献 215



知 识 篇



绪 论

随着新技术革命的到来,人类社会已经步入信息时代。在利用信息的过程中,首先要解决的就是获取准确、可靠的信息,而传感器是获取自然信息和生产领域中信息的主要途径与手段。传感技术是构成现代信息技术(传感技术、通信技术、计算机技术)的三大支柱之一。目前,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,以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和检测装置。由此可见,传感技术在发展经济、推动社会进步等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。相信在不久的将来,传感器应用技术将会取得飞跃式的发展,达到与其重要地位相称的新水平。

一、传感器与检测技术

1. 传感器的功能作用

传感器是人类感觉器官的创造性延伸及数字感官。例如,通过研究听觉感官系统的复杂结构,工程师创造出超越传统助听器的声音和振动传感器;化学感受器的机制为创造人工嗅觉和味觉系统提供了充分的帮助,直接促进了气体和食物传感器的发展。工程师所开发的电子皮肤已经超越了人类的敏感性,具有轻薄、柔软、灵活等特点,可将外界刺激转化为不同的输出信号。如图 1-0-1 所示,当传感器受到外界信息刺激时,微处理器发布命令将感受到的信息传输给自动控制系统,实现自动控制。

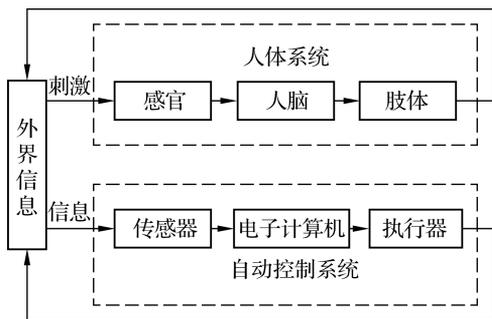


图 1-0-1 人体系统与自动控制系统的关系

日常生活中的洗衣机、电饭煲、电冰箱、电热水器等家用电器都安装了传感器,如图 1-0-2 所示。随着人们对各项产品技术含量要求的不断提高,传感器也朝着智能化方向发展,其中

典型的传感器智能化结构模式是传感器和微处理器结合的现代综合技术。手机中的传感器如图 1-0-3 所示。图中,CCD 为电荷耦合器件(charge coupled device)。



图 1-0-2 家用电器中的传感器

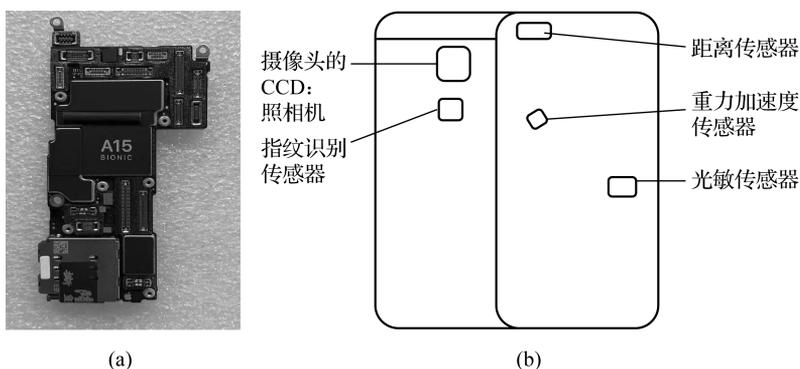


图 1-0-3 手机中的传感器

人们在利用信息的过程中,首先要获取信息,而传感器是获取信息的主要手段和途径。例如,获取粮食存储信息,可以精准保障粮食安全储备。无论是金属粮仓还是土仓,为防止霉变,粮食都是分层存放的。仓内的温度和湿度不能过高,为此,需在各层安放温湿度传感器进行检测。如图 1-0-4 所示,安装有温湿度探头的粮仓。将各层探头的输出接至温湿度巡检仪,通过巡检仪的监视器监视各点的温湿度情况,通过通风口保持温湿度在要求范围内,减少细菌微生物的滋生对粮食的影响,保证了存储粮食的质量。在工业生产中,工业生产过程现代化面临的第一个问题是必须采用各种传感器来检测、监视和控制各种静、动态参数,使设备或系统能正常运行并处于最佳状态,从而保证生产的高效率、高质量。如果没有传感器对原始参数进行准确、可靠、在线、实时的测量,那么无论信息分析处理和传输的功能多么强大,都没有任何实际的意义。因此,完成信息采集的传感技术是重要的基础,此后才有信息分析、处理、加工和控制等技术问题。

智能产品的设计与开发要依靠传感器的自动检测。如图 1-0-5 所示,在采摘机械手上安装了薄膜压力传感器。当机械手夹持物品时,物品因受力而产生变形,并作用于弹性膜片一侧。弹性膜片因受到压力作用而变形,位于另一面的惠斯顿电桥桥臂电阻薄膜的几何尺寸随之改变,导致阻值发生相应变化。由于阻值的变化,电桥产生与压力成线性比例的输出信号。该信号经过放大调节等处理后,再传输给处理电路(通常是 A/D 转换和 CPU 微处理器),显示或执行机构,从而实现水果的自动采摘过程。

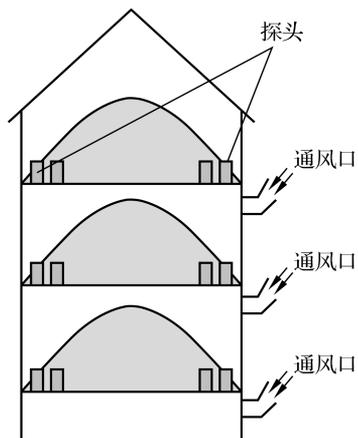


图 1-0-4 安装有温湿度探头的粮仓

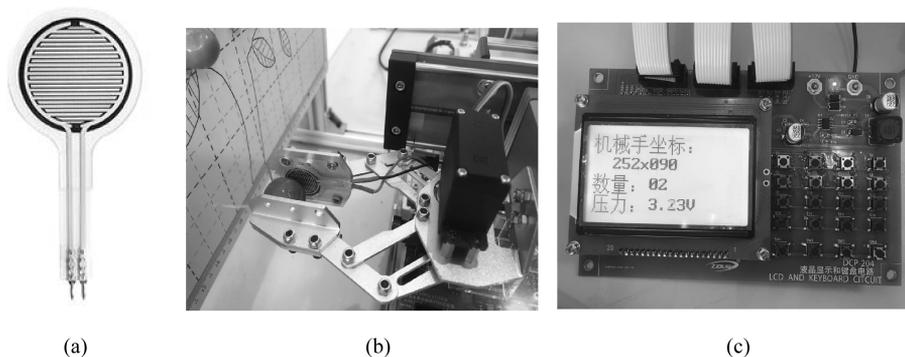


图 1-0-5 安装了薄膜压力传感器的机械手

某食品厂的变送器可用于液体、气体或其他介质的大颗粒物过滤，除去流体中的较大固体杂质，以确保机器设备(包括压缩机、泵等)和仪表的正常工作 and 运转，起到稳定工艺过程、保障安全生产的作用。如图 1-0-6(a)所示，在过滤器的前后两端安装压差变送器(压差表)。压差表由密封接头、电气光盒、显示器、压力容器等结构组成；如图 1-0-6(b)所示，两根不锈钢管是导压管，一根连接高压侧，一根连接低压侧，用于显示压差量，中间是一个过滤器。压差变送器能够检测过滤器是否堵塞。当过滤器堵塞时，压差增大，报警器会发出报警信号。如果检测出过滤器两侧的压差较小，则表明过滤器没有堵塞。

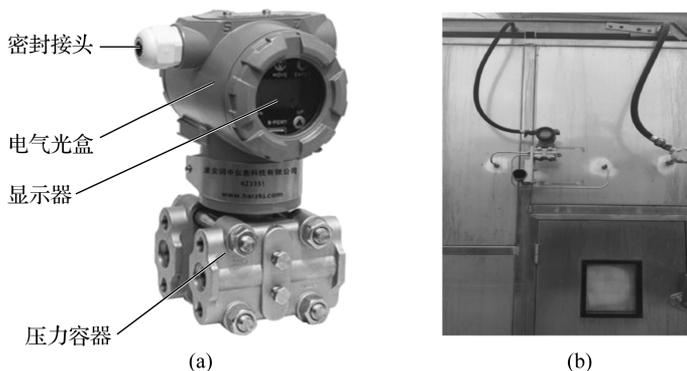


图 1-0-6 压差变送器

2. 检测技术的重要性与发展趋势

人们为了从外界获取信息,必须借助于感觉器官(如视觉、听觉、触觉、味觉和嗅觉器官等)。然而,在研究自然现象和自然规律时,单靠人体自身的感觉器官是远远不够的。为了拓宽研究领域,就需要借助于传感器。传感器是直接作用于被测量,能按一定规律将被测量转换成同种或别种量值输出的器件,它输出的通常是电信号,如电压或电流等。

检测技术就是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性的了解和定量的掌握所采取的一系列技术措施。随着人类社会进入信息时代,以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的检测技术已经发展成为一门完整的技术学科,在促进生产发展和科技进步的广阔领域内发挥着重要作用。

1) 检测技术的重要性

检测技术的重要性主要体现在以下几方面。

- (1) 检测技术是产品检验和质量控制的重要手段。
- (2) 检测技术在设备安全运行监测中得到广泛应用。
- (3) 检测技术和检测装置是自动化系统中不可缺少的组成部分。
- (4) 检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步。

现代化生产和科学技术的发展也对检测技术提出新的课题和要求,成为促进检测技术向前发展的动力。2024年1月,《自然》杂志发布了值得关注的七大技术——大片区段、DNA插入、人工智能设计蛋白质、脑机接口、细胞图谱、超高分辨率显微成像、3D打印纳米材料和DeepFake检测。科学技术的新发现和新成果不断被应用于检测技术中,有力促进了检测技术自身现代化的实现。检测技术与现代化生产和科学技术的密切关系,使它成为一门十分活跃的技术学科,几乎渗透到人类的一切活动领域,发挥着越来越大的作用。

2) 检测技术的发展趋势

- (1) 检测范围不断拓展,检测精度和可靠性不断提高。
- (2) 传感器逐渐向集成化、组合式和数字化方向发展。
- (3) 重视非接触式检测技术的研究。
- (4) 检测系统智能化。

3. 检测系统的组成

一般来说,检测工作的全过程所包含的环节有:以适当的方式激励被测对象,传感器进行信号的检测和转换,转换电路完成信号的调理、传输与处理、显示与记录,以及必要时以电量形式输出检测结果。检测系统(detection system)可采用如图1-0-7所示的方式来表示。

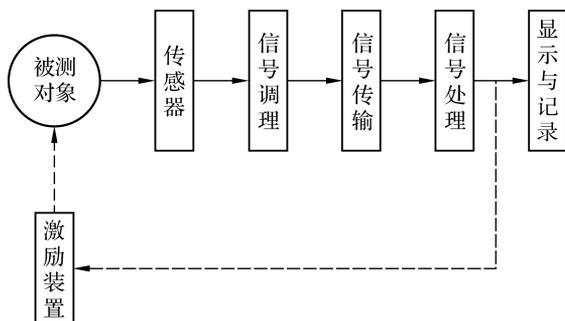


图 1-0-7 检测系统的组成

激励装置在检测系统特别是动态检测中是必要的,因为客观事物多种多样,检测工作所希望获取的信息有可能存在于某种可检测的信号(如位移、温度信号等)中,也有可能尚未载于可检测的信号中,需要采用合适的方式对被测对象进行激励,使其性能能够充分地表现出来并被检测到,例如结构的共振频率等。这就需要对结构施加一定频率的力或位移,检测其振动值,从而间接反映其振动性能,为高速条件下的加工提供试验依据。因此,激励装置在检测系统特别是动态检测中是必要的,例如检测汽车悬挂系统的平顺性,以路面为激励装置,在车辆行进中对其进行动态力大小的检测。有时候需要调整激励装置的参数,如振动频率和振幅,这种调整往往以检测结果的趋势(如寻找共振频率)为依据,所以有时需要引入检测结果信号至激励装置中。

信号处理技术是将来自传感器的信号转换成更适合于进一步传输和处理的形式的关键步骤。信号调理环节把来自传感器的信号转换成适合进一步处理和传输的形式。当所检测的信息经过传感器转换后成为电参量(如电压或电流等)时,这类信号往往很微弱,难以直接显示或传递。因此,在传感器后面一般均有放大电路等调理电路。在放大信号的过程中,不可避免地会出现其他不必要的干扰信号也被放大的情况,以至于影响真实信号的检测,所以一般后续电路均有过滤干扰的措施。这些电路一般被集合封装为一体,形成专用模块。有时候还需要将这些信号转换为计算机能够识别的数字信号,通过工业总线网络传给控制器(如可编程逻辑控制器等),或将这些信号进行分析变换,使之成为更容易反映被测量本质特性的量值,这种分析就是信号处理技术。调理后的信号被传输给信号分析模块。在检测工作的许多场合,忽略信号的具体物理性质,而将其抽象为变量之间的函数关系(特别是时间函数或空间函数)进行分析研究,从中得出一些具有普遍意义的理论。这些理论极大地发展了检测技术,并成为检测技术的重要组成部分。事实上,这些分析往往是很多经验公式的来源,也是很多理论的试验依据。

信号显示与记录环节以观察者易于识别的形式来显示检测结果,或者将检测结果存储起来,供必要时使用。

二、传感器的发展

1. 传感器的发展历程

传感器的发展大体可分三代:第一代为基础型传感器,它利用结构参量变化来感受和转化信号;第二代为20世纪70年代发展起来的固体型传感器,这种传感器由半导体、电介质、磁性材料等固体元件构成,利用材料的某些特性制成,如热电偶传感器、霍尔式传感器、光敏传感器;第三代为在第二代的基础上刚刚发展起来的智能型传感器,它是微型计算机技术与检测技术相结合的产物,如三坐标检测仪。

我国的传感技术取得了较快发展,尤其是在航空、航天领域所取得的成果揭示了我国的传感技术已居世界领先地位。

2. 传感器的发展方向

1) 向高精度发展

随着自动化生产程度的不断提高,人们对传感器的要求也不断提高,为确保生产自动化的可靠性,必须研制出具有灵敏度高、精度高、响应速度快、互换性好的新型传感器。目前国

内能生产精度在万分之一以上的传感器的厂家为数很少,其产量也远远不能满足需求。

2) 向高可靠性、宽温度范围发展

传感器的可靠性直接影响到电子设备的抗干扰等性能,研制高可靠性、宽温度范围的传感器将是永久性的方向。扩大温度范围一直是一个大课题,大部分传感器的工作温度范围都为 $-20\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$,军用系统中传感器的工作温度范围为 $-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$,而汽车、锅炉中传感器的工作温度范围为 $-20\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$,冶炼、焦化等行业对传感器的温度要求更高,因此发展新材料(如陶瓷)的传感器将很有前途。

3) 向微型化发展

各种控制仪器设备的功能越来越多,要求各个部件的体积越小越好,因而传感器本身的体积也是越小越好,这就要求发展新的材料及加工技术,目前利用硅材料制作的传感器的体积已经很小。例如,传统的加速度传感器是由重力块和弹簧等制成的,体积大、稳定性差、寿命短,而利用激光等各种微细加工技术制成的硅加速度传感器的体积非常小,互换性和可靠性都较好。

4) 向低功耗发展

传感器一般都是将非电量转化为电量,工作时离不开电源,在野外现场或远离电网的地方,往往需要利用电池或太阳能等供电。因此,开发低功耗的传感器是必然的发展方向,这样既可以节省能源又可以提高系统寿命。

5) 向智能化、数字化发展

随着现代化的发展,传感器已突破传统的功能,其输出不再是一个单一的模拟信号(如 $0\sim 10\text{ mV}$),而是经过微电脑处理后的数字信号,有的甚至带有控制功能,这就是所说的数字式传感器,如电子血压计,智能水、电、煤气、热量表。它们的特点是传感器与微型计算机有机结合,构成智能传感器。

3. 传感技术的发展

1) 发现并利用新现象

将物理现象、化学反应、生物效应作为传感器原理,所以发现并利用新现象是传感技术发展的重要工作,是研究、开发新型传感器的基础。

2) 利用新材料

传感器材料是传感技术的重要基础,由于材料科学的进步,人们可制造出各种新型传感器,如用高分子聚合物薄膜制成的温度传感器,用光导纤维制成的压力、流量、温度、位移等多种传感器,用陶瓷制成压力传感器,等等。

3) 微机械加工技术

半导体技术中的加工方法有氧化、光刻、扩散、沉积、平面电子工艺,各向异性腐蚀及蒸镀,溅射薄膜等,它们都已被引入传感器制造,因而产生了各种新型传感器,如利用半导体技术制造的硅微传感器,利用薄膜工艺制造快速响应的气敏、湿度传感器,利用溅射薄膜工艺制造的压力传感器,等等。

4) 集成传感器

集成传感器的优势是传统的传感器所无法比拟的,它不再是一个简单的传感器,而是将辅助电路中的元件与传感元件同时集成在一块芯片上,使之具有校准、补偿、自诊断和网络通信的功能。

5) 智能化传感器

智能化传感器是一种带微处理器的传感器,是微型计算机和传感器相结合的成果,它兼有检测、判断和信息处理的功能,与传统的传感器相比有很多优点,如可实现多传感器多参数测量;具有自诊断和自校准功能,提高可靠性;测量数据可存取,使用方便;有数据通信接口,能与微型计算机直接通信。

总之,传感器的工作机理基于各种物理现象、化学反应和生物效应。重新认识如压电效应、热释电现象、磁阻效应等已发现的物理现象以及各种化学反应和生物效应,并充分利用这些物理现象与效应设计制造各种用途的传感器,是传感技术领域的重要工作。同时还要开展基础研究,以求发现新的物理现象、化学反应和生物效应,这些新发现将极大地扩大传感器的检测极限和应用领域。

随着物理学和材料科学的发展,人们已经能够在很大程度上根据材料功能的要求设计材料,并通过生产过程的控制,制造出各种所需材料。目前较为成熟、先进的材料技术是以硅加工为主的半导体制造技术。例如,利用该项技术设计制造的多功能精密陶瓷气敏传感器具有很高的工作温度,弥补了硅(或锗)半导体传感器温度上限低的缺陷。这种传感器可用于汽车发动机空燃比控制系统,大大扩展了传统陶瓷传感器的使用范围。有机材料、光导纤维等材料在传感器上的应用是传感器材料领域的重大突破,引起了国内外学者的极大关注。

三、传感器的标定与校准

传感器的标定与校准是指通过实验,建立传感器的输出-输入特性及其误差关系。为确保各种量值准确一致,应按国家有关计量部门规定的标准、检定规程和管理办法对检测装置进行标定。传感器标定的基本方法是将已知的被测量(标准量)输入待标定的传感器,得到传感器的输出量,对所获得的传感器输入量和输出量进行处理和比较,从而得到一系列表征两者对应关系的标定曲线,进而得到传感器性能(静态特性和动态特性)指标的实测结果。如图 1-0-8 所示的力值传递系统,只能按此系统,用上一级标准装置检定下一级传感器及配套仪表,如果待标定传感器的精度高,也可跨级使用更高级的标准装置。

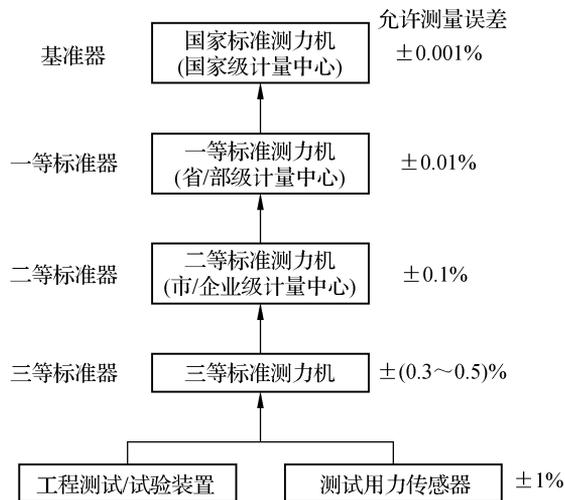


图 1-0-8 力值传递系统

四、传感器的命名

传感器产品的名称应由主题词及四级修饰语构成,如表 1-0-1 所示。

表 1-0-1 传感器产品的名称构成

传感器产品名称举例	主题词	修饰语			
	传感器	被测量	转换原理	特征描述	主要技术指标
1~3 500 kPa 放大型 应变式绝对力传感器	传感器	绝对压力	应变式	放大型	1~3 500 kPa
±20 g 压电式加速度传感器	传感器	加速度	压电式		±20 g

本命名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使用。

一般规定用大写汉字拼音字母和阿拉伯数字构成传感器的完整代号,如表 1-0-2 所示。传感器的完整代号应包括四个部分:主称(传感器),代号 C;被测量;转换原理;序号。其中,被测量、转换原理、序号三部分的代号由连字符“-”连接。有少数代号用其英文的第一个字母表示,如加速度用“A”表示。

表 1-0-2 传感器的完整代号构成

传感器代号	举 例	主称(C)	被 测 量	转 换 原 理	序 号
CWY-YB-10	应变式位移传感器	传感器	位移	应变、位移	10
CY-GQ-1	光纤压力传感器	传感器	压力	光栅	1
CW-01A	温度传感器	传感器	温度	热电效应	01A
CA-DR-2	电容式加速度传感器	传感器	加速度	电容	2

温故知新

创造性思维来自实践。根据《三国志·魏书·武帝纪》裴松之注引《世说新语》记载:“置象大船,刻其水痕所至,乃去象,以重物易之,积之船中,使水及痕,称量所积重物,则象重可知矣。”曹冲测量船舷吃水线,根据等量替换原理称出等量的石头的质量,从而得到定量和定性的结果。现代自动检测是利用专门的技术或工具通过实验或计算得到被测量的值。检测的目的是在一定的时间内尽可能正确地获得被测对象的信息,以便获悉被测对象的参数值,实现对被测对象的控制与管理。检测的意义是利用各种物理效应和化学效应,选择合适的方法与装置将生产、科研、生活等各方面的有关信息赋予定性定量过程。

自动检测是指在计算机控制的基础上,对系统、设备进行性能检测和故障诊断。现代自动检测是以计算机技术为核心,以传感技术为基础的。自动检测技术是进行各种科学实验研究和生产过程参数测量必不可少的手段,是一种依赖仪器仪表,涉及物理学、电子学等多种学科的综合性技术。自动检测技术能够涉及的测量范围与能够达到的

测量精度,很大程度上决定着现代科技进步的深度与广度。简单的检测系统可以只有一个模块,如玻璃管温度计,它直接将被测温度的变化转化为液面示值,没有电量转换和分析电路,很简单,但精度低,无法实现测量自动化。为提高测量精度和自动化程度,以便于和其他环节一起构成自动化装置,通常先将被测物理量转换为电量,再对电信号进行处理和输出。

检测系统通常由各种传感器、数据处理环节、数据传输环节、数据显示环节等基本环节组成。在一些简单的检测系统中,这4个环节不一定都存在;而在一些较复杂的现代检测系统中,不但这4个环节都存在,而且还可能有一些其他辅助环节。

目前,自动检测和自动控制技术正经历着重大变革,传感器作为自动检测的首要环节,可将直接感受到的被测量转换为容易进行测试的电信号或其他所需形式的信号。



模拟测试

一、选择题

1. 人体的感官属于天然_____,它将感受到的信息传输给自动控制系统,实现自动控制。
 - A. 传感器装置
 - B. 传感器
 - C. 处理器
 - D. 电五官
2. 自动检测是指在计算机控制的基础上,对系统、设备进行性能检测和_____。
 - A. 信号调理
 - B. 故障诊断
 - C. 检测与测量
 - D. 显示与记录
3. 传感器的输出量通常为_____。
 - A. 电量信号
 - B. 非电量信号
 - C. 位移信号
 - D. 光电信号
4. 下面属于手机中的传感器的是_____。
 - A. 涡流传感器
 - B. 超声波传感器
 - C. 湿敏传感器
 - D. CCD 照相机
5. 自动控制技术、通信技术、计算机技术和_____构成信息技术的完整信息链。
 - A. 传感技术
 - B. 智能建筑技术
 - C. 大数据技术
 - D. 电气技术
6. 随着人们对各项产品技术含量要求的不断提高,传感器也朝着智能化方向发展,其中,典型的传感器智能化结构模式是_____的结合。
 - A. 传感器和通信技术
 - B. 传感器和微处理器
 - C. 传感器和多媒体技术
 - D. 传感器和计算机
7. 传感技术的发展方向中半导体技术中的加工方法有_____,光刻、扩散、沉积、平面电子等工艺。
 - A. 焊接
 - B. 氧化
 - C. 淬火
 - D. 镀膜
8. 传感器技术的发展经历了_____三个传感器时代。(多选)
 - A. 结构型
 - B. 固体型
 - C. 智能型
 - D. 微型
9. 属于以传感器的工作原理命名的是_____。
 - A. 应变式传感器
 - B. 速度型传感器
 - C. 化学型传感器
 - D. 机械控制型传感器

10. 检测系统通常由_____等环节组成。(多选)

- A. 传感器 B. 信号调理 C. 信号传输 D. 信号显示

二、判断题

1. 传感器逐渐向集成化、组合式和数字化方向发展。 ()
2. 在检测系统中激励装置是静态检测中的一种必要装置。 ()
3. 数字信号技术容易反映被测量本质特性的量值,成为信号处理技术的主流。 ()
4. 传感器是获取信息的主要手段和途径。 ()
5. 智能化传感器是一种带微处理器的传感器,它兼有检测、判断和信息处理功能。 ()
6. 传感器标定方法是将已知的被测量输入待标定的传感器,通过实验得到传感器性能指标的实测结果。 ()
7. 低功耗的传感器及有源传感器是必然的发展方向。 ()
8. 传感器要完成的两个方面的功能是检测和转换。 ()
9. 传感器的工作机理基于各种热效应、化学反应和物理现象。 ()
10. 传感器在第一次使用前和长时间使用后需要进行标定工作,是为了确定传感器静态特性指标和动态特性参数。 ()



项目一 传感器与智能控制的基础知识



任务一 传感器的基础知识

一、传感器的定义及组成

1. 传感器的定义

根据《传感器通用术语》(GB/T 7665—2005),传感器是指能感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。

传感器是一种测量装置,具有检测和转换功能。例如,人们常见的发电机,它是一种可以将机械能转变成电能的转换装置;从能量角度看,它是一种发电设备,不能称之为传感器;但从其他角度看,人们可以通过发电机发电量的大小来测量调速系统的机械转速,这时发电机就可以看成是一种用于测量转速的装置,是一种速度传感器,通常称之为测速发电机。

传感器定义中的“可用输出信号”是指便于传输、转换及处理的信号,主要包括气、光和电等信号,现在一般是指电信号(如电压、电流、电势及各种电参数等);而“规定的标准信号”一般是指非电量信号,主要包括各种物理量、化学量和生物量等,在工程中常需要测量的非电量信号有力、压力、温度、流量、位移、速度、加速度、转速、浓度等。正是由于这类非电量信号不能像电信号那样可由电工仪表和电子仪器直接测量,因而就需要利用传感器技术实现非电量到电量的转换。

传感器的输入和输出信号应该具有明确的对应关系,并且应保证一定的精度。关于“传感器”这个词,目前国外还有许多其他提法,如换能器、转换器、检测器和变送器等。当输出为规定的标准信号(1~5 V、4~20 mA)时,则称为变送器,如图 1-1-1 所示。两者不要混淆。而根据我国的规定,传感器命名为 transducer/sensor。

2. 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、测量电路三部分组成,有时还需外加辅助电源提供转换能量,如图 1-1-2 所示。

(1)敏感元件:传感器中能直接感受被测量的变化,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:传感器中能将敏感元件输出的物理量转换为适于传输或测量的电信号的部分。

(3)测量电路:又称转换电路或信号调理电路,它的作用是将转换元件输出的电信号进行进一步的转换和处理,如放大、滤波、线性化、补偿等,以获得更好的品质特性,便于后续电路实现显示、记录、处理及控制等功能。测量电路的类型根据传感器的工作原理和转换元件的类型而定,一般有电桥电路、阻抗变换电路、振荡电路等。



图 1-1-1 国产变送器

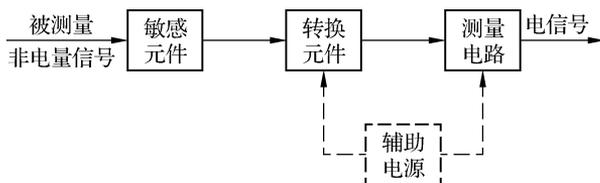


图 1-1-2 传感器组成框图

实际上,有些传感器很简单,仅由一个敏感元件(兼作转换元件)组成,它感受到被测量时直接输出电量,如热电偶。有些传感器由敏感元件和转换元件组成,没有转换电路,如压电式加速度传感器。有些传感器的转换元件不止一个,被测量需要经过若干次的转换。

二、传感器的特点及分类

1. 传感器的特点

传感器是控制系统中的第一个环节,它感受物理量的变化,以完成对被测信号的拾取、检测。检测是实现控制的第一步,没有精确的检测就没有精确的控制。传感器具有以下特点。

- (1)可进行微量检测,精度高、速度快。
- (2)可实现远距离遥测及遥控。
- (3)可实现无损检测。
- (4)可采用计算机技术对测量数据进行运算、存储和处理,并根据处理结果对被测对象进行控制。
- (5)测量安全可靠。

2. 传感器的分类

1) 按传感器的工作原理分类

传感器按其工作原理分为电参数式传感器(包括电阻应变式、电感式、电容式传感器)、压电式传感器、光电式传感器(包括一般光电式、光纤式、激光式和红外式传感器)、电磁式物位传感器、温度传感器等,如表 1-1-1 所示。这些类型的传感器一般以传感器的工作原理和用途命名,如电容式压力传感器,其传感器原理是通过压力变化引起电容的极板距离变化,在后续电路中经过电学信号的调制形成电压电流信号,或者通过模拟量转换为数字量形成数字信号,它的工作用途是测量压力。

表 1-1-1 按传感器的工作原理分类

转换形式	中间参量	转换原理	传感器名称	被测量
电参数	电阻	移动电位器触点改变电阻	电位器式传感器	压力、加速度、液位
		电阻丝伸缩	电阻应变传感器	力、压力、扭矩、位移、加速度、温度
		电阻温度效应	热丝传感器	气体流速、液体流速
			电阻温度传感器	温度、湿度、辐射热
			热敏电阻传感器	温度
	电容	电容几何构型	电容式传感器	位移、角度、振动、速度、压力
		电容的介电常数		液位、厚度、含水量
	电感	磁路的几何尺寸、位置	电感式传感器	位移、压力、振动、应变、流量
			涡流效应	涡流传感器
		压磁效应	压磁式传感器	机械力(弹性应力、残余应力)、压力
差动式变压器			位移、压力、振动	
			旋转变压器	角位移和角速度
频率		谐振回路中的参数	振弦式传感器	电路
计数		莫尔条纹	光栅位移传感器	位移(角度)
		改变互感	感应同步器	
	数字增量	增量编码器		
数字	编码方式	绝对值编码器		
电量	电动势	温差电动势	热电偶传感器	温度、热流
		霍尔效应	霍尔式传感器	磁通、电流
		电磁感应	电磁式物位传感器	速度、加速度
		光电效应	光电池	光强
	电荷	辐射电离	电离式传感器	离子计数、放射性
		压电效应	压电式传感器	压力、加速度、温度、应变

优点:这种分类方法对传感器原理表达得比较清楚,而且类别少,有利于传感器专业工作者对传感器进行深入的分析研究。

缺点:这种分类方法不便于使用者根据用途选用相应的传感器。

2)按传感器检测的物理量分类

传感器按所检测的物理量分为加速度传感器、速度传感器、位移传感器、压力传感器、负荷传感器、扭矩传感器、温度传感器、成分传感器等。

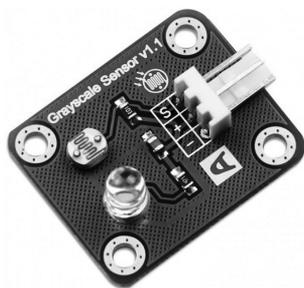
优点:这种分类方法比较明确地表达了传感器的用途,便于使用者根据用途选用相应的传感器。

缺点:这种分类方法不能体现每种传感器在转换机理上的共性和差异,不便于使用者掌握其基本原理及分析方法。

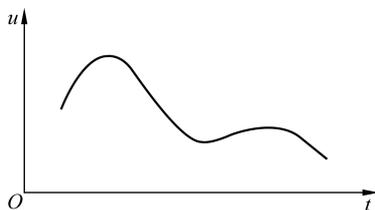
3)按传感器的输出信号性质分类

(1)模拟式传感器(输出信号为模拟量)。灰度传感器[见图 1-1-3(a)]是一种模拟式传感器,可以感知地面或桌面不同的颜色而产生相应的信号,可以实现与颜色相关的互动作品,也可用于巡线小车上巡线传感器或者足球机器人的场地灰度识别,电源需要和控制器一致,通常为 3.3 V 或 5 V。

模拟量是相对于数字量而言的。模拟量是对实际量的模拟,是连续变化的,比如用线圈的偏转来测电流或电压(指针式电流表、电压表),测到的就是模拟量,指针可以指在两个数字中间的任何位置。而数字式万用表测到的就不是模拟量,它不能连续变化,只能一个字一个字地“跳”。实际的物理量基本都是模拟量,但是在测量时会将它们数字化。有一些人为产生的量,本身就是数字化的,如网络信号。我们通常又把模拟信号称为连续信号,它在一定的时间范围内可以有无限多个不同的取值。图 1-1-3(b)为时间 t (自变量)与电压 u (因变量)的关系曲线。



(a) 灰度传感器



(b) 模拟信号

图 1-1-3 模拟式传感器与模拟信号

(2)数字式传感器(输出信号为数字量)。磁编码器[见图 1-1-4(a)]是一种数字式传感器,通过检测磁场变化得到旋转位置信息(记录位置),转换成电气信号输出。

在自然界中,有一类物理量的变化在时间上和数量上都是离散的,也就是说,它们的变化在时间上是不连续的,总是发生在一系列离散的瞬间。同时,它们的数值大小和每次的增减变化都是某一个最小数量单位的整数倍。我们把这一类物理量叫作数字量,把表示数字量的信号叫作数字信号[见图 1-1-4(b)(c)],把工作在这类数字信号下的电子电路叫作数字电路。

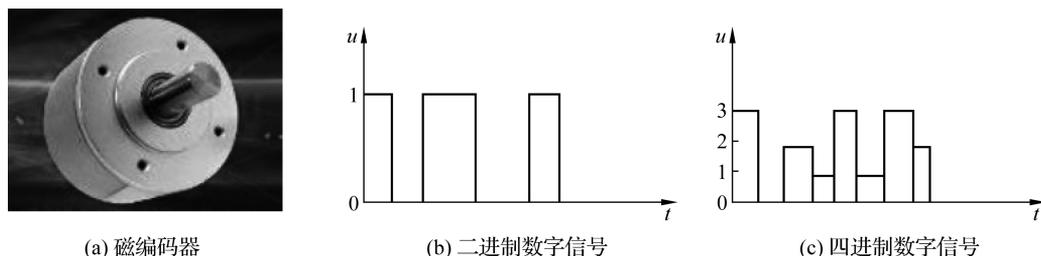


图 1-1-4 数字式传感器与数字信号

4) 按传感器能量转换关系分类

(1) 有源传感器。能量转换型传感器(自源式、发电式)在进行信号转换时不需要另外提供能量,直接由被测对象输入能量,把输入信号能量变换为另一种形式的能量输出使其工作,又称为有源传感器。有源传感器类似于一台微型发电机,它能将输入的非电能量转换成电能输出,传感器本身无需外加电源,信号能量直接从被测对象取得,因此只要配上必要的放大器就能推动显示或记录仪表,如压电式、压磁式、电磁式、电动式、热电偶、光电池、霍尔式、磁致伸缩式、电致伸缩式、静电式等传感器。这类传感器中,有一部分能量的变换是可逆的,也可以将电能转换为机械能或其他非电量,如压电式、压磁式、电动式传感器等。

(2) 无源传感器。能量控制型传感器(他源式、参量式)在进行信号转换时需要先供给能量,即从外部供给辅助能源使其工作,并且由被测量来控制外部供给能量的变化等,又称为无源传感器。对于无源传感器,被测非电量只是对传感器中的能量起控制或调制作用,通过测量电路将它变为电压或电流量,然后进行转换、放大,以推动显示或记录仪表。配用测量电路通常是电桥电路或谐振电路。例如,电阻式、电容式、电感式、差动式、变压器式、涡流式、热敏电阻、光电管、光敏电阻、湿敏电阻、磁敏电阻等传感器都属于无源传感器。

5) 按传感器的内部物理结构分类

(1) 物性型传感器。在实现信号的转换过程中,传感器的结构参数基本不变,而是利用某些物质材料(敏感元件)本身的物理或化学性质的变化来实现信号的转换。这种传感器一般没有可动结构部分,易小型化,故也称为固态传感器,它是以半导体、电介质、铁电体等作为敏感材料的固态器件,如热电偶、压电石英晶体、热电阻及各种半导体传感器。

(2) 结构型传感器。依靠传感器机械结构的几何形状或尺寸(结构参数)的变化而将外界被测参数转换成相应的电阻、电感、电容等物理量的变化,实现信号变换,从而检测出被测信号,如电容式、电感式、应变片式、电位差计式等传感器。

三、传感器的特性及其技术指标

传感器的特性主要是指输出与输入之间的关系,可用数学函数、坐标曲线、图表等方式来表达。在实际应用中,各种环境因素会对传感器的整体性能产生影响。非线性误差(非线性误差=最大误差/量程)总是存在的,传感器产生非线性误差的原因很多,如图 1-1-5 所示。在传感器实验中需要计算非线性误差。通常规定非线性误差不得大于仪器仪表的最大允许误差,也就是说,只要不超差,就不必考虑误差的非线性。

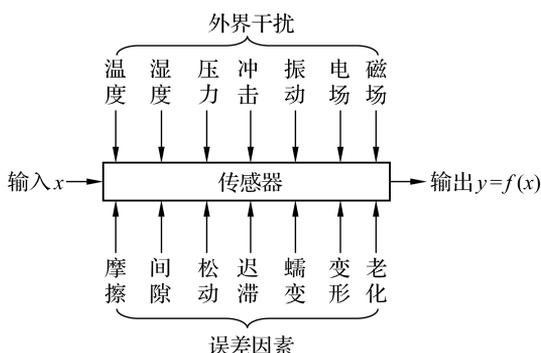


图 1-1-5 传感器产生非线性误差的原因

传感器一般要变换各种信息量为电量,这种变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,其输出特性是不同的。例如,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,慢变信号与快变信号的反应大不相同:慢变信号要研究静态特性,即不随时间变化的特性;快变信号要考虑输出的动态特性,即随时间变化的特性。

1. 传感器的静态特性

1) 传感器的静态特性曲线

当输入量(x)为静态(常量)或变化缓慢的信号(如温度、压力)时,传感器的输入输出关系称为静态特性。通过静态测得 n 个数据对,并利用有关方法拟合而成的曲线,称为传感器的静态特性曲线。

(1)传感器的典型静态特性曲线(见图 1-1-6)。

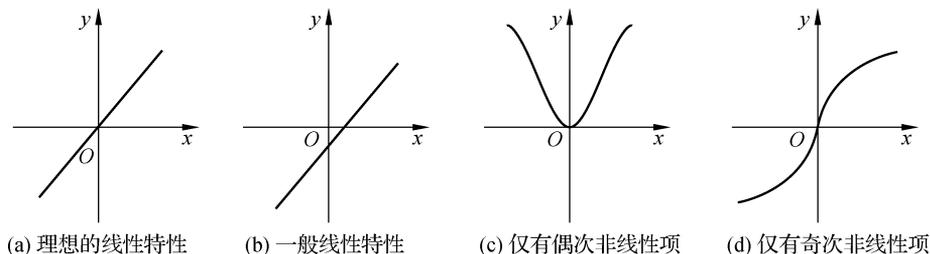


图 1-1-6 传感器的典型静态特性曲线

①理想的线性特性:能准确无误地反映被测的真值,此时传感器的灵敏度为直线 $y = a_1x$ 的斜率,这时传感器的线性度最好。

②一般线性特性:特性曲线是一条不过原点的直线 $y = a_0 + a_1x$ 。

③仅有偶次非线性项:线性范围较窄,线性度较差,此时传感器的灵敏度为相应特性曲线 $y = a_0 + a_2x^2 + a_4x^4 + \dots + a_{2n}x^{2n}$ ($n=0, 1, 2, \dots$) 的斜率。一般传感器设计很少采用这种特性。

④仅有奇次非线性项:线性范围较宽,且特性曲线相对坐标原点对称,即 $y = a_0 + a_1x + a_3x^3 + \dots + a_{2n+1}x^{2n+1}$ ($n=0, 1, 2, \dots$)。使用具有这种特性的传感器时应采取线性补偿措施。

(2)普遍情况下的特性曲线。 $y = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_{2n}x^{2n}$ 为普遍情况下的传感器静态特性曲线。

2) 传感器的静态特性指标

表征传感器静态特性的主要指标有:测量范围及量程、线性度、灵敏度、迟滞、重复性(不重复性)、漂移、误差、阈值、分辨力与分辨率。

(1) 测量范围及量程。传感器所能测量到的最大被测量(输入量)的数值称为测量上限(简称上限, y_{\max}), 最小被测量的数值称为测量下限(简称下限, y_{\min})。上限与下限之间的区间称为测量范围。上限与下限的代数差称为量程, 如图 1-1-7 所示。

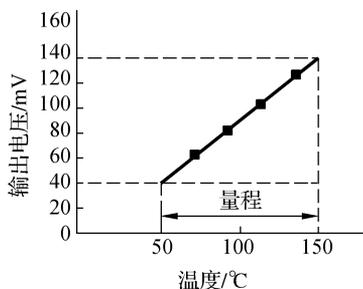


图 1-1-7 量 程

例如,某压力传感器的测量范围为 $-300\sim 300$ mmHg(或表示为 ± 300 mmHg),其量程为 600 mmHg,这说明当输入压力在 $-300\sim 300$ mmHg 之间变化时,该传感器有相应的线性输出,若超出这一范围,则传感器的输出值可能会随压力的变化而发生相应的改变,无法保证输出量与具体压力之间的对应关系。实际传感器的上、下限可以不相等。

① 满量程输出(y_{FS})。满量程对应的输出值记为 $y_{FS} = y_{\max} - y_{\min}$ 。

② 零点迁移和量程调整。在实际使用中,由于测量要求或测量条件的变化,需要改变传感器的零点或量程,为此可以对传感器进行零点迁移和量程调整。通常将零点的变化称为零点迁移,将量程的变化称为量程调整。如图 1-1-8 所示,迁移可分为无迁移、正迁移和负迁移三种。A 量程为 40 kPa,迁移量为 -40 kPa,负迁移,测量范围为 $-40\sim 0$ kPa。 I 表示电流,电流的变化范围为 $4\sim 20$ mA。零点迁移和量程调整可以增强传感器的通用性,但是在何种情况下可以进行迁移,以及能够有多大的迁移量,还需视具体的结构和性能而定。一般压力变送器、差压变送器大多带有零点迁移装置。变送器的量程和迁移量之和即测量范围。

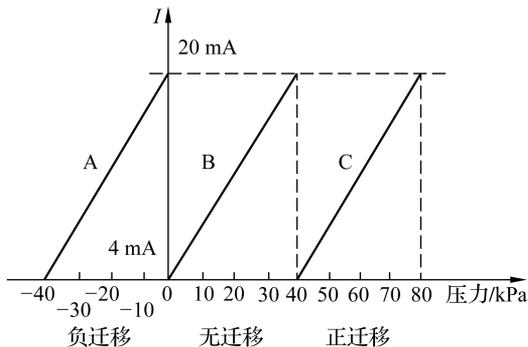


图 1-1-8 迁移类型

(2) 线性度。线性度是指近似后的直线与实际曲线之间存在的最大偏差,又称传感器的非线性误差,通常用相对误差表示,如图 1-1-9 所示。

$$\gamma_L = \frac{|\Delta L_{\max}|}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-1-1)$$

式中, γ_L 为线性度; ΔL_{\max} 为最大非线性误差; y_{FS} 为满量程输出。

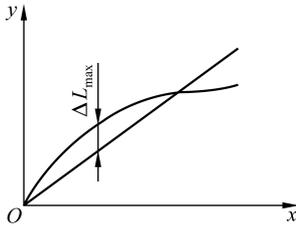


图 1-1-9 线性度

当实际使用非线性传感器时,如果非线性项的次数不高,那么在输入量的变化范围不大的情况下,可用直线(称为拟合直线)近似地代替实际输入-输出特性曲线的某一段,使传感器的非线性特性得到线性化处理。

目前常用的直线拟合方法有理论拟合、过零旋转拟合、端点连线拟合、端点连线平移拟合、最小二乘拟合。前四种方法如图 1-1-10 所示,图中实线为实际输出的校正曲线,虚线为拟合直线。如图 1-1-10(d)所示的端点连线平移拟合曲线分布于拟合直线的两侧, $\Delta L_1 = \Delta L_2 = \Delta L_3 = \Delta L_{\max}$,与图 1-1-10(c)相比,非线性误差减小 1/2。第五种方法(最小二乘拟合)的原理是已知数据 $(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, n)$, 设需拟定的直线为 $b, y=f(x)=kx+b$, 需确定的直线方程的参数为 k 和 b 。根据最小二乘法构建函数 $\Psi(k, b)$, 使得拟合出来的直线与数据的误差最小。

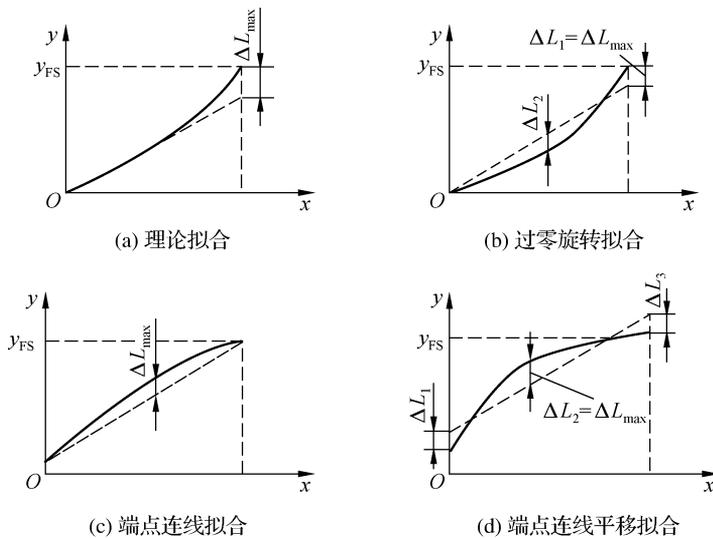


图 1-1-10 四种直线拟合方法

(3)灵敏度。灵敏度是指传感器在稳定条件下,输出微小增量与输入微小增量的比值。

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_{FS}}{\text{量程}} \quad (1-1-2)$$

式中, S 为灵敏度; Δy 为输出量增量; Δx 为输入量增量。

对于线性传感器,灵敏度就是它的静态特性曲线(直线)的斜率 k ;对于非线性传感器,灵敏度是其特性曲线上某一点处切线的斜率,为一变量,如图 1-1-11 所示。

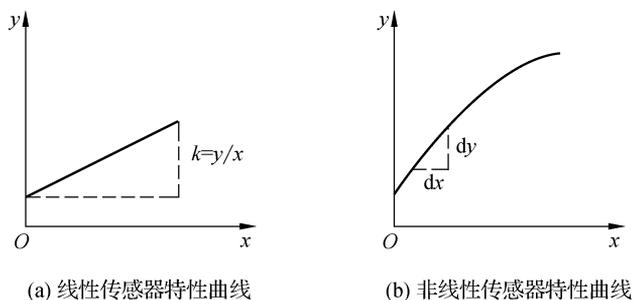


图 1-1-11 传感器的灵敏度

(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,输入、输出曲线不重合的现象称为迟滞,如图 1-1-12 所示。这种现象是由敏感元件材料的物理性质缺陷造成的,如弹性元件的滞后;铁磁体、铁电体在外加磁场、电场中也有这种现象。

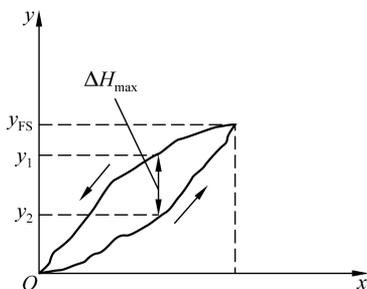


图 1-1-12 迟滞

迟滞误差一般由满量程输出的百分数来表示。

$$\gamma_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

式中, γ_H 为迟滞误差; ΔH_{\max} 为正、反行程输出值间的最大差值。

$$\Delta H_{\max} = y_2 - y_1$$

(5)重复性。在同一工作条件下,同方向连续多次对同一输入值进行测量所得的多个输出值之间相互一致的程度称为重复性。图 1-1-13 中描绘了在同一工作条件下测出的三条实际上升曲线,重复性是指这三条曲线在同一输入值处的离散程度。实际上,重复性常用上升曲线的最大离散程度和下降曲线的最大离散程度中的最大值(R_{\max})与满量程输出之比的百分数来表示。重复性主要由传感器机械部分的磨损、间隙、松动、部件内摩擦、积尘、电路老化、工作点漂移等原因造成。多次测试的曲线越重合,说明重复性越好,误差越小。

重复性误差(γ_R)可用式(1-1-4)计算。

$$\gamma_R = \pm \frac{R_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-1-4)$$

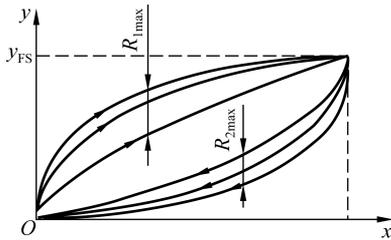


图 1-1-13 重 复 性

(6) 漂移。漂移是指在外界的干扰下,输出量发生与输入量无关的不需要的变化。

① 时间漂移:指在规定的条件下,零点或灵敏度随时间的缓慢变化。

② 温度漂移:指在规定的条件下,零点或灵敏度随温度的缓慢变化。

(7) 误差。

① 误差表示。传感器检测值称为示值,它是被测真值的反映。被测真值只是一个理论值。传感器是一种测量设备,测得的值都有误差。使用国家标准计量机构标定的标准仪表进行测量,其测量值即可作为约定真值。约定真值可代替真值。

- 绝对误差。示值与约定真值之差称为绝对误差,也就是通常所指的误差。

例如,距离测量真值为 1 000 m,测量值为 999.9 m,则绝对误差为-0.1 m。

- 相对误差。绝对误差与约定真值之比称为相对误差,常用百分数表示,即

$$\text{相对误差}(\%) = \frac{\text{绝对误差}}{\text{约定真值}} \times 100\%$$

例如,真值为 10 m,测量值为 9.9 m,则相对误差为 $(0.1 \div 10) \times 100\% = 1\%$ 。又如,真值为 1 000 m,测量值为 999.9 m,则相对误差为 $(0.1 \div 1\,000) \times 100\% = 0.01\%$ 。可以看出,相对误差越小,准确度越高。

- 引用误差。虽然用相对误差来衡量精度比较合理,但是仪表多应用于测量值接近上限值的情况,因而常用量程取代约定真值,则引用误差为

$$\text{引用误差}(\%) = \frac{\text{绝对误差}}{\text{量程}} \times 100\%$$

引用误差在相当程度上代表了测量仪器的精度等级。我国工业仪表的精度等级有 0.005、0.02、0.05、0.1、0.2、0.35、0.4、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 等。级数越小,精度(准确度)就越高。

注意:误差值多由统计估计值和实际检测值的差来表示,一般的估计值选用平均值。

② 误差分类。根据观测误差对测量结果的影响性质,可将观测误差分为三类,即系统误差、偶然误差和粗差。

- 系统误差。系统误差是指误差在大小和符号上表现出系统性,按一定的规律变化,需要在观测过程中消除或者减弱。系统误差总是使测量结果偏向一边(或者偏大,或者偏小),因此需要进行修正。但是多次测量求平均值并不能消除系统误差。

系统误差产生的原因有以下三种。

a. 仪器误差:由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件使用仪器而产生的误差,如仪器的零点不准,仪器未调整好。

b. 人为误差:由于观测者个人感官和运动器官的反应或习惯不同而产生的误差。

c. 方法误差:由于测量方法不合格而产生的误差。

• 偶然误差。偶然误差是指误差在大小和符号上都表现出偶然性,又称为随机误差。偶然误差产生的原因有环境误差(如电磁场的微变,零件的摩擦、间隙,热起伏,空气扰动,气压及湿度的变化)和人为误差(测量人员的感觉器官的变化等),以及它们的综合影响。

• 粗差。粗差是指比正常观测条件下可能出现的最大误差还要大的误差,是一种人为的错误,应尽可能识别和剔除。粗差产生的原因有:所用量具有缺陷,操作时疏忽大意,读数、记录、计算的错误,环境条件的反常、突变,等等。

(8) 阈值。传感器的输入量从零值开始缓慢地增加,直至达到某一最小值时才能检测出输出量的变化,这个最小值就是传感器的阈值。

(9) 分辨力与分辨率。传感器能检测到输入量的最小变化量的能力称为分辨力。对于某些传感器,如电位器式传感器,当输入量连续变化时,输出量只做阶梯变化,此时分辨力就是输出量的每个“阶梯”所代表的输入量大小。当分辨力用满量程输出的百分数表示时,则称为分辨率。

2. 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指传感器的输出量对随时间变化的输入量的响应特性。测试动态被测量时,要求传感器不仅能精确测量被测量的幅值大小,而且能显示被测量随时间变化的波形。但实际上,传感器的输出信号与输入信号之间并没有完全相同的时间函数,会出现误差。

(1) 动态特性的研究内容:分析产生动态误差的原因,提出改善措施。

(2) 动态特性的动态误差:输出量达到稳定后与理想输出量的差值;当输入量跃变时,输出量由一个稳态到另一个稳态的过渡状态中的误差。

(3) 动态特性的分析方法:常用阶跃函数作为输入信号来研究传感器的动态特性,这种分析方法称为阶跃响应法。表征阶跃响应特性的主要技术指标有时间常数、延迟时间、上升时间、峰值时间、最大超调量、响应时间等。

例如,(动态测温)设环境温度为 T_0 ,水槽中水的温度为 T_1 ,而且 $T_1 > T_0$,传感器突然被插入被测介质中,用热电偶测温,理想情况下的测试曲线是阶跃变化的,但实际上热电偶的输出值是缓慢变化的,存在一个过渡过程,如图 1-1-14 所示。

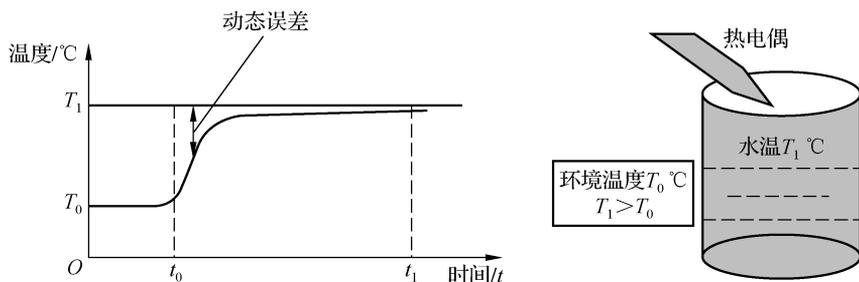


图 1-1-14 动态测温原理

四、传感器的选用

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、测量对象及测量环境合理地选用传感器,是进行某个量的测量时首先要解决的问题。在传感器被确定之后,与之