



“十二五” 职业教育规划教材

传感器应用技术

颜全生 主编

吴 峰 主审

CHUANGANQI YINGYONG JISHU



化学工业出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

传感器应用技术

主编 王 强

副主编 王 强

CHUANGHUI YINGYONG JISHU

CHANGHUI YINGYONG JISHU

“十二五”职业教育规划教材

传感器应用技术

颜全生 主编

吴 峰 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材是为适应教学内容和课程教学体系改革的需要而进行编写的, 主要介绍各种传感器的原理、特性及应用技术、应用实例、市场上传感器的使用等, 具有实际的操作性和针对性, 将学生的学习与实际应用结合在一起, 使学习者更能体会到传感器的魅力。

本教材共计 11 章 26 个实训课题, 适应学习与操作的结合, 按照知识是学出来的, 技能是练出来的原则进行组合。电阻型检测传感器、电压型检测传感器, 是在传统的传感器上增加应用的训练。光电型传感器、数字型传感器、现代检测技术的应用章节中结合现代传感器的应用训练项目进行有效的组合。检测技术应用案例分析的章节中将传感器应用在工程实例中进行编写, 使学习者对工程中的传感器的作用有深刻的认识和了解。最后一章对 CSY 系统传感器检测技术实训(验)设备进行介绍。为方便教学, 配套电子课件。

本教材适于职业院校的学生、本科院校的学生使用, 对企业的技术人员学习也有一定的参考价值, 特别是在技师和高级技师的学习中有较大的帮助。

图书在版编目(CIP)数据

传感器应用技术/颜全生主编. —北京: 化学工业出版社,
2013. 1

“十二五”职业教育规划教材

ISBN 978-7-122-15820-8

I. ①传… II. ①颜… III. ①传感器-职业教育-教材
IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 267013 号

责任编辑: 韩庆利

文字编辑: 徐卿华

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19¼ 字数 489 千字 2013 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前言

本教材是为了适应高职院校的课程改革，实现培养人才目标的需要，满足技能型人才既懂理论又能动手操作的要求及工学结合的理念而进行编写的。现代传感器的应用在我们的生活中时时在起着作用，温度传感器在空调、冰箱中控制着温度，手机中的触摸传感器使操作更方便。现代化的企业中更是离不开传感器。

在现有的检测技术中传感器分类有多种，有电类和非电类；有传统型、现代型、网络型；也有用功能分类的，如电阻型、电压型、超声波、光电型、数字型、视觉型等。本书是按功能进行分类编写，在功能分类上，第2章介绍电阻型检测传感器，包括阻抗式传感器、变磁阻式传感器、电容式传感器及应用举例，有6个实训项目；第3章电压型检测传感器中包括压电式传感器压电效应、温度传感器、霍尔式传感器及5个实训项目；第4章超声波流量检测传感器包括超声波传感器、差压式流量计、速度式流量计、电磁流量计、容积流量计及2个实训项目；第5章光电型传感器包括光电传感器、光纤传感器、视觉传感器及4个实训项目；第6章数字式传感器包括光栅传感器、编码器、测速传感器的应用、感应同步器及其应用、旋转变压器及实训项目；第7章其他传感器包括气敏传感器、湿敏传感器、色敏传感器、热释电红外传感器及2个实训项目；第8章现代检测技术的应用包括虚拟检测仪器、网络化传感器、无线传感器网络、无线传感器网络的特点及实训等；第9章传感器接口与检测电路包括传感器与检测电路的一般结构形式、传感器接口电路、信号处理电路、信号变换电路、噪声的抑制及4个实训项目等；第10章检测技术应用案例分析包括实例应用及实训等。通过实训项目的练习，更能掌握这些传感器原理及使用方法，达到学习后会使用的目的。其实使用是更好的学习，在使用中学习更能掌握其应用技能和精髓。这样对教师的要求会更高，同时对教学设备要求更完善、更接近实际的环境，这样才能达到培养技能型人才的要求。

本教材适于职业院校的学生、本科院校的学生使用，对企业的技术人员学习也有一定的参考价值，特别是在技师和高级技师的学习中有较大的帮助。

本书由颜全生副教授主编并统稿，参加编写的还有刘遥生、杜江、李胜明、王明忠、熊健等。全书由吴峰主审。

为方便科学，本书配套电子课件，可赠送给用本书为授课教材的院校和老师，如有需要，可发邮件至 hqlbook@126.com 索取。

书中难免有不足之处，请大家批评指正。

编者

目 录

第1章 传感器概论 /1

1.1 传感器的构成及分类	2
1.1.1 传感器的定义	2
1.1.2 传感器的组成	2
1.1.3 传感器的分类	3
1.2 传感器的基本特性	4
1.2.1 传感器的静态特性	4
1.2.2 传感器的动态特性	6
1.3 传感器的作用	8
1.4 传感器的发展方向	9
本章小结	11
思考与练习题	12

第2章 电阻型检测传感器 /13

2.1 阻抗式传感器	13
2.1.1 电位器式传感器	13
2.1.2 应变式传感器	16
2.1.3 压阻式传感器	24
2.1.4 电阻式传感器应用举例	30
实训1 电阻应变式传感器	33
实训2 拉压力式传感器	35
2.2 变磁阻式传感器	36
2.2.1 电感式传感器	37
2.2.2 差动变压器式传感器	44
2.2.3 电涡流式传感器	47
2.2.4 变磁阻电感式传感器应用举例	52
实训3 差动变压器式传感器	54
实训4 电涡流式传感器	56
2.3 电容式传感器	57
2.3.1 工作原理	58
2.3.2 电容式传感器的类型	58
2.3.3 电容式传感器的测量电路	60

2.3.4 测量电路的例题·····	64
2.3.5 应用中应注意的问题·····	66
2.3.6 应用举例·····	68
实训5 差动平行变面积电容式传感器实训·····	71
实训6 电容式助听器电路实训·····	72

第3章 电压型检测传感器 /74

3.1 压电式传感器·····	74
3.1.1 压电效应·····	74
3.1.2 压电材料·····	76
3.1.3 压电式传感器测量电路·····	77
3.1.4 压电式传感器的应用·····	80
实训7 压电式加速度传感器·····	82
3.2 温度传感器·····	82
3.2.1 温度传感器基本知识·····	82
3.2.2 热电偶温度传感器·····	84
3.2.3 电阻式温度传感器·····	88
3.2.4 热电式传感器应用举例·····	91
实训8 热电偶的安装、使用及校验·····	93
实训9 热电偶温度传感器·····	95
3.3 霍尔式传感器·····	96
3.3.1 霍尔元件的基本工作原理·····	96
3.3.2 霍尔元件的基本结构和主要技术指标·····	98
3.3.3 霍尔元件的检测电路·····	100
3.3.4 霍尔传感器的应用·····	103
实训10 霍尔传感器组成接近开关电路·····	107
实训11 霍尔传感器的直流激励特性·····	108

第4章 流量检测传感器 /110

4.1 超声波工作原理·····	110
4.1.1 超声波传感器的分类·····	110
4.1.2 超声波传感器的应用·····	113
4.2 差压式流量计·····	115
4.3 速度式流量计·····	116
4.4 电磁流量计·····	118
4.5 容积流量计·····	119
4.6 应用举例·····	121
实训12 简易超声波测距仪·····	122
实训13 超声波流量计应用·····	123
思考与练习题·····	124

第5章 光电型传感器 /125

5.1 光电传感器	125
5.1.1 光电效应	125
5.1.2 光电器件的工作原理	126
5.1.3 光电传感器的典型应用	132
5.2 光纤传感器	135
5.2.1 光纤结构及其传光原理	135
5.2.2 光纤传感器的分类	136
5.2.3 光纤传感器的应用	137
实训 14 光电开关	138
实训 15 路灯光电控制器	139
5.3 视觉传感器	140
5.3.1 视觉检测系统的组成	140
5.3.2 视觉传感器的工作原理	143
5.3.3 视觉传感器的应用	150
本章小结	155
实训 16 红外传感器测量系统的应用	155
实训 17 视觉检测传感器的应用（瓷片检测系统）	158

第6章 数字式传感器 /161

6.1 光栅传感器	161
6.1.1 光栅传感器的工作原理	161
6.1.2 光栅传感器的结构	163
6.1.3 光栅传感器的应用	166
6.2 编码器	167
6.2.1 直接式编码器	167
6.2.2 脉冲盘式编码器	171
6.3 测速传感器的应用	173
6.3.1 测速发电机	173
6.3.2 光电转速测量传感器	174
6.4 感应同步器及其应用	175
6.4.1 感应同步器的结构	176
6.4.2 感应同步器的工作原理	176
6.4.3 感应同步器在数控机床中的应用	178
6.4.4 感应同步器在 A/B 尺寸检测中的应用	179
实训 18 光电式传感器测速仪	182
6.5 旋转变压器	184
6.5.1 旋转变压器的结构及工作原理	184
6.5.2 旋转变压器的应用	185

本章小结·····	186
思考与练习题·····	186

第7章 其他传感器 / 187

7.1 气敏传感器·····	187
7.1.1 半导体气敏传感器的工作原理·····	188
7.1.2 半导体气敏传感器的应用·····	194
7.2 湿敏传感器·····	195
7.3 色敏传感器·····	200
7.4 热释电红外传感器·····	203
实训 19 热释电红外传感器照明灯开关的制作·····	209
实训 20 气敏传感器的应用·····	210
本章小结·····	212
思考与练习题·····	212
传感器的发展趋势·····	212

第8章 现代检测技术的应用 / 215

8.1 虚拟检测仪器·····	215
8.1.1 虚拟仪器的产生·····	215
8.1.2 虚拟仪器的组成·····	216
8.1.3 虚拟仪器的应用·····	216
8.2 网络化传感器·····	217
8.2.1 网络化传感器的概念·····	217
8.2.2 网络化传感器·····	218
8.2.3 网络化测控系统·····	218
8.2.4 互联网的测控系统·····	218
8.3 无线传感器网络·····	219
8.3.1 军事上的应用·····	219
8.3.2 医疗护理的监控·····	220
8.3.3 环境的监测和保护·····	220
8.4 无线传感器网络的特点·····	220
8.4.1 无线传感器网络组成特点·····	220
8.4.2 无线传感器的节点·····	221
8.4.3 无线通信的技术方法·····	221
8.5 应用实例·····	223
8.5.1 硬件系统的组成·····	224
8.5.2 硬件的特性·····	224
实训 21 现代激光检测技术应用·····	225
本章小结·····	230
思考与练习题·····	230

第9章 传感器接口与检测电路 / 231

9.1 传感器与检测电路的结构形式	231
9.1.1 传感器输出电路的分类	231
9.1.2 传感器信号的处理方法	232
9.2 传感器接口电路	233
9.2.1 阻抗匹配器电路	233
9.2.2 放大电路	234
9.2.3 应用实例	236
实训 22 放大器电路的检测	238
9.3 信号处理电路	239
9.3.1 抗干扰信号的选择	239
9.3.2 调制与解调电路	241
9.4 信号变换电路	244
9.4.1 集成电压比较器	244
9.4.2 采样保持器	247
9.4.3 多路模拟开关	248
9.4.4 电压/电流变换器	249
9.4.5 电压-频率变换	250
9.4.6 A/D 模数转换电路	252
9.5 噪声的抑制	256
9.5.1 噪声产生的根源	256
9.5.2 噪声抑制方法	256
实训 23 传感器典型接口电路	259
实训 24 相敏检波器特性测量实训	261
实训 25 数模转换电路与单片机的接口电路	264
思考与练习题	265

第10章 检测技术应用案例分析 / 266

10.1 谷物水分检测仪	266
10.2 测重仪	267
10.3 冲床光电保护装置	268
实训 26 数字式温度传感器应用	270
10.4 高精度热电偶数字温度计	278
10.4.1 基准接点补偿和放大电路	278
10.4.2 非线性校正电路	279
10.4.3 平方电路和加法电路	279
10.4.4 调试	280
10.5 中央空调节能系统应用	280
10.5.1 系统组成和工作原理	280

10.5.2	节能控制设计·····	281
10.5.3	中央空调系统冷冻水节能控制·····	284
10.5.4	中央空调系统冷却水节能控制·····	285

第 11 章 传感器实训平台 / 289

附 录 标准热电偶分度表 / 294

参考文献·····	298
-----------	-----

第1章

传感器概论

传感器在科学技术的迅猛的发进中和生产过程高度自动化中已成为特别重要的部分。传感器应用在军事、航天行空、工业、农业、医疗和人们的生活中，成为必不可少的仪器设备。人们要了解社会、改造社会，只有从外界获取大量准确、可靠的信息后，经过一系列的科学分析、处理、加工与判断，进而认识、掌握自然界和科学技术中的各种现象与其相关变化规律。在工业生产过程的现代化面临的第一个问题是必须采用各种传感器来检测、监视和控制各种静态及动态参数，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，所以进行信息采集的传感器技术是最重要的基础，此后才有后期的信息分析、处理、加工、控制等技术问题。当然，人们在早期是通过人体自身的感觉器官与外界保持接触，在一定程度上和一定范围内获得颇有意义与有限的重要信息，以维持与指导人类的正常生活和生产活动。例如人类的耳朵能听到声波在音频段的声音，但却听不到声波中的超低频段或超高频段的声音；又如人类的眼睛能分辨出自然光或白光中的主要光波颜色，但却无法辨别出红外光或紫外光。因而，多年来人们不仅研究出具有人类感觉器官上所具有的感觉功能的检测元件——传感器，而且努力研究开发出了人类感觉器官所不具备的感觉功能的传感器。

近三十年来快速发展的 IC 技术与电子计算机技术，为传感器的高速发展提供了非常良好与可靠的科学技术基础，同时也提出了更高的要求。在近二十年中，世界各国都将传感器技术列为尖端技术，尤其是在经济发达的国家，对传感器及其技术的发展更是倍加重视。由于现代生活中的人们已经认识到，现代信息技术的三大基础是信息的采集、传输和处理技术，即传感器技术、通信技术与计算机技术分别构成了信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”，而信息采集系统的最前端就是传感器。现代通信技术与计算机技术已经达到高度发达的地步，所以，人们常说：“征服了传感器，就等于征服了科学技术”。美国在 20 世纪 80 年代就称其是传感器的时代；日本把十大技术之首定位于传感器；俄罗斯国防发展中的“军事航天”计划也把传感器技术列为重点；英、德、法国也拨出专款来发展传感器技术；我国在“八五”规划中也把传感器技术列为重点发展技术和 21 世纪发展的高科技项目之一。鉴于我国对传感器的研究与发展较晚，基础较差，为了缩小差距，必须加速与促进我国传感器技术的发展。

传感器是探索与测量自然界各种参数的检测元件。有人曾通俗称其为“探头”（Probe），英语中还有“Sensor”（敏感元件）与“Transducer”（传感器）之称，我国有“传感器”、

“换能器”与“变换器”之称，国际标准化组织（ISO）和日本工业标准“JIS-ZI30”将传感器定义为“对应于被测量、能给出易于处理的输出信号的变换器”。实际上，能够完成两种量（光、热、电、力学量、机械量等）之间的变换或转换关系，都符合于传感器的定义范围，从目前实际应用情况看，鉴于目前电学及其器件与系统的高度发展，往往是传感器配有测量电路以后的输出量都是电量，所以在一些资料与参考书中，将电量作为输出量的传感器称为电子传感器。

传感器作为检测元件进行测量各种物质已成为当今社会必不可少的仪器。在现代社会中改进测试方法和仪器创新而获得诺贝尔物理和化学奖中大约占有 1/4。国家重点工程上海宝钢的技术装备投资有 1/3 的经费用于购买仪器和自控系统。这就是传感器的科学与价值。

据美国国家标准技术研究院（NIST）的统计，美国为了质量认证和控制、自动化及流程分析，每天完成 2.5 亿个检测，占国民生产总值的 3.5%。要完成这些检测，需要大量的、种类繁多的分析和检测仪器。仪器与检测技术已成为当代促进生产的一个主流环节。美国商业部国家标准局（NBS）在 20 世纪 90 年代初评估仪器仪表工业对美国国民生产总值的影响作出的调查报告中称，仪器仪表工业总产值只占工业总产值的 4%，但是它对国民经济的影响达到 66%。

仪器仪表在现代工业生产中是必不可少的设备，也是改造传统工业必备的手段。仪器在产品质量评估及计算等有关国家法制实施中起着技术监督的“物质法官”的作用，在国防建设和国家可持续发展战略等诸多方面，都起至关重要的作用。现代仪器已逐渐走进千家万户，与人们的日常生活、身体健康、工作和娱乐休戚相关。特别是当前建立诚信社会、诚信人格、诚信企业，仪器仪表起着必不可少的作用。

1.1 传感器的构成及分类

1.1.1 传感器的定义

关于传感器，至今尚无一个比较全面的定义。不过，对以下提法，学者们似乎不持异议。传感器（Transducer 或 Sensor）有时亦被称为换能器、变换器、变送器或探测器，主要特征是能感知和检测某一形态的信息，并将其转换成另一形态的信息。因此，传感器是指那些对被测对象的某一确定的信息具有感受（或响应）与检出功能，并使之按照一定规律转换成与之对应的有用输出信号的元器件或装置。当然这里的信息应包括电量和非电量。在不少场合，人们将传感器定义为敏感于待测非电量并可将它转换成与之对应的电信号的元件、器件或装置的总称。当然，将非电量转换为电信号并不是惟一的形式。例如，可将一种形式的非电量转换成另一种形式的非电量（如将力转换成位移等）；另外，从发展的眼光来看，将非电量转换成光信号或许更为有利。

1.1.2 传感器的组成

传感器一般是根据物理、化学、生物学的效应和规律设计而成的，大体上可分为物理型、化学型、生物型三大类组成。化学型传感器是利用电化学反应原理，把无机化学、有机化学物质的成分、浓度等转换为电信号的传感器。生物型传感器是利用生物活性物质选择

性, 识别和测定生物和化学物质的传感器。这两类传感器应用在化学工业、环保监测和医学诊断。物理型传感器可分为物性型传感器和结构性传感器。物性型传感器是利用其物理特性变化实现信号转换, 例如热敏电阻、光敏电阻等。结构性传感器是利用其结构参数变化实现信号转换, 例如变极距型电容式传感器、变气隙型电感型传感器等。传感器都是按照一定的工作原理和结构研制出来的, 因此传感器的组成细节有较大差异。但是, 总的来说, 传感器应由敏感元件、转换元件和其他辅助部件组成, 如图 1-1 所示。敏感元件是指传感器中能直接感受(或响应)与检出被测对象的待测信息(非电量)的部分, 转换元件是指传感器中能将敏感元件所感受(或响应)出的信息直接转换成电信号的部分。例如, 应变式压力传感器由弹性膜片和电阻应变片组成, 其中的弹性膜片就是敏感元件, 它能将压力转换成弹性膜片的应变(形变); 弹性膜片的应变施加在电阻应变片上, 它能将相应的变量转换成电阻的变化量, 电阻应变片就是转换元件。



图 1-1 传感器组成

应该指出的是, 并不是所有的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, 它就同时兼为转换元件, 因此, 敏感元件和转换元件两者合一的传感器是很多的。例如, 压电晶体、热电偶、热敏电阻、光电器件等都是这种形式的传感器。

信号调节电路是能把转换元件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理和控制的有用电信号的电路。辅助电路通常包括电源, 即交、直流供电系统。

1.1.3 传感器的分类

传感器技术是一门知识密集型技术, 它与许多学科有关。传感器的原理各种各样, 其种类繁多, 分类方法也很多。

(1) 按被测量分类

根据被测量可分为加速度传感器、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、温度传感器等。这种分类方法对于用户与生产单价来说是一目了然的。但是这种分类方法的弊病造成了传感器名目繁多, 又把原理互不相同的同一用途的传感器归为一类, 这就很难找出各种传感器在转换原理上的共性与差异, 难以建立起对传感器的基本概念, 不利于掌握传感器的原理与性能的分析方法。

(2) 按传感器的工作原理分类

这种分类方法是以传感器的工作原理为依据的, 可分为电阻应变式、电容式、电感式、压电式、霍尔式、光电式、热敏式等。这种分类方法的优点是可以避免传感器的名目繁多, 使传感器的划分类别较少, 并有利于传感器专业工作者对传感器的工作原理与设计归纳性的分析研究, 使设计与应用更具有合理性与灵活性。缺点是会使对传感器不够了解的用户感到使用不方便。

(3) 按能量的传递方式分类

从能量观点来看, 所有的传感器可分为有源传感器与无源传感器两大类。前者可把传感器视为一台微型发电机, 能将非电功率转换为电功率, 它所配用的测量电路通常是信号放大器。所以, 有源传感器是一种能量变换器, 如压电式、热电式(热电偶)、电磁式、电动式

等。在有源传感器中,有些传感器的能量转换是可逆的,另一些是不可逆的,并且有些有源传感器通常附有力学系统,只能用在接触式的测量中,如压电式加速度传感器。这类传感器不具有直流响应,只能用于动态测量中,如温度传感器中的热电偶,它是利用两种不同金属的温差所产生的电势进行测量的。无源传感器不进行能量的转换,被测的非电量仅对传感器中的能量起着控制或调节的作用。所以,它必须具有辅助能源(电源),例如电阻、电容、电感式传感器等,遥感技术中的微波、激光等传感器可以归结为此类。无源传感器本身并不是一个信号源,所以它所配用的测量放大器与有源传感器不一样,通常是电桥电路或谐振电路,并且无源传感器具有直流响应,一般不配力学系统,因而适用于静态和动态测量,有时还可以用在非接触的测量场合。

(4) 按输出信号的性质分类

可分为模拟传感器与数字传感器两大类。模拟传感器要通过 A/D 变换器才能输入到电子计算机,对信号进行分析加工与处理;数字式传感器则直接可送到电子计算机进行处理。

1.2 传感器的基本特性

在测试过程中,要求传感器能感受到被测量的变化并将其不失真地转换成容易测量的量。被测量一般有两种形式:一种是稳定的,即不随时间变化或变化极其缓慢,称为静态信号;另一种是随时间变化而变化,称为动态信号。由于输入量的状态不同,传感器所呈现出来的输入与输出特性也不同,因此,传感器的基本特性一般用静态特性和动态特性来描述。

1.2.1 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指被测量的数量值,处于稳定状态时的输入与对应的输出关系。衡量静态特性的重要指标是线性度、灵敏度、迟滞、重复性、分辨率和漂移等。

(1) 线性度

传感器的线性度是指其输出量与输入量之间的实际关系曲线(即静特性曲线)偏离直线的程度,又称非线性误差。静特性曲线可通过实际测试获得。在实际使用中,大多数传感器为非线性的,为了得到线性关系,常引入各种非线性补偿环节。如采用非线性补偿电路或计算机软件进行线性化处理。如果传感器非线性的次方不高,输入量变化范围较小时,可用一条直线(切线或割线)近似地代表实际曲线的一段,如图 1-2 所示,使传感器输入对应的输出线性化。所采用的直线称为拟合直线。实际特性曲线与拟合直线之间的偏差称为传感器的非线性误差(或线性度),通常用相对误差 γ_L 表示,即

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

式中 $\Delta L_{\max}$ ——最大非线性绝对误差;

Y_{FS} ——满量程输出。

从图 1-2 可见,即使是同类传感器,拟合直线不同,其线性度也是不同的。选取拟合直线的方法很多,常用的有理论直线法、端点法、割线法、切线法、最小二乘法和计算机程序法等,用最小二乘法求取的拟合直线的拟合精度最高。

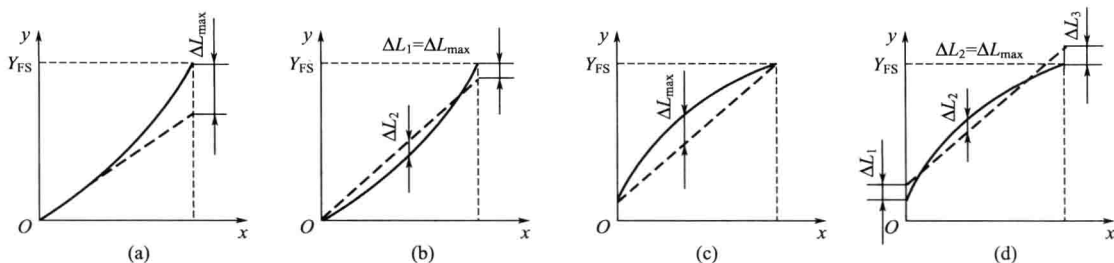


图 1-2 几种直线拟合法

(2) 灵敏度

灵敏度 k 是指传感器的输出量增量 Δy 与引起输出量增量 Δy 的输入量 Δx 的比值，即

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{或} \quad k = \frac{dy}{dx} \quad (1-2)$$

对于线性传感器，它的灵敏度就是它的静态特性的斜率，即 k 为常数；而非线性传感器的灵敏度为一变量，用 $k = dy/dx$ 表示。传感器的灵敏度如图 1-3 所示。

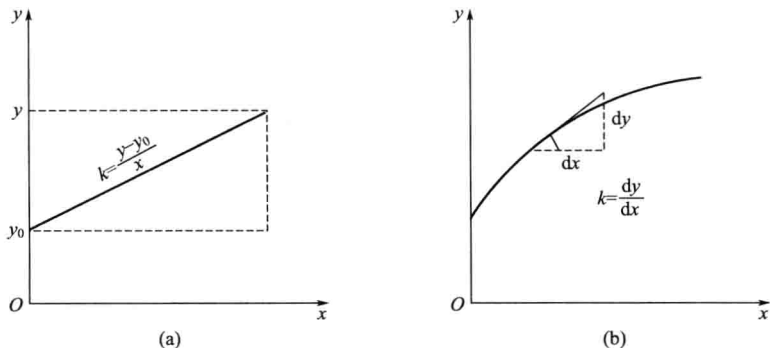


图 1-3 传感器的灵敏度

另外，有时用输出灵敏度这个性能指标来表示某些传感器的灵敏度，如应变片式压力传感器。输出灵敏度是指传感器在额定载荷作用下，测量电桥供电电压为 1V 时的输出电压。

(3) 迟滞（回差滞环现象）

传感器在正向（输入量增大）行程和反向（输入量减小）行程期间，输出-输入特性曲线不重合的现象称为迟滞，如图 1-4 所示。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等。产生这种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，具有一定的随机性。

迟滞大小通常由实验确定。迟滞误差 γ_H 可由下式计算：

$$\gamma_H = \pm \frac{1}{2} \times \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中， $\Delta H_{\max}$ 是正、反行程输出值间的最大值。

(4) 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向作全程多次测试时，所得特性曲线不一致性的程度，如图 1-5 所示。多次按相同条件输入进行测试，得出的输出特性曲线重合性，其重复性越好，误差越小。

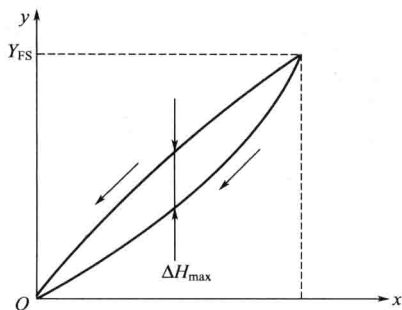


图 1-4 传感器迟滞特性

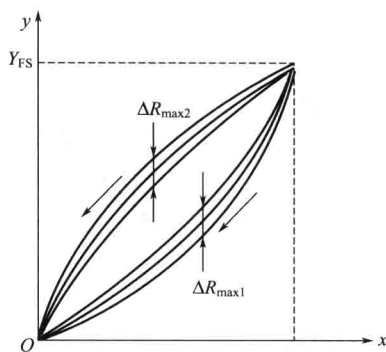


图 1-5 重复性

不重复性 γ_R 常用标准偏差 σ 表示, 也可用正、反行程中的最大偏差 $\Delta R_{\max}$ 表示, 即

$$\gamma_R = \pm \frac{1}{2} \times \frac{(2 \sim 3)\sigma}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

或

$$\gamma_R = \pm \frac{1}{2} \times \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

(5) 分辨率

传感器的分辨率是指在规定测量范围内所能检测输入量的最小变化量 $\Delta x_{\min}$ 。有时也用该值相对满量程输入值的百分数 ($\Delta x_{\min}/x_{FS} \times 100\%$) 表示。

(6) 稳定性

传感器的稳定性一般是指长期稳定性, 是在室温条件下, 经过相当长时间的间隔, 如一天、一月或一年, 传感器的输出与起始标定时输出之间的差异, 因此通常又用其不稳定性来表征传感器输出的稳定程度。

(7) 漂移

传感器的漂移是指在外界的干扰下, 输出量发生与输入量无关的变化, 包括零点漂移和灵敏度漂移等。

传感器在零输入时, 输出的变化称为零点漂移。零点漂移或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。温度漂移是指当环境温度变化时, 引起的零点或灵敏度漂移。漂移一般可通过串联或并联可调电阻来消除。

1.2.2 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指其输出对随时间变化的输入量的响应特性。一个动态特性好的传感器, 其输出将再现输入量的变化规律, 即具有相同的时间函数。在动态的输入信号情况下, 输出信号一般来说不会与输入信号具有完全相同的时间函数, 这种输出与输入间的差异就是所谓的动态误差。

影响传感器的动态特性主要是传感器的固有因素, 如温度传感器的热惯性等, 不同的传感器, 其固有因素的表现形式和作用程度不同。另外, 动态特性还与传感器输入量的变化形式有关。也就是说, 在研究传感器动态特性时, 通常是根据不同输入变化规律来考察传感器的动态响应的。传感器的输入量随时间变化的规律有各种各样的, 下面对传感器动态特性的