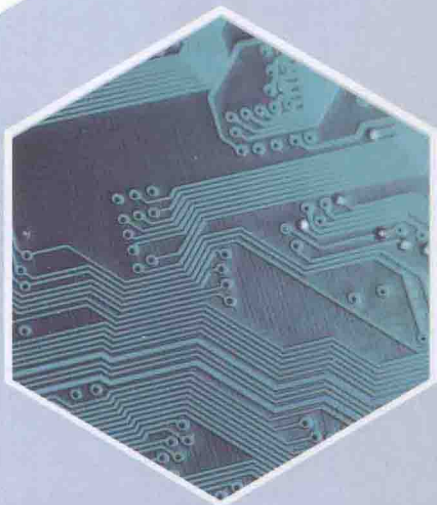




高职高专教育“十二五”规划教材

传感器检测技术

蔡雯 沈肱 ○ 主编



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press



高职高专教育“十二五”规划教材

传感器检测技术

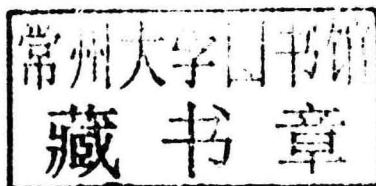
主 编 蔡 雯 沈 旻

副主编 吕惠芳 崔玲玲 李 冬

王 稳

参 编 李海波 许卫洪 顾菊芬

轩克辉 刘雄辉



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

内 容 简 介

本书包括了传感器及其检测技术两大部分。传感器知识部分介绍了测量温度、力及压力、位移、速度及加速度、流量及流速、光电等常见物理量的传感器,主要讲述了各种传感器的工作原理、特性分析、测量电路、结构、材料、适用范围及实际应用实例等相关知识;检测技术部分介绍了传感器的抗干扰技术、信号转换、信号处理、接口技术等内容。

本书深入浅出、通俗易懂,可作为高职高专类院校的应用电子技术、自动控制、电气自动化、仪器仪表、机电一体化、工业自动化、电子信息、汽车工程与机械等专业的教材,也可作为相关工程技术人员的参考和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器检测技术/蔡雯,沈肱主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2011. 2
ISBN 978 - 7 - 5661 - 0000 - 9

I. 传… II. ①蔡… ②沈… III. 传感器—高等
学校:技术学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 013690 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 北京朝阳印刷厂有限责任公司
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 15
字 数 355 千字
版 次 2011 年 2 月第 1 版
印 次 2011 年 2 月第 1 次印刷
定 价 28.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前言

本书是为高职高专教育编写的教材,是编者在多年的教学实践基础上,结合自己的教学经验,在力求通俗、简明的指导思想下编写而成。

作为人体感觉器官的延伸,传感器已应用于生活、生产、航空航天、科研等各个领域,是各种信息检测系统、自动测量系统、自动报警系统和自动控制系统必不可少的信息采集的“感觉器官”,在现代科学技术和工程领域中占有极其重要的地位和作用。随着传感技术的飞速发展,其应用领域更为广泛普遍,传感器相关知识和技术成为相关技术人员的必备知识,本书还可以作为相关技术人员的自学用书。

全书共有 10 章,分别介绍了常见物理量的检测用传感器,包括温度检测、力及压力检测、位移检测、速度和加速度检测、流量及流速检测、光电检测、气体及湿度检测,此外,本书还对传感器的相关检测知识、电路转换及信息处理技术、传感器网络进行了阐述,每个单元选材力求通俗、简明、实用、操作性强,每章有复习思考题。

本书可作为电子信息类、智能仪表、工业自动化、自动控制、机电一体化、计算机应用等专业的教材。使用本教材的学校可以根据专业要求、实验条件和其他实际情况,对相应章节的内容进行取舍。

本书由无锡商业职业技术学院蔡雯,常州纺织服装职业技术学院沈肱任主编;健雄职业技术学院崔玲玲、王稳,无锡工艺职业技术学院吕惠芳、李冬任副主编;无锡商业职业技术学院李海波、许卫洪、顾菊芬,漯河职业技术学院轩克辉,湖南都市职业学院刘雄辉任参编。具体编写分工为蔡雯编写第 1 章,并对全书统稿,沈肱编写第 6、7 章,崔玲玲与王稳共同编写第 8、9 章,吕惠芳编写第 5 章,李冬编写第 4 章,李海波编写第 3 章,许卫洪编写第 2 章,顾菊芬编写第 10 章,轩克辉和刘雄辉参与了资料的搜集与整理工作。

本书的编审工作得到了许多同行的热情帮助,并提出了宝贵意见,也得到了编者所在院校领导的关心和支持,在此一并表示衷心感谢。

编 者
2010 年 11 月

目 录

第 1 章 传感器检测技术基础	1
1.1 检测技术概述	2
1.1.1 检测技术	2
1.1.2 传感检测技术的地位与作用	3
1.2 传感器的组成及分类	3
1.2.1 传感器的组成	4
1.2.2 传感器的分类	4
1.3 传感检测系统的基本特性、评价指标与选用原则	6
1.3.1 传感器的静态特性	6
1.3.2 传感器的动态特性	9
1.3.3 环境参数	9
1.3.4 传感器的选用原则	9
1.4 提高传感器性能的方法	10
1.4.1 传感器性能指标	10
1.4.2 提高传感器性能的方法	10
1.5 传感器性能的标定与校准	11
1.5.1 标定与校准的方法	11
1.5.2 静态标定	12
1.5.3 动态标定	12
第 2 章 信号处理与检测系统	14
2.1 传感检测系统的组成	15
2.2 电桥	16
2.2.1 直流电桥	16
2.2.2 交流电桥	18
2.3 阻抗匹配器	19
2.3.1 阻抗匹配的基本原理	19
2.3.2 阻抗匹配器	20
2.4 放大电路	20
2.4.1 同相放大器	20
2.4.2 反相放大器	21

2.4.3	差动放大器	21
2.4.4	电荷放大器	22
2.4.5	仪用放大器	22
2.5	数/模、模/数转换电路	23
2.5.1	数/模转换器	24
2.5.2	模/数转换器	30
2.5.3	电压/频率转换器	36
2.6	多路模拟开关及采样保持器	39
2.6.1	多路模拟开关	39
2.6.2	采样保持电路	40
2.7	传感检测系统中的抗干扰问题	42
2.7.1	形成干扰的三要素	42
2.7.2	干扰的产生和来源	43
2.7.3	常见的抗干扰措施	44
第3章	温度检测	48
3.1	温度测量概述	49
3.1.1	温度与温标	49
3.1.2	温度测量的主要方法和分类	49
3.2	热电偶传感器	50
3.2.1	热电偶测温原理	50
3.2.2	热电偶基本定律	51
3.2.3	热电偶材料及常用热电偶	53
3.2.4	热电偶的基本结构	55
3.2.5	热电偶冷端温度补偿	56
3.2.6	热电偶常用测温电路	58
3.2.7	热电偶传感器的典型温度测量电路应用	60
3.3	电阻式温度传感器	62
3.3.1	金属热电阻传感器	62
3.3.2	半导体热敏电阻传感器	66
3.4	集成温度传感器	69
3.4.1	集成温度传感器基本工作原理	69
3.4.2	集成温度传感器的输出形式	70
3.4.3	常用集成温度传感器特性	71
3.4.4	集成温度传感器的典型测温电路	71
3.5	辐射式温度传感器	73
3.5.1	概述	73
3.5.2	红外测温仪	73

第4章 力及压力检测	77
4.1 概述	78
4.1.1 力的测量	78
4.1.2 压力的测量	78
4.2 应变式力传感器	80
4.2.1 电阻应变片的工作原理	80
4.2.2 电阻应变片的种类	82
4.2.3 测量转换电路	85
4.2.4 电阻应变片的温度误差及其补偿	86
4.2.5 应变式传感器的应用	87
4.3 压电式压力及力传感器	92
4.3.1 压电效应及压电材料	92
4.3.2 压电式传感器等效电路	95
4.3.3 压电式传感器的转换电路	97
4.3.4 压电式传感器的应用	98
4.4 电容式压力传感器	101
4.4.1 电容式传感器的工作原理及结构形式	102
4.4.2 电容式传感器的测量转换电路	105
4.4.3 电容式传感器的应用	107
4.5 压磁式力传感器	109
4.5.1 压磁式传感器的工作原理	110
4.5.2 传感器的应用形式	112
4.5.3 参数选取的基本原则	113
4.5.4 压磁传感器的误差	114
4.6 力传感器应用实例	114
第5章 位移传感器	117
5.1 电感式位移传感器	119
5.1.1 自感式传感器	119
5.1.2 差动变压器式传感器	124
5.2 电涡流式位移传感器	128
5.2.1 涡流式位移传感器的基本结构和工作原理	128
5.2.2 被测导体对传感器灵敏度的影响	129
5.2.3 涡流式位移传感器的检测电路	130
5.2.4 涡流式位移传感器的应用	131
5.3 超声波传感器	132
5.3.1 超声波的物理基础	132
5.3.2 超声波传感器	136
5.3.3 超声波传感器的应用	138

5.4	光栅位移传感器	139
5.4.1	光栅的类型和结构	139
5.4.2	光栅传感器的工作原理	141
5.4.3	光栅式传感器测量转换电路	142
5.4.4	光栅式传感器的应用	144
5.5	光电码盘式位移传感器	145
5.5.1	绝对式编码器	145
5.5.2	增量式编码器	147
5.5.3	角编码器的应用	148
5.6	位移传感器应用实例	151
5.6.1	金属探测器	151
第6章	流量和流速传感器	154
6.1	流量测量	155
6.1.1	气体质量流量传感器	155
6.1.2	热线式质量流量传感器	156
6.1.3	薄膜式质量流量传感器	157
6.1.4	浮子式质量流量传感器	158
6.1.5	涡街式流量传感器	159
6.1.6	涡轮式流量传感器	159
6.1.7	差压式流量传感器	161
6.1.8	超声流量传感器	162
6.1.9	旋转活塞式流量传感器	163
6.1.10	电磁流量传感器	164
6.2	流速测量	165
6.2.1	毕托-静压管	165
6.2.2	热线式风速计	167
6.2.3	变截面测流计	167
6.2.4	电磁式流速传感器	168
6.2.5	超声波流速传感器	170
6.2.6	涡轮式流速传感器	171
第7章	气体及湿度检测	173
7.1	气敏传感器	174
7.1.1	半导体气敏元件的分类	174
7.1.2	半导体气敏传感器的原理	175
7.1.3	半导体气敏传感器结构及类型	176
7.1.4	气敏传感器应用	178
7.2	湿敏传感器	181
7.2.1	氯化锂湿敏电阻	182

7.2.2 半导体陶瓷湿敏电阻	182
7.2.3 湿敏传感器的应用	185
第 8 章 速度及加速度检测	190
8.1 速度及加速度检测方法	191
8.1.1 速度检测方法	191
8.1.2 加速度检测方法	191
8.2 速度检测	191
8.3 加速度检测	195
第 9 章 光电检测	199
9.1 光电检测技术	200
9.1.1 光电检测技术	200
9.1.2 光电检测系统的组成	200
9.2 光电效应及光电元件	201
9.2.1 光电效应	202
9.2.2 光电元件	202
9.3 光电元件的应用电路	205
9.4 光电传感器及应用	207
9.5 光电开关	209
第 10 章 传感器网络	212
10.1 传感器网络概述	213
10.2 传感器网络的典型应用	214
10.3 传感器网络的工业标准	215
10.3.1 有线传感器网络的工业总线标准	215
10.3.2 无线传感器网络的工业标准	218
参考文献	228

第1章

传感器检测 技术基础

本章要点:

- 检测技术及自动检测系统的定义和任务;
- 传感器的组成和分类;
- 传感器的线性度、灵敏度、重复性、稳定性等性能指标及传感器选用原则;
- 改善传感器性能的措施;
- 传感器的标定与校准。

世界是由物质组成的,各种事物都是物质的不同形态,根据物质的电特性,可分为电量 and 非电量两类。电量一般是指物理学中的电学量,例如电压、电流、电阻、电容及电感等;非电量则是指除电量之外的其他参数,例如温度、位移、压力、力、速度、加速度、转速、流量、尺寸、重量、浓度及酸碱度等等。人类为了认识物质及事物的本质,需要对物质特性进行测量,其中大多数是对非电量的测量。

非电量需要转换成与非电量有一定关系的电量,然后才能使用电工仪表、电子仪器或计算机设备测量后进行分析、显示、远传及控制,实现非电量到电量这种转换技术的器件被称为传感器,采用传感器技术对非电量进行电气测量,就是目前应用最广泛的测量技术。

可见,传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节,没有传感器对原始信息进行精确可靠的捕获与转换,就没有现代化的自动检测和自动控制系统,没有传感器就没有现代科学技术的迅速发展。

1.1 检测技术概述

1.1.1 检测技术

1. 检测技术

检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换、信息处理和信息传输过程的一门应用技术。

检测技术任务就是寻找与自然信息具有对应关系的种种表现形式的信号,以及确定两者间的定性、定量关系;从反映某一信息的多种信号表现中挑选出在所处条件下最为合适的表现形式,以及寻求最佳的采集、变换、处理、传输、存储、显示等的方法和相应的设备。

2. 自动检测系统

自动检测系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号处理等诸系统的总称。在上述诸系统中,都包含被测量、传感器、电子测量电路和输出单元,它们之间的区别仅在于输出单元。如果输出单元是显示器或记录器,则该系统是自动测量系统;如果输出单元是计数器或累加器,则该系统是自动计量系统;如果输出单元是报警器,则该系统是自动保护系统或自动诊断系统;如果输出单元是处理电路,则该系统是部分数据分析系统、自动管理系统或自动控制系统。

3. 检测内容

传感检测技术涉及的范围比较广泛,常见的检测对象如表 1-1 所示。

表 1-1 检测技术涉及的内容

被测量类型	被测量
热工量	温度、压力(压强)、压差、真空度、流量、流速、物位、液位、界面
机械量	线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量

续表

被测量类型	被测量
几何量	长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平等度、同轴度、粗糙度、硬度
物体性质和成分	气体、液体、化学成分、浓度、黏度、湿度、浊度、透明度、颜色等
状态量	运动状态的起停、生产设备的异常状态（超温、过载、泄漏、变形、磨损、断裂）
电工量（电量）	电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度、材料的磁性能等

1.1.2 传感检测技术的地位与作用

传感检测技术应用于国防、航天、工业、医疗、日常生活等诸多领域，几乎每一项现代化项目，都离不开各种各样的传感器和相应的检测技术。

传感检测技术是一种随着现代科学技术的发展而迅猛发展的技术，在工程技术中，传感检测技术水平的高低在很大程度上影响和决定着自动检测系统的功能。如何提高感觉信息的传感器的功能，如何适当使用，将成为今后科学技术研究的起点，技术革命的主角之一就是传感技术。

2009年2月IBM公司公布了“智慧的地球”的最新策略，此概念一经提出，立即得到美国各界的高度关注，并在世界范围内引起轰动。IBM认为，IT产业下一阶段的任务是把新一代IT技术充分运用在各行各业之中，具体地说，就是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中，并且被普遍连接，形成物联网，实现人类社会与物理系统的整合。

业内专家认为，物联网一方面可以提高经济效益，大大节约成本；另一方面可以为全球经济的复苏提供技术动力。目前，美国、欧盟、中国等都在投入巨资深入研究探索物联网，我国正在高度关注、重视物联网的研究，工业和信息化部会同有关部门，在新一代信息技术方面正在开展研究，以形成支持新一代信息技术发展的政策措施。

物联网的发展，必然带动传感器的发展，传感器发展到一定程度，变形金刚会真正出现在我们的面前。

1.2 传感器的组成及分类

国家标准 GB7665—87 对传感器定义是：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元件组成。本书中所研究的传感器是输出电信号的检测装置，感受到被测量的信息，并将被测量按一定规律转换成为电信号输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节。

1.2.1 传感器的组成

通常传感器如果仅有敏感元件和转换元件还不能够输出电量，必须通过基本转换电路才能输出便于测量的电量，因此，传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路组成，如图 1-1 所示。

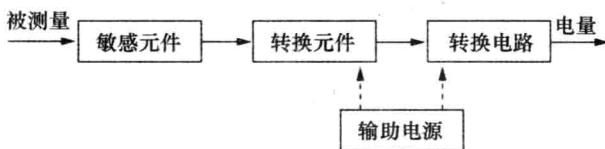


图 1-1 传感器的组成

(1) 敏感元件：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：敏感元件的输出就是它的输入，它把输入量转换成电路参数量（电阻、电容和电感）及电压或电流信号。

(3) 转换电路：将电路参数接入转换电路，将电路参数转换成便于传输、处理的电量输出。

实际上，有些传感器很简单，有些则较复杂，也有些是带反馈的闭环系统。最简单的传感器由一个敏感元件（兼转换元件）组成，它感受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，其中质量块是敏感元件，压电片是转换元件。有些传感器转换元件不止一个，要经过若干次转换。由于传感器空间限制等其他原因，转换电路常装入箱柜中。然而，因为不少传感器要在通过转换电路之后才能输出电量信号，从而决定了转换电路是传感器的组成部分之一。

1.2.2 传感器的分类

传感器可以按不同的方法进行分类。

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、流量传感器、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位来说一目了然。

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、压电式、电容式、涡流式、动圈式、电磁式、差动变压器式等。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。

表 1-2 按传感器转换原理分类，给出了各类型的名称及典型应用。

表 1-2 传感器分类表

传感器分类		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间参量			
电路参数	电阻	移动电位器触点改变电阻	电位器传感器	位移
		改变电阻丝或电阻片的尺寸	电阻丝应变传感器、半导体应变传感器	微应变、力、负荷
		移动电阻的温度效应(电阻温度系数)	热丝传感器	气流速度、液体流量
			电阻温度传感器	温度、辐射热
			热敏电阻传感器	温度
		电阻的光敏效应	光敏电阻传感器	光强
		电阻的湿度效应	湿敏电阻传感器	湿度
	电容	改变电容的几何尺寸	电容传感器	力、压力、负荷、位移
		改变电容的介电常数		液位、厚度、含水量、湿度
	电感	改变磁路几何尺寸、导磁体位置	电感传感器	位移
		涡流去磁效应	涡流传感器	位移、厚度、硬度、探伤
		压磁效应	压磁传感器	压力、力
		改变互感系数	差分变压器	位移
			自整角机	位移
			旋转变压器	位移
	频率	改变谐振回路中的固有参数	振弦式传感器	压力、力
			振筒式传感器	气压
			石英谐振传感器	力、温度等
电量	计数	莫尔条纹	光栅传感器	位移
		改变互感系数	感应同步器	
		拾磁信号	磁栅	
	数字	数字编码	编码器	位移
	电动势	热电效应	热电偶传感器	温度、热流
		霍尔效应	霍尔传感器	计数、磁通、电流
		电磁感应	磁电传感器	
		光电效应	光电传感器	光
	电荷	辐射电离	电离室	离子计数、放射性强度
		压电效应和逆压电效应		动态力、加速度、振动

3. 按传感器能量源分类

按传感器能量源分类, 传感器可分为有源传感器与无源传感器两大类。无源传感器不需要外加电源, 其本身是一种能量变换器, 可以把被测量的相关能量转换成电量输出, 故又称能量转换型传感器, 如压电式、热电式(热电偶)、电磁式、电动式等。有源传感器需要外加电源才能输出电量, 故又称能量控制型传感器。例如电阻、电容、电感式传感器等, 可以归结为此类, 有源传感器通常配用电桥电路或谐振电路, 方可输出电信号。

4. 按传感器输出信号的性质分类

按传感器输出信号的性质可将传感器分为开关型(二值型)、模拟型和数字型。

(1) 开关型传感器的开关就是“1”和“0”或开(ON)和关(OFF), 可直接送入微机进行处理, 处理方便。

(2) 模拟型传感器的输出是与输入物理量变换相对应的连续变化的电量。这样的信号可以接模拟表计进行指示, 也可进行 A/D 转换, 转变为数字信号后送微机处理。

(3) 数字型传感器有计数型和代码型两大类。

计数型又称脉冲数字型, 它可以是任何一种脉冲发生器, 传感器所发出的脉冲数与输入量成正比, 加上计数器可对输入量进行计数, 用于检测通过输送带上的产品个数, 也可用于检测执行机构的位移量, 这时执行机构每移动一定距离或转动一定角度就会发出一个脉冲信号。

代码型传感器又称编码器, 输出的信号是数字代码, 各个码道的状态随输入量变化, 每一个代码对应一个确定的输入量, 这种传感器通常用于检测执行元件的位置或速度。

1.3 传感检测系统的基本特性、评价指标与选用原则

传感器的种类繁多, 测量参数、用途各异, 其性能参数也各不相同。通常以其基本参数和环境参数作为检验、使用和评价传感器的依据。在选用传感器时, 切忌盲目追求参数高指标, 而应针对实际使用要求, 在满足量程的情况下, 只保证其主要参数性能指标, 放宽次要指标的要求, 以求得高性价比。

传感器的特性主要是指输出与输入之间的关系, 有静态特性和动态特性之分。传感器除了描述输入与输出量之间的关系特性外, 还有与使用条件、使用环境、使用要求等有关的特性。

1.3.1 传感器的静态特性

当传感器的输入量为常量或随时间作缓慢变化时, 传感器的输出与输入之间的关系称为静态特性。表征传感器静态特性的主要指标有: 测量范围及量程、灵敏度、线性度、重复性、稳定性、精确度、迟滞等参数。

1. 测量范围及量程

测量范围是指传感器在允许误差限内, 传感器所能测量到的最小输入量与最大输入量之间的范围, 称为传感器的测量范围。量程是传感器在测量范围的上限(最高)值和下限(最低)值的代数差, $y_{FS} = y_{\max} - y_{\min}$ 。

2. 线性度

线性度指传感器输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离拟合直线的程度。一般,要求传感器的输入/输出特性是线性关系,实际上,由于种种原因,传感器总是具有不同程度的非线性,在曲线的非线性程度不太大的情况下,可以采用拟合直线的方法来线性化。

在采用拟合直线进行线性化时,会给传感器输出信号处理和分析带来非线性误差,反映非线性误差的程度即是线性度。线性度通常使用实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差 $\Delta L_{\max}$ 与满量程 y_{FS} 之比的百分数来表示,如图 1-2 所示。

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

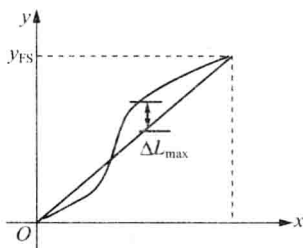


图 1-2 传感器的线性度 (非线性误差)

一般,要求传感器非线性误差即线性度越小越好。

3. 灵敏度

灵敏度是传感器静态特性的一个重要指标。其定义为输出量的增量 Δy 与引起该增量的相应输入量的增量 Δx 之比。它表示单位输入量的变化所引起传感器输出量的变化,显然,灵敏度 K 值越大,表示传感器越灵敏。

可以表示为

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{或} \quad K = \frac{dy}{dx} = \frac{df(x)}{dx} = f'(x) \quad (1-2)$$

当传感器或传感检测系统各组成环节的灵敏度分别为 $k_1, k_2 \cdots k_n$ 时,则该传感器或传感检测系统的总灵敏度为 $K = k_1 k_2 \cdots k_n$ 。

显然,灵敏度是一个有单位的量。一般要求灵敏度越高越好,灵敏度越高,传感器所能感知的变化量越小。

4. 分辨力和阈值

传感器能检测到输入量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,则分辨力就是输出量的每个“阶梯”所代表的输入量的大小。对于数字式仪表,分辨力就是仪表指示值的最后一位数字所代表的值。当被测量的变化量小于分辨力时,数字式仪表的最后一位数不变,仍指示原值。当分辨力以满量程输出的百分数表示时则称为分辨率。分辨力越小越好。

阈值是指能使传感器的输出端产生可测变化量的最小被测输入量值,即零点附近的分辨力。有的传感器在零位附近有严重的非线性,形成所谓“死区”(dead band),则将死区的大小作为阈值;更多情况下,阈值主要取决于传感器噪声的大小,因而有的传感器只

给出噪声电平。阈值越低越好。

5. 迟滞

传感器在输入量由小到大（正行程）及输入量由大到小（反行程）变化期间其输入输出特性曲线不重合的现象称为迟滞，如图 1-3 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相等，这个差值称为迟滞差值，迟滞差值越小越好。

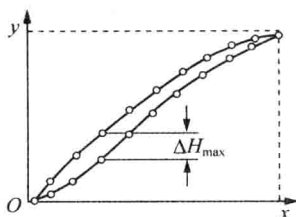


图 1-3 迟滞

6. 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向作全量程连续多次变化时，所得特性曲线不一致的程度，如图 1-4 所示。这些特性曲线越集中说明传感器的重复性越好。

正行程的最大重复性偏差为 ΔR_{m1} ，反行程的最大重复性偏差为 ΔR_{m2} 。重复性偏差取这两个最大偏差中之较大者为 $\Delta R_{\max}$ ，再以满量程输出 y_{FS} 的百分数表示，即

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

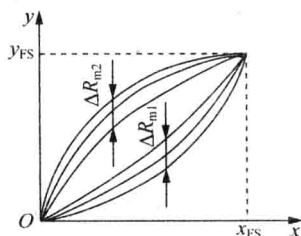


图 1-4 重复性

7. 精度

传感器的精度是指测量结果的可靠程度，是测量中各类误差的综合反映，测量误差越小，传感器的精度越高。

传感器的精度用其量程范围内的最大基本误差与满量程输出之比的百分数表示，其基本误差是传感器在规定的正常工作条件下所具有的测量误差，由系统误差和随机误差两部分组成。

工程技术中为简化传感器精度的表示方法，引用了精度等级的概念。精度等级以一系列标准百分比数值分档表示，代表传感器测量的最大允许误差。

如果传感器的工作条件偏离正常工作条件，还会带来附加误差，温度附加误差就是最主要的附加误差。