

传感器 技术及应用

GanQi
YingYong

主编◎张 巍 王海娜

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS


传感器技术及应用

主 编 张 巍 王海娜

副主编 苏 闯 丁国明 张 宁

参 编 高淑婷 王玉爽 石新华

魏建涛

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据“传感器”课程教学大纲的要求,结合现代电子技术、计算机技术发展的最新趋势,从实用角度出发编写的一本独具特色的教材。全书共分6个学习情境,介绍了常用传感器的作用、原理、结构特征以及使用方法,具体内容包电阻式传感器、光电式传感器、数字式传感器、热电式传感器、电感式传感器、电容式传感器、霍尔传感器、智能传感器以及传感器的特性评价与信号处理等。每一种传感器都配有典型应用案例,以进一步加强学生对技术的理解。

本书深入浅出,通俗易懂,是一本理论实践并重的实用教程,可用作高等院校电子信息、电气自动化、自动控制、机电一体化、计算机应用、生物医学、精密仪器测量与控制、汽车与机械类等专业的教材,也可以作为科研人员、工程技术人员及自学人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及应用/张巍,王海娜主编. —北京:北京理工大学出版社,2013.6
ISBN 978-7-5640-7724-2

I. ①传… II. ①张… ②王… III. ①传感器-高等学校-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第107121号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)
82562903 (教材售后服务热线)
68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/15.5

字 数/357千字

版 次/2013年6月第1版 2013年6月第1次印刷

定 价/42.00元

责任编辑/陈莉华

文案编辑/陈莉华

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

当今的社会是信息的社会，是物联网技术大爆发的时代，信息的采集是当前物联网技术中最为重要的一个环节，传感器是信息采集系统的最前端设备，可为人类采集各种各样的信号。随着工业、农业、医疗、国防等各行各业的发展，以传感器为核心的传感器技术迅速发展，应用领域不断扩大，传感器技术的研究与应用有着极其广阔的发展前景。

本书以专业技能培养为中心，依据电气自动化、电子技术等专业群的需求，精选素材，对课程内容进行设计调整。为了更好地培养学生的综合实操能力，本书设计了6个学习情境，由浅入深地介绍各种传感器，只要学生动手完成本书中每个情境模式的各项工作任务，学生的学习任务也就完成了。

在编写本书时，我们对每个情境模式进行了有目的的选择和设计，使学习任务密切联系生产、生活实际，并尽量使学生在完成工作任务中不仅获得与实际工作过程有着紧密联系的带有经验性质的知识，而且获得成功感，激发学习兴趣。本书的每个工作任务均联系实际、由浅入深。在本书的指导下，学生可以通过自己动手进行实践训练，掌握传感器技术及应用的知识和技能。本书中介绍的工作任务是生产、生活中的传感器及传感器应用案例，使学生真正做到“做中学、学中做”。

本书的6个学习情境分别是电子秤的制作与调试、红外线报警器的制作与调试、声控开关的制作与调试、温度传感器在电机控制中的应用、火灾报警器的设计和其他传感器的特性分析。其中学习情境1由丁国明和高淑婷编写，学习情境2由张巍编写，学习情境3由高淑婷和苏闯编写，学习情境4由王海娜和丁国明编写，学习情境5由王玉爽和王海娜编写，学习情境6由苏闯和张宁编写。本书中学习情境素材分别由南京璨宇光学公司的石新华、河南郑州信昌汽车部件有限公司魏建涛提供。本教材由张巍统稿。

由于编者业务水平有限，谬误与疏漏之处在所难免，敬请读者斧正。

学习情境1 电子秤的设计与制作	1
任务单	1
资讯单	4
信息单	5
1.1 传感器的基础知识	5
1.2 电子秤的基本知识学习	13
1.3 应变片式传感器	18
1.4 电子秤的设计与制作	22
计划单	30
决策单	31
仪器、材料、工具清单	32
实施单	33
检查单	34
评价单	35
教学反馈单	36
学习情境2 红外线报警器的制作与调试	37
任务单	37
资讯单	40
信息单	41
2.1 光源	41
2.2 光电效应	45
2.3 外光电效应器件	48
2.4 内光电效应器件	52
2.5 红外线报警器电路	64
计划单	68
决策单	69

目 录

仪器、材料、工具清单	70
实施单	71
检查单	72
评价单	73
教学反馈单	74
学习情境3 声控开关的制作与调试	75
任务单	75
资讯单	77
信息单	78
3.1 声音传感器的类型	78
3.2 压电传感器的基本知识	79
3.3 电容式传感器的基本知识	84
3.4 磁电式传感器的基本知识	94
3.5 常见声音传感器的结构及工作原理	96
3.6 晶闸管及其应用	99
计划单	103
决策单	104
仪器、材料、工具清单	105
实施单	106
检查单	107
评价单	108
教学反馈单	109
学习情境4 温度传感器在电机控制中的应用	110
任务单	110
资讯单	114
信息单	115
4.1 温度和温标	115
4.2 温度传感器的类型	116
4.3 热电阻传感器	117
4.4 热敏电阻传感器	121
4.5 热电偶传感器	127
4.6 集成温度传感器	134
4.7 DS18B20 温度传感器应用实例	138
计划单	144

决策单	145
仪器、材料、工具清单	146
实施单	147
检查单	148
评价单	149
教学反馈单	150
学习情境5 火灾报警器的设计	151
任务单	151
资讯单	153
信息单	154
5.1 气敏传感器	154
5.2 气敏传感器的应用	167
5.3 555 定时器简介	169
计划单	175
决策单	176
仪器、材料、工具清单	177
实施单	178
检查单	179
评价单	180
教学反馈单	181
学习情境6 其他传感器的特性分析	182
任务单	182
资讯单	185
信息单	186
6.1 电感式传感器	186
6.2 压电式传感器	198
6.3 磁电传感器	210
计划单	228
决策单	229
仪器、材料、工具清单	230
实施单	231
检查单	232
评价单	233
教学反馈单	234

学习情境 1

电子秤的设计与制作

任务单

学习领域	传感器技术		
学习情境 1	电子秤的设计与制作	学时	16
布置任务			
学习目标	<p>(1) 了解传感器的定义、作用。</p> <p>(2) 了解传感器的分类。</p> <p>(3) 掌握传感器的主要性能指标。</p> <p>(4) 了解应变片的原理、用途。</p> <p>(5) 学会应变测量电路的设计与制作。</p> <p>(6) 掌握电桥测量电路的制作要领。</p> <p>(7) 了解电子秤的物理结构。</p> <p>(8) 了解电子秤的功能和技术指标。</p> <p>(9) 能根据市场需求确定电子秤的具体功能和技术指标。</p> <p>(10) 培养学生团队合作、规范操作、认真负责、吃苦耐劳的职业素养</p>		
任务描述	<p>图 1-1 所示为电子平台秤结构。其中, 在电子秤的托盘下方悬臂梁上安装有 4 个电阻应变片 R_1、R_2、R_3、R_4, 初始阻值均为 350Ω。其中 R_1、R_3 安装在悬臂梁的上端, R_2、R_4 安装在悬臂梁的下端, 即 R_1、R_3 被拉伸, 电阻应变片应变方向相同, R_2、R_4 被压缩, 与 R_1、R_3 应变方向相反, 且应变大小相等。</p> <p>设计一种小型、简便、精确度高的电子平台秤, 量程为 500 g, 分度值为 1 g, 然后数字显示所称物体的质量。</p>		

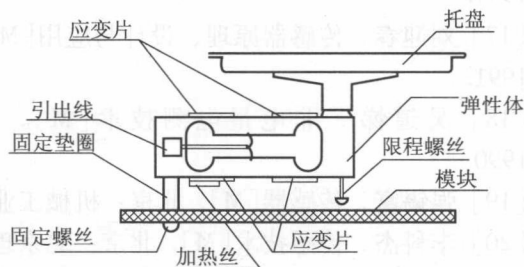


图 1-1 电子平台秤结构示意图

学时安排	资讯	计划	决策	实施	检查	评价
	6 学时	1 学时	1 学时	6 学时	1 学时	1 学时
参考资料	<p>[1] 周继明, 汪世明. 传感技术与应用[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2005.</p> <p>[2] 朱蕴璞, 孔德仁, 王芳. 传感器原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.</p> <p>[3] 彭伟. 单片机 C 语言程序设计实训 100 例——基于 8051 + Proteus 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.</p> <p>[4] 张永瑞, 刘振起. 电子测量技术基础[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.</p> <p>[5] 刘笃仁, 韩保君. 传感器原理及应用技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.</p> <p>[6] 王元庆. 新型传感器原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.</p> <p>[7] 强锡富. 传感器[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.</p> <p>[8] 张学庄, 廖翊希. 电子测量与仪器[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2003.</p> <p>[9] 陈杰, 黄鸿. 传感器与检测技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.</p> <p>[10] 张咏梅, 陈凌霄. 电子测量与电子电路实验[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.</p> <p>[11] 李春茂, 周继明. 传感技术[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2001.</p> <p>[12] 贾伯年, 俞朴. 传感器技术[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.</p> <p>[13] 陈德池. 传感器及其应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1993.</p> <p>[14] 王化祥, 张淑英. 传感器原理及应用[M]. 天津: 天津大学出版社, 1992.</p> <p>[15] 常健生. 检测与转换技术[M]. 北京, 机械工业出版社, 1992.</p> <p>[16] 张正伟. 传感器原理与应用[M]. 北京: 中央广播电视大学出版社, 1991.</p> <p>[17] 刘迎春. 传感器原理、设计与应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1991.</p> <p>[18] 吴道悌. 非电量电测技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1990.</p> <p>[19] 强锡富. 传感器[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.</p> <p>[20] 李科杰. 传感技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1989.</p> <p>[21] 王绍纯. 自动检测技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985.</p>					

	<p>[22] 严钟豪, 谭祖根. 非电量电测技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.</p> <p>[23] 何圣静, 陈彪. 新型传感器[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1993.</p>
	<p>[24] 沙占友. 智能化集成温度传感器原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.</p> <p>[25] 何立民. 单片机高级教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.</p>
<p>参考资料</p>	<p>[26] http://www.sensorworld.com.cn/ 传感器世界网站.</p> <p>[27] http://www.yibiao.com 仪表网. (内容有测试仪表性能相关资料)</p> <p>[28] http://www.chinasensors.com/ 中国传感器信息网. (传感器信息大全)</p> <p>[29] http://www.testers.net.cn 北京测试仪器网. (内容有测量仪器相关资料)</p> <p>[30] http://elec.yibiao.com 中华电工仪表网. (内容有测量仪器相关资料)</p> <p>[31] http://www.dzjs.com 电子技术天地. (内容有现代电子技术、电子CAD、电子测量技术资料)</p>
<p>对学生的要求</p>	<p>(1) 具备识读电路原理图的能力。</p> <p>(2) 会正确使用万用表、双踪示波器等仪器。</p> <p>(3) 熟练使用电路板制作工具, 进行PCB板的制作。</p> <p>(4) 会正确检测电阻、电容、芯片等电子元器件。</p> <p>(5) 按任务要求, 学生以小组合作的形式在规定时间内完成电子秤系统的设计与制作, 学生应具备团队协作精神。</p> <p>(6) 爱护工具和仪表, 损坏需按价赔偿。</p> <p>(7) 严格遵守课堂纪律和工作纪律, 不迟到, 不早退, 不旷课。</p> <p>(8) 学生要树立职业意识, 并遵照“6S”(整理、整顿、清扫、清洁、素养、安全)质量管理体系严格要求自己, 规范化操作。</p> <p>(9) 本情境工作完成后, 需提交学习体会报告, 要求另附</p>

资 讯 单

学习领域	传感器技术		
学习情境 1	电子秤的设计与制作	学时	16
资讯方式	在资料室、图书馆、专业杂志、互联网及信息单上查询问题；咨询任课教师		
资讯问题	<p>(1) 什么是传感器？</p> <p>(2) 传感器是如何分类的？</p> <p>(3) 传感器的基本特性有哪些？</p> <p>(4) 传感器误差的表示方法有哪些？</p> <p>(5) 什么是准确度？</p> <p>(6) 电阻应变片的结构类型。</p> <p>(7) 应变电桥输出电压公式的推导。</p> <p>(8) 应变电桥工作方式有哪些？</p> <p>(9) 电子秤的组成分为哪些部分？</p> <p>(10) 电子秤的工作原理是什么？</p> <p>(11) 电子秤的计量性能指标有哪些？</p> <p>(12) ADC0809 A/D 转换器的工作原理是什么？</p>		
资讯引导	<p>问题(1)、(2)、(3)、(4)、(5)可在信息单 1.1(传感器的基础知识)中资讯。</p> <p>问题(6)、(8)可在信息单 1.3(应变式传感器)中资讯。</p> <p>问题(9)、(10)、(11)可在信息单 1.2(电子秤的基本知识学习)中资讯。</p> <p>问题(12)可在信息单 1.4(电子秤的设计与制作)中资讯。</p>		

信息单

学习领域	传感器技术		
学习情境 1	电子秤的设计与制作	学时	16

序号及信息内容

1.1 传感器的基础知识

一、传感器的定义与作用

现代信息产业的三大支柱是传感器技术、通信技术、计算机技术，它们分别构成了信息系统的“感官”“神经”和“大脑”，传感器是信息采集的首要部件。传感器是指能够感受到规定的被测信号并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。它是利用物理效应、化学效应、生物效应，把被测的物理量、化学量、生物量等非电量转换成电量的器件或装置，如图 1-2 所示。

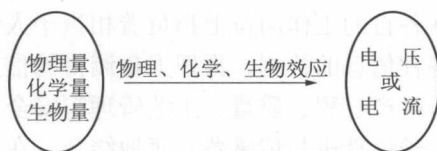


图 1-2 传感器原理

人们为了从外界获取信息，必须借助于感觉器官。而单靠人们自身的感觉器官，在研究自然现象和规律以及生产活动时它们的功能就远远不够了。为适应这种情况，就需要传感器。可以说，传感器是人类五官的延长，又称之为电五官。因此，传感器的作用可包括信息的收集、信息数据的交换及控制信息的采集三大内容。通过传感器对自然界的各种物质信息进行采集。

二、传感器的应用领域

随着电子计算机、生产自动化、航空、遥测、遥感等科学技术的发展，对传感器的需求量与日俱增，其应用领域已渗入到社会的各个领域，并起着巨大的作用。下面仅将传感器在一些主要领域中的应用做以简介。

1. 传感器在汽车中的应用

目前，家用轿车越来越多，传感器在汽车中的应用已不只局限于对行驶速度、行驶距离、发动机旋转速度等，由于汽车交通事故的不断增多和汽车对环境的危害，传感器在一些新的设施，如汽车安全气囊系统、防盗装置、防滑控制系统、防抱死装置、电子变速控制装置、排气循环装置、电子燃料喷射装置及汽车“黑匣子”等设施上都得到了实际应用。可以预测，随着汽车电子技术和汽车安全技术的发展，传感器在汽车领域的应用将会更为广泛。

2. 传感器在家用电器中的应用

现代家用电器中普遍应用着传感器。传感器在电子炉灶、自动电饭锅、吸尘器、空调、电子热水器、热风取暖器、风干器、报警器、电熨斗、电风扇、游戏机、电子驱鼠器、洗衣机、洗碗机、电冰箱、彩色电视机、录像机、录音机、收音机、电唱机及家庭影院等方面得到了广泛的应用。

随着人们生活水平的不断提高，对提高家用电器产品的功能及自动化程度的要求极为强烈。为满足这些要求，首先要使用能检测模拟量的高精度传感器，以获取正确的控制信息，再由微型计算机进行控制，使家用电器的使用更加方便、安全、可靠，并减少能源消耗，为更多的家庭创造一个舒适的生活环境。

目前，家庭自动化的蓝图正在设计之中，未来的家庭将由作为中央控制装置的微型计算机，通过各种传感器代替人监视家庭的各种状态，并通过控制设备进行着各种控制。家庭自动化的主要内容包括：安全监视与报警、空调及照明控制、耗能控制、太阳光自动跟踪、家务劳动自动化及人身健康管理等。家庭自动化的实现，可使人们有更多的时间用于学习、教育或休闲娱乐。

3. 传感器在工业检测和自动控制系统中的应用

传感器在工业自动化生产中占有极其重要的地位。在石油、化工、电力、钢铁、机械等加工工业中，传感器在各自的工作岗位上担负着相当于人们感觉器官的作用，它们每时每刻地按需要完成对各种信息的检测，再把大量测得的信息通过自动控制、计算机处理等进行反馈，用以进行生产过程、质量、工艺管理与安全方面的控制。

在自动控制系统中，电子计算机与传感器有机地结合，在实现控制的高度自动化方面起到了关键的作用。

4. 传感器在机器人上的应用

目前，在劳动强度大或危险作业的场所，已逐步使用机器人取代人的工作。一些高速度、高精度的工作，由机器人来承担也是非常合适的。但这些机器人多数是用来进行加工、组装、检验等工作，属于生产用的自动机械式的单能机器人(能力比较单一)。

要使机器人和人的功能更为接近，以便从事更高级的工作，要求机器人具有判断能力，这就要给机器人安装物体检测传感器，特别是视觉传感器和触觉传感器，使机器人通过视觉对物体进行识别和检测，通过触觉对物体产生压觉、力觉、滑觉、冷热觉等与接触有关的感觉。这类机器人被称为智能机器人，它不仅可以从事特殊的作业，而且一般的生产、事务和家务，全部可由智能机器人去处理。

5. 传感器在医疗及人体医学上的应用

随着医用电子学的发展，仅凭医生的经验和感觉进行诊断的时代将会结束。现在，应用医用传感器可以对人体的表面和内部温度、血压及腔内压力、血液及呼吸流量、肿瘤、血液的分析、脉波及心音、心脑电波等进行高难度的诊断。显然，传感器对促进医疗技术的高度发展起着非常重要的作用。

为增进全国人民的健康水平，我国医疗制度的改革，将把医疗服务对象扩大到全民。以往的医疗工作仅局限于以治疗疾病为中心，今后，医疗工作将在疾病的早期诊断、早期治疗、远距离诊断及人工器官的研制等广泛的范围内发挥作用，而传感器在这

些方面将会得到越来越多的应用。

6. 传感器在遥感技术中的应用

所谓遥感技术,简单地就是从飞机、人造卫星、宇宙飞船及船舶上对远距离的广大区域的被测物体及其状态进行大规模探测的一门技术。

在飞机及航天飞行器上装用的传感器是近紫外线、可见光、远红外线及微波等传感器。在船舶上向水下观测时多采用超声波传感器。例如,要探测一些矿产资源埋藏在什么地区,就可以利用人造卫星上的红外接收传感器对地面发出的红外线的量进行测量,然后由人造卫星通过微波再发送到地面站,经地面站计算机处理,便可根据红外线分布的差异判断出埋有矿藏的地区。

遥感技术目前已在农林业、土地利用、海洋资源、矿产资源、水利资源、地质、气象、军事及自然灾害等领域得到了应用。

7. 传感器在航空及航天中的应用

在航空及航天的飞行器上广泛地应用着各种各样的传感器。要了解飞机或火箭的飞行轨迹,并把它们控制在预定的轨道上,就要使用传感器进行速度、加速度和飞行距离的测量;要了解飞行器飞行的方向,就必须掌握它的飞行姿态。飞行姿态可以使用红外水平线传感器陀螺仪、阳光传感器、星光传感器及地磁传感器等进行测量。此外,对飞行器周围的环境、飞行器本身的状态及内部设备的监控也都要通过传感器进行检测。

8. 传感器在环境保护中的应用

目前,环球的大气污染、水质污浊及噪声已严重地破坏了地球的生态平衡和我们赖以生存的环境,这一现状已引起了世界各国的重视。为保护环境,利用传感器制成的各种环境监测仪器正在发挥着积极的作用。

三、传感器的组成

从功能上讲,传感器通常由敏感元件、转换元件及转换电路组成,如图1-3所示。



图 1-3 传感器的组成

敏感元件是指传感器中能直接感受被测量的部分。在完成非电量到电量的变换时,并非所有的非电量都能利用现有手段直接转换成电量,往往是先变换为另一种便于变成电量的非电量,然后再转换成电量。如各种类型的弹性元件常被称为弹性敏感元件。

转换元件是指能将感受到的非电量直接转换成电量的器件或元件。如应变片将应变转换为电阻量。

转换电路是指将无源型传感器输出的电参数量转换成电量。常用的转换电路有电桥电路、谐振电路等,它们将电阻、电容、电感等电参量转换成电压、电流或频率。实际上,有些传感器的敏感元件可以直接把被测非电量转换成电量输出,如光电池、压电晶体、热电偶等,它们为有源型传感器。辅助电源为无源型传感器的转换电路提供电能。

四、传感器的分类

传感器的种类繁多，目前没有统一的分类方法，常用的分类方法归纳如下。

1. 按传感器转换原理分类

1) 结构型传感器

结构型传感器是利用机械构件(如金属膜片等)在动力场或电磁场的作用下产生变形或位移，将外界被测参数转换成相应的电阻、电感、电容等物理量，它是利用物理学运动定律或电磁定律实现转换的。

2) 物性型传感器

物性型传感器是利用材料的固态物理特性及其各种物理、化学效应(即物质定律，如虎克定律、欧姆定律等)实现非电量的转换。它是以半导体、电介质、铁电体等作为敏感材料的固态器件。例如，电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、光电式传感器、热敏传感器、气敏传感器、湿敏传感器等。

3) 复合型传感器

复合型传感器是由结构型传感器和物性型传感器组合而成的，兼有两者的特征。

2. 按能量转换的方式分类

1) 有源型传感器

有源型也称能量转换型或发电型，它把非电量直接变成电压量、电流量、电荷量等，如磁电式、压电式、光电池、热电偶等。

2) 无源型传感器

无源型也称能量控制型或参数型，它把非电量变成电阻、电容、电感等量。

3. 按照输入量(被测对象)分类

1) 物理量传感器

物理量传感器又可分为光学量传感器、力学量传感器、电学量传感器、磁学量传感器、温度传感器、位移传感器等。

2) 化学量传感器

化学量传感器包括气体传感器、离子传感器和湿度传感器等。

3) 生物量传感器

生物量传感器包括生化量传感器和生理量传感器。

4. 按输出信号的形式分类

按输出信号的形式，传感器可分为开关式、模拟式和数字式。

5. 按输入和输出的特性分类

按输入和输出特性，传感器可分为线性和非线性两类。

五、传感器的基本特性

传感器的基本特性是指传感器的输出与输入关系特性，是传感器内部结构参数作用关系的外部表现。传感器的特性参数有很多，且不同类型的传感器，其特性参数的要求和定义也各有差异，但都可以通过其静态特性和动态特性进行全面描述。

1. 传感器的静态特性

静态特性表示传感器在被测各量值处于稳定状态时的输出与输入的关系，主要包括灵敏度、线性度、迟滞、重复性、漂移等。

1) 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。

$$K = \frac{\text{输出量增量}}{\text{输入量增量}} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-1)$$

线性传感器的灵敏度 K 为常数；非线性传感器的灵敏度 K 是随输入量变化的量。

2) 线性度

线性度即非线性误差，是传感器的校准曲线与理论拟合直线之间的最大偏差 (ΔL_{\max}) 与满量程值 ($y_{F.S}$) 的百分比，即：

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{F.S}} \times 100\% \quad (1-2)$$

校准曲线：在标准条件下，即在无加速度、振动、冲击及温度为 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、湿度不大于 85% RH、大气压力为 $(101\,327 \pm 7\,800)\text{Pa}$ [$(760 \pm 60)\text{mmHg}^{①}$] 的条件下，用一定等级的设备，对传感器进行反复循环测试，得到的输入和输出数据用表格列出或画出曲线，这条曲线称为校准曲线。

拟合直线：对传感器特性线性化，用一条理论直线代替标定曲线，即拟合直线。拟合直线不同，所得线性度也不同。常用的两种拟合直线，即端基拟合直线和独立拟合直线，如图 1-4 所示。

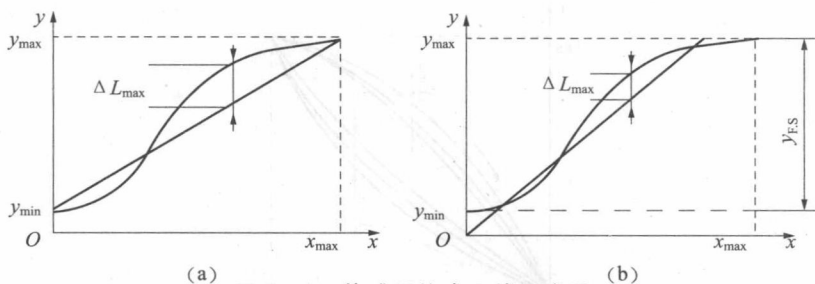


图 1-4 传感器拟合直线示意图

(a) 端基拟合直线；(b) 独立拟合直线

(1) 端基拟合直线是由传感器校准数据的零点输出平均值和满量程输出平均值连成的一条直线。由此所得的线性度称为端基线性度。这种拟合方法简单直观，应用较广，但拟合精度较低，尤其对非线性比较明显的传感器，拟合精度更差。

(2) 独立拟合直线方程是用最小二乘法求得的，在全量程范围内各处误差都最小。独立线性度也称最小二乘法线性度。这种方法拟合精度最高，但计算很复杂。

① $1\text{mmHg} = 0.133\text{kPa}$ 。

3) 迟滞

迟滞是指在相同工作条件下, 传感器正行程特性与反行程特性不一致的程度, 如图 1-5 所示。其数值为对应同一输入量的正行程和反行程输出值间的最大偏差 ΔH_{\max} 与满量程输出值的百分比。用 γ_H 表示为:

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

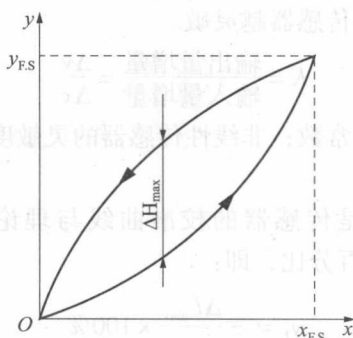


图 1-5 传感器迟滞示意图

4) 重复性

如图 1-6 所示, 重复性是指在同一工作条件下, 输入量按同一向在全测量范围内连续变化多次所得特性曲线的不一致性。在数值上用各测量值正、反行程标准偏差最大值的 2 倍或 3 倍与满量程的百分比表示, 记作 γ_K :

$$\gamma_K = \pm \frac{(2 \sim 3) \times \sigma}{y_{F.S}} \times 100\% \quad (1-4)$$

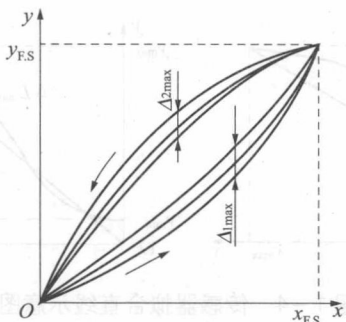


图 1-6 传感器重复性示意图

从误差的性质讲, 重复性误差属于随机误差, 若误差完全按正态分布, 则随机误差的标准误差 σ , 可由各次校准量数据间的最大误差 Δ_{\max} 求出:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{\max}^2}{n-1}} \quad (1-5)$$

式中 σ 前的系数(2~3)——置信因数。置信因数取 2 时, 置信概率为 95%; 置信因数取 3 时, 置信概率为 99.73%;