




高职高专“十三五”规划教材

传感器与检测技术 (第4版)

主 编 戚玉强 任 玲
副主编 易运池 吴如樵 冷 芳
主 审 李增国



配有课件

第4版



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



高职高专“十三五”规划教材

传感器与检测技术

(第4版)

主 编 戚玉强 任 玲
副主编 易运池 吴如樵 冷 芳
主 审 李增国

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍了常用传感器的构成、工作原理、特性参数、选型及安装调试等方面的知识,对测量电路的基本概念、抗干扰技术及新型传感器的应用也做了介绍。

书中列举了各类传感器在工业、科研和日常生活中的应用实例,每章均附有习题,注重培养和提高学生的应用能力与分析能力。

本书可作为高职高专机电设备类、自动化类、电子信息类及计算机应用类专业的教学用书,也可供相关领域工程技术人员参考。

本书配有教学课件和试卷供任课教师参考,请发送邮件至 goodtextbook@126.com 或致电 010-82317037 申请索取。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术 / 戚玉强, 任玲主编. -- 4 版

. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5124-2759-4

I. ①传… II. ①戚… ②任… III. ①传感器—检测
IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 164679 号

版权所有,侵权必究。

传感器与检测技术(第 4 版)

主 编 戚玉强 任 玲

副主编 易运池 吴如樵 冷 芳

主 审 李增国

责任编辑 董 瑞

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

保定市中国画美凯印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:12.5 字数:320 千字

2018 年 8 月第 4 版 2018 年 8 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2759-4 定价:32.00 元

第4版前言

本书是根据《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》精神,紧密结合高职高专人才培养需要而编写的。

本书在结构、内容编排等方面,吸收了编者近几年在教学改革、教材建设等方面取得的经验体会,力求全面体现高等职业教育的特点,贴近行业需求,满足当前教学的需要。本书语言精练,通俗易懂,结构编排合理,可作为工程类、机电类相关专业的一门综合性技能基础课程教材,适用于高职高专相关专业的学生使用或工程技术人员参考。

全书内容包括传感器简论、传感器测量电路、电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、霍尔式传感器、热电偶传感器、光电式传感器、数字式传感器、新型传感器、智能传感器和网络传感器以及传感器实验等。

本书在编写过程中注意了以下几个方面:

(1) 在教材内容选取上,以“必需、够用”为度,舍去复杂的理论分析,辅以适量的习题,内容层次清晰,循序渐进,让学生对基本理论有系统、深入的理解,为今后的持续学习奠定基础。

(2) 在内容安排上,注重吸收新技术、新产品及新内容。为体现教材的时代特征及先进性,安排了新型传感器及应用等知识。

(3) 考虑到模块化教学和适应弹性学制的要求,在编写教材时,除基础知识外,均采用了分别介绍单个传感器的原则,授课时可根据主干课的需要,自行选用。实验亦是如此。

江苏农牧科技职业学院的戚玉强编写了第5章、第10章和第12章和第13章;江苏农牧科技职业学院的任玲编写了第1~3章;北京农业职业学院清河分院的易运池编写了第6章和第9章;江苏农牧科技职业学院的吴如樵编写了第4章及第11章;大连海洋大学应用技术学院的冷芳编写了第7章及第8章;泰州科迪电子有限公司的张惠鸣编写了附录。

本书由江苏农牧科技职业学院的李增国老师主审。李老师提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中如有误漏欠妥之处,敬请读者和同行批评指正。

编者

2018年4月

目 录

第 0 章 绪 论	1
0.1 传感器技术的由来、现状与发展	1
0.2 传感技术的基本概念	2
0.3 课程性质及主要任务	2
第 1 章 传感器简论	3
1.1 传感器的基本概念	3
1.2 传感器的组成与分类	3
1.2.1 传感器的组成	3
1.2.2 传感器的分类	4
1.3 传感器的基本特性	5
1.3.1 传感器的静态特性	5
1.3.2 传感器的动态特性	7
习 题	8
第 2 章 传感器测量电路	9
2.1 传感器测量电路的作用	9
2.1.1 测量电路的基本概念及要求	9
2.1.2 测量电路的作用	9
2.1.3 测量电路的要求	10
2.2 传感器测量电路的类型及组成	10
2.2.1 模拟电路	10
2.2.2 开关型测量电路	11
2.2.3 数字式测量电路	11
2.3 噪声与抗干扰技术	13
2.3.1 噪声源	14
2.3.2 耦合通道	14
2.3.3 抗干扰技术	15
习 题	17
第 3 章 电阻式传感器	18
3.1 电阻应变片式传感器	18
3.1.1 应变效应	18
3.1.2 应变片的结构类型与主要参数	18
3.1.3 应变片的粘贴	20
3.1.4 测量转换电路	21
3.1.5 温度误差及补偿	23

3.1.6	电阻应变片式传感器的集成与应用	23
3.2	气敏电阻传感器	26
3.2.1	基本概念	26
3.2.2	工作原理	26
3.2.3	结构特性	26
3.2.4	气敏电阻传感器的应用	27
3.3	湿敏电阻传感器	29
3.3.1	基本概念	29
3.3.2	工作原理	29
3.3.3	结构特性	29
3.3.4	测量电路与应用	30
3.4	热电阻式传感器	31
3.4.1	基本概念	31
3.4.2	工作原理	32
3.4.3	热电阻的主要参数与特性	34
3.4.4	热电阻式传感器的应用	35
3.5	热敏电阻	35
3.5.1	基本概念	35
3.5.2	工作原理	35
3.5.3	热敏电阻的主要特性与技术参数	36
3.5.4	热敏电阻的应用	37
	习 题	38
第4章	电容式传感器	39
4.1	电容式传感器的工作原理及结构形式	39
4.1.1	变面积型电容式传感器	39
4.1.2	变极距型电容式传感器	40
4.1.3	变介电常数型电容式传感器	41
4.2	电容式传感器测量转换电路	42
4.2.1	交流电桥电路	42
4.2.2	调频电路	42
4.2.3	脉冲宽度调制电路	43
4.3	电容式传感器的应用	44
4.3.1	压力测量	44
4.3.2	电容测厚仪	44
4.3.3	电容式料位传感器	45
4.3.4	电容式接近开关	45
	习 题	46
第5章	电感式传感器	47
5.1	自感式传感器	47

5.1.1	变间隙式电感传感器	47
5.1.2	变截面积式电感传感器	47
5.1.3	螺线管式电感传感器	48
5.1.4	差分式电感传感器	48
5.1.5	测量转换电路	49
5.2	差分变压器式传感器	50
5.2.1	工作原理	50
5.2.2	测量转换电路	50
5.3	电涡流式传感器	52
5.3.1	结构原理与特性	52
5.3.2	测量电路	54
5.4	电感式传感器的应用	55
5.4.1	位移测量	55
5.4.2	力和压力的测量	56
5.4.3	液位测量	56
5.4.4	涡流探伤	56
	习 题	57
第 6 章	压电式传感器	58
6.1	压电式传感器的工作原理	58
6.1.1	压电效应	58
6.1.2	压电材料	60
6.2	压电式传感器的测量转换电路	62
6.2.1	压电式传感器的等效电路	62
6.2.2	压电式传感器的测量电路	63
6.2.3	压电传感器的串联与并联	64
6.3	压电式传感器的结构与应用	65
6.3.1	压电式力传感器	65
6.3.2	压电式加速度传感器	66
	习 题	67
第 7 章	霍尔式传感器	68
7.1	霍尔元件的基本工作原理	68
7.1.1	霍尔效应	68
7.1.2	霍尔元件的基本结构和特性参数	69
7.1.3	基本误差及其补偿	71
7.1.4	霍尔元件的应用电路	73
7.2	霍尔集成电路	74
7.2.1	霍尔线性集成器件	74
7.2.2	霍尔开关集成器件	76
7.3	霍尔传感器的应用	77

7.3.1	霍耳式位移传感器	77
7.3.2	霍耳电流传感器	77
7.3.3	霍耳功率传感器	78
7.3.4	霍耳转速传感器	78
7.3.5	霍耳式无触点汽车电子点火装置	79
习 题		80
第8章	热电偶传感器	81
8.1	热电效应及测温原理	81
8.1.1	接触电势	81
8.1.2	温差电势	82
8.1.3	总电势	83
8.2	热电偶的基本定律	83
8.2.1	均质导体定律	83
8.2.2	中间温度定律	83
8.2.3	中间导体定律	84
8.3	热电极的材料及热电偶的类型结构	84
8.3.1	热电极材料	84
8.3.2	热电偶类型	84
8.4	热电偶的冷端温度补偿	87
8.4.1	补偿导线法	87
8.4.2	0℃恒温器	88
8.4.3	冷端温度校正法	88
8.5	热电偶的实用测温电路	90
8.5.1	测量某点温度的基本电路	90
8.5.2	温差测量线路	91
8.5.3	热电偶串联测量线路	91
8.5.4	热电偶并联测量线路	92
8.5.5	热电偶炉温测量系统	92
习 题		93
第9章	光电式传感器	94
9.1	光电效应	94
9.1.1	外光电效应	94
9.1.2	内光电效应	95
9.2	光电器件	96
9.2.1	光电管	96
9.2.2	光电倍增管及其基本特性	97
9.2.3	光敏电阻	98
9.2.4	光敏二极管	100
9.2.5	光敏三极管	102

9.2.6	光敏晶闸管	104
9.2.7	光电池	105
9.3	光电式传感器的应用	107
9.3.1	光电式浊度仪	107
9.3.2	光电式转速表	108
9.3.3	路灯光电控制器	109
9.3.4	火焰探测报警器	110
9.3.5	光电式带材跑偏检测装置	110
习 题	111
第 10 章	数字式传感器	112
10.1	光栅式传感器	112
10.1.1	光栅的结构和类型	112
10.1.2	光栅的基本工作原理	113
10.2	光电编码器	117
10.2.1	增量式光电编码器	118
10.2.2	绝对式光电编码器	119
10.2.3	光电编码器的应用	121
10.3	磁栅式传感器	122
10.3.1	磁栅的组成及类型	122
10.3.2	磁栅式传感器的工作原理	123
10.3.3	磁栅式传感器的应用	126
10.4	感应同步器	127
10.4.1	感应同步器的结构和类型	127
10.4.2	感应同步器的工作原理	128
10.4.3	感应同步器在数控机床闭环系统中的应用	130
习 题	131
第 11 章	新型传感器	132
11.1	集成温度传感器及应用	132
11.1.1	集成温度传感器的测温原理	132
11.1.2	集成温度传感器的类型	133
11.2	磁敏传感器	140
11.2.1	磁敏电阻	140
11.2.2	磁敏二极管	143
11.2.3	磁敏三极管	145
11.2.4	磁敏式传感器的应用	146
11.3	光纤传感器	147
11.3.1	光纤的结构	147
11.3.2	光纤传感器的原理及分类	147
11.3.3	光纤传感器的特点	147

11.3.4	光纤传感器的应用举例	148
11.4	传感器在机器人中的应用	149
11.4.1	机器人传感器的分类	149
11.4.2	触觉传感器	150
	习 题	153
第 12 章	智能传感器和网络传感器	154
12.1	智能传感器	154
12.1.1	智能传感器的结构	154
12.1.2	智能传感器的功能	154
12.1.3	智能传感器的实现途径	155
12.1.4	智能传感器的应用和发展	155
12.1.5	智能传感器的设计	156
12.1.6	智能传感器的应用实例	157
12.2	网络传感器	158
12.2.1	基于 IEEE 1451 标准的网络传感器	159
12.2.2	基于 ZigBee 技术的无线传感器网络	159
12.2.3	网络传感器的应用及发展	161
12.2.4	网络传感器的应用实例	161
12.3	虚拟现实中的传感器技术及应用	163
12.3.1	虚拟现实技术	163
12.3.2	虚拟现实技术中的传感器	164
12.3.3	虚拟现实技术的应用	166
	习 题	167
第 13 章	传感器实验	168
13.1	电阻式传感器	168
13.2	电容式传感器	170
13.3	电感式传感器	171
13.4	电涡流式传感器	173
13.5	压电式传感器	174
13.5.1	压电式传感器的动态响应	174
13.5.2	压电传感器的引线电容对电压放大器的影响	175
13.6	霍尔式传感器	176
13.7	热电偶传感器	178
13.8	光电式传感器	180
13.9	数字式传感器	182
附录	实验仪使用说明	183
	参考文献	187

第0章 绪论

0.1 传感器技术的由来、现状与发展

由探头技术发展而来的传感器技术历经半个多世纪的发展,至今已形成了一个独特的领域。

随着信息时代的到来和不断推进,信息技术的相关行业正如雨后春笋般涌现出来。传感器技术正是在这一背景下孕育生成,不断发展的。近几十年来,传感器技术在工业自动化、国防军事及以宇宙、海洋开发为代表的尖端科学技术等重要领域广泛应用的同时,正以它巨大的潜力和独特的魅力向着与人类生活息息相关的各个层面进行渗透,如安全防范、交通运输、医疗卫生、生物工程、环境保护和家用电器等。

信息技术的关键在于信息的采集和信息的处理。其中,信息的采集由传感器完成,而信息的处理则由计算机完成。因此,传感器又被人们称为“电五官”(它应具有人的眼、耳、鼻、口和皮肤的功能)。传感器技术与计算机技术两者之间相互协调、共同促进与发展的程度,将直接影响整个信息技术发展的速度和走向。

传感器的重要性集中体现在它是实现自动检测与自动控制的首要环节。如果没有传感器对原始信息(信号或参数)进行精确、可靠的测量,就无法实现从信号的提取、转换、处理到生产过程的自动化。随着计算机技术的飞速发展和广泛普及,传感器在新技术中的地位和作用将更为突出。许多具有竞争力的产品的开发和技术改造,都离不开传感器技术的支持。因此,研制、开发大量急需的传感器件以适应当今科技发展和普及的要求已刻不容缓。

随着科学技术的不断进步,特别是自动化技术的广泛应用,传感器技术与相应的检测技术必将得到更大的发展。其发展的趋势将向以下几个方面突破。

1. 集成化

集成化就是利用集成加工技术,将敏感元件、放大电路、运算电路和补偿电路等集成在一块芯片上;或是在同一块芯片上,将众多同类型的单个传感器件集成为一维、二维或三维阵列型传感器,使它们成为一体化装置或器件。集成化后的传感器件或装置的优点是可简化电路设计,节省安装和调试的时间,增加可靠性。缺点是一旦损坏就得更更换整个器件(或装置)。

2. 微型化

微型化就是利用微型加工技术,尽可能将传感器的体积和质量做到最小。微米、纳米技术的问世以及微机械加工技术的不断实用化,为微型传感器的研制、加工提供了可能。微型传感器最显著的特征就是体积微小、质量很小,其敏感元件的尺寸一般都为微米(μm)级。未来在人们的日常生活中可能布满了各种电脑芯片,到那时,人类可以把一种含有微型传感器的微型电脑像吃药片一样吞下,从而可在人体内进行各种检测,帮助医生进行诊断。微型传感器的研制和应用,目前乃至今后一个时期,最引人关注的是在航空航天领域。

3. 数字化

在全球进入信息时代的同时,人类也进入了数字化时代,因为数字化技术是信息技术的基础。数字化传感器是指能把被测(模拟)量直接转换成数字量输出的传感器。因此,测量精度高、分辨率高、测量范围广、抗干扰能力强、稳定性好、自动控制程度高、便于动态和多路检测以及性能可靠就是这类传感器的主要特点。

4. 智能化

智能化传感器是一种将普通传感器与专用微处理器一体化后,兼有检测与信息处理功能,具有双向通信功能的新型传感器系统。它不仅具有信号采集、转换和处理的功能,还同时具有信息存储、记忆、识别、自补偿和自诊断等多种功能。传感器智能化后,就具备了认识广阔空间状态的能力。在复杂的自动化系统中,在机器人、宇宙飞船和人造卫星等领域都发挥着重要作用。

5. 仿生化

大自然在漫长的岁月里,造就了许许多多功能奇特、性能高超的生物传感器。仿生传感器就是人类在对生物界不断认识、不断研究的过程中发展起来的。例如,研究狗的嗅觉,鸟的视觉,蝙蝠、海豚的听觉等,分析它们的机理,利用生物效应和化学效应研制出可供使用的仿生传感器在国外已初具规模,国内还有待开发。随着科技的发展,这种仿生化的程度会越来越强。

6. 网络化

由于互联网和物联网的快速发展以及电子穿戴技术的日益成熟,传感器网络接口芯片普遍应用,传感器与互联网的联系已是发展趋势,主要表现在两个方面:

① 为了解决现场总线的多样性问题,IEEE 1451.2 工作组建立了智能传感器接口模块(STIM)标准。

② 以 IEEE 802.15.4(Zigbee)为基础的无线传感器网络技术得以迅速发展。

0.2 传感技术的基本概念

以传感器为核心的传感器技术是涉及传感器原理、传感器件设计、传感器件开发与应用的一门综合技术。而传感技术的含义则更为广泛,它是包括敏感材料科学、传感器技术及系统、微机电加工技术、微型计算机及通信技术等多学科相互交叉、相互渗透而形成的一门新的工程技术。

0.3 课程性质及主要任务

本课程是电子技术专业的一门重要的配套性专业课程,具有涉及知识面广、综合性与实践性强的特点。通过本课程的学习,应达到以下几点要求:

① 基本了解传感器的工作原理、传感器在检测与控制系统中的作用和地位,对传感器在现代化工业技术中的应用有一个较为系统的整体概念。

② 具有根据被测对象及测量要求合理选用传感器及相应测量电路的能力,并能构建简单的检测系统;了解和掌握常用物理量(位移、速度、力和温度等)的检测方法,并能分析典型传感器的应用电路。

③ 了解传感器与计算机技术、微电子技术等相关技术的结合与发展趋势,从而提高对引进设备的自动化检测技术和智能化仪器、仪表的理解和使用能力。

第 1 章 传感器简论

1.1 传感器的基本概念

能感受规定的被测量并按照一定的规律将其转换成可用的输出信号的器件或装置称为传感器。在有些学科领域,传感器又称为敏感元件、检测器或转换器等。

传感器的输出信号通常是电量,它便于传输、转换、处理及显示等。电量有很多形式,如电压、电流、频率和脉冲等。输出信号的形式由传感器的原理确定。而定义中的被测量就是被测的信号,它包括电量和非电量。一般使用传感器检测时,被测信号绝大部分为非电量。非电量的种类很多,常见的非电量有位移、力、速度、温度和浓度等。

1.2 传感器的组成与分类

1.2.1 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路 3 大部分组成,但有部分传感器将辅助电源作为其组成部分。随着微电子技术的发展和集成电路技术在传感器中的应用,传感器可以将敏感元件、转换元件及辅助电源(自发电传感器除外)等部分元件一起集成在同一芯片上,做成一体化的器件。或将上述几部分与信号处理、A/D 和微型计算机接口等集成在一起构成数字传感器。传感器组成框图如图 1-1 所示。

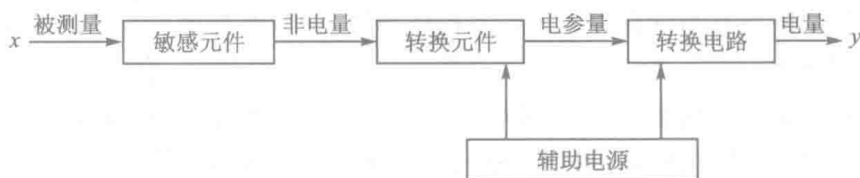


图 1-1 传感器组成框图

敏感元件是能直接感受被测量(一般为非电量),并输出与被测量成确定关系的其他物理量(其中包括电量)的元件(如对力敏感的电阻应变片,对光敏感的光敏电阻,对温度敏感的热敏电阻等)。

转换元件也称传感元件,其功能为将敏感元件的输出量转换成适用于传输或测量的电量后再输出,如将光信号转换成电信号的光电管,把压力信号转换成电信号的压电晶体片等。

实际上,不是所有的传感器都有敏感元件与转换元件。例如,光电池传感器,它既是直接感知光线变化的敏感元件,又能直接将光能转换成电压输出,两种元件合二为一。还有许多自发电式传感器也是如此。

转换电路是将转换元件输出的电参量转换成电压、电流或频率量的电路。但若转换元件输出的已经是上述电参量,就不需要用转换电路了。

辅助电源是用于提供传感器正常工作能源的电源,主要是指那些需要电源才能工作的转换电路和转换元件。

1.2.2 传感器的分类

传感器的种类很多,分类不尽相同,常用的分类方法有以下几种。

1. 按工作原理分类

按传感器的工作原理可以分为参量传感器、发电传感器及特殊传感器。

参量传感器主要有触点传感器、电阻式传感器、电感式传感器和电容式传感器等。

发电传感器主要有光电池、热电偶传感器、压电式传感器、霍耳式传感器和磁电式传感器等。

特殊传感器是不属于以上两种类型的传感器,如超声波探头、红外探测器和激光检测等。

2. 按被测量性质分类

按传感器的被测量性质可以分为机械量传感器、热工量传感器、分量传感器、状态量传感器和探伤传感器等。

机械量传感器主要测量力、长度、位移、速度和加速度等。

热工量传感器主要测量温度、压力和流量等。

分量传感器是检测各种气体、液体、固体化学成分的传感器,如检测可燃性气体泄漏的气敏传感器。

状态量传感器是检测设备运行状态的传感器,如由干簧管、霍耳元件做成的各种接近开关。

探伤传感器是用来检测金属制品内部的气泡和裂缝、检测人体内部器官的病灶的传感器,如超声波探头、CT 探测器等。

3. 按输出量种类分类

按传感器的输出量种类可分为模拟传感器和数字传感器。

模拟传感器输出与被测量成一定关系的模拟信号,如果要与单片机或计算机配合使用,还须经过 A/D 转换电路。

数字传感器输出的是数字量,可直接与计算机连接或做数字显示,读取方便,抗干扰能力强,可分为光栅式传感器、光电编码器、磁栅式传感器和数字式温度传感器等。

4. 按结构分类

按传感器的结构可以分为直接传感器、差分传感器和补偿传感器。直接传感器直接将测量转换成所需要的输出信号,它的结构最简单,但灵敏度低,易受干扰。

差分传感器是把两个相同类型的直接传感器接在转换电路中,使两个传感器所经受的相同干扰信号相减,而有用的被测量信号相加,从而提高了灵敏度和抗干扰能力,改善了特性曲线的线性度。

补偿传感器是指测量显示装置自动跟踪被测量变化,将输出的信号与被测量进行比较产生一个偏差信号。此偏差信号通过正向通路中的传感器变换成电量,再经过测量、放大,然后输出供指示或记录,提高了测量精度和抗干扰能力。

传感器常常按工作原理及被测量性质两种分类方式合二为一进行命名,如电感式位移传感器、光电式转速计和压电式加速度计等。

1.3 传感器的基本特性

在科学试验、生产过程及自动化设备工作过程中,需要对各种各样的参数进行检测控制,这就要求传感器能感受被测量(一般为非电量)的变化并将其不失真地转换为相应的电量,这取决于传感器的基本特性。判定传感器的性能指标是多方面的,一般可分为静态特性和动态特性两大类。

1.3.1 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指被测量为静态信号时,传感器输出量(y)和输入量(x)之间的关系,主要参数有灵敏度、分辨力、线性度、稳定度、迟滞、重复性和可靠性等。

1. 灵敏度

灵敏度(S)是指传感器在稳态工作情况下,传感器输出量增量 Δy 与被测量增量 Δx 的比值,即 $S = \Delta y / \Delta x$ 。它是输出-输入特性曲线的斜率。如果传感器的输出和输入之间呈线性关系,则灵敏度(S)是一个常数;否则,它将随输入量的变化而变化,如图 1-2 所示。

$$S = \frac{dy}{dx} \quad (1-1)$$

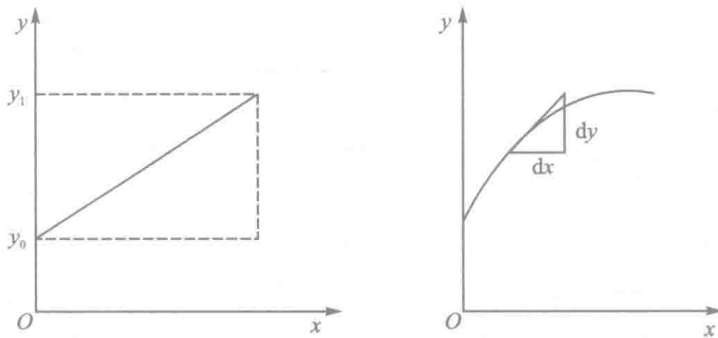


图 1-2 传感器灵敏度

例如,某位移传感器在位移变化 1 mm,输出电压变化为 50 mV 时,则其灵敏度应表示为 50 mV/mm。当传感器的输出、输入量的量纲相同时,灵敏度可理解为放大倍数。

2. 分辨力

分辨力指传感器在规定测量范围内检测被测量的最小变化量的能力。当输入变化值未超过某一数值时,传感器的输出不会发生变化(即传感器分辨不出输入量的变化)。只有当输入量的变化超过了分辨力量值时,其输出才会发生变化。将分辨力除以仪表为满度量程就是仪表的分辨率。

3. 线性度

传感器理想的线性特性如图 1-3 所示。它是线性方程 $y = a_1 x$ 的直线(y 为输出量, x 为输入量, a_1 为传感器的线性灵敏度)。在这种情况下, $a_1 = \text{常数}$ 。但由于传感器在加工、调试等过程中受到外界影响,所以传感器的输出不可能真实地反映被测量的变化,会存在一定的误差。因此它的实际特性曲线并不完全符合测量时所要求的线性关系,如图 1-4 所示。

在实际工作中,常用一条拟合直线近似地代表实际的特性曲线。线性度就是用来表示实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差 Δy_{\max} 与满量程输出 y_{FS} 的百分比,即

$$E_f = \frac{\Delta y_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-2)$$

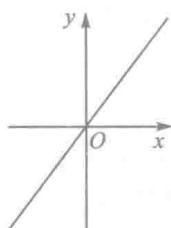
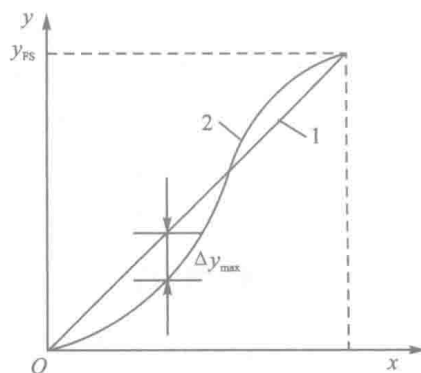


图 1-3 传感器理想线性特性图



1—拟合直线;2—实际特性曲线

图 1-4 特性曲线与线性度关系曲线

4. 稳定度

稳定度是指所有测量条件都恒定不变的情况下,传感器输出在规定的时间内能维持其示值不变的能力。稳定度一般用精密度的示值变化和时间长短的比值来表示。

5. 电磁兼容性

电磁兼容性(EMC)是指传感器等元器件和电子设备在规定的电磁干扰环境中能按照原设计要求正常工作的能力,而且也不向处于同一环境中的其他设备释放超过允许范围的电磁干扰。随着科学技术的发展,高频、宽带、大功率的电器设备应用越来越广泛,产生的电磁干扰辐射也越来越严重地影响传感器和检测系统的正常工作,因此抗电磁干扰技术就显得越来越重要。

6. 可靠性

可靠性是衡量传感器能够正常工作并完成其功能的程度。可靠性的应用体现在传感器正常工作和出现故障两个方面。其中,在传感器正常工作时由平均无故障时间来体现;在传感器出现故障时由平均故障修复时间来体现。

- ① 故障平均间隔时间(MTBF)是指两次故障的间隔时间。
- ② 平均故障修复时间(MTTR)是指排除故障所用的时间。
- ③ 故障率或失效率(λ)的变化曲线如图 1-5 所示。

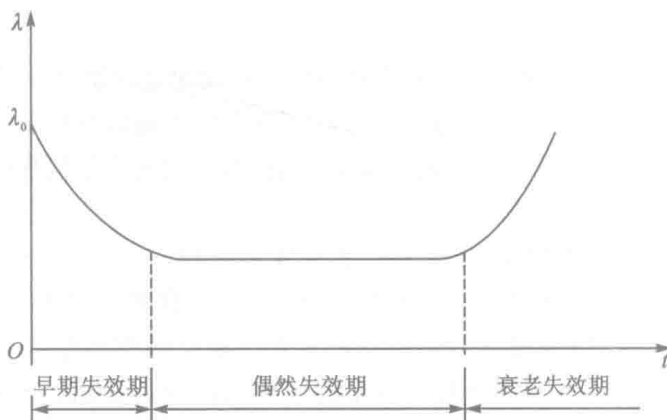


图 1-5 故障率变化的曲线

7. 重复性

重复性是指当传感器在相同工作条件下,输入量按同一方向全量程连续多次测试时,所得到的特性曲线不一致的程度。重复性指标的高低程度属于随机误差性质。

8. 迟滞

迟滞是指传感器在正向(输入量增大)和反向(输入量减小)行程中,输出与输入特性曲线不一致的程度,如图1-6所示。迟滞一般用两曲线之间输出量的最大差值与满量程输出的百分比表示,即

$$E_1 = (\Delta y_{\max} / y_{FS}) \times 100\% \quad (1-3)$$

1.3.2 传感器的动态特性

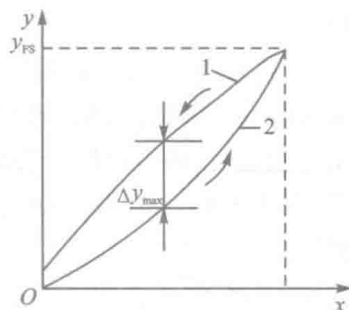
传感器的动态特性是指传感器在输入发生变化时的输出特性。要检测的输入信号是随时间而变化的,传感器的特性应能跟随输入信号的变化,这样才能获得准确的输出信号。动态特性是传感器的重要特性之一。

传感器的动态特性常用阶跃响应和频率响应来表示。

1. 阶跃响应

按照阶跃状态变化输入的响应称为阶跃响应。从阶跃响应中可获得它在时间域内的瞬态响应特性,描述的方式为时域描述。例如,幅值为 A 的阶跃信号如图1-7所示。 $t < 0$, $x(t) = 0$,表明既无输入也无输出; $t > 0$, $x(t) = A$ 是一个幅值为 A 的信号输入。而此时传感器的阶跃响应(输出)如图1-8所示。

整个响应分为动态和稳态两个过程。其中动态过程是指传感器从初始状态到接近最终状态的响应过程(又称过渡过程);而稳态过程是指时间 $t \rightarrow \infty$ 时传感器的输出状态。阶跃响应主要是通过分析动态过程来研究传感器的动态特性。传感器的时域动态性能指标通常用其阶跃响应中的过渡曲线上的特性参数来表示。主要参数有时间常数(T)、上升时间(t_r)、响应时间(或调节时间)(t_s)、超调量(δ)、振动次数(N)及稳态误差(e_s)等。



1—正向;2—反向

图1-6 迟滞特性图

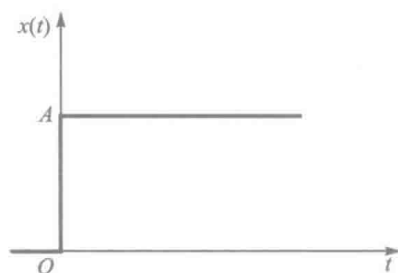


图1-7 阶跃信号图

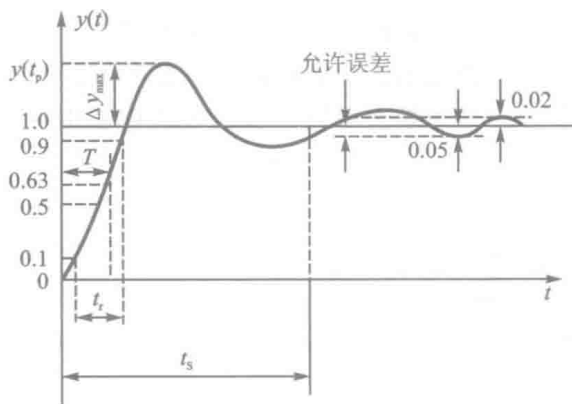


图1-8 阶跃响应曲线图