



普通高等教育“十三五”创新型规划教材
理论+实践+数字资源一体化规划教材

紧扣教学大纲，突出重点
强化应用能力，迁移拓展
支持教学做考，立体资源

■ 主编 韩向可 李军民

传感器原理与应用

◀ CHUANGANQI
◀ YUANLI YU YINGYONG



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与应用 / 韩向可, 李军民主编. — 成都 :
电子科技大学出版社, 2016.9
ISBN 978-7-5647-3637-8

I. ①传… II. ①韩… ②李… 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(2016)第 097407 号

内 容 简 介

本书从工程应用的角度出发,详细地介绍了常用传感器的基本知识、传感器的基本原理、传感器检测系统及电路设计、调试等。本书内容包括:传感器基础知识、电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、磁电式传感器、压电式传感器、光电式传感器、热电式传感器、辐射式传感器、环境量检测传感器、生物传感器等。本教材在内容组织和编写上,有难有易,深入浅出,力求做到重点突出,层次分明,通俗易懂,便于自学。

本书内容丰富,实用性强,可作为各大院校自动化、机电、电气及信息类各相关专业教材,也可供从事信号检测的工程技术人员参考。

传感器原理与应用

主 编 韩向可 李军民

出 版:电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编:610051)

策划编辑:杜 倩

责任编辑:刘 愚

主 页:www.uestcp.com.cn

电子邮箱:uestcp@uestcp.com.cn

发 行:新华书店经销

印 刷:天津市蓟县宏图印务有限公司

成品尺寸:203mm×260mm 印张 17.5 字数 460 千字

版 次:2016 年 9 月第一版

印 次:2016 年 9 月第一次印刷

书 号:ISBN 978-7-5647-3637-8

定 价:36.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话:028-83202463;本社邮购电话:028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

前言 PREFACE

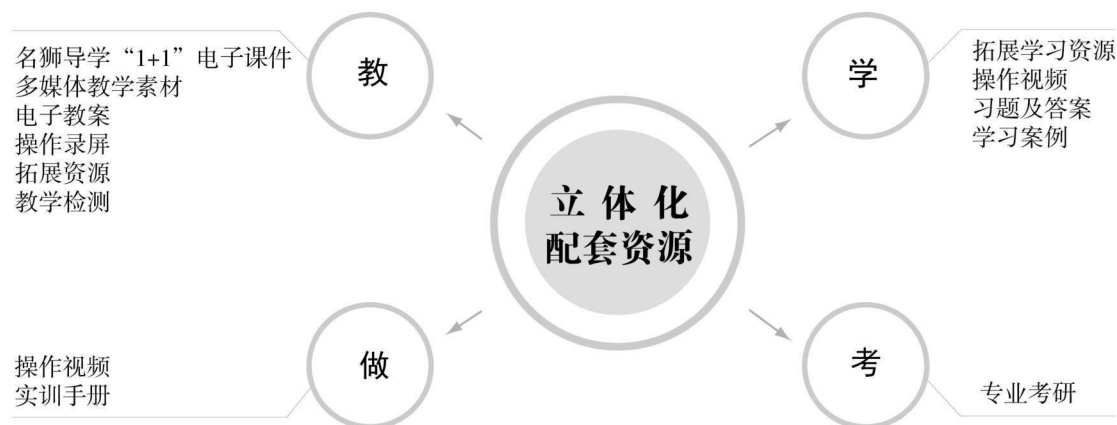
传感器技术是测量技术、半导体技术、计算机技术、信息处理技术、微电子学、光学、声学、精密机械、仿生学和材料科学等众多学科相互交叉的综合性和高新技术密集型前沿技术之一，是现代新技术革命和信息社会的重要基础，是自动检测和自动控制技术不可缺少的重要组成部分。目前，传感器技术已成为我国国民经济不可或缺的支柱产业的一部分。传感器在工业部门的应用普及率已被国际社会作为衡量一个国家智能化、数字化、网络化的重要标志。

随着新技术革命的到来，世界进入了信息时代。在利用信息的过程中，首先就是要获取准确可靠的信息，而传感器是获取自然和生产领域中信息的主要途径与手段。国内外已将传感器技术列为优先发展的科技领域之一，传感器相关知识和技术成为相关工程技术人员必备知识。本教材在博采国内外相关文献、教材精髓的基础上，结合作者多年教学经验和科研实践，编写成书。

本教材在取材和体系编排上注重理论原理和应用技术相结合，突出应用性和针对性，以有限的篇幅尽量拓宽知识领域，教材中配以大量针对性的应用实例，实例主要来源于典型工程应用、大学生电子竞赛和编者实践过程等，贴近生活和实际生产。本教材突出培养应用实践型学生的目标，锻炼学生面对实际应用工程应用理论知识分析问题、解决问题的能力。本教材除介绍传统的传感器外，还介绍了现代传感新技术和新方法。教材内容编写中力求形象生动，集“教、学、用”于一体，便于自主式学习，使教材深入浅出，层次分明，通俗易懂，重点突出。

全书共分 11 章，内容主要包括：传感器基础知识、电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、磁电式传感器、压电式传感器、光电式传感器、热电式传感器、辐射式传感器、环境量检测传感器、生物传感器。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，每个部分选材力求通俗、简明、实用、操作性强，每章有复习思考题，同时配有小结和知识拓展等。

丛书立体化配套资源



本书由安阳工学院韩向可、李军民任主编并由韩向可负责统稿，田龙、李菲和师会超任副主编。其中李菲编写第1、2、5章，韩向可编写第3、4、5章，田龙编写第7章，李军民编写第8、9章，师会超编写第6、10、11章，全书由韩向可统稿。

由于传感器与检测技术种类繁多、发展迅速，涉及的学科众多，而作者的水平有限，加之时间仓促，书中难免存在错误和不足。书中的疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录 CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 传感器概述	2
1.1.1 传感器定义	2
1.1.2 传感器的组成	3
1.1.3 传感器分类	4
1.1.4 传感器的一般特性	5
1.1.5 传感器的发展趋势	8
1.2 检测技术基础知识	9
第 2 章 电阻式传感器	15
2.1 电位器式电阻传感器	16
2.1.1 电位器式电阻传感器的工作原理	16
2.1.2 电位器的结构与材料	21
2.1.3 电位器式电阻传感器应用实例	22
2.2 电阻应变式传感器	25
2.2.1 电阻应变式传感器工作原理	26
2.2.2 应变式的结构与材料	27
2.2.3 电阻应变式传感器主要特性	28
2.2.4 温度误差及其补偿	30
2.2.5 电阻应变式传感器测量电路	32
2.2.6 电阻应变式传感器应用实例	34
第 3 章 电感式传感器	38
3.1 自感式传感器	39
3.1.1 自感式传感器的工作原理	39
3.1.2 自感式传感器的转换电路与残余电压	41

3.1.3	自感式传感器应用实例	43
3.2	变压器式传感器	47
3.2.1	变压器式传感器的工作原理	48
3.2.2	传感器等效电路	48
3.2.3	传感器的测量电路	49
3.2.4	变压器式传感器的应用实例	52
3.3	电涡流传感器	57
3.3.1	工作原理	57
3.3.2	转换电路	60
3.3.3	电涡流式传感器的应用实例	62
第4章	电容式传感器	66
4.1	电容式传感器的工作原理	67
4.2	电容式传感器的类型	68
4.2.1	变极距型电容传感器	68
4.2.2	变面积型电容传感器	68
4.2.3	变介电常数型电容传感器	69
4.3	电容式传感器的灵敏度及其特点	70
4.3.1	电容式传感器的灵敏度	70
4.3.2	电容式传感器的特点	72
4.4	电容式传感器测量电路	73
4.4.1	电容式传感器的等效电路	73
4.4.2	电容式传感器测量电路	74
4.5	电容式传感器应用实例	78
第5章	磁电式传感器	84
5.1	磁电感应式传感器	85
5.1.1	工作原理和结构类型	85
5.1.2	磁电感应式传感器基本特性	87
5.1.3	测量电路	89
5.1.4	两种常用磁电式传感器	90
5.1.5	磁电感应式传感器应用实例	91
5.2	霍尔传感器	93
5.2.1	霍尔传感器工作原理	93
5.2.2	霍尔元件的结构和基本电路	96
5.2.3	霍尔元件的主要特性参数	97
5.2.4	霍尔元件的误差及补偿	98
5.2.5	霍尔传感器应用实例	100
第6章	压电式传感器	105
6.1	压电式传感器的工作原理	106
6.1.1	石英晶体的压电效应	107

6.1.2	压电陶瓷的压电效应	108
6.1.3	压电方程	109
6.1.4	压电材料	111
6.2	压电式传感器测量电路	113
6.2.1	等效电路	113
6.2.2	测量电路	115
6.3	压电式传感器应用实例	118
第7章	光电式传感器	122
7.1	光电效应和光电器件	123
7.1.1	光电基础知识	123
7.1.2	光电效应	127
7.1.3	光电管与光电倍增管	129
7.1.4	光敏电阻	133
7.1.5	光敏二极管和光敏三极管	135
7.1.6	光电池	137
7.1.7	光电式传感器应用实例	138
7.2	光栅式传感器	140
7.2.1	基本工作原理	141
7.2.2	细分辨向电路	143
7.2.3	光栅传感器应用实例	147
7.3	光电编码器	151
7.3.1	绝对式光电编码器	151
7.3.2	增量式光电编码器	152
7.3.3	光电编码器的应用实例	154
7.4	光纤传感器	157
7.4.1	光纤的基本原理	158
7.4.2	光纤传感器分类	160
7.4.3	光纤传感器应用实例	163
7.5	图像传感器	165
7.5.1	电荷耦合器件(CCD)	166
7.5.2	CMOS 固态图像传感器	168
7.5.3	图像传感器的应用实例	171
第8章	热电式传感器	174
8.1	热电阻传感器	175
8.1.1	金属热电阻	175
8.1.2	半导体热敏电阻	180
8.1.3	热电阻传感器应用实例	184
8.2	热电偶	187
8.2.1	热电偶测温原理	188

8.3.2	热电偶的基本定律	191
8.3.3	热电偶的常用材料与结构	192
8.3.4	热电偶测量电路	195
8.3.5	热电偶冷端处理和补偿	196
8.3.6	热电偶传感器应用实例	197
8.4	新型温度传感器	200
8.4.1	DS18B20 的工作原理	201
8.4.2	DS18B20 的应用电路	206
8.4.3	数字式温度传感器应用实例	207
第 9 章	辐射式传感器	211
9.1	超声波传感器	212
9.1.1	超声波及其物理性质	212
9.1.2	超声波传感器的工作原理及其应用	214
9.1.3	超声波传感器应用实例	217
9.2	红外辐射传感器	220
9.2.1	红外辐射传感器	221
9.2.2	辐射式传感器应用实例	225
第 10 章	环境量检测	229
10.1	气敏传感器	230
10.1.1	气敏传感器概述	230
10.1.2	常用气敏传感器工作原理	231
10.1.3	气敏传感器的应用实例	237
10.2	湿度传感器	240
10.2.1	湿度传感器及分类	240
10.2.2	湿度传感器的主要参数	241
10.2.3	电阻式湿敏传感器	243
10.2.4	电容湿敏传感器	245
10.2.5	湿度传感器的应用实例	246
第 11 章	生物传感器	252
11.1	生物传感器概述	253
11.2	生物传感器的基本结构	255
11.2.1	生物敏感元件	256
11.2.2	换能器	256
11.3	生物传感器的分类与原理	256
11.3.1	酶生物传感器	257
11.3.2	免疫传感器	261
11.3.3	微生物传感器	263
11.3.4	生物传感器应用实例	265
参考文献		269

第 1 章 绪 论

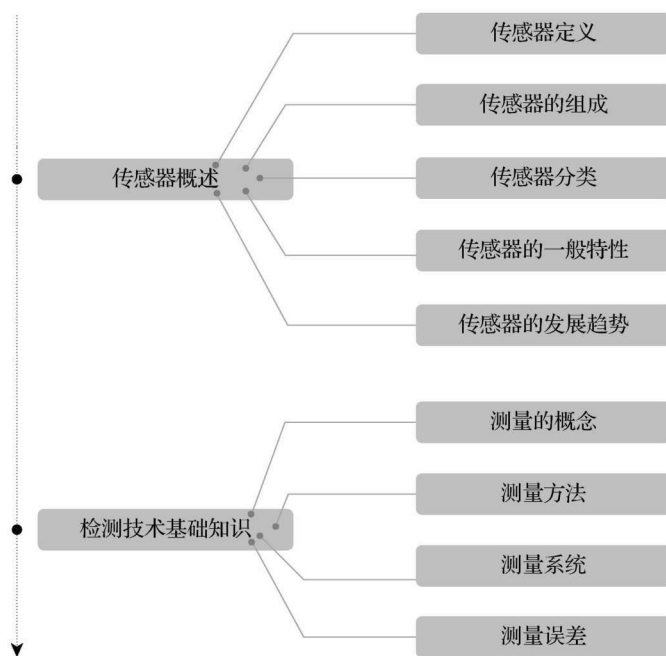
知识目标

1. 了解传感器的分类；
2. 了解传感器的动态、静态特性；
3. 了解传感器的发展趋势。

能力目标

1. 掌握传感器的定义和组成；
2. 掌握检测技术的基本知识。

知识框架图



1.1 传感器概述

现代科学技术使人类社会进入了信息时代,来自自然界的物质信息都需要通过传感器进行采集才能获取。人类通常通过感官(视、听、嗅、味、触)接受外界的信息,经过人脑的思维(信息处理),做出相应的动作。同样,如果用计算机控制的自动化装置来代替人的劳动,则可以说电子计算机相当于人的大脑(一般俗称电脑),而传感器则相当于人的五官(“电五官”)。传感器是获取自然领域中信息的主要途径与手段。在计算机的控制作用下通过执行器完成相应的动作。电子计算机作为人脑的一种模拟发展极为迅速,可是起五种感官模拟作用的传感器却发展很慢,因而引起了人们的普遍关注,如果不进行传感器的开发,电子计算机将处于不能适应实际需要的状态。

如图 1-1 所示,像人为了将体力劳动和脑力劳动进行很好地协调一样,传感器、电子计算机和执行器三者也要能相互协调才行。这样,传感器就成了现代科学的中枢神经系统,它日益受到人们的普遍重视,这已成为现代传感器技术的必然趋势。

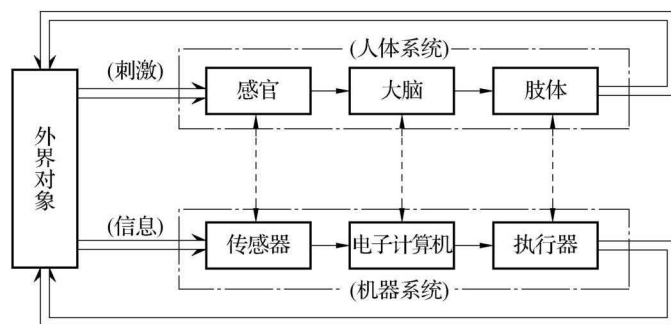


图 1-1 自动化装置与人对比

在现代工业生产尤其是自动化生产过程中,要用各种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数,使设备工作在正常状态或最佳状态,并使产品获得最好的质量。可以说传感器是现代化生产的基础。

当传感器技术在工业自动化、军事国防和以宇宙开发、海洋开发为代表的尖端科学与工程等重要领域广泛应用的同时,它也以其自身的巨大潜力,向着与人们生活密切相关的方面渗透:生物工程、医疗卫生、环境保护、安全防范、家用电器、网络家居等方面的传感器已层出不穷,并在日新月异发展。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。

由此可见,传感器技术在发展经济、推动社会进步方面的重要作用。世界各国都十分重视这一领域的发展。在不久的将来,传感器技术将会出现一个飞跃,达到与其重要地位相称的新水平。

1.1.1 传感器定义

传感器(transducer/sensor)是一种测量装置或器件。国家标准 GB/T7665—2005 给出的传感器定义是:传感器是能感受规定的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,通常

由敏感元件和转换元件组成。即：传感器是一种以一定精确度把被测量(主要是非电量)转换为与之有确定关系、便于应用的某种物理量(主要是电量)的测量装置。

通过上述定义，我们可以得知传感器包含以下几个方面内容：

- ① 传感器是一种测量装置，能完成检测任务；
- ② 输入量是某一被测量，可以是物理量，也可以是化学量、生物量等；
- ③ 输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示等等，这种量可以是气、光、电量，但主要是电量；
- ④ 输出输入有对应关系，且应有一定的精确程度。

1.1.2 传感器的组成

传感器的种类繁多，其工作原理、性能特点和应用领域各不相同，所以结构、组成差异很大。但总的来说，传感器通常由敏感元件、转换元件及转换电路组成，有时还加上辅助电源，如图 1-2 所示。

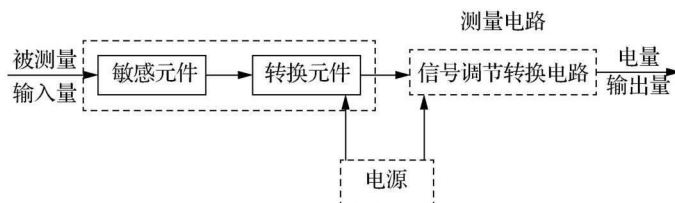


图 1-2 传感器组成框图

1. 敏感元件

它是直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的某一种量的元件。图 1-3 所示是一种气体压力传感器的示意图。膜盒 2 的下半部与壳体 1 固定连接，上半部通过连杆与磁芯 4 相连，磁芯 4 置于两个电感线圈 3 之间，电感线圈接入转换电路 5。这里的膜盒就是敏感元件，其外部与大气压力 P_a 相通，内部与被测量压力 P 相通。当 P 变化时，引起膜盒上半部移动，即输出相应的位移量。

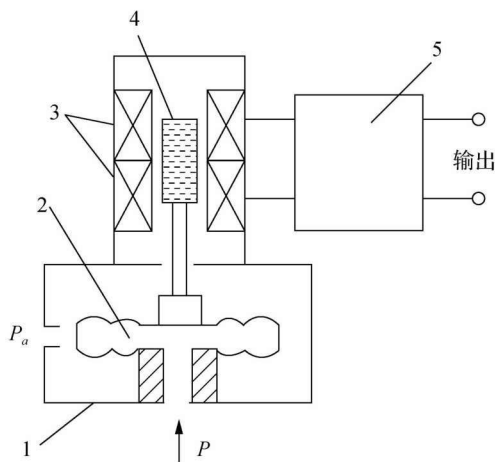


图 1-3 压力传感器

1—壳体；2—膜盒；3—电感线圈；4—磁芯；5—转换电路

2. 转换元件

敏感元件的输出量就是转换元件的输入量，转换元件把输入量转换成电路参量。在图 1-3 中，转换元件是电感线圈 3，它把输入的位移量转换成电感的变化。

3. 信号调节转换电路

把敏感元件输出的电信号转换为便于显示、记录、控制和处理的有用的电信号的电路。

4. 辅助电源

信号调节转换电路以及传感器工作必须有辅助的电源，因此，信号调节转换电路以及所需的电源都应作为传感器组成的一部分。

在实际应用中，由于有一些敏感元件可以直接输出变换后的电信号，而一些传感器又不包括敏感元件，常常无法将敏感元件与转换电路加以严格区别。因此，传感器可以做得很简单，也可以做得很复杂；可以是带反馈的闭环系统，也可以是不带反馈的开环系统；一般情况下只具有变换的功能，但也可能包含变换后信号的处理及传输电路等。因此，传感器的组成将随不同情况而异。

1.1.3 传感器分类

传感器的品种繁多，原理各异，检测对象门类也很多，有的传感器可以用于测量多种参数，而有时对于一种物理量又可用多种不同类型的传感器测量。因此，对传感器分类就有很多方法，国内外尚无统一的分类方法。一般按如下几种方法进行分类。

(1) 根据传感器感知外界信息所依据的基本效应，可以将传感器分成三大类：基于物理效应如光、电、声、磁、热等效应进行工作的物理传感器；基于化学反应如化学吸附、选择性化学反应等进行工作的化学传感器；基于酶、抗体、激素等分子识别功能的生物传感器。

(2) 按照物理原理分类，可分为电参量式传感器(包括电阻式、电感式、电容式等基本形式)、磁电式传感器(包括磁电感应式、霍尔式、磁栅式等)、压电式传感器、光电式传感器、气电式传感器、波式传感器(包括超声波式、微波式等)、射线式传感器、半导体式传感器、其他原理的传感器(如振弦式和振筒式传感器等)。

(3) 按照依靠还是不依靠外加能源工作，可分为有源传感器和无源传感器。有源传感器敏感元件工作需要外加电源，无源传感器工作不需外加电源。

(4) 按照被测量分类，可分为力学量传感器、热量传感器、磁传感器、光传感器、放射线传感器、气体成分传感器、液体成分传感器、离子传感器和真空传感器等等。

(5) 按能量关系分类，可分为能量控制型和能量转换型两大类。所谓能量控制型是指其变换的能量是由外部电源供给的，而外界的变化(即传感器输入量的变化)只起到控制的作用。

如用电桥测量电阻温度变化时，温度的变化改变了热敏电阻的阻值，热敏电阻阻值的变化使电桥的输出发生变化(注意电桥的输出是由电源供给的)。

(6) 按输出量是模拟量还是数字量，可分为模拟量传感器和数字量传感器。

1.1.4 传感器的一般特性

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。传感器的输入量可分为静态量和动态量两类。无论对静态量还是动态量,传感器的输出量都应不失真地复现输入量的变化。这主要取决于传感器的静态特性和动态特性。

1. 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指传感器的输入信号不随时间变化或变化非常缓慢时,所表现出来的输出响应特性。通常用来描述静态特性的指标有:测量范围、精度、灵敏度、稳定性、非线性度、重复性、分辨率、迟滞等。

(1) 灵敏度

灵敏度是指传感器或检测系统在稳态下输出量变化和引起此变化的输入量变化的比值。它是输入与输出特性曲线的斜率,如图 1-4 所示,可表示为

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

一般希望灵敏度 s 在整个测量范围内保持为常数。这样,可得均匀刻度的标尺,使读数方便,也便于分析和处理测量结果。

(2) 分辨率

分辨率是指检测仪表能够精确检测出被测量最小变化值的能力。输入量从某个任意值缓慢增加,直到可以测量到输出的变化为止,此时的输入量就是分辨率。它可以用绝对值,也可以用量程的百分数来表示。它说明了检测仪表响应与分辨输入量微小变化的能力。灵敏度愈高,分辨率愈好。一般模拟式仪表的分辨率规定为最小刻度分格值的一半。数字式仪表的分辨率是能够引起输出数字末位数发生改变所对应的输入增量。

(3) 线性度与非线性误差

线性度是用实测的检测系统输入-输出特性曲线与拟合直线之间最大偏差与满量程输出的百分比来表示的,如图 1-5 所示。

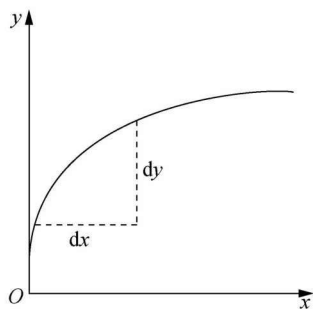


图 1-4 灵敏度示意图

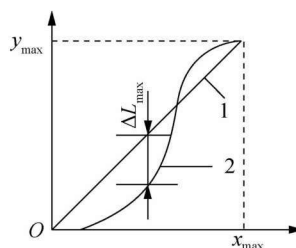


图 1-5 线性度

线性度可用非线性误差来表示,计算式为

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

采取不同的方法选取拟合直线,可以得到不同的线性度。如使拟合直线通过实际特性曲线的起点和满量程点,可以得到端基线性度。

(4) 迟滞

迟滞特性表明检测系统在正向和反向行程期间,输入-输出特性曲线不一致的程度。也就是说,对同样大小的输入量,检测系统在正、反行程中,往往对应两个大小不同的输出量,如图 1-6 所示。

通过实验,找出输出量的这种最大差值,用这个最大差值与满量程输出 Y_{FS} 的百分比表示,表达式为

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

图 1-6 所示是这种现象稍微夸张了的曲线。一般来说输入增加到某值时的输出要比输入下降到该值时的输出值小。如存在迟滞差,则输入和输出的关系就不是一一对应了,因此必须尽量减少这个差值。

传感器材料的物理性质是产生迟滞的主要原因。例如,把应力施加于某弹性材料时,弹性材料产生形变,应力取消后,弹性材料仍不能完全恢复原状。又如,铁磁体、铁电体在外加磁场、电场作用下均有迟滞现象。

(5) 重复性

重复性是指传感器在检测同一物理量时每次测量的不一致程度,也叫稳定性。如图 1-7 所示为输出特性曲线的重复特性,正行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 1}$,反行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 2}$ 。重复性偏差取这两个最大偏差中之较大者为 $\Delta R_{\max}$,它与满量程输出的百分比,就是重复误差,即

$$E_r = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

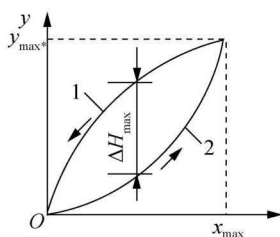


图 1-6 迟滞特性

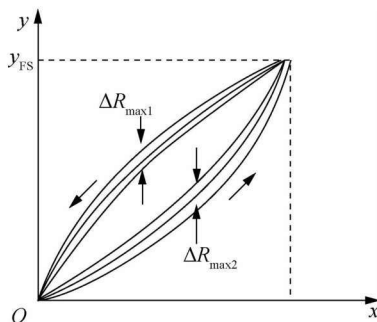


图 1-7 重复特性

重复性的高低与许多随机因素有关,也与产生迟滞的原因相似,它可用实验的方法来测定。

(6) 稳定性

稳定性表示传感器在一个较长的时间内保持其性能参数的能力。理想的情况是不论什么时候,传感器的特性参数都不随时间变化。但实际上,随着时间的推移,大多数传感器的特性会发生改变。这是因为敏感元件或构成传感器的部件,其特性会随时间发生变化,从而影响了传感器的稳定性。

稳定性一般以室温条件下经过一规定时间间隔后,传感器的输出与起始标定时输出之间的差

异来表示,称为稳定性误差。稳定性误差可用相对误差表示,也可用绝对误差来表示。

2. 传感器的动态特性

大多数情况下传感器的输入信号是随时间变化的,这时要求传感器时刻精确地跟踪输入信号,按照输入信号变化的规律输出信号。当传感器输入信号的变化缓慢时,是容易跟踪的,但随着输入信号变化的加快,传感器随动跟踪性能会逐渐下降。输入信号变化时,引起输出信号也随时间变化,这个过程叫作响应。动态特性就是指传感器对于随时间变化的输入量的响应特性。响应特性即动态特性,是传感器的重要特性之一。

为了说明传感器的动态特性,下面简要介绍动态测温的问题。在被测温度随时间变化或传感器突然插入被测介质中以及传感器以扫描方式测量某温度场的温度分布等情况下,都存在动态测温问题。如把一支热电偶从温度为 t_0 环境中迅速插入一个温度为 t 的恒温水槽中(插入时间忽略不计),这时热电偶测量的介质温度从 t_0 突然上升到 t ,而热电偶反映出来的温度从 t_0 变化到 t 需要经历一段时间,即有一段过渡过程,如图 1-8 所示。热电偶反映出来的温度与介质温度的差值就称为动态误差。

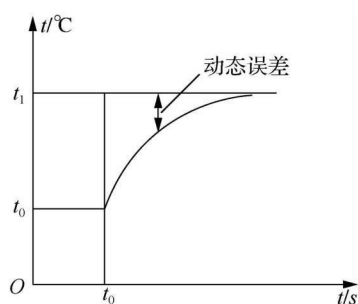


图 1-8 温升曲线

对于阶跃输入信号,传感器的响应称为阶跃响应或瞬态响应,它是指传感器在瞬变的非周期信号作用下的响应特性。这对传感器来说是一种最严峻的状态,如传感器能复现这种信号,那么就能很容易地复现其他种类的输入信号,其动态性能指标也必定会令人满意。

而对于正弦输入信号,则称为频率响应或稳态响应。它是指传感器在振幅稳定不变的正弦信号作用下的响应特性。稳态响应的重要性,在于工程上所遇到的各种非电信号的变化曲线都可以展开成傅里叶(Fourier)级数或进行傅里叶变换,即可以用一系列正弦曲线的叠加来表示原曲线。因此,当已知道传感器对正弦信号的响应特性后,也就可以判断它对各种复杂变化曲线的响应了。

为便于分析传感器的动态特性,必须建立动态数学模型。建立动态数学模型的方法有多种,如微分方程、传递函数、频率响应函数、差分方程、状态方程、脉冲响应函数等。

建立微分方程是对传感器动态特性进行数学描述的基本方法。在忽略了一些影响不大的非线性和随机变化的复杂因素后,可将传感器作为线性定常系统来考虑,因而其动态数学模型可用线性常系数微方程来表示。

当求解出微分方程的解后就能够得到系统的瞬态响应和稳态响应。微分方程的通解是系统的瞬态响应,特解是系统的稳态响应。对于一些较复杂的系统,求解微分方程比较麻烦,可采用数学上的拉普拉斯(Laplace)变换将实数域的微分方程变换成复数域的代数方程,这样可使运算简化,求解就相对容易了。

当通过拉氏变换把传感器微分方程变换为传递函数形式后,就可以利用《控制工程》中对传递函数的时域分析法和频域分析法对其动态特性进行分析和设计。

1.1.5 传感器的发展趋势

近年来,传感器技术新原理、新材料和新技术的研究更加深入、广泛,新品种、新结构、新应用不断涌现。未来传感器的发展趋势主要体现在以下几个方面。

1. 开发新型传感器

进一步探索具有新效应的敏感功能材料,并以此研制出具有新原理的新型物性型传感器件,物性型传感器亦称固态传感器,它包括半导体、电解质和强磁性体三类。其中利用量子力学诸效应研制的高灵敏阈传感器,用来检测微弱信号,是传感器技术发展的新趋势。例如,利用核磁共振吸收效应的磁敏传感器,可将检测限扩展到地磁强度的 10^7 ,利用约瑟夫逊效应的热噪声温度传感器,可测量 10^{-6} 的超低温;以及由于光子滞后效应的利用,出现了响应速度极快的红外传感器。目前最先进的固态传感器,在一块芯片上可同时集成差压、静压、温度三个传感器,使差压传感器具有温度和压力补偿功能。

2. 传感器的集成化和多功能化

所谓集成化,就是将敏感元件、信息处理或转换单元以及电源等部分利用半导体技术将其制作在同一芯片上;多功能化则意味着传感器具有多种参数的检测功能,如半导体温湿敏传感器、多功能气体传感器等。传感器集成化包括两类:一种是同类型多个传感器的集成,即同一功能的多个传感元件用集成工艺在同一平面上排列,组成线性传感器(如 CCD 图像传感器)。另一种是多功能一体化,如几种不同的敏感元器件制作在同一硅片上,制成集成化多功能传感器,集成度高、体积小,容易实现补偿和校正,是当前传感器集成化发展的主要方向。如意法半导体提出把组合了多个传感器的模块作为传感器中枢来提高产品功能;东芝公司已开发出能够同时检测脉搏、心电图、体温及身体活动等 4 种生命体征信息,并将数据无线发送至智能手机或平板电脑等的传感器模块。

3. 传感器的智能化

智能化主要体现在两个方向。一个方向是多种传感功能与数据处理、存储、双向通信等的集成,可全部或部分实现信号探测、变换处理、逻辑判断、功能计算、双向通信,以及内部自检、自校、自补偿、自诊断等功能,具有低成本、高精度的信息采集、可数据存储和通信、编程自动化和功能多样化等特点。如美国凌力尔特(Linear Technology)公司的智能传感器安装了 ARM 架构的 32 位处理器。另一个方向是软传感技术,即智能传感器与人工智能相结合,目前已出现各种基于模糊推理、人工神经网络、专家系统等人工智能技术的高度智能传感器,并已经在智能家居等方面得到利用。如 NEC 开发出了对大量的传感器监控实施简化的新方法“不变量分析技术”,并已于今年面向基础设施系统投入使用。

4. 研究生物传感器和开发仿生传感器

大自然是生物传感器的优秀设计师。如狗的嗅觉(灵敏阈是人的一百万倍)、鸟的视觉(鸟的视力是人的 8~50 倍)、蝙蝠、飞蛾、海豚的听觉(主动型生物雷达——超声波传感器)、蛇的接近觉(分辨力达 0.001°C 的红外测温传感器)等。所以,这也是传感器的一个发展方向。

5. 传感器的微型化

微型化传感器(MEMS)研发异军突起。随着集成微电子机械加工技术的日趋成熟,MEMS 传感

器将半导体加工工艺(如氧化、光刻、扩散、沉积和蚀刻等)引入传感器的生产制造,实现了规模化生产,并为传感器微型化发展提供了重要的技术支撑。近年来,日本、美国、欧盟等在半导体器件、微系统及微观结构、速度测量、微系统加工方法/设备、麦克风/扬声器、水平/测距/陀螺仪、光刻制版工艺和材料性质的测定/分析等技术领域取得了重要进展。目前,MEMS 传感器技术研发主要在以下几个方向:(1)微型化的同时降低功耗;(2)提高精度;(3)实现 MEMS 传感器的集成化及智慧化;(4)开发与光学、生物学等技术领域交叉融合的新型传感器,如 MOMES 传感器(与微光学结合)、生物化学传感器(与生物技术、电化学结合)以及纳米传感器(与纳米技术结合)。

6. 研究可移动化传感器

无线传感网络技术的关键是克服节点资源限制(能源供应、计算及通信能力、存储空间等),并满足传感器网络扩展性、容错性等要求。该技术被美国麻省理工学院(MIT)的《技术评论》杂志评为对人类未来生活产生深远影响的十大新兴技术之首。目前研发重点主要在路由协议的设计、定位技术、时间同步技术、数据融合技术、嵌入式操作系统技术、网络安全技术、能量采集技术等方面。迄今,一些发达国家及城市在智能家居、精准农业、林业监测、军事、智能建筑、智能交通等领域对该技术进行了应用。如,从 MIT 独立出来的 VoltreePowerLLC 公司受美国农业部的委托,在加利福尼亚州的山林等处设置温度传感器,构建了传感器网络,旨在监测森林火情,减少火灾损失。

1.2 检测技术基础知识

检测技术是以研究检测系统中的信息提取、信息转换和信息处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科。

检测技术主要研究被测量的测量原理、测量方法、检测系统和数据处理等方面的内容。

测量原理是指采用什么样的原理去测量被测量。不同性质的被测量要采用不同的原理去测量,测量同一性质的被测量也可采用不同测量原理。测量原理决定后,就要考虑用什么方法去测量,这就是我们所要研究的测量方法。确定了被测量的测量原理和测量方法后,就要设计或选用装置组成一个自动检测系统。有了已标定过的检测系统,就可以进行实际的检测工作。在实际检测中得到的数据必须进行误差分析和处理,才能得到正确可信的检测结果。

1. 测量

测量是将未知量与已知量比较的过程,是人们借助于仪器、设备,采用一定的方法,对客观事物取得定性或定量的认识过程。

对于定性测量主要通过测量大致判断出被测量的存在与否。如用超声波探伤仪检测工件内部是否有缺陷,用检漏仪测试密闭容器是否漏气等。

对于定量测量主要是用一定精度的测量仪器对被测量进行测量,并得到一个比较精确的数值结果。

因此,测量过程实际上就是一个比较过程,测量的结果可以表现为数值,也可以表现为一条测量曲线或是图形,但是总包括数值和单位两部分。更为准确地说,测量结果还应包括误差部分。

2. 测量方法

实际上,被测量与标准量进行比较得出比较结果的方法就是测量方法。对于不同的测量任务进