



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专电子信息类系列教材

# 传感器与检测技术

俞志根 主编



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专电子信息类系列教材

# 传感器与检测技术

俞志根 主编

周晓邑 庞元俊 吴国强 副主编

张正伟, 1991. 传感器原理与应用. 北京: 中央电教馆出版社.

张维立, 2002. 传感器与应用电路设计. 北京: 机械工业出版社.

周乐超, 2008. 传感器与检测技术. 北京: 机械工业出版社.

国家发展和改革委员会. 2007. 国家发展和改革委员会. 北京: 机械工业出版社.

ISBN 978-7-03-019087-1

I. 传... II. 俞... III. 传感器-高等学校-教材. IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第082464号

责任编辑: 孙爱华

封面设计: 吕春霞

科学出版社

北京东黄城根北街16号

邮编: 100717

http://www.sciencep.com

印刷: 北京印刷厂

发行: 科学出版社发行部

2007年7月第1版 开本: 787 × 1092 1/16

2007年7月第一次印刷 印张: 16

印数: 1—3 000 字数: 380 000

## 科学出版社

(如有印装质量问题, 请与发行部联系, 电话: 010-62138258)

北京 010-62138258 科学出版社

## 内 容 简 介

本书以传感器的应用技术为主线安排内容,与同类书相比具有更强的实用性,重在培养学生选择和维护各种传感器的能力,也更加符合高职高专教育重视职业技能培养的教育目标。全书共分10章,包括4个知识模块,基础知识模块主要侧重于传感器及检测技术一般概念的介绍;传统传感技术和现代传感技术这两个知识模块是本书的重中之重,主要突出各种传感器在工业生产及过程控制中的典型应用;信号处理与抗干扰技术及系统集成模块重点介绍组成检测系统时对信号的处理要求及抗干扰技术的发展趋势;另外,介绍了几种典型的检测系统。

本书适用于应用电子、工业自动化、机电一体化等工科专业,也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/俞志根主编. —北京:科学出版社,2007

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·高职高专电子信息类系列教材)

ISBN 978-7-03-019087-1

I. 传… II. 俞… III. 传感器-高等学校-教材 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第085464号

责任编辑:孙露露/责任校对:赵燕

责任印制:吕春珉/封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行

各地新华书店经销

\*

2007年7月第一版 开本:787×1092 1/16

2007年7月第一次印刷 印张:16

印数:1—3 000

字数:360 000

定价:22.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138978-8212

## 出版说明

进入 21 世纪, 国际竞争日趋激烈, 竞争的焦点是人才的竞争, 是全民素质的竞争。人力资源在增强国家综合国力方面发挥着越来越重要的作用, 而人力资源的状况归根结底取决于教育发展的整体水平。

温家宝总理在主持召开教育工作座谈会时提出, 职业教育是面向人人教育, 要把发展职业教育放在更加重要、更加突出的位置来抓。国家大力发展职业教育, 使得职业教育进入了蓬勃发展时期, 驶入了高速发展的快车道。

高等职业教育要面向地区经济建设和社会发展, 适应就业市场的实际需要, 培养生产、建设、服务、管理第一线需要的实用人才, 真正办出特色。因此, 不能以本科压缩和变形的形式组织高等职业教育, 必须按照高等职业教育的自身规律组织教学体系。

为此, 我社本着“高水平、高质量、高层次”的“三高”精神和“严肃、严密、严格”的“三严”作风, 集中电子信息大类相关专业的专家、各职业院校“双师型”教师, 编写了高职高专层次系列教材。这些教材以普通高等教育“十一五”国家级规划教材和中国科学院获奖教材为主体, 包括如下两个部分:

- 高职高专计算机类系列教材, 又分

- 计算机专业基础系列教材
- 计算机应用技术系列教材
- 网络工程系列教材
- 软件工程系列教材

- 高职高专电子信息类系列教材

本套教材建设的宗旨是以学校的选择为依据, 以方便教师授课为标准, 以应用型职业岗位需求为中心, 以素质教育、创新教育为基础, 以学生能力培养为本位, 力求突出以下特色。

1. 理念创新: 秉承“教学改革与学科创新引路, 科技进步与教材创新同步”的理念, 根据新时代对高等职业教育人才的需求, 出版一系列体现教学改革最新理念、内容领先、思路创新、突出实训、成系列配套的高职高专教材。

2. 方法创新: 摒弃“借用教材、压缩内容”的滞后方法, 专门开发符合高职特点的“对口教材”。

3. 特色创新: 加大实训教材的开发力度, 填补空白, 突出热点。保证所有教材都配有“课件”、“教学资源支持库”等立体化的教学资源, 以方便教师教学与学生学习。对于部分专业, 组织编写“双证”教材, 注意将教材内容与职业资格、技能证书进行衔接。

4. 内容创新: 在教材的编写过程中, 力求反映知识更新和科技发展的最新动态, 将新知识、新技术、新内容、新工艺、新案例及时反映到教材中, 体现了高职教育专业紧密联系生产、建设、服务、管理第一线的实际要求。

欢迎广大教师、学生在使用本系列教材后提出宝贵意见, 以便我们进一步做好修订工作, 出版更多的精品教材。

科学出版社

2007 年 1 月

## 前 言

近几年我国的高职高专教育蓬勃发展,已占领了高等教育的半壁江山。由于高职高专学生的数理基础较为薄弱,而现有的检测技术类教材过于强调知识的完整性,理论性偏强,已不适应高职高专教育的需要。本书主要针对高职高专工科专业的需要,并结合编者多年的教学实践编写,适合作为应用电子技术、工业自动化、机电一体化等专业的专业基础课教材。建议学时72课时左右,可根据不同专业的实际需要作适当调整。

全书以传感器在工业控制中的应用为主线,遵循理论够用为度、突出应用性的编写原则。全书共分10章,包括4个知识模块:第1章为基础知识模块;第2~6章为传统传感技术模块;第7~9章为现代传感技术模块;第10章为信号处理与抗干扰技术及系统集成模块。另外,每章后面均安排了一定的习题,用以检验学生灵活运用所学理论知识的能力,充分发挥学生的主观能动性,调动他们的学习积极性。为加强对学生动手能力的培养,应配合进行专门的实训教学,使学生学会对各种传感器的选用和检测系统的集成。

本书在编写过程中主要针对高职高专学生的特点和高职高专教育的特色,充分考虑各工科专业的不同需求,具有以下几方面的特点:

(1) 根据教学实际需要精选教材内容。本书内容的选取充分考虑到我国目前工业生产中检测与控制的要求及其传感器的最新应用情况,以被测信号的获取、传输处理为核心,从最基本的概念分析入手,理论分析简洁透彻,深入浅出,内容精炼,重点突出传感器的应用情况分析,知识面宽,应用性强。

(2) 由于检测技术是自动化技术的四大支柱之一,是以传感器应用研究为主要内容的一门应用性技术学科,所以本书以传感器应用为主线,理论知识以必需、够用为尺度,以掌握应用为重点,理论推导从简,加强了理论知识和实际应用的统一。

(3) 本书结构新颖,层次分明,语言简洁,易于教学与自学。

(4) 本书配有电子课件,可到科学出版社网站([www.sciencep.com](http://www.sciencep.com))下载或发邮件至主编邮箱 [yzg@hzvtc.net](mailto:yzg@hzvtc.net) 索取。

本书由湖州职业技术学院的俞志根任主编,并负责第1~10章的大部分编写及全书的总纂工作;吴国强任副主编,负责第5章的编写;周志青参编了第8章的部分内容;左希庆参编了第3章的部分内容。江西工贸职业技术学院的周晓邑任副主编,负责第6章的编写。平顶山工业职业技术学院的庞元俊任副主编,负责第3章和第4章的编写。在本书的编纂过程中,得到了校内外广大同行的大力支持和批评指正,在此向他们表示衷心的感谢。

另外,本书配有实训教程——《传感器与检测技术实训教程》。实训教程按《传感器与检测技术》一书中传感器出现的先后顺序,共设计了19个实训项目,其中有7个为验证性实训,另安排了12个自主设计性实训,用以检验学习者灵活运用所学理论知

识的能力，使他们能充分发挥自己的主观能动性和学习积极性。在每个实训的最后都有一些思考题，以进一步巩固所学理论知识，拓宽知识面，更好地达到实训的目的。

由于时间仓促，加上编者水平有限，书中难免存在一些问题和不足，欢迎广大读者批评指正。

目 录

前言 1  
第一章 绪论 1  
1.1 传感器的定义及组成 1  
1.2 传感器的应用 2  
1.3 传感器的分类 3  
1.4 传感器的特性 4  
1.5 传感器的选用 5  
1.6 传感器的校准 6  
1.7 传感器的误差 7  
1.8 传感器的可靠性 8  
1.9 传感器的维护 9  
1.10 传感器的未来 10  
参考文献 11  
思考题 12

第二章 电阻应变式传感器 13  
2.1 电阻应变效应 13  
2.2 电阻应变片的组成及特性 14  
2.3 电阻应变片的种类 15  
2.4 电阻应变片的测量电路 16  
2.5 电阻应变片的误差 17  
2.6 电阻应变片的补偿 18  
2.7 电阻应变片的选用 19  
2.8 电阻应变片的维护 20  
2.9 电阻应变片的未来 21  
参考文献 22  
思考题 23

第三章 电感式传感器 24  
3.1 电感式传感器的原理 24  
3.2 电感式传感器的组成 25  
3.3 电感式传感器的种类 26  
3.4 电感式传感器的测量电路 27  
3.5 电感式传感器的误差 28  
3.6 电感式传感器的补偿 29  
3.7 电感式传感器的选用 30  
3.8 电感式传感器的维护 31  
3.9 电感式传感器的未来 32  
参考文献 33  
思考题 34

第四章 电容式传感器 35  
4.1 电容式传感器的原理 35  
4.2 电容式传感器的组成 36  
4.3 电容式传感器的种类 37  
4.4 电容式传感器的测量电路 38  
4.5 电容式传感器的误差 39  
4.6 电容式传感器的补偿 40  
4.7 电容式传感器的选用 41  
4.8 电容式传感器的维护 42  
4.9 电容式传感器的未来 43  
参考文献 44  
思考题 45

第五章 霍尔式传感器 46  
5.1 霍尔效应 46  
5.2 霍尔元件的组成及特性 47  
5.3 霍尔元件的种类 48  
5.4 霍尔元件的测量电路 49  
5.5 霍尔元件的误差 50  
5.6 霍尔元件的补偿 51  
5.7 霍尔元件的选用 52  
5.8 霍尔元件的维护 53  
5.9 霍尔元件的未来 54  
参考文献 55  
思考题 56

第六章 光电式传感器 57  
6.1 光电效应 57  
6.2 光电元件的组成及特性 58  
6.3 光电元件的种类 59  
6.4 光电元件的测量电路 60  
6.5 光电元件的误差 61  
6.6 光电元件的补偿 62  
6.7 光电元件的选用 63  
6.8 光电元件的维护 64  
6.9 光电元件的未来 65  
参考文献 66  
思考题 67

第七章 压电式传感器 68  
7.1 压电效应 68  
7.2 压电元件的组成及特性 69  
7.3 压电元件的种类 70  
7.4 压电元件的测量电路 71  
7.5 压电元件的误差 72  
7.6 压电元件的补偿 73  
7.7 压电元件的选用 74  
7.8 压电元件的维护 75  
7.9 压电元件的未来 76  
参考文献 77  
思考题 78

第八章 磁电式传感器 79  
8.1 磁电式传感器的原理 79  
8.2 磁电式传感器的组成 80  
8.3 磁电式传感器的种类 81  
8.4 磁电式传感器的测量电路 82  
8.5 磁电式传感器的误差 83  
8.6 磁电式传感器的补偿 84  
8.7 磁电式传感器的选用 85  
8.8 磁电式传感器的维护 86  
8.9 磁电式传感器的未来 87  
参考文献 88  
思考题 89

第九章 温度传感器 90  
9.1 温度传感器的原理 90  
9.2 温度传感器的组成 91  
9.3 温度传感器的种类 92  
9.4 温度传感器的测量电路 93  
9.5 温度传感器的误差 94  
9.6 温度传感器的补偿 95  
9.7 温度传感器的选用 96  
9.8 温度传感器的维护 97  
9.9 温度传感器的未来 98  
参考文献 99  
思考题 100

第十章 数字式传感器 101  
10.1 数字式传感器的原理 101  
10.2 数字式传感器的组成 102  
10.3 数字式传感器的种类 103  
10.4 数字式传感器的测量电路 104  
10.5 数字式传感器的误差 105  
10.6 数字式传感器的补偿 106  
10.7 数字式传感器的选用 107  
10.8 数字式传感器的维护 108  
10.9 数字式传感器的未来 109  
参考文献 110  
思考题 111

第十一章 新型传感器 112  
11.1 新型传感器的原理 112  
11.2 新型传感器的组成 113  
11.3 新型传感器的种类 114  
11.4 新型传感器的测量电路 115  
11.5 新型传感器的误差 116  
11.6 新型传感器的补偿 117  
11.7 新型传感器的选用 118  
11.8 新型传感器的维护 119  
11.9 新型传感器的未来 120  
参考文献 121  
思考题 122

# 目 录

第 1 章 传感器与检测技术基础	1
1.1 传感器基础知识	1
1.1.1 传感器的命名与代号	1
1.1.2 传感器的灵敏度与分辨率	2
1.1.3 传感器的线性度与非线性误差	3
1.1.4 传感器的迟滞与重复性	3
1.2 检测技术基础	4
1.2.1 检测技术的概念与作用	4
1.2.2 检测系统的基本组成	5
1.2.3 检测技术的发展趋势	6
1.3 测量误差的概念及其处理方法	6
1.3.1 测量定义及测量误差	6
1.3.2 随机误差的处理方法	12
1.3.3 系统误差的消除方法	17
1.4 电桥电路在测量中的应用	19
1.4.1 直流测量电桥分析	19
1.4.2 交流测量电桥分析	22
小结	23
思考题	24
第 2 章 电阻式传感器	25
2.1 电阻应变片	25
2.1.1 电阻应变效应	25
2.1.2 电阻应变片的类型及常用材料	26
2.1.3 电阻应变计的型号及选用	28
2.1.4 应变电阻的应用	30
2.2 热电阻及热敏电阻	33
2.2.1 热电阻	33
2.2.2 热敏电阻	35
2.3 压敏电阻	40
2.3.1 压敏电阻的工作原理	40
2.3.2 压敏电阻的型号	41
2.3.3 压敏电阻的应用	42
2.4 气敏电阻	43

2.4.1	气敏电阻的工作原理及其特性	43
2.4.2	常用的气敏电阻	44
2.4.3	气敏电阻的应用	45
2.5	湿敏电阻	48
2.5.1	湿敏电阻的型号命名方法	48
2.5.2	常见类型及其应用	49
2.6	光敏电阻	51
2.6.1	工作原理	51
2.6.2	基本特性及其主要参数	52
2.6.3	光敏电阻器型号命名方法	54
2.6.4	光敏电阻的应用	54
	小结	56
	思考题	56
<b>第3章</b>	<b>电容式传感器</b>	<b>58</b>
3.1	电容式传感器的基本原理及性能特点	58
3.1.1	变面积式电容传感器	58
3.1.2	变间隙式电容传感器	59
3.1.3	变介电常数式电容传感器	60
3.2	电容式传感器的常用测量电路	61
3.2.1	双T电桥电路	61
3.2.2	运算放大器测量电路	61
3.2.3	脉冲调制电路	62
3.2.4	调频电路	63
3.2.5	消除电容传感器寄生电容的方法	64
3.3	电容式传感器的应用	66
3.3.1	在物位测控中的应用	66
3.3.2	在压力测量中的应用	70
3.3.3	在位移测量中的应用	74
3.3.4	电容式指纹传感器	78
	小结	79
	思考题	80
<b>第4章</b>	<b>电感式传感器</b>	<b>82</b>
4.1	自感式电感传感器	82
4.1.1	原理分析	82
4.1.2	测量电路	84
4.2	差动变压器	86
4.2.1	工作原理分析	86
4.2.2	常用测量电路	88



4.3	电涡流式传感器	89
4.3.1	结构原理与特性	90
4.3.2	测量电路	92
4.4	电感式传感器的典型应用	94
4.4.1	位移测量	94
4.4.2	振动检测	95
4.4.3	位置控制	97
	小结	98
	思考题	99
<b>第5章</b>	<b>热电偶传感器</b>	<b>100</b>
5.1	热电偶的工作原理及其基本结构	100
5.1.1	热电偶的工作原理	100
5.1.2	热电偶的基本定律	102
5.1.3	热电偶结构	104
5.2	常用热电偶及其测温线路	106
5.2.1	热电偶材料	106
5.2.2	热电偶种类	106
5.2.3	热电偶的冷端补偿方法	111
5.2.4	热电偶测温线路	115
5.3	热电偶应用实例	117
5.3.1	热电偶在温度测量仪中的应用	117
5.3.2	热电偶温度变送器	117
	小结	118
	思考题	118
<b>第6章</b>	<b>压电式传感器</b>	<b>120</b>
6.1	基本原理分析	120
6.1.1	压电效应	120
6.1.2	石英晶体的压电效应	120
6.1.3	压电陶瓷的压电效应	122
6.2	压电材料及压电元件的结构	123
6.2.1	压电材料	123
6.2.2	压电元件的常用结构形式	125
6.3	测量电路	125
6.3.1	等效电路	125
6.3.2	基本测量电路	126
6.4	压电式传感器的应用	128
6.4.1	5100 系列压电式力传感器	128
6.4.2	电荷型石英压力传感器	128

08	6.4.3 压电式加速度传感器	130
09	小结	132
09	思考题	132
10	<b>第7章 光电传感器</b>	133
10	7.1 概述	133
20	7.2 光电器件	134
20	7.2.1 外光电效应器件	135
30	7.2.2 内光电效应器件	137
30	7.2.3 光生伏特效应器件	140
40	7.3 光电传感器	142
40	7.3.1 光电传感器的类型	142
50	7.3.2 光电传感器的常用光源	144
50	7.3.3 光电转换电路	144
60	7.4 常见的光电传感器及应用	146
60	7.4.1 透射式光电传感器的应用	146
70	7.4.2 漫反射型光电传感器	147
70	7.4.3 遮光式光电传感器	149
80	7.4.4 光电式带材跑偏检测器	150
80	7.4.5 包装充填物高度检测	150
90	小结	151
90	思考题	151
100	<b>第8章 霍尔传感器</b>	152
100	8.1 霍尔效应与霍尔元件	152
110	8.1.1 霍尔效应	152
120	8.1.2 霍尔元件	154
120	8.1.3 温度特性及补偿	155
130	8.1.4 零位特性及补偿	158
130	8.2 集成霍尔传感器	158
140	8.2.1 开关型集成霍尔传感器	159
140	8.2.2 线性型集成霍尔传感器	160
150	8.2.3 差动霍尔电路(双霍尔电路)	161
150	8.3 霍尔传感器的应用	161
160	8.3.1 一般应用	161
160	8.3.2 应用实例	164
170	小结	174
170	思考题	175

<b>第 9 章 新型传感器</b> .....	176
9.1 光纤传感器 .....	176
9.1.1 光纤传感器基础知识 .....	176
9.1.2 光纤传感器的应用 .....	178
9.2 红外线传感器 .....	180
9.2.1 红外辐射的产生及其性质 .....	181
9.2.2 红外线传感器的类型 .....	181
9.2.3 红外线传感器的应用 .....	182
9.3 超声波传感器 .....	186
9.3.1 超声波的发生 .....	186
9.3.2 超声波的接收 .....	188
9.3.3 超声波的传播特性 .....	188
9.3.4 超声波在自动检测中的应用 .....	190
9.4 激光传感器 .....	193
9.4.1 激光的本质 .....	193
9.4.2 激光的形成 .....	194
9.4.3 激光的特点 .....	196
9.4.4 激光器 .....	197
9.4.5 激光的应用 .....	198
小结 .....	201
思考题 .....	202
<b>第 10 章 信号处理及系统集成</b> .....	203
10.1 信号处理技术 .....	203
10.1.1 微弱信号放大 .....	203
10.1.2 线性化处理技术 .....	206
10.2 噪声源及噪声耦合方式 .....	211
10.2.1 噪声源 .....	212
10.2.2 噪声耦合方式 .....	214
10.3 共模与差模干扰 .....	217
10.3.1 差模干扰 .....	217
10.3.2 共模干扰 .....	218
10.3.3 共模干扰抑制比 .....	220
10.4 常用的干扰抑制技术 .....	221
10.4.1 屏蔽技术 .....	221
10.4.2 接地技术 .....	222
10.4.3 浮置 .....	224
10.4.4 平衡电路 .....	224
10.4.5 滤波 .....	225

10.4.6	光耦合器	227
10.4.7	脉冲电路中的噪声抑制	227
10.5	典型检测系统简介	228
10.5.1	单片机自动测温系统	229
10.5.2	盐浴炉温度控制系统	232
10.5.3	超声波汽车测距告警装置	235
	小结	237
	思考题	238
	附录	239
	参考文献	243

# 第 1 章

## 传感器与检测技术基础

### 1.1 传感器基础知识

传感器就是能感知外界信息并将其按一定规律转换成可用信号的机械电子装置。简言之，传感器就是将外界被测信号转换为电信号的电子装置，它由敏感器件和转换器件两部分组成，有的半导体敏感器件可以直接输出电信号，其本身就构成传感器。敏感器件品种繁多，就其感知外界信息的原理而言，可分为：物理类，基于力、热、光、电、磁和声等物理效应；化学类，基于化学反应的原理；生物类，基于酶、抗体和激素等分子识别功能。通常，根据其基本感知功能可分为热敏元件、光敏元件、气敏元件、力敏元件、磁敏元件、湿敏元件、声敏元件、放射线敏感元件、色敏元件和味敏元件等十大类。

#### 1.1.1 传感器的命名与代号

\*注意：传感器的命名与代号是本章的第1个学习重点，它是本课程的基础知识之一，是学习传感器的基础。要通过网络查找等途径熟练掌握传感器的命名与代号组成情况，为认识传感器打好基础。

##### 1. 传感器的命名

传感器的命名由主题词加四级修饰语构成。

主题词——传感器；

第一级修饰语——被测量，包括修饰被测量的定语；

第二级修饰语——转换原理，一般可后续以“式”字；

第三级修饰语——特征描述，指必须强调的传感器结构、性能、材料特征、敏感元件及其他必要的性能特征，一般可后续以“型”字；

第四级修饰语——主要技术指标，如量程、精确度、灵敏度等。

各级修饰语举例可参见附表1。

题目中的用法：在有关传感器的统计表格、图书索引、检索及计算机汉字处理等特殊场合，应采用上述顺序，如传感器、位移、应变[计]式、100mm。

正文中的用法：在技术文件、产品样本、学术论文、教材及书刊的陈述句中，作为产品名称应采用与上述相反的顺序，如10mm应变式位移传感器。

## 2. 传感器的代号

依次为：主称（传感器）—被测量—转换原理—序号。

主称——传感器，代号 C；

被测量——用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记，见附表 2；

转换原理——用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记，见附表 3；

序号——用一个阿拉伯数字标记，厂家自定，用来表征产品设计特性、性能参数、产品系列等。若产品性能参数不变，仅在局部有改动或变动时，其序号可在原序号后面按顺序加注大写字母 A、B、C 等（其中 I、Q 不用）。

例如：应变式位移传感器：C WY-YB-20；光纤式压力传感器：C Y-GQ-2。

传感器是获取被测量信息的元件，其质量和性能的好坏直接影响到测量结果的可靠性和准确度，衡量其质量的特性有许多，主要包括静态和动态两个方面。当被测量不随时间变化或变化很慢时，可以认为输入量和输出量都与时间无关。表示它们之间关系的是一个不含时间变量的代数方程，在这种关系基础上确定的性能参数为静态特性；当被测量随时间变化很快时，就必须考虑输入量和输出量之间的动态关系。这时，表示它们之间关系的是一个含有时间变量的微分方程，与被测量相对应的输出响应特性称为动态特性。这里主要介绍几个常用的静态特性。

### 1.1.2 传感器的灵敏度与分辨率

\* 注意：传感器的灵敏度这个概念是学习本章的第 2 个重点内容，也是个难点，学习时一定要注重理解和掌握。灵敏度是反映传感器使用性能的关键指标，且是有单位的。

#### 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，可表示为

$$s = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{或} \quad s = \frac{dy}{dx} \quad (1.1)$$

它是输入与输出特性曲线的斜率。

如果系统的输出—输入之间有线性关系，则灵敏度  $s$  是一个常数，否则，它将随输入量的大小而变化，如图 1.1 所示。

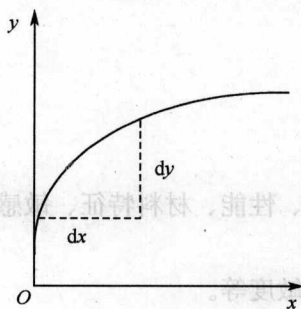


图 1.1 检测系统灵敏度

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。

由于输入和输出的变化量一般都有不同的量纲，所以灵敏度  $s$  也是有量纲的。如输入量为温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )，输出量为标尺上的位移 (格)，则  $s$  的量纲为格/ $^{\circ}\text{C}$ 。如果输入量和输出量是同类量，则此时  $s$  可理解为放大倍数。因此，灵敏度比放大倍数有更广泛的

意义。

如果检测系统由多个环节组成,各环节的灵敏度分别为  $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$ ,而且各环节以图 1.2 所示的串联方式相连接,则整个系统的灵敏度可用式 (1.2) 表示,即

$$s = s_1 s_2 s_3 \quad (1.2)$$

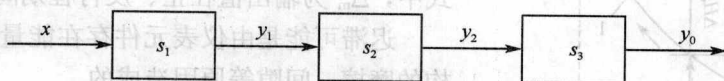


图 1.2 串联系统示意图

提高灵敏度,可得到较高测量精度,但应当注意,灵敏度越高,测量范围往往越窄,稳定性也越差。

## 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。灵敏度越高,分辨率越好。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最后一位的一个字。

### 1.1.3 传感器的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,即

$$E_f = \frac{\Delta_m}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1.3)$$

由于线性度是以所参考的拟合直线为基准算得的,所以基准线不同,所得线性度就不同。拟合直线的选取方法很多,采用理论直线作为拟合直线,确定的检测系统线性度,称为理论线性度。理论直线通常取连接理论曲线坐标零点和满量程输出点的直线,如图 1.3 所示。

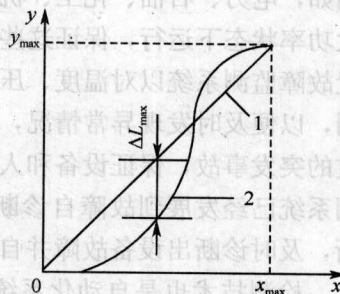


图 1.3 理论线性度示意图

1—理论拟合曲线; 2—实际曲线

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;使拟合直线与特性曲线上各点偏差的平方和为最小,可得到最小二乘法线性度等。

### 1.1.4 传感器的迟滞与重复性

#### 1. 迟滞

迟滞特性表明检测系统在正向(输入量增大)和反向(输入量减小)行程期间,输入/输出特性曲线不一致的程度。即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。通过实验,找出输出量的这种最大差值,并以满量程

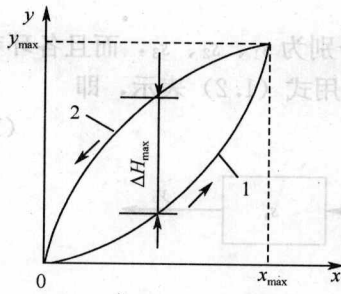


图 1.4 迟滞特性示意图

1—正行程；2—反行程

输出  $Y_{FS}$  的百分数表示，就得到了迟滞的大小（见图 1.4），即

$$E_f = \frac{\Delta_m}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1.4)$$

式中， $\Delta_m$  为输出值在正、反行程期间的最大差值。

迟滞可能是由仪表元件存在能量吸收或传动机构的摩擦、间隙等原因造成的。

## 2. 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。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。

## 1.2 检测技术基础

### 1.2.1 检测技术的概念与作用

检测技术是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性地了解 and 定量地掌握所采取的一系列技术措施，它是产品检验和质量控制的重要手段。借助于检测工具对产品进行质量评价是人们十分熟悉的，这是检测技术最重要的应用领域。另外，随着新型检测技术的不断成熟和发展，它在大型设备安全经济运行和监测中得到了越来越广泛的应用。例如，电力、石油、化工、机械等行业的一些大型设备，通常都在高温、高压、高速和大功率状态下运行，保证这些关键设备的安全运行具有十分重要的意义。为此，通常设置故障监测系统以对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期动态监测，以便及时发现异常情况，加强故障预防，达到早期诊断的目的。这样做可以避免严重的突发事件，保证设备和人员安全，提高经济效益。随着计算机技术的发展，这类监测系统已经发展到故障自诊断系统。可以采用计算机来处理检测信息，进行分析、判断，及时诊断出设备故障并自动报警或采取相应的对策。

检测技术也是自动化系统中不可缺少的组成部分。任何生产过程都可以看作是由物流和信息流组合而成的，反映物流的数量、状态和趋向的信息流则是管理和控制物流的依据。为了有目的地进行控制，首先必须通过检测获取有关信息，然后才能进行分析判断以便实现自动控制。因此，自动检测与转换是自动化技术中不可缺少的组成部分。

检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步。人们在自然科学各个领域内从事的研究工作，一般是利用已知的规律对观测、试验的结果进行概括、推理，从而对所研究的对象取得定量的概念，并发现它的规律性，然后上升到理论。因此，现代化检测手段所达到的水平在很大程度上决定了科学研究的深度和广度。检测技术达到的水平越高，提供的信息越丰富、越可靠，科学研究取得突破性进展的可能性就越大。从另一方面看，现代化生产和科学技术的发展也不断地对检测技术提出新的要求和课题，成为促



进检测技术向前发展的动力。科学技术的新发现和新成果不断应用于检测技术中，也有力地促进了检测技术自身的现代化。

检测技术与现代化生产和科学技术的密切关系，使它成为一门十分活跃的技术学科，几乎渗透到人类的一切活动领域，发挥着越来越重要的作用。

### 1.2.2 检测系统的基本组成

一个完整的检测系统或装置通常是由传感器、测量电路和显示记录装置等几部分组成，分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能。当然，其中还包括电源和传输通道等不可缺少的部分。图 1.5 给出了检测系统的组成框图。

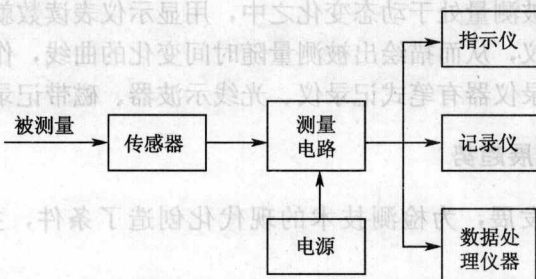


图 1.5 检测系统的组成框图

#### 1. 传感器

传感器是把被测量转换成电学量的装置，显然，传感器是检测系统与被测对象直接发生联系的部件，是检测系统最重要的环节。检测系统获取信息的质量往往是由传感器的性能决定的，因为检测系统的其他环节无法添加新的检测信息，并且不易消除传感器所引入的误差。检测技术中使用的传感器种类繁多，分类的方法也各不相同。从传感器应用的目的出发，可以按被测量的性质将传感器分为：机械量传感器，如位移传感器、力传感器、速度传感器、加速度传感器等；热工量传感器，如温度传感器、压力传感器、流量传感器等；化学量传感器；生物量传感器等。

从传感器研究的目的出发，着眼于变换过程的特征，可以将传感器按输出量的性质分为以下两种。

(1) 参量型传感器。它的输出是电阻、电感、电容等无源电参量，相应的有电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器等。

(2) 发电型传感器。它的输出是电压或电流，相应的有热电偶传感器、光电传感器、磁电传感器、压电传感器等。

#### 2. 测量电路

测量电路的作用是将传感器的输出信号转换成易于传输的电压或电流信号。通常传感器输出信号是微弱的，就需要由测量电路加以放大，以满足显示记录装置的要求。根据需要测量电路还能进行阻抗匹配、微分、积分、线性化补偿等信号处理工作。