

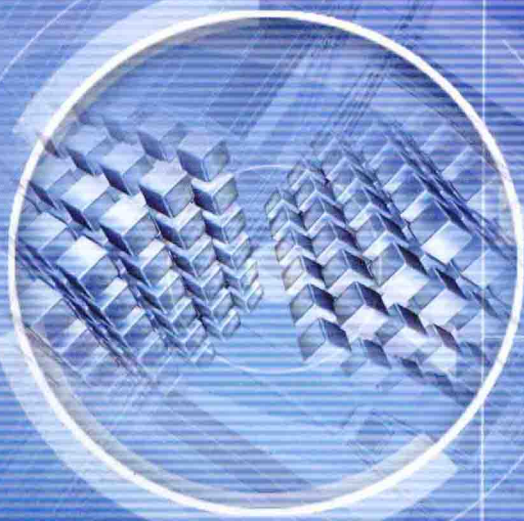


普通高等教育应用型人才培养创新教材

传感器 技术与应用

Sensor technology and application

宋德杰◎编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育应用型人才培养创新教材

传感器技术与应用

宋德杰 编 著



机械工业出版社

本书介绍了工程检测中使用的各种传感器的原理、结构、特性及应用案例,全书分为15章:第1章介绍了传感器的基本概念和基本特性等有关内容;第2~13章介绍了温度传感器,压力传感器,流量传感器,物位传感器,位移、速度、加速度传感器,振动测量传感器、气敏传感器、湿度检测传感器、光检测传感器及数字式传感器的工作原理、基本结构及工程应用案例等;第14~15章介绍了目前广泛应用的传感器新技术、虚拟仪器概念及传感器的综合应用案例。本书内容全面,具有较强的实用性,是普通高校技术应用型人才培养的绝佳教材。

本书可作为电子信息、电气工程、电子科学与技术、应用电子、机电工程、机械自动化、化工自动化、自动化及计算机应用等专业应用型人才培养的教科书,也可作为其他专业的师生、专业硕士研究生、相关领域的研究人员、工程技术人员及自学人员的参考书。



图书在版编目(CIP)数据
传感器技术应用/宋德杰编著。—北京:机械工业出版社,2014.8
普通高等教育应用型人才培养创新教材
ISBN 978-7-111-47121-9

I. ①传… II. ①宋… 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(2014)第134183号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:王小东 责任编辑:王小东 崔利平 卢若薇
版式设计:霍永明 责任校对:杜雨霏
封面设计:张静 责任印制:乔宇
唐山丰电印务有限公司印刷

2014年9月第1版第1次印刷
184mm×260mm·17.5印张·418千字

标准书号:ISBN 978-7-111-47121-9

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展，高等院校招生规模不断扩大。为使高等院校的培养目标和我国的经济发展的相适应，我国于2010年制定了《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》和《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》，为我国普通高校今后的培养目标指明了方向，对我国高等教育持续、健康发展具有重大指导意义。

这两个纲要明确指出了今后我国普通大学的主要任务是提高教学质量，为社会培养急需的应用性人才，以适应我国发展的需要。要实现应用型人才的培养目标，作为知识的传承载体——教材是关键，教学方法、教学手段和教学模式改革是保障。目前，许多本科院校都在举办卓越工程师班、校企联合班、CDIO班及创新试验班等，但所用教材大多数是直接选用以前那些适用于研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性，偏重理论知识介绍；而对如何应用这些知识解决实际问题却介绍不足，难以体现应用型人才的培养特点，无法有效地满足应用型人才培养的实际教学需要。为此我们抓住应用型人才培养中教材改革这一重要环节，从应用型人才培养所必需的基本知识与概念入手，以培养应用技术型人才为目标，从教学内容、教学方法和教学手段上进行一系列的改革尝试。在教学内容上，本书章节按工程应用编排，先易后难，加入工程应用案例内容，让理论来源于实践，反过来又指导实践。并通过同步教学互动系统进行理论验证，让学生亲眼看到理论在实际中的具体应用，必将收到事半功倍的效果。

为满足当今社会对信息、计算机、电子技术、机械自动化、机电一体化及工业自动化等各类专业应用型人才的需要，许多院校都设置了相关的专业，而传感器就是这些专业的一门专业基础课，这门课程的特点是理论较深、难点较多，而具体应用较少，学生不易掌握，同时，行业发展迅速，新的技术和应用层出不穷。针对这一情况，我们研究了目前教材的不适应之处，参考了大量的最新文献，结合多年的教学经验和科研成果，编写了能真正做到因材施教，适合于本科层次应用型人才培养的创新教材——传感器技术与应用。

《传感器技术与应用》创新教材具有以下特色：

一、在编写指导思想上，以应用型本科学生为主要授课对象，以培养工程应用型人才为基本目标。基本理论以“够用”为原则，结合工程应用案例，重点突出“实用能力”和“动手能力”培养是本课程的基本指导思想。结合同步互动教学系统，把实际案例的缩小版搬进课堂，力争实现理论与实践相结合。

二、在教材的编写上，采用按工程参数分类方法进行章节编排，使工程应用线条更加清晰，贴近实际。在内容上既有基本概念、基本原理和基本结构的阐述，又有各种各样传感器在工程中具体应用的案例。做到重点突出、由浅入深、由易到难、叙述简洁、

易教易学。本书各章自成体系，计划学时48~56，各专业可根据教学计划对教材内容适当取舍。

三、在理论教学与实验教学的处理上，本课程采用三位一体的创新教学模式。它将理论教学与实验教学融为一体；理论教学与工程应用融为一体；实验教学与工程应用融为一体。本教材利用与之配套的同步互动教学系统，将传感器的理论教学模块、实验教学模块及工程应用教学模块紧密地集成在一起，实现了传感器理论教学、实验教学及工程应用同步完成。它的主要目的是克服过去那种重理论，轻实践，理论教学和实验教学两张皮的传统教学模式。把理论、实验、实训、设计、开发、维护、等级考核等内容通过典型应用案例教学贯穿其中，教学直观，操作方便，典型应用案例真实可见。这种教学模式全国首创，它把理论教学和实践教学实现了同步，让学生在课堂上就能学到、看到传感器的真实应用，让学生在学校就能和工程应用实现零接触，让学生学会一种就可以触类旁通，达到举一反三的目的，并会用它解决工程实际问题。

本书的作者多年从事传感器、电子技术及自动控制的学科科研工作，不但具有丰富的教学科研经验，而且还具有传感器及自动控制系统在工程应用中的开发经历；了解当今社会对工程应用型人才的需求情况和传感器的工程应用案例；掌握现代大学教学规律，熟悉现代大学生的情况和教材的编写结构体系。本书就是在此基础上，根据《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》和《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》要求编写而成。它克服了以往教材重视理论、轻视应用的不足之处，在内容编排和写法上作了较大改进，以适应目前高等院校应用型人才的培养特点。既注重了理论阐述，又强调了工程实际应用和动手能力的培养。

全书内容分为3部分：第1部分介绍了传感器的基本概念和基本特性等有关内容；第2部分介绍了温度检测传感器、压力检测传感器、流量检测传感器、物位检测传感器、位移、速度、加速度传感器、振动检测传感器、气体成分检测传感器、湿度检测传感器、光检测传感器及数字式传感器的工作原理、基本结构及工程应用案例等；第3部分介绍了目前传感器发展的新技术及其综合应用案例，将传感器与工程检测和控制有机地结合起来，使学生在掌握传感器原理的基础上，学会将这些知识应用到工程检测和控制系统中，以解决工程检测、控制中的具体问题。

本书结构条理紧凑、内容丰富新颖、具有普遍的实用性，且语言简练、通俗易懂，充分体现了新知识、新技术、新工艺和创新编排的精神和科学性，更体现了以学生为本位、以能力为目标的指导思想。

本书共分15章，每章内容都有其独立性，章后有思考题及习题。在使用本书时，可根据不同专业的要求和特点，对书中内容进行适当取舍，不会影响内容的系统性和完整性。若配以我们的同步互动教学系统和多媒体课件，可使老师在教学上得心应手，如虎添翼。

本书可作为电子信息、电气工程、电子科学与技术，应用电子、机电工程、机械自动化、化工自动化、自动化及计算机应用等专业应用型人才培养的教科书，也可供其他专业的师生、专业硕士研究生和相关领域的工程技术人员参考。

本书由山东理工大学宋德杰教授编著，杜守旭和刘建飞对本书进行了详尽的审阅，

提出了宝贵的修改意见。在编写过程中，硕士研究生孙稳稳、韩涛为本书的插图和文字录入做了大量的工作，淄博耐思电子科技有限公司和杭州赛特传感器技术公司给予了大力支持和帮助，一些同行专家们提出了许多宝贵意见，在此一并向他们表示衷心的感谢！编写中还参阅了许多书籍和文献，借此也向这些书籍和文献的作者们致谢！

传感技术涉及的知识面非常广泛，而且技术发展迅速，在编写本书的过程中，由于作者的水平和知识有限，难免有疏漏和不妥之处，恳请广大读者不吝赐教。

编 者

目 录

前言

第1章 传感器技术与应用概述 1

1.1 传感器的定义、组成及分类 1

1.1.1 传感器的定义 1

1.1.2 传感器的组成 1

1.1.3 传感器的分类 1

1.2 传感器的特性 2

1.2.1 传感器的静态特性 2

1.2.2 传感器的动态特性 4

1.3 传感器的标定 11

1.3.1 传感器的静态特性标定 11

1.3.2 传感器的动态特性标定 11

1.4 传感器技术与应用的发展 方向 12

1.4.1 传感器技术的发展方向 12

1.4.2 传感器的应用发展方向 13

1.5 传感器工程应用系统典型 结构 13

1.5.1 测量显示系统的结构 13

1.5.2 检测控制系统的结构 14

思考题及习题 15

第2章 温度传感器及其应用案例 16

2.1 温度测量概述 16

2.1.1 温度与温标 16

2.1.2 温度的测量方法和分类 16

2.2 热电阻传感器 17

2.2.1 热电阻的测温原理 17

2.2.2 常用热电阻 18

2.2.3 常用热电阻传感器的 结构 19

2.2.4 热电阻传感器测温电路 20

2.3 热敏电阻传感器 21

2.3.1 热敏电阻的测温原理 22

2.3.2 热敏电阻的分类 22

2.3.3 热敏电阻的结构及符号 23

2.3.4 热敏电阻的主要参数 23

2.4 热电偶传感器 24

2.4.1 热电偶的测温原理 24

2.4.2 热电偶的基本定律 25

2.4.3 热电偶的常用类型及 特点 26

2.4.4 热电偶传感器的结构 型式 30

2.4.5 热电偶的冷端处理方法 31

2.4.6 热电偶测温线路 33

2.5 集成温度传感器 34

2.5.1 测温原理及电路结构 35

2.5.2 常见集成温度传感器 及其应用 36

2.6 辐射式温度传感器 38

2.6.1 热辐射基本定律 39

2.6.2 辐射式温度传感器的 应用 39

2.7 温度测量与控制系统应用 案例 42

2.7.1 加热器温度测量显示系统 教学案例 42

2.7.2 加热器温度检测控制系统 教学案例 44

思考题及习题 46

第3章 压力传感器及其应用案例 47

3.1 压力测量概述 47

3.2 应变式压力传感器····· 48	4.2 差压式流量传感器及其应用····· 80
3.2.1 金属电阻应变片····· 48	4.2.1 节流式流量传感器测量原理····· 80
3.2.2 电阻应变片测量电路····· 52	4.2.2 常见差压式流量检测系统····· 83
3.2.3 常见应变式(压)力传感器及其应用····· 55	4.3 电磁流量传感器····· 83
3.3 压阻式压力传感器····· 59	4.3.1 电磁流量传感器的工作原理····· 83
3.3.1 半导体电阻应变片····· 59	4.3.2 电磁流量传感器的种类····· 84
3.3.2 常见扩散硅压力传感器及其应用····· 60	4.4 涡轮流量传感器····· 84
3.4 压电式压力传感器····· 62	4.4.1 涡轮流量传感器的结构····· 85
3.4.1 压电效应····· 62	4.4.2 涡轮流量传感器的工作原理····· 85
3.4.2 压电元件的等效电路····· 64	4.5 漩涡式流量传感器····· 86
3.4.3 压电式传感器的组成形式····· 65	4.5.1 涡街流量传感器的工作原理····· 86
3.4.4 压电式传感器的测量电路····· 66	4.5.2 涡街流量传感器的结构····· 87
3.4.5 常见压电式压力传感器及其应用····· 67	4.6 质量流量传感器····· 87
3.5 电容式压力传感器····· 67	4.6.1 直接式质量流量传感器····· 88
3.5.1 电容传感器的测压原理····· 67	4.6.2 间接式质量流量传感器····· 89
3.5.2 差动式电容传感器····· 68	4.7 流量测量与控制系统应用案例····· 89
3.5.3 电容传感器的测量电路····· 69	4.7.1 流量传感器的选用原则····· 89
3.5.4 常见电容式压力传感器及其应用····· 71	4.7.2 差压式流量测量显示系统案例····· 90
3.6 压力测量与控制系统应用案例····· 72	4.7.3 差压式流量检测控制系统案例····· 90
3.6.1 压力传感器选用原则及使用注意事项····· 72	4.7.4 气泵流量检测控制系统教学案例····· 91
3.6.2 空气压缩机压力测量显示系统教学案例····· 73	思考题及习题····· 93
3.6.3 空气压缩机压力检测控制系统教学案例····· 75	第5章 物位传感器及其应用案例····· 95
思考题及习题····· 78	5.1 物位测量概述····· 95
第4章 流量传感器及其应用案例····· 79	5.2 液位测量传感器及其应用····· 95
4.1 流量测量概述····· 79	5.2.1 浮力式液位传感器····· 95
4.1.1 流量测量的基本概念····· 79	5.2.2 静压式液位传感器····· 97
4.1.2 流量检测的方法和分类····· 80	5.2.3 应变式液位传感器····· 98

5.2.4 电容式液位传感器	99	6.4.6 常见光纤传感器及其应用	127
5.3 料位测量传感器及其应用	100	6.5 光检测传感器在测量控制中的应用案例	128
5.3.1 电容式料位传感器	100	6.5.1 火灾检测报警系统案例	128
5.3.2 超声波料位传感器	101	6.5.2 物体尺寸测量系统案例	129
5.4 物距测量传感器及其应用	105	思考题及习题	129
5.4.1 超声波测量物距原理	105	第7章 位移传感器及其应用案例	131
5.4.2 超声波物距测量传感器结构	105	7.1 电位器式位移传感器	131
5.5 物位测量与控制系统应用案例	106	7.1.1 线性电位器	131
5.5.1 液位测量显示系统案例	106	7.1.2 非线性电位器	132
5.5.2 汽车倒车雷达系统案例	107	7.1.3 绕线式电位器的材料	133
思考题及习题	107	7.1.4 绕线式电位器的应用	134
第6章 光检测传感器及其应用		7.2 电感式位移传感器	135
案例	108	7.2.1 自感式位移传感器	135
6.1 光检测概述	108	7.2.2 互感式位移传感器	140
6.1.1 光的基本知识	108	7.2.3 常见电感式位移传感器及其应用	143
6.1.2 光电效应	108	7.3 涡流式位移传感器	143
6.2 常见的光电器件	109	7.3.1 电涡流效应	144
6.2.1 光电管	109	7.3.2 涡流式位移传感器的原理及结构	145
6.2.2 光电倍增管	109	7.3.3 涡流式位移传感器的分类	145
6.2.3 光敏电阻	110	7.3.4 涡流式传感器测量电路	146
6.2.4 光敏二极管和光敏晶体管	112	7.3.5 涡流式传感器的应用	147
6.2.5 光电池	115	7.4 电容式位移传感器	148
6.2.6 电荷耦合器	117	7.4.1 单电容传感器的结构及工作原理	148
6.3 光电传感器	121	7.4.2 差动电容传感器的结构及工作原理	150
6.3.1 结构及工作原理	121	7.4.3 电容式传感器的测量电路	151
6.3.2 光耦合器	121	7.4.4 常见电容式位移传感器及其应用	153
6.3.3 光电开关	122	7.5 霍尔式位移传感器	154
6.4 光纤传感器	123	7.5.1 霍尔效应	154
6.4.1 光纤的结构及传光原理	123		
6.4.2 光纤的主要参数	124		
6.4.3 光纤的分类	125		
6.4.4 光纤传感器的结构及工作原理	126		
6.4.5 光纤传感器的分类	126		

7.5.2 霍尔元件	155	安装方法	173
7.5.3 霍尔集成电路	158	8.6 光电式转速传感器	174
7.5.4 常见霍尔式位移传感器 及其应用	159	8.6.1 光电式转速传感器的 结构	174
7.6 位移传感器在检测控制系统 中的应用案例	160	8.6.2 光电式转速传感器的 测速原理	174
7.6.1 金属板厚度检测控制 系统案例	160	8.6.3 光电式转速传感器的 应用	175
7.6.2 钢球生产流水线自动 计数系统案例	161	8.7 转速测量与控制系统应用 案例	175
思考题及习题	161	8.7.1 电动机转速测量显示 系统案例	175
第8章 速度传感器及其应用案例	163	8.7.2 电动机转速检测控制 系统案例	176
8.1 磁电式速度传感器	163	思考题及习题	178
8.1.1 磁电式速度传感器的 工作原理	163	第9章 加速度传感器及其应用 案例	179
8.1.2 磁电式速度传感器的 类型	164	9.1 应变式加速度传感器	179
8.1.3 常见磁电式速度传感器 及其应用	165	9.1.1 应变式加速度传感器的 结构	179
8.2 测速发电机	167	9.1.2 应变式加速度传感器的 测量原理	179
8.2.1 直流测速发电机	167	9.2 压电式加速度传感器	180
8.2.2 交流测速发电机	168	9.2.1 压电式加速度传感器的 结构	180
8.3 霍尔式转速传感器	170	9.2.2 压电式加速度传感器的 测量原理	180
8.3.1 霍尔式转速传感器的 结构	170	9.3 电容式加速度传感器	180
8.3.2 霍尔式转速传感器的 工作原理	171	9.3.1 电容式加速度传感器的 结构	180
8.3.3 霍尔转速传感器的应用 ..	171	9.3.2 电容式加速度传感器的 测量原理	181
8.4 涡流式转速传感器	171	9.4 差动变压器式加速度传感器 ..	181
8.4.1 涡流式转速传感器的 结构及测量原理	171	9.4.1 差动变压器式加速度 传感器的结构	181
8.4.2 涡流式转速传感器的 应用	172	9.4.2 差动变压器式加速度 传感器的测量原理	181
8.5 超声波传感器测流速	172		
8.5.1 超声波传感器测流速 原理	172		
8.5.2 超声波传感器的			

9.5 加速度测量显示系统案例	182	11.3.2 氧化锆氧气传感器 探头	206
9.5.1 光纤加速度传感器的 结构	182	11.4 恒电位电解式气敏传感器	206
9.5.2 光纤加速度传感器的 测量原理	182	11.4.1 恒电位电解式气敏 传感器检测原理	207
思考题及习题	182	11.4.2 恒电位电解式气敏 传感器的结构	207
第10章 振动测量传感器及其 应用案例	184	11.5 伽伐尼电池式气敏传感器	208
10.1 振动测量概述	184	11.5.1 伽伐尼电池式气敏 传感器检测原理	208
10.1.1 振动的基本参数	184	11.5.2 伽伐尼电池式气敏 传感器的结构	208
10.1.2 振动测量的内容及 测量方法	185	11.6 半导体气敏传感器	208
10.2 测振传感器	186	11.6.1 电阻型半导体气敏 传感器	209
10.2.1 测振传感器的分类	186	11.6.2 非电阻型半导体气敏 传感器	212
10.2.2 测振传感器介绍	186	11.6.3 半导体气敏传感器的 应用范围	213
10.2.3 测振传感器的选择 原则	191	11.7 气敏传感器在检测与控制 系统中的应用案例	213
10.3 激振器	192	11.7.1 简易酒精测试仪	213
10.3.1 激振方式	192	11.7.2 有害气体检测控制 系统案例	214
10.3.2 常用激振器介绍	193	思考题及习题	215
10.4 振动系统参数的测试与 估计	195	第12章 湿敏传感器及其应用案例 ..	216
10.4.1 自由振动法	195	12.1 湿度检测概述	216
10.4.2 共振法	196	12.1.1 湿度的描述方法	216
10.5 振动测量传感器应用 系统案例	198	12.1.2 湿敏传感器的分类	216
思考题及习题	199	12.2 电阻式湿敏传感器	217
第11章 气敏传感器及其应用案例 ..	200	12.2.1 氯化锂湿敏电阻	217
11.1 热传导式气敏传感器	200	12.2.2 半导体陶瓷湿敏电阻	218
11.1.1 热传导检测原理	200	12.2.3 结露传感器	220
11.1.2 热传导检测器	201	12.3 电容式湿敏传感器	221
11.1.3 测量电路	201	12.3.1 陶瓷电容式湿敏 传感器	221
11.2 接触燃烧式气敏传感器	203	12.3.2 高分子电容式湿敏	
11.2.1 基本工作原理	203		
11.2.2 测量电路	204		
11.3 氧化锆氧气传感器	205		
11.3.1 检测原理	205		

传感器·····	222	案例·····	241
12.3.3 集成电容式湿敏 传感器·····	222	思考题及习题·····	242
12.4 空气湿度检测控制应用		第 14 章 传感器新技术及其应用	
系统案例·····	224	案例 ·····	243
12.4.1 直读式空气湿度计·····	224	14.1 智能传感器·····	243
12.4.2 汽车玻璃结露控制 系统·····	224	14.1.1 智能传感器的典型 结构·····	243
思考题及习题·····	225	14.1.2 智能传感器的主要 功能·····	244
第 13 章 数字式传感器及其 应用案例 ·····	226	14.1.3 智能传感器的主要 特点·····	244
13.1 数字式传感器概述·····	226	14.2 模糊传感器·····	244
13.2 编码器·····	226	14.2.1 模糊传感器的概念 及特点·····	244
13.2.1 增量编码器·····	227	14.2.2 模糊传感器的基本 功能·····	245
13.2.2 码盘式编码器·····	228	14.2.3 模糊传感器的结构·····	245
13.3 数字式温度传感器·····	230	14.3 网络传感器·····	248
13.3.1 DS18B20 的内部结构·····	230	14.3.1 网络传感器的概念·····	248
13.3.2 DS18B20 芯片指令 介绍·····	233	14.3.2 网络传感器的类型·····	248
13.3.3 DS18B20 与微控制器的 连接电路·····	234	14.3.3 基于 IEEE 1451 标准的 网络传感器·····	249
13.3.4 DS18B20 的读/写 时间隙·····	235	14.3.4 网络传感器所在网络的 体系结构·····	253
13.3.5 单片机控制 DS18B20 的操作流程·····	236	14.4 多传感器数据融合·····	254
13.3.6 DS18B20 使用注意 事项·····	237	14.4.1 多传感器数据融合的 概念·····	254
13.4 光栅传感器·····	237	14.4.2 多传感器数据融合 技术·····	254
13.4.1 光栅的测量原理·····	237	14.4.3 多传感器数据融合技术 的应用·····	255
13.4.2 光栅传感器的基本 结构·····	238	14.5 虚拟仪器·····	256
13.4.3 光栅传感器的精度·····	240	14.5.1 虚拟仪器概述·····	256
13.5 数字式传感器的工程应用 案例·····	241	14.5.2 虚拟仪器的组成·····	256
13.5.1 数字式直线位移检测 系统案例·····	241	14.5.3 虚拟仪器的特点·····	257
13.5.2 数字式转速测量系统		14.5.4 软件开发工具 LabVIEW 简介·····	258

14.6 物联网.....	259	要求及硬件设计.....	263
14.6.1 物联网的基本概念.....	259	15.2.2 热质对流控制子系统的 基本要求和硬件设计.....	264
14.6.2 物联网的关键技术.....	260	15.2.3 晶体生长控制子系统的 基本要求和硬件设计.....	265
14.6.3 物联网的应用模式.....	260	15.3 晶体生长控制系统的软件设计 及综合调试.....	265
14.6.4 物联网应用案例.....	261	15.3.1 软件设计.....	265
思考题及习题.....	261	15.3.2 系统的整合.....	266
第15章 传感器综合应用案例介绍 ...	263	15.3.3 结论.....	266
15.1 问题的提出.....	263	参考文献.....	268
15.2 晶体生长控制系统的基本要求 及硬件设计.....	263		
15.2.1 炉温控制子系统的基本			

第 1 章 传感器技术与应用概述

1.1 传感器的定义、组成及分类

1.1.1 传感器的定义

人类为了从繁重的体力劳动中解救出来，实现工农业生产以及国防科技的自动化，必须利用已掌握的知识和技术制造一类器件或装置，它不但能实现对特定参数的精确测量，而且测量结果还得便于传输、转换、处理和可用等。

一般地说，凡是能够把规定的被测量（如物理量、化学量、生物量等）按一定规律转换成某种可用信息输出的器件或装置，统称为传感器。但在不同的学科领域又有不同的称谓，例如，有些学科又把传感器称作检测器、转换器等。

目前广泛使用的传感器，其输出都是电量。因此，有人又把传感器狭义地定义为：能把非电量信息转换成电量信息输出的器件或装置。由于电量具有便于转换、处理、远距离传输和显示等特点，因此传感器在工农业生产和国防科技自动化方面被广泛使用。可以这样说，传感器是一切自动化的基石，如果没有传感器就不可能实现自动化。

1.1.2 传感器的组成

传感器的一般组成如图 1-1 所示，它主要由敏感元件、测量转换电路及壳体构成，其中敏感元件是指传感器中能直接感受到被测信号部分，测量转换电路是指传感器中能够将敏感元件感受到的被测量转换成电量的部分，壳体是指能够把敏感元件和测量转换电路组合固定在一起的部分。但有些敏感元件本身输出就是电量，不需要测量转换电路；而有些传感器工作时还需要外加辅助电源，故这两部分在图中都用虚线框表示。

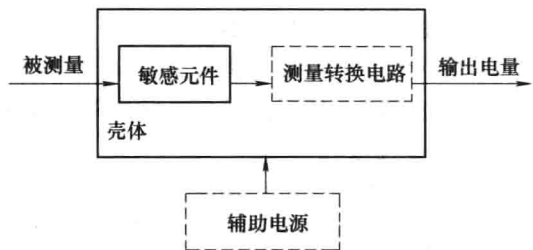


图 1-1 传感器组成框图

1.1.3 传感器的分类

传感器是一门知识密集型技术，用途纷繁，原理各异，形式多样，其分类方法也有多种，但目前常见的分类方法有两种：一种是按传感器的工作原理分类，如应变式、电容式、电感式、压电式等；另一种是按被测参数分类，如温度、压力、流量、位移、速度等。生产厂家和用户就是按第二种分类方法进行设计生产和使用的。为了使初学者了解工程上各种各样的被测参数，学会如何合理选择和使用传感器，提高实际应用能力，本书也是按后一种分类方法来叙述传感器及工程应用的。

1.2 传感器的特性

传感器所测量的物理量基本上有两种形式：一种是静态形式，这种形式的信号不随时间变化（或变化很缓慢）；另一种是动态形式，这种形式的信号是随时间而变化的。由于输入物理量形式不同，传感器所表现出来的输出-输入特性也不同，因此存在所谓静态特性和动态特性。不同传感器有着不同的内部结构参数，它们的静态特性和动态特性也表现出不同的特点，对测量结果的影响也就各不相同。在工农业生产过程和科学实验中，要对各种各样的参数进行精确测量和控制，就必须了解传感器的静态特性和动态特性。下面就传感器的静态特性和动态特性作一简单介绍。

1.2.1 传感器的静态特性

1. 传感器的静态数学模型

传感器的静态数学模型是描述被测量处于静态时，传感器的输出与输入之间关系的数学表达式。若用 x 表示输入， y 表示输出，则传感器的输入、输出关系通常为一条曲线，可用下面的常系数多项式表示：

$$y = f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (1-1)$$

式中 a_0 ——输入量 x 为零时的输出量；

a_1 ——线性项系数；

a_2, a_3, \dots, a_n ——非线性项系数。

式(1-1)称作传感器的静态数学模型，各项系数的大小决定了静态特性曲线的具体形式。

2. 传感器的静态特性指标

传感器的静态特性是指被测量处于静态时，传感器的输出/输入之间关系曲线的特征。传感器的静态特性指标比较多，常用的指标主要有线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。

(1) 线性度

传感器的线性度是指传感器实际静态特性曲线的线性程度。通常期望传感器的输出与输入之间呈线性关系，但实际的传感器输出与输入关系大多为非线性。如果传感器非线性项的方次不高，在输入量变化范围不大的条件下，为了标定和使用的方便，可用它的拟合直线来近似地代表实际静态特性曲线，如图1-2所示，这种方法称为传感器非线性特性的线性化。为了反映线性化直线与实际静态特性曲线的偏离程度，引入了线性度的概念。线性度也称为非线性误差。

一般地，传感器的线性度是指实际静态特性曲线与拟合直线之间的最大偏差值 ΔL_{\max} 和满量程输出值 ΔY_{FS} 的百分比，用 γ_L 来表示，即

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

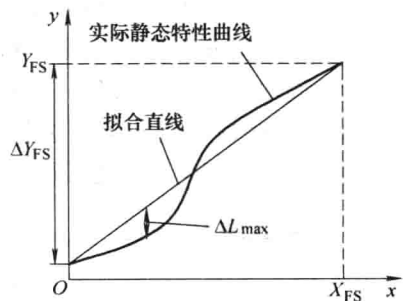


图 1-2 线性度示意图

拟合直线的选取方法很多,图 1-3 表示出了同一个传感器的静态特性曲线,在选取不同拟合直线时,求出的最大偏差值 ΔL_{\max} ,显然它们是不一样的。

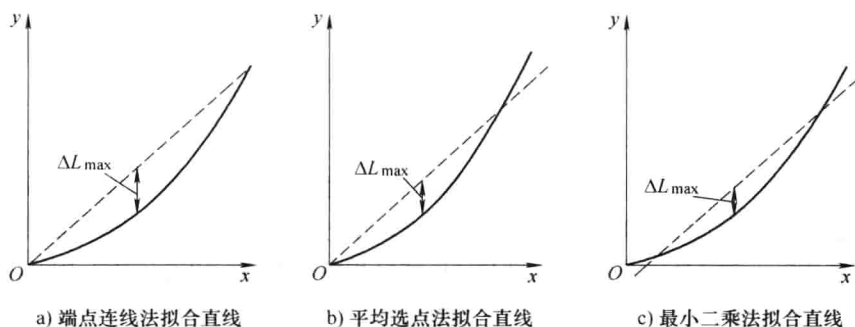


图 1-3 几种不同拟合方法

由于非线性误差的大小是以一定的拟合直线为基准直线计算出来的,由此可见,即使同一个传感器,拟合方法不同,其线性度也是不一样的。因此,在提到线性度或非线性误差时,必须指明其拟合方法。为此,以端点连线为拟合直线计算出来的线性度,称作端基线性度,以平均选点法获得的直线作拟合直线计算出来的线性度,称作平均选点线性度,以最小二乘法获得的直线作拟合直线计算出来的线性度,称作最小二乘法线性度。在上述几种线性度中,最小二乘法线性度最小,平均选点线性度次之,端基线性度最大。但最小二乘法线性度的计算也最烦琐。

(2) 灵敏度

传感器的灵敏度是指传感器在静态下输出变化量 Δy 与引起它相对应的输入变化量 Δx 之比。用 k 表示,即

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-3)$$

很显然,灵敏度 k 越大,表示传感器越灵敏。

线性传感器的灵敏度 k 是一个常数,可直接表示为 $k = y/x$,如图 1-4a 所示;非线性传感器的灵敏度 k 是一个变量,可表示为 $k = dy/dx$,如图 1-4b 所示。式 (1-3) 中的输出量是指传感器的输出电信号,而不是它所表征的物理量。例如,某位移传感器在位移变化

1mm 时,输出电压变化量为 300mV,则其灵敏度为 300mV/mm。

(3) 迟滞性

迟滞性表征了传感器输入量在正向行程(由小到大)和反向行程(由大到小)变化期间,输出—输入特性曲线不重合的程度。即在外界条件不变的情况下,对应于同一大小的信号,传感器在正、反行程时输出信号的数值不相等。这种现象称为迟滞性,如图 1-5 所示。

迟滞现象的产生,主要是由于传感器内有吸收能量的元件(如弹性元件等),存在着回

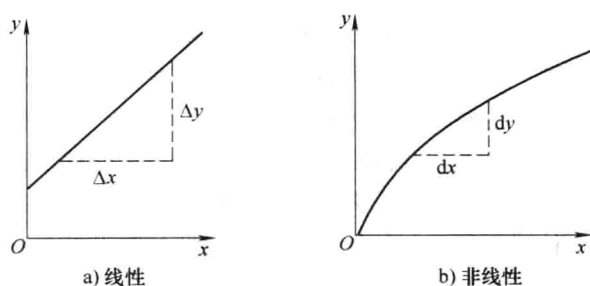


图 1-4 传感器的灵敏度

隙、内摩擦和阻尼效应等,使得加载时进入这些元件的全部能量,在卸载时不能完全恢复。迟滞的大小一般由实验确定,其值定义为在满量程范围内,正、反行程间的最大误差 ΔH_{\max} 和满量程输出值 Y_{FS} 的百分比,用 γ_H 表示,即

$$\gamma_H = \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

(4) 重复性

重复性表示传感器在同一工作条件下,输入量按同一方向做全量程连续多次变动时,所得特性曲线不一致的程度,如图 1-6 所示。它定义为正、反行程输出多次重复测量时不重复误差的最大值 $\Delta R_{1\max}$ 和 $\Delta R_{2\max}$ 中较大者 ΔR_{\max} 和满量程输出值 Y_{FS} 的百分比,用 γ_R 来表示,即

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 $\Delta R_{\max} = \max[\Delta R_{1\max}, \Delta R_{2\max}]$ 。

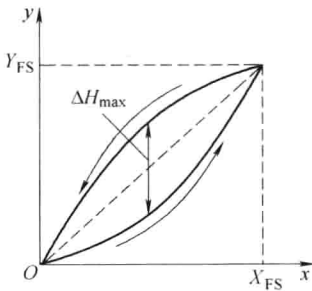


图 1-5 迟滞性

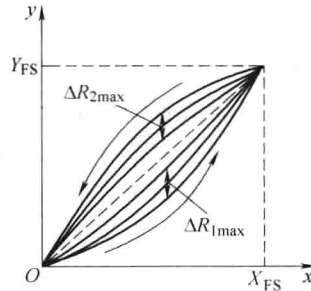


图 1-6 重复性

1.2.2 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指输入量随时间变化时,传感器的输出特性。即使静态性能很好的传感器,当被检测物理量随时间变化时,如果传感器的输出量不能很好地追随输入量的变化而变化,也有可能产生较大的误差。因此,在研究、生产和应用传感器时,要特别注意其动态特性。动态特性好的传感器,其输出量能够快速地跟随被测量的变化。否则,输出与输入之间就有差异,这个差异就称作传感器的动态误差。

传感器的动态特性不仅与传感器的数学模型参数有关,而且还与它输入量的变化形式有关。实际被测信号随时间变化的形式是各种各样的,为了描述的方便,在研究动态特性时通常选择两种典型的变化信号——单位阶跃信号和正弦信号作为输入,对传感器的动态特性进行分析和标定。当传感器的输入信号为单位阶跃信号时,其输出特性称作时域特性;当它的输入信号为正弦信号时,其输出特性称作频域特性。

1. 传感器的动态数学模型

传感器的动态数学模型是描述传感器的输出与输入之间动态关系的数学表达式。虽然传感器的种类和结构形式多种多样,但经过理论推导发现,它们一般都可以用下面的一个 n 阶线性常微分方程来描述: