

传感器基础教材

总 序

我们所处的时代被称为信息时代信息科学与技术的迅速发展和广泛应用深深地改

变着人类生产生活的各个方面人类社会生产力发展和人们生活质量的提高越来越得益

于和依赖于信息科学与技术的发展自动化科学与技术涉及到信息的检测分析处理

控制和应用等各个方面是信息科学与技术领域的重要组成部分在我国经济建设的进程

中工业化是不可逾越的发展阶段面对全面建设小康社会的发展目标党和国家提出走

新型工业化道路的战略决策这是一条我国当代工业化进程的必由之路实现新型工业化

就是要坚持走科技含量高经济效益好资源消耗低环境污染少人力资源优势得到充

分发挥的可持续发展的科学发展之路在这个过程中自动化科学与技术起着不可替代的

重要作用高等学校的自动化学科肩负着人才培养和科学研究的光荣的历史使命

我国高等教育中工科在校大学生数占在校大学生总数的 35~40 其中自动化类的

学生是工科各专业中学生人数最多的专业之一在我国高等教育已走进大众化阶段的今天

人才培养模式多样化已成为必然的趋势其中应用型人才是我国经济建设和社会发展需求

最多的一大类人才为了促进自动化领域应用型人才培养发挥院校之间相互合作的优势

北京大学出版社组织了此套《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》

参加这一系列教材编写的基本上都是来自地方工科院校自动化学科的专家学者由此

确定了教材的使用范围也为实用教材的定位找到了落脚点本系列教材具有如下

特点

1 注重实用性地方工科院校的人才培养规格大多定位在高级应用型对这一大类

人才的培养要注重面向工程实践培养学生理论联系实际解决实际问题的能力从这一

教学原则出发本系列教材注重实用性注意引用工程中的实例培养学生的工程意识和

工程应用能力因此将更适合地方工科院校的教学要求

2 体现新颖性更新教材内容跟进时代加入一些新的先进实用的知识
同时淘

汰一些陈旧过时的内容

3 院校间合作交流的成果每一本教材都有几所院校的教师参加编写
北大出版社

事先在西安市和长春市召开了编写计划会和审纲会来自各院校的教师比较
充分地交流了

情况在相互借鉴取长补短的基础上形成了编写大纲确定了编写原则因此这
一

系列教材可以反映出各参编院校一些好的经验和做法

4 这一系列教材几乎涵盖了自动化类专业从技术基础课到专业课的
各门课程到目

前为止列入计划的已有 30 多门教材门数多参与的院校多参加编写人员多

现代化生产与自动控制系统是以计算机为核心以传感器为基础组成的
传感器是实

现自动检测和自动控制的首要环节没有好的传感器就没有精确可靠的自动
检测和控制

系统近年来随着科学技术的发展各种类型的传感器已广泛应用到工业生产
与控制的

各个领域中

要及时准确地获取各种信息解决工程生产及科研中遇到的各种具体的
检测问题

就必须了解和熟悉传感器同时也要学会合理选择和应用各种传感器及传感
技术本书是

自动化系列教材之一书中内容丰富全面原理描述由浅入深浅显易懂应用实
例广

泛实用全书以传统的典型传感器为主同时增加了新型的传感器主要介绍传

传感器的

原理结构特点测量电路以及传感器在工业生产日常生活中的实际应用

本书共分 12 章包括三个单元第一单元介绍传感器的基础知识第二单元介绍各种

传感器的原理结构及应用第三单元介绍传感器的补偿和抗干扰技术书中每章内容具

有独立性使用本教材时可根据不同专业的要求和特点有选择性地教学

本书由北华大学赵玉刚长春工业大学邱东任主编长春大学曹昕燕武汉理工大学

徐沪萍长春工业大学崔利娜任副主编赵玉刚编写第 4 章第 5 章和第 10 章邱东编写

第 1 章第 2 章和第 11 章曹昕燕编写第 6 章和第 7 章徐沪萍编写第 3 章和第 9 章崔

利娜编写第 8 章和第 12 章该书在编写过程中得到了许多同行的支持和帮

助他们提出

了许多宝贵意见同时也得到了北京大学出版社第六事业部和中国林业出版社编辑的指导

和支持对他们的悉心指导和帮助表示真挚的谢意对本书参考文献中的有关作者致以衷

心的感谢

由于编者水平有限书中错误和不妥之处在所难免恳请广大读者批评指正提出宝

贵意见

编 者

2006 年 6 月

目 录

第 1 章 传感器理论基础 1

思考题与习

题 61

11 传感器基础 1 第 3 章 电感式传感器 63

com 传感器的概念 1

31 自感式传感器 63

com 传感器的组成和分类 2

com 工作原理 63

com 传感器的基本特性 4

com 电感计算及输出特性分析 65

com 传感器的命名代号和图形

com 测量电路 67

符号 10

32 差动变压器式传感器 70

com 传感器的发展趋势 12

com 工作原理及特性 70

12 检测技术理论基础 15

com 测量电路 73

com 检测技术 15

com 零点残余电压及消除方法 74

com 测量方法 15

33 电涡流式传感器 76

com 检测系统 17

com 工作原理 76

com 测量误差及数据处理 19

com 测量电路 79

本章小结 30

34 电感式传感器的应用 81

思考题与习题 30

com 自感式传感器的应用 81

第 2 章 电阻式传感器 32

com

差动变压器式传感器的应用 83

com 电涡流式传感器的应用 85

21 电位器式电阻传感器 32

本章小结 87

com 工作原理 32

思考题与习题 88

com 结构与材料 37

22 应变式电阻传感器 39

第 4 章 电容式传

感器 89

com 应变效应和工作原理 39

41 工作原理和结构类型 89

com 电阻应变片的种类材料

com 工作原理 89

及粘贴 41

com 结构类型 89

com 电阻应变片的主要特性 44

42 转换电路 93

com 电阻应变片的温度误差

com 等效电路 93

及补偿 47

com 测量电路 93

com 测量电路 49

43 电容式传感器的主要性能特点 98

23 压阻式传感器 53

com 主要性能 98

com 工作原理 53

com 特点 100

com 影响压阻系数的因素 54

44 电容式传感器的应用 100

com 压阻式传感器的材料 55

com 电容式压力传感器 100

24 电阻式传感器的应用 57

com 电容式加速度传感器 102

本章小结 61

器基础

	com	电 容 式 测 厚 传 感 器	103
com	CCD 图像传感器		134
	com	电 容 式 液 位 传 感 器	103
com	图像传感器的应用		137
	com	电 容 式 温 度 传 感 器	104
本章小结			138

本章小结	105	思考题与习题	138
------	-----	--------	-----

思考题与习题	105
--------	-----

第 7 章 光纤传感器 140

第 5 章 压电式传感器 107

71 光导纤维 140

51 工作原理 107

com 光纤的结构 140

com 压电效应及压电材料 107

com 光纤的分类 140

com 压电式传感器 111

com 光纤的传光原理 141

52 等效电路和测量电路 112

72

光纤传感器概述 143

com 等效电路 112

com 光纤传

感器的组成 143

com 测量电路 113

com 光纤传

传感器的性能特点 143

53 压电式传感器的应用 115

com 光纤传感器的分类 143

	com	压电式测力传感器	115
com		光纤传感器的工作原理	144
	com	压电式加速度传感器	115
73		光纤传感器的应用	146
	com	压电式报警器	116
com		光纤加速度传感器	146
	com	压电式测量均匀压力	
com		光纤速度传感器	146
		传感器	117
	com	光纤压力	
		传感器	147
		本章小结	117
	com	光纤温度传感器	148
		思考题与习题	118
	com	光纤声传感器	
148			
	com	光纤光电传感器	149

第 6 章 光电式传感器 119

com 光纤图像传感器 150

61 光电效应 119

本章小结 150

com 外光电效应 119

思考题与习题

150

com 内光电效应 119

第 8 章 热电式传感器 151

62 外光电效应器件 121

com 光电管 121

81 热电偶温度传感器

151

com 光电倍增管 122

com

工作原理 151

com 外光电效应器件的应用 123

com 基本定律 154

63 光电导器件 125 com 热电偶的材料

结构及常用

com 光敏电阻 125 热电

偶 155

com 光电导器件的应用 126

com 热电偶冷端温度补偿 158

64 光生伏特器件 129 82 热电阻温度传感

器 160

com 光敏二极管 129 com

热电阻测温原理及类型 160

com 光敏三极管 130 com

热电阻的结构 161

传感器的应用 213

com 工作原理 166 本章小结 214

com 集成温度传感器的应用 167

思考题与习题 215

本章小结 169

第 11 章 智能传感器 216

思考题与习题 170

111 智能传感器概述 216

第 9 章 半导体式传感器 171

com 智能传感器的概念 216

91 半导体气敏传感器 171 com

智能传感器的功能 217

com 半导体气敏传感器的分类 171

com 智能传感器的特点 217

com 电阻型半导体气敏传感器 172

112 智能传感器的实现途径 218

com 气敏传感器的应用 174

com 非集成化实现 218

92 半导体湿敏传感器 176 com

集成化实现 219

com 概述 176 com 混合实现 221

com 湿敏电阻的类型及原理 178

113 集成化智能传感器 222

com 湿敏传感器的应用 181

com 集成化智能传感器的几种

93	半 导 体 磁 敏 传 感 器	182
	形式	222
	com 磁敏电阻器	182
	com 集成	
	智能传感器实例	223
	com 霍尔式传感器	186
	114 智能传	
	感器的发展方向	225
94	离子敏传感器	192
	本章小结	228
	com ISFET 传感器的结构和工作	
	思考题与习题	229
	原理	192
第 12 章 传感器的补偿和抗干扰技术 230		
	com ISFET 传感器的应用	195

本章小结 197 121 传感器的补偿技术 230

思考题与习题 198 com 非线性误差及补偿
230

com 温度误差及补偿 232

第 10 章 波式和辐射式传感器 199

122 传感器的标定 233

101 超声波传感器 199

123 抗干扰技术 235

com 超 声 波 的 测 量 原 理 199

com 干扰的产生 235

com 超 声 波 传 感 器 的 应 用 201

com 干扰的类型 236

102 微波传感器 204

com 干扰信号的耦合

方式 236

com 微波传感器的原理 204

com 常用的抑制干扰的措施 239

com 微波传感器的组成和分类 205

本章小结 241

com 微波传感器的应用 206 思

考题与习题 241

103 辐射式传感器 208

参考文献 242

• VII •

第 1 章 传感器理论基础

在系统学习各类传感器之前首先应该掌握传感器的基本理论及检测技

术的相关知识

主要包括传感器的概念分类和基本特性检测系统的组成与功能基本测量方法测量

误差及数据处理等内容为后续知识的学习打下基础

11 传感器基础

在当今的信息时代人们越来越迫切地希望能准确地掌握自然界和生产领域更多的各

类信息而传感器则是人们获取这些信息的主要途径和手段因此传感器与人们的关系越

来越密切传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节它对于提高生产的自动化程度

促进现代科学技术的发展具有极其重要的作用

com 传感器的概念

关于传感器的概念我国国家标准 GB 7665 1987 规定传感器 sensor 是能感受规

定的测量量并按一定规律转换成可用输出信号的器件或装置也就是说传感器是一种

按一定的精度把被测量转换为与之有确定关系的便于应用的某种物理量的测量器件或装

置用于满足系统信息传输存储显示记录及控制等要求

① 传感器首先是一种测量器件或装置它的作用体现在测量上例如我们常见的发电

机它是一种可以将机械能转变成电能的转换装置从能量转换的角度看它是一种发电

设备不能称之为传感器但从另一个角度看人们可以通过发电机发电量的大小来测量

调速系统的机械转速这时发电机就可看成是一种用于测量转速的测量装置是一种速

度传感器通常称之为测速发电机应用传感器的目的就是为了获得被测量的准确信息

这也是本课程的学习目的

② 传感器定义中所谓可用输出信号是指便于传输转换及处理的信号
主要包括

气光和电等信号现在一般就是指电信号 如电压电流电势及各种电参数等
而规

定的测量量一般是指非电量信号主要包括各种物理量化学量和生物量等在
工程中

常需要测量的非电量信号有力压力温度流量位移速度加速度转速浓度等

正是由于这类非电量信号不能像电信号那样可 由电工仪表和电子仪器直接
测量所以就需

要利用传感器技术实现由非电量到电量的转换

③ 传感器的输入和输出信号应该具有明确的对应关系并且应保证一定的精度

④ 关于传感器这个词目前国外还有许多提法如变换器 transducer 转换器

converter 检测器 detector 和变送器 transmitter 等而根据我们国家的规定传感器定名

为 sensor 当传感器的输出信号为标准信号 $1V \sim 5V$ $4mA \sim 20mA$ 时称为变送器

transmitter 注意二者不要混淆

• 2 •

传感器基础

com 传感器的组成和分类

1 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测量电路组成有时还加上辅

助电源如图 11 所示

图 11 传感器组成框图

1 敏感元件 sensing element

敏感元件是指传感器中能直接感受被测量的变化并输出与被测量成确定关系的某一

物理量的元件敏感元件是传感器的核心也是研究设计和制作传感器的关键如图 12

所示是一气体压力传感器的示意图膜盒 2 的下半部与壳体 1 固定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 中后者接入测量电路 5 这里的膜盒就是敏感元

件其外部与大气压力 p_a 相通内部感受被测压力 p 当 p 变化时引起膜盒上半部移动

即输出相应的位移量

图 12 气体压力传感器

1 壳体 2 膜盒 3 电感线圈 4 磁芯 5 测量电路

2 转换元件 transduction element

转换元件是指传感器中能将敏感元件输出的物理量转换成适于传输或测量的电信号的

部分在图 12 中转换元件是可变电感线圈 3 它把输入的位移量转换成电感的变化

需要指出的是并不是所有的传感器都能明显地区分敏感元件和转换元件两部分有

的传感器转换元件不止一个需要经过若干次的转换有的则是二者合二为一

3 测量电路 measuring circuit

测量电路又称转换电路或信号调理电路它的作用是将转换元件输出的电信号进行进

• 2 •

第 1 章 传感器理论基

础

• 3 •

一步的转换和处理如放大滤波线性化补偿等以获得更好的品质特性便于后续

电路实现显示记录处理及控制等功能测量电路的类型视传感器的工作原理和转换元

件的类型而定一般有电桥电路阻抗变换电路振荡电路等

2 传感器的分类

通常一种传感器可以检测多种参数一种参数又可以用多种传感器测量所以传感

器的分类方法也很多至今 尚无统一规定归纳起来一般有以下几种

1 按工作原理分类

这是传感器最常见的分类方法这种分类方法将物理化学生物等学科的原理规

律和效应作为分类的依据有利于对传感器工作原理的阐述和对传感器的深入研究与分析

本书主要就是按这一分类方法作为编写体系介绍各种类型的传感器

按照传感器工作原理的不同传感器可分为电参数式传感器 包括电阻式电感式和电

容式传感器 压电式传感器光电式传感器 包括一般光电式光纤式激光式和红外式

传感器等 热电式传感器半导体式传感器波式和辐射式传感器等这些类型的传感器

大部分是分别基于其各自的物理效应原理命名的

2 按被测量分类

按被测量的性质进行分类有利于准确表达传感器的用途对人们系统地使用传感器

很有帮助为更加直观清晰地表述各类传感器的用途将种类繁多的被测量分为基本被

测量和派生被测量见表 1-1 对于各派生被测量的测量亦可通过对基本被测量的测量来实现

表 1- 1 基本被测量和派生被测量

	基本被测量	派生被测量
量	线位移	长度厚度应变振动磨损平面度

位移

角位移

旋转角偏转角角振动

线速度

振动流量

速度

角速度

转速角振动

线加速度

振动冲击质量

加速度

角加速度

角振动转矩转动惯量

力

压力

质量应力力矩

时间

频率

周期计数

光

光通量与密度光谱

温度

热容

湿度

水汽含水量露点

浓度

气 液 体成分黏度

3 按结构分类

按传感器的结构构成可分为结构型物性型和复合型传感器

结构型传感器是依靠传感器结构参数 如形状尺寸等 的变化利用某些物理规律

• 3 •

• 4 •

传感器基础

实现信号的变换从而检测出被测量它是目前应用最多最普遍的传感器这类传感器

的特点是性能以传感器中元件相对结构 位置 的变化为基础而与其材料

特性关系不大

物性型传感器则是利用某些功能材料本身所具有的内在特性及效应将被测量直接转换

成电量的传感器例如热电偶传感器就是利用金属导体材料的温差电动势效应和不同金

属导体间的接触电动势效应实现对温度的测量的而利用压电晶体制成的压力传感器则是

利用压电材料本身所具有的压电效应实现对压力的测量这类传感器的敏感元件就是

材料本身无所谓结构变化因此通常具有响应速度快的特点而且易于实现小型

化集成化和智能化

复合型传感器则是结构型和物性型传感器的组合同时兼有二者的特征

4 按能量转换关系分类

按照传感器的能量转换情况传感器可分为能量控制型和能量转换型传感器两大类

所谓能量控制型传感器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电阻电感电容等电参数传感器霍尔传感器等

都属于这一类传感器

能量转换型传感器主要由能量变换元件构成它不需要外 电源如基于压电效应

热电效应光电效应等的传感器都属于此类传感器

此外根据被测量的性质可以将传感器分成物理型化学型和生物型传感器三大类

根据传感器的使用材料也可以将传感器分为半导体传感器陶瓷传感器金属材料传感

器复合材料传感器高分子材料传感器等根据应用领域的不同还可分为工业用农用农

用民用医用及军用等不同类型根据具体的使用目的又可分为测量用监视用检

查用诊断用控制用和分析用传感器等

com 传感器的基本特性

为了更好地掌握和使用传感器必须充分地了解传感器的基本特性传感器的基本特

性是指系统的输出输入关系特性即系统输出信号 $y(t)$ 与输入信号 被测量 $x(t)$ 之间的

系如图 13 所示

图 13 传感器系统

根据传感器输入信号 $x(t)$ 是否随时间变化其基本特性分为静态特

性和动态特性它

们是系统对外呈现出的外部特性但与其内部参数密切相关不同的传感器内部参数不同

因此其基本特性也表现出不同的特点一个高精度传感器必须具有良好的静态特性和动

态特性才能保证信号无失真地按规律转换

1 静态特性

当传感器的输入信号是常量不随时间变化或变化极缓慢时其输出输入关系特性

称为静态特性传感器的静态特性主要由下列几种性能来描述

• 4 •

础

第 1 章 传感器理论基

• 5 •

1 测量范围 measuring range

传感器所能测量到的最小输入量 x_{\min} 与最大输入量 x_{\max} 之间的范围称为传感器的测量范围

范围

2 量程 span

传感器测量范围的上限值 x_{\max} 与下限值 x_{\min} 的代数差 $x_{\max} - x_{\min}$ 称为量程

3 精度 accuracy

传感器的精度是指测量结果的可靠程度是测量中各类误差的综合反映
测量误差越

小传感器的精度越高

传感器的精度用其量程范围内的最大基本误差与满量程输出之比的百分数表示其基

本误差是传感器在规定的正常工作条件下所具有的测量误差由系统误差和随机误差两部

分组成如用 S 表示传感器的精度则

$$S = \frac{\Delta}{y_{FS}} \times 100$$

1-1

式中 Δ 测量范围内允许的最大基本误差

y_{FS} 满量程输出 FS 是英文 Full Scale 满量程 的缩写

工程技术中为简化传感器精度的表示方法引用了精度等级的概念精度等级以一系

列标准百分比数值分档表示代表传感器测量的最大允许误差

如果传感器的工作条件偏离正常工作条件还会带来附加误差温度附加

误差就是最

主要的附加误差

4 线性度 linearity

所谓传感器的线性度是指其输出量与输入量之间的关系曲线偏离理想直线的程度又

称为非线性误差如不考虑迟滞蠕变等因素一般传感器的输出输入特性关系可用 n 次

多项式表示为

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

1-2

$$0 \quad 1 \quad 2 \quad \dots \quad n$$

式中 x 为输入量 y 为输出量 a_0 为零输入时的输出也叫零位输出 a_1 为传感器线性

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/405220340042012001>