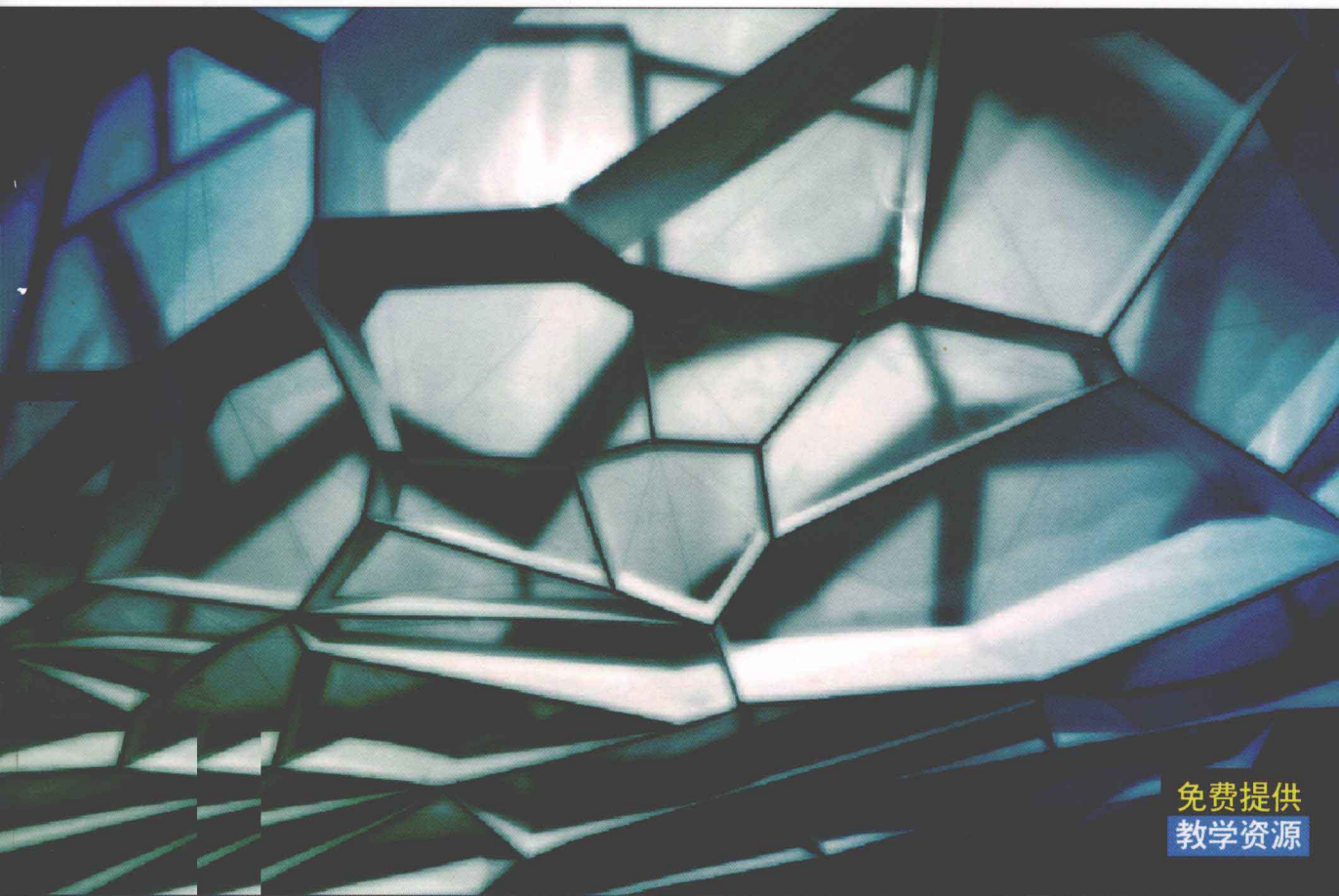




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

传感与检测技术 (第二版)

主 编 唐露新
—— 副主编 骆德汉 徐今强
主 审 季林红



免费提供
教学资源



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校信息与电子技术类系列教材



传感与检测技术

(第二版)

唐露新 主编

骆德汉 徐今强 副主编

季林红 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了传感与检测技术的基础知识、传感器基本原理、特性分析方法与应用技术。本书共 11 章。第 1 章介绍传感器与检测技术的基本概念、传感器的静态特性、测量方法、测量误差与数据处理,以及静态标定概念、方法和设备。第 2~9 章,从基本原理出发,结合工程应用,介绍电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、电动势传感器、光电式传感器、热电式传感器、半导体传感器和其他传感器(如微波、红外、视觉、超声波和生物等传感器)。第 10 章介绍传感与检测系统的常用基本检测电路,主要包括信号放大电路、信号处理电路、信号转换电路和抗干扰技术等。第 11 章针对传感与检测技术的发展,介绍当前一些新技术,如智能传感器、数据融合技术、软测量技术、虚拟仪器、网络化检测仪器等。

本书层次分明,重点突出,理论与应用相结合,适合理工科院校培养工程应用型人才的要求。书中每章后附有针对重点和难点的习题,可作为自动化、电子科学与技术、信息工程、机电一体化、测控技术与仪器等专业的大学本科生及研究生教材,也可供相关领域的科技工作者和工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感与检测技术/唐露新主编. —2 版. —北京:科学出版社,2011

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·高等院校信息与电子技术类系列教材)

ISBN 978-7-03-030624-1

I. ①传… II. ①唐… III. ①传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 049001 号

责任编辑:雋青龙 李 伟/责任校对:马英菊

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>

北京路局票据印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 7 月第 一 版 开本:787X1092 1/16

2011 年 7 月第一次印刷 印张:21 1/4

印数:1—3 000 字数:477 000

定价:37.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路局票据>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135517-2037

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

高等院校信息与电子技术类系列教材

编 委 会

主 任 吴黎明（广东工业大学）

副主任 贺前华（华南理工大学）

委 员 （按姓氏笔画排序）

马文华（广东外语外贸大学）

汤 庸（华南师范大学）

杨振野（广东技术师范学院）

洪添胜（华南农业大学）

徐 杜（广东工业大学）

曹建忠（惠州学院）

曾 辉（嘉应学院）

谢仕义（广东海洋大学）

廖惜春（五邑大学）

颜国政（上海交通大学）

第二版前言

现代科学技术迅速发展，人们在研究自然现象和规律及生产活动时，必然从外界获得大量信息，要及时正确地获取这些信息，就必须合理地选择和善于应用各种传感器和检测技术。21 世纪是信息化时代，其特征是人类社会活动和生产活动的信息化，因此传感器与检测技术的重要性更为突出。现代信息科学（技术）的三大支柱是信息的采集、传输与处理技术，即传感器技术、通信技术和计算机及控制技术。传感器既是现代信息系统的源头或“感官”，又是信息社会赖以存在和发展的物质与技术基础。

本书在透彻讲清基本概念、基本理论的基础上，注重理论与工程实际相结合，强调工程实际的概念，尽可能反映传感器与传感器技术的发展水平，有选择地将部分新方法和新技术编入本教材中。在编写本书的过程中，我们力求做到取材广泛、结构清晰、概念清楚、通俗易懂、系统性强，将性能指标和表示符号等进行规范统一。全书内容共分为 4 个主要部分：

第一部分介绍传感与检测技术的基本知识和发展方向，指出本课程的任务与要求，从传感器选用特性、基本参数、测量方法、测量误差和修正、标定方法与设备等方面进行系统介绍。

第二部分包含 2~9 章，按原理结构方式分类，系统地介绍各种传感器的原理、特点、检测方法和应用，使读者对各类传感器有比较全面的了解。

第三部分介绍传感器在工程检测中的常用电路，主要是接口与检测电路、转换电路和抗干扰技术等，将前面所学的传感器原理与应用的电子电路有机联系起来，方便应用。

第四部分介绍自动检测的新技术、共性技术和传感与检测技术的发展方向。

全书共分 11 章，各章相对独立，在使用时，可根据不同专业的需要和特点，对内容进行取舍。也可以根据课程的需要，对其中一些内容的前后顺序进行调换，以方便教学。

实验是本课程不可缺少的重要组成部分，使用本书时，可根据各校具体的实验仪器设备情况，结合书中内容开设实验，以深化对理论知识的理解。

针对第一版的错误和遗漏，第二版做了仔细的修订。并且考虑到知识结构的完整性、系统性和实用性，对各章内容进行了补充，删除了一些标定设备和光纤传感器等内容，根据新的技术发展增加了部分内容，如微机电系统（MEMS）、物联网与射频识别（RFID）技术等，在一些重要的章节增加了典型应用例子、课堂例题和习题。

本书由广东工业大学唐露新（第 1、5、6、7 章）、广东工业大学骆德汉（第 8、9、10 章）、广东海洋大学徐今强（第 2、3、4、11 章）编写。在成稿过程中，广东工业大学郭浩威、王佳同学等做了很多工作，在此表示衷心感谢。

清华大学精仪系季林红教授仔细审阅了书稿，提出了宝贵的指导意见；在本书编写过程中，华南理工大学刘桂雄教授、清华大学工程物理系唐劲天教授、广东工业大学陈益民副教授等提出了不少宝贵意见。

本书参阅了许多教材、著作和论文，这里要特别感谢参考文献中所列的各位作者，由于他们在相关领域的成果和见解，为本书提供了宝贵的参考资料。本书同时还得到有关同行和企业的支持，在此致以真诚的谢意。

限于编者水平，加之时间仓促，书中难免有疏漏和错误之处，恳请广大读者不吝赐教，批评指正。作者电子邮箱：tangluxin@21cn.com。

第一版前言

现代科学技术迅速发展,人们在研究自然现象和规律及生产活动时,必然从外界获得大量信息,要及时正确地获取这些信息,就必须合理地选择和应用各种传感和检测技术。21世纪是信息化时代,其特征是人类社会活动和生产活动的信息化,传感和检测技术的重要性更为突出。现代信息科学(技术)的三大支柱是信息的采集、传输与处理技术,即传感器技术、通信技术和计算机技术。传感器既是现代信息系统的源头或“感官”,又是信息社会赖以存在和发展的物质与技术基础。

本书在透彻讲解基本概念、基本理论的基础上,注重理论与工程实际相结合,强调工程实际的概念,尽可能反映传感器与传感器技术的发展水平,有选择地将部分新方法和新技术编入本书中。在编写本书的过程中,我们力求做到取材广泛、结构清晰、概念清楚、通俗易懂、系统性强,将性能指标和表示符号等进行规范统一。本书共11章。

第1章介绍传感与检测技术的基本知识,从传感器特性、基本参数、测量方法、测量误差和校正、标定等方面进行系统介绍。

第2~9章按原理结构方式对传感器进行分类,系统地介绍各种传感器的原理、特点、检测方法和应用,使读者对各类传感器有比较全面的了解。

第10章介绍传感器在工程检测中的常用电路,主要是接口与检测电路、转换电路和抗干扰电路等,将前面所学的传感器原理与电子电路有机联系起来,方便应用。

第11章介绍自动检测的新技术、共性技术和传感与检测技术的发展方向。

书中各章相对独立,在使用时,可根据不同专业的需要和特点,对内容进行取舍;也可根据课程的需要,对其中一些内容的前后顺序进行调换,以方便教学。

实验是本课程不可缺少的重要组成部分,使用本教材时,可根据各校具体的实验仪器设备情况,结合教材内容开设实验,以加深对理论知识的理解。本书由广东工业大学唐露新(第1、5、6、7、章)、广东工业大学骆德汉(第8、9、10章)、广东海洋大学徐今强(第2、3、4、11章)编写。在成稿过程中,广东工业大学郭中华、邓晓慧、刘伟学和黄健明等做了很多工作,对他们付出的艰辛劳动在此表示衷心感谢。

清华大学季林红教授仔细审阅了书稿,提出了宝贵的指导意见;清华大学唐劲天教授、华南理工大学刘桂雄教授、广东工业大学陈益民副教授和广东海洋大学王荣辉副教授等也提出不少宝贵意见。在编写本书的过程中,我们参阅了许多教材、著作和论文,还得到有关同行和企业的支持,在此致以真诚的谢意。

限于编者水平,加之时间仓促,书中难免有疏漏和错误之处,恳请广大读者不吝赐教,批评指正。

目 录

第 1 章 传感与检测技术基础	1
1.1 传感与检测的概念	1
1.1.1 检测技术	1
1.1.2 自动检测系统	2
1.1.3 本课程的任务与要求	2
1.2 传感与检测技术概述	4
1.2.1 传感器与检测技术概述	4
1.2.2 传感器与检测技术分类	5
1.2.3 传感器技术概况	6
1.2.4 传感器选用原则	8
1.2.5 传感与检测技术的发展	9
1.3 传感器的基本特性	12
1.3.1 静态特性	12
1.3.2 动态特性	16
1.4 测量方法	22
1.4.1 直接测量、间接测量与联立测量	22
1.4.2 偏差式测量、零位式测量和微差式测量	23
1.5 测量误差	23
1.5.1 误差理论中的部分名词	23
1.5.2 测量误差的概念	24
1.5.3 一般测量误差的表示方法	25
1.5.4 测量误差的来源	26
1.5.5 测量误差的估计与校正	27
1.6 传感器标定与校准	29
1.6.1 传感器标定	30
1.6.2 常用传感器标定设备	33
1.6.3 传感器标定实例	37
习题	38
第 2 章 电阻式传感器	40
2.1 电位器式传感器	40
2.1.1 线性电位器	40



2.1.2 非线性电位器	43
2.1.3 负载特性与负载误差	44
2.2 应变式电阻传感器	45
2.2.1 工作原理	46
2.2.2 电阻应变片的基本特性	47
2.2.3 电阻应变片的转换电路	50
2.3 压阻式传感器	55
2.3.1 压阻效应	55
2.3.2 压阻系数	56
2.3.3 半导体应变式传感器	57
2.3.4 扩散型压阻式传感器	59
2.4 电阻式传感器的应用	61
2.4.1 电位器式传感器的应用	61
2.4.2 应变式电阻传感器的应用	61
习题	62
第3章 电感式传感器	65
3.1 自感式传感器	65
3.1.1 气隙型单极式自感传感器	65
3.1.2 气隙型差动式自感传感器	69
3.1.3 螺管型单极式自感传感器	69
3.1.4 螺管型差动式自感传感器	71
3.1.5 等效电路	72
3.1.6 转换电路	74
3.1.7 零点残余电压	77
3.1.8 自感式传感器的应用	78
3.2 互感式传感器	79
3.2.1 螺管型互感式传感器	79
3.2.2 互感式传感器的应用	81
3.3 电涡流式传感器	81
3.3.1 工作原理	82
3.3.2 简化模型及等效电路	82
3.3.3 转换电路	84
3.4 压磁式传感器	85
3.4.1 工作原理	85
3.4.2 工作方式	86
3.5 感应同步器	88
3.5.1 工作原理	88
3.5.2 输出信号的测量	90

习题	93
第4章 电容式传感器	95
4.1 电容式传感器	95
4.1.1 电容式传感器的工作原理	95
4.1.2 等效电路	101
4.1.3 电容式传感器的特性	102
4.1.4 转换电路	104
4.2 容栅式传感器	106
4.2.1 容栅式传感器的工作原理	106
4.2.2 容栅式传感器的特点	107
4.2.3 容栅式传感器的信号处理方式	108
4.3 电容式传感器的应用	110
4.3.1 电容式传感器的设计及应用要点	110
4.3.2 电容式传感器的应用举例	112
习题	115
第5章 电动势传感器	117
5.1 磁电感应式传感器	117
5.1.1 工作原理	117
5.1.2 磁电感应式传感器类型	118
5.1.3 基本特性分析	119
5.1.4 磁电感应式传感器应用	122
5.2 霍尔传感器	125
5.2.1 霍尔效应原理	125
5.2.2 霍尔元件结构及其特性分析	126
5.2.3 霍尔元件的驱动电路	128
5.2.4 霍尔元件的误差分析及补偿	129
5.2.5 霍尔传感器的应用	131
5.3 压电式传感器	134
5.3.1 压电效应	134
5.3.2 工作原理	135
5.3.3 测量电路	137
5.3.4 压电式传感器的应用	139
习题	142
第6章 光电式传感器	144
6.1 光电检测器件	144
6.1.1 热释电探测器	145
6.1.2 光电效应	146
6.1.3 光电管与光电倍增管	148

6.1.4	光敏电阻	149
6.1.5	光敏二极管和光敏三极管	151
6.1.6	光电池	154
6.1.7	CCD 图像传感器	156
6.2	光电式编码器	163
6.2.1	光电式编码器原理	163
6.2.2	提高光电式编码器分辨率的方法	166
6.2.3	光电式编码器的应用	168
6.3	光纤传感器	169
6.3.1	光纤传感器基础	169
6.3.2	光纤传感器的分类	171
6.3.3	光纤传感器的应用	172
6.4	光栅式传感器	176
6.4.1	光栅传感器的结构	176
6.4.2	光栅传感器原理	177
6.5	激光传感器	179
6.5.1	激光特性	180
6.5.2	激光器原理与特性	181
6.5.3	激光传感器的应用	181
	习题	183
第7章	热电式传感器	185
7.1	热电偶传感器	185
7.1.1	热电偶传感器原理	185
7.1.2	热电偶种类及结构	188
7.1.3	热电偶的误差分析	193
7.1.4	热电偶温度补偿	194
7.1.5	热电偶应用	196
7.2	热电阻式传感器	198
7.2.1	热电阻	198
7.2.2	热敏电阻	199
7.2.3	热电阻式传感器的应用	201
	习题	204
第8章	半导体传感器	205
8.1	气敏传感器	205
8.1.1	半导体气敏传感器	205
8.1.2	半导体气敏传感器工作机理	205
8.1.3	半导体气敏传感器的主要参数	206
8.1.4	半导体气敏传感器的结构	207

8.2 湿敏传感器	209
8.2.1 湿度的表示方法	209
8.2.2 湿敏传感器的特性参数	210
8.2.3 半导体陶瓷湿敏电阻	211
8.3 磁敏传感器	214
8.3.1 磁阻传感器	214
8.3.2 磁敏二极管	216
8.3.3 磁敏三极管	217
8.4 色敏传感器	218
8.4.1 半导体色敏传感器基本原理	218
8.4.2 半导体色敏传感器的基本特性	220
8.5 半导体传感器的应用	220
8.5.1 气敏传感器应用	220
8.5.2 湿度传感器应用	221
8.5.3 色敏传感器应用	223
8.6 微传感器	226
8.6.1 MEMS 概述	226
8.6.2 压阻式微传感器	227
8.6.3 电容式微传感器	228
8.6.4 谐振式微传感器	229
习题	232
第9章 其他传感器	233
9.1 微波传感器	233
9.1.1 微波的性质与特点	233
9.1.2 微波振荡器与微波天线	233
9.1.3 微波传感器及其分类	234
9.1.4 微波传感器的应用	234
9.2 红外传感器	237
9.2.1 红外辐射的基本知识	237
9.2.2 红外辐射的基本定律	238
9.2.3 红外传感器	239
9.2.4 红外辐射检测技术的应用	241
9.3 视觉传感器	243
9.3.1 视觉传感器类型及特点	243
9.3.2 机器人视觉	245
9.4 超声波传感器	245
9.4.1 超声波的基本特性	246
9.4.2 超声波对传播介质的作用	247



9.4.3 超声波传感器的结构及工作原理	248
9.4.4 超声波传感器的应用	249
9.5 生物传感器	251
9.5.1 生物传感器类型及特点	251
9.5.2 酶传感器及其应用	253
9.5.3 微生物传感器	253
9.5.4 免疫传感器	256
习题	257
第10章 常用的检测电路	258
10.1 信号放大电路	258
10.1.1 测量放大器	258
10.1.2 程控增益放大器	260
10.1.3 隔离放大器	263
10.2 信号处理电路	265
10.2.1 滤波电路	265
10.2.2 采样保持电路	269
10.3 信号转换电路	271
10.3.1 模/数与数/模转换器	271
10.3.2 电压/频率与频率/电压转换器	275
10.3.3 电压/电流转换	277
10.4 抗干扰技术	279
10.4.1 干扰的类型及信号耦合方式	279
10.4.2 常用的抑制干扰的措施	281
习题	283
* 第11章 传感检测新技术	286
11.1 智能传感器	286
11.1.1 智能传感器的概念	286
11.1.2 智能传感器的功能和特点	287
11.1.3 传感器智能化的技术途径	287
11.1.4 智能传感器的应用	289
11.1.5 智能传感器的发展前景	290
11.2 传感器数据融合技术	291
11.2.1 数据融合的基本内容	291
11.2.2 数据融合的体系结构	293
11.2.3 数据融合的方法	294
11.2.4 多传感器数据融合技术的应用举例	294
11.3 软测量技术	296
11.3.1 辅助变量的选择	296

11.3.2 测量数据的处理	297
11.3.3 软测量模型的建立	298
11.3.4 软测量模型的自校正及维护	300
11.3.5 模型实时演算的工程化实施技术	301
11.3.6 软测量的工业应用	301
11.4 虚拟仪器	302
11.4.1 虚拟仪器的特点与组成	302
11.4.2 软件结构	305
11.4.3 硬件结构	306
11.4.4 软件开发平台	307
11.5 网络化检测仪器	308
11.5.1 网络测控及其特点	309
11.5.2 网络测控系统的类型	309
11.5.3 IEEE1451 通用网络化智能传感器接口标准	312
11.5.4 基于 IEEE1451.2 标准的无线网络传感器	316
11.5.5 物联网与射频识别 (RFID) 技术	317
习题	320
主要参考文献	322

第 1 章 传感与检测技术基础

人类对外界的感知最初只是由人的感官实现，常常只是一些定性的认识。随着人类文明的发展，特别是产业革命以后，人类为认识世界和改造世界，尤其是提高生产效率和产品质量，越来越多地采用传感和检测技术。随着信息时代的高速发展，国内外对传感检测技术越来越重视，许多发达国家已将该技术列为优先发展的科技领域之一。

为更好地掌握传感与检测技术，需掌握传感器的构成、传感器的基本特征、测量方法、测量误差等基本知识，并对传感检测的发展方向有较全面的了解，只有这样，才能更有效地完成检测任务。

1.1 传感与检测的概念

传感与检测是实现自动控制、自动调节的关键环节，它与信息系统的输入端相连，并将检测到的信号输送到信息处理部分，是感知、获取、处理与传输的关键。传感与检测技术是关于传感器设计制造及应用的综合技术，它是信息技术（传感与检测技术、通信技术、计算机与控制技术）的三大支柱之一。

1.1.1 检测技术

检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科，其覆盖的知识领域如图 1.1 所示，主要包含信息获取、信息处理和信息应用三个部分。检测技术任务是：寻找与自然信息具有对应关系的各种表现形式的信号，以及确定两者之间的定性、定量关系；从反映某一信息的多种信号表现中挑选出所处条件下最为适合的表现形式，以及寻求最佳的获取、变换、处理、传输、存储、显示等方法和相应的设备。

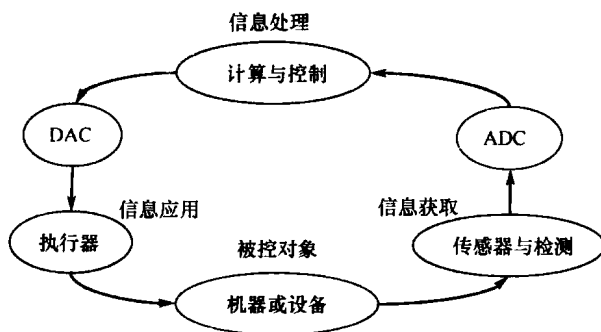


图 1.1 传感器与检测技术在信息链中的地位示意图

信息获取是指从自然界诸多被测量(物理量、化学量、生物量与社会量等)中提取有用的信息。

信息变换是将所提取出的有用信息进行电量形式的幅值、功率等的转换。

信息处理的任务,视输出环节的需要,可将变换后的电信号进行数字运算(求均值、极值等)、模拟量—数字量变换等处理。

信息传输是在排除干扰时,经济地、准确无误地把信息进行远、近距离的传递。

检测技术知识模块主要包括传感器、光电检测、测控电路、信号处理、误差理论与数据处理、虚拟仪器、传感网路等,现代检测系统集成光、机、电于一体,软、硬件相结合。

1.1.2 自动检测系统

自动检测系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号处理等诸多系统的总称,在上述诸系统中,都包含被测量、敏感元件、电子测量电路、电源和输出单元,其区别仅在于输出单元。如输出单元是显示器或记录器,则系统称为自动测量系统;如输出单元是控制器或报警器,则系统称为自动保护系统或自动诊断系统。

一个完整的检测系统或装置通常由传感器、测量电路和显示记录等部分组成,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部分,图1.2给出了通常的检测系统组成框图,其中传感器是检测系统中最基本的元件,也是检测技术中的关键部分之一,直接关系到系统的测量范围、精度和可靠性。

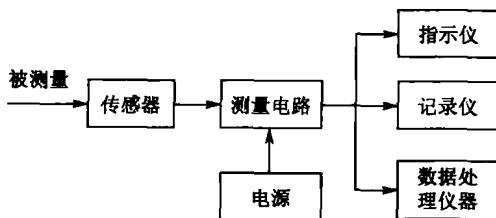


图 1.2 检测系统组成框图

1.1.3 本课程的任务与要求

“传感器与检测技术”课程是工科电气信息类专业的重要专业必修课,是研究传感器与检测技术的实用科学,在现代检测与控制系统中有着举足轻重的作用。本课程的主要任务是:使学生通过学习,获得误差分析基础及检测技术与测量系统的基本知识,掌握各类传感器的工作原理、基本结构、测量电路和应用,并对传感器、现代检测技术与仪表技术等的发展现状及趋势有一定深度的认识。

“传感器与检测技术”是集电子、光学、精密机械、计算机技术与信息技术多学科互相渗透而形成的一门高新技术密集型专业课程,它为计算机应用、电子信息、精密仪器、测量与控制等多领域的设计制造、科技开发、应用研究提供关键技术和知识平台。同时,本课程也是一门内容繁杂的交叉学科,涉及物理学、电子学、电磁学、微机原理以及高数、概率等,知识密集性强、内容离散性大、应用性和实践性较强。在理论学习的同时,要求学生通过实验和实践,熟练掌握各类典型传感器的基本原理和适用场合,

掌握常用测量仪器的基本工作原理和工作性能,能合理应用常用电子仪器、测量电路等,能根据测量要求设计各类测量系统,能对测量结果进行误差分析和数据处理等,达到理论与实践的高度统一,突出能力的培养。表 1.1 所示为“传感器与检测技术”课程的知识单元、知识点及要求。

表 1.1 “传感器与检测技术”课程的知识单元、知识点及要求

知识单元	知识点		掌握程度
信息获取与处理的基本概念	传感与检测技术	检测技术概念与系统基本结构	熟练掌握
		传感与检测技术的发展	了解
	传感器	传感器的定义、组成	熟练掌握
		传感器性能的改善	熟练掌握
		传感器的分类、传感器的选用原则	掌握
检测系统的静、动态特性	检测系统的特性	静、动态特性的概念	熟练掌握
		一般数学模型:微分方程,传递函数,频率响应	熟练掌握
	静、动态特性指标	静态特性基本参数与指标	熟练掌握
		动态响应和频率响应的特性指标与分析	掌握
测量方法	检测基本概念	直接测量、间接测量与联立测量	掌握
		偏差式测量、零位式测量和微差式测量	掌握
测量误差	误差与精度基本概念	误差理论中的部分名词	掌握
		系统误差、随机误差和粗大误差	掌握
		精度	掌握
		基本误差和附加误差	掌握
	测量误差表示方法与来源	绝对误差、相对误差、引用误差	掌握
		方法误差、理论误差、测量装置误差、环境误差、人身误差	掌握
	测量误差的估计与校正	系统误差估计与校正	掌握
		随机误差估计与处理	掌握
传感器标定与校准	基本概念	标定、校准与效验的概念	熟练掌握
		标定的特点	熟练掌握
	标定方法	静态标定与动态标定方法	掌握
	标定设备	静态标定与动态标定设备	了解
检测变换原理与传感器	传感器工作原理及应用	电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、电动式传感器、热电式传感器、压电式传感器、半导体传感器	掌握
		光电式传感器:光电编码器、光纤传感器、光栅式传感器	掌握
		其他传感器	了解
检测与变换电路	信号变换与处理	信号放大、信号处理、信号转换	掌握
		信号抗干扰	掌握
	检测新技术	多传感器数据融合、软测量技术	了解
	新的传感器与仪器	智能传感器、虚拟仪器、网络化检测仪器	了解