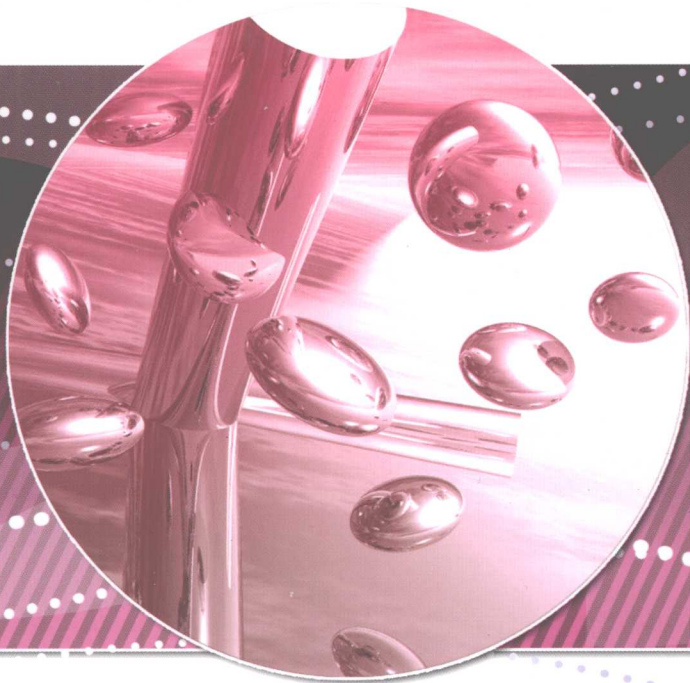


中等职业教育电类专业规划教材

自动检测 与转换技术

◎ 程 周 丛书主编

◎ 裴 蓓 主编



 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业教育电类专业规划教材

自动检测与转换技术

程 周 丛书主编
裴 蓓 主 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是中等职业教育电类专业规划教材。

本书注重对学生应用能力、实际技能、职业素质和创新能力的培养,以适应国家发展建设对中等职业人才的需求。

全书分9章,主要内容有传感器技术基础、力传感器、位置传感器、温度传感器、气体和湿度传感器、光电传感器、磁电传感器、新型传感器、传感器的接口电路。

本书可作为中等职业学校电气自动化、电子技术应用、机电一体化、计算机、数控等专业的教材,也可供从事生产、操作运行、维护维修等工作的人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测与转换技术 / 裴蓓主编.—北京:电子工业出版社,2008.9
中等职业教育电类专业规划教材

ISBN 978-7-121-06281-0

I. 自… II. 裴… III. ① 自动检测—专业学校—教材 ② 传感器—专业学校—教材 IV.TP212
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 108121 号

策划编辑:白楠

责任编辑:沈德雨

印刷:北京季峰印刷有限公司

装订:三河市万和装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:371.2 千字

印次:2008 年 9 月第 1 次印刷

印数:4 000 册 定价:22.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

本书系根据“中等职业教育教学”的基本要求和国家劳动部对电气自动化专业从业人员的职业要求编写的。

中等职业教育的任务是培养具有良好的职业道德、适应生产建设第一线需要的应用型专门人才。为此，本教材根据我国经济发展对人才培养目标的要求以及现代科学技术不断发展的需要，力图使学生在完成本教材的教学任务后，获得生产第一线的操作、维护和运行人员所必须掌握的传感器与转换技术的基本知识和基本技能。

由于传感器种类繁多，涉及面广，发展迅猛，各种新型传感器不断涌现，因而本教材在内容上既以各种被测量为分类依据介绍其常用的基本传感器，又兼顾传感器的新发展，介绍目前出现的许多新型传感器。

本书在定位上着眼于提高学生的实际应用能力，故在每一章节中都列举了大量应用实例，舍弃了许多烦琐的理论推导。在教材结构和风格上，力图简明扼要，深入浅出，便于学生自学。

全书分9章，由长春职业技术学院裴蓓（绪论、第2、3章并统稿）、王屹（第4、7章）、高芳（第5、6章）、王迪（第1章）、刘丽萍（第8章）、邱天宇（第9章）共同编写。

安徽职业技术学院的程周老师担任本教材的主审，他对书稿进行了认真、负责、全面的审阅，长春职业技术学院薛洪启院长，长春职业技术学院工程技术分院于桂华院长在本书编写过程中，给予了大力支持，在此，编者一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中定会有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

为了方便教师教学，本书还配有教学指南、电子教案及习题答案（电子版），请有此需要的教师登录华信教育资源网（www.huaxin.edu.cn 或 www.hxedu.com.cn）免费注册后再进行下载；有问题时请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系（E-mail:hxedu@phei.com.cn）。

编 者

2008年6月



目 录

绪论	1
第 1 章 传感器技术基础	6
1.1 测量的概念和测量方法	6
1.1.1 测量的概念	6
1.1.2 测量方法	7
1.2 测量误差及分类	8
1.2.1 测量误差的概念	8
1.2.2 测量误差的分类	8
1.3 传感器与自动测控系统	11
1.3.1 传感器的定义及组成	11
1.3.2 传感器的分类	12
1.3.3 自动测控系统	14
1.4 传感器的特性与技术指标	16
1.4.1 灵敏度	16
1.4.2 分辨力	16
1.4.3 线性度	17
1.4.4 稳定性	17
1.4.5 电磁兼容性	18
1.4.6 可靠性	18
习题 1	19
第 2 章 力传感器	20
2.1 弹性敏感元件	20
2.1.1 弹性敏感元件的特征	21
2.1.2 弹性敏感元件的结构形式	21
2.2 电阻应变片传感器	24
2.2.1 电阻应变片	25
2.2.2 应变片的结构形式、类型与粘贴方法	25
2.2.3 测量转换电路	27
2.2.4 应变电阻传感器的应用	28
2.3 电容式传感器	33
2.3.1 电容式传感器的工作原理	34

2.3.2	电容式传感器的测量电路	39
2.3.3	电容式传感器的应用	42
2.4	电感式传感器	45
2.4.1	自感式传感器	45
2.4.2	自感式传感器测量转换电路	49
2.4.3	互感式传感器	50
2.4.4	电感式传感器的应用	53
2.5	压电式传感器	54
2.5.1	压电式传感器的工作原理	55
2.5.2	压电式传感器的测量转换电路	57
2.5.3	压电式传感器的应用	59
	习题 2	60
第 3 章	位置传感器	61
3.1	光栅传感器	61
3.1.1	光栅传感器的结构和类型	61
3.1.2	光栅传感器的工作原理	63
3.1.3	辨向及细分	64
3.1.4	光栅传感器的应用——光栅数显表	66
3.2	磁栅传感器	66
3.2.1	磁栅传感器的结构	66
3.2.2	磁栅传感器的工作原理	68
3.2.3	磁栅传感器的信号处理	69
3.2.4	磁栅传感器的应用	70
3.3	码盘式传感器	70
3.3.1	绝对式编码器	71
3.3.2	增量式编码器(增量轴编码器)	73
3.3.3	编码器应用举例	76
3.4	流量及流速传感器	77
3.4.1	流量的基本概念	77
3.4.2	节流式流量计	77
3.4.3	电磁式流量传感器	78
3.4.4	涡轮式流速传感器	80
	习题 3	81
第 4 章	温度传感器	82
4.1	温度测量的基本概念	82
4.1.1	温度的基本概念	82

4.1.2	温标	82
4.1.3	温度测量及传感器分类	83
4.2	热电阻式温度传感器	83
4.2.1	金属导体热电阻的工作原理	84
4.2.2	热电阻的结构	85
4.2.3	热电阻的测量电路	86
4.2.4	热电阻传感器的应用——真空度测量	88
4.3	半导体温度传感器	88
4.3.1	热敏电阻	88
4.3.2	PN 结温度传感器	91
4.4	热电偶式温度传感器	92
4.4.1	基本原理	92
4.4.2	热电偶的组成、分类及其特点	94
4.4.3	热电偶冷端的延长	97
4.4.4	热电偶的冷端补偿法	97
4.4.5	热电偶的选择、安装使用和校验	100
4.4.6	热电偶的应用	101
4.5	集成温度传感器及应用	102
4.5.1	集成温度传感器的测温原理	103
4.5.2	集成温度传感器的类型	104
	习题 4	110
第 5 章 气体和湿度传感器		111
5.1	气体传感器	111
5.1.1	气体传感器的种类	111
5.1.2	半导体气敏传感器结构	111
5.1.3	气敏电阻传感器的工作原理	114
5.1.4	气敏电阻传感器测量电路	114
5.1.5	气体传感器的应用	115
5.2	湿敏传感器	117
5.2.1	湿度的基本概念	117
5.2.2	湿敏电阻型传感器	118
5.2.3	电容式湿度传感器	119
5.2.4	结露传感器	120
5.2.5	湿度传感器的应用	120
	习题 5	121

第 6 章 光电效应和光电传感器	122
6.1 光电效应和光电器件	122
6.1.1 光电效应	122
6.1.2 光电器件	123
6.1.3 光电耦合器件	131
6.2 光电传感器的应用	133
6.2.1 光电传感器的基本组成	133
6.2.2 光电传感器的基本类型	133
6.2.3 光电传感器应用举例	135
6.3 红外线传感器	136
6.3.1 红外传感器的类型	136
6.3.2 红外传感器的应用	138
6.4 光纤传感器	140
6.4.1 光纤的结构和传光原理	140
6.4.2 光纤传感器	141
6.4.3 光纤传感器的应用	142
习题 6	143
第 7 章 磁电传感器	144
7.1 霍尔传感器	144
7.1.1 霍尔器件的结构	144
7.1.2 霍尔传感器的工作原理	144
7.1.3 霍尔器件的特性参数	145
7.1.4 集成霍尔器件	146
7.1.5 霍尔传感器的应用	148
7.2 电涡流传感器	151
7.2.1 电涡流传感器的工作原理	151
7.2.2 电涡流传感器的结构	152
7.2.3 电涡流传感器的测量电路	153
7.2.4 电涡流传感器的应用	154
7.3 磁阻元件及传感器	156
7.3.1 磁敏电阻	156
7.3.2 磁敏电阻传感器的应用	157
7.3.3 磁敏电阻传感器的温度稳定性问题	158
7.4 磁敏二极管	160
7.4.1 磁敏二极管的结构	160
7.4.2 磁敏二极管的工作原理	160

8.4.3	磁敏二极管的特性	161
8.4.4	磁敏二极管的应用——磁敏二极管漏磁探伤仪	163
7.5	磁敏三极管	163
7.5.1	磁敏三极管的结构	163
7.5.2	磁敏三极管的工作原理	164
7.5.3	磁敏三极管的特性	165
7.5.4	温度补偿技术	165
7.5.5	磁敏三极管的应用——磁敏三极管电位器	166
习题 7		166
第 8 章	新型传感器	168
8.1	微波传感器	168
8.1.1	概述	168
8.1.2	微波传感器及其分类	169
8.1.3	微波传感器的优点及存在的问题	170
8.1.4	微波传感器的应用	170
8.2	超声波传感器	173
8.2.1	超声波物理基础	173
8.2.2	超声波传感器	175
8.2.3	超声波传感器的应用	176
8.3	生物传感器	178
8.3.1	概述	178
8.3.2	生物传感器的工作原理及结构	179
8.3.3	未来生物传感器的几大特点	182
8.4	图像传感器	183
8.4.1	图像传感器的敏感元件	183
8.4.2	CCD 图像传感器	186
8.4.3	CCD 图像传感器的应用	186
8.4.4	CCD 图像传感器的发展趋势	190
8.5	智能传感器	191
8.5.1	智能传感器概述	191
8.5.2	智能传感器的应用	192
8.5.3	智能传感器的发展趋势	194
8.6	机器人传感器	195
8.6.1	机器人与传感器	195
8.6.2	机器人传感器的分类及特点	195
8.6.3	触觉传感器	197
8.6.4	接近觉传感器	197

161	8.6.5 视觉传感器	198
161	8.6.6 听觉、嗅觉、味觉和其他传感器	200
161	习题 8	202
第 9 章 传感器的接口电路		203
201	9.1 传感器输出信号的处理方法	203
201	9.1.1 输出信号的特点	203
201	9.1.2 输出信号的处理方法	204
201	9.2 传感器信号检测电路	204
201	9.2.1 检测电路的形式	205
201	9.2.2 常用电路	206
201	9.3 传感器和微型计算机的连接	213
201	9.3.1 传感器与微型计算机结合的重要性	213
201	9.3.2 检测信号在输入微型计算机前的处理	214
201	9.3.3 模/数转换电路	215
201	9.3.4 电压-频率转换电路	217
201	习题 9	220
参考文献		221

绪 论

当今,随着科学技术的发展,传感器与转换技术已渗透到生产和生活的各个领域,从尖端武器装备、航空航天技术到机械设备、工业过程控制、交通运输、纺织、印刷、家用电器、医疗卫生、办公室设备及环境保护等均得到了广泛的应用。

传感器与转换技术即是利用各种物理、化学、生化效应选择合适的方法与装置将生产、科研、生活等各方面的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量的结果的过程,能够自动完成整个检测处理过程的技术称为自动检测与转换技术。

0.1 本课程研究的内容与性质

检测与转换技术是自动检测技术和自动转换技术的总称,它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。检测技术所涉及的内容见表1。

信息提取,是指用组成的测试系统从自然界诸多的被检查与检测量(物理量、化学量、生物量以及社会量)中提取出有用的信息(一般都是电信号)。

信息转换,是指将所提取的有用信息,根据下一单元的需要,在幅值、功率及精度等方面进行处理和转换。

表1 检测技术涉及的内容

被测量类型	被 测 量
热工量	温度、热量、比热容、热流、热分布、压力(压强)、压差、真空度、流量、流速、物位、液位、界面
机械量	直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量(重量)
几何量	长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平行度、同轴度、粗糙度、硬度、材料缺陷
物体的性质和成分量	气体、液体、固体的化学成分、浓度、黏度、湿度、密度、酸碱度、蚀度、透明度、颜色
状态量	工作机械的运动状态(启、停等)、生产设备的异常状态(超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等)
电工量	电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度、材料的磁性能

信息处理的任务,是根据输出环节的需要,对变换后的电信号进行数值运算、A/D 变换等处理。

信息传输的任务,是在排除干扰的情况下经济地、准确无误地实现信息传递。



0.2 自动检测系统的组成

目前, 对非电量的检测多采用电测量法, 即首先将各种非电量转变为电量, 然后经过一系列的处理, 将非电量参数显示出来, 其原理框图如图 1 所示。

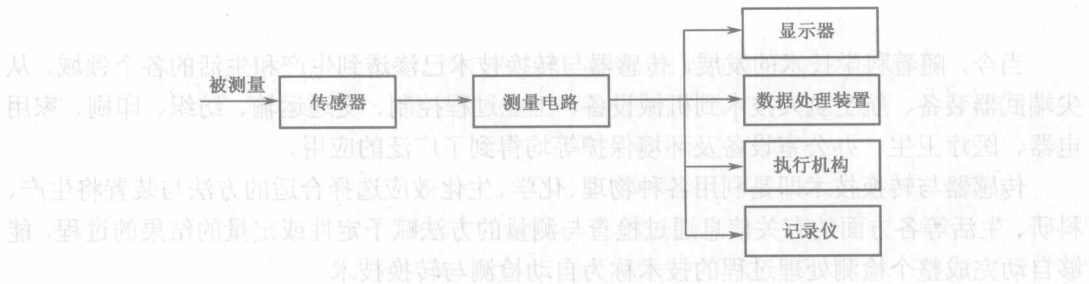


图 1 非电量检测原理框图

① 传感器: 传感器是能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。因此传感器是一种获得信息的手段, 它在非电量电测系统中占有重要的位置。它获得信息的正确与否, 关系到整个测量系统的精度, 如果传感器的误差很大, 后面的测量电路、放大器、指示仪等的精度再高也难以提高测量系统的精度。

② 测量电路: 测量电路要实现的功能是把传感器的输出信号转换成电压或电流信号, 使其能在指示仪上指示或在记录仪中记录。测量电路的种类常由传感器的类型而定, 如电阻式传感器需采用一个电桥电路把电阻值转换成电流或电压输出, 所以它属于信号的转换部分。由于测量电路的输出信号一般比较小, 为了能使指示仪工作或记录机构运动, 常常要将信号加以放大, 所以在测量电路中一般还带有放大器。

③ 显示器: 目前常用的显示器有四类: 模拟显示、数字显示、图像显示及记录仪。模拟量是连续变化的量, 模拟显示是利用指针对标尺的相对位置来表示读数的, 常见的有指针表、模拟光柱等。

数字显示目前多采用发光二极管 (LED) 和液晶显示器 (LCD) 等, 以数字的形式来显示读数。前者亮度高、耐振动, 可适应较宽的温度范围; 后者耗电小、集成度高。目前还研制出了带背光板的 LCD, 便于在夜间观看。

图像显示是用 CRT 或彩色 LCD 来显示读数或被测参数的变化曲线, 有时还可以用图表或彩色图等形式来反映整个生产线上的多组数据。

④ 记录仪: 主要是用来记录被检测对象的动态变化过程。常用的记录仪有笔式记录仪、高速打印机、绘图仪、数字存储器、磁带记录仪、无纸记录仪等。

⑤ 数据处理装置: 用来对测试所得的实验数据进行处理运算、逻辑判断、线性变换。对动态测试结果做频谱分析 (幅值谱分析、功率谱分析)、相关分析等, 完成这些工作必须采用计算机技术。

⑥ 执行机构: 所谓执行机构通常是指各种继电器、电磁铁、电磁阀、电磁调节阀、伺服电动机等, 它们是在电路中起到通断、控制、调节、保护等作用的电气设备。许多检

测系统能输出与被测量有关的电流或电压信号,去驱动这些执行机构。

0.3 检测技术在国民经济中的地位和作用

人类步入信息社会的今天,人们对信息的提取、处理、传输以及综合等要求愈加迫切。作为信息提取的功能器件——仪表及传感器与人类的关系愈来愈密切。甚至有人说一个国家传感器的发展水平标志着其科学技术的发展水平。

在机械制造行业中,正是由于传感技术、控制技术的引进,使古老的机械行业又焕发了新的青春。通过对机床的许多静态、动态参数如工件的加工精度、切削速度、床身振动等进行在线检测,从而控制加工质量;在化工、电力等行业中,如果不随时对生产工艺过程中的温度、压力、流量等参数进行自动检测,生产过程就无法控制甚至发生危险;在交通领域中,一辆现代汽车中的传感器就有几十种之多,分别用以检测车速、方位、负载、振动、油压、油量、温度、燃烧过程等;在国防科研中,检测技术用得更多,许多尖端的检测技术都是因国防工业需要而发展起来的,例如,研究飞机的强度,就要在机身、机翼上贴上几百片应变片并进行动态测量;在导弹、卫星的研制中,检测技术更为重要,必须对它们的每个构件进行强度和动态特性的测试,运行姿势测量等。近年来,随着家电工业的兴起,检测技术也进入了人们的日常生活中。例如,自动检测并调节房间温度、湿度的空调机,自动检测衣服污度和重量、利用模糊技术的智能洗衣机等。

近十几年来,自动控制理论、计算机技术迅速发展,并已应用到生产和生活的各个领域。但是,由于作为“感觉器官”的传感器技术没有与计算机技术协调发展,出现了信息处理功能发达,检测功能不足的局面。为此,目前许多国家已投入大量人力、物力,发展各类新型传感器,检测技术在国民经济中的地位也日益提高。

0.4 检测与转换技术的发展方向

检测技术虽然已经得到广泛的应用,但是随着现代科学技术的发展,对它提出了愈来愈高的要求。当前除了不断提高性能、可靠性外,总的趋向是小型化、智能化、图像化、无接触化、多功能化。具体来说,有以下几个方面。

(1) 不断提高仪器的性能、可靠性,扩大应用范围

随着科学技术的发展,对仪器仪表性能的要求也相应地提高。同时,需要研究解决生产工艺过程中极端参数测量用的仪器,例如连续测量液态金属的温度、长时间连续测量高温介质(2500~3000℃)、固体物表面高温测量、极低温度测量、混相流量测量、脉动流量测量、微差压测量、超高压测量、高温高压下成分测量、高精度重量称重等,所以仪器要在原有的基础上不断地提高技术性能指标,扩大应用范围。

仪器仪表的可靠性对仪表的质量来说已成为一个重要因素。从20世纪60年代开始,都在对仪表可靠性进行研究,这方面内容包括仪表可靠性和故障率的数学模型和计算方法的研究;仪表可靠性设计、分配、预测、检测和分析试验的研究;仪表系统组件可靠性对仪表整机性能的影响和确定整机可靠性的方法的研究。



(2) 开发传感器的新型敏感元件材料

新型的传感器敏感元件材料的开发与应用是当前非电量电测技术中的一项迫切任务,因为非电量电测技术的应用领域已扩大到各个部门,要获得的信息种类又那么多,同时进入到人们生活中去的仪器又要求有低廉的价格,因此必须开发新型的传感器敏感元件,特别是物性型的敏感材料,如半导体材料、陶瓷材料以及高分子聚合材料等。大家也在注意把各个专业领域中萌发出来的新型材料引入到传感器技术的领域中来,不断满足各种物理、化学、生物和生活领域中提出的新型传感器的需要。

(3) 微电子技术、微处理器与传感器结合,使仪器智能化

从20世纪70年代以大规模集成电路为基础的微处理器问世后,已逐步应用到测量技术中。将微电子技术、微处理器与传感器结合,形成新一代智能传感器,将是非电量电测技术发展的新的趋势。所谓智能化传感器,是指不仅具有检测信息的能量转换功能,而且具有测量、判断和处理信息的能力的传感器。由于微电子技术的发展,微弱信号调节与微机接口电路、信号处理电路可与传感器封装在一起,使得传感器不仅有检测信号的能力,同时可以判断信号和处理信号,这样它本身已经成为一个非电量电测系统。只要传感器本身的性能稳定,即使一个性能指标不高的传感器,做成智能化后,可大大地提高传感器的精度,同时还可以做温度补偿、线性化处理等一系列传感器功能优化工作。

(4) 研究多维化、多功能化的仪器

目前的传感器主要是用来测量一个点的参数,但是在科学技术和工程上有时需要测量在一条线上或一个面上的参数,因此需要研究一维、二维甚至三维的仪器。现在已经研制出一些二维的传感器,如在本教材第8章中介绍的CCD图像传感器就是一个例子,它可以用来识别图形和文字。又如利用聚偏氟乙烯压电薄膜,可以测出一个物体的形状和在它上面各点承受压力的情况,这就形成一种三维的传感器,配合相应的测量电路和微处理器就得到物体的图形和各受压点的读数。

(5) 研究无接触测量技术

在测量过程中,把传感器置于被测对象上,相当于加一个负载在上面,这样多少会影响测量的精度;而在有些被测物上,根本不可能安装仪器,例如测量高速旋转轴的振动、转矩等,因此,国际上正在研究采用无接触式的测量技术,目前已采用的一些光电式传感器、电涡流式传感器、超声波仪表、同位素仪表等都是应这种要求而发展起来的。微波技术原来是用于通信的,现在也被用来作为非电量电测技术的一种手段。目前,人们还在研究用其他各种原理和方法进行无接触式的测量。

(6) 研究新型原理的传感器

由于科学技术的发展,需要测量极端参数和特种参数等,因而促使人们不断地在探索新的测量机理,以研制新型原理的传感器和仪表。这方面目前除研究利用新的物理效应,化学反应和生物功能外,还不断研究仿生学,仿照生物的感觉功能和人的视、听、触、嗅、味五官感觉,来开发未来的新型传感器。例如,研究狗的鼻结构来探索嗅觉传感器,因为狗辨别气味的能力是相当高的,它可以从14~15种混杂的气味中嗅出特定的一种气味;它能感受普通人嗅觉千万分之一的稀释液的气味。又如鸟的方位感觉很强,一只海燕能从4910km外飞回来,对这种归巢性研究,希望能得到一种方位传感器。



0.5 本课程的任务和学习方法

本课程的任务是：在深入研究各种传感器基本原理的基础上，逐一分析各种传感器是如何将非电量转换为电量的，并介绍相应的测量转换电路、信号处理电路及各种传感器在工业中的应用。对误差处理和弹性元件也给予了适当的介绍。

本课程涉及的学科面广，要求学生既要有广博的基础知识，又要有较深入的专业知识。学好这门课程的关键在于理论联系实际。要举一反三，富于联想，善于借鉴，关心和观察周围的各种机械、电气、家用电器等设备，重视实验和实训。这样才能学得活、学得好，才有利于提高解决实际问题的能力。

第 1 章 传感器技术基础

传感器与检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、转换、处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科。本章主要介绍测量的基本概念和方法、误差分析及仪表精度的确定和选择、传感器的概念、特性及自动测控系统的组成。

1.1 测量的概念和测量方法

测量是人类认识自然、掌握自然规律的实践途径之一，是科学研究中获得感性材料、接受自然信息的途径，是形成、发展和检验自然科学理论的实践基础。

1.1.1 测量的概念

测量是人们借助于专门的设备，通过实验的方法，对被测对象收集信息、取得数量概念的过程。测量的实质是一个比较的过程，即将被测量与和它同性质的标准量进行比较，获得被测量为标准量的若干倍的数量概念。

上述定义用数学公式表示，则为

$$A=[A]\{X\} \quad (1-1)$$

式中 A ——被测量；

$[A]$ ——所选被测量的单位；

$\{X\}$ ——在所选单位下被测量的数值。

测量的结果可以表现为一定的数字，也可以表现为一条曲线或显示成某种图形等。但无论其表现形式如何，测量结果总包含有两个部分：其一是数值的大小及其符号；其二是相应的单位。表示测量结果时，不注明单位，该结果将毫无意义。

一切测量过程均包括比较、示差、平衡和读数。

测量过程的核心是比较。在近代测量中，除了比较过程外，多数情况下还必须对被测量进行各种变换。变换的目的有二：其一，由于人的感官能直接给出定量概念的被测量不多，绝大多数被测量都要变换为某个中间变量，然后才能给出定量的概念。例如，人的感官对温度只能给出定性的冷暖概念。为了得到定量的概念，可以利用物质热胀冷缩的原理，把温度量变为中间变量——物质体积的变化，然后进行比较和测量。在这种情况下，“变换”是实现测量的必要手段，是为了进行有效测量。其二，随着生产和科学技术的发展，如数控机床、宇航、高能物理、红外、激光以及智能仪器等科技领域对测量的要求越来越高，不仅要求能够进行静态测量，还要求进行动态测量、在线测量，对测量精度的要求也不断提高。因此，传统的测量方法往往不能满足这些新的要求。例如，机械系统的动态特性测试，是传统的（如可根据弹簧的弹性变形测试力的大小）静态力测量所无法实现的。



又如模拟量的表示方法很难分辨出 1/100 或更小的差异。因此,在近代测量系统中,越来越多的把非电量变换为电量,把模拟量变换成数字量,然后进行测量,或者采用电子示波器或磁带记录仪来测量动态参数。

“变换”更是非电量电测技术的核心。非电量电测技术就是将各种非电量的被测量变换为电参量,然后再进行测量的技术,使测量过程和被测量具有快速、直观、遥测以及自动测量等优点。

1.1.2 测量方法

对于测量方法,从不同的角度出发,有不同的分类方法。

1. 静态测量和动态测量

根据被测量是否随着时间变化,可分为静态测量和动态测量。例如,用激光干涉仪对建筑物的缓慢沉降作长期监测可视作静态测量;又如,用光导纤维陀螺仪测量火箭的飞行速度、方向就属于动态测量。

2. 直接测量和间接测量

根据测量的手段不同,可分为直接测量和间接测量。用标定的仪表直接读取被测量的测量结果,该方法称为直接测量。例如,用磁电式仪表测量电流、电压;用离子敏场效应晶体管测量 pH 值和甜度等。间接测量是对几个与被测量有确定函数关系的物理量进行直接测量,然后将测量值代入函数关系式,经过计算求得被测量。如前已提及的利用物质热胀冷缩原理测量温度的例子即属于间接测量。

3. 模拟式测量和数字式测量

根据测量结果的显示方式,可分为模拟式测量和数字式测量。在要求精密测量和远程测量时,绝大多数场合均采用数字式测量。

4. 接触式测量和非接触式测量

根据测量时是否与被测对象接触,可分为接触式测量和非接触式测量。例如,用多普勒超声测速仪测量汽车超速与否就属于非接触式测量。非接触式测量不影响被测对象的运行工况,是目前发展的趋势。

5. 在线测量和离线测量

根据检测过程是否与生产过程同时进行,可分为在线测量和离线测量。例如,为了监视生产过程,在生产流水线上检测产品质量的测量称为在线测量,它能保证产品质量的一致性。离线测量虽然能测量出产品的合格与否,但无法实时监控生产质量。

6. 偏差法、零位法和微差法测量

根据检测时对偏差处理的方式不同,可分为偏差法、零位法和微差法。偏差法,即利用测量仪表的指针相对于刻度的偏差位移直接表示被测量的数值,称为偏差法。由于刻度