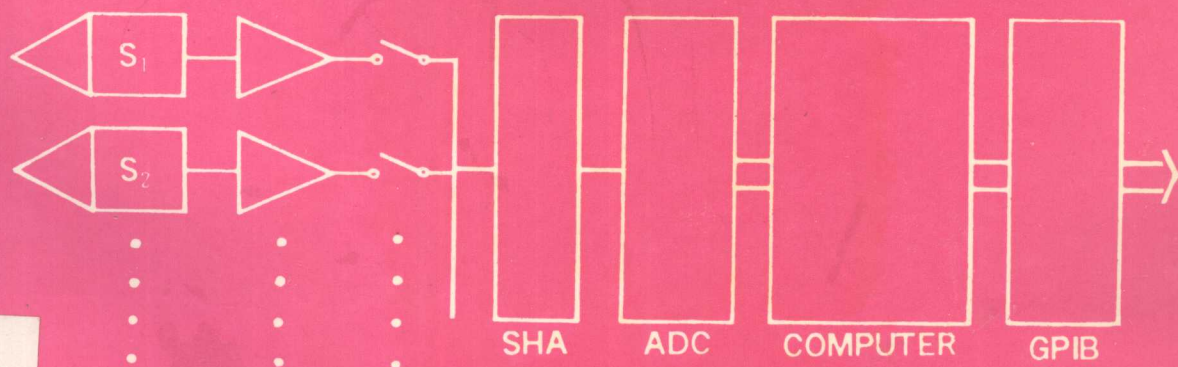


WEIJIJIANCE YU ZHUANHUANJISHU

# 微机检测 与转换技术

王煜东 主编  
王谨之 主审



电子科技大学出版社

# 微机检测与转换技术

王煜东 主编

王谨之 主审

电子科技大学出版社

• 1992 •

ISBN 7-312-00000-0

定价 4.50元

00000-1992

7-312-00000-0

4.50元

[川]新登字 016 号

## 内 容 简 介

本书以微机化检测系统的组成为主线,把传感器技术、测量的基本知识、接口技术和微机应用等内容有机地融为一体,是一本系统阐述微机化检测与转换技术的教科书。

全书共分十五章。书中系统地阐述了传感器及测量的基本概念、测量误差的分析与数据处理,重点介绍了应变、电感、电容、压电、磁敏、光电、热敏、气敏、湿敏、频率及数字等各类常见传感器的原理、结构、特性及应用,适当介绍了常用电动仪表和显示、记录装置,剖析了检测中的干扰源并介绍了抗干扰技术,集中阐述了传感器信号的预处理方法、数据采集和微机接口技术,最后介绍了典型智能化传感器和智能化仪表以及微机化检测系统的设计方法和设计实例。本书避免过深和繁琐的理论分析,给出较多的应用方法和实用资料,力求语言精炼、概念清晰、结构严谨、重点明确,每章末均附有适当的练习题,以便于教学。

本书可作为中专以及职业教育、成人教育相应的电气化、自动化、计算机应用、数控技术、电子电器及自动化仪表等专业的教材。也可供有关工程技术人员参考。

## 微机检测与转换技术

王煜东 主编

王谨之 主审

\*

电子科技大学出版社出版

(中国成都建设北路二段四号)

电子科技大学出版社激光照排中心照排

四川省资源研究所印刷厂胶印

四川省新华书店经销

\*

开本 787×1092 1/16 印张 18.75 字数 486 千字  
版次 1992 年 5 月第一版 印次 1994 年 12 月第三次印刷  
印数 8001—13000 册

ISBN 7-81016-462-7/TP·33

定价:(压膜)13.70 元

# 前 言

本书是根据机械电子工业部教材工作协作会 1991 年武汉工作会议纪要精神和国家机械工业委员会 1987 年颁发的“自动检测与转换技术”教学计划与教学大纲,以及 1991 年在南阳召开的教材组编会议上所制定的“微机检测与转换技术”教材编写大纲编写的。

80 年代以来,随着微机技术的广泛应用,检测技术和控制技术都发生了巨大变革,发展到了微机化(或称智能化)的阶段。国内主要仪器仪表厂家已转向生产微机化仪器仪表,工业企业各部门也正进行技术改造,把微机技术应用到生产过程的自动检测及自动控制之中。然而,目前微机化检测技术的有关知识仍然分散于各类书刊之中,尚缺乏全面系统地介绍这方面知识的书籍。为此,本书以微机化检测系统的构成为主线,归纳、综合了国内近年来编、译出版的有关书籍,及各类杂志刊登的有关文献,并用微机化的观点对某些概念做了更恰当的定义,内容丰富,取材新颖且实用,体现了近年来检测领域“多样、新型、集成、智能”的特点。阅读本书,不仅可以获得系统完整的检测与转换技术知识,而且可独立完成一项微机化检测系统的设计。

全书共分十五章。第一章为基础知识部分,系统地论述了传感器及测量的基本概念、误差分析与数据处理;第二章至第十章重点介绍了各类传感器的原理、结构、特性及应用;第十三章剖析了检测中的干扰源并详细介绍了抗干扰技术;第十四章集中阐述了传感器信号的预处理方法、数据采集和微机接口技术;第十五章介绍了典型智能化传感器和智能化仪表,还介绍了微机化检测系统的设计方法和应用实例。鉴于我国工业企业单位现状,在第十一章和第十二章对常用电动仪表及显示记录装置的基本知识也做了适当的介绍。

在本书编写时,我们从应用的角度出发,避免过深和繁琐的理论分析,以有限的篇幅给出更多的应用方法和实用资料。本书力求语言精炼、概念清晰、结构严谨、重点明确。每章末所附的练习题,紧扣教材内容,形式多样,以便于教学。

本书可作为中专、职业教育、成人教育的教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书由中原机械工业学校王煜东主编,南京无线电工业学校高级讲师王谨之主审。完成本书初稿编写的有:武汉无线电工业学校宋烈武(第一、四章)、甘肃省机械工业学校李艳霜(第二章)、湖南省江南机器厂中专校刘志宏(第三章)、浙江机械工业学校戴一平(第五、七、九章)、二汽中专校汪世文(第六、十三章)、天津机电工业学校陈在平(第八、十五章)、长治机电工业学校田毅(第十章)、山西省机械工业学校梁冠杰(第十二章)、河南省电子工业学校周炜(第十四章)、湖南机电学校李忠金(第十五章)。王煜东编写了本书的绪论和第十一章,并对全书初稿进行修改、整理和统编。参加本书统稿工作的还有中原机械工业学校朱自勤。

在本书编写过程中得到了许多兄弟学校的帮助,特别是得到南京航空学院余瑞芬副教授的指导和帮助,在此一并致谢。限于时间和编者水平,书中难免存在不少缺点和错误,敬请读者批评、指正。

编 者

1992 年 2 月

6-3 磁敏传感器的应用

练习题

第七章 光电传感器

7-1 光电元件

# 目 录

绪 论	1
练习题	6
第一章 基础知识	7
1-1 传感器的基本概念	7
1-2 测量的基本概念	11
1-3 测量误差的分析	14
1-4 测量数据的处理	18
练习题	21
第二章 应变式传感器	23
2-1 弹性敏感元件	23
2-2 电阻应变片	28
2-3 应变电桥	32
2-4 应变式传感器	33
练习题	36
第三章 电感式传感器	38
3-1 自感式传感器	38
3-2 差动变压器	42
3-3 电涡流式传感器	47
3-4 电感式传感器的应用举例	51
练习题	55
第四章 电容式传感器	57
4-1 电容式传感器的结构和原理	57
4-2 电容式传感器的应用	62
练习题	65
第五章 压电式传感器	66
5-1 压电式传感器的工作原理	66
5-2 压电式传感器的应用	70
5-3 超声波传感器及应用	72
练习题	77
第六章 磁敏传感器	78
6-1 霍尔传感器	78
6-2 磁敏管	82
6-3 磁敏传感器的应用	87
练习题	90
第七章 光电传感器	92
7-1 光电元件	92

目 录

7-2 光电传感器的应用 .....	101
7-3 光纤传感器 .....	106
7-4 激光检测 .....	111
练习题 .....	115
<b>第八章 热敏传感器</b> .....	<b>118</b>
8-1 热电偶 .....	119
8-2 热电偶的应用 .....	126
8-3 热电阻 .....	131
8-4 热敏电阻 .....	134
8-5 集成温度传感器 .....	137
练习题 .....	139
<b>第九章 气敏和湿敏传感器</b> .....	<b>141</b>
9-1 气敏传感器 .....	141
9-2 湿敏传感器 .....	147
练习题 .....	154
<b>第十章 频率式及数字式传感器</b> .....	<b>156</b>
10-1 振弦式频率传感器 .....	156
10-2 石英晶体频率传感器 .....	159
10-3 数字编码器 .....	160
10-4 感应同步器 .....	161
10-5 磁栅传感器 .....	165
10-6 光栅传感器 .....	167
练习题 .....	172
<b>第十一章 电动仪表概述</b> .....	<b>174</b>
11-1 动圈式指示仪表 .....	174
11-2 动圈式调节仪表 .....	178
11-3 自动平衡显示仪表 .....	182
11-4 电动单元组合仪表概述 .....	185
练习题 .....	190
<b>第十二章 显示与记录技术</b> .....	<b>192</b>
12-1 笔式记录仪 .....	193
12-2 光线示波器 .....	197
12-3 磁带记录仪 .....	202
练习题 .....	209
<b>第十三章 抗干扰技术</b> .....	<b>211</b>
13-1 干扰的来源及形式 .....	211
13-2 干扰的抑制技术 .....	216
练习题 .....	221
<b>第十四章 传感器与微机的接口技术</b> .....	<b>223</b>

14-1	传感器输出信号的预处理方法	223
14-2	信号的调制与解调	229
14-3	信号处理与放大集成电路	235
14-4	数据采集与线性化技术	243
14-5	智能仪器面板接口技术	251
14-6	IEEE-488 标准接口、母线系统	254
	练习题	258
<b>第十五章 微机化检测系统</b>		259
15-1	微机化检测系统的特点	259
15-2	典型智能仪表简介	259
15-3	微机化检测系统的设计原则	263
15-4	微机化检测系统设计举例	268
	练习题	278
附录一	几种常用传感器性能比较	279
附录二	热电偶分度表	280
附录三	热电阻分度表	283
附录四	传感器命名法及代号	284
附录五	检测与转换技术常用名词术语中英文对照	287
	参考文献	292

20 世纪发明了蒸气机,于是机器代替了体力劳动,相应的检测多采用机械手段,所检测的物理量主要是机械量和长度。本世纪 60 年代以来,应用半导体和微电子技术开发了物理量传感器,逐步取代了结构型传感器,使传感技术在短短几十年内取得了突飞猛进的发展。例如,日本在 1984 年仅半导体传感器方面的专利有 3000 余项,是 1958 年的 34 倍。传感器与电子测量技术相结合,形成了非电量电测技术,称为检测技术的第二次变革。20 世纪 70 年代,由于微型计算机的问世并应用于检测领域,从根本上打破了检测的传统观念和结构形式,使检测技术又一次发生了根本变革,进入了智能化的时代。据报道,目前,在国外仪器仪表行业产品中,非电量电测仪表约占 92~95%,其中智能化仪表占了 80~90% 左右,成为仪器仪表的主要产品,同时也已转向生产智能化仪器仪表,其他工业企业部门也正要进行技术改造,应用微机实现生产过程的自动检测和自动控制。

目前,及模仿人脑思维的初类概念,用微机代替人的大脑,其功能还很不完备,模仿人脑的各种感官,其品种还不齐全,因此,真正的智能化还远远谈不上,目前采用“微机化”的提法比较恰当。微机化检测与转换技术包括了传感器的“智能化”和测量仪器、仪表的“微机化”,为此,开展微机化检测与转换技术(简称“微机检测与转换技术”)的发展势在必行。

## 二、现代工业中的检测技术

现代工业正向着高效率、高精度、高可靠性以及生产过程的连续化、综合化方向发展,从

# 绪 论

## 一、概 述

随着科学技术的发展,检测技术已广泛应用于人类科研、生产、生活等活动领域之中。检测技术既是服务于其他学科的工具,又是综合运用其他多门学科最新成果的尖端性技术。因此,检测技术的发展是科学技术和生产发展的重要基础,也是一个国家生产力发展程度和现代化程度的重要标志。

当我们涉足于检测领域时,常常见到检测、测量、测试、计量等术语,尽管文字和含义有所不同,但它们都包含了测量的过程。为避免混淆,有必要加以说明。

测量是以确定客观事物的量值为目的,借助于一定的工具和设备,用实验的方法取得被测量数据的过程,它包括数据处理、显示或记录等步骤。

计量是以获得标准为目的的测量。它包括基准器的研制、量值的传递、量值单位的定义和管理以及精密测量等,其规程具有一定的法律性和权威性。

检测是利用传感器把被测信息检取出来,并转换成测量仪表或仪器所能接受的信号,再进行测量以确定量值的过程;或转换成执行器所能接受的信号,实现对被测物理量的控制。

测试是带有试验性质的检测,在特定情况下,检测信号可由模拟被测物理量的信号发生装置产生。

18世纪发明了蒸气机,于是机器代替了体力劳动,相应的检测多采用机械手段,所检测的物理量主要是机械量和热工量。本世纪60年代以来,应用半导体和微电子技术开发了物性型传感器,逐步取代了结构型传感器,使传感技术在短短几十年内取得了突飞猛进的发展。例如,日本在1984年仅半导体传感器方面的专利有3000余项,是1959年的500倍。传感技术与电子测量技术相结合,形成了非电量电测技术,称为检测技术的第一次变革。到70年代中期,由于微型计算机的问世并应用于检测领域,从根本上打破了检测的传统概念和结构模式,使检测技术又一次发生了根本变革,进入了智能化的时代。据报道,目前,在国外仪器仪表行业产品中,非电量电测仪表约占92~95%,其中智能化仪表占了80~90%左右,成为仪器仪表的主要产品。国内也已转向生产智能化仪器仪表,其他工业企业部门也正在进行技术改造,应用微机实现生产过程的自动检测和自动控制。

智能,是模拟人脑思维的初象概念。用微机代替人的大脑,其功能还很不完善;用传感器模拟人的五种感官,其品种还不齐全。因此,真正的智能化还远远称不上,目前采用“微机化”的概念比较恰当。微机化检测与转换技术包括了传感器的“智能化”和测量仪器、仪表的“智能化”。为此,开设微机化检测与转换技术(简称“微机检测与转换技术”)的课程势在必行。

## 二、现代工业中的检测技术

现代工业正向着高效率、高精度、高可靠性以及生产过程的连续化、综合化方向发展,从



而检测也进入了主动检测和在线检测的阶段,以便与生产过程同步。检测的内容包含生产对象和生产设备两类物质的信息。不同的生产过程,检测的作用和特点也有所不同。一个完整的自动化系统,需要检测大量的信息,例如美国为实现汽车电子化,在一辆汽车上安装 90 多只传感器去检测不同的信息;在日本,机器人成本的二分之一是耗费在高性能的传感器上。总之,没有自动检测就没有自动化。如图 0-1 所示,一个现代自动控制系统的主环节就是一个微机化检测系统。

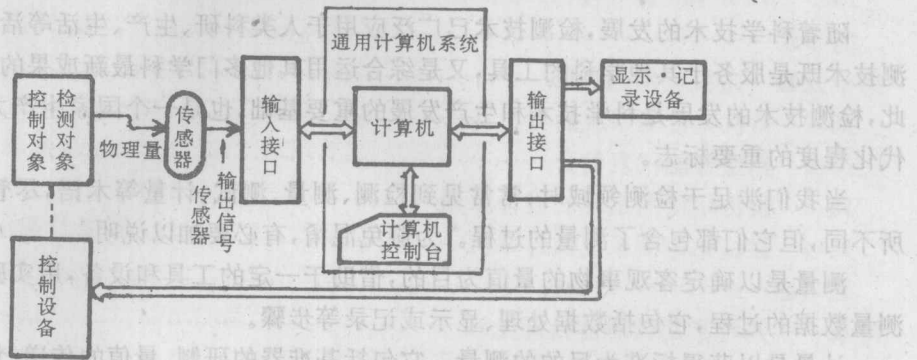


图 0-1 微机化检测与控制系统的组成

### 三、检测技术的发展与展望

检测技术有力地促进了科学技术和生产的发展,而科学技术和生产的现代化,不仅对检测技术提出了更高的要求,也为检测技术提供了丰富的物质手段和技术条件,因而促进其不断发展。目前,检测技术的发展趋向可从以下四个方面进行综述。

#### 1. 不断扩大测量范围

科学技术的发展要求检测量的范围不断扩大。为了满足超低温技术开发的需要,利用超导体的约瑟夫逊效应已开发出能检测  $10^{-6}\text{K}$  超低温传感器;利用热电偶测温最高可达  $3000^{\circ}\text{C}$ ,辐射温度传感器原理上最高可测  $10^5\text{K}$ ,而可控聚核反应理想温度要求  $10^8\text{K}$ ,仍是高温检测的新课题。核磁共振仪的测磁灵敏度已达到胎儿的心脏磁场值( $\approx 10^{-11}\text{T}$ ),但生物医学工程的发展,为能检测脑磁场值( $\approx 10^{-12}\text{T}$ ),只有 SQUID 器件问世才能实现。

#### 2. 提高测量精度及可靠性

科学技术的发展对检测精度的要求亦愈来愈高。仍以温度<sup>1)</sup>测为例,一般实用温度计的测温精度为  $\pm 0.1 \sim \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,标准铂电阻温度计的精度可达  $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 。人体各部位的温度分布构成温度场,病变时其变化量很小,需要用精度为  $\pm 10^{-2} \sim 10^{-3}^{\circ}\text{C}$  的温度计才能检测出来。在用于测量微生物的传感器中,则需要能分辨出小于  $10^{-3}^{\circ}\text{C}$  温差的热敏元件。

随着人类探求自然奥秘的范围不断扩大,检测环境变得越来越复杂,检测可靠性的要求也愈来愈高。例如,科学探测卫星里装有探测太空的各种参量的检测装置,不仅要求体积小,省电,而且要求具有极高的可靠性和工作寿命,需在极低温、强辐射下保持正常工作。

在现代化大规模连续生产过程中同样需要高精度、高可靠的检测装置。

#### 3. 开发检测的新领域与新技术

随着人类活动领域的扩大,测量对象也在扩展。目前检测技术正向宏观世界和微观世界

发展。航天技术、地球物理学、射电天文技术、海洋科学、地震预测预报、气象学等都要求测试技术满足观测、研究宏观世界的要求。细胞生物学、遗传工程、光合作用、医学、超微细加工技术等又希望检测技术跟上研究微观世界的步伐。检测的领域正向着自然界无限的物理量、化学量和生物量不断拓广。

开发无接触式检测技术取代接触式检测有着重要的意义。现已开发的无接触式检测技术有光、磁、超声波、同位素、微波等。但目前无接触式传感器尚存在检测精度不高、品类不多等问题,人们正在研究利用新的原理和方法开发新型无接触式传感器。

开发新的检测技术,关键在于开发新的传感器技术。当今,各种传感器的产量和使用量的比率见表 0-1。

表 0-1 各种传感器的生产量和使用量比率

传感器类型	比率%	产量	用 量				
			家用电器	计测控制	信息事务设备	汽车	防灾防盗
光电传感器	42.5	10	34	35	3	2	15
温度传感器	39.3	43	35	6	5	1	10
湿敏传感器	5.3	25	68		6		1
气敏传感器	6.3	1			26	70	3
压电传感器	4.1	1	80		18		1
磁敏传感器	2.5	70	20	7			2

#### 4. 传感器的微型化与智能化

在大规模集成电路技术和微机技术的支持下,传感器的发展出现了“多样、新型、集成、智能”的趋势。

(1) 新型 其含意有三方面。

① 采用新型敏感材料、新原理、新效应或新工艺。见表 0-2。

表 0-2 第一类新型传感器

新敏感材料	新原理、新效应	新工艺
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 新的薄膜材料:生物膜、离子敏膜、高分子、半导体、压电膜等</li> <li>2. 新半导体材料:单晶、多晶、非晶体</li> <li>3. 新玻璃材料</li> <li>4. 新的金属材料</li> <li>5. 各种新的陶瓷材料</li> <li>6. 各种新的化学材料</li> <li>7. 高温超导材料</li> <li>8. 新的稀土材料</li> <li>9. 新的射线敏感材料</li> <li>10. 新的液晶材料</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 新的物理效应:电光、磁光、声电、声光、热电、热磁、磁致伸缩、光致伸缩效应等</li> <li>2. 新的化学效应:利用新的化学效应,制成对被测量敏感的膜和场效应管(FET)</li> <li>3. 生物效应:广义的生物传感器还包括生化量(物理量和生物量自身)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 微细加工技术</li> <li>2. 薄膜加工技术</li> <li>3. 非金属材料的加工技术</li> <li>4. 超导材料、稀土材料的加工技术</li> </ol>

② 利用原有的物理、化学效应,根据被测物理量的要求,巧妙地运用于传感技术。如谐振传感器近年来广泛用于温度、湿度、气体和力等参数的测量。

③ 利用集成技术和计算机技术开发的新型传感器。

(2) 集成化 其含义也有三个方面。

① 将众多单体敏感元件集成在同一衬底上,构成一维或二维图象的敏感元件,主要用于光、图象传感器领域。例如作为工业视觉。电荷耦合器件(CCD)和MOS摄像元件就是典型的例子。

② 把传感器与放大、运算及温度补偿等环节集成在一个基片上,体积小,重量轻,可靠性和稳定性好。如集成压力传感器就是将硅膜片、压阻电桥、放大器和温度补偿电阻集成为一个器件,称为“热敏可控硅器件”。

③ 将两种或两种以上敏感元件集成在一起,称为多功能传感器。如用 $MgCr_2O_4-TiO_3$ 陶瓷做成的湿-气敏元件;用 $BaTiO_3-SrTiO_3$ 陶瓷材料制成温-湿度传感器等。

(3) 智能化 检测系统固体化、智能化的构成及发展过程如图0-2。可见,固体化和智能化的结果,逐渐模糊了检测系统和传感器的界限,智能化传感器本身就是智能化检测系统,从而开创了“材料、器件、电路、仪表”一体化的新途径。

仿生学的研究、微电子技术的发展及微处理机的应用为检测技术固体化、智能化发展开辟了广阔道路。但是真正的智能,今天还称不上,关键仍在于开发传感技术。例如相当于人的视觉、听觉、触觉和嗅觉的敏感元件已达到一定水平,而相当于味觉的敏感元件至今尚属空白。随着科学技术的发展,人们完全应该相信,检测技术必将攀登一个个新的高峰。

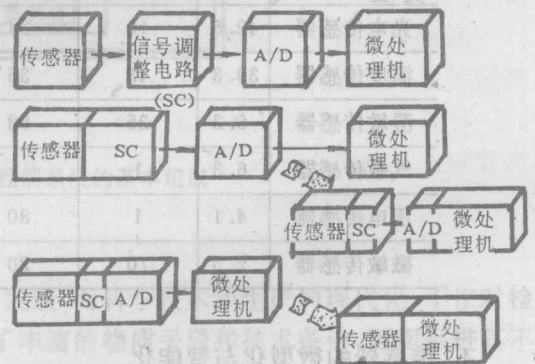


图 0-2 智能传感器的构成和发展过程

#### 四、课程的任务、特点和学习方法

##### 1. 课程的任务

本课程的主要任务,是传授工业生产过程中信息检测的微机化技术及常用技术。

自然界存在着极其广泛的信息,现将已能检测的量分类列于表0-3中。本书以传感器的原理进行分类,着重介绍了应变、电感(包括电涡流)、电容、压电(包括超声波)、磁敏、光电(包括光纤和激光)、热敏、气敏、湿敏、频率及数字等常见传感器的原理、结构、特性及应用。应用这些传感器,可以对绝大多数机械量及温度、压力、液位等热工量进行检测,还可实现湿度和气体参数的检测。

由于传感器输出信号的形式是多种多样的(如电阻变化、电容变化、电感变化、电压变化以及模拟、数字等),其电信号幅值也往往相差很大,因此对传感器输出信号需要进行预处理,使之变成统一的电信号,再进行数值的显示或记录。同时,对检测中的干扰和测量误差进行分析,并采取相应的有效措施;对采集到的数据也应进行分析和处理。能够完成以上过程

表 0-3 检测量及检测对象分类

类别	检测量及检测对象	
机械量	几何学量	长度、位移、应变、厚度、角度、角位移
	运动学量	速度、角速度、加速度、角加速度、振动、频率、时间
	力学量	力、力矩、应力、质量、荷重
物理量	流体量	压力、真空度、液位、粘度、流速、流量
	温度	温度、热量、比热
	电量	电流、电压、电场、电荷、电功率、电阻、电感、电容、电磁波
	磁场	磁通、磁场强度、磁感应强度
	光	光度、照度、色、紫外光、红外光、可见光、光位移
	湿度	湿度、露点、水分
	放射线	$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线
	化学量	气体、液体、固体分析、pH 值、浓度
生物量	酶、微生物、免疫抗原、抗体	

的、完整的检测系统,其基本组成如图 0-3 所示。其中,图 0-3(a)为常规检测系统的组成框图,它能完成信息的检取,变换、显示或记录以及数据处理等。微机化检测系统能够实现自动检测。其组成大致分两类:一类是内含微处理器;另一类是由各不含微处理器的检测装置通过微机联成系统。无论哪种类型,都含有图 0-3(b)所示的组成部分。

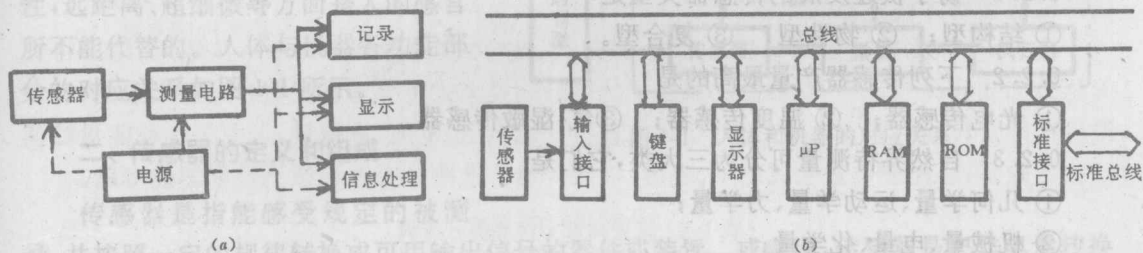


图 0-3 检测系统的基本组成框图

(a)常规检测系统框图 (b)微机化检测系统框图

本课程以微机化检测系统为主线,把各部分内容有机地组合成一个完整的知识体系,同时也照顾到常规检测系统的有关知识。因此,对本课程的学习,提出以下几点要求。

- (1) 熟悉传感器的原理、结构、特性和应用,能根据需要合理选用传感器。
- (2) 掌握检测中信号的特点和抗干扰技术;熟悉传感器接口电路和信号处理电路技术;了解新型仪表电路技术。从而明确如何获得可测量的信号并生成控制信号。
- (3) 了解常用显示和记录技术,建立一般的检测系统;掌握误差分析和数据处理技术。从而明确如何获取正确的测量结果。
- (4) 了解电动仪表概况,掌握其使用技术,以适应工业生产现状,并作为引入微机应用的依据。

(5) 能综合运用微机、检测等方面的技术组成微机化检测系统,为企业技术改造、安装和使用新设备、提高工业生产过程自动化程度奠定基础。

## 2. 课程的特点和学习方法

(1) 本课程是一门知识和技术都很密集的新型学科。直接与本课程有关的基础有数学、物理学、工程力学、电工学、电子学、仪器零件、自动控制理论、数字技术、微机原理等。因此,在学习时,必须对相关课程有一定的基础和回顾。

(2) 本课程各章内容相互独立,自成体系,联系松散。学习时可能会感到找不到重点,摸不着规律。在学习时应以检测对象为基点,传感器及其接口与处理电路为基础,检测系统为目标,即沿着检测对象→传感器→测量电路→测量指示的路线,把各部分内容联系起来。

(3) 本课程是一门实践性很强的应用技术。学习时务必联系实际,着眼于应用。要富于设想,善于借鉴,乐于实践,勇于开拓,学而用之。

## 练 习 题

0.1.1 检测是利用①把②检取出来,并转换成③,或④,实现⑤。

0.1.2 在自然界极其广泛的待测量中,现已能检测的机械量有①、②、③。

0.1.3 基本检测系统应能完成①。其组成包括②、③、④、⑤四大部分。微机化检测系统大致可分为⑥、⑦两类,它由⑧等部分组成。

0.1.4 熟悉传感器的①,目的在于②。熟悉传感器接口电路和信号处理电路,以明确如何获得③。掌握误差分析和数据处理技术,以明确如何获取④。

0.1.5 在学习本课程时,应沿着①②③④的路线,把各部分内容联系起来。

0.2.1 易于快速发展的传感器类型是

① 结构型; ② 物性型; ③ 复合型。

0.2.2 下列传感器产量最高的是

① 光电传感器; ② 温度传感器; ③ 气-湿敏传感器。

0.2.3 自然界待测量可分为三大类,它们是

① 几何学量、运动学量、力学量;

② 机械量、电量、化学量;

③ 物理量、化学量、生物量。

\* 本书每章所附的练习题分为:一填空回答,二鉴别选择,三应用计算三大类型。题号按章类编序。填空内容标号为①②……作题时只需写明题号、答案标号和答案内容。

# 第一章 基础知识

检测是利用各种物理效应、化学效应(或反应)以及生物效应,将物质世界有关信息检取出来,再通过测量的方法赋以定性或定量概念的过程。实践证明,如要良好地完成预定的检测任务,就必须充分掌握测量的基本理论、测量的方法、检测的常用器件(在微机化检测系统中,对各种仪器、仪表、传感器或测量装置等的统称)等基本知识。因此,本章系统地讲述了传感器的基本概念、测量的基本概念、测量误差的分析与处理以及测量数据的处理等有关知识,最后给出测量结果的正确表示方法。

## 1-1 传感器的基本概念

### 一、传感器的作用

发展科学技术的目的,无非是用机器代替和扩充人体劳动以提高生产力。蒸气机为把人类从繁重的体力劳动中解放出来曾做出巨大贡献;电子计算机在某些领域代替并扩充了人类的脑力劳动;传感器则相当于人的五种感官,它在工业生产中起着工业耳目的作用,并且在诸如高温、高湿、深井、高空等环境及高精度、高可靠性、远距离、超细微等方面是人的感官所不能代替的。人体与机器各功能部分的对应关系如图 1-1 所示。

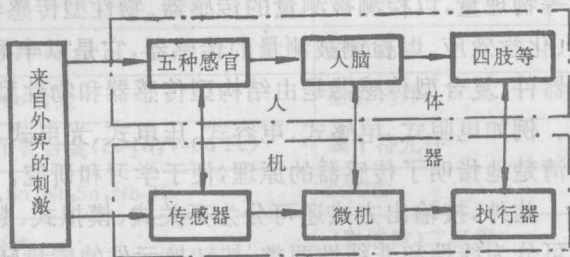


图 1-1 人体和机器的对应关系

### 二、传感器的定义和组成

传感器是指能感受规定的被测量,并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。或者说,传感器是把非电量转换成电量的装置。传感器通常由敏感元件、转换元件及测量电路组成,如图 1-2 所示。

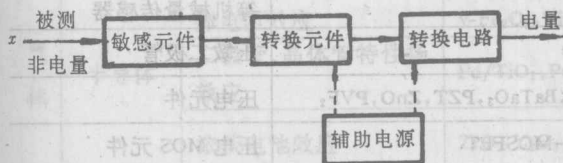


图 1-2 传感器的组成框图

敏感元件是指传感器中能直接感受(或响应)被测量的部分。在完成非电量到电量的变换时,并非所有的非电量都能利用现有手段直接转换成电量,往往是先变换为另一种易于变成电量的非电量,然后再变换成电量。如传感器中各种类型的弹性元件常被称为弹性敏感元件。

转换元件是指能将感受到的非电量直接转换成电量的器件或元件。如光电池将光的变化量转换为电势,应变片将应变转换为电阻量等。

测量电路是指将转换元件输出的电量转换成便于显示、记录、控制和处理的有用电信号的电路。常用的转换电路有电桥电路、脉冲调宽电路、谐振电路等,它们将电阻、电容、电感等电参量转换成电压、电流或频率;以及放大微弱电量的高输入阻抗放大电路等。

需要指出的是,并非所有的传感器都包括以上部分。有些传感器的敏感元件和转换元件可合二为一,如压电晶体、光电器件等。有些传感器的转换元件能直接输出可用电信号而无需测量电路,如热电偶可直接驱动动圈仪表。

辅助电源为实现从电参量到电量的转换,或为放大电信号提供电能。

### 三、传感器的分类

传感器的种类很多,目前尚没有统一的分类方法,下面介绍几种常用分类方法。

#### 1. 按输入量(被测对象)分类

输入量即被测对象的分类见表 1-1。相应传感器可分为物理量传感器、化学量传感器和生物量传感器三大类。其中,物理量传感器又可分为温度传感器、压力传感器、位移传感器……。这种分类方法给使用者提供了方便,容易根据被测对象选择所需要的传感器。

#### 2. 按测量原理分类

从传感器的转换原理来说,通常分为结构型、物性型和复合型三大类。结构型传感器是利用机械构件(如金属膜片等)的变形或位移,将外界被测参数转换成相应的电阻、电感、电容等物理量,以检测被测量的传感器。物性型传感器是利用材料的固态物理特性及其各种物理、化学效应,以检测被测量的传感器,它是以半导体、电介质、铁电体等作为敏感材料的固态器件。复合型传感器是由结构型传感器和物性型传感器组合而成的、兼有两者特征的传感器。例如电阻式、电感式、电容式、压电式、光电式、热敏、气敏、湿敏、磁敏……。这种分类方法清楚地指明了传感器的原理,便于学习和研究。

此外,按输出方式还可分为开关式、模拟式、数字式(参看第十四章);按输入、输出特性又可分为线性和非线性两类;按转换元件的能量转换方式可分为有源型和无源型两类,有源型也称能量转换型或发电型,它把非电量直接变成电压、电流、电荷量,无源型也称能量控制型或参数型,它把非电量变成电阻、电容、电感等量。这些分类方法便于设置测量电路。

表 1-1 主要物性型传感器分类表

	材 料	利用的物理效应	主要 材料	传感器举例
非 应 变	半 导 体	压阻效应	Si, Ge, GaP, InSb	应变片, 应力计, 流量计等机械量传感器
		PN 结受压力变化	Si, Ge	压敏二极管
	压 电 体	压电效应	石英, BaTaO <sub>3</sub> , PZT, ZnO, PVF <sub>2</sub>	压电元件
		表面弹性波延迟效应	ZnO+MOSFET	压电 MOS 元件
	强磁性体	磁应变效应	坡莫合金, Ni, 铁氧体, 铝铁合金	磁应变元件

温度	半导体	电阻变化	金属氧化物, Si, Ge, 有机半导体	热敏电阻
			同上, InSb, Hg-Te-Cd, Sn-Pb-Te	热辐射计
		二极管, 晶体管, 可控硅特性变化	Si, Ge, GaAs	二极管, 晶体管可控硅
		PN 结电动势效应	$\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ , InSb, Hg-Cd-Te, Sn-Pb-Te	热电偶
	电介质	介电系数变化	$\text{BaTiO}_3$	强介电质温敏元件
		压电效应	PZT, PLZT	驻极(电介)体温敏元件
		热电效应	TGS, $\text{LiTaO}_3$ , PZT, $\text{PbTiO}_3$ , $\text{PVF}_2$	
强磁性体	导磁率变化	铁氧体等	强磁性体温敏元件	
光	半导体	电导率变化	CdS, CdSe, a-Si : H	光敏电阻
		光电动势效应	Si, Ge	光敏二极管、雪崩二极管、光敏晶体管、固体摄像光敏元件、肖特基光敏二极管
		肖特基势垒效应	Pt-Si	
磁	半导体	霍尔效应	Si, Ge, GaAs, InAs	霍尔元件
		PIN 二极管中的磁阻效应	Ge	磁敏二极管
		磁阻效应	InSb, InAs	磁阻元件
	强磁性体	磁阻效应	Ni-Co 合金	磁阻元件
		魏干特效应	魏干特合金 (Fe-Ni, V-Co-Fe)	魏干特元件
超导体	约瑟夫逊效应	Pb, Sn, $\text{Nb}_3\text{Sn}$ , Nb-Ti	SQUID	
放射线	半导体	PN 结电动势效应	Si, Ge	(射线敏) 二极管
			渗入 Li 的 Ge, Si, $\text{HgCl}_2$	PIN 二极管
			Au-Si	肖特基二极管
			金属-聚酯膜-Ge	MIS 二极管
	二次电子倍增作用	玻璃半导体(氧化铝系, NESA 膜系)陶瓷半导体( $\text{BaTiO}_3$ , $\text{ZnTiO}_3$ )	沟道二次电子倍增管	
气体	半导体	表面电阻效应	$\text{SnO}_2$ , ZnO	气敏(电阻)元件
		体电阻效应	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , CoO-MgO, $\text{Al}_2\text{O}_3$	
		二极管、晶体管特性场效应	Pd/ $\text{TiO}_2$ , Pd-MOS	MOS 气敏二极管, MOSFET(气敏)
	浓淡电池效应	$\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$	浓淡电池型气体传感器	
温度水分	半导体	电阻效应	$\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ , $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$	湿敏元件(湿度传感器)
		电容效应	$\text{F}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$	
	有机物	谐振频率效应	聚酰胺+石英振子	
	电解质	电阻效应	$\text{LiCl}$ , $\text{P}_2\text{O}_5$	
	电介质	电容效应	$\text{K}_2\text{PO}_3$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$	



#### 四、传感器的基本特性

传感器的特性参数有很多,且不同类型的传感器,其特性参数的要求和定义也各有差异,难以一一列举。下面仅介绍主要的、通用的静态特性参数指标的定义,它包括灵敏度、分辨力(或分辨率)、测量范围及误差特性。

##### 1. 灵敏度

灵敏度是指稳态时传感器输出量  $y$  和输入量  $x$  之比,或输出量  $y$  的增量和相应输入量  $x$  的增量之比。用  $k$  表示为

$$k = \frac{\text{输出量增量}}{\text{输入量增量}} = \frac{dy}{dx} \quad (1-1)$$

线性传感器的灵敏度  $k$  为一常数;非线性传感器的灵敏度  $k$  是随输入量变化的量。

##### 2. 分辨力

传感器在规定的测量范围内能够检测出的被测量的最小变化量称为分辨力。它往往受噪声的限制,所以一般用相当于噪声电平( $N$ )若干倍( $C$ )的被测量表示,即

$$M = \frac{CN}{k} \quad (C \text{ 取 } 1 \sim 5) \quad (1-2)$$

式中,  $M$  为最小检测量。

实际中,分辨力可用传感器的输出值表示,常与分辨率通用。数字式传感器的分辨率则指末位显示一个字所代表的输入量。

##### 3. 测量范围和量程

在允许误差限内,被测量值的下限到上限之间的范围称为测量范围。上限值与下限值的差称为量程。如某温度计的测量范围是  $-20 \sim 100^\circ\text{C}$ ,则量程为  $120^\circ\text{C}$ 。

##### 4. 线性度(非线性误差)

在规定条件下,传感器校准曲线与拟合直线间最大偏差与满量程( $F \cdot S$ )输出值的百分比称为线性度。如图 1-3 所示。用  $\gamma_L$  代表线性度,则

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{F \cdot S}} \times 100\% \quad (1-3)$$

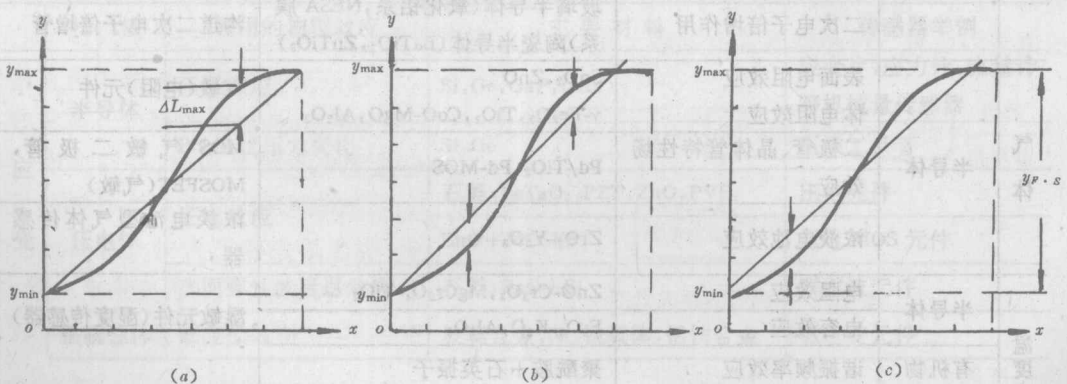


图 1-3 传感器的线性度示意图

(a)端基线性度 (b)零基线性度 (c)独立线性度