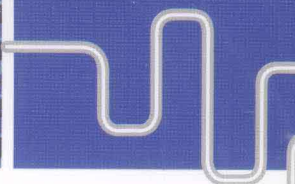
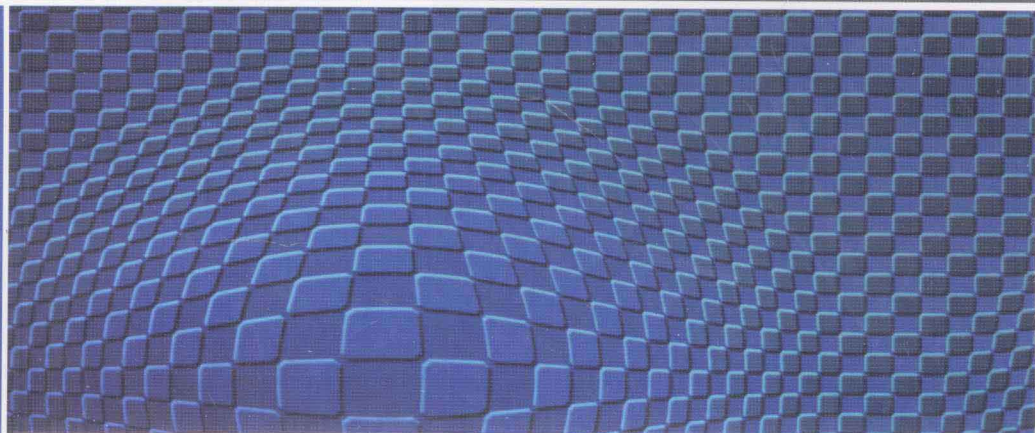


高职高专电子类专业规划教材

CHUANGANQI YUANLI JI YINGYONG



传感器原理及应用

曹光跃 主编

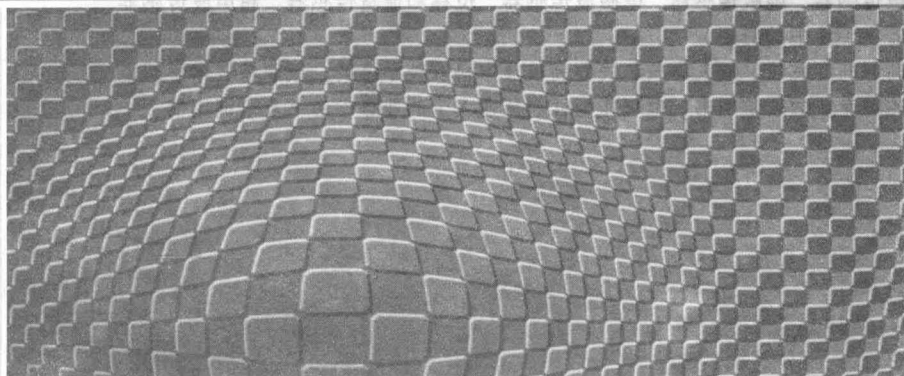
徐文璞 副主编



化学工业出版社

高职高专电子类专业规划教材

CHUANGANQI YUANLI JI YINGYONG



传感器原理及应用

曹光跃 主编

徐文璞 副主编

传感器原理及应用

曹光跃 主编 徐文璞 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是高职高专电子类专业规划教材系列之一。

本教材内容丰富,涵盖面广,语言精练。全书共分14章,主要内容包括传感器基础、传感器与测量技术、电容式传感器、电感传感器、力敏传感器、热敏传感器、气敏传感器、磁敏传感器、光敏传感器、湿敏传感器、电磁波传感器、位移和流量传感器、超声波传感器和其他类型传感器在工业中的应用。

本书可作为高职高专院校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电子类、通信类及相关专业的教学用书,也可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理及应用/曹光跃主编. —北京:化学工业出版社,
2010.5

高职高专电子类专业规划教材

ISBN 978-7-122-07920-6

I. 传… II. 曹… III. 传感器-高等学校:技术学院-教材
IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第040637号

责任编辑:廉静刘哲

文字编辑:徐卿华

责任校对:宋夏

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张13¼ 字数353千字 2010年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

传感器是近年来发展速度最快的高新技术产品之一。传感器技术、通信技术及计算机技术并称信息科学的三大支柱,分别代表了现代工业控制系统的“感觉器官”、“神经”和“大脑”。

信息科学是众多科学领域中发展最快的一门学科,也是最具有发展活力的学科之一。信息科学中的三个环节(信息捕获、信息传输和信息处理)中,信息捕获技术处于信息科学的最前沿。而作为信息处理手段的计算机技术的高速发展,使得信息捕获技术,或者说是传感器技术和检测技术相对滞后。

当今世界先进工业国家正处于由“工业经济”向“信息经济”模式转变的时期,其中技术进步因素起着极为重要的作用,它在经济增长中占70%~80%。以高新技术为核心,以信息电子化为手段,提高工业产品附加值已经成为现代工业自动化重要的发展目标。

世界各国都赋予极大的重视,投以大量人力和财力进行传感器技术的研究和开发应用。传感器技术在自动检测、自动控制、自动测量领域中起着决定性作用。在现代信息社会中,从宇宙探索,到海洋开发,从生产过程的控制,到现代文明生活,几乎每一项现代科学技术、每一个生活项目都离不开传感器技术。在工业、农业、国防、科研等各个领域,传感器得到了广泛应用,并呈现着极好的广阔前景。

本书编写的目的就在于向广大读者提供一本全面介绍传感器技术的书籍。

应该说,传感器技术不是一门独立的技术,它和检测技术、信息传递和处理技术密切相关,几乎是一个不可分割的总体。所以,在编写过程中,充分注意到传感器及其接口技术,使读者尽量能从系统的角度学习、研究传感器。

本书共分14章。首先介绍了传感器的基础知识以及检测技术,然后详细介绍了当前应用最多的几类传感器,如电容、电感式传感器,力敏、热敏、气敏、磁敏、光敏、湿敏传感器,同时也花一定的篇幅介绍了位移、流量、电磁波、超声波传感器以及传感器最新发展动态,比如电化学传感器、生物传感器、智能传感器等。

本书内容偏重于实际应用,新颖全面,涵盖较广,知识点明确,适于高等职业院校仪器仪表专业、测试专业、电子应用专业以及信息专业的教学用书,亦可供相关专业的工程技术人员参考。

全书由安徽电子信息职业技术学院曹光跃担任主编,并编写了第3~8章,并对全书作了统筹安排;蚌埠学院徐文璞(教授级高工)编写了第9~13章;蚌埠学院张会影编写了第1、2、14章。

由于编者水平所限,书中疏漏和不妥之处敬请广大读者批评指正。

编者

2010年1月

第 1 章 传感器基础	1
1.1 传感器的定义与组成	1
1.1.1 传感器的定义	1
1.1.2 传感器组成	2
1.1.3 对传感器的一般要求	2
1.1.4 自动测控系统与传感器	2
1.1.5 自动测控系统例	3
1.2 传感器的分类	4
1.2.1 按被测量分类	5
1.2.2 按传感器工作原理分类	5
1.3 传感器的基本特性	7
1.3.1 传感器的静态特性	8
1.3.2 传感器的动态特性	11
1.4 传感器的标定	14
1.4.1 传感器的静态特性标定	14
1.4.2 静态标定例——电涡流传感器的静态标定	15
1.5 传感器接口电路	16
1.5.1 传感器输出信号的特点	16
1.5.2 典型的传感器接口电路	16
思考题	18
第 2 章 传感器与测量技术	19
2.1 电参量测量技术	19
2.1.1 电压的测量	19
2.1.2 阻抗的测量	21
2.1.3 交流阻抗及 L 、 C 的测量	22
2.1.4 频率的测量	24
2.1.5 时间间隔的数字测量	25
2.1.6 相位差的数字测量	25
2.2 检测技术基础	26
2.2.1 测量与测量方法	26
2.2.2 测量系统	27
2.3 传感器信息融合	28
2.3.1 信息融合的概念	28
2.3.2 传感器信息融合的应用	28
2.3.3 传感器信息融合的分类	29
2.3.4 信息融合的结构	29

2.3.5 传感器信息融合的一般方法	30
2.3.6 传感器信息融合的实例	30
2.4 传感器网络	31
2.4.1 传感器网络的作用	31
2.4.2 传感器网络的结构	31
2.4.3 传感器网络信息交换体系	32
2.5 传感器技术的发展	33
2.5.1 传感器新技术的发展	34
2.5.2 改善传感器性能的技术途径	35
思考题	35

第3章 电容式传感器 36

3.1 电容式传感器工作原理和类型	36
3.1.1 工作原理	36
3.1.2 变极距型电容式传感器	36
3.1.3 变面积型电容式传感器	37
3.1.4 变介电常数型电容式传感器	39
3.2 电容式传感器的信号测量及转换电路	40
3.2.1 电容式传感器等效电路	40
3.2.2 调频测量电路	41
3.2.3 电桥电路	41
3.2.4 二极管双T形交流电桥	42
3.2.5 差动脉冲宽度调制电路	42
3.2.6 运算放大器式电路	43
3.3 电容式传感器的特点及应用	44
3.3.1 差动式电容测厚传感器	44
3.3.2 电容式料位传感器	45
3.3.3 电容式接近开关	45
3.3.4 液体燃料测量	45
思考题	46

第4章 电感式传感器 47

4.1 自感式传感器	47
4.1.1 工作原理	47
4.1.2 测量电路	50
4.1.3 变磁阻式传感器的应用	53
4.2 差动变压器式传感器	53
4.2.1 变隙式差动变压器工作原理	53
4.2.2 误差因素分析	54
4.2.3 差动变压器式传感器测量电路	55
4.2.4 差动变压器式传感器的应用	57
4.3 电涡流式传感器	58
4.3.1 工作原理	58

4.3.2	电涡流传感器测量电路	59
4.3.3	涡流式传感器的应用	60
4.4	感应同步器	62
4.4.1	直线式感应同步器	62
4.4.2	信号处理方式	63
思考题		63
第5章	力敏传感器	64
5.1	弹性敏感元件	64
5.1.1	弹性敏感元件的特性	64
5.1.2	弹性敏感元件的分类	64
5.2	电阻应变式传感器	66
5.2.1	应变电阻的概念	66
5.2.2	电阻应变片的测量电路	69
5.2.3	应变式传感器的应用	72
5.3	压电式传感器	72
5.3.1	压电效应及压电材料	73
5.3.2	压电式传感器等效电路	75
5.3.3	压电式传感器测量电路	76
5.3.4	压电式传感器的应用	77
5.4	压磁式传感器	80
5.5	压阻式传感器(半导体压力应变片)	82
思考题		83
第6章	热敏传感器	85
6.1	温度测量概述	85
6.1.1	温度的概念	85
6.1.2	温标	85
6.1.3	热敏传感器的基本概念	86
6.1.4	热敏传感器分类	87
6.1.5	热敏传感器的发展概况	87
6.2	热电偶传感器	88
6.2.1	热电偶测温原理	88
6.2.2	热电偶的结构形式及热电偶材料	90
6.2.3	热电偶测温及参考端温度补偿	91
6.2.4	热电偶的常用材料	93
6.3	金属热电阻传感器	94
6.3.1	铂热电阻的电阻-温度特性	95
6.3.2	铜热电阻的电阻-温度特性	95
6.4	半导体热敏电阻	95
6.4.1	热敏电阻的特点与分类	95
6.4.2	热敏电阻的基本参数与特性	96
6.4.3	热敏电阻温度测量非线性修正	98

6.5 负温度系数热敏电阻	98
6.5.1 NTC 热敏电阻性能	98
6.5.2 NTC 热敏电阻主要特性	98
6.6 热敏传感器应用实例	99
6.6.1 双金属热敏传感器的应用	99
6.6.2 热敏电阻传感器的应用	100
6.6.3 晶体管热敏传感器的应用	101
6.6.4 集成热敏传感器应用举例	101
6.6.5 家用空调专用热敏传感器	102
思考题	102
第7章 气敏传感器	103
7.1 半导体型气敏传感器	103
7.1.1 半导体气敏传感器工作原理	104
7.1.2 电阻型气敏传感器结构	105
7.1.3 非电阻型半导体气敏传感器	107
7.1.4 半导体气敏元件的特性	108
7.2 接触燃烧式气敏传感器	108
7.2.1 检测原理	109
7.2.2 接触燃烧式气敏元件的结构	110
7.3 其他气敏传感器	110
7.3.1 固体电解质式气敏传感器	110
7.3.2 电化学式气敏传感器	111
7.4 气敏传感器的应用	111
7.4.1 气敏传感器常用电路	112
7.4.2 烟雾传感器	112
7.4.3 气敏报警器	113
7.4.4 实用酒精测试仪	113
思考题	114
第8章 磁敏传感器	115
8.1 磁电感应式传感器	115
8.1.1 磁电感应式传感器工作原理	115
8.1.2 磁电感应式传感器基本特点	116
8.1.3 磁电感应式传感器的测量电路	117
8.1.4 磁电感应式传感器的应用	117
8.1.5 磁栅式传感器	118
8.2 霍尔磁敏传感器	119
8.2.1 霍尔效应及霍尔元件	119
8.2.2 霍尔传感器及其应用	120
8.3 其他半导体磁敏传感器	122
8.3.1 磁敏二极管	123
8.3.2 磁敏三极管	124

8.4 磁敏电阻	127
8.4.1 磁阻效应	127
8.4.2 磁阻元件的主要特性	127
8.4.3 磁敏电阻的应用	128
思考题	128
第9章 光敏传感器	129
9.1 光电传感器	129
9.1.1 基本概念	129
9.1.2 光子传感器	130
9.1.3 光电耦合器件	135
9.1.4 光电传感器的应用	136
9.2 电荷耦合器件 CCD	138
9.2.1 CCD 器件的工作原理	139
9.2.2 CCD 图像传感器的应用	140
9.3 CMOS 图像传感器	142
9.3.1 光敏二极管型 CMOS 图像传感器结构	142
9.3.2 CMOS 的特点	142
9.3.3 CMOS 的应用	143
9.4 光纤传感器	143
9.4.1 光导纤维导光原理	143
9.4.2 光纤传感器	145
9.4.3 光纤传感器的调制器原理	146
9.4.4 光纤传感器的应用	147
9.5 红外传感器	149
9.5.1 红外辐射的概念	149
9.5.2 红外传感器分类	149
9.5.3 热释电红外传感器的结构	150
9.5.4 红外传感器的一般组成	151
9.5.5 红外传感器的应用	151
9.6 激光传感器	153
9.6.1 激光的概念	153
9.6.2 激光传感器的应用	154
9.7 色敏传感器	155
9.7.1 半导体色敏传感器	155
9.7.2 半导体色敏传感器的应用	156
思考题	157
第10章 湿敏传感器	158
10.1 湿敏传感器概述	158
10.1.1 湿度与露点	158
10.1.2 湿敏传感器的主要性能指标	159
10.1.3 含水量检测方法	159

10.1.4 湿敏传感器分类·····	160
10.2 半导体陶瓷湿敏电阻·····	160
10.3 湿敏传感器·····	161
10.3.1 陶瓷型湿敏传感器·····	161
10.3.2 有机高分子湿敏传感器·····	162
10.3.3 半导体型湿敏传感器·····	163
10.4 湿敏传感器常用检测电路·····	163
10.4.1 检测电路的选择·····	163
10.4.2 典型测量电路·····	163
10.5 湿敏传感器应用·····	164
思考题·····	165
第 11 章 电磁波传感器 ·····	166
11.1 微波传感器·····	166
11.1.1 微波传感器的测量原理·····	166
11.1.2 微波传感器的组成·····	166
11.1.3 微波传感器的特点·····	167
11.1.4 微波传感器的应用·····	167
11.2 核辐射传感器·····	171
11.2.1 核辐射的特性·····	171
11.2.2 核辐射传感器·····	173
11.2.3 核辐射传感器的应用举例·····	174
思考题·····	175
第 12 章 位移、流量传感器 ·····	176
12.1 位移传感器·····	176
12.1.1 机械位移传感器·····	176
12.1.2 光栅位移传感器·····	177
12.1.3 磁栅位移传感器·····	179
12.1.4 接近传感器·····	179
12.1.5 转速传感器·····	180
12.1.6 多普勒传感器·····	181
12.2 流量及流速传感器·····	182
12.3 液位传感器·····	183
思考题·····	185
第 13 章 超声波传感器 ·····	186
13.1 声波与超声波·····	186
13.2 超声波传感器·····	188
13.3 超声波传感器的应用·····	190
思考题·····	197
第 14 章 其他类型传感器 ·····	198
14.1 机器人传感器·····	198

14.1.1	触觉传感器	198
14.1.2	接近觉传感器	199
14.1.3	视觉传感器	200
14.1.4	听觉、嗅觉、味觉及其他传感器	200
14.2	谐振式传感器	201
14.2.1	谐振式传感器概述	201
14.2.2	谐振式传感器工作原理	201
14.2.3	振动筒式传感器	202
14.3	电化学生物传感器	204
14.3.1	酶传感器	204
14.3.2	免疫传感器	205
14.3.3	细胞传感器	206
14.3.4	其他生物传感器	206
14.3.5	生物传感器的信号转换器	206
14.4	智能传感器	207
14.4.1	智能传感器概述	207
14.4.2	计算型智能传感器基本结构	208
14.4.3	智能传感器实例	208
	思考题	209
	参考文献	210

第 1 章

传感器基础

在人类进入信息时代的今天，人们的一切社会活动都是以信息获取与信息转换为中心。信息科学是众多科学领域中发展最快的一门科学，也是最具有发展活力的学科之一。信息科学中的三个环节（信息捕获、信息传输和信息处理）中，信息捕获技术处于信息科学的最前沿。

科学研究与自动化生产过程要获取的环境信息，要通过传感器获取并通过传感器转换为易于传输与处理的电信号。没有传感器，现代化生产就失去了基础。20 世纪 80 年代以来，世界各国都将传感器技术列为重点发展的高新技术，备受重视。

传感器是被研究的对象与测试分析系统之间的接口，处在检测系统最开始的位置，是检测控制系统与外部环境的信息通道，是获取信息的主要途径与手段，也是信息转换的重要手段。

人通过五官感觉外界对象的刺激，通过大脑对感受的信息进行判断、处理，肢体作出相应的反应。如果说，机械是人类的体力的延伸，计算机是人类智力的延伸。那么，传感器则是人类对环境感知力的延伸，称之为电五官（视、听、嗅、味、触）。

人与机器的机能对应关系见图 1-1。

传感器是一种能将非电物理量、化学量、生物量等转换成电信号的器件。输出信号有不同的表现形式，能满足信息传输、处理、记录、显示、控制要求，是自动检测和自动控制系统中不可缺少的器件。

传感器已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、甚至文物保护等极其广泛的领域。从茫茫的太空到浩瀚的海洋，以至于各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。

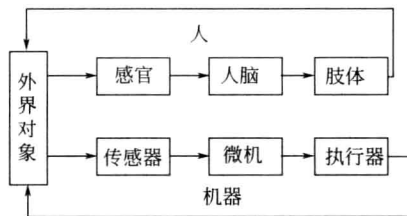


图 1-1 人与机器的机能对应关系图

1.1 传感器的定义与组成

1.1.1 传感器的定义

国际电工委员会（International Electrotechnical Committee, IEC）对传感器的定义为：传感器是测量系统中的一种前置部件，它将输入变量转换成可供测量的信号。

中华人民共和国国家标准 GB7665—87 中关于传感器（Transducer Sensor）的定义是：能够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。

定义中包含了以下几个方面的内容。

- ① 传感器是测量装置，能完成检测任务。
- ② 输入量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量、生物量等。

③ 输出量可以是气、光、电物理量，主要是电物理量。输出量应该便于传输、转换、处理、显示。

④ 输出输入有一定的对应关系，且应有相当的精确程度。

在不同的科学领域，国内外对传感器的称呼有所不同。

国外：Transducer, Sensor, Transduction Element, Converter, Gauge, Transponder, Transmitter, Detector, Pick-up, Probe, X-meter。

国内：传感器、换能器、变换器、敏感器件、探测器、检出器、检测器， $\times\times$ 计（如加速度计）。

如在电子技术领域，常把能感受信号的电子元件称为敏感元件，如热敏元件、磁敏元件、光敏元件、气敏元件等，在超声波技术中则强调的是能量的转换，如压电式换能器。而机械加工领域，则一般叫 $\times\times$ 器，比如加速度器、流量计等。而“传感器”则是使用最为广泛而概括的名词。

1.1.2 传感器组成

传感器通常由敏感元件、转换元件、接口电路及辅助电源等几部分组成，如图 1-2 所示。

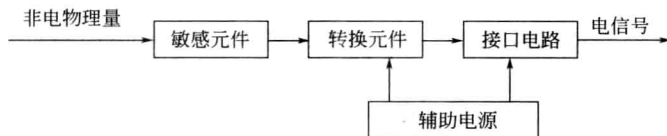


图 1-2 传感器组成框图

敏感元件：直接感受被测量，并输出与被测量有确定关系的信息。

转换元件：将敏感元件感受或响应被测量的信息转换成适于传输或测量的电信号。

接口电路：完成信号的放大、调制以及输出。

1.1.3 对传感器的一般要求

在工业控制系统中，对传感器的一般要求如下。

① 稳定性、可靠性：传感器在工作中应具有高的稳定性以及高可靠性，通常用平均无故障时间来衡量稳定性和可靠性。

② 静态精度：指传感器对微小变化的识别能力，传感器精度应满足系统的精度要求。

③ 动态性能：传感器工作时的各种动态参量，如响应速度、工作频率、稳定时间等。

④ 量程：测量被测量的范围。

⑤ 抗干扰能力：传感器能克服工业现场较恶劣的干扰环境，安全稳定运行。

⑥ 体积小、能耗低、成本低。

1.1.4 自动测控系统与传感器

自动检测和控制技术是人们对自然界物质特性及其运动规律进行了解、掌握乃至控制的技术。自动测控系统是检测器、控制器与研究对象的总和。

世界是由物质组成的，能表征其物质特性以及运动形式的参数很多，物质的电特性可分为电量和非电量两类。非电物理量不能直接使用电子仪器测量，也不能直接用现代信息处理设备比如计算机进行处理。非电量需要转换成与非电量有一定关系的电量再进行测量，而实

现信号检测并转换的设备就是传感器。

一个完整的自动测控系统,一般由传感器、测量电路、显示记录装置和调节执行装置、电源等几部分组成。自动控制系统有两种基本形式,即开环控制和闭环控制。

(1) 开环控制

开环控制是指被控对象在控制设备中间为单向传输,被控量(系统输出)不影响系统的控制方式,而且在控制设备的输出端和输入端之间不存在反馈联系。开环控制示意图见图 1-3。

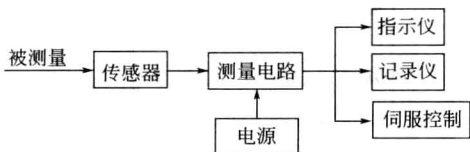


图 1-3 开环自动测控系统框图

(2) 闭环控制

被控量参与系统控制的方式称为闭环控制方式。闭环控制的特点是在控制器和被控对象之间,不仅存在着正向传输,而且还存在着反向传输。被控量时刻被检测(或再经过某种信号变换),并通过反馈通道送回到比较元件和给定值进行比较,比较的结果影响系统的控制方式。闭环控制从原理上提供了实现高精度控制的可能性,对控制元件的要求比开环控制方式相对要低。

闭环自动测控系统框图如图 1-4 所示。

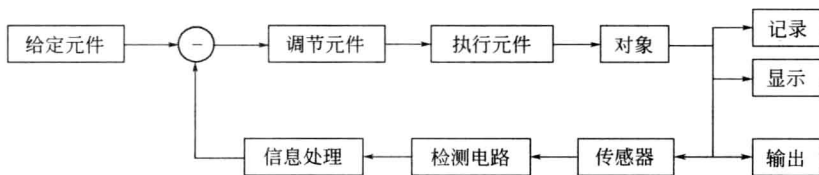


图 1-4 闭环自动测控系统框图

一般来说,开环控制结构简单、成本低,因此,当系统的输入信号及扰动作用能预先知道并且系统要求精度不高时,可以采用开环控制。由于开环控制不能自动修正被控制量的偏离,因此系统的元件参数变化以及外来未知扰动对控制精度的影响较大。

闭环控制具有自动修正被控制量出现偏离的能力,因此可以修正元件参数变化及外界扰动引起的误差,其控制精度较高。

1.1.5 自动测控系统例

(1) 粮仓温度、湿度检测

无论是金属粮仓还是土仓,为防止霉变,粮食都是分层存放,仓内温度和湿度不能超过一定的限度。

为此,需在各层安放温湿度传感器进行检测。将各层探头输出接至巡回检测仪上,通过巡回检测仪的监视器监视各点温湿度情况,并通过控制通风口来保证温湿度在要求范围内。装有温湿度探头的粮仓示意图如图 1-5 所示。

(2) 楼层感温、感烟火灾报警器

火情监控系统组成框图如图 1-6 所示。

可在每一房间安放一对感温、感烟传感器,它们输出温度以及浓度信号,通过串行通信设备送入由微机组成的检测系统(集中控制器);集控器负责汇总各房间的温度和烟雾浓度信号,并监控各房间温度、烟雾浓度是否异常,若异常,则进行声光报警并打开喷淋设备灭火。

各层集控器通过 CAN 总线、M-BUS 总线等现场总线将温度、烟雾浓度等信号送入中央监控计算机,值班人员在电脑屏幕上直接监视各房间情况。

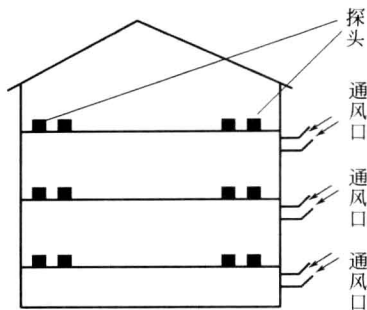


图 1-5 装有温湿度探头的粮仓示意图

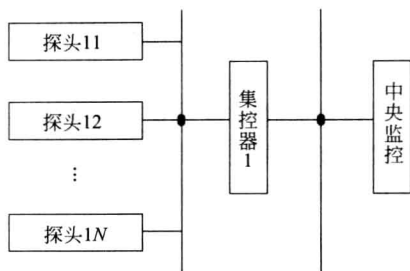


图 1-6 火情监控系统组成框图

1.2 传感器的分类

传感器技术是一门知识密集型技术，它与许多学科有关。传感器的原理各种各样，种类名目繁多，所以分类的方法也不尽相同。

传感器的大致分类如下。

① 按传感器的工作机理，可分为物理型、化学型、生物型等。

② 按构成原理，分为结构型与物性型两大类。

结构型传感器是利用物理学中场的定律构成的，包括动力场的运动定律、电磁场的电磁定律等。物理学中的定律一般以方程式形式给出。对于传感器，这些方程式就是传感器工作时的数学模型。结构型传感器的主要特点是工作原理是以传感器中元件相对位置移动引起的变化为基础，而不是以材料特性变化为基础。

物性型传感器是利用物质定律构成的，物质定律是表示物质某种客观性质的法则，如胡克定律、欧姆定律等。这种法则大多数是以物质本身的常数形式给出。这些常数的大小，决定了传感器的性能。因此，物性型传感器的性能随材料的不同而异。如光电管，它利用了物质法则中的外光电效应。显然，其特性与涂覆在电极上的材料有着密切的关系。又如，所有半导体传感器以及所有利用各种环境变化而引起的金属、半导体、陶瓷、合金等性能变化的传感器，都属于物性型传感器。

③ 根据传感器的能量转换情况，可分为能量控制型传感器和能量转换型传感器。

在信息变化过程中，能量控制型传感器将从被测对象获取的信息能量用于调制或控制外部激励源，使外部激励源的部分能量载运信息而形成输出信号。这类传感器必须由外部提供激励源。电阻、电感、电容等电路参量传感器都属于这一类传感器。基于应变电阻效应、磁阻效应、热阻效应、光电效应、霍尔效应等的传感器也属于此类传感器。

能量转换型传感器，又称有源型或发生型，传感器将从被测对象获取的信息能量直接转换成输出信号能量，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、光电动势效应等的传感器都属于此类传感器。

④ 按照物理原理分类。

电参量式：有电阻式、电感式、电容式等。

磁电式：有磁电感应式、霍尔式、磁栅式等。

压电式：有声波传感器、超声波传感器。

光电式：有光电式、光栅式、激光式、光电码盘式、光导纤维式、红外式、图像传感器等。

气电式：有电位器式、应变式。

热电式：有热电偶、热电阻。

波式：有超声波式、微波式等。

射线式：有热辐射式、 γ 射线式。

半导体式：有霍尔器件、热敏电阻。

其他原理的传感器：有差动变压器、振弦式等。

有些传感器的工作原理具有两种以上的复合形式。

⑤ 按照传感器的用途分类：有位移、压力、振动、温度传感器。

⑥ 根据转换过程可逆与否：有单向和双向。

⑦ 根据传感器输出信号：有模拟信号和数字信号。

⑧ 根据传感器使用电源与否：有有源传感器和无源传感器。

为了简便起见，一般经常采用两种分类方法：一是按被测量分类；二是按传感器的工作原理分类。

1.2.1 按被测量分类

被测量物理参数大致有位移量、力、力矩、转速、振动、加速度、温度、流量、流速等。根据被测量的性质对传感器进行分类，可以有位移传感器、力传感器、转矩传感器、加速度传感器、温度传感器、湿度传感器、压力传感器、流量传感器、液位传感器等。

被测量分有基本被测量和派生被测量。例如，力可视为基本被测量，从力可派生出压力、重力、应力、力矩等派生被测量。当需要测量这些被测量时，基本上只要采用力传感器就可以了。

表 1-1 为基本被测量和派生被测量之间的关系。

表 1-1 基本被测量和派生被测量之间的关系

基本被测量		派生被测量
位移	线位移	长度、厚度、应变、振动、磨损、不平度
	角位移	旋转角、偏转角、角振动
速度	线速度	速度、振动、流量、动量
	角速度	转速、角振动
加速度	线加速度	振动、冲击、质量
	角加速度	角振动、扭矩、转动惯量
力	压力	重力、应力、力矩
时间	频率	周期、计数、统计分布
温度		热容量、气体速度、涡流
光		光通量与密度、光谱分布
湿度		水汽、水分、露点

被测量参数分类比较明确地表达了传感器的用途，便于使用者根据其用途选用。但没有区分每种传感器在转换机理上有什么共性和差异，不便于使用者掌握其基本原理及分析方法。

1.2.2 按传感器工作原理分类

按照传感器的工作原理，以物理、化学、生物等学科的定理、规律和效应作为分类的标

准。传感器可分为应变式、磁电式、电阻、电容、电感、光电、光栅、热电偶、超声波、激光、红外、光导纤维等类型。

按工作原理分类对传感器的工作原理比较清楚，分类类别少，有利于传感器专业工作者对传感器的深入研究分析，但不便于使用者根据用途选用。

(1) 电学式传感器

电学式传感器是应用范围较广的一种传感器，常用的有电阻式、电容式、电感式、磁电式及电涡流式传感器等。

电阻式传感器是将被测量的变化转换为电阻器阻值的变化，通过对电阻值的测量达到非电量检测的目的。常用的电阻式传感器有电阻应变片、热电阻、气敏电阻、湿敏电阻等。利用电阻式传感器可以测量力、位移、形变、加速度、湿度、温度、气体成分等参数。

电容式传感器是将被测量的变化转换为电容器容量的变化，再经转换电路转换为电压、电流或频率的变化。电容式传感器需要的作用能量小，但可获得较大的相对变化量，而且能在恶劣的环境下工作。电容式传感器不但应用于位移、振动、角度、加速度、荷重等机械量的精密测量，还广泛应用于压力、压差、液位、料位、成分含量及热工参数的测量。

电感式传感器则是利用线圈自感或互感系数的变化来实现非电量测量的一种装置。利用电感式传感器能对位移、压力、振动、应变、流量等参数进行测量。

将金属导体置于交变磁场中，导体内就会有感应电流产生，这种电流的方向在金属体内自行闭合，形成旋涡状，称为电涡流。电涡流的产生将导致激励线圈的阻抗发生变化，进而引起其他电量如电压、电流的变化。

电涡流式传感器不但结构简单、频率响应宽、灵敏度高、抗干扰能力强、体积较小，而且具有非接触测量的优点。可用来测量振动、位移、厚度、转速、表面温度、硬度等参数，还可以用于无损探伤等方面。

(2) 磁电式传感器

磁电式传感器是利用铁磁物质的磁效应而制成。利用传感器的输出电压随磁通密度变化而改变的原理，在移动的物体上配置磁感应元件，通过捕捉磁场强度变化，检测出物体的接近、移动或旋转，并将磁场强度变化变换成感应电势输出。磁电式传感器适合进行动态测量，而且具有较大的输出功率。主要用于位移、转矩等参数的测量。

(3) 光电式传感器

光电式传感器的基本作用是将光信号转换为电信号。使用光电传感器测量物理信号（如转速、浊度）时，首先将这些非电量转换为光信号的变化，然后进行光-电转换。光电式传感器具有结构简单、精度高、反应快、非接触等优点，广泛应用于光强、光通量、位移、浓度等参量检测技术中。

(4) 电势型传感器

电势型传感器是利用热电效应、光电效应、霍尔效应等原理而制成。主要用于温度、磁通、电流、速度、光强、热辐射等参数的测量。

热敏传感器是利用热敏电阻的阻值会随温度的变化而改变的原理制成的，如各种家用电器（空调、冰箱、热水器、饮水机、电饭煲等）的温度控制、火警报警器、恒温箱等。

热电偶传感器是一种能将温度直接转换成电势的装置。热电偶传感器结构简单，制造容易，使用方便。热电偶的电极不受大小和形状的限制，可按照需要进行配置。因为它的输出信号为电动势，因此测量时，可以不要外加电源。

若将金属或半导体薄片置于磁场中，磁场方向垂直于薄片，当薄片上有电流流过时，在