



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高等院校自动化新编系列教材

现代检测技术

XIANDAI JIANCE JISHU

金 伟 齐世清 王建国 编著

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校自动化新编系列教材

现代检测技术

(第 2 版)

金 伟 齐世清 王建国 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了现代检测技术课程的基本内容和部分前沿知识,针对信号的获取和后续处理以及现代检测系统应用设计等方面作了比较详细的阐述。在各个章节的编排次序上,根据知识点的联系并按照循序渐进的方式进行教材的组织,站在读者的角度考虑问题,尽量避免基础知识学习阶段的枯燥,将活生生的应用技术与基础知识学习紧密联系起来,使得读者阅读这本教材或学习这门课程时,有耳目一新的感觉,并逐渐对学习现代检测技术及其相关的知识产生浓厚的兴趣。

全书由绪论等9章组成。在绪论中,介绍了检测技术和传感器等基础知识;第2章介绍了检测装置的基础知识,重点阐述传感器和检测装置的基本特性;第3~5章依次系统地介绍了如何将测量通过传感器转换为电参量、电能量或数字信号的原理、结构、测量电路和工程应用实例,包括各类传感器、各种检测装置以及现代信息获取技术的介绍;第6~8章依次介绍了测量误差的分析、测量信号的调理和测量信号处理等主要内容;第9章对先进的现代检测系统设计和应用技术等内容进行了重点介绍。

本书内容丰富、新颖,理论联系实际,提供的基础知识便于读者自学或复习,提供的应用实例便于读者在设计和应用中参考。本书可作为高等院校机电类或非机电类专业开设检测技术课程的通用教材,尤其可适用于自动化、测控技术与仪器、机械工程与自动化和电子信息工程等专业的基础课或专业基础课教材,也可供从事检测技术研究或系统设计的有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代检测技术/金伟,齐世清,王建国编著. —2版. —北京:北京邮电大学出版社,2007
ISBN 978-7-5635-1118-1

I. 现… II. ①金…②齐…③王… III. 自动检测—高等学校—教材 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 046339 号

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

北方营销中心:电话 010-62282185 传真 010-62283578

南方营销中心:电话 010-62282902 传真 010-62282735

E - mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市梦宇印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:20

字 数:469 千字

印 数:1—5 000 册

版 次:2006 年 9 月第 1 版 2007 年 6 月第 2 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1118-1/TP·202

定价:29.50 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系 ·

高等院校自动化新编系列教材

编委会

主 任 汪晋宽

副主任 金海明 罗云林 张美金 崔光照

委 员 (排名不分先后)

于丁文 王凤文 王建国 马淑华 石云霞

齐世清 任彦硕 张家生 张 健 杨建忠

柳明丽 罗长杰 金 伟 赵宏才 赵一丁

顾德英 舒冬梅 藏小杰 郑安平

秘 书 顾德英(兼) 马淑华(兼)

编写说明

一本好的教材和一本好的书不同,一本好的书在于其内容的吸引力和情节的魅力,而一本好的教材不仅要对所介绍的科学知识表达清楚、准确,更重要的是在写作手法上能站在读者的立场上,帮助读者对教材的理解,形成知识链条,进而学会举一反三。基于这种考虑,在充分理解自动化专业培养目标和人才需求的前提下,我们规划了这套《高等院校自动化新编系列教材》。

本套系列教材共包括 21 册,在内容取舍划分上,认真分析了各门课程内容的相互关系和衔接,避免了不必要的重复,增加了一些新的内容。在知识结构设计上,保证专业知识完整性的同时,考虑了学生综合能力的培养,并为学生继续学习留有空间。在课程体系规划上,注意了前后知识的贯通,尽可能做到先开的课程为后续的课程提供基础和帮助,后续的课程为先开的课程提供应用的案例,以便于学生对自动化专业的理解。

《高等院校自动化新编系列教材》编委会

2005 年 8 月

再版前言

本书在 2006 年被评选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。为了贯彻教育部制定普通高等教育“十一五”国家级教材规划的精神,全面落实科学发展观、切实提高高等教育的质量,特再版此书。

“千里眼、顺风耳”的古代神话传说是人类对扩展感觉器官的能力,更好地了解客观事物本质属性的一种美好憧憬。为此人们经历了千百年的奋斗,陆续发明了各种各样的传感器、探测器检测装置及系统等,一步一步地实现着古人的愿望。尤其是进入 20 世纪以来,在科技飞速发展的推动下,人们获取信息的能力提高到了新的水平。以检测技术为基础,发展起来的各种测量方法和测量装置已经成为人类生产生活、科学研究和防灾保护等活动中获取信息的重要工具,是现代文明的重要标志之一。现代检测技术和现代化的检测系统设计技术也必将成为 21 世纪教学和科研的最重要的理论基础和核心技术。

检测技术应用的领域十分广泛,就这一学科的主要内容来说,有信号获取技术(即传感器技术)、误差理论、测试计量技术、信号处理技术、抗干扰技术以及在自动化系统中应用技术等。检测技术的基础就是利用物理、化学及生物的原理和方法来获取被测对象的组分、状态、运动和变化的信息,通过转换和处理,将这些信息以易于人们观察的形式输出。由于检测技术在各个行业中均有广泛的应用,使得这门技术在现代信息(获取→处理→传输→应用)链中作为源头技术,其发展代表着科技进步的前沿,是现代科技发展的重要支柱之一。

科学技术与生产力水平的高度发达,要求更先进的检测技术与测量仪器作为基础。检测技术与科学研究和工程实践密切相关,科学技术的发展促进检测技术的进步,检测技术的发展又促进科学技术水平的提高,相互促进推动社会生产力不断前进。由于检测技术属于信息科学范畴,是信息技术三大支柱(检测控制技术、计算机技术及通信技术)之一。因此,在当今信息社会,现代化的检测技术在很大程度上决定了生产和科学技术的发展水平,而科学技术的进步又不断为现代检测技术提供了新的理论基础和新的工艺。

学习现代检测技术的目的就是为了更好地了解和掌握这方面的知识,在工作实践中创造性的开发与应用。为此,我们精心组织编写了这本教材——现代检测技术——全书包括信号的获取技术、测量信号的预处理和处理技术、测量误差分析处理以及检测系统设计技术等主要部分,首先以检测装置的基本特性作为基础知识介绍,然后介绍信号获取的主要内容,包括各种传感器的原理和应用技术,接下来对获取的测量信号在介绍了测量误差的分析和处理后,介绍信号的后续处理技术,即信号调理和信号处理技术,最后介绍检测领域的最新发展,即现代检测系统和应用实例。

学习本课程需要的基础知识主要有数学、物理学、电路理论或电工学、电子技术、控制

理论、计算技术和信息技术等。

本书主要覆盖传统“传感器原理与应用”、“检测与转换”和“电子测量技术”等课程或教材的核心内容,通过精选和整合,加上作者多年从事该领域科研和教学的经验总结。主要涉及检测基本方法及误差处理的基本概念、传感器的选型与使用,并以传感器、信号调理电路及计算机为核心构成的信息处理系统为主线,以软件作为信号处理的主体,进而学习并掌握检测系统的设计方法,在最后介绍了目前该领域的最新发展和先进技术。全书突出理论联系实际,在讲清楚重点、难点的基础上,通过实例加深对理论和技术的理解。书中内容既具有广泛的基础性又具有先进性,不仅可以学习到目前各个领域和部门进行科学实验与工程应用所需要的检测技术的基础,也可了解新一代先进检测系统和测试仪器方面的内容,为从事检测技术应用和系统的设计打下良好的基础。

本书力求内容的基础性和先进性相结合,基础理论和测量功能相结合,学习原理与实践中的可实现的技术相结合。在文字叙述方面力求明确简洁,并附有实例简介,便于自学。

本书是在编委会组织编写人员进行了广泛的调研及科学合理的策划,对教材内容及体系结构进行细致认真的审定和推敲,在确定编写大纲的基础上,由金伟教授、齐世清副教授和王建国教授具体组织编写工作并担任主编。参加全书编写工作的还有余志勇博士、陈海宴博士、李志刚博士、贺忠海博士、闫冬梅和曲秀云副教授、李芬和宋爱娟高级实验师等。全书由金伟和齐世清统稿。

汪晋宽教授仔细审阅了书稿,并提出了许多宝贵的指导意见。

在编书过程中,我们参阅了许多教材、著作和论文,还得到许多国内外有关企业和同行的支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏和不足,敬请读者批评指正,不吝赐教。

作者

目 录

第1章 绪论

1.1 检测技术概述	1
1.2 传感器概述	2
1.2.1 传感器的概念	2
1.2.2 传感器的组成	3
1.2.3 传感器的分类	3
1.2.4 传感器的发展趋势	5
1.3 现代检测系统	6
1.3.1 基本结构	6
1.3.2 应用类型	7
1.4 检测技术的发展趋势	10
1.4.1 检测仪器与微处理器或计算机的集成	10
1.4.2 软测量技术	11
1.4.3 模糊传感器	12
1.5 检测理论发展展望	13

第2章 检测装置基本特性

2.1 线性检测装置概述	15
2.2 检测装置的静态特性	17
2.2.1 静态特性参数	18
2.2.2 静态特性的性能指标	19
2.2.3 检测装置的标定	22
2.3 检测装置的动态特性	22
2.3.1 微分方程	23
2.3.2 传递函数	23
2.3.3 频率(响应)特性	23
2.4 不失真测量条件和装置组建	24
2.4.1 输出信号的失真	24
2.4.2 不失真测量的条件	25
2.4.3 检测装置的组建	26
2.5 检测装置基本特性测试和性能评价	28

2.5.1 常见装置的数学模型·····	28
2.5.2 静态特性的测试·····	32
2.5.3 动态特性的测试·····	33

第3章 电参量检测装置

3.1 电阻式传感器·····	36
3.1.1 应变式传感器·····	36
3.1.2 压阻式传感器·····	44
3.1.3 热电阻传感器·····	46
3.1.4 光敏电阻·····	51
3.2 电感式传感器·····	54
3.2.1 自感式传感器·····	55
3.2.2 互感式传感器·····	62
3.2.3 电涡流式传感器·····	70
3.3 电容式传感器·····	77
3.3.1 电容式传感器结构与工作原理·····	77
3.3.2 电容式传感器的等效电路·····	82
3.3.3 电容式传感器的测量电路·····	82
3.3.4 电容式传感器的应用·····	88
思考题与习题·····	89

第4章 电能量检测装置

4.1 热电偶传感器·····	91
4.1.1 热电偶测温原理·····	91
4.1.2 热电偶的基本定律·····	93
4.1.3 热电偶的冷端处理和补偿·····	94
4.1.4 热电偶的实用测温电路·····	96
4.2 压电式传感器·····	99
4.2.1 压电式传感器的工作原理·····	99
4.2.2 压电元件的等效电路及连接方式·····	102
4.2.3 压电式传感器的测量电路·····	103
4.2.4 压电式传感器的应用·····	104
4.3 磁电式传感器·····	106
4.3.1 磁电感应式传感器·····	106
4.3.2 霍尔传感器·····	110
4.4 光电池·····	116
4.4.1 光电池的结构和工作原理·····	117
4.4.2 光电池的基本特性·····	117

4.4.3 光电池的应用	119
思考题与习题	120
第5章 数字及现代检测装置	
5.1 角度数字编码器	122
5.1.1 增量式角度数字编码器	122
5.1.2 绝对式角度数字编码器	123
5.2 光栅传感器	126
5.2.1 光栅的结构和类型	127
5.2.2 光栅传感器的工作原理	128
5.2.3 辨向原理与细分技术	130
5.2.4 光栅传感器的应用	134
5.3 感应同步器	135
5.3.1 感应同步器的基本结构	135
5.3.2 感应同步器的工作原理	136
5.3.3 信号处理方式	137
5.3.4 感应同步器的应用	138
5.4 磁栅式传感器	139
5.4.1 磁栅式传感器工作原理	139
5.4.2 信号处理及检测电路	141
5.4.3 磁栅式传感器的应用范围及特点	142
5.5 现代传感器	143
5.5.1 CCD 图像传感器	143
5.5.2 光纤传感器	148
5.5.3 红外传感器	154
5.5.4 超声波传感器	158
5.5.5 核辐射传感器	163
5.5.6 微机械传感器	168
思考题与习题	171
第6章 测量误差分析	
6.1 测量误差的基本概念	172
6.1.1 测量误差及研究的意义和内容	172
6.1.2 测量误差的来源	173
6.1.3 主要的名词术语	173
6.1.4 测量误差表示方法	174
6.1.5 测量误差的分类	176
6.1.6 测量不确定度与置信概率	177

6.1.7 误差公理及测量结果的报告	178
6.2 随机误差的处理	179
6.2.1 随机误差的特征和概率分布	179
6.2.2 算术平均值和剩余误差	180
6.2.3 随机误差的方差和标准差	181
6.2.4 测量的极限误差	183
6.2.5 不等精度直接测量的数据处理	184
6.3 系统误差的分析	185
6.3.1 系统误差的性质及分类	185
6.3.2 系统误差的判别	186
6.3.3 系统误差的消除与削弱	187
6.4 粗大误差的剔除	189
6.4.1 莱以特准则	189
6.4.2 格拉布斯准则	189
6.5 误差合成与误差分配	190
6.5.1 随机误差合成	191
6.5.2 系统误差合成	191
6.5.3 系统误差与随机误差合成	192
6.5.4 误差分配	192
6.6 测量不确定度评定	193
6.6.1 不确定度评定步骤	193
6.6.2 不确定度评定	194
6.6.3 合成不确定度与扩展不确定度评定	197
6.6.4 测量不确定度评定应用举例	198
6.7 数据处理的基本方法	199
6.7.1 有效数字和数据舍入规则	199
6.7.2 最小二乘法原理及应用	201
6.7.3 测量数据处理举例	202
第7章 测量信号调理	
7.1 信号放大	208
7.1.1 仪用放大器	208
7.1.2 隔离放大器	211
7.2 信号滤波	213
7.2.1 概 述	213
7.2.2 RC 有源滤波电路	217
7.2.3 无源滤波电路	225
7.3 信号变换	227
7.3.1 电压—电流变换	227

7.3.2 电压—频率变换	229
第8章 测量信号处理	
8.1 信号的分类	233
8.1.1 连续时间信号与离散时间信号	233
8.1.2 确定性信号与随机信号	235
8.2 信号预处理	237
8.3 信号时域分析	239
8.3.1 时域波形分析	240
8.3.2 时域平均	241
8.3.3 相关分析	242
8.3.4 概率密度函数与概率分布	244
8.4 信号频域分析	245
8.4.1 信号的分解与合成	245
8.4.2 连续时间周期信号的频谱分析与傅里叶级数	248
8.4.3 连续时间非周期信号的频谱分析与傅里叶变换	251
8.4.4 傅里叶变换的基本性质	254
8.4.5 离散时间信号的频谱分析与离散傅里叶变换	257
8.5 信号时频分析	260
8.5.1 短时傅里叶变换	261
8.5.2 小波分析简介	262
第9章 现代检测系统实用设计方案介绍	
9.1 虚拟仪器	270
9.1.1 虚拟仪器概述	270
9.1.2 虚拟仪器的构成	271
9.1.3 虚拟仪器的软件开发平台	274
9.2 现场总线仪表	277
9.2.1 概 述	277
9.2.2 CAN 总线系统	279
9.2.3 FF 总线系统	282
9.2.4 工业以太网技术	284
9.3 检测系统的智能化和网络化技术	289
9.3.1 检测技术发展趋势	289
9.3.2 智能检测系统的组成	290
9.3.3 智能检测系统的网络化技术	293
9.4 基于数据采集芯片的便携式检测系统设计实践	296
参考文献	305

第1章 绪 论

1.1 检测技术概述

检测技术是自动化学科的重要组成部分之一,是以现代自动化系统中的应用为主要目的,围绕参数检测和测量信号分析等信息获取处理技术进行研究开发与应用的一门综合性技术。

为了监督和控制某个生产过程或运动对象的状态,掌握其发展变化规律,使它们处于所选工况的最佳状态,就必须掌握描述它们特性的各种参数,这就首先要求检测这些参数的大小、变化趋势、变化速度等。通常把这种工艺流程中含有检查、测量和测试等比较宽泛意义的参数测量叫做检测。为实现参数检测组建的系统或装置称为检测系统或检测装置。检测装置是测控系统的最前端,通过获取被测对象信号并进行处理,然后将有用信息输出给自动控制系统或操作者,这些工作需要以参数的检测技术为基础。另外,为了测量各种各样微观或宏观的物理、化学或生物等参数量值,为了检验产品质量,为了进行计量标准的传递和控制,也需要检测技术作为基础。

随着科学技术的迅速发展,尤其是微电子、计算机和通信技术的发展,以及新材料、新工艺的不断涌现,使得检测技术在建立的检测理论的基础上不断向着数字化、网络化和智能化方向发展。如何提高检测装置的分辨率、准确度、稳定性和可靠性;研究新的检测方法,开发现代化的检测系统是本门技术的主要课题和研究方向。目前,有关的研究学科和专业有:检测技术与自动化装置和测试计量技术及仪器,前者主要侧重自动化学科,后者则侧重测试计量学科。对于测控技术与仪器本科专业,可以考虑拓宽基础,兼顾上述自动化和计量测试两方面,将检测控制(测控)与测试计量仪器(仪器仪表)在基础课方面加以整合,目的是在本科阶段打好基础,有利于从事应用开发和更进一步的研究工作。

检测系统的基本任务是获取有用的信息,尤其是要从干扰中提取出有用信息,这就需要将传感器获取的信号进行有针对性地计算、分析和处理,因此也称为测试系统,它包含测量和试验等两个方面内容。检测技术以研究信息的获取、信息的转换及信息的处理等理论和技术为主要内容,不但涉及其他许多技术领域的知识,而且它也同时在为这些领域提供信息服务产品,涉及的应用领域广泛且众多。在信息技术研究与应用中,在信息科学范畴中,检测技术属于三大支柱(检测控制技术、计算机技术及通信技术)之一。

检测系统的设计过程是采用专门的传感器、测量仪器或测量系统,通过合适的实验与信号分析及处理方法,由测得的信号求取与研究对象有关信息量值,并将结果输出显示的过程。在现代化装备或系统的设计、制造和使用中,检测及测量测试工作的内容已经占据首要位置,测量系统的成本已达到总系统成本的50%~70%,它是保证整个系统达到性能指标和正常工作的重要手段,是设备先进性和高水平的重要标志。在科学技术和社会

生产力高度发达的今天,要求有与之相适应的检测技术和仪器仪表系统,人们不仅需要学会用好这些先进的仪器,而且还要能够开发出更新一代的产品。

追溯检测技术的发展历史,可以从仪器仪表的发展水平得到考察结果如下。

第一代检测技术是以物理学基本原理为基础,如力学、热力学或电磁学等,仪器仪表如千分尺、天平、温度计或指针式仪表等。

第二代是以 20 世纪 50 年代的电子管和 60 年代的晶体管为基础的分立元件式仪表。

第三代是以 20 世纪 70 年代的数字集成电路和模拟运算放大器为基础的具有信号处理和数字显示的仪器仪表。

第四代是以 20 世纪 80 年代的微处理器为核心的信号处理能力更强的并配有智能化处理软件的仪器仪表。

新一代检测技术是将上述传统的检测技术和计算机技术深层次结合后的产物,正引起该领域的一场新技术革命,产生出一种全新的仪器结构——虚拟仪器——进而向集成仪器和多仪器组成的网络化大测试系统方向发展。

虽然被测对象所在领域以及对检测系统的要求既广泛又具有多样性,但归纳起来,对一般检测系统的要求如下:

- (1) 能够测量多种参量,电参量或非电参量;
- (2) 能够测量多参数,具有多测量通道;
- (3) 能够测量动态参数,测量系统的频带宽;
- (4) 能够实时快速进行信号处理,包括排除干扰信号、处理误差、量程转换和信息传送等。

这些要求在不同的领域可能要求不同,但能够全面实现上述要求的检测系统,唯有新一代检测技术可以胜任。

在人类的各项生产活动和科学实验中有各种各样的研究对象,如要从数量方面对它进行研究和评价,都是通过对代表其特性的物理量的检测来实现的。而检测技术主要研究的内容就是利用各种物理效应,选择合适的方法与装置,将其中的有关特征信息通过各种测量方法给出定性或定量的测量结果。能够自动地完成整个检测过程的技术称为自动检测技术。自动检测技术以信息的获取、转换、显示和处理自动化为主要研究内容,现已发展成为一门完整的技术学科。

要学习检测技术,首先要对传感器给予充分的重视,因为传感器是检测系统的最前端。

1.2 传感器概述

1.2.1 传感器的概念

根据我国对传感器的标准规定,传感器定义为能够感受规定的被测量并按一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。这里传感器的定义包含着 3 层含义:①传感器是一个测量装置,能完成检测任务;②在规定的条件下感受被测量,如物理量、化学量或生物量

等;③按一定规律转换成易于传输与处理的电信号。

关于传感器,在不同的学科领域曾出现过多种名称,如发送器、变送器、发信器、探头等,这些提法,反映了在不同的技术领域中,根据器件的用途,使用不同术语而已,它们的内涵是相同或相近的。

1.2.2 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路3部分组成,其组成框图如图1.2.1所示。

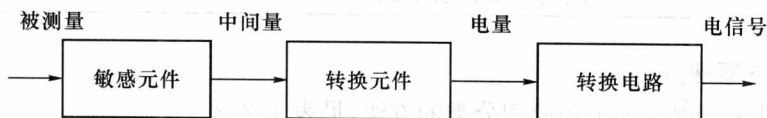


图 1.2.1 传感器组成框图

1. 敏感元件

敏感元件能直接感受被测量,并将被测非电量信号按一定对应关系转换为易于转换为电信号的另一种非电量的元件。如应变式压力传感器的弹性元件、电感式压力传感器的膜盒就是敏感元件。

2. 转换元件

转换元件能将敏感元件输出的非电信号或直接将被测非电量信号转换成电量信号(包括电参量和电能转换)的元件。如应变式压力传感器中的应变片是转换元件,它的作用是将弹性元件的输出应变转换为电阻的变化。

3. 转换电路

转换电路将转换元件输出的电量信号转换为便于显示、处理、传输的电信号的电路。它的作用主要是信号的转换,常用的转换电路有电桥、放大器、振荡器等。转换电路输出的电信号有电压、电流或频率等。

不同类型的传感器组成也不同,最简单的传感器由一个转换元件(兼敏感元件)组成,它将感受的被测量直接转换为电量输出,如热电偶、光电池等。有些传感器由敏感元件和转换元件组成,不需要转换电路就有较大信号输出,如压电传感器、磁电式传感器。有些传感器由敏感元件、转换元件及转换电路组成,如电阻应变式传感器、电感传感器、电容传感器等。

1.2.3 传感器的分类

用于测量和控制的传感器种类繁多。一个被测量,可以用不同种类的传感器测量,如温度既可以用热电偶测量,又可以用热电阻测量,还可以用光纤传感器测量;而同一原理的传感器,通常又可以测量多种非电量,如电阻应变传感器既可测量压力,又可测量加速度等。因此传感器的分类方法很多,主要可按以下几种方法分类。

1. 按输入被测量分类

这是一种按输入量的性质分类的方法。表1.2.1给出了输入传感器的被测量的分类及其包含的被测量。

这种分类方法的优点是明确了传感器的用途,便于使读者根据用途有针对性地查阅

所需的传感器。一般工程书籍及参考书、手册按此类方法分类。

表 1.2.1 按传感器输入量分类

基本被测量	包含被测量
热工量	温度、压力、压差、流量、流速、热量、比热、真空度等
机械量	位移、尺寸、形状、力、应力、力矩、加速度、振动等
化学物理量	液体、气体的化学成分、浓度、黏度、酸碱度、湿度、密度等
生物医学量	血压、体温、心电图、脑电波、气流量、血流量等

2. 按工作原理分类

这是一种按传感器的工作原理分类的方法,见表 1.2.2。

表 1.2.2 按传感器的工作原理分类

传感器分类		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间结果参量			
电参数	电阻	金属的应变效应或半导体的压阻效应	电阻应变传感器 压阻传感器	微应变、力、负荷
		电阻的温度效应	热电阻传感器	温度、温差
		电阻的光电效应	光敏电阻	光强
		电阻磁敏效应	磁敏电阻	磁场强度
		电阻湿敏效应	湿敏电阻	湿度
		电阻的气体吸附效应	气敏电阻	气体浓度
	电感	被测量引起线圈自感变化	自感传感器	位移
		被测量引起线圈互感变化	互感传感器	位移
		涡流的去磁效应	涡流传感器	位移、厚度
		压磁效应	压磁传感器	力、压力
	电容	改变电容的间隙	电容传感器	位移、力
		改变电容的极板面积		料位、湿度
		改变电容的介电常数		
	计数	利用莫尔条纹	光栅传感器	线位移、角位移
		互感	感应同步器	
		利用拾磁信号	磁栅	
	数字	数字编码	角度编码器	角位移
电能量	电动势	热电效应	热电偶	温度、热流
		电磁效应	磁电传感器	速度、加速度
		霍尔效应	霍尔传感器	磁通、电流
		光电效应	光电池	光强
	电荷	压电效应	压电传感器	动态力、加速度
		光生电子空穴对	CCD 传感器	图像传感

这种分类方法的优点是能够清楚地表达各种传感器的工作原理。

3. 按输出信号的性质分类

按输出信号的性质,传感器可分为模拟式传感器和数字式传感器。

4. 按传感器的能量转换情况分类

按能量转换情况,传感器可分为能量控制型传感器和能量转换型传感器。

能量控制型传感器在信息转换过程中其能量需要外电源供给。如电阻、电感、电容等电参量传感器属于这一类传感器。

能量转换型传感器又称发电型传感器,其输出端的能量是由被测对象取出的能量转换而来。它无需外加电源就能将被测非电量转换成电量输出。热电偶、光电池、压电传感器、磁电传感器等都属于能量转换型传感器。

1.2.4 传感器的发展趋势

现代信息技术的三大基础是信号的获取、传输和处理技术,即传感技术、通信技术及计算机技术。它们分别构成了信息系统的“感官”、“神经”及“大脑”。如果没有“感官”感受信息,或者“感官”迟钝,都不可能形成高准确度、快反映速度的自动控制系统。所以世界各国都把发展传感器技术作为优先发展的目标。

传感器的发展趋势主要表现在以下几个方面。

1. 开发新材料

传感器材料是传感技术的基础。诸多传感器是利用某些材料的物理效应、化学反应和生物功能等达到测量目的的。所以研究发现具有新功能、新效应的新材料,对用以制成敏感元件和转换元件有着十分重要的意义。目前半导体敏感材料在传感器技术中占有主导地位,用半导体材料制成的力敏、光敏、磁敏、热敏、气敏、离子敏等敏感元件性能优良、应用广泛。其发展趋势为:从单晶体到多晶体、非晶体;从单一型材料到复合型材料以及原子(分子)型材料的人工合成。另外,陶瓷材料、智能材料的研究探索也在不断地深入。

2. 研制集成化、多功能化传感器

所谓集成化,就是在同一芯片上,将众多的同一类型的单个传感器集成一维、二维或三维阵列传感器,使传感器的参数检测实现“点—线—面—体”的多维图像化(如 CCD),实现单参数检测到多参数检测。例如,由一个传感芯片同时实现流量、温度、压力的检测;或者在同一芯片上,将传感器与测量电路等处理电路集成一体化,使传感器由单一信号转换功能扩展为兼有放大、运算、补偿等多种功能(如集成温度传感器)。

3. 实现传感器的数字化和智能化

数字技术是信息技术的基础,数字化是智能化的前提。传感器的智能化就是把传感器与微处理器相结合,使之不仅具有检测、转换及处理功能,同时还具有存储、记忆、自诊断、自补偿等功能。智能化传感器按构成可分为组合一体化结构和集成一体式两种。

组合一体化结构就是把传感器与其配套的转换电路、微处理器、输出电路及显示电路等模块组装在同一壳体内,从而减小体积,增强可靠性和抗干扰能力。这是传统传感器实现小型化、智能化的主要发展途径。

随着微机械加工工艺、集成电路工艺等技术的日益成熟以及微米、纳米技术的问世,可开发出微型传感器、微型执行器等,它们与微处理器结合可以组成闭环控制传感系统,