



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 吴朝霞 王建国 编著

(第3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 3 版)

金 伟 齐世清 吴朝霞 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。书中内容丰富、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,可以用于自动化、测控技术与仪器、过程装备和自动化、机械工程与自动化及电子信息工程等专业的基础课或专业基础课教材,也可供从事传感器和检测技术研究开发或仪器仪表设计以及检测系统工程应用等方面的有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代检测技术/金伟等编著. --3 版. --北京:北京邮电大学出版社,2012.1

ISBN 978-7-5635-2802-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 217003 号

书 名:现代检测技术(第3版)

编 著 者:金 伟 齐世清 吴朝霞 王建国

责任编辑:陈岚岚 毋燕燕

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(邮编:100876)

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt. edu. cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京联兴华印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:22.25

字 数:525千字

印 数:1—3 000册

版 次:2006年2月第1版 2007年6月第2版 2012年1月第3版 2012年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-2802-8

定 价:46.00元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

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 王宏文

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 22 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

前 言

本书在 2006 年被评为普通高等教育“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”国家级规划教材的精神,全面落实科学发展观,切实提高教学质量,特再版此书。

“千里眼、顺风耳”的古代神话传说是人们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。为此人类经历了千百年的探索与奋斗,陆续发明了各种各样的传感器、探测器,以及检测装置和测控系统等,一步一步地实现着古人的愿望。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一个新的水平。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 世纪教学和科研中最重要的理论基础与核心技术。

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)、仪器测量精度和误差理论、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的应用技术等。检测技术的基础就是利用物理、化学和生物的原理及方法来获取被测对象的组成成分、状态、运动和变化的信息,通过转换和处理,将这些信息以人们易于观察和应用的形式输出。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链(获取→处理→传输→应用)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、计算机技术和通信技术)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装备。

我们学习现代检测技术的目的就是为了更好地了解和掌握上述科技领域的知识,在工作实践中创造性地开发与应用。为此,我们精心组织编写了这本教材,全书包括信号的获取技术、测量信号的预处理和后续处理技术、测量误差分析处理以及检测系统应用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),接下来在介绍了测量仪器精度和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开发实例。

学习本课程需要的基础知识主要包括数学、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”、“检测与转换技术”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,最后介绍了目前该领域的最新发展和先进技术。全书理论联系实际,在清楚阐述重点难点的基础上,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,也可了解新一代的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技术相结合。在文字叙述方面力求明确简洁,并附有习题,便于自学。同时为更好地配合本次再版教材的学习,编写了与之配套的实践性教材,通过入门、提高和发展三个层次来逐步进行学习,以简单例子入门,综合例子提高,复杂例子发展这样一个循序渐进的学习过程,使得读者能够深入掌握现代检测技术各个方面的知识并达到能够设计研发检测装置或检测系统以及更好地在工程中应用的目的。

本书第3版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,确定编写大纲的基础上,由东北大学秦皇岛分校金伟教授、齐世清副教授、吴朝霞教授和中国海洋大学王建国教授具体组织编写工作并担任主编。参加第3版编写工作的还有苗立刚博士、李芬高级实验师等。全书由金伟、齐世清和吴朝霞统稿。

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,书中难免有误漏和不足,敬请读者批评指正,不吝赐教。

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 现代检测技术概述	1
1.2 传感器概述	3
1.2.1 传感器的概念	3
1.2.2 传感器的组成	3
1.2.3 传感器的分类	4
1.2.4 传感器的发展趋势	6
1.3 现代检测系统	7
1.3.1 基本结构	7
1.3.2 应用类型	8
1.4 检测技术的发展趋势	11
1.4.1 检测仪器与计算机技术的集成	11
1.4.2 软测量技术	13
1.4.3 模糊传感器	13
1.5 检测理论发展展望	14
思考题与习题	16
第 2 章 检测装置基本特性	17
2.1 线性检测系统概述	17
2.2 检测系统的静态特性	19
2.2.1 静态特性参数	20
2.2.2 静态特性的性能指标	21
2.2.3 检测装置的标定	24
2.3 检测装置的动态特性	25
2.3.1 微分方程	25
2.3.2 传递函数	25
2.3.3 频率(响应)特性	26
2.4 不失真测量条件和装置组建	26
2.4.1 输出信号的失真	27
2.4.2 不失真测量的条件	27
2.4.3 检测装置的组建	28
2.5 检测装置基本特性测试和性能评价	31

2.5.1 常见装置的数学模型·····	31
2.5.2 静态特性的测试·····	35
2.5.3 动态特性的测试·····	35
思考题与习题·····	37
第3章 电参量检测装置 ·····	39
3.1 电阻式传感器·····	39
3.1.1 应变式传感器·····	39
3.1.2 压阻式传感器·····	47
3.1.3 热电阻传感器·····	49
3.1.4 光敏电阻·····	54
3.2 电感式传感器·····	57
3.2.1 自感式传感器·····	57
3.2.2 互感式传感器·····	64
3.2.3 电涡流式传感器·····	71
3.3 电容式传感器·····	78
3.3.1 电容式传感器结构与工作原理·····	79
3.3.2 电容式传感器的等效电路·····	83
3.3.3 电容式传感器的测量电路·····	83
3.3.4 电容式传感器的应用·····	89
思考题与习题·····	90
第4章 电能量检测装置 ·····	92
4.1 热电偶传感器·····	92
4.1.1 热电偶测温原理·····	92
4.1.2 热电偶的基本定律·····	94
4.1.3 热电偶的冷端处理和补偿·····	95
4.1.4 热电偶的实用测温电路·····	97
4.2 压电式传感器·····	100
4.2.1 压电式传感器的工作原理·····	100
4.2.2 压电元件的等效电路及连接方式·····	103
4.2.3 压电式传感器的测量电路·····	104
4.2.4 压电式传感器的应用·····	106
4.3 磁电传感器·····	107
4.3.1 磁电感应式传感器·····	107
4.3.2 霍尔传感器·····	111
4.4 光电池·····	118
4.4.1 光电池的结构和工作原理·····	118

4.4.2 光电池的基本特性	119
4.4.3 光电池的应用	120
思考题与习题	121
第5章 数字及现代检测装置	123
5.1 角度数字编码器	123
5.1.1 增量式角度数字编码器	123
5.1.2 绝对式角度数字编码器	125
5.2 光栅传感器	128
5.2.1 光栅的结构和类型	128
5.2.2 光栅传感器的工作原理	129
5.2.3 辨向原理与细分技术	132
5.2.4 光栅传感器的应用	135
5.3 感应同步器	137
5.3.1 感应同步器的基本结构	137
5.3.2 感应同步器的工作原理	138
5.3.3 信号处理方式	140
5.3.4 感应同步器的应用	140
5.4 磁栅式传感器	142
5.4.1 磁栅式传感器的工作原理	142
5.4.2 信号处理及检测电路	144
5.4.3 磁栅式传感器的应用	145
5.5 容栅式传感器	146
5.5.1 容栅式传感器结构及工作原理	146
5.5.2 容栅式传感器的特点	147
5.5.3 容栅式传感器信号处理方式	148
5.5.4 容栅式传感器的应用	150
5.6 现代传感器	150
5.6.1 CCD 图像传感器	150
5.6.2 光纤传感器	155
5.6.3 红外传感器	160
5.6.4 超声波传感器	164
5.6.5 核辐射传感器	171
5.6.6 微型传感器	177
思考题与习题	181
第6章 测量误差分析	182
6.1 测量误差的基本概念	182

6.1.1	测量误差及其研究的意义和内容	182
6.1.2	测量误差的来源	183
6.1.3	主要的名词术语	183
6.1.4	测量误差的表示方法	185
6.1.5	测量误差的分类	186
6.1.6	测量不确定度与置信概率	187
6.1.7	测量误差与测量不确定度的关系	188
6.1.8	误差公理及测量结果的报告	189
6.2	随机误差的处理	190
6.2.1	随机误差的特征和概率分布	190
6.2.2	算术平均值和剩余误差	190
6.2.3	随机误差的方差和标准差	191
6.2.4	测量的极限误差	193
6.2.5	不等精度直接测量的数据处理	194
6.3	系统误差的分析	195
6.3.1	系统误差的性质及分类	195
6.3.2	系统误差的判别	196
6.3.3	系统误差的消除与削弱	197
6.4	粗大误差的剔除	199
6.4.1	莱以特准则	199
6.4.2	格拉布斯准则	200
6.5	误差合成与误差分配	202
6.5.1	随机误差合成	202
6.5.2	系统误差合成	203
6.5.3	系统误差与随机误差合成	203
6.5.4	误差分配	204
6.6	测量不确定度评定	205
6.6.1	不确定度评定步骤	205
6.6.2	不确定度评定	206
6.6.3	合成不确定度与扩展不确定度评定	209
6.6.4	测量不确定度评定应用举例	210
6.7	测量数据处理的基本方法	211
6.7.1	有效数字和数据舍入规则	211
6.7.2	最小二乘法原理及其应用	213
6.7.3	测量数据处理举例	214
	思考题与习题	220
第7章	测量信号调理	221
7.1	信号放大	221

7.1.1 仪用放大器	221
7.1.2 隔离放大器	224
7.2 信号滤波	226
7.2.1 概述	226
7.2.2 RC有源滤波电路	229
7.2.3 无源滤波电路	238
7.3 信号变换	240
7.3.1 电压-电流变换	240
7.3.2 电压-频率变换	242
思考题与习题	245
第8章 测量信号处理	246
8.1 信号的基本概念	246
8.1.1 信号的描述与分类	246
8.1.2 常见的连续时间信号	250
8.1.3 常见的离散时间信号	254
8.1.4 信号的分解与合成	256
8.2 线性系统理论	260
8.2.1 连续时间系统	260
8.2.2 离散时间系统	260
8.2.3 线性时不变系统的性质	261
8.2.4 连续时间 LTI 系统的响应与卷积积分	263
8.2.5 离散时间 LTI 系统的响应与卷积和	264
8.3 连续时间信号的傅里叶变换	266
8.3.1 周期信号的傅里叶级数分析	266
8.3.2 连续时间非周期信号的频谱分析与傅里叶变换	269
8.3.3 傅里叶变换的基本性质	273
8.3.4 周期信号的傅里叶变换	276
8.4 采样与量化	277
8.4.1 采样信号的傅里叶变换	277
8.4.2 采样定理	280
8.4.3 量化	282
8.5 离散时间信号的傅里叶变换	283
8.5.1 离散傅里叶变换	283
8.5.2 快速傅里叶变换	284
8.5.3 离散傅里叶变换的性质	286
8.6 信号的时域分析	287
8.6.1 信号预处理	287

8.6.2 时域波形分析	290
8.6.3 时域平均	292
8.6.4 相关分析	292
8.6.5 概率密度函数与概率分布	295
思考题与习题	296
第9章 现代检测系统实用设计方案介绍	299
9.1 虚拟仪器技术	299
9.1.1 虚拟仪器概述	299
9.1.2 虚拟仪器的构成	300
9.1.3 虚拟仪器的软件开发平台	304
9.2 现场总线仪表	307
9.2.1 概述	307
9.2.2 CAN 总线系统	309
9.2.3 FF 总线系统	311
9.2.4 工业以太网技术	314
9.3 无线传感器网络	318
9.3.1 无线传感器网络的概念	318
9.3.2 ZigBee 技术	319
9.3.3 ZigBee 技术在无线传感器网络中的应用	323
9.4 检测系统的智能化、网络化技术	325
9.4.1 检测系统发展趋势	326
9.4.2 智能检测系统的组成	327
9.4.3 智能检测系统网络化技术	330
9.5 基于数据采集芯片的便携式检测系统设计实践	333
思考题与习题	341
参考文献	342

第1章 绪 论

1.1 现代检测技术概述

现代检测技术是将电子技术、光机电技术、计算机、信息处理、自动化、控制工程等多学科融合为一体并综合运用的复合技术,被广泛应用于交通、电力、冶金、化工、建材、机械加工等工业领域的自动化装备及生产自动化测控系统中,并且在农业、海洋、军事以及医疗等各领域中都发挥着重要的作用。我们学习这门技术,就是要以现代检测系统的研发和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处理等问题进行学习研究与开发,并将该技术应用于国民生产中的各个领域。

为了监督和控制某个生产或实验过程中对象的运动变化状态,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。通常把这种含有检查、测量和测试等比较宽广意义的参数测量叫做检测,围绕这方面的工作都需要以检测技术为基础。为实现参数检测的目的而组建的系统 and 装置以及采用的设备等称为检测系统、检测装置或仪器仪表,它们位于测控系统的最前端,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。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,以检测理论为基础,现代检测技术正不断向着数字化、网络化和智能化的方向发展。如何提高检测装置的精度、分辨率、稳定性和可靠性,以及如何开发现代化的检测系统 and 研究新的检测方法,是本门技术的主要课题和研究方向。

目前,有关的学科和研究方向有: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。对于本科专业则称为测控技术与仪器专业,作为本科教学的参考书,考虑到拓宽基础,兼顾上述自动化和计量测试两方面,将检测控制(测控)技术与测试计量技术与仪器(计量与仪器仪表)在基础课方面加以整合,目的是在本科阶段能够较好地掌握该领域的知识体系,有利于进一步的学习深造,为从事应用开发和更进一步的研究工作打好基础。

检测系统,也称为测试系统,它包含测量和试验两个方面的内容。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的信息,这就需要将传感器获取的信号通过有针对性的算法进行计算、分析和处理,最后将有用信息输出。因此,可以说检测技术是以研究信息的获取、信息的转换及信息的处理等理论和技术为主要内容的一门技术,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、计算机技术和通信技术)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的信息量值,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,检测系统的成本已达到测控系统总成本的50%~70%,它是保证整个自动化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及检测系统,需要我们不但学会用好这些先进的仪器仪表,而且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如下考察结果:

- 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,代表性的仪器仪表有很多,有的至今仍然在使用,例如,千分尺、天平、水银温度计、机械计时表或指针式仪表等;
- 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,由此构成了现代检测技术的基础。

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:

- 能够测量多种参量,包括电参量或非电参量;
- 能够测量多参数,具有多测量通道;
- 能够测量动态参数,测量系统的频带宽;
- 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侧重点不同,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、化学量以及生物量的检测来实现的。而检测技术主要研究的内容就是利用各种物理、化学或生物的效应(如光电效应、热电效应、电磁效应、红外光谱、紫外光谱、心电、脑电或肌电等),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、显示和处理过程的自动化为主要研究内容,现已经发展成为一门完整的综合性技术学科。

我们学习现代检测技术,首先要对传感器给予充分的重视,因为传感器是作为检测系统的最前端。

1.2 传感器概述

1.2.1 传感器的概念

所谓传感器(Sensor),是指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三层含义: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按一定规律将感受的被测量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,如感受器、发送器、变送器、换能器或探头等,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个部分组成,其组成框图如图1.2.1所示。

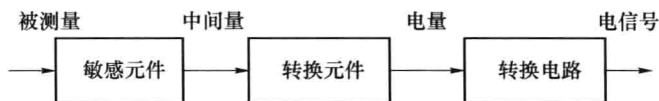


图 1.2.1 传感器组成框图

1. 敏感元件

敏感元件是能直接感受被测量,并将被测非电量信号按一定对应关系转换为易于转换成电信号的另一种非电量的元件。如应变式压力传感器中的弹性元件(如膜盒等)就是敏感元件之一。

2. 转换元件

转换元件是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(包括电参量和电能量转换)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

转换电路是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、磁电式传感器等;有些传感器由敏感元件、转换元件和转换电路组成,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

在测量和控制的应用中可以选用的传感器种类非常多。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质量,又可测量压力,还可以测量加速度等。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。

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
物理量	湿度、密度、粘度、电场、磁场、光强等
化学量	液体、气体的化学成分以及浓度、酸碱度等
生物医学量	血压、体温、心电图、气流量、血流量、脑电信号、肌电信号等

这种分类方法的优点是明确了传感器的用途,便于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。