



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

第3版

检测技术

上海交通大学 施文康 主编
合肥工业大学 余晓芬

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

检测技术

第3版

主 编	施文康	余晓芬		
参 编	樊玉铭	许陇云	吉小军	
主 审	靳世久	安志勇	梅杓春	



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,书中系统地阐述了检测技术中关于电磁量、长度量、机械量、热工量、环境量等基本参量的典型检测原理和方法以及相关的共同基础。

书中以注重学科基础为宗旨,减少了对仪器具体结构的介绍,而着重叙述基本的检测原理、检测方法、系统框图、应用实例和检测新技术。目的是使读者建立设计检测过程的整体概念,掌握本专业检测技术的基础理论和专门知识。为帮助读者理解掌握各章内容,书中设有一定量的思考题和习题。

本书参考了大量的相关书籍、论文和资料编写而成,力求论述全面系统、内容丰富新颖。本书主要作为全国高等学校“测控技术与仪器”专业的专业课教材,也可作为“仪器科学与技术”学科内各二级学科非本专业本科毕业的研究生教材和部分自动化专业本科教材以及机械、电气类其他有关专业的教学参考书,并可供广大检测科技工作者自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

检测技术/施文康,余晓芬主编. —3 版. —北京:
机械工业出版社,2010.2
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-29134-3

I. 检… II. ①施…②余… III. 技术测量—高等
学校—教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 217156 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:贡克勤 责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明

封面设计:王伟光 责任校对:申春香 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2010 年 1 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·23.25 印张·576 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-29134-3

定价:40.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是在前两版的基础上改写而成的。与第1版旨在实现“测控技术与仪器”宽口径大专业“检测技术”适用教材的从无到有和第2版旨在填补内容的空缺等编写目的不同,本版次则着重于在内容上体现时代性、实用性以及在叙述上强调可教性、可读性。因此在内容和章节安排上均作了较大幅度调整,将原先“电量测量”一章改写与扩编为“电磁量测量”,将原先“噪声及其测量”一章改写与扩编为“环境量测量”,以适应对该类测量的日益扩大的需求;精简了“测试系统”一章中有关系统特性、测量不确定度等方面的叙述和“机械振动的测量”一章中有关振动类型和模型描述方面的内容,以减少与本课程衔接课程间的重复现象;各章节都不同程度地增删了一些内容,并在文笔上力求通俗易懂。本版教材继前两版作为普通高等学校“九五”、“十五”国家级规划教材后,又列为“十一五”国家级规划教材。由上海交通大学、合肥工业大学、天津大学、上海理工大学联合编写。

本课程的实践性、综合性很强。书中力求理论和实践的密切结合,教学中宜配以相应的实验、综合课程设计等环节。上海交通大学、合肥工业大学等院校网页均有相关教学课件可供读者参考。

本书主要作为全国高等学校“测控技术与仪器”专业的本科专业课教材,也可作为“仪器科学与技术”学科内各二级学科非本专业本科毕业的研究生教材和部分自动化专业本科教材以及机械、电气类其他有关专业的教学参考书,并可供广大检测科技工作者自学和参考。

本书由上海交通大学施文康、合肥工业大学余晓芬主编。上海交通大学施文康编写第一、十、十一、十三章,合肥工业大学余晓芬编写第五、六章,天津大学樊玉铭编写第七、八、九章,上海理工大学许陇云编写第二、十二章,上海交通大学吉小军编写第三、四章。

本书由天津大学靳世久教授、长春理工大学安志勇教授、南京邮电大学梅杓春教授主审,感谢他们的严格把关和宝贵建议。借此机会还要一并感谢的还有为第1、第2版作过大量编、审工作的居滋培教授、徐锡林教授、童玲教授、钟先信教授以及丁天怀、王祈、孔力、赵建、费业泰、周百令、陈明仪、范铠诸位教授。感谢上海市教委给予本书的历次奖励和支持。感谢众多兄弟院校对本书的信任和厚爱。感谢所有给予本书以关心和

帮助的朋友。

尽管全体编者都尽心尽力，但缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论 1

第一节 检测的基本概念 1

一、检测的地位与作用 1

二、检测系统的基本组成 1

三、单位制 2

四、量值的传递与溯源 4

第二节 检测技术研究的主要内容 4

第三节 本课程的任务以及与其他课程的 关联 5

第四节 检测技术的发展方向 6

第二章 测试系统 8

第一节 测试系统的组成 8

第二节 测试系统的数学模型及频率 特性 9

一、测试系统的数学模型 9

二、线性系统的性质 11

三、传递函数 12

四、环节的串联和并联 12

五、频率响应函数 13

六、频率特性及其图像 14

七、一阶、二阶系统的频率特性 15

八、理想频率响应函数 19

第三节 测试系统对瞬态激励的响应 20

一、单位脉冲输入和系统的脉冲 响应函数 20

二、单位阶跃输入和系统的阶跃 响应 20

三、测试系统对任意输入的响应 21

第四节 测试系统频率特性的测定 23

一、正弦信号激励 23

二、阶跃信号激励 23

第五节 测量仪器的特性 25

一、测量仪器的准确度及其定量

指标 25

二、重复性 27

三、灵敏度、分辨力、鉴别力阈 和信噪比 27

四、标称范围、量程、测量范围和动态 范围 28

五、漂移、回程误差、死区和 线性度 28

六、工作频率范围、响应特性和响应 时间 30

第六节 测量不确定度 31

一、测量不确定度的含义 31

二、标准不确定度的评定 31

三、自由度及其确定 32

四、测量不确定度的合成 32

五、测量不确定度评定实例——电压 测量的不确定度计算 33

习题 34

第三章 信号描述及分析 36

第一节 概述 36

一、确定性信号 36

二、随机信号 37

三、信息熵理论概述 38

第二节 周期信号及其描述 39

一、傅里叶级数 39

二、周期信号的频谱分析 40

第三节 非周期信号的描述 42

一、傅里叶变换 42

二、几种典型信号的频谱 42

第四节 离散傅里叶变换 46

第五节 随机信号 48

一、随机过程的定义和分类 49

二、随机信号的统计特性	49	一、长度单位和定义	94
第六节 短时傅里叶变换	52	二、长度量值传递系统	94
第七节 小波变换	54	三、长度测量的标准量	94
第八节 Hilbert-Huang 变换与经验模态 分解	57	四、阿贝原则	95
一、算法简介	57	五、长度测量的环境标准要求	95
二、EMD 方法对实际漏磁信号的处理 实例	58	第二节 长度尺寸的测量	95
习题	60	一、常见尺寸的测量	96
第四章 电学与磁学量测量	63	二、大尺寸的测量	103
第一节 概述	63	三、微小尺寸的测量	107
第二节 电学量测量	64	四、被加工尺寸的在线监测	108
一、电学量测量简介	64	五、测量误差分析	110
二、电压、电流的测量	66	第三节 形位误差和异形曲面的测量	113
三、电阻、电容、电感的测量	67	一、形位误差的测量	113
四、电功率的测量	69	二、异形曲面的测量	117
第三节 频率的测量	69	第四节 表面粗糙度的测量	121
一、直接测频法	69	一、测量仪器	121
二、测周法	70	二、评定参数	123
三、多周期同步测频法	71	第五节 线位移量的测量	124
四、频率测量专用芯片	71	一、大位移量的测量	124
五、微波频率的测量	72	二、物位的测量	126
第四节 相位差的测量	72	第六节 纳米测量技术	129
一、脉冲计数法测相位	73	一、扫描隧道显微镜	129
二、基于 FFT 的相位测量	74	二、原子力显微镜	130
三、相关法测相位	74	三、X 射线干涉仪	131
四、基于集成芯片的相位测量	75	四、大量程的纳米测量技术	133
第五节 磁场测量技术及仪器	76	习题	133
一、磁测量技术简介	76	第六章 角度及角位移测量	135
二、磁感应法测磁	78	第一节 概述	135
三、霍尔效应法	79	一、角度单位及量值传递	135
四、磁阻效应法	83	二、角度的自然基准和圆周封闭 原则	135
五、磁通门法	84	三、实物基准与分度误差的特性	135
六、其他磁测量技术简介	87	第二节 单一角度尺寸的测量	138
第六节 材料磁特性测量技术	89	一、直接测量	138
习题	92	二、间接测量	142
第五章 长度及线位移测量	94	第三节 圆分度误差的测量	145
第一节 概述	94	一、圆分度误差评定指标	146
		二、圆分度误差的绝对测量	147

三、圆分度误差的相对测量	149	第三节 振动的激励和激振器	235
四、圆分度误差的组合测量	151	一、振动的激励	236
第四节 角位移量的测量	153	二、激振器	238
一、单自由度角位移的测量	153	第四节 测振传感器	241
二、多自由度角位移的测量	157	一、惯性式测振传感器的力学模型 与特性分析	241
习题	159	二、压电式加速度传感器及阻抗头	244
第七章 速度、转速和加速度测量	160	三、磁电式振动速度传感器	245
第一节 概述	160	四、电涡流测振传感器	246
第二节 速度的测量	160	五、光导纤维测振传感器	247
第三节 转速的测量	172	六、微振动测量传感器	248
第四节 加速度的测量	174	第五节 振动的测量	248
习题	186	一、振动量的测量	248
第八章 力、力矩和压力的测量	187	二、固有频率和阻尼比的测量	250
第一节 概述	187	三、机械阻抗的测量	254
第二节 力的测量	188	四、旋转机械的振动分析与监测	257
一、力的测量方法	188	习题	261
二、力的测量装置	188	第十章 温度的测量	263
三、力值的检定与定度	197	第一节 概述	263
四、质量、重量及其测量装置	197	一、温度的基本概念和测量方法	263
第三节 力矩的测量	205	二、温标	264
一、力矩及其测量方法	205	第二节 膨胀式温度计和压力式 温度计	264
二、传递法力矩测量装置	208	一、膨胀式温度计	265
第四节 压力的测量	210	二、压力式温度计	266
一、压力的量值传递系统	211	第三节 热电偶温度计	267
二、压力的计量方法和分类	211	一、热电效应和热电偶	267
三、压力测量装置	212	二、热电偶基本定律	268
四、超高压测量	218	三、标准化热电偶	269
五、压力测量仪表的调校和使用	218	四、热电偶的参比端处理	270
六、真空的测量	218	五、测温电缆	272
习题	223	第四节 电阻温度计	273
第九章 机械振动的测试	224	一、铂电阻温度计	274
第一节 概述	224	二、铜电阻温度计	274
第二节 机械振动的类型	225	三、半导体热敏电阻	274
一、振动的类型及其表征参数	225	四、热电阻温度计的测量误差	275
二、单自由度系统的受迫振动	228	五、P-N 结与集成电路温度传感器	276
三、多自由度系统的振动	229	第五节 光辐射测温方法及仪表	277
四、振动计量器具检定系统	230		
五、振动测量仪器的检定	233		

一、热辐射基本定律·····	277	第二节 大气污染的监测·····	319
二、辐射温度计·····	279	一、大气污染形式和监测项目·····	319
三、亮度温度计·····	281	二、大气监测原理和方法·····	320
四、颜色温度计·····	282	三、光谱测试技术及仪器·····	325
五、光导纤维测温技术·····	284	四、电化学测试技术·····	330
习题·····	287	五、室内空气的监测·····	331
第十一章 流量的测量 ·····	289	第三节 水污染的监测·····	334
第一节 概述·····	289	一、概述·····	334
一、流量的概念·····	289	二、原子吸收光谱法及其应用·····	337
二、流量计的分类·····	289	三、色谱法原理及其应用·····	338
第二节 总量测量仪表·····	291	习题·····	342
一、椭圆齿轮流量计·····	291	第十三章 现代测试系统 ·····	344
二、腰轮流量计(罗茨流量计)·····	292	第一节 概述·····	344
三、容积式流量计的误差·····	292	第二节 智能仪器·····	344
第三节 差压式流量计·····	292	第三节 虚拟仪器·····	345
一、差压式管道用流量计·····	292	一、基本概念·····	345
二、差压式明渠流量计·····	294	二、虚拟仪器的组成·····	346
第四节 流体阻力式流量计·····	296	三、虚拟仪器应用举例·····	348
一、转子流量计·····	296	第四节 网络化仪器和网络化传感器·····	349
二、靶式流量计·····	297	一、网络化测试技术·····	349
第五节 测速式流量计·····	298	二、网络化测试系统的组成·····	349
一、电磁流量计·····	298	第五节 微型仪器·····	350
二、涡轮流量计·····	300	第六节 测控系统·····	350
三、超声波流量计·····	300	第七节 工程应用实例·····	352
第六节 振动式流量计·····	302	一、电梯导轨多参数测量系统·····	352
第七节 质量流量计·····	305	二、海底敷缆测量系统·····	354
一、直接式质量流量计·····	305	三、管道漏磁检测系统·····	355
二、推导式质量流量计·····	306	四、端面摩擦磨损试验机·····	356
习题·····	308	五、计算机辅助水泵试验测试系统·····	358
第十二章 环境量的测量 ·····	309	六、基于数字图像分析的深孔表面质量 检测系统·····	359
第一节 噪声的测量·····	309	七、大型电力变压器综合在线监测 系统·····	360
一、测量项目和评价参数·····	309	参考文献 ·····	362
二、测量仪器·····	314		
三、噪声的测量方法·····	316		

第一章 绪 论

第一节 检测的基本概念

一、检测的地位与作用

世上万物千差万别，含有大量的信息。无论是现代化大生产、科学研究，还是人们的日常生活、医疗保健、所处环境，无不包含着大量的有用信息。正像物质和能源是人类生存和发展所必需的资源一样，信息也是一种不可缺少的资源。物质提供各种各样有用的材料；能源提供各种形式的动力；而信息向人类所提供的则是无穷无尽的知识与智慧。信息化是当今社会的一大特征，检测技术作为信息科学的一个分支起着越来越重要的作用。我国著名科学家钱学森院士指出：“新技术革命的关键技术是信息技术。信息技术是由测量技术、计算机技术、通信技术三部分组成，测量技术是关键和基础。”因为检测技术除了能为相关学科分支提供所需的信息原材料外，它本身也融信息的采集、调理、处理、控制与输出为一体，形成完整的测控系统及仪器设备，以满足越来越多和越来越高的需求。例如，在工业生产中对产品质量的控制；在科学研究中对未知世界的探求；在生物医学工程中对人体生命活动的监视和诊断；在人类赖以生存的外部世界内，对环境和各类设施的监测和控制，以及在对航天飞机、飞船、人造卫星、导弹等空间领域的开发利用方面，都离不开检测技术。信息工业的要素包括信息的获取、存储、处理、传输和利用，而信息的获取主要是靠仪器仪表来实现的。检测技术是信息工业的基础，如果获取的信息是错误的，那么对其后续的存储、传输、处理等进一步操作都是毫无意义的。没有现代化的检测技术，也就没有现代化的生产和现代化的社会生活。检测和控制更是密不可分的，检测是控制的前提条件，而控制又是检测的目的之一。所以，仪器仪表是信息产业的一个重要组成部分，是信息工业的源头，被誉为工业生产的“倍增器”，科学研究的“先行官”，军事上的“战斗力”，社会上的“物化法官”，遍及“农轻重、海陆空、吃穿用”各个领域，是一个国家科技水平和综合国力的重要体现，应予以高度重视。

二、检测系统的基本组成

顾名思义，检测技术包含着“检”和“测”两个内容。“检”就是力图发现被测对象中的某些待测量并以信号形式表示出来，它是在所用技术能及的范围内回答“有无”待测量的操作；“测”则是将待测量的信号加以量化，是以一定的精确度回答待测量“大小”的问题。工程中，“检测”视作为“测量”的同义词或近义词。国家标准对测量定义为：测量是指以确定对象属性和量值为目的的全部操作。

一个完整的检测系统除“检”和“测”的基本功能外，还应该对检测过程的操作

控制、数据的传输和分析处理等环节,也就是说,一般应包括:

信息的提取——用传感器来完成。信号是信息的载体。一般将被测信息转换成电信号,也就是说,把被测信号转换成电压、电流、频率等电信号输出。

信号的转换存储与传输——用中间转换装置来完成。一般是把信号转换成传输方便、功率足够、可以被传输、存储、记录并具有驱动能力的电压量,或将这个电压量转换为数字量以供后续数字化设备所需。

信号的显示和记录——用显示器、指示器、各类磁或半导体存储器 and 记录仪完成。

信号的处理和分析——用数据分析师、频谱分析师、计算机等来完成。找出被测信息的规律,给出测得信息的精确度,为研究和鉴定工作提供有效依据,为控制提供信号。至今,一些单一功能的仪器可通过计算机软件来取代或方便组合,构成“虚拟仪器”。不断发展完善的分析理论和算法能将深藏在紊乱、微弱信号中的有用信息挖掘整理显露出来。图 1-1 为一个典型的检测系统框图。

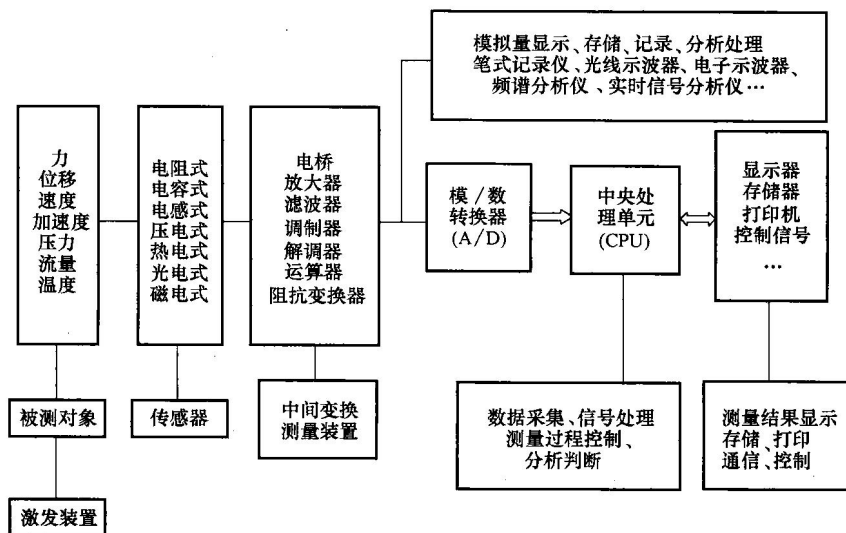


图 1-1 典型测试系统框图

综上所述,检测技术归纳起来,有如下三种功能:

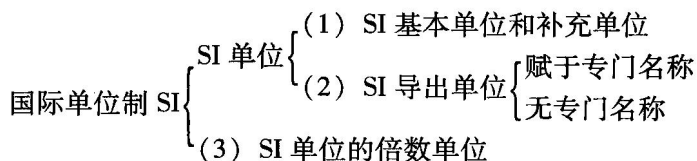
- 1) 被测对象中参数测量功能。
- 2) 过程中参数监测控制功能。
- 3) 测量数据分析、处理和判断功能。

三、单位制

测量是人们对客观事物取得定量认识的一种手段。用以定量表示同类量量值而约定采用的那个已知特定量被称作为该类的计量单位。例如将“秒”作为“时间量”的计量单位。按类似约定规则确定的一套完善的制度及其全部单位的总体,称作为计量单位制。最普遍使用的是国际单位制,它是在 1960 年第十一届国际计量大会(CGPM)上通过的,用符号“SI”(Standard International)表示。

(一) 国际单位制的构成

国际单位制由基本单位及补充单位、导出单位、倍数单位三大块组成。如下所示：



(1) SI 基本单位、补充单位 SI 基本单位共有 7 个，补充单位共有两个，如表 1-1 所示。

表 1-1 基本单位和补充单位

量	单位名称和符号	量	单位名称和符号
基 本 单 位		基 本 单 位	
长度	米(m)	物质的量	摩尔(mol)
质量	千克(kg)	照明强度	坎德拉(cd)
时间	秒(s)	补 充 单 位	
电流	安培(A)	平面角	弧度(rad)
热力学温度	开尔文(K)	立体角	球面弧度(sr)

(2) SI 导出单位 由 SI 基本单位和补充单位通过选定的公式而导出的单位。其主要有两种，一种是有专门名称和符号的，一般是以科学家名字命名的如表 1-2 所示；另一种是以基本单位、补充单位、导出单位等组合而成的，不具有所赋予专门符号的常用导出单位，如表 1-3 所示。

表 1-2 导出单位及其被赋予的专门符号

量	单位	符号	公 式	量	单位	符号	公 式
电容	法拉	F	C/V	频率	赫兹	Hz	1/s
电导	西门子	S	A/V	磁通量	韦伯	Wb	V · s
电感	亨利	H	Wb/A	磁通密度	特斯拉	T	Wb/m ²
电势(电压)	伏特	V	W/A	功率	瓦特	W	J/s
电阻	欧姆	Ω	V/A	压强、压力	帕斯卡	Pa	N/m ²
能量(功、势量)	焦耳	J	N · m	电荷量	库仑	C	A · s
力	牛顿	N	Kg · m/s ²				

表 1-3 不具有所赋予专门符号的常用导出单位

量	公 式	量	公 式	量	公 式
加速度	m/s ²	密度(质量)	kg/m ³	速度	m/s
角加速度	rad/s ²	密度(能量)	J/m ³	(绝对)黏度	Pa · s
角速度	rad/s	热通量	W/m ²	体积	m ³
面积	m ²	力矩	N · m		

(3) SI 单位的倍数单位 SI 单位词头前冠以十进制倍数或分数代号以扩大或缩小原有单位,成为 SI 单位的倍数单位,如表 1-4 所示。

表 1-4 倍数单位前缀

倍数和分数	前缀	符号	倍数和分数	前缀	符号	倍数和分数	前缀	符号	倍数和分数	前缀	符号
10^{18}	Exa	E	10^6	Mega	M	10^{-1}	Deci	D	10^{-9}	Nano	N
10^{15}	Peta	P	10^3	Kilo	K	10^{-2}	Centi	C	10^{-12}	Pico	P
10^{12}	Tera	T	10^2	Hector	H	10^{-3}	Milli	M	10^{-15}	Femto	F
10^9	Giga	G	10	Deka	Da	10^{-6}	Micro	μ	10^{-18}	atto	a

(二) 我国的法定计量单位

我国的法定计量单位是以国际单位制为基础,根据我国的实际情况,适当增加了一些其他单位而构成的,如表 1-5 所示。

表 1-5 国家选定的非国际单位制单位

序号	量的名称	单位名称	单位符号	序号	量的名称	单位名称	单位符号
1	时间	分	min	5	速度	节	kn
		[小]时	h	6	质量	吨	t
		日(天)	d			原子质量单位	u
2	平面角	[角]秒	($''$)	7	体积	升	L(1)
		[角]分	($'$)	8	能	电子伏	eV
		度	($^{\circ}$)	9	级差	分贝	dB
3	旋转速度	转每分	r/min	10	线密度	特[克斯]	tex
4	长度	海里	n mile	11	面积	公顷	hm ²

四、量值的传递与溯源

(一) 量值的传递

任何计量器具,都具有不同程度的误差,必须用适当等级的计量标准进行周期检定,以保证其误差在允许的范围之内。

将国家计量基准所复现的计量单位量值,依次逐级传递给下一等级的计量器具。这一过程称为量值传递。这种自上而下的活动带有强制性。

(二) 量值的溯源

量值的溯源是从下而上,主动地由基层企业根据测量准确度的要求,自主地寻求具有较佳不确定度的参考标准进行测量设备的校准,甚至与国家或国际的计量基准进行比对和校准。这种自下而上的活动则是量值传递的逆过程。

正常运行的量值传递和溯源是正常生产和质量保证的前提。

第二节 检测技术研究的主要内容

为实现对某一特定物理量的检测,需要涉及测量原理、测量方法、测量系统和测量数

据处理等。所谓测量原理是指实现测量所依据的物理、化学、生物等现象与有关定律的总体。例如热电偶测温时所依据的热电效应；压电晶体测力时所依据的压电效应；激光测速时所依据的多普勒效应等。一般说来，对应于任何一个信息，总可以找到多个与其对应的信号。反之，一个信号中也往往包含着许多信息。这种信息、信号表现形式的多样化给检测技术的发展提供了广阔的天地。对于一个量的测量可通过若干种不同的测量原理来实现。发现与应用新的测量原理，从事相应传感器的开发研究是检测工程技术人员最富有创造性的工作，选择合适的性价比好的测量原理也是测试人员最为日常的工作。要选择好的测量原理，必须充分了解被测量的物理化学特性、变化范围、性能要求、成本开销和外界环境条件等。这些都要求检测技术人员的知识面广，具有扎实的基础理论、专业知识和优良的实际动手能力及创新意识。

测量方法是指测量原理确定后，根据测量任务的具体要求所采用的不同的策略，有电测法或非电测法；模拟量测量法或数字量测量法；单次或多次测量；等精度或不等精度测量；直接测量或间接测量法；偏差测量法或零位测量法等。确定了测量原理和测量方法，便可着手设计或选用各类装置组成测量系统，并对测量数据作必要的整理加工、分析处理，得出符合客观实际的结论。

第三节 本课程的任务以及与其他课程的关联

检测技术是一门综合性技术。现代检测系统常常是集光机电于一体的、软硬件相结合的、具有智能化、自动化的系统，甚或虚拟化、网络化的系统。它涉及到传感器技术、电子技术、光电技术、控制技术、计算机技术、数据处理技术、精密机械设计技术等众多基础理论和基础技术。

本课程是在修完各类相关技术基础课程后进行的专业教学课程。本课程着重培养学生灵活合理地应用所学的基础技术知识，全面考虑精度、稳定性、经济性、可行性、寿命、使用维修方便性与环境适应性等方面的各种要求，从选择、发现测量原理、测量方法入手，设计开发各类测量系统；或掌握现有检测仪器设备的性能，并合理选用；对测量值进行误差分析、验证并加以控制。可以说，对本课程掌握的程度在相当大程度上反映出一个测控技术人才的综合业务能力。

人类历史上很早就有关于测量仪器的记载，现代测量仪器更是种类繁多。本课程不可能也没有必要对测量仪器作一产品式的认识学习，而是围绕对典型被测量所用的典型原理、方法、系统展开讨论，归纳出检测技术的一些共同的基本原理和特性，以便举一反三、灵活应用，激发学生获取新知识的进取精神和探索新领域的创新意识。为培养宽厚型、复合型、开放型、创新型的高层次、高水平、高素质优秀人才的总目标而努力。

总之，通过本课程的学习，要求学生能做到：

- 1) 掌握常用检测技术的基本理论。
- 2) 熟练掌握各类典型传感器的基本原理、适用范围和工程应用。
- 3) 提高可持续发展的自学能力和自主创新的开拓精神。
- 4) 具有检测系统的机、电、计算机方面的总体设计能力和技术开发、实践动手

能力。

- 5) 具有实验数据处理和误差分析能力。

第四节 检测技术的发展方向

现代科学技术的迅猛发展为检测技术的进步和发展创造了条件。同时,也不断地向检测技术提出更新更高的要求。尤其是计算机技术和微电子技术的发展,使得检测技术和仪器仪表得到了划时代的进步和发展。将测量和控制自然地组合在一起的“测控技术与仪器”专业近年来以异乎寻常的速度向前发展,受到普遍的欢迎。可以预见,伴随着我国由制造大国向制造强国发展的步伐,这种发展趋势将变得越来越强劲。

测试仪器仪表近 20 年来发展的突出特点是向着智能仪器、虚拟仪器和网络化仪器及远程测控方向发展,计算机视觉检测技术近年来也异乎寻常地受到极大的关注。

对智能仪器的认识已从过去宣传广告般的将具有少许校正、补偿功能的计算机化仪器号称智能仪器这种状态中解放出来,而是将人工智能的理论、方法和技术较大范围内应用于仪器,使其具有类似于人类智能化的特性或功能。智能仪器中一般都使用嵌入式微处理机系统芯片(SOC)、数字信号处理器(DSP)、专用电路(ASIC)或可编程逻辑门阵列(PLD、CPLD、FPGA 等),带有处理能力很强的软件。具有采集信息、与外界对话、记忆存储、处理信息、输出控制信息、自检自诊断、自补偿自适应、自校准、自学习等功能。

虚拟仪器概念的引入使传统仪器仪表的面貌发生革命性的变化。“软件就是仪器”已成为现实,应用图形化编程语言 Labview、Labwindows、CVI、VEE 等开发软件,用户可以自己定义自己的仪器,方便地创建仪器软面板,或通过 VXI、PXI、PCI 仪器总线自由地将各测试模块组合成完整测试系统,或将 GPIB、RS-232 等接口的仪器自由组合起来,从而大大扩展了仪器的功能,节省了不少硬件资源。

网络技术大大缩小了时间和空间领域,人类所居住的地球好像成了一个小村落,世界上所发生的事情好像就在街坊邻里间。网络化仪器则把远在千里的测控任务犹如放在本实验室进行。现场网络化、智能化仪器(或传感器)通过嵌入式 TCP/IP 协议软件,使它们与计算机一样,成为网络中独立的节点,用户可通过浏览器或符合规范的应用程序即可实时浏览这些测试信息。无线传感器网络具有自组网的能力,使散布的各别检测节点能灵活地根据现场情况组合起来,发挥群体的优势。

机器视觉检测技术之所以得到快速发展是因为视觉是一个有待于进一步开发的巨大的信息资源宝库。因为人们从外界所获取的信息有一半以上是由视觉获得的,即视觉占 60%,听觉占 20%,触觉 15%,味觉 3%,嗅觉 2%。机器视觉就是用机器代替人眼来做测量和判断,它起步于 20 世纪 80 年代,到目前为止,已经历了大约三个发展阶段:第一阶段是色差传感器阶段;第二阶段是各种视频卡纷起阶段;第三阶段是嵌入式视觉系统和视频卡并存的阶段。根据这几年的发展来看,今后的几年是视觉发展的重要阶段,而嵌入式系统也将扮演越来越重要的角色。

从检测技术所涉及的领域看,微米纳米检测(包括 MEMS 检测、纳米检测)已成为一种前沿的检测技术并引起了广泛的关注。它对微纳米技术的发展起着极其关键的支撑作用。

由于 MEMS 具有结构尺寸小、集成度高等特点, 纳米技术更是集中于纳米尺度上的操作、分析, 当尺寸缩小到一定范围时, 许多物理现象将与宏观世界有很大差别。包括尺度效应和表面效应、微流体力学、微观力学和热力学、微机械特性和微摩擦学、微光学等。因此传统的精密检测技术与方法已不能完全满足需要, 一些新型的检测手段的研究开发是摆在我们检测工作者面前的一个迫切任务。另一方面, 微米纳米技术的进步所提供的微型构件、微型驱动器、微型传感器和微型执行器等基础元件, 给仪器仪表的微型化、集成化创造了有利条件, 检测工作者应该时刻掌握这些新技术发展的动态, 及时应用这些新技术的成果。

从仪器仪表本身的角度看, 微型仪器也是人们长期追求的目标。至今, 这个梦想已部分地成为现实, 掌上式频率计和频谱分析仪已面市, 手提式血液分析系统已可取代一大套大型生化仪器; 手提式微金属检测仪可方便地检测水质等。用于元素分析的质谱仪照例说是一台庞大的设备, 它应具有真空、电离、探测等许多部分, 目前已做得如台式计算机般大小, 并已着手向手提式方向发展。这些都得益于计算机技术、微电子技术、表面封装技术、信号处理技术、微机械技术的长足进步。

同样地, 随着计算机技术、信号分析处理技术和检测理论的发展, 软测量技术 (Soft sensor technology) 及其应用也常见之文献、刊物、报端。这是利用易测参量与难以直接测量的参量之间的数学关系, 通过数学计算和方法估计, 在测定易测量的基础上实现对待测量的测定。其实质是基于间接测量的思想, 是对传统意义上的间接测量的扩展。它不仅有助于检测由于技术或经济等方面的原因造成的难以直接测量的参量, 扩大测量范围, 而且可以更深刻地发掘包含在测得的信号中的丰富信息, 如被测对象的二维或三维空间、时间的分布信息, 状态估计、诊断和趋势分析信息等。同时, 软测量技术能为测量系统的动态校准及动态特性改善提供一种有效手段, 对测量系统进行误差补偿、误差分离, 提高测量系统的精度和可靠性。软测量技术的关键是建立表征辅助变量 (易测变量) 与主导变量 (难以直接测量的待测变量) 之间数学关系的软测量模型。按建立数学模型的方法不同, 可将软测量技术分为: 机理建模、回归分析、状态估计和辨识、模式识别、人工神经网络、模糊数学、相关分析、过程层析成像、非线性处理 (小波分析、混沌和分形技术等)。目前, 这些理论和方法已越来越完善, 并开发了许多相应的 “软仪器”。

上述仪器仪表发展的总趋势, 今后将变得更快更深更广。

第二章 测试系统

第一节 测试系统的组成

包含对被测对象的特征量进行检出、变换、传输、分析、处理、判断和显示等不同功能环节所构成的一个总体，称为测试系统。图 2-1 为一个典型测试系统的组成框图。

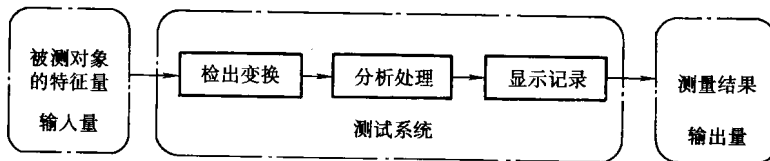


图 2-1 测试系统的组成框图

严格地讲，测试系统还应包括使被测对象置于预定状态下的试验装置、连接和协调各环节工作的传输手段及控制部分。

从被测特征量的检出到最后的处理和显示所连成的一个完整的测试系统，还可以进一步划分成由若干个较小的分系统所组成。例如，以将被测特征量转换成以电量为主要信号形式的传感器为中心的检出分系统；对检出信号进行变换，以提高测量效率和便于作数据处理的数据变换分系统；进行测量的测量分系统；按测试目的对数据进行分析、处理的数据分析处理分系统；以及将所测得的有用信号及其变化过程显示或记录下来的显示或记录分系统等。必须指出，将测试系统划分成若干分系统的目的是为了便于对整个系统进行深入的研究。实际上构成这些分系统的具体装置或仪器，可以是单台仪器或由多台仪器组合而成，也可以是传感器、放大器、中间变换器、记录器，甚至是一个简单的 RC 滤波电路等。

随着信号处理技术的迅速发展和计算机技术在信号处理中的广泛应用，计算机(包括其硬件和相应软件)已成为现代测试系统的有机组成部分。

测试系统的基本要求是信号不失真，即测试系统任何时刻的输出量 $y(t)$ 与对应时刻的输入量 $x(t)$ 之比为常数 A_0 。如果输出延迟了 t_0 ，则指 $y(t) = A_0 x(t - t_0)$ 。

其次，系统的信噪比必须充分大。信噪比过小甚至信号淹没在噪声中，带来很大的不确定度。为此，必须努力降低损耗，提高信号转换中的效率，提高灵敏度。

任何动态测试都有过渡过程。但只有稳态输出才能得到稳定可靠的数据。因此良好的动态测试系统应该具有尽可能短的过渡过程和尽可能小的超调量。

对于任何一个测试系统的基本要求是可靠性高而实用，通用性好而经济。这亦应成为考虑测试系统组成的前提条件。