



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

机械工程测试技术

主 编 韩建海 马 伟

副主编 尚振东 郭爱芳
王恒迪 韩红彪

主 审 王伯雄

中国机械工程学科教程研究组

China Mechanical Engineering Curricula

中国机械工程学科教程

清华大学出版社

清华大学出版社



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

主 编 韩建海 马 伟
副主编 尚振东 郭爱芳 王恒迪 韩红彪
主 审 王伯雄

机械工程测试技术

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍了与机械工程相关的测试技术的基本概念、基础理论和应用技术。全书围绕测试系统的组成,讲述了常用传感器的原理与应用、测试信号调理电路、信号分析与处理、计算机测试系统、测试系统的特性、测试系统的干扰及其抑制、机械工程中常见量的测试等内容。

本书以典型案例教学为主线,贯穿整个理论教学和实验教学的全过程,强化工程实际应用,突出学生能力培养,重点介绍如何根据具体测试任务制定和优化测试方案、恰当选择器件和部件、合理设计测试系统各模块、构建满足特定功能和技术指标的测试系统、正确处理测试数据等,力求体现先进性、实用性,注意反映当今测试技术发展的新成果和新动向。

本教材适应普通高等院校机械类、近机械类专业测试技术课程使用,同时可供有关工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术/韩建海,马伟主编.--北京:清华大学出版社,2010.5

(中国机械工程学科教程配套系列教材)

ISBN 978-7-302-22275-0

I. ①机… II. ①韩… ②马… III. ①机械工程—测试技术—高等学校—教材
IV. ①TG806

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 048747 号

责任编辑:庄红权

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:17 字 数:397 千字

版 次:2010 年 5 月第 1 版 印 次:2010 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.80 元

产品编号:029150-01

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从20世纪90年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

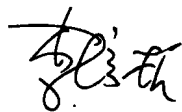
当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

前 言

FOREWORD

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会于2007年会同中国机械工程学会、清华大学出版社组成“中国机械工程学科教程研究组”。研究组构造了机械工程本科专业教育的知识体系和框架,建立了良好的课程知识体系,出版了《中国机械工程学科教程》。

本书采用测试知识边界再设计的方法,根据机械类、近机械类专业“测试技术”教材大纲编写,体现了《中国机械工程学科教程》中的思想,是“中国机械工程学科教程配套系列教材编审委员会”的立项项目。

本书定位为面向普通院校机械类、近机械类各专业测试技术课程的教材。按照应用型高级人才的培养目标和强化工程实际应用能力培养的要求,本书更加注重测试技术的系统应用,从工程应用角度审视信号测试的整体问题。随着测试技术的发展,许多测试器件都已商品化,而无需重新设计。因此,尽量删减元器件的内部工作原理,而将测试方案的制定和优化、器件的选择和应用等内容作为重点进行讲解。

本书以学生能力培养为目标,组织安排相关的教学内容,以典型工程实际案例教学为主线,贯穿整个理论教学和实验教学的全过程。在内容的编排上遵循由浅入深、由具体到抽象、循序渐进的规律。按传感器、调理电路、信号分析与处理、测试系统特性等顺序安排内容,依次对测试系统各组成部分的原理、功能、应用等做了介绍,重点放在原理和应用,然后针对机械工程中常见的被测量的测试方法进行讲解,使教材的整体章节系统与工程实际中的测试系统紧密地结合起来。在内容的具体编写上,立足于测试技术理论知识和工程实际应用的恰当结合,强化工程实际应用,内容全面、丰富,重点突出,层次清楚,既注重基础理论,又强调知识的综合应用,力求体现先进性、实用性,注意反映当今测试技术发展的新成就和新动向。

全书共分8章。首先从我们身边的测试技术谈起,介绍了测试系统的基本概念、基础理论和应用技术,然后围绕着测试系统的组成,讲述了常用传感器的原理与应用、测试信号调理电路、信号分析与处理、计算机测试系统、测试系统的特性、测试系统的干扰及其抑制、机械工程中常见量的测试等内容,每章均附有习题。

本书由河南科技大学的教师编写。第1章由韩建海执笔,第2、5章和8.3节、8.4节由郭爱芳执笔,第4章和第6章由尚振东执笔,第3章由王恒迪执笔,第7章由韩红彪执笔,8.1节、8.2节由蔡海潮执笔,马伟在大纲制

定、内容安排、实验教学等方面做了大量工作。全书由韩建海、马伟担任主编,负责统稿,尚振东、郭爱芳、王恒迪和韩红彪担任副主编,协助统稿。

全书由清华大学的王伯雄教授主审。王教授对书稿的编写提出了不少宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中参阅了同行专家学者和一些院校的教材、资料和文献,在此向文献作者致以诚挚的谢意。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处和错误,敬请广大读者不吝指正。

编者

2010年4月

第 1 章 绪论	1
1.1 测试技术概述	1
1.2 测试系统的组成	3
1.3 测试技术的发展趋势	4
1.4 本书主要内容和学习要求	7
习题与思考题	7
第 2 章 传感器	8
2.1 传感器概述	8
2.1.1 传感器的组成与分类	8
2.1.2 传感器的选择	10
2.2 能量控制型传感器	11
2.2.1 电阻式传感器	11
2.2.2 电容式传感器	18
2.2.3 电感式传感器	22
2.3 能量转换型传感器	29
2.3.1 压电式传感器	29
2.3.2 磁电式传感器	32
2.3.3 热电偶传感器	34
2.4 光电传感器	36
2.4.1 光电器件	37
2.4.2 光纤传感器	39
2.4.3 光栅传感器	41
2.4.4 电荷耦合器件	44
2.4.5 红外传感器	45
2.5 半导体传感器	46
2.5.1 霍尔传感器	46
2.5.2 气敏传感器	48
2.5.3 湿敏传感器	48

2.6 项目设计实例	49
习题与思考题	51
项目设计	52
第3章 信号转换与调理	54
3.1 信号转换与放大	54
3.1.1 信号转换	54
3.1.2 信号放大	64
3.2 测量电桥	67
3.2.1 直流电桥	68
3.2.2 交流电桥	71
3.3 调制与解调	72
3.3.1 调幅及其解调	73
3.3.2 调频及其解调	77
3.4 滤波器	79
3.4.1 滤波器的分类	79
3.4.2 滤波器的特性	81
3.4.3 RC有源滤波器	82
3.4.4 恒带宽滤波器与数字滤波器简介	86
3.4.5 应用 MATLAB 设计和分析滤波器	88
3.5 项目设计实例	89
习题与思考题	93
项目设计	94
第4章 测试信号分析与处理	95
4.1 概述	95
4.1.1 信号的概念和分类	95
4.1.2 信号分析	96
4.2 信号的时域分析	97
4.2.1 信号的运算	97
4.2.2 信号的波形变换	97
4.2.3 信号的时域统计参数	98
4.2.4 相关分析	100
4.3 信号的频域分析	105
4.3.1 周期信号及其频谱	105
4.3.2 非周期信号及其频谱	111
4.3.3 功率谱分析	118
4.4 数字信号分析与处理	120
4.4.1 采样与采样定理	120

4.4.2	离散傅里叶变换(DFT)及其快速算法(FFT)	122
4.4.3	FFT 应用中的若干问题	123
4.5	现代信号分析方法简介	126
4.6	项目设计实例	127
	习题与思考题	128
	项目设计	129
第5章	测试系统特性分析	130
5.1	测试系统概述	130
5.1.1	线性系统及其主要性质	130
5.1.2	测量误差	132
5.2	测试系统的标定	133
5.3	测试系统的静态特性	134
5.3.1	测试系统的静态数学模型	135
5.3.2	测试系统的静态特性参数	136
5.4	测试系统的动态特性	139
5.4.1	测试系统的动态数学模型	139
5.4.2	测试系统动态特性参数的测量	145
5.4.3	实现不失真测量的条件	149
5.4.4	负载效应	150
5.5	测试系统的抗干扰设计	152
5.5.1	电磁干扰	152
5.5.2	屏蔽、接地与隔离设计	153
5.5.3	电源干扰的抑制	155
5.6	项目设计实例	156
	习题与思考题	157
	项目设计	158
第6章	计算机测试系统	159
6.1	计算机测试系统的组成	159
6.2	微处理器及其选择	161
6.3	嵌入式计算机测试系统	163
6.3.1	微处理器	163
6.3.2	数据采集系统	166
6.3.3	软件设计	169
6.4	虚拟仪器测试系统	171
6.4.1	虚拟仪器概述	171
6.4.2	信号调理器和数据采集卡	172
6.4.3	软件开发平台	175

6.4.4	LabVIEW 中的信号分析与处理工具箱	177
6.4.5	LabVIEW 在滤波器设计和分析中的应用	181
6.5	常用数据处理算法	184
6.5.1	概述	184
6.5.2	常用数据处理算法	185
6.6	设计项目	191
	习题与思考题	192
	项目设计	192
第7章	机械工程中常见量的测量	194
7.1	力、扭矩测量	194
7.1.1	拉压力传感器	194
7.1.2	压力传感器	198
7.1.3	扭矩传感器	201
7.1.4	力、应力和压力测试系统的标定	206
7.2	位置、位移等的测量	208
7.2.1	限位开关	208
7.2.2	接近开关	208
7.2.3	物位传感器	209
7.2.4	位移传感器	210
7.3	温度测量	217
7.3.1	温度测量方法	217
7.3.2	温度传感器分类	218
7.3.3	常见温度传感器	219
7.3.4	温度传感器的选择	221
7.3.5	温度传感器的应用	221
7.3.6	温度测量系统的标定	222
7.4	振动量的测量	223
7.4.1	概述	223
7.4.2	振动测量方法	224
7.4.3	振动量的测量系统	226
7.4.4	常见的振动传感器	228
7.4.5	加速度传感器的选择	232
7.4.6	振动测量的应用	233
7.5	项目设计实例	234
	习题与思考题	235
	项目设计	236

第 8 章 机械设备故障诊断技术	237
8.1 概述	237
8.1.1 机械故障诊断的内容	238
8.1.2 机械故障诊断技术	239
8.2 声发射诊断技术	242
8.2.1 声发射原理	242
8.2.2 声发射技术	242
8.2.3 声发射信号的处理方法	243
8.2.4 声发射检测仪器	246
8.3 滚动轴承的故障诊断	247
8.3.1 滚动轴承故障的检测方法	247
8.3.2 滚动轴承故障的振动诊断	247
8.3.3 滚动轴承故障的声发射诊断	252
8.4 项目设计实例	253
习题与思考题	255
项目设计	255
参考文献	256

绪 论

能力培养目标

1. 理解测试与测试技术的概念；
2. 掌握测试系统的组成和测试技术的发展趋势；
3. 了解本课程的主要内容与学习方法。

测试技术属于信息科学范畴,是信息技术三大支柱(测试控制技术、计算机技术和通信技术)之一。测试技术是用来检测和处理各种信息的一门综合技术,在科学研究、工业生产、医疗卫生、文化教育等各个领域都起着相当重要的作用。

本章主要介绍测试技术的基本概念,包括测试技术和测试系统;介绍了测试技术的应用和发展趋势、测试系统的组成;同时简要介绍了本书的主要内容、编写特点和学习要求。

1.1 测试技术概述

1. 生活中的测试技术

测试技术并不神秘,在我们生活中,就会遇到许多应用测试技术的实例。例如:电子血压计中人体血压和心跳的测量、全自动洗衣机中衣服的重量和水位的测量、指纹门锁中对人手指纹的检测、电子体温计对人体温度的检测、电冰箱和电饭煲中的温度测试、数码相机中的自动对焦、自动门的人体检测、超市中商品的条形码扫描、汽车中的燃料量和速度测试等,不胜枚举。相信随着科学技术的发展和人们对物质文化生活需求的增长,运用测试技术的机电产品,将在我们的日常生活中扮演更加重要的角色。

2. 计量、测量、试验和测试

为了准确理解测试技术的概念,需要先搞清楚下面几个密切关联的基本概念。

计量(metrology)是实现单位统一、量值准确可靠的活动(JJF—1001—1998 通用计量术语及定义 4.2)。测量(measurement)是指以确定被测对象的量值为目的而进行的实验过程。一个完整的测量过程必定涉及被测对象、计量单位、测量方法和测量误差四要素。试验(test)是对未知事物探索认识的过程。测试(measurement and test)是测量和试验的综合。

工程测试可分为静态测量和动态测试。静态测量是指不随时间变化的物理量的测量,例如抽样测量辊压后钢板厚度的尺寸。动态测试是指随时间变化的物理量的测量,例如数控辊压机中,为保证生产出厚度合格的钢板,作为调整滚轮间距的依据,对加工出的钢板进行的实时连续测量。

本书主要是关于如何用技术的手段实现动态测试,涉及测试原理、测试方法、测试系统、测试数据处理等。

3. 测试技术

测试技术(measurement and test technique)是测量和试验技术的统称,是关于将被测量转换为可检测、传输、处理、显示或记录的量,再与标准量比较的过程技术。

人类认识和改造客观世界是以测试为基础的,进入以知识经济为特征的信息时代后,测试控制技术、计算机技术与通信技术一起构成了现代信息的三大基础。测试技术的水平在相当程度上影响着科学技术发展的速度和深度。许多新的发明制造都与测试技术的创新分不开。科学技术上的某些突破,也是以某一测试方法的突破为基础的。在现代科学研究和新产品设计中,为了掌握事物的规律性,人们需测试许多有关参数,用以检验是否符合预期要求和事物的客观规律。

我们的祖先很早就设计出计时仪器——日晷。17世纪开普勒发明的望远镜可观测到数亿天体。利用现代航天、遥感、遥测技术,处在数万米高空的测试设备,能够识别地面 1m^2 的平面轮廓;扫描隧道电子显微镜的分辨力达 0.1nm 。这些强有力的观测工具在为人类揭开物质世界奥秘的同时,也对电子技术、材料科学的发展做出了突出贡献。

机械工程领域中的科学实验、产品开发、生产监督、质量控制等,都离不开测试技术。作为自动化或控制系统中的一个环节,在各种自动控制系统中,测试环节起着系统感官的作用。工业自动化生产过程中,为了保证正常、高效的生产,对生产过程自动化的程度提出了愈来愈高的要求,无论是产品的性能、品质参数还是加工过程中的在线测量,以及产品的包装等。例如数控机床中为了精确控制主轴转速,需要对机床主轴转速进行测试。机器人为了获得手臂末端在作业空间中的位置、姿态和手腕作用力等信息,需要对各个关节的位移、速度和手腕受力进行实时的测试。自动生产线上常需应用测试技术对零件进行分类和计数。图1.1为机械工程中几种典型的测试技术应用例子。

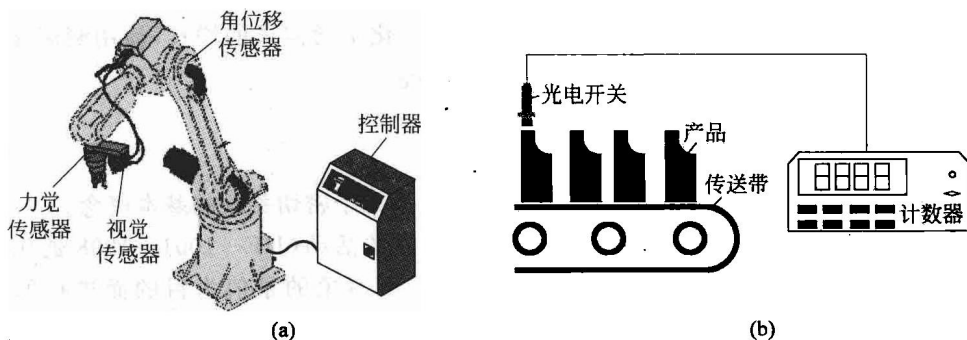
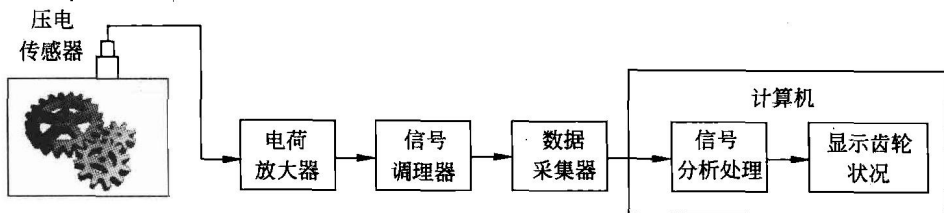


图 1.1 机械工程中几种典型的测试技术应用例子

(a) 机器人中的力、角度等的测试; (b) 自动生产线上的零件计数器; (c) 齿轮故障测试系统



(c)

图 1.1(续)

测试技术的应用涉及每一个工程领域。本书主要以机械工程领域中各种物理量的检测为研究对象和教学案例,来讲解各种物理量的测量原理和测量信号的分析处理方法。

1.2 测试系统的组成

1. 测试系统与测试信号

对被测量的测试需要由一套专门的设备来完成。完成对被测量测试的专门设备称为测试系统。

测试系统是通过某种技术方法,从被测对象的运动状态中提取所需的信息。这个信息从物理的角度讲,是以某种信号的形式反映出来的。

信息本身不具有能量及物质,信息的传递必须借助于某种中间媒介,而这个包含特定信息的媒介即为信号。信号一般表现为声、光、电、磁等物理量。

在工程实际中,测试系统包括信号的获取、加工、处理、显示、反馈、计算等,因此测试系统对被测参量测试的整个过程都是信号的流程。

2. 测试系统的组成

测试系统可以是某个大型设备中的一部分,例如图 1.1(a)所示的机器人力、角位移测试系统是机器人系统中的一部分。测试系统也可以是专门研制的一种测试仪器,例如图 1.1(b)所示生产线上的零件计数器。测试系统还可以是一系列仪器的组合,例如图 1.1(c)所示的齿轮故障测试系统。

虽然测试系统可大可小,其组成仪器可多可少,但都由一些最基本的、功能相同的部分所组成。机器人中的力测试系统由传感器(力传感器)、中间调理电路(整形电路等)和数据输出器件(数据线等)组成。齿轮故障测试系统由传感器(压电传感器)、中间调理电路(电荷放大器、信号调理器、数据采集器等)和信号分析、处理、显示单元(计算机)等组成。

可见,测试系统一般主要由传感器、中间调理电路、显示存储和输出装置三部分组成。这三部分及其与被测对象之间的关系如图 1.2 所示。

传感器是“感知”被测量信息的工具,就像人们为了从外界获取信息,必须借助的感觉器官一样。传感器是将外界信息按一定规律转换成电量的装置,它是测试系统的首要环节。

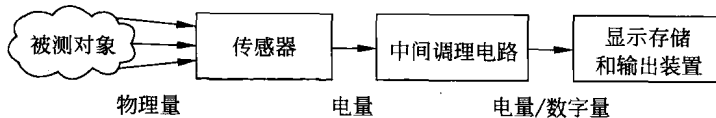


图 1.2 测试系统的组成

传感器的输出信号一般很微弱,需要通过滤波、放大、调制解调、阻抗变换、线性化、将电阻变换为电压或电流等。调理电路将传感器输出的信号转换成便于传输处理、适于观察记录的信号。这个环节常用的模拟电路是电桥电路、相敏电路、测量放大器、振荡器等;常用的数字电路有门电路、各种触发器、A/D 和 D/A 转换器等。调理电路环节有时可能是许多仪器的组合,有时也可能仅有一个电路板。

输出(显示记录)装置的作用是将调理电路输出的电信号指示或记录下来,以供人们观察或进一步分析处理,或将测试结果输出,供后续系统使用。

动态测试在现代测试中占了很大的比重,它常常需要对测得的信号进行分析和处理,从原始的测试信号中提取表征被测对象某一方面本质信息的特征量,以利于对被测对象作更深入的了解。测试信号携带的信息中,既有人需要的信息,也含有人不感兴趣的成分(干扰噪声),测试工作的任务就是剔除干扰噪声,提取有用信息。信号分析与处理单元常采用的仪器有频谱分析仪、波形分析仪、实时信号分析仪、快速傅里叶变换仪等,计算机技术在信号处理中已被广泛应用。

1.3 测试技术的发展趋势

进入 21 世纪以来,科学技术的高速发展,新工艺、新材料、新的制造技术催生了新一代电子元器件,同时也促使测试技术产生了新的发展趋势。

1. 新型传感器不断涌现

自然科学研究的新成果不断丰富着测试技术的设计思想。新型测量问题的不断出现和最终解决有赖于传感原理和传感器研究的创新。综合目前国内外的研究状况,该领域大致有两方面主要工作:研究开发全新传感原理和传感器;深入研究和改进已有的传感原理和传感器,以获得更好的性能。前者如近年来获得广泛关注的基于 MEMS 工艺的集成多参数传感器、耐高温压力传感器、微惯性传感器、光纤传感器等;后者如电容、电感、电涡流、光栅尺、磁栅尺、观测型扫描电镜、激光干涉仪等传统传感器的深入原理研究和性能改进措施。新材料技术的发展,特别是半导体、陶瓷、光导纤维、磁性材料,以及所谓的“智能材料”(如形状记忆合金、具有自增殖功能的生物体材料等)的开发,不但使可测量大量增多,而且使得传感器从结构型为主转向以物性型为主。

2. 测试系统性能不断提高

新型传感器的发明、各种先进的数字信号处理技术的应用、新材料和新工艺的使用,将

测试系统的准确度、分辨率、灵敏度、线性度和测量效率提高了好几个数量级。例如工业参数测量仪器的测量准确度普遍提高到 0.02% 以上。测量和控制范围也大幅度提高,如电压测量范围从 10^{-9} V 到 10^6 V,电阻测量范围从超导到 10^{14} Ω ,频率测量范围最高达 10^{10} Hz,温度测量范围则从绝对零度到 10^{10} $^{\circ}\text{C}$ 等。Agilent 公司的 PSA 频谱分析仪的测量灵敏度高达 -169 dBm(接近物理界热噪声 -174 dBm, dBm 为相对于 1mW 的分贝数),PNA 网络分析仪的动态范围高达 143 dB。随着微型计算机时钟频率的大幅度提高,与全硬件控制的实时性的差距越来越小。

微/纳米技术作为当前发展最迅速、研究广泛、投入最多的科学技术之一,被认为是当前科技发展的重要前沿。在该科技中,微/纳米的超精密测量技术是代表性的研究领域,也是微/纳米科技得以发展的前提和基础。在微/纳测量领域,基础问题包括纳米计量、纳米测量系统理论与设计、微观形貌测量等方面。涉及的重要工程测量问题有:面向 MEMS 和 MOEMS 的微尺度测量、面向 22~45nm 极大规模集成电路制造的测量等。

超大尺寸测量的主要任务是获取与评价大型和超大型装备与系统制造过程中机械特性和物理特性等信息,分析影响制造性能的要素与机理,为提升制造能力与水平提供科学依据。在超大尺寸测量领域内的共性基础问题包括距离测量原理、超大尺寸空间坐标测量、超大尺寸测量的现场溯源原理与方法。代表性研究方向和重要测量问题如:大尺寸、高速跟踪坐标测量系统,车间范围空间定位系统(WPS),GPS 在超大机械系统中的应用关键技术;数字造船中的结构尺寸、容积测量,飞机制造中形状尺寸测量,超大型电站装备和重机装备制造中的测量,面向大型尖端装备制造的超精密测量等。

3. 测试系统的智能化和自动化程度不断提高

微处理器在测试系统普遍采用,这不仅简化了硬件结构、缩小了体积及功耗、提高了可靠性、增加了灵活性,而且使仪器的智能化和自动化程度更高。微电子学、微细加工技术和集成化工艺等方面的进展,为这一发展趋势提供了巨大推动力。多核处理器技术成为仪器技术发展的助推剂。越来越多的仪器选用以通用软件和通用芯片为平台,采用通用商业软件和基于军用标准的软件,用通用软件代替仪器内部操作软件,易于与通用办公室应用软件连接,充分发挥其效能。涌现出将传感器、调理电路,甚至微处理器集成在一起的智能传感器,各种集成调理电路芯片不断面市,新型显示记录装置的智能化和自动化程度也不断提高。许多原本要用多台仪器实现的功能,现在可以通过集成在一台仪器内甚至一个芯片上的智能化仪器完成。

传统的机械制造系统中,制造和检测常常是分离的。测量环境和制造环境不一致,测量的目的是判断产品是否合格,测量信息对制造过程无直接影响。现代制造业已呈现出和传统制造不同的设计理念和制造技术,测试技术从传统的非现场、“事后”测量,进入制造现场,参与到制造过程,实现现场在线测量。现场、在线测量的共同问题包括非接触快速测量传感器的研制与开发、测量系统及其控制、测量设备与制造设备的集成等方面。近年来数字化测量的迅速发展为先进制造中的现场、非接触测量提供了有效解决方案,多尺寸视觉在线测量、数码柔性坐标测量、机器人测量机、三维形貌测量等数字化测量原理、技术与系统的研究取得了显著的研究成果,并获得成熟的工业应用。