

普通高等院校仪器类“十三五”规划系列教材



测试与传感技术

(第2版)

沈艳 陈亮 郭兵 杨平 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等院校仪器类“十三五”规划系列教材

测试与传感技术（第2版）

沈艳 陈亮 郭兵 杨平 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以测试流程为主线,围绕工程测试系统的设计,根据学科发展和知识更新的要求以及对学生知识、能力、素质全面培养的要求,充分考虑经典传感测试理论与现代测试方法的融合、传统的测试技术与最新的信息科学技术的融合,注重体系结构的完整性和科学性、内容的先进性和新颖性,着重介绍测试系统的基本知识。内容主要包括:绪论、测试系统的基本特性、传感器及其应用、信号变换与调理、信号分析与处理、现代测试技术。

本书文字简练,内容充实,条理清晰,深浅适当,列举了大量的工程实例,避免了繁杂的数学推导,便于教学和自学。

本书可作为仪器仪表类、机械类、机电类等相关专业的教材,也可供高等学校相关教师和从事测试技术工作的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容
版权所有·侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

测试与传感技术 / 沈艳等编著. —2 版. —北京:电子工业出版社, 2016.1

普通高等院校仪器类“十三五”规划系列教材

ISBN 978-7-121-27529-6

I. ①测… II. ①沈… III. ①传感器—测试技术—高等学校—教材 IV. ①TP212.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 265611 号

策划编辑:赵玉山

责任编辑:王凌燕

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:13 字数:350 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版

印 次:2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:30.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

根据教育部“卓越工程师教育培养计划”以及为适应国际工程教育认证的发展形势,进一步推进工程教育改革,提高工程教育质量,以社会市场对人才的需求为导向,实际工程为背景,工程技术为主线,紧跟机电测控领域的最新发展趋势,旨在培养具有理论基础扎实和工程实践能力强的创新型应用人才,为建设创新型国家和人才强国战略服务。

本教材根据学科发展和知识更新的要求以及对学生知识、能力、素质全面培养的要求,充分考虑经典传感测试理论与现代测试方法的融合,传统的测试技术与最新的信息科学技术的融合,注重体系结构的完整性和科学性,内容的先进性和新颖性,在贯彻“拓宽学科基础”、“夯实专业基础”以及“理论与实践紧密结合”的原则下,总结了多年的教学经验,参考同类优秀教材以及相关文献,编写了体现工程教育特色的教材。该教材具有以下特点:

(1) 工程应用特色鲜明。本书在考虑了学生的学习认知过程的基础上,加强工程背景,通过收录大量的工程案例或者示例,对基本理论和基本分析方法深入浅出地进行讲解,力求抓住学生专业学习的动力点,培养学生获取知识的能力。

(2) 注重知识技能的实用性和有效性。以学生就业所需专业知识和操作技能为着眼点,紧跟测试技术领域的新理论、新技术和新方法,在理论知识够用的前提下,培养学生运用知识点解决实际工程问题的能力和创新能力。

(3) 可读性强。在内容编排上力求精练严谨,深浅适当,循序渐进,突出重点,避免了繁杂的数学推导,突出趣味性、可读性,便于读者自学。

本书按照典型的测试系统所完成的测试过程安排顺序,共6章,第1章简要介绍测试技术与传感器技术的适用范围及发展趋势;第2章讨论测试系统的基本特性;第3章介绍常用传感器以及一些新型传感器的原理及应用;第4章介绍信号变换与调理;第5章介绍信号分析与处理;第6章针对现代测试技术进行了介绍。每个章节基本上都配有实际的工程案例分析。

本书由沈艳编写第1、2、5章,3.9节、3.10节;陈亮编写第3、4章;郭兵编写第6章;杨平编写3.1.4节、6.3节以及附录A;全书由沈艳统稿。

本书由电子科技大学古天祥教授主审,他仔细审阅了书稿,提出了许多建设性意见和宝贵的建议。本书在编写过程中,得到了电子科技大学学习友宝教授、詹惠琴教授、古军高级工程师的指导和帮助。同时,本书吸取了许多兄弟院校测试与传感技术教材的优点,得到了许多老师的帮助,在此致以衷心的感谢!

限于编者水平,书中难免存在错误与不妥之处,殷切希望广大读者及同行批评指正。

编 者
2015年7月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 测试的含义	(1)
1.2 测试基本原理及过程	(2)
1.3 测试技术的典型应用	(4)
1.3.1 产品质量测试	(4)
1.3.2 设备运行状态监控系统	(4)
1.3.3 工业机器人	(5)
1.4 测试技术的发展趋势	(5)
1.4.1 传感器技术的发展	(6)
1.4.2 多功能化、网络化仪器系统	(6)
1.4.3 新型信息处理方法	(6)
1.5 课程的性质和任务	(7)
小结	(7)
习题	(8)
第 2 章 测试系统的基本特性	(9)
2.1 测试系统概述	(9)
2.1.1 测试系统基本概念	(9)
2.1.2 理想测试系统——线性时不变系统	(10)
2.2 测试系统的静态特性	(11)
2.2.1 静态传递方程	(11)
2.2.2 测试系统静态特性参数	(11)
2.3 测试系统的动态特性	(16)
2.3.1 系统描述方法	(16)
2.3.2 测试系统动态特性参数测试	(17)
2.4 测试系统不失真测试条件及分析	(22)
2.4.1 不失真测试条件	(22)
2.4.2 不失真测试分析	(23)
2.5 测试系统的选择与调试	(25)
2.5.1 测试系统的选择原则	(25)
2.5.2 测试系统设计应考虑的几个问题	(26)
2.5.3 测试系统的调试	(29)
2.5.4 测试系统的标定	(30)
2.6 工程案例分析	(32)
小结	(33)
习题	(34)

第3章 传感器及其应用	(35)
3.1 概述	(35)
3.1.1 传感器的定义	(36)
3.1.2 传感器的组成	(36)
3.1.3 传感器的分类	(37)
3.1.4 传感器的选用原则	(37)
3.2 电阻传感器	(39)
3.2.1 电位器式传感器	(40)
3.2.2 电阻应变式传感器	(41)
3.2.3 热电阻式传感器	(45)
3.2.4 光敏电阻传感器	(46)
3.2.5 湿敏电阻传感器	(47)
3.2.6 气敏电阻传感器	(47)
3.3 电容传感器	(48)
3.3.1 工作原理	(48)
3.3.2 电容传感器分类	(48)
3.3.3 应用实例	(50)
3.4 电感传感器	(51)
3.4.1 自感式电感传感器	(51)
3.4.2 差动变压器式电感传感器	(54)
3.4.3 涡流式电感传感器	(55)
3.5 磁电传感器	(57)
3.5.1 磁电感应传感器	(58)
3.5.2 霍尔传感器	(60)
3.5.3 磁敏电阻传感器	(63)
3.6 压电传感器	(64)
3.6.1 压电效应	(64)
3.6.2 压电元件及其等效电路	(66)
3.6.3 应用实例	(68)
3.7 光电传感器	(69)
3.7.1 外光电效应	(69)
3.7.2 内光电效应	(69)
3.7.3 应用实例	(71)
3.8 热电传感器	(72)
3.8.1 工作原理	(72)
3.8.2 基本定律	(74)
3.8.3 热电偶的冷端温度处理	(75)
3.8.4 应用实例	(76)
3.9 新型传感器	(77)
3.9.1 光栅传感器	(77)
3.9.2 编码式传感器	(80)
3.9.3 固态图像传感器	(82)

3.9.4	光纤传感器	(84)
3.9.5	超声传感器	(86)
3.9.6	红外传感器	(87)
3.9.7	智能传感器	(88)
3.9.8	微机械传感器	(89)
3.10	无线传感器网络	(89)
3.10.1	基本概念及结构	(89)
3.10.2	应用实例	(90)
3.11	工程案例分析	(91)
小结		(93)
习题		(93)
第4章	信号变换与调理	(95)
4.1	电桥	(95)
4.1.1	直流电桥	(96)
4.1.2	交流电桥	(97)
4.1.3	变压器式电桥	(98)
4.2	信号放大电路	(98)
4.2.1	同相放大器	(99)
4.2.2	反相放大器	(99)
4.2.3	差动放大器	(100)
4.2.4	电荷放大器	(100)
4.2.5	仪表放大器	(101)
4.3	电压/电流/频率	(101)
4.3.1	电压—频率转换	(102)
4.3.2	电压—电流转换	(102)
4.4	调制与解调	(103)
4.4.1	调幅与解调	(104)
4.4.2	调频与解调	(109)
4.5	滤波器	(112)
4.5.1	滤波器的分类	(112)
4.5.2	滤波器的特性及参数	(113)
4.5.3	实际滤波器的应用	(118)
4.6	工程案例分析	(122)
4.6.1	心电信号采集系统中的调理电路	(122)
4.6.2	热电偶温度传感器调理电路	(123)
小结		(125)
习题		(126)
第5章	信号分析与处理	(128)
5.1	信号的分类与描述	(128)
5.1.1	信号的分类	(128)
5.1.2	信号的描述	(135)
5.2	测试信号时域分析	(136)

5.2.1	均值	(136)
5.2.2	均方值	(136)
5.2.3	方差	(136)
5.2.4	峰值	(137)
5.2.5	概率密度函数	(138)
5.2.6	概率分布函数	(139)
5.2.7	联合概率密度函数	(139)
5.2.8	相关函数	(139)
5.3	测试信号频域分析	(144)
5.3.1	周期信号的频域描述	(144)
5.3.2	非周期信号的频域描述	(148)
5.3.3	随机信号的频域描述	(153)
5.4	数字信号处理基础	(158)
5.4.1	离散傅里叶变换	(158)
5.4.2	快速傅里叶变换	(164)
5.4.3	数字化步骤	(169)
5.5	A/D 转换	(174)
5.5.1	常用 A/D 转换器的转换原理	(174)
5.5.2	A/D 转换器主要技术指标	(175)
5.6	工程案例分析	(176)
5.6.1	滚动轴承故障的基本形式	(176)
5.6.2	滚动轴承的故障振动分析	(176)
5.6.3	滚动轴承振动监测诊断技术	(178)
5.6.4	滚动轴承故障诊断案例	(178)
	小结	(181)
	习题	(181)
第 6 章	现代测试技术	(183)
6.1	现代测试系统概述	(183)
6.1.1	基本概念	(183)
6.1.2	现代测试系统组成	(184)
6.1.3	现代测试系统特点	(185)
6.2	测试总线与接口技术	(186)
6.2.1	总线分类	(186)
6.2.2	总线规范	(188)
6.2.3	总线性能指标	(188)
6.3	虚拟仪器	(188)
6.3.1	虚拟仪器的特点	(188)
6.3.2	虚拟仪器的组成	(189)
6.4	工程案例分析	(193)
	小结	(196)
	习题	(196)
附录 A	常见信号分析	(197)
	参考文献	(200)

第1章

绪 论

人类社会的发展是基于人类对客观世界的不断认识而持续发展的，测试则是人类认识客观世界的主要方法，是进行各种科学实验研究和生产过程参数检测等必不可少的手段，是实验科学的一部分。通过测试，可以揭示事物的内在联系和发展规律，并加以利用和改造，进而推动科学技术的发展。著名科学家钱学森院士明确指出：“信息技术包括测试技术、计算机技术和通信技术。测试技术是对信息进行采集和处理，是信息技术的源头，是关键中的关键。”

1.1 测试的含义

测试技术是一项综合运用了多种学科知识的技术，特别是现代测试技术，几乎应用了所有近代新技术和新理论。从广义的角度讲，测试工作的范围涉及试验设计、模型理论、传感器、信号加工与处理、控制工程、系统辨识、参数估计等诸多学科的内容；从狭义的角度讲，测试的目的就是借助专门设备，通过合适的试验及必要的数据分析和处理，从研究对象中获取有用的信息。

信息是物质所固有的，是其客观存在或运动状态的特征。信息蕴涵于信号之中，信号是传输信息的载体。例如，一座桥梁或一台机器，它们本身具有抵抗外力的能力，这是物质固有的特性。如何探测这一客观存在呢？当所研究的系统受到外力激励后，所发生的位移-时间历程包含了描述该系统的固有频率和阻尼比的信息，则可以获得该系统的刚度。因此，测试就是对信号的获取、加工、处理、显示记录及分析的过程。本课程主要从狭义的角度来介绍测试的原理和工作过程。

所谓测试是指具有试验性质的测量，是测量（measurement）和试验（test）的综合。

测量是指将一个被测量与一个预定标准之间的定量比较，从而获得被测对象的数值结果，即以确定被测对象的量值为目的的全部操作。

一个完整的测量过程将涉及被测对象、计量单位、测量方法和测量误差，它们被称为测量四要素。测量分为直接比较测量法和间接比较测量法。

直接比较测量法无须经过函数关系的计算，直接通过测量仪器得到被测量值。如图 1.1 所示，为了确定被测物体的质量（被测量），通过被测量与预定标准（砝码）之间的定量比较，得到被测物体的质量。

间接比较测量法利用仪器仪表把待测物理量的变化变换成与之保持已知函数关系的另一种物理量的变化。如图 1.2 所示的弹簧秤，是通过度盘来完成质量的间接测量的。

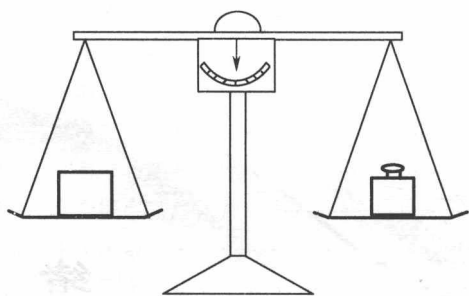


图 1.1 直接比较测量法

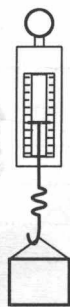


图 1.2 间接比较测量法

试验是对被研究的对象或系统进行试验性研究的过程。通常是将被研究对象或系统置于某种特定的或人为构建的环境条件下，通过试验数据来探讨被研究对象的性能的过程。例如，如图 1.3 所示的汽车乘坐舒适性的台架试验，座椅的加速度由置于座椅处的加速度计测量，液压振动台则提供汽车在颠簸道路上行驶的状态模拟，测量得到座椅处的加速度的试验数据反映了乘坐汽车舒适性的指标之一。

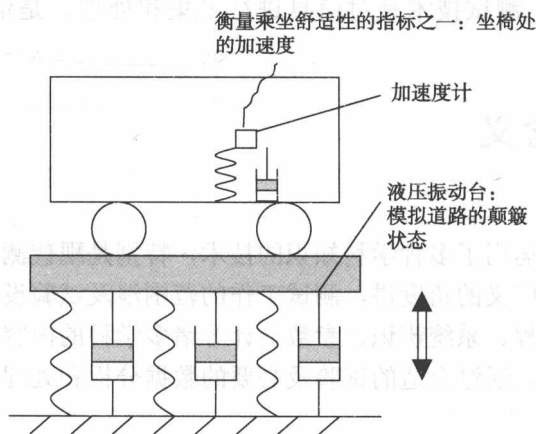


图 1.3 汽车乘坐舒适性的台架试验

例如，为了解周边工厂的设备噪声对生活区环境的影响，人们可用声级计实测生活区的噪声，这是对环境噪声的测量；为了进一步了解噪声的传播途径、确定周边的哪些设备对生活区的环境噪声贡献最大，或需要提出降噪措施，则要以试验的方式安排设备的运行顺序和工况，在设备与生活区之间布置更多的振动和噪声测点，并对所测的信号进行深入分析，如频谱分析、相关分析，得到较客观的认识，这称为测试。

综上所述，测量是被动的、静态的、较孤立的记录性操作，其重要性在于它提供了系统所要求的和实际所取得的结果之间的一种比较；测试是主动的、涉及过程动态的、系统的记录与分析的操作，通过试验得到的试验数据成为研究对象的重要依据。

1.2 测试基本原理及过程

在工程测试中，要测试的信号往往是一些非电量的物理量，如位移、速度、加速度、力、力矩、功率、压力、流量、温度、重量、振动、噪声等。工程中普遍使用的测量方法是电测法，

即将非电量先转换为电量，然后用各种电测仪表和装置乃至计算机对电信号进行处理和分析。电量分为电能量和电参量，如电流、电压、电场强度和电功率属于电能量；电阻、电容、电感、频率、相位属于电参量。由于电参量不具有能量，在测试过程中还要将其进一步转换为电能量。电测法具有测试范围广、精度高、灵敏度高、响应速度快等优点，特别适于动态测试。一个典型非电量电测法测量过程如图 1.4 所示。

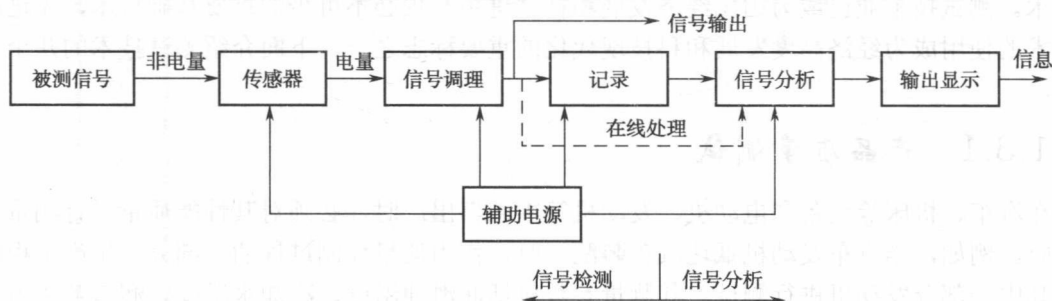


图 1.4 典型非电量电测法测量过程

由图 1.4 可知，传感器是测试系统的第一个环节，其主要作用是感知被测的非电量（如压力、加速度、温度等），并将其转换为电量。传感器输出的电信号经过信号调理电路（中间变换装置）加工处理，如衰减、放大、调制与解调、滤波和数字化处理等，其输出的测量结果是被测信号的真实记录。被测量的变化过程可以用示波器、记录仪、显示器、打印机等输出装置显示和记录，也可以用记录仪或计算机存储被测信号，以便反复使用。至此，测试系统完成信号检测的任务。如果要从这些客观记录的信号中找出反映被测对象的本质规律，必须对信号进行分析和处理，从中提取有用的信息，如频谱信息、相关分析等。因此，信号分析是测试系统更为重要的一个环节。将调理电路输出的信号直接送到信号分析设备中进行处理，称为“在线处理”，并以数据或图像的形式通过输出显示装置进行显示。

例如，车刀磨损的在线检测如图 1.5 所示。通过检测切削温度、切削力以及振动速度的变化判断刀具磨损量，即：

- (1) 寻找能表现某一物理现象的信号。
- (2) 从这些信号中挑选最合适的信号。
- (3) 将信号采集存储或显示。
- (4) 确定该信号与某一物理现象之间的关系。

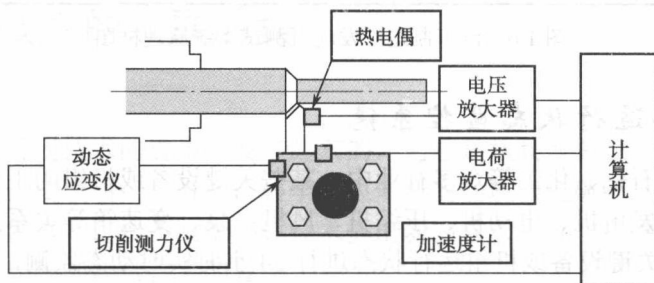


图 1.5 车刀磨损检测

1.3 测试技术的典型应用

在工程技术领域,工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能实验等,都离不开测试技术。测试技术业已成为国民经济发展和社会进步一项必不可少的重要基础技术,先进的测试技术的使用成为经济高度发展和科技现代化的重要标志之一。下面介绍测试技术的几个典型应用。

1.3.1 产品质量测试

在汽车、机床等设备和电动机、发动机等零部件出厂时,必须对其性能质量进行测量和出厂检验。例如,当汽车发动机抵达汽车装配厂时,作为质量控制过程的一部分,生产工程师将抽取其中一部分发动机进行测试,其测量参数包括润滑油温度、冷却水温度、润滑油压力、燃油压力以及每分钟的转速等。生产工程师通过测试结果可以了解产品的质量。

如图 1.6 所示是某汽车制造厂发动机测试系统原理框图,该测试系统的主要功能是根据测试数据、测试计划、测量、数据分析和报表进行自动决策。该测试系统将研华 IPC-622 工控机作为网络服务器,在发动机点火测试区安装 18 个测试点,每个测试点执行相同的功能。每个测试点由研华 IPC-6806P 工控机、ADAM-4520 转换器和 ADAM-5000/485 分布式数据采集和控制系统组成,测点之间通过以太网连接,从而使得测试信息可以被管理人员所使用。ADAM-5000 输入/输出模块和硬件连接在一起,进行数据采集;ADAM-4520 转换器将来自 ADAM-5000 系列的 RS-485 信号转换成 RS-232 信号传送到控制站。

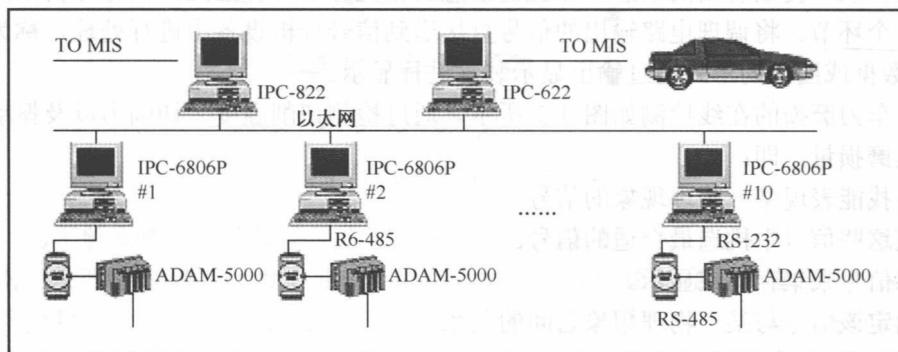


图 1.6 汽车制造厂发动机测试系统原理框图

1.3.2 设备运行状态监控系统

在电力、冶金、石化、化工等众多行业中,某些关键设备或机组的工作状态,如汽轮机、燃气轮机、水轮机、发电机、电动机、压缩机、风机、泵、变速箱等关系到整个生产线的正常流程,因此应对这些关键设备或机组运行状态进行 24 小时实时动态监测,及时、准确地掌握其变化趋势,为工程技术人员提供详细、全面的机组信息。由于机组大部分故障是渐进式发展的,国内外大量实践表明,机组某些重要测点的振动信号能真实地反映机组的运行状态,通过监测振动总量级的变化过程,可以预测设备故障的发生,同时,结合其他综合监测信息,如温度、压力等,运用精密故障诊断技术可以分析出故障发生的位置,为设备维修提供可靠依据,从而

可实现设备事后维修或定期维修向预测维修转变。如图 1.7 所示是某公司二号变电所电力监控系统。

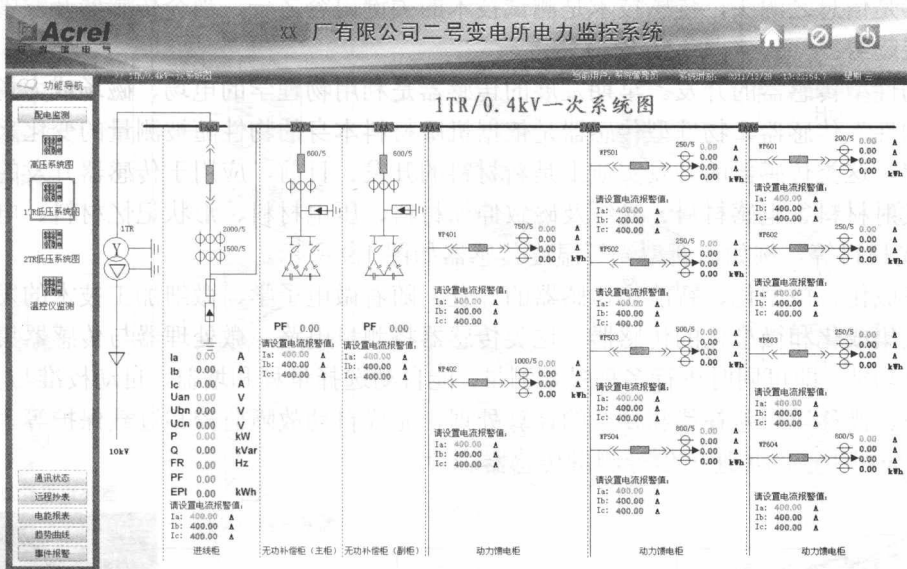


图 1.7 电力监控系统

1.3.3 工业机器人

工业机器人是典型的机电一体化产品，如图 1.8 所示。工业机器人一般由机械本体、控制系统、传感器和驱动器 4 部分组成。传感器提供机器人本体或其所处环境的信息；控制系统依据控制程序控制各关节运动坐标的驱动器，使各臂杆端点按照指定的轨迹、速度和加速度，以一定的姿态达到空间指定的位置。因此，通常需要对工业机器人的零位和极限位置进行检测。零位检测精度直接影响工业机器人的重复定位精度和轨迹精度；极限位置的检测则是保护工业机器人。

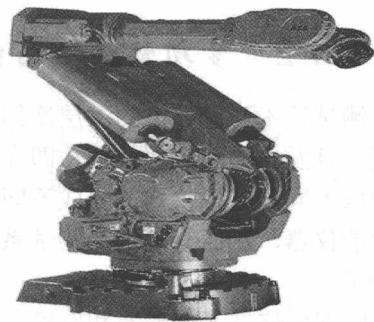


图 1.8 工业机器人

1.4 测试技术的发展趋势

测试技术是随着现代技术的进步而发展起来的，它总是从其他关联学科吸取营养而得以发展。科学技术的发展历史表明：一方面，科学上很多新的发现和突破都是以测试为基础的；另一方面，科学技术的发展和进步不断给测试技术提出新的要求，各学科领域的新成就为测试提供了新的方法和装备，推动测试技术的发展。

目前，综合国内外的发展动态，测试技术的发展趋势是在不断提高灵敏度、精度和可靠性的基础上，主要向微型化或大型化、非接触化、多功能化、人机交互形式多样化、智能化和网络化方向发展。

1.4.1 传感器技术的发展

传感器是信息之源头,传感技术是测试技术的关键内容之一,当今传感器开发中有以下两方面的发展趋势:

(1) 物性型传感器的开发。早期发展的传感器是利用物理学的电场、磁场或力场等定律构成的“结构性”传感器。物性型传感器是依据机敏材料本身的物性随被测量的变化来实现信号转换的装置。这类传感器的开发实质上是新材料的开发。目前,应用于传感器开发的机敏材料主要有声发射材料、电感材料、光纤及磁致伸缩材料、压电材料、形状记忆材料、电阻应变材料和 X 感光材料等。例如,新型光纤温度传感器如图 1.9 所示。

(2) 集成化、微型化、智能化传感器的开发。随着微电子学、微细加工技术的发展,出现了多种形式集成化和微型化的传感器。这类传感器将测量电路、微处理器与传感器集成一体,具有智能化功能,即可同时进行多种参数测量,能自动选择量程和增益、自动校准与实时校准、非线性校正、漂移等误差补偿和复杂的计算处理,完成自动故障监控和过载保护等。如图 1.10 所示为 HP 公司生产的加速度信号测量传感器芯片。

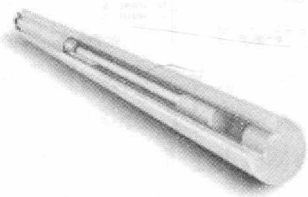


图 1.9 新型光纤温度传感器

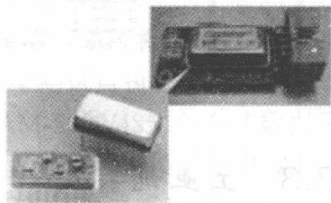


图 1.10 加速度信号测量传感器芯片 (HP 公司)

1.4.2 多功能化、网络化仪器系统

测试技术与计算机的深层次结合,产生了全新的测试仪器概念和结构。虚拟仪器就是在此背景下开发出的新一代仪器,即在以计算机为核心组成的硬件平台上,调用不同的测试软件就可构成不同的虚拟仪器,完成不同功能的测试任务,可方便地将多种测试功能集于一体,实现多功能仪器,从而有效增加测试系统的柔性,降低测量工作的成本,达到不同层次、不同目标的测试。

随着网络技术的普及和发展,测试仪器系统进一步实现网络化,不但可以实现对测试系统的远程操作与控制,而且还可以把测试结果通过网络显示在 Web 浏览器中,以实现测试系统资源和数据的共享,仪器资源得到很大的延伸,其性价比将获得更大的提高。如图 1.11 所示为典型的网络化测试系统。

1.4.3 新型信息处理方法

新型信息处理技术是解决测量过程中信息获取的方法。目前信号分析处理的发展目标为:

(1) 在线实时能力的进一步提高。

(2) 分辨力和运算精度的提高。

(3) 扩大和发展新的专用功能。

例如,美国 Texas 公司推出的 TMS320C25 芯片,运算速度达 1000 万次/s,用其进行 1024 复数点 FFT 运算,只需 14ms 便可完成。

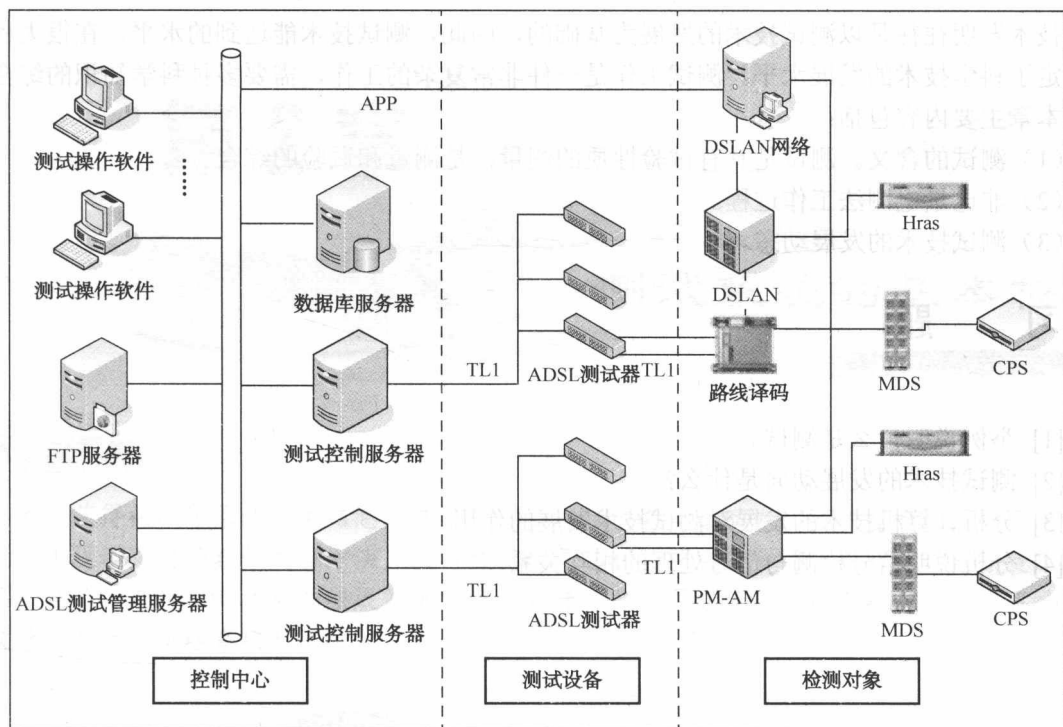


图 1.11 典型的网络化测试系统

1.5 课程的性质和任务

本课程是一门专业技术基础课，具有很强的实践性，在学习过程中应该密切联系实际，加强实验，真正掌握有关理论。通过本课程的学习，学生能合理地选用传感器和测试仪器、配置测试系统，初步掌握进行动态测试所需要的基本知识和技能，为进一步学习、研究和处理工程技术问题打下基础。

学生在学完本课程后应具有以下知识和技能：

(1) 对工程测试工作有一个比较完整的概念和思路，对工程测试系统及其各个环节有一个比较清晰的认识，掌握测试系统基本特性的评价方法和不失真测试条件，并能正确地进行测试系统的分析和选择。

(2) 了解常用传感器的基本原理和应用状况，能进行比较合理的选用。

(3) 掌握信号调理方法的原理及应用。

(4) 掌握信号的时域和频域的分析方法以及数字信号分析中一些最基本的概念和方法。

(5) 能根据工程中某些参数的测试要求，设计测试方案、分析和处理测试信号以及进行实际测试工作。

小 结

人类从事的社会生产、经济交往和科学研究活动都与测试技术息息相关。许多新的科学发

现与技术发明往往是以测试技术的发展为基础的,因此,测试技术能达到的水平,在很大程度上决定了科学技术的发展水平。测试工作是一件非常复杂的工作,需要多种科学知识的综合运用。本章主要内容包括:

- (1) 测试的含义。测试是具有试验性质的测量,是测量和试验的综合。
- (2) 非电量电测法工作过程。
- (3) 测试技术的发展动态。

习 题

- [1] 举例说明什么是测试。
- [2] 测试技术的发展动向是什么?
- [3] 分析计算机技术的发展对测试技术发展的作用。
- [4] 分析说明信号检测与信号处理的相互关系。

第2章

测试系统的基本特性



引 例

为了获得被测对象的有关信息，在整个测试过程中需要借助专门的装置和仪器，通过合适的测试手段和必要的数学处理方法，获得被测对象的相关信息。如图 2.1 所示为电子健康秤，请思考电子健康秤由哪些部分组成？如何根据实际情况完成健康秤测试系统的设计？在测试系统设计中要注意哪些事项？

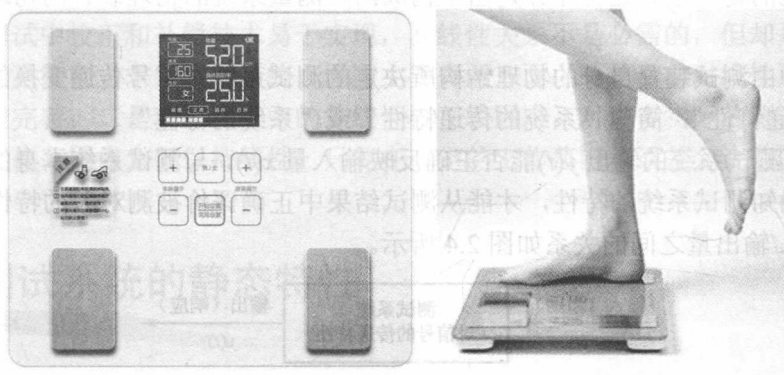


图 2.1 电子健康秤

2.1 测试系统概述

2.1.1 测试系统基本概念

测试系统是指为完成某种物理量的测量而由具有某一种或多种变换特性的物理装置构成的总体。典型的测试系统如图 1.4 所示。

根据测试的内容、目的和要求等不同，测试系统的组成可能会有很大差别。例如，简单的温度测试装置只需要一个液柱式温度计，如图 2.2 所示；而如图 2.3 所示的轴承振动信号的测量系统要复杂得多，测量系统中的传感器为振动加速度计，它将机床轴承振动信号转换为电信号，中间变换装置由带通滤波器、A/D 变换和计算机中的 FFT 分析软件三部分组成。带通滤波器用于滤除传感器测量信号中的高、低频干扰信号；A/D 信号采集卡对调理后的测量信号进行