

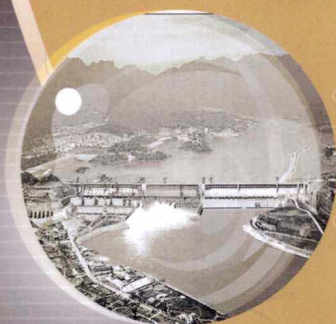


高等学校机械设计制造及其  
自动化国家特色专业规划教材

# 机械测试技术 及其应用

主 编 李 力  
副主编 曾祥亮  
陈从平  
赵美云

JIXIE CESHİ JISHU JIQI YINGYONG



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高等学校机械设计制造及其自动化国家特色专业规划教材



# 机械测试技术 及其应用

JIXIE CESHI JISHU JIQI YINGYONG

主 编 李 力

副主编 曾祥亮

陈从平

赵美云



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

## 内 容 简 介

本书系统阐述了机械测试技术理论、信号分析和处理基础及测试技术应用方法。

本书内容大致可分为基础和应用两大部分。基础内容按测试技术中涉及的基本环节,如传感器、中间调理器、记录显示处理等展开;应用内容主要包括应力应变、振动等测试技术在机械工程中的应用,测试技术实验指导和信号处理编程实验等。本书在内容编排上力求使理论与实践有机结合,更多赋予测试技术知识以工程实际意义和内涵。同时配合章节内容,提供了测试技术实验指导、信号处理 Matlab 编程实验及适量的复习题,以加深读者对知识的理解,达到锻炼和培养动手解决问题能力的目的。本书融入作者在长期教学和科研工作中的经验与成果,阐述问题深入浅出、循序渐进。

本书可作为高等学校本科机械类各专业“测试技术”课程教材,也可作为高等职业学校机械类专业“测试技术”课程教材;同时,还可供机械工程相关领域的工程技术人员使用和参考,或作为继续教育培训的参考教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械测试技术及其应用/李 力 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2011.8  
ISBN 978-7-5609-7076-9

I. 机… II. 李… III. 机械工程-测试技术 IV. TG806

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 091018 号

机械测试技术及其应用

李 力 主编

策划编辑:徐正达

责任编辑:姚 幸

封面设计:潘 群

责任校对:祝 菲

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:16.5 插页:2

字 数:350千字

版 次:2011年8月第1版第1次印刷

定 价:25.80元



华中大版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

## 序 言

当前,我国机械专业人才培养面临社会需求旺盛的良好机遇和办学质量亟待提高的重大挑战。抓住机遇,迎接挑战,不断提高办学水平,形成鲜明的办学特色,获得社会认同,这是我们义不容辞的责任。

三峡大学机械设计制造及其自动化专业作为国家特色专业建设点,以培养高素质、强能力、应用型的高级工程技术人才为目标,经过长期建设和探索,已形成了具有水电特色、服务行业和地方经济的办学模式。在前期课程体系和教学内容改革的基础上,推进教材建设,编写出一套适合于该专业的系列特色教材,是非常及时的,也是完全必要的。

系列教材注重教学内容的科学性与工程性结合,在选材上融入了大量工程应用实例,充分体现与专业相关产业和领域的新发展和新技术,促进高等学校人才培养工作与社会需求的紧密联系。系列教材形成的主要特点,可用“三性”来表达。一是“特殊性”,这个“特殊性”与其他系列教材的不同在于其突出了水电行业特色,其不仅涉及测试技术、控制工程、制造技术基础、机械创新设计等通用基础课程教材,还结合水电行业需求设置了起重机械、金属结构设计、专业英语等专业特色课程教材,为面向行业经济和地方经济培养人才奠定了基础。二是“科学性”,体现在两个方面:其一体现在课程体系层次,适应削减课内学时的教学改革要求,简化推导精练内容;其二体现在学科内容层次,重视学术研究向教育教学的转化,教材的应用部分多选自近十年来的科研成果。三是“工程性”,凸显工程人才培养的功能,一些课程结合专业增加了实验、实践内容,以强化学生实践动手能力的培养;还根据现代工程技术发展现状,突出了计算机和信息技术与本专业的结合。

我相信,通过该系列教材的教学实践,可使本专业的学生较为充分地掌握专业基础理论和专业知识,掌握机械工程领域的新技术并了解其发展趋势,在工程应用和计算机应用能力培养方面形成优势,有利于培养学生的综合素质和创新能力。



当然,任何事情不能一蹴而就。该系列教材也有待于在教学实践中不断锤炼和修改。良好的开端等于成功的一半。我祝愿在作者与读者的共同努力下,该系列教材在特色专业建设工程中能体现专业教学改革的进展,从而得到不断的完善和提高,对机械专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用。

谨此为序。

教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员、  
机械基础教学指导分委员会副主任  
全国工程认证专家委员会机械类  
专业认证分委员会副秘书长  
第二届国家级教学名师奖获得者  
华中科技大学机械学院教授,博士生导师

  
2011-7-21

# 前 言

随着机电一体化技术的应用,测试技术和信号处理技术迅猛发展,并在机械工程领域得到广泛应用,已成为机械类及相关专业学生必须掌握的理论基础之一。由于机械设备零部件之间的相互运动,大多数机械信号为动态信号,加之安装环境及自身制造等因素,使得机械测试和信号处理具有自身特点。为此,本书针对机械工程测试与信号的特点,侧重于讲解基础知识及其工程应用,使读者能够很好地掌握机械工程相关信号的测试、分析和处理方面的知识,并能应用所学知识解决实际问题,为进一步学习和研究奠定必要的基础。

本书着重介绍常用传感器原理、信号调理方法、信号分析和处理基础及机械测试技术应用等。为保证教学质量,设计了测试技术实验、信号分析和处理的基本软件编程实验等章节,以培养学生的实践能力。此外,为体现测试技术的发展,在相关章节还介绍了一些近年来在机械工程中的先进测试技术。全书共分九章:第1章为绪论;第2章介绍常用传感器原理;第3章介绍信号的描述方法;第4章介绍测试系统的特性;第5章介绍信号的调理方法;第6章介绍机信号分析与处理基础;第7章介绍机械测试技术应用;第8章介绍信号分析与处理编程实验;第9章为机械测试技术及应用实验方面的内容。

本书内容大致可分为基础和应用两大部分。基础内容按测试技术中涉及的基本环节,如传感器、中间调理器、记录显示处理等展开,循序渐进。应用内容主要包括应力应变、振动等测试技术在机械工程中的应用,测试技术实验指导和信号处理编程实验等。内容编排上力求使理论与实践有机结合,更多赋予测试技术知识以工程实际意义和内涵。

本书融入了编者长期从事机械测试与信号处理方面的教学经验和科研成果,同时,参考并汲取了国内外测试与信号处理类教材和相关书籍的精华,在此表示深切谢意。

本书的第1、6、7、8章由李力编写,第2、4章由陈从平编写,第3、5章由曾祥亮编写,第9章由赵美云编写。部分文字录入、修改、格式整理、校对等工作由硕士研究生王红梅、余新亮、李骥、张全林等完成。在本书编写和出版过程中,还得到了三峡大学国家特色专业建设项目的资助,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中存在一些不妥之处在所难免,恳请各位专家和读者批评指正。联系信箱:li7466@ctgu.edu.cn。

作 者

2011年7月

# 目 录

|                   |      |
|-------------------|------|
| 第 1 章 绪论          | (1)  |
| 1.1 测试技术的内容       | (1)  |
| 1.2 测试技术在机械工程中的作用 | (2)  |
| 1.3 测试系统的组成       | (4)  |
| 1.4 测试技术的发展趋势     | (5)  |
| 1.5 本课程的学习要求      | (6)  |
| 习题                | (6)  |
| 第 2 章 常用传感器原理     | (7)  |
| 2.1 传感器的分类        | (7)  |
| 2.2 电阻式传感器        | (8)  |
| 2.2.1 电位器式传感器     | (8)  |
| 2.2.2 电阻应变式传感器    | (9)  |
| 2.2.3 压阻式传感器      | (11) |
| 2.3 电感式传感器        | (12) |
| 2.3.1 变磁阻式电感传感器   | (12) |
| 2.3.2 涡流传感器       | (14) |
| 2.3.3 差动变压器式传感器   | (16) |
| 2.4 电容式传感器        | (17) |
| 2.4.1 变极距型电容传感器   | (17) |
| 2.4.2 变面积型电容式传感器  | (17) |
| 2.4.3 变介质型电容式传感器  | (19) |
| 2.4.4 电容式传感器的应用   | (19) |
| 2.5 压电式传感器        | (20) |
| 2.5.1 压电效应及压电材料   | (20) |
| 2.5.2 压电式传感器的结构   | (21) |
| 2.5.3 压电式传感器的应用   | (22) |
| 2.6 磁电式传感器        | (22) |
| 2.6.1 磁电感应传感器     | (23) |
| 2.6.2 霍尔传感器       | (24) |
| 2.7 光电式传感器        | (26) |

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| 2.7.1 光电效应及光敏元件    | (26)        |
| 2.7.2 光电式传感器的应用    | (27)        |
| 2.8 其他类型传感器        | (28)        |
| 2.8.1 超声波传感器       | (28)        |
| 2.8.2 图像传感器        | (30)        |
| 2.9 传感器的选用原则       | (32)        |
| 习题                 | (34)        |
| <b>第3章 信号的描述方法</b> | <b>(35)</b> |
| 3.1 信号的分类          | (35)        |
| 3.1.1 确定性信号和随机信号   | (35)        |
| 3.1.2 连续信号和离散信号    | (37)        |
| 3.1.3 能量信号和功率信号    | (38)        |
| 3.2 信号的时域描述        | (38)        |
| 3.2.1 时域信号的合成与分解   | (38)        |
| 3.2.2 信号的统计特征参数    | (40)        |
| 3.2.3 统计特征参数的应用    | (41)        |
| 3.3 信号的频域描述        | (42)        |
| 3.3.1 周期信号的描述      | (42)        |
| 3.3.2 非周期信号的描述     | (47)        |
| 3.3.3 常用典型信号的频谱    | (51)        |
| 3.4 随机信号的描述        | (56)        |
| 3.4.1 概率密度函数       | (58)        |
| 3.4.2 典型信号的概率密度函数  | (59)        |
| 习题                 | (63)        |
| <b>第4章 测试系统的特性</b> | <b>(65)</b> |
| 4.1 线性系统及其基本性质     | (65)        |
| 4.2 测试系统的静态特性      | (67)        |
| 4.2.1 灵敏度          | (67)        |
| 4.2.2 非线性度         | (68)        |
| 4.2.3 回程误差         | (68)        |
| 4.3 测试系统的动态特性      | (69)        |
| 4.3.1 传递函数         | (69)        |
| 4.3.2 频率响应函数       | (70)        |
| 4.3.3 脉冲响应函数       | (71)        |
| 4.3.4 环节的串联和并联     | (71)        |



---

|       |                    |       |
|-------|--------------------|-------|
| 4.4   | 不失真测试条件            | (72)  |
| 4.5   | 一阶和二阶系统的特性         | (73)  |
| 4.5.1 | 一阶系统特性             | (73)  |
| 4.5.2 | 二阶系统特性             | (76)  |
| 4.5.3 | 一阶和二阶系统在单位阶跃输入下的响应 | (78)  |
|       | 习题                 | (79)  |
| 第5章   | 信号的调理方法            | (81)  |
| 5.1   | 电桥                 | (81)  |
| 5.1.1 | 直流电桥               | (81)  |
| 5.1.2 | 交流电桥               | (83)  |
| 5.2   | 信号的滤波              | (85)  |
| 5.2.1 | 理想模拟滤波器            | (85)  |
| 5.2.2 | 实际模拟滤波器及其基本参数      | (87)  |
| 5.3   | 信号调制与解调            | (88)  |
| 5.3.1 | 幅度调制               | (89)  |
| 5.3.2 | 频率调制               | (94)  |
|       | 习题                 | (97)  |
| 第6章   | 信号分析与处理基础          | (99)  |
| 6.1   | 信号的相关分析            | (99)  |
| 6.1.1 | 相关函数               | (99)  |
| 6.1.2 | 自相关函数性质及其应用        | (100) |
| 6.1.3 | 互相关函数及其应用          | (102) |
| 6.2   | 数字信号处理基础           | (104) |
| 6.2.1 | 采样、混频和采样定理         | (105) |
| 6.2.2 | 量化和量化误差            | (106) |
| 6.2.3 | 截断、泄漏和窗函数          | (107) |
| 6.2.4 | 选择模/数转换模块的基本技术指标   | (108) |
| 6.3   | 计算机辅助测试简介          | (109) |
| 6.3.1 | 概述                 | (109) |
| 6.3.2 | PC插卡式与标准总线测试系统     | (110) |
| 6.3.3 | 现场总线测试系统与智能传感器     | (114) |
| 6.4   | 虚拟仪器系统             | (121) |
| 6.4.1 | 虚拟仪器的组成            | (122) |
| 6.4.2 | LabVIEW虚拟仪器应用      | (123) |
|       | 习题                 | (125) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 第 7 章 机械测试技术应用           | (126) |
| 7.1 应力应变测试及应用            | (126) |
| 7.1.1 应力应变测试             | (126) |
| 7.1.2 大型金属结构应力监测         | (131) |
| 7.2 机械振动测试及应用            | (134) |
| 7.2.1 机械振动的类型            | (134) |
| 7.2.2 振动的基本参数            | (136) |
| 7.2.3 机械振动测试系统           | (137) |
| 7.2.4 振动测试在机械状态监测与诊断中的应用 | (149) |
| 7.2.5 振动测试在系统参数识别中的应用    | (153) |
| 7.3 测试技术在工业机器人中的应用       | (155) |
| 7.3.1 机器人所用传感器分类         | (155) |
| 7.3.2 机器人传感器原理简介         | (157) |
| 7.3.3 工业机器人的应用           | (164) |
| 7.4 测试技术在水力机械中的应用        | (169) |
| 7.4.1 水力机械的基本工作参数        | (169) |
| 7.4.2 水力机械基本工作参数测量       | (171) |
| 7.4.3 水力机械测试应用           | (180) |
| 习题                       | (190) |
| 第 8 章 信号分析与处理编程实验        | (191) |
| 8.1 Matlab 使用简介          | (191) |
| 8.1.1 Matlab 的安装         | (191) |
| 8.1.2 Matlab 基本用法        | (191) |
| 8.1.3 Matlab 编程简介        | (194) |
| 8.2 信号分析初步               | (197) |
| 8.2.1 信号序列的产生            | (197) |
| 8.2.2 序列的运算              | (198) |
| 8.2.3 周期信号的叠加与分解         | (200) |
| 8.3 测试系统动态特性仿真           | (201) |
| 8.4 信号时域分析               | (203) |
| 8.4.1 时域统计指标分析           | (203) |
| 8.4.2 相关函数及应用            | (204) |
| 8.5 信号的频谱分析              | (205) |
| 8.6 信号的调理                | (207) |
| 8.6.1 信号的提取              | (207) |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 8.6.2 滤波器设计 .....                  | (208) |
| <b>第9章 机械测试技术及应用实验</b> .....       | (209) |
| 9.1 概述 .....                       | (209) |
| 9.2 实验报告要求 .....                   | (209) |
| 9.2.1 实验报告的基本要求 .....              | (209) |
| 9.2.2 实验报告的基本内容 .....              | (210) |
| 9.2.3 实验报告格式 .....                 | (210) |
| 9.3 传感器实验 .....                    | (211) |
| 9.3.1 应变片粘贴实验 .....                | (211) |
| 9.3.2 电阻应变片灵敏系数的测定 .....           | (214) |
| 9.3.3 电涡流传感器测量转速 .....             | (217) |
| 9.3.4 光纤传感器测量转速 .....              | (217) |
| 9.3.5 霍尔传感器测量位移 .....              | (218) |
| 9.4 信号分析实验 .....                   | (220) |
| 9.4.1 信号波形的观察及测试实验 .....           | (220) |
| 9.4.2 典型信号的波形叠加 .....              | (222) |
| 9.4.3 基于频谱测量简谐振动的频率 .....          | (223) |
| 9.4.4 振动信号相关分析实验 .....             | (224) |
| 9.5 测试装置动态特性实验 .....               | (227) |
| 9.5.1 二阶系统强迫振动的幅频特性测试 .....        | (227) |
| 9.5.2 二阶系统自由衰减振动的固有频率和阻尼比的测量 ..... | (228) |
| 9.6 信号的调理实验 .....                  | (230) |
| 9.6.1 应变电桥输出特性综合实验 .....           | (230) |
| 9.6.2 振动信号的采集与分析综合实验 .....         | (231) |
| 附录 A 信号处理中常用的数学变换 .....            | (234) |
| 附录 B 实验报告格式 .....                  | (246) |
| 附录 C 部分章节习题参考答案 .....              | (248) |
| 附录 D 测试题及参考答案 .....                | (251) |
| 参考文献 .....                         | (255) |

# 第1章 绪 论

在进入信息时代的今天,信息的获取、传输和交换已经成为人类的基本活动。信息是反映一个系统的状态或特性的参数,是人类对外界事物的感知。信息是多种多样、丰富多彩的,其具体物理形态也千差万别,如视觉信息和声音信息等。人类要正确地获取和传输信息,是不能通过信息本身完成的,必须借助一定的载体——信号。例如,视觉信息表现为亮度或色彩变化等,声音信息表现为声压。古人利用点燃烽火台而产生的滚滚狼烟,向远方军队传递敌人入侵的消息,人们观察到的光信号,反映的是“敌人来了”(信息);当我们说话时,声波传到他人的耳朵,使他人了解我们的意图(信息),这属于声信号;遨游太空的各种无线电波、四通八达的电话网中的电流等,都可以用来向远方表达各种信息,这属于电信号。人们通过对光、声、电等信号的接收,可以知道对方要表达的信息。

因此,信息本身是不具有传输、交换功能的,只有通过信号才能实现这种功能。而信号与测试技术密切相关,测试技术是从被测对象的测试信号中提取所需特征信息的技术手段。在工程实际中,无论是工程研究、产品开发,还是质量监控、性能试验等,都离不开测试技术。测试技术是人类认识客观世界的技术,是科学研究的基本手段。

## 1.1 测试技术的内容

测试是具有试验性质的测量,它包含测量和试验两方面内容。测试的基本任务是获取信息,而信息又蕴涵在某些随时间或空间变化的物理量中,即信号之中。因此,测试技术主要研究各种物理量的测量原理、测量方法、测量系统及测量信号处理方法。

测量原理指实现测量所依据的物理、化学、生物等现象及有关定律。例如,用压电晶体测振动加速度时所依据的是压电效应,用电涡流位移传感器测静态位移和振动位移时所依据的是电磁效应,用热电偶测量温度时所依据的是热电效应等。

测量方法是指在测量原理确定后,根据对测量任务的具体要求和现场实际情况,需要采用的不同测量手段等,如直接测量法、间接测量法、电测法、光测法、模拟量测量法、数字量测量法,等等。机械工程中常将各种机械量(一般为非电物理量)转换为电信号,以便传输、存储和处理。

测量系统是指在确定了被测量的测量原理和测量方法以后,设计或选用各种测量装置组成的测试系统。要获得有用的信号,必须对被测物理量进行转换、分析和处

理,这就需要借助一定的测试系统。

利用测试系统测得的信号常常含有许多噪声,必须对测试得到的信号进行转换、分析和处理,提取出所需要的信息,这样才能获得正确的结果。

## 1.2 测试技术在机械工程中的作用

测试技术与科学研究、工程实践密切相关,科学技术的发展历程表明,许多新的发现和突破都是以测试为基础的。同时,科学技术的发展和进步又为测试提供了新的方法和装备,促进了测试技术的发展。在机械工程领域,测试技术得到了广泛应用,已成为一项重要基础技术。下面列举它在几个方面的应用。

### 1. 在机械振动和结构设计中的应用

在工业生产领域里,机械结构的振动分析是一个重要的研究课题。通常在工作状态或人工输入激励下,采用各种振动传感器获取各种机械振动测试信号,再对这些信号进行分析和处理,提取各种振动特征参数,从而得到机械结构的各种有价值信息,尤其是通过对机械振动信号的频谱分析、机械结构模态分析和参数识别等,分析振动性质及产生原因,找出消振、减振的方法,进一步改进机械结构的设计,提高产品质量。

### 2. 在自动化生产中的应用

在工业自动化生产中,通过对工艺参数的测试和数据采集,实现工艺流程、产品质量和设备运行状态的监测和控制。图 1-1 所示为自动轧钢系统,其中测力传感器实时测量轧钢的轧制力大小,测厚传感器实时测量钢板的厚度,这些测量信号反馈到控制系统后,控制系统根据轧制力和板材厚度信息来调整轧辊的位置,保证了板材的轧制尺寸和质量。

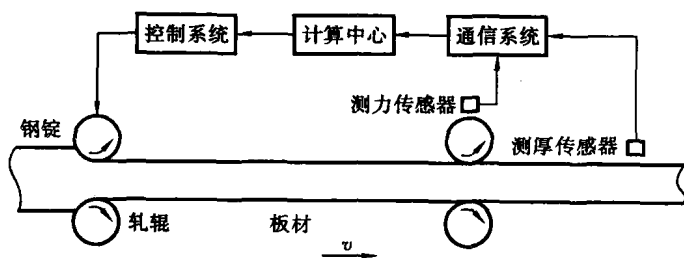


图 1-1 自动轧钢系统

### 3. 在产品质量和控制中的应用

在汽车、机床设备和电机、发动机等部件出厂时,必须对其性能进行测量和出厂检验。例如在汽车出厂检验中,测量参数包括润滑油温度、冷却水温度、燃油压力及发动机转速等。通过对汽车的抽样测试,工程师可以了解汽车的质量。

在各种自动控制系统中,测试环节是重要的组成部分,起着控制系统感官的作

用,最典型的的就是各种传感器的使用。图 1-2 所示为汽车制造生产线上的焊接机器人,其上的激光测距传感器、机器人转动/移动位置传感器及力传感器等协调工作,从而控制汽车车身的焊缝尺寸和焊接强度。



图 1-2 汽车制造生产线上的焊接机器人

#### 4. 在机械监测和故障诊断中的应用

在电力、冶金、石油、化工等众多行业中,某些关键设备,如汽轮机、燃气轮机、水轮机、发电机、电动机、压缩机、风机、泵、变速箱等的工作状态关系到整个生产的正常运行。对这些关键设备运行状态实施 24 h 实时动态监测,可以及时、准确地掌握它的变化趋势,为工程技术人员提供详细、全面的机组信息,是实现设备事后维修或定期维修向预测维修转变的基础。

图 1-3 所示为对水电站大型金属结构的应力检测,应变片直接粘贴在结构上进行测量。图 1-4 所示为管道腐蚀无损检测系统,它利用漏磁原理来检验管道的内部腐蚀,具有操作简单、高效、便携的特点。图 1-5 所示为一个数字化加工厂的测试系统,系统含切削力传感器、加工噪声传感器、超声波测距传感器、红外接近开关传感器等,传感器将信号传输到中心控制室进行分析和处理,作为设备监测和诊断的依据。

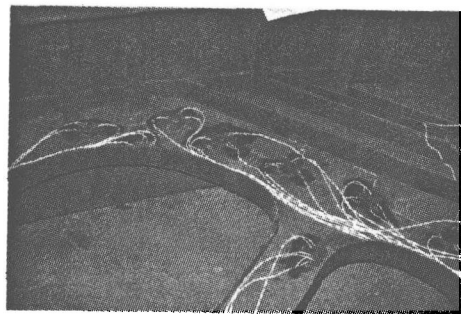


图 1-3 金属结构应力检测

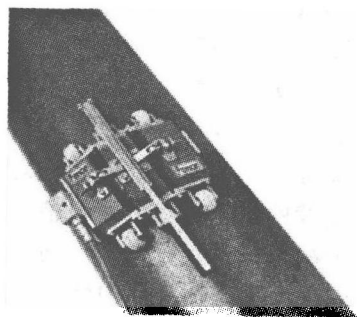


图 1-4 管道腐蚀无损检测系统



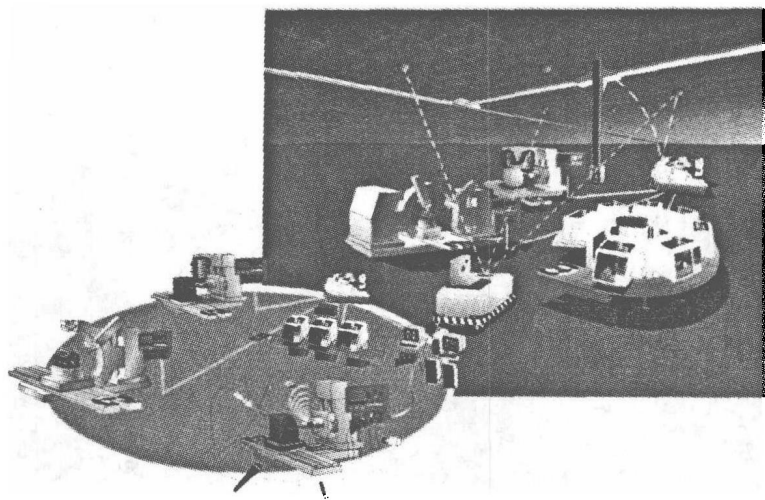


图 1-5 数字化加工厂的测试系统

### 1.3 测试系统的组成

测试系统的基本组成如图 1-6 表示。一般来说,测试系统包括传感器、信号调理、信号分析及处理和信号的显示与记录。有时测试工作所希望获取的信息并没有直接蕴涵在可检测的信号中,这时测试系统就需要选用合适的方式激励被测对象,使其响应并产生既能充分表征其有关信息,又便于检测的信号。

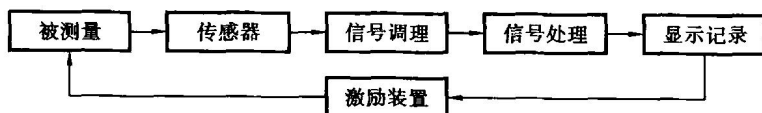


图 1-6 测试系统基本组成框图

在测试系统中,当传感器受到被测量的直接作用后,能按一定规律将被测量转换成同一量纲或不同量纲的量值输出,其输出通常是电参数信号。如金属电阻应变片是将机械应变值的变化转换成电阻值的变化,电容式传感器测量位置时是将位移量的变化转换成电容量的变化等。

传感器输出的电参数信号种类很多,输出功率又太小,一般不能将这种信号直接输入到后续的信号处理电路。信号调理环节的主要作用就是对信号进行转换和放大,即把来自传感器的信号转换成更适合进一步传输和处理的信号。信号转换在多数情况下是电参数信号之间的转换,将各种电参数信号转换为电压、电流、频率等几种便于测量的电参数信号(简称电信号)。

信号处理环节的输入是来自信号调理环节的信号,并进行各种运算、滤波、分析,

将结果输出至显示、记录或控制系统。例如,扭矩传感器可以测出转轴的转速  $n$  和它的扭矩  $M$ ,信号处理环节对  $n$  和  $M$  进行乘法运算可以得到此转轴传输的功率  $P = nM$ ,然后将其输出到显示与记录设备上。

信号显示记录环节以观察者易于识别的形式来显示测量结果,或将测量结果存储,以供需要时使用。

图 1-6 所示为一个完整的工程测试系统,在某些情况下,有些环节可以简化或省略,如测试系统构成自动控制系统的一个组成单元时,可能显示、记录设备就不需要了,但传感器环节是任何测试系统都必不可少的。

## 1.4 测试技术的发展趋势

测试技术随着现代科学技术的发展而迅速发展,特别是计算机、软件、网络、通信等技术的发展使测试技术日新月异。测试技术的发展可归纳为以下几方面。

### 1. 传感器向新型、微型、智能化方向发展

传感器的作用是获取信号,是测试系统的首要环节。现代测试系统以计算机为核心,信号处理、转换、存储和显示等都与计算机直接相关,属于共性技术,唯独传感器是千变万化、多种多样的,所以测试系统的功能更多地体现在传感器方面。

新的物理、化学、生物效应应用于物性型传感器是传感器技术的重要发展方向之一。每一种新的物理效应应用,都会出现一种新型敏感元件,或者某种新的参数能够被测量。例如一些声敏、湿敏、色敏、味敏、化学敏、射线敏等新材料与新元件的应用,有力地推动了传感器的发展。由于物性型传感器的敏感元件依赖于敏感功能材料,因此,敏感功能材料(如半导体、高分子合成材料、磁性材料、超导材料、液晶、生物功能材料、稀土金属等)的开发也推动着传感器的发展。

快变参数和动态测量是机械工程测试和控制系统中的重要环节,其主要支柱是微电子与计算机技术。传感器与微计算机结合,产生了智能传感器,也是传感器技术发展的新动向。智能传感器能自动选择测量量程和增益,自动校准与实时校准,进行非线性校正、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。通过引入先进技术,智能传感器可以利用微处理技术提高传感器精度和线性度,修正温度漂移和时间漂移。

近年来,传感器向多维发展,如把几个传感器制造在同一基体上,把同类传感器配置成传感器阵列等。因此,传感器必须微细化、小型化,这样才可能实现多维测量。

### 2. 测试仪器向高精度和多功能方向发展

仪器与计算机技术的结合产生了全新的仪器结构,即虚拟仪器。虚拟仪器采用计算机开放体系结构来取代传统的单机测量仪器,将传统测量仪器的公共部分(如电源、操作面板、显示屏、通信总线和 CPU)集中起来,通过计算机仪器扩展板和应用软件在计算机上实现多种物理仪器,实现多功能集成。

一方面,随着微处理器速度的加快,一些实时性要求提高,原来要由硬件完成的功能,可以通过软件来实现,即硬件功能软件化。另一方面,在测试仪器中广泛使用高速数字处理器,极大地增强了仪器的信号处理能力和性能,仪器精度也获得了大大提高。

### 3. 测试与信号处理向自动化方向发展

越来越多的测试系统采用了以计算机为核心的多通道自动测试系统,这样的系统既能实现动态参数的在线实时测量,又能快速地进行信号实时分析与处理。随着信号处理芯片的出现和发展,对简化信号处理系统结构,提高运算速度,加速信号处理的实时能力,起到了很大的推动作用。

## 1.5 本课程的学习要求

测试技术涉及传感技术、计算机技术、信号处理技术、控制技术等多学科技术知识,是集机、电于一体,硬件、软件相结合的一门综合性技术,目前,测试与信号处理技术正在迅猛发展,并在机械工程领域得到了广泛应用,已成为机械类专业学生必须掌握的理论基础之一。同时,测试技术又具有很强的实践性,因此,学生在学习中必须注意将理论学习与实践训练密切结合,才能系统地掌握课程知识,获得相应能力。

本书内容分为测试技术基本理论知识、机械测试技术及其应用、测试技术实验和信号处理编程实验等。学生学完本课程应获得以下知识和能力。

(1) 掌握测试技术的基本理论,包括常用传感器原理、信号调理方法、信号分析与处理基本方法等。

(2) 熟悉机械工程中常见物理量所用的测试系统、测试方法和计算机辅助测试技术。

(3) 具备测试技术基本实验技能和数据处理能力。

## 习 题

- 1.1 什么是测试技术? 测试技术的研究对象有哪些?
- 1.2 测试系统的基本组成环节有哪些? 并说明各环节的作用。
- 1.3 试举自己身边的测试技术应用例子,说明测试技术的重要作用。
- 1.4 简要概括测试技术的发展。
- 1.5 如何学习本课程? 本课程的学习要求有哪些?