

高等院校机电类 **工程教育** 系列规划教材

工程测试技术及应用

■ 主编 郑建明 班 华

→ **工程测试技术及应用**：本书秉承“工程教育”的教学理念，对基础理论进行精简，对工程应用进行突出，为卓越工程技术人才的培养奠定了基础。内容上，前半部分讲基础理论和方法，后半部分讲常见物理量的测试方法及其工程应用；编排上，穿插有“工程背景”、“应用点评”等栏目，并免费为采用本书授课的教师提供电子课件和书中所有插图。详细内容请见目录与索引>>>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

内 容 简 介

本教材秉承“工程教育”的教学理念,对基础理论进行精简,对工程应用进行突出,从而为卓越工程技术人才的培养奠定基础。本教材分为上下两篇。上篇共6章,包括绪论、信号分析与处理基础、测试系统特性分析、敏感元件与传感器技术、信号调理及记录仪器以及计算机测试技术;下篇共6章,包括力与力矩的测量、位移与速度的测量、振动与噪声的测量、温度的测量、转速与功率的测量以及流体参量的测量。教材中还设立了“工程背景”、“应用点评”等环节,并免费为采用本教材授课的教师提供电子课件和书中所有插图(通过 yuy@phei.com.cn 进行申请)。

本教材既可作为高等工科院校机械类及相关工科专业本科生的教材使用,也可作为企业和科研单位技术人员从事测试工作的参考书。

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

工程测试技术及应用/郑建明,班华主编. —北京:电子工业出版社,2011.1

(高等院校机电类工程教育系列规划教材)

ISBN 978-7-121-12234-7

I. ①工… II. ①郑… ②班… III. ①工程测量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 218097 号

策划编辑:余 义

责任编辑:余 义

印 刷: 北京市李史山胶印厂
装 订:

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: 18.75 字数: 480 千字

印 次: 2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 32.00 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 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

2008年7月间,电子工业出版社邀请全国20多所高校几十位机电领域的老师,研讨符合“工程教育”要求的教材的编写方案。大家认为,这适应了目前我国高等院校工科教育发展的趋势,特别是对工科本科生实践能力的提高和创新精神的培养,都会起到积极的推动作用。

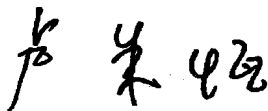
教育部于2007年1月22日颁布了教高(2007)1号文件《教育部财政部关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》。同年2月17日,紧接着又颁布了教高(2007)2号文件《教育部关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》。由这两份文件,可以看到国家教育部已经决定并将逐步实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称质量工程),而质量工程的核心思想就在于培养学生的实践能力和创新精神,提高教师队伍整体素质,以及进一步转变人才培养模式、教学内容和方法。

教学改革和教材建设从来都是相辅相成的。经过近两年的教改实践,不少老师都积累了一定的教学经验,借此机会,编写、出版符合“工程教育”要求的教材,不仅能够满足许多学校对此类教材的需求,而且将进一步促进质量工程的深化。

近一年来,电子工业出版社选派了骨干人员与参加编写的各位教授、专家和老师进行了深入的交流和研究。不仅在教学内容上进行了优化,而且根据不同课程的需要开辟了许多实践性、经验性和工程性较强的栏目,如“经验总结”、“应用点评”、“一般步骤”、“工程实例”、“经典案例”、“工程背景”、“设计者思维”、“学习方法”等,从而将工程中注重的理念与理论教学更有机地结合起来。此外,部分教材还融入了实验指导书和课程设计方案,这样一方面可以满足某些课程对实践教学的需要,另一方面也为教师更深入地开展实践教学提供丰富的素材。

随着我国经济建设的发展,普通高等教育也将随之发展,并培养出适合经济建设需要的人才。“高等院校机电类工程教育系列规划教材”就站在这个发展过程的源头,将最新的教改成果推而广之,并与之共进,协调发展。希望这套教材对更多学校的教学有所裨益,对学生的理论与实践的结合发挥一定的作用。

最后,预祝“高等院校机电类工程教育系列规划教材”项目取得成功。同时,也恳请读者对教材中的不当、不贴切、不足之处提出意见与建议,以便重印和再版时更正。



中国工程院院士、西安交通大学教授

教材编写委员会

主任委员 赵升吨(西安交通大学)

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

芮延年(苏州大学)

胡大超(上海应用技术学院)

钱瑞明(东南大学)

袁清珂(广东工业大学)

参编院校

(按拼音排序)

※ 安徽工业大学

※ 长安大学

※ 东南大学

※ 广东工业大学

※ 华南理工大学

※ 华南农业大学

※ 淮海工学院

※ 吉林师范大学

※ 南通大学

※ 山东建筑大学

※ 陕西科技大学

※ 上海应用技术学院

※ 深圳大学

※ 沈阳工业大学

※ 苏州大学

※ 苏州科技学院

※ 同济大学

※ 五邑大学

※ 武汉科技学院

※ 西安电子科技大学

※ 西安工程大学

※ 西安工业大学

※ 西安交通大学

※ 西安科技大学

※ 西安理工大学

※ 西安文理学院

前 言

测试技术作为一项共性技术在工业生产与科学研究的各个领域都有着广泛的应用。随着科学技术的不断进步,产品信息化、数字化、智能化的趋势愈加明显,测试技术正日益成为科技发展水平的重要标志。我国许多高等工科院校自 20 世纪 80 年代以来都相继开设了“测试技术”这门课程,尤其对于机械与测控等相关专业更是一门十分重要的专业基础课。在长期的教学实践过程中,发现学生普遍存在难以将抽象的物理概念与工程实践相联系的问题,缺乏灵活运用测试技术解决实际工程问题的能力。

近年来,随着高等工科教育改革的不断深化,如何突出和加强大学生的工程实践与创新能力成为社会普遍关注的问题。为此,根据电子工业出版社“高等院校机电类工程教育系列规划教材”的出版计划,我们组织有关教师编写了这本面向工程教育的测试技术教材。

该教材在原有教材的基础上,对相关内容进行了进一步整合,压缩了信号与系统中抽象的理论与公式推导,将重点放在基本概念及其物理意义的工程解释上,使学生更加易于理解、掌握和应用;同时保留和补充了大量关于抽象物理概念与测试技术工程应用的实例,突出了理论与实践、知识与应用相结合,从而为培养卓越工程技术人才奠定了基础。

本教材分为上下两篇。上篇共 6 章,主要论述测试技术基础理论和方法。第 1 章绪论介绍测试技术发展概况与测量基础;第 2 章论述测试信号处理的基本理论、方法与现代信号处理的最新发展;第 3 章论述测试系统基本特性及其分析评价方法,实现不失真测试的条件以及负载和干扰对测试的影响及其解决措施;第 4 章介绍信号获取方法与传感器理论;第 5 章讨论信号转换与调理的原理和方法;第 6 章介绍计算机测试技术原理、构成与发展概况。下篇共 6 章,主要论述工程领域常见物理量的测试方法及其工程应用实例,各学校可根据实际情况选讲部分内容,同时也可作为上篇基础知识学习的补充材料,加强学生解决实际工程测试问题的能力。本教材的配套教学资源包括电子课件和书中所有插图,采用本教材授课的教师通过 yuy@phei.com.cn 可免费获取。

本教材既可作为高等工科院校机械类及相关工科专业本科生的教材使用,也可作为企业和科研单位技术人员从事测试工作的参考书。

本教材第 1、2 章由西安理工大学郑建明教授编写,第 3 章由西安理工大学赵庆海教授编写,第 4 章由华南农业大学班华高级工程师编写,第 5 章由华南农业大学刘洪山副研究员编写,第 6 章由华南农业大学王涛工程师编写,第 7、8 章由西安理工大学杨静副教授编写,第 9、10 章由西安理工大学王凯副教授编写,第 11、12 章由西安理工大学王世军副教授编写。全书由郑建明、班华担任主编,赵庆海、杨静担任副主编,郑建明统稿。

在本教材的编写过程中,参考和借鉴了大量有关测试技术方面的教材和论著,在此对它们的作者表示衷心的感谢。同时,由于时间紧迫和编者水平有限,书中难免存在错误与疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010 年 11 月

• 5 •

目 录

上篇 测试技术基础

第 1 章 绪论	(3)
1.1 测试技术概述	(3)
1.1.1 测试技术的发展与重要性	(3)
1.1.2 测试系统的一般组成	(5)
1.1.3 测试技术的发展趋势	(6)
1.1.4 课程的主要内容与学习方法	(7)
1.2 测量的基础知识	(8)
1.2.1 测量的基本概念与方法	(8)
1.2.2 测量误差的定义及分类	(10)
1.2.3 不确定度评定的基本知识	(14)
1.3 思考题与习题	(16)
第 2 章 信号分析与处理基础	(17)
2.1 信号与测试系统	(18)
2.2 信号的分类与其描述	(19)
2.2.1 信号的分类	(19)
2.2.2 信号描述方法	(21)
2.3 周期信号的频谱——傅里叶级数	(22)
2.3.1 周期信号的三角函数展开式与离散频谱	(22)
2.3.2 周期信号的复指数展开式	(24)
2.3.3 周期信号的功率	(25)
2.4 非周期信号的频谱——傅里叶变换	(26)
2.4.1 傅里叶变换与连续频谱	(26)
2.4.2 能量谱	(28)
2.4.3 傅里叶变换的性质	(29)
2.4.4 典型信号的频谱	(33)
2.5 随机信号分析	(36)
2.5.1 概述	(36)
2.5.2 随机信号的统计分析	(37)
2.5.3 相关分析及其应用	(39)
2.5.4 功率谱分析及应用	(45)
2.6 数字信号处理	(49)
2.6.1 概述	(49)
2.6.2 信号数字化出现的问题	(49)
2.6.3 离散傅里叶变换 DFT	(53)
2.7 现代信号处理	(55)
2.8 思考题与习题	(56)

第3章	测试系统特性分析	(59)
3.1	概述	(60)
3.2	测试系统的静态特性	(60)
3.2.1	静态标定	(60)
3.2.2	静态特性指标	(61)
3.3	测试系统的动态特性	(64)
3.3.1	动态参数测试的特殊性	(64)
3.3.2	测试系统动态特性的分析方法及指标	(65)
3.3.3	测试系统的数学描述	(66)
3.3.4	测试系统的传递函数	(67)
3.3.5	测试系统的频率响应函数	(68)
3.3.6	一阶系统、二阶系统的动态特性	(70)
3.3.7	测试系统对典型激励的响应	(75)
3.3.8	系统时域和频域响应的求解	(79)
3.4	测试系统动态参数的测定	(81)
3.4.1	一阶系统动态特性参数的测定	(82)
3.4.2	二阶系统动态特性参数测定	(83)
3.5	实现无失真测试的条件	(85)
3.6	测试系统的负载效应	(87)
3.7	测试系统的抗干扰	(89)
3.7.1	测试装置的干扰源	(89)
3.7.2	供电系统干扰及其抗干扰	(89)
3.7.3	信道通道的干扰及其抗干扰	(90)
3.7.4	接地设计	(90)
3.8	思考题与习题	(92)
第4章	敏感元件与传感器技术	(93)
4.1	概述	(94)
4.1.1	传感器与传感器技术	(94)
4.1.2	传感器与传感器技术的发展历史与发展趋势	(94)
4.2	电阻应变式传感器	(95)
4.2.1	电阻应变效应	(95)
4.2.2	金属电阻应变片	(96)
4.2.3	半导体应变片	(97)
4.2.4	电阻应变传感器应用实例	(98)
4.3	电感式传感器	(99)
4.3.1	自感型传感器	(99)
4.3.2	互感型传感器	(102)
4.3.3	传感器实例	(103)
4.4	电容式传感器	(104)
4.4.1	工作原理与类型	(104)
4.4.2	测量电路	(107)
4.4.3	电容式传感器实例	(107)
4.5	压电式传感器	(108)

4.5.1	压电效应	(108)
4.5.2	压电材料	(108)
4.5.3	压电传感器的等效电路	(111)
4.5.4	测试电路	(112)
4.6	磁电式传感器	(112)
4.6.1	动圈式磁电传感器	(112)
4.6.2	磁阻式磁电传感器	(113)
4.6.3	传感器实例	(114)
4.7	光电式传感器	(114)
4.7.1	光电效应	(114)
4.7.2	光敏电阻	(115)
4.7.3	光电池	(116)
4.7.4	光敏晶体管	(117)
4.7.5	光电管	(119)
4.7.6	光电倍增管	(120)
4.8	热电式传感器	(120)
4.8.1	热电偶	(120)
4.8.2	热电阻	(124)
4.9	气敏传感器	(126)
4.10	固态图像传感器	(127)
4.11	霍尔传感器	(127)
4.11.1	工作原理	(127)
4.11.2	霍尔传感器实例	(128)
4.12	微型传感器	(129)
4.12.1	MEMS 技术与微型传感器	(129)
4.12.2	压阻式微型传感器	(129)
4.12.3	电容式微型传感器	(130)
4.12.4	电感式微型传感器	(131)
4.12.5	微型传感器例	(132)
4.13	传感器的选用原则	(132)
4.14	思考题与习题	(133)
第 5 章	信号调理及记录仪器	(135)
5.1	信号放大电路	(136)
5.1.1	运算放大器	(136)
5.1.2	仪器放大器	(139)
5.1.3	实际运算放大器存在的问题	(139)
5.2	调制与解调	(140)
5.2.1	调制与解调	(140)
5.2.2	幅值调制与解调	(140)
5.2.3	频率调制与解调	(143)
5.3	滤波	(144)
5.3.1	概述	(144)
5.3.2	滤波器性能分析	(145)

5.3.3	一阶无源滤波器	(148)
5.3.4	有源滤波器	(150)
5.3.5	开关电容滤波器	(153)
5.4	电桥	(154)
5.4.1	直流电桥	(155)
5.4.2	交流电桥	(156)
5.5	显示与记录仪器	(158)
5.5.1	模拟显示	(158)
5.5.2	数字显示	(158)
5.5.3	磁记录	(159)
5.5.4	光盘式记录	(159)
5.6	思考题与习题	(160)
第6章	计算机测试技术	(161)
6.1	概述	(162)
6.2	计算机测试系统	(162)
6.2.1	数据的采集与保持	(162)
6.2.2	模/数与数/模转换技术	(163)
6.2.3	A/D 与 D/A 通道设计	(164)
6.2.4	计算机采集与分析系统	(164)
6.3	智能仪表	(165)
6.3.1	概述	(165)
6.3.2	智能仪表的组成	(165)
6.3.3	智能仪表的功能模块	(166)
6.4	虚拟仪器系统	(167)
6.4.1	概述	(167)
6.4.2	LabVIEW 虚拟仪器开发系统	(169)
6.4.3	LabVIEW 虚拟仪器开发实例	(169)
6.5	思考题与习题	(171)
下篇 测试技术的工程应用		
第7章	力和力矩的测量	(175)
7.1	力的测量原理	(176)
7.2	应力、应变的测量	(176)
7.2.1	应变的测量	(176)
7.2.2	应力的测量	(177)
7.3	力的测量	(179)
7.3.1	应变式力传感器	(179)
7.3.2	应变式压力传感器	(180)
7.3.3	压电式力传感器	(180)
7.3.4	压电式压力传感器	(182)
7.3.5	金属加工切削力的测量	(184)
7.4	扭矩的测量	(184)
7.4.1	应变式扭矩传感器的工作原理	(185)

7.4.2	应变片式扭矩传感器	(186)
7.4.3	磁电式扭矩传感器	(187)
7.5	力测量实例	(187)
7.5.1	塔机结构强度测试概述	(187)
7.5.2	测试方案	(188)
7.5.3	测点布置	(189)
7.6	思考题与习题	(190)
第 8 章	位移与速度的测量	(191)
8.1	概述	(192)
8.2	位移测量	(192)
8.2.1	电位计式位移传感器	(192)
8.2.2	电涡流位移传感器	(193)
8.2.3	容栅式位移传感器	(194)
8.2.4	互感式位移传感器	(195)
8.2.5	光电式位移传感器	(196)
8.2.6	光纤位移传感器	(197)
8.2.7	超声波测距原理	(197)
8.3	速度测量	(198)
8.4	位移速度测量实例	(201)
8.5	思考题与习题	(203)
第 9 章	振动与噪声的测量	(205)
9.1	振动测试原理	(206)
9.2	常用的测振传感器	(207)
9.3	振动的激励及激振器	(210)
9.4	振动测试的工程应用	(213)
9.5	噪声测量基础	(214)
9.5.1	噪声的度量	(214)
9.5.2	噪声的主观评价	(216)
9.6	噪声测试传感器与仪器	(217)
9.6.1	传声器	(217)
9.6.2	声级计	(218)
9.7	声强测量与声源辨识	(218)
9.8	声发射测试技术	(220)
9.8.1	概述	(220)
9.8.2	声发射测量传感器	(220)
9.8.3	声发射测量仪器	(221)
9.9	振动测试的工程实例	(222)
9.10	思考题与习题	(223)
第 10 章	温度的测量	(225)
10.1	概述	(226)
10.2	温度测试方法	(226)
10.3	热电偶	(227)
10.3.1	热电偶的工作原理	(227)

10.3.2 热电偶的分类	(228)
10.4 热电阻	(228)
10.4.1 金属丝热电阻	(228)
10.4.2 热敏电阻	(229)
10.5 热辐射测温	(229)
10.5.1 红外辐射测温仪	(230)
10.5.2 SMART 牌 AR300 红外测温仪简介	(231)
10.6 温度测量的工程实例	(232)
10.6.1 问题的提出	(232)
10.6.2 测试系统的建立与实现	(232)
10.6.3 实际测试时应注意的问题	(242)
10.7 思考题与习题	(243)
第 11 章 转速与功率的测量	(245)
11.1 转速测量概述	(246)
11.2 常用转速测量方法	(246)
11.2.1 测速发电机	(246)
11.2.2 磁电式传感器测转速	(247)
11.2.3 光电式传感器测转速	(247)
11.2.4 霍尔式转速传感器	(248)
11.2.5 频率计的原理	(249)
11.2.6 闪光测速仪	(249)
11.2.7 机械式转速表	(250)
11.3 功率测量	(251)
11.3.1 功率测量概述	(251)
11.3.2 水力测功机	(252)
11.3.3 电涡流测功机	(254)
11.3.4 电力测功机	(256)
11.4 思考题与习题	(260)
第 12 章 流体参量的测量	(261)
12.1 压力的测量	(262)
12.1.1 弹性压力敏感元件	(262)
12.1.2 常用压力传感器	(263)
12.1.3 压力测量工程实例	(270)
12.2 流量的测量	(271)
12.2.1 概述	(271)
12.2.2 常用的流量计	(272)
12.3 思考题与习题	(283)
索引	(284)
参考文献	(285)
读者服务表	(287)

上 篇

测试技术基础

第1章 绪 论

1.1 测试技术概述

1.1.1 测试技术的发展与重要性

测试是测量和试验的简称,是为了获取被测对象基本属性与内在运行规律有用信息,而对被测对象物理、化学、工程技术等方面的参量、特性等进行数值测定的工作,是取得对试验对象定性或定量信息的一种基本方法和途径。

信息是客观事物时间与空间的特性,是无所不在、无时不存的。人们为了某些特定的目的,需要从浩如烟海的信息中把有用的部分提取出来,以达到观测事物某一本质问题的目的。信息通过各种测试手段以“信号”的形式表达出来,供人们观测和分析,所以信号是某一特定信息的载体。

信息、信号、测试与测试系统之间的关系可以表述为:测试的目的是获取信息,信号是信息的载体,测试是通过测试系统得到被测参数信息并以信号的形式表现出来的技术手段。

从广义的角度来讲,测试技术涉及试验设计、模型试验、传感器、信号加工与处理、误差理论、控制工程、系统辨识和参数估计等内容;从狭义的角度来讲,测试技术是指在选定激励方式下,所进行的信号的检测、变换、处理、显示、记录及电量输出的数据处理工作。

人类处在一个广大的物质世界中,面对众多的测试对象和测试任务,被测的量千差万别、种类各异。为了保证加工零件的质量,要对机床主轴的振动特性进行监测和分析;飞机在飞行时要依靠众多仪表来测量和指示航向、速度、加速度、里程等一系列数据,从而确保飞机始终位于正确的航程中;轧钢过程中要对轧制的带钢厚度及宽度尺寸进行连续自动检测;为了保证旋转机械的平稳运行,要对旋转机械因轴承摩擦发热而造成的部件热变形进行检测……根据被测的物理量随时间变化的特性,可将它们从总体上分成静态量和动态量。所谓静态量是指那些静止的或缓慢变化的物理量,对这类物理量的测试称为静态测试或测量;所谓动态量是指随时间快速变化的物理量,对这类物理量的测试称为动态测试。

现代测试技术的一大特点是采用非电量电测方法,其测试结果通常是随时间变化的电量,即电信号。在这些电信号中,包含着有用信息和大量不需要的干扰信号。干扰的存在给测试工作带来了麻烦。测试工作中的一项艰巨的任务就是要从复杂的信号中提取有用的信号或从含有干扰的信号中提取有用的信息。

测试是人类认识客观世界的手段,是科学研究的基本方法。科学探索需要测试技术,用定量关系和数学语言来表述科学规律和理论也需要测试技术,检验科学理论和规律的正确性同样需要测试技术。可以认为,精确的测试是科学的根基。伟大的化学家、计量学家门捷列夫说过:“科学是从测量开始的,没有测量就没有科学,至少是没有精确的科学、真正的科学。”我国“两弹一星”元勋王大珩院士也说过:“仪器是认识世界的工具;科学是斗去量禾的学问。用斗去量禾就对事物有了深入的了解、精确的了解,就形成了科学。”

科学上的发现和技术上的发明是从对事物的观察开始的。对事物的精细观察就要借助于仪器，就要测试，特别是在自然科学和工业生产领域更是如此。在对事物观察、测试的基础上经过分析推导，形成认识。到这一阶段还只能是假说、学说。实践是检验真理的唯一标准，只有经过测试和考核，才能真正形成科学，所以在科学发展的哪一阶段都离不开测试。国家中长期科学技术发展规划指出，仪器仪表和测试是“新技术革命”的先导和基础。

纵观科学发展史和科技发明史，许多重大发现和发明都是从仪器仪表和测试技术的进步开始的。从 20 世纪初到现在，诺贝尔奖颁发给仪器发明、发展与相关的实验项目达 27 项之多。众所周知，没有哈勃望远镜就难以进行天体科学的研究，天体科学上的许多重大发现都是依靠哈勃望远镜的观测而得到的。扫描隧道显微镜的发明对纳米科技的兴起和发展可以说起了决定性作用。

国防和高科技的发展也与测试技术密切相关。现代战争使用的主要武器都是精确制导武器，仪器仪表的测量控制精度决定了武器系统的打击精度，测试速度、诊断能力决定了武器系统的反应能力。美国正在发展反导弹战略计划，它的基本思想就是精确、快速地探测对方发射的导弹，并在此基础上发射自己的火箭进行拦截。测试是这一战略思想的技术基础。

在飞机、火箭、宇宙飞船的制造过程中，从加工到装配一步都离不开检测。火箭在现场进行安装、准备发射也离不开检测。在发射场上精确找正并发射后，由于大气和其他天体、气象等因素的影响，火箭、宇宙飞船还可能偏离预定的轨道，因此需要不断地检测航行的轨迹，进行校正。不仅要按测量结果校正航行轨迹，还要按测得的加速度控制燃料和气体的排放，以保证飞行轨道的准确，而对所有这些检测的精度和速度响应的要求是极高的。国家中长期科学技术发展规划指出，运载火箭的试制费一半用于仪器仪表，由此可见测试技术在发展航天、航空、国防等高科技中的作用。

在工程技术领域中，工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等，都离不开测试技术。信息技术与制造技术的融合是机械制造技术发展的主要方向。这些年，制造业的最大进步是制造业信息化的实现，而作为提供源头信息的测试技术在这里起关键作用。越是现代化的企业，测控设备在总投资中的比例越大。例如，在宝山钢铁公司建设中，仪器仪表、测试装备占总投资的 1/3。仪器仪表、测试装备对整个国民经济的推动作用很大。国家中长期科学技术发展规划指出，仪器仪表是国民经济的倍增器。美国 21 世纪 90 年代仪器仪表只占工业总产值的 4%，但它对国民经济的影响面占 66%。作为自动化的进一步发展就是智能化。智能化生产要求生产过程能自动适应环境、原材料、工具和装备条件的变化，使生产系统工作在最佳状态，获得最优的产品与效益。因此在整个智能化生产过程中，要对环境、原材料、工具和装备的状态进行检测，并在此基础上做出决策，使生产过程按最佳方式进行。

日常生活用具，如汽车、家用电器等方面也离不开测试技术。许多家用电器都带有测试装置，如傻瓜相机具有测量光亮度和物体距离的装置，能够自动调整曝光度和对焦。一辆现代汽车装有 50~60 个传感器，用于检测油量、油门打开的情况，以及司机是否喝了酒，安全带是否系好，等等。全球导航系统（GPS）也已成为汽车的必备装置。

总之，测试技术已渗透到人类活动的每个领域，从日常生活中的三表（水、电、气表）、每日的天气预报、医院中对病人的监护设施、汽车中的各种指示仪表，直至宇宙飞船的姿态控制装置、飞机的导航仪表。测试技术广泛地应用于工农业生产、科学研究、国内外贸易、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护和人民生活的各个方面，起着越来越重要的作用，

成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要基础技术。因而，先进的测试技术使用也就成为经济高度发展和科技现代化的重要标志之一。

1.1.2 测试系统的一般组成

如 1.1.1 节所述，现代测试技术对非电量的检测多采用电测法，即首先通过传感器将非电量转换为电量，然后经过放大、调理、传输、采集、分析处理等环节，将被测参量以数据或图表的形式显示或记录下来。虽然测试对象不同，所用的检测方法和仪器也不同，但是归纳起来，一个完整的测试系统一般由传感器、信号转换与调理电路、信号分析与处理装置、数据显示与记录仪器等模块组成。测试系统的原理与构成可用图 1-1 所示的原理方框图来描述。

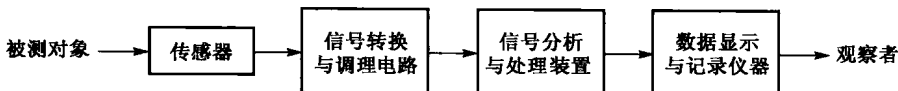


图 1-1 测试系统原理与构成框图

传感器是测试系统中的第一个环节，用于从被测对象获取有用的信息，并将其转换为适合于测量的变量或信号。例如，当采用弹簧秤测量物体受力时，其中的弹簧便是一个传感器或者敏感元件，它将物体所受的重力转换成弹簧的变形-位移量。又如，当测量物体的温度发生变化时，可采用以水银为媒介的温度计作为传感器，将热量或温度的变化转换为汞柱液位亦即位移的变化。同样，也可采用热敏电阻来测温，此时温度的变化被转换为电参数-电阻率的变化。再如，在测试物体振动时，可以采用磁电式传感器，将物体振动的位移或振动速度通过电磁感应原理转换成电压变化量。由此可见，对于不同的被测物理量要采用不同的传感器，这些传感器的作用原理所依据的物理效应也是千差万别的。对于一个测试任务来说，首要的一步就是能够有效地从被测对象拾取能用于测试的信息，因此传感器在整个测试系统中的作用十分重要。

信号转换与调理电路是对从传感器输出的信号做进一步的加工和处理，包括对信号的转换、放大、滤波及一些专门的处理。这是因为从传感器出来的信号通常十分微弱，一般为毫伏级或毫安级，而且往往除有用信号外还夹杂有各种有害的干扰和噪声，因此在做进一步处理之前必须将干扰和噪声滤除掉。另外，传感器的输出信号往往具有光、机、电等多种形式，而对信号的后续处理往往都采取电的方式和手段，因而有时必须把传感器的输出信号进一步转换为适宜于电路处理的电信号。通过信号的调理，最终希望获得便于传输、显示和记录以及可做进一步后续处理的信号。

信号分析与处理装置接收来自信号转换与调理环节的信号，并对其进行各种运算、滤波、分析。例如，进行金属切削机床主电动机功率测试时，主电动机的三相交流输入信号经三相隔离采样电路后，形成三相电流、三相电压信号的共地跟踪电压信号，在单片机控制下由 A/D 转换器对其进行多点同步采样，采样得到的数据由 DSP 器件按电工原理计算出被测信号的三相有功功率（数字量），然后将其输出到显示与记录设备，或通过进一步的分析来实现对金属切削过程的监控。

数据显示和记录仪器是将调理和处理过的信号用便于人们观察和分析的介质和手段进行记录或显示。目前，常用的显示方式包括模拟显示、数字显示和图像显示。常用的记录仪有笔式记录仪、高速打印机、绘图仪、数字存储示波器、磁带记录仪、硬盘存储设备等。

图 1-1 所示的各个方框中的功能都是通过传感器和不同的测试仪器和装置来实现的，它们构成了测试系统的核心部分。但需要注意的是，被测对象和观察者也是测试系统的组成部

分。这是因为在用传感器从被测对象获取信号时,被测对象通过不同的连接或耦合方式也对传感器产生了影响和作用;同样,观察者通过自身的行为和方式也直接或间接地影响着系统的传递特性。因此,在评估测试系统的性能时必须考虑这两个因素的影响。

测试系统是用来测试被测信号的,被测信号经系统的加工和处理之后在系统的输出端以不同的形式被输出。系统的输出信号应该真实地反映原始被测信号,这样的测试过程被称为“精确测试”或“不失真测试”。如何实现一个精确的或不失真的测试?系统各部分应具备什么样的条件才能实现精确的测试?这正是测试技术中所要研究的一个主要问题。

1.1.3 测试技术的发展趋势

测试技术与科学技术的发展是相辅相成的。科学技术的飞速发展给测试技术的发展不断注入了新的活力。近 20 年来,现代物理学、微电子技术、计算机技术、信息技术、微机电系统的发展极大地推动了测试技术的迅猛发展。同时,随着人们对客观世界认识的不断深入与科学技术的不断进步,在科学研究与工程领域都不断地对测试技术的发展提出更高的要求 and 新的挑战。现代测试技术正朝着高度智能化、集成化、微型化方向发展,其发展特征主要表现在以下几个方面。

(1) 测试仪器向高精度、高速度和多功能方向发展

精度是计量测试技术的永恒主题,随着科技的发展,各个领域对测试精度的要求越来越高。

在尺寸测量范畴内,从绝对量来讲已经提出了纳米与亚纳米的测量要求;在时间测量上,分辨力要求达到飞秒级,相对精度为 10 的⁻¹⁴次方;在电量上则要求能够精确测出单个电子的电量;在航空航天领域,对飞行物速度和加速度的测量都要求达到 0.05% 的精度。

在测量速度方面,机床、涡轮机、交通工具等的运行速度都在不断加快。目前,涡轮机转子的转速已达每分钟十几万次,要完成涡轮机转子和定子间气隙的准确测量,采样速率要求达到飞秒级。国防、航天等高科技领域对测量速度的要求更高,飞行器在运行中要对其轨迹、姿态、加速度不断进行校正,要求在很短时间内迅速做出反应。进行火箭拦截时,反应不及时就会发生灾难,测量和反应速度更是起决定作用。在对爆炸和核反映过程的研究中,也常要求能反应微秒时段内的状态数据。

在科学技术的进步与社会发展过程中,不断出现新领域、新事物,需要人们去认识、探索和开拓,如开拓外层空间、探索微观世界、了解人类自身的奥秘等。为此所需要测试的领域越来越多,环境也越来越复杂,涉及天上、地下、水中和人体内部。有的测量条件越来越恶劣,如高温、高速、高湿、高尘、振动、密闭、遥测、高压、高电压、深水、强场、易爆等。所需测量的参数类别也越来越多。在有的要求实现联网测量,以便在跨地域情况下实现同步测量。有的则要求对多种参数实现同步测量,而同步的要求达微秒级。所有这一切都要求测量手段与方法具有更强的功能。

(2) 传感器向新型、微型、智能型发展

传感器材料是传感器技术的重要基础。近年来,随着材料科学与技术的飞速发展,各种性能优良的新型材料在传感器技术领域的应用日益广泛,如采用半导体硅材料研制的各种类型的硅微结构传感器,采用石英晶体材料研制的各种微小型化的高精密传感器,利用功能陶瓷材料研制的各种特殊功能的传感器。此外,一些化合物半导体材料、复合材料、薄膜材料、记忆合金材料等在传感器技术中也得到了成功的应用。所以,开发新型功能材料已成为发展传感器技术的关键之一。