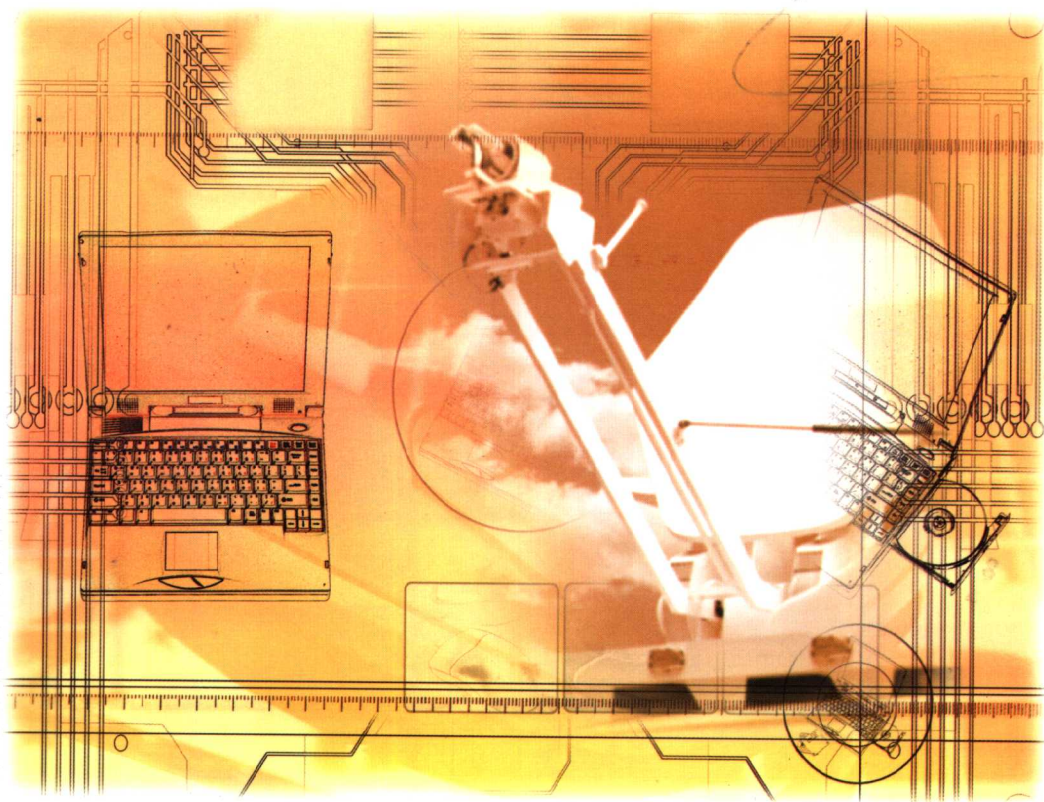




机械科学与工程研究生系列教材

现代机械测试技术

张优云 陈花玲 编著
张小栋 张西宁



 科学出版社
www.sciencep.com

机械科学与工程研究生系列教材
西安交通大学 2+4+X 教改教材

现代机械测试技术

张优云 陈花玲 张小栋 张西宁 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统论述了现代机械工程领域中各种常规工艺量,如力和压力、温度、转速与功率、流量与流速等,以及相关机械量,如位移或位置、振动和噪声等参数的测量技术;另外,本书还介绍了常见测试系统组建中所需要的技术理论知识,如模拟信号的获取与调理,数字信号的获取与处理,虚拟仪器、信号分析系统、测试系统的设置与调试,测量误差分析与处理等;最后本书介绍测试技术在设备状态监测与分析中以及在工业自动控制中的应用技术和案例。

本书可以作为机械工程类研究生、本科高年级学生的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代机械测试技术/张优云等编著. —北京:科学出版社, 2005

(机械科学与工程研究生系列教材·西安交通大学2+4+X教改教材)

ISBN 7-03-016213-7

I. 现… II. 张… III. 机械工程-测试技术-高等学校-教材

IV. TG806

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第100002号

责任编辑:段博原 资丽芳 于宏丽/责任校对:张 琪

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 华 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年8月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:1—3 000 字数:333 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

《现代机械测试技术》面向“机械工程”一级学科各专业，是包括机械设计及理论、机械制造及自动化、车辆工程以及机械电子工程等专业研究生和工程硕士研究生的教材，也对相关工程技术人员具有参考价值。它涉及现代机械工程领域中的非电量电测技术和试验技术，是教学、工业生产与科学研究必不可少的参考资料。

本教材主要有以下特点：

(1) 着眼于工程实用，首先重点讲述了现代机械工程领域中各种常规工艺量，如力和压力、温度、转速与功率、流量与流速等参数的测量技术，同时重点讲述了该领域常见机械量，如位移或位置、振动和噪声等参数的实用测量技术。

(2) 作为本学科领域研究生必备的教学内容，本教材着重系统地讲解了现代机械工程领域常见测试系统组建中所需要的技术理论知识，主要包括模拟信号的获取与调理、数字信号的获取与处理、虚拟仪器、信号分析、测试系统的设置与调试、测量误差分析与处理等相关的重要技术理论。本书深入浅出，并辅之于大量工程实例。

(3) 为了体现理论与实践相结合，本教材特意在最后添加了两章内容：一章是测试技术在设备状态监测与分析中的应用；另一章是测试技术在工业控制中的应用。试图通过大量实例进一步反映测试技术在现代机械工程领域中的重要应用，进而，作为一种重要技术理论和方法，指导研究生的工作实践。

全书共分 11 章，其中，第 1、7、8 和 10 章由西安交通大学张优云教授编写，第 2、11 章由西安交通大学张小栋副教授编写，第 3、4 和 6 章由西安交通大学张西宁副教授编写，第 5、9 章由西安交通大学陈花玲教授编写。全书统稿工作由张优云教授主持，4 位编写者共同协商完成。

本教材建议的教学学时数为 40~60 学时。其中第 1、4~9 章为研究生教学必讲内容，其他章节为教学选讲和自学内容。教师可根据课程的学时数或其他的具体情况选取其中的一部分章节内容讲授，并应辅相应的实验实践环节。

本书编者衷心地期望使用本教材的教师、研究生及相关工程技术人员在阅读本教材之后，能提出宝贵意见，共同为提高本教材的质量而努力。为此，我们将不胜感谢。

编 者
2005 年 6 月

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 测试技术的工程意义	1
1.2 现代机械测试的基本内容	2
1.2.1 信号拾取与变换	3
1.2.2 信号传输/记录	3
1.2.3 信号处理与显示	3
1.2.4 信号分析	5
1.3 测试方法的分类	5
1.4 测试系统的组成	6
1.5 测试技术的发展	7
1.5.1 传感器技术的发展	8
1.5.2 计算机测试技术的发展	9
1.5.3 微机全数字化测试分析——“微机卡泰”	12
1.6 本书的宗旨与内容安排	13
2 常规工艺量的测量	15
2.1 力和压力的测量技术	15
2.1.1 力传感器及其测量技术	15
2.1.2 压力传感器及其测量技术	16
2.2 温度测量技术	18
2.2.1 液体膨胀温度计	18
2.2.2 金属膨胀及双金属片	20
2.2.3 电阻	22
2.2.4 热电测温方法	25
2.2.5 热辐射	27
2.3 转速和功率测量	29
2.3.1 转速测量	29
2.3.2 功率测量	33
2.4 流体流动的测量	39
2.4.1 体积流量测量	40
2.4.2 质量流量测量	43
2.4.3 速度测量	44
2.4.4 节流装置	47

2.4.5 非扰动流测量装置	51
3 常见机械信号的测量	54
3.1 概述	54
3.2 位移测量	54
3.2.1 电位器式位移传感器	56
3.2.2 电阻应变式位移传感器	58
3.2.3 电容式位移传感器	59
3.2.4 电感式位移传感器	64
3.2.5 电涡流式位移传感器	67
3.2.6 感应同步器	68
3.2.7 光栅位移测量	71
3.2.8 光学轴编码器位移测量	74
3.3 电动式速度测量技术	76
3.4 压电加速度测量技术	78
3.5 噪声测量技术	80
3.5.1 噪声测量的物理量	81
3.5.2 噪声测量技术	82
3.5.3 噪声测量应用	86
4 模拟信号的获取与调理	88
4.1 模拟信号获取与调理的一般方法	88
4.2 信号的调制与解调	88
4.2.1 电桥	88
4.2.2 幅值调制和解调	90
4.2.3 频率调制和解调	93
4.3 信号的放大与滤波	95
4.3.1 信号放大	95
4.3.2 信号滤波	99
4.4 模拟信号的显示与记录	105
4.4.1 磁带记录仪的特点与结构	105
4.4.2 磁带记录仪的工作原理	106
4.4.3 磁带记录仪的记录方式	108
4.4.4 磁带记录技术的性能参数	110
4.4.5 显示记录装置的选择	112
5 数字信号的获取与处理	114
5.1 数字信号获取与处理系统简介	114
5.2 模拟信号的数字化	115
5.2.1 采样与量化	115
5.2.2 采样定理	118

5.2.3 频率混淆现象	118
5.3 数字信号的预处理	119
5.3.1 零均值化	119
5.3.2 奇异点(野点)剔除	120
5.3.3 消除趋势项	120
5.4 数字信号处理	122
5.4.1 信号的时域截断与泄漏	122
5.4.2 离散傅里叶变换及 FFT	125
5.4.3 细化 FFT	129
6 虚拟仪器	133
6.1 测试系统的发展	133
6.1.1 模拟测试仪器	133
6.1.2 计算机测试系统和智能仪器	134
6.1.3 虚拟仪器	136
6.2 虚拟仪器简介	137
6.2.1 测试功能的实现	138
6.2.2 与传统仪器比较	138
6.3 虚拟仪器组成与构建	140
6.3.1 虚拟仪器组成	140
6.3.2 虚拟仪器系统总线	142
6.3.3 虚拟仪器接口总线	143
6.3.4 数据采集功能部件	148
6.4 虚拟仪器软件系统	149
6.4.1 虚拟仪器软件体系	149
6.4.2 虚拟仪器开发平台	150
6.5 LabVIEW 虚拟仪器应用举例	153
7 信号分析	158
7.1 常用稳态信号分析方法	158
7.1.1 时域分析方法	158
7.1.2 频谱分析方法	161
7.1.3 倒谱分析方法	165
7.1.4 相关分析方法	167
7.1.5 相干分析方法	170
7.1.6 时序分析方法	170
7.2 常用的非稳态信号分析方法	172
7.2.1 非稳态信号的时频特性	172
7.2.2 时频分析基本原理及方法	175
7.2.3 三维瀑布图	176

7.2.4	波特图	176
7.2.5	奈奎斯特图	176
7.2.6	短时傅里叶分析	177
7.2.7	维格纳分布	178
7.2.8	小波分析	179
8	测试系统的设置与调试	184
8.1	测试方案的选择	184
8.1.1	测试系统的一般结构	184
8.1.2	测试方式	187
8.1.3	测试方案选择原则	189
8.2	测试中干扰的排除	190
8.2.1	干扰产生的原因	190
8.2.2	干扰传播途径	190
8.2.3	常用抗干扰技术	191
8.3	构建测试系统时应注意的问题	192
8.3.1	传感器的安装和测点布置	192
8.3.2	传感器与被测对象的接触和固定	193
8.3.3	固定件的结构、固定形式	193
8.3.4	传感器对被测构件附加质量的影响	194
8.3.5	传感器安装角度引起的误差	195
8.3.6	电源和信号线干扰的排除	195
8.3.7	接地	196
8.3.8	其他问题	197
8.4	测试系统的调试	197
8.4.1	各环节的单独调试	197
8.4.2	连接	198
8.4.3	统调	199
8.4.4	故障排除	199
8.5	测试系统的标定	200
8.5.1	静态标定	200
8.5.2	动态标定	201
9	测量误差分析	204
9.1	测量误差	204
9.1.1	真值与测量误差	204
9.1.2	测量误差分类	206
9.2	系统误差的发现与剔除	207
9.2.1	系统误差的发现准则	207
9.2.2	系统误差的消除	208
9.3	随机误差分析	211

9.3.1	随机误差的概率分布	213
9.3.2	测量数据数学期望与标准差的估计	215
9.4	粗大误差的判定与剔除	217
9.4.1	拉依达准则	217
9.4.2	格罗布斯准则	217
9.5	测量结果误差的估计	219
9.5.1	表征测量结果质量的指标	219
9.5.2	直接测量结果的表达及误差估计	219
9.5.3	间接测量结果的误差估计	221
9.6	误差分配与测量方案的选择	224
9.6.1	误差分配	224
9.6.2	测量方案的选择	225
10	测试技术在设备状态监测与分析中的应用	227
10.1	设备状态监测与分析的需求	227
10.1.1	工厂生产的安全性	228
10.1.2	降低维修费用	228
10.1.3	提高工厂的开工率	229
10.2	监测的基本参数	229
10.2.1	动态运动(振动)参数	229
10.2.2	静态参数(位置测量)	233
10.2.3	其他参数	235
10.3	监测的基本流程	236
10.4	常用的监测分析方法与监测系统的基本组成	238
10.4.1	常用的监测分析方法	238
10.4.2	监测系统的基本组成	239
10.5	监测与分析系统的选择	239
10.5.1	测点与探头的选择	240
10.5.2	二次仪表的选择	241
10.5.3	分析诊断系统的选择	241
10.6	测试技术在机械故障诊断中的应用实例	242
10.6.1	频谱分析方法在故障诊断中的应用	242
10.6.2	轴心轨迹在故障诊断中的应用	243
10.6.3	时序分析在故障诊断中的应用	247
11	测试技术在工业控制中的应用	250
11.1	生产线上的产品检验	250
11.1.1	控制任务	250
11.1.2	控制策略	251
11.1.3	传感器的选择	252

11.1.4	显示方式的选择	253
11.1.5	后续测控系统的设计	253
11.1.6	系统的效能分析	254
11.2	薄钢板生产中的厚度控制	254
11.2.1	控制任务	254
11.2.2	控制策略	255
11.2.3	传感器的选择	257
11.2.4	显示与记录方式的选择	257
11.2.5	后续测控系统的设计	258
11.2.6	系统的效能分析	259
11.3	化学加工配料技术	259
11.3.1	控制任务	259
11.3.2	控制策略	259
11.3.3	传感器的选择	260
11.3.4	显示方式的选择	262
11.3.5	后续测控系统的设计	262
11.3.6	系统的效能分析	263
参考文献		264

1 绪 论

测量、计量、测试是三个密切关联的技术术语。测量是以确定被测物属性量值为目的的全部操作；计量的内容包括了计量理论、计量技术与计量管理，并主要体现在计量单位与单位制、计量器具，包括复现计量单位的计量基准、标准器具以及普通（工作）计量器具、量值传递、溯源与检定测试、计量管理等；而测试则是具有试验性质的测量，或者可理解为测量和试验的综合。测试技术是指测试过程中所涉及的测试理论、测试方法、测试设备等。本课程主要是研究测试技术，但是，由于测试与测量紧密相关，在实际使用中往往并未将测试与测量严格区分。

1.1 测试技术的工程意义

人类所从事的社会生产和科学研究活动，几乎都与测试技术息息相关。

首先，测试是人类认识客观世界的手段之一，是科学研究的基本方法。科学探索离不开测试技术，用定量关系和数学语言来表达科学规律和理论也需要测试技术，验证科学理论和规律的正确性同样还是需要测试技术。实验研究历来是科学研究的重要手段之一，也是一种最基本的研究手段，而实验研究必然离不开对被研究对象特性参数的测量。科学研究离不开实验研究，即使是在计算机仿真技术盛行的今天仍不失其重要性。事实上，在科学技术领域内，许多新的发现与发明往往是以测试技术的发展为基础的。因而可以认为，精确的测试是科学研究的根基。

同时，测试也是工程技术领域中的一项重要技术。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。在生产活动中，新的工艺与设备的产生也依赖于测试技术的发展水平，而且可靠的测试技术对于生产过程自动化、设备的安全与经济运行都是不可或缺的先决条件。在广泛应用的自动控制技术中，测试装置已成为控制系统的重要组成部分，因而有人认为测试技术是信息技术的三大支柱（测试控制技术、计算机技术和通信技术）之一。此外，日常生活用具，如汽车、家用电器等也离不开测试技术。

在各种现代装备系统的制造与实际运行工作中，测试工作内容已占首位，测试系统的成本已达到装备系统总成本的 50%~70%，它是保证现代工程装备系统实际性能指标和正常工作的重要手段，是其先进性能及实用水平的重要标志。以电厂为例，为了实现安全高效供电，电厂除了实时监测电网电压、电流、功率

因数进而检测频率、谐波分量等电气量外，还要实时监测发电机组各部位的振动（幅值、速度、加速度）、压力、温度、流量及液位等多种非电量，并实时分析处理、判断决策、调节控制，以使系统处于最佳工作状态。如果测试系统不够完备，主汽温度测量值有+1%的偏差，则汽轮机高压缸效率要减少3.7%；若主汽流量测量值有-1%的测量偏差，则电站燃烧成本要增加1%。又如，为了对工件进行精密机械加工，需要在加工过程中对各种参数，如位移量、角度、圆度、孔径等直接相关量以及振动、温度、刀具磨损等间接相关量进行实时监测，并由计算机进行实时分析处理，然后由计算机对执行机构实时地给出进刀量、进刀速度等控制调节指令，才能达到预期的高质量要求，否则得到的将是次品或废品。据有关资料统计：大型发电机组需要3000只传感器及其配套监测仪表；大型石油化工设备需要600只传感器及其配套监测仪表；一个钢铁厂需要20 000只传感器及其配套监测仪器；一个电站需要5000只传感器及其配套监测仪器；一架飞机需要3600只传感器及其配套监测仪器；一辆汽车需要30~100只传感器及其配套监测仪器等。由此可见，测试技术在工程技术领域中占有非常重要的地位。随着机械设备日益向大容量、高参数方向发展，其自动化水平日益提高，机械工程中各重要参量的测点数量会越来越多，且测量准确性、可靠性的要求也越来越高。

总之，测试技术已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，并在其中发挥着越来越重要的作用，成为国民经济发展和科技进步的一项必不可少的重要基础技术，使用先进的测试技术已经成为经济高度发展和科技现代化的重要标志之一。根据被测对象、测试方法和测试参数的不同，测试的种类很多。因此，各行各业都有自己的测试任务与测试技术问题。

机械工业担负着装备国民经济各个部门的任务。在改革开放的过程中，机械工业面临着更新产品、革新生产技术、改善经营管理、提高产品质量、提高经济效益和参与国际市场竞争的挑战。机械工程测试技术将是机械工业对付上述挑战的基础技术之一。

1.2 现代机械测试的基本内容

现代机械测试的基本任务是从测量对象中获取反映其变化规律的动态信息，因而在下列实际问题中得到广泛应用：

- (1) 生产过程或设备运行状态的监测。
- (2) 生产过程或设备运行状态的自动控制。
- (3) 实验分析。

为了完成上述任务，现代机械测试应包含以下基本内容。

1.2.1 信号拾取与变换

“信号”是一个被广泛使用的名词，例如，无线电信号、电视信号、报警信号和交通信号等，这些信号都是信息的一种载体。信号被定义为一个随时间变化的物理量，如电磁波、声波和振动波等。为了便于处理，通常都使用有效传感器把这些真实世界的物理信号转换为电信号；同理，经过处理的电信号也可以使用传感器再转换为真实世界的物理信号。现实生活中最常见的传感器是话筒和扬声器。话筒将声压的变化转换为随声压变化的电压信号；扬声器则相反，它把电压信号转换为空气波动信号。

机械设备的各种状态和运转过程通常以其“二次效应”反映出来，典型的二次效应有噪声、振动、温度、压力、应变和磨损等。通过电测或光测手段可将这些物理量测取并记录下来，此类动态测试信号称为机械量测试信号，简称机械信号，它是对物理量变化过程的模拟。机械信号中蕴涵着反映机械设备状态与特征的有用信息，因此，它是人们认识机械设备内在规律、研究部件之间相互关系以及预报发展趋势的依据。

1.2.2 信号传输/记录

在机械量测试过程中，由传感器检测出的微弱信号经中间转换电路将信号放大处理后，还必须经有线（电缆）或无线装置传输到信号分析处理中心进行分析；或者用示波器或记录仪将信号显示或记录下来，以供测试人员直接观察和分析，或日后供给后续处理仪器对所测量信号作进一步的分析和处理。

1.2.3 信号处理与显示

信号处理可以理解为对信号的某种加工变换，其目的可以是削弱信号中的多余内容，滤除混杂在信号中的噪声和干扰；也可以是将信号变换成易于识别的形式，便于提取它的特征参数等。信号滤波是信号处理中最基本的一种处理。由于信号分析的过程通常也需要对信号进行加工变换，因此从这种意义出发，本书把信号分析与处理统称为信号处理，它包含信号分析理论与信号处理技术两方面内容。

测试信号中携带着人们所需要的有用信息，也常常含有大量人们不感兴趣的其他信息，后者常被称为干扰或噪声，它是在测试过程中不可避免地混入到测试系统的。从处理的过程来看，测试信号处理主要包括信号的获取、编排、检验、分类、标定、截断、存储、变换、加工（如滤波、调制、增强等）、分析、估计、再生、合成等内容。其目的是把信号改变成为在某种意义上更为希望的或易于识别的形式，以便估计信号的特征参量或削弱信号中的多余分量和增强信号中的有用分量，从中提取有用信息。可见，信号处理是包括信号分析在内的一个更大范

围的过程,同时,在信号的筛选、编辑等加工中,对信号本身的信息结构会有所改变或丢失,这是与信号分析不同的地方,因此,工程上常称信号分析为理论,信号处理为技术。

从处理的方式上看,信号处理方法分为模拟处理方法和数字处理方法两种。

1) 模拟信号处理系统

图 1-1 给出这类系统的原理框图,其中处理部分是靠模拟器件来实现的,系统的具体结构则取决于处理的目的。

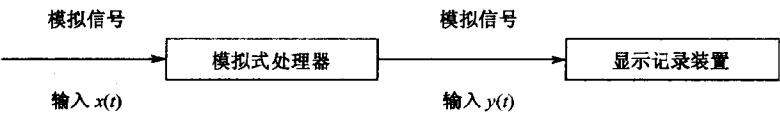


图 1-1 模拟信号处理系统

2) 数字信号处理系统

数字信号处理是先把测试中获取的模拟信号变成数字信号,然后用数字计算机进行处理。图 1-2 给出了这类处理系统的原理框图,各部分的具体功能将在以后各章详细讨论。

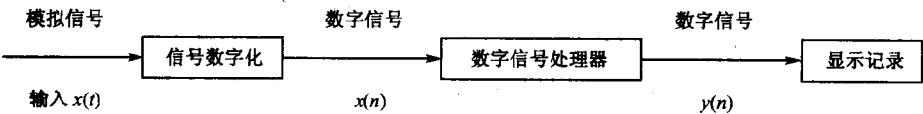


图 1-2 数字信号处理系统

信号的模拟处理方法是依靠模拟电路实现的,由于存在很多缺点,如精度低、速度慢、适应性差以及需要的辅助设备多等,故近年来已逐渐被以数字计算机为核心的数字处理方法所代替。与模拟处理方法相比,信号的数字处理方法有许多优点,如精度高、稳定性强及灵活性大等。

数字信号处理这门学科大致包括一维数字信号处理和多维数字信号处理两个方面。本书只限于一维数字信号处理的有关内容,多维数字信号处理较多地涉及图像处理的内容,需要在专门课程中学习。

按照信号随时间变化的性质,信号还可以分为确定性信号和随机性信号两大类。如果考虑噪声的影响,工程信号均属随机信号,因此,它的处理技术十分丰富。从人们对随机信号的认识过程看,工程信号处理可分为经典处理和现代处理两种方法。经典处理方法重点研究平稳各态历经,正态分布的随机信号,主要由统计分析、傅里叶变换、滤波技术等三部分构成;而现代处理方法重点研究非平稳、非线性、非正态分布的随机信号,主要由时序分析、时频分析、小波分析、

模糊分类及神经网络等五部分构成。

1.2.4 信号分析

信号分析的过程是将一复杂信号分解为若干简单信号分量之和，并从这些分量的组成情况去考察信号的特性。信号分析是信号传输与处理的基础，其最常见的基本方法是信号的频谱分析。

图 1-3 给出了测试过程的基本内容。

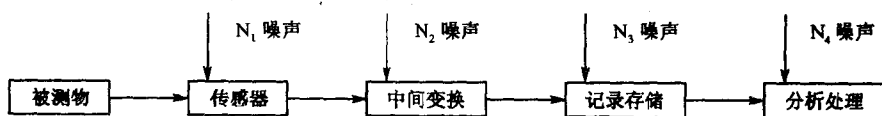


图 1-3 测试信号的获取、传输与分析处理过程

1.3 测试方法的分类

测试方法是指在实施测量中所涉及的理论运算方法和实际操作方法。测试方法可按多种原则分类。

1. 按是否直接测定被测量分类

按照获得测量参数结果的方法不同，通常可把测量方法分为直接测量法和间接测量法。

直接测量法是指被测量直接与测量单位进行比较，或者用预先标定好的测量仪器或测试设备进行测量，而不需要对所获取数值进行运算的测量方法。如用直尺测量长度，用水银温度计测温，用万用表测量电压、电流及电阻值等。

间接测量法是指被测量的数值不能直接由测试设备上获得，而是通过所测量到的数值同被测量间的某种函数关系经运算而获得被测值的测量方法。例如，对一台汽车发动机的输出功率进行测量时，总是先测出发动机转速 n 及输出扭矩 M ，再由关系式 $P = Mn$ 计算出其功率值来。

2. 按传感器是否与被测物接触分类

按照传感器是否与被测物体有机械接触的原则可以将测量方法分为接触测量法与非接触测量法。接触测量法往往比较简单，如测量振动时常用带磁铁座的加速度计直接放在所测位置进行测量；而非接触测量法可以避免传感器对被测量对象的机械作用及对其特性的影响，也可避免传感器受到磨损，如同样是测量振动，可采用非接触式的电涡流传感器测量振动位移，由于没有接触，传感器对试

件的特性不产生影响。

3. 按被测量是否随时间变化分类

有时会遇到“静态测量”和“动态测量”两个术语。其中“静态”和“动态”是指被测量值是否随时间而变化，而不是指被测物体是否处于机械静止或运动中。当被测量值可以认为是恒定的，这种测量被称为静态测量；而当被测量值是随时间变化的，这种测量被认为是动态测量。在进行静态测量和动态测量时，两者对测量装置特性的要求和测得数据的处理是有很大差别的，工作中必须密切注意。

1.4 测试系统的组成

在机械工程实际中，有两类测试系统，即状态检测问题中的测试系统以及自动控制问题中的测试系统。

状态检测问题中的测试系统将测量结果以人体感官可以感知的形式，如指针的偏转、数码管的显示等输出。操作者根据输出量的变化作出判断，或者停机检修，或者对生产过程或设备运行情况进行调整，使其运行处于预期的状态。

状态检测问题中的测试系统的基本组成可用图 1-4 表示。一般来说，测试系统包括传感器、信号的调理、信号的分析与处理以及信号的显示与记录。有时候测试工作所希望获取的信息并没有直接载于可检测的信号中，这时测试系统就需要选用合适的方式激励被测对象，使其产生既能充分表征其有关信息又便于检测的信息。

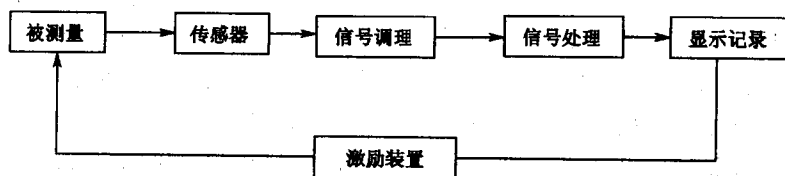


图 1-4 测试系统基本组成框图

在测试系统中，传感器的作用是：当传感器受被测量的直接作用后，能按一定规律将被测量转换成同种或别种量值输出，其输出通常是电信号。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。

传感器输出的电信号种类很多，输出功率又太小，一般不能将这种电信号直接输入到后续的信号处理电路或输出元件中去。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于进一步传输和处理的信号。这时的信号转换，在多数情况下是电信号之间的转换。从种类来看，将各种电信号转换为电压、电流、频率等少数几种便于测量的电信号，输出功率至少达到毫瓦级。如将幅值放大，将阻抗的变化转换成电压的变化等。

信号处理环节接受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 M 和 n 进行乘法运算可以得到此转轴传输的功率 $P = Mn$ ，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的结果，或将测量结果存储，供需要时使用。

图 1-4 是一个完整的工程测试系统，但在某些情况下，信号调理和信号处理电路可能被简化，在测量系统构成自动控制系统的一个组成单元时有可能显示、记录设备也被简化，只有传感器是必不可少的。

在上述所有这些环节中，为了保证测量结果的准确性，必须遵循的基本原则是各环节的输出量与输入量之间应保持一一对应和尽量不失真的关系，这种关系通常是线性关系，并且必须尽可能地减小或消除各种干扰。

自动控制问题中的测量系统是将其测量结果转化为控制计算机可以接收的信号，即模拟的或数字的电信号，输入控制计算机，由控制计算机作出判断，并通过执行机构，通常是伺服电力拖动系统，对生产过程或设备运行状态进行调节，使其运行于预期的状态。所以“状态检测”系统可以是开环的，而“自动控制”系统必须是闭环的，而且测量系统必须是此闭环系统的必要组成环节，如图 1-5 所示。

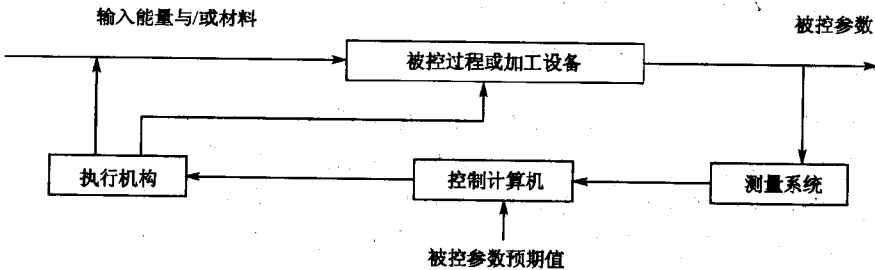


图 1-5 测量系统在自动控制系统结构中的位置

1.5 测试技术的发展

测试技术与科学研究、工程实践密切相关。测试技术的发展可促进科学技术