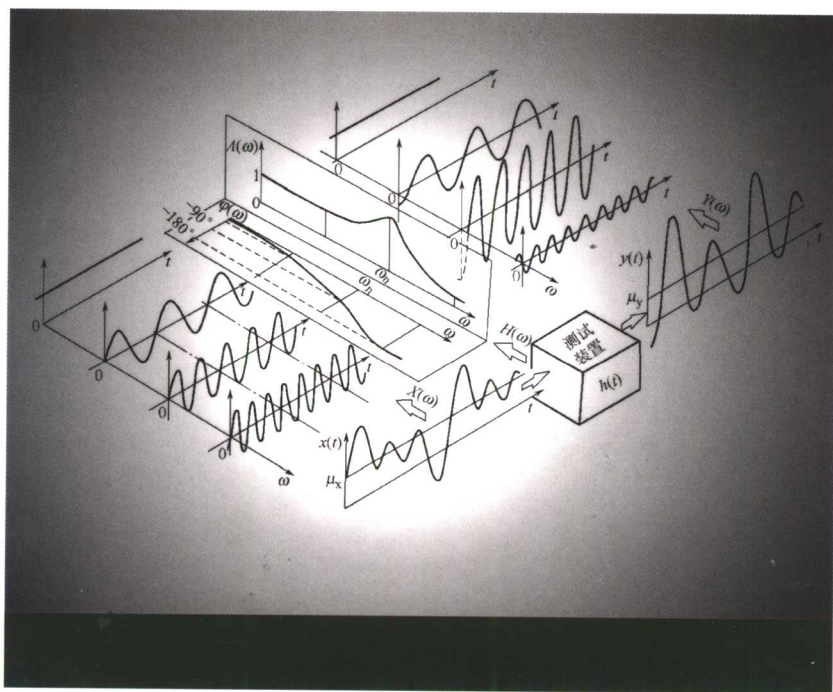


赵庆海 主编

测试技术与工程应用



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

测试技术与工程应用

赵庆海 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

测试技术与工程应用/赵庆海主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 4

ISBN 7-5025-6841-7

I. 测… II. 赵… III. 测试技术 IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 023471 号

测试技术与工程应用

赵庆海 主编

责任编辑: 周 红

文字编辑: 徐卿华

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 字数 450 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6841-7/TB·131

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书围绕着如何实现不失真测试介绍了测试技术所涉及的基础理论及在工程应用中如何组建测试系统的问题。全书分两大部分,共8章,第一部分由第1章至第7章组成,系统论述了测试技术的基本内容,包含对测试信号和系统的分析、传感器、信号的调理与记录仪器、计算机测试技术、测试结果及误差分析;第二部分由第8章组成,着重讲解了测试技术在工程应用中应注意的问题和常见工程量的测试方法。

本书可作为高等院校机械、仪器、自动化、印刷包装等专业测试技术课程的教材,也可作为从事工程测试技术人员的参考书。

前 言

该书围绕着如何实现不失真测试介绍了测试技术所涉及的基础理论,在此基础上结合作者近 20 年从事测试技术工作的经验,强调了在工程应用中如何组建测试系统的问题。

本书力求突出以下特色。

① 在测试技术的理论基础上,对被测对象的数学模型进行了详细描述。

② 在对测试系统的分析上,本书从静、动态特性的理论分析入手,给出了实现无失真测试的条件,强调了动态特性参数的实验获取方法 and 应用过程中的负载效应对测试精度的影响。

③ 在传感器一章,按照测试原理分类,分别介绍了电阻应变式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、磁电式传感器、光电式传感器、热电式传感器、气敏传感器、固态图像传感器、霍尔传感器、微型传感器,基本上满足了工程测试领域的需求。在此强调了工程应用中传感器的选用原则。

④ 在信号调理内容中较为全面地介绍了信号放大、调制与解调、滤波、电桥。

⑤ 现在的测试数据的记录方式大多采用计算机记录,本书介绍了与计算机测试系统相关的理论知识,重点介绍了自己组建计算机数据采集系统所需的 A/D、D/A 等知识。

⑥ 本书从实用角度出发简单介绍了误差分析的有关知识。

⑦ 在工程应用一章,作者通过一个温度测试系统的例子,详细分析了组建一个测试系统时如何应用测试技术的基本理论,在此基础上给出了组建测试系统时应当考虑的问题;在分析时顺便介绍了前面章节没有讲到的时间间隔的测试和 V/F 变换。最后对工程中常见的物理量的测试方法给出了介绍,在介绍中主要强调了思考问题的方法。

本书第 1、8 章由赵庆海编写,第 6、7 章由陈一军、赵庆海编写,第 4 章由肖继明、赵庆海编写,第 2 章由张景霞、赵庆海编写,第 3 章由徐宏伟、赵庆海编写,第 5 章由刘澎、赵庆海编写,全书由赵庆海统稿。

由于作者水平有限,不足之处请读者批评指正。

编 者

2005 年 2 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测试与测试技术	1
1.2 测试技术的重要性	2
1.3 测试系统的一般组成	3
1.4 测试技术的发展	4
第2章 信号分析	6
2.1 信号与测试系统	6
2.2 信号的分类	8
2.2.1 确定性信号和随机信号	8
2.2.2 能量信号和功率信号	10
2.2.3 连续信号和离散信号	10
2.3 信号描述方法	12
2.4 周期信号的频谱——傅里叶级数	13
2.5 周期信号的功率	21
2.6 非周期信号的频谱——傅里叶变换	23
2.6.1 傅里叶变换与连续频谱	23
2.6.2 能量谱	27
2.6.3 傅里叶变换的性质	28
2.6.4 典型信号的傅里叶变换	40
2.6.5 周期函数的频谱	44
2.7 随机信号	47
2.7.1 概述	47
2.7.2 随机信号的主要特征参数	49
2.7.3 相关分析	52
2.7.4 功率谱分析	58
2.7.5 相干函数	62
第3章 测试系统分析	64
3.1 概述	64
3.2 测试系统的静态特性及静态标定	65
3.2.1 静态标定	65
3.2.2 灵敏度	66
3.2.3 量程及测量范围	67
3.2.4 线性度	67
3.2.5 迟滞	67

3.2.6	重复性	68
3.2.7	准确度	68
3.2.8	分辨率	68
3.2.9	漂移	69
3.3	测试系统的动态特性	69
3.3.1	动态参数测试的特殊性	69
3.3.2	测试系统动态特性的分析方法及指标	70
3.3.3	测试系统的数学描述	70
3.3.4	测试系统的传递函数	72
3.3.5	频率响应函数	73
3.3.6	一阶系统、二阶系统的动态特性	75
3.3.7	测试系统对典型激励的响应	80
3.3.8	测试系统对任意输入的响应	86
3.3.9	信号通过系统的时频域响应	87
3.4	测试系统动态参数的测定	90
3.4.1	一阶系统动态参数的测定	90
3.4.2	二阶系统动态参数的测定	91
3.5	如何实现无失真测试	93
3.6	测试系统的负载效应	95
3.7	测试系统的抗干扰问题	97
3.7.1	测试装置的干扰源	97
3.7.2	供电系统干扰及其抗干扰	98
3.7.3	信道通道的干扰及其抗干扰	98
3.7.4	接地设计	99
第4章	传感器	100
4.1	概述	100
4.1.1	传感器与传感器技术	100
4.1.2	传感器与传感器技术的发展趋势	101
4.2	电阻应变式传感器	102
4.2.1	工作原理	102
4.2.2	金属电阻应变片	103
4.2.3	半导体应变片	103
4.2.4	传感器实例	104
4.3	电感式传感器	105
4.3.1	自感型传感器	105
4.3.2	互感型传感器	107
4.3.3	传感器实例	108
4.4	电容式传感器	109
4.4.1	工作原理与类型	109
4.4.2	测试用电路	112

4.4.3 传感器实例	112
4.5 压电式传感器	112
4.5.1 压电效应	112
4.5.2 压电材料	113
4.5.3 压电传感器的等效电路	113
4.5.4 测试电路	114
4.6 磁电式传感器	115
4.6.1 动圈式磁电传感器	115
4.6.2 磁阻式磁电传感器	116
4.6.3 传感器实例	116
4.7 光电式传感器	117
4.7.1 光电效应	117
4.7.2 光敏电阻	118
4.7.3 光电池	120
4.7.4 光敏晶体管	121
4.7.5 光电管	122
4.7.6 光电倍增管	124
4.8 热电式传感器	125
4.8.1 热电偶	125
4.8.2 热电阻	129
4.9 气敏传感器	132
4.10 固态图像传感器	134
4.11 霍尔传感器	136
4.11.1 作用原理	136
4.11.2 霍尔效应的应用	138
4.12 微型传感器	140
4.12.1 MEMS 技术与微型传感器	140
4.12.2 压阻式微型传感器	141
4.12.3 电容式微型传感器	142
4.12.4 电感式微型传感器	143
4.13 传感器的选用原则	143
第5章 信号调理及记录仪器	146
5.1 信号放大电路	146
5.1.1 运算放大器	146
5.1.2 实际运算放大器存在的问题	148
5.1.3 仪器放大器	150
5.2 调制与解调	151
5.2.1 幅值调制与解调	152
5.2.2 频率调制与解调	159
5.3 滤波	163

5.3.1	概述	163
5.3.2	滤波性能分析	164
5.3.3	一阶无源滤波器	166
5.3.4	有源滤波器	168
5.3.5	开关电容滤波器	170
5.4	电桥	171
5.4.1	直流电桥	171
5.4.2	交流电桥	173
5.5	显示与记录仪器	176
5.5.1	模拟显示	176
5.5.2	数字显示	177
5.5.3	磁记录	180
5.5.4	光盘式记录	183
第6章	计算机测试技术	185
6.1	概述	185
6.2	信号数字化	186
6.2.1	离散傅里叶变换	186
6.2.2	信号数字化出现的问题	187
6.3	D/A (数模) 与 A/D (模数) 转换	191
6.3.1	D/A 转换电路	191
6.3.2	典型 D/A 芯片和应用电路	194
6.3.3	A/D 转换电路	195
6.3.4	典型 A/D 芯片和应用电路	199
6.3.5	常用 A/D 通道、D/A 通道设计	201
6.4	计算机辅助测试	205
6.4.1	信号采集子系统	205
6.4.2	PC 机的 ADC 插卡	205
6.4.3	模拟输出与 DAC 插卡	206
6.4.4	微机型数据采集分析系统	206
6.5	专用微机化测试分析仪	206
6.5.1	专用微机化测试分析仪的特点	206
6.5.2	专用微机化仪表	206
6.5.3	基于 DSP 的专用数字信号分析仪	207
6.6	自动测试系统	207
6.6.1	自动测试系统的特点及形式	207
6.6.2	测试系统的主要通信接口	208
6.7	虚拟测试系统	212
6.7.1	概述	212
6.7.2	虚拟仪器的构成	213
6.7.3	虚拟测试系统的应用	218

第7章 测试结果及误差分析简介	219
7.1 实验数据的表示方法	219
7.1.1 表格法	219
7.1.2 图解法	219
7.1.3 经验公式	220
7.1.4 有效数字及数据修约	220
7.2 回归分析及其应用	220
7.2.1 一元线性回归	220
7.2.2 非线性回归	224
7.2.3 回归分析应用举例	224
7.3 误差的定义及分类	225
7.3.1 误差的概念	225
7.3.2 误差的分类	226
7.3.3 误差的表示方法	227
7.3.4 表征测试(量)结果质量的指标	227
7.4 不确定度评定的基本知识	228
7.4.1 有关不确定度的术语	228
7.4.2 产生测试(量)不确定度的原因和测试(量)模型	228
第8章 测试技术的工程应用	231
8.1 井温测试系统的例子	231
8.1.1 问题的提出	231
8.1.2 测试系统的建立与实现	231
8.1.3 实际测试时应考虑的问题	241
8.2 常用参量的测试	242
8.2.1 力与压力的测试	242
8.2.2 温度的测试	251
8.2.3 噪声的测试	253
8.2.4 振动的测试	258
8.2.5 流量的测试	266
8.2.6 位移和速度的测试	273
8.2.7 存储测试技术	278
参考文献	281

第 1 章 绪 论

1.1 测试与测试技术

测量是以确定被测物属性量值为目的的全部操作。测试是测量和试验的综合。

人类早就进行测试工作了，但是迄今还很难给测试规定一个明确的定义及工作范围。测试是为了获取有用的信息，而信息是以信号的形式表现出来的。根据一个研究对象如何估计它的模型结构，如何设计试验方法，以最大限度地突出所需要的信息，并以比较明显的信号形式表现出来，这无疑也是测试工作的一部分。由此可见，测试工作是一件非常复杂的工作，需要多种学科知识的综合运用。当然，根据所测任务的繁简和要求的不同，并不是每项测试工作都要经历相同的步骤。如用天平和砝码就可以称重，用一根尺子就可以量布，但测定自动武器自动机的运动或研究机床的动态特性所进行的测试应是相当复杂的。

测试技术是测量技术和试验技术的总称，依靠一定的科学技术手段定量地描述事物的状态变化和特征。

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（传输、加工和分析、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，面对着众多的测试对象和测试任务，被测的量千差万别、种类各异。但根据被测的物理量随时间变化的特性，可将它们总体地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，因此对这类物理量的测试称为静态测试或测量；相反，动态量是指随时间快速变化的物理量，对它们的测试相应地称为动态测试。

测试工作的基本任务是，通过测试手段，对研究对象中的有关信息量作出比较客观、准确的描述，使人们对其有一个恰当的全面的认识，并达到进一步改造和控制研究对象的目的。研究对象所包含的信息是相当丰富的，在实践中，人们总是根据要求测出所感兴趣的有限的信息，而不是全部信息。

信号是信息的载体，某些信息是可直接检测的，而有些信息是不容易直接检测的，需通过对其相关的信息进行加工处理才能获得。一般来说，测试工作总是采用最简捷的方法来获得与研究任务相联系的、最有用的、能表征研究对象特征的有关信息，而不能也不可企图获取该事物的全部信息。

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，亦即电信号。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。应该指出的是所谓“干扰”是相对的，在一种场

合中被认为是干扰信号，在另一种场合中却可能是有用信号。

本书从狭义的范围来讨论动态测试技术中的基础知识。本书主要研究对动态量的测试，亦即动态测试的理论、方法及工程应用。测试的例子比比皆是，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；飞机在飞行时依靠众多的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；轧钢过程中对轧制的带钢厚度及宽度尺寸的连续自动检测；旋转机械因轴承摩擦发热而造成的部件热变形的检测……需要指出的是，静态与动态测试是相对的，有时可以相互转化。在纸张生产中对纸张厚度的检查可采用厚度检验仪对生产线上的纸张作分段抽样检测，也可以采用传感器（涡流或光电式传感器）对纸张作连续检测，此时原本抽样检查的静态测量便变成了连续过程的动态测试。由于动态测量对纸张尺寸的检测是连续的，因此能更全面、有效地控制整个纸张的生产质量。当然，不能由此简单地评价静态测量与动态测试方法的优劣性，静态测量和动态测试是两种不同的方法，采用哪一种方法取决于被测对象的性质和对测试的要求。对每一种方法来说，相应地都有它自己的测试理论、测试手段和专门的仪器。测试的复杂程度完全取决于被测量本身的特征及测试所要达到的要求（精度、稳定性等）。

1.2 测试技术的重要性

人类在其自身的社会发展中创造并发展了测试技术，人类早期的测量活动涉及对长度（距离）、时间、面积和质量等量的测量。随着社会的进步和科学的发展，测量活动的范围不断扩大，测量的工具和手段不断精细和复杂化，从而也不断地丰富和完善了测量的理论。早在公元前 3000 年，古埃及人出于对工程和生产的需要便已建立了长度的统一标准——埃尔，他们将当时统治埃及的法老的肘关节到中指指尖的长度加上他手中一根棕榈枝长的总长度定义为“1 埃尔”，并将该长度标准用黑色花岗岩来实现而作为原始标准。埃及人在建造众多的寺庙和金字塔的浩大工程中正是使用了这一长度标准。秦始皇在统一六国后便立即建立了统一的度量衡制度，并对破坏这一制度的人给以严厉的惩罚。这些都说明了测量对促进当时生产发展和社会进步的重要性。

英国物理学家开尔文勋爵（William Thompson，温度单位 K 即以他的名字来命名）说过：“凡存在之物，必以一定的量存在”。他还说过：“我经常说，当你能测量你所谈及的事物并将它用数字表达时，你对它便是有所了解的；而当你不能测量它，不能将它用数字表达时，你的知识是贫瘠的且不能令人满意的”。开尔文勋爵的这两句话指出了测试技术的广博性，也指出了测试技术的内涵及科学性。

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。

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。特别是近代自动控制技术已越来越多地运用测试技术，测试装置已成为控制系统的重要组成部分。日常生活用具，如汽车、家用电器等方面也离不开测试技术。

总之，测试技术已渗透到人类活动的每个领域。从日常生活的三表（水表、电表、煤气表）、每日的天气预报、医院中的病人监护设施、汽车中的各种指示仪表，直至宇宙飞船的姿态控制装置、飞机的导航仪表等。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，使用先进的测试技术也就成为经济高度发展和科技现代化的重要标志之一。

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。测试技术将是机械工业对付上述挑战的基础技术之一。

1.3 测试系统的一般组成

一个测试系统大体上可用图 1-1 所示的原理框图来描述。

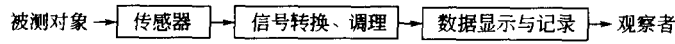


图 1-1 测试系统原理框图

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。如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，它将物体所受的力转换成弹簧的变形——位移量。又如在测量物体的温度变化时，可采用水银温度计作传感器，将热量或温度的变化转换为汞柱亦即位移的变化。同样可采用热敏电阻来测温，此时温度的变化便被转换为电参数——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，第一步是能够（有效地）从被测对象取得能用于测试的信息，因此传感器在整个测试系统中的作用十分重要。

信号转换与调理部分是对从传感器所输出的信号作进一步的加工和处理，包括对信号的转换放大、滤波、储存、重放和一些专门的信号处理。这是因为从传感器出来的信号往往除有用信号外还夹杂有各种有害的干扰和噪声，因此在作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，其中也包括信号的放大。通过信号的调理，最终希望获得便于传输、显示和记录以及可作进一步后续处理的信号。

显示和记录部分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。

图 1-1 所示的三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，它们同传感器、信号调理部分以及数据显示与记录部分一起构成了一个完整的测试系统。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也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主要问题。本书在下面的叙述中将始终围绕精确测试这一主题对各章节进行展开和讨论。

对于高等院校机械工程及相近专业的学生来说，“测试技术”是一门专业基础课。通过对本课程的学习，要求学生掌握有关测试技术的基本理论和技术，掌握对一个测试系统各部分的参数进行测试和分析的方法和手段，从而为进一步研究和处理工程测试技术问题打下基础。因此，本书讲述的重点主要有以下几方面

① 信号的理论。包括信号的时域和频域的描述方法，信号的频谱和谱分析的方法，信号的卷积与相关等。

② 测试系统的参数及其评价方法。包括测试系统传递特性的时域、频域描述，脉冲响应函数和频率响应函数，一阶、二阶系统的动态特性描述及其参数的测试方法以及不失真测试的条件。

③ 传感器理论。包括各类常用传感器的原理、结构及性能参数以及传感器的典型应用。

④ 信号转换与调理的原理和方法。包括电桥电路、信号的调制与解调、信号的滤波、信号的模/数和数/模转换，上述各种电路的原理及典型应用。

⑤ 常用显示与记录仪器的工作原理及结构，它们的动态性能及应用。

1.4 测试技术的发展

科学技术的飞速发展给测试技术注入了新的活力，现代电子技术，尤其是信息技术的发展更推动了测试技术的迅猛发展。同样，测试技术的发展又会促进新科技成果的不断发现和创新。两者之间是相辅相成的。大致来说，测试技术的发展方向有下列几个方面。

(1) 量程范围更加宽广 在火炮膛压测试技术中，对常规火炮膛压小于 600MPa 的测试，采用铜柱（或铜球）测压器或压电传感器均可满足要求。为提高火炮射程和射击精度，在高膛压火炮的研究中，膛压可达到 800~1000MPa，甚至 1000MPa 以上，并伴随着 $10^5 \times 9.8\text{m/s}^2$ 的高冲击加速度。这就促使膛压测试技术要有相应的发展，需要研制测压范围更宽的压力传感器及配套的压力动态标定装置。

(2) 传感器向新型、微型、智能型发展 传感器是信号的检测工具。精度高、灵敏度高且测量范围大及小型化是传感器发展的重要方向。新材料，特别是新型半导体材料的研制成功，促进了很多对于力、热、光、磁等物理量或气体化学成分敏感的器件的发展。光导纤维不仅可用来传输信号，而且可作为物性型传感器。由于微电子技术和 MEMS 技术的发展，使得很有可能把某些电路乃至微处理器和传感测量部分做成一体，即传感器具有放大、校正、判断和一定的信号处理功能，组成所谓的智能传感器（intelligent sensor/smart sensor）。

(3) 测试仪器向高精度和多功能方向发展 测试仪器及整个测试系统精度的提高，使得数据的可信度也相应提高。在产品研制过程中要进行大量试验，测试某些性能参数，然后对所测数据进行统计分析。在相同条件下要试验若干次，所测参数才具有一定的可信度。仪器精度的提高，可减少试验次数，从而减少试验经费，降低产品成本。在提高测试仪器精度的同时应扩大仪器的功能。计算机技术的发展使测试技术也产生了革命性的变化，在许多测试系统中，由于使用了计算机而使仪器的测量精度更高，功能更全。

(4) 参数测量与数据处理向自动化发展 一个产品的大型综合性试验,准备时间长,待测参数多,靠人工检查,耗费时间长;众多的数据依靠手工去处理,不仅精度低,处理周期也太长。现代测试技术的发展,使采用以计算机为核心的自动测试系统成为可能,该系统一般能实现自动校准、自动修正、故障诊断、信号调制、多路采集和自动分析处理,并能打印输出测试结果。并且出现了将微测试系统直接放入被测体内,直接测试被测体在工作过程中的各种主要参数变化,将数据存储起来,并通过计算机接口读出的存储测试技术,从而得到被测参数随时间变化的曲线。

第2章 信号分析

2.1 信号与测试系统

在第1章已介绍过，一个测试系统从大的方面来讲主要是由信号的传感部分、信号的转换与调理、信号的显示与记录三部分组成。测试系统的主要任务是用来获取和传递被测对象的各种参数（温度、压力、速度、位移、流量等）。为了使观察者能得到被测的各种参数，必须采用适当的转换设备将这些参数按一定的规律转换成相对应的信号，一般为电信号，再经合适的传递介质，如传输线、电缆、光缆、空间等将信号传递到观察者。图2-1所示为一个接收物体振动信号的测试系统结构框图，图中假设被测量为一物体的简谐振动，其振动的位移为 x ，频率为 f_x 。采用位移传感器将该振动信号转换为毫伏量级的电压信号。但同时该传感器也会受到邻近设备高频干扰信号的影响，该信号叠加到有用信号上。采用一个放大器将上述信号放大到一个足以方便计算机进行记录和处理的电平（图2-1中放大器的增益为100）。同时，为了去除不希望的干扰噪声信号，在放大之后设置了一级低通滤波。经过滤波后的信号再送给计算机进行记录或显示。

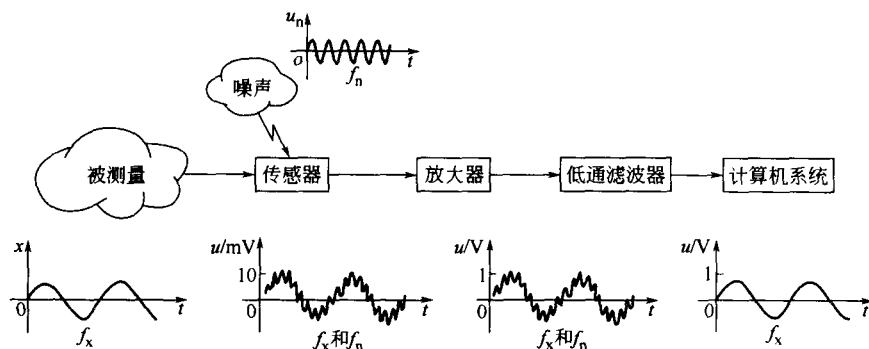


图 2-1 简谐振动信号测试系统框图

在上述测试系统中，放大器和低通滤波器组成了测试系统的信号转换与调理部分，而计算机组成了测试系统的显示与记录部分。对于不同的被测参量，测试系统的构成及作用原理可以不同。另外，根据测试任务的复杂程度，测试系统也可以有简单和复杂之分。一个较复杂的系统可以像图2-1所示的系统那样，包括数个功能部件；但有时候一个简单的测试系统可能仅包括传感器本身就行了。根据不同的作用原理，测试系统可以是机械的、电的和液压的等。尽管这些系统所处理的对象有所不同，但它们都可能具有相同的信号传递特性。实际中，在对待属性各异各类测试系统时常常略去系统具体的物理含义，而将其抽象为一个理想化的模型，目的是为了得到系统共性的规律。将系统中变化着的各种物理量，如力、位移、加速度、电压、电流、光强等称为信号，客观地研究信号作用于测试系统的变化规律，来揭示系统对信号的传递特性。

因此, 信号与系统是紧密相关的。信号按一定的规律作用于系统, 系统在输入信号的作用下, 对它进行“加工”, 并输出“加工”后的信号。通常将输入信号称为系统的激励, 而将输出信号称为系统的响应。信号的理论包括信号的分析、信号处理和信号综合。信号分析主要涉及信号的表示和性质。由于信号分析与测试系统的分析紧密相关, 因此本章将着重介绍信号与信号分析的基本概念, 在此基础上, 将在第3章展开对测试系统动态特性的分析讨论。

信号的历史可追溯到史前时代。19世纪30年代, 随着电报的发明 (Morse, Cooke, Wheatstone, 1830~1840年) 诞生了电信号。此后很快又发明了电话 (Bell, 1876年) 和无线电波发送技术 (Popover, Marconi, 1895~1896年)。20世纪初电子学的诞生 (Fleming, Lee de Forest, 1904~1907年) 使得人们能检测和放大微弱信号, 通常认为这是信号处理学说的真正起点。早在1822年, 傅里叶 (Fourier) 在研究热传播的过程中便已建立起他的傅里叶解析方法学。后人又将他的方法学应用到对电流波动的数学研究中, 做了大量基础性工作。19世纪30年代, 维纳和辛钦 (Wiener 和 Kitchener) 首次发表了有关将傅里叶解析方法应用于随机信号及现象分析方面的著作, 从而将信号的理论大大地向前推进了一步。第二次世界大战期间, 通信与雷达技术的发展进一步促进了信息和信号理论的发展。早在1920年前后, 奈奎斯特 (Nyquist) 和哈特利 (Hartley) 便已着手研究在电报线上所传输的信息量, 且已经观察到信号的最高传输率与所用的频带宽成正比。1948~1949年间, 仙农 (Shannon) 发表了有关通信的数学理论的基础性著作, 维纳发表了关于控制论以及对受噪声影响的信号或数据进行最优处理的著作, 其中主要考虑了所研究现象亦即信号的统计特征。20世纪30年代是信号理论发展较快的时代, 出现了一系列的有关著作。到了1948年出现了第一只晶体管, 几年之后又发明了集成电路, 从而使得实现复杂的信号处理系统成为可能, 同时也大大扩展了信号处理的应用范围。1965年由库利 (Cooley) 和图基 (Turkey) 提出了一种适合于计算机运算的离散傅里叶变换 (DFT) 的快速算法, 即后来被称为快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transform, FFT) 的算法, 使人们能用计算机来进行复杂的信号处理。快速傅里叶变换 (FFT) 的问世标志着数字信号处理这一学科的开始, 也大大促进了数字信号分析技术的发展, 同时也使科学分析的许多领域面貌一新。如今, 信号处理已经是个成熟的科研和应用领域。随着计算机技术的迅速发展, 信号理论与信号处理技术已经被广泛应用到机械、电子、医学、农业等几乎所有的科学领域, 成为科研和生产中一种不可缺少的工具和手段。

信号是信号本身在其传输的起点到终点的过程中所携带的信息的物理表现。

例如, 在研究一个质量-弹簧系统受到一个激励后的运动状况时, 便可以通过系统质量块的位移与时间关系来描述。反映质量块位移的时间变化过程的信号则包含了该系统的固有频率和阻尼比的信息。在讲到信号时不能不提及“噪声”的概念。噪声也是一种信号, 噪声的定义是: 任何干扰对信号的感知和解释的现象称为噪声。“噪声”一词本来源于声学, 意思也是指那些干扰对声音信号的感知和解释的声学效应。

信噪比是用来对信号被噪声所污染的程度的一种度量。信噪比 ξ 表达为信号功率 P_s 与噪声功率 P_n 之比, 即

$$\xi = \frac{P_s}{P_n} \quad (2-1)$$

通常将信噪比用分贝 (dB) 来表示, 即