

新世纪 GAOXIAO GUIHUA JIAOCAO
新世纪 高校机械工程规划教材



机械工程测试技术

主 编 刘培基 王安敏
副主编 王淑君 沈建坤



43

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



新世纪高校机械工程规划教材

机械工程测试技术

主 编 刘培基 王安敏
副主编 王淑君 沈建坤
参 编 贺松林 刘艳香 蒋 炜
主 审 赵永瑞



机械工业出版社

本书是根据教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”精神编写的新世纪高校机械工程及自动化专业规划教材。

全书共分十二章，前六章主要介绍测试技术的基础理论和基本知识，内容包括：概论、信号分析、测试系统的基本特性、常用传感器原理及应用、信号变换及测量电路、测试信号处理等。后六章以工程应用为主，介绍工程实用测试技术，阐述了工程中典型参数（位移、振动、应变、力、扭矩、温度、压力、流量等）的测试方法及数字滤波、计算机测试系统的组成和设计、虚拟仪器等。反映了测试技术向自动化、智能化发展的新趋势以及计算机在测试技术中的应用，并帮助学生学会运用所学测试技术知识设计或构成现代的测试系统。考虑到机械类宽口径专业的教学要求，后六章在内容编排上便于根据不同专业方向及学时数进行取舍。

本书注意拓宽基础知识面，加强工程背景以及培养学生的创新能力和工程实践能力，反映测试技术领域的新发展、新知识。在内容的叙述方面，力求简洁。本书是机械工程及自动化专业本科教材，也可供相近专业使用以及作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术/刘培基, 王安敏主编. —北京: 机械工业出版社, 2003.1

新世纪高校机械工程规划教材

ISBN 7-111-11357-8

I. 机... II. ①刘...②王... III. 机械工程—测试—技术—高等学校—教材 IV. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 100439 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划: 高文龙 王世刚

责任编辑: 高文龙 版式设计: 张世琴 责任校对: 韩 晶

封面设计: 姚 毅 责任印制: 路 琳

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·8.125 印张·316 千字

0 001—4 000 册

定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、8837 9646

封面无防伪标均为盗版

新世纪高校机械工程规划教材 编审委员会

顾 问	艾兴（院士）				
领导小组	张 慧	高振东	梁景凯	高文龙	
	赵永瑞	赵玉刚			
委 员	张 慧	张进生	宋世军	沈敏德	赵永瑞
	程居山	赵玉刚	齐明侠	高振东	王守城
	姜培刚	梅 宁	昃向博	梁景凯	方世杰
	高文龙	王世刚	尚书旗	姜军生	刘镇昌

前 言

本书是根据教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”精神编写的新世纪高校机械工程规划教材。

“机械工程测试技术”课程是“机械工程及自动化”宽口径专业本科生的一门专业基础课。它主要介绍机械工程领域中的非电量电测技术，侧重于动态信号测试。

本书前六章为测试技术的基础理论和基本知识，主要内容包括：

1. 测量误差的概念、信号分析、数字信号处理、测试系统的基本特性等。

对于这部分内容数学推理是不可避免的，但尽量避免纯数学推导，重点阐述有关数学内容的物理意义。数字信号处理主要从实用的角度给予简要介绍。

2. 测试信号的获取和调理技术。

主要介绍常用传感器的原理和信号测量电路。注意介绍新型半导体传感器、固体图像传感器和智能传感器等。

本书后六章以工程应用为主，主要介绍工程实用测试技术，这部分内容可根据不同专业方向和学时数进行选讲，主要内容有：

1. 主要机械量测试技术：包括位移、应变、力、扭矩、振动、温度、压力和流量等的测试方法以及测试系统的设计。

2. 计算机自动测试技术：介绍数字滤波、计算机测试系统的组成和设计、虚拟仪器等，试图反映测试技术向自动化、智能化发展的新趋势以及计算机在测试技术中的应用和发展，并帮助学生学会运用所学测试技术知识设计或构成现代的测试系统。

本教材以前行课程为基础来展开本课程内容的讨论，尽量避免与前行课程和相近课程的重复。在教材内容的选取上，本书注意拓宽基础知识面，加强工程背景以及培养学生的创新能力和工程实践能力，既有经典的基本理论，又注意介绍测试技术的新发展和新知识。在教材内容的叙述方面，力求简洁。本课程有很强的实践性，应注意开设相应的实验课。

本书中，青岛大学刘培基编写了第一、第四、第五、第十、第十一章、第二章第四节、第十二章第四节，青岛科技大学王安敏编写了第七章和第十二章第一、二、三、五节，山东理工大学王淑君编写了第二章第一、二、三节和第三章、第六章，青岛建筑工程学院沈建坤编写了第八章和第九章，青岛大学贺松林、青岛科技大学刘艳香和山东理工大学蒋炜参加了部分章节的编写。全书由刘

培基和王安敏负责统稿和修改。

本书由山东科技大学赵永瑞教授担任主审，赵永瑞教授全面、认真、细致地审读了全书，提出了许多宝贵意见，在此表示深切谢意。

在编写过程中，编者参阅了大量文献，从中受益匪浅，特向有关作者致谢。

由于编者的水平有限，加之时间仓促，书中一定会有错误及不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

2002年12月

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 测试的意义	1
第二节 测试方法和测试系统的组成	2
第三节 测试技术的发展	4
第四节 测量误差的概念	6
第二章 信号描述及其分析	8
第一节 信号及分类	8
第二节 周期信号与离散频谱	10
第三节 傅里叶变换及非周期信号的频谱	16
第四节 数字信号处理	26
习题与思考题	30
第三章 测试系统的基本特性	31
第一节 测试装置与线性系统	31
第二节 测试系统的静态特性	33
第三节 测试系统的动态特性	37
第四节 实现不失真测试的条件	51
习题与思考题	52
第四章 常用传感器原理及应用	54
第一节 电阻应变式传感器	54
第二节 电感式传感器	58
第三节 电容式传感器	62
第四节 压电式传感器	64
第五节 磁敏传感器	68
第六节 光电式传感器	71
第七节 集成传感器	75
习题与思考题	76
第五章 信号的变换与处理	77
第一节 信号的放大	77
第二节 电桥	79
第三节 滤波器	83
第四节 调制与解调	89

习题与思考题	94
第六章 随机信号分析	95
第一节 幅值域分析	95
第二节 相关分析	97
第三节 功率谱分析	104
习题与思考题	107
第七章 机械位移测量	108
第一节 电位器式位移测量传感器	109
第二节 电阻应变式位移传感器	115
第三节 电感式位移传感器	116
第四节 电涡流式位移传感器	124
第五节 电容式位移传感器	127
第六节 光栅位移测量系统	134
第七节 磁栅式位移测量系统	138
第八节 感应同步器系统	140
第九节 光纤位移测量系统	147
第十节 轴角编码器	148
第十一节 其他位移传感器	151
习题与思考题	154
第八章 振动的测量	155
第一节 概述	155
第二节 测振传感器	156
第三节 机械振动测试系统	165
习题与思考题	172
第九章 应变、力和扭矩的测量	173
第一节 应变的测量	173
第二节 力的测量	181
第三节 扭矩的测量	187
习题与思考题	196
第十章 温度测量	197
第一节 概述	197
第二节 热电偶	198
第三节 热电阻	202
第四节 其他温度传感器	204
习题与思考题	204
第十一章 压力和流量的测量	205
第一节 压力的测量	205
第二节 流量的测量	209

习题与思考题	213
第十二章 计算机控制测试系统	214
第一节 数据采集系统概述	215
第二节 数据采集系统的设计	221
第三节 典型的数据采集系统	229
第四节 虚拟仪器	242
第五节 干扰及抑制方法	245
习题与思考题	249
附录 镍铬—镍硅热电偶热电势分度表	250
参考文献	252

第一章 概 论

21 世纪的到来，世界开始进入信息时代。测试技术属于信息科学范畴，是信息技术三大支柱（测试控制技术、计算机技术和通信技术）之一。测量、计量和测试是三个含义相近的术语。测量（Measurement）是指以确定被测对象量值为目的的操作过程。实现单位统一和量值准确的测量一般称为计量。而测试（Measurement and Test）是带有试验性质的测量或者说是测量和试验的综合。测试和检测一般也看作同义语。

第一节 测试的意义

测试是人们认识客观世界的手段之一，是科学研究的基本方法。人类早期在从事生产活动时，就已经对长度、面积、重量和时间进行测量。我国早在商朝就已出现了象牙尺，到秦朝已统一了度量衡。伽利略不满足古代思想家对宇宙进行哲理性的定性描述，主张根据观测和试验对自然界的现象和运动规律进行定量的描述。他开创了试验科学，从而开创了近代意义的自然科学。从某种意义上讲，没有测量就没有科学。

人们在生产实践和科学研究中，不断地探索和揭示客观世界的规律性。其方法一般有两种：一是理论分析的方法，二是实验测量的方法。用理论分析得出的结果，除了一些纯数学问题外，往往要靠实验研究去定量地验证其正确性和可靠程度。还有许多理论分析是建立在大量观测或实验得出的数据基础上的。特别是在工程设计和生产技术的研究所涉及的对象往往十分复杂，有些问题还难以进行完整的理论分析和计算，例如研究机械在动载荷下构件的受力情况，了解机械结构的固有频率、阻尼、振型等动态特性，确定结构的疲劳寿命等目前仍然离不开测试的方法。例如，航空和宇航技术中的风洞实验就涉及大量的机械量的检测。即使一般的机械设计也需要依靠工程试验得出的试验数据和某些经验公式来进行。如对工程结构或机械零件进行最基本的强度计算，就依赖于材料性能的试验数据。

在闭环自动控制中，检测被控对象状态参数的环节是必不可少的，没有工艺流程数据的测试和采集，就无法实现自动化生产，而且测试水平的高低直接影响到控制水平的优劣。

对设备正常运行时的某些参数如振动、噪声等进行在线监测，可以监视设备

的运行状况，消除故障隐患，保证设备的安全与经济运行。这对于一些大型、复杂、自动化程度高的重要设备，如飞机、核反应堆、大型发电机组尤其重要。

此外，在产品开发、质量控制、生产管理等方面都离不开测试技术。

总之，测试技术已经广泛应用于科学研究、工农业生产、国防军事、医疗卫生、环境保护和日常生活等各个方面。使用先进的测试技术是经济高度发达和科技现代化的重要标志之一。

第二节 测试方法和测试系统的组成

测量过程是把被测量与同性质的标准量进行比较，从而获得被测量是标准量的若干倍的数量概念。例如，测量某物体的质量，可以通过天平，使被测物与砝码（与被测物同性质的标准量）进行比较。但在大多数场合下，无法将被测量直接与同性质的标准量进行比较，需要进行某种变换。比如，测量环境温度，无法用标准温度进行比较，而是根据物体热胀冷缩的原理，将被测温度变换为水银柱的长度，将标准温度变换为温度计的刻度，通过水银柱的长度与刻度进行比较，获得被测温度值。因此，变换往往是实现测量的必要手段，通常使用传感器来实现这种变换。

传感器是将被测量按一定规律转换成便于应用的某种物理量的装置。能够利用传感器进行转换的被测量很多，如各种物理量、化学量、生物量等。常见的机械量也就是机械参数有以下几类：力学参数，包括拉力、荷重、压力、应力、扭矩等；运动参数，包括位移、速度、加速度等；振动参数，包括各类振动的特征参数、系统的振型及动态响应特性。工程中其他有关的物理量有温度、湿度、流体的流量等。

传感器的输出有机械量、光学量和电量等。传统的机械式仪表往往将力、压力和温度等变换为弹性元件本身的弹性变形，这种变形经机械机构放大、传递后成为仪表指针的偏转或移动，借助刻度盘指示出被测量的大小。这类仪表由于结构简单、使用方便、价格低廉、读数直观，目前应用仍然相当广泛。可是，这种机械式仪表必须在现场观测，而且由于机械机构的惯性大，一般只能用于检测静态量或缓慢变化的被测量，不能满足生产和科学技术发展的需要。因此，在现代测试系统中，愈来愈多的利用传感器把被测非电量变换为电量，然后进行测量，称为非电量电测法。由于电量更便于传输、转换、处理和显示，非电量电测法获得了广泛地应用。

非电量电测法有以下优点：

- 1) 能连续测量，自动记录，便于通过反馈去自动控制和调整生产过程。
- 2) 通过电量放大器很容易将被测量放大很多倍，可测极其微小的量。

- 3) 既可测静态量也可测动态量，而且可测瞬态量。
- 4) 可以有线或无线实现远距离遥测。
- 5) 可利用计算机进行自动测试以及分析和处理测试数据。

非电量电测系统按照信息流的过程来划分，一般可分为信息的获得、转换、处理和显示记录等几部分，其组成见图 1-1。

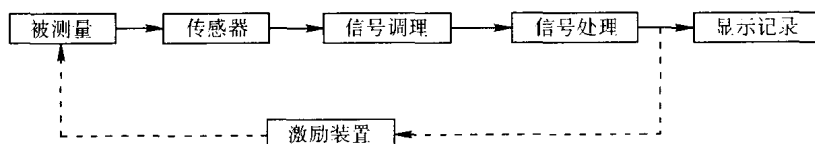


图 1-1 测试系统组成框图

传感器直接作用于被测量，作为信息探测、感知和捕获的器件是测试系统的首要环节和关键部件。如果没有传感器获取准确可靠的信息，一切精确的测量和控制都无法实现，传感器的优劣对测量系统的功能起着决定性的作用。

传感器将非电量转换为电量时，往往输出一些电路参数，如电阻、电感、电容等，需要将这些电路参数转换为便于测量的电压、电流或频率等。采用的转换电路的类型往往与传感器的工作原理有关，主要有电桥、调制与解调、电荷放大器等电路。除此以外，信号通常还需要进行必要的放大、阻抗变换、滤波、A/D 或 D/A 转换等处理，一般将这部分电路与转换电路统称为传感器的测量电路，也称为信号调理电路。

人类用眼、耳等感觉器官接受信息，彼此之间通过语言、文字和图像等来交流信息。通常信息是通过一定形式的信号来传递的，如声、光、电等物理信号。信号是信息的载体，信息总是蕴涵在某些信号之中。测试的基本任务是获取被测对象的有关信息，而传感器输出的是某种形式的信号，往往需要对这些信号进行分析和处理，从信号中提取所需信息。信号的分析 and 处理可用专用的信号分析仪和信号处理设备进行，而目前已经主要由计算机来完成。

显示记录环节是将被测量的量值或信号的波形以及分析的结果显示、存储起来。显示记录仪器主要有指针式仪表、数显仪表、电子示波器、笔式记录仪、磁带记录仪、数字式记录器等。在计算机上插上 A/D 转换卡，利用计算机的内存和外设，如磁盘、显示器、打印机、绘图仪等就能实现显示记录的功能，而且使得信号处理非常方便。计算机加 A/D 转换卡已成为目前最广泛使用的显示记录手段之一。

某些被测对象处于静止状态时，无法产生载有所需信息的信号。这时，要选用合适的方式激励被测对象。例如测试结构的动态特性时，采用激振器使其产生振动，然后用传感器检测振动信号，再对振动信号进行分析和处理，得到结构的

动态特性参数。

环节之间还存在着传输问题，远距离的传输包括有线、无线和因特网传输。

在所有这些环节中，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，并尽可能地减小或消除各种干扰。

上述组成测试系统的各个部分除传感器是必需的以外，其他的某些部分可能根据情况被简化。例如，某些传感器的输出信号较大，可不需要放大器，直接进行显示；某些控制系统的传感器的输出信号只用于反馈控制，不需显示记录。

随着计算机技术的飞速发展，计算机已经广泛应用于测量和控制，使测试系统发生了巨大的变化。许多传统的仪器硬件已被具有信号调理与处理功能的扩展电路模板和计算机所取代，而计算机软件的作用越来越大。因此，现代测试技术既要求测试人员掌握测试技术的基本理论和方法，又要求掌握计算机应用技术。测试技术是一种综合性技术，对新技术特别敏感。要做好测试工作，需要综合运用多种学科的知识，注意新技术的运用。

第三节 测试技术的发展

现代测试技术的发展和与其他科学技术的发展相辅相成。测试技术既是促进科技发展的重要技术，又是科学技术发展的结果。现代科技的发展不断地向测试技术提出新的要求，推动测试技术的进步。与此同时，测试技术迅速吸收和综合各个科技领域（如物理学、化学、材料科学、微电子学、计算机科学和加工工艺学等）的新成就，开发出新的方法和装置。

近年来测试技术引人瞩目的发展是传感器技术和计算机测试技术的发展。

一、传感器技术的发展

1. 物性型传感器大量涌现

物性型传感器是依靠敏感材料本身的某种性质随被测量的变化来实现信号的转换的。因此这类传感器的开发实质上是新材料的开发。目前发展最迅速的新材料是半导体、金属氧化物陶瓷、光导纤维、导电聚合物、磁性材料，以及所谓的“智能材料”（如形状记忆合金、具有自增殖功能的生物体材料）等。这些材料的开发，不仅使可测量迅速增多，使力、热、光、磁、湿度、气体、离子等方面的一些参量的测量成为现实，也使集成化、小型化、高性能传感器的出现成为可能。

2. 微型化、智能化、多功能化传感器的开发

微型传感器是利用集成电路技术、微机械加工与封装技术制成的体积非常微小的传感器，其尺寸可小到微米数量级。微型传感器具有体积小、重量轻、响应快、灵敏度高以及成本低等优点。

智能传感器是由传感器和微处理器相结合而构成的。它充分利用计算机的计算和存储能力，对传感器的数据进行处理，并能对它的内部工作进行调节。随着科学技术的发展，智能传感器的功能将不断增强。它将利用神经网络和人工智能技术以及模糊理论等信息处理技术，使传感器具有更高级的智能，例如具有分析、判断、自适应、自学习的功能，可以完成图像识别、特征检测和多维检测等复杂任务。

多功能传感器由两种以上功能不相同的敏感元件组成，可以用来同时测量多种参数。例如将热敏元件和湿敏元件配置在一起，制成一种新的传感器，能够同时测量温度和湿度。

这类传感器一般都属于集成化传感器，而且同一传感器可以既是多功能化的也是智能化的，或者既是微型化的也是多功能化的。

3. 新型传感器的开发

随着科学技术的飞速发展，用于信号探测的传感器正面临许多新的问题和新的需求。在这种情况下，象光纤传感器、固体图像传感器、红外传感器、化学传感器和生物传感器等新型传感器不断出现和发展。近年来，在工农业生产、环境检测、医疗卫生和日常生活等领域，气体传感器、湿度传感器和离子传感器等化学传感器的应用日益广泛。化学传感器把化学量转换成为电量。大部分化学传感器是在被测气体或溶液分子与敏感元件接触或被其吸附之后产生相应的电流和电位。目前一些商品化的智能化学传感器已经出现。象人工嗅觉传感系统的典型产品“电子鼻”(Electronic Nose)，具有识别气味的能力。

二、计算机测试技术的发展

由于计算机对信号采集和处理具有速度快、信息量大和存储方便等传统测试方法不可比拟的优点，因此随着计算机技术的飞跃发展和微机的大规模普及，以计算机为中心的自动测试系统得到迅速发展与应用。

虚拟仪器技术是当今计算机测试领域的一项重要的高新技术。虚拟仪器是在通用计算机平台上，用户根据自己的需求定义和设计仪器的测试功能，通过图形界面（通常称为虚拟前面板）进行操作的新一代仪器。其实质是将仪器硬件和计算机充分结合起来，以实现并扩展传统仪器的功能。它是一种基于图形开发、调试和运行程序的集成化环境。

虚拟仪器是对传统仪器概念的重大突破。它利用计算机系统的强大功能，结合相应的仪器硬件，采用模块式结构，大大突破了传统仪器在数据处理、显示、传送、存储等方面的限制，使用户可以方便地对其进行维护、扩展和升级。由于虚拟仪器技术以通用计算机为平台，具有方便、灵活的互联能力，使人们可以通过 Internet 来操作仪器设备，进而形成遍布各处的分布式测控网络，同时实现了系统的资源共享，降低了成本。虚拟仪器系统经过十余年的发展，已经显示出极

大的灵活性和强大的生命力，成为测控系统发展的必然方向。

第四节 测量误差的概念

一、测量误差

测量过程中，由于测量装置存在缺陷、测量方法不够完善、环境中存在各种干扰因素以及测量者本身技术水平的限制等原因，必然使测得值与真实值之间存在一定的差值，这个差值称为测量误差。测量产生误差是不可避免的，任何测得值都只能近似地反映被测量的真实值，只有当测量误差已经知道或者已经指明测量误差的可能范围，测量结果才是有意义的。

1. 真值

表示误差的大小要用到真值的概念。真值即真实值，是指在一定条件下，被测量客观存在的实际值。真值通常是未知的，一般所说的真值是指理论真值、约定真值和相对真值。

(1) 理论真值 如平面三角形的内角和恒为 180° 。

(2) 约定真值 国际上公认的某些基准量值。例如，1982年国际计量大会通过的米的定义为“米是光在真空中在 $1/299792458\text{s}$ 时间间隔内所行进的路程。”这个米基准就当作计量长度的规定真值。

(3) 相对真值 在实际测量中常把高一精确度等级的计量仪器的测量值作为低一等级仪器测量值的真值。

2. 误差的表示方法

在实际测量过程中，测量误差的表示方法有多种，常用的有绝对误差、相对误差和引用误差。

(1) 绝对误差 绝对误差是指测得值与被测量真值之差，即

$$\Delta = x - x_0$$

式中 Δ ——绝对误差；

x ——测得值；

x_0 ——被测量真值。

对于不同的被测量，用绝对误差往往很难评定其测量结果的优劣，通常使用相对误差来评定。

(2) 相对误差 相对误差 δ 是被测量的绝对误差与其真值之比，一般用百分数表示，即

$$\delta = \frac{\Delta}{x_0}$$

相对误差可用来比较两种测量结果的精确程度，但不能用来衡量不同仪表的

质量。因为同一台仪表在整个测量范围内的相对误差不是定值，随着被测量的减小，相对误差增大。因此，在工程应用中，确定仪表精确等级常用引用误差来表示。

(3) 引用误差 是指仪表示值的最大绝对误差与仪表的测量上限值或量程之比。我国规定电工仪表精确度等级有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七级。0.1 级即表示引用误差是 0.1%，其他类推。由于通常仪表的误差是用引用误差表示，因此不宜选用大量程仪表来测量较小的量值，否则会使测量误差增大，一般应尽量避免让仪表在小于 $1/3$ 量程范围内工作。

3. 误差的分类

按照误差的性质，可分为以下三类：

(1) 系统误差 误差的大小及符号在测量过程中不变或按一定的规律变化，称为系统误差。系统误差可通过实验的方法，找出并予以消除，或加修正值对测量结果进行修正。

(2) 随机误差 在实际测量条件下，多次测量同一量值时，误差的大小和符号没有一定规律，以不可预知的方式变化着，这类误差称为随机误差。它是由许多偶然因素所引起的综合结果。它即不能用实验的方法消除，也不能修正。就每次测量结果而言，随机误差的出现是没有规律的，而在多次重复测量时，其总体服从统计规律，可以从理论上来估计随机误差对测量结果的影响。

(3) 粗大误差 明显超出规定条件下可能出现的误差称为粗大误差，也称疏失误差。粗大误差一般是由于测量者粗心大意或操作失误造成的人为差错。例如读错示值、记录或运算错误等。粗大误差一经发现，必须从测量数据中剔除。

第二章 信号描述及其分析

进行工程测试时，通过传感器获得被测对象的信号。这些信号往往是一些随时间变化的波形，其中蕴含着反映被测对象的状态或属性的有用信息。但在一般情况下，仅通过对信号波形的直接观察，很难获取所需要的信息，需要对信号进行必要的分析和处理。信号分析和信号处理并没有明确的界限，通常把研究信号的构成和特征称为信号分析，把信号经过必要的变换以获得所需信息的过程称为信号处理。信号分析和处理的基本方法是将信号抽象为变量之间的函数关系，特别是时间函数或空间函数，从数学上加以分析研究。信号的频谱分析，是最重要的信号分析技术之一。本章主要讲述信号的分类、信号的描述和信号分析等方面的有关知识。

第一节 信号及分类

信号有各种形式，可以从不同的角度对其进行分类。

一、确定性信号

能用确定的数学关系式描述的信号称为确定性信号。确定性信号可分为周期信号和非周期信号。

1. 周期信号

周期信号是按一定时间间隔周期出现、无始无终的信号。其表达式为

$$x(t) = x(t + nT) \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (2-1)$$

式中 T ——周期。

例如，应用十分广泛的正弦信号，其表达式为

$$x(t) = x_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2-2)$$

式中 x_0 ——幅值；

ω_0 ——角频率；

φ_0 ——初始相位角。

其周期 T 、频率 f 、角频率 ω_0 之间的关系为

$$T = 2\pi/\omega_0, \quad f = 1/T$$

幅值、频率和相位，三者唯一地确定了正弦信号的形式。余弦信号与正弦信号只是相位相差 $\pi/2$ ，也可称为正弦信号。

正弦信号的曲线见图 2-1。