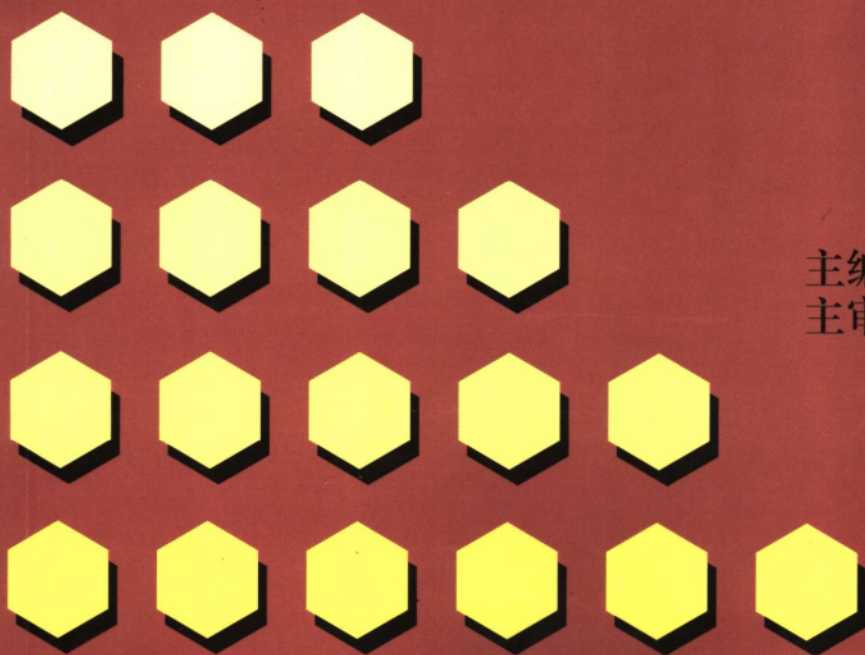
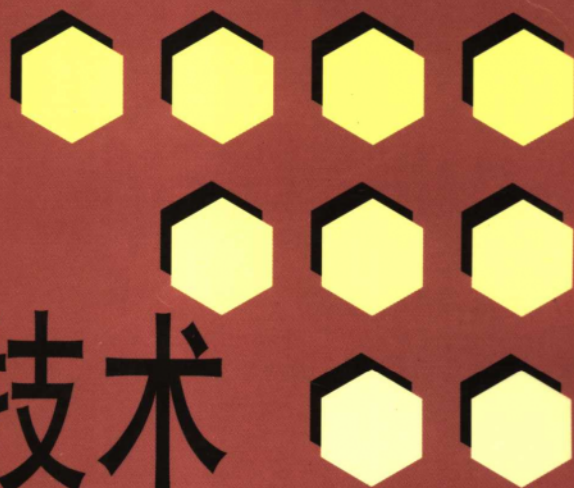


普通高等教育包装统编教材

# 包装测试技术



主编：山静民  
主审：张轲



印刷工业出版社

责任编辑: 张佑如

封面设计: 黎 英

ISBN 7-80000-286-1



9 787800 002861 >

ISBN 7-80000-286-1

TS · 183 定价: 22.00 元

普通高等教育包装统编教材

# 包装测试技术

主 编	山静民		
副主编	吴功平	张丽芳	
主 审	张 轲		
编 著	山静民	吴功平	张丽芳
	刘 乘	华克勤	李蓓蓓

印刷工业出版社

## 内 容 提 要

本书共七章。内容包括包装测试技术概述,测试信号分析,测试系统特性、常用传感器及显示记录仪器介绍,以及典型物理量的测试、包装容器及材料的测试、运输包装件的性能测试。为了方便读者学习和工作,附录中列出了中国包装国家标准目录(测试部分)。

本书内容丰富、概念清楚、体系完整、实用性强,可作为普通高校(或成人教育、函授教育)包装工程及相关专业的教材,也可供从事包装、食品、轻工、外贸、商业等方面工作的工程技术人员和管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

包装测试技术/山静民主编. -北京:印刷工业出版社,1999.6  
普通高等教育包装统编教材  
ISBN 7-80000-286-1

I. 包… II. 山… III. 包装技术:测试技术 IV. TB487

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 40526 号

印刷工业出版社出版发行

(北京复外翠微路 2 号 邮编 100036)

河北省高碑店市鑫宏源印刷厂印刷

各地新华书店经售

787×1092 毫米 1/16 印张:9.75 字数:250 千字

1999 年 6 月第一版 2004 年 2 月第二次印刷

印数:5001—8000 册 定价:22.00 元

## 全国包装教材编审委员会

主 任	何玉明		
副主任	苏鹏福	宋尔涛	戴宏民
秘书长	刘玉生		
委 员	许林成	潘松年	刘喜生
	杨仲林	宋宝峰	王余良
	孙蓉芳	孙凤兰	金银河
	赖植滨	金国斌	王德忠
	王瑞栋	黄 健	刘晓玫

## 全国普通高校包装工程专业统编教材

包装材料学 .....	刘喜生主编
运输包装 .....	彭国勋主编
包装工艺学 .....	潘松年主编
包装机械概论 .....	孙凤兰主编
包装机械设计 .....	许林成主编
包装自动控制原理及过程自动化 .....	宋尔涛主编
包装计算机辅助设计 .....	王德忠主编
包装测试技术 .....	山静民主编
包装容器结构设计与制造 .....	宋宝峰主编
包装造型与装潢设计基础 .....	肖禾主编
包装印刷 .....	金银河主编
包装管理 .....	戴宏民主编
包装专业英语 .....	陈为旭主编

# 前 言

在改革开放的浪潮中，伴随着我国包装工业而崛起的包装教育，近几年成果累累。首先是我国的包装工程专业自1984年第一次以试办专业的身份列入我国本科专业目录后，经过全国17所高等学校8年的试办，1993年被国家教委批准摘掉了试办的“帽子”，正式列入本科专业目录，使包装专业在我国高等教育中占据了一席之地。其次是在我国形成的多层次、多形式相结合的包装教育体系中，中国包装技术协会和中国包装总公司创办的我国第一所以包装专业为核心的包装高等学校——株洲工学院，近几年围绕包装办学，已由单一的包装工程专业逐步发展成印刷技术、包装设计、装饰艺术设计、包装机械与自动控制等多个专业和方向。与此同时，全国已有近30所高等院校先后设置了包装工程本科专业，80多所学校开办了与包装相关的专业，几乎覆盖了包装的所有行业。包装研究和为包装服务的领域更全面、更广泛、更深入，这批院校已成为我国包装教育的主要基地。第三是由中国包装协会和中国包装总公司于1984年组织全国36位包装专家和学者编写的我国第一套13种全国包装专业高等教材已于1989年正式出版，并被全国40多所院校所选用，从而开创了我国包装教材编写的先河，填补了我国包装教材的“空白”，对促进我国包装教育起了极大的推动作用。

但是随着我国包装工业和包装教育的发展，第一套教材无论在内容和课程体系上已经不适应当前的发展形势，于是经过请示及各高校协商，包装教育委员会决定成立第二届全国包装教材编审委员会，并在第一套全国包装教材的基础上，组织全国19所高等院校和研究院所的80多位专家、教授编写我国第二套全国包装专业高等教材。这套教材包括：《包装材料学》、《包装管理》、《包装自动控制原理及过程自动化》、《包装容器结构设计与制造》、《包装工艺学》、《包装造型与装潢设计基础》、《包装机械概论》、《包装印刷》、《包装机械设计》、《包装测试技术》、《包装计算机辅助设计》、《运输包装》、《包装专业英语》等13种。由于这套教材是在总结第一套全国包装专业高等教材教学经验的基础上编写的，因此内容衔接和课程体系及学时的安排更加合理，教材更加切合我国包装工业的实际，我相信这套教材的出版会为我国包装教育的发展奠定新的基础。

包装教育事业是大家的事業，需要我們大家來努力，而且明天的包裝取決於我們今天的包裝教育。因此我殷切地希望全國包裝界的有識之士都來關心和支持我國的包裝教育，同時推動我國包裝高層次人才的培養，儘快發展我國包裝專業碩士生的培養，使我國包裝儘快跨入世界的先進行列。

邱純甫

一九九六年八月於北京



# 目 录

<b>第一章 绪 论</b> .....	( 1 )
<b>第一节 包装测试概述</b> .....	( 1 )
一、测试与包装测试 .....	( 1 )
二、包装测试工作的地位 .....	( 1 )
三、包装测试系统的组成 .....	( 1 )
<b>第二节 包装测试课程的主要内容和基本要求</b> .....	( 2 )
<b>第二章 测试信号分析</b> .....	( 3 )
<b>第一节 信号的分类及其描述</b> .....	( 3 )
一、信号的分类 .....	( 3 )
二、信号的描述 .....	( 4 )
<b>第二节 信号的时域分析</b> .....	( 4 )
一、时域统计分析 .....	( 4 )
二、时域相关分析 .....	( 7 )
<b>第三节 信号的频域分析</b> .....	( 11 )
一、周期信号的频谱 .....	( 11 )
二、非周期信号的频谱 .....	( 14 )
三、随机信号的功率谱 .....	( 21 )
<b>第四节 数字信号处理</b> .....	( 23 )
一、概 述 .....	( 23 )
二、采样定理 .....	( 23 )
三、离散傅立叶变换(DFT)与快速傅立叶变换(FFT) .....	( 25 )
四、时域截断——加窗处理 .....	( 26 )
五、功率谱密度 .....	( 26 )
<b>第三章 测试系统的特性</b> .....	( 31 )
<b>第一节 概 述</b> .....	( 31 )
<b>第二节 测试装置的静态特性</b> .....	( 31 )
一、灵敏度 .....	( 32 )
二、非线性度 .....	( 32 )
三、漂 移 .....	( 32 )
四、回程误差 .....	( 33 )
<b>第三节 测试装置动态特性的描述</b> .....	( 33 )
一、单位脉冲响应函数 .....	( 33 )
二、阶跃响应函数 .....	( 33 )
三、频率响应函数 .....	( 34 )

四、传递函数 .....	(35)
<b>第四节 获取测试装置动态特性的算法</b> .....	(35)
一、一阶系统 .....	(35)
二、二阶系统 .....	(37)
三、高阶系统 .....	(38)
四、环节的串联和并联 .....	(39)
<b>第五节 获取测试装置动态特性的试验法</b> .....	(40)
一、阶跃响应法 .....	(40)
二、频率响应法 .....	(42)
三、动态特性测定的统计法 .....	(42)
<b>第六节 不失真测试的条件</b> .....	(43)
<b>第四章 常用传感器及显示记录仪器</b> .....	(45)
<b>第一节 传感器的分类和性能要求</b> .....	(45)
一、传感器的分类 .....	(45)
二、传感器应具有的性能 .....	(46)
<b>第二节 电阻式传感器</b> .....	(46)
一、变阻器式传感器 .....	(47)
二、电阻应变式传感器 .....	(48)
<b>第三节 电容式传感器</b> .....	(49)
一、变极距型 .....	(49)
二、面积变化型 .....	(50)
三、变介质型 .....	(51)
<b>第四节 电感式传感器</b> .....	(51)
一、电涡流式传感器 .....	(51)
二、差动变压器 .....	(52)
<b>第五节 压电传感器</b> .....	(52)
<b>第六节 半导体传感器</b> .....	(54)
一、霍尔效应传感器 .....	(54)
二、半导体气敏传感器 .....	(55)
三、半导体光敏器件 .....	(57)
<b>第七节 显示与记录装置</b> .....	(59)
一、阴极射线示波器 .....	(59)
二、笔式记录仪 .....	(60)
三、光线示波器 .....	(61)
四、磁带记录仪 .....	(61)
<b>第五章 典型物理量的测试</b> .....	(66)
<b>第一节 温度测试</b> .....	(66)
一、温度计的种类和选定 .....	(67)
二、热电偶温度计 .....	(67)
三、金属电阻温度计 .....	(70)

四、热敏电阻温度计 .....	(71)
第二节 湿度测试 .....	(73)
一、湿度和露点 .....	(73)
二、湿度计的种类和选用 .....	(73)
三、干湿球湿度计 .....	(74)
四、电阻式湿度计 .....	(75)
第三节 重量测试 .....	(78)
一、应变片重量传感器的原理和结构 .....	(78)
二、电子秤的测量电路 .....	(80)
三、皮带电子秤 .....	(81)
四、定量电子秤 .....	(81)
第四节 压力测试 .....	(82)
一、概 述 .....	(82)
二、压力计用弹性元件 .....	(83)
三、压力传感器 .....	(84)
四、真空度测试 .....	(87)
五、压力计的选择 .....	(88)
第五节 冲击振动测试 .....	(88)
一、冲击振动测试的目的 .....	(88)
二、冲击振动测试系统的组成 .....	(88)
三、冲击振动激励及装置 .....	(89)
四、压电加速度传感器的使用 .....	(89)
五、前置放大器的使用 .....	(91)
六、冲击振动分析仪器 .....	(92)
<b>第六章 包装容器及材料的测试</b> .....	(93)
第一节 纸包装容器测试 .....	(93)
一、纸包装容器测试项目 .....	(93)
二、纸和纸板试样的采取和温湿度调节处理 .....	(94)
三、瓦楞纸板测试 .....	(95)
四、箱纸板、瓦楞原纸性能的测试 .....	(97)
第二节 玻璃容器的检验方法 .....	(100)
一、一般包装用玻璃容器理化性能检验方法 .....	(100)
二、药用玻璃容器的检验 .....	(103)
第三节 塑料容器及材料的测试 .....	(106)
一、测试项目 .....	(106)
二、塑料的温湿度调节处理和试验的标准环境 .....	(108)
三、塑料薄膜及薄膜制袋的测试 .....	(108)
四、塑料容器的物理性能测试 .....	(111)
五、塑料材料及容器的卫生性检验 .....	(113)
第四节 金属包装容器的测试 .....	(114)

第五节 缓冲材料性能的测试	(115)
一、缓冲性能的动力压缩试验	(115)
二、静态压缩试验	(117)
三、蠕变性能测试	(117)
<b>第七章 运输包装件的性能测试</b>	(119)
第一节 运输包装件试验的温、湿度调节处理	(120)
一、温、湿度调节处理条件	(120)
二、试验方法	(121)
第二节 运输包装件的静态试验	(121)
一、堆码试验方法	(121)
二、压力试验方法	(122)
第三节 运输包装件的动态试验	(123)
一、跌落试验	(123)
二、水平冲击试验	(124)
三、振动试验	(126)
四、六角滚筒试验	(129)
五、滚动与倾翻试验	(130)
第四节 喷淋试验	(131)
第五节 大型运输包装件性能的模拟试验	(132)
一、跌落试验	(133)
二、堆码试验	(133)
三、起吊试验	(135)
四、铁路运输试验	(135)
第六节 运输包装件性能试验大纲的编制	(136)
一、性能试验大纲的分类	(136)
二、试验大纲的编制程序	(136)
<b>附录 中国包装国家标准目录</b>	(139)
<b>后 记</b>	(145)
<b>参考文献</b>	(146)

# 第一章 绪 论

## 第一节 包装测试概述

### 一、测试与包装测试

测试是测量和试验的总称。在工程中,测量是指用仪器仪表测定各种物理量的工作,例如用温度计测定温度等。试验是指为了考察某物的性能而从事的某种活动。所以,凡需要考察事物的状态变化和特征,并要对它进行定量描述时都离不开测试工作。

测试工作的实质是从测试对象中获取必要的信息。这里所说的信息是指被测对象的客观存在状态或运动状态的特征。信息总要通过某些变化着的物理量表现出来,这就是信号,信息包含于信号之中。例如,单自由度系统的固有频率和阻尼比是人们感兴趣的信息,它们包含于质量块的振动位移时间信号中,测量质量块的位移,从对测量数据的分析中,就可以得到系统的固有频率和阻尼比。

包装测试则是指包装物、包装件和包装工艺过程中的测试。包装物测试是指包装材料和包装容器等的测试。包装件的测试是指为了满足流通环境的要求而对包装件进行的性能测试和模拟试验。

### 二、包装测试工作的地位

包装工程技术人员的基本任务有两个,一是包装结构设计、包装工艺规程设计、包装工艺装备设计;二是要保证包装工艺过程的正常运行,对设备或系统进行调试和维护保养。这两项任务都需要把测试作为手段,以提供重要而必需的数据资料。

另外,包装测试是包装工艺过程自动控制的基础。所谓控制是指要保证实际工况与要求工况处于预定的差异范围之内,而系统的控制部分必须能分辨差异的大小和方向并做出有效的反应。例如,在啤酒厂,必须连续地监测工艺过程中的压力、温度、流量等,测试结果通常要显示记录下来,并用来对流程进行控制。这时,测试工作就成为包装工艺过程的重要组成部分。

### 三、包装测试系统的组成

包装测试系统一般由试验激发装置、传感器、中间变换装置、数据处理装置和显示记录装置组成(见图 1-1)。

试验激发装置的作用是对被测对象进行激励,以使被测物理量显现出来。例如,把包装件固定于振动台上,振动台对包装件进行激励,产品的振动位移或振动加速度就显现出来了。

传感器的作用是感受被测物理量并把它转换成与之相对应的,容易检测、传输或处理的量值形式(通常为电量)如力传感器、温度传感器等。

中间变换装置的作用是对信号进行某种变换和加工。如放大、滤波、调制解调、阻抗变换等。

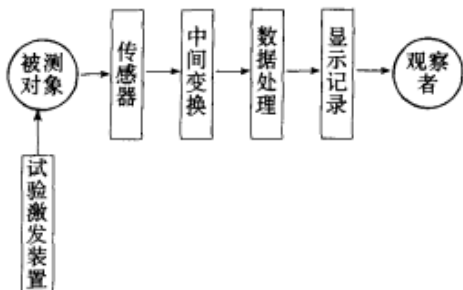


图 1-1 测试系统框图

数据处理装置的作用是对测试结果进行必要的处理。如误差分析、曲线描绘、信息提取等。数据处理装置有计算机、频谱分析仪等。

显示记录装置的作用是显示或记录信号。如示波器、笔式记录仪等。

## 第二节 包装测试课程的主要内容和基本要求

包装测试工作的内容十分广泛,根据包装工程技术人员从事的工作大致可分为:包装机械测试;包装工艺过程中的测试;流通环境的测试;包装材料及包装容器的测试;运输包装件的测试;包装印刷测试等等。当然还可以按别的方法对包装测试工作进行分类。如军品的包装测试和民品的包装测试,物理量测试、化学量测试、生物量测试等。

要在包装测试技术课程中全部涵盖这些内容是很困难的。包装测试技术课程首先要使学生掌握测试技术的基础理论和基本方法。通过这部分内容的学习,使学生基本掌握测试装置的静态特性和动态特性,正确选择和使用测试装置,各种常用物理量的测试方法和数据处理的有关知识,特别是频谱分析的基础知识。一方面为学生学习后一部分内容打下良好基础,同时也为以后从事各种包装测试工作奠定基础。

作为一般测试技术的应用和延伸,本课程的后一部分介绍常用的各类包装容器、包装材料以及运输包装件的测试方法。

近年来,由于包装工作者的努力,我国在包装标准化方面有了长足的进展。本教材的附录把包装国家标准进行了分类整理,为学生以后查阅有关标准提供了方便。

通过本课程的学习,学生应达到下述基本要求:

1. 掌握周期信号和非周期信号的频谱概念,了解随机信号的相关分析和谱估计的理论,了解数字信号处理的方法。
2. 掌握测试装置静态特性和动态特性的描述方法,动态特性的计算法和试验测定法,根据测试装置的特性正确选择测试装置。
3. 了解各类传感器的工作原理和性能,了解常用显示记录仪器的原理和使用方法。
4. 了解各种典型物理量的测试方法。
5. 了解各种包装容器、材料及运输包装件的测试方法。
6. 对包装国家标准的全貌和常用的典型标准有所了解。

## 第二章 测试信号分析

在包装测试中,所检测的量绝大部分是非电量。某个非电量经传感器转换为电量后,再经变换电路转换为与之相应的电流信号或电压信号。这个电流信号或电压信号就是测试信号。在实际测试工作中,由于测试装置本身的原因,或者是在检测被测量的同时混入了其它的输入源,测试信号中既包含了被测量的信息,同时也包含了各种干扰噪声。测试信号分析就是要研究测试信号的构成和特征值,研究如何从测试信号中提取反映被测量的有用信息。

### 第一节 信号的分类及其描述

#### 一、信号的分类

信号可以分为确定性信号和非确定性信号两大类。

**1. 确定性信号。**可以用明确的数学关系式描述的信号称为确定性信号。它可以进一步分为周期性信号、非周期性信号与准周期性信号。

周期性信号是每间隔一定的时间重复出现的信号。它满足数学关系式

$$x(t) = x(t + nT) \quad (2-1)$$

式中  $T$ ——周期,  $T = 2\pi/\omega_0$ ;

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ;

$\omega_0$ ——基频。

例如,振动台的正弦振动,信号发生器输出的周期方波、周期锯齿波等均属于周期性信号。

非周期性信号往往具有瞬变性。例如,跌落冲击力、起吊时钢丝绳的拉力变化等均属于瞬变的非周期信号。

准周期信号是由有限个周期信号合成的,但各周期信号的频率之间不满足公倍关系。因此,合成的信号不满足周期信号的条件。例如,不同独立震源所激起的系统响应,这种响应信号有时是准周期信号。

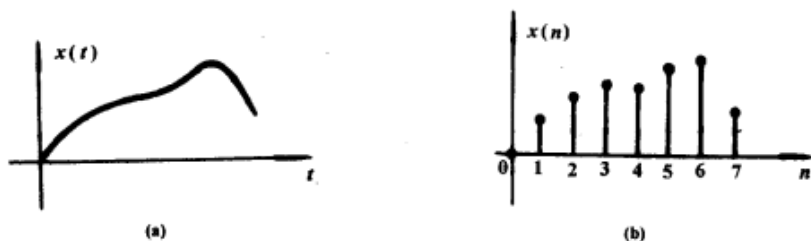


图 2-1 连续信号与离散信号

(a)连续信号

(b)离散信号

2. 非确定性信号。非确定性信号也称为随机信号。它不能用确定的数学关系描述,也无法预知未来时刻的值。它所描述的物理现象是一种随机过程。例如,飞机在大气中的浮动,汽车在路面上行驶时所产生的震动,环境噪声等。随机信号又可分为平稳随机信号和非平稳随机信号。而工程测试中的信号往往满足平稳的条件,按平稳随机过程进行处理。

此外,还可按信号独立变量的性质分为连续(模拟)信号和离散信号。如图 2-1(a)中的  $x(t)$  是连续的曲线,而图 2-1(b)中仅当  $n=0,1,2,\dots$  处给出了离散值  $x(n)$ ,  $x(n)$  也表示离散序列。

## 二、信号的描述

通常以时间  $t$  为独立变量来描述信号幅值的变化,称为信号的时域描述。

有时为了研究信号的频率结构,需要描述信号中各频率成分的幅值、相位与频率的关系,称为信号的频域描述。

换言之,时域描述以时间  $t$  为横坐标,频域描述则以频率  $f$  或  $\omega$  为横坐标。

值得指出的是,无论是时域描述还是频域描述,均是从不同的侧面对同一信号进行描述,不同的描述域之间有确定的对应关系。例如,周期方波可以看成是一系列不同频率的正弦波叠加而成的。图 2-2(a)表示了时域和频域对同一信号的描述以及二者之间的关系;图 2-2(b)表示了一、三、五次谐波所合成的信号。

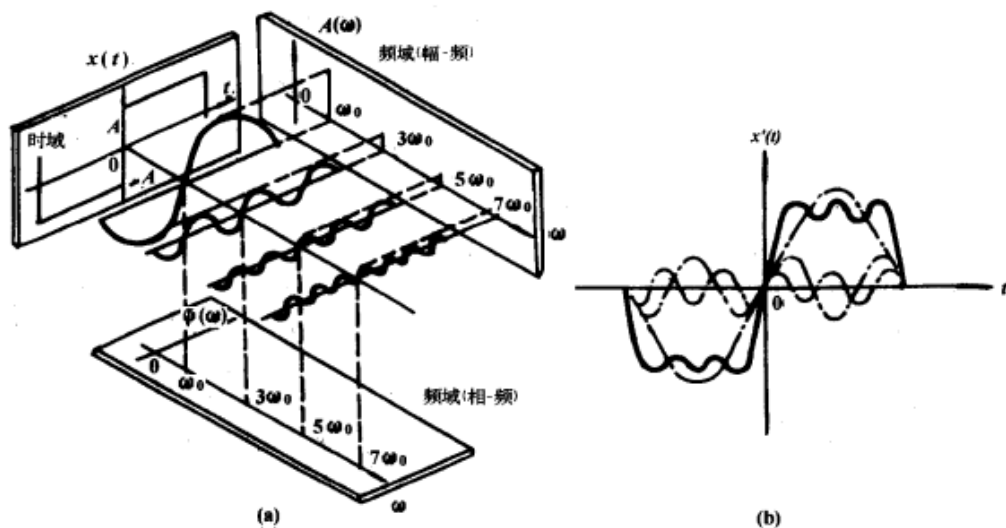


图 2-2 周期方波的描述

(a)时域与频域描述 (b)一、三、五次谐波叠加的图形

## 第二节 信号的时域分析

### 一、时域统计分析

对于非确定性的随机信号,可以用分析随机变量的方法对其进行统计分析。下面先简要介



绍随机过程的基本概念,从中可以看出随机过程与随机变量的关系,然后介绍一类重要的随机过程——各态历经平稳随机过程的统计分析方法。

1. 随机过程的一般概念。对随机信号按时间历程所作的各次长时间观察记录称为样本函数,记为  $x_i(t)$ 。全部样本函数的集合(总体)称为随机过程,记为  $\{x(t)\}$ 。即

$$\{x(t)\} = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t), \dots\} \quad (2-2)$$

随机过程与样本函数的关系如图 2-3 所示。

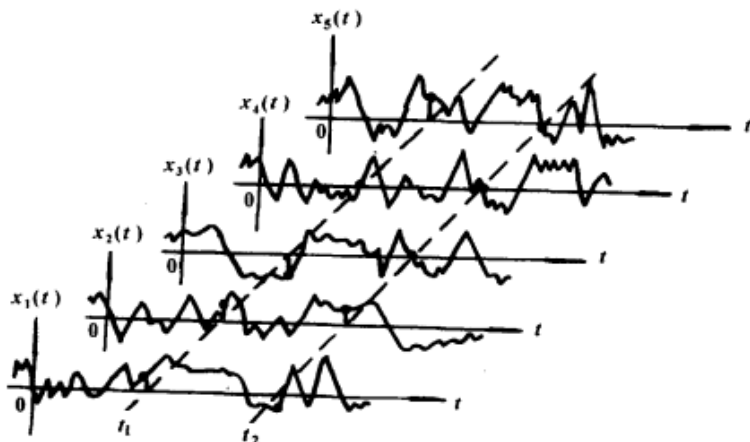


图 2-3 随机过程与样本函数

一般来说,任何样本函数  $x_i(t)$  都无法代表随机过程  $\{x(t)\}$ 。当  $t=t_k$  时,  $x_i(t_k)$  是一个随机变量,表示该瞬时可能取值的集合。与描述一般随机变量相类似,可以利用随机过程  $\{x(t)\}$  的数字特征对其进行描述。随机过程在某一时刻  $t_k$  的随机变量的统计特征,采用总体平均所得的统计参数进行描述。例如,随机过程  $\{x(t)\}$  在时刻  $t_1$  的平均值  $C_0$ ,就是将全部样本函数在该瞬时之值  $\{x_i(t_1)\}$  相加后再除以样本函数的个数  $N$ ,然后取当  $N \rightarrow \infty$  时的极限。即

$$C_0 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t_1) \quad (2-3)$$

再例如,随机过程  $\{x(t)\}$  在  $t_1$  和  $t_1 + \tau$  两个不同时刻的相关性的总体平均为

$$R_x(t_1, t_1 + \tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t_1) x_i(t_1 + \tau) \quad (2-4)$$

一般地说,当  $t_1 \neq t_2$  时,随机过程的统计参数是不相等的。但有这样一类随机过程,当  $t_1 \neq t_2$  时,且  $t_1, t_2$  为任意值时,式(2-3)、式(2-4)满足

$$C_0 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t_1) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t_2) = \text{常数} \quad (2-5)$$

$$R_x(t_1, t_1 + \tau) = R_x(t_2, t_2 + \tau) = R_x(\tau) \quad (2-6)$$

则称这类随机过程为平稳随机过程。即平稳随机过程的条件是其均值为常数,其相关函数与时间的起点无关,只是时间间隔  $\tau$  的函数。但  $N \rightarrow \infty$ ,则表明仍需无穷多的样本记录。而在实际工程测试中,对某一随机过程进行长时间的大量观察以取得足够多的样本函数,往往存在许多困难,甚至是不可能的。那么就提出能否用一次实验所得到的样本函数在其观察的时间历程上取时间平均来代替其总体平均呢? 实践中确实存在这样平稳随机过程——各态历经平稳随机