

◇ 高等学校规划教材 ◇

机械工程 测试技术基础

JIXIE GONGCHENG
CESHI JISHU JICHU

曲云霞 邱瑛 主编



化学工业出版社

◆ 高等学校规划教材 ◆

机械工程 测试技术基础

JIXIE GONGCHENG
CESHI JISHU JICHU

曲云霞 邱瑛 主编
高铁红 孙立新 副主编
白成刚 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材依据现代机械工程领域测试技术的发展,总结多年的教学实践经验,将测试技术与工程技术实践相结合,在书中介绍了机械工程测试技术的基本知识、基本理论、基本方法、最新发展及实际应用。全书内容包括绪论、信号及其描述、测试装置的基本特性、常用传感器、信号的中间变换与记录、信号分析与处理、现代测试系统、振动的测试,以及典型测试系统设计案例。

本书可作为高等工科院校相关专业的教学用书,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术基础/曲云霞,邱瑛主编. —北京:化学工业出版社,2015.6

高等学校规划教材

ISBN 978-7-122-23957-0

I. ①机… II. ①曲…②邱… III. ①机械工程-测试技术-高等学校-教材 IV. ①TG806

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第099912号

责任编辑:廉静

文字编辑:张燕文

责任校对:边涛

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张10 $\frac{3}{4}$ 字数258千字 2015年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

本教材是为适应高等学校专业综合改革的需要，适应现代科学技术和生产的快速发展，适应机械设计制造及其自动化、机械电子工程、测控技术与仪器、车辆工程等专业的教学内容改革和教材建设的迫切需要而编写的。

在机械制造业信息化和创新型人才培养中，测试技术起着极为重要的作用。测试技术随着材料科学、微电子科学和计算机科学与技术的迅速发展而发展，是现代科学研究的学者和工程技术人员必须掌握并不断更新的基本技术。作为一门重要的技术基础课程，测试技术和信号分析与处理技术涉及内容广、教学难度大。本版教材重点介绍了测试技术的基本概念、基本原理和基本方法，并与实际工程相结合，将抽象的理论融入到实际工程案例中，便于读者理解和掌握；在教材内容的安排和处理方面，在满足教学要求的前提下，力求贯彻机电结合、测控结合、理论与实践结合及少而精的原则；在保证基本内容的前提下，尽量反映测试技术的最新发展趋势和水平；行文叙述方面尽量考虑机械工程、仪器仪表学生的知识结构和思维特点。

全书共九章。第一章至第六章为测试技术的基础知识，是测试技术课程教学的基本内容，第七章介绍现代测试技术的发展及应用，第八章介绍机械工程领域中最常用的振动量测试的基本知识，第九章根据测试系统的构成，介绍工程实际案例的分析与设计方法。

本书第一章、第二章、第三章、第七章由邱瑛编写，第四章、第五章、第六章由曲云霞编写，第八章由魏智编写，第九章由高铁红、孙立新编写。全书由曲云霞、邱瑛统稿，由北京航空航天大学自动控制系白成刚教授主审。

在编写过程中，参考了有关院校、企业和科研单位的文献资料，并得到许多专家、学者的支持和帮助，在此表示衷心感谢。

限于编者的学识和经验，本书疏漏之处在所难免，恳请同行专家和读者不吝赐教。

编者

2015年3月

目录

CONTENTS

第一章 绪论

1

第一节 概述	1
一、测试与信息	1
二、测试技术的内容与作用	1
三、测试技术的发展	2
第二节 测量方法和测量误差	2
一、测量方法	2
二、测量误差	3
第三节 测量系统和控制系统	4
一、系统、输入和输出	4
二、开环测量系统和闭环测量系统	5
三、反馈测量系统和反馈控制系统	5
第四节 动态测试的特点和研究方法	6
习题	6

第二章 信号及其描述

7

第一节 概述	7
一、信号与信息	7
二、信号的分类	7
三、信号的描述	8
第二节 周期信号与离散频谱	9
一、周期信号的傅里叶三角函数展开式	9
二、周期信号的傅里叶级数的复指数函数展开式	11
三、周期信号的强度表述	13
第三节 非周期信号与连续频谱	14
一、傅里叶变换	15
二、傅里叶变换的主要性质	16
三、几种典型信号的频谱	20
第四节 随机信号	23
一、简介	23
二、随机信号的主要特征参数	23

习题	25
----------	----

第三章 测试装置的基本特性

27

第一节 概述	27
第二节 测试装置的基本特性	28
一、线性系统及其主要性质	28
二、测试装置的静态特性	29
三、测试装置的动态特性	31
第三节 实现不失真测试的条件	37
第四节 测试装置动态特性的测试	38
一、频率响应法	38
二、阶跃响应法	39
第五节 测试装置的负载效应和适配	41
一、负载效应	41
二、测试装置与被测信号的适配	42
习题	42

第四章 常用传感器

44

第一节 概述	44
一、传感器的作用及分类	44
二、传感器的发展趋势	46
第二节 机械式传感器	46
第三节 电阻式传感器	48
一、变阻器式传感器	48
二、电阻应变式传感器	49
第四节 电感式传感器	52
一、可变磁阻式传感器	52
二、涡流式传感器	53
三、差动变压器式传感器	56
第五节 电容式传感器	57
一、极距变化型电容传感器	57
二、面积变化型电容传感器	58
三、介质变化型电容传感器	59
四、两种测量电路	60
第六节 压电式传感器	63
一、压电效应	63
二、压电式传感器及其等效电路	64
三、测量电路	66
第七节 磁电式传感器	67

一、动圈式磁电传感器	67
二、磁阻式传感器	68
第八节 光电式传感器	69
一、光敏元件	69
二、光电式传感器	70
第九节 其他类型的传感器	73
一、霍尔传感器	73
二、热敏电阻	74
三、气敏电阻	75
四、超声波探头	75
五、光导纤维传感器	76
六、固态图像传感器	77
第十节 传感器的选用原则	78
一、灵敏度	78
二、响应特性	79
三、线性范围	79
四、可靠性	79
五、精确度	79
六、测量方法	79
七、其他	80
习题	80

第五章 信号的中间变换与记录

82

第一节 概述	82
第二节 电桥	82
一、直流电桥	82
二、交流电桥	84
第三节 调制与解调	86
一、调幅与解调	86
二、调频与解调	90
第四节 滤波器	91
一、滤波器特性及描述	92
二、实际滤波器的应用	96
第五节 模拟-数字转换器	99
一、数-模转换器	99
二、模-数转换器	100
第六节 信号的显示与记录	104
一、信号的显示	104
二、信号的记录	106

习题	106
----------	-----

第六章 信号分析与处理 108

第一节 概述	108
第二节 信号的时域分析	108
一、时域分解	108
二、时域相关分析	110
第三节 信号的频域分析	114
一、自功率谱密度函数和互功率谱密度函数	114
二、应用举例	115
第四节 数字信号分析初步	117
一、数字信号处理的一般步骤	117
二、时域采样、混叠和采样定理	118
三、截断、泄漏和窗函数	120
四、离散傅里叶变换	122
五、快速傅里叶变换和数字滤波简介	123
六、时频分析简介	124
习题	125

第七章 现代测试系统 126

第一节 概述	126
第二节 计算机测试系统	126
第三节 智能仪器	128
一、智能仪器的组成	128
二、智能仪器的特点	129
第四节 虚拟仪器	130
一、虚拟仪器的特点	130
二、虚拟仪器的构成方法	131
三、虚拟仪器的软件实现	131
四、LabVIEW 虚拟温度计创建示例	132
习题	133

第八章 振动的测试 134

第一节 概述	134
一、振动量的测试	134
二、振动系统特性的测试	135
第二节 振动测试系统的组成与激励	135
一、振动测试系统的组成	135

二、振动的激励	136
第三节 激振器	139
一、电动式激振器	139
二、电磁式激振器	140
三、电液式激振器	141
第四节 振动的测试方法及测振传感器	141
一、磁电式速度计	142
二、压电式加速度计	143
三、阻抗头	144
第五节 振动的分析方法与仪器	144
一、基于带通滤波器的频谱分析仪	145
二、利用相关滤波的振动分析仪	146
三、跟踪滤波器	147

第九章 典型测试系统设计案例

149

第一节 微机动态检重秤测试系统设计	149
一、测试系统任务	149
二、测试系统方案	150
三、测试系统软件设计	153
四、检重秤系统试验	153
第二节 锂锰扣式电池厚度自动测量系统设计	155
一、测试任务	155
二、测试系统方案	155
三、测试系统设计	156

参考文献

161

绪 论

第一节 概 述

一、测试与信息

微电子技术和计算机技术的迅速发展使机械工业发生了深刻的变化。机械产品的结构与功能产生了质的跃变，机电一体化技术的蓬勃兴起与发展正是这一跃变的体现。机械产品的功能由以往取代、延伸和放大人的体力劳动作用跃变到能够取代、延伸和加强人的部分脑力劳动的作用。机械制造和使用的过程不仅包含物质流和能量流，还包含信息流。长期以来，人们对机械工业中的物质研究得比较充分，而对信息问题还有待充分研究。

机械工程与微电子技术、计算机技术紧密结合，形成了机械电子工程，这对信息问题的研究和应用提出了更高的要求。可喜的是，近年来这方面的研究越来越受到重视，取得了很大成绩。

测试是人们认识客观事物的方法。测试过程是从客观事物中提取、处理有关信息的认识过程。它属于信息科学范畴，所以又被称为信息探测工程学。机械工程测试技术有其特有的内容和特点。

二、测试技术的内容与作用

测试是具有实验性质的测量，它包含测量和实验两方面的内容。在测试过程中，借助专门的仪器设备，通过实验和运算，得到与所研究对象有关的信息。

测试是人们认识事物不可缺少的手段，近代科学技术的发展更是如此，用定量关系和数学语言来表达科学规律和理论需要测试技术，检验科学理论和规律的正确性同样需要测试技术。科学上很多新的发现和突破都是以测试为基础的。科学技术的发展促进了测量设备和实验技术的发展。

测试技术与信号分析技术在生产和机构运行过程中起着类似人的感觉器官和大脑的作用。随着机电一体化和生产过程自动化的发展，先进的测试与信号分析设备已成为生产系统中不可缺少的组成部分。测试技术已广泛地应用于农业生产、科学研究、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护和民生等各个方面，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。

本书以机械量电测技术为例，力求从机电结合、测控结合的角度阐述测试技术和信号分析技术的基本理论、原理和常见机械量的测试方法。通过学习，可以掌握动态测试的基本理论知识和基本技能，为进一步学习、研究和解决机电工程中的技术问题打下基础。

三、测试技术的发展

现代生产的发展和工程科学研究对测试及其相关技术的需求极大地推动了测试技术的发展，而现代物理学、信息科学、计算机科学、电子和机械电子科学与技术的迅速发展又为测试技术的发展提供了知识和技术支持，从而促使测试技术在近 20 年来得到极大的发展和广泛应用。归纳起来有以下几个方面。

① 从单一学科向多学科相互借鉴和渗透，形成综合各学科成果测量系统。

② 动态测试技术的发展越来越快。

③ 智能传感器和计算机技术的发展和运用，使测试系统向自动化、智能化和网络化的方向发展。

④ 测试系统的在线实时能力进一步提高。

⑤ 测试与控制密切结合，实现“以信息流控制能量流和物质流”。

第二节 测量方法和测量误差

一、测量方法

测量方法的正确与否十分重要，它关系到测量结果是否可靠以及测量工作能否正常进行。所以，必须根据不同的测量任务和要求，确定合适的测量方法，并据此选择合适的测试装置，组成测试系统，进行实际测试。如果测量方法不合理，即使有性能优良的仪器设备，也不能得到满意的测量结果。

测量方法的分类很多，本节主要介绍以下三种。

1. 静态测量和动态测量

这种分类方法是根据被测物理量的性质来划分的。静态测量即测量那些不随时间变化或变化很缓慢的物理量；动态测量即测量那些随时间迅速变化的物理量。

静态与动态是相对的。一切事物都是发展变化的，也可以把静态测量视为动态测量的一种特殊形式。动态测量的误差分析比静态测量更复杂。

2. 直接测量、间接测量和组合测量

(1) 直接测量

直接测量是用预先标定好的测量仪表，对某一未知量直接进行测量，从而得到测量结果。例如，用水银温度计测量温度；用压力表测量压力；用万用表测量电压、电流、电阻等。直接测量的优点是简单而迅速，所以在工程上应用广泛。

(2) 间接测量

间接测量是对与被测物理量有确切函数关系的物理量进行直接测量，然后把所测得的数据代入关系式中进行计算，从而求出被测物理量。间接测量方法比较复杂，一般在直接测量很不方便或无法进行时，或用间接测量比用直接测量能获得更准确的结果时，才采用间接测量。

(3) 组合测量

组合测量是在测量中，使各个未知量以不同的组合形式出现，根据直接测量和间接测量所得到的数据，通过解联立方程组求出未知量。其目的就是在不提高计量仪器准确度的情况下，提高被测量值的准确度。

例如，在 $0\sim 630^{\circ}\text{C}$ 范围内，铂热电阻温度计的电阻值与温度的关系为

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

为了确定铂电阻的温度系数 A 、 B 和在 0°C 时的铂电阻值 R_0 ，首先需要测量三种不同温度下的电阻值 R_{t1} 、 R_{t2} 和 R_{t3} ，然后再解联立方程组。

组合测量比较复杂，但却易达到较高的精度，一般适用于科学实验和特殊场合。

3. 接触式测量和非接触式测量

根据传感器与被测物体是否接触分为接触式测量和非接触式测量。较精密的接触式测量要考虑测量力的影响。

二、测量误差

1. 误差的定义

被测物理量所具有的客观存在的量值称为真值 x_0 。由测试装置测得的结果称为测量值 x 。测量值与真值之差称为误差。

误差的表达形式一般有两种，绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差

绝对误差一般即为测量值与真值之差 Δx ，它表示误差的大小。

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-1)$$

真值是一个理想概念，一般是不知道的。在实际测量中，常用高精度的量值表示真值，称为“约定真值”。

绝对误差只能表示出误差量值的大小，而不便于比较测量结果的精度。例如，有两个温度的测量结果为 $(15 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 和 $(50 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ ，尽管它们的绝对误差都是 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，显然后者的精度高于前者。

(2) 相对误差

绝对误差与被测量的真值之比称为相对误差，一般用百分比 (%) 表示。若测量值与真值接近，也可近似用绝对误差与测量值之比作为相对误差。

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \approx \frac{\Delta x}{x} \quad (1-2)$$

为了方便，还常常使用“引用误差”的概念。引用误差是一种简化的、方便实用的相对误差。它是以前测量仪表某一刻度点的误差为分子，满刻度值为分母所得的比值，即

$$\text{引用误差} = \frac{\text{某一刻度点的误差}}{\text{满刻度值}} \quad (1-3)$$

我国常用的电工、热工仪表就是按引用误差之值进行精度分级的。在选择仪表时，要兼顾仪表的精度等级和测量上限两个方面。

2. 误差按特征的分类

根据误差的特征，可将误差分为三类：系统误差、随机误差和粗大误差。

(1) 系统误差

在同一条件下，多次测量同一量值时，绝对值和符号保持不变；或在条件改变时，按一定规律变化的误差称为系统误差。例如，由于标准量值的不准确、仪器刻度的不准确而引起的误差。

因为系统误差有规律性，所以应尽可能通过分析和实验的方法加以消除，或通过引入修正值的方法加以修正。

(2) 随机误差

在相同条件下，多次测量同一量值时，绝对值和符号以不可预定的方式变化的误差称为随机误差。例如，仪表中传动部件的间隙和摩擦、连接件的变形等因素引起的误差。

虽然一次测量产生的随机误差没有确定的规律，但是通过大量的测量，发现在多次重复测量的总体上，随机误差服从一定的统计规律，最常见的就是正态分布规律。这种规律的表现之一就是随着测量次数的增多，绝对值相等、符号相反的随机误差出现的次数趋于相等。这样，各次测量的随机误差的总和正负抵偿，特别是当测量次数趋于无穷时，其总体平均趋于零。这一性质称为随机误差的抵偿性，它是随机误差最重要的统计特性。

应当指出，一般情况下，在任何一次测量中，系统误差和随机误差都是同时存在的，而且它们之间并不存在严格界限，在一定的条件下可以相互转化。例如，仪表的分度误差，对制造者来说具有随机的性质，为随机误差；而对检定部门来说就转化为系统误差了。随着对误差来源和变化规律认识的深入以及测试技术的发展，人们对系统误差与随机误差的区分会越来越明确。

(3) 粗大误差

这种误差主要是由于测量人员的粗心大意、操作错误、记录和运算错误或外界条件的突然变化等原因产生的。粗大误差的产生使测量结果有明显的歪曲，凡经证实含有粗大误差的数据，应从实验数据中剔除。

第三节 测量系统和控制系统

在非电量电测技术和机电控制技术中，经常遇到机械量和电量的相互变换问题，即一个机电系统可以输入机械量输出电量，也可以输入电量输出机械量。多数机电变换装置都具有这种可逆的特性。例如，磁电式传感器、压电式传感器等。这种可逆的特性称为机电系统的双向性。系统的双向性不仅把机械和电气联系起来，而且把测试与控制系统联系起来。

一、系统、输入和输出

通常的工程测试问题总是处理输入量 $x(t)$ 、输出量 $y(t)$ 和系统本身的特性 $h(t)$ 三者

之间的关系（图 1-1）。

从广义上讲，图 1-1 所示的系统可以是开环系统，也可以是闭环系统，有时则是一个大系统的子系统，甚至一个元件。

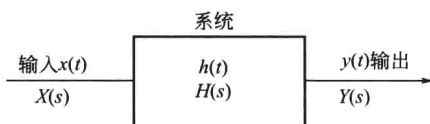


图 1-1 系统、输入和输出

工程上经常处理以下三个问题。

- ① 已知系统特性和输出量，求输入量。
- ② 已知系统特性和输入量，求输出量。
- ③ 已知输入量和输出量，求系统特性。

一般来讲，问题①属于测试问题；问题②属于控制问题；问题③属于系统辨识问题。但在实际工作中，三者又密不可分，在测试工作中都会遇到。例如，问题③是求测试系统本身的特性，常常是测试装置的定度问题，而定度问题属于测试技术范畴。此外，测试与控制也是密不可分的。

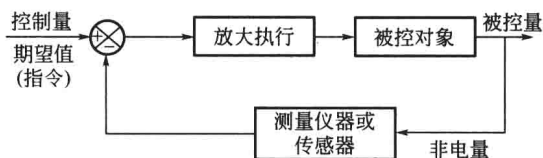
二、开环测量系统和闭环测量系统

常用的测量仪器一般是由传感器、测量电路、输出电路和记录显示装置组成的开环测量系统。每一个组成部分又往往分为若干组成环节。从而整个仪器的相对误差为各个环节相对误差之和，并且每一个环节的动态特性都直接影响整个仪器的动态特性。为了保证整机的动态特性和精度，往往要对每一个组成环节都提出严格的技术要求。环节越多，对每一个环节的要求越严格。显然，这会使整个仪器制造困难，价格昂贵。

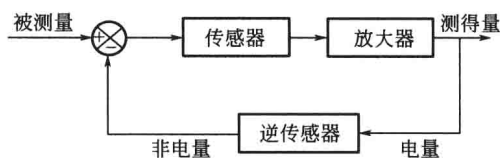
随着科学技术的发展，控制工程的理论和方法在测试技术中得到越来越广泛的应用。例如，根据反馈控制原理，将开环测量系统接成闭环测量系统，同时提高开环增益、加深负反馈，可以大大改善测量系统的动态特性，提高精度和稳定性。

三、反馈测量系统和反馈控制系统

如图 1-2 所示，反馈控制系统和反馈测量系统从工作原理来讲是相同的。所不同的是前者的目的是使输出量（即被控制量）精确地受输入量（即控制量）的控制；而后者的目的是希望输入量（即被测量）能准确地用输出量（即测得量）显示出来或记录下来。此外，反馈测量系统中的被测量的反馈量通常是非电量，测得量一般是电量，反馈装置为逆传感器。当



(a) 反馈控制系统



(b) 反馈测量系统

图 1-2 反馈控制系统与反馈测量系统

然，这是对非电量电测技术而言。一般来讲，测量系统比控制系统所需功率小。

第四节 动态测试的特点和研究方法

如前所述，动态测试的被测量是随时间而迅速变化的；仪器的输入量及测试结果（数据或信号）也是随时间而迅速变化的。

由于动态测试发展得越来越快，给传统的测量学科带来了一系列观念、研究方法和技术手段等方面的发展和更新。

在观念上，虽然测量的任务都是以测量系统的输出去估价被测物理量即测量系统的输入，但在静态测试中，测量系统的输入与输出是数值上的对应关系；而在动态测试中，测试系统的输入与输出则是信号上的对应关系。因为动态测试是测量物理量随时间变化的过程，即信号，信号是信息的载体，所以信号的描述和处理在动态测试中占有重要的地位。

由于上述基本差别的存在，两种测试的研究方法就有很大不同。例如，静态测试对数值误差上的分析很重视；而在动态测试中则以不失真复现分析作为基础。于是，对静态测试系统和动态测试系统的要求也就存在着很大差别。动态测试重点研究测试系统的动态响应、信号的不失真传递、噪声的耦合和消除等一系列与信号有关的问题。对测量误差的分析一般也仅着眼于与这些因素有关的因素而引起的误差。例如，由于测试系统的动态特性而引起的误差等。

在技术手段方面，动态测试需要解决的是信号的获取、信号的分析与处理以及信号的记录所依存的系统和环节，包括硬件、软件以及由它们组合的系统。如前所述，由于微电子技术、智能传感技术和计算机技术的发展，动态测试的技术手段越来越先进、越来越完善。



习题

- 1-1 测试技术主要包括哪些内容？测试工作的意义是什么？
- 1-2 什么是直接测量、间接测量、组合测量？
- 1-3 什么是静态测量和动态测量？
- 1-4 什么是接触式测量和非接触式测量？
- 1-5 什么是测量误差？其具体的表达形式有哪些？各自的含义是什么？
- 1-6 测量系统与控制系统的主要区别是什么？

信号及其描述

第一节 概 述

一、信号与信息

信号是传递信息的一种物理量。信息是事物客观存在或运动状态的反映。信号是信息的载体，而信息则是信号的具体内容。在生产实践和科学实验中，需要观测大量的现象及其参数的变化。这些变化量可以通过测量装置变成容易测量、记录和分析的电信号。一个信号承载着反映被测物体系统的运动状态或特性的某些有用的信息，它是认识客观事物的内在规律、研究事物之间的相互关系、预测未来发展的依据。例如，回转机械由于动不平衡而产生振动，那么振动信号就传达了该回转机械动不平衡的信息，因此它就成为研究回转机械动不平衡的依据。

信息本身不是物质，它不具有能量，但信息的传输和处理却依靠物质和能量。信号具有能量，它描述了物理量（或其他量）的变化过程。

二、信号的分类

信号的分类方法很多，这里仅就本书常用的信号特点进行介绍。

信号按其运动规律可分为确定性信号和非确定性信号（随机信号）两大类。确定性信号可分为周期信号和非周期信号。周期信号又可分为简谐信号和复合周期信号；非周期信号又可分为准周期信号和瞬变信号。非确定性信号可分为平稳随机信号和非平稳随机信号。平稳随机信号又可分为各态历经信号和非各态历经信号。

确定性信号随时间有规律地变化，可用数学关系式或图表来确切地描述。例如，图 2-1 所示的集中参数单自由度振动系统做无阻尼自由振动时，其位移 $x(t)$ 是确定性信号，可用数学关系式来确定质量块的瞬时位置，即

$$x(t) = x_0 \sin(t\sqrt{k/m} + \varphi_0) \quad (2-1)$$

式中 x_0 ——初始幅值；

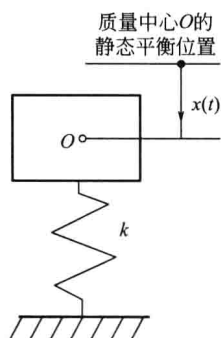
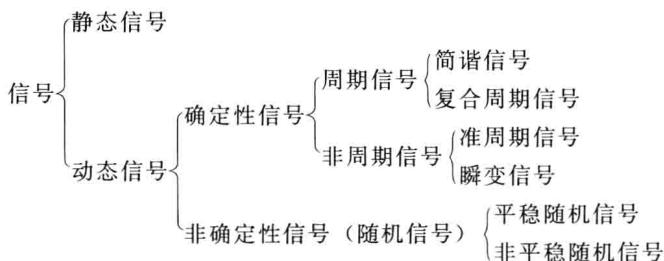


图 2-1 单自由度振动系统

- φ_0 ——初始相位角；
- k ——弹簧刚度；
- m ——质量；
- t ——时间。

非确定性信号具有随机特点，它随时间的变化没有确定的规律，每次观测的结果都不相同，无法用数学关系式或图表确切描述，更不能准确预测，只能通过概率统计方法估计。例如，火车、汽车运行时的振动情况等。

根据信号的时域特性，信号分类如下：



另外，若信号数学表达式中的独立变量是连续变量，则称该信号为连续（模拟）信号；若将独立变量取离散值，则信号为离散信号；若信号数学表达式的独立变量和信号的幅值都是数字化的，则称其为数字信号。

三、信号的描述

信号的描述包括时域描述和频域描述。直接观测或记录的信号一般为随时间变化的物理量，以时间作为独立变量，称为信号的时域描述。信号的时域描述只能反映信号的幅值随时间变化的特征，而不能明确揭示信号的频率组成。为了研究信号的频率结构和各频率成分的幅值大小、相位关系，应对信号进行频谱分析，把时域信号通过变换变成频域信号，此即信号的频域描述。图 2-2 所示为周期方波的时域波形和频域描述。

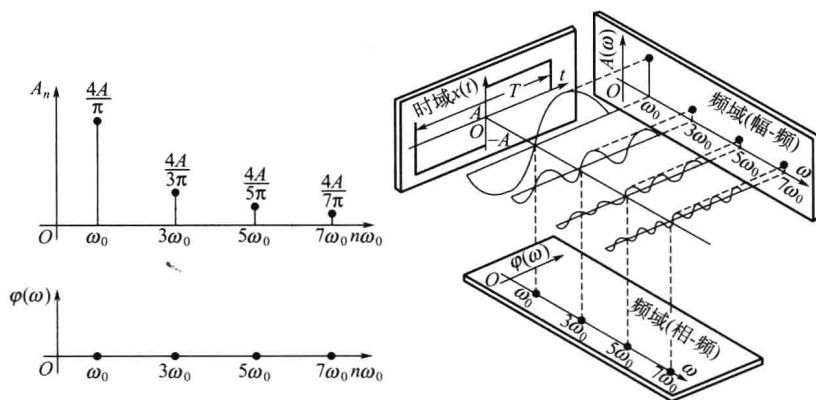


图 2-2 周期方波的时域波形和频域描述

信号在不同域的描述，是为了解决不同问题的需要，使所需的信号特征更为突出。时域描述信号比较形象直观，而频域描述信号则更为简练。同一信号无论选用哪种描述方法都含有同样的信息，两种描述方法可互相转换，并没有增加新的信息。

近年来，还发展了信号的时频描述。例如，小波变换和短时傅里叶变换。它是在时间-