



上海出版资金项目
Shanghai Publishing Funds



创新应用型数字交互规划教材
机械工程

机械工程 测试技术基础

李郝林·主编



上海科学技术出版社

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

内 容 提 要

机械工程测试技术是研究机械工程领域有关测试方法、测试手段和测试理论的科学,本书所论述的内容主要涉及机械工程测试技术的基本理论与方法。全书共7章,内容主要包括:测试技术的基本理论,包括信号的时域和频域的描述方法、随机信号分析方法;机械工程常用传感器的工作原理、性能及选用方法;测试装置静态、动态特性的评价方法及其应用;测试技术中计算机数据采集的基本知识;机械工程测试技术的基本理论在工程中应用的基本知识。本书依托增强现实(AR)技术,将视频、动画等数字资源与纸质教材交互,为读者和用户带来更丰富有效的阅读体验。为了方便教学使用,在出版社网站提供免费电子课件,供教师用户参考。

本书可作为高等院校机械类、机电类专业机械工程测试技术课程的教材,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术基础 / 李郝林主编. —上海: 上海科学技术出版社, 2017. 10

创新应用型数字交互规划教材. 机械工程
ISBN 978 - 7 - 5478 - 3543 - 2

I. ①机… II. ①李… 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(2017)第 088211 号

机械工程测试技术基础

李郝林 主编

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 9

字数: 220 千字

2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 3543 - 2/TH · 66

定价: 35.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

编审委员会

主任 李郝林 陈关龙

副主任 钱 炜

委员 (以姓氏笔画为序)

王小静 李峥嵘 张慧敏 陈 浩

陈军华 徐 洋 惠 虎

顾问 曹自强

编写委员会

(以姓氏笔画为序)

丁晓红 马淑梅 王岩松 朱文峰

任 彬 李 晏 李郝林 李蓓智

张东民 张而耕 荆学东 黄迪山

支持单位

(按首字拼音排序)

东华大学

华东理工大学

青岛海尔模具有限公司

瑞士奇石乐(中国)有限公司

上海大学

上海电气集团上海锅炉厂有限公司

上海高罗输送装备有限公司技术中心

上海工程技术大学

上海理工大学

上海师范大学

上海新松机器人自动化有限公司

上海应用技术大学

上海紫江集团

上汽大众汽车有限公司

同济大学

西门子工业软件(上海)研发中心

浙江大学

丛书序

在“中国制造 2025”国家战略指引下,在“深化教育领域综合改革,加快现代职业教育体系建设,深化产教融合、校企合作,培养高素质劳动者和技能型人才”的形势下,我国高教人才培养领域也正在经历又一重大改革,制造强国建设对工程科技人才培养提出了新的要求,需要更多的高素质应用型人才,同时随着人才培养与互联网技术的深度融合,尽早推出适合创新应用型人才培养模式的出版项目势在必行。

教科书是人才培养过程中受教育者获得系统知识、进行学习的主要材料和载体,教材在提高人才培养质量中起着基础性作用。目前市场上专业知识领域的教材建设,普遍存在建设主体是高校,而缺乏企业参与编写的问题,致使专业教学教材内容陈旧,无法反映行业技术的新发展。本套教材的出版是深化教学改革,践行产教融合、校企合作的一次尝试,尤其是吸收了较多长期活跃在教学和企业技术一线的专业技术人员参与教材编写,有助于改善在传统机械工程向智能制造转变的过程中,“机械工程”这一专业传统教科书中内容陈旧、无法适应技术和行业发展需要的问题。

另外,传统教科书形式单一,一般形式为纸媒或者是纸媒配光盘的形式。互联网技术的发展,为教材的数字化资源建设提供了新手段。本丛书利用增强现实(AR)技术,将诸如智能制造虚拟场景、实验实训操作视频、机械工程材料性能及智能机器人技术演示动画、国内外名企案例展示等在传统媒体形态中无法或很少涉及的数字资源,与纸质产品交互,为读者带来更丰富有效的体验,不失为一种增强教学效果、提高人才培养的有效途径。

本套教材是在上海市机械专业教学指导委员会和上海市机械工程学会先进制造技术专业委员会的牵头、指导下,立足国内相关领域产学研发展的整体情况,来自上海交通大学、上海理工大学、同济大学、上海大学、上海应用技术大学、上海工程技术大学等近 10 所院校制造业学科的专家学者,以及来自江浙沪制造业名企及部分国际制造业名企的专家和工程师等一并参与的内容创作。本套创新教材的推出,是智能制造专业人才培养的融合出版创新探索,一方面体现和保持了人才培养的创新性,促使受教育者学会思考、与社会融为一体;另一方面也凸显了新闻出版、文化发展对于人才培养的价值和必要性。

中国工程院院士 

丛书前言

进入 21 世纪以来,在全球新一轮科技革命和产业变革中,世界各国纷纷将发展制造业作为抢占未来竞争制高点的重要战略,把人才作为实施制造业发展战略的重要支撑,改革创新教育与培训体系。我国深入实施人才强国战略,并加快从教育大国向教育强国、从人力资源大国向人力资源强国迈进。

《中国制造 2025》是国务院于 2015 年部署的全面推进实施制造强国战略文件,实现“中国制造 2025”的宏伟目标是一个复杂的系统工程,但是最重要的是创新型人才培养。当前随着先进制造业的迅猛发展,迫切需要一大批具有坚实基础理论和专业技能的制造业高素质人才,这些都对现代工程教育提出了新的要求。经济发展方式转变、产业结构转型升级急需应用技术创新型、复合型人才。借鉴国外尤其是德国等制造业发达国家人才培养模式,校企合作人才培养成为学校培养高素质高技能人才的一种有效途径,同时借助于互联网技术,尽早推出适合创新应用型人才培养模式的出版项目势在必行。

为此,在充分调研的基础上,根据机械工程的专业和行业特点,在上海市机械专业教学指导委员会和上海市机械工程学会先进制造技术专业委员会的牵头、指导下,上海科学技术出版社组织成立教材编审委员会和编写委员会,联络国内本科院校及一些国内外大型名企等支持单位,搭建校企交流平台,启动了“创新应用型数字交互规划教材 | 机械工程”的组织编写工作。本套教材编写特色如下:

1. 创新模式、多维教学。教材依托增强现实(AR)技术,尽可能多地融入数字资源内容(如动画、视频、模型等),突破传统教材模式,创新内容和形式,帮助学生提高学习兴趣,突出教学交互效果,促进学习方式的变革,进行智能制造领域的融合出版创新探索。

2. 行业融合、校企合作。与传统教材主要由任课教师编写不同,本套教材突破性地引入企业参与编写,校企联合,突出应用实践特色,旨在推进高校与行业企业联合培养人才模式改革,创新教学模式,以期达到与应用型人才培养目标的高度契合。

3. 教师、专家共同参与。主要参与创作人员是活跃在教学和企业技术一线的人员,并充分吸取专家意见,突出专业特色和应用特色。在内容编写上实行主编负责下的民主集中制,按照应用型人才培养的具体要求确定教材内容和形式,促进教材与人才培养目标和质量的接轨。

4. 优化实践环节。本套教材以上海地区院校为主,并立足江浙沪地区产业发展的整体情况。参与企业整体发展情况在全国行业中处于技术水平比较领先的位置。增加、植入这些企业中当下的生产工艺、操作流程、技术方案等,可以确保教材在内容上具有技术先进、工艺领

先、案例新颖的特色,将在同类教材中起到一定的引领作用。

5. 增设与国际工程教育认证接轨的“学习成果达成要求”。即本套教材在每章开始,明确说明本章教学内容对学生应达成的能力要求。

本套教材“创新、数字交互、应用、规划”的特色,对避免培养目标脱离实际的现象将起到较好作用。

丛书编委会先后于上海交通大学、上海理工大学召开 5 次研讨会,分别开展了选题论证、选题启动、大纲审定、统稿定稿、出版统筹等工作。目前确定先行出版 10 种专业基础课程教材,具体包括《机械工程测试技术基础》《机械装备结构设计》《机械制造技术基础》《互换性与技术测量》《机械 CAD/CAM》《工业机器人技术》《机械工程材料》《机械动力学》《液压与气动技术》《机电传动与控制》。教材编审委员会主要由参加编写的高校教学负责人、教学指导委员会专家和行业学会专家组成,亦吸收了多家国际名企如瑞士奇石乐(中国)有限公司和江浙沪地区大型企业的参与。

本丛书项目拟于 2017 年 12 月底前完成全部纸质教材与数字交互的融合出版。该套教材在内容和形式上进行了创新性的尝试,希望高校师生和广大读者不吝指正。

上海市机械专业教学指导委员会

前 言

机械工程测试技术基础作为机械类专业的一门专业理论基础课,主要涉及机械工程测试技术的基本理论与方法。测试技术是研究有关测试方法、测试手段和测试理论的科学,是人们借以认识客观对象的本质,并掌握其内在联系和变化规律的一种科学方法。在工程技术领域,产品开发、生产制造、质量控制和性能试验等都离不开测试技术。测试技术本身也随着计算机技术、传感器技术以及信号处理技术的发展而不断发展。本书通过讲授测试技术的基础知识,培养学生掌握本学科领域内常见测试系统的组成与设计,以及进行机械工程参数测量和试验信号分析与处理的基本技能。

从教材内容方面看,目前国内同类教材主要包括机械工程测试技术的基本理论与常用机械量的测量知识两部分。考虑到受学时限制,教学实践中一般无法讲解常用机械量的测量知识,而这些知识只能算作机械测试理论的应用案例,本教材未包括这部分内容。同时考虑到测试信号处理理论对于测试技术应用的重要性,本书增加了随机测量信号分析与处理一章的内容。为了增强教材内容的实用性,在教材编写过程中与世界著名传感器生产企业瑞士奇石乐(中国)有限公司密切合作,由其提供了传感器及实际工程中的测量案例。最后,通过机械系统测量的工程案例,使学生了解测试技术理论的应用方法。

本书在编写中力求保持内容的完整性和系统性。第1章绪论,主要对机械工程测试技术进行概要介绍;第2章测量信号及其描述方法,主要介绍测量信号的时域与频域描述方法,并介绍了工程中大量存在的随机测量信号描述方法;第3章随机测量信号分析与处理,主要介绍了随机时域信号分析与处理及随机频域信号分析与处理的基本方法,并给出了这些方法在工程中应用的相关知识 with 案例;第4章测量装置及其主要特性,主要介绍了测试装置的静态特性与动态特性的描述方法与评价方法,并论述了实现不失真测试的条件的相关知识;第5章常用测量传感器,主要介绍了机械工程领域常用传感器的工作原理以及工作特性;第6章信号的调理与数字化,主要介绍了常用的测量信号调理方法,包括电桥、滤波器等,并介绍了计算机数字化采样的基本原理与应用知识;第7章机械系统测量的工程案例,分别介绍了测量仪器的选择、机械系统动态性能测试以及测量信号处理的典型案例,通过这些案例说明测试技术理论在解决工程实际问题过程中所起到的作用及其实际应用的方法。

本书适于机械类、机电类专业的本科生使用。教材依托增强现实(AR)技术,将数字资源与纸质教材交互,为读者和用户带来更丰富有效的阅读体验,具体使用方法参见目录前“本书配套数字交互资源使用说明”。另外,教材按其主要内容编制了各章课件并提供思考与练习答

案,在上海科学技术出版社网站“课件/配套资源”栏目公布,欢迎读者登录 [www. sstp. cn](http://www.sstp.cn) 浏览、下载。

本书由上海理工大学李郝林教授主编并统稿。具体编写分工如下:李郝林编写第 1~第 4 章;上海理工大学景大雷、范开国编写第 5 章、第 6 章,瑞士奇石乐(中国)有限公司吴小清提供该章节部分传感器实例与应用案例的介绍;瑞士奇石乐(中国)有限公司李斌编写第 7 章;上海理工大学谢玲承担了教材“思考与练习”的编写任务。

由于编者水平所限,书中可能存在误漏欠妥之处,竭诚欢迎读者批评指正。


编者

本书配套数字交互资源使用说明

针对本书配套数字资源的使用方式和资源分布,特做如下说明:

1. 用户(或读者)可持安卓移动设备(系统要求安卓 4.0 及以上),打开移动端扫码软件(本书仅限于手机二维码、手机 qq),扫描教材封底二维码,下载安装本书配套 APP,即可阅读识别、交互使用。手持设备与教材保持垂直距离 10~15 cm,识别效果更佳。

2. 本书“思考与练习”,提供部分题目的解析步骤,读者可以使用配套 APP 扫描大题目干,查看、参考。

3. 小节等各层次标题后对应有加“”标识的,提供视频等数字资源,进行识别、交互。具体扫描对象位置和数字资源对应关系参见下列附表。

扫描对象位置	数字资源类型	数字资源名称
1.1 节下层次 1)标题	视频	产品开发和性能试验
1.1 节下层次 2)标题	视频	质量控制和生产监督
	视频	Kistler 装配过程监控
1.1 节下层次 3)标题	视频	设备的状态监测和故障诊断
2.2 节标题	视频	频谱分析在工程中的应用案例
3.2.1 节标题	视频	中心极限定理与正态分布
	视频	汽车行驶工况统计分析——二维概率分布
3.3.2 节下层次 1)标题	视频	相关测速产品案例
4.2 节标题	视频	测试装置的静态特性
5.4 节标题	视频	电容传感器
5.5 节标题	视频	电感传感器
6.1 节标题	视频	电桥测应变
6.2 节标题	视频	滤波器
6.3 节标题	视频	信号的数字化
7.2 节标题	视频	数控磨床动态特性测量

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	机械测试技术的研究对象与应用	1
1.2	机械测试技术的主要知识与内容	2
1.3	本课程学习内容及其所能够解决的问题	3
第 2 章	测量信号及其描述方法	4
2.1	测量信号的分类	4
2.2	确定性测量信号及其描述	6
2.3	随机测量信号及其描述	19
第 3 章	随机测量信号分析与处理	27
3.1	离散随机信号处理概述	27
3.2	随机时域信号的分析与处理	28
3.3	相关函数的应用	34
3.4	随机频域信号的分析与处理——平稳序列的谱分析	38
第 4 章	测量装置及其主要特性	44
4.1	线性系统及其测试装置的基本特性	44
4.2	测试装置的静态特性	46
4.3	测试装置的主要动态特性参数	48
4.4	测试装置实现信号不失真传递的条件	53
4.5	工程案例	54

第 5 章	常用测量传感器	59
5.1	常用传感器概述·····	59
5.2	电阻应变式传感器·····	62
5.3	压电式传感器·····	67
5.4	电容式传感器·····	75
5.5	电感式传感器·····	79
第 6 章	信号的调理与数字化	88
6.1	电桥·····	88
6.2	滤波器·····	94
6.3	信号的数字化·····	104
第 7 章	机械系统测量的工程案例	116
7.1	测量仪器选择案例·····	116
7.2	机械系统动态性能测试案例·····	120
7.3	测量信号处理案例·····	122
	参考文献	128

绪 论

1.1 机械测试技术的研究对象与应用

测试技术是科学研究和技术评价的基本方法之一,它是具有试验性质的测量技术,是测量和试验的综合。测量是为确定被测对象的量值而进行的试验过程;试验是对迄今未知事物的探索性认识过程。因此,测试技术包括测量与试验两个方面。

测试技术是研究有关测试方法、测试手段和测试理论的科学,是人们借以认识客观对象的本质,并掌握其内在联系和变化规律的一种科学方法。在测试过程中,需要选用专门的仪器设备,设计合理的试验系统并进行必要的数据处理,从而获得被测对象的有关信息。

机械工程测试技术的任务主要是从复杂的信号中提取被研究对象的状态信息,以一定的精度描述和分析其运动状态,它是科学研究的基本方法。对于处于生产过程中的机械产品,机械工程测试技术在控制和改进产品的质量、保证设备的安全运行以及提高生产率、降低成本等方面都有着重要的作用。

机械测试技术的研究对象主要包括静态测试与动态测试。静态测试是指测量期间被测量值是静止不变或变化极其缓慢的测试,如对工件的直径、长度、角度等的测量;而动态测试是指对随时间变化较快的被测量所进行的测试,如机械的振动、噪声、切削力、加工过程中的零件尺寸等的测量。本课程的重点是研究机械工程中的动态测试技术的基本原理。

机械工程测试技术已广泛应用于不同的领域并在各个自然科学研究领域起着重要作用。机械工程技术人员在面临系统分析、优化设计、系统评价等众多问题时,不可避免地需要采用各种测试技术,获取研究对象的状态信息,掌握研究对象的静态与动态性能。机械工程测试技术在机械工程领域的应用主要划分为以下三个方面:

1) 产品开发和性能试验

在装备设计及改造过程中,通过模型试验或现场实测,人们可以获得设备及其零部件的载荷、应力、变形以及工艺参数和力能参数等,实现对产品质量和性能的客观评价,为产品技术参数优化提供基础数据。例如,对齿轮传动系统,要做承载能力、传动精确度、运行噪声、振动机械效率和寿命等性能试验。再者,为了评价所设计汽车车架的强度与寿命,需要测定汽车所承受的随机载荷和车架的应力、应变分布。

2) 质量控制和生产监督

测试技术是质量控制和生产监督的基本手段。在设备运行和环境监测中,人们经常需要测量设备的振动和噪声,分析振动源及其传播途径,进行有效的生产监督,以便采取有效的减振、防噪措施;在工业自动化生产中,人们通过对工艺参数的测试和数据采集,可以实现对产品

质量的控制和生产监督。例如,为了消除机床在切削过程中刀架系统的颤振,以保证零件的加工精度与表面质量,需要测定机床的振动速度、加速度以及机械阻抗等动态特性参数。



3) 设备的状态监测和故障诊断

利用机器在运行或试验过程中出现的诸多现象,如温升、振动、噪声、应力变化、润滑油状态来分析、推测和判断设备的状态,同样运用故障诊断技术可以实现故障的精确定位和故障分析。例如,设备振动和噪声会严重降低工作效率并危害健康,因此需要现场实测各种设备的振动和噪声,分析振动源和振动传播的路径,以便采取合理的减振、隔振等措施。

1.2 机械测试技术的主要知识与内容

测试技术是人们借以认识客观对象的本质,并掌握其内在联系和变化规律的一种科学方法。在测试过程中,人们需要选用专门的仪器设备,设计合理的试验系统并进行必要的数据处理,从而获得被测对象的有关信息。

测试信息总是蕴含在表征某些物理量的信号之中,信号是测试信息的载体。在机械工程测试中,某些信息是可以直接检测的,而有些信息却是不容易直接检测的,只有通过信号的分析处理才能获得。还有一些信息在一些状态下可能没有显示出来,要测量这些特性参量时,需要激励该系统,使其处于能够充分显示这些参量特性的状态中,以便有效地检测载有此信息的信号。例如,机床主轴内轴承的温升,可以通过温度传感器直接进行检测。而如果想知道该温升所造成的主轴多方向的热变形,则一般需要通过主轴结构的传热机理进行分析与计算获得。如果进一步希望掌握主轴在不同切削工艺参数情况下的动力学特性,则需要通过力锤的脉冲激励,测得其振动响应情况,确定主轴结构的固有频率、阻尼、振型等动态特性参数,结合主轴转速、刀具参数等分析主轴在不同切削工艺参数情况下的稳定性。

为了说明机械工程测试技术所包含的主要知识与内容,以下结合机床主轴的径向跳动测试实例进行论述。通过由位移传感器所组成的机床主轴径向跳动测试系统,可以获得主轴在某一方向的径向跳动信息。但是,如果提出更深入的问题:主轴的径向跳动对工件的质量会产生怎样的影响?如果主轴的径向跳动超过了标准,是什么原因引起的?是主轴本身的弯曲、轴承的质量、轴承的外圈或内圈,还是轴承的滚珠引起的?诸如此类的问题,只有通过信号检测与分析才可以得到解答。人们也可以通过测量机床主轴的跳动、机床的噪声、机床的振动等信号获得机床运行状态的信息,诊断机床主轴径向跳动超标的故障原因。

通过以上测试任务的分析可以发现,要完成一次科学的测试,需要掌握多方面的知识。机械工程测试技术的主要知识与内容包括以下几个方面:

1) 测量传感器的选用知识

传感器是可将被测量转换成某种电信号的器件,不同性质的被测对象用不同的原理去测量,同一性质的被测对象亦可用不同的原理去测量。例如,测量位移既可用激光传感器,也可使用电涡流传感器。技术人员须根据测量任务的具体要求和现场的实际情况,综合考虑传感器的动态性能、精度以及对使用环境的要求等多种因素,正确地选用传感器。通过学习、掌握传感器的原理及特点,有助于正确选用与使用传感器。

2) 测量装置的基本特性

测量的目的是在测量误差满足精度的条件下,获得被测物理量的测量值。由于测量系统特性的影响,信号经过测量系统传递与转换后,会出现测量失真。为了掌握测量系统哪些环节

能够产生测量误差,如何减小以致消除这些误差,必须了解测试系统的基本特性。

3) 信号处理与分析

在测试中所获得的各种动态信号包含着丰富的有用信息,信号的分析与处理过程就是对测试信号进行去伪存真、排除干扰从而获得所需的有用信息的过程。实际过程中测试的任务千变万化,信号处理与分析的方法也多种多样。测试信号的物理特性是千差万别的,但按其变化的特点来看可以分为两类:第一类是确定性信号,这类信号可以表示为确定的时间函数,可确定其任何时刻的量值。例如,正弦函数所描述的交流电信号。第二类是随机信号,这种信号波形的变化没有规则,在无限长时间内波形不会出现重复。然而随机信号的许多统计特征量却往往是相对稳定的,或做有规律的变化。实际工程中多数测试信号为随机信号,因此随机信号的处理与分析是测试技术的重要内容。

1.3 本课程学习内容及其所能够解决的问题

测试技术是一门综合性技术。现代测试系统常常是机电一体化,软硬件相结合的自动化、智能化系统。它涉及传感技术、微电子技术、控制技术、计算机技术、信号处理技术、精密机械设计理论等众多技术领域。但从课程学习的角度,机械工程测试技术属于高等学校机械工程有关专业的一门技术基础课。通过学习本课程,学生能学会较正确地选用测试装置并初步掌握进行动态测试所需要的基本知识和技能。本书所论述的内容主要是机械工程测试技术的基本理论与方法,所学习的内容主要包括:

- (1) 测试技术的基本理论,包括信号的时域和频域的描述方法、随机信号分析方法,以及数字信号分析与处理的基本知识;
- (2) 机械工程常用传感器的工作原理和性能,及传感器的正确选用方法;
- (3) 测试装置静态、动态特性的评价方法,及其应用于测试装置的分析 and 选择的方法;
- (4) 测试技术中计算机数据采集的基本知识;
- (5) 机械工程测试技术的基本理论在工程中应用的基本知识。

总之,本书所介绍的内容主要是为从事机械测试技术的人员提供一些动态测试的基本概念与方法。

测量信号及其描述方法

◎ 学习成果达成要求

测试信息总是蕴涵在表征某些物理量的信号之中,信号是测试信息的载体。为了从测量信号中获取有用信息的技术,需要学习测量信号及其描述方法。

学生应达成的能力要求包括:

1. 能够开展信号的频域描述与分析。
2. 能够初步分析随机测量信号的特征参数,并对随机测量信号进行描述。

测量信号中携带着人们所需要的有用信息。对信号进行分析,其目的是通过对信号的数学变换,改变信号的形式,以便识别、提取信号中有用的信息。把时域信号经过一定的数学处理,变换到频域上来描述,即进行频谱分析,是最常用的信号分析方法。测试过程就是信号的采集、分析、处理、显示和记录的过程,为了掌握由测量信号中获取有用信息的技术,需要学习测量信号及其描述方法。

2.1 测量信号的分类

对实际信号,可以从不同的角度、不同的特征以及不同的使用目的对其进行分类。

2.1.1 确定性信号和非确定性信号

1) 确定性信号

能用确定的数学关系式来表达的信号称为确定性信号。例如集中质量的单自由度振动系统做无阻尼自由振动时的位移就是确定性信号。

2) 非确定性信号

不能用确定的数学关系式来表达的信号称为非确定性信号。例如汽车在行驶过程中的振动、随风摆动的树叶的振动、海浪的高低等,其幅值的大小、最大幅值出现的时间等均无法由公式来计算、预测,就是实际测量的结果每次也不相同,这种性质称为“随机性”,故也称这种非确定性信号为随机信号。

2.1.2 周期信号和非周期信号

确定性信号又可以分为周期信号和非周期信号。

1) 周期信号

若一个随时间变化的信号 $x(t)$, 当满足关系式

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

时,称 $x(t)$ 为周期信号。

式中, T 为周期信号的周期(单位: s); n 为周期信号的整周期数, $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ 。

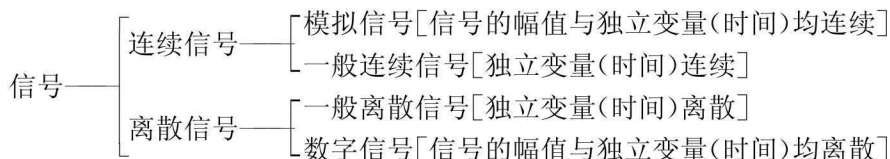
2) 非周期信号

能用确定的数学关系式表达,但取值不具有周期性的信号称为非周期信号。指数信号、阶跃信号等都是非周期信号。

2.1.3 模拟信号和数字信号

随着计算机技术的发展与应用,也可以从另一个角度把信号分为模拟信号和数字信号。

按信号的取值特征,即根据信号的幅值及其自变量(即时间 t)是连续的还是离散的,可将信号分成连续信号和离散信号两大类,具体如下:



根据信号的取值在时间上是否是连续的(不考虑个别不连续点),可以将信号分为时间连续信号和时间离散信号。如果信号在所讨论的时间段内的任意时间点都有确定的函数值,则称此类信号为时间连续信号,简称连续信号。连续信号的函数值可以是连续的,也可以是离散的,如图 2-1 所示。实际系统中存在的绝大多数物理过程或物理量,都是在时间上和幅值上连续的量。对这些连续量,称为模拟信号。离散信号是在连续信号上采样得到的信号。离散信号虽然在时间上是离散的,但在幅值上还是连续的,如图 2-2 所示。如果进一步通过模数(A/D)转换器,把幅值上连续的离散信号变换成数码(例如二进制码)的形式,这个过程就称为量化过程。时间上离散化、幅值上整量化的信号,称为数字信号。显然,数字信号是离散信号的一种特殊形式。

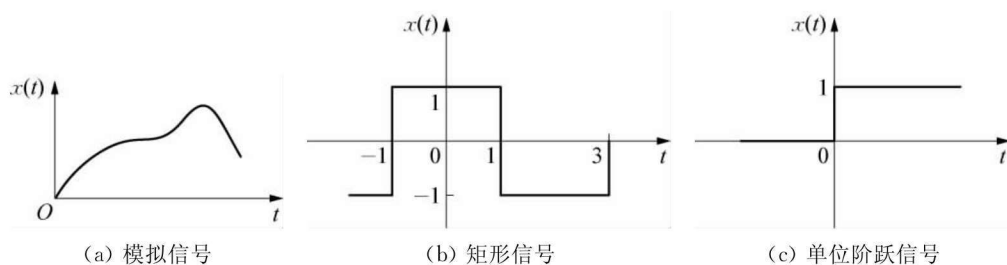


图 2-1 连续信号

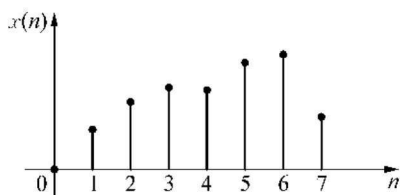


图 2-2 离散信号