



全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

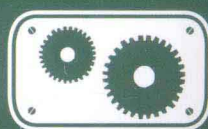
丛书顾问 李培根 林萍华

工程测试技术

马怀祥 王艳颖 刘念聪 主编



ENGINEERING TESTING TECHNOLOGY



JIXIELEI SHIYERWU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国普通高等学校机械类“十二五”规划

工程测试技术

主 编	马怀祥	王艳颖	刘念聪	
副主编	赖桂文	王 平	杨明伦	蒋全胜
	戴立勋	化建宁	孙立瑛	

华中科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要讲述与工程相关的测试技术的基本概念、基础理论和应用技术。全书共分为十一章,内容包括绪论,信号的描述及其频谱分析,测试系统的基本特性,常用传感器,测试信号的调理及记录,随机信号分析,位移、速度测量,振动测试,应变、力与扭矩的测量,流体参量的测量,计算机测试系统与虚拟仪器。每章后附有思考题与习题。

本书可作为高等院校的机械、仪器、测控和自动化等专业学生学习测试技术的教科书,也可供有关科技和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测试技术/马怀祥,王艳颖,刘念聪 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.8
全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材
ISBN 978-7-5609-9323-2

I. ①工… II. ①马… ②王… ③刘… III. ①工程测试—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 193483 号

工程测试技术

马怀祥 王艳颖 刘念聪 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:周忠强

封面设计:范翠璇

责任校对:朱霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:湖北翰之林传媒有限公司

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:18.25

字 数:455千字

版 次:2014年2月第1版第1次印刷

定 价:36.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

编审委员会

顾问：李培根 华中科技大学

林萍华 华中科技大学

主任：吴昌林 华中科技大学

副主任：（按姓氏笔画顺序排列）

王生武 邓效忠 轧 刚 庄哲峰 吴 波 何岭松

陈 炜 杨家军 杨 萍 竺志超 高中庸 谢 军

委员：（排名不分先后）

许良元 程荣龙 曹建国 郭克希 朱贤华 贾卫平

丁晓非 张生芳 董 欣 庄哲峰 蔡业彬 许泽银

许德璋 叶大鹏 李耀刚 耿 铁 邓效忠 宫爱红

成经平 刘 政 王连弟 张庐陵 张建国 郭润兰

张永贵 胡世军 汪建新 李 岚 杨术明 杨树川

李长河 马晓丽 刘小健 汤学华 孙桓五 聂秋根

赵 坚 马 光 梅顺齐 蔡安江 刘俊卿 龚曙光

吴凤和 李 忠 罗国富 张 鹏 张鬲君 柴保明

孙 未 何 庆 李 理 孙文磊 李文星 杨咸启

秘 书：

俞道凯 万亚军

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

序

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期,是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期,也是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的关键五年。教育改革与发展面临着前所未有的机遇和挑战。以加快转变经济发展方式为主线,推进经济结构战略性调整、建立现代产业体系,推进资源节约型、环境友好型社会建设,迫切需要进一步提高劳动者素质,调整人才培养结构,增加应用型、技能型、复合型人才的供给。同时,当今世界处在大发展、大调整、大变革时期,为了迎接日益加剧的全球人才、科技和教育竞争,迫切需要全面提高教育质量,加快拔尖创新人才的培养,提高高等学校的自主创新能力,推动“中国制造”向“中国创造”转变。

为此,近年来教育部先后印发了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》(教高[2011]1号)、《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高[2011]5号)、《关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高[2011]6号)、《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高[2012]4号)等指导性意见,对全国高校本科教学改革和发展方向提出了明确的要求。在上述大背景下,教育部高等学校机械学科教学指导委员会根据教育部高教司的统一部署,先后起草了《普通高等学校本科专业目录机械类专业教学规范》、《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,加强教学内容和课程体系改革的研究,对高校机械类专业和课程教学进行指导。

为了贯彻落实教育规划纲要和教育部文件精神,满足各高校高素质应用型高级专门人才培养要求,根据《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件精神,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,联合一批机械学科办学实力强的高等学校、部分机械特色专业突出的学校和教学指导委员会委员、国家级教学团队负责人、国家级教学名师组成编委会,邀请来自全国高校机械学科教学一线的教师组织编写全国普通高等学校机械

类“十二五”规划系列教材,将为提高高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。

当前,经济社会的发展,对高校的人才培养质量提出了更高的要求。该套教材在编写中,应着力构建满足机械工程师后备人才培养要求的教材体系,以机械工程知识和能力的培养为根本,与企业对机械工程师的能力目标紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性,把握行业人才要求,突出工程教育特色。同时,注意吸收教学指导委员会教学内容和课程体系改革的研究成果,根据教学指导委员会颁布的各课程教学专业规范要求编写,开发教材配套资源(习题、课程设计和实践教材及数字化学习资源),适应新时期教学需要。

教材建设是高校教学中的基础性工作,是一项长期的工作,需要不断吸取人才培养模式和教学改革成果,吸取学科和行业的新知识、新技术、新成果。本套教材的编写出版只是近年来各参与学校教学改革的初步总结,还需要各位专家、同行提出宝贵意见,以进一步修订、完善,不断提高教材质量。

谨为之序。

国家级教学名师

华中科技大学教授、博导

2012年8月



前 言

本书是根据全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材的要求编写的工程测试技术教材。

全书共分为十一章,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:绪论,信号的描述及其频谱分析,测试系统的基本特性,常用传感器,测试信号的调理及记录,随机信号分析等。后五章以工程应用为主,介绍工程实用测试技术,阐述了工程中典型物理量(如位移、速度、振动、应变、力、扭矩、压力、流量等)的测试方法及计算机测试系统的组成和虚拟仪器等。考虑到各专业的教学要求,后五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,并把典型案例贯穿整个理论教学和实验教学的全过程,强化工程实际应用,加强工程背景以及培养学生的创新能力和工程实践能力,反映工程测试技术领域的新发展、新知识。

本书各章配有学习目的和本章小结,各章后还附有思考题与习题,有利于学生把握学习要求及复习巩固所学知识,提高学生分析和解决问题的能力。

本书适合于普通高等院校机械类、近机械类各专业测试技术课程使用,同时可供有关工程技术人员参考。

本书由石家庄铁道大学马怀祥编写第1章绪论和第10章流体参量的测量,成都理工大学刘念聪编写第2章信号的描述及其频谱分析,大连大学王艳颖编写第3章测试系统的基本特性,甘肃农业大学戴立勋编写第4章常用传感器,天津城建大学孙立瑛编写第5章测试信号的调理及记录,厦门理工学院赖桂文编写第6章随机信号分析,安徽巢湖学院蒋全胜编写第7章位移、速度测量,南阳理工学院王平编写第8章振动测试,东北大学秦皇岛分校化建宁编写第9章应变、力与扭矩的测量,重庆工商大学杨明伦编写第11章计算机测试系统与虚拟仪器。全书由马怀祥、王艳颖、刘念聪任主编,由马怀祥教授对全书统稿。

在编写本书过程中,参阅了书后所列的许多文献,从中受益匪浅,在此特向有关作者深表谢意。本教材的主编之一刘念聪教授,得到了成都理工大学优秀创新团队培育计划(编号:KYTD201301)的支持。

由于编者水平所限,书中难免有不妥和错误之处,敬请同行和广大读者不吝指教。

编 者

2013.12.10

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 测试技术的重要性	(1)
1.2 测试系统的一般组成	(2)
1.3 测试技术的发展趋势	(4)
1.4 课程性质和要求	(4)
第 2 章 信号的描述及其频谱分析	(6)
2.1 信号的分类与描述	(6)
2.2 周期信号与离散频谱	(13)
2.3 瞬态信号与连续频谱	(18)
2.4 离散傅里叶变换	(31)
思考题与习题	(41)
第 3 章 测试系统的基本特性	(43)
3.1 概述	(43)
3.2 测试系统的标定	(48)
3.3 测试系统的静态特性	(49)
3.4 测试系统的动态特性	(54)
3.5 不失真测试的条件	(66)
3.6 测试系统的负载效应和干扰	(67)
思考题与习题	(71)
第 4 章 常用传感器	(73)
4.1 概述	(73)
4.2 机械式传感器	(75)
4.3 电阻式传感器	(77)
4.4 电容式传感器	(84)
4.5 电感式传感器	(90)
4.6 磁电式传感器	(100)
4.7 霍尔式传感器	(105)
4.8 压电式传感器	(112)
4.9 热电式传感器	(119)
4.10 光电式传感器	(130)
4.11 新型半导体传感器	(137)
4.12 数字式传感器	(144)
4.13 传感器的选用	(148)
思考题与习题	(150)

第5章 测试信号的调理及记录	(151)
5.1 概述	(151)
5.2 电桥	(151)
5.3 滤波器	(157)
5.4 调制与解调	(166)
5.5 信号的显示、记录与存储	(172)
思考题与习题	(178)
第6章 随机信号分析	(180)
6.1 随机信号的基本概念	(180)
6.2 幅值域分析	(182)
6.3 相关分析及其应用	(184)
6.4 功率谱分析及其应用	(192)
思考题与习题	(197)
第7章 位移、速度测量	(198)
7.1 概述	(198)
7.2 位移测量	(198)
7.3 速度测量	(204)
思考题与习题	(208)
第8章 振动测试	(209)
8.1 振动基本知识	(209)
8.2 振动测试传感器	(214)
8.3 振动测试系统及其标定	(218)
8.4 激振试验设备及振动信号分析	(219)
8.5 振动测试实例	(224)
思考题与习题	(229)
第9章 应变、力与扭矩的测量	(230)
9.1 应变与应力的测量	(230)
9.2 力的测量	(235)
9.3 扭矩的测量	(240)
思考题与习题	(244)
第10章 流体参量的测量	(245)
10.1 压力的测量	(245)
10.2 流量的测量	(255)
思考题与习题	(266)
第11章 计算机测试系统与虚拟仪器	(267)
11.1 计算机测试系统	(267)
11.2 虚拟仪器	(270)
思考题与习题	(277)
参考文献	(278)

第 1 章 绪 论

1.1 测试技术的重要性

1.1.1 测试的基本概念

测量是指以确定被测对象的量值为目的的全部操作;计量是指实现单位统一和量值准确可靠的测量;试验是指对迄今未知事物的探索性认识过程,是指对被研究对象或系统进行实验性研究的过程,通常是将研究对象或系统置于某种特定的或人为构建的环境条件下,通过实验数据来探讨研究对象性能的过程;测试是指具有试验性质的测量,或者可理解为测量和试验的综合,是依靠一定的科学技术手段来定量地获取某种研究对象原始信息的过程。

1.1.2 测试技术的重要性

测试是人类认识自然、掌握自然规律的实践途径之一,是科学研究中获得感性材料和接受自然信息的途径,是形成、发展和检验自然科学理论的实践基础。测试技术主要研究各种物理量的测量原理和测试信号的分析处理方法。

测试技术是进行各种科学实验研究和生产过程参数检测等必不可少的手段,它起着类似人的感觉器官的作用。通过测试可以揭示事物的内在联系和发展规律,从而去利用它和改造它,推动科学技术的发展。科学技术的发展历史表明,科学上很多新的发现和突破都是以测试为基础的。同时,其他领域科学技术的发展和进步又为测试提供了新的方法和装备,促进了测试技术的发展。

在工程技术领域中,产品开发、工程研究、生产监督、过程控制、质量检验和性能试验等,都离不开测试技术。工程技术中广泛应用的自动控制技术也与测试技术有着密切的关系。测试装置是自动控制系统中的感觉器官和信息来源,对确保自动化系统的正常运行起着重要作用。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,并且是测控系统的首要环节。

测试技术几乎涉及任何一项工程领域,无论是生物、海洋、气象、地质、通信领域,还是机械、电子等工程领域,都离不开测试与信息处理。在日常生活中,随处可见测试技术应用的例子,如空调、电冰箱中的温度测量和压缩机启/停控制装置,洗衣机中的液位测量和电动机启/停控制装置等。

下面是测试技术几个典型的应用领域。

1. 产品质量测量

在汽车、机床等设备中,电动机、发动机等零部件出厂时,必须对其性能质量进行测量和出厂检验。例如,发动机测量参数包括润滑油温度、冷却水温度、润滑油压力、燃油压力及转速等。

2. 设备运行状态监控系统

在电力、冶金、石化、化工等众多行业中,某些关键设备的工作状态关系到整个生产线的正常流程,如汽轮机、燃气轮机、水轮机、发电机、电动机、压缩机、风机、泵、变速箱等的工作状态。对这些关键设备运行状态实施 24 小时实时动态监测,可以及时、准确地掌握它们的变化趋势,为工程技术人员提供详细、全面的机组信息,是实现设备事后维修或定期维修向预测维修转变的基础。国内外大量实践表明,机组某些重要测点的振动信号非常真实地反映了机组的运行状态。由于机组绝大部分故障都有一个渐进发展的过程,通过监测振动总量级的变化过程,完全可以及时预测设备故障的发生。结合其他综合监测信息(如温度、压力、流量等),运用精密故障诊断技术甚至可以分析出故障发生的位置,为设备维修提供可靠依据,将因设备故障维修带来的损失降到最低程度。

3. 家电产品中的传感器

在家电产品设计中,人们大量应用了传感器和测试技术来提高产品的性能和质量。例如,全自动洗衣机以人们洗衣操作的经验作为模糊控制的依据,应用多种传感器将洗衣状态信息检测出来,并将这些信息送到微电脑中,经微电脑处理后,选择出最佳的洗涤参数,对洗衣全过程进行自动控制,达到最佳的洗涤效果。

(1) 利用衣量传感器来检测洗衣时衣物量的多少,从而决定设定水位的高低。

(2) 利用衣质传感器来检测衣物重量、织物种类,从而决定最优洗涤温度和洗涤时间。

(3) 利用水温传感器来检测开机时的环境温度和注水结束时的水温,为模糊推论提供信息。

(4) 利用水质传感器来检测水的硬度,进而决定添加洗衣粉的量,以期达到最佳洗涤效果。

(5) 利用光电传感器来检测洗涤液的透光率,从而间接检测洗净程度。

(6) 利用光电传感器监测漂洗过程中肥皂沫的变化,从而决定漂洗的次数。

(7) 利用半导体传感器监测干衣过程中衣物电阻值的变化,从而决定烘干时间。这与传统的定时烘干相比,更具灵活性。

(8) 利用压力传感器实现电信号与机械力信号的相互转换,实现无级调水,从而达到省水、省电的目的。

4. 楼宇自动化

某公司楼宇自动化系统分为电源管理、安全检测、照明控制、空调、停车管理、水/废水管理和电梯监控等七个子系统。每个系统都离不开测试技术。

有人用以下描述来总结测试技术的地位和作用:测试技术是工业生产的倍增器、科学研究中的先行官、社会生活中的“物化法官”,在军事上可大大提高战斗力,测试技术的应用领域涵盖了“吃穿用、农轻重、海陆空”。

1.2 测试系统的一般组成

测试工作的具体任务是解决如何获取有关研究对象的状态、运动和特性等方面的信息的问题。例如,弹簧在外力作用下产生变形的测量;一个回转圆盘不平衡量的大小及其分布信息的测量;机械系统动态特性的测试,等等。

不同测试系统的具体形式及组成会不一样,但从功能及目的来说其基本环节都是一样

的。一般来说,测试系统由传感器、中间变换装置和显示记录装置三部分组成,测试系统的组成框图如图 1.1 所示。

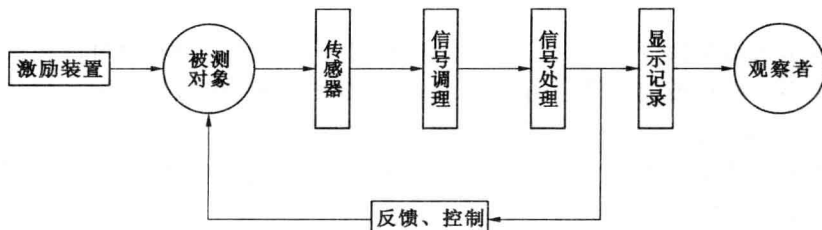


图 1.1 测试系统的组成框图

测试过程中,传感器将反映被测对象特性的物理量(如压力、加速度、温度等)检出并转换为电量,然后传输给中间变换装置;中间变换装置对接收到的电信号用硬件电路进行分析处理或经 A/D 转换后用软件进行计算,再将处理结果以电信号或数字信号的方式传输给显示记录装置;最后由显示记录装置将测量结果显示出来,提供给观察者或其他自动控制装置。

(1) 测试系统的第一个环节是传感器。

传感器是能感受被测对象并按照一定规律将其转换成可用以输出的信号的器件或装置。现今常用的传感器是将被测信号转换成某种电信号的器件。它包括敏感器和转换器两部分。敏感器一般是将被测量(如温度、压力、位移、振动、噪声、流量等)转换成某种容易检测的信号,而转换器则是将这种信号变成某种易于传输、记录和处理的电信号。

(2) 信号的调理和转换是测试系统的重要环节。

信号的调理环节是将来自传感器的信号转换成更适合于进一步传输和处理的形式。这种信号的转换,多数是电信号之间的转换,如幅值放大,将阻抗的变化转换成电压的变化或频率的变化等。被测物理量经传感器输出的信号通常是很微弱的信号,或者是非电压信号,如电阻、电感、电容或电荷、电流等参量,这些微弱信号或非电压信号往往不能直接用于仪表显示或数据传输和处理,而且有些信号本身还携带噪声。因此,经传感器输出的信号一般要根据具体要求进行信号幅值、传输特性及抗干扰能力等特性的调理,将信号转换成更便于处理、接收和显示的形式,方便后续环节的处理。

(3) 信号处理环节是对来自信号调理环节的信号进行各种运算和分析。

为了某些特定的目的,将需研究的信息以各种技术手段表达出来,这种对信息的表达形式称为信号。因此,信号是某一特定信息的载体,在测试过程中,需要对测试信号进行分析及处理,才能获得信息。

信号分析常用的方法是将复杂信号分解为若干简单信号分量的叠加,并根据这些分量的组成情况去考察信号的特性,从而使复杂问题简单化。

信号分析的最基本方法:把频率作为信号的自变量,在频域里进行信号的频谱分析,研究信号的幅频特性和相频特性。如在动态测试过程中,需对被测信号进行频谱分析,以确定所选传感器的频率响应范围。

信号处理是指对信号进行某种加工变换或运算(如滤波、变换、增强、压缩、估计、识别等),来获取信息或将之转换成人们希望的另一种信号形式。信号处理包括时域处理和频域处理两部分。如采用模拟低通滤波器对加速度传感器输出的振动信号进行滤波,可以避免信号混叠现象的发生。

(4) 信号的指示与记录装置是测试系统的最终环节。

信号显示、记录环节是将来自信号处理环节的信号,以观察者易于观察和分析的形式来显示或存储。

信号的显示记录仪器可以记录被测信号幅值随时间变化的历程,也可以记录两个物理量之间的函数关系。根据被记录信号的类型,显示记录仪可分为模拟信号记录仪和数字信号记录仪;根据记录介质,可分为显示记录仪(如光线示波器等)和隐式记录仪(如磁带机等);根据被记录信号的频率变化范围,又可分为低速记录仪(如笔式记录仪等)、中速记录仪(如光线示波器等)和高速记录仪(如磁带机等)。

(5) 反馈、控制环节主要用于闭环控制系统中的测试系统。

1.3 测试技术的发展趋势

工程技术的发展日新月异,测试技术应该适应这种发展。根据工程技术发展的要求及测试技术自身的发展规律,不断拓展新的测量原理和测试方法,以及测试信息处理技术。具体体现在如下几个方面。

1. 高灵敏度、高精度、宽量程和多功能测量仪器

测量仪器及整个测量系统精度的提高,使测得数据的可信度也相应提高。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。

2. 高性能、微型、智能传感器

随着新材料技术的发展,高分子材料、金属氧化物、超导体与半导体结合材料、非晶半导体、超微粒陶瓷、记忆合金、功能性薄膜等新型材料,将促成一批新型传感器的出现。光导纤维不仅可用来传输信号,而且可作为物性型传感器。另外由于微电子的发展可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”。

3. 计算机化智能测试系统

对大型设备的监测及进行大型综合性试验时,待测参数多,准备时间长,众多的数据依靠手工去处理,不仅精度低,处理周期也太长。采用以计算机为核心的自动测试系统,利用现代数据处理及信息处理技术,可以实现自动校准、自动修正、故障诊断、信号调理、多路采集、自动分析处理并能打印输出测试结果等功能。

4. 多系统的信息融合技术

多系统的信息融合是指对来自多个测量系统的数据进行多级别、多方面、多层次的处理,从而产生新的有意义的信息,而这种新信息是任何单一测量系统或传感器所无法获得的。多系统的信息融合技术在工业、交通、军事和金融领域有良好的应用前景。

1.4 课程性质和要求

本课程所研究的对象是工程动态测试中常用的传感器、信号调理电路及记录仪器的工作原理,测量装置基本特性的评价方法,测试信号的分析 and 处理,以及常用物理量的测量方法。

“工程测试技术”既是一门技术基础课,为后续课程的学习及实验教学提供技术基础和基本技能;又是一门专业课,该课程的知识可直接用于以后的科学研究及工程实际中。

学生在学完本课程后应具有下列几方面的知识。

(1) 掌握信号的时域和频域的描述方法,建立明确的信号的频谱结构的概念;掌握频谱分析的基本原理和方法;理解信号处理的基本方法,以及相关分析、功率谱分析的基本原理及其应用;掌握数字信号分析中的一些基本概念。

(2) 掌握测试装置基本特性的评价方法和不失真测试条件,并能正确地运用于测试装置的分析 and 选择;掌握一阶、二阶线性系统动态特性及其测定方法。

(3) 理解常用传感器、信号调理电路和记录显示设备的工作原理和性能,并能依据测试要求进行合理选择。

(4) 对动态测试工作的基本问题有一个比较完整的概念,对机械工程中某些参量的测试能正确地确定测试方法,并能选用合适的测试系统。

第2章 信号的描述及其频谱分析

【学习目的】

- (1) 熟练掌握信号分类、时域描述与频域描述的含义；
- (2) 熟练掌握周期信号与傅里叶级数，并理解周期信号的离散频谱及其特点；
- (3) 掌握周期信号的强度表达参数；
- (4) 熟练掌握非周期信号与傅里叶变换，并理解非周期信号的连续频谱；
- (5) 掌握傅里叶变换的主要性质；
- (6) 了解离散傅里叶变换的基本思想；
- (7) 理解离散傅里叶变换中的几个基本问题。

在生产实践和科学实验中，需要观测大量的现象及其参量的变化。这些变化量一般是通过测量装置变成容易测量、记录（显示）和分析的电信号。通过分析这些信号，人类可以获得被测系统的状态或特性的某些有用信息。从这个意义上讲，测试的最终目的就是获取有用信息。这里出现了信号和信息两个概念，那么两者存在着什么关系呢？

对于信息，一般也称为消息、情报或知识。从物理学观点出发来考虑，信息不是物质，也不具备能量，但它却是物质所固有的，是其客观存在或运动状态的特征。信息可以理解为是事物的运动状态和方式。信息和物质、能量一样，是人类不可缺少的一种资源。

信息虽然本身不是物质，不具有能量，但信息的传输却依靠物质和能量。一般来说，传输信息的载体称为信号，信息蕴含于信号之中。例如，古代的烽火，人们观察到的是光信号，而它所蕴含的信息则是“外敌入侵”。对于交通信号灯，交通红绿灯是信号，它传递的信息是：红——停止，绿——通行，黄——注意。

由上可见，信号具有能量，是某种具体的物理量。信号的变化则反映了其所携带的信息的变化。所以测试工作的关键就演变为信号的获取、调理和分析。深入了解信号及其描述是工程测试的基础。

2.1 信号的分类与描述

2.1.1 信号的分类

为了深入了解信号的物理性质，讨论信号的分类是非常必要的。下面讨论几种常见的信号分类方法。

1. 从信号描述上分类

根据信号随时间的变化规律，可把信号分为确定性信号和随机信号，如图 2.1 所示。

1) 确定性信号

能用明确的数学关系式描述其随时间变化关系的信号称为确定性信号。确定性信号又

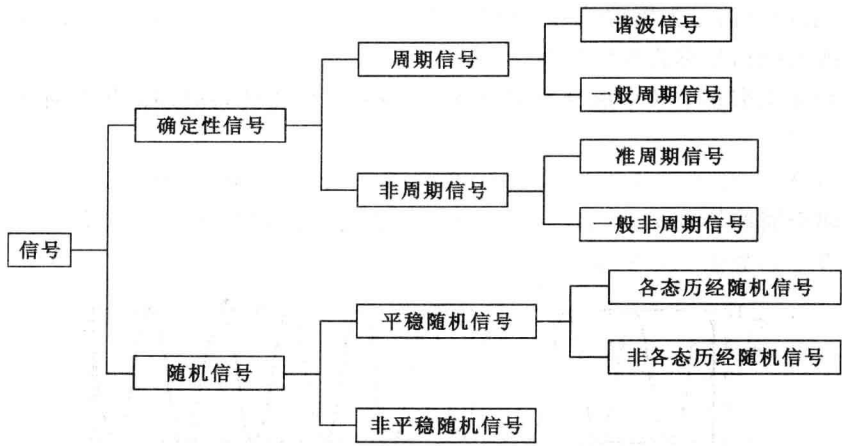


图 2.1 信号分类

可分为周期信号和非周期信号。按一定时间间隔周而复始出现的信号称为周期信号，否则称为非周期信号。

(1) 周期信号 周期信号的数学表达式为

$$x(t) = x(t + nT_0) \tag{2.1}$$

式中： T_0 为信号的周期； $n = \pm 1, \pm 2, \dots$ 。

图 2.2 所示的是周期为 T_0 的三角波信号和方波信号。

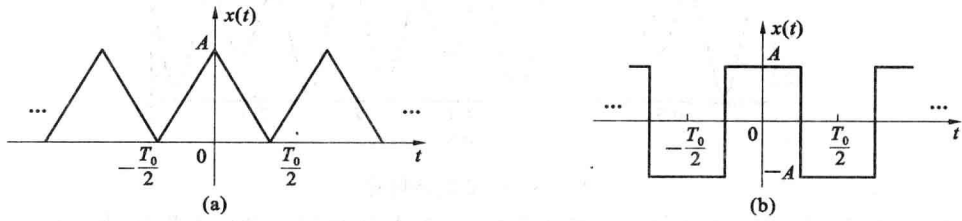


图 2.2 周期信号

(a) 三角波 (b) 方波

如图 2.3 所示，一个单自由度无阻尼质量-弹簧振动系统的位移信号 $x(t)$ 可表示为

$$x(t) = X_0 \cos\left(t\sqrt{\frac{k}{m}} + \phi_0\right) \tag{2.2}$$

式中： X_0 为初始幅值； k 为弹簧刚度； m 为质量； t 为时间； ϕ_0 为初相角。

该信号用图形表达如图 2.4 所示，其中，横坐标为独立变量 t ，纵坐标为因变量 $x(t)$ ，这种图形称为信号的波形。

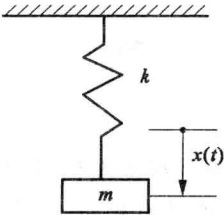


图 2.3 无阻尼质量-弹簧振动系统

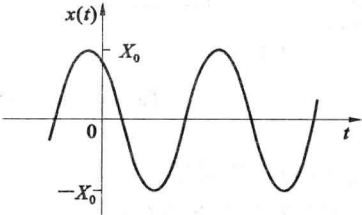


图 2.4 正弦信号的波形图

式(2.2)表示的信号为周期信号,其角频率为 $\omega_0 = \sqrt{k/m}$,周期为 $T_0 = 2\pi/\omega_0$ 。这种频率单一的正弦或余弦信号称为谐波信号。

由多个乃至无穷多个频率成分叠加而成,叠加后仍存在公共周期的信号称为一般周期信号,如

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) = 10\sin(2\pi \times 3t + \pi/6) + 5\sin(2\pi \times 2t + \pi/3) \quad (2.3)$$

$x(t)$ 由两个周期信号 $x_1(t)$ 、 $x_2(t)$ 叠加而成,其周期分别为 $T_1 = 1/3$ 、 $T_2 = 1/2$,叠加后信号的周期为 $T=1$,如图2.5所示。

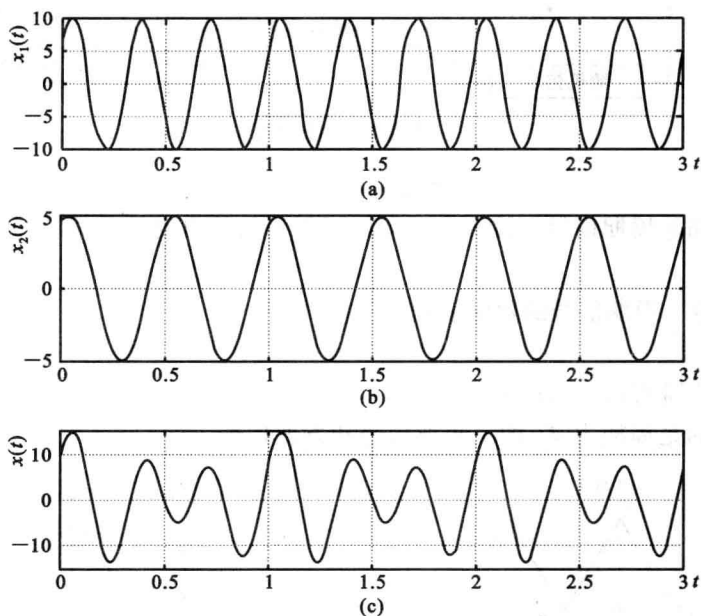


图 2.5 一般周期信号

又如,在机械系统中,回转体不平衡引起的振动,往往也是一种周期性运动。图2.6(b)所示的为某钢厂减速机上测点处所测得的振动信号波形,可近似地看成是一般周期信号。

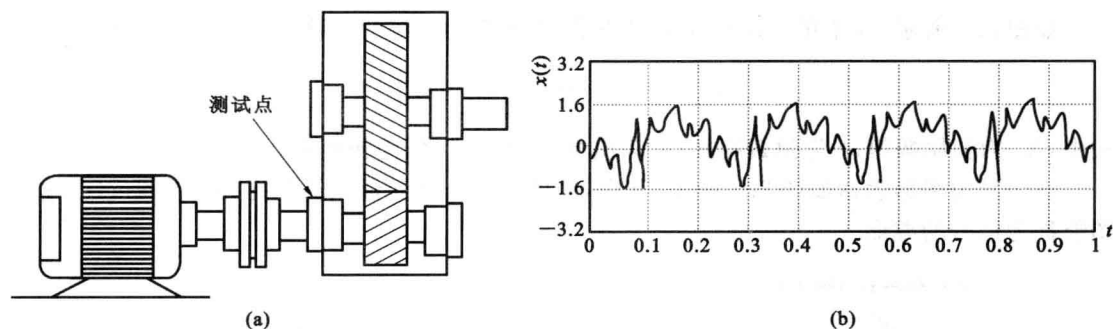


图 2.6 某钢厂减速机振动测试信号

(a) 测点布置图 (b) 测点处的振动信号波形

(2) 非周期信号 非周期信号是不会重复出现的信号,可分为准周期信号和一般非周期信号。由有限个周期信号成分叠加,但其中至少有一对频率比不是有理数,这类信号称为准周期信号。准周期信号是处于周期与非周期的一种边缘情况,为非周期信号的特例。如