

第1章 绪论

1.1 现代测试技术的发展与现状

测试技术是指测试过程中所涉及的测试理论、测试方法、测试设备等。随着科学技术的发展,测试理论不断提高,测试方法不断更新,测试设备不断升级。测试是科学研究的基本方法,其基本任务是获取有用的信息,是表达与验证科学理论与规律的有效手段。测试技术与计算机技术、通信技术并称为三大信息技术。在工程领域中测试技术至关重要,新工艺、新产品离不开测试,同时对一些老旧的大型机械设备的故障诊断、寿命预测等也需要测试,装备系统越先进、自动化程度越高,对测试技术的要求就越高,由此带来的测量成本也在增加,目前测量成本已达到装备成本的 50%~70%。测试应用的领域涉及现代大工业生产、基础学科研究、宇宙开发、海洋探测、军事国防、环境保护、资源调查、医学诊断等。

测量和测试技术(measurement and test technique)统称为测试技术。测量(measurement)是指以确定被测对象的量值为目的而进行的实验过程,测试是具有试验性质的测量,如果测量涉及实现单位统一和量值准确可靠则被称为计量。因此研究测量、保证测量统一和准确的科学被称为计量学(metrology)。同时由于测试与测量技术紧密相连,本书不严格区分测量与测试,统称为测试。测试系统的一般构成如图 1-1 所示,测试系统中每一个环节的知识要点如图 1-2 所示。

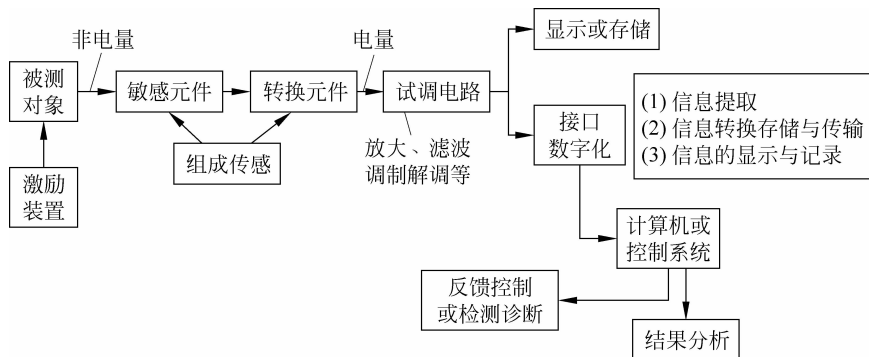


图 1-1 测试系统的构成

测试可分为动态测试和静态测试。动态测试是指被测试的物理参数随时间变化而变化的测试,如测试运动中的火车速度。静态测试是指被测试的物理参数不随时间变化的测试,

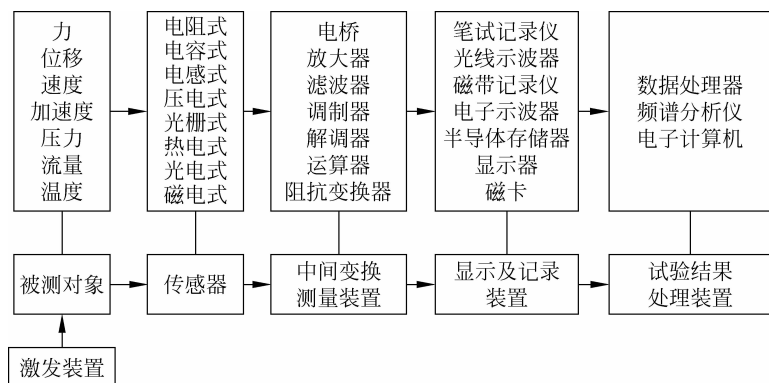


图 1-2 测试各个环节的知识点

如测试被加工过的零件尺寸的长度、宽度及高度。本书主要研究动态测试。

美国武器装备在试验与评定管理中,将试验与评定类型进行划分,其中最重要的两种是研制试验与评定、使用试验与评定。研制试验与评定是为验证工程设计和研制过程是否完备而进行的试验与评定,通过研制试验与评定以减小风险,验证和确定设计并确保产品已做好研制性验收准备。使用试验的重点是使用要求、效能和试应用,而不是像研制试验那样证明工程规范。通过对发达国家高新技术产业的研究开发经费和时间的统计分析,得出产品的测试费用、测试周期占产品研发费用和周期的 40% 左右,并保持上升趋势。因为,高新技术产品与传统产品的一个重要区别在于:高新科技产品越来越先进,而错误的含量也越来越高。因此,只有通过充分的测试与试验验证,才能有效地降低产品的错误含量,满足使用要求。因此,发达国家越来越重视试验、测试技术,并相应建立了许多专业实验室和工程技术中心,加大投资力度,赋予重要职责,带动产品的开发。由于试验技术主要针对产品特定要求而进行,如产品的研制性和使用性试验与评定技术的重要区域是寿命试验、设计评定/确认试验、设计极限试验、可靠性研制试验、可靠性可用性和维修性综合评估试验、早期使用评估试验、后续使用试验与评定、合格鉴定使用试验与评定等内容,这些均是针对特定产品在特定试验环境按一定试验方案,采用测试或度量设备、系统进行的研究过程。试验技术针对性强,范围广泛。

随着微电子技术、通信技术、计算机网络技术的发展,各种智能信访仪器、总线仪器、VXI 仪器、虚拟仪器以及新型智能传感器的相继出现进一步推动了现代测试技术的发展,其发展趋势主要表现在以下几个方面。

1. 现代传感器技术的发展趋势

现代传感器技术的发展趋势可以从四个方面分析与概括:一是新材料的开发与应用;二是实现传感器集成化、多功能化及智能化;三是实现传感技术硬件系统与元器件的微型化;四是通过传感器与其他学科的交叉整合,实现无线网络化。例如,美国霍尼尔公司的 ST-3000 型传感器是一种能够进行检测和信号处理的智能传感器,具有微处理器和存储器功能,可测试差压、静压及温度等。20 多年来,智能化传感器有了很大的发展。近年来,智能化传感器开始同人工智能相结合,创造出各种基于模糊推理、人工神经网络、专家系统等

人工智能技术的高度智能传感器,称为软传感器技术。它已经在家用电器方面得到应用,相信未来将会更加成熟。智能化传感器是传感器技术未来发展的主要方向,今后智能化传感器无疑将会进一步扩展到化学、电磁、光学和核物理等研究领域。

2. 计算机测试技术的发展

随着计算机技术的发展,测试系统中也越来越多地融入了计算机技术,出现了以计算机为中心的自动测试系统。这种系统既能实现对信号的检测,又能对所获得信号进行分析处理以求得有用信息,这就是计算机测试技术。其包括一般计算机测试系统、网络化测试系统、嵌入式测量系统、虚拟仪器等。

1.2 交通建设装备测试技术的基本内容

交通建设装备属于工程装备,常见的交通建设装备根据用途分为以下几类:挖掘机械、铲土运输机械、压实机械、桩工机械、起重机械、钢筋和预应力机械、混凝土机械、路面机械、装修机械等。在每一大类下,又可以进一步细分。

1. 压实机械

按照工作机构的作用原理不同,压实机械可分为以下几类。

(1) 碾压机械:是利用滚轮沿着被压实面往返滚动,借滚轮自重的静压力作用,使被压实层产生永久变形。碾压机械包括各种型号的光轮压路机、轮胎压路机、羊脚压路机及各种拖式压路滚等,它们广泛用于土方、砾石、碎石和沥青混凝土路面的压实作业中。

(2) 振动压实机械:是利用固定在物体上的激振器所产生的激振力,迫使被压实土料产生垂直强迫振动,急剧减小土壤颗粒间的内摩擦力,使颗粒靠近、密实度增加,从而达到压实的目的。振动压实的特点是其表面应力不大,过程时间短,加载频率大,同时还可以根据不同的建筑材料和铺层厚度合理选择振动频率和振幅,以提高压实效果,减少碾压遍数。这种类型的机械有各种振动压路机和振动板。振动压路机最适宜压实各种黏性土壤、碎石、水泥混合料以及各种沥青混凝土等,是公路、机场、海港、土石坝等施工必备的压实设备。

(3) 夯实机械:是利用具有一定质量的物体,从一定高度处落下,冲击被压实土料,使之被压实。其特点是材料产生的应力变化速度很大。这类机械包括内燃式和电动式夯土机等。夯实机械特别适用于对黏性土壤、砂质黏土和灰土的压实,主要用于作业量不大及狭小场地的压实作业,特别适用路肩和道路维修养护工程等的压实作业。

2. 摊铺机械

摊铺机械按行走方式可分为拖式和自行式两类,其中自行式又分为履带式和轮胎式。

(1) 拖式摊铺机是将接料、输料、分料和熨平等工作装置安装在一个特制的机架上,摊铺作业靠运料自卸车牵引或顶推进行。它的结构简单,制造、使用成本低,但因摊铺能力小、质量差,仅适用于低等级公路的路面养护作业。

(2) 履带式摊铺机一般为大型或超大型摊铺机,其优点是接地比压小,附着性能好,摊

铺作业时运行平稳、无打滑现象。其缺点是机动性差,对路基凸起物吸收能力差,弯道作业时铺层边缘不够圆滑,且结构复杂,制造成本较高,多用于大型路面工程的施工。

(3) 轮胎式摊铺机靠轮胎承受整机重力并提供附着力,其优点是转场运行速度较快,机动性好,对路基凸起物吸收能力强,弯道作业易形成圆滑的边缘。其缺点是附着力较小,在摊铺宽度较大、铺层较厚时有可能产生打滑现象,此外,对路基起伏较敏感,需要自动找平装置协助以提高路面平整度。

3. 挖掘机械

挖掘机械按照铲斗可以分为正铲挖掘机、反铲挖掘机、拉铲挖掘机和抓铲挖掘机。正铲挖掘机多用于挖掘地表以上的物料,反铲挖掘机多用于挖掘地表以下的物料。

(1) 反铲挖掘机是最常见的,其铲土动作特点是:向后向下,强制切土。反铲挖掘机可以用于停机作业面以下的挖掘,基本作业方式有沟端挖掘、沟侧挖掘、直线挖掘、曲线挖掘、保持一定角度挖掘、超深沟挖掘和沟坡挖掘等。

(2) 正铲挖掘机的铲土动作特点是:前进向上,强制切土。正铲挖掘机挖掘力大,能开挖停机面以上的土,宜用于开挖高度大于 2m 的干燥基坑,但须设置上下坡道。正铲的挖斗比同当量的反铲挖掘机的斗要大一些,可开挖含水量不大于 27% 的 I ~ III 类土,且可与自卸汽车配合完成整个挖掘运输作业,还可以挖掘大型干燥基坑和土丘等。正铲挖掘机的开挖方式根据开挖路线与运输车辆的相对位置不同,挖土和卸土的方式有以下两种:正向挖土,侧向卸土;正向挖土,反向卸土。

(3) 拉铲挖掘机也叫索铲挖掘机。其挖掘特点是:向后向下,自重切土。拉铲挖掘机宜用于开挖停机面以下的 I、II 类土,尤其适用于开挖大而深的基坑或水下挖土。工作时,利用惯性力将铲斗甩出去,挖得比较远,挖土半径和挖土深度较大,但不如反铲灵活准确。

(4) 抓铲挖掘机也叫抓斗挖掘机。其挖掘特点是:直上直下,自重切土。宜用于开挖停机面以下的 I、II 类土,在软土地区常用于开挖基坑、沉井等,尤其适用于挖深而窄的基坑、疏通旧有渠道以及挖取水中淤泥等;还可用于装载碎石、矿渣等松散料。如将抓斗做成栅条状,还可用于储木场装载矿石块、木片、木材等。抓铲挖掘机的开挖方式有沟侧开挖和定位开挖两种。

4. 养护机械

20 世纪 80 年代中期,国内一些厂家已开始研制开发养护机械(如沥青路面综合养护车、清扫车等),但由于产品起点低、质量不高、可靠性差,加之“重建轻养”的倾向、养护管理体制的不适应及对发展养护机械化重要性认识不够等方面原因,造成国产养护机械发展缓慢。进入 20 世纪 90 年代后,随着高速公路的发展,刺激了对养护机械的需要,许多行业的机械制造厂纷纷加入到养护机械制造行列。现在,养护机械主要包括路面灌缝机、沥青保温料箱、开槽机、窨井盖铣刨机、清缝机、沥青混凝土搅拌机等。

本书的研究对象为交通建设装备领域与设计、控制、运行状态监测、故障诊断中涉及的相关测试、试验技术与方法,相关测试试验可分类如下:

(1) 性能试验。试验各项技术性能指标。

(2) 可靠性试验。试验机械结构在各种工作条件下长期运转抵抗破坏的能力,考核工

厂的制造质量、测定机械寿命。

(3) 研究性试验。试验采用新材料、新零部件、新工艺的可能性。

(4) 重要零部件试验台架试验等。

无论进行何种试验,都要按照国家规定的试验标准和规范(或其他指导性文件如行业标准或企业标准),拟定具体试验大纲。

下面以挖掘机为例,简要描述其试验技术。挖掘机械的制造必须要获得国家相关机构的许可及认证,才能允许投放市场销售,因此国家制定了相关挖掘机试验技术及评估方法。挖掘机试验的目的在于检查挖掘机产品的质量,确定各项实际参数,分析挖掘机的技术、经济指标,确定挖掘机在不同工作条件下的工作状况,以及研究采用新材料、新工艺、新结构的实际可能性。

挖掘机整机性能试验重点检测内容为挖掘机表现出的作业参数、作业效率等整体性能,包括主机外形尺寸及各项作业尺寸参数测定、整机重量及重心位置测定、接地比压测定、稳定性测定、挖掘力测定、回转试验、行走试验、爬坡性能试验、制动性能试验、最小转弯半径测定、作业循环时间和生产率测定、液压系统试验、应力试验、操纵装置操作力测定、驾驶室照明与视野测定、驾驶室噪声与振动测定等项目。进行整机性能测试前,必须按规定完成样机主要零部件的台架试验。综合叙述于下:

(1) 基本尺寸参数和重量、重心位置的测定。基本尺寸参数是指机体外形尺寸参数和作业参数,其中作业参数对挖掘机工作性能起着决定性影响。整机重量是反映液压挖掘机性能和经济效果的重要指标,是三大主参数之一,反映挖掘机的级别。通过整机重量指标,可以大致反映挖掘机的功率和斗容量以及与作业尺寸之间的关系。重心位置决定挖掘机的静态稳定和作业稳定,影响挖掘机的机械工作性能和作业范围。

(2) 作业性能试验。作业性能试验包括最大挖掘力、工作装置运动速度和作业状态下整机回转速度等的测定,以确定整机工作能力以及经济技术指标。最大挖掘力按斗杆挖掘力和铲斗挖掘力两种情况进行测定。测定时发动机油门开到最大,根据设计时工作装置最大挖掘力位置进行多次调整动臂、斗杆、铲斗以及对应的三组液压缸之间的夹角,找出实际产生最大作用力的位置,然后利用测力计测定最大挖掘力,挖掘力测试需要在挖掘力测试专用场地进行。

(3) 行走性能试验。挖掘机的行走试验在平坦路面上进行,挖掘机以三种工作液压缸全伸出状态按各挡速度通过测试区,进入测试区之前,要有一段适当的助跑距离,使挖掘机获得稳定速度。

(4) 稳定性能试验。稳定性能试验就是测定挖掘机典型工况下的倾覆力矩。履带式液压挖掘机稳定性典型工况为前倾、后倾、侧倾,在这三种工况下,分别测试力和倾覆点到载荷作用点的水平距离,计算出倾覆力矩。一般稳定性测试需要地磅和起吊测力装置。

(5) 振动和噪声的测定。挖掘机工作时的振动和噪声是一种社会危害,需要采取有效措施。对于液压挖掘机来说,发动机和液压元件与系统是产生振动噪声的主要根源,测试研究工作也大多集中于这两部分的减振和消声。当然,其他传动机件和行走装置也产生噪声。液压挖掘机的振动测定,主要是测定发动机在作业工况和行走工况下,向机体和周围传播振动的情况,鉴定挖掘机上各种仪表的耐振程度和驾驶室司机的工作舒适性。一般来说,环境噪声规定为 75dB 以下,耳边噪声规定为 85dB 以下。常用的噪声测量仪器有声级计、频率

分析仪、自动记录仪和磁带记录仪等,其中声级计由于体积小、质量轻、携带方便,不但可以测量声级,而且可以与相应的仪器配套使用,进行频谱分析,因而得到广泛应用。在挖掘机不工作而发动机运转、挖掘机在恶劣路面上开行和挖掘机进行挖掘作业等三种情况下分别将声级计的传声器放在规定的部位进行测量,测量时,发动机油门开到最大,测量的部位是司机耳朵附近(分驾驶室门开和驾驶室门关两种情况)和以挖掘机回转中心为中心以7.5m、15m、30m为半径的圆周上,测定挖掘机前后左右四方的环境噪声,传声器应放在离地1.0~1.2m的高度上。

(6) 可靠性(工业性)试验。随着液压挖掘机生产水平的提高,提出了挖掘机可靠性的概念。挖掘机的可靠性是指挖掘机整机和零部件的使用耐久性和无故障运转,可以考核制造工艺的稳定性并对整机或零部件的寿命做出预测。液压挖掘机可靠性试验的目的在于检验生产工艺的稳定性,确定重要零件的疲劳极限,研究损坏过程,比较各种工况下的运转耐久性,确定产品的极限工作状态,以及研究确定可靠性试验方法和规范等。可靠性试验可以按照现场试验和实验室试验两种方法进行。现场试验必须有足够数量的挖掘机在各种不同的条件下进行若干小时的实地耐久性试验,才能保证试验结果的可靠。

1.3 本课程的研究对象与学习方法

本课程是应用测试技术对交通建设装备进行各种性能测定、读取、检验的一门学科,通过试验、控制和运行监测为实际设计制造提供参考数据,为机械设备的使用和自动化提供条件。本课程的研究对象是交通建设装备领域与设计有关实验。

学而不思则罔,思而不学则殆,学习要有一个明确的方向,学习本门课程的方法如下:

(1) 要掌握信号的时域与频域的转换及描述方法,了解信号采集处理以及读取的相关原理及方法,建立比较清晰的信号频谱结构概念,初学者可能会有一点困惑,可咨询老师和查阅相关书籍资料,为后面的学习打下基础。

(2) 掌握测试一阶线性系统、二阶线性系统动态测试特性及测定方法,对测试装置基本特性的评价方法和不失真测试条件有一定的了解。

(3) 了解常用传感器、常用信号调理电路和记录显示仪器的工作原理和性能,传感器在交通建设装备中的应用及测试信号处理过程,如交通建设装备中的振动测试及噪声测量。

无论是工程研究、产品开发,还是质量监控、性能试验等都离不开测试技术。测试技术是一门综合性技术,涉及传感、微电子、控制、计算机、数理统计、信号处理、精密机械设计等多门学科,要求测试工作者具有深厚的多学科知识。随着机电一体化技术及计算机在测试控制领域的不断发展,加之该课程在培养学生、改造专业及促进学科交叉发展等方面的显著作用,国内外高校机械类学科都十分重视测试技术课程的教学和实验,只有理论与实践相结合学生才可以更好地接受知识;其次这门课涵盖了许多学科的原理和技术,特别是在信号处理部分,读者需要有一定的数学基础。在每一章结尾均有思考题,一是检测学生对所学内容的理解程度,二是根据每章不同特点指出如何采取相应的学习方法,抓住重点,正确理解和掌握相关内容。

思考题

- 1-1 什么是测试技术?
- 1-2 测试系统由哪些环节和装置组成? 各有何作用?
- 1-3 举例说明测试技术的应用。

参考文献

- [1] 孙启亮,涂群章.工程装备测试性技术及应用研究[J].机电工程技术,2010,39(12): 18-21,115.
- [2] 魏宝林.工程设计中几种常用传感器的快速选择[J].工矿自动化,2010,36(09): 119-120.
- [3] 熊诗波.机械工程测试基础[M].北京:机械工业出版社,2006.

第2章 测试信号分析与处理

2.1 概述

信号可以承载信息,工程中,为了有效地获取信息和利用信息,必须对信号进行分析和处理。而信号中信息的利用程度,在很大程度上取决于信号的分析与处理技术。

信号分析最直接的意义在于通过解析法或测试法找出不同信号的特征,从而了解其特性,掌控它的变化规律。简言之,就是从客观上认识信号。通常,我们可以通过信号分析将一个复杂信号分解成若干简单信号分量之和,或者用有限的一组参量去表示一个复杂波形的信号,从这些分量的组成情况或这组有限的参量去考察信号的特征;另一方面,信号分析是获取信号源特征信息的重要手段,可以通过对信号特征的详细了解,得到信号源特征、运行状况等信息,这正是故障诊断的基础。

信号处理是指通过对信号的加工变换,把一个信号变换成另一个信号的过程。例如为了有效地利用信号中所包含的有用信息,采用一定的手段剔除原始信号中混杂的噪声,削弱多余内容,这个过程就是最基本的信号处理过程。因此,也可以把信号处理理解为:为了特定的目的,通过一定的手段去改造信号。

信号的分析与处理是相互依存、互为表里的两个方面,前者主要指认识信号,后者主要指改造信号。它们的偏重面不同,采取的手段也不同。但是,它们又密不可分,只有通过信号的分析,充分了解信号的特性,才能更有效地对它进行加工处理,可见信号分析是信号处理的基础。另一方面,通过对信号的进一步加工和变换,可以突出信号的特征,便于更有效地认识信号的特征。从这一意义上来说,信号处理又可以认为是信号分析的手段。但是,认识信号也好,改造信号也好,共同的目的都是为了充分地从信号中获取有用信息并实现对这些信息的有效利用。

信息时代的到来使信息科学技术渗透到社会活动、生产活动甚至日常生活的各个方面。作为信息科学技术的基础,信号分析与处理原理及技术已经广泛地应用于通信、自动化、航空航天、图像处理、故障诊断、振动学等各个科学技术领域,成为各门学科发展的技术基础和有力工具。

2.2 信号与测试系统

测试是通过对研究对象进行具有试验性质的测量以获取研究对象的有关信息的认识过程。要实现这一认识过程,通常需要用试验装置使被测对象处于某种预定的状态下,将被测对象的内在联系充分地暴露出来以便进行有效的测量。然后,拾取被测对象所输出的特征信号,使其通过传感器感受并转换成电信号,再经后续仪器进行变换、放大、运算等使之成为易于处理和记录的信号,这些变换器件和仪器,总称为测量装置。经测量装置输出的信号需要进一步进行数据处理,以排除干扰、估计数据的可靠性以及抽取信号中各种特征信息等,最后将测试、分析处理的结果记录或显示,得到所需要的信息。

基于系统的观点,上述由被测对象、试验装置、测量装置、数据处理装置、显示记录装置组成的具有测试功能的整体是最一般的测试系统。图 2-1 所示为测试系统的基本构成。

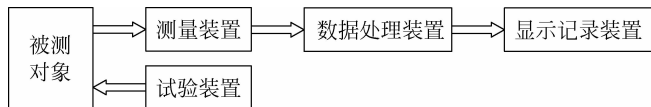


图 2-1 测试系统的基本构成框图

实际的测试系统,根据测试的目的和具体要求的不同,可能是很简单的系统,也可能是一个复杂的系统。如温度测试系统可以由被测对象和一个液柱式温度计构成,也可以组成复杂的自动测温系统。上述测试系统中的各装置具有各自独立的功能,是构成测试系统的子系统。信号从发生到分析结果的显示,流经各子系统并受子系统特性的影响而发生改变。研究测试系统的基本特性,可以是测试系统中的某个子系统甚至是子系统内的某个组成环节的基本特性,例如测量装置或测量装置的组成部分如传感器、放大器、中间变换器、电器元件、芯片、集成电路等都可以视为研究对象。因此,测试系统的概念是广义的,在信号流传输通道中,任意连接输入、输出并有特定功能的部分,均可视为测试系统。

2.3 信号的分类及描述

2.3.1 信号的定义

一个信号 $x(t)$ 或 $x(n)$, 它可以代表一个实际的物理信号,也可以是一个数学上的函数或序列。比如 $x(t) = A \sin(\omega t)$, 它既是正弦信号,也是正弦函数;而数字化了的语音信号序列 $x(n)$, 则是蕴含了人类语音信息的语音信号,同时在数学上也可看成是一个序列。

现实世界中的信号有两种:一种是自然和物理信号,如语音、图像、振动信号、地震信号、物理信号等;另一种是人工产生信号经自然的作用和影响而形成的信号,如雷达信号、通信信号、医用超声信号和机械探伤信号等。

不管是哪种形式的信号,它总是蕴含一定的信息。比如,图像信号含有丰富的图像信

息,包括物体、颜色、明暗等。又比如,人们通过研究地震波信号,可以推断出震源、震级等信息。因此可以这样说:信号是信息的表现形式,信息则是信号的具体内容。

在机械工程领域的生产实践和科学实验中,需要研究大量的现象及其参量的变化,这些变化可以通过特定的测试装置转换成可供测量、记录和分析的电信号。这些信号包含着反映被测系统的状态或特性的某些有用信息,它是人们认识客观事物规律、研究事物之间相互联系及预测未来发展的依据。

数学上,信号可以描述为一个或若干个自变量的函数或序列的形式。比如信号 $x(t)$,其中 t 是抽象化了的自变量,它可以是时间,也可以是空间。为叙述方便,称单自变量的一维信号为时间信号,而两个自变量的二维信号为空间信号。需要指出的是,这里的时间和空间是抽象化了的概念。例如,一个语音信号可以表示为声压随时间变化的函数,一张黑白照片可用亮度随二维空间变量变化的函数表示。

信号的另外一种描述方式是波形描述。按照函数随自变量的变化关系,可以把信号的波形画出来。和信号的函数或序列描述方式相比,波形描述方式更具一般性。有些信号,虽然无法用某个数学函数或序列描述,但却可以画出它的波形图。图 2-2 显示了 4 个测试信号的波形。

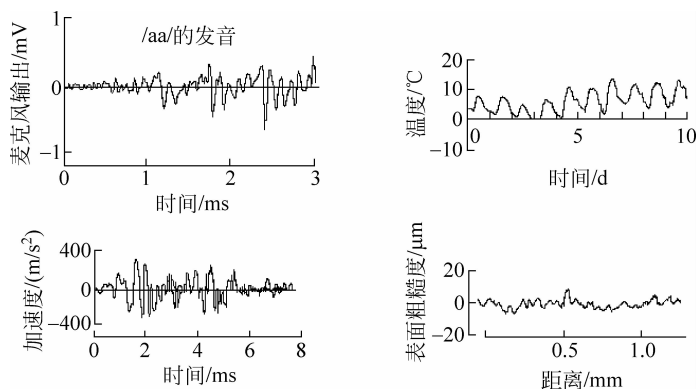


图 2-2 4 个测试信号的波形

频谱也是信号的描述方法之一,它是频率的函数,可以与表示信号的函数或序列一一对应。如果信号的频谱不是恒定的而是随时间变化的,那么用时频表示可以更加准确地描述信号的频谱分布和变化,它是时间和频率的二元函数。但是,我们更愿意称这种描述方法为分析方法或处理方法。

2.3.2 信号的分类

为了深入了解信号的物理实质,将其分类研究是非常必要的。信号的分类方法很多,可以从不同的角度对信号进行分类。例如,按照信号的实际用途,信号可分为广播信号、电视信号、雷达信号、控制信号、通信信号、遥感信号等。在信号分析中,以信号所具有的时间函数特性加以分类,信号可以分为确定性信号与非确定性信号、能量信号与功率信号、时限信号与频限信号、连续时间信号与离散时间信号等。应该注意的是,信号分类的根本目的是便