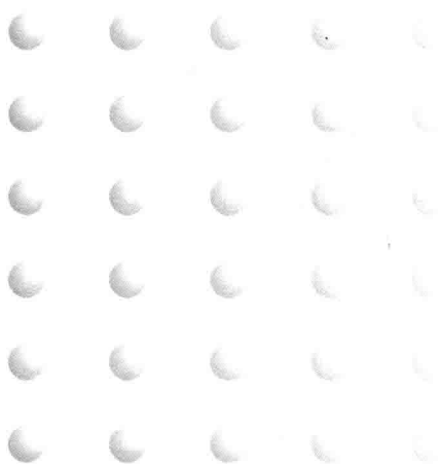




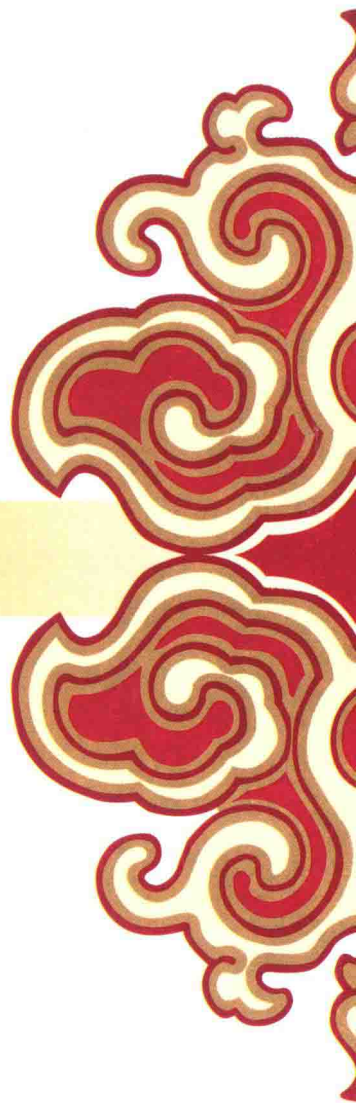
高等学校机电工程类“十二五”规划教材

测试技术基础

主编 王桂梅 王冬生



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校机电工程类“十二五”规划教材

测试技术基础

主 编 王桂梅 王冬生

副主编 张令 侯瑞生 刘杰辉

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书系统阐述了测试技术理论、信号分析和处理基础及测试技术应用方法。

本书内容可分为基础和应用两大部分。基础部分内容包括测试技术中涉及的基本环节,如信号、传感器、测试信号的调理与转换、显示与记录等;应用部分主要包括力、位移、速度、加速度、振动等测试技术在工程中的应用,重点介绍了基于虚拟仪器的煤矿“四大件”安全性能测试技术与高水充填设备的测控技术。本书共9章。第1章绪论,第2章测试信号的描述与分析,第3章测试系统的基本特性,第4章传感器,第5章测试信号的转换与处理,第6章信号的显示与记录,第7章计算机数据采集与处理,第8章测试技术的应用,第9章典型设备测试技术。书中配有适量习题,便于读者加深理解和应用书中的理论知识。

本书可作为高等学校本科机械类、测控类、自动控制、车辆工程、电子科学与技术等专业“测试技术”课程的教材,也可作为高等职业学校相关专业或成人教育、继续教育培训的参考书;同时,还可供相关领域的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

测试技术基础/王桂梅,王冬生主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2015.1

高等学校机电工程类“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3589 - 7

I. ① 测… II. ① 王… ② 王… III. ① 测试技术—高等学校—教材 IV. ① TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 010126 号

策 划 邵汉平

责任编辑 孟秋黎 邵汉平

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 20

字 数 475千字

印 数 1~3000册

定 价 35.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3589 - 7/TB

XDUP 3881001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

前 言

测试技术和信号处理技术发展迅猛，并在机械工程、测控、自动控制、车辆工程等领域得到广泛应用，其相关理论是机械、测控及相关专业学生必须掌握的基础理论。

本书针对工程测试与信号的特点，侧重于介绍基础知识及其工程应用，同时注重教学内容的科学性与工程性结合，在选材上融入了大量工程应用实例，充分体现了与专业相关领域的最新研究成果，力图促进高校人才培养工作与社会需求的紧密联系。本书的特点可以概括为：

(1) “科学性”。课程体系层次科学合理，体现在简化推导、精练内容；学科内容层次科学合理，体现在应用部分源于近几年的最新科研成果，并将其融入教学。

(2) “适用性”。强调培养适用实际工程的人才，即将课程与实际工程相结合，加强实践能力，本书突出了计算机和信息技术与相关专业的结合。

(3) “创新性”。与其他教材不同，本书突出了行业特色，不仅涉及测试技术、控制理论、机械设计等通用基础内容，还结合行业需求设置了基于虚拟仪器的煤矿“四大件”(矿山提升设备、主排水系统、通风机设备、空气压缩机设备)安全性能测试技术与采煤充填设备的测控技术等内容，为面向行业经济和地方经济培养人才奠定了基础。

本书在编写过程中注意保持教学内容的系统性，突出理论联系实际，在讲清楚重点难点的基础上，通过实例加深理解，从而形成全书的主线。书中内容既具有广泛的基础性又具有先进性和实用性，读者不仅可以学习到目前各个领域和部门进行科学实验与工程应用所需的检测技术的基础，也可了解先进检测系统和测试仪器方面的内容，为从事测试技术应用和系统设计打下良好的基础。在本书编写过程中，作者参考了近年来的最新文献资料，力求做到层次清楚、语言简洁流畅、内容丰富，以便于读者循序渐进地系统学习。

本书由河北工程大学测控系的老师编写，其中王桂梅、王冬生担任主编，张令、侯瑞生、刘杰辉担任副主编。第1章由王桂梅编写，第2章由王冬生、孙芳编写，第3章由张令、黄敏编写，第4章由卢军民、薛应芳编写，第5章由王蕊、张令编写，第6章由黄敏、侯瑞生编写，第7章由孙芳、卢军民编写，第8章由薛应芳、王蕊编写，第9章由侯瑞生、刘杰辉编写。全书由王冬生统稿。

限于作者的学术水平，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2014年8月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.6.2 小波分析方法	46
1.1 测试技术的概念	1	2.7 信号卷积积分	47
1.2 测试系统的组成	2	2.7.1 卷积积分的概念	47
1.3 测试技术的主要内容及其在工程中的应用	5	2.7.2 时域卷积定理	48
1.3.1 测试技术的主要内容	5	2.7.3 频域卷积定理	48
1.3.2 测试技术在机械工程中的应用	6	思考与练习题	48
1.4 测试技术的发展趋势	7	第 3 章 测试系统的基本特性	51
1.5 测试技术基础知识	8	3.1 概述	51
1.5.1 量的基本概念	8	3.2 线性系统及其数学模型	51
1.5.2 国际单位制	8	3.3 测试系统的静态特性	53
第 2 章 测试信号的描述与分析	12	3.4 测试系统的动态特性	55
2.1 信号概述	12	3.4.1 传递函数	55
2.2 信号分类	14	3.4.2 频率响应函数	56
2.2.1 表象分类法	14	3.4.3 一阶、二阶系统的传递特性描述	59
2.2.2 能量分类法	17	3.5 测试系统对典型激励的响应	65
2.2.3 时频域分析法	18	3.6 测试系统对任意输入的响应	69
2.2.4 形态分类法	19	3.7 测试系统参数试验测定方法	70
2.2.5 可实现性分类法	19	3.7.1 一阶系统动态特性参数的测定	70
2.3 周期信号	20	3.7.2 二阶系统动态特性参数的测定	72
2.3.1 信号的时域与频域描述	20	3.8 测试系统实现不失真测试的条件	74
2.3.2 周期信号频谱分析	25	3.9 测试系统的负载效应	76
2.3.3 频谱分析的应用	28	思考与练习题	78
2.4 非周期信号	29	第 4 章 传感器	79
2.4.1 傅里叶变换与连续频谱	29	4.1 传感器概述	79
2.4.2 能量谱	30	4.1.1 传感器的定义	79
2.4.3 傅里叶变换的性质	31	4.1.2 传感器的分类	79
2.4.4 功率信号的傅里叶变换	34	4.1.3 传感器的发展趋势	80
2.4.5 非周期信号频谱分析	37	4.2 电阻式传感器	80
2.5 随机信号	39	4.2.1 变阻器式传感器	81
2.5.1 概述	39	4.2.2 电阻应变式传感器	83
2.5.2 随机过程的主要特征参数	39	4.2.3 压阻式传感器	87
2.5.3 相关分析	41	4.3 电感式传感器	88
2.5.4 幅值域分析	44	4.3.1 自感式传感器	88
2.6 时-频域联合分析方法简介	46	4.3.2 互感式传感器	94
2.6.1 谱阵分析方法	46	4.3.3 压磁式互感传感器	96

4.4 电容式传感器	97	6.4.3 磁带记录仪	195
4.5 压电式传感器	105	6.4.4 伺服记录仪	196
4.5.1 压电效应	106	6.4.5 数字存储示波器	197
4.5.2 压电式传感器的测量电路	108	6.4.6 通用设备媒体的数字记录技术	199
4.5.3 压电式传感器的应用	111	思考与练习题	199
4.6 磁电式传感器	112	第7章 计算机数据采集与处理	200
4.6.1 磁电感应传感器	112	7.1 概述	200
4.6.2 霍尔传感器	115	7.1.1 计算机数据采集	200
4.7 光电式传感器	117	7.1.2 计算机数据处理方法	200
4.7.1 外光电效应	117	7.2 计算机数据采集系统	202
4.7.2 内光电效应	119	7.2.1 数据采集系统的组成	202
4.7.3 光生伏打效应	121	7.2.2 数据采集系统的特点	204
4.7.4 光电式传感器的应用	122	7.2.3 数据采集系统的主要性能指标	204
4.8 其他类型传感器	124	7.2.4 采样过程与采样定理	205
4.8.1 光纤传感器	124	7.2.5 数据采集通道的设计原则和 芯片的选择	211
4.8.2 光栅传感器	127	7.3 小波分析方法	212
4.8.3 超声波传感器	129	7.3.1 小波变换	212
4.8.4 红外传感器	132	7.3.2 离散小波变换的快速算法 ——Mallat 算法	214
思考与练习题	133	7.4 虚拟仪器	220
第5章 测试信号的转换与处理	135	7.4.1 概述	220
5.1 电桥	135	7.4.2 虚拟仪器的构成	221
5.1.1 直流电桥	135	7.4.3 虚拟仪器的应用	225
5.1.2 交流电桥	139	思考与练习题	225
5.2 调制与解调	146	第8章 测试技术的应用	227
5.2.1 幅值的调制与解调	147	8.1 力的测量	227
5.2.2 频率的调制与解调	154	8.1.1 基本概念	227
5.3 滤波	158	8.1.2 测力传感器	229
5.3.1 概述	158	8.1.3 压力测量	231
5.3.2 滤波器分类	158	8.2 线位移与角位移、速度、加速度 的测量	236
5.3.3 理想滤波器与实际滤波器	159	8.2.1 线位移与角位移的测量	236
5.3.4 滤波器类型	163	8.2.2 速度测量	239
5.3.5 滤波器的综合运用	170	8.2.3 加速度测量	242
思考与练习题	175	8.3 振动的测量	246
第6章 信号的显示与记录	177	8.3.1 振动测量的作用和类别	246
6.1 概述	177	8.3.2 振动量的测量方法	247
6.2 信号显示与记录的形式及分类	177	8.3.3 机械阻抗试验方法	250
6.3 显示和指示类信号输出	178	思考与练习题	256
6.3.1 模拟显示	178	第9章 典型设备测试技术	257
6.3.2 数码显示	181	9.1 典型提升设备测试技术	257
6.3.3 图视显示	187		
6.4 信号的记录	193		
6.4.1 信号记录仪的类型	194		
6.4.2 笔式记录仪	194		

9.1.1 矿井提升设备简介	257	9.3.6 振动参数测试	285
9.1.2 提升机总变位质量的测试 与验算	258	9.3.7 其他参数测试	286
9.1.3 提升机强度验算	259	9.4 空气压缩机设备测试技术	287
9.1.4 提升钢丝绳无损检测	259	9.4.1 空气压缩机性能参数及要求	287
9.1.5 提升速度图测试	260	9.4.2 空气压缩机技术测试方案	288
9.1.6 提升力图测试	264	9.4.3 空气压缩机测试数据的分析 和处理	291
9.1.7 提升机启动电阻测试	265	9.5 基于虚拟仪器的煤矿“四大件”安全 性能综合测试系统	292
9.1.8 提升机制动系统性能测试	266	9.5.1 系统的构成	292
9.1.9 提升机电控系统性能测试	272	9.5.2 通用数据采集系统	293
9.2 主排水系统安全性能测试技术	272	9.5.3 软件系统及其应用	295
9.2.1 主排水系统技术要求	272	9.6 膏体胶结充填设备的测控技术	299
9.2.2 水泵扬程测试	274	9.6.1 膏体胶结充填技术简介	300
9.2.3 水泵流量测试	274	9.6.2 膏体充填控制系统	301
9.2.4 水泵效率测试	275	9.6.3 膏体充填设备测试技术	303
9.2.5 水泵轴功率、转速的测试	276	9.7 高水充填设备的测控技术	304
9.2.6 主排水系统性能指标计算	277	9.7.1 高水充填简介	304
9.3 通风机设备测试技术	278	9.7.2 超高水充填料浆制备系统	305
9.3.1 概述	278	9.7.3 超高水充填测试技术	308
9.3.2 通风机测试的原理及方案	280	思考与练习题	309
9.3.3 通风机风量测试	281	参考文献	311
9.3.4 通风机风压测试	283		
9.3.5 噪声测试	284		

第1章 绪 论

1.1 测试技术的概念

在进入信息时代的今天,信息的获取、传输和交换已经成为人类的基本活动。信息是反映一个系统的状态或特性的参数,是人类对外界事物的感知。信息是多种多样、丰富多彩的,其具体物理形态也千差万别,如视觉、声音等。人类要正确地获取和传输信息,是不能通过信息本身完成的,必须借助一定的载体——信号,例如,视觉信息表现为亮度或色彩变化、声音信息表现为声压等。早在古代人们就学会了通过点燃烽火而产生狼烟向远方军队传递敌人入侵的消息,人们观察到该信息,就会意识到“敌人来了”;当我们说话时,声波传到他人的耳朵,使他人了解我们的信息;漫布在大气中的各种无线电波、电话网中的电流等,都可以用来向远方表达各种信息。人们通过对光、声、电等信号的接收,可以知道对方要表达的信息。

信息本身是不具有传输、交换功能的,只有通过信号才能实现这种功能,而信号与测试技术密切相关。测试是指人们从客观事物中提取所需信息,借以认识客观事物,并掌握其客观规律的一种科学手段。测试技术包含测量和实验两方面的含义,是指具有实验性质的测量,或测量与实验的综合。在工程实际中,无论是工程研究、产品开发,还是质量监控、性能实验等,都离不开测试技术。测试技术是人类认识客观世界的技术,是科学研究的基本手段。

测试技术的应用非常广泛,几乎涉及每个行业。例如,温度参数的检测涉及人体温度——体温计,工业炼钢炉中的温度测量等;速度参数的检测涉及运动员的奔跑速度——比赛评判依据,汽车行驶速度的测量——超速检测,大气运行速度——台风预报,羽毛球、网球速度的测量等;机床运行状态的检测;医疗行业中的B超检查;航天领域的遥感技术等。同时,在现代测试技术中也几乎应用了所有近代新技术和新理论,如半导体技术、激光技术、光纤技术、声控技术、遥感技术、自动化技术、计算机应用技术及数理统计、控制论、信息论等,测试技术正不断向智能化、高精度、多功能、自动化、实时性方向发展。

对于很多应用,测量使用的传感器数量非常之多。例如,一辆小汽车上的传感器用以检测车速、力矩、方向、油量、温度等;一架飞机需要几千个传感器,用以检测飞机的状态参数和环境参数。在工程技术领域,有关工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能测试水平等都离不开测试技术。由此可见,高水平的测试技术是国民经济和科学技术的重要基础技术,是一个国家科学技术现代化的重要标志之一。

测试工作的基本任务是借助专门的仪器和设备,获得与研究对象有关信息的客观、准确的描述,使人们对其有一个恰当的、全面的认识,并达到进一步改造和控制研究对象的目的。

从广义的角度来讲,测试工作的范围涉及实验设计、模型实验、传感器、信号分析与处理、误差理论、控制工程、系统辨识、参数估计等诸学科的内容;从狭义的角度来讲,测试工作是指在选定被测对象激励方式下所进行的对物理信号的检测、变换、传输、处理、显示、记录。本书主要是从狭义的角度来介绍测试工作的基本过程和基本原理。

1.2 测试系统的组成

测试技术主要研究各种物理量的测量原理、测量方法、测量系统及测量信号处理方法。

测量原理是指实现测量所依据的物理、化学、生物等现象及有关规律。例如,用压电晶体测振动加速度时所依据的是压电效应,用电涡流位移传感器测静态位移和振动位移时所依据的是电磁效应,用热电偶测量温度时所依据的是热电效应等。

测量方法是指在测量原理确定后,根据对测量任务的具体要求和现场实际情况,需要采用的不同测量手段等,如直接测量法、间接测量法、电测法、光测法、模拟量测量法、数字量测量法等。

测量系统是指在确定了被测量的测量原理和测量方法以后,由各种测量装置组成的测试系统。要获得有用的信号,必须对被测物理量进行转换、分析和处理,这就需要借助一定的测试系统。

利用测试系统测得的信号常常含有许多噪声,必须对其进行转换、分析和处理,提取出所需要的信息,这样才能获得正确的结果。

测试系统的基本组成如图 1-1 所示。一般来说,测试系统包括四部分:被测对象,传感器,信号调理,信号的显示、记录及分析。

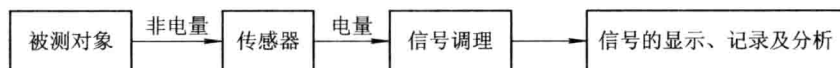


图 1-1 测试系统的基本组成

有时测试工作所希望获取的信息并没有直接蕴含在可检测的信号中,这时测试系统就需要选用合适的方式激励被测对象,使其响应并产生既能充分表征其有关信息,又便于检测的信号。

在测试系统中,当传感器受到被测量的直接作用后,能按一定规律将被测量转换成同一量纲或不同量纲的量值输出,其输出通常是电参数信号,如电阻应变片是将机械应变值的变化转换成电阻值的变化,使用电容式传感器测量位置时是将位移量的变化转换成电容量的变化等。

传感器输出的电参数信号种类很多,输出功率又很小,一般不能将这种信号直接输入

到后续的信号处理电路。信号调理环节的主要作用就是对信号进行转换和放大,即把来自传感器的信号转换成更适合进一步传输和处理的信号。信号转换在多数情况下是电参数信号之间的转换,即将各种电参数信号转换为电压、电流、频率等几种便于测量的电参数信号(简称电信号),并进行各种运算、滤波、分析,将结果输出至显示、记录或控制系统。例如,扭矩传感器可以测出转轴的转速和扭矩,信号调理环节对转速和扭矩进行乘法运算可以得到此转轴传输的功率,然后将其输出到显示与记录设备上。

信号的显示、记录及分析部分以观察者易于识别的形式来显示测量结果,或将测量结果存储,以供需要时使用。

1. 被测对象

被测对象的信息蕴含在物理量中,这些物理量就是被测值,测得的物理量多是一些非电量,如长度、位移、速度、加速度、频率、力、力矩、温度、压力、流量、振动等。现代测试技术测量非电量的方法主要是电测法,即先将非电量转换为电量,然后用各种电测仪表和装置连至计算机等对电信号进行处理和分析。电量分为电能量和电参量,如电流、电压、电场强度和电功率属于电能量,而电阻、电容、电感、频率、相位则属于电参量。由于电参量不具有能量,测试过程中还要将其进一步转换为电能量。

电测法具有许多其他测量方法所不具备的优点,如测量范围广、精度高、响应速度快,能自动连续测量,数据传送、存储、记录、显示方便,并可以实现远距离检测、遥控,还可以与计算机系统相连接,实现快速、多功能及智能化测量。图1-2所示为典型电测法的测量过程框图。检测信号一般都是随时间变化的动态量。对测试过程不随时间变化的静态量,由于往往混杂有动态的干扰噪声,一般也可以按动态量来测量。被测量是对象特征信息的载体,并且信号本身的结构对测试装置的选用有着重大影响,因此,应当熟悉和了解各种信号的基本特征和分析方法。

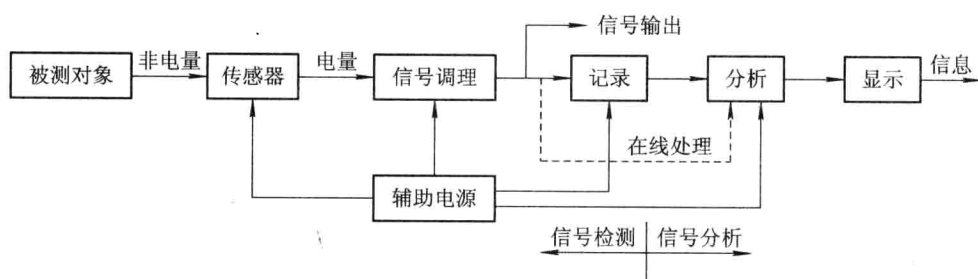


图 1-2 电测法测量过程框图

2. 传感器

传感器是将一种能量形式转换为另一种能量形式的装置,其能感受被测量,并按一定的规律将被测量转换成可用输出信号。例如,弹簧秤中的弹簧就是一个传感器(或敏感元件),它将物体受到的作用力转换为弹簧的变形量,即位移量。机械工程中常见的传感器及其基本类型见表1-1。

表 1-1 机械工程中常见的传感器及其基本类型

类 型	传感器	被测量	变换原理
机械量	测力杆	力、力矩	力—位移
	测力环	力	力—位移
	波纹管	压力	压力—位移
	波登管	压力	压力—位移
	波纹薄皮	压力	压力—位移
	双金属片	温度	温度—位移
	微型开关	物体尺寸、位置	力—位移
	液柱	压力	压力—位移
电阻	电位计	位移	位移—电阻
	电阻应变片	力、位移、应变、加速度	变形—电阻
	热敏电阻	温度	温度—电阻
	气敏电阻	可燃气体浓度	气体浓度—电阻
	光敏电阻	开关量	光—电阻
电感	可变磁阻	力、位移	位移—自感
	电涡流	厚度、位移	位移—自感
	差动变压器	力、位移	位移—互感
电容	变气隙、变面积	力、位移	位移—电容
	变介电常数	力、位移	位移—电容
压电	压电元件	力、加速度	力—电荷
			电压—位移
光电	光电池	光强	光—电压
	光敏晶体管	转速、位移	光—电流
	光敏电阻	开关量	光—电阻
磁电	压磁元件	力、扭矩	力—磁导率
	动圈	速度、角速度	速度—电压
	动磁铁	速度	速度—电压
霍尔效应	霍尔元件	位移	位移—电势
辐射	红外	温度、物体有无	热—电
	X 射线	厚度、应力	散射、干涉
	γ 射线	厚度、探伤	射线穿透
	β 射线	厚度、成分分析	射线穿透
	激光	长度、位移、角度	光干涉
	超声波	厚度、探伤	超声波反射、穿透
流体	气动	尺寸、距离、物体大小	尺寸、间隙—压力
	流量	流量	流量—压力差、转子位置

3. 信号调理

传感器输出的电信号经过信号调理电路加工处理后才能进一步输送到显示、记录及分析仪器。常见的调理方式有衰减、放大、转换、调制和解调、滤波、运算和数字化处理等。信号调理部分对传感器输出的信号进行调理或转换,以便后续的传输、显示和分析等处理。例如,信号的幅值调制将低频的测试信号转换为易于在传输通道中传输的高频信号。

4. 显示、记录及分析

调理电路输出的测量结果是被测信号的真实记录,而显示、记录部分以观察者易于认识的形式来显示、存储测量结果,至此,测试系统已完成检测的任务。但是要从这些客观记录的信号中找出被测对象的本质规律,还需要利用计算机对信号进行分析及处理,例如相关分析、小波分析、频谱分析、概率密度分析等。从这个意义上来讲,信号分析是测试系统更为重要的一个环节。

信号分析设备种类繁多,有各种专用的分析仪,如频谱分析仪、相关分析仪、传递函数分析仪等;也有可以作多项综合分析用的信号处理机和数字传导处理系统。计算机在现代信号分析设备中起着重要的作用,目前国内外一些先进的信号处理系统都采用了专用或通用计算机,使信号的处理速度达到了“实时”,例如,将调理电路输出的信号直接送到信号分析设备中进行处理(称之为在线处理)。由于数字电路和计算机高速处理数据的能力,在线测试和处理已成为可能,且在工程测试和工业控制中得到愈来愈广泛的应用。

在实际测试过程中,根据测试目的不同,测试系统可以很复杂也可以很简单。例如,有的被测对象还需要进行激励,使其达到测试所要求的预定状态再进行测试,而有的被测量只需一种简单的测量仪表即可得到测量结果。

1.3 测试技术的主要内容及其在工程中的应用

1.3.1 测试技术的主要内容

对物理量进行测试面临着三个任务:

- ① 了解被测信号的特性;
- ② 选择测试系统;
- ③ 评价和分析测试系统的输出(信号)。

完成这三个任务会涉及以下内容:

(1) 信号分析。信息蕴含在物理量中,这些物理量就是信号,信号是信息的载体。信号分析是测试系统中非常重要的环节。工程领域的物理量往往是随时间变化的动态信号,选择这类信号的测量系统,不仅要考虑被测信号的限值,还要了解被测信号的变化频率,以作为选择测试装置工作频率的依据。了解被测信号的频率信息经常采用频谱分析方法。对于通过测试装置获得的输出信号,根据测试的目的和要求不同,往往也需要对其进行分析,例如相关分析、频谱分析和统计分析等。关于信号的分析方法在本书的第2章进行介绍。

(2) 测试系统的特性分析。测试系统的任务是感受输入的被测信号,并将其转换为可以理解或可以量化的输出形式。不同的测试系统对相同的输入有不同的响应(输出)。输出

在多大程度上真实反映被测输入信号，取决于测试系统在传递信号的过程中对信号进行了怎样的“加工”。

实际上，一般的测试系统都可以用一个模型来描述，这个模型往往是微分方程或传递函数、频率特性函数、脉冲响应函数等，它们之间可以相互转换。通过对系统模型的分析，可以知晓测试系统对于输入的被测信号所进行的“加工”。

(3) 传感器与信号调理。测试工作离不开具体的测量与转换装置，例如传感器、信号的调理装置等。工程领域的被测信号一般是非电量，如速度、加速度、温度、力和流量等，需要将其转换为电量，传感器就是完成这种转换的(具体介绍见第4章)。为了便于后续的传输与分析处理，往往需要对传感器输出的电信号进行调理与转换。例如，滤波器可滤除干扰噪声，调制可将低频的测试信号转换成易于在信道中传输的高频调制信号，模/数转换器可将模拟的电信号转换为数字信号，便于信号的数字分析等。

1.3.2 测试技术在机械工程中的应用

测试技术与科学研究、工程实践密切相关，科学技术的发展历程表明，许多新的发现和突破都是以测试为基础的。同时，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。在机械工程领域，测试技术得到了广泛应用，已成为一项重要基础技术。下面列举它在几个方面的应用。

1. 在机械振动和结构设计中的应用

在工业生产领域，机械结构的振动分析是一个重要的研究课题。通常在工作状态或人工输入激励下，采用各种振动传感器获取各种机械振动测试信号，再对这些信号进行分析和处理，提取各种振动特征参数，从而得到机械结构的各种有价值信息。尤其是通过对机械振动信号的频谱分析、机械结构模态分析和参数识别等，分析振动性质及产生原因，找出消振、减振的方法，可进一步改进机械结构的设计，提高产品质量。

2. 在自动化生产中的应用

在工业自动化生产中，通过对工艺参数的测试和数据采集，实现工艺流程、产品质量和设备运行状态的监测和控制。例如，在自动轧钢系统中，使用力传感器实时测量轧制力大小，使用测厚传感器实时测量钢板的厚度。这些测量信号反馈到控制系统后，控制系统根据轧制力和板材厚度信息来调整轮辊的位置，保证板材的轧制尺寸和质量。

3. 在产品质量和控制中的应用

在汽车、机床设备和电机、发动机等部件出厂时，必须对其性能进行测量和检验。例如，在汽车出厂检验中，测量参数包括润滑油温度、冷却水温度、燃油压力及发动机转速等，通过对汽车的抽样测试，工程师可以了解汽车的质量。

在各种自动控制系统中，测试环节是其重要的组成部分，起着控制系统感官的作用。最典型的就是各种传感器的使用，例如汽车制造生产线上的焊接机器人，其激光测距传感器、机器人转动/移动位置传感器及力传感器等协调工作，从而控制汽车车身的焊缝尺寸和焊接强度。

4. 在机械监控和故障诊断中的应用

在电力、冶金、石油、化工等众多行业中，某些关键设备，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关系到整个生产的正常运行。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。

1.4 测试技术的发展趋势

测试技术随着现代科学技术的发展而迅速发展,特别是计算机、软件、网络、通信等技术的发展使测试技术日新月异。测试技术的发展可归纳为以下几方面。

1. 传感器向新型、微型、智能化方向发展

传感器的作用是获取信号,是测试系统的首要环节。

新的物理、化学、生物效应应用于物性型传感器是传感器技术的重要发展方向之一。每一种新的物理效应应用,都会出现一种新型敏感元件,或者某种新的参数能够被测量,例如一些声敏、湿敏、色敏、味敏、化学敏、射线敏等新材料与新元件的应用,有力地推动了传感器的发展。由于物性型传感器的敏感元件依赖于敏感功能材料,因此,敏感功能材料(如半导体、高分子合成材料、磁性材料、超导材料、液晶、生物功能材料、稀土金属等)的开发也推动着传感器的发展。

快变参数和动态测量是机械工程测试和控制系统中的重要环节,其主要实现基础是微电子与计算机技术。传感器与微计算机结合产生了智能传感器,也是传感器技术发展的新动向。智能传感器能自动选择测量量程和增益,自动校准与实时校准,进行非线性校正、漂移等误差补偿的复杂的计算处理,完成自动故障监控和过载保护。通过引入先进技术,智能传感器可以利用微处理技术提高传感器精度和线性度,修正温度漂移和时间漂移。

近年来,传感器向多维发展,如把几个传感器制造在同一基体上,把同类传感器配置成传感器阵列等。因此,传感器必须微细化、小型化,这样才可能实现多维测量。

2. 测试仪器向高精度和多功能方向发展

仪器与计算机技术的结合产生了全新的结构,即虚拟仪器。虚拟仪器采用计算机开放体系结构来取代传统的单机测量仪器,将传统测量仪器的公共部分(如电源、操作面板、显示屏、通信总线和 CPU)集中起来,通过计算机仪器扩展板和应用软件在计算机上实现多种物理仪器,实现多功能集成。

随着微处理器速度的加快,一些实时性要求高,原来要由硬件完成的功能现在可以通过软件来实现,即硬件功能软件化;同时,在测试仪器中广泛使用高速数字处理器,极大地增强了仪器的信号处理能力和性能,仪器精度也获得了大大提高。

3. 测试与信号处理向自动化方向发展

越来越多的测试系统采用了以计算机为核心的多通道自动测试系统,这样的系统既能实现动态参数的在线实时测量,又能快速地进行信号实时分析与处理。随着信号处理芯片的出现和发展,对简化信号处理系统结构、提高运算速度、加速信号处理的实时能力起到了很大的推动作用。

1.5 测试技术基础知识

1.5.1 量的基本概念

1. 量

量是指现象、物体或物质可定性区别和定量确定的属性，如大气的温度，运动物体的速度、时间、位移等。量的种类很多，根据量之间的关系，可以将量分为基本量和导出量。基本量是相互独立的量，导出量则可以由基本量按一定的乘除关系来定义。如运动物体的位移和时间是基本量，速度是位移与时间的比值，就属于导出量。基本量和导出量的这种特定组合称为量制，不同的量制选用的基本量和导出量是不同的。1960年10月第十一届国际计量大会通过的国际单位制中有7个基本量，分别是长度、质量、时间、温度、电流、发光强度和物质的量。

2. 量纲

量是根据量纲来定性区别的，量纲不同的量不属于同一种量。量纲是量的一种属性，可以定性区别量的种类。国际单位制中，7个基本量的量纲分别为 L 、 M 、 T 、 Θ 、 I 、 J 、 N 。位移和时间之所以不是同种量，是因为它们的量纲不同。只有具有相同量纲的量，才能比较大。导出量的量纲可用基本量量纲的幂的乘积表达式来表示。

任意量 Q 的量纲表达式为

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} \Theta^{\epsilon} I^{\delta} J^{\eta} N^{\xi} \quad (1-1)$$

例如，速度的量纲为 LT^{-1} ，力的量纲为 LMT^{-2} 。量纲表达式中的幂都为零的量称为无量纲量，如应变。

3. 量值

量的大小可以用量值来定量确定，量值用数值和计量单位来表示，例如，黑板的宽度是 2.50 m、质量是 35 kg，室内的温度是 25℃ 等。对量值来说，数值和计量单位缺一不可。计量单位是对量进行数值化的基础，对同一个量，当计量单位不同时，得到的量值数值也不同。不同的单位制采用的计算单位是不一样的，例如，在国际单位制中，长度量的基本计量单位为米，而在英制单位中长度量的基本计量单位为英尺。

1.5.2 国际单位制

国际单位制(SI制)主要由 SI 单位(包括 SI 基本单位、SI 辅助单位、SI 导出单位)、SI 词条和 SI 单位的倍数单位和分数单位组成。我国的法定单位就是以国际单位为基础并选用少数其他单位制的计量单位组成的。

1. SI 基本单位

(1) 米：国际单位制中长度的基本单位，符号为 m。1983 年，第十七届国际计量大会通过：1 m 是光在真空中 $\frac{1}{299\,792\,458}$ 秒(s)的时间间隔内所经路程的长度。

(2) 千克(公斤)：国际单位制中质量的基本单位，符号为 kg，公斤是千克的同义词。

1889年,第一届国际计量大会通过:1 kg 等于国际千克原器的质量。国际千克原器是直径和高度均为 3.9 厘米铂铱合金的圆柱体,目前保存在巴黎的国际计量局内。

(3) 秒:国际单位制中时间的基本单位,符号为 s。1967年,第十三届国际计量大会通过:1 s 是与铯 133 原子基态的两个超精细能级间跃迁相对应的辐射的 9 192 631 770 个周期所持续的时间。

(4) 安[培]:国际单位制中电流的基本单位,符号为 A。1948年,第九届国际计量大会通过:在真空中,两根相距 1 m、无限长、相互平行直导线内通恒定电流时,若两导线之间产生的相互作用力在每米长度上为 2×10^{-7} 牛顿(N),则每根导线中的电流为 1 A。

(5) 开[尔文]:国际单位制中热力学温度的基本单位,简称开,符号为 K。1967年,第十三届国际计量大会通过:1 K 等于水的三相点热力学温度的 $\frac{1}{273}$ 。

(6) 坎[德拉]:国际单位制中发光强度的基本单位,符号为 cd。1979年,第十六届国际计量大会通过:对于一个频率为 540×10^{12} Hz 的单色辐射光源,如果在某个方向上的辐射强度为 1/683 瓦特每球面(W/sr),则该光源在此方向上的发光强度为 1 cd。

(7) 摩尔:国际单位制中物质的量的基本单位,符号 mol。1971年,第十四届国际计量大会通过:1 mol 等于 12 g C^{12} 所含的原子数。

2. SI 辅助单位

(1) 弧度:国际单位制中平面角的单位,符号为 rad。1 rad 等于圆内半径长的圆弧所对应的平面圆心角。

(2) 球面角:国际单位制中立体角的单位,符号为 sr。立体角单位球面角的定义是:球面角是一立体角,其顶点位于球心,而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形的面积。

3. SI 导出单位

按物理量之间的关系,由基本单位和辅助单位通过乘除而构成的单位称为导出单位(见表 1-2,表 1-3,表 1-4)。如面积的单位为平方米,符号为 m^2 ;速度的单位为米每秒,符号为 m/s。

表 1-2 基本单位的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位	
	名 称	符 号
面积	平方米	m^2
体积	立方米	m^3
速度	米每秒	m/s
加速度	米每二次方秒	m/s^2
波数	每米	m^{-1}
密度	千克每立方米	kg/m^3
电流密度	安培每平方米	A/m^2
磁场强度	安培每米	A/m
物质的量浓度	摩尔每立方米	mol/m^3
光亮度	坎[德拉]每平方米	cd/m^2

表 1-3 专门名称的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	SI 基本单位表示
频率	赫兹	Hz	s^{-1}
力	牛顿	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
压强	帕斯卡	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
能量, 功, 热量	焦耳	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率, 辐射通量	瓦特	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
电荷量	库仑	C	$s \cdot A$
电压, 电势	伏特	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电容	法拉	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
电阻	欧姆	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
电导	西门子	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁通量	韦伯	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁通密度, 磁感应强度	特斯拉	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
电感	亨利	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}C$	K
光通量	流明	lm	$cd \cdot sr$
光照度	勒克斯	lx	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
放射性活度	贝克勒尔	Bq	s^{-1}
吸收剂量	戈瑞	Gy	$m^2 \cdot s^{-2}$

表 1-4 专门名称单位的导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	SI 基本单位表示
运动粘度	帕秒	$Pa \cdot s$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力矩	牛顿米	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面张力	牛顿每米	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
熵	焦耳每开尔文	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
比内能	焦耳每千克	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
热导率	瓦特每米开尔文	W/K	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
能量密度	焦耳每立方米	J/m ³	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
电场强度	伏特每米	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
电荷体密度	库仑每立方米	C/m ³	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
电通量密度, 电位移	库仑每平方米	C/m ²	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
介电常数	法拉每米	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
磁导率	亨利每米	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
摩尔内能	焦耳每摩尔	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
摩尔熵, 摩尔热容	焦耳每摩尔开尔文	J/(mol K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$