

煤炭行业应用型本科教育核心教材

Meitan Hangye Yingyongxing Benke Jiaoyu Hexin Jiaocai

Ceshi Jishu

测试技术

中国矿业大学应用技术学院组织编写

王启广 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

煤炭行业应用型本科教育核心教材

测试技术

主 编 王启广

副主编 陈 军 洪晓华 陈世其

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

全书分测试技术的理论基础和测试技术的典型应用两篇。测试技术的理论基础共 5 章,主要介绍信号的概念、描述方法及信号分析的基础知识,测试系统的基本特性,组成测试系统的传感器及信号调理电路的基本概念和原理。测试技术的典型应用共 5 章,主要介绍机械振动、力学参数、温度、流体参量和噪声的测试与测量。

本书可作为高等院校机械工程类专业(应用型)的教材,也可供高职高专、职业大学、成人高校相关专业选用,亦可供从事测试工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测试技术/王启广主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2011.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1178 - 1

I. ①测… II. ①王… III. ①测试技术 IV. ①TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 160900 号

书 名 测试技术

主 编 王启广

责任编辑 孟 茜 耿东锋

责任校对 张海平

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 14 字数 346 千字

版次印次 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

定 价 24.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

煤炭行业应用型本科教育核心教材编写委员会

主 任 袁迎菊

副主任 应鹏展 冯平安

编 委 (排名不分先后)

沈通生 汪理全 邱志乾 武 增

梁士杰 曾蒲君 李志聘 欧泽深

潘 鋋 朱鸿禧 黄嘉兴 万志军

杨胜强 王启广 林爱梅 张双全

陶有俊 王东权 张书毕 邓先明

王华清

主 编 王启广

副主编 陈 军 洪晓华 陈世其

前 言

工农业生产的发展和现代科学技术的进步极大地促进了测试技术的发展。一方面,对各种物理量的测量提出了越来越广泛的要求,同时对测试技术人员的要求也变得越来越迫切;另一方面,在高等教育领域,测试技术的教学已得到越来越多的重视。绝大多数的工科院校将测试技术课程作为本科生或研究生必修的专业基础课。本书即是在总结与研讨了教学改革经验及教材体系建设的基础上进行编写的,旨在提供一本适合高等院校机械工程专业(应用型)使用的测试技术教材。

全书分测试技术的理论基础和测试技术的典型应用两篇。测试技术的理论基础共5章,主要介绍信号的概念、描述方法及信号分析的基础知识,测试系统的基本特性,组成测试系统的传感器及信号调理电路的基本概念和原理。测试技术的典型应用共5章,主要介绍机械振动、力学参数、温度、流体参量和噪声的测试与测量,目的是在第一部分内容学习的基础上,使读者进一步掌握综合利用测试技能进行不同物理量测试的知识。在教学的安排上,这部分内容作为测试技术的应用,可根据不同的专业和教学对象选择部分模块内容讲述。为了加强对基础知识的理解和实践能力的培养,除选编适当例题外,每章均配有一定数量的复习思考题,并附有部分习题答案。

本书力求在以下几个方面突出其特色。

① 注重应用性,强调实践性。以基本概念、基本原理、基本方法为主线,以培养学生的综合能力为重心,尽可能减少烦琐的理论推导和公式演算,以必要的基础理论为支撑形成教材的总体框架。

② 在测试系统的特性分析上,对静态特性、动态特性进行必要的理论分析,而重点则放在基本概念和物理意义的理解上。

③ 在信号描述及分析处理上,力争做到将抽象概念具体化、形象化,以期达到易于理解和掌握的目的。

④ 突出重点,强调难点。在第一篇测试技术的理论基础中的各章之后增加了重点、难点和知识拓展栏目,使学生学习具有针对性,避免盲目性,而且对必要的知识进行了适当的拓展。

⑤ 为了适应应用型人才的培养要求,在章节内容或复习思考题中涉及了一些创新思考的实例,以供实际应用参考。

参加教材编写的有王启广(绪论、第一章、第二章、第四章、第五章)、陈军(第三章、第七

章)、洪晓华(第六章、第十章)、陈世其(第八章、第九章)。全书由王启广负责统稿。

本书在编写过程中,参阅了其他版本的教材和文献资料,并得到了许多老师的关心和帮助,在此谨表谢意。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2011年2月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 测试技术的理论基础

第一章 测试信号及其描述	9
第一节 概述	9
第二节 周期信号及其频谱	11
第三节 非周期信号及其频谱	17
第四节 随机信号	22
本章重点、难点和知识拓展	25
复习思考题	25
第二章 测量装置的基本特性	27
第一节 概述	27
第二节 测量装置的静态特性	28
第三节 测量装置的动态特性	30
第四节 实现不失真测量的条件	40
第五节 测量装置动态特性参数的测定	41
本章重点、难点和知识拓展	44
复习思考题	44
第三章 常用传感器	46
第一节 概述	46
第二节 电阻式传感器	47
第三节 电容式传感器	52
第四节 电感式传感器	57
第五节 压电式传感器	62
第六节 磁电式传感器	65
第七节 热电式传感器	67
第八节 光纤式传感器	70
第九节 传感器的选用	72
本章重点、难点和知识拓展	74
复习思考题	74

第四章 信号调理与记录	76
第一节 电桥	76
第二节 调制与解调	80
第三节 滤波器	86
第四节 信号的显示与记录	91
本章重点、难点和知识拓展	94
复习思考题	95
第五章 测试信号处理	97
第一节 数字信号处理的基本步骤	97
第二节 A/D 转换	98
第三节 相关分析及其应用	100
第四节 功率谱分析及其应用	105
第五节 信号数字化出现的问题	109
本章重点、难点和知识拓展	116
复习思考题	116
 第二篇 测试技术的典型应用	
第六章 机械振动测试	121
第一节 振动的基本原理	121
第二节 振动测量传感器与放大器	125
第三节 振动的激励与激振器	132
第四节 振动测量系统	136
复习思考题	140
第七章 力学参数的测量	143
第一节 应力应变测量	143
第二节 力的测量	151
第三节 转矩的测量	157
复习思考题	161
第八章 温度测量	163
第一节 温度标准与测温方法	163
第二节 接触式测温方法	165
第三节 非接触式测温方法	173
复习思考题	176

第九章 流体参量的测量	177
第一节 压力的测量.....	177
第二节 流量的测量.....	186
复习思考题.....	195
第十章 噪声测量	196
第一节 基本概念.....	196
第二节 噪声测量常用仪器.....	200
第三节 噪声的测量方法.....	205
复习思考题.....	207
部分习题答案	209
参考文献	212

绪 论

测试技术是测量和实验技术(Measurement and Test Technique)的统称。人类对客观世界的认识和改造活动,总是以测试工作为基础的。测试技术就是利用现代测试手段对工程中的各种物理信号,特别是随时间变化的动态物理信号进行检测、实验和分析,并从中提取有用信息的技术。其测量和分析的结果客观地描述了研究对象的状态、变化和特征,并为进一步改造和控制研究对象提供了可靠的依据。随着各相关学科不断发展,测试技术也在不断地发展,测试方法和手段不断完善和提高,新的测试仪器和设备也在不断地研制和更新。测试技术达到的水平越高,就越能客观、准确地描述所研究的对象,对科学技术发展的推动作用也就越大。

一、测试系统的组成

测试技术的应用非常广泛,几乎在所有行业中都有应用。测试工作又是一项非常复杂的工作,它是多种学科知识的综合运用。特别是现代测试技术,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、遥感技术、自动化技术、计算机应用技术,以及数理统计、控制论、信息论等。从广义的角度来讲,测试工作的范围涉及实验设计、模型理论、传感器、信号加工与处理、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,是指对物理信号的检测、变换、传输、处理直至显示、记录或以电量输出测试结果的工作。本课程主要从狭义的角度介绍测试工作的基本过程和基本原理。

在机械工程中,被测试的参量主要是一些非电的物理量,如长度、位移、速度、加速度、频率、力、转矩、温度、压力、流量、振动、噪声等。用现代测试技术测量非电量的方法主要是电测法,即将非电量先转换为电量,然后用各种电测仪表和装置乃至计算机对电信号进行处理和分析。在电量中,有电能量和电参量之分。如电流、电压、电场强度和电功率等属于电能量;而描述电路和波形的参数,如电阻、电容、电感、相位等则属于电参量。由于电参量不具有能量,在测试过程中还需要将其进一步转换为电能量。电测方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、连续地测量,数据的传送、存储、记录、显示方便,可以实现远距离遥测遥控;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。典型的测试系统如图 0-1 所示。

被测信号一般都是随时间变化的动态量,对测试过程中不随时间变化的静态量,由于其中往往混杂有动态的干扰噪声,一般也可以按动态量来测量。由于被测信号是被测对象特征信息的载体,并且信号本身的结构对选用测试装置有着重大影响,因此应当熟悉和了解各种信号的基本特征和分析方法。

传感器的主要作用是感知被测的非电量并将非电量转换为电量。传感器的工作原理涉及许多自然学科。从理论上讲,凡是具有确定因果关系的物理现象、化学现象、生物现象等,都能作为传感器的设计依据。传感器是获取信号的手段,在整个测试系统中占有重要位置。

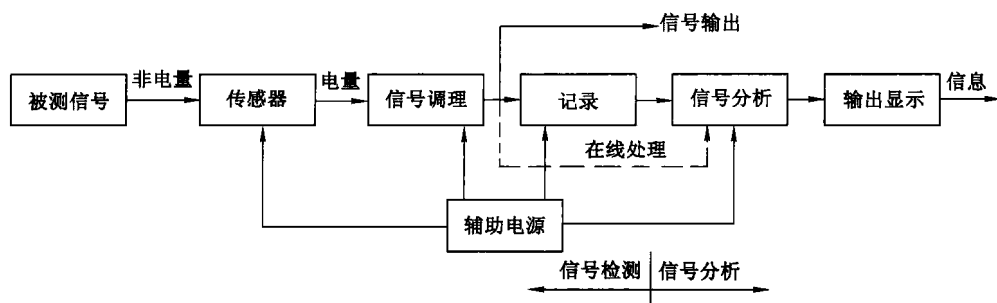


图 0-1 典型的测试系统

传感器输出的电信号需要经过信号调理电路进行加工、处理后,才能进一步输送到后续记录装置和分析仪器中。常见的调理方式有衰减、放大、转换、调制和解调、滤波、运算、数字化处理等。

调理电路输出的测量结果是被测信号的真实记录,为了显示被测量的变化过程,可以采用光线示波器、笔式记录仪、屏幕显示器等输出装置。此外,还可以用磁记录器来存储被测信号,以供反复使用。至此,测试系统已完成信号检测的任务。但是,要从这些客观记录的信号中找出反映被测对象的本质规律,还必须对信号进行分析,从中提取一些有用的信息,如信号的强度信息、频谱信息、相关信息、概率密度信息等。从这个意义上讲,信号分析是测试系统中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、概率密度分析仪、传递函数分析仪等;也有可以做多项综合分析用的信号处理仪和数字信号处理系统。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,使信号的处理达到了“实时”。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,称为在线处理。数字电路和计算机高速处理数据的能力,使在线测试和处理成为可能,而且在工程测试和工业控制中得到愈来愈广泛的应用。

信号分析设备可以通过数据或图像的形式输出我们感兴趣的信息。常用的输出显示装置有示波器、显示屏、打印机等。

在实际测试过程中,根据测试目的不同,测试系统可繁可简。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;而有的被测物理量只需简单的测量仪表,即可得到测量结果。

二、测试技术在机械工程中的地位

在机械工程领域中,测试技术是一项重要的基础技术,其作用是其他技术所不能替代的。在现代工业生产中,随着生产效率、自动化程度、设备精度和加工精度要求的不断提高,随着各种机电一体化新产品、新设备的不断开发,对自动检测、自动控制、过程测量、状态监测和动态实验等方面提出了迫切要求,使现代测试技术得到了迅速发展和愈来愈广泛的应用。

在自动化生产过程中,对工艺流程、产品质量和设备运行状态的监测和控制是测试技术的重要应用之一。利用现代测试技术,可以实时检测生产过程中变化的工艺参数和产品质

量指标,并据此对整个自动生产线进行调节和控制,使其达到最佳运行状态,生产出合格产品。例如,在图 0-2 所示的由计算机控制的自动化轧钢系统中,需要根据轧制力和板材厚度信息来调整轧辊的位置,以保证板材的轧制尺寸。由于轧制速度很高,采用传统的间断测量和手工控制方法已经不能满足要求了,必须采用连续测量方法(板厚测量还须采用非接触测量方式)。同时,测量的结果要转换成电信号送入通信系统中进行处理,以便计算机能进行分析、计算并发出控制指令。在其他类似的计算机过程控制系统中,首先要解决的问题也是利用现代测试技术对物理信号进行检测与转换。

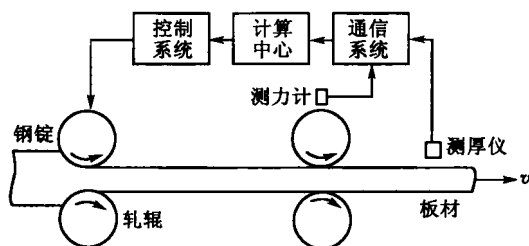


图 0-2 自动化轧钢系统

在机械工程领域中,测试技术的应用主要表现在以下几方面:

- (1) 监测设备运行过程,告诉人们是否处于最佳工况,或诊断设备故障的部位和性质。
- (2) 控制生产过程中的工艺参数,与设定值进行比较,并反馈、自动调节这些参数,使生产过程处于最佳状态,这就是所谓以信息流控制物质流和能量流。
- (3) 工程过程的实验分析。机械工程中的各种工艺过程、工艺设备在改进前需对原有的状况做深入的分析并做出评价,提出改进措施,这就需要测试大量的数据,作为分析、评价和改进的依据。改进后是否达到了预期的要求,也需要进行大量的参数测试来进行分析和评价。

三、测试技术的发展方向

人类的信息化时代必将为智能测试提供更为广阔的应用前景。随着科学技术的发展,现代测试技术将向着高可靠性、高智能化方向发展。

1. 应用新原理新技术

随着基础理论和技术科学的研究进展,各种物理效应、化学效应、微电子技术甚至生物学原理在工程测量中得到广泛应用,使得可测量的范围不断扩大,测量精度和效率得到很大提高。例如在振动速度测量中,激光多普勒原理的应用,使得对不可能安装传感器进行测量的计算机硬盘读写臂与磁盘片等轻小构件的振动测量成为可能;使用自动定位扫描激光束,使得大型客机机翼、轿车车身等大型物体的多点振动测量达到很高的效率,只需几分钟时间就可完成数百点的振动速度测量;高达 10 MHz 以上采样频率的数据采集系统可实现伴随金属构件裂纹发生与发展的脉冲声发射信号的采集。

2. 采用新型信息处理方法

近年来,新型信息处理技术,如数据融合技术、模糊信息处理技术和神经网络技术等,在现代测试系统中得到了有效应用。例如,热处理炉温度自动测试系统采用多传感器进行数据融合处理,可以提高温度测量的可靠性与准确性,从而提高热处理产品的质量和生产

效益。

3. 集成仪器

仪器与计算机技术的深层次结合产生了全新的仪器结构概念,从虚拟仪器、卡式仪器、VXI 总线仪器直至集成仪器。一般说来,将数据采集卡插入计算机空槽中,利用软件在屏幕上生成虚拟面板,在软件引导下进行信号采集、运算、分析和处理,实现仪器功能并完成测试的全过程,就是所谓的虚拟仪器。在此同一平台上,调用不同的测试软件就可构成不同功能的虚拟仪器,故可方便地将多种测试功能集于一体,实现多功能集成仪器。

4. 采用高智能化软件

在测试平台上,调用不同的测试软件就构成不同功能的仪器,因此软件在系统中占有十分重要的地位。在大规模集成电路迅速发展的今天,系统的硬件越来越简化,软件越来越复杂。集成电路器件的价格下降,而软件成本费用则大幅上升。测试软件不论对大的测试系统还是单台仪器子系统来讲都是十分重要的,而且是未来发展和竞争的焦点。

5. 网络化

网络技术的普及与发展,为测试技术带来了新的发展空间和机遇,将现代测试系统与网络相结合,不仅能实现对测试系统的远程操作与控制,而且可以把测试结果通过网络显示在 WEB 浏览器中,以实现测试系统资源和数据的共享。

6. 通用化与标准化

为便于获取和传输信息,实现系统更改与升级,现代测试系统的通用化、标准化设计十分重要。目前的接口与总线系统较多,随着智能测试技术的发展,可望制定通用的接口与总线系统标准,或者制定互相兼容的接口与总线系统标准,以便于系统的组建、更改、升级和连接。由于采用通用化、标准化设计,现代测试仪器将易于实现分散使用与大范围联网使用。当不需要使用整个检测系统工作,而仅仅需要进行某个观测目标的单一检测时,可令系统中的某个智能部件单独工作;当观测目标多、信息量较大时,则可将智能部件连接成大型智能测试系统,也可将多个智能测试系统联网,组成巨型智能测试网络。现代测试仪器还可以与其他非检测性网络连接,获得其他系统的信息,为其他系统提供现代测试仪器的观测、估计、判断与决策结果。

四、课程的主要内容

本课程的研究对象是机械工程领域与设计有关的实验、控制和运行监测中涉及的物理量,以及其他工程量的测量和测量装置与系统的性能,包括物理量和其他工程量的测量方法,测试中常用的传感器、信号调理电路及记录和显示仪器的工作原理,测量装置基本特性的评价方法,测试信号的分析和处理等。

作为一门课程,测试技术既综合应用了许多学科的原理和技术,又被广泛应用于各个学科中。通过本课程的学习,培养学生能合理地选用测试装置并初步掌握静、动态测量和常用工程实验所需的基本知识和技能,为学生进一步学习、研究和处理机械工程技术问题奠定基础。

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,建立明确的信号频谱结构的概念;掌握频谱分析和相关分析的基本原理和方法;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、二阶线性系统的动态特性及其测定方法。

(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,并能根据测试工作的具体要求较合理地选用。

(4) 对动态测试的基本问题有一个比较完整的概念,并能初步运用于机械工程中某些参量的测量和产品的实验。

本课程具有很强的实践性。只有在学习中密切联系实际,加强实验,注意物理概念,才能真正掌握有关理论。学生只有通过足够和必要的实验才能受到应有的实验能力的训练,才能获得关于动态测试工作的比较完整的概念。也只有这样,才能初步具有处理实际测试工作的能力。

复习思考题

1. 在日常生活中,汽车、洗衣机、冰箱、数码相机等设备中,测试技术是如何应用的?
2. 在机械工程中有哪些应用测试技术的设备或装置?
3. 以方框图的形式说明测试系统的组成,简述各组成部分的作用。
4. 简述测试技术的发展方向。
5. 针对测试技术课程的特点,简述应该如何学习该课程。

第一篇

测试技术的理论基础

