

2010 年 1 月 1 日 起 施 行

《 中 华 人 民 共 和 国 工 伤 保 险 法 》 《 工 伤 保 险 法 实 施 条 例 》

中 华 人 民 共 和 国 人 事 社 会 保 险 法 律 法 规 集 成 卷

第 一 次 修 订 版
第 一 次 修 订 版
第 一 次 修 订 版



《 中 华 人 民 共 和 国 工 伤 保 险 法 》
《 工 伤 保 险 法 实 施 条 例 》

第 一 次 修 订 版
第 一 次 修 订 版

机械工程测试原理与技术

主编 秦树人

副主编 张明洪 罗德扬

编委 郭祚达 汤宝平 周吉彬

余愚 杨成银 田大庆

重庆大学出版社

内 容 提 要

摇摇本教材吸收编者多年的教学经验和科研成果,同时借鉴了同类教材的相关内容,着重于物理概念和工程应用的阐述,重点突出,条理清晰,分析透彻,内容符合教学大纲的要求。

本教材共分 5 章,内容包括:测量误差的基本性质与处理,信号分析基础,测试系统的基本特性,模拟信号分析,信号采集与数字分析原理及技术,传感器原理与测量电路,机械工程几何量测量,振动测试,噪声测量,应变、应力测试,其他机械参量测量(力与扭矩的测量、温度的测量),虚拟测试仪器。不同的专业可根据自己的教学要求选择讲授有关章节。

本书可作为高等学校机械类及相关专业本科生的教材和硕士研究生的参考书,也可供从事机械工程测试工作的工程技术人员参考。

摇摇图书在版编目(CIP)数据

摇摇机械工程测试原理与技术 / 秦树人主编. — 重庆:重庆大学出版社, 2004.12

摇摇I. ①机... II. ①秦... III. ①机械... IV. ①TB1

摇摇I. 机械工程—测试技术—教材 IV. TB1

摇摇中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 19888 号

机械工程测试原理与技术

主 编 秦树人 摇摇摇摇

副 编 张明洪 摇摇罗德扬

责任编辑:曾令维

版式设计:曾令维

责任校对:蓝安梅

责任印制:张永洋

*

重庆大学出版社出版发行

出 版 人 张 鹤 盛

社 址 重庆市沙坪坝正街 5 号 重庆大学(粤 区) 内

邮 编 400018

电 话 (总 机) 23890000 23890001 23890002

传 真 (总 机) 23890000 23890001 23890002

网 址 <http://www.cqup.com.cn>

邮 箱 6309 邮 政 电 报 挂 号 6309

全 国 新 华 书 店 经 销

自 贡 新 华 印 刷 厂 印 刷

*

开 本 787mm×1092mm 1/16 印 张 19.5 字 数 500 千

2004 年 12 月 第 1 版 2004 年 12 月 第 1 次 印 刷

印 数 1—5000

定 价 28.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 摇摇翻印必究

前 摇 言

“测试技术”自 1958 年被正式列入机械制造专业的教学课程以来,已成为“机械自动化”、“机械电子工程”、“车辆工程”等专业的主干课程。

测试技术与测试仪器是获取信息、分析和处理测量数据的关键技术与手段,是从事科学研究、产品质量检验与控制不可缺少的工具,可以说,没有测试技术和测试仪器便没有科学研究今天的成就和明天的发展,而整个制造业则会因为没有测试技术和测试仪器而导致产品质量体系的彻底崩溃!因此,测试技术与测试仪器的相关知识是已经或将要从事科技与生产的人员必须学会、必须掌握的一门重要的专业基础知识。

目前与“机械测试”有关的教材和教学参考书已有多种,各种版本各有所长,各有所取。本教材正是以现有的多种版本为借鉴,同时又紧扣时代脉搏,尽可能反映现代测试科学的最新发展撰写而成的。特别需要说明的是,为了弥补“公差与技术测量”课程在机械工程专业中的大幅削减,本教材以一定篇幅对这一测量技术中的重要内容予以反映。

本书由重庆大学秦树人教授任主编并对全书进行统稿。西南石油学院张明洪教授、昆明理工大学罗德扬教授任副主编,四川大学郭祚达副教授、重庆大学汤宝平副教授、四川工业学院余愚副教授、贵州工业大学周吉彬副教授、杨成银副教授以及四川大学田大庆讲师任编委,全书是在以上各位老师的通力合作下完成的。

重庆大学梁德沛教授担任本书主审。

重庆大学机械学院张承贵高工和博士生钟佑明、纪跃波、郭瑜、季忠、金涛、梁玉前、王见,硕士生谢亭亭、周传德、尹爱军参加了本教材的校对工作。

凡本教材参阅过的文献均一一列于每章的末尾,以备读者查阅。

由于编者水平所限,且成书时间稍嫌仓促,书中定有不少纰漏,望读者指正。

秦树人

2004年 远月

于重庆大学机械学院测试中心

目 录

绪 论	员
第 1 章 测试技术的任务和重要性	圆
第 2 章 测试过程和测试系统的组成	源
第 3 章 课程的对象和要求	远
第 4 章 测量误差的基本性质与处理	愿
第 4.1 节 测量误差的基本概念	怨
第 4.1.1 节 测量误差的定义	怨
第 4.1.2 节 误差分类	圆
第 4.1.3 节 测量结果的精度	员
第 4.1.4 节 测量不确定度	圆
第 4.2 节 误差的基本性质与处理	圆
第 4.2.1 节 随机误差的概率分布	圆
第 4.2.2 节 随机误差的估计	缘
第 4.2.3 节 系统误差的发现准则和减少消除方法	苑
第 4.2.4 节 测量粗大误差的存在判定准则	园
第 4.3 节 测量系统的误差计算方法	圆
第 4.4 节 测量系统最佳测量方案的确定	圆
习 题	猿
第 5 章 信号分析基础	猿
第 5.1 节 信号的分类及其基本参数	猿
第 5.1.1 节 信号的概念及其描述方法	猿
第 5.1.2 节 信号分类	猿
第 5.1.3 节 信号分析中的常用函数	源
第 5.1.4 节 信号的时域统计分析	愿
第 5.1.5 节 信号的幅值域分析	愿
第 5.2 节 周期信号及其频谱	缘
第 5.2.1 节 傅里叶级数与周期信号的分解	缘
第 5.2.2 节 周期信号的频谱	缘
第 5.3 节 非周期信号及其频谱	缘

摇机械工程测试原理与技术

▲ 摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇

圆缘园 摇摇 傅里叶变换与非周期信号的分解	缘
圆缘园 摇摇 非周期信号的频谱	缘
圆缘园 摇摇 傅里叶变换的主要性质	远
圆缘园 摇摇 几种典型信号的频谱	远
圆缘园 摇摇 随机信号的频谱	远
圆缘园 摇摇 随机信号的自功率谱密度函数	远
圆缘园 摇摇 两随机信号的互谱密度函数	远
圆缘园 摇摇 相干函数与频率响应函数	远
圆缘园 摇摇 信号的相关分析	远
圆缘园 摇摇 相关系数与相关函数	远
圆缘园 摇摇 相关函数的性质	苑
圆缘园 摇摇 随机信号的相关函数与其频谱的关系	苑
圆缘园 摇摇 卷积	苑
圆缘园 摇摇 含有单位脉冲函数 δ 的卷积	苑
圆缘园 摇摇 时域卷积定理	苑
圆缘园 摇摇 频域卷积定理	苑
圆缘园 摇摇 卷积与相关之间的关系	苑
圆缘园 摇摇 时频分析	愿
圆缘园 摇摇 短时傅里叶变换	愿
圆缘园 摇摇 魏格纳分布	愿
圆缘园 摇摇 小波分析	愿
习题	愿
第 猿章 摇摇 测试系统的基本特性	怨
猿缘园 摇摇 测试系统概述	怨
猿缘园 摇摇 线性系统及其微分方程描述	怨
猿缘园 摇摇 线性系统的特性	员园
猿缘园 摇摇 测试系统的静态传递特性	员员
猿缘园 摇摇 静态传递方程与定度曲线	员员
猿缘园 摇摇 灵敏度	员员
猿缘园 摇摇 线性度	员员
猿缘园 摇摇 回程误差	员员
猿缘园 摇摇 稳定性	员员
猿缘园 摇摇 测试系统的动态传递特性	员源
猿缘园 摇摇 测试系统动态传递特性的频域描述	员源
猿缘园 摇摇 测试系统动态传递特性的时域描述	员源

猿猿猿 猿测试系统动态特性的识别	猿猿
猿猿 猿测试系统不失真传递信号的条件	猿远
习题	猿愿
第 源章 猿模拟信号分析	猿怨
源源 猿调制与解调	猿园
源源源 猿幅值调制与解调原理	猿园
源源源 猿角度调制与解调原理	猿园
源源 猿滤波器	猿源
源源源 猿滤波器分类	猿源
源源源 猿理想滤波器	猿源
源源源 猿实际滤波器	猿远
源源 猿微分、积分与积分平均	猿园
源源源 猿微分器	猿园
源源源 猿积分器	猿园
源源源 猿积分平均	猿员
源源 猿模拟信号分析技术应用举例	猿
源源源 猿幅值调制在测试仪器中的应用	猿
源源源 猿频率调制在工程测试中的应用	猿猿
源源源 猿模拟滤波器的应用	猿源
源源源 猿模拟频谱分析	猿缘
习题	猿苑
第 缘章 猿信号采集与数字分析原理及技术	猿愿
缘源 猿信号数字分析的基本步骤	猿怨
缘源 猿模拟—数字转换原理与采样定理	猿园
缘源源 猿信号的离散采样与量化	猿园
缘源源 猿采样定理	猿园
缘源源 猿离散信号的频谱	猿苑
缘源源 猿频率混叠现象及其防止	猿怨
缘源源 猿离散采样的一般解释	猿
缘源 猿信号的时域截断与泄漏	猿猿
缘源源 猿截断与泄漏	猿猿
缘源源 猿常用窗函数及其特性	猿远
缘源 猿离散傅里叶变换 阅栽及其快速算法 云栽	猿愿
缘源源 猿离散傅里叶变换原理	猿愿
缘源源 猿阅栽的周期性和共轭性	猿员

远愿缘摇光栅传感器的应用	圆愿
远愿摇光纤传感器	圆愿
远愿缘摇光导纤维结构与传输原理	圆愿
远愿爱摇光纤传感器及其分类	圆园
远愿裁摇光纤传感器的应用	圆员
第 苑章摇机械工程几何量测量	圆源
苑源摇几何量测量技术概况	圆缘
苑源爱摇几何量测量的概念	圆缘
苑源裁摇几何量测量的四大要素	圆缘
苑源园摇几何量测量系统的组成	圆愿
苑园摇激光量块干涉仪计数法测量	圆怨
苑园爱摇激光光电光波比长仪线纹测量	圆圆
苑园裁摇阅再一员光栅式测量仪大尺寸测量	圆缘
苑园园摇双频激光干涉法测量	圆远
苑园园摇圆分度误差自动测量	圆愿
苑园园爱摇圆分度误差的评定指标	圆愿
苑园园裁摇标准度盘平均瞄准法原理	圆怨
苑园园园摇光电式度盘自动测量仪	圆园
苑园爱摇形位误差和表面粗糙度测量	圆园
苑园爱爱摇直线度误差的测量	圆园
苑园爱裁摇平面度误差的测量	圆源
苑园爱园摇圆度误差的测量	圆苑
苑园爱爱摇表面粗糙度的测量	圆园
苑园裁摇丝杆螺旋线误差的测量	圆猿
苑园裁爱摇螺旋线误差形成原理	圆源
苑园裁裁摇螺旋线误差的光栅激光动态测量	圆源
苑园裁园摇螺旋线误差曲线分析	圆远
苑园园摇三坐标测量机及其应用	圆院
苑园园爱摇三坐标测量机类型和组成	圆院
苑园园裁摇三坐标测量机的测量与应用	圆缘
习题	圆苑
第 愿章摇振动测试	圆园
愿源摇测振传感器	圆员
愿源爱摇相对式测振传感器	圆员
愿源裁摇绝对式测振传感器	圆员

摇机械工程测试原理与技术

▲ 摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇

愿摇摇典型测振传感器	愿缘
愿摇摇磁电式速度传感器	愿缘
愿摇摇压电式加速度传感器	愿元
愿摇摇电阻应变式、压阻式加速度传感器	愿愿
愿摇摇伺服式加速度传感器	愿愿
愿摇摇光导纤维传感器	愿园
愿摇摇振动测量与试验	愿员
愿摇摇振动测量的基本方法	愿员
愿摇摇机械阻抗的测量	愿猿
愿摇摇测振系统的定度和校准	愿源
愿摇摇测试方案制定和测试系统的选择	愿愿
愿摇摇振动测试应用实例	愿园
愿摇摇振动实验装置简介	愿猿
愿摇摇实验装置的目的	愿猿
愿摇摇实验装置的组成	愿源
愿摇摇激励信号源简介	愿元
愿摇摇测振仪简介	愿元
愿摇摇虚拟式测试仪器库简介	愿元
习题	愿苑
第 怨章 摇摇噪声测量	猿员
怨摇摇声学基本概念	猿园
怨摇摇声波和噪声	猿园
怨摇摇噪声的物理度量	猿猿
怨摇摇噪声测量中的级与级的单位分贝(dB)	猿缘
怨摇摇声压级的叠加、扣除和平均	猿元
怨摇摇噪声的频谱和频带	猿员
怨摇摇窄带频谱和声压谱级	猿员
怨摇摇频带声压级与倍频程频谱	猿员
怨摇摇噪声的主观评价	猿元
怨摇摇纯音的主观评价	猿元
怨摇摇宽度噪声的主观评价	猿愿
怨摇摇噪声测量原理和常用仪器	猿员
怨摇摇测量传声器	猿园
怨摇摇声级计	猿缘
怨摇摇工业噪声测量	猿愿

远

怨猿猿	怨猿猿 一般现场测量	猿猿猿
怨猿猿	怨猿猿 声强测量	猿猿猿
习题		猿猿猿
第 猿章 应变、应力测试		猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 概述	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 应变片的选择	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 敏感栅材料的选择	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 底基材料的选择	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 栅长与栅厚的选择	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 灵敏系数的选择	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 测试环境的选择	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 在特殊条件下对应变片的选择	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 应变测量电路	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 直流电桥	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 交流电桥	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 放大电路	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 布片与组桥	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 布片的一般原则	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 组桥	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 典型应力状态的布片及主应力计算	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 保证应变测试精度的措施	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 减少贴片误差	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 克服附加电阻的影响	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 准确定度	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 温度补偿	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 其他措施	猿猿猿
第 猿章 其他机械参量测量		猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 力与扭矩的测量	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 力的测量	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 扭矩的测量	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 温度的测量	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 接触法测温	猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 非接触法测温	猿猿猿
第 猿章 虚拟测试仪器		猿猿猿
猿猿猿	猿猿猿 导论	猿猿猿

机械工程测试原理与技术

▲ 虚拟仪器的概念

虚拟仪器的概念	猿源
虚拟仪器的产生和现状	猿缘
虚拟仪器的硬件系统	猿远
虚拟仪器的软件系统	猿苑
虚拟仪器的开发	猿愿
基于 孕悦平台的虚拟仪器的基本构成	猿怨
虚拟仪器的形成	猿恕
虚拟仪器的特点	猿员
虚拟仪器的发展	猿圆
虚拟仪器的总线系统	猿猿
虚拟仪器概述	猿猿
虚拟仪器应用总线系统	猿缘
虚拟仪器工业总线系统	猿苑
虚拟仪器 孕悦总线系统	猿园
虚拟仪器开发系统	猿缘
虚拟仪器概述	猿缘
虚拟仪器“框架协议”开发系统简介	猿远

绪摇论

从机械结构动力学分析的角度看,测试技术的任务又可归结为研究系统的输入(激励)、输出(响应)以及系统本身的特性(系统函数或传递函数)和它们三者之间的相互关系:

员)已知激励、响应,求系统的动态特性(传递函数),用以验证系统特性的数学模型。在工程模型试验方面,可进行产品的动态设计、结构参数设计和模型特征参数的研究等。

圆)已知系统的特性(传递函数)和响应(输出),求激励(输入),用以研究载荷或载荷谱。某些工程系统(如火箭、车辆、井下钻具等)的载荷(如阻力、风浪等)很难直接测得,设计这些系统时往往凭经验和假设,因此误差较大。采用参数识别的方法能准确地求得载荷。为此目的组成的测试系统称为载荷识别系统,它为产品的优化设计提供了依据。

猿)由已知的测量系统对被测系统的响应进行测量分析。被测量可以是电量,也可以是非电量。该系统的功用是测量响应的大小、频率结构和能量分布等,也可用于计量、系统监测以及故障诊断等。

当系统响应超过其特定输出时,控制装置的功能将调整被测系统的参数,使响应(输出)发生相应的改变,从而使系统工作在最佳响应状态或使系统按规定的指令工作。这种响应——控制系统常用于参数的自动测量与控制。

随着科学技术水平的不断提高和生产技术的高速发展,机械工程测试技术也随之向前发展,卡式仪器、总线仪器直至集成仪器,近年出现的虚拟仪器和集成虚拟仪器库不断地丰富测试领域的手段。此外,测试系统的体系结构、测试软件、人工智能测试技术等也有很大的发展。仪器与计算机技术的深层次结合产生了全新的测试仪器的概念和结构。近年来,计算机技术在现代测试系统中的地位显得越来越重要,软件技术已成为现代测试系统的重要组成部分。当然,计算机软件不可能完全取代测试系统的硬件。因此,现代测试技术要求从事测试科技的人员具备良好的计算机技术基础,更要求深入掌握测试技术的基本理论和方法。

在现代测试技术中,通用集成仪器平台的构成技术、数据采集、数字信号分析处理软件技术是决定现代测试仪器系统性能与功能的三大关键技术。以软件化的虚拟仪器和虚拟仪器库为代表的现代测试仪器系统与传统测试仪器相比较的最大特点就在于,用户可在集成仪器平台上按自己的要求开发相应的应用软件,构成自己所需要的实用仪器和实用测试系统,其仪器和系统的功能不局限于厂家的束缚。特别当测试仪器系统进一步实现了网络化以后,仪器资源将得到很大的延伸,其性能价格比将获更大的提高,机械工程测试领域将出现一个更加蓬勃发展的新局面。

图 1-1 测试过程和测试系统的组成

如前所述, 机械工程测试的主要任务就是从机械设备的测试信号中提取所需的特征信息。对于机械系统, 信息是其客观存在的静动态状态特征。信号中包含有丰富的信息, 根据不同的目的要求, 信号中所包含的信息有的是有用信息, 而另一些则为无用信息。无用信息通常称为噪声。信号也是多种多样的, 按物理性质可分为非电信号和电信号。为便于拾取、传输、放大、分析处理和显示记录等, 一般都需要将非电信号转换为电信号。

因此, 机械工程测试过程一般包含了从被测对象拾取机械信号, 再将非电性质的机械信号转换为电信号, 信号经放大后输入后续信号处理设备进行分析处理, 信号分析处理可采用模拟系统或数字分析处理系统。由于后者有高的性能价格比、高稳定性、高精度, 故目前多采用数字式分析处理系统。

为了从被测对象提取所需要的信息, 需要采用适当的方式对被测对象实行激励, 使其既能产生特征信息, 同时又能产生便于检测的信号。例如, 在测取机械系统的固有频率时, 采用瞬态激振或稳态正弦扫描激振, 激发该系统的振动响应, 拾取其响应信号。通过分析便可求出系统固有频率。

测试系统由一个或若干个功能元件组成。广义地说, 一个测试系统应具有以下的功能, 即将被测对象置于预定状态下, 并对被测对象所输出的特征信息进行拾取, 变换放大, 分析处理, 判断, 记录显示, 最终获得测试目的所需要的信息。图 1-1 表示测试系统的构成。

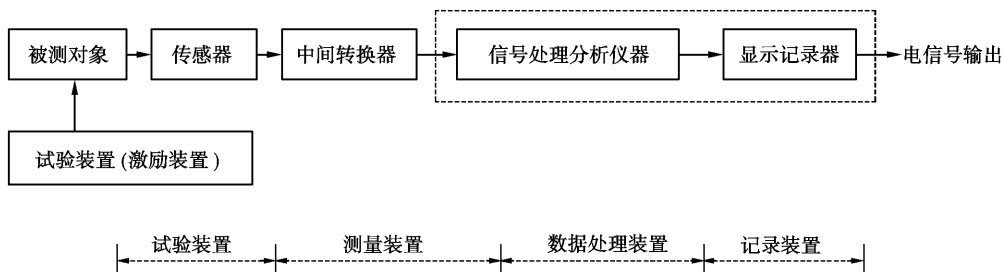


图 1-1 测试系统框图

由图 1-1 可见, 一个测试系统一般由试验装置、测量装置、数据处理装置和显示记录装置等所组成。

(一) 试验装置

试验装置是使被测对象处于预定的状态下, 并将其有关方面的内在联系充分显露出来, 以便进行有效测量的一种专门装置。测定结构的动力学参数时, 所使用的激振系统就是一种试验装置, 如图 1-2 所示。激振系统由虚拟仪器中的信号发生器