



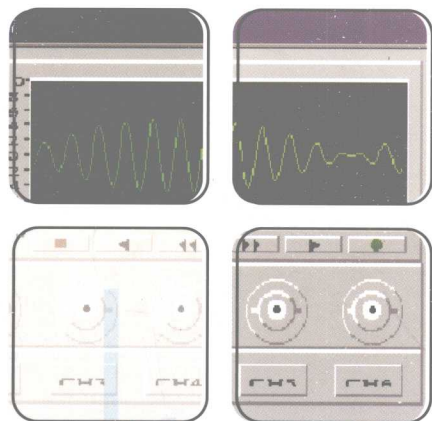
全国高等院校测控技术与仪器专业**创新型**人才培养规划教材

测试技术基础

(第2版)

赠送电子课件

主 编 江征风



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国高等院校测控技术与仪器专业创新型人才培养规划教材

测试技术基础 (第2版)

主 编	江 征 风	
副主编	赵 燕	徐汉斌
参 编	李如强	吴华春
主 审	胡业发	



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书主要讲述测试技术基础理论及非电量测量,共9章:绪论,信号的分类及频谱分析,测试系统的基本特性,常用传感器,信号变换及调理,随机信号相关和功率谱分析,记录及显示仪,机械振动测试与分析 and 现代测试技术。

本书可作为高等院校机械、仪器、测控和自动化等专业学生学习测试技术的教科书,也可作为相关科技和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

测试技术基础/江征风主编. —2版. —北京:北京大学出版社, 2010.1

(全国高等院校测控技术与仪器专业创新型人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-16530-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 231016 号

书 名: 测试技术基础(第2版)

著作责任者: 江征风 主编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-16530-0/TH • 0175

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16开本 17.5印张 彩插2 405千字

2007年1月第1版 2010年1月第2版 2010年1月第1次印刷

定 价: 30.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

第2版前言

本书第1版于2007年1月出版以来,经过多所高校和大量读者的使用,编者获得了许多宝贵的经验和意见。为此,编者对第1版部分章节的内容进行了调整和较大修改:按照信号测试过程的流程来组织全书的内容;将原来第3章“测试信号的分析与处理”改为第6章“随机信号相关和功率谱分析”;在第2章中增加了“离散傅里叶变换”的内容;对第1版中存在的某些疏漏和印刷错误做了更正。

本书第2版配有大量实物图片,使内容表达更加直观易懂。部分有代表性的实物图片制成两页彩色插页,意在增强可读性和趣味性。

各章部分计算题还提供参考答案,可登录以下网址下载: www.pup6.com。

本书第2版由武汉理工大学江征风教授主编并统稿,赵燕、徐汉斌担任副主编,李如强、吴华春参加编写。具体分工:第1章由江征风编写;第2章、第5章、第6章由李如强编写;第3章由徐汉斌编写;第4章由赵燕编写;第7~9章由吴华春编写。

书中编写的部分内容参考了相关企业的最新产品资料和兄弟院校同行作者的有关文献,在此对书中所列参考文献、引用的相关教材与资料的作、译者和出版单位一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不足及欠妥之处,恳请同行及广大读者批评指正。

编 者

2009年10月于武汉

第 1 版前言

在科学研究与社会生产活动的过程中,需要对研究对象、生产过程及产品研发中的各种物理现象和物理量进行观察与定量的数据分析。伴随着科学研究与生产技术的发展进步,对各种物理量和物理现象进行测量与试验的要求越来越广泛,这种状况极大地推动了测试技术的发展。而每一次新的测量理论、测试方法、测试设备的出现,也促进了其他学科与工程技术的发展。测试技术已经成为从事科学研究与工农业生产的技术人员必须掌握的专业技术基础知识。

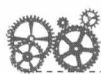
测试技术基础是机械类专业本科生必修的一门专业基础课。武汉理工大学从 1982 年开始开设测试技术基础课程,是全国最早开设此课程的高校之一。1988 年由武汉理工大学机械系测试教研组编写了《测试技术基础》一书,1996 年正式出版了《测试技术基础》教材;2005 年,测试技术基础课被评为湖北省省级精品课。武汉理工大学教师经过 20 多年的教学和科研实践,在教学内容、教材和实验室建设等方面积累了很多宝贵经验和科研案例素材,并力图将这些经验体会、案例素材融入本书的内容中。因此,本书在选材上特别注意了从应用角度出发,遵循由浅入深、循序渐进的认识规律,以案例讲解为引导,以通俗易懂的语言和大量的例题做铺垫,逐步深入,便于读者更快更好地学习、理解和掌握测试技术的基本理论及测试方法和测试仪器;同时也着重介绍了现代测试技术发展的新领域(如书中第 9 章),以便读者能更全面、更深入地了解测试技术的全貌。

本书共 9 章,第 1~4 章主要介绍了测试技术的理论基础。其中第 1 章为绪论,介绍测量与试验的概念及相互关系,测量方法的分类与非电量测试系统的构成,测试技术的发展、意义及涵盖的内容;第 2 章介绍信号的理论、信号的分类、信号的时域描述与频域描述方法,以及信号的频谱;第 3 章介绍测试信号的分析与处理;第 4 章介绍测试系统特性描述的方法、理论与工程应用。第 5~7 章分别介绍了测试信号的传感、调理和记录与显示方面的理论及应用。第 8 章介绍了常见物理量——机械振动(力、位移、速度、加速度)的测量和机械阻抗的测试原理及测试仪器的特性。第 9 章专门介绍了现代测试系统的构成及虚拟测试技术的概况。教学内容上的这些安排,便于读者在完成第一部分(前 4 章)基础理论内容学习的基础上,进一步掌握综合应用测试技能进行不同物理量测试的知识。其他专业教师选用本书时,适当取舍内容后可适应不同层次及不同专业的教学要求。

本书由武汉理工大学江征风教授主编并统稿,赵燕、徐汉斌任副主编,李如强、张萍、吴华春参加编写。

武汉理工大学机电学院胡业发教授担任本书的主审,他仔细审阅了全部书稿,提出了许多建设性意见和宝贵建议,在此向他表示诚挚的谢意!

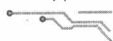
书中编写的部分内容参考了相关企业的最新产品资料和兄弟院校同行作者的有关文



献,在此对书中所列参考文献、引用的相关教材与资料的作者、译者和单位一并表示感谢!
由于编者水平有限,书中难免存在不足及欠妥之处,恳请同行及广大读者批评指正。

编 者

2006年9月于武汉



参考文献

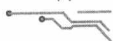
- [1] 严普强, 黄长艺. 机械工程测试技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [2] 卢文祥, 杜润生. 工程测试与信号处理[M]. 2版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000.
- [3] 余席桂, 赵燕. 测试技术基础. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1996.
- [4] [美]THOMAS GBECKWITH, ROY DMARANGONI, John H Lienhard V. 机械量测量[M]. 王伯雄译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [5] 范云霄, 刘桦. 测试技术与信号处理[M]. 北京: 中国计量出版社, 2002.
- [6] 秦树人. 机械工程测试原理与技术[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2002.
- [7] 陈花玲. 机械工程测试技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [8] 平鹏. 机械工程测试与数据处理技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001.
- [9] 王建民, 曲云霞. 机电工程测试与信号分析[M]. 北京: 中国计量出版社, 2004.
- [10] 刘经燕. 测试技术及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- [11] 贾民平, 张洪亭, 周剑英. 测试技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [12] 王伯雄. 测试技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [13] 李孟源. 测试技术基础[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.
- [14] REDA DC, NASA Sullivan. Advanced measurement techniques[M]. Belgium: Von Karman Institute, 2001.
- [15] 胡广书. 数字信号处理导论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [16] 周利清, 苏菲. 数字信号处理基础[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005.
- [17] SIMON HAYKIN, BARRY VAN VEEN. Signals and systems[M]. New York: John Wiley & Sons, 2002.
- [18] DAVID SWANSON C. Signal Processing for Intelligent Sensor Systems[M]. New York: Marcel Dekker, 2000.
- [19] ASHFAQ A KHAN. Digital Signal Processing Fundamentals. *Electrical and Computer Engineering Series Massachusetts*: Charles River Media, 2004.
- [20] 张发启. 现代测试技术及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [21] 雷霖, 王厚军, 周文建. 现代测试技术实验平台研究[J]. 实验科学与技术, 2005(10).
- [22] 赵庆海. 测试技术与工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [23] [日]三浦宏文. 机电一体化[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [24] 申忠如, 郭福田, 丁辉. 现代测试技术与系统设计[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2006.
- [25] 甄蜀春. 现代测试思想与方法的讨论[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2002(6).
- [26] 林月芳, 吉海彦. 智能仪器及其发展趋势[J]. 仪表技术, 2003(1).
- [27] 温红艳, 高静涛. 虚拟示波器基于声卡的设计与实现[J]. 微计算机信息, 2005(3).
- [28] 魏晨阳, 朱健强. 基于 LabVIEW 和声卡的数据采集系统[J]. 微计算机信息, 2005(1).
- [29] 赵玫, 周海亭. 机械振动与噪声学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [30] 胡宗武. 工程振动分析基础[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1999.
- [31] 鲍晓峰. 汽车试验与检测[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [32] 周建文, 詹樟松. 汽车平顺性评价试验中的试验数据处理[J]. http://www.aenmag.com/tech/end_zyzx.asp?id=77352.
- [33] 王建民, 曲云霞. 机电工程测试与信号分析[M]. 北京: 中国计量出版社, 2004.

目 录

第1章 绪论	1	2.4.2 离散傅里叶变换的图解表示	47
1.1 测试的含义	2	2.4.3 频率混叠和采样定理	51
1.2 测试技术在机械工程中的作用	3	2.4.4 量化和量化误差	54
1.3 测试方法分类与电测法测试系统	3	2.4.5 截断、泄漏和窗函数	55
1.3.1 测量的基本方法	4	小结	59
1.3.2 静态测试与动态测试	4	习题	60
1.3.3 非电量电测法	5	第3章 测试系统的基本特性	63
1.3.4 非电量电测系统的构成	6	3.1 系统的输入/输出与系统特性	64
1.4 课程的性质和任务	8	3.1.1 理想测试系统——线性时不变系统	65
1.5 测试技术的发展动向	9	3.1.2 实际测试系统线性近似	67
1.5.1 传感器技术的发展	9	3.2 测试系统的静态特性	67
1.5.2 测量方式多样化	9	3.2.1 灵敏度	67
小结	10	3.2.2 非线性度	68
习题	10	3.2.3 回程误差	69
第2章 信号的分类及频谱分析	11	3.3 系统动态特性的数学描述及其物理意义	69
2.1 信号的分类与描述	12	3.3.1 传递函数	70
2.1.1 信号的分类	12	3.3.2 频率响应函数与频响曲线	71
2.1.2 信号的时域描述和频域描述	16	3.3.3 权函数	74
2.2 周期信号与离散频谱	17	3.3.4 测试系统中环节的串联与并联	74
2.2.1 周期信号的傅里叶级数的三角函数展开	17	3.4 系统实现动态测试不失真的频率响应特性	76
2.2.2 周期函数的奇偶特性	19	3.5 常见测试系统的频率响应特性	78
2.2.3 周期信号的傅里叶级数的复指数函数展开	21	3.5.1 一阶系统	79
2.2.4 傅里叶级数的复指数与三角函数展开的关系	23	3.5.2 二阶系统	82
2.2.5 周期信号的强度表述	27	3.6 测试系统动态特性的测试	84
2.3 瞬态信号与连续频谱	29	3.6.1 稳态响应法	85
2.3.1 傅里叶变换	29	3.6.2 脉冲响应法	86
2.3.2 傅里叶变换的主要性质	32	3.6.3 阶跃响应法	87
2.3.3 几种典型信号的频谱	36	3.7 组成测试系统应考虑的因素	89
2.4 离散傅里叶变换	45	小结	91
2.4.1 数字信号、模/数(A/D)转换和数/模(D/A)转换	45	习题	92



第4章 常用传感器	95	5.3 滤波器	157
4.1 概述	96	5.3.1 滤波器的分类	157
4.1.1 传感器的定义	96	5.3.2 理想滤波器	158
4.1.2 传感器的分类及要求	97	5.3.3 实际RC滤波器	160
4.2 电阻传感器	99	5.3.4 恒带宽比滤波器和恒带宽 滤波器	165
4.2.1 电位器	99	小结	168
4.2.2 应变式电阻传感器	100	习题	169
4.2.3 其他电阻传感器	105	第6章 随机信号相关和功率谱分析	172
4.3 电容传感器	108	6.1 随机信号的基本概念	173
4.3.1 电容传感器的变换原理	109	6.1.1 概述	173
4.3.2 电容传感器的应用实例	112	6.1.2 随机信号的主要特征参数	174
4.4 电感传感器	113	6.2 幅值域分析	175
4.4.1 可变磁阻式电感传感器	114	6.2.1 统计特征参数	175
4.4.2 涡流式电感传感器	117	6.2.2 概率密度函数	176
4.4.3 差动变压器式电感传感器	120	6.2.3 概率密度函数的工程应用	177
4.4.4 电感传感器的应用实例	121	6.3 相关分析及其应用	179
4.5 磁电传感器	122	6.3.1 相关的概念	179
4.5.1 动圈式(动磁式)磁电传感器	122	6.3.2 相关系数与相关函数	179
4.5.2 磁阻式磁电传感器	124	6.3.3 自相关函数及其应用	181
4.6 压电传感器	125	6.3.4 互相关函数及其应用	185
4.6.1 压电效应	125	6.4 功率谱分析及其应用	190
4.6.2 压电传感器及其等效电路	126	6.4.1 巴塞伐尔(Paseval)定理	190
4.6.3 前置放大器	129	6.4.2 功率谱分析及其应用	191
4.6.4 压电传感器的应用	130	6.4.3 相干函数	195
4.7 磁敏传感器	133	小结	197
4.7.1 半导体磁敏传感器(半导体 霍尔元件)	133	习题	197
4.7.2 磁敏传感器的应用	134	第7章 记录及显示仪	199
小结	136	7.1 概述	200
习题	136	7.2 光线示波器	200
第5章 信号变换及调理	138	7.2.1 光线示波器的工作原理和 结构组成	201
5.1 电桥	139	7.2.2 振子特性	202
5.1.1 直流电桥	139	7.2.3 光线示波器的种类和选用	206
5.1.2 交流电桥	142	7.3 记录仪	206
5.2 调制与解调	144	7.3.1 笔式记录仪	207
5.2.1 概述	144	7.3.2 磁带记录仪	209
5.2.2 调幅与解调测量电路	145		
5.2.3 调频及解调测量电路	154		





7.3.3 新型记录仪	214	8.7.3 矢量法	249
7.4 数字显示系统	216	小结	250
小结	220	习题	250
习题	220		
第 8 章 机械振动测试与分析	222	第 9 章 现代测试技术	252
8.1 概述	223	9.1 概述	253
8.2 振动的基本知识	224	9.2 现代测试系统的基本概念	253
8.2.1 振动的分类	224	9.3 现代测试系统的基本组成	256
8.2.2 单自由度系统的受迫振动	225	9.4 现代测试系统的特点	257
8.2.3 多自由度系统振动	228	9.5 虚拟测试仪器技术	258
8.2.4 机械阻抗的概念	229	9.5.1 虚拟仪器的含义及其特点	258
8.3 振动的激励	230	9.5.2 虚拟仪器的组成	259
8.3.1 激振的方式	230	9.5.3 虚拟仪器的典型单元模块	261
8.3.2 激振设备	232	9.5.4 虚拟仪器的开发系统	262
8.4 测振传感器(拾振器)	236	9.5.5 虚拟仪器的应用	263
8.4.1 常用测振传感器的类型	236	9.5.6 LabVIEW 简介	264
8.4.2 惯性式拾振器的工作原理	236	9.6 智能仪器	265
8.4.3 压电式加速度拾振器	238	9.6.1 智能仪器的工作原理	265
8.4.4 选择测振传感器的原则	238	9.6.2 智能仪器的功能特点	266
8.5 振动信号分析仪器	239	9.6.3 智能仪器的发展概况	266
8.6 振动测试系统及数据处理实例	240	9.7 现代测试系统实例	267
8.7 机械结构的固有频率和		小结	269
阻尼率估计	244	习题	269
8.7.1 总幅值法	245		
8.7.2 分量法	247	参考文献	270



第 1 章

绪 论



教学提示

引导初学者正确理解机械工程测试的基本概念。测试的含义，测量和测试的联系及区别，非电量电测法的基本概念，系统的基本构成。



教学要求

正确理解测量与测试的含义，掌握非电量电测法基本系统的构成，了解本课程应用领域。



1.1 测试的含义

测试是人们认识客观事物的一种常用方法。测试技术泛指测量和试验两个方面的技术。

对生产、生活和科学研究活动中的各种物理量的确定构成了测量的全部内涵。测量的过程或行为就是进行一个被测量与一个预定标准之间的定量的比较,从而获得被测对象的数值结果。被测量表示被观察和被量化的特定物理参数,这个物理参数称为测量过程的输入量。

如图 1.1 所示,为了确定某人的身高(一个被测量),通常采用标准长度的米尺(一个预定标准)对其进行测量,通过被测量与预定标准之间的定量比较,从而得到此人实际的身高(被测对象的数值结果)。

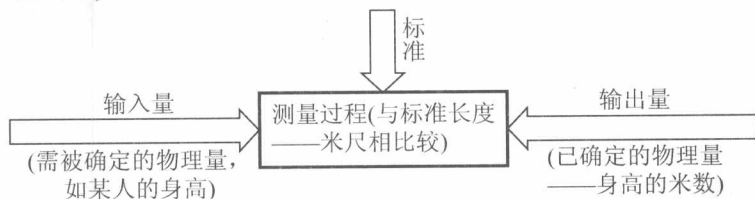


图 1.1 测量过程与输入量和输出量的关系

比较的标准必须与被测量具有相同的特征,这些标准通常是被法定的或被认可的机构或组织规定和确认,如国际标准化组织(ISO)或中国国家标准化管理委员会(SAC)。“米”(m)便是一个明确规定的长度计量标准。

机械测量的范畴中除了长度、质量、时间等基本量之外,还包括温度、应力、应变、流体、声学以及与力(力矩、压力)和运动(如位移、速度、加速度)有关的参数等。

试验是对被研究的对象或系统进行实验性研究的过程。通常是将被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被研究对象的性能的过程。图 1.2 所示为汽车乘坐舒适性的台架试验。坐椅处的加速度是衡量乘坐舒适性的指标之一。坐椅的加速度由置于坐椅处的加速度计测量,而液压振动台则提供汽车在颠簸道路上行驶的状态模拟,测量得到的加速度的实验数据反映了汽车乘坐舒适性的一个指标。

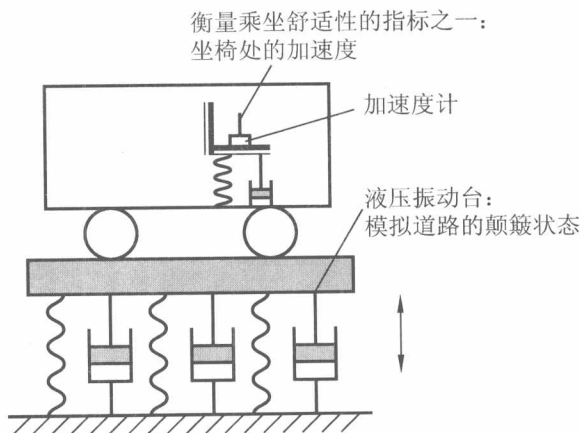
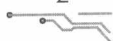


图 1.2 试验与测量的关系





综上所述,通过实验得到的实验数据成为研究对象的重要依据(如通过座椅处加速度值来评价该车的乘坐舒适性,如果超标,则表示应改进该车的设计),而测量的重要性在于它提供了系统所要求的和实际所取得的结果之间的一种比较。测试是具有试验性质的测量,是测量和试验的综合。测试过程是借助专门设备,通过合适的实验和必要的数据处理,从研究对象中获得有关信息的认识过程。所以,测试科学属于信息科学范畴,又称信息探测工程学。

对于信息,一般可理解为消息、情报或知识,例如古代烽火是外敌入侵的信息。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。因此,可以说,信息是事物运动的状态和方式。

信息本身不是物质,不具有能量,但信息的传输却依靠物质和能量。我们把传输信息的载体称为信号。信息蕴涵于信号之中。例如古代烽火,人们观察到的是光信号,而它所蕴涵的信息则是“外敌入侵”。

信号是物理性的,是物质,具有能量。人类获取信息需要借助信号的传播,信号的变化则反映了所携带信息的变化。

测试工作的目的就是获取研究对象中有用的信息,而信息蕴涵于信号之中。因此,测试工作就是信号的获取、加工、处理、显示记录及分析的过程。

1.2 测试技术在机械工程中的作用

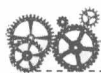
人类从事的社会生产、经济交往和科学研究活动总是与测试技术息息相关。首先,测试是人类认识客观世界的手段之一,是科学研究的基本方法。科学的基本目的在于客观地描述自然界。科学定律是定量的定律,科学探索离不开测试技术,用定量关系和数学语言来表达科学规律和理论也需要测试技术,验证科学理论和规律的正确性同样需要测试技术。事实上,科学技术领域内,许多新的科学发现与技术发明往往是以测试技术的发展为基础的,可以认为,测试技术能达到的水平,在很大程度上决定了科学技术发展水平。

同时,测试也是工程技术领域中的一重要技术。工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等都离不开测试技术。在自动化生产过程中常常需要用多种测试手段来获取多种信息,来监督生产过程和机器的工作状态并达到优化控制的目的。

在广泛应用的自动控制中,测试装置已成为控制系统的重要组成部分。在各种现代装备系统的设计制造与运行工作中,测试工作内容已嵌入系统的各部分,并占据关键地位。测试技术已经成为现代装备系统日常监护、故障诊断和有效安全运行的不可缺少的重要手段。

1.3 测试方法分类与电测法测试系统

测试是为了获取研究对象中的有用信息。也就是说,被研究对象的信息量总是非常丰富的,而测试工作是根据一定的目的和要求,获取有限的、观测者感兴趣的某些特定信息,而不是企图获取该研究对象的全部信息。有关信息的基本知识在第2章讲述。



从研究对象获取的信号所携带的信息往往很丰富,既有研究者所需要的信息,也含有大量不感兴趣的其他信息,后者被称为干扰。相应地,对于信号也有“有用信号”和“干扰信号”的提法,但这是相对的。在一种场合被认为是“干扰”的信号,在另一种场合则可能是“有用”的信号。例如,齿轮噪声对工作环境是一种“干扰”,但对于评价齿轮副的运行状态和进行故障诊断时,又成为“有用”的了。测试工作的一个重要任务就是从复杂的信号中排除干扰信号,提取出有用信号,此过程称为信号的处理和分析。有关信号的分析 and 处理知识在第6章讲述。

由于被测信号和测试系统的多样性和复杂性,产生了各种类型的测试方法,以及多种类型的测试系统。

1.3.1 测量的基本方法

1. 直接比较法

直接比较法就是通过直接将被测物理量与标准比较来进行测量的方法。如测量桌子的长度,可采用钢卷尺作为测量标准。将桌子的长度与这个标准做比较,就可得到桌子的长度是多少米,这就是通过直接的比较确定长度的测量方法。而所使用的标准——钢卷尺则称作二次标准,而原始长度标准则与光速有关。

2. 间接比较法

间接比较法必须使用某种形式的测量系统。如图1.2所示,为了检测汽车坐椅的加速度,可以用加速度传感器并后接放大和变换电路,将加速度转换为一个模拟电量输出,该模拟量的输出可通过记录设备最终表示成记录纸上的位移形式,该记录纸上的“位移”的变化规律与汽车坐椅的加速度变化规律一致。此方法表明,通过记录纸上的“位移”的间接测量得到了汽车坐椅加速度值。间接法是应用最广泛的测量方法。

又如图1.3所示的中国杆秤,是通过杠杆来完成质量(旧称重量)的间接测量。

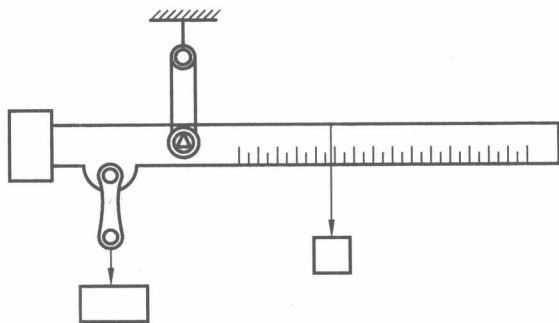


图 1.3 间接比较测量法

1.3.2 静态测试与动态测试

如果测试时信号不随时间变化,或随时间变化非常缓慢以至于可以忽略随时间的变化,则称这种测试是静态测试。如果所测试的信号变化较快,称这种测试为动态测试。在动态测试中,测试系统的各个环节(如传感器、放大器等)本身有自己的动态特性,而测试的研究对象也具有特定的动态特性,所以测试信号是上述动态特性的综合反映。因此,通过测试信号确定研究对象的动态特性比较复杂。第4章将讲述测试系统的特性。





1.3.3 非电量电测法

在机械工程测试中,要测试的信号往往是机械量。从狭义的范围讲,机械量包括与运动、力和温度有关的物理量,如位移、速度、加速度、外力、质量、力矩、功率、压力、流量、温度等。为了测试工作的方便,往往需要把被测试的机械量信号转换成其他形式的信号来处理。根据被测信号的转换方式,又可以把测试分成机械测量法、光测量法、气测量法、液测量法和电测量法等。

如图 1.4 所示,钢板的厚度通过齿轮齿条机构转变成机械指针的角位移,指针的位移仍为机械量,因此属于机械测量法。又如百分表测位移、天平砝码称重(质量)等都属于机械测量法。

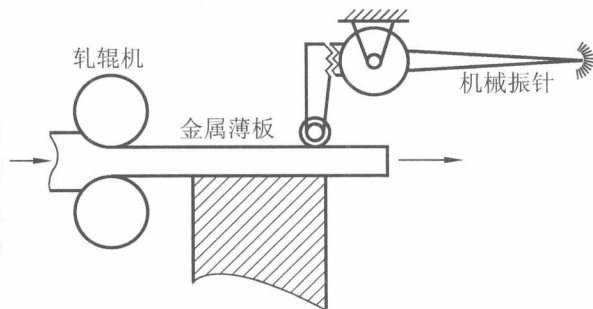


图 1.4 钢板厚度的机械测量法

光栅技术、激光测量技术和红外测量技术等都属于光测法。图 1.5 所示的表面粗糙度测量,是将光源的光通过光学系统聚焦到摆动的反光镜上,反光镜随着测量探针的移动而上下移动,使得反光镜上的光点随之移动并被反射到移动的感光纸上,形成记录曲线。该测量法中的传感器——摆动的反光镜将光信号转变为了光信号,故属于光测法。光测法的特点是精度高、稳定性好,但对环境条件要求高。一般来说,光测法宜于在实验室条件下进行,或作为对其他仪器标定使用。

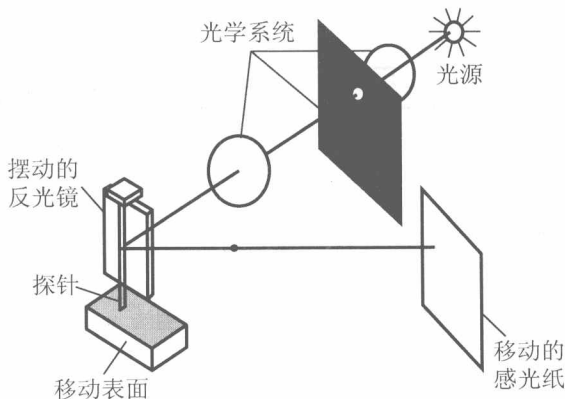


图 1.5 表面粗糙度的光测量法

图 1.6 所示是气动比较仪的工作原理图。中间压力 P_i 取决于气源压力 P_s 以及喷孔 O_1 和 O_2 之间的压降。喷孔 O_2 的有效尺寸随距离 d 而变化。当 d 变化时,压力 P_i 也会发生变化,这一变化可以用于尺寸 d 的测量。这种测量法称为气压测量法。

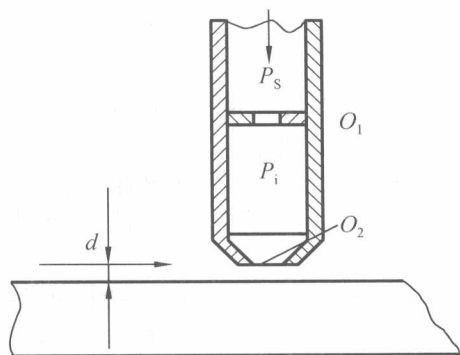
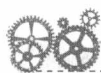


图 1.6 尺寸 d 的气压测量法

气压测量法、液压测量法对环境条件要求不高,但由于其可压缩性和响应较迟缓,只适宜做静态测试。

目前,机械工程中最普遍使用的测量方法是非电量电测法。这种测量方法精度高、灵敏度高,特别适于动态测试。电测法可以将不同的被测机械量信号转换成电信号,便于用统一的后继仪器进行处理和计算机分析。同时,利用电测法还便于进行远距离测量和控制,甚至可以进行无线遥控测量。图 1.2 所示的例子就是典型的非电量电测法,即加速度传感器将加速度信号变换为电量输出。图 1.7 所示的例子则是表面粗糙度的电测法。因为图 1.5 中的传感器——摆动的反光镜变成了压电晶体传感器,该传感器将探针的上下移动转变成了电信号送入放大器。可以说,电测法是现代测试技术发展的特点之一。本书重点讲述动态测试中的非电量电测法。

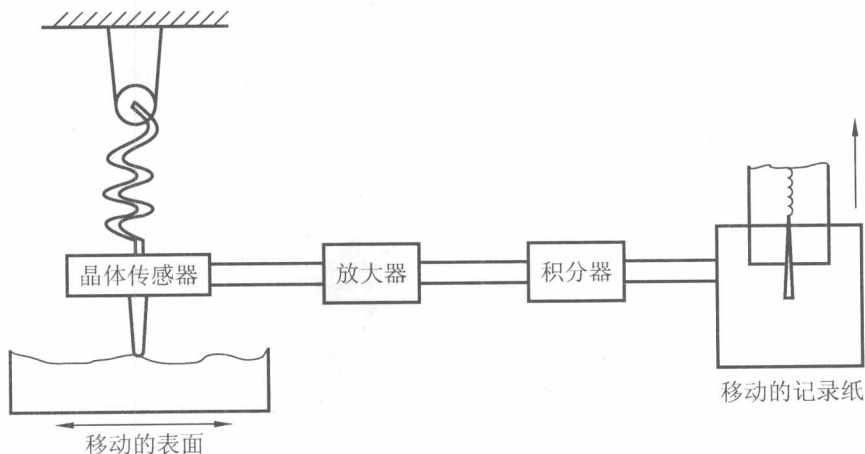


图 1.7 表面粗糙度的电测法

1.3.4 非电量电测系统的构成

图 1.2 所示的座椅舒适性试验中,为了将加速度计中输出的加速度信号传输到观察者,整个过程就必须力求既不失真,也不受干扰。或者说,要在有严重外界干扰的情况下提取和辨识出信号中所包含的有用信息,就必须在测试工作中对信号做必要的变换、放大等调理。有时还需要选用适当的方式来激励研究对象(信源),使它处于人为控制的运动状态(如





汽车的振动状态), 从而产生表征特征(舒适性信息)的信号(振动加速度), 图 1.2 中的液压振动台就是用于激励研究对象——汽车的装置, 称为激振装置。

据此, 非电量电测法的测试系统往往是由许多功能不同的仪器或装置所组成。加速度测试系统框图如图 1.8 所示, 由此也可得到一般的非电量测试系统框图, 如图 1.9 所示, 它由测量装置、标定装置和激励装置组成。

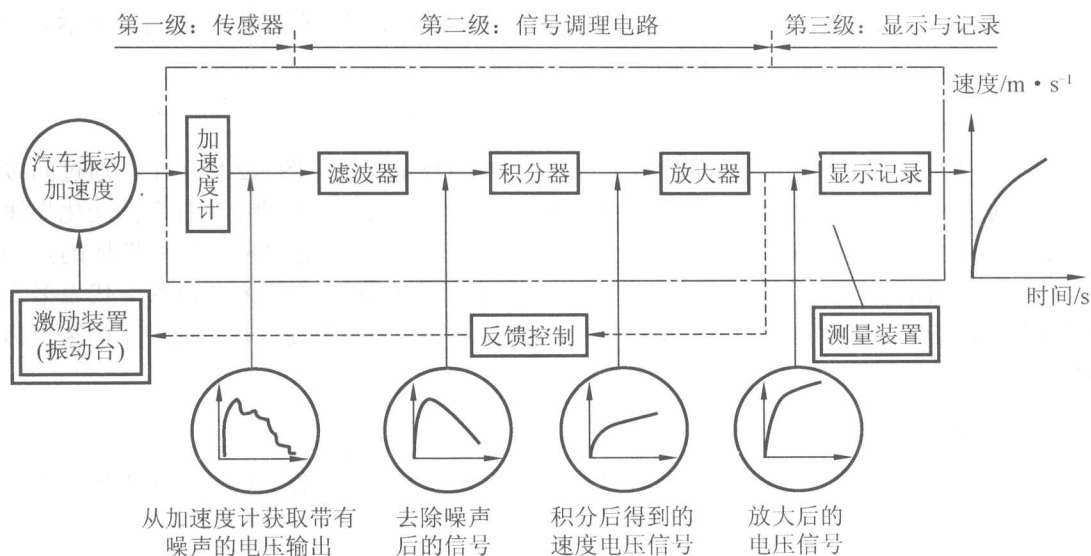


图 1.8 加速度测试系统框图

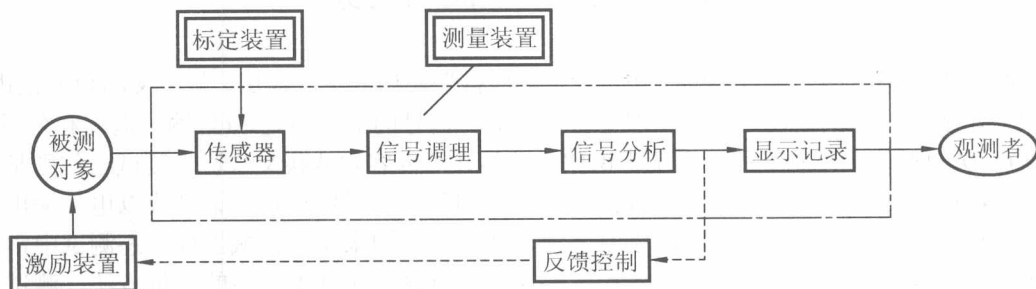


图 1.9 非电量电测法的测试系统框图

1. 测量装置

测量装置是各种测量仪器和辅助装置的总称。测量装置在第 4、5、7 章讲述。测量装置包括传感器, 信号调理与信号分析仪器, 显示、记录仪器三部分, 这三部分又称三级, 即:

- 第一级 检测-传感器级或敏感元件-传感器级;
- 第二级 中间级称为信号调理级;
- 第三级 终端级或显示-记录级。

传感器感受和拾取被测的非电量信号, 并把非电量信号转换成电信号, 以便送入后续的仪器进行处理。第 4 章专题讨论传感器。

信号调理仪器也称为中间转换电路, 其目的是转换传感器送来的信号。该级对信号执

