



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

机械工程测试技术

主 编 张 淼



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

内容提要

本书为“十五”国家规划课题研究成果，旨在提高我国机械工程的测试技术水平，为从事机械测试工作的工程技术人员提供理论指导和实践参考。本书共分五章，第一章介绍机械测试的基本概念、分类及发展概况；第二章介绍机械测试的常用方法和仪器；第三章介绍机械测试的数据处理；第四章介绍机械测试的故障诊断；第五章介绍机械测试的可靠性测试。本书可作为高等院校机械类专业及相关专业的教材，也可供从事机械测试工作的工程技术人员参考。

机械工程测试技术

主编 张森

副主编 文西芹 杨威

主审 杨平

北京机械工业出版社
地址：北京市西城区德外大街4号
邮编：100088
电话：(010) 68993152
ISBN 978-7-111-23612-0
高等教育出版社打击盗版办公室
I. ①机… II. ①张… ②文… ③杨… III. ①机械工程—测试—教材 IV. ①TB901

中国标准书号：155009·0088

8111828118
8920-0398
http://www.hep.edu.cn
http://www.hep.com.cn
http://www.landinfo.com
http://www.landinfo.com.cn
http://www.widedu.com
2008年8月第1版
2008年8月第1次印刷
70元

封面

高等教育出版社

地址：北京
邮编：100088

内容提要

果为突破限制以助强国“十五”学杯育选

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果。

本书系统地阐述了测试技术的基本理论与各机械量的测量方法,并反映了测试技术领域的新发展、新知识。为了培养学生分析和解决实际问题的能力,本书还列举了大量来自于科研及生产实践的实例。

本书共分为11章,第一章绪论,第二章信号的获取与调理,第三章测试系统的基本特征,第四章机械测试信号分析基础,第五章信号的中间转换与记录,第六章微机化测试分析仪器,第七章位移、速度及转速测量,第八章应力、应变、力、扭矩和压力测量,第九章振动的测试,第十章噪声的测量,第十一章温度的测量。

本书可作为高等学校本科机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为自动控制、仪器仪表等有关专业的教材,亦可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术 / 张森主编. —北京: 高等教育出版社, 2008.6

ISBN 978 - 7 - 04 - 023615 - 6

I. 机… II. 张… III. 机械工程 - 测试技术 - 高等学校 - 教材 IV. TG806

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 057898 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市京南印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 25.5
字 数 470 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008年6月第1版
印 次 2008年6月第1次印刷
定 价 31.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23615 - 00

林斌出育选等高

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高等学校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高等学校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等学校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等学校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等学校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高等学校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高等学校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高等学校应用型人才工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高等学校应用型人才工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容

前 言

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果。

当今社会,科学技术发展突飞猛进,各学科呈现交叉和综合的趋势。尤其是机械工程测试技术这样的应用技术课程,涉及电工电子学、数学、力学、信号处理、自动控制、机械振动、计算机、液压传动、气压传动、光学和热力学等诸多领域,对于这样一门新课程,学生无疑希望能有一本简明易懂的教材。

为此,本书内容注重突出应用型特色,紧密结合工程实践,大量而系统地介绍了常用测试器件;在简要介绍器件原理的基础上,重点结合工程案例介绍其性能与具体应用;介绍工程中常用物理量的实际测试系统及其构成方法,介绍测试技术的最新发展及其应用。本书的编写顺序采用“信号的获取与处理”→“测试系统的特性”→“测试信号分析基础”→“信号的调理与记录”→“现代(微机)测试系统”→“常见的各类测量”。其中,“信号的获取与处理”部分,各节按“某类传感器+对应的调理电路+应用”的形式编写。

参加本书编写的有温州大学张森(第一章、第二章),淮海工学院陈季萍(第三章),淮海工学院文西芹(第四章第一~第四节、第七章、第九章),温州大学周晨(第四章第五节、第五章),长春工学院杨威(第六章、第十章),淮海工学院张海涛(第八章),淮海工学院刘成文(第十一章),全书由张森统稿并整理编目。全书由张森任主编,文西芹、杨威、周晨任副主编,江苏大学杨平主审。

限于编者水平,书中错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2007年11月

目 录

01	第一章 绪论	1
02	第一节 概述	1
03	一、测试技术的意义	1
04	二、测试系统的组成	2
05	三、测试技术的任务	3
06	四、测试技术研究的内容	4
07	五、测试技术的发展动向	4
08	第二节 测量的基础知识	6
09	一、测量方法	6
10	二、测试装置	6
11	三、测量误差	7
12	四、测量器具的误差	9
13	第三节 本课程的学习要求	9
14	习题	10
15	第二章 信号的获取与调理	11
16	第一节 概述	11
17	一、传感器的基本概念	11
18	二、传感器的重要性与基本组成	12
19	三、传感器的分类	14
20	四、传感器的基本特性	16
21	第二节 电阻式传感器与测量电路	17
22	一、变阻式传感器	17
23	二、电阻应变式传感器	19
24	三、测量电路	25
25	第三节 电容式传感器与测量电路	30
26	一、工作原理及类型	30
27	二、测量电路	34
28	三、电容式传感器的特点与应用	35

第四节	电感式传感器与测量电路	39
一、	自感式传感器	39
二、	互感式(差动变压器式)传感器	44
三、	测量电路	45
第五节	磁电式传感器	46
一、	磁感应电式传感器	46
二、	霍尔式传感器	49
三、	磁阻效应传感器	51
第六节	压电式传感器与测量电路	52
一、	压电效应与压电材料	52
二、	压电式传感器与测量电路	55
三、	压电元件常用的结构形式与应用	58
第七节	光电式传感器	60
一、	光电效应及光电器件	60
二、	光电式传感器的应用	63
第八节	其它类型传感器及传感器的现状与发展趋势	66
一、	光纤与光纤传感器	66
二、	超声波传感器	70
三、	传感器的现状与发展趋势	77
习题		84
第三章	测试系统的基本特性	87
第一节	概述	87
一、	测试系统的基本要求	88
二、	线性定常系统及其主要性质	88
第二节	测试系统的静态特性	90
一、	静态特性的参数	90
二、	静态特性参数的测定	93
第三节	测试系统的动态特性	93
一、	传递函数	93
二、	频率响应特性	94
三、	常见测试系统的传递函数及频率响应特性	96
第四节	不失真测量的条件	106
习题		108

第四章 机械测试信号分析基础	110
第一节 信号的分类与描述	110
一、信号的分类	110
二、信号的描述	114
第二节 周期信号	116
一、傅里叶级数(Fourier Series)	116
二、周期信号的频谱	117
三、周期信号的复指数展开式	119
四、频谱分析的工程意义	121
第三节 非周期信号的频域分析	123
一、傅里叶变换及非周期信号的频谱	123
二、傅里叶变换的性质	127
三、某些典型信号的傅里叶变换	130
第四节 随机信号	135
一、概述	135
二、随机信号的基本特征参数	136
第五节 数字信号的处理	149
一、信号的采样	150
二、信号的截断	152
三、离散傅里叶变换(DFT)	153
习题	154
第五章 信号的中间转换与记录	158
第一节 滤波器	158
一、概述	158
二、理想滤波器	160
三、实际滤波器	163
第二节 调制与解调	171
一、概述	171
二、调幅与解调	172
三、调频与解调	178
四、脉冲宽度调制	181
第三节 模拟量 - 数字量的转换	184
一、A/D 转换	184

011	二、D/A 转换	188
011	第四节 信号的隔离	189
011	一、信号隔离的方法	190
011	二、电源的隔离	190
011	三、光电隔离	191
011	四、隔离放大器	194
011	第五节 信号的记录	195
011	一、笔式记录仪	195
011	二、磁带记录器	196
011	三、磁盘、光盘及闪存	198
011	习题	200
011	第六章 微机化测试分析仪器	202
011	第一节 概述	202
011	一、模拟式仪器、数字式仪器和微机化仪器	202
011	二、微机化测试分析仪的优点	203
011	三、微机化测试分析仪的发展	204
011	第二节 计算机辅助测试	205
011	一、计算机的模拟信号输入和输出子系统	205
011	二、PC 机的数据采集卡	212
011	三、微机型数据采集分析系统	214
011	第三节 专用微机化测试分析仪	215
011	一、专用微机化测试分析仪的特点	215
011	二、专用微机化仪表	215
011	三、基于 DSP 的专用数字信号分析仪	216
011	第四节 虚拟仪器技术	216
011	一、概述	217
011	二、虚拟仪器的构成	218
011	三、虚拟仪器软件开发平台 LabVIEW	222
011	四、基于 LabVIEW 编程语言的数据采集系统	237
011	第五节 自动测试系统	243
011	一、自动测试系统的特点及形式	243
011	二、测试系统的主要通信接口	245

第七章 位移、速度测量	259
第一节 位移测量	259
一、常用位移测量方法	259
二、光栅位移传感器	261
三、角位移传感器	266
四、位移测量应用实例	272
第二节 速度测量	276
一、线速度测量	276
二、转速测量	277
习题	285
第八章 应力、应变、力、扭矩和压力的测量	286
第一节 应变、应力的测量	286
一、应变的测量电路	286
二、应变片在构件上的布置和组桥方法	287
三、平面应力状态下测量主应力	289
四、保证应变测量精度的措施	290
五、力的测量	292
第二节 扭矩的测量	297
一、电阻应变法测扭矩	297
二、扭转角法测扭矩	299
三、压磁法测扭矩	301
第三节 压力的测量	302
一、弹性元件	302
二、常用压力传感器	304
三、压力测量中应注意的问题	307
习题	309
第九章 振动的测试	311
第一节 振动的基本知识	311
第二节 单自由度系统的受迫振动	311
第三节 测振传感器	314
一、拾振器的分类	314
二、常用测振传感器	314

一、热辐射原理	381
二、全辐射温度计	382
三、光学高温计	383
四、比色高温计	384
五、红外测温	385
第四节 温度测量在工业上的应用	386
一、机床温升测量	386
二、热电偶测切削温度	388
三、用红外测温方法测磨削温度	388
习题	389
参考文献	390
后记	391

械工业面临着更新产品、革新生产技术、改善经营管理、提高产品质量、提高经济效益和参与国际市场竞争的挑战。测试技术将是机械工业应付上述挑战的基础技术之一。

二、测试系统的组成

测试技术作为信息科学,与计算机技术、自动控制技术、通信技术构成完整的信息技术学科。其主要任务是从被测对象的测试信号中提取所需的特征信息,分析被测对象质量。测试与设计、工艺共同构成工程技术的三大支柱。为了完成测试任务,需要将相关的器件、仪器和测试装置有机组合成测试系统,从而获取所需信息,如图 1-1 所示。测试系统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。

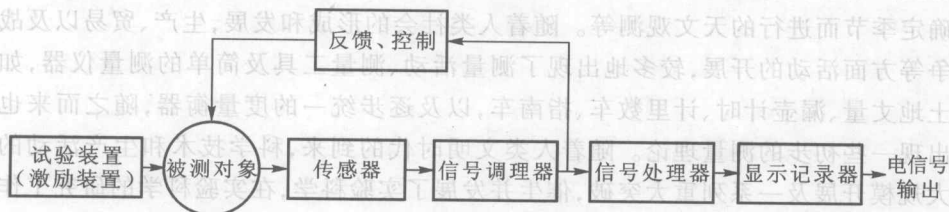


图 1-1 测试系统的组成

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组成。

1. 试验装置

每一个被测对象的信息总是通过一定的物理量——信号表现出来的。因此,信号是信息的载体,信息是信号的内涵。有些信息可以在被测对象处于自然状态时所表现出的物理量中显现出来,而有些信息却无法显现或显现的不明显。在后一种情况下,需要通过激励装置作用于被测对象,使之产生有用信息载于其中的一种新的信号,如对零件或设备激振以测量其固有频率等。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。

2. 测量装置

信号可能是电信号和非电信号。测试过程中,非电信号常常需要转换成电信号。传感器就是将被测信息转换成某种电信号的器件。它直接作用于被测量,作为信息探测、感知和捕获的器件,是测试系统的首要环节和关键部件。如果没有传感器获取准确可靠的信息,一切精确的测量和控制都无法实现,传感器的优劣对测量系统的功能起着决定性的作用。

传感器将非电信号转换为电信号时,往往输出一些电路参数,如电阻、电感、电容等,需要将这些电路参数转换为便于测量的电压、电流或频率等。采用的转换电路类型往往与传感器的工作原理有关,主要有电桥、调制与解调、电荷放大器等电路。除此以外,信号通常还需要进行必要的放大、阻抗变换、滤波、A/D或D/A转换等处理,一般将这部分电路与转换电路统称为传感器的测量电路,也称为信号调理电路。

3. 数据处理装置

数据处理装置是将测量装置输出的信号进一步进行处理,以排除干扰和噪声污染,并清楚地估计测量数据的可靠程度。

4. 显示记录装置
显示记录装置是测试系统的输出环节,它可将对被测对象所测得的有用信号及其变化过程显示或记录(或存储)下来,数据显示可以用各种表盘、电子示波器和显示屏等来实现。数据记录则可采用模拟式的各种笔式记录仪、磁带记录仪或光线记录示波器等设备来实现,而在现代测试工作中,越来越多地采用虚拟仪器直接记录存储在硬盘或软盘上。

需要指出的是,为了准确地获得被测对象的信息,要求测试系统中每个环节的输出量与输入量之间必须具有一一对应关系,而且输出的变化能够准确地反映其输入的变化,即实现不失真的测试。

三、测试技术的任务

被测信号中既包含着需要研究的有用信息,但也不同程度地混入了无用信息(如噪声信号等),各种电磁测量线路和测试装置在不同的环境下工作,不可避免地会受到噪声的干扰。噪声对被测信号所产生的影响,最终将以误差的形式表现出来,导致测试的精确度降低,甚至难以正常进行测试工作。因此,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。

测试技术的任务主要有以下五个方面:

1) 在设备设计中,通过对新旧产品的模型试验或现场实测,为产品质量和性能提供客观的评价,为技术参数的优化和效率的提高提供基础数据。

2) 在设备改造中,为了挖掘设备的潜力,以便提高产量和质量,经常需要实测设备或零件的载荷、应力、工艺参数和电机参数,为设备强度校验和承载能力的提高提供依据。

3) 在工作和生活环境的净化及监测中,经常需要测量振动和噪声的强度及频谱,经过分析找出振源,并采取相应的减振、防噪措施,改善劳动条件与工作环境,保证人的身心健康。

4) 科学规律的发现和新的定律、公式的诞生都离不开测试技术。从实验中

可以发现规律,验证理论研究结果,实验与理论可以相互促进,共同发展。

5) 在工业自动化生产中,通过对工艺参数的测试和数据采集,实现对设备的状态监测、质量控制和故障诊断。

四、测试技术研究的内容

测试技术研究的主要内容包括四个方面:被测量的测量原理、测量方法、测量系统以及数据处理。

测量原理是指实现测量所依据的物理、化学、生物等现象及有关定律的总体。例如,压电晶体测量振动加速度所依据的是压电效应;电涡流位移传感器测量静态位移和振动位移所依据的是电磁效应;热电偶测量温度所依据的是热电效应等。不同性质的被测量用不同的原理去测量,同一性质的被测量亦可用不同的原理去测量。测量原理确定后,根据测量任务的具体要求和现场实际情况,需要采用不同的测量方法,如直接测量法或间接测量法、电测法或非电测法、模拟量测量法或数字量测量法、等精度测量法或不等精度测量法等。在确定了被测量的测量原理和测量方法以后,就要设计或选用装置组成测量系统。最后,实际测试得到的数据必须加以处理,才能得到正确可靠的结果。

五、测试技术的发展动向

现代测试技术的发展和与其他科学技术的发展相辅相成。测试技术既是促进科技发展的重要技术,又是科学技术发展的结果。现代科技的发展不断地向测试技术提出新的要求,推动测试技术的进步。与此同时,测试技术迅速吸收和综合各个科技领域(如物理学、化学、材料科学、微电子学、计算机科学和加工工艺学等)的新成就,开发出新的方法和装置。

近年来测试技术引人瞩目的发展是传感器技术和计算机测试技术的发展。

1. 传感器技术的发展

(1) 物性型传感器大量涌现

物性型传感器是依靠敏感材料本身的某种性质随被测量的变化来实现信号转换的,因此这类传感器的开发实质上是新材料的开发。目前发展最迅速的新材料是半导体、金属氧化物陶瓷、光导纤维、导电聚合物、磁性材料,以及所谓的“智能材料”(如形状记忆合金、具有自增殖功能的生物体材料)等。这些材料的开发,不仅使可测量迅速增多,使力、热、光、磁、湿度、气体、离子等方面的一些参量的测量成为现实,也使集成化、小型化、高性能传感器的出现成为可能。

(2) 微型化、智能化、多功能化传感器的开发

微型传感器是利用集成电路技术、微机械加工与封装技术制成的体积非常微小的传感器,其尺寸可小到微米数量级。微型传感器具有体积小、重量轻、响