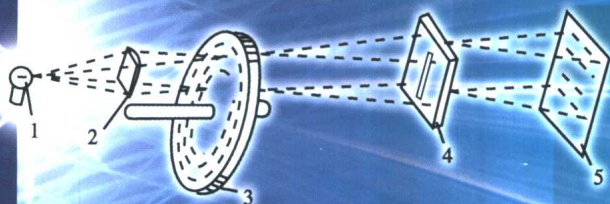




新世纪本科生实验教材

工程动力学实验

张克猛 沈卫洪 王鸿雁



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

新世纪本科生实验教材

工程动力学实验

张克猛 沈卫洪 王鸿雁

西安交通大学出版社

内容简介

本书阐述了作者对工科院校开展工程力学实验意义的认识。介绍了新研制的“工程力学基本力学量测试分析系统”等测试仪器和力学量测试的其它一些常规仪器的功能、测试原理和操作方法,对常用的传感器及其测量系统进行了阐述。并结合理论力学课程性质及内容,给出了7个贴近工程实际的实验内容的实验指导。

《工程动力学实验》可作为独立设课或工科“理论力学”课程开展实验教学的配套实验教材。也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程动力学实验/张克猛等编著. —西安:西安交通大学出版社,2002.11
ISBN 7-5605-1590-8

I. 工… II. 张… III. 动力学:工程力学-实验-高等学校-教材 IV. TB122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 084816 号

*

西安交通大学出版社出版发行
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)
西安建筑科技大学印刷厂印装

*

开本:850 mm×1 168 mm 1/32 印张:4.125 字数:102 千字
2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月第 1 次印刷
印数:0 001~2 000 定价:5.50 元

前 言

众所周知,在工科院校中,技术基础课程教学实验对培养学生的工程意识,加强学生的动手能力,加深理论联系实际等都具有非常重要的意义。理论力学是工科学生所遇到的第一门技术基础课程,但长期以来的教学实验环节,在所有的技术基础课程中却相对较为薄弱。随着我国“宽口径”人才培养模式的确立和对学生进行“素质教育”的加强,目前,全国广大的力学教师都正在努力改变着这一状况。

随着科学技术的飞跃进步和现代化生产的迅速发展,大量的工程技术课题,都需要对工程动力特性进行分析研究,从而对工科大学生的力学知识水平提出了更高的要求。它不仅要求学生要具有一定的力学理论基础,同时还应掌握一定的基本力学量的测试技术。为此,结合理论力学课程性质和课程内容,开设出贴近于工程实际的工程动力学实验教学内容,无疑对培养学生的工程意识,加强学生的素质教育,进一步提高理论力学课程的教学质量都具有非常重要的意义。

西安交通大学理论力学教研室自 1991 年开始,在机械、动力类部分班级开设理论力学实验教学,并于 1997 年在全校大面积推广。随着国家“211 工程”的启动,又重新研制了以工程结构和工程机械为测试对象的实验设备及配套的组装式测量仪器。本实验教材既结合了该套仪器设备和实验项目,又对于一些常规的机械量测试仪器、测量方法进行了简单的介绍。

本书由张克猛、沈卫洪和王鸿雁编写。张克猛担任主编,负责编写第 1,2,3 章和第 4 章的 4.1 节至 4.6 节;沈卫洪负责编写第 5 章和附录;王鸿雁负责编写第 4 章的 4.7 节。最后由张克猛统稿。全书的插图均用计算机绘制,赵玉成为此做出了极大的努力。在

本实验教材编写过程中,始终得到了西安交通大学理论力学教研室全体同仁的无私帮助,在此深表感谢。

由于时间仓促,加上作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2002 年 6 月

目 录

前 言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 开设工程动力学实验的意义	(1)
1.2 工程动力学实验的任务与特点	(2)
1.3 实验课的注意事项	(3)
第 2 章 基本力学量测试概述	(5)
2.1 基本力学量测试方法简介	(5)
2.2 基本力学量测试环节	(6)
2.3 传感器的作用原理及分类	(9)
2.4 测量系统的主要性能参数.....	(13)
第 3 章 常用传感器测量系统	(19)
3.1 电阻应变计.....	(19)
3.2 应变计测量电路.....	(25)
3.3 载荷传感器.....	(30)
3.4 压电式加速度传感器.....	(31)
3.5 电荷放大器电路.....	(39)
3.6 微积分电路.....	(42)
3.7 压电式加速度传感器测量系统使用中的一些问题.....	(47)
3.8 压电式力传感器.....	(50)
3.9 电涡流式位移传感器.....	(53)
3.10 光电式编码器	(57)

第 4 章 工程动力学实验设备及测试仪器	(59)
4.1 电磁式激振器	(59)
4.2 滤波器	(61)
4.3 数字信号分析仪	(68)
4.4 工程结构内力测试台	(71)
4.5 静动态电阻测力仪	(73)
4.6 工程机械基本力学量测试台	(75)
4.7 工程机械基本力学量测量分析系统	(78)
第 5 章 基本力学量测量教学实验	(100)
5.1 工程结构构件内力测量	(100)
5.2 往复机械位移、速度、加速度的测量	(103)
5.3 旋转机械转速、角速度、角加速度的测量	(107)
5.4 旋转机械轴承座附加动反力的测量	(110)
5.5 梁的振动频率、固有频率及振幅测试	(113)
5.6 梁的振动幅频特性测试	(117)
5.7 轴的旋转振幅及临界转速测试	(120)
附录:理论力学实验报告(示例)	(124)

第1章 绪 论

1.1 开设工程动力学实验的意义

1. 理论力学课程性质需要加强工程动力学实验教学

理论力学是工科院校学生所遇到的第一门技术基础课程。长期以来,作为“各门力学的基础”,其基础课的性质在学生中得到了普遍的认可与肯定,然而该课程“在工程领域中有着广泛的应用”却很难让学生接受。尽管授课教师从第一节课就开始反复强调该课程的技术性,但学生还是难于将书本上的“工程实际抽象”还原成实际的工程问题,其结果是年复一年重复着同一个结论——“理论容易、解题难”。如果结合理论教学引入具有工程背景的实验教学,使学生较早地接触到工程实际,既能让学生真正感受到由基础课程向技术基础课程的跨越,又可以培养学生的工程意识,激发学生对本课程的学习兴趣。

2. 人才培养需要加强工程动力学实验教学

国内人才培养的目标是“基础厚、知识宽、能力强、素质高”,国外的大学已将“掌握实验方法的知识和技能”以及“掌握工程实际原理的知识技能”列入了跨世纪人才应具备的特性指标。目前全国高校围绕着加强素质能力培养,进行了一系列的教学内容体系和教学方法的改革。力学课程的改革也围绕着“整体力学素质教育和力学能力培养”而轰轰烈烈地展开。力学理论、力学实验技术与计算机处理技术三者构成了力学素质的整体,工科大学学生只有

在有限的在校学习时间内受到良好的整体力学素质培养,才有可能从工程实际中抽象出其中的力学问题,并应用所学的力学知识进行分析研究,找到解决问题的方法与途径,从而获得一定的力学能力。由此可见理论力学课程引入有工程背景的工程动力学实验教学是培养学生整体力学素质和力学能力的重要环节之一。

3. 宽口径模式需要加强理论力学实验教学

长期以来我国工科院校的专业一直是按产品设置的,在课程设置方面也基本上是“小而全”。就力学类课程而言,除技术基础课开设外,各专业还都开有结合本专业特点的、与技术基础课程重复的力学课程。因此理论力学课程技术性质的一面也就不可能得到专业教师的足够重视。然而,随着“淡化专业、宽口径培养”模式的确立,原来结合产品设置的专业力学课程就很难适应培养目标,承担理论与工程实际相结合的重任在很大程度上就落在了技术基础课的肩上。而且让学生在大学二年级就尽早接触到工程实际,对培养学生的实践能力是非常有益的。因此,加强工程动力学实验教学是理论力学课程改革的需要,是适应新的人才培养模式的需要。当然,要适应新的培养模式,理论力学课程内容体系及教学方式和方法也面临着新的改革。

1.2 工程动力学实验的任务与特点

长期以来,我国一些学校开设的少量理论力学实验,一般都停留在理论验证阶段,这对学生学好基础理论是必要的。然而仅靠已知结果的实验内容是不可能启发学生的主动思维和创新意识,不可能有效地培养学生的工程意识和产品意识,也不可能调动学生更深入学习力学知识的主观积极性。更何况工程问题都具有一定的特殊性和复杂性,靠经典理论给出完善的解释还有一定的差距。因此,理论力学实验教学必须开出贴近工程应用的工程动力学系列实验内容,让学生亲自动手、仔细观察、深入了解工程现象,

进而分析、探索、寻求解决问题的合理方法与途径。通过实验,使学生从中认识到处理工程问题的复杂性、建立力学模型的合理性及理论应用范围的局限性,从而留下进一步探索的时间与空间,使综合力学素质得到进一步的提高。为此,理论力学实验努力突出了以下特点:

1. 工程背景鲜明

直接将工程结构、工程机械作为测试对象,向学生展示理论力学课程技术性的一面。

2. 工程应用性强

结合工程实际情况进行测试,以加强工程应用性的训练和加强判断、分析、解决问题能力的训练。

3. 测试方法多样

将接触式与非接触式测量中的光电、压电、电阻和电涡流传感器引入实验。让学生全面接触到工程中最常用的各种测试方法。

4. 测量内容广泛

以静动态力、位移、速度、加速度、临界转速、角速度、角加速度、旋转与横向振动固有频率、振幅以及幅频特性等多种基本机械量测量,作为实验课内容,让学生较全面地了解到机械强度、控制与故障诊断中所涉及到的众多基本机械量。

1.3 实验课的注意事项

为了维持一个好的教学秩序,培养学生科学严谨的工作作风,避免一切实验事故的发生,保护国家的财产不受损坏,使实验课达到预期的教学目的,参加实验的同学必须遵守以下各项规则。

1. 课前认真准备

实验课前必须认真预习本教材的有关内容,弄清楚实验的内容和目的,完成实验所需要使用的仪器设备,正确操作仪器设备的步骤和注意事项以及通过实验所要测取的数据等。

2. 认真进行实验

参加实验课必须做到:

(1) 按时进入实验室。

(2) 保持室内安静和清洁,不大声喧哗,不随地吐痰和乱丢杂物。

(3) 未经指导老师同意,不得擅自用任何仪器。必须遵守设备操作规程,因违规操作而造成设备损坏或人身伤害事故者,要按章处罚。

(4) 同组合作的同学要分工明确,各负其责,及时记录各实验资料和数据。要人人动手,轮换进行实验的各个环节。

(5) 实验结果请老师审阅并认可后方可结束实验。实验结束时要按顺序依次关掉各仪器电源,整理、清点实验仪器物品,搞好现场卫生,经老师同意后方可离开实验室。

3. 按时完成实验报告

实验报告是对实验的科学总结与归纳,是学生实验分析能力的具体体现,要求报告的内容全面、真实、格式规范、字迹工整、图文并茂,实验及计算数值要表格化。实验报告应包括以下内容:

(1) 实验内容、实验日期。

(2) 实验设备、仪器的名称、型号。

(3) 实验框图及实验原理简述。

(4) 实验记录曲线及数据处理表格。

(5) 对实验结果的分析与讨论,并结合理论结果与试验条件进行误差分析。

第2章 基本力学量测试概述

如前所述,基本力学量的测量在工程机械的故障诊断、振动控制、运动分析与设计过程中都是非常有用的。

2.1 基本力学量测试方法简介

基本力学量测试方法按测量过程的物理性质来区分,可分为3类。

1. 机械式的测量方法

机械式的测量方法将力学量转换成机械信号,再经机械系统放大后,进行测量、记录。例如机械式测振仪(见图2-1)就是通过杠杆系统,将顶杆所接收到的位移信号直接传至记录笔,并在纸带上刻出相应的位移波形来。该类仪器使用简便,不需要电源和光源,且不受各种干扰的影响,但能测量的频率较低,且灵敏度也较差。

2. 光学式的测量方法

光学式的测量方法将力学



图2-1 机械式测振仪

量转换成光信息,再经光学系统放大后显示、记录。常用的仪器有显微镜和激光测振仪等。由于该方法调整较复杂,对测试环境要求很严,且不便转移,因此,目前主要是在实验室内用于仪器系统的标定及校对。

3. 电测方法

电测方法将力学量转换成电信号,再经电子线路放大后进行测定与分析。这是目前应用最广的一种基本力学量的测量方法。与其它两种测量方法相比,该方法具有以下明显的优点:

(1) 较宽的使用频率范围、较高的灵敏度和较大的动态范围。因此,它不仅能满足一般的稳态过程的测量,而且也能适应持续时间极短的冲击过程的测量;

(2) 机电转换用的传感器类型多。因此,我们有余地选用不同类型的传感器来适应不同测试对象的需求,以取得最佳的测试结果。

(3) 易于实现多点同时测量和远距离遥控测量,电测信号易于记录、检测和进一步分析处理。

2.2 基本力学量测试环节

上述3种测量方法的物理性质虽然各不相同,但整个测量过程所包含的各个基本环节却一样,大体都可分为5个部分如图2-2所示。

1. 测试对象

测试对象即测试的主体。在工程测试中通常直接以工程机械或工程结构作为测试对象;在实验室实验过程中,一般是根据实际工程机械或结构的原形,按一定的相似关系制作的比例模型作为测试对象,又称为实验模型。例如在我们即将进行的实验中,测试对象分别选取了往复式空气压缩机原形及旋转机械、工程结构的

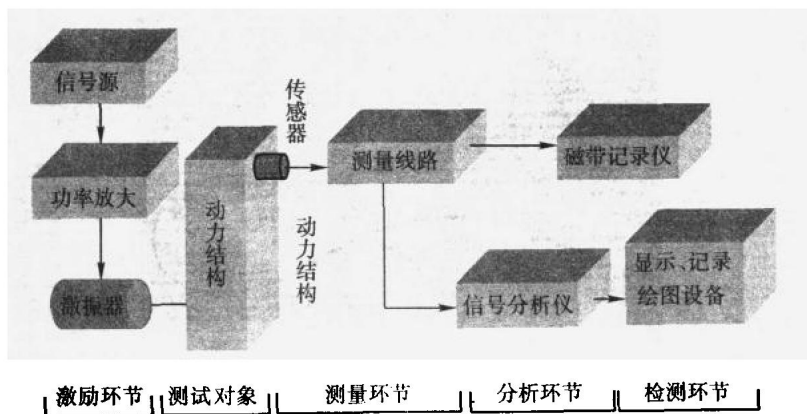


图 2-2 基本力学量测试环节示意图

比例模型。

2. 激励环节

为了获得所需的测试对象的响应，必须对其施加一定形式的激励。根据测试目标、测试对象的不同，可有多种的激励方式和设备提供选取。例如在后面的实验中我们将通过加载器对工程结构施加静载荷或动载荷以使构件产生应变，将通过电磁激振器对简支梁进行激振以获得梁的横向振动的振幅，还将通过启动双盘转子并利用其不平衡质量惯性力来激励转子产生共振等。除此，常用的激励设备还有力锤等，图 2-3 给出的是 L—1 型力锤的照片。

3. 测量环节

测量环节包括由传感器及其配套的测量线路所组成的传感器测量系统。它在整个测试过程中担当了将被测的力学量转换为机械的、光学的或电信号的重任，将直接关系到实验的成败和精度。因此，在任何测试场合，我们要首先保证这一环节的可靠性。由于测量环节所涉及到的传感器与测量线路的种类很多，因此，应根据实验所要求的频率范围、幅值量级、测量参数及测试对象的具体条

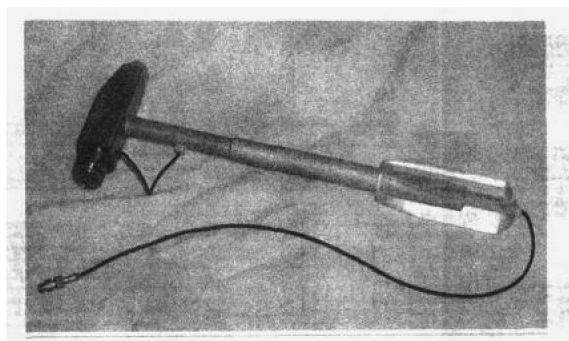


图 2-3 力锤

件来进行合理地选择。由于电测方法是目前应用最广的一种,也是我们后面的实验中所采用的测量方法,故本书仅介绍有关电测的测量环节。

4. 分析环节

分析环节的作用是对来自传感器测量系统的原始力学量信号进行波形分析、频谱分析、运算、变换和滤波等处理,以给出实验所要求的结果。这一环节所涉及的内容极其丰富,从时域的时间平均、自相关、互相关和概率密度等分析,到时域的线性谱、自功率谱密度、互功率谱密度、传递函数及倒谱等分析,直至对结构进行模态分析等。随着实验研究的不断深入和测试技术的不断发展,分析的内容也在不断地充实与发展。用于分析的仪器设备,从模拟式分析仪直至以微处理器为基础的数字式分析仪,种类越来越多,功能越来越强。图 2-4 为 B&K 公

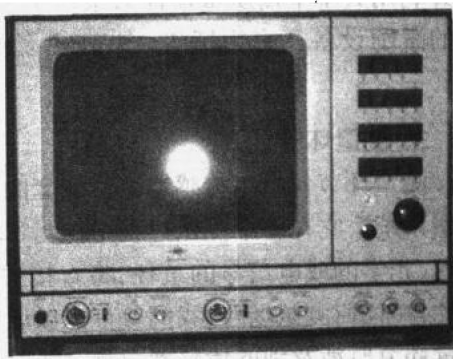


图 2-4 2032 动态分析仪

司生产的 2032 动态分析仪的照片。

5. 检测环节

测试的最后结果通过检测环节以数据和图表形式提供出来,它包括多种用于显示、记录和绘图的仪器,例如幅值和相位检测仪、电子示波器、光线示波器、函数记录仪、电平记录仪、数字绘图仪、打印机和用于存储分析结果的磁盘驱动器等。

2.3 传感器的作用原理及分类

传感器是指将力学量转换为与之成比例的电量的机电转换装置。它是电测法的核心。传感器的种类繁多,应用范围极其广泛,本书仅基本力学量测量的传感器进行讨论。

1. 传感器的作用原理

不论其内部结构简单或复杂,从作用原理上看,一个用于基本力学量测量的传感器,总有机电接受和机电变换两个部分组成,如图 2-5 所示。机械接受部分的作用是将被测力学量 X_i (位移、速度、加速度、力等)接收为另一个适合于机电变换的中间力学量 X_t 。机电变换部分再将 X_t 变换为电量 E (电动势、电荷量或电阻、电容等电参量)。图中测量电路的作用是将变换所得的电量 E 转变为后续仪器所能接受的一般电压信号 U 。

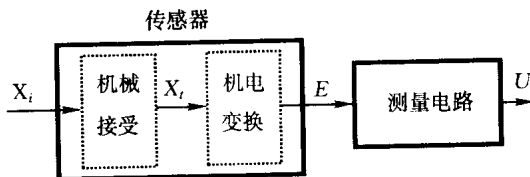


图 2-5 传感器的作用原理

2. 传感器的机械接收原理

力学量测量的传感器的机械接收原理有相对式和惯性式两种。前者又可细分为顶杆式和非接触式。

(1)相对式机械接收原理。相对式机械接收是以传感器的外壳作为参考坐标,借助顶杆或间隙(非接触式)的变化直接接收测试对象的机械运动。因此,被测力学量 X_i 与中间力学量 X_r 为与频率无关的正比关系(即所谓零阶系统)。图 2-6 所示即为相对式传感器的结构示意图与作用原理如图。

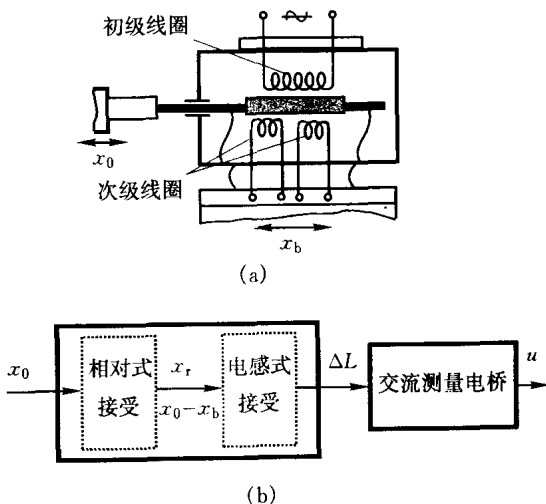


图 2-6 电感式位移传感器

(a) 结构示意图; (b) 作用原理图

由此可见,具有相对式接收的传感器,它所测得的机械运动是以外壳为参考坐标的相对运动。因此,该类传感器适用于测量测试对象上两部件间的相对运动量,以反映出结构本身或构件的弹性变形。只有在作为参考坐标的外壳为静止时,才能测得测试对象的绝对运动量。于是,当需要测量的是绝对运动,但周围却又不