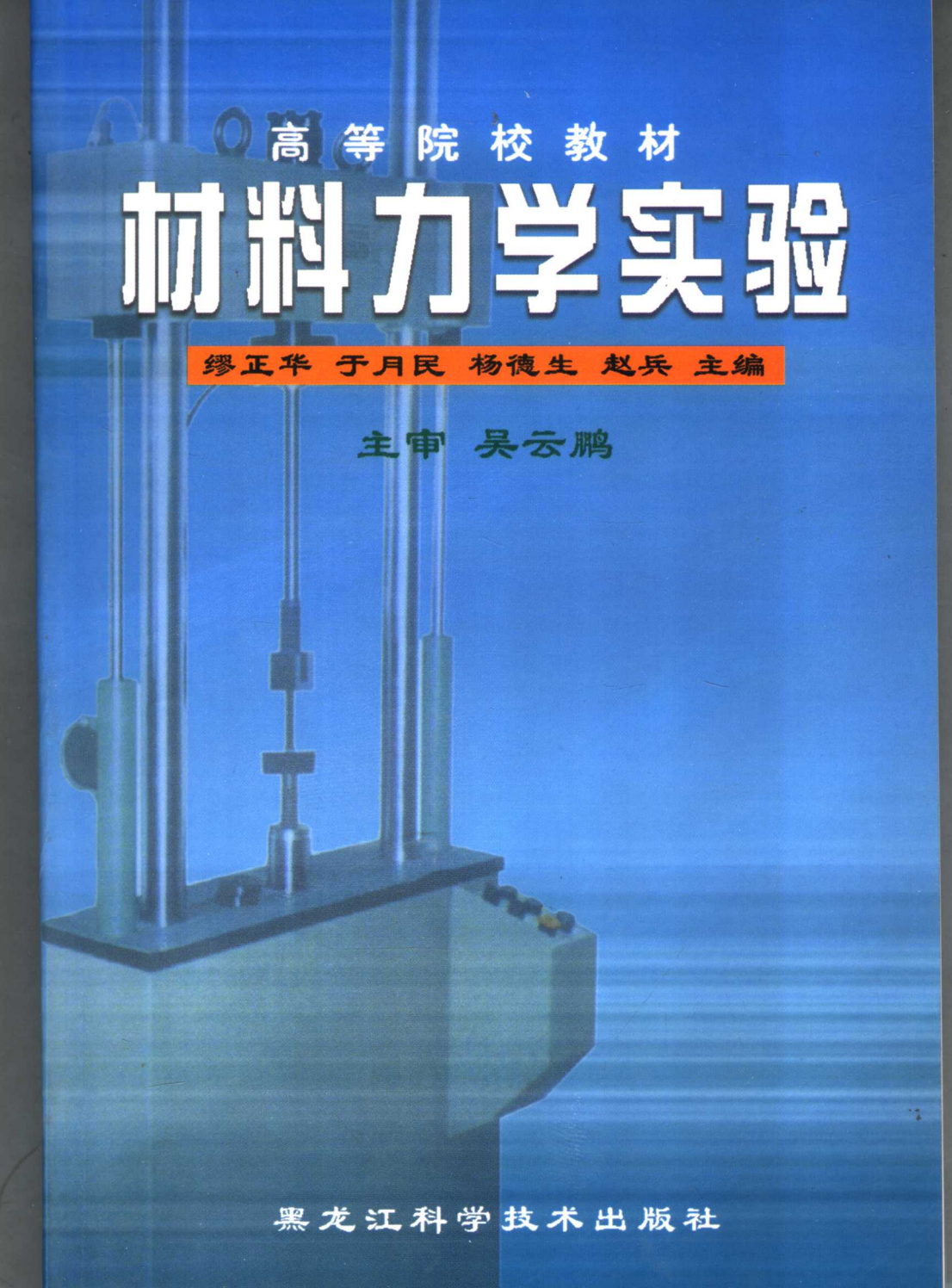




高等院校教材

材料力学实验

繆正华 于月民 杨德生 赵兵 主编

主审 吴云鹏

黑龙江科学技术出版社

材料力学实验

主 编 繆正华 于月民 杨德生 赵兵

主 审 吴云鹏

黑龙江科学技术出版社

中国·哈尔滨

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学实验 / 缪正华主编. —哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2007. 5

ISBN 978-7-5388-5398-8

I. 材… II. 缪… III. 材料力学—实验 IV. TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 063922 号

责任编辑 石 颖

封面设计 洪 冰

材料力学实验

CAILIAO LIXUE SHIYAN

主 编 缪正华 于月民 杨德生 赵 兵

主 审 吴云鹏

出 版 黑龙江科学技术出版社

(150001 哈尔滨市南岗区建设街 41 号)

电话 (0451) 53642106 电传 53642143 (发行部)

印 刷 哈尔滨市动力区哈平印刷厂

发 行 黑龙江科学技术出版社

开 本 850×1168 1/32

印 张 9

字 数 225 000

版 次 2007 年 6 月第 1 版·2007 年 6 月第 1 次印刷

印 数 1 - 1000

书 号 ISBN 978-7-5388-5398-8/TB·128

定 价 17.50 元

《材料力学实验》编委会

主 编 缪正华 于月民

杨德生 赵 兵

编 委 刘 钊 莫淑华

韩广才

前 言

材料力学实验是材料力学教学过程中的重要环节之一,即是工科学生必须掌握的重要实践课程。随着我国教育体制的改革和发展,要加大对基础力学实验课程体系的改革力度,要把提高大学生综合素质放在首位,把创新精神与工程实践能力的培养贯穿于整个教学过程,以适应 21 世纪科技发展和经济建设对高素质复合型人才的需求,也是面向 21 世纪基础力学实验课程改革的一项重要研究内容。本课程是通过实验来加强学生对材料力学的基本理论、基本概念和研究方法的理解,重点是拓宽学生的知识面,进行实验能力和操作技能的系统培养。培养学生用实验的方法去发现问题、分析问题和解决问题,并提高这几方面的能力。为了训练学生的实验技能,培养学生的实验能力(包括实验方案的确定,实验数据的处理,实验结果的分析 and 书写实验报告的能力等),本书对每项实验的目的、原理、仪器设备、方法、步骤等均作了具体规定。本书总结了编者及部分高等学校实验教学改革的成功经验及系列教学成果,在实验内容和测试技术上都有较大的突破。主要特点如下:

(1) 实验的目的主要侧重于引导学生自主创新,用实验的方法去分析和解决工程中的实际问题,而不仅仅是单纯地验证理论。强化独立动手能力和综合设计性实验是本书的重要特色之一。

(2) 实验技术、实验设备充分体现目前国内外的先进水平,同时也照顾到传统实验技术和通用设备的使用,使本书既有先进性,又有通用性,既照顾目前,又着眼于未来。

(3) 实验内容既为理论服务,又有明确的工程背景;既保证教学基本要求,又适当拓宽知识视野。加强了用计算机分析和处理实验数据的基本方法,面向工程与未来。

(4) 加强了实验与理论和工程的密切联系, 通过工程实例进一步阐明了实验的重要性。

(5) 本书既可为材料力学实验单独设课使用, 也可配合模块式教学使用, 还可配合理论教学使用。

此外, 本书作为工科高等学校的通用教材, 以机械、土建类为主。对各专业在教学侧重点上的差异, 可自行调整, 适当取舍。本书亦可供工程技术人员、力学教师、科研人员参考使用。

参加编写单位及人员有: 哈尔滨工业大学刘钊、赵兵, 黑龙江科技学院缪正华、于月民、杨德生、吴云鹏, 黑龙江工程学院莫淑华, 哈尔滨工程大学韩广才。

编 者

2007 年 3 月

目 录

绪论	(1)
第一章 机测应力实验	(6)
§ 1-1 万能试验机简介	(6)
§ 1-2 拉伸实验	(15)
§ 1-3 压缩实验	(24)
§ 1-4 条件屈服极限的测试	(28)
§ 1-5 剪切实验	(31)
§ 1-6 冲击试验机简介	(33)
§ 1-7 冲击实验	(36)
§ 1-8 扭转试验机简介	(43)
§ 1-9 扭转实验	(47)
§ 1-10 G 值测定实验	(51)
第二章 电测应力实验	(55)
§ 2-1 电阻应变片的工作原理	(55)
§ 2-2 电阻应变仪简介	(62)
§ 2-3 电阻应变计的粘贴实验	(74)
§ 2-4 弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定	(79)
§ 2-5 弯曲正应力实验	(82)
第三章 光测应力实验简介	(87)
§ 3-1 光弹性法	(87)
§ 3-2 光弹性贴片法	(96)
§ 3-3 动态光弹性法	(98)
§ 3-4 云纹法	(103)
§ 3-5 散斑干涉法	(108)

§ 3-6 焦散线法·····	(112)
第四章 综合性设计性实验简介·····	(117)
§ 4-1 综合性设计性实验的目的·····	(117)
§ 4-2 工程结构电测应力分析实验·····	(118)
§ 4-3 工程结构光测应力分析实验·····	(121)
§ 4-4 框架内力分析实验·····	(122)
§ 4-5 缺口梁应力分析实验·····	(127)
§ 4-6 组合柱内力分析实验·····	(130)
§ 4-7 薄壁圆筒弯扭组合应力测定·····	(132)
§ 4-8 叠梁正应力分析实验·····	(138)
第五章 选做实验·····	(142)
§ 5-1 BDCL 型工程结构测试台简介·····	(142)
§ 5-2 电阻应变片灵敏系数标定实验·····	(144)
§ 5-3 偏心拉伸实验·····	(146)
§ 5-4 悬臂梁实验·····	(149)
§ 5-5 等强度梁实验·····	(152)
§ 5-6 压杆稳定实验·····	(154)
§ 5-7 动态应力测定·····	(157)
§ 5-8 疲劳试验机简介·····	(162)
§ 5-9 疲劳实验·····	(169)
§ 5-10 断裂力学实验·····	(173)
第六章 复合材料的力学实验·····	(189)
§ 6-1 复合材料简介·····	(189)
§ 6-2 复合材料拉伸实验·····	(193)
§ 6-3 复合材料压缩实验·····	(195)
§ 6-4 复合材料剪切和弯曲实验·····	(196)
§ 6-5 复合材料的无损检测·····	(198)
第七章 误差分析与数据处理·····	(201)

§ 7-1	基本概念	(201)
§ 7-2	有效数字与计算法则	(203)
§ 7-3	系统误差的消除	(204)
§ 7-4	可疑数据的舍弃	(205)
§ 7-5	实验数据的直线拟合	(209)
第八章	量纲分析和相似理论	(213)
§ 8-1	量纲分析的基本概念	(213)
§ 8-2	量纲分析	(217)
§ 8-3	相似理论简介	(222)
第九章	传感器简介	(229)
§ 9-1	概述	(229)
§ 9-2	常用载荷传感器	(231)
§ 9-3	常用位移传感器	(241)
§ 9-4	光纤传感技术在力学测试中的应用	(250)
附录 1	材料力学部分实验应用计算机进行数据处理	
	参考程序	(260)
附录 2	常用材料的力学性能	(275)
	参考文献	(277)

绪 论

一、材料力学实验的任务

实验是进行科学研究的重要方法,科学史上许多重大发明就是依靠科学实验而得到的,并且许多新理论的建立也要靠实验来验证的。材料力学实验就是研究测定材料力学性质和结构强度性能的实验理论、实验技术、实验方法的一门学科,也是解决工程强度问题的一个重要手段,在机械、化工、土建、航天等工业中得到广泛的应用。

力学同数、理、化、天、地、生并列为 7 大基础学科,其应用范围十分广泛,几乎哪里有技术难题,哪里就有力学课题。蒸汽机与内燃机、铁路与机车、飞机与轮船、高层建筑与地下隧道、大水利、原子能发电、宇航探索等,都是在力学指导下实现的。力学不仅具有理论性,而且更具有实践性。力学中许多理论是建立在将真实材料理想化、实际构件抽象化、公式推导假设化基础之上的。它的结论是否正确以及能否在工程中应用,只有通过实验验证才能确定。特别是在解决工程设计中的强度、刚度及稳定性等问题时,首先要知道材料的力学性能和表达其力学性能的材料常数,而这些常数必须通过试验才能准确确定。在研究桥梁的强度和刚度时,就需要对它的上、下部结构,进行缺陷的无损检测、模态分析和应力测试。此外,在构件的几何形状或所受载荷十分复杂的情况下,要想了解构件内部应力情况,也必须借助于实验分析的手段才能正确解决。由此可见,材料力学实验是工程技术人员解决工程实际问题所必须掌握的重要手段。

材料力学实验在工程中不仅对理论分析作出贡献,而且能有效的解决许多理论工作不能解决的工程实际问题,特别是近代光学、

物理学、计算机技术的应用,大大加速了力学实验的全面发展。在动力机械、土木建筑、水电工程、交通运输、能源开发、航空航天工业等各方面都得到了普遍应用,而且向动应力、热应力、生物力学、复合材料力学等边缘领域渗透,并取得了显著的效果。例如,为解决南昆铁路进口重轨应力集中导致多处断裂的重大国际经济纠纷,我国科学家在现场应用应变仪检测残余应力,向国际仲裁组织递交了规范的验定报告,否定了外商的质量报告,于1997年向外商首批索赔3 000万美元;又如,在葛州坝工程中,设计新桥双曲薄拱坝时,通过光弹性实验,削去无应力区的8条泄洪孔旁的钢筋混凝土加筋肋,并通过有限元计算,得出应力分布规律,克服河槽软弱、坝基需要深挖的传统设计方法,减少了开挖和钢筋混凝土扩大基础,节省了大量资金;在石油钻探设备中,石油钻机的泥浆泵曲轴,由于形状和受力情况复杂,长期采用类比设计,在生产使用中,经常出现断裂情况,通过应力检测,结合理论分析,重新建立起符合实际的强度计算公式,产品投入使用后再未发生断裂事故。其他如导弹弹翼的振动测量,海洋采油平台的应力分析,轮胎的无损检测,叶轮机械的动态响应,压力容器内裂缝的检测,机器人水下力传感器的应力分析,以及进行设备事故预报和解释破坏原因等,都离不开材料力学实验。

二、材料力学实验的研究

材料力学通常是从3个方面进行研究,即理论分析、数值计算和实验研究。其中实验研究在工程中占有重要的地位。实验研究是用实验的方法测定工程结构或构件中的应力和变形的一门学科,实验的重要性在于,一方面用实验的方法直接解决工程问题,同时校核、验证理论或数值计算的结果;另一方面,通过实验搞清楚各种现象的机制、机理,从中发现新的规律,建立新的理论。

实验是科技工作者必须掌握的重要技能,重视实验,不等于不

重视理论。科学研究不能完全依赖于书本,而只能是以实验为基础。正如笛卡儿所说:“决不可过分地相信自己单单从例证和传统说法中学到的东西。谁想致力于科学研究并取得成就,谁就必须学会动手,亲自做实验。”第一个把实验引进力学的科学家是伽里略,他利用实验和数学相结合的方法确定了摆的等时性定律,初步断定梁的抗弯能力与其几何尺寸的力学相似关系。第一个用实验来研究结构材料强度的是达芬奇,他做过各种不同长度铁丝的强度实验,以及梁的弯曲实验。在现代科学技术中,只依靠理论去设计工程,常常不能满足工程的需要,容易造成材料的浪费,或者出现重大工程事故。1997年韩国立交桥倒塌、1998年我国重庆綦江虹桥断毁都是沉痛教训。

理论分析与实验研究是人们研究自然现象,探索其科学规律的两种有效途径,理论分析通常是将描述物理现象的数学方程,如平衡方程、应力应变关系和几何关系等,在一定条件下进行求解。因此,理论分析的方法往往是对于比较简单的平面典型问题给出满意的解答。对于工程中的复杂问题(受力情况和几何条件都很复杂),则很难应用现成的理论公式求出满意的结果,而只能采用实验手段来求解。

三、材料力学实验的方法

目前常见的材料力学实验方法可以分成下述几种类型:

(1) 机械法。采用试验机对材料进行拉、压、弯、扭等力学性能测试。这种方法通常在实验室使用。

(2) 电测法。有电阻、电容和电感等多种方法,而以电阻应变仪测量技术的应用较为普遍,实际效果也较好。电阻应变测量技术不仅可以用于模型实验,而且可用于实际工程结构在各种条件下的应变及其他参数(扭矩、压力等)测量。利用无线电遥控技术及红外技术还可远距离遥测。根据特殊用途,还可组成相应的传感器和

测力装置。

(3) 光测法。有光弹性法、云纹法、全息光弹法、全息干涉法、散斑干涉法、焦散线法等。

近年来, 光纤传感器、光纤传输技术在力学领域中也得到了广泛的应用, 特别是在构件内部应力的测试中, 开辟了广泛的应用前景。

(4) 声学方法。有声弹性法、声发射法和声全息法等。

(5) 其他方法。脆性涂层法, 用于定性测量试件应力集中区域和主应力方向; X 射线应力测定法, 用于无损直接测定试件表层的应力或残余应力。

上述各种方法不仅可以用来测定应变、应力和位移, 还可测定压力、加速度、裂纹扩展速率, 以及构件的残余应力等物理量。它们各有所长, 但也各有局限性, 因此, 对这些方法应有全面的了解, 应用时, 针对要解决的问题, 选择合适的方法。如为了防止构件发生破坏, 需要设计构件时, 问题的重点是确定最大应力, 找出其薄弱环节; 为了减轻质量, 节省原材料, 问题的重点是确定构件中应力的分布规律, 优化其几何形状。当多种方法对同一问题都有效时, 则应考虑采用哪一种方法最方便或最经济。只有要解决的问题目的性越明确, 制定出的方案才能越确切, 人、财、物才能得到最好的利用, 提高其经济效益。

四、材料力学实验的内容

本教材的实验内容主要由 4 个部分组成:

(1) 材料的力学性能测试。介绍在实验室应用试验机对金属材料进行拉、压、剪、扭、弯, 冲击、疲劳与断裂的基本实验方法。

(2) 应力测试。主要介绍应用电测法和光测法测量构件在静态和动态时的应力和应变。

(3) 综合设计性实验。这部分内容主要介绍以实际工程为背

景，并以电测法实验为主对工程结构进行实验应力分析的方法，测试环节较为复杂，属综合分析和设计的实验。

(4) 复合材料的力学实验。综合内容，主要介绍复合材料的基本实验方法和复合材料缺陷的无损检测方法

当今世界，高新技术发展日新月异，现有的实验手段不断的被淘汰或更新，作为跨世纪的工程技术人员，必须密切关注并及时捕捉具有发展潜力的高新技术，抓住机遇，充分利用。研究、发展、改造并合理应用，使其成为力学实验的有效手段。本书作为面向21世纪的基础力学改革实验教材，一方面，配合理论教学，保证基本实验；另一方面，为面向未来工程实际，增加了近代发展起来的一些新的力学测试技术与手段。希望读者在学习过程中，既动手又动脑，为适应未来工程发展的需要奠定坚实的基础。

第一章 机测应力实验

工程中常用的材料按其变形性质可分为塑性材料与脆性材料两类。塑性材料在拉断时有明显的残余变形，如低碳钢、合金钢、铜等；脆性材料拉断时只有极小的变形，如铸铁、混凝土等。按材料的物理性质又可分为金属材料与非金属材料两类。金属材料中的原子按一定的规则排列组成晶格，非金属材料中的原子排列没有一定规则。本章主要介绍用试验机测定金属材料在拉伸、压缩、扭转及剪切等力学性能指标的测定等内容。

§ 1-1 万能试验机简介

在材料力学实验中，为使试件产生变形，必须对试件加载，载荷较小时可以用砝码直接加载，若载荷较大时则需用专门的加载设备。在实验中通用的加载设备称为试验机。由于实验目的和条件的要求，需要采用各式各样的试验机。常见的可做拉伸、压缩、剪切、弯曲等实验的材料试验机，习惯上称为万能试验机。试验机类型较多，如机械传动摆式万能试验机、油压摆式万能试验机、电子万能试验机等。现以 WE-300 型液压式万能试验机和电子万能试验机为例，简述其工作原理及操作方法。

一、WE-300 液压式万能试验机简介

1. 结构及工作原理

液压式万能试验机一般由试验机主体和测力计两大部分组成。
其外形构造见图 1-1，结构简图如图 1-2 所示。

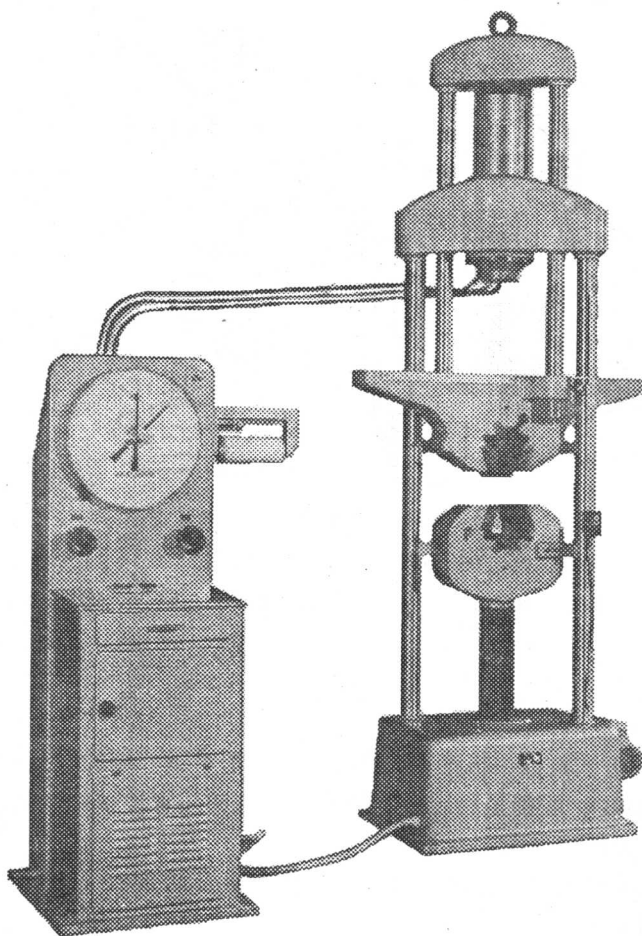


图 1-1 WE-300 液压万能试验机外形构造图

