

CAILIAO LIXUE SHIJIAN

高等学校教材

材料力学

实验

主编：杜云海
黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验/杜云海主编.—郑州:黄河水利出版社,2000.6 (2003.1 重印)

ISBN 7-80621-417-8

I. 材… II. 杜… III. 材料力学-实验-高等学校-教材 IV. TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 25285 号

责任编辑:邵志峰

封面设计:谢萍

责任校对:周宏

责任印制:温红建

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮编:450003

发行部电话及传真:(0371)6022620

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

印 刷:黄委会设计院印刷厂

开 本:850mm×1168mm 1/32

印 张:7

版 别:2000 年 6 月 第 1 版

印 数:3101—4500

印 次:2003 年 1 月 郑州第 2 次印刷

字 数:173 千字

定 价:10.50 元

前 言

我国实行改革开放以来,社会主义经济建设和文化教育事业的蓬勃发展,已使培养人才问题上升为各项事业的重中之重、刻不容缓的问题。围绕怎样使教材内容和教学方法更有利于高素质人才的培养,以满足社会主义现代化建设事业飞速发展的需要,在新世纪来临之际,我国教育界悄然兴起一场教学改革运动。许多教育工作者都在各自的学科领域内,围绕如何面向 21 世纪更有效地培养人才问题而不懈地探讨与努力,着眼于学生能力的培养,重视实践性环节并加大其教学比例,成为一种共识和教学发展趋势。

材料力学是工科院校的一门以实验为基础、与相关学科联系紧密的专业技术基础课程,本门课程的学习效果直接影响到对后继课程的学习,而材料力学实验在材料力学教学中又占据极其重要的地位。因此,编者认为,材料力学实验教材内容除了保持传统的巩固和加深材料力学理论功能以外,更应重视其工程实用性、学生独立分析解决工程实际问题的能力及研究探索意识的培养。作为一种尝试,在筹划这本材料力学实验教材时,就把编写的指导思想定位在“巩固理论、工程实用、培养能力”这 12 字原则之上。由此制定编写大纲为:

(1)以国家教委材料力学指导小组制订的《材料力学

教学大纲》为指导,适当拓宽和加深实验教学内容,保证教材内容的科学性、先进性和适用性。

(2)增强教材的工程实用性和借鉴参考价值。

(3)反映新时期教学特色,有利于培养学生独立分析、解决工程实际问题的能力。

(4)仪器设备的介绍要照顾新老交替的时代特征。

本教材内容共分六章:第一章为绪论;第二章介绍误差分析及数据处理方法;第三章介绍常用试验仪器设备及其操作方法;第四章为材料基本力学性能试验;第五章为综合性实验,除了兼顾验证材料力学中的重要理论以外,着重通过实验让学生了解两种常用应力分析方法——电测法和光弹性方法的基本原理;第六章则编入一系列试验设计作业,给学生留出一个发挥自身潜能的空间。

为了增强教材的工程实用性,加速我国的标准化进程,第四章中材料基本力学性能试验内容的编写较为系统和全面,全部参照了现行有关国家标准,引用的所有力学术语符合国标 GB10623-89(金属力学性能试验术语)之规定;第二章中的数值修约方法也符合国标 GB8170-87之规定。为了增强本书的参考价值,和在国际交往中的规范用语,在书末附录中编入了《金属材料力学性能试验现行国内标准一览表》和《力学性能试验术语中英文对照表》。

本教材的编写为河南省教委高等教育面向 21 世纪教

学改革计划项目——理论力学、材料力学和断裂力学教学内容系统研究的一个组成部分。全书由杜云海主编,陈国华、杨根顺任副主编。本书于1998年5月完成试用稿,2000年2月完成修改稿,由黄河水利出版社正式出版发行,使这本《材料力学实验》教材按照原定计划,以全新的面貌奉献给读者。

在本教材的编写过程中,得到郑州工业大学韩连元教授、丁遂栋教授的悉心指导;周鸿钧教授、束拉副教授热心为本书提供了工程实际问题的专业素材;有近40年实验室工作经验的王文勇副教授对本书进行了认真细致的审阅,提出过许多珍贵建议;在本教材试用过程中,还得到郑州工业大学教材科领导及材料力学实验室贾芳真、王贺郑两位工程师的积极配合和大力支持。在此,特向热心帮助、支持本书编写工作的各位专家和同志表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加上时间仓促,虽经反复认真修改,书中不足、不当之处在所难免,恳请读者阅后批评指正。

编 者

2000年2月于郑州

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 材料力学实验的意义和任务.....	(1)
第二节 材料力学实验的内容.....	(2)
第三节 实验课注意事项.....	(3)
第二章 误差分析及数据处理	(5)
第一节 基本概念.....	(5)
第二节 系统误差的消除.....	(7)
第三节 偶然误差理论及误差传递.....	(8)
第四节 有效数字与运算法则.....	(11)
第五节 数值修约规则.....	(14)
第六节 坏值及其剔除准则.....	(16)
第七节 试验结果的表示方法.....	(19)
第三章 试验设备及测试仪器	(23)
第一节 试验机一般介绍.....	(23)
第二节 万能材料试验机.....	(24)
第三节 扭转试验机.....	(30)
第四节 冲击试验机.....	(36)
第五节 疲劳试验机.....	(39)
第六节 引伸仪的一般介绍.....	(45)
第七节 蝶式引伸仪.....	(46)
第八节 电阻应变计及电阻应变仪.....	(48)
第九节 光线示波器简介.....	(75)
第十节 $x - y$ 函数记录仪简介.....	(77)

第十一节	应变计式双向引伸计	(80)
第十二节	YHD型电子引伸仪	(83)
第十三节	载荷传感器	(85)
第十四节	光弹性仪简介	(87)
第四章	材料基本力学性能试验	(90)
第一节	拉伸试验	(90)
第二节	材料扬氏模量及泊松比的测定	(97)
第三节	规定非比例伸长应力及规定残余伸长 应力的测定	(103)
第四节	压缩试验	(110)
第五节	剪切试验	(115)
第六节	扭转试验	(118)
第七节	弯曲试验	(126)
第八节	冲击试验	(132)
第九节	疲劳试验	(136)
第五章	综合性实验	(143)
第一节	梁的纯弯正应力实验	(143)
第二节	薄壁圆管在弯扭组合变形下的主应力 实验	(147)
第三节	工字梁主应力实验	(150)
第四节	压杆稳定实验	(153)
第五节	动应力测定	(157)
第六节	光弹性演示实验	(161)
第七节	光弹性材料条纹值的测定	(173)
第八节	光弹性法测定边界应力	(178)
第九节	光弹性法测定应力集中系数	(181)

第六章 试验设计作业	(185)
第一节 知识扩充型试验设计	(185)
第二节 工程应用型试验设计	(191)
附录 I 金属材料力学性能试验现行国内标准一览	(198)
附录 II 应变分析	(201)
附录 III 力学性能试验术语中英文对照	(207)

第一章 绪 论

第一节 材料力学实验的意义和任务

实践是理论的基础,科学实验是进行科学研究的重要手段。材料力学的内容和理论清楚表明,它是在实验观察的基础上,经过科学抽象,抓住主要事实,由表及里,去伪存真,将真实材料理想化、实际构件典型化、公式推导假设化的学科。它的理论结果是否正确、能否适用于工程实际,只有通过进一步的实验验证才能确定。在结构设计及新材料开发中,需要了解材料的力学性能参数,这些数据要通过材料的力学性能试验进行测定。在工程实际中,构件的几何形状、受力条件和支承条件往往十分复杂,这些构件的强度和刚度计算仅靠理论分析的方法难以得到正确结果,除了使用有限元等数值计算方法外,使用实验应力分析方法是解决此类难题的可靠途径。

材料力学实验是材料力学课程的一个重要教学环节,重在通过这一环节不但可以使学生巩固和深化对材料力学理论的学习和掌握,而且使学生学会材料各种力学性能的测试方法,熟悉常用的应力分析方法和各种仪器设备的正确使用操作方法,锻炼动手能力,培养独立分析解决问题的能力 and 科学严谨的工作态度。

由此可见,材料力学实验课对巩固、掌握和研究、发展材料力学理论,培养高素质的社会主义现代化建设人才,都具有十分重要的意义。

材料力学实验课的教学任务是:

(1)通过试验测定和验证典型工程材料的各种力学性能,并使学生掌握符合国标规定的一般试验方法。

(2)通过实验验证材料力学中的重要理论,并使学生从中了解和熟悉常用的应力分析方法。

(3)通过试(实)验,使学生熟悉和掌握常用试验仪器设备的正确使用及其操作方法。

(4)通过实验课教学和课外作业的完成,培养学生独立分析解决问题的能力 and 科学严谨、实事求是的工作态度。

第二节 材料力学实验的内容

几乎每一种材料力学理论都可用相应的实验来验证,工程材料的每一项力学性能都需要通过试验进行测定,属于材料力学问题范畴但又超出材料力学理论适用范围的复杂工程问题,并未超出材料力学实验的适用范围,即可以用应力分析的方法来解决。因此,材料力学实验的内容可以说是极其丰富的。

本教材从实验的性质和教学层次上将材料力学实验课的内容划分为三大类:

1. 材料基本力学性能试验

这类试验如拉伸、扬氏模量及泊松比、规定非比例伸长应力及规定残余伸长应力、压缩、剪切、扭转、弯曲、冲击和疲劳等。

2. 综合性实验

这类实验如梁的纯弯正应力、弯扭组合变形下的主应力、压杆稳定、动应力、光弹性演示、光弹性材料条纹值、光弹性法测边界应力及应力集中系数等。

3. 应力分析试验

这部分内容由具有不同专业特色和工程背景的力学物理量测

量或应力分析试验设计作业构成,供有能力的同学有所选择地设计试验方案 and 数据分析处理方法,用以开发学生的自身潜力和研究探索意识,培养其独立分析解决实际问题的能力。

本教材含材料基本力学性能试验项目 9 个、综合性实验设计项目 9 个、试验设计项目 11 个。其中拉伸、扬氏模量及泊松比、压缩、扭转、梁的弯曲正应力、弯扭组合变形下的主应力、光弹性演示、光弹性材料条纹值和光弹性法测边界应力,为多学时材料力学课必做实验项目,试验设计项目可根据个人情况任选 1~2 项;少学时材料力学课必做实验项目为拉伸、压缩、扬氏模量及泊松比(或扭转)和梁的纯弯正应力,对试验设计项目可依据个人情况自由选择,而不作统一要求。必做实验以外的其他实验项目,可根据学生的专业特点和学时情况适当选做。

第三节 实验课注意事项

材料力学实验所使用的仪器设备,均属精密贵重设备,为了保持良好的教学秩序,使实验课达到预期教学目的,保护国家财产,避免实验事故发生,使学生养成科学严谨的工作作风,参加实验的同学必须遵守下述三项规则。

(一) 课前认真准备

实验课前必须认真预习本教材,弄清楚实验的内容和目的,通过实验要测取哪些数据,完成实验需要使用哪些仪器设备,如何正确操作、操作中特别应注意哪些问题等。

(二) 认真进行实验

- (1) 准时进入实验室。
- (2) 保持室内安静,不得大声喧哗,并保持室内清洁。
- (3) 未经指导老师同意,不得擅自用任何设备,实验时必须

遵守设备操作规程,违规操作并造成设备损坏或人身伤害事故者,要照章处罚。

(4)同组合作的同学要分工明确,各负其责,及时记录各项实验资料和数据。

(5)实验结果请指导老师审阅,认为合格后方可结束实验。实验结束时关掉电源,整理、清点实验物品并搞好现场卫生,经老师同意方可离开实验室。

(三)课后按时完成、递交实验报告

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,要求报告的内容要全面、真实,字迹工整,图文并茂。实验及计算数值要表格化。不参加实验而随意捏造数据或在报告中乱涂乱画的同学将得到不及格的实验考核成绩。实验报告应包括以下内容:

(1)实验名称、实验日期、室温。

(2)实验设备的名称、型号、使用量程及精度。

(3)基本实验装置简图。

(4)实验记录及数据处理表格,并使用适当的法定计量单位,数值的修约应符合修约规则。

(5)需用曲线表达结果时,须使用真线拟合法得出光滑曲线,使实验点分布在曲线附近,不得以实验点直接连接成折线。

(6)在报告的最后应有对实验结果的分析与讨论,结合实验目的得出结论,并对误差进行分析。

第二章 误差分析及数据处理

用各种仪器和方法测量力、位移、应变等力学物理量时,不可避免地存在实验误差。本章着重介绍误差分析及实验数据的处理方法,以便使读者掌握这方面的基本知识,对实验测得的数据进行合理的分析和处理。

第一节 基本概念

一、真值、实验值、理论值及误差

真值是客观上存在的某个物理量的真实值。

实验值是用实验方法测量得到的某个物理量的数值,它是真值的近似值。

理论值是用理论计算公式求得的某个物理量的数值,它也是真值的近似值。

误差分实验误差和理论误差。实验误差是实验值与真值的差值,理论误差是理论值与真值的差值。这里仅讨论实验误差,并简称之为误差。

二、误差的分类

根据误差的性质和产生的原因,可将其划分为三类:

(一)系统误差

系统误差是由某些确定因素引起的,它对测量值的影响总是具有同一偏向和近似大小。例如液压式万能机的机体倾斜总是使

力的测量引起正误差;用应变仪测量应变时,仪器灵敏系数放置值大于应变计灵敏系数时,所测应变值总是偏小的。

系统误差有固定偏向和一定规律,故可根据具体原因,采取适当措施予以校正或消除。

(二)偶然误差

偶然误差是由不易控制的多种偶然因素造成的,它没有固定的大小和偏向,无论怎样控制试验条件的一致,都不可避免偶然误差的存在。例如用卡尺测量拉伸试样的直径,在相同条件下测量多次,所得数据都不尽相同,其中就包含了偶然误差。偶然误差虽不易控制,但在测量次数足够多时,可从中发现它服从一定的统计规律,其大小和正负的出现由概率决定。通过多次重复测量求平均值是消除或减小偶然误差的有效措施。

(三)过失误差

过失误差指明显与实验不符的误差,无一定规律,误差有时可能很大,它主要由试验人员的粗心大意、操作不当等因素造成。例如读错、报错或记录及计算出错等。

此类误差只能靠试验人员认真细致、正确操作和加强校对才能避免。

三、精度

不准确度或不精确度是指给出值离开真值的程度,它与误差大小相对应,国内外习惯称之为准确度,其含义仍为不准之意。精度一词有时特指精密度的简称,这里暂作为泛指的名义名词。例如:实验相对误差为 0.01%,则可笼统地说其精度为 10^{-4} ,如果纯属偶然误差引起,就说其精密度为 10^{-4} ,如果是由系统误差和偶然误差共同引起,则可说其准确度为 10^{-4} 。因此,参照国外的说法,含义笼统的“精度”一词可细分为:

(1)准确度:反映系统误差与偶然误差合成大小的程度。

(2)精密度:反映偶然误差大小的程度。

(3)正确度:反映系统误差大小的程度。

对试验来说,精密度高的正确度不一定高,正确度高的精密度也不一定高,但准确度高则精密度与正确度都高。三者的区别可用图 2-1 说明。(a)表示正确度高而精密度低;(b)表示精密度高而正确度低;(c)则表示正确度及精密度都高,即准确度高。在科学试验中,总希望得到准确度高的结果。

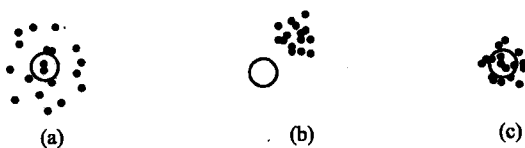


图 2-1 准确度、精密度和正确度图解

第二节 系统误差的消除

试验中,要根据具体情况尽可能消除或减小系统误差,以提高测量结果的正确度。这里仅介绍两种常用方法。

一、对称法

利用对称性进行试验,可以消除某些系统误差。例如在测量材料扬氏模量 E 时,试样受拉的同时,还可能由于夹头不完全同轴使试样承受弯曲变形,如在试样对径两侧同时测量其伸长,然后取平均值,则由弯曲变形产生的系统误差就被消除或抑制。

二、校准法

用更准确的仪器校准试验仪器以估计系统误差,或用通过分析给出的各种修正公式修正试验结果以消除系统误差。

例如应变测量中使用长导线、应变计阻值与仪器要求的阻值差异过大等都要引起系统误差。这都可用有关公式对测量结果进行修正以消除系统误差。

一般情况下,系统误差可能由多种因素引起,要具体分析,逐项排除或修正。

第三节 偶然误差理论及误差传递

从表面上看,偶然误差的分析似乎无规可循,而实际上它们具有统计规律,因此可用概率统计分析的方法进行处理。

一、高斯误差定律

大量实践证实,在不考虑系统误差时,偶然误差的分布密度函数为正态分布密度函数

$$f(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \quad (2-1)$$

它称为高斯误差方程,其图形见误差曲线(图 2-2)。

式中: α ——误差;

h ——精密度指数,

$$h = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \quad (\sigma \text{ 为标准误差}) \quad (2-2)$$

误差曲线是一条连续曲线,当 $|\alpha| \rightarrow \infty$ 时, $f(\alpha)$ 递降趋近于零。由图 2-2 可看出:

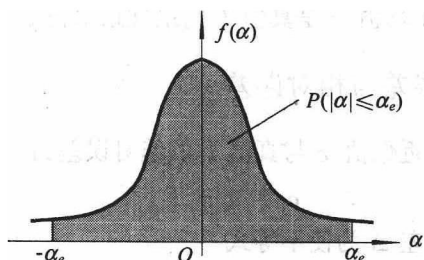


图 2-2 高斯误差曲线

(1) 绝对值相等的正负误差, 出现的概率相等。

(2) 绝对值小的误差出现概率大, 绝对值大的误差出现概率小。

(3) 根据实际情况选取 $|\alpha|$ 的一个值 α_e 作为界限, α 超过这个界限的 $f(\alpha)$ 非常小, 被认为等于零。 α_e 就被认为是 $|\alpha|$ 的极大值, 而一般误差 α 就介于 $-\alpha_e$ 与 α_e 之间, 它们的概率 $P(|\alpha| \leq \alpha_e)$ 就是这个区间上 $f(\alpha)$ 曲线下的面积。

令 $\alpha_e = t\sigma$, 则 $t=1, P(|\alpha| \leq \sigma) = 68.3\%$; $t=2, P(|\alpha| \leq 2\sigma) = 95.4\%$; $t=3, P(|\alpha| \leq 3\sigma) = 99.7\%$ 。

误差服从正态分布, 观测值亦服从正态分布。其密度曲线可将图 2-2 曲线水平平移获得。平移后的对称轴位于物理量的真值 T 处。真值 T 为观测值 x 的母体均值。测量精密性以母体标准误差 σ 表示, 但 T 和 σ 要经过无穷多次测量才能确定。在有限次测量中, 用样本平均值 \bar{x} 和样本标准误差 s 作为 T 和 σ 的无偏估计值。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (2-3)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-4)$$