

材料力学实验

陈锋 段自力 王文安 刘敦康 主编

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验/陈锋等主编

武汉:华中理工大学出版社, 1999年1月

ISBN 7-5609-1878-6

I. 材…

II. ①陈… ②段… ③王… ④刘…

III. 材料实验-材料力学理论

IV. O31

材料力学实验

陈锋 段自力 王文安 刘敦康 主编

责任编辑 常江南

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店北京发行所经销

华中理工大学出版社照排室排版

武汉市新华印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:5.375 字数:128 000

1999年1月第1版 1999年1月第1次印刷

印数:1—10 000

ISBN 7-5609-1878-6/O·183

定价:5.50 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书为湖北等4省7所高校合编教材。全书分为3章,共列出15个实验,其中包括拉伸、压缩、扭转、弯曲正应力、弯扭组合变形下主应力、材料弹性常数、材料规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ 、条件疲劳极限 $\sigma_{-1(10^7)}$ 、振动应力、冲击、残余应力、微机采集和处理拉伸试验数据、压力容器的强度检验(设计性实验)等。书中简明扼要地叙述了实验设备、仪器及其操作规程;深入浅出地对电阻应变片测量技术作了系统的介绍;书后附录中分别对实验数据处理和工程材料力学性能试验的国家标准作了扼要的叙述。

本书可作为工科大学本科生材料力学实验教材,也可作为电视大学、职工大学和函授大学有关专业的材料力学实验教材,亦可供大学教师和工程技术人员、实验技术人员阅读。

序

随着我国社会主义现代化建设事业的蓬勃发展,各工程与产业部门越来越广泛地采用现代化的成套设备和先进的工程结构,这些设备及工程结构不仅结构新颖、尺寸很大,而且承受的载荷复杂、应力水平高。因此,现代工程结构对所使用材料的要求,也就越来越严格。特别是材料的弹性、塑性、强度和韧性等主要力学性能的优劣,越来越受到工程界、产业界和学术界的高度重视。

《材料力学》和《工程力学》是大学工科有关专业必修的技术基础课程,其理论也是工程结构与构件的强度、刚度及稳定性计算的依据,材料力学实验又是建立材料强度科学理论的重要基础。因此,学习和掌握材料力学的各种实验方法、原理与设备,不仅对于测试各种工程材料的力学性能很重要,而且对于指导研制与开发新材料也具有重大意义。材料力学实验课同其他课程一样,必须深入改革教学内容和方法,才能适应社会经济发展的要求。

根据湖北、江苏、海南和广西 4 省 7 所高等工科院校教学需要,由华中理工大学段自力教授和刘敦康高级工程师、武汉水利电力大学王文安教授和曹定胜工程师、武汉城市建设学院陈锋高级实验师、武汉化工学院黄志强副教授、常州技术师范学院谭华民副教授、海南大学金玉澄副教授和广西工学院纪惠君高级工程师等 9 位教师组成编写组,他们根据近 40 年来从事《材料力学》和《工程力学》课程实验教学的经验以及从事材料与结构强度科学研究的实际体会,确定了本书的编写大纲。其指导思想是:(1)以原国家教委颁布的《材料力学》和《工程力学》两课程的实验教学基本要求

为出发点,内容适当加深与拓宽,保证本书的先进性与科学性;(2)从4省7所高校材料力学实验设备的实际出发,以保证本教材的适用性;(3)总结各院校教师实验教学实践经验和改革的成果,并参考各院校使用华中理工大学出版社于1993年出版的《材料力学实验》的意见和建议,以保证实验教学改革实施的连续性;(4)实验原理方法、名词术语、数据处理等,都严格按最新国家标准撰写,以突出其工程实践性,有利于工程技术人员借鉴。全书由陈锋、段自力、王文安、刘敦康主编,陈锋负责全书的撰写执笔,并邀请湖北省力学学会副理事长、华中理工大学力学系主任、博士生导师陈传尧教授主审。

本书可作为机械、土建、水利、水电、力学、电力、热动、造船、化工、城建等工科专业的本科生、专科生和函授生的材料力学实验教材,也适用于成人教育的电视大学、职工大学和函授大学有关专业的材料力学实验教材,亦可供有关教师、实验技术人员和工程技术人员阅读。

本教材也是湖北省力学学会为适应面向21世纪力学课程教学深入改革的需要,组织会员以及省外同行密切合作编写的教材之一,它具有在实验内容上创新、方法上严谨和技术上先进的优点,特此向广大读者推荐。相信它的再次出版与广泛使用,将推动材料力学实验课内容与方法的深入改革,培养为社会主义现代化建设服务的高素质的创造性人才,作出应有的贡献。

湖北省暨武汉市力学学会名誉理事长 栗一凡
武汉水利电力大学 教授

1998年4月

学生实验守则

材料力学实验课是《材料力学》课程和《工程力学》课程教学的重要实践性环节之一。为了保证实验教学的质量,培养学生独立地进行科学实验的能力,并养成文明实验的优良作风,特制订本守则,要求学生必须做到:

1. 在实验课前,分好实验小组,预习本书中指定实验项目和有关试验机、仪器、仪表的相应章节内容,了解实验目的与要求、实验原理、实验步骤、试验机与仪器的使用方法、操作规程、数据处理方法等,并写出预习报告。在上实验课时,由实验指导教师检查预习情况。凡未进行预习或无故迟到者,指导教师有权停止其实验。

2. 进入实验室就是进入实验课堂,要服从指导教师的安排。应严格遵守实验课堂纪律和实验室的一切规章制度,注意保持安静,不得高声喧哗与打闹,不准吸烟,不准随地吐痰和乱丢纸屑,不准乱动室内与本次实验无关的机器、仪器、仪表、工具和其他实验设施。

3. 在做实验时,应严格遵守操作规程,切实注意实验设备和人身安全。违犯操作规程或不听从指导教师的指导,从而造成实验设备损坏的事故者,按学校有关规定进行处理;若发现实验设备出现故障或异常现象时,应立即停止操作,关闭电源,并报告指导教师及时处理。

4. 在实验过程中,实验小组每个成员要分工明确,密切配合,协调一致,认真操作,仔细观测实验现象,如实记录实验数据,主动锻炼自己独立动手实验和分析问题的能力。这是培养独立进行科

学实验,积累实验技能所必经的实践过程。

5. 在实验结束时,应立即将试验机复原,把实验仪器、仪表、工具等清理归还,将实验场地整理干净。这将有助于培养良好的实验习惯和文明的工作作风;还应及时将实验数据交实验指导教师审阅,经指导教师审定后,方可离开实验室。

6. 在课外应及时独立地写出实验报告,并按指导教师规定的时间交送实验报告。实验数据记录及其处理力求真实准确和规范。对示意图形、关系曲线、记录表格和计算公式,力求正确、整洁和清楚。文字说明通顺,书写工整。不得臆造数据,不得抄袭他人的实验报告。对于不符合要求的实验报告,指导教师有权退回令其重做。

目 录

绪论	(1)
第一章 材料力学实验	(5)
§ 1-1 拉伸试验	(5)
§ 1-2 压缩试验	(15)
§ 1-3 引伸计法测定材料的弹性模量 E	(20)
§ 1-4 电测法测定材料的弹性常数 E 和 μ	(25)
§ 1-5 扭转试验	(30)
§ 1-6 材料切变模量 G 的测定	(36)
§ 1-7 矩形截面梁弯曲正应力电测实验	(40)
§ 1-8 薄壁圆管在弯曲和扭转组合变形下 的主应力测定	(44)
§ 1-9 金属材料规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ 的测定	(48)
§ 1-10 冲击试验	(53)
§ 1-11 金属材料疲劳试验	(56)
§ 1-12 悬臂梁振动应力测量实验	(63)
§ 1-13 残余应力的盲孔电测实验	(65)
§ 1-14 拉伸试验中利用微机采集和处理数据	(70)
§ 1-15 压力容器的强度检验(电测法设计性实验)	(73)
第二章 材料力学实验常用设备简介	(76)
§ 2-1 材料试验机及其分类	(76)
§ 2-2 液压式万能试验机	(77)
§ 2-3 电子式万能试验机	(81)
§ 2-4 扭转试验机	(83)
§ 2-5 冲击试验机	(90)

§ 2-6	纯弯曲疲劳试验机	(93)
§ 2-7	机械式引伸计	(94)
§ 2-8	静态电阻应变仪	(98)
§ 2-9	动态电阻应变仪	(110)
§ 2-10	光线示波器	(115)
第三章	电阻应变片测量技术	(123)
§ 3-1	电阻应变片的工作原理及其分类	(124)
§ 3-2	电阻应变片的工作特性	(126)
§ 3-3	电阻应变片的粘贴与防护	(133)
§ 3-4	电桥原理	(134)
§ 3-5	电桥接法	(137)
§ 3-6	静态应变测量	(141)
§ 3-7	动态应变测量技术简介	(147)
附录 I	实验数据的处理	(152)
附录 II	工程材料力学性能试验的国家标准(GB)简介 ...	(157)

绪 论

一、材料力学实验的意义和任务

《材料力学》和《工程力学》的内容和理论清楚表明,实验是理论的基础,也是学科发展的基础。这不仅因为材料的力学性能参数需要通过试验来测定,而且在对构件的强度和刚度问题进行理论分析时,也往往是首先根据实验所观察的现象,提出相应的假设,然后再运用力学和数学的有关知识来分析推证,由此得出结论。这些结论也还必须再通过实验来检验。此外,对一些受力和形状复杂的构件,当其强度、刚度和稳定性问题,尚难以用理论分析解决时,更需要运用实验方法寻求解答。因此,材料力学实验是《材料力学》课程和《工程力学》课程的重要组成部分,是理论密切联系实际实践性环节,也是培养学生观察问题、分析问题和解决问题能力的一个重要途径。由此可见,材料力学实验对了解、掌握、应用和发展材料力学和工程力学理论具有极其重要的意义。

基于上述见解,材料力学实验教学的主要任务是:

1. 通过实验研究和测定工程材料的力学性能,包括弹性、塑性、强度、韧性和疲劳特性等性能参数。
2. 验证《材料力学》和《工程力学》的理论公式和主要结论,并通过实验来熟悉变形和应变的测试方法以及主要测试仪器。
3. 研究受力和形状均较复杂的构件的应力分布规律,即进行实验应力分析,其中主要包括电测法和光弹性法等。
4. 进行科学实验的基本训练,培养严肃认真的工作作风和实事求是的科学态度,增强观察和发现、分析和解决工程实际问题的能力。

二、材料力学实验的特点和要求

实验课不同于课堂讲授,它是借助于材料试样、试验机和仪器、仪表等实验手段,通过学生亲手操作,给试样加载,同时观测其变形,并经历观察、测量、记录、分析处理和推理的过程来进行学习的,一般要有几个人相互配合才能很好地完成实验全过程。因此,需要组合成实验小组并明确分工。在上实验课时,要求人人遵守实验规则和纪律,集中精力,认真操作,细心观测,真实记录,仔细推理。根据上述实验课的特点,学生应达到以下几个方面的要求:

1. 实验前每人都应明确本次实验的目的、要求、原理和步骤,了解所使用的试验机、仪器的基本构造原理和操作规程(使用方法),做好必要的预习和实验准备,并写出预习报告。

2. 实验过程中应细心观察、测量和记录各种现象及数据,同时也要记好同组人员分工名单、实验日期、实验场所的温度和湿度、试验机和仪器名称、试样尺寸和试验装置示意图等。要求记录清楚整洁,保持原始状态。在实验中还应提倡主动思索,发挥独立思考能力,结合有关理论对试验中的现象和数据进行分析,使理论与实际联系起来,把实践中获得的感性认识上升为理性认识。

3. 实验后,要及时做好小结,编写实验报告。要求实验报告内容为:实验名称、实验日期、实验场所的温度和湿度、实验目的、原理简述、实验布置示意图、使用的试验机和仪器等的名称、实验数据记录、数据处理和实验误差分析讨论等,并要求数据真实,计算正确,书写整洁,描绘实验曲线时应用坐标纸,按多数点的位置绘成光滑的曲线。

4. 为了避免试样形状和尺寸偏差对试验结果的影响,材料力学实验所用的试样,必须按国家标准制作。如金属拉伸试验的试样标准为 GB6397—86,依它制成比例试样或定标距试样进行实验。

5. 对试样的加载,主要是运用各种材料试验机,应根据试样所能承受的最大载荷,选择适当的量程(示力度盘),注意其最大载荷不得超过试验机所选量程的 80%,以保证试验机有足够的灵敏度和指示值精度。静载试验的加载速率,要注意缓慢和均匀,按国标 GB228—87 规定,控制弹性阶段应力增加速率不得超过 $30 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (材料的弹性模量 $\geq 1.5 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$)。

6. 对试样变形量的测定,由于弹性变形一般很小,需用变形仪放大变形后再测量。据此应了解其构造原理、使用方法和放大倍数。在选用时,要注意使实验中最小变形远大于变形仪上的最小刻度值,而最大变形则不得超过变形仪满量程的 80%。

以上 6 点是实验成功所必备的条件,也是对读者的主要要求。

三、材料力学实验的作用和应用前景

在学习《材料力学》和《工程力学》过程中,学生亲自参加实验活动,有助于提高对课程的学习兴趣,促使学生主动地钻研所学内容,这无疑会增强学习效果。因此,材料力学实验对学生来说,是非常有用的。首先,它能增进学生对课堂上所涉及到的基本概念的理解,比如《材料力学》和《工程力学》理论分析中所作的基本假设;其次,在材料力学实验中会遇到某些实验技术问题,通过解决这些问题,可获得科学实验的初步经验;再次,实验所涉及的力和变形,需要同时测量,并非一人能完成,也就是说需要其他人协作配合,实验才能成功。它无形中培养了学生组织实验的能力。这种能力的培养,是大学学生的素质教育不可缺少的部分。可见材料力学实验对学生或从事材料与工程科学的工作者来说,都是十分重要的。

基于实验是固体材料学科发展的基础,而当今各种新型工程材料的开发日新月异,它们固有的力学行为都需要通过实验测定,因此,材料力学实验具有广泛的工程应用前景。

近 30 年来,由于激光技术、全息干涉技术、近代光学和超声技术的发展,产生了许多新的实验方法和手段,更加丰富了材料力学

实验的内容,如全息光弹性法、全息干涉法、云纹法、散斑干涉法和声弹性法等。这些实验方法在工程上的应用,必将更加扩大和深化材料力学实验在工程上的应用范围。

第一章 材料力学实验

§ 1-1 拉 伸 试 验

一、概述

常温、静载下的轴向拉伸试验是材料力学实验中最基本、应用最广泛的实验。通过拉伸试验,可以比较全面地测定材料的力学性能,如弹性、塑性、强度、断裂等力学性能指标。这些性能指标对工程构件的强度计算和刚度分析、选择材料和评价新材料都有极其重要的作用。

二、试验目的

1. 测定低碳钢(如 Q_{235} 钢,*典型塑性材料)的下列性能指标: 屈服点 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、断后伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 。
2. 测定铸铁(典型脆性材料)的抗拉强度 σ_b 。
3. 观察上述两种材料在拉伸全过程中的各种现象。
4. 分析和比较低碳钢和铸铁的力学性能特点与破坏特征。

三、试验设备和仪器

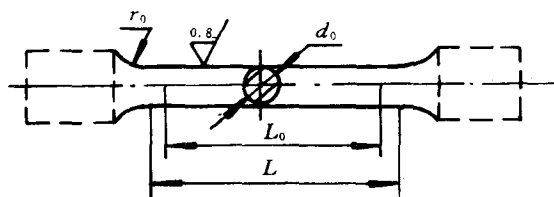
1. 万能试验机;
2. 试样划线器;
3. 游标卡尺。

四、试样的制备

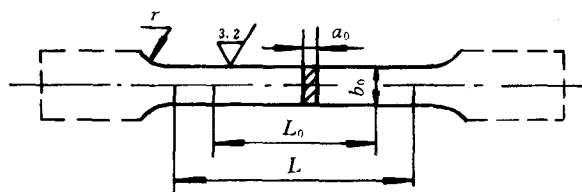
试验表明,所用试样的形状和尺寸、表面粗糙度和形位偏差等

- Q_{235} 钢是新的国家标准 GB700—88 的低碳钢牌号,相当于旧标准钢牌号的 A₃ 钢。

因素,对其性能测试结果有一定的影响。为了使金属材料拉伸试验的结果具有可比性与符合性,国家已制订统一标准(简称国标)GB6397—86《金属拉伸试验试样》。本试验按上述国标制备试样。拉伸试样系由夹持部分、过渡部分和平行部分构成。试样两端较粗部分为夹持部分,其形状和尺寸可根据材料试验机夹头情况而定;试样两夹持段之间的均匀部分为平行部分,即试验段部分。而夹持部分和均匀部分间为过渡部分,常用圆弧进行光滑连接,以减少应力集中。拉伸试样可分为机加工试样和不经机加工的全截面试样。通常采用机加工的圆形截面试样,如图 1-1(a)所示,亦可采用矩形截面试样如图 1-1(b)所示。图中 L 为试样平行长度, L_0 为试样原始标距(即测量变形的工作长度), d_0 为圆形试样平行长度部分



(a)圆形试样



(b)矩形试样

图 1-1 拉伸试样图

原始直径, a_0 为矩形试样的原始厚度, b_0 为矩形试样平行部分原始宽度, S_0 为试样平行部分原始横截面积, r 为带头试样头部到平行部分过渡圆弧半径。拉伸试样分为比例和定标距两种,比例试样系按公式 $L_0 = K \sqrt{S_0}$ 计算而得的试样,式中系数 K 通常为 5.65

或 11.3,前者称为短试样,后者称为长试样。短、长试样的标距 L_0 应分别等于 $5d_0$ 或 $5.65 \sqrt{S_0}$ 、 $10d_0$ 或 $11.3 \sqrt{S_0}$ 。一般应采用短比例试样。定标距试样的原始标距 L_0 与原始横截面积 S_0 之间无上述比例关系,而应根据产品检验标准或供需双方协议来确定。现摘录国标中有关拉伸比例试样的尺寸参数和加工尺寸允许偏差分别列于表 1-1、表 1-2、表 1-3 中供读者参考。

本次试验采用圆形短比例试样,即 $L_0=5d_0$ 。

表 1-1 比例试样

试 样		原始标距 L_0/mm	原始横截面积 S_0/mm^2	圆形试样原始直径 d_0/mm	断后伸长率 %
圆 形	长	100	78.54	10	δ_{10}
	短	50			δ_5
矩形或其他	长	$11.3 \sqrt{S_0}$	任意		δ_{10}
	短	$5.65 \sqrt{S_0}$			δ_5

表 1-2 圆形比例试样尺寸(单位:mm)

一般尺寸		短试样		长试样	
d_0	$r_{\min}$	L_0	L	L_0	L
20	5	$5d_0$	L_0+d_0	$10d_0$	L_0+d_0
15	4				
10	4				
6	3				

表 1-3 试样尺寸允许偏差(单位:mm)

圆形试样直径 d_0	标距部分内允许偏差		矩形试样宽度 b_0	标距部分内允许偏差	
	d_0	最大与最小直径		b_0	最大与最小宽度
$5 \sim < 10$	± 0.1	0.02	$10 \sim 15$	± 0.2	0.1
≥ 10	± 0.2	0.05	$20 \sim 30$	± 0.5	0.2

五、试验原理

依据国标 GB228—87《金属拉伸试验方法》分别叙述如下：

(一) 低碳钢(典型塑性材料)

在拉伸试验时,利用试验机的自动绘图装置可绘出试样的拉伸图,即图 1-2 所示的 $F-\Delta L$ 曲线。图中最初阶段呈曲线,是由于试样头部在夹具内有滑动及试验机存在间隙等原因造成的。分析时应将图中的直线段延长与横坐标相交于 O 点,作为其坐标原点。拉伸图形象地描绘出材料的变形特征及各阶段受力和变形间的关系,可由该图形的状态来判断材料弹性与塑性好坏、断裂时的韧性与脆性程度以及不同变形条件下的承载能力。但同一种材料的拉伸曲线会因试样尺寸不同而各异。为了使同一种材料不同尺寸试样的拉伸过程及其特性点便于比较,以消除试样几何尺寸的影响,可将拉伸曲线的纵坐标(力 F)除以试样的原始横截面面积 S_0 ,并将横坐标(伸长 ΔL)除以试样的原始标距 L_0 ,这样得到的曲线便与试样尺寸无

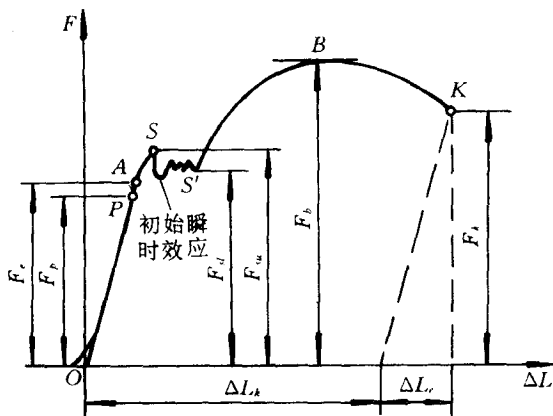


图 1-2 低碳钢拉伸图

F_p —比例伸张力; F_e —弹性伸张力; F_u —上屈服力; F_s —下屈服力;

F_b —最大力; F_k —断裂力; ΔL_k —断裂后塑性伸长; ΔL_e —弹性伸长