

普通高等教育规划教材

材料力学实验 与课程设计

聂毓琴 吴 宏 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TB301-33

12

普通高等教育规划教材

材料力学实验与课程设计

主编 聂毓琴 吴 宏
参编 麻文焱 刘 磊 魏 媛 丛颖波
主审 孟广伟



机械工业出版社

材料力学是工科院校普遍开设的一门重要学科基础课,是一门实践性很强的技术基础课,是构筑工程技术根本的基础知识。该课程的教学内容及教学效果对于工程设计知识的建立乃至学生的培养质量都有深刻的影响。《材料力学实验与课程设计》是与材料力学课程教学配套的实践教材。

本书认真贯彻“高等工业学校材料力学课程教学基本要求”,紧密结合“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”,包括材料力学实验及课程设计两部分内容。全书的体系、结构、章节都是根据材料力学课程教学大纲和实验教学大纲的内容和要求编写的,适用于高等工科院校各专业学生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学实验与课程设计/聂毓琴, 吴宏主编. —北京: 机械工业出版社, 2006.6

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-19262-1

I. 材... II. ①聂...②吴... III. ①材料力学 - 实验 - 高等学校 - 教材②材料力学 - 课程设计 - 高等学校 - 教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 057853 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 郑 丹 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 姚 毅 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 3.125 印张 · 106 千字

定价: 9.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线电话 (010) 88379722

封面无防伪标均为盗版

前 言

材料力学是工科院校一门重要的学科基础必修课，是一门实践性很强的技术基础课，是变形体力学的入门，是构筑工程技术根本的基础知识。该课程的教学内容及教学效果对于工程设计知识的建立乃至学生的培养质量都有深刻的影响。

《材料力学实验与课程设计》是与材料力学课程教学配套的实践教材。本书认真贯彻“高等工业学校材料力学课程教学基本要求”，紧密结合“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”，包括材料力学实验及课程设计两部分内容。全书的体系、结构、章节都是根据材料力学课程教学大纲和实验教学大纲的内容和要求编写的，适用于高等工科院校各专业学生使用。

材料力学实验是材料力学课程的重要组成部分，是理论研究和解决生产实际问题的重要手段。通过实验能够培养、锻炼学生的创新思维和科研能力，验证材料力学的理论，接受测量技能的基本训练，掌握常规仪器设备的使用，培养学生具有处理测量结果和拟定测量方案的能力。

实验课与实验设备的情况密切相关，各学校根据各自的设备条件和教学经验往往各有不同的教学方案，因此，教材中对仪器和设备的介绍只是以目前国内常见的为主，对于某些先进设备，则只作简单介绍。

材料力学课程设计是在系统学习完材料力学课程之后，结合工程实际问题，运用材料力学的基本理论和计算方法，独立计算工程中的典型零部件，以达到综合运用材料力学知识解决工程实际问题的目的。材料力学课程设计对培养学生的实践动手能力，具有其他课程不可替代的综合素质教育作用。

本书具有较大的专业覆盖面，全书包括两篇、七章内容及附录，实验部分每个实验都有记录格式和思考题等，教师可根据不同教学学时和学生的不同专业选择实验内容。课程设计针对学生专业的特点，设计题目全部来源于工程实际，引入了部分工程实际构件的零件图，并作了必要的简化，给出了独立的题目及子题目。对每个题目都给出几十组数据，基本能够做到每个人的数据都不相同。力图做到覆盖更多的材料力学内容。

本书采用国家实验标准和最新的国标规定的物理量的名称和符号，常用金属材料的牌号也采用最新标准，全部插图采用计算机绘制。

本书由聂毓琴、吴宏主编。其中第 1 章、第 2 章、第 5 章由吴宏编写；第

3 章由麻文焱编写；第 4 章由刘磊编写；第 6 章、第 7 章（7.1~7.4、7.6）由聂毓琴编写；第 7 章（7.5、7.7）由魏媛编写；全部插图由宋平、丛颖波、吴宏绘制。孟广伟教授审阅了全书。

本书得到吉林大学教材科和机械科学与工程学院领导的关怀和支持，在此一并表示感谢！

限于作者的水平，书中难免有疏漏和欠妥之处，敬请读者批评指正，以求再版时更加完善。

编 者

于吉林大学

2006 年 1 月

目 录

前言

第 1 篇 材料力学实验

第 1 章 绪 论

第 2 章 材料的力学性能实验

- 2.1 拉伸实验 5
- 2.2 压缩实验 11
- 2.3 测定钢的弹性模量 E 14
- 2.4 扭转实验 15
- 2.5 扭转变形测定切变模量 G 19

第 3 章 电测应力分析

- 3.1 电测法的基本原理与方法 22
- 3.2 纯弯曲梁正应力的电测应力
测定 25
- 3.3 等强度梁正应力的电测应力
测定 28
- 3.4 静不定框架应力的电测应力

- 测定 29

- 3.5 弯扭组合变形主应力的电测
应力测定 31

第 4 章 扩展实验

- 4.1 金属冲击实验 33
- 4.2 金属疲劳实验 36
- 4.3 动态应变电测应力测量 40
- 4.4 光弹性应力分析 41

第 5 章 仪器设备简介

- 5.1 电子万能试验机简介 48
- 5.2 液压式万能试验机简介 49
- 5.3 扭转试验机简介 52
- 5.4 球铰式引伸仪简介 53
- 5.5 静态电阻应变仪简介 54
- 5.6 光弹仪简介 56

第 2 篇 材料力学课程设计

第 6 章 绪 论

- 6.1 材料力学课程设计的目的 61
- 6.2 材料力学课程设计的任务
和要求 61

第 7 章 设计题目

- 7.1 HZ140TR2 后置旅游车底盘
车架的静力分析及强度、刚
度计算 64
- 7.2 单缸柴油机曲轴的强度设
计及刚度计算、疲劳强度

校核	67
7.3 解放 CA—10B 汽车前桥在满 载行驶、紧急制动和转向侧 滑三种工况下的强度设计、 疲劳校核及刚度计算	70
7.4 车床主轴设计	75
7.5 龙门刨床门架计算	80
7.6 五种传动轴静强度、变形及 疲劳强度计算	82
7.7 曲柄轴的强度设计、疲劳强	

度校核及刚度计算	86
----------------	----

附录 几种常用工程材料的力学

性能	89
----------	----

附录 A 几种常用材料的主要力学

性能	89
----------	----

附录 B 几种常用材料的 E 和 μ

的约值	90
-----------	----

参考文献	91
------------	----

第 1 篇 材料力学实验

学生实验守则

1. 实验室是学习科学知识、训练基本技能、培养工作能力、从事科学研究的场所，因此必须严肃认真、细心踏实。既要动手，也要思考；既要有科学作风，也要讲文明礼貌。

2. 课前必须预习本次实验指导书，做预习报告，教师提问时应起立回答。

3. 认真听从教师指导，细心操作仪器设备，不得乱动与本次实验无关的仪器设备。如有不遵守纪律或违反操作规程而造成事故者，必须追究责任，视情节轻重赔偿损失，并给以必要的纪律处分。

4. 不得在实验室内喧哗、打闹、吐痰、吸烟、乱扔纸片，凡不听劝阻者，教师有权停止其实验。

5. 实验结束离开实验室前，要将实验原始记录数据填入实验报告中，经实验指导教师签字认可，并且清扫场地、整理实验台后方可离开实验室。

6. 课后一周按规定把实验报告交给任课教师。

7. 凡严重违反本守则及无故不参加实验者不得参加本课程考试。

第 1 章 绪 论

材料力学实验是材料力学课程的重要组成部分，是理论研究和解决生产实际问题的重要手段。

材料力学实验包括以下三方面的内容：

第一，材料的力学性能测定。

材料的强度指标，如屈服极限、强度极限、持久极限等，以及材料的弹性性能，如弹性极限、弹性模量等，都是设计构件的基本参数和依据，而这些参数都是通过实验来测定的。随着材料科学的发展，各种新型的合金材料、合成材料不断出现，力学性能测定成为研究每一种新型材料的首要任务。

实验得到的力学性能，也是对构件进行强度、刚度和稳定性计算的依据和基础。

第二，实验应力分析。

实际构件的形状和受力一般是很复杂的，尤其是现代工业逐步向高温、高压、高速度方向发展，其强度问题单靠理论计算往往不能完全解决，有的问题目前理论计算根本无能为力。另外，对于经过较大幅度简化后得到的理论计算或数值计算，其结果的可靠性有赖于实验应力分析的验证。

实验应力分析是在实际构件或模型上直接测取工作时的应力和变形，并分析其应力分布规律和承受能力，如电测、光测。

第三，验证材料力学的理论和定律。

材料力学的发展过程清楚表明，实践是材料力学赖以建立的基础。材料力学的一些重要公式（如弯曲、扭转的应力公式等）都是在大量的实践或实验观察之后，通过推理假设，将实际问题抽象为理想模型，推导出的一般性公式。这些公式必须经过实践（包括实验）的检验。因此，验证理论的正确性也是材料力学实验的重要内容之一。

通过这些实验可以观察到课堂讲授的一些现象、规律；比较理论计算与实验结果是否一致，以增进感性认识和加深对理论的理解；对一些典型材料的力学性能有一定程度的认识；掌握材料力学实验的基本原理和方法。

材料力学实验课采用开放式实验教学方式，实验前学生必须提前到实验室预约实验项目，并预习实验内容，写出预习报告。课上，学生可先在计算

机上使用“材料力学实验型课件”进行实验的模拟操作练习，以便对实验的全过程有一个感性认识，然后上机器实际操作，这样可大大提高实验的成功率，加深对实验内容的理解。

第2章 材料的力学性能实验

2.1 拉伸实验

拉伸实验是检验金属材料力学性能时普遍采用的一种极为重要的基本实验。

金属材料五大力学性能指标为：屈服极限 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 和冲击韧度 α_K ，是机械设计的主要依据。在机械制造及建筑工程等许多领域，凡是受拉应力的材料、零件、部件，没有强度（包括屈服强度）指标，设计是无法进行的。对于大型和重要的锻件，如起重机吊钩、发动机曲轴等，要在毛坯上截取试样，以测定材料性能指标是否符合要求。对一些重要机械设备及构件，不仅要用标准试样做实验，还要做模型材料或实际结构的破坏试验。因此，金属材料的拉伸实验及其测得的性能指标，是研究金属材料在各种使用条件下其工作可靠性的主要方法之一，是发展新金属材料不可缺少的重要手段。

2.1.1 低碳钢拉伸实验

由于塑性材料（如钢）的拉伸实验能较全面地反映材料的力学性能，因此它是材料力学性能实验的重要内容。

【实验目的】

1. 测定低碳钢在拉伸过程中的几个力学性能指标：屈服极限 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

2. 观察低碳钢的拉伸过程，绘制拉伸曲线（ $F-\Delta l$ 曲线）。由此了解试样变形过程中变形随载荷的变化规律，以及有关的物理现象。

3. 了解拉伸实验原理和方法，掌握电子万能试验机操作要领，锻炼实验技能。

【实验仪器、设备】

电子万能试验机（5.1节）、划线机、游标卡尺。

【试样】

为了使材料性能可以互相比较，应按国家标准 GB/T228—2002 规定，将材

料做成标准试样。若因材料尺寸等原因限制不能做成标准试样，应按规定做成比例试样。图 2-1 为圆形截面和矩形截面标准试样。其中，棒料可制成圆形试样，板材可制成矩形试样。圆形试样标距 l 和直径 d 之比，长试样为 $l/d = 10$ ，短试样为 $l/d = 5$ ，矩形试样截面面积 A 和标距 l 之间的关系应为

$$l = 11.3 \sqrt{A} \text{ (长试样) 或 } l = 5.65 \sqrt{A} \text{ (短试样)}$$

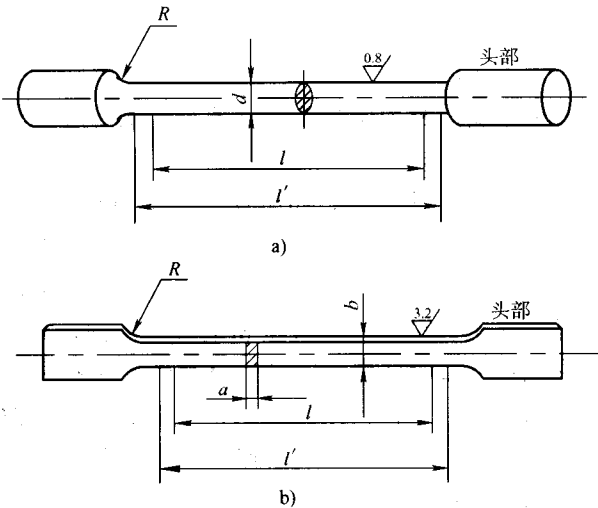


图 2-1 拉伸试样

a) 圆形截面试样 b) 矩形截面试样

【实验内容与原理】

试验机能自动绘出表示载荷与变形关系的拉伸曲线，如图 2-2 所示。观察试样和拉伸曲线可以看到弹性现象、屈服现象、强化和冷作硬化现象、缩颈现象。

由实验可知，变形开始阶段，卸掉载荷后，试样立即恢复原状，这种变形是弹性变形。当载荷增加到一定值时，拉伸曲线上出现了锯齿平台，在此载荷不增加或减小的情况下，试样还继续伸长，这种现象叫做屈服现象。国家标准 GB/T228—2002 规定，“上屈服点，试样发生屈服而力首次下降前的最大应力；下屈服点，当不计初始瞬时效应时屈服阶段中的最小应力”。计算 σ_s 时应取下屈服点作为计算值。当屈服到一定程度后，材料又重新具有了抵抗变形的能力，称为材料的强化。强化后的材料就产生了残余应变，卸载后再重新加载，具有和原材料不同的性质，材料的比例极限提高了，塑性降低。这种在常温下经塑性变形后，材料强度提高、塑性降低的现象称为冷作硬化。当载荷达到最大值

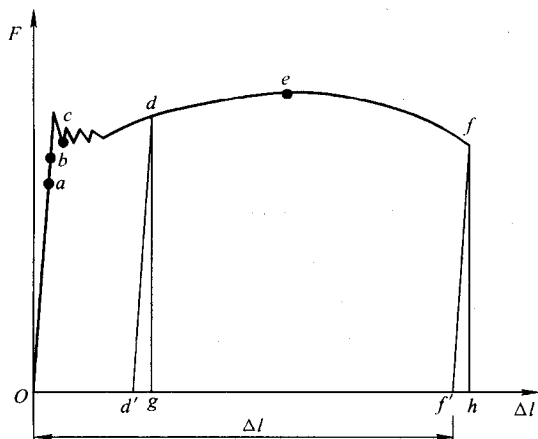


图 2-2 低碳钢载荷—变形 ($F-\Delta l$) 曲线

F_b 后，试样的某一部位截面开始急剧缩小致使载荷下降，缩颈现象产生，直至试样断裂。拉伸曲线上的最大载荷是计算抗拉强度的载荷 F_b 。

【实验方法和步骤】

1. 实验准备

(1) 测量试样的直径，分别在计算长度 l 的中部及两端测量，每个截面垂直测两次，取三个截面中最小截面直径的平均值作为计算直径。

(2) 用划线机将标距 l 十等分划线。

(3) 在计算机屏幕上点击“条件”，选择“低碳钢拉伸”，检查所设定的实验条件，然后确认（不要修改设置参数）。

(4) 平衡测力系统，将光标移到测力显示值上，点击鼠标右键清零。

(5) 安装试样，转动手柄将上下夹头松开，装入试样，锁紧一端，夹头夹持部位应在 $2/3$ 以上，用手动控制盒调整两夹头之间的距离，按下手动控制盒 $\uparrow$ （上升）或 $\downarrow$ （下降），顺时针转动旋钮改变横梁速度（顺时针加速，逆时针减速），位置合适及时按停。

注意：(1) 换方向时，中间要按停止键。

(2) 试样夹紧后，不要按下手动控制盒上的按键。

2. 实验开始

(1) 点击鼠标右键，将位移显示值清零，点击“实验开始”，观察实验曲线。

(2) 在强化阶段卸载观察冷作硬化现象，在计算机屏幕上按暂停→按 $\uparrow$ 上升，卸载（不要卸到零）→按暂停→按 $\downarrow$ 下降，继续加载直至试样断裂。

(3) 断裂后，点击“实验结束”，取出断裂试样，记录实验数据。

3. 结果处理

(1) 记录、测量实验数据。

(2) 填写实验卡片。

【实验数据处理】

拉伸曲线只能反映出试样的力学性能，因该图的横坐标和纵坐标与试样的几何尺寸有关。若拉伸曲线的纵坐标（载荷 F ）和横坐标（变形 Δl ）分别除以试样变形前的截面面积 A 和计算长度 l ，则所得曲线与试样的尺寸无关，从而可代表材料的力学性能。称此曲线为材料的应力—应变（ σ — ϵ ）曲线，如图 2-3 所示。

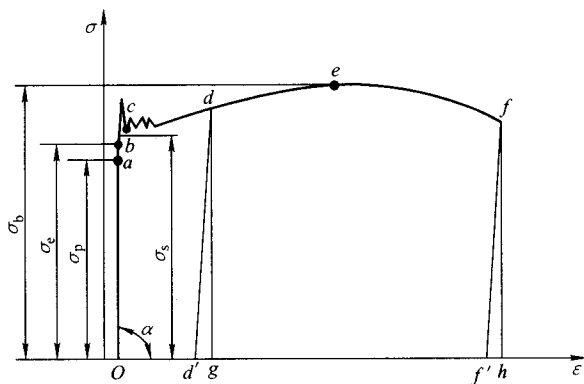


图 2-3 应力—应变（ σ — ϵ ）曲线

1. 实验测得衡量材料抵抗破坏能力的两个强度指标：

(1) 屈服极限：屈服点的应力值

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A}$$

(2) 抗拉强度：曲线最高点的应力值

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}$$

2. 测得衡量材料抵抗变形能力的两个塑性指标：

(1) 伸长率
$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\%$$

式中 l_1 ——断后标距部分长度。

将试样拉断后的两段在拉断处紧密对接起来，并尽量使其轴线位于同一

条直线上。如拉断处由于各种原因形成缝隙，则此缝隙应计入试样拉断后的标距部分长度内。 l_1 可用下述两种方法之一测定。

直测法：如拉断处到邻近标距端点的距离大于 $l/3$ ，可直接测量两端点间的距离。

移位法：如拉断处到邻近标距端点的距离小于或等于 $l/3$ ，则在长段上从拉断处 O 取基本等于短段格数，得 B 点。如果所余格数为偶数（图 2-4a），则取剩余格数一半，得 C 点，移位后 $l_1 = AB + 2BC$ ；如果所余格数为奇数（图 2-4b），则取所余格数减 1 和加 1 的各一半，得 C 与 C_1 点，移位后 $l_1 = AB + BC + BC_1$ 。

注：试样拉断断口在移位法所述位置，如用直测法求得的伸长率能达到技术条件的规定值，则可不采用移位法。

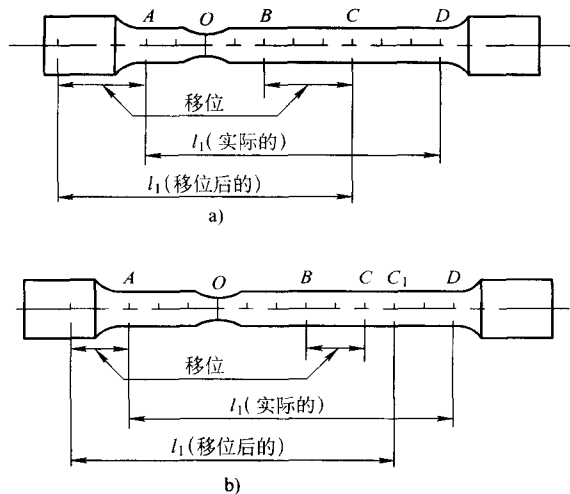


图 2-4 移位法

(2) 断面收缩率

$$\psi = \frac{A - A_1}{A} \times 100\%$$

2.1.2 铸铁拉伸实验

【实验目的】

1. 测定抗拉强度 σ_b 。
2. 比较低碳钢与铸铁的拉伸力学性能及破坏形式。

【实验仪器、设备】

液压式万能试验机（5.2 节）、游标卡尺。

【试样】

一般采用 $l/d = 5$ 的圆形短试样。

【实验内容与原理】

铸铁属于脆性材料，直到断裂只产生很小的变形，无屈服点，只有抗拉强度值，如图 2-5 所示。

【实验方法和步骤】

在计算机屏幕上点击“条件”，选择“铸铁拉伸”，检查设定的条件，然后确认，其他可参考低碳钢拉伸实验。

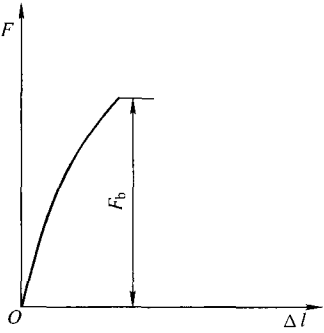


图 2-5 铸铁拉伸曲线

【实验数据处理】

铸铁抗拉强度为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}$$

表 2-1 拉伸实验试样尺寸

材 料	直 径 d/mm									截面面积 A/mm^2	
	标距 l/mm	截面 I			截面 II			截面 III			
		(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均	(1)	(2)		平均
低碳钢											
铸 铁											

表 2-2 拉伸实验实验数据

材料	断裂后标距 l_1/mm	断裂处直径 d_1/mm			断裂处截面面积 A_1/mm^2	屈服载荷 F_s/kN	最大载荷 F_b/kN
		(1)	(2)	平均			
低碳钢							
铸 铁							

表 2-3 拉伸实验计算结果

材料	强度指标		塑性指标	
	屈服极限 σ_s/MPa	抗拉强度 σ_b/MPa	伸长率 $\delta (\%)$	断面收缩率 $\Psi (\%)$
低碳钢				
铸 铁				