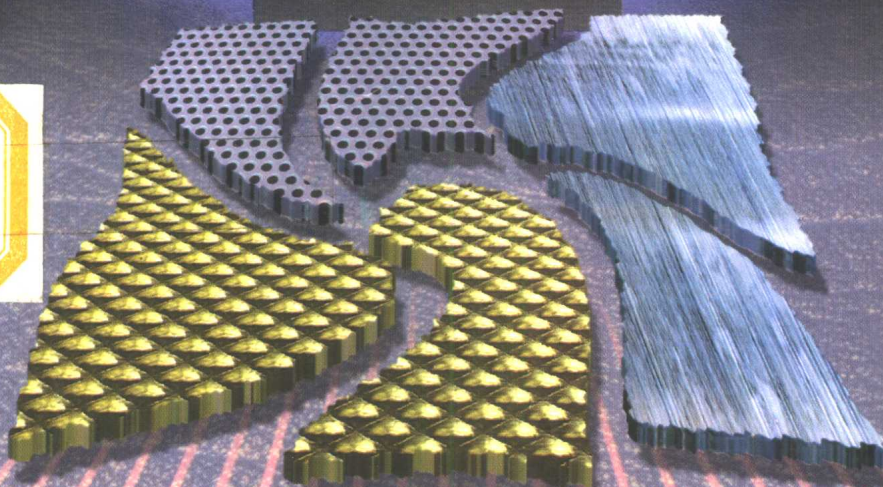
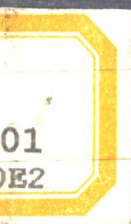
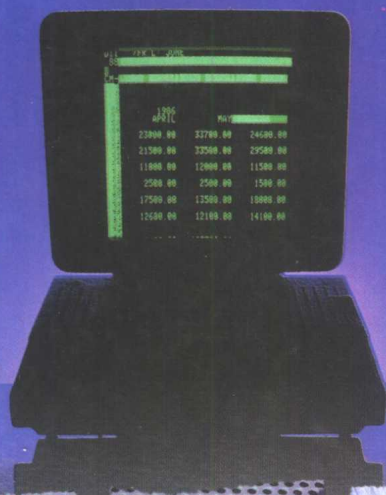


高等学校教材

材料力学实验 (第二版)

刘鸿文 吕荣坤 编



高等教育出版社

高等学校教材

材料力学实验

(第二版)

刘鸿文 吕荣坤 编

高等教育出版社

(京) 112 号

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验/刘鸿文, 吕荣坤编. —2 版. —北京: 高等教育出版社, 1998

高等学校教材

ISBN 7-04-006698-X

I. 材… II. ①刘… ②吕… 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 (98) 第 16406 号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码: 100009 传真: 64014048 电话: 64054588

新华书店总店北京发行所发行

化学工业出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 5 字数 130 000

1993 年 1 月第 1 版

1998 年 11 月第 2 版 1998 年 11 月第 1 次印刷

印数 0 001—8 124

定价 5.30 元

凡购买高等教育出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题者, 请与当地图书销售部门联系调换

版权所有, 不得翻印

TB301
0230E2

内 容 简 介

本书是在第一版(1992年9月版)基础上修订而成的。为适应实验技术的发展和实验设备的更新,第二版增加了一些内容(如实验数据的线性拟合,电子万能材料试验机的使用等),并改写、调整了部分内容。

第二版仍分四章。第一章绪论,讲述材料力学实验的内容、标准、方法和要求;第二章为材料的力学性能测定,分节介绍实验设备和实验方法;第三章为电测应力分析,分别介绍原理、设备、实测数值的修正、电桥接线方法等,前三章是材料力学课程基本要求规定的实验内容。第四章为选修实验,根据学校设备情况由教师选择部分作演示或在教师指导下由学生完成。

本书是与高等学校工科本科材料力学课程的教科书配套使用的实验教材。

第一版前言

这本实验教材是依据 1987 年国家教委批准的“材料力学课程教学基本要求”编写的。把材料力学实验的内容分成力学性能测定、电测应力分析和选修实验等三部分。这样编写除了想使教材体系较为合理外，还考虑了便于教学。例如，把万能机、引伸仪和拉伸实验编在邻近几节，组成力学性能测定的一个段落，这在体系上或许比较合适，对教学和预习也是有利的。为适应独立设课的需要，对某些实验的原理作了适当的介绍。考虑到篇幅不能太长，而且避免与《材料力学》教材重复过多，原理介绍也是有节制的。编入第四章的几个实验，可根据情况，选择一部分由学生完成或由教师演示。

实验课与设备情况关系密切，即使是最基本的实验，各校根据各自的设备条件和教学经验，也往往有不同的教学方案。要求一本篇幅有限的实验教材适应各校的特点，或许是相当困难的。因此教材中对机器仪表的介绍，只能以国内最常见的为主；对某些较先进的设备，则介绍更为简单。

书稿承重庆大学胡国华教授审阅，提出了很多宝贵意见，谨此致谢。

曹曼玲同志参加了编写工作。浙江大学材料力学教研室和材料力学实验室给予了支持。张礼明同志担任了描图工作。

限于编者的水平，教材中可能有疏漏和欠妥之处，深望广大教师和读者批评指正。

编 者

1991.10

第二版前言

本书自第一版出版以来已经7年，为适应实验技术的发展和实验设备的更新，第二版增加了一些内容，如实验数据的线性拟合，电子万能材料试验机的使用等；同时，改写并调整了部分内容。至于教材体系和编写意图仍与第一版相同，兹不赘述。

书稿承北京航空航天大学单辉祖教授审阅，提出了很多精辟中肯的意见，获益匪浅，深致谢意。

限于编者水平，恐疏漏之处仍多，深望广大师生批评指正。

编 者

1998.3. 杭州

1-AC P3 04

责任编辑
封面设计
责任绘图
版式设计
责任校对
责任印制

黄毅
李卫青
黄建英
焦东立
王连俊
宋克学

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 材料力学实验的内容	1
§ 1.2 材料力学实验的标准、方法和要求	2
第二章 材料的力学性能测定	4
§ 2.1 液压式万能材料试验机	4
§ 2.2 机械式万能材料试验机	8
§ 2.3 电子万能材料试验机	11
§ 2.4 机械式引伸仪	15
§ 2.5 万能机操作及拉伸、压缩示范实验	19
§ 2.6 低碳钢拉伸时力学性能的测定	22
§ 2.7 扭转试验机	31
§ 2.8 扭转实验	35
§ 2.9 冲击实验	40
§ 2.10 疲劳实验	45
第三章 电测应力分析	52
§ 3.1 概述	52
§ 3.2 电阻应变片	53
§ 3.3 应变电桥	55
§ 3.4 电阻应变仪	57
§ 3.5 电阻应变仪的使用方法和实测应变值的修正	62
§ 3.6 测量电桥的接法	65
§ 3.7 传感器显示器	73
§ 3.8 弯曲正应力实验	74
§ 3.9 弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定	78
§ 3.10 切变模量 G 的测定	81
§ 3.11 扭弯组合变形的主应力和内力的测定	84

§ 3.12 偏心压缩实验	89
§ 3.13 预调平衡箱	93
第四章 选修实验	95
§ 4.1 应变片粘贴实习	95
§ 4.2 压杆临界压力的测定	100
§ 4.3 规定非比例伸长应力	104
§ 4.4 规定非比例伸长应力的测定	111
§ 4.5 X-Y 函数记录仪	113
§ 4.6 动态电阻应变仪	115
§ 4.7 光线示波器简介	120
§ 4.8 动应力测量	121
§ 4.9 胶结叠合梁的实验研究	127
§ 4.10 在内压、弯矩和轴向力联合作用下管道内力的测定	128
§ 4.11 拉伸实验的微机自动检测	130
§ 4.12 光弹性简介	132
§ 4.13 光弹性实验	139
附录 I 实验数据的线性拟合	145
§ 1.1 线性拟合	145
§ 1.2 线性拟合在弹性模量测定中的应用	147
附录 II 有效数后第一位数的修约规定	150
附录 III 力学量国际单位制单位及换算	151

第一章 绪 论

§ 1.1 材料力学实验的内容

材料力学实验是材料力学的重要组成部分，包含以下三方面的内容：

1. 材料的力学性能的测定 材料的力学性能是指在力或能的作用下，材料在变形、强度等方面表现出的一些特性，如弹性极限、屈服极限（屈服点）、强度极限、弹性模量、疲劳极限、冲击韧度等。这些强度指标或参数都是构件强度、刚度和稳定性计算的依据，而它们一般要通过实验来测定。随着材料科学的发展，各种新型合金材料、合成材料不断涌现，力学性能的测定，是研究每一种新型材料的重要任务。

2. 验证已建立的理论 材料力学的一些理论是以某些假设为基础的，例如杆件的弯曲理论就以平面假设为基础。用实验验证这些理论的正确性和适用范围，有助于加深对理论的认识和理解。至于对新建立的理论 and 公式，用实验来验证更是必不可少的。实验是验证、修正和发展理论的必要手段。

3. 应力分析实验 某些情况下，例如因构件几何形状不规则或受力复杂等，应力计算并无适用理论。这时，用诸如电测、光弹性等实验应力分析方法直接测定构件的应力，便成为有效的方法。对经过较大简化后得出的理论计算或数值计算，其结果的可靠性更有赖于实验应力分析的验证。

§ 1.2 材料力学实验的标准、方法和要求

材料的强度指标如屈服极限、强度极限、持久极限等，虽是材料的固有属性，但往往与试样的形状、尺寸、表面加工精度、加载速度、周围环境（温度、介质）等有关。为使试验结果能相互比较，国家标准对试样的取材、形状、尺寸、加工精度、试验手段和方法以及数据处理等都作了统一规定。我国国家标准的代号是 GB。其他国家也有各自的标准，如美国标准的代号为 ASTM，国际标准的代号为 ISO。国际间需要作仲裁试验时，以国际标准为依据。

对破坏性试验，如材料强度指标的测定，考虑到材料质地的不均匀性，应采用多根试样，然后综合多根试样的结果，得出材料的性能指标。对非破坏性试验，如构件的变形测量，因为要借助于变形放大仪表，为减小测量系统引入的误差，一般也要多次重复进行，然后综合多次测量的数据得到所需结果。

实验应力分析除前面提到的电测法及光弹性法外，还有激光全息光弹性法、散斑干涉法、云纹法、声弹法等。采用何种方法取决于试验的目的和对试验精度的要求。一般说，如仅需了解构件某一局部的应力分布，电测法比较合适；如需了解构件的整体应力分布，则以光弹性法为宜。有时也可把几种方法联合使用，例如可用光弹性法判定构件危险截面的位置，再使用电测法测出危险截面的局部应力分布。关于实验应力分析，本书主要介绍电测法，并对光弹性法作简要介绍。至于其他方法，如有需要可参看实验应力分析方面的著作。

整理实验结果时，应剔除明显不合理的数据，并以表格或图线表明所得结果。若实验数据中的两个量之间存在线性关系，可用最小二乘法拟合为直线，然后进行计算（参看附录 I）。数据运算的有效数位数要依据机器、仪表的测量精度来确定。有效数

后面的第一位数的进位规则，参看附录Ⅱ。最后，要求写出实验报告。作为示范，本书中有几个试验记录和报告可供参考。其余实验的报告则要求读者独立完成。

第二章 材料的力学性能测定

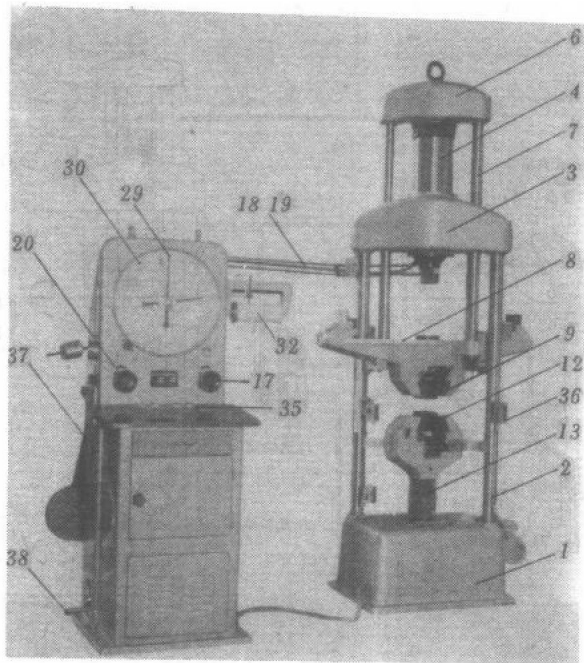
§ 2.1 液压式万能材料试验机

测定材料的力学性能的主要设备是材料试验机。常用的材料试验机有拉力试验机、压力试验机、扭转试验机、冲击试验机、疲劳试验机等。能兼作拉伸、压缩、弯曲等多种实验的试验机称为万能材料试验机，或简称为万能机。供静力实验用的万能材料试验机有液压式、机械式、电子机械式等类型。下面将着重介绍这三种类型的万能机。

为介绍液压式万能材料试验机，现以国产 WE 系列为例。图 2.1 为这一系列中最常见的 WE-100A、300、600 试验机，其结构简图如图 2.2 所示。现分别介绍其加载系统和测力系统。

一、加载系统

在底座 1 上由两根固定立柱 2 和固定横梁 3 组成承载框架。工作油缸 4 固定于框架上。在工作油缸的活塞 5 上，支承着由上横梁 6、活动立柱 7 和活动平台 8 组成的活动框架。当油泵 16 开动时，油液通过送油阀 17，经送油管 18 进入工作油缸，把活塞 5 连同活动平台 8 一同顶起。这样，如把试样安装于上夹头 9 和下夹头 12 之间，由于下夹头固定，上夹头随活动平台上升，试样将受到拉伸。若把试样置放于两个承压垫板 11 之间，或将受弯试样置放于两个弯曲支座 10 上，则因固定横梁不动而活动平台上升，试样将分别受到压缩或弯曲。此外，实验开始前如欲调整上、下



测力计

主机

图 2.1

1—底座；2—固定立柱；3—固定横梁；4—工作油缸；6—上横梁；7—活动立柱；8—活动平台；9—上夹头；12—下夹头；13—螺杆；17—送油阀；18、19—油管；20—回油阀；29—示力指针；30—示力度盘；32—液筒；35—油泵电机开关；36—下夹头升降按钮；37—油箱；38—放油阀

夹头之间的距离，则可开动电机 14，驱动螺杆 13，便可使下夹头 12 上升或下降。但电机 14 不能用来给试样施加拉力。

二、测力系统

加载时，开动油泵电机，打开送油阀 17，油泵把油液送入工作油缸 4 顶起工作活塞 5 给试样加载；同时，油液经回油管 19 及测力油管 21（这时回油阀 20 是关闭的，油液不能流回油箱 37），进入测力油缸 22，压迫测力活塞 23，使它带动拉杆 24 向下移动，

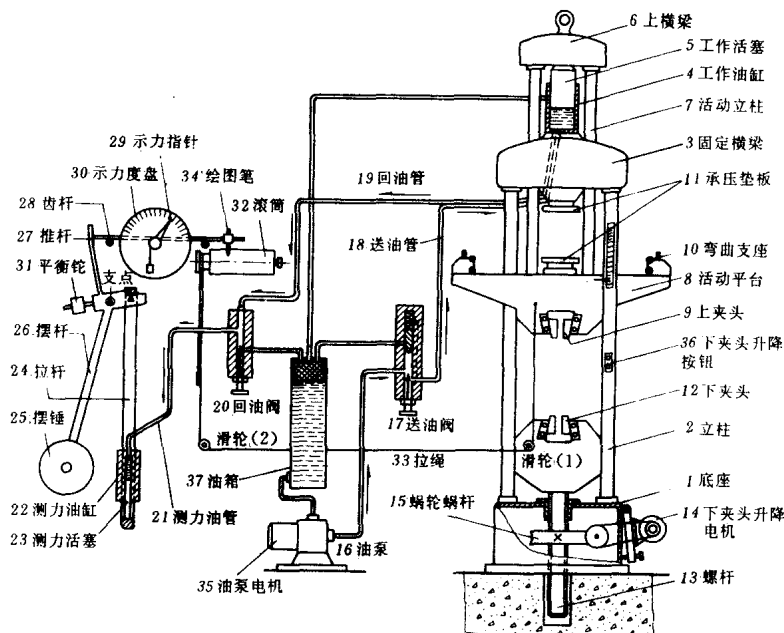


图 2.2

从而迫使摆杆 26 和摆锤 25 联同推杆 27 绕支点偏转。推杆偏转时，推动齿杆 28 作水平移动，于是驱动示力盘的指针齿轮，使示力指针 29 绕示力度盘 30 的中心旋转。示力指针旋转的角度与测力油缸活塞上的总压力（即拉杆 24 所受拉力）成正比。因为测力油缸和工作油缸中油压压强相同，两个油缸活塞上的总压力成正比（活塞面积之比）。这样，示力指针的转角便与工作油缸活塞上的总压力，亦即试样所承载荷成正比。经过标定便可使指针在示力度盘上直接指示载荷的大小。

试验机一般配有重量不同的摆锤，可供选择。对重量不同的摆锤，使示力指针转同样的转角，所需油压并不相同，即载荷并不相同。所以，示力度盘上由刻度表示的测力范围应与摆锤的重

量相匹配。以 WE-300 试验机为例,它配有 A、B、C 三种摆锤。摆锤 A 对应的测力范围为 0~60 kN, A+B 对应 0~150 kN, A+B+C 对应 0~300 kN。

开动油泵电机,送油阀开启的大小可以调节油液进入工作油缸的快慢,因而可用以控制增加载荷的速度。开启回油阀 20,可使工作油缸中的油液经回油管 19 泄回油箱 37,从而卸减试样所受载荷。

实验开始前,为消除活动框架等的自重影响,应开动油泵送油,将活动平台略微升高。然后调节测力部分的平衡铊 31,使摆杆 26 保持垂直位置,并使示力指针指在零点。

试验机上一般还有自动绘图装置。它的工作原理是,活动平台上升时,由绕过滑轮(1)和(2)的拉绳 33 带动滚筒 32 绕轴线转动,在滚筒圆柱面上构成沿周线表示位移的坐标;同时,齿杆 28 的移动构成沿滚筒轴线表示载荷的坐标。这样,实验时绘图笔 34 在滚筒上就可自动绘出载荷-位移曲线。当然,这只是一条定性曲线,不是很准确的。

在 WE 系列液压万能机中,尚有 WE-B 型产品,其结构与工作原理和上述 WE-A 型相近,不再介绍。

三、操作规程及注意事项

1. 根据试样尺寸和材料,估计最大载荷,选定相应的示力度盘和摆锤重量。需要自动绘图时,事先应将滚筒上的纸和笔装妥。

2. 先关闭送油阀及回油阀,再开动油泵电机。待油泵工作正常后,开启送油阀将活动平台升高约 1 cm,以消除其自重。然后关闭送油阀,调整示力度盘指针使它指在零点。

3. 安装拉伸试样时,可开动下夹头升降电机以调整下夹头位置,但不能用下夹头升降电机给试样加载。

4. 缓慢开启送油阀,给试样平稳加载。应避免油阀开启过大进油太快。实验进行中,注意不要触动摆杆或摆锤。

5. 实验完毕, 关闭送油阀, 停止油泵工作。破坏性实验先取下试样, 再缓缓打开回油阀将油液放回油箱。非破坏性实验, 自然应先开回油阀卸载, 才能取下试样。

§ 2.2 机械式万能材料试验机

现以杠杆摆式 100 kN 万能机为例介绍机械式万能机。其外形见图 2.3, 结构简图如图 2.4 所示。

一、加载系统

承载框架由底座 1、两根立柱 2 和上横头 3 组成。活动台 5 支承于螺杆 4 上。主电动机 6 通过无级变速箱 7 驱动蜗轮蜗杆 8, 使螺杆 4 带动活动台 5 沿立柱上的导轨 9 作上升或下降的移动。在活动台上部空间安装合适的夹头或支座, 便可进行拉伸、压缩或弯曲等实验。加载速度由调速手轮 10 控制, 变速范围为 5 mm/min 至 35 mm/min。调速须在主电动机 6 开动后方可进行。加载速度调定后, 用锁紧手柄 11 将调速手轮 10 锁住, 以防速度变化。机动加载时, 把离合器手柄 12 扳到机动加载的位置, 开动主电动机 6, 按机动按钮 15 的“升”或“降”。如需缓慢加载, 把离合器手柄 12 置于手摇加载位置, 转动手摇柄 13 便可使活动台缓慢上升或下降。

活动台后面的小电动机 14 用于快速调整活动台的位置。使用时将离合器手柄 12 置于“快速”位置, 开动主电动机 6 和小电动机 14, 按下机动按钮 15 的“升”或“降”。小电动机 14 只能用于调整活动台的位置, 不能用以加载, 以免烧毁电机, 且因速度很快, 用时要及时停车以免冲撞。

二、测力系统

拉伸实验时上夹头 16 受拉, 杠杆 AB 顺时针方向转动 (刀口