

材料力学实验

顾学甫 主编

华南工学院出版社

内 容 简 介

华南工学院实践性试用教材。全书分十二章,约12万字。分别编写了材料力学方面的有关拉、压、剪、扭、弯曲等基本实验,以及电测和光测技术。考虑到某些专业的需要,还编入了断裂力学的基本实验即 K_{Ic} 和COD实验测定原理和方法。

适合于工科各专业《材料力学》课程实验教材,也适合成人教育和全日制大专班作实验指导书。

材料力学实验

顾学甫 主编

华南工学院出版社出版发行

(广州 五山)

林业勘测设计院印刷厂印装

787×1092 1/32 6.75印张 151千字

1987年8月第一版 1987年8月第1次印刷

印数 1—10000

书号: ISBN 7-5623-0024-0/TB·3

统一书号: 15410·044 定价1.10元

前 言

为了适应教育改革不断深入对材料力学实验教学环节提出的新要求，我们编写了这本《材料力学实验》。

本教材在内容及顺序的安排上，尽量与目前所采用的材料力学教科书保持一致，同时，也考虑到实验教材本身的特点，把试验机和测试仪器的性能、使用方法等内容，集中编排在第二章里作较全面的介绍。此外，为了满足多学时各专业的教学需要，为他们提供一些断裂力学基本实验知识，我们把 K_{IC} 及COD的测定，编入第十一章。至于光弹性实验，则只侧重于介绍平面光弹性原理和一些实验方法，安排了几个验证性的基本实验，让学生对这一业已成熟的实验技术有一个概貌性的了解。

本书共编入二十三项实验，它们基本上是相对独立的，这样就便于各种不同专业按自己的实际需要作出选择。尽管如此，在本教材编写时也适当照顾到有些实验之间的相互呼应关系。比如，对于直杆受偏心拉伸时横截面上正应力的分布问题，在电测实验和光弹性实验中都作了安排。这样做的目的，在于让同学领悟到：可以采用不同的实验手段和途径，达到同一测试目的，并从所得的结果中看到，不同的测试方法其精度是不尽相同的，使其在今后自行设计和安排实验研究时，能有一个合理的科学的筹划。

本书的书稿、插图及照片由工程力学系实验力学教研组下列同志（以姓氏笔划为序）集体完成：邓克庄、苏海成、陈正宗、茹长渠、赵毓琴、郑德瑞、钟穗东、顾学甫、庾云

仙、黄敏纯、曾成滋、谭哲东、魏文。

编写时的主要参考资料是贾有权同志主编的《材料力学实验》，同时也参考了一些兄弟院校的有关实验教学资料。

由于水平和时间所限，本书难免有不足和谬误之处，我们诚望广大读者给以批评指正。

编者 1987.5

目 录

前言.....	(1)
第一章 绪论.....	(1)
第二章 试验机和测量仪器的介绍.....	(5)
一、油压重摆式万能试验机.....	(6)
二、电子万能试验机.....	(9)
三、液压重摆式万能试验机.....	(14)
四、扭转试验机.....	(18)
五、疲劳试验机.....	(25)
六、引伸仪.....	(32)
七、千分表.....	(37)
八、力学实验中常用的传感器.....	(39)
1. 应变传感器.....	(39)
2. 力传感器.....	(41)
3. 位移传感器.....	(44)
(1) 夹式引伸仪.....	(44)
(2) 差动变压器位移传感器.....	(46)
4. 扭矩传感器.....	(47)
5. 振动传感器.....	(50)
(1) 应变片式加速度传感器.....	(50)
(2) 压电式加速度传感器.....	(52)
九、电阻应变仪及应变放大器.....	(52)
十、X—Y函数记录仪.....	(57)
十一、光线示波器.....	(60)
十二、数字电压表.....	(65)

十三、LY 4 型数字打印机	(69)
第三章 拉伸与压缩	(71)
实验一 低碳钢、铸铁的拉伸试验	(73)
实验二 屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 的测定	(80)
实验三 弹性模量 E 及泊松比 μ 的测定	(87)
实验四 低碳钢及铸铁的压缩试验	(93)
第四章 剪切	(98)
实验五 剪切强度实验	(98)
第五章 扭转	(100)
实验六 扭转时的屈服极限 τ_s 及强度极限 τ_b 的测定	(103)
实验七 剪切弹性模量 G 的测定	(104)
第六章 碳钢及铸铁的弯曲	(106)
实验八 梁弯曲正应力的电测实验	(106)
实验九 铸铁抗弯强度的测定	(109)
第七章 组合变形时的应力测定	(112)
实验十 薄壁圆管弯扭组合应力测定	(112)
实验十一 偏心拉伸正应力分布的测定	(115)
第八章 压杆稳定	(119)
实验十二 临界载荷的测定	(120)
第九章 金属材料的表面硬度	(124)
实验十三 硬度试验	(125)
第十章 振动、冲击及旋转体的应力测量	(133)
实验十四 振动实验	(134)
实验十五 冲击实验	(137)
实验十六 旋转体的应力测量	(141)
第十一章 疲劳试验、断裂韧度的测定	(146)
实验十七 疲劳试验	(147)

实验十八 平面应变断裂韧度 K_{IC} 的测定	(150)
实验十九 临界裂纹张开位移 δ_o 的测定	(163)
第十二章 光弹性实验	(169)
一、基本原理	(169)
二、实验装置	(177)
三、模型材料	(180)
实验二十 应力集中系数的测定	(181)
实验二十一 直杆纯弯曲横截面上的应力测定	(186)
实验二十二 曲杆受弯时横截面上的应力测定	(189)
实验二十三 偏心拉伸时横截面上正应力测定	(193)
附录	(198)
I、误差分析	(198)
II、有效数字	(208)
III、单位及单位换算表	(210)

第一章 绪 论

就材料力学的整个范畴来说，应该包括理论和实验两大体系，这两个体系是相辅相成的，互相依赖和互相促进的。材料力学的理论是建立在实践和实验的基础上的，即使是已经建立起来的理论，还必须经过实践的反复考验，方能判定其可靠程度和适用范围。著名的虎克定律就是一例，它是前人在总结了长期反复多次的科学实验的基础上建立起来的一条定律，并且在无数实践中得到考验和证实。这是问题的一个方面。从另一方面来看，材料力学的理论，包括公式的推导，往往是通过多次细致的实验观察和科学分析，作了某些假设和简化才得到最后结果，因而这些理论公式是否合乎客观实际情况，是否能用于特定的某项工程设计，还是要通过相应的实践予以检验。所以说，材料力学实验一方面是建立理论的依据，另一方面又是用以检验理论，修正理论，从而促进理论向更高一层发展的重要一环。换句话说，如果摒弃了实验，那么材料力学这个学科就不可能得到发展。

工程设计的一个首要问题是必须确切地知道材料的力学性质——强度、弹性、塑性、韧性、脆性、硬度、持久极限及蠕变等，所有这些性能是需通过相应的实验测试才能确定。况且，近代新材料的大量出现，更需要对它们的特性进行与之相适应的实验测定，这就要求在实验装备以及测试手段等方面也有相应的发展和完善，因而近年来已有多种自动化程度较高、功能较为齐全的试验仪器面世。如今，电子

学，特别是微电子学的推广应用，使材料力学实验装备得到了更新。由于使用了电子计算机，实现了数据采集和处理的自动化，大大缩短了测试周期，提高了测试精度。

值得注意的是，由于近代新型特殊结构的大量涌现，给工程设计带来了许多新问题，对于那些在形状和受载方面都比较复杂的特殊结构，如若仅用传统的理论仍然未必能完全求解，那么势必要借助于一些特殊的实验手段来分析研究，以期达到预期的目的。这些特殊的实验手段和方法已经形成了一门新的学科，称为实验应力分析。电阻应变测量技术及光弹性法是实验应力分析中的两个基本部分。

就力学试验而言，可大致分为如下三类

(1) 测定材料力学性质的试验

这类试验所包括的范围和内容较广，工程上常用的金属和非金属材料的各项力学性能指标的测定均属此类试验。所谓材料的力学性质，通常是指强度、弹塑性、韧性、脆性、硬度、蠕变、冲击以及交变应力作用下的持久极限等指标。这些性能的测定，常以与之相应的实验予以完成，即拉伸、压缩、扭转、硬度、冲击等等。由于测试的对象（材料）及测试的环境条件（如高温、低温或室温）不同，因而测试的手段也不相同。为了使测得的结果能客观地反映实际真实情况，便于相互比较，就需按照国家颁布的标准试验方案进行测试，在标准试验方案中详细规定了被测材料的取样、试件几何形状及尺寸、试件加工的要求以及测试环境条件等诸项。

(2) 验证理论的实验

如前所述，在材料力学理论分析中，常将工程实际问题

抽象为理想的力学模型，给以合乎情理的科学假设。在此前提下进行理论分析和推导，最后得到某种结论及相应的计算公式。然而这些假设及简化是否正确，理论公式能否在工程设计中直接套用，或其适用范围如何，都需要用实验予以验证。从学习的角度来看，这类实验的更深一层意义，还在于巩固和加深理解课堂上所讲授的理论和概念。

以上这两个方面的内容，构成了材料力学实验的主要内容。

（3）应力分析实验

实际工程中的零、构件，不但形状是多种多样的，而且受载情况也十分复杂，它们的强度问题，如果单纯依靠理论计算，往往不易获得满意的结果，有时甚至无法进行切实有效的计算，这就要用实验的手段进行应力分析，这便是上面提到的实验应力分析方法。

实际上，由于科学技术的发展，各门学科之间相互交叉和渗透，要想人为地把学科之间的界线划分得很清是不容易的，而且似乎也没有这样做的必要，相反地应该发挥它们各自的特长，有机地综合使用各种手段或方法，使实验测试技术向深度和广度发展。如今的材料力学实验技术已经不再局限于一些常规测试，早已扩展到一些新的领域中去了，比如断裂、高温高压、低温、高压液下测试等等。

因此，在材料力学实验这个学习环节中，应当注意以下几个方面

（1）培养严谨的科学态度，细心操作，细心观察每个实验现象，遇到可疑之处不轻易放过，宁愿重做，也不草率了事；

(2) 努力提高实际操作技能, 做到动作准确精细, 判断准确无误, 减少人为误差;

(3) 运用已有的多种知识, 对实验结果和所得数据加以科学分析和整理, 透过表面现象, 捕捉内在规律, 把感性认识提高到理性认识;

(4) 自己动手撰写实验报告书, 做到说理清楚简洁, 观点明确, 有科学根据, 所列数据可靠无误。

材料力学实验课通常是在常温、静载荷条件下进行的, 所涉及的物理量不多, 主要是测量作用在试件上的载荷和试件的变形。在实验时, 力与变形要同时测量和记录, 因此仅靠一个人来完成是不可能的, 需要好几个人共同进行, 这就要求很好地互相配合, 协同操作。通常, 实验数据的记录者应当是总指挥, 由他掌握实验的进程, 此外还要有测变形者和试验机操作者各一人, 这是最起码的人数。一般来说在实验时应做到以下几方面:

(1) 必须作好课前预习, 弄明将要做什么实验项目, 应如何进行实验, 做到心中有数。

(2) 组长要事先作好分工职责等安排, 避免在实验进行的过程中出现混乱局面。

(3) 实验完毕, 要检查数据是否齐全, 如有漏测漏记, 需视具体情况采取补救措施, 必要时, 还需重做一遍。

(4) 书写实验报告要按照要求认真撰写。实验报告是实验者最后交出的成果, 是实验的总结, 是教师评分时的重要依据的一部分。报告中应当数据完整, 曲线图表齐全, 计算无误, 并有讨论和分析。如果对实验室的工作有何建议也可写在上面。

第二章 试验机和测量仪器的介绍

在材料力学实验中，一般均需给试件或模型施加载荷，通常把这种加载用的设备称作材料试验机。根据所加载荷的性质，试验机可分为静载荷试验机和动载荷试验机；根据试件所处的工作条件又可分为常温、高温和低温试验机；若按所加载荷的形式来分，则有拉力试验机、压力试验机和扭转试验机等；如果同一台机能兼作拉伸、压缩和弯曲等多种试验，则称之为万能试验机。

试验机所能提供的最大载荷各不相同，有大有小，小的 $10\text{N}\sim 20\text{N}$ ，大的可达数万千牛顿的载荷。一般材料力学实验室常用的是常温、静载 $50\text{kN}\sim 300\text{kN}$ 的万能试验机，拉力、压力试验机和扭转试验机。

试验机的种类很多，外形也不尽相同，但都是由加载部分和测力部分这两大系统所组成。本章将对常用的几种试验机，逐一介绍。

为了精确测出试件受载荷作用下的微小变形，必须使用精度高、放大倍数大的仪器来测量。用来测量微小线变形的仪器，叫做引伸仪。它的构造和使用方法也安排在本章讲述。

此外还有常用的各种类型的传感器和记录仪，在本章只作一般性介绍。

一、油压重摆式万能试验机

(一) 构造原理

油压重摆式万能试验机是最常用的一种试验机。虽然类型很多，但在功能及工作原理方面却大同小异。现以图2-1所示的WE-30型试验机（广州产品）为例，说明这类

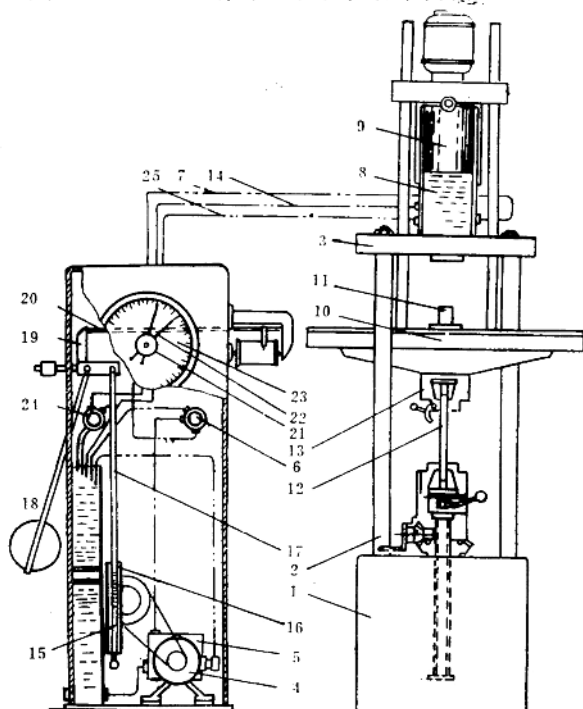


图 2-1 油压重摆式万能试验机

试验机的构造及工作原理。

1. 加载部分

如图 2-1 所示，在试验机底座 1 上，装有两根固定立柱 2。它们支承着固定横梁 3 和工作油缸 8。当开动油泵马达 4 时，油泵 5 便将油箱里的油，经加油阀 6 和加力油管 7 送入到工作油缸 8，从而推动活塞 9 和与之相连的工作台 10 上升，使压缩试件 11 承受压力。若把拉伸试件 12 安装在上下夹头 13 中间，则当工作台 10 上升时，试件承受拉力便发生拉伸变形。

试件变形速度与加力速度有关，它由加油阀 6 加以控制。当试验完毕时，关闭加油阀 6，打开回油阀 24，此时工作油缸里的油便经回油管 14 回到油箱，工作台 10 也随即降到原来位置。

2. 测力部分

当加载即工作台上升使拉伸试件 12 或压缩试件 11 受力的同时，测力油管 14 将工作油缸的油压传至测力油缸 15。此油压推动测力活塞 16 向下移动，通过拉杆 17 使重摆 18 绕支点转动而抬起，同时摆柱上的推杆 19 推动齿杆 20 移动，从而带动齿轮 21 和指针 22 旋转。指针旋转的角度和油压成正比，因此，指针在同一位置所指示的载荷，与重摆的重量有关，不同的重摆重量，对应着不同的测力范围。WE-30 型 30 吨（29400 牛顿）油压重摆式万能试验机可以根据需要，有选择地变换三种不同重量的重摆，因而测力度盘也相应地有三种刻度，分别为：0~6 吨（0~58840 牛顿），0~15 吨（0~14700 牛顿），0~30 吨（0~294200 牛顿）三种测力范围。

(二) 操作步骤

1. 关闭加油阀和回油阀。

2. 根据试件形式选用夹具，并检查夹具位置和试件是否配合与对中。

3. 根据所需的最大载荷，选用适当的测力度盘，并调整摆杆摆锤的重量与之相匹配。

4. 开动油泵马达 4 数分钟，检查运转是否正常。然后，慢慢旋开加油阀 6，向工作油缸加油，使工作台 10 升起。等工作台升起一厘米左右时，关闭加油阀。调整摆杆铅垂位置，并使测力指针正对零点，调整好之后，暂时停机。

5. 安装试件，根据试件的长短，使用升降马达调整工作台与固定横梁（或下夹头）的区间，装上试件，然后短瞬地按动升降马达开关，使工作台略微上升，从而把试件夹紧。

注意：当试件夹紧后，不能再开动升降电动机，否则会因负荷过重而将它烧坏。

6. 装上变形计，调整好自动绘图装置并装上记录纸和笔。

7. 加载 开动油泵马达，慢慢地旋开加油阀，使测力指针平缓地前进且速度不要太快；当到达所需加载速度时，即应停止继续旋大加油阀。

8. 实验完毕，立即停机，关闭加油阀，然后打开回油阀，取下试件，将一切机构复原。

(三) 注意事项

1. 严格遵守操作规程。

2.在实验过程中,操纵者不能离开岗位,不得触动重摆,更不应阻碍重摆的运动

3.听到有异响或发生任何故障时,应立即停机检查,并告知辅导老师。

二、电子万能试验机

这种万能试验机是采用电子控制技术装备起来的新型机械式万能材料试验机,它具有宽广准确的加载速度和测力范围,有较高的灵敏度和较高的载荷示值跟踪和速度变换装置,因而此类试验机的精度较高。此外,它除了能完成一般万能试验机的试验外,还可以进行恒载荷、恒变形、恒位移的自动控制试验和断裂力学等特殊试验。

根据最大载荷的不同,此类试验机虽有WD-5A型及WD-10A型等不同的型号,不过它们的构造、性能、操作及维护等诸方面几乎没有很大差别,因而本节仅以WD-10A型电子万能试验机(广州产品)为例加以说明。

(一)构造原理

电子式万能试验机与油压式万能试验机不同,它是采用机械式传动机构进行加载,载荷和变形的电讯号通过放大后输入到X—Y函数记录仪作终端显示,并能自动准确地绘出“力—变形”($p-\Delta l$)曲线,及“力—时间”($p-t$)曲线。此外还备有过载保护装置及试样破断时自动停车装置。图2-2为WD-10A型试验机的结构简图。

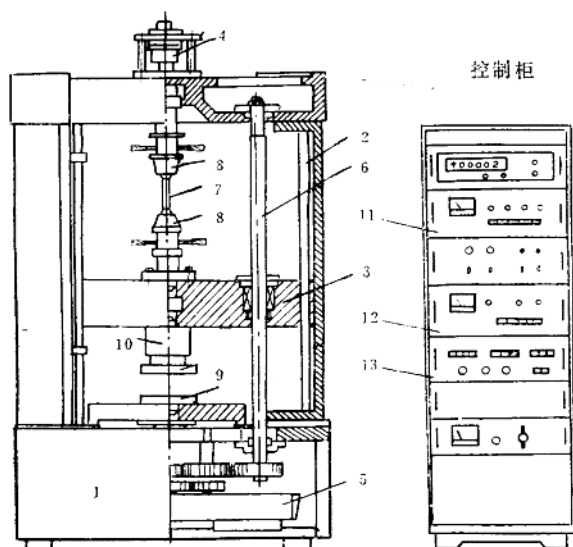


图 2-2 WD-10A 型试验机结构图

1. 加载系统

如图 2-2 所示，试验机底座 1 上，装有两根固定立柱 2，它们支承着固定横梁 3 和测力传感器 4，当开动直流电动机时，通过减速箱 5，带动两根丝杆 6 转动，从而使活动横梁上升或下降，若试件 7 装在上下夹头 8 中间，在横梁下降时，便使试件承受拉力；若试件放在横梁下面，则当横梁下降时，试件便承受压力。加载速度可通过改变“速度选择单元”的按键予以控制，当试件破断时，试验机自动停车。

2. 测力系统