

高等院校材料科学与工程实验系列教材

材料力学实验

Material Mechanics Experiments

● 董继蕾 主编

中国科学技术大学出版社

高等院校材料科学与工程实验系列教材

材料力学实验

Material Mechanics Experiments

● 董继蕾 主编

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是根据材料力学课程教学的基本要求编写的,既可以与少学时、多学时的材料力学教材配套使用,也能满足材料力学实验单独设课的需要。

本书把材料力学实验分为材料的力学性能测定实验、电测应力分析实验与综合性和设计性实验三个部分。材料的力学性能测定实验和电测应力分析实验是材料力学课程基本要求规定的实验内容,包括破坏性实验、材料弹性常数测定实验、弯曲正应力实验和弯曲组合变形实验等。综合性和设计性实验包括应变片粘贴技术、压杆稳定实验、偏心拉伸实验、方框拉伸实验、圆框拉伸实验等。

本书可作为高等工科院校土建、机械、水利等专业实验教材,也可供其他相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验/董继蕾主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2019.2
ISBN 978-7-312-04576-9

I. 材… II. 董… 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(2018)第 263253 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjsdxcbs.tmall.com>
印刷 合肥市宏基印刷有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×1000 mm 1/16
印张 9.25
字数 191 千
版次 2019 年 2 月第 1 版
印次 2019 年 2 月第 1 次印刷
定价 28.00 元

前 言

为提高学生的实验技能和实践能力,适应教育部关于工科高等院校基础课力学实验教学,也为力学实验课独立开课做准备,特编写了本教材。

全书共分为四章。第一章为绪论,阐述材料力学实验的重要性、内容方法及要求。第二章主要讲述材料力学实验所需的材料试验机的结构、测试原理和操作规程,包括电子万能试验机和电子扭转试验机,还详细介绍了材料力学性能测试的实验方法和几种破坏性实验。第三章主要介绍电测应力分析实验方法,主要根据学校现有的电测实验装置,编写所能做的实验及操作方法。如果力学实验单独开课,这些实验也可达到由学生自己从粘贴应变片到设计电测桥路,到最后实现实验的效果。第四章为综合性和设计性实验,这些实验主要把学生在前一阶段所学的知识应用到实际测试中,提高学生的动手能力。另外,本书还设有附录和实验报告部分,附录介绍了误差分析和实验数据处理、最小二乘法直线拟合、常用材料的主要力学性能表、材料力学性能试验的相关国家标准以及材料力学主要符号表;实验报告为全书所有实验的实验报告模板。

本书由董继蕾主编,闫立宏和郝朋伟参编。在本书的策划和编写过程中,我们参阅了许多工科院校的力学实验指导书,同时得到了安徽理工大学基础力学教学实验中心、基础力学系老师们的支持和帮助,在此对他们表示衷心的感谢。

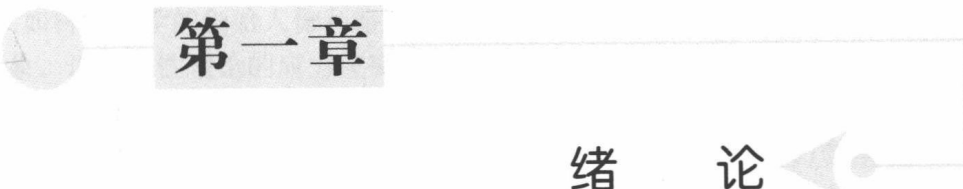
限于编者的水平,教材可能尚有欠妥之处,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者
2018 年 4 月

目 录

前言	(i)
第一章 绪论	(1)
第一节 材料力学实验的重要性	(3)
第二节 材料力学实验的内容	(3)
第三节 材料力学实验的要求	(4)
第二章 材料的力学性能测定	(7)
第一节 WDW - 100 型微机控制电子万能试验机	(9)
第二节 RNJ - 500 型微机控制电子扭转试验机	(16)
第三节 NDW - 500 型微机控制电子扭转试验机	(22)
第四节 金属材料的拉伸实验	(25)
第五节 金属材料的压缩实验	(29)
第六节 金属材料的扭转实验	(31)
第三章 电测应力分析	(37)
第一节 概述	(39)
第二节 电阻应变片	(39)
第三节 电阻应变仪	(43)
第四节 应变测量组桥实验	(50)
第五节 弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定实验	(54)
第六节 剪切弹性模量 G 的测定实验	(56)
第七节 纯弯曲梁的正应力实验	(60)
第八节 复合梁正应力分布规律实验	(63)
第九节 薄壁圆筒的弯扭组合实验	(65)
第四章 综合性和设计性实验	(71)
第一节 应变片粘贴实验	(73)

第二节 压杆稳定实验	(75)
第三节 偏心拉伸实验	(78)
第四节 方框拉伸实验	(81)
第五节 圆框拉伸实验	(84)
附录	(87)
一、误差分析和实验数据处理	(89)
二、最小二乘法直线拟合	(93)
三、常用材料的主要力学性能表	(94)
四、材料力学性能试验的相关国家标准	(94)
五、材料力学主要符号表	(96)
实验报告	(99)
实验一 金属材料的拉伸实验报告	(101)
实验二 金属材料的压缩实验报告	(103)
实验三 金属材料的扭转实验报告	(105)
实验四 应变测量组桥实验报告	(107)
实验五 弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定实验报告	(109)
实验六 剪切弹性模量 G 的测定实验报告	(111)
实验七 纯弯曲梁的正应力实验报告	(113)
实验八 复合梁正应力分布规律实验报告	(117)
实验九 薄壁圆筒的弯扭组合实验报告	(121)
实验十 应变片粘贴实验报告	(125)
实验十一 压杆稳定实验报告	(127)
实验十二 偏心拉伸实验报告	(131)
实验十三 方框拉伸实验报告	(135)
实验十四 圆框拉伸实验报告	(139)



第一章

绪 论

第一节 材料力学实验的重要性

科学实验是科学理论的源泉、自然科学的根本、工程技术的基础。

材料力学实验是材料力学课程的重要组成部分。材料力学的结论和定律,材料力学性能及表达材料力学性能的常数都需要通过实验来验证或测定,如“胡克定律”就是罗伯特·胡克于1668~1678年间做了一系列弹簧和钢丝实验之后建立的;又如材料力学的创始人伽利略就曾用实验的方法研究了拉伸、压缩和弯曲等有关现象。近代塑性理论的应力应变关系、高温蠕变的基本定律、金属疲劳的持久极限都是以实验为基础建立的。各种条件下材料的力学性能研究,实际工程构件的强度、刚度和稳定性的研究,也是依靠实验得到解决的,因此材料力学实验是工程技术人员必须掌握的技能之一。通过材料力学实验使学生掌握测定材料力学性能的基本知识、基本技能和基本方法,对于培养学生的动手能力、分析问题的能力以及严肃认真、实事求是的科学态度都是极为重要的。

第二节 材料力学实验的内容

材料力学实验,按其性质可以分为以下三类。

一、测定材料力学性能实验

材料力学公式具有局限性,根据公式只能算出杆件在集中载荷或分布载荷作用下应力的大小。通过对材料进行相应的实验,例如拉伸、压缩、扭转、冲击和疲劳实验,可以测得材料的屈服极限、强度极限、延伸率和弹性模量等,从而建立相应的强度条件、刚度条件和稳定性条件。这是材料在工程应用中必须要考虑的参数和依据。为了使所测数据具有可比性,国家对标准的试件的尺寸和形状都做了标准化的规定。

二、验证理论的实验

将实际问题抽象为理想的模型(如杆的拉伸、压缩、弯曲等),再根据科学的假设(如平面假设、均匀性假设和各相同性假设等)导出一般性公式,这是研究材料力学的基本方法,但是这些简化与假设是否正确,理论公式是否能在假设中应用,都需要通过实验来验证。此外,对于一些近似解答,其精确度也必须通过实验验证后

才能在工程设计中使用。

三、应力分析实验

工程上很多实际构件的形状和受载情况往往比较复杂。如轧钢机架、汽车底盘、水坝和飞机结构等,关于它们的强度问题,仅依靠理论计算是难以解决其内部应力大小和分布情况的,应力分析实验可以有效地解决工程上的这些问题。其内容包括:电测法、光测法、脆性涂层法、云纹法、声弹法等。目前,这些方法已成为工程中解决实际问题的有力工具。

第三节 材料力学实验的要求

在常温、静载作用下,材料力学实验所涉及的物理量主要是作用在试件上的载荷和试件的变形。实验时往往需要测量力和变形量,因此需要 3~4 人共同协作完成实验。

一、做好实验课前的预习及准备工作

实验前应认真预习课本,明确实验目的、实验原理和实验步骤;设计记录表格,用于记录原始数据;选择试件,估计最大载荷,确定加载方案;了解所需要使用的仪器和仪表的构造、工作原理和操作方法。

二、实验的进行

根据实验步骤进行实验操作,实验过程中认真观察实验现象并同步记录实验数据。另外,材料力学实验所用的设备一般较大,完成一次实验往往需要数人相互协调配合。实验小组人员应分工明确,相互协作,一般分工如下:

1. 记录者 1 人。记录者是实验的总指挥,不仅要记录数据,而且要及时地分析数据的好坏,以确保实验的正确性和完整性。
2. 测量变形者 1 人。测量变形者应了解仪表的性能及参数,熟悉操作规程,掌握读数方法,以确保数据的正确性。
3. 试验机操作者 1~2 人。试验机操作者应了解试验机的性能,熟悉操作规程和注意事项。

实验结束时,要检查数据是否齐全、准确,并交于实验指导老师,得到认可后,断开电源、清理设备、整理仪器和用具,得到指导教师允许后才能离开实验室。

三、实验报告的书写

实验报告是实验者最后交出的成果,是实验资料的分析结论,应严肃认真地完成实验报告,其内容应包括:

1. 实验项目名称、日期、同组人员姓名。
2. 实验目的。
3. 实验设备:名称、型号和精度等。
4. 实验数据:将测得的实验数据填入对应的实验报告数据记录表中。
5. 实验数据处理:

(1) 测量中的有效数字。实验测量中,由于使用的仪器、仪表和量具的最小分度值随仪器、仪表和量具的精度的不同而不同,所以在测量时除直接从标尺上读出可靠的刻度值外,还需要尽可能地估读出最小刻度值以下的一位估读值。这种由测量得到的可靠数字和末位的估读数字所组成的数字称为有效数字。例如,用米尺、游标卡尺、千分尺测量一试件直径,其读数见表 1.1。

表 1.1 不同量具读数的有效数字

量具	精度(mm)	读数(mm)	有效数字位数
米尺	1	9.8	2
游标卡尺	0.02	9.84	3
千分尺	0.001	9.842	4

由表 1.1 可知,有效数字的位数取决于仪器、仪表和量具的精度,不能随意增减。

(2) 四舍六入五单双修约规。当有效数字以后的第一位数为 4 或 4 以下的数时,舍去;为 6 或 6 以上的数时,进 1;为 5 时,若有效数字的末位是单数则进 1,是双数则舍去。

(3) 四舍六入五考虑修约规。有效数字以后的第一位数为 5,且 5 以后非零则进 1,5 以后皆为零,且有效数的末位为偶数则舍去;若 5 以后皆为零,但有效数的末位为奇数,则进 1。

(4) 有效数字的计算法则:① 几个数相加(或相减)时,其和(或差)在小数点后面保留的位数与几个数中小数点后面最少的那个相同;② 几个数相乘(或相除)时,其积(或商)的有效数字与几个数中位数最少的相同;③ 常数以及无理数参与计算,不影响结果有效数字的位数,该无理数的位数只需取与有效数字最少的位数相同即可;④ 求 4 个数或 4 个数以上的平均值时,所得的有效位数要增加一位。

6. 实验结果的表示:在实验中除需对测得的数据进行整理并计算实验结果外,一般还要采用图表或曲线来表示实验结果。实验曲线应绘制在坐标纸上,图中应

注明横纵坐标分别代表的物理量和比例尺。实验测得的数据点应当用记号来表示,例如“ $\bullet$ ”“ $\times$ ”或“ Δ ”等。当连接各数据点为直线时,需要根据最小二乘法进行直线拟合;当连接各数据点为曲线时,不要用直线逐点连成折线,应当根据多数坐标点的位置,绘制成光滑的曲线。

7. 实验结果分析:在实验报告的最后,应对实验结果进行分析,并进行记录。



第二章

材料的力学性能测定



第一节 WDW - 100 型微机控制电子万能试验机

WDW - 100 型微机控制电子万能试验机是一种多功能、高精度的新型机电一体化静态试验机。它主要由两部分系统组成：计算机系统和板卡式数字测量控制系统。它能自动、精确地控制和测量实验力、位移和变形等试验参数，主要用于测定材料的力学性能，例如：金属和非金属材料的拉伸、压缩、弯曲、剪切等实验。实验时，计算机屏幕绘制出相应的曲线图，并计算出相应的实验结果。

WDW - 100 型微机控制电子万能试验机结构图如图 2.1 所示。

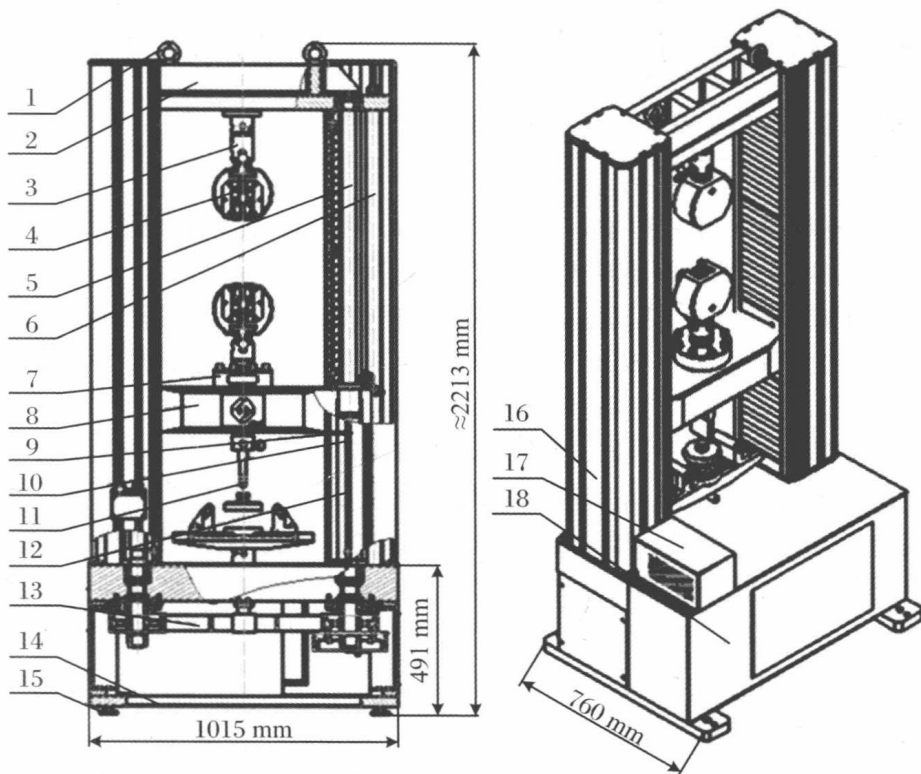


图 2.1 WDW - 100 型微机控制电子万能试验机

WDW - 100 型微机控制电子万能试验机各部件名称如表 2.1 所示。

表 2.1 WDW-100 型微机控制电子万能试验机各部件名称

编号	名 称	编号	名 称
1	吊环螺钉	10	限位杆
2	上横梁	11	三点弯曲试台(各种附具)
3	万向联轴节	12	限位环
4	拉伸夹具(各种附具)	13	减速装置
5	滚珠丝杠副	14	底框
6	立柱	15	调整螺钉
7	负荷传感器	16	围板
8	活动横梁	17	电机防尘罩
9	限位挡杆	18	配电箱

一、工作原理

电子万能试验机主要由主机和微机测控系统两部分组成。

(一) 主机

由四立支撑横梁和底座构成门式框架结构。两丝杠穿过活动横梁两端并安装在上横梁与底座上,机械传动减速器固定在底座中。工作时,伺服电机驱动机械传动减速器,带动丝杠传动,活动横梁便可水平向上或向下移动。负荷传感器安装在活动横梁上,与下夹具连接,万向联轴节与上夹具连接,在活动横梁的上部空间可进行拉伸实验,下部空间可进行压缩或弯曲实验。

另外,安装试件时,可以通过操作手动盒来移动活动横梁。手动盒上有“上行”“下行”“STOP”按钮和无级调速旋钮,顺时针转动无级调速旋钮时增加横梁移动速度,逆时针转动无级调速旋钮时减小横梁移动速度。当按“上行”或“下行”按钮时,默认活动横梁的初始移动速度为零,这时需手动顺时针转动无级调速旋钮使活动横梁加速,活动横梁才开始移动。

(二) 微机测控系统

微机中安装有“TestExpert”实验软件系统,利用微机中的实验软件可以完成各种功能的实验。对位移、载荷和变形等实验参数的测量与试验机活动横梁位移控制是同步进行的,可以随时监测、记录这些实验参数,并在微机显示屏上绘出相应的测试曲线。

1. 软件主界面。主窗体分三页,分别为实验操作页、方法定义页和数据处理页,如图 2.2 所示。

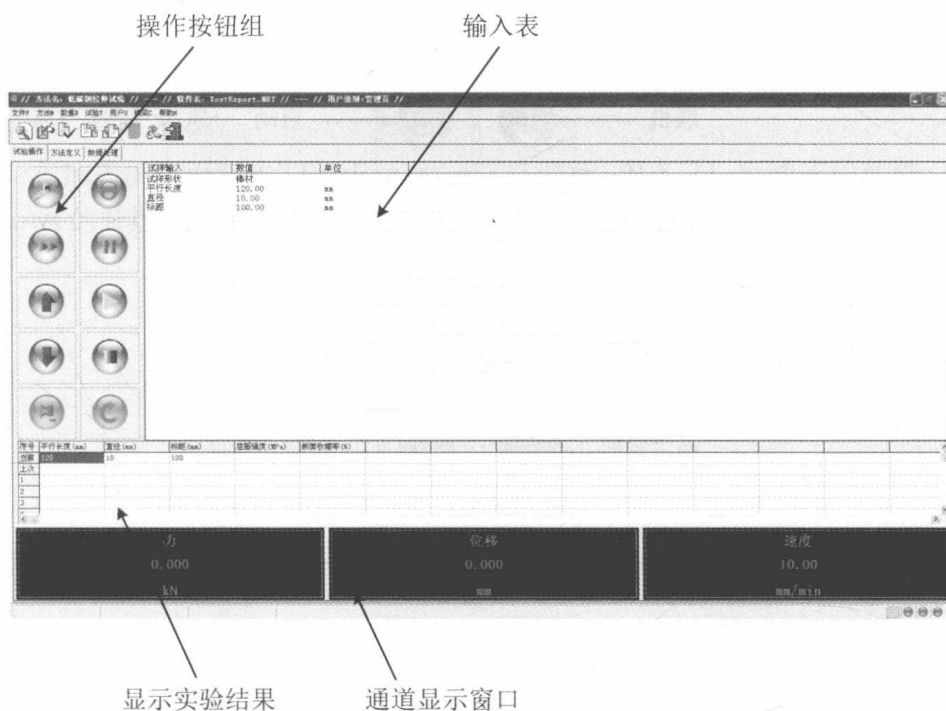


图 2.2 软件主界面

2. 工具条。工具条在不同的状态下功能是不一样的,图 2.3(a)的工具条是打开实验操作页和方法定义页时出现的界面,图 2.3(b)是进入数据处理页时出现的界面,功能如图 2.3 所描述。



图 2.3 工具条