



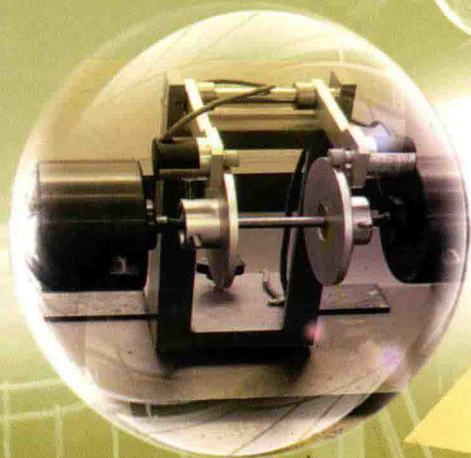
高等学校土建类专业**应用型本科**“十三五”规划教材

材料力学实验指导

CAI LIAO LI XUE SHIYAN ZHIDAO

(第2版)

主 编 李永信



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

高等学校土建类专业应用型本科“十三五”规划教材

材料力学实验指导

(第2版)

主 编 李永信
副主编 鲁晓俊

武汉理工大学出版社
· 武 汉 ·

内 容 简 介

为了适应实验技术的发展和实验设备的更新,本书把材料力学实验分为材料的力学性能实验、电阻应变测量技术及学生自主创新实验三部分。材料的力学性能实验主要是破坏性实验,其中包括材料的拉伸、压缩、扭转实验及部分实验仪器设备的构造和原理的介绍;电阻应变测量技术部分,主要为电测实验方法和配合更新的实验设备所做的常用的电测实验,其中包括用电测方法验证梁的弯曲正应力实验,测定拉伸弹性模量和泊松比的实验,弯扭组合变形主应力的测定及复杂应力状态下力学参数测定实验等;学生自主创新实验主要介绍了一些题目,结合三组合桥梁模拟系统,开设学生自主创新实验,进而深化所学内容,提高学生的动手能力。

本书可作为高等学校材料力学课程的配套教材,也可作为不单独开设实验课的学校教材使用,还可以作为开放实验室开设学生自主创新实验所需的教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验指导/李永信主编. —2版. —武汉:武汉理工大学出版社,2017.2

ISBN 978-7-5629-5474-3

I. ①材… II. ①李… III. ①材料力学-实验-高等学校-教学参考资料 IV. ①TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 038187 号

项目负责人:王利永

责任编辑:王思

责任校对:张明华

封面设计:许伶俐

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:荆州市鸿盛印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:5.25

字 数:128 千字

版 次:2012 年 8 月第 1 版 2017 年 2 月第 2 版

印 次:2017 年 2 月第 1 次印刷 总第 3 次印刷

印 数:5001—8000 册

定 价:15.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

高等学校土建类专业应用型本科“十三五”规划教材

编审委员会

顾问: 马成松 江义声 杜月中 孟高头 唐友尧 熊丹安

主任: 李新福 杨学忠

副主任: (按姓氏笔画排列)

向惠生 许立强 许程洁 陈升平 陈礼和 陈蓓

陈俊杰 陈宜虎 张秀成 张志国 张伯平 杨和礼

杨子江 郑毅 柳立生 姜袁 姚金星 荀勇

胡铁明 袁海庆 蒋沧如

委员: (按姓氏笔画排列)

牛秀艳 邓训 王有凯 王晓琴 卢晓丽 史兆琼

毕艳 孙艳 许汉明 刘富勤 刘江 刘伟

刘芳 刘斌 刘黎虹 刘广杰 刘红霞 邹祖绪

吴秀丽 张端丹 张敏 张朝新 张淑华 张耀东

陈金洪 沈中友 杜春海 苏卿 李永信 李武生

宋非非 宋平 罗章 杨双全 周燕 周先齐

赵峰 赵亮 赵元勤 胡忠君 柯于锴 施鲁莎

徐中秋 徐珍 董晓琳 韩东男 程瑶 鲁晓俊

赫桂梅 熊海滢 熊瑞生

总责任编辑: 于应魁

秘书长: 王利永

前 言

(第2版)

为了提高应用型本科高校学生的实验技能和工作实践能力,满足教育部关于工科高等学校基础课程力学实验教学的需要,也为力学实验课独立开课作准备,结合第1版教材的实际使用情况,在原书第1版的基础上进行了本次修订。

全书共分四章和附录。第1章为绪论,主要阐述了材料力学实验的任务和地位以及今后的发展方向。第2章主要讲述了材料力学实验所需的材料试验机的结构和原理,并把最新的电子万能材料试验机的操作纳入本教材,把传统的由人操作材料试验机的方式改为由人和计算机共同控制材料试验机的方式,真正能够做到严格按照国家标准进行实验。同时,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3章主要介绍了电阻应变测量技术,主要是根据多功能实验装置的性能介绍相关的实验及操作方法。如果力学实验单独开课,也可由学生自己粘贴应变计并设计电测桥路,到最后完成整个实验。对于综合性和设计性实验,主要把学生在前一阶段所学的知识应用到实测中,以提高学生的动手能力。第4章为开放实验室所做的创新实验,学生自主创新实验主要介绍了一些题目,并结合三组合桥梁模拟系统展开学生自主创新实验的应用及举例,进而深化所学内容,提高学生的动手能力。实验要求:学生自己设计、制作模型,粘贴应变片,测材料弹性模量,并根据创新实验的举例完成整个实验报告,进而让学生了解更多的实验方法,拓宽实验知识。

本书第2版由武昌理工学院李永信担任主编,鲁晓俊等教师参与了此次改版工作。本书承武昌理工学院的柳立生副教授审阅和指导,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平,本书可能有欠妥之处,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2016年12月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 材料力学实验的任务和地位	(1)
1.2 材料力学实验的发展	(2)
2 材料的力学性能实验	(4)
2.1 电子万能材料试验机原理	(4)
2.2 电子万能材料试验机操作	(5)
2.3 CTT1000 微机控制电子扭转试验机	(6)
2.4 金属材料的拉伸实验	(8)
2.5 金属材料的压缩实验	(12)
2.6 金属材料的扭转实验	(15)
3 电阻应变测量技术	(20)
3.1 概述	(20)
3.2 电阻应变片	(20)
3.3 电阻应变仪	(21)
3.4 测量电桥的接法	(23)
3.5 电阻应变仪简介	(24)
3.6 弯曲正应力及挠度测试综合性实验	(26)
3.7 梁的弯曲变形实验	(28)
3.8 拉伸弹性模量(E)及泊松比(μ)的测定	(30)
3.9 用 E 、 μ 试件做测量电桥接桥实验	(32)
3.10 弯扭组合变形主应力的测定	(34)
3.11 复杂应力状态下力学参数测试综合性实验	(37)
3.12 应变电桥接桥实验	(39)
4 学生自主创新实验	(42)
4.1 学生自主创新综合性实验题目	(42)
4.2 在三组合桥梁模拟系统上开设学生自主创新实验	(44)
4.3 在三组合桥梁模拟系统上进行应变片粘贴实验	(47)
4.4 在三组合桥梁模拟系统上做成桥检测实验	(49)

附录 材料力学实验报告	(53)
一、金属材料的拉伸实验报告	(55)
二、金属材料的压缩实验报告	(57)
三、金属材料的扭转实验报告	(59)
四、弯曲正应力实验报告	(61)
五、梁的弯曲变形实验报告	(63)
六、拉伸弹性模量(E)及泊松比(μ)的测定实验报告	(65)
七、用 E 、 μ 试件做测量电桥接桥实验实验报告	(67)
八、弯扭组合变形主应力的测定实验报告	(69)
九、复杂应力状态下力学参数测定实验报告	(71)
十、应变电桥接桥实验报告	(73)
参考文献	(75)

1 绪 论

1.1 材料力学实验的任务和地位

材料力学实验是力学实验的一个分支,是材料力学课程的重要组成部分。力学实验一般分为以下三种类型:

- (1) 前瞻性实验,引导力学学科的发展。
- (2) 基础性实验,支持和建立新的力学理论,检验和修正已有的力学理论。
- (3) 应用性实验,为工程设计规范的制定提供依据。

1.1.1 材料力学实验的任务

- (1) 面向生产,为生产服务

根据正规生产过程,科学设计的程序应该是:首先了解工况、外载荷、设计范围等;其次是材料选择、尺寸设计、强度核算和应力分析;然后试生产、现场实测、事故分析,经过长期观察,最后才能投产。材料力学实验在这个过程中扮演了主要角色。

- (2) 面对新技术、新方法的引入,研究新的测试手段

近二十多年来,由于光学的大发展,尤其是光电子学、光纤的发展,产生了很多新的光测法,概括起来可称为“光力学”。此外,还有疲劳、断裂、细微尺度力学实验等。

- (3) 面向材料力学,为材料力学的理论建设服务

材料力学的一些理论是以某些假设为基础的,例如纯弯曲梁的弯曲理论就是以平面假设为基础。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。而对于新建立的理论和公式,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。

1.1.2 材料力学实验的地位

- (1) 材料力学实验是材料力学中新的理论及计算方法提出的必要前提,运用新的理论及计算方法所得的结果要经过实验验证。

- (2) 材料力学实验能解决许多理论工作无法解决的工程实际问题。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,便成了有效的方法。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。

- (3) 材料力学实验是材料力学发展的三大支柱(新的理论、计算方法、力学实验)之一。

1.2 材料力学实验的发展

1.2.1 历史回顾

从发展史来看,力学实验的发展与理论的发展不同。理论往往是有一个体系,并不断发展和完善的。而力学实验就不同了,它的方法是借助于物理基础、新概念和新技术,经过再创造使之成为力学服务,它不断更新,进而形成许多种相对独立的方法,如光弹性法、电阻应变测量技术、云纹法、声发射技术等。因此,由于力学实验的多体系、相对独立性、困难性、交叉性、渗透性和无界性,所以要讲材料力学实验的发展史是很困难的。大家一般只知道力学实验近几十年的情况,对它的过去往往不甚了解。其实,力学实验历史是很悠久的,可以说是与理论发展平行的。实验与实践是一样的,只不过是一个在实验室,一个在现场。在材料力学方面又何尝不是如此。如果没有现场实验作为基础,我们的祖先就不可能在没有理论体系的情况下,造出那么多至今犹存的出色的建筑(如塔、宫殿、赵州石桥等)。

关于材料力学实验的发展在西方有记载的首先要算达·芬奇(Da Vinci),他既是艺术家、科学家,又是工程师、实验工作者,他做了梁的弯曲试验。以后就是伽利略(Galileo),他在 25 岁时受聘于比萨大学当教授,他既是数学家、天文学家,又是实验力学工作者,他做过悬臂梁试验和拉伸强度试验。再以后就是虎克(Hooke),他在 1678 年发表弹簧论文,从而产生了虎克定律,给弹性力学奠定了理论基础。以后还有马里沃特(Mariotte)的简支梁试验、伯努里(Bernoulli)的悬臂梁试验、欧拉(Euler)的稳定试验、库伦(Coulomb)的剪切试验,以及泊松(Poisson)、圣维南(St. Venant)、柯西(Cauchy)、纳维(Navier)等人的实验。

我国是一个文明古国,有关材料力学的实验有记载的是《墨子·经下》篇,记有:“发均悬轻而发绝,不均也,均其绝也莫绝。”又说:“衡木加重焉而不挠极胜重也。若校交绳无加焉而挠极不胜重也。”墨子这个拉伸与弯曲试验比伽利略要早 2000 多年。

1.2.2 材料力学实验的现状

我国有关材料力学方面的论文多偏重于经典理论和方法,缺乏有根据的计算和实验验证,虽然理论方面做得很细很巧,但不能说是一个完美的科学成果。突破实验和计算这两个薄弱环节,应该是使我国材料力学工作更上一层楼的急迫任务。材料力学方面的科研成果如果缺乏实验验证,就是个不完整的成果,不是只做零星的、个别的实验,而是要做大量的、系统的实验。

1.2.3 材料力学实验的发展特点

(1) 发展速度快

光弹性法用了 100 年才完善,电阻应变测量技术用了 20 多年就完善了,而全息干涉法、散斑干涉法、云纹干涉法用了不到 10 年左右就很成熟了。

(2) 相互渗透

1960 年全息干涉法发展以后,被引用到光弹性法中称为全息光弹性法,用于云纹法则称为全息云纹法等。

(3) 实验中的新方法与其他学科交叉

比如断裂力学实验、生物力学实验、复合材料力学实验等,均与其他学科相互交叉。

1.2.4 材料力学实验的发展趋势

(1) 实验技术向广度和深度发展

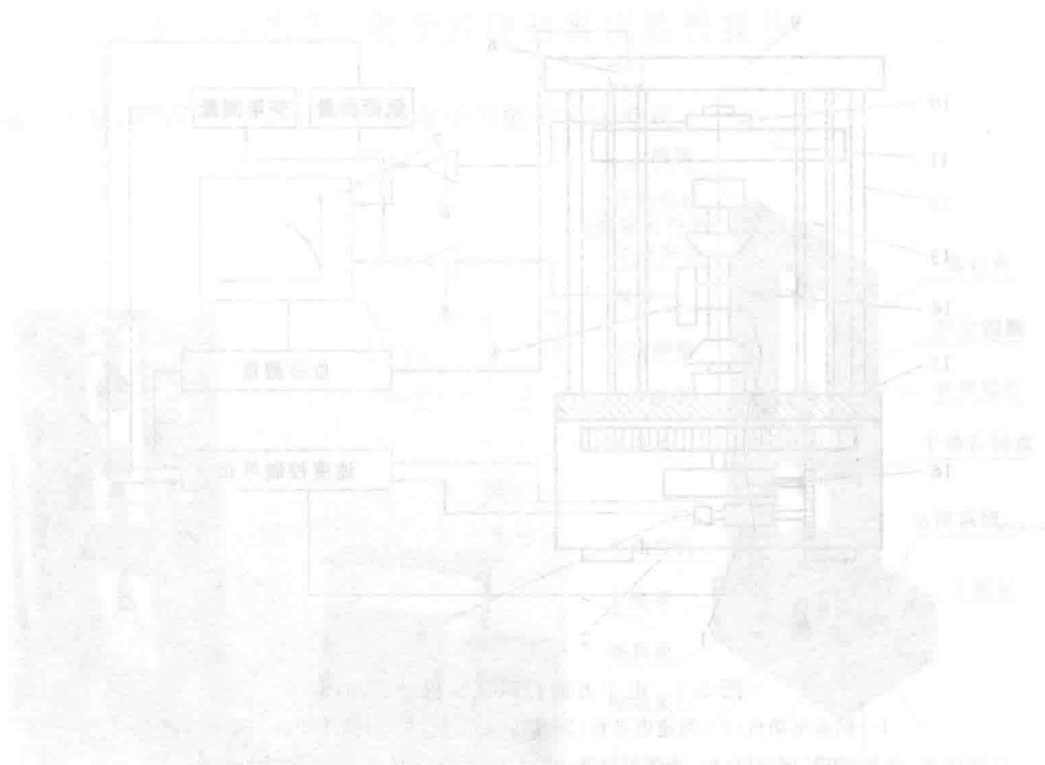
① 广度:如日益广泛地应用电阻应变测量技术,使得从真空到高压、从极冷到高温、从静态到高频条件下的应变都可获得有效的测量数据。又如把经典方法和新兴科学技术结合起来(全息干涉法、全息光弹性法、散斑干涉法、声发射技术等),不断增加测试手段,扩大了测量和应用范围,提高了测试精度。

② 深度:开展宏观和微观相结合的实验研究,深入探索失效机理和各种影响材料强度的因素的规律性。

(2) 实验装备的自动化

在实验数据的采集、处理、分析和控制方面实现计算机化。如大型动载实验,已能做到实时的数据处理,可大大缩短试验周期,及时提供准确的试验分析数据和图表。即使是对于多年来难以实现自动化的光弹性仪,也已出现多种光弹性自动测试装置的方案。

(3) 随着计算机及有限元分析和其他数值分析方法的应用,材料力学实验正朝着实验与计算相结合、物理模型与数学模型相结合的方向发展。



2 材料的力学性能实验

2.1 电子万能材料试验机原理

电子万能材料试验机是电子技术与机械传动相结合的新型试验机,对载荷、变形、位移的测量和控制有较高的精度和灵敏度,通过 X-Y 函数记录仪可准确记录载荷-变形曲线,与计算机联机还可实现控制、检测和数据处理的自动化。有的电子万能材料试验机还能实现恒载荷、恒应变和恒位移的自动控制,并且有低周循环载荷、循环变形和循环位移的功能。

2.1.1 加载系统

图 2.1 所示是电子万能材料试验机结构简图。在加载系统中,由上横梁 9、四根立柱 12 和工作平台 15 组成门式框架。活动横梁 11 由滚珠丝杠 13 驱动,试样 14 安装于活动横梁 11 与工作平台 15 之间。速度控制单元发出指令,伺服电动机 1 便驱动齿轮箱 16 带动滚珠丝杠 13 转动,使活动横梁 11 上下移动,从而实现对试样的加载。通过测速电动机 2 的测速反馈和旋转变压器 3 的相位反馈形成闭环控制,以保证加载速度的稳定。

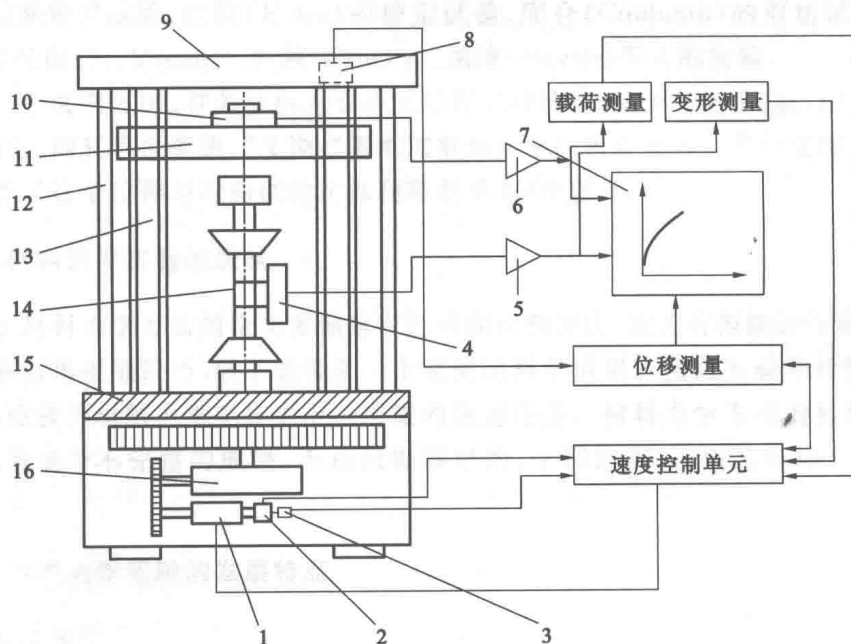


图 2.1 电子万能材料试验机结构简图

- 1—伺服电动机;2—测速电动机;3—旋转变压器;4—引伸计;5,6—放大器;
7—X-Y 记录仪;8—光栅编码器;9—上横梁;10—传感器;11—活动横梁;
12—立柱;13—滚珠丝杠;14—试样;15—工作平台;16—齿轮箱

2.1.2 测量系统

测量系统包括载荷测量、试样变形测量和活动横梁的位移测量等三部分。载荷测量把应变式拉压力传感器 10 发出的信号变为微弱的电信号,经放大器 6 放大,再经 A/D 转换变成数字显示。变形测量则是把应变式引伸计 4 的信号经放大器 5 放大,再经 A/D 转换变为数字信号显示。如把放大器 5 和 6 的信号接到 X-Y 记录仪 7 上,即可画出载荷-变形曲线。活动横梁 11 的位移是借助滚珠丝杠 13 的转动来实现的。滚珠丝杠 13 转动时,装在其上的光栅编码器 8 输出的脉冲信号经过转换,也可用数字显示。

2.1.3 操作步骤和注意事项

- (1) 打开控制柜上的总电源开关,面板上有关仪表和指示灯亮。一般要求预热一会儿。
- (2) 根据试验中载荷和变形的范围,选择适宜的载荷量程和变形量程,并调节平衡零点。
- (3) 按主机上的“启动”钮,伺服电动机通电。
- (4) 安装试样。
- (5) 选择变形测量或位移测量,选定量程,并平衡调零。
- (6) 打开 X-Y 记录仪电源,标定好载荷和变形比例系数,使记录仪处于测量状态。
- (7) 根据试验要求选择试验速度对试样进行加载,记录试验数据。
- (8) 试验完毕,一切恢复初始状态,切断总电源。

2.2 电子万能材料试验机操作

图 2.2 所示为新三思厂家生产的电子万能材料试验机。

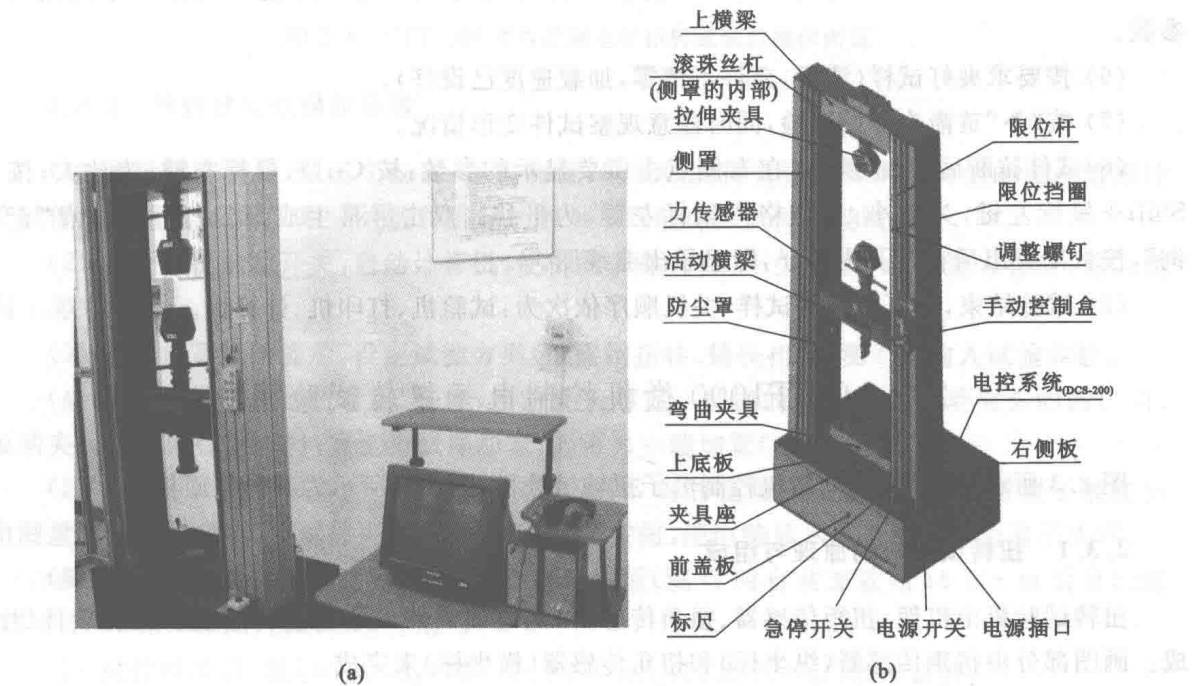


图 2.2 电子万能材料试验机

2.2.1 电子万能材料试验机的基本组成

电子万能材料试验机主要由主机、电控系统、夹具及微机软件四部分组成。

(1) 主机部分

主机部分包括交流伺服电机及传动系统、力传感器、机架、滚珠丝杠、位移传感器、限位装置、控制面板、急停开关等。

(2) 电控系统

电控系统主要包括载荷测量系统、变形测量系统、位移测量系统以及驱动控制系统、通信系统等。

(3) 夹具

夹具用于夹持试样,根据试样和试验机的不同要求选用不同的夹具(拉、压、弯、剪及自己设计的夹具)。

(4) 微机软件部分

微机软件部分主要通过计算机进行试验方案的制订与选择,以及数据处理、数据分析、试验过程检测、试验结果的输出。

2.2.2 电子万能材料试验机操作步骤

- (1) 打开试验机电源,预热 15 min,打开计算机。
- (2) 点击 powertest,并输入密码(学生是 1)。
- (3) 根据试验内容和试样情况准备好夹具及附件。
- (4) 打开试验机软件,点击联机。
- (5) 选择方案(确定是低碳钢拉伸、铸铁拉伸还是铸铁压缩),并输入试样尺寸及相关参数。
- (6) 按要求夹好试样(清零,允许不清零,加载速度已设好)。
- (7) 按“►”黄箭头开始试验,同时注意观察试件变形情况。
- (8) 试件拉断后,双击屏幕,在右侧点击所要显示的参数:按 Ctrl+鼠标左键,为放大;按 Shift+鼠标左键,为缩小;按空格+鼠标左键,为平移。双击屏幕生成报告,显示时,点“查询”,按日期查出后在“□”内打√,即显示出曲线图。
- (9) 试验结束,卸下破坏的试样,关机顺序依次为:试验机、打印机、计算机。

2.3 CTT1000 微机控制电子扭转试验机

图 2.3 所示为 CTT1000 微机控制电子扭转试验机,图 2.4 所示为其操作面板。

2.3.1 扭转试验机的原理与组成

扭转试验机由机架、扭矩传感器、扭角传感器(光电编码器)、小角度传感器、夹具、软件组成。画图部分由扭矩传感器(纵坐标)和扭角传感器(横坐标)来完成。

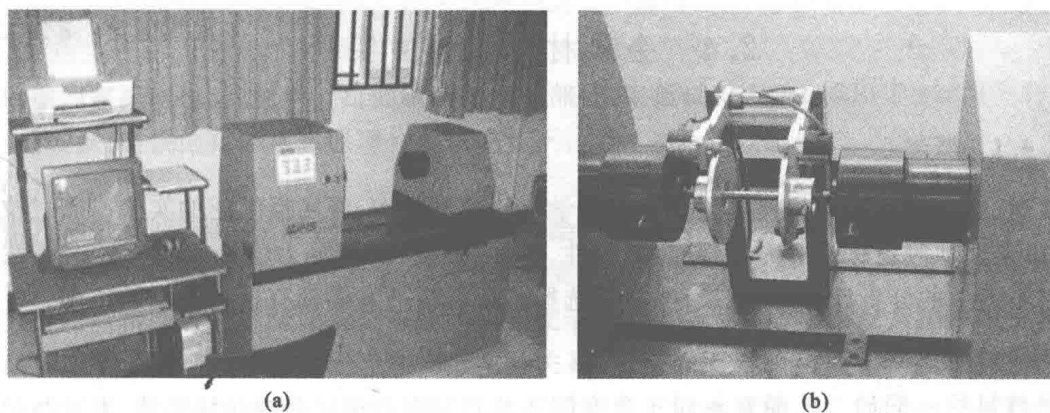


图 2.3 CTT1000 微机控制电子扭转试验机

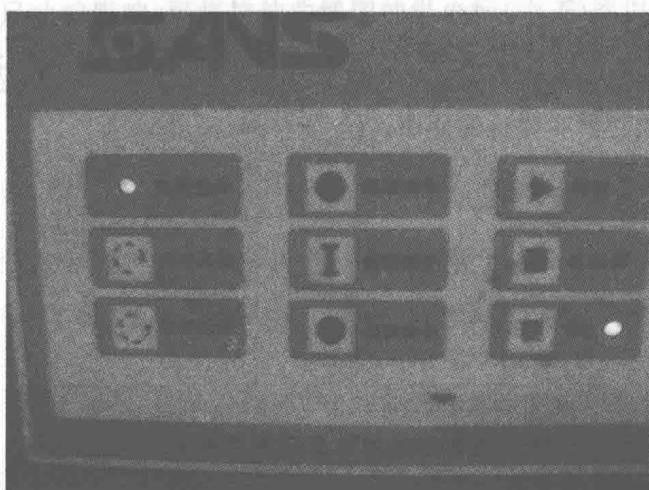


图 2.4 CTT1000 微机控制电子扭转试验机操作面板

2.3.2 扭转试验机操作步骤

(1) 测量试件直径,取三个断面,垂直测量,取三处测得直径的算术平均值的最小值来计算试件的抗扭截面模量,取三处测得直径的算术平均值计算试件的极惯性矩。

(2) 打开主机电源开关,启动计算机,使机器预热,时间不少于 10 min,进入程序,输入密码 1,联机。

(3) 根据计算机的提示,设定试验方案(低碳钢扭转、铸铁扭转、测 G),输入试验参数。

(4) 装夹扭转试件,按“对正”按键,使两夹头对正。试样的一端放入从动夹头的钳口间,扳动夹头的手柄(对称夹),直至将试样加紧,再将另一端加紧(对称夹)。

(5) 装夹扭转测 G 试件,安装扭角传感器,测 G 时将扭角仪测量装置的测量辊子放在扭角测量装置的卡盘上,将试件夹紧,按“扭角清零”按钮,使电脑显示屏上的扭转角显示为零。

(6) 按“▶”黄箭头开始试验,扭转试件直至扭断(测 G 时自动加载到 $15 \text{ N} \cdot \text{m}$ 后自动卸载,显示 T_0 和 T_n 时的扭矩和扭转角)。

(7) 试件扭断后,显示 $T_{eH}(\tau_{eH})$ 、 $T_{eL}(\tau_{eL})$ 、 $T_m(\tau_m)$ 以及 $T_p(\tau_p)$,取下试件。

(8) 试验结束,计算,画图,回答思考题,关闭试验机及计算机。

2.4 金属材料的拉伸实验

2.4.1 概述

常温、静载下的轴向拉伸实验是材料力学实验中最基本、应用最广泛的实验。通过拉伸实验,可以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。这些性能指标对材料力学的分析计算、工程设计、材料选择和新材料开发等都有极其重要的作用。

2.4.2 实验目的

- (1) 测定低碳钢的上屈服强度 R_{eH} 、下屈服强度 R_{eL} 、抗拉强度 R_m 、断后延伸率 A 和断面收缩率 Z ;
- (2) 测定铸铁的抗拉强度 R_m ;
- (3) 观察上述两种材料在拉伸过程中的各种现象,并绘制拉伸图($F-\Delta L$ 曲线);
- (4) 掌握电子万能材料实验机的使用。

2.4.3 实验设备及测量仪器

- (1) CMT5105/CMT5305 电子万能材料试验机;
- (2) 数显卡尺;
- (3) 计算机。

2.4.4 试件的制作

实验表明,所用试样的形状和尺寸对其性能测试结果有一定影响。为了使实验的结果具有可比性与符合性,国家已制定统一标准。依据此标准,拉伸试样分为比例试样和非比例试样两种,试样的横截面形状有圆形和矩形,如图 2.5 所示。这两种试样既便于机械加工,也便于尺寸的测量和夹具的设计。

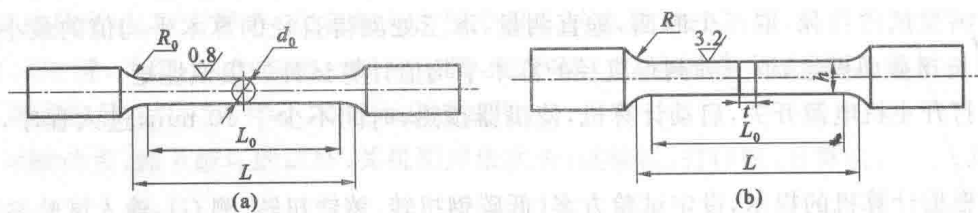


图 2.5 拉伸试样图

(a) 圆形横截面试样; (b) 矩形横截面试样

本实验所用的拉伸试样是经机械加工制成的圆形横截面的短比例试样,即 $L_0 = 5d_0$,如图 2.5(a)所示。图 2.5 中, L 为试样平行长度, L_0 为试样原始标距(即测量变形的长度), d_0 为圆形试样平行长度部分原始直径, R_0 为圆形横截面试样头部到平行部分过渡圆弧半径, t 为矩形试样的原始厚度, h 为矩形试样平行部分原始宽度, R 为矩形横截面试样头部到平行部分过渡圆弧半径。拉伸试样由夹持段、过渡段和平行段构成。试样两端较粗部分为夹持段,其形状和尺寸可根据试验机夹头情况而定。过渡段常采用圆弧形,使夹持段与平行段光滑连接。

2.4.5 实验原理

依据国家标准《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》(GB/T 228.1—2010)的规定,低碳钢、铸铁的拉伸实验原理分别叙述如下:

(1) 低碳钢试样

做拉伸试验时,利用试验机的自动绘图器可绘出低碳钢的拉伸图,即 $F-\Delta L$ 曲线,如图 2.6 所示。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性能的优劣、断裂时的韧性与脆性程度以及不同变形下的承载能力。但同一种材料的拉伸曲线会因试样尺寸不同而异。为了使同一种材料不同尺寸试样的拉伸过程及其特性便于比较,以消除试样几何尺寸的影响,可将拉伸曲线图的纵坐标(力 F)除以试样原始横截面面积 S_0 ,并将横坐标(伸长 ΔL)除以试样的原始标距 L_0 ,此时得到的曲线便与试样尺寸无关。

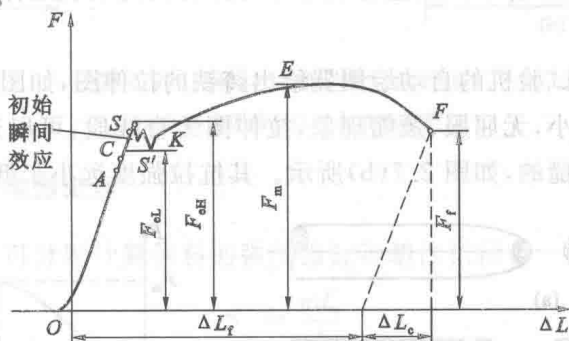


图 2.6 低碳钢拉伸图

F_{eH} —上屈服力; F_{eL} —下屈服力; F_m —最大力; F_t —断裂力; ΔL_f —断裂后塑性伸长; ΔL_e —弹性伸长

① 弹性阶段 OC 。此阶段中的 OA 段拉力和伸长成正比关系,表明钢材的应力与应变为线性关系,完全遵循虎克定律,故点 A 的应力 R_p 称为材料的比例极限。若当应力继续增加达到材料弹性极限 R_e 对应的 C 点时,应力和应变的关系不再是线性关系,但变形仍然是弹性的,即卸除拉力后变形完全消失。工程上对弹性极限和比例极限并不严格区分,通常是将拉力卸掉,用精密仪器测定其塑性延伸率约为 0.2% 时所对应的应力值,并定义为规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$,它是控制材料在弹性变形范围内工作的有效指标,在工程上有实用价值。

② 屈服阶段 SK 。当应力超过弹性极限到达锯齿状曲线时,示力盘上的主针暂停转动或开始回转并作往复运动。这时若试样表面经过磨光,可看到表征晶体滑移的迹线,大约与试样轴线呈 45° 角方向。这种现象表征,试样在承受的拉力不继续增加或稍微减少的情况下变形却继续伸长,称为材料的屈服,其应力称为屈服点(屈服应力)。示力盘的指针首次回转前的最大力(F_{eH} 上屈服力)或不计初始瞬间效应(不计载荷首次下降的最低点)时的最小力(F_{eL} 下屈服力),所对应的应力分别为上、下屈服点。示力盘的主针回转后所指示的最小载荷(第一次下降后的最小载荷)即为屈服载荷 F_{eL} 。由于上屈服点受变形速度及试样形状等因素的影响,而下屈服点则比较稳定,故工程中一般只定下屈服点。屈服应力是衡量材料强度的一个重要指标。

③ 强化阶段 KE 。过了屈服阶段以后,试样材料因塑性变形,其内部晶体组织结构重新得

到了调整,其抵抗变形的能力有所增强。随着拉力的增加,伸长变形也随之增加,拉伸曲线继续上升。 KE 曲线段称为强化阶段。随着塑性变形量的增大,材料的力学性能发生变化,即材料的变形抵抗力提高,塑性降低。在强化阶段卸载,弹性变形会随之消失,塑性变形将会永久保留下来。强化阶段的卸载路径与弹性阶段平行,卸载后重新加载时,加载线与弹性阶段平行。重新加载后,材料的比例极限明显提高,而塑性性能会相应下降,这种现象叫作形变硬化或冷作硬化。当拉力增加、拉伸曲线到达顶点 E 时,示力盘上的主针开始返回,而副针所指的最大拉力为 F_m (在拉伸的最大值窗口显示出最大载荷 F_m),由此可求得材料的抗拉强度,它也是材料强度性能的重要指标。

④ 局部变形阶段 EF (颈缩和断裂阶段)。对于塑性材料来说,在承受拉力 F_m 以前,试样发生的变形在各处基本上是均匀的。在达到 F_m 以后,变形主要集中于试样的某一局部区域,该处横截面积急剧减小,这种现象即是“颈缩”现象。此时拉力开始下降,直至试样被拉断,其断口形状呈碗状,如图 2.7(a) 所示。试样拉断后,弹性变形立即消失,而塑性变形则保留在拉断的试样上。可利用试样标距内的塑性变形来计算材料的断裂延伸率 A 和断面收缩率 Z 。

(2) 铸铁试样

做拉伸试验时,利用试验机的自动绘图器绘出铸铁的拉伸图,如图 2.8 所示。在整个拉伸过程中,铸铁试样变形很小,无屈服、颈缩现象,拉伸图无直线段,可以近似认为经弹性阶段直接断裂,其断口是平齐粗糙的,如图 2.7(b) 所示。其抗拉强度远小于低碳钢材料。

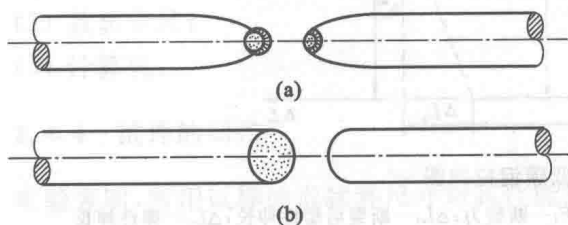


图 2.7 拉伸试样断口形状

(a) 低碳钢试样断口; (b) 铸铁试样断口

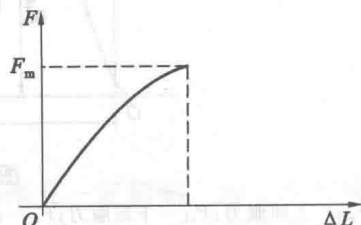


图 2.8 铸铁拉伸图

2.4.6 实验步骤

(1) 测量试件尺寸,在标距范围内,测三个断面,垂直测量,取三处测得直径的算术平均值的最小值来计算强度。

(2) 打开试验机,进入试验程序,点击“powertest”,并输入密码(学生是 1),联机。

(3) 选择方案(确定是低碳钢拉伸、铸铁拉伸还是铸铁压缩),并输入试样尺寸及相关参数。

(4) 按要求夹好试样(清零,允许不清零,加载速度已设好)。

(5) 按“▶”黄箭头开始试验,同时注意观察试件变形情况。

(6) 试件拉断后,双击屏幕,在右侧点击所要显示的参数:计算机屏幕上自动显示 $F_{eH}(R_{eH})$ 、 $F_{eL}(R_{eL})$ 、 $F_m(R_m)$ 、 $F_{bc}(R_{bc})$,记录载荷值。

(7) 试验结束,卸下破坏的试样,关机顺序:试验机、计算机。

对于低碳钢试样,断口若不在试件的中间,就要进行断口移中处理。对于拉断后的低碳钢试样,要分别测量断裂后的标距 L_0 和颈缩处的最小直径 d_0 。按照国家标准《金属材料 拉伸