

● 同济大学力学实验丛书

材料力学教学实验

第3版

同济大学航空航天与力学学院
力学实验中心 编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是在同济大学原材料力学教研室于1994年编写的《材料力学教学实验》的基础上经几次修改而成。全书共分四个部分:绪论、基本实验(10个实验)、附录、实验报告。

本书可作为高等工科大学土木、机械、水利、航空、造船、动力、采矿和电机等专业材料力学的实验课教材。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学教学实验/同济大学航空航天与力学学院
力学实验中心编.--3版.--上海:同济大学出版社,2012.7
ISBN 978-7-5608-4898-3

I. ①材… II. ①同… III. ①材料力学—实验
IV. ①TB301-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第129706号

同济大学力学实验丛书

材料力学教学实验 第3版

同济大学航空航天与力学学院力学实验中心 编

责任编辑 解明芳 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路1239号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏句容排印厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 6.25

印 数 1—3100

字 数 156000

版 次 2012年7月第3版 2012年7月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-4898-3

定 价 16.00元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

第 3 版前言

本教材是在同济大学力学实验中心 2008 年出版的《材料力学教学实验》一书的基础上修改而成。由于试验标准的改变,相应的试验方法也作了修改。书中内容修改较多的地方有第 1 章绪论,2.2 节应变电测原理简介和 2.8 节冲击实验,更新了“附录 B 主要引用的国家标准”、增加了“附录 D 新旧标准力学性能符号、名称对照表”和“附录 F YJR-5A 型静态电阻应变仪简介”,调整了附录的编排顺序。

书中所列的实验内容是同济大学多学时专业材料力学课程中所开设的实验内容。书中介绍的试验机器、量测仪器也是以同济大学力学实验中心目前所拥有的设备为基础。因此,本书汇集了同济大学材料力学实验课教学的经验和特点,反映了同济大学当前材料力学教学实验的现状。对于学时较少的专业采用本教材时,只要从中选择相关内容即可。

书中所述的名词、术语和测试方法,原则上以国家标准为依据,鉴于国内材料力学教科书与现行国家标准存在较大的差异,名词、术语部分以注解形式说明;测试方法部分在附录中列出详细说明。同时,增加了“附录 D 新旧标准力学性能符号、名称对照表”,以方便学生查阅。

在本书编写过程中,同济大学材料力学教研室的教师为本书提出了不少宝贵的意见,力学实验中心的教师参与了前后版本的编写工作。

本书再版编写者有:陈荣康(第 1 章绪论,第 2 章基本实验的第 2.2、2.5、2.6、2.7、2.9 节及对应的实验报告和附录 B,D,E,F),鲁书浓(第 2 章基本实验的第 2.1、2.3、2.4、2.8、2.10 节及对应的实验报告和附录 A,C),全书由陈荣康审稿。

由于编者水平有限,书中如有错误之处,请广大读者批评指正。

编者

2012 年 4 月

第 2 版前言

本教材是在 2005 年编写的《材料力学教学实验》一书的基础上修改而成。书中主要将第十节“叠合梁的纯弯曲实验”进行了修改,考虑今后可能会用到新型的静态电阻应变仪,所以增加了附录 D“DH3818-2 型静态电阻应变仪简介”部分的内容。另外,对原书中一些不规范的符号也作了相应的修改。

书中包括的实验内容均是同济大学全校各高学时专业材料力学课程中所开的实验课内容。书中介绍的试验机器、量测仪表也是以同济大学材料力学试验室目前所拥有的设备为基础。因此,本书汇集了同济大学材料力学实验课教学的经验和特点,反映了当前同济大学材料力学实验教学的现状。对于学时较少的专业,采用本教材时,只要从中选择相关的实验即可。

书中所述的名词、术语和测试方法,原则上以国家标准为依据。鉴于国内材料力学教科书与国标存在较大的差异,为此,其中名词、术语部分以注解说明;测试方法部分在附录中列出详细说明。

在本书编写过程中,同济大学材料力学研究组的全体教师为本书提出了不少宝贵的意见,力学实验中心的教师参与了前后版本的编写工作。

本书改版编写者有:鲁书浓(第 1 章绪论,第 2 章基本实验 1,2,3,4,8,9 节及对应的附录与实验报告),陈和(第 2 章基本实验 5,6,7 节及对应的附录与实验报告),韦林(第 2 章基本实验 10 节及对应的附录与实验报告),全书由韦林、陈荣康审稿。

由于编者水平有限,书中难免有欠缺和错误之处,请广大读者批评指正。

编者
2007 年

前 言

本书是在同济大学原材料力学教研室于 1994 年编写的《材料力学教学实验》一书的基础上经几次修改、更新而成。书中修改最多的地方是将先进的电子试验机取代原机械试验机,个别演示性的试验转变为综合设计性的试验。

书中包括的实验内容是同济大学全校各多学时专业材料力学课程中所开的实验内容。书中介绍的试验机器、量测仪表也是以同济大学材料力学试验室目前所拥有的设备为基础。因此,本书汇集了同济大学材料力学课程实验教学的经验和特点,反映了同济大学当前材料力学实验教学现状。对于学时较少的专业采用本书时,只要从中选择相关实验即可。

书中所述的名词、术语和测试方法,原则上以国家标准为依据。鉴于国内材料力学教科书与国标存在有较大的差异,为此,其中名词、术语部分以注解说明;测试方法部分在附录中列出详细说明。

在本书编写过程中航空航天与力学学院基础力学教学研究部的全体教师为本书提出了不少宝贵的意见,力学实验中心的教师参与了前后版本的编写工作。

本书改版编写者有:鲁书浓(第 1 章绪论,第 2 章基本实验 1,2,3,4,8,9 节及对应的附录与实验报告),陈和(第 2 章基本实验 5,6,7 节及对应的附录与实验报告),韦林(第 2 章基本实验 10 节及对应的附录与实验报告),全书由同济大学航空航天与力学学院力学实验中心主任韦林、陈荣康审稿。

由于编者水平有限,书中难免有欠缺和错误之处,请广大读者批评指正。

编 者
2005 年

目 录

第 3 版前言

第 2 版前言

前 言

1 绪论	(1)
2 基本实验	(3)
2.1 拉伸与压缩实验	(3)
2.2 应变电测原理简介	(14)
2.3 扭转实验	(20)
2.4 梁弯曲正应力实验	(27)
2.5 弯曲与扭转组合变形实验	(30)
2.6 电阻应变片的接桥方法实验	(35)
2.7 压杆稳定实验	(38)
2.8 冲击实验	(42)
2.9 疲劳实验(演示)	(47)
2.10 叠合梁的纯弯曲实验	(55)
附录	(59)
附录 A 主要符号、名称与单位表	(59)
附录 B 主要引用的国家标准	(61)
附录 C 数值修约规则	(62)
附录 D 新旧标准力学性能符号、名称对照表	(63)
附录 E DH3818-2 静态电阻应变仪简介	(64)
附录 F YJR-5A 静态电阻应变仪简介	(66)
实验报告	(69)
I 拉伸与压缩实验报告	(69)
II 扭转破坏实验报告	(73)
III 剪切弹性模量 G 测定实验报告	(75)

IV	梁弯曲正应力实验报告	(77)
V	弯曲与扭转组合变形实验报告	(81)
VI	电阻应变片接桥方法实验报告	(83)
VII	压杆稳定实验报告	(85)
VIII	叠合梁的纯弯曲实验报告	(87)
	参考文献	(90)

1 绪 论

1. 实验在材料力学课程中的地位

材料力学实验是“材料力学”课程的重要组成部分。材料力学理论的建立离不开实验,许多新理论的建立也要靠实验来验证。例如,材料力学中的应力-应变的线性关系就是胡克在做了一系列的弹簧实验之后建立起来的。在实际工程应用中,现有的理论公式并不能解决所有问题,这是因为实际工程中构件的几何形状和载荷都十分复杂,构件中的应力单纯靠计算难以得到正确的数据,需要借助于实验应力分析的方法。材料力学在解决工程设计中的强度、刚度和稳定性问题时,首先要知道材料的力学性能和表达力学性能的材料常数,而这些数据只有靠材料力学实验才能得到。材料力学学科的发展历史就是理论和实验二者结合的典范。

2. 材料力学实验的基本内容

(1) 测定材料力学性能的实验

这方面的内容是指,对一些材料的基本力学性能进行测定。例如,通过拉伸、压缩、扭转、冲击和疲劳等实验来测定材料的弹性模量、强度、韧性和疲劳性能等力学参数。要求学生在进行这方面实验后,能通过力学参数的测定、变形及破坏现象的观察、断口的分析来研究材料的力学性质,掌握测试的基本原理和方法。同时,在进行这类测试时,必须注意严格按照国家标准和规范来进行实验。

(2) 验证理论公式的实验

这方面的实验有梁弯曲正应力、弯扭组合变形、压杆稳定实验等。通过这些实验,可以验证根据假设推导出的理论公式,巩固课堂所学的知识,了解应变测试的基本原理,掌握初步的测试技能。

(3) 应力分析实验

作为实验应力分析的初步,在梁弯曲正应力、弯扭组合变形等电测实验的基础上,本书还介绍了应变电测原理,应变片的接桥方法等实验。使学生初步了解实验应力分析的方法和手段,为今后进一步学习和工作打下基础。

3. 实验须知

为了使实验能顺利进行,达到预期的目的,应注意下列事项:

(1) 实验前,必须认真地预习相关理论知识,了解本次实验的目的、内容和步骤,了解所使用的机器和仪器的基本原理。

(2) 要按课程表指定的时间进入实验室,完成规定的实验项目,因故不能参加者应取得教师同意并安排补做。

(3) 在实验时,应自觉地遵守实验室规章制度、遵守机器和仪器的操作规程。未经教师同意不得动用与本实验无关的仪器设备。

(4) 做实验时要严肃认真,相互配合,密切注意观察实验现象,记录全部所需测试的

数据。

(5) 按规定时间,携同原始记录,每人递交一份实验报告;要求字迹整齐清洁,书写规范并独立完成。

4. 实验报告的书写

实验报告是实验工作的总结,通过对实验报告的书写,可以提高实验者分析问题和解决问题的能力,因此,必须独立完成。报告要求条理清楚,总结全面,图表合适,表述明白,要有对实验现象的分析和自己的观点,并对问题进行讨论。实验报告中应当包括下列内容:

- (1) 实验名称、实验日期、年级专业和姓名学号。
- (2) 实验目的、原理、装置。
- (3) 使用的机器和仪器的名称、型号、精度和量程等。
- (4) 实验数据及其处理。

实验所使用的记录纸宜制成表格形式,填入相应的测量数据。填表时,要注意测量单位,此外,还要注意仪器本身的精度和测量结果的有效性。在计算中所用到的公式均须明确列出,并注明公式中各种符号所代表的意义。计算要注意有效位数,一般工程计算可取3位有效数字。

(5) 实验结果的表示

在实验中,除根据测得的数据整理并计算实验结果外,一般还要采用图表或曲线来表达实验的结果。在处理这些数据时,可借助计算机软件来处理数据、绘制图表、曲线等。此外,还可通过照片、图像等手段来丰富报告内容。

(6) 对实验结果的分析

在报告的最后部分,应当对实验结果进行分析讨论,其中应说明本实验的特点,明确主要结果的正确与否,并对误差加以分析,最后,结合实验结果回答指定的思考题和问题讨论。

2 基本实验

2.1 拉伸与压缩实验

拉伸实验是测定材料在静载荷作用下力学性能的最基本和最重要的实验之一。这不仅因为拉伸实验简便易行,易于分析,且测试技术较为成熟。更重要的是,工程设计中所选用材料的强度、塑性和弹性模量等力学性能指标,大多是以拉伸实验为主要依据。本实验将选用两种典型的材料——低碳钢和铸铁,作为常温、静载下塑性和脆性材料的代表,分别作拉伸实验和压缩实验。

2.1.1 实验目的

1. 通过对低碳钢和铸铁这两种不同性能的材料在拉伸、压缩破坏过程的观察和对实验数据、断口特征的分析,了解它们的力学性能。

2. 了解电子万能试验机的构造、工作原理和操作程序。

3. 测定低碳钢拉伸时的弹性模量 E 、下屈服强度 σ_{sl} 、抗拉强度 σ_b 、断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ ^①;测定低碳钢压缩时的屈服强度 σ_{sc} ,以及测定铸铁拉伸时的抗拉强度 σ_b 和压缩时的抗压强度 σ_{bc} 。

2.1.2 试样

1. 试样制备

由于试样的形状和尺寸对实验结果有一定的影响,为了使实验结果具有可比性,试样应按统一规定加工成标准试样。按现行国家标准 GB/T 228.1—2010《金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》规定,拉伸试样可分比例试样和定标距试样两种。比例试样是指按相似原理,原始标距 L_0 与试样截面积平方根 $\sqrt{S_0}$ 有一定的比例关系,即 $L_0 = k\sqrt{S_0}$, k 取 5.65 或 11.3,前者称短比例试样,后者称长比例试样,并修约到 5mm,10mm 的整数倍长。对圆试样,两种规格的 L_0 则分别为 $L_0 = 5d_0$ 和 $L_0 = 10d_0$ 。一般推荐用短比例试样。定标距试样是指取规定长度 L_0 ,与截面积 S_0 无比例关系。

图 1-1 为一种圆形拉伸试样,试样头部与平行部分过渡要缓和,以减少应力集中,其圆弧半径 r 依试样尺寸、材质和加工工艺而定,而 $d_0 = 10\text{mm}$ 的圆试样, $r > 4\text{mm}$ 。试样两端头部形状依试验机夹头形式而定,要保证拉力通过试样轴线而不产生附加弯矩,其长度 H 至少为夹具长度的 $3/4$ 。中部平行长度 $L_c > L_0 + d$ 。为测定断后伸长率 δ ,要在试样上标出原始标距 L_0 ,可采用划线或打点法,标出一系列等分格标记。

压缩试样常用圆柱形和正方柱形。本实验取圆柱形。为了既防止试样失稳,又要使试样

^① 由于材料力学教材仍然沿用 GB228—87 标准中的一些术语,所以,本实验指导书仍采用此标准中的性能术语,但 GB/T 228.1—2010 标准中的性能术语为下屈服强度 R_{eL} 、抗拉强度 R_m 、断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 。

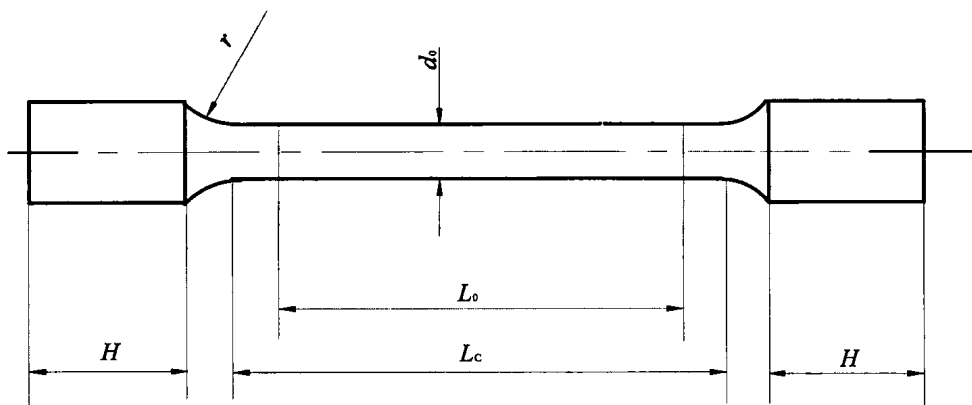


图 1-1 拉伸圆试样

中段为均匀单向压缩(距端面小于 $0.5d_0$ 内,受端面摩擦力影响,应力分布不是均匀单向的),其长度一般为 $L = (1 \sim 3.5)d_0$ 。为防止偏心受力引起的弯曲影响,对两端面的不平行度及它们与圆柱轴线的不垂直度也有一定要求。图 1-2 为圆柱形压缩试样。

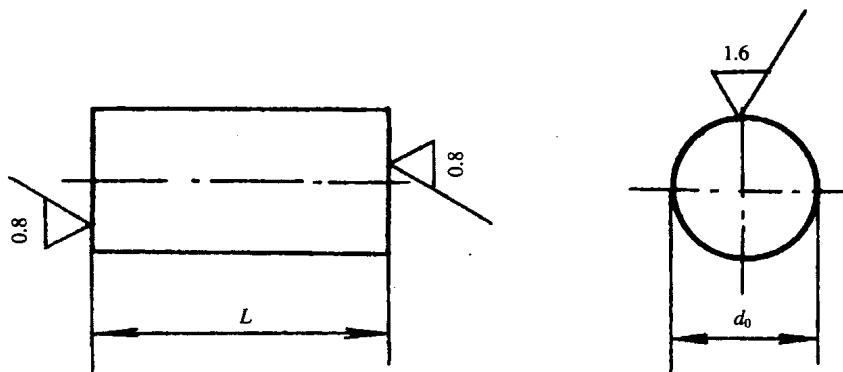


图 1-2 圆柱形压缩试样

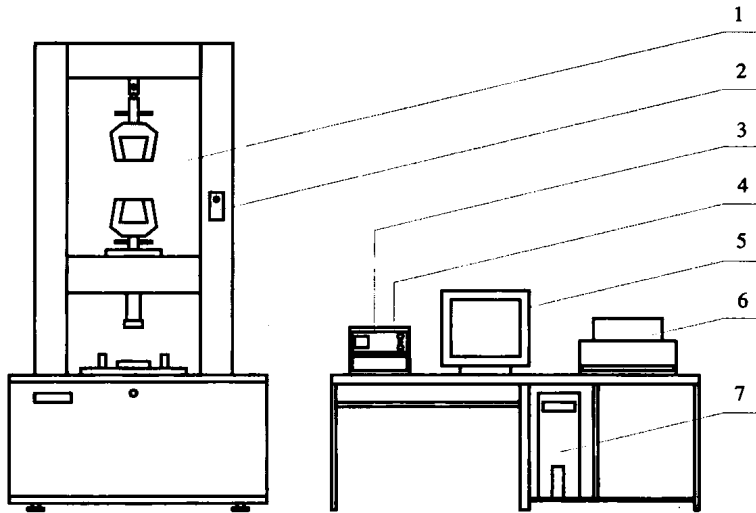
2. 试样直径测量

对于拉伸试样,取试样工作段的两端和中间共 3 个截面,每个截面在相互垂直的方向各量取一次直径,取其算术平均值为该截面的平均直径,再取这 3 个平均直径的最小值作为被测拉伸试样的原始直径。对于压缩试样,在试样的中间截面处相互垂直的方向各量取一次直径,取其算术平均值作为被测压缩试样的原始直径。

2.1.3 电子万能试验机简介

1. 构造原理

测定材料力学性能的主要设备是材料试验机。一般把同时可以作拉伸、压缩、剪切和弯曲等多种实验的试验机称为万能材料试验机。供静力实验用的万能材料试验机有液压式、机械式和电子机械式等类型。下面介绍的电子万能试验机为电子机械式的试验机,它是电子技术与机械传动相结合的一种新型试验机,以 CSS-44000 型试验机为例,它由主机、控制器、计算机系统及配件所组成,如图 1-3 所示。

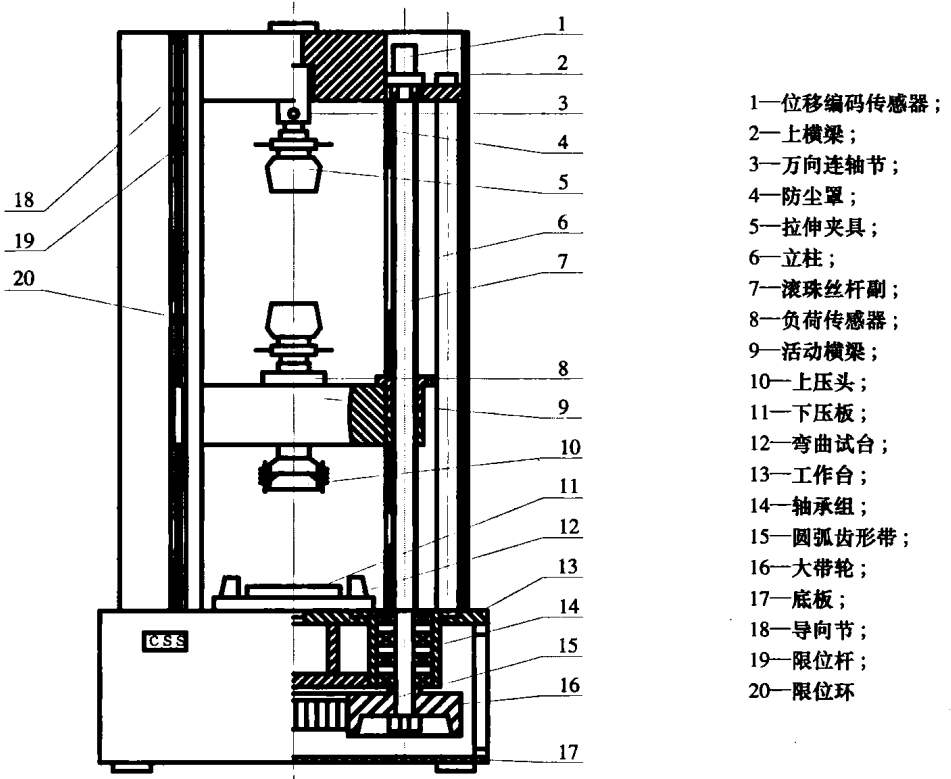


1—主机;2—手动操作盒;3—EDC控制器;4—功率放大器;5—计算机显示器;6—打印机;7—计算机主机

图 1-3 电子万能试验机布局图

(1) 主机部分

电子万能试验机主机主要由负荷机架、传动系统、夹持系统和位置保护装置四部分组成,如图 1-4 所示。



- 1—位移编码传感器;
- 2—上横梁;
- 3—万向联轴节;
- 4—防尘罩;
- 5—拉伸夹具;
- 6—立柱;
- 7—滚珠丝杆副;
- 8—负荷传感器;
- 9—活动横梁;
- 10—上压头;
- 11—下压板;
- 12—弯曲试台;
- 13—工作台;
- 14—轴承组;
- 15—圆弧齿形带;
- 16—大带轮;
- 17—底板;
- 18—导向节;
- 19—限位杆;
- 20—限位环

图 1-4 电子式万能试验机主机结构图

① 负荷机架。负荷机架由 4 根立柱支承上横梁与工作台板构成门式框架,两丝杠穿过动横梁两端并安装在上横梁与工作台板之间。工作台板由两个支脚支承在底板上,且机械传动减速器也固定在工作台板上。工作时,伺服电机驱动机械传动减速器,进而带动丝杠转动,驱使动横梁上下移动。实验过程中,力在门式负荷框架内得到平衡。

② 传动系统。传动系统由数字式脉宽调制直流伺服系统、减速装置和传动带轮等组成。执行元件采用永磁直流伺服电机,其特点是响应快,而且该电机具有高转矩和良好的低速性能。与电机同步的高性能光电编码器作为位置反馈元件,从而使动横梁获得准确而稳定的试验速度。

③ 夹持系统。对于 100kN 和 200kN 规格的电子万能试验机,在拉伸夹具的上夹头均安装有万向连轴节,它的作用是消除由于上、下拉伸夹具的不同轴度误差带来的影响,使试样在拉伸过程中只受到沿轴线方向的单向力,并使该力准确地传递给负荷传感器。但是 500kN 规格的电子万能试验机的夹具不用万向连轴节,而是通过连杆直接与夹具刚性连接。对于双空间结构的电子万能试验机(如 100kN 和 200kN 规格的试验机),下夹头安装在动横梁上。对于单空间结构的电子万能试验机(如 500kN 规格的试验机),下夹头直接安装在工作台板上。

④ 位置保护装置。动横梁位移行程限位保护装置由导杆,上、下限位环以及限位开关组成,安装在负荷机架的左侧前方。调整上、下限位环可以预先设定动横梁上、下运动的极限位置,从而保证当动横梁运动到极限位置时,碰到限位环,进而带动导杆操纵限位开关触头切断驱动电源,动横梁立即停止运行。

(2) 数字控制器

数字控制系统由德国 DOLI 公司的 EDC120 数字控制器和直流功率放大器组成。其中,功率放大器的作用在于功率放大、驱动和控制电机。通常情况下,数字控制器与计算机相联,利用计算机软件控制和完成各种实验。

2. 测量系统

电子式万能试验机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。

(1) 载荷测量

载荷测量是通过负荷传感器来完成的。本实验所用的负荷传感器为应变片式拉、压力传感器,由于这种传感器以电阻应变片为敏感元件,并将被测物理量转换成为电信号,因此,便于实现测量数字化和自动化。应变片式拉、压力传感器有圆筒式、轮辐式等类型,本试验机上采用轮辐式传感器。如图 1-5 所示,应变片通常接成全桥以提高其灵敏度和实现温度补偿。

轮辐式拉、压力传感器的弹性元件为 4 根应变梁,从图 1-5 中可知,轮轴处受到载荷 P 作用后,4 根应变梁受到剪切力,在梁的 45° 方向和 -45° 方向分别受到拉应变和压应变,故与传感器受拉方向成 45° 方向贴 4 枚应变片 R_1, R_2, R_3, R_4 ,与传感器受拉方向成 -45° 方向贴 4 枚应变片 R_5, R_6, R_7, R_8 ,然后把对称且同一方向的应变片两两串联组成测量电桥。当载荷变化时被测应变片的电信号量同时也发生变化,应变片电测原理详见 2.2 节应变电测原理简介。

(2) 变形测量

试样的伸长变形量是通过变形传感器来测得的。本实验所用的变形传感器为应变式轴

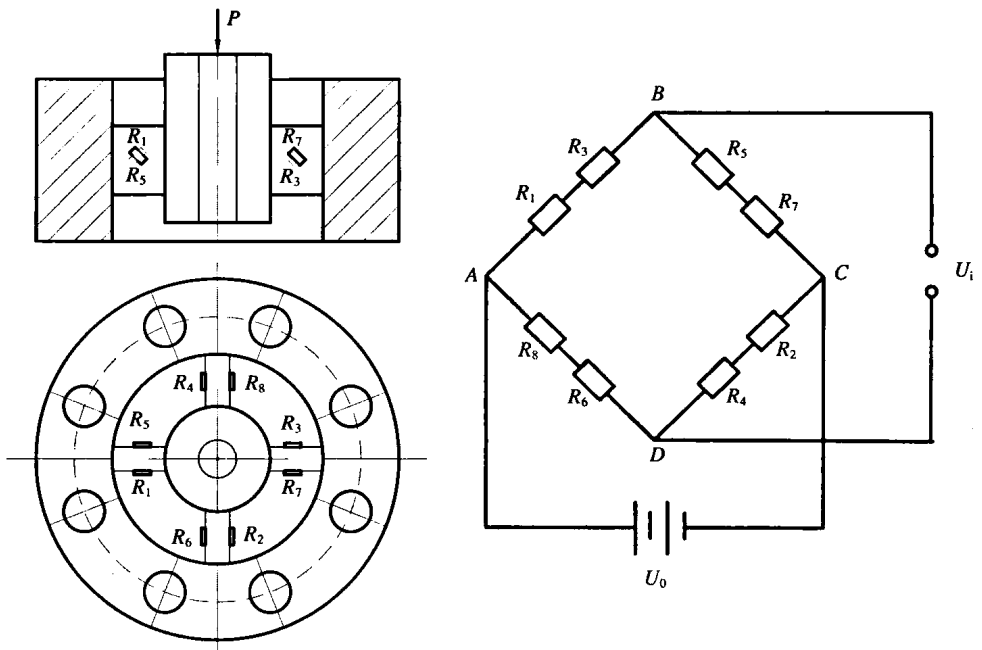


图 1-5 轮辐式拉压传感器

向引伸仪,其外形、结构原理及应变测量桥路见图 1-6 所示。引伸仪主要由刚性变形传递杆、弹性元件及贴在其上的应变片和刀刃等部件所组成。 L 为引伸仪的初始标距,其长度靠定位销插入销孔来确定。实验前,将引伸仪装夹于试样上,当两刀刃以一定压力与试样接触,刀刃

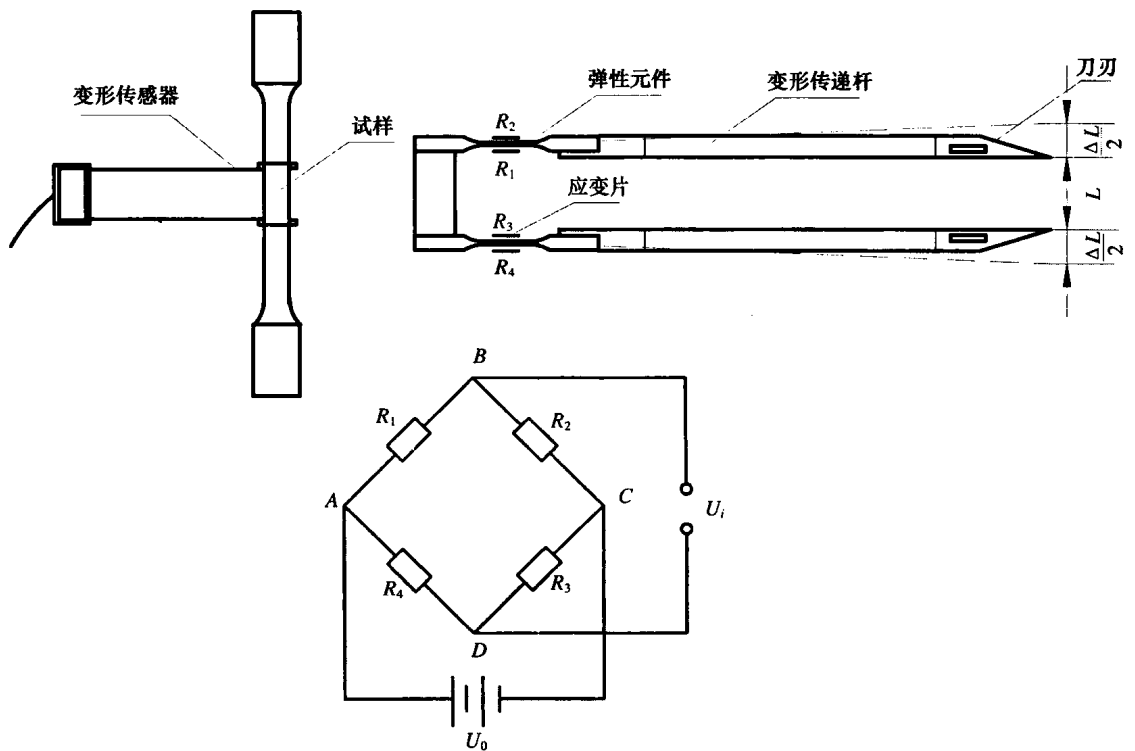


图 1-6 变形传感器外形、结构原理及应变测量桥路图

就与接触点保持同步移动,试样变形就准确地传递给引伸仪,该压力通过绑在试样上的橡皮筋得到,于是,在传递杆带动下,引伸仪的弹性元件产生弯曲应变 ϵ 。从几何关系可以得到,在一定范围内 ΔL 与 ϵ 可视为正比关系,故测得 ϵ 后,就可知道试样的伸长 ΔL ,然后通过控制器并经放大后输入计算机。

(3) 位移测量

活动横梁相对于某一初始位置的位移量是借助丝杠的转动来实现的。滚珠丝杠转动时,装在滚珠丝杠上的光电编码传感器输出的脉冲信号经过转换而测得。

3. 操作步骤

(1) 启动计算机后,打开功率放大器电源开关,控制器(上)出现 PC-CONTROL 后,双击桌面 CSS 图标,然后分别点击联机按钮和启动按钮。

(2) 在菜单栏选择条件,点击条件读盘,选低碳钢拉伸实验、压缩实验或铸铁拉伸实验、压缩实验,输入试验条件。除数据文件名、试样尺寸、实验者、实验日期、年级专业外,其他选项也可使用默认值。

(3) 安装试样,通过手动盒调节机器横梁升降,使之适合拉伸或压缩实验要求。调整时应密切观察横梁与上夹头及下支座间的空余距离,严防接触过载而损坏机器。在夹紧拉伸试样前,应将力值清零,方法为鼠标右键点击力显示框内清零。

(4) 根据实验要求安装引伸仪,安装好后拔出定位销。

(5) 由于夹具的原因在夹紧试样时试样可能已经受力,应用鼠标点击上升和暂停按钮卸除载荷。

(6) 开始试验,点击试验按钮。如安装了引伸仪,当变形超过设定值时机器会发出提示音,提醒你摘引伸仪,此时点击摘引伸仪按钮,应马上摘除引伸仪,试验继续进行。当试样破坏后按结束试验按钮并保存结果,对于低碳钢压缩实验,因为没有极限强度,当加载到 100kN 左右时或达设备的最大量程前应结束试验。

2.1.4 实验原理

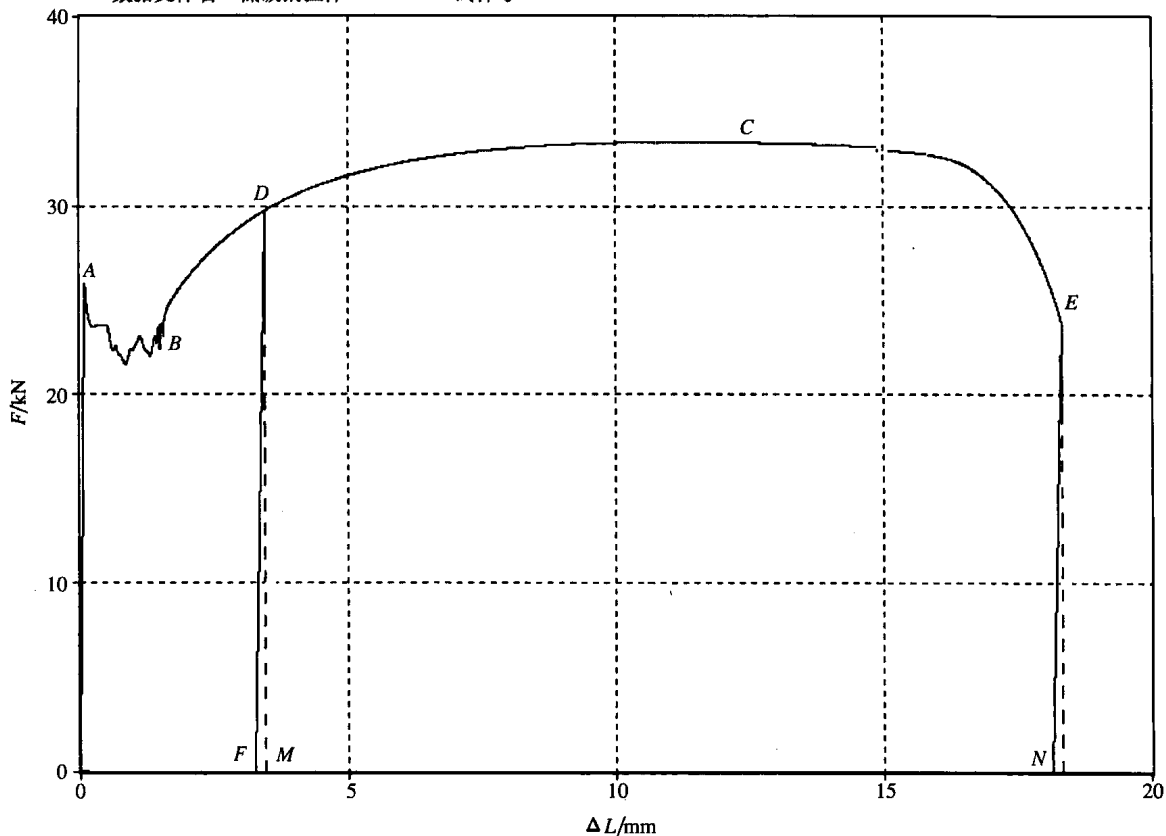
1. 低碳钢拉伸

低碳钢是工程上广泛使用的材料。低碳钢一般是指含碳量在 0.3% 以下的碳素结构钢。本次实验采用牌号为 Q235 的碳素结构钢,其含碳量在 0.14% ~ 0.22%。把试样装在电子万能试验机上进行拉伸实验,拉力由负荷传感器测得,位移由光电编码传感器测得,变形由安装在试样上的电子引伸仪测得。由于负荷传感器、位移传感器和电子引伸仪都通过数字控制器与计算机相连接,因此,低碳钢拉伸时的力和位移曲线、力和变形的关系曲线都直接反映在显示器上,并保存于计算机中。试验时可以根据需要来定义你所要画的曲线。试验结束后,还可以将数据拷出导入到其它计算机软件进行处理。

典型的低碳钢拉伸时力和变形的关系曲线($F-\Delta L$ 曲线),可分为四个阶段(图 1-7)。

(1) 弹性阶段

拉伸初始阶段(OA)段为弹性阶段,在此阶段若卸载,试样的伸长变形即可消失,即弹性变形是可以恢复的变形。在此阶段,力 F 与变形 ΔL 成正比关系为一直线。由于弹性模量是材料在线性弹性范围内的轴向应力与轴向应变之比,即 $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \left(\frac{F}{S_0}\right) / \left(\frac{\Delta L}{L_0}\right) = \frac{FL_0}{\Delta LS_0}$,

图 1-7 低碳钢拉伸时的 $F-\Delta L$ 曲线

而 $F/\Delta L$ 为直线 OA 的斜率。因此,直线 OA 的斜率乘以 L_0/S_0 即为低碳钢材料的弹性模量 E 。弹性模量 E 又称杨氏模量。

(2) 屈服阶段

继续增加载荷,当试验进行到 A 点以后,试样继续变形,但力却不再增加,而是出现一段比较平坦的波浪线。若试样表面加工光洁,那么,此时可看到 45° 倾斜的滑移线。这种现象称为屈服,即进入屈服阶段(AB 段)。其特征值屈服强度表征材料抵抗永久变形的能力,是材料重要的力学性能指标。屈服强度分为上屈服强度和下屈服强度,分别用 σ_{su} 和 σ_{sL} 表示,工程上通常采用下屈服强度 σ_{sL} 作为设计依据。

(3) 强化阶段

过了屈服阶段(B 点),力又开始增加,曲线亦趋上升,说明材料组织结构发生变化,得到强化,需要增加载荷,才能使材料继续变形。随着载荷增加,曲线斜率逐渐减小,直到 C 点,达到峰值,该点为抗拉极限载荷,即试样能承受的最大载荷。此阶段(BC 段)称强化阶段,若在强化阶段某点 D 卸去载荷,可看到此时曲线沿与弹性阶段(OA) 近似平行的直线(DF) 降到 F 点,若再加载,它又沿原直线(DF) 升到 D 点,说明亦为线弹性关系,只是比原弹性阶段提高了。 D 点的变形可分为两部分,即可恢复的弹性变形(FM 段) 和残余(永久)的塑性变形(OF 段)。这种在常温下冷拉过屈服阶段后呈现的性质,称为冷作硬化。在工程上常利用冷作硬化来提高钢筋和钢缆绳等构件在线弹性范围内所能承受的最大载荷,但此工艺同时亦降

低了材料的塑性性能,如图1-7所示,冷拉后的断后伸长 FN 比原来的断后伸长 ON 减少了。这种冷作硬化性质,只有经过退火处理才能消失。

(4) 颈缩阶段

材料强化到达最高点 C 以后,试样出现不均匀的轴线伸长,在某薄弱处,截面明显收缩,直到断裂,称颈缩现象。因截面不断削弱,承载力减小,曲线呈下降趋势,直到断裂点 E ,该阶段(CE 段)为颈缩阶段。颈缩现象是材料内部晶格剪切滑移的表现。

2. 铸铁拉伸

铸铁拉伸图(图1-8)比低碳钢拉伸图简单,在变形很小时就达到最大的载荷而突然发生断裂破坏,没有屈服和颈缩现象,其抗拉强度也远远小于低碳钢的抗拉强度。

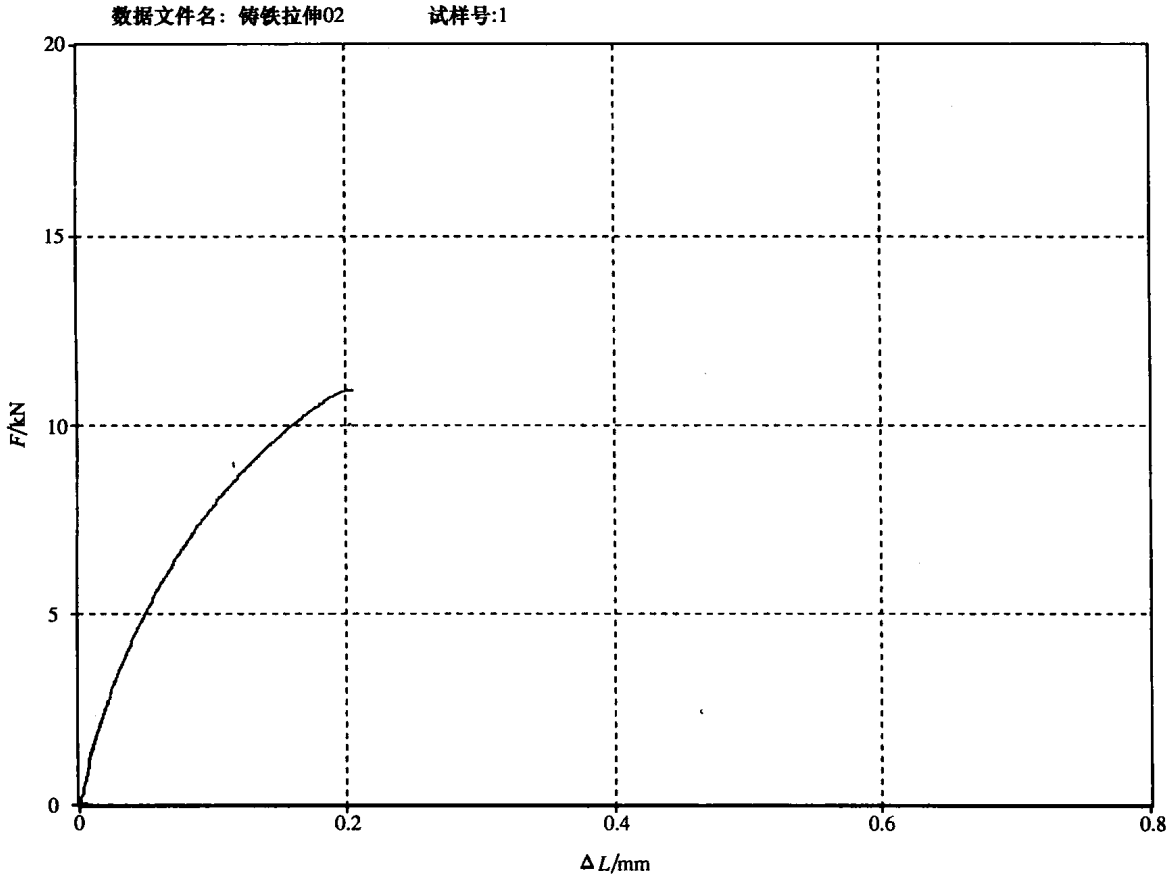


图 1-8 铸铁拉伸时的 $F-\Delta L$ 曲线

3. 低碳钢压缩

低碳钢压缩图如图1-9所示。它也有屈服阶段,当载荷超过屈服值以后,由于低碳钢是塑性材料,继续加载也不会出现明显破坏,只会越压越扁,同时试样的横截面面积也越来越大,这就使得低碳钢试样的抗压强度无法测定。由于试样两端面受到摩擦力的影响,不可能像其中间部分那样自由地发生横向变形,因此试样变形后逐渐被压成鼓形,如果再继续加载,试样则由鼓形再变成象棋形状甚至饼形。