

材料力学与结构

创新实验教程

主 编 章宝华 徐 斌



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

材料力学与结构 创新实验教程

主 编 章宝华 徐 斌
副主编 宋 慧



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

天
目
书
局
中
心

图书在版编目(CIP)数据

材料力学与结构创新实验教程/章宝华,徐斌主编.
—杭州:浙江大学出版社,2014.8
ISBN 978-7-308-13631-0

I. ①材… II. ①章… ②徐… III. ①材料力学
—实验—高等学校—教材 IV. ①TB301-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第177265号

材料力学与结构创新实验教程

主 编 章宝华 徐 斌

责任编辑 邹小宁

文字编辑 沈巧华

封面设计 王聪聪

出 版 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州教联文化发展有限公司

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 10

字 数 231千

版 次 2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-13631-0

定 价 22.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

前 言

前 言

前言

为了加强材料力学、结构力学和钢筋混凝土结构的内在联系,加强对学生基本实验能力和开展创新性、设计性和研究性实验能力的培养,我们依照行业标准以及教育部、行业教学指导委员会的要求,明确了材料力学与结构实验教学的基本要求,构建并优化了符合专业或行业标准、具有人才培养特色的材料力学与结构实验教学体系。本书不仅包含了材料力学基本实验项目和创新实验项目实验指导及结构力学静载、动载实验项目实验指导,而且还包含了钢筋混凝土基本构件实验项目实验指导。实验项目全面,而且有创新。

全书内容共分3章,第1章材料力学实验,其中的拉伸试验、压缩试验、扭转实验、弯曲正应力电测实验、弯扭组合变形的主应力测定实验是材料力学课程规定的基本实验内容,因此,该部分对实验的基本原理、操作规程和步骤都作了比较详细的阐述,以加强学生对实验基本知识和技能的培养。材料弹性模量和泊松比测定实验、叠(组)合梁弯曲的应力分析实验、偏心拉伸实验、金属材料拉扭组合实验、冲击实验为综合性、设计性、开放性实验,要求学生在老师引导下自己设计实验方案和操作步骤,给学生留出充分的思考空间,培养学生的实践和创新能力。第2章结构力学创新实验,包括基本构件及测试原理、结点性质及支座性质的对比实验、典型桁架结构静载实验、典型刚架结构静载实验、组合结构静载实验,以及振动测试与控制学生实验系统的组成与使用方法、用“利萨如图形法”测量简谐振动的频率、简谐振动的频率测量、结构振动系统固有频率的测量实验、用“利萨如图形法”测量单自由度系统的固有频率、单自由度系统强迫振动的幅频特性固有频率和阻尼的测量、单自由度系统自由衰减振动及固有频率和阻尼比的测量。该部分为综合性、设计性、开放性实验,旨在培养学生的结构创新实验能力。第3章混凝土基本构件实验,包括混凝土梁受弯实验,混凝土梁受剪破坏实验,混凝土短柱偏心受压实验。该部分是混凝土结构课程规定的基本实验内容,因此,该部分对实验的基本原理、实验方案、实验操作规程和步骤、实验数据和结果都作了比较详细的阐述,以加强学生对混凝土基本构件实验能力的培养。

本书由章宝华、徐斌担任主编,宋慧担任副主编。具体编写分工如下:第1章和第2章2.1节、2.2节、2.3节、2.4节由章宝华(南昌工程学院)编写;第2章2.8节、2.9节、2.10节、2.11节、2.12节和第3章3.1节由徐斌(南昌工程学院)编写;第2章2.5节、2.6节、2.7节和第3章3.2节、3.3节由宋慧(南昌工程学院)编写。本书由章宝华统稿,扶名福主审。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在缺点和不妥之处,恳请各位专家、同仁和广大读者批评指正。

2014年5月

目 录

第1章 材料力学实验	1
1.1 拉伸实验	1
1.2 压缩实验	5
1.3 扭转实验	8
1.4 弯曲正应力电测实验	15
1.5 材料弹性模量和泊松比测定实验	20
1.6 叠(组)合梁弯曲的应力分析实验	22
1.7 偏心拉伸实验	25
1.8 弯扭组合变形的主应力测定实验	27
1.9 金属材料拉扭组合实验	31
1.10 冲击实验	42
1.11 电测法的基本原理和电阻应变仪	45
1.12 误差分析及数据处理简介	56
第2章 结构力学创新实验	58
2.1 基本构件及测试原理	58
2.2 结点性质及支座性质的对比实验	69
2.3 典型桁架结构静载实验	74
2.4 典型刚架结构静载实验	80
2.5 组合结构静载实验	85
2.6 振动测试与控制学生实验系统的组成与使用方法	90
2.7 用“利萨如图形法”测量简谐振动的频率	91
2.8 简谐振动的频率测量	94
2.9 结构振动系统固有频率的测量实验	96
2.10 用“利萨如图形法”测量单自由度系统的固有频率	102
2.11 单自由度系统强迫振动的幅频特性	103
2.12 单自由度系统自由衰减振动及固有频率和阻尼比的测量	106

第3章 混凝土构件实验	110
3.1 混凝土梁受弯实验	110
3.2 混凝土梁受剪破坏实验	130
3.3 混凝土短柱偏心受压实验	142
参考文献	154

1.1 混凝土梁受弯实验	1.1
1.2 混凝土梁受剪破坏实验	1.2
1.3 混凝土短柱偏心受压实验	1.3
1.4 混凝土梁受弯实验	1.4
1.5 混凝土梁受剪破坏实验	1.5
1.6 混凝土短柱偏心受压实验	1.6
1.7 混凝土梁受弯实验	1.7
1.8 混凝土梁受剪破坏实验	1.8
1.9 混凝土短柱偏心受压实验	1.9
1.10 混凝土梁受弯实验	1.10
1.11 混凝土梁受剪破坏实验	1.11
1.12 混凝土短柱偏心受压实验	1.12
1.13 混凝土梁受弯实验	1.13
1.14 混凝土梁受剪破坏实验	1.14
1.15 混凝土短柱偏心受压实验	1.15
1.16 混凝土梁受弯实验	1.16
1.17 混凝土梁受剪破坏实验	1.17
1.18 混凝土短柱偏心受压实验	1.18
1.19 混凝土梁受弯实验	1.19
1.20 混凝土梁受剪破坏实验	1.20
1.21 混凝土短柱偏心受压实验	1.21
1.22 混凝土梁受弯实验	1.22
1.23 混凝土梁受剪破坏实验	1.23
1.24 混凝土短柱偏心受压实验	1.24
1.25 混凝土梁受弯实验	1.25
1.26 混凝土梁受剪破坏实验	1.26
1.27 混凝土短柱偏心受压实验	1.27
1.28 混凝土梁受弯实验	1.28
1.29 混凝土梁受剪破坏实验	1.29
1.30 混凝土短柱偏心受压实验	1.30
1.31 混凝土梁受弯实验	1.31
1.32 混凝土梁受剪破坏实验	1.32
1.33 混凝土短柱偏心受压实验	1.33
1.34 混凝土梁受弯实验	1.34
1.35 混凝土梁受剪破坏实验	1.35
1.36 混凝土短柱偏心受压实验	1.36
1.37 混凝土梁受弯实验	1.37
1.38 混凝土梁受剪破坏实验	1.38
1.39 混凝土短柱偏心受压实验	1.39
1.40 混凝土梁受弯实验	1.40
1.41 混凝土梁受剪破坏实验	1.41
1.42 混凝土短柱偏心受压实验	1.42
1.43 混凝土梁受弯实验	1.43
1.44 混凝土梁受剪破坏实验	1.44
1.45 混凝土短柱偏心受压实验	1.45
1.46 混凝土梁受弯实验	1.46
1.47 混凝土梁受剪破坏实验	1.47
1.48 混凝土短柱偏心受压实验	1.48
1.49 混凝土梁受弯实验	1.49
1.50 混凝土梁受剪破坏实验	1.50
1.51 混凝土短柱偏心受压实验	1.51
1.52 混凝土梁受弯实验	1.52
1.53 混凝土梁受剪破坏实验	1.53
1.54 混凝土短柱偏心受压实验	1.54
1.55 混凝土梁受弯实验	1.55
1.56 混凝土梁受剪破坏实验	1.56
1.57 混凝土短柱偏心受压实验	1.57
1.58 混凝土梁受弯实验	1.58
1.59 混凝土梁受剪破坏实验	1.59
1.60 混凝土短柱偏心受压实验	1.60
1.61 混凝土梁受弯实验	1.61
1.62 混凝土梁受剪破坏实验	1.62
1.63 混凝土短柱偏心受压实验	1.63
1.64 混凝土梁受弯实验	1.64
1.65 混凝土梁受剪破坏实验	1.65
1.66 混凝土短柱偏心受压实验	1.66
1.67 混凝土梁受弯实验	1.67
1.68 混凝土梁受剪破坏实验	1.68
1.69 混凝土短柱偏心受压实验	1.69
1.70 混凝土梁受弯实验	1.70
1.71 混凝土梁受剪破坏实验	1.71
1.72 混凝土短柱偏心受压实验	1.72
1.73 混凝土梁受弯实验	1.73
1.74 混凝土梁受剪破坏实验	1.74
1.75 混凝土短柱偏心受压实验	1.75
1.76 混凝土梁受弯实验	1.76
1.77 混凝土梁受剪破坏实验	1.77
1.78 混凝土短柱偏心受压实验	1.78
1.79 混凝土梁受弯实验	1.79
1.80 混凝土梁受剪破坏实验	1.80
1.81 混凝土短柱偏心受压实验	1.81
1.82 混凝土梁受弯实验	1.82
1.83 混凝土梁受剪破坏实验	1.83
1.84 混凝土短柱偏心受压实验	1.84
1.85 混凝土梁受弯实验	1.85
1.86 混凝土梁受剪破坏实验	1.86
1.87 混凝土短柱偏心受压实验	1.87
1.88 混凝土梁受弯实验	1.88
1.89 混凝土梁受剪破坏实验	1.89
1.90 混凝土短柱偏心受压实验	1.90
1.91 混凝土梁受弯实验	1.91
1.92 混凝土梁受剪破坏实验	1.92
1.93 混凝土短柱偏心受压实验	1.93
1.94 混凝土梁受弯实验	1.94
1.95 混凝土梁受剪破坏实验	1.95
1.96 混凝土短柱偏心受压实验	1.96
1.97 混凝土梁受弯实验	1.97
1.98 混凝土梁受剪破坏实验	1.98
1.99 混凝土短柱偏心受压实验	1.99
1.100 混凝土梁受弯实验	1.100

第1章 材料力学实验

1.1 拉伸实验

拉伸实验是材料力学最重要的实验之一,通过拉伸实验可以测定出材料的力学性能指标,例如,弹性模量 E 、比例极限 σ_P 、屈服极限 σ_S 、抗拉强度 σ_b 、伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 。

1.1.1 实验目的与要求

- (1)观察低碳钢(Q235钢)和铸铁在拉伸试验中的各种现象。
- (2)测绘低碳钢和铸铁试件的载荷—变形曲线($F-\Delta l$ 曲线)及应力—应变曲线($\sigma-\epsilon$ 曲线)。
- (3)测定低碳钢拉伸时的比例极限 σ_P 、屈服极限 σ_S 、强度极限 σ_b 、伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 和铸铁拉伸时的强度极限 σ_b 。
- (4)测定低碳钢的弹性模量 E 。
- (5)观察低碳钢在拉伸强化阶段的卸载规律及冷作硬化现象。
- (6)比较低碳钢(塑性材料)和铸铁(脆性材料)的拉伸力学性能。

1.1.2 实验设备、仪器和试件

- (1)微机控制电子万能试验机。
- (2)电子式引伸计。
- (3)游标卡尺。
- (4)低碳钢、铸铁拉伸试件。

1.1.3 实验原理与方法

材料的力学性能主要是指材料在外力作用下,在强度和变形方面表现出来的性质,它是通过实验进行研究的。低碳钢和铸铁是工程中广泛使用的两种材料,而且它们的力学性质也较典型。

试验采用的圆截面短比例试样按国家标准(GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸

试验方法》)制成,标距 l_0 与直径 d_0 之比为 $\frac{l_0}{d_0}=10$ 或 5,如图 1.1 所示。这样可以避免因试样尺寸和形状的影响而产生的差异,便于各种材料的力学性能相互比较。图中, d_0 为试样直径, l_0 为试样的标距。国家标准中还规定了其他形状截面的试样。

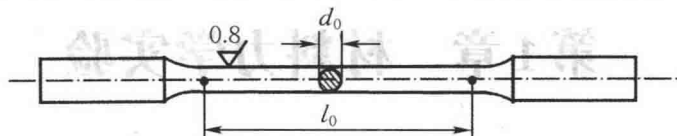


图 1.1 圆截面短化例试样

金属拉伸试验在微机控制电子万能试验机上进行,在实验过程中,与电子万能试验机联机的计算机显示屏上实时绘出试样的拉伸曲线(也称为 $F-\Delta l$ 曲线),如图 1.2 所示。低碳钢试样的拉伸曲线(见图 1.2(a))分为弹性阶段、屈服阶段、强化阶段及局部变形阶段。如果在强化阶段卸载, $F-\Delta l$ 曲线会从卸载点开始向下绘出平行于初始加载线弹性阶段直线的一条斜直线,表明它服从弹性规律。如若重新加载, $F-\Delta l$ 曲线将沿此斜直线重新回到卸载点,并从卸载点按原强化阶段曲线继续向前绘制。此种经过冷拉伸使弹性阶段加长、弹性极限提高、塑性降低的现象,工程中称为冷作硬化现象。

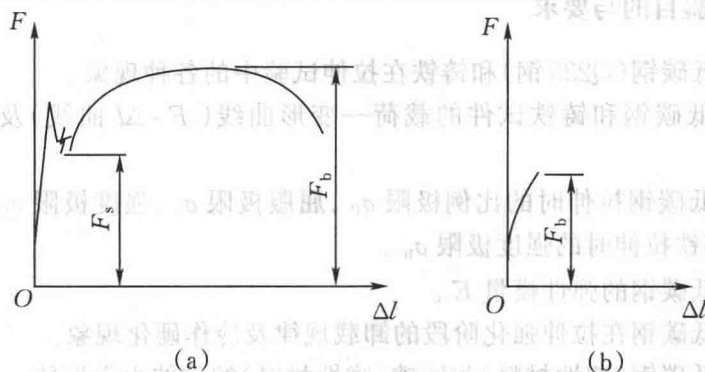


图 1.2 低碳钢拉伸曲线

圆截面铸铁试样:标距 l_0 与直径 d_0 之比为 $\frac{l_0}{d_0}=1\sim3$ 。其拉伸曲线(见图 1.2(b))比较简单,既没有明显的直线段,也没有屈服阶段,变形很小时试样就突然断裂,强度极限为衡量脆性材料强度时的唯一指标。断口与横截面重合,断口粗糙。抗拉强度 σ_b 较低,无明显塑性变形。与电子万能试验机联机的计算机自动给出低碳钢试样的屈服载荷 F_s 、最大载荷 F_b 和铸铁试样的最大载荷 F_b 。

取下试样测量试样断后最小直径 d_1 和断后标距 l_1 ,由下述公式

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-1)$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-2)$$

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

可计算低碳钢的拉伸屈服点 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 、铸铁的抗拉强度 σ_b 。如若实验前将试样的初始直径 d_0 、初始标距长度 l_0 等数据输入计算机,计算机可绘出应力—应变(σ — ϵ)曲线,并在实验结束后给出该材料的屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。

应当指出,上述所测定的力学性能均为名义值,工程应用较为方便,称为工程应力和工程应变。由于试样受力后其直径和长度都随载荷变化而改变,真实应力和真实应变须用试样瞬时截面积和瞬时标距长度进行计算。注意到试样在屈服前,其直径和标距变化很小,真应力和真应变与工程应力和工程应变差别不大。试样屈服以后,其直径和标距都有较大的改变,此时的真应力和真应变与工程应力和工程应变会有较大的差别。

低碳钢的弹性模量 E 由以下公式计算

$$E = \frac{\Delta F l_0}{A_0 \Delta l} \quad (1-5)$$

式中, ΔF 为相等的加载等级, Δl 为与 ΔF 相对应的变形增量。

1.1.4 试验步骤

1. 低碳钢(Q235钢)拉伸试验步骤

(1)在试件上用游标卡尺量取100mm,在两端各打一小孔,量取两小孔的距离,即初始标距长度 l_0 ;然后在试样标距段的两端和中间三处测量试样直径,每处直径取两个相互垂直方向的平均值,作好记录,取三处直径的最小值作为试样的初始直径 d_0 。

(2)打开计算机电源,双击桌面上的 TestExpert 图标启动试验程序,或从 Windows 菜单中点击“开始”→“程序”→“CCSS”→“TestExpert”。接着显示程序启动画面,点击该画面或等待数秒钟可直接进入程序主界面,如图1.3所示。



图1.3 程序主界面

(3)打开EDC系统,移动主菜单进入到PC-CONTROL状态。

(4)在试验机上装夹低碳钢试样。先按启动按钮启动EDC,使用手动盒移动横梁到合适位置,以方便夹持试样,然后用上夹头卡紧试样一端,使用手动盒提升试验机活动横梁,使试样下端缓慢插入下夹头的V形卡板中,锁紧下夹头。

(5)在试样的试验段上安装引伸计,注意,安装后须轻轻拔出引伸计定位销钉。

(6)通道清零。

(7)在微型电子计算机测试应用程序界面中设置实验条件(所有试验条件以.com作为扩展名)(见图1.4),主要有试验形式(如拉伸)、载荷、变形量程、加载速度、试样编号、尺寸、材料等。设置完毕,可自定义文件名,并确定工作目录后存盘,如图1.5所示。

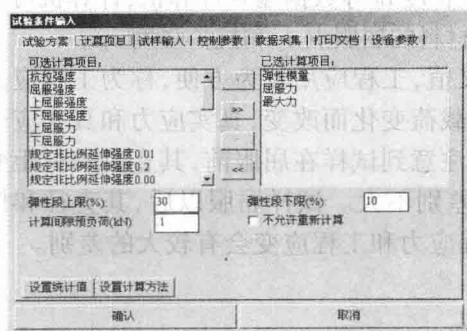


图 1.4 设置试验条件

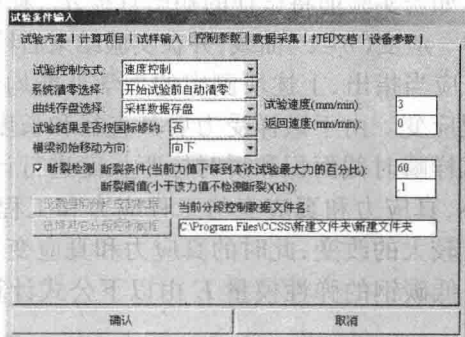


图 1.5 自定义文件名

(8)单击界面左侧“试验”按钮,开始实验如图1.6和图1.7所示。

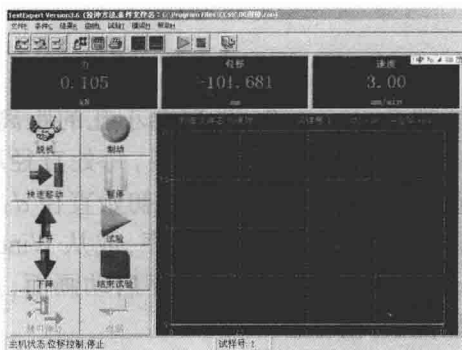


图 1.6 单击“试验”按钮

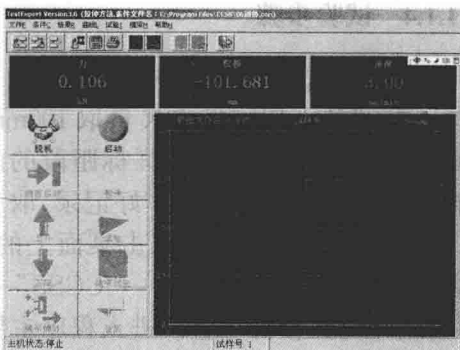


图 1.7 开始实验

(9)试件进入屈服阶段后即可拆卸引伸计,并插好引伸计销钉。

(10)当载荷—变形($F-\Delta l$)曲线进入强化阶段后,单击界面左侧“上升”按钮,进行卸载。当载荷卸至1kN左右时,再单击界面左侧“下降”按钮,重新加载。并注意观察低碳钢的卸载规律和冷作硬化现象。

(11)继续实验,注意观察试样的变形情况和“颈缩”现象。试样断裂后立即单击应用程序界面左侧“结束实验”按钮。

(12)松开夹具,取出断裂的试件,测量断后最小直径 d_1 ,断后标距长度 d_1 。

(13)完成试验后,进入曲线操作界面查看原始数据、试验结果和统计值。

(14)待试验完毕后,把断裂的试件放归指定位置,将试验机数据清零。

2. 铸铁拉伸试验步骤

(1)在试样标距段的两端和中间三处测量试样直径,每处直径取两个相互垂直方向的平均值,作好记录,取三处直径的最小值作为试样的初始直径 d_0 。

(2)重复实验步骤(2)(3)(4)(6)(7)(8)(12)(13)(14)进行铸铁试样拉伸实验。

在实验教师指导下读取实验数据。经实验指导教师检查实验结果后,结束实验并

整理实验现场。

1.1.5 实验注意事项

(1) 为避免损伤试验机的卡板与夹头,同时防止铸铁试样脆断飞出伤及操作者,应注意装卡试样时,横梁移动速度要慢,使试样下端缓慢插入下夹头的V形卡板中,不要顶撞卡板顶部;试样下端不要装卡过长,以免顶撞夹头内部装配卡板用的平台。

(2) 为保证实验顺利进行,试验时要读取正确的试验条件,严禁随意改动计算机的软件配置。

(3) 装夹、拆卸引伸计时,要注意插好定位销钉,实验时要注意拔出定位销钉,以免损坏引伸计。

1.1.6 实验报告要求

实验报告的内容包括:实验目的、实验设备、仪器和试件、实验原理、实验数据及处理、结果分析、实验体会和思考题。

1.2 压缩实验

压缩试验是材料力学最重要的实验之一,通过压缩试验可以测定材料的力学性能指标,例如,塑性材料的弹性模量 E 、比例极限 σ_p 、屈服极限 σ_s 和脆性材料的抗压强度 σ_{bc} 。

1.2.1 实验目的与要求

(1) 测定低碳钢的压缩屈服点 σ_s 和铸铁的抗压强度 σ_{bc} 。

(2) 观察铸铁试样的破坏断口,分析破坏原因。

(3) 分析比较两种材料拉伸和压缩性质的异同。

1.2.2 实验设备、仪器和试件

(1) 微机控制电子万能试验机。

(2) 游标卡尺。

(3) 低碳钢、铸铁压缩试件。

1.2.3 实验原理与方法

金属材料的压缩屈服点 σ_s 和抗压强度 σ_{bc} ,由压缩试验测定。按试验规范(GB 7314—87)要求,压缩试样应制成短圆柱形(参看图1.8)。

分析和实验均表明,压缩试验时,试样的上、下端面与试验机支承垫之间会产生很大的摩擦力(参看图 1.9),这些摩擦力将阻碍试样上部和下部产生横向变形,致使测量得到的抗压强度偏高,因而应采取措施(磨光或加润滑剂)减少上述摩擦力。注意到试样的高度也会影响实验结果,当试样高度 h_0 增加时,摩擦力对试样中段的影响减少,对测试结果影响较小。此外,如若试样高度直径比 (h_0/d_0) 较大,极易发生压弯现象,抗压强度测量值也不会准确。所以压缩试样的高度与直径的比值 (h_0/d_0) 一般规定为 $1 \leq h_0/d_0 \leq 3$ 。此外,还须设法消除压缩载荷偏心的影响。

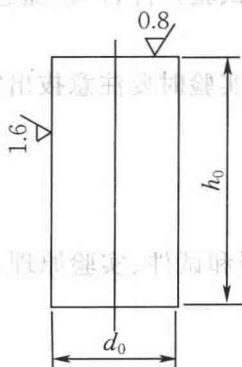


图 1.8 压缩试样

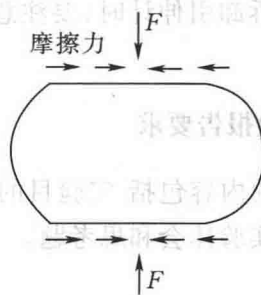


图 1.9 压缩试样产生摩擦力

进行低碳钢压缩试验时,为测取材料的压缩屈服点 σ_s ,应缓慢加载,同时仔细观察 $F-\Delta l$ 曲线的发展情况,曲线由直线变为曲线的拐点处所对应的载荷即为屈服载荷 F_s 。材料屈服之后开始强化,由于压缩变形使试样的横截面积不断增大,尽管载荷不断增大,但是,直至将试样压成饼形也不会发生断裂破坏,如图 1.10 所示。因此无法测量低碳钢的抗压强度 F_b ,压缩试验载荷—变形曲线如图 1.11 所示。

铸铁压缩试验时,由压缩试验载荷—变形曲线(见图 1.11)可看出,随着载荷的增加,破坏前试样也会产生较大的变形,直至被压成“微鼓形”之后才发生断裂破坏,破坏的最大载荷即为断裂载荷。破坏断口与试样加载轴线约成 45° 角(见图 1.11)。由于单向拉伸、压缩时的最大切应力作用面与最大正应力作用面约成 45° 角,因此,可知上述破坏是由最大切应力引起的。仔细观察试样断口的表面,可以清晰地看到材料受剪切错动的痕迹。

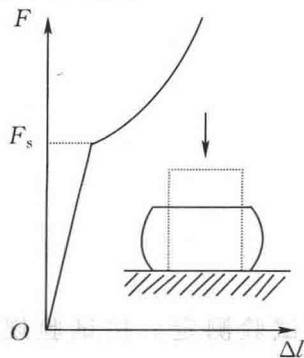
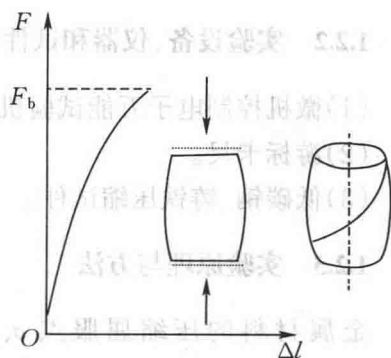


图 1.10 压缩试验载荷—变形曲线

图 1.11 断口与加载轴线成 45° 角

1.2.4 实验步骤

(1)在试件上用游标卡尺量取试样两端和中间三处测量试样直径,每处直径取两个相互垂直方向的平均值,作好记录,取三处直径的最小值作为试样的初始直径 d_0 ,并用其计算截面初始面积 A_0 。

(2)打开计算机电源,双击桌面上的 TestExpert 图标启动试验程序,或从 Windows 菜单中点击“开始”→“程序”→“CCSS”→“TestExpert”。接着显示程序启动画面,点击该画面或等待数秒钟可直接进入程序主界面。

(3)打开 EDC 系统,移动主菜单进入 PC-CONTROL 状态。

(4)把低碳钢试样放置在试验机球形支承座的中心位置上,试样上下一般都要放置坚硬平整的垫块,用以保护试验机压头及支承座,并可调整试验区间的高度,减少空行程。

(5)通道清零。

(6)在微型电子计算机测试应用程序界面中设置实验条件(所有试验条件以 .con 作为扩展名),主要有试验形式(如压缩)、载荷、变形量程、加载速度、试样编号、尺寸、材料等。设置完毕,可自定义文件名并确定工作目录后存盘。

(7)单击界面左侧“试验”按钮,开始实验。

(8)注意观察载荷—变形($F-\Delta l$)曲线,找出压缩屈服点,进入强化阶段后,观察试样变形,由于试样为塑性材料,试样压成饼形也不会发生断裂破坏,因此无法测量低碳钢的抗压强度,试样发生较明显变形后,可以卸载。

(9)铸铁压缩试验的步骤与低碳钢压缩相同。但因铸铁破坏是脆断,试样发生一定变形后,会发生断裂破坏,为防止试样压断时可能有碎屑崩出,试验前应在试样周围加设有机玻璃防护罩。铸铁压缩试验只能测得试样的断裂载荷 F_b 。注意观察试样断裂后的变形和断口的表面形貌。

(10)根据实验中测得数据,由式 $\sigma_s = F_s/A_0$ 计算低碳钢的压缩屈服点,由式 $\sigma_{bc} = F_{bc}/A_0$ 计算铸铁的抗压强度,其中 A_0 为试样截面原始面积。

(11)经实验指导教师检查实验结果后,结束实验并整理实验现场。

1.2.5 实验注意事项

(1)为保证实验顺利进行,试验时要读取正确的试验条件,严禁随意改动计算机的软件配置。

(2)铸铁压缩实验加载前要设置好试验机的有机玻璃防护罩,以免金属碎屑飞出发生危险。

1.2.6 实验报告要求

实验报告的内容包括:实验目的、实验设备、仪器和试件、实验原理、实验数据及处理、结果分析、实验体会和思考题。

1.3 扭转实验

扭转试验是材料力学最重要的实验之一,通过拉伸试验可以测定出材料的力学性能指标,例如,切变模量 G 、剪切比例极限 τ_p 、剪切屈服极限 τ_s 、抗剪强度 τ_b 。

1.3.1 实验目的和要求

- (1) 验证比例极限内的圆截面杆扭转变形的胡克定律 ($\varphi = Tl/GI_p$)。
- (2) 测定低碳钢的切变模量 G 。
- (3) 观察两类材料试样扭转破坏断口形貌,并进行比较和分析。
- (4) 测定低碳钢的屈服剪应力 τ_s 、抗剪强度 τ_b 和铸铁的抗剪强度 τ_b 。

1.3.2 实验设备、仪器和试件

- (1) 微机控制扭转试验机。
- (2) 游标卡尺。
- (3) 低碳钢、铸铁扭转试件。

1.3.3 实验原理和方法

按国家标准(GB/T 10128—1988)采用圆截面试样的扭转试验,可以测定各种工程材料在纯剪切情况下的力学性能,如材料的屈服剪应力 τ_s 和抗剪强度 τ_b 等。圆截面试样须按上述国家标准制成(见图 1.12)所示。试样两端的夹持段铣削为平面,这样可以有效地防止试验时试样在试验机卡头中打滑。

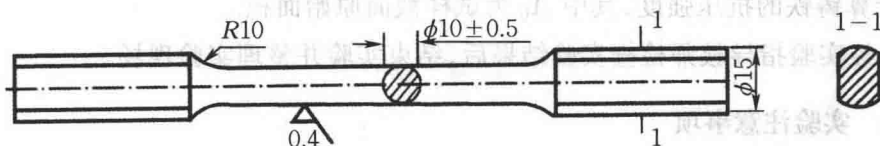


图 1.12 圆截面试样

试验中电脑自动记录扭矩和对应的扭转角,绘出扭矩—扭转角曲线,简称扭转曲线(见图 1.13)。

从图 1.13(a)可以看到,低碳钢试样的扭转试验曲线由弹性阶段(oa 段)、屈服阶段(ab 段)和强化阶段(cd 段)构成,但屈服阶段和强化阶段均不像拉伸试验曲线中那么明显。由于强化阶段的过程很长,图中只绘出其开始阶段和最后阶段,破坏时试验段的扭转角可达 10π 以上。如图 1.13(b)所示的铸铁试样扭转曲线可近似地视为直线(与拉伸曲线相似),没有明显的直线段。

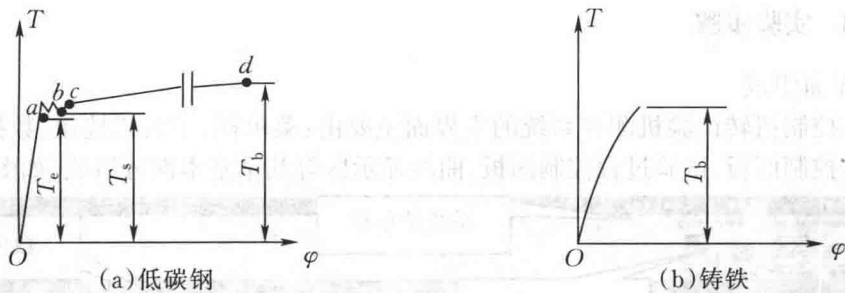


图 1.13 扭转曲线

从扭转试验机上可以读取低碳钢试样的屈服扭矩 T_s 和破坏扭矩 T_b 。由 $\tau_s = 0.75T_s/W_p$ 和 $\tau_b = 0.75T_b/W_p$ 计算材料的屈服剪应力 τ_s 和抗剪强度 τ_b ，式中， $W_p = \pi d_0^3/16$ 为试样截面的抗扭截面系数。从扭转试验机上可以读取铸铁试样的破坏扭矩 T_b 。 $\tau_b = T_b/W_p$ 计算材料的抗剪强度 τ_b ，式中， $W_p = \pi d_0^3/16$ 为试样截面的抗扭截面系数。

低碳钢试样和铸铁试样的扭转破坏断口形貌有很大的差别。如图 1.14(a)所示低碳钢试样的断面与横截面重合，断面是最大切应力作用面，断口较为平齐，可知为剪切破坏；如图 1.14(b)所示铸铁试样的断面是与试样轴线成 45° 角的螺旋面，断面是最大拉应力作用面，断口较为粗糙，因而是最大拉应力造成的拉伸断裂破坏。



图 1.14 低碳钢和铸铁的扭转破坏断口形貌

材料的切变模量 G 遵照国家标准(GB/T 10128—1988)可由圆截面试样的扭转试验测定。在弹性范围内进行圆截面试样扭转试验时，扭矩与扭转角之间的关系符合扭转变形的胡克定律 $\varphi = Tl/GI_p$ ，式中： $I_p = \pi d_0^4/32$ 为截面的极惯性矩。当试样长度 l 和极惯性矩 I_p 均为已知时，只要测取扭矩增量 ΔT 和相应的扭转角增量 $\Delta\varphi$ ，可由式

$$G = \frac{\Delta T \cdot l}{\Delta\varphi \cdot I_p} \quad (1-6)$$

计算得到材料的切变模量。实验通常采用多级等增量加载法，这样不仅可以避免人为读取数据产生的误差，而且可以通过每次载荷增量和扭转角增量验证扭转变形胡克定律。

注意到三个弹性常数 E ， μ ， G 之间的关系 $G_r = \frac{E}{2(1+\mu)}$ ，由材料手册查得材料的弹性模量 E 和泊松比 μ ，计算得到材料的切变模量 G_r ，如将计算值 G_r 取作真值，可将测试得到的 G 值与 G_r 值进行比较，检验测试误差。

1.3.4 实验步骤

1. 界面组成

微机控制扭转试验机测控系统的主界面主要由:菜单栏、工具栏按钮、数据显示区、曲线及试样控制面板、试验过程控制面板、曲线显示区等几个基本部分组成,如图1.15所示。

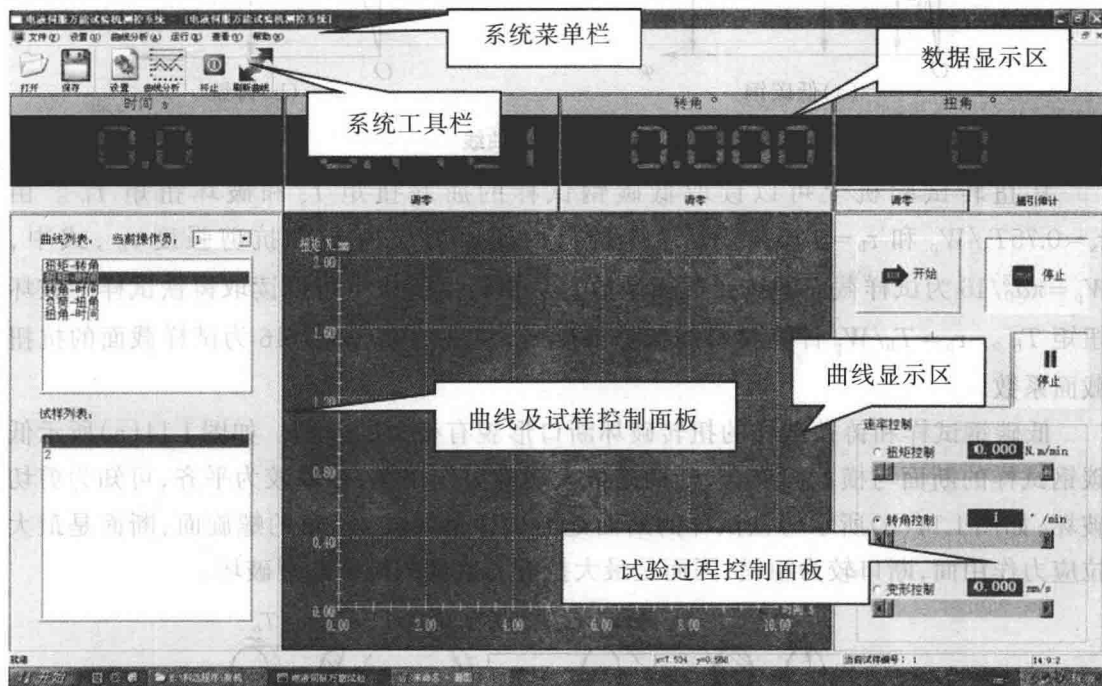


图 1.15 微机控制扭转试验机测控系统主界面

(1)系统菜单栏:可以通过菜单栏对程序进行各项操作。包括:文件操作(打开文件、保存文件、打印相关操作、退出程序等操作),设置,曲线分析,运行(开始试验、结束试验操作),查看(可对当前显示的各区域进行控制),帮助。

(2)系统工具栏:经常使用的基本操作(打开、保存、设置、曲线分析、终止、刷新曲线)。

(3)数据显示区:用于实时的显示当前的“试验开始时间”“试验扭矩”“试验角度”等数据。

(4)曲线试样控制面板:可以方便地切换当前的曲线类型以及选择已经完成的组内的试样。

(5)曲线显示区:显示当前正在进行的试验或已经完成的试验的相关曲线。

(6)试验过程控制面板:用于控制试验的开始及停止,试验的加载方向,试验的控制方式(负荷控制、角度控制),试验的加载速率。

2. 操作流程

(1)旋转螺钉将滑块调到适当位置。

(2)将试件一端试件装入静夹头,推动尾座到适当位置。

(3)用画线笔(或色笔)在碳钢试件标距的两端划圆周线,并沿轴线方向画一条母线,以观察扭转变形情况。