

| 高等职业教育“十三五”创新型规划教材 |

机械设计基础实训

■ 主 编 王春玲 宋育红 周娟丽

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育“十三五”创新型规划教材

机械设计基础实训

◎ 主 编 王春玲 宋育红 周娟丽

◎ 副主编 师 平 武欣竹

◎ 主 审 郭红星

内 容 简 介

本书主要内容由力学基础实训项目、机械设计基础实训项目和综合实训项目（原来的课程设计）三部分组成。

本书主要适合高职高专机械类、机电类专业学生使用，也可供相关专业技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

机械设计基础实训 / 王春玲, 宋育红, 周娟丽主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 8

ISBN 978 - 7 - 5682 - 2840 - 4

I. ①机… II. ①王…②宋…③周… III. ①机械设计 - 高等学校 - 教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 195942 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 9.75

插 页 / 5

字 数 / 253 千字

版 次 / 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 26.00 元

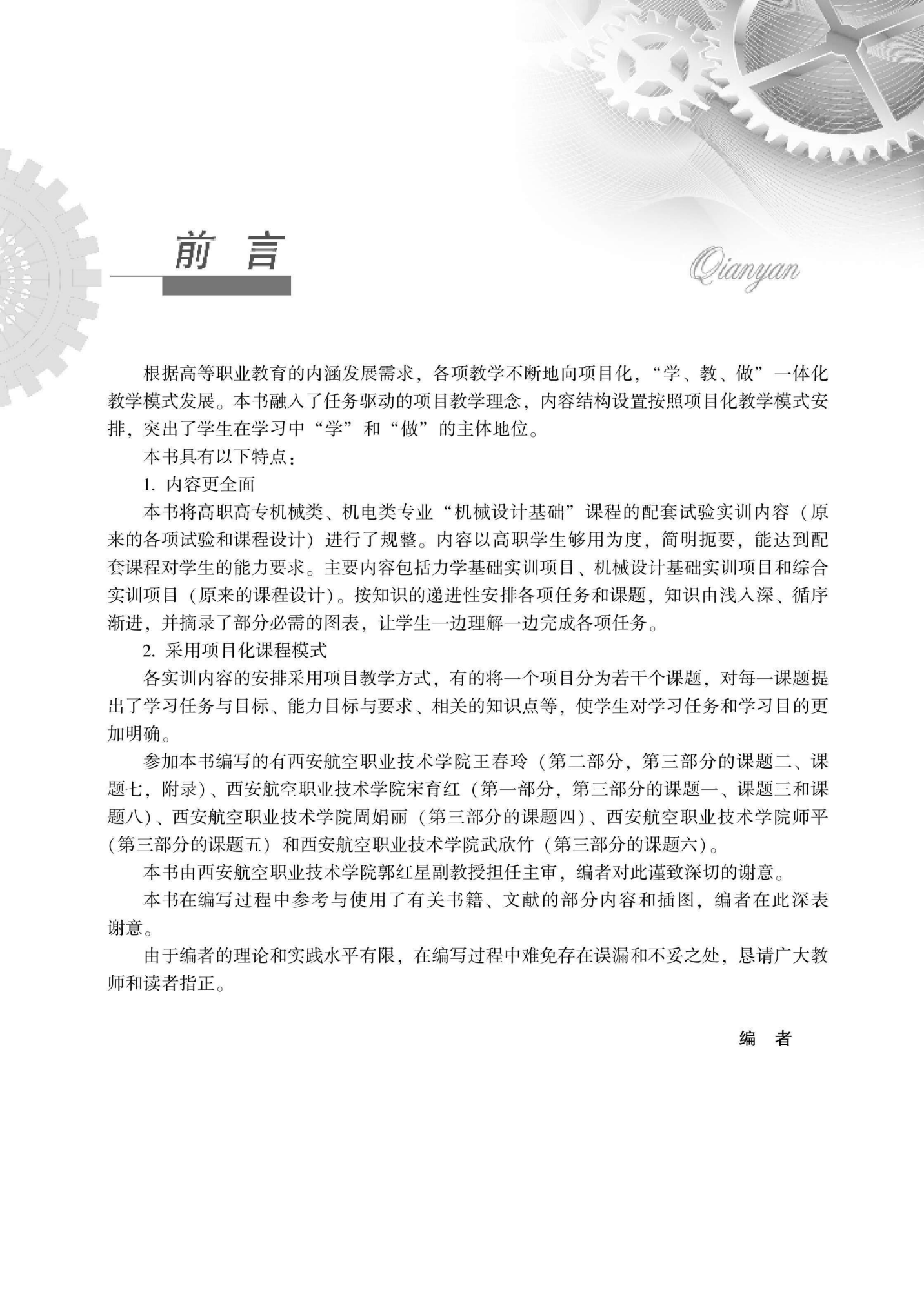
责任编辑 / 孟雯雯

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

Qianyan

根据高等职业教育的内涵发展需求,各项教学不断地向项目化,“学、教、做”一体化教学模式发展。本书融入了任务驱动的项目教学理念,内容结构设置按照项目化教学模式安排,突出了学生在学习中的“学”和“做”的主体地位。

本书具有以下特点:

1. 内容更全面

本书将高职高专机械类、机电类专业“机械设计基础”课程的配套试验实训内容(原来的各项试验和课程设计)进行了规整。内容以高职学生够用为度,简明扼要,能达到配套课程对学生的能力要求。主要内容包括力学基础实训项目、机械设计基础实训项目和综合实训项目(原来的课程设计)。按知识的递进性安排各项任务 and 课题,知识由浅入深、循序渐进,并摘录了部分必需的图表,让学生一边理解一边完成各项任务。

2. 采用项目化课程模式

各实训内容的安排采用项目教学方式,有的将一个项目分为若干个课题,对每一课题提出了学习任务与目标、能力目标与要求、相关的知识点等,使学生对学习任务和学习的目的更加明确。

参加本书编写的有西安航空职业技术学院王春玲(第二部分,第三部分的课题二、课题七,附录)、西安航空职业技术学院宋育红(第一部分,第三部分的课题一、课题三和课题八)、西安航空职业技术学院周娟丽(第三部分的课题四)、西安航空职业技术学院师平(第三部分的课题五)和西安航空职业技术学院武欣竹(第三部分的课题六)。

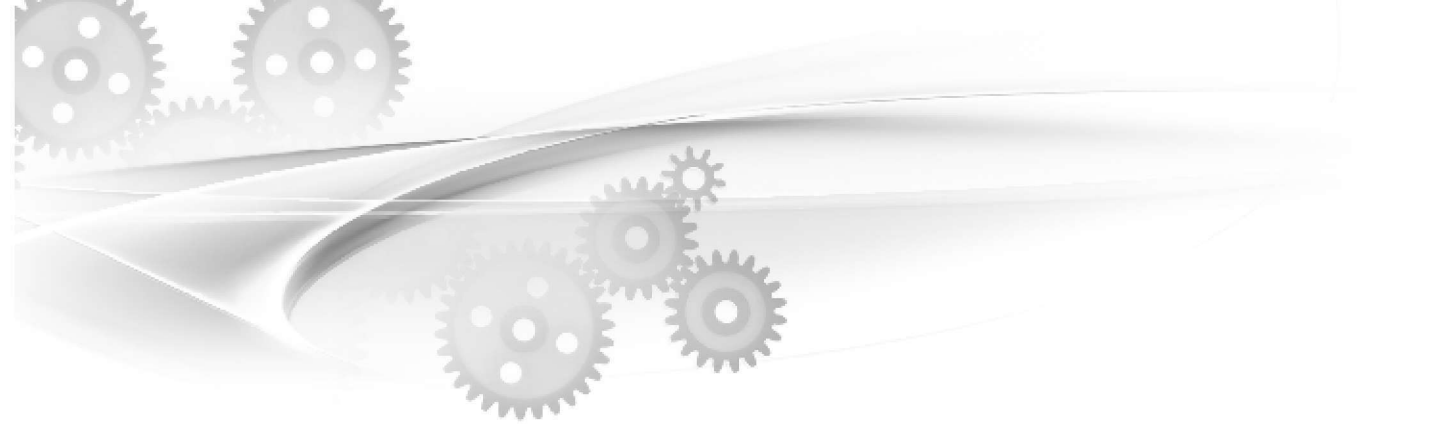
本书由西安航空职业技术学院郭红星副教授担任主审,编者对此谨致深切的谢意。

本书在编写过程中参考与使用了有关书籍、文献的部分内容和插图,编者在此深表谢意。

由于编者的理论和实践水平有限,在编写过程中难免存在误漏和不妥之处,恳请广大教师和读者指正。

编者

第一部分 力学基础实训项目	001
课题一 测量材料拉伸时的力学性能	001
课题二 测量材料轴向压缩时的力学性能	005
课题三 测量材料的剪切模量 G	007
课题四 分析梁发生纯弯曲变形时正应力的分布	010
第二部分 机械设计基础实训项目	014
课题一 认识和分析工程常见机构	014
课题二 绘制机构的运动简图	016
课题三 直齿圆柱齿轮参数的测定与分析	019
课题四 用展成法模仿齿轮的加工	023
课题五 减速器的拆装	027
课题六 基于机构组成原理的拼接	031
第三部分 机械设计基础综合实训项目	041
课题一 总论	041
课题二 传动装置的总体设计	044
课题三 传动件的设计计算	053
课题四 减速器装配工作图的设计	059
课题五 零件工作图的设计	083
课题六 应用 Auto CAD 软件绘制装配图	101
课题七 编写设计说明书和准备答辩	110
课题八 机械设计综合实训项目设计任务书	119
附录 A 常用运动副、构件的表示法	128
附录 B 深沟球轴承和角接触球轴承	129
附录 C 弹性套柱销联轴器	134
附录 D 六角头螺栓	136



目 录

Contents

附录 E 六角头螺母.....	138
附录 F 普通螺纹的内外螺纹预留长度、钻孔预留长度、螺栓突出 螺母的末端长度	140
附录 G 弹簧垫圈.....	141
附录 H Y 系列三相异步电动机的外形及安装尺寸	142
附录 I 圆柱齿轮的结构	144
附录 J 带轮的结构	145
附录 K 圆柱销、圆锥销的结构	146
参考文献.....	147



第一部分 力学基础实训项目

课题一 测量材料拉伸时的力学性能



学习任务与目标

测定金属的强度（抗拉强度、屈服强度）和塑性（伸长率、断面收缩率）指标。



能力目标与要求

1. 观察低碳钢、铸铁试样在拉伸过程中承受负荷与变形的关系，加深对低碳钢拉伸曲线的理解。
2. 了解拉伸试验机的大致构造和工作原理。



设备与仪器

1. 设备

拉伸试验使用的设备，主要是万能材料试验机和游标卡尺等。图 1-1-1 所示为液压万能材料试验机，它主要由机座、丝杠、工作液压缸和测力装置等组成。



图 1-1-1 液压万能材料试验机

2. 试样

拉伸试样分为圆形试样和板状试样两种，如图 1-1-2 所示。

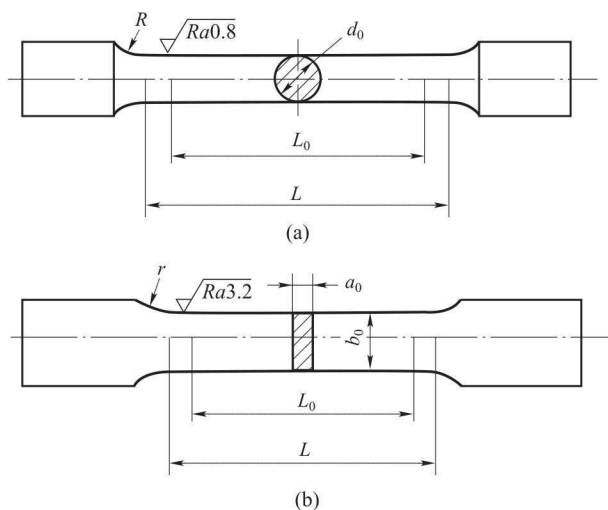


图 1-1-2 拉伸试样

(a) 圆形试样; (b) 板状试样

根据 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，拉伸试样按原始标距 L_0 与原始横截面积 A_0 之间的关系，又分为长试样和短试样。这两种试样统称标准试样。

长试样

$$L_0 = 10d_0 = 11.3 \sqrt{A_0}$$

短试样

$$L_0 = 5d_0 = 5.65 \sqrt{A_0}$$

同种材料用长试样与短试样试验时，获得的结果相差较大，故长、短试样试验所得伸长率分别以 δ_{10} 和 δ_5 表示。长试样的总伸长量略大于短试样，但 δ 是 $\Delta L/L_0$ 的百分比，因短试样的 L_0 只为长试样的一半，故对同一种材料而言， δ_5 的值应大于 δ_{10} （一般长试样所测伸长率不标注脚，即以 δ 表示）。由于短试样加工较方便并可节约材料，故目前各国标准中有优先选用短试样的趋势，我国也逐步向这方面统一。

相关知识

拉伸试验是在万能材料试验机上进行的，利用其中的自动绘图软件装置可绘出拉伸曲线，并能测出金属材料抵抗拉伸时的各项性能指标。

将试样安装在万能材料试验机上，开动机器后，缓慢加力。随着负荷增大，被测试样逐渐伸长，直至被拉断。自动绘图软件将在计算机上绘出表示负荷 (F) 与试样伸长量 (ΔL) 关系曲线的图形，通常称为拉伸曲线图，如图 1-1-3 所示。

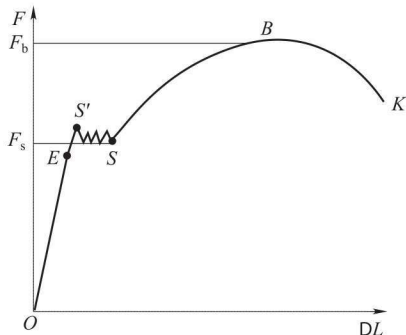
图 1-1-3 低碳钢的
拉伸曲线图



图 1-1-3 中 OE 为直线, 表明试样的伸长量与负荷成正比。若此时卸除负荷, 变形恢复, 即为弹性变形。继续加载则试样增至点 S' 后, 负荷不再继续增加甚至略有下降, 而试样仍能继续伸长, 这种现象称为材料“屈服”。此时, 退火的低碳钢将出现屈服平台, 曲线上将会出现锯齿状曲线, 其中最小负荷(点 S)称为屈服极限负荷, 以 F_s 表示。继续增大负荷, 曲线又上升, 材料抵抗变形的能力增强, 一般称为形变强化。至点 B 时负荷达到最大值 F_b , 试样的某一截面开始缩小, 出现局部的“缩颈”现象。由于试样截面缩小, 因而负荷开始下降, 变形集中于颈部, 当达到 K 点时, 试样在缩颈处被拉断。

测量试样拉断时的标距 L_1 、断裂处的横截面积 A_1 和已知的原始标距 L_0 及原始横截面积 A_0 , 按下列公式计算, 即可求出材料的强度和塑性指标。

屈服强度 σ_s

$$\sigma_s = F_s / A_0$$

抗拉强度 σ_b

$$\sigma_b = F_b / A_0$$

伸长率 δ

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0$$

断面收缩率 Ψ

$$\Psi = (A_0 - A_1) / A_0$$

操作步骤

1) 首先检查试样表面有无显著刀痕、机械缺陷和肉眼可见的冶金缺陷, 然后测量试样直径, 测定标距 $L_0 = 40\text{mm}$ 并打上标记, 在标记以内测量三次直径 d_1 、 d_2 、 d_3 , 将三次的平均值记为该试件试验前的直径, 做好记录。

2) 了解试验机型号、作用原理、操作规程, 检查机器各部分是否正常, 然后将“工作/夹紧”按钮扳到夹紧状态, 将试样安装在试验机的上、下钳口内。

3) 将计算机上所有数据清零, 将“工作/夹紧”按钮扳到工作状态, 开动机器, 缓慢送油, 此时试样被拉长, 计算机上将会绘制出负荷与伸长量的对应曲线, 直至拉断试样, 即拉伸曲线图。

4) 试样拉断后, 按下“停机”按钮, 将“工作/夹紧”按钮扳到夹紧状态, 取下试样。将已断的试样接合, 用游标卡尺测量断口处的最小直径 d_1 (在断口两个垂直方向各测一次, 取平均值) 和标距长度 L_1 , 并将试验结果分别填入实训报告表内。

结论分析

1) 根据试验所测数据和试样已知数据值, 按公式算出试样材料的 σ_s 、 σ_b 、 δ 和 Ψ (铸铁只算出 σ_b 即可)。

在计算时, 应将测力装置中力的单位换算为我国法定计量单位, 数据精确至 0.5 个单位 (<0.25 时可略去; $0.25 \sim 0.75$ 时记为 0.5; ≥ 0.75 时记为 1.0)。



2) 如出现下列情况之一, 结果无效, 应重做:

- ①在标距标记或标距外断裂。
- ②试样出现两个或两个以上缩颈。
- ③操作中记录有误或设备、仪器发生故障。
- ④试样断口处有内部缺陷。

3) 必须注明试样断裂位置, 当断裂处到最邻近标距端点的距离大于 $L_0/3$ 时, 试验正常; 如断裂处到最邻近标距端点的距离小于或等于 $L_0/3$, 则必须按 GB/T 228.1—2010《金属材料 拉伸试验 第1部分: 室温试验方法》的规定进行校正。

观察与思考

- 1) 试验时应仔细观察负荷大小与试样伸长量的变化情况, 注意记录屈服负荷 F_s , 上、下屈服点 S' 、 S 和最大负荷 F_b 。
- 2) 观察试样缩颈位置断口的形态及特征。
- 3) 低碳钢和灰铸铁试样的拉伸曲线有何不同? 试样拉断后, 断口特征有何不同?

拉伸试验实训报告

实训名称						日期		
班级		姓名		学号		成绩		
1. 实训目的								
2. 设备与仪器								
3. 数据记录	试件材料		低碳钢		铸铁			
	试件参数		实训前	实训后	实训前	实训后		
			直径 $d_0 =$	$d_1 =$	直径 $d_0 =$	$d_1 =$		
			横截面积 $A_0 =$	$A_1 =$	横截面积 $A_0 =$	$A_1 =$		
			标距 $L_0 =$	$L_1 =$	标距 $L_0 =$	$L_1 =$		
	试件 草图	实训前						
		实训后						
	低碳钢拉伸曲线图				铸铁拉伸曲线图			
	屈服载荷 $F_s =$ 最大载荷 $F_b =$				最大载荷 $F_b =$			

续表

实训名称							日期	
班级		姓名		学号			成绩	
4. 数据处理	力学性能	强度性能/MPa	$\sigma_s = F_s / A =$ $\sigma_b = F_b / A =$			$\sigma_b = P_b / A =$		
		塑性性能	$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% =$ $\psi = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\% =$					
5. 结果分析								

课题二 测量材料轴向压缩时的力学性能



学习任务与目标

1. 测定铸铁的抗压强度 σ_b 。
2. 测定低碳钢压缩时的屈服极限 σ_s 。



能力目标与要求

1. 观察铸铁和低碳钢的破坏现象。
2. 通过压缩试验现象，比较塑性材料和脆性材料力学性能的区别。



设备与仪器

1. 设备

压缩试验所使用的设备有液压万能材料试验机和游标卡尺等。

2. 试样

低碳钢和铸铁试样形状尺寸相同，一般规定 $1.5 < h/d < 8$ ，本试验 $d = 10\text{mm}$ ， $h = 15\text{mm}$ ，如图 1-2-1 所示。

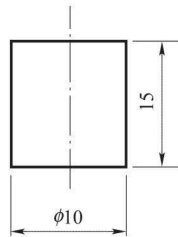


图 1-2-1 压缩试样

相关知识

金属材料的压缩试样常做成短圆柱体，以避免试验时被压弯。图 1-2-2 所示实线为低碳钢压缩时的 $\sigma-\varepsilon$ 曲线，与拉伸时的 $\sigma-\varepsilon$ 曲线（虚线）相比较，在直线部分和屈服阶段两曲线大致重合，其弹性模量 E 、比例极限 σ_p 和屈服点 σ_s 与拉伸时基本相同，因此认为低碳钢的抗拉性能与抗压性能是相同



的。在曲线进入强化阶段后,试样会越压越扁,先被压成鼓形,最后变成饼状。

图 1-2-3 所示为铸铁压缩时的 σ - ε 曲线,曲线没有明显的直线部分,在应力较小时,可以近似地认为符合胡克定律。曲线没有屈服阶段,变形很小时沿与轴线成大约 45° 角的斜截面发生断裂破坏。曲线最高点的应力值称为拉压强度,用 σ_{bc} 表示。与拉伸 σ - ε 曲线(虚线)比较可见,铸铁材料的拉压强度为抗拉强度的 4~5 倍。其抗压性能远大于抗拉性能,反映了脆性材料的共有属性。因此,工程中铸铁等脆性材料常用作承压构件,而不用作拉伸构件。

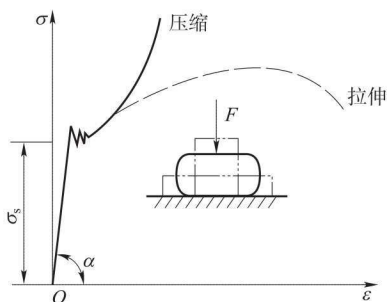


图 1-2-2 低碳钢压缩时的 σ - ε 曲线

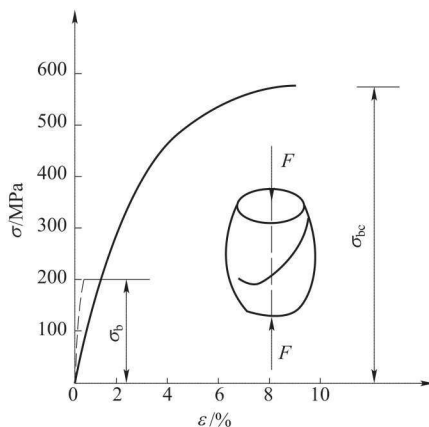


图 1-2-3 铸铁压缩时的 σ - ε 曲线

在操作过程中需记下以下数据:

- 1) 铸铁抗压强度 σ_{bc} : 记录破坏时的载荷读数 F_{bc} , 用公式 $\sigma_{bc} = F_{bc}/A$ 求出。
- 2) 低碳钢屈服强度 σ_s : 用公式 $\sigma_s = F_s/A$ 求出。

操作步骤

- 1) 测量试样的直径 d 和高度 h 。
- 2) 打开总开关, 接通电源。
- 3) 根据所需的载荷选好坐标。
- 4) 在计算机上将所有数据清零。
- 5) 将试样放置于工作台上。
- 6) 将“工作/夹紧”按钮扳到工作状态, 开启油泵电动机, 打开进油阀使上工作台下降, 快接近下压头时, 关闭油阀。
- 7) 缓慢拧开送油阀进行加载试验。
- 8) 试件断裂(或试验规定最大载荷)后, 关闭送油阀, 并停止油泵电动机。
- 9) 记录所需数值。
- 10) 打开回油阀, 卸载后关闭油阀。
- 11) 取下断裂试样。
- 12) 切断电源。



结论分析

由于低碳钢在压缩时的屈服现象不如拉伸时明显，在试验中有可能观察不出来，通过与拉伸时曲线的斜率进行对比，便可得出低碳钢的提拉强度与抗压强度几乎是相同的。

观察与思考

- 1) 通过拉伸与压缩试验比较塑性和脆性材料力学性能的区别。
- 2) 说明铸铁为什么在与轴线成 45°角的截面处断裂。

压缩试验实训报告

实训名称						日期	
班级		姓名		学号		成绩	
1. 实训目的							
2. 设备与仪器							
3. 数据记录	材料	低碳钢				铸铁	
	试件直径 d/mm						
	横截面积 A/mm^2						
	屈服载荷 F_s/N						
	最大载荷 F_b/N						
4. 数据处理	屈服极限 $\sigma_s = F_s/A$						
	强度极限 $\sigma_b = F_b/A$						
	实训前试件形状图						
	实训后试件形状图						
5. 结果分析							

课题三 测定材料的剪切模量 G



学习任务与目标

测定材料的剪切模量 G 和抗扭强度。



能力目标与要求

1. 掌握测定材料剪切模量 G 的原理。
2. 验证扭转变形时的胡克定律。
3. 会对数据进行处理。



设备与仪器

1. 设备

本试验所使用的设备有数显式扭转试验机和游标卡尺。数显式扭转试验机如图 1-3-1 所示, 最大扭矩为 $100\text{N} \cdot \text{m}$, 由夹持部分、加载部分、数据显示部分组成。数据显示部分有角度 (单位为 $^\circ$) 显示、载荷显示 (单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$) 和刚度显示。



图 1-3-1 数显式扭转试验机

2. 试件 (见图 1-3-2)

标距 $L = 150\text{mm}$ 。

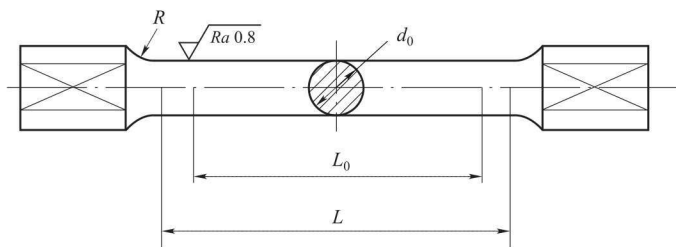


图 1-3-2 扭转试件



相关知识

1. 剪切模量

由扭转变形时的胡克定律可知, 扭转角 $\Phi = TL/GI_p$, 在本试验中表达为 $\Delta\Phi = \Delta TL/GI_p$, 其中, $\Delta T = 5\text{N} \cdot \text{m}$, $L = 150\text{mm}$, 试件横截面对中心的极惯性矩 $I_p = \pi d^4/32 \approx 0.1d^4$, 所以材料的剪切模量 $G = \Delta TL / \Delta\Phi I_p$ 。

2. 抗扭强度

抗扭强度的计算公式为

$$\tau_{\max} = T_{\max} / W_p$$

式中, $W_p = \pi d^3/16 \approx 0.2d^3$ 。

操作步骤

- 1) 用游标卡尺在试样的有效长度内测量三次直径, 取平均值记为 d_0 。
- 2) 将试样夹持在仪器上, 用粉笔沿试样母线方向做一标记。
- 3) 将所有数据清零。
- 4) 转动手轮缓慢加载, 将载荷缓慢连续加至 $1\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $6\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $11\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $16\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $21\text{N} \cdot \text{m}$, 分别记录对应扭转角的数值。注意, 这个数值必须在材料的弹性变形范围内读取 (显示屏上刚度显示数据的整数部分不为零时, 材料发生的是弹性变形, 否则是塑性变形)。
- 5) 继续加载荷, 以每秒钟不超过 5° 的速度加载直至将试样扭断。
- 6) 按下载荷显示下的峰值按钮, 记下最大扭矩 $T_{\max}$ 。

观察与思考

试件在扭转变形前后为什么截面直径尺寸几乎不改变?

测量剪切模量 G 的实训报告

实训名称						日期	
班级		姓名		学号		成绩	
1. 实训目的							
2. 设备与仪器							



续表

实训名称						日期	
班级		姓名		学号		成绩	
3. 数据记录 及处理	扭矩 $T/$ ($\text{N} \cdot \text{m}$)	扭矩增量 $\Delta T/$ ($\text{N} \cdot \text{m}$)	扭转角 读数 $\Phi/$ ($^{\circ}$)	扭转角 读数增量 $\Delta \Phi/$ ($^{\circ}$)		备注	
						$\Delta \Phi_{\text{平均}} =$ 注：单位换算 为弧度	
4. 结果处理	$G = \Delta TL / \Delta \Phi I_p =$ $\tau_{\max} = T_{\max} / W_p =$						

课题四 分析梁发生纯弯曲变形时正应力的分布



学习任务与目标

1. 测量梁发生纯弯曲变形时沿着梁高度的正应力的值。
2. 分析梁发生纯弯曲变形时沿着梁高度的正应力的分布规律。



能力目标与要求

1. 会测量梁发生纯弯曲变形时沿着梁高度的正应力的值。
2. 能够总结梁发生纯弯曲变形时沿着梁高度的正应力的分布规律。



设备与仪器

本试验所用设备包括 CHW81 型纯弯曲梁试验仪器、电阻应变仪和预调平衡箱。截面梁试件、材料、合金钢试件尺寸及实训装置简图如图 1-4-1 所示。

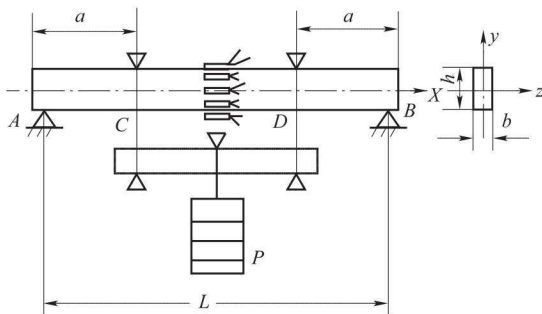


图 1-4-1 纯弯曲梁

注: $L=60\text{cm}$, $a=20\text{cm}$, $h=2\text{cm}$, $b=1\text{cm}$

相关知识

设备装置如图 1-4-1 所示, CD 段为纯弯曲段, 其弯矩为 $M=Pa/2$, 由弯曲理论可知横截面上各点的正应力为

$$\sigma = My/I_z \quad (1-1)$$

式中, y 为该点到中性轴的距离; I_z 为横截面对中性轴 z 轴的惯性矩。

对于矩形截面

$$I_z = bh^3/12 \quad (1-2)$$

由于 CD 段是纯弯曲, 各纵向纤维之间互不挤压, 只产生伸长或缩短, 所以各纵向纤维为单位应力状态, 只要测出各点的应变 ε , 即可按胡克定律算出正应力

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1-3)$$

在 CD 段内取一截面, 沿不同高度贴五片应变片, 第一和第五片距中性轴 $y=\pm h/2$; 第二和第四片距中性轴 $y=\pm h/4$; 第三片就中性轴位置上, $y=0$ 。测出各点应变后, 即可按式 (1-3) 计算出正应力 σ , 并画出应力沿截面高度的分布规律, 从而可与由式 (1-1) 算出的理论值 σ 进行比较。

操作步骤

- 1) 在 CD 段的中间截面处贴五片应变片与轴平行, 各应变片相距 $h/4$, 作为工作片。在该梁的端部不受力处贴一片应变片, 作为补偿片。
- 2) 把工作片和补偿片用导线与预调平衡箱和应变仪接通电流, 将应变仪调到平衡位置。
- 3) 采用砝码等载荷加载, 每次加载荷 $\Delta P=25\text{N}$, 通过已调平衡的应变仪记录各点的应变读数, 共加五级砝码。
- 4) 取 5 次测量的平均值作为测量平均应变, 代入式 (1-3) 即可得出各点的弯曲正应力, 并画出测量正应力的分布图。

观察与思考

- 1) 纯弯曲梁截面上的正应力如何分布?
- 2) 为什么有时测得 3 点的应力值不为 0?