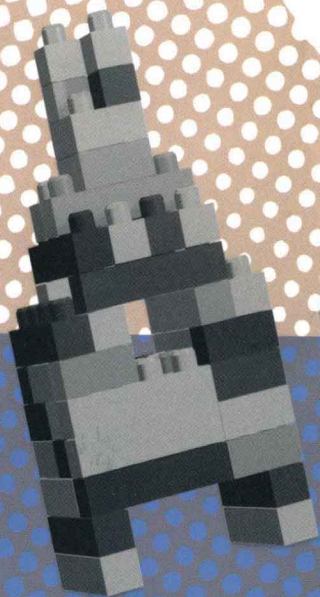


高等学校教材

实验力学基础

邓小青 主编 沈超明 副主编



高等学校教材

实验力学基础

SHIYAN LIXUE JICHU

邓小青 主编 沈超明 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是在《工程力学实验》(第2版)的基础上修订的,包括绪论、基本实验、综合性与思考性实验、提高型实验、实验设备及仪器等五部分内容。随着各种实验教学仪器、设备的不断更新和完善,本次修订对书中的实验教学内容进行了调整与修改。本书立足本科教学,兼顾研究生的培养要求,并结合“卓越工程师”培养建点,注重教材的适用性。

本书可作为高等院校的机械、材料、建筑、土木、交通等工科类专业的本科生教材。

图书在版编目(CIP)数据

实验力学基础 / 邓小青主编. -- 北京 : 高等教育出版社, 2013. 2

ISBN 978-7-04-036843-7

I. ①实… II. ①邓… III. ①实验应力分析-高等学校-教材 IV. ①0348

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第009071号

策划编辑 黄 强	责任编辑 黄 强	封面设计 于 涛	版式设计 余 杨
插图绘制 尹 莉	责任校对 王 雨	责任印制 韩 刚	

出版发行 高等教育出版社	咨询电话 400-810-0598
社 址 北京市西城区德外大街 4 号	网 址 http://www.hep.edu.cn
邮政编码 100120	http://www.hep.com.cn
印 刷 三河市骏杰印刷厂	网上订购 http://www.landraco.com
开 本 787mm × 960mm 1/16	http://www.landraco.com.cn
印 张 9.75	版 次 2013 年 2 月第 1 版
字 数 170 千字	印 次 2013 年 2 月第 1 次印刷
购书热线 010-58581118	定 价 16.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 36843-00

前 言

为适应高等教育改革的发展趋势,从培养学生的创新能力出发,进行全面的素质教育,我们对基础力学实验课程进行整合,本着有利于教学的目的,编写了这本教材。

本书实验分为三部分,即基本实验、综合性与思考性实验和提高型实验。第2章对基本实验进行了比较详细的介绍,是本书的重点,包括破坏性实验、主要力学性能测定及力学实验的基本测试方法(机测法、电测法、光测法)等,对实验的具体要求和操作规程都作了比较详细的叙述,以加强实验基础知识和技能的培养。综合性与思考性实验是第3章的主要内容,只提出实验要求,有的实验给予适当提示,要求学生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。第4章主要介绍提高型实验,是基本实验的扩充,展示了材料的各向异性、应力-应变的非线性问题,以及现代测试中常遇到的贴片技术、传感器标定、实验数据的采集和处理等知识,以开阔学生的眼界。为拓展学生的知识面和思维空间,教材内容略多于课程的基本要求。

本书是在邓小青《工程力学实验》(第2版)的基础上修订的,书名改为《实验力学基础》。随着各种实验教学仪器、设备的不断更新和完善,本次修订对书中的实验教学内容和设备进行了调整与修改,完善与增补了实验思考题目,对全书的内容和文字作了必要的增删和修改。

全书由邓小青负责编写、统稿,沈超明负责部分实验的调试工作。中国科学技术大学尹协振教授审阅了全稿,并提出了很好的修改意见,在此深表感谢。

限于编者水平,疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年6月

主要符号表

符号	量的名称	符号	量的名称
A	面积, 振幅	a	间距, 加速度
b	宽度	d	直径, 距离, 力偶臂
D	直径	E	弹性模量(杨氏模量), 电动势
F	力, 集中载荷	F_N	法向约束力
F_{cr}	临界载荷, 分叉载荷	F_s	屈服载荷
F_u	极限载荷	g	重力加速度
G	切变模量	h	高度
I	惯性矩	I_p	极惯性矩
J	转动惯量	K	应变片灵敏系数
K_d	动荷因数	K_σ, K_τ	有效应力集中因数
K_{IC}	断裂韧度	m	质量, 分布力偶集度
M	弯矩	M_y, M_z	弯矩
M_e	外力偶矩	M_O	对点 O 的矩
n	转速, 自然数	P	功率, 重量
p	压力	T	扭矩, 周期, 动能
R, r	半径, 电阻, 应力比, 相关系数	v	速度
t	时间	W	功, 弯曲截面系数, 重量
U	电压	w	挠度
V	势能	x, y, z	坐标
W_t	抗扭截面系数	γ	切应变
θ	梁截面的转角, 角位移	Δ	增量, 变形, 位移
ρ	曲率半径, 回转半径, 密度	ϵ_{ds}	读数应变, 实测应变
λ	长细比, 柔度	ψ	断面收缩率
l	长度, 跨度	μ	泊松比
ϕ	扭转角, 相对扭转角	σ	正应力
ϵ	线应变	σ_p	比例极限
δ	变形, 位移, 挠度, 伸长率, 厚度	σ_r	疲劳极限
σ_N	条件疲劳极限	σ_s	屈服强度
$\sigma_{0.2}$	条件屈服强度	σ_b	强度极限
τ	切应力	ω	角速度, 角频率

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1-1 概述	1
§ 1-2 内容简介	1
§ 1-3 实验的标准、方法和要求	3
§ 1-4 实验注意事项	3
第 2 章 基本实验	6
§ 2-1 拉伸实验	6
§ 2-2 压缩实验	14
§ 2-3 扭转实验	17
§ 2-4 材料弹性模量的测定	23
§ 2-5 钢材切变模量的测定	26
§ 2-6 条件屈服强度的测定	32
§ 2-7 纯弯曲实验	36
§ 2-8 压杆稳定实验	39
§ 2-9 光弹性实验	43
§ 2-10 动摩擦因数测定实验	49
§ 2-11 测定圆盘的转动惯量	53
§ 2-12 金属材料疲劳实验	56
第 3 章 综合性与思考性实验	61
§ 3-1 弯曲变形实验	61
§ 3-2 动载荷挠度实验	63
§ 3-3 静不定梁实验	64
§ 3-4 弯扭组合变形实验	67
§ 3-5 测定不规则物体的定轴转动惯量	74
第 4 章 提高型实验	77
§ 4-1 应变电测基础和应变片粘贴实习	77
§ 4-2 等强度梁的实验研究	85

§ 4-3 胶结叠合梁的实验研究	87
§ 4-4 槽钢梁的实验研究	88
§ 4-5 偏心拉伸实验研究	90
第 5 章 实验设备及仪器	94
§ 5-1 液压式万能试验机	94
§ 5-2 电子万能试验机	96
§ 5-3 微机控制电子扭转试验机	101
§ 5-4 微机控制电液伺服疲劳试验机	103
§ 5-5 电阻应变仪	109
§ 5-6 引伸计	125
附录 I 数据处理和误差分析	128
附录 II 有效数字的确定及运算规则	136
附录 III 单位换算表	138
附录 IV t 分布表	139
附录 V 常用材料的主要力学性能	141
附录 VI 材料力学性能测试常用国家标准及其适用范围	144
参考文献	147

第 1 章 绪 论

§ 1-1 概 述

实验是进行科学研究的重要方法之一,许多新理论的提出均以实验数据为基础,并通过实验作进一步的证明。例如,材料力学中应力-应变的线性关系就是胡克于 1668 年到 1678 年间作了一系列的弹簧实验之后才建立起来的。材料力学的任务是在满足强度、刚度和稳定性的要求下,以最经济的代价为构件确定合理的形状和尺寸,选择适宜的材料为构件设计提供必要的理论基础和计算方法。实验对力学有极其重要的一面。材料力学的经典理论建立在均匀性、连续性、各向同性等基本假设之上,将真实材料理想化、实际构件典型化、公式推导假设化,其结论是否正确及能否在工程中应用,必须接受实验的检验。此外,在实际工程设计中的强度、刚度等问题时,首先要知道材料的力学性能和表达力学性能的材料常数,这些常数只有靠材料实验才能测定。有时实际工程构件的几何形状和载荷都十分复杂,构件中的应力靠计算难以得到正确的数据,在这种情况下必须借助于实验应力分析的手段才能解决。

§ 1-2 内 容 简 介

一、实验力学主要内容

1. 验证理论性的实验

工程力学的一些公式都是在简化和假设(平面假设,材料均匀性、弹性和各向同性假设)的基础上推导出来的。事实上,材料的性质往往与完全均匀、弹性的情况有差异。因此,必须对根据假设推导的公式加以验证,才能确定公式的正确性和适用范围。实验就成为验证、修正和发展理论的必要手段。

2. 材料力学性能实验

材料力学性能是指在力或能的作用下,材料在刚度、强度等方面表现出来的一些特性,如弹性极限、屈服强度、屈服点、强度极限、弹性模量、疲劳极限等。这些强度指标和参数都是构件强度、刚度和稳定性计算的依据,而它们一般是依据国家规范,按照标准化的程序进行实验来测定的。随着材料科学的发展,各种新

型合金材料、合成材料不断涌现,力学性能的测定是研究每一种新型材料的重要任务。

3. 应力分析实验

工程上很多实际构件的形状和受力情况极为复杂,单纯依靠理论计算不易获得构件内部的应力大小及分布情况,这时可用不同的实验方法进行测定。这种方法称为“实验应力分析”,具体有电测法、光测法、全息法、云纹法等。

二、实验力学分类

在近几年的实验力学教学中,基于对实验力学教学应适应培养高素质力学人才需要的认识,以“加强基础、注重能力、培养素质、突出创新”为指导思想,满足 21 世纪力学人才培养的需求。根据不同的实验目的、要求,不同的实验测试手段、方法,以及不断涌现出的新思想、新方法、新材料,将实验力学分为基本实验、综合性与思考性实验、提高型实验,由浅入深,由易到难,更加有助于培养学生的动手能力和创造能力。

1. 基本实验

基本实验是工程力学及材料力学课程所要求和规定的最基本的实验内容,通过对传统的实验项目进行精选、提高、归并,突出实验的代表性,使实验能反映基本概念和规律。譬如材料的机械性能、梁的纯弯曲、压杆稳定等。通过这些实验使学生掌握金属材料的拉伸、压缩、扭转时的力学性能,掌握 σ_b 、 σ_r 、 σ_s 、 σ_b 、 $\sigma_{0.2}$ 、 E 、 G 、 μ 等的测试方法(包括电测法和机测法);掌握应变分析的原理及应变花的使用;掌握桥路的变化及串、并联原理;掌握灵活运用应力分析的能力。

2. 综合性与思考性实验

综合性与思考性实验综合了基本实验的内容、方法、手段,给学生留有更多的自由空间和思维空间,培养学生的工程素质,开发学生的智慧。在学生掌握了基本的操作技能,有了一定理论知识之后,让学生综合运用所掌握的一些基础理论知识,基本实验技能来独立完成实验。这部分实验主要包括具有工程背景的静不定梁、动载荷挠度、弯扭组合及测定不规则物体的定轴转动惯量等实验。这类实验重在调动学生的积极性和主观能动性,初步培养学生综合运用知识的能力、发现问题并解决问题的能力及创新精神。

3. 提高型实验

提高型实验更加注重与工程实际、科学研究的紧密结合。实验涉及力学学科及其他相关交叉学科,引入了新的材料、新的结构形式和新的实验技术,如胶接叠合梁(复合梁)实验、槽钢梁的实验等。这些实验旨在拓宽学生的视野,扩大学生的知识面,培养学生的科研兴趣及创新的思维方式,并使学生获得基本的科

研能力。

§ 1-3 实验的标准、方法和要求

材料的强度指标如屈服强度、强度极限、持久极限等,虽然是材料的固有属性,但往往与试样的形状、尺寸、表面加工精度、加载速度、周围环境(温度、介质)等有关。为使实验结果能相互比较,国家标准对试样的取材、形状、尺寸、加工精度、实验手段和方法及数据处理等都作了统一规定。每个国家都有各自的标准体系,我国国家标准的代号是 GB,美国标准的代号为 ASTM,国际标准的代号为 ISO。国际间需要作仲裁实验时,以国际标准为依据。

对破坏性试验,如材料强度指标的测定,考虑到材料质地的不均匀性,应采用多根试样,然后综合多根试样的结果,得出材料的性能指标。对非破坏性试验,如构件的变形测量,因为要借助于变形放大仪表,为减小测量系统引入的误差,一般也要多次重复进行,然后综合多次测量的数据得到所需结果。

实验应力分析常用方法除电测法及光弹性法外,还有激光全息光弹性法、散斑干涉法、云纹法、声弹法等。采用何种方法取决于实验的目的和对实验精度的要求。一般来说,如仅需了解构件某一局部的应力分布,电测法比较合适;如需了解构件的整体应力分布,则以光弹性法为宜。有时也可联合使用几种方法,例如先使用光弹性法判定构件危险截面的位置,再使用电测法测出危险截面的局部应力分布。关于实验应力分析,本书主要介绍电测法,并对光弹性法作简要介绍。至于其他方法,如有需要可参看实验应力分析方面的著作。

整理实验结果时,应剔除明显不合理的数据,并以表格或图线表明所得结果。若实验数据中的两个量之间存在线性关系,可用最小二乘法拟合为直线,然后进行计算与分析(参看附录 I)。数据运算的有效数字位数要依据机器、仪表的测量精度来确定。有效数字后面的第一位数的进位规则如附录 II 所示。最后,要求写出实验报告。作为示范,本书提供部分实验记录和报告作为参考。其余实验报告则要求读者独立完成。

§ 1-4 实验注意事项

在常温、静载荷条件下,实验力学基础所涉及的物理量并不多,主要是测量作用在试样上的载荷和试样的变形。载荷一般要求较大,由几十千牛到几百千牛,故加力设备较大,而变形则很小,绝对变形可以小到千分之一毫米,相对变形(应变)可小到 $10^{-6} \sim 10^{-5}$,因而测试设备必须精密。在进行实验时,往往要同

时测量力与变形,非一人所能完成,一般需要组成团队(三至四人)进行实验测试。要求同学之间互相配合,要有责任心,否则不能较好地完成实验。

一、实验准备

(1) 明确实验目的、原理和步骤。选定试样对象,并拟出实验加载方式,设计实验数据记录表格,以备实验时记录数据之用。

(2) 以实验小组为单位。做实验时应分工明确,互相配合,要有默契口令,以便互相呼应,彼此协调,不致于导致实验失败。参加实验人员一般可作如下分工:

① 记录者:在整个实验中充当总指挥作用,控制实验节奏,记录实验数据并整理资料,随时注意数据可靠性及实验是否完整。

② 测试、测量员:应深入了解试样尺寸和仪表的性能,熟悉仪表的操作规程,掌握仪表的单位和放大系数,以免读错。如发现仪表异常,应立即停机检查。

③ 设备操作者:熟悉设备操作规程,严格遵照规程操作。事先要试机,注意安全,发现异常时应立即停机检查。

二、进行实验

正式开始实验之前,要检查试验机测力度盘指针或计算机显示力和位移是否归为零位,变形仪、试样装置是否正常。由指导教师检查后,方可动手进行实验。注意观察实验过程中的一些现象,从中找出规律,作好记录。实验完毕后,关机、检查数据是否齐全,然后清理设备、仪器归位。

三、书写实验报告

实验报告是实验者最后交出的实验成果,是实验资料的总结。其内容包括如下:

(1) 实验名称、实验日期、当时温度、实验者及组员姓名。

(2) 实验目的、原理及装置简图。

(3) 使用的机器、仪表、用具的名称、型号和精度(或放大系数)等。

(4) 实验数据处理。首先将实验所测得的数据填入预先设计的记录表格中,并注明测量单位和精度,以便计算。此外,在实验中有时为了准确获得某一物理量,往往需要采用逐级加载法进行多次测量,以减小测量误差。对所测得的同一物理量的一组数据需进行数据处理和误差分析。常用测量数据的算术平均值作为该物理量的点估计值。

(5) 计算。计算中需明确写出公式及各符号的物理意义,并注意单位的统

一和有效数字的运算法则。

(6) 结果的表示。应根据多数点的所在位置,描绘出光滑的曲线,或用最小二乘法进行计算,选出最佳拟合曲线。

(7) 讨论与结论。说明本次实验的优缺点,数据处理结果是否正确,并对其误差加以分析,同时回答指导书中的思考题。

第2章 基本实验

根据每个基本实验的目的、要求,主要介绍机测法、电测法、光测法三种测试方法。要求读者掌握基本原理、实验数据处理与分析及相关设备的操作方法、测试方法。

第一部分 拉伸、压缩、扭转破坏实验

拉伸实验、压缩实验、扭转实验是研究材料力学性能的基本实验,方法简单,数据可靠。工矿企业、研究所一般都用机械测试方法对材料进行出厂检验或进行复检,用测得的 $\sigma_s(\sigma_{0.2})$ 、 σ_b 、 δ 、 ψ 和 τ_s 、 τ_b 等指标来测定材质和进行强度、刚度计算。因此,对材料进行轴向拉伸、压缩和扭转实验具有工程实际意义。

不同材料在承受拉伸、压缩、扭转过程中会表现出不同的力学性质和现象。低碳钢和铸铁分别是典型的塑性材料和脆性材料。低碳钢材料具有良好的塑性,在拉伸实验中弹性、屈服、强化和颈缩四个阶段尤为明显;在压缩实验中的弹性阶段、屈服阶段与拉伸实验基本相同,最后试样只能被压扁而不能被压断,无法测定其压缩强度极限 σ_b 值。低碳钢在扭转实验中,必经过弹性、屈服和强化三个阶段,其屈服阶段的过程比拉伸时要长,属于弹塑性力学问题,超过了工程力学范围,最后在切应力的作用下破坏。

铸铁材料受拉时处于脆性状态,其破坏是拉应力下被拉断;受压时有明显的塑性变形,其破坏是由切应力引起的,试样沿 $45^\circ \sim 55^\circ$ 的斜面发生破坏;承受扭转时,在与轴线成螺旋线 45° 方向被拉应力破坏。铸铁材料的抗压强度远远大于抗拉强度,通过铸铁拉伸、压缩、扭转实验观察脆性材料的变形过程和破坏方式,并与低碳钢承受拉伸、压缩、扭转结果进行比较,可以分析不同应力状态对材料强度和塑性的影响。

§ 2-1 拉伸实验

一、实验目的

- (1) 测定低碳钢的屈服强度 σ_s 、强度极限 σ_b 、伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 。

(2) 测定铸铁的强度极限 σ_b' 。

(3) 观察材料在拉伸过程中的主要力学性能。

二、实验设备

(1) 材料万能试验机。

(2) 游标卡尺。

三、拉伸试样

试样的形状和尺寸对实验结果是有一定影响的。为了减少形状和尺寸对实验结果的影响,便于比较实验结果,应按统一规定制备试样。拉伸试样分为比例试样和定标试样两种。

1. 比例试样

$$l_0 = 11.3 \sqrt{A_0} \quad \text{或} \quad l_0 = 5.65 \sqrt{A_0}$$

对于圆截面试样可取为

$$l_0 = 10d_0 \quad \text{或} \quad l_0 = 5d_0$$

式中: l_0 为试样的原始标距, A_0 为试样的横截面面积。

2. 定标试样

定标试样的原始标距 l_0 与横截面面积 A_0 不必满足前述关系, l_0 的长短参照有关标准或协商确定。

低碳钢试样的颈缩部分及其影响区的塑性变形量在伸长变形量中占很大的比例。显然,同种材料的伸长率不仅取决于材质,而且还取决于试样的标距。试样愈短,局部变形所占的比例愈大, δ 就愈大。为了便于相互比较,测定伸长率应采用比例试样。试样标距长度是直径的 10 倍时所测定的伸长率记做 δ_{10} ,试样标距长度是直径的 5 倍时所测定的伸长率记做 δ_5 。国家标准推荐使用短比例试样。

一般拉伸试样采用哑铃状(特别是脆性材料),由工作部分(或称平行长度部分)、圆弧过渡部分和夹持部分组成,如图 2-1 所示。工作部分的表面粗糙度应符合国标规定,以确保材料表面的单向应力状态。平行长度段的有效工作长度即为标距 l_0 ,平行长度为 l ,圆截面试样 $l \geq l_0 + d_0$,矩形截面试样 $l \geq l_0 + b_0/2$ 。圆弧过渡应有适当的圆角和台阶,脆性材料的圆角半径要比塑性材料的大一些,以减小应力集中,并确保试样不会在该处断裂。试样两端的夹持部分用以传递拉伸载荷,其形状和尺寸要与试验机的钳口夹块相匹配。一般对于直接用钳口夹紧的试样,其夹持部分长度应不小于钳口深度的 $3/4$ 。

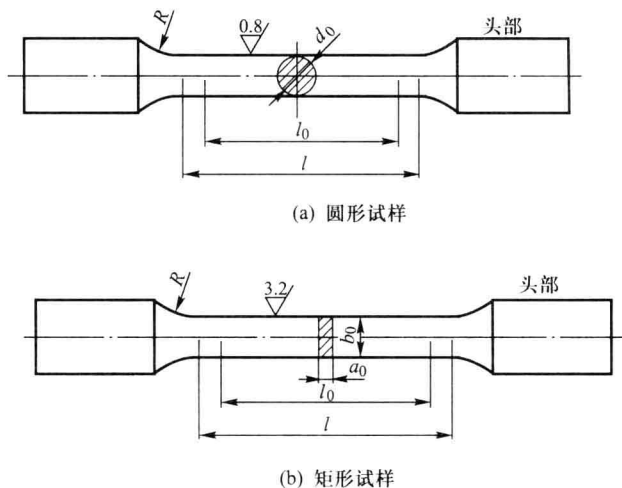


图 2-1 拉伸试样

四、实验原理和方法

1. 低碳钢拉伸实验

低碳钢试样在静拉伸实验中,通常可直接得到拉伸曲线,如图 2-2a 所示。用准确的拉伸曲线可直接换算出应力-应变曲线,如图 2-2b 所示。首先将试样安装于试验机的夹具内,之后匀速缓慢加载(加载速度对力学性能有一定影响,速度越快,所测的强度值就越高),试样依次经过弹性、屈服、强化和颈缩四个阶段,其中前三个阶段是均匀变形的。

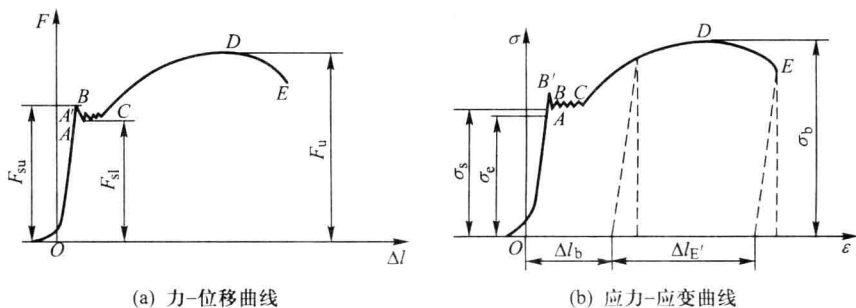


图 2-2 低碳钢拉伸曲线

(1) 弹性阶段。是指图 2-2a 上的 OA' 段,没有任何残留变形。在弹性阶段,载荷与变形是同时存在的,当载荷卸去后变形也就恢复。在弹性阶段,存在一比例极限点 A ,对应的应力称为比例极限 σ_p 。在图 2-2b 的 OA 段载荷与变

形是成比例的,材料的弹性模量 E 应在此范围内测定,具体方法详见有关章节。

(2) 屈服阶段。对应图 2-2a 上的 BC 段。金属材料的屈服是宏观塑性变形开始的一种标志,是位错增值和运动的结果,由切应力引起。在低碳钢的拉伸曲线上,当载荷增加到一定数值时,拉伸曲线出现“锯齿”现象。这种载荷在一定范围内波动而试样还继续变形伸长的现象称为屈服现象。屈服阶段中一个重要的力学性能就是屈服点。低碳钢材料存在上屈服点和下屈服点,不加说明,一般都是指下屈服点。上屈服点对应图 2-2a 中的 B 点,记为 F_{su} ,即试样发生屈服而力首次下降前的最大值。下屈服点记为 F_{sl} ,是指不计初始瞬时效应的屈服阶段中的最小力值,注意由于液压摆式万能试验机的摆的回摆惯性,这里的初始瞬时效应尤其明显,而对于电子万能试验机或电液伺服试验机不明显。

一般通过指针法或图示法来确定屈服点,具体方法可概括为:当屈服出现一对峰谷时,则对应于谷底点的位置就是屈服点;当屈服阶段出现多个波动峰谷时,则除去第一个谷值后所余最小谷值点就是屈服点。图 2-3 给出了几种常见屈服现象和 F_{su} 、 F_{sl} 的确定方法。用上述方法测得屈服载荷后,根据式(2-1)、式(2-2)、式(2-3)分别计算出屈服点、下屈服点和上屈服点。

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (2-1)$$

$$\sigma_{sl} = F_{sl} / A_0 \quad (2-2)$$

$$\sigma_{su} = F_{su} / A_0 \quad (2-3)$$

(3) 强化阶段。对应于图 2-2b 中的 CD 段。变形强化标志着材料抵抗继续变形的能力在增强,这也表明要使材料继续变形,就要不断增加载荷。在强化阶段如果卸载,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,加载线仍与弹性阶段平行。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。这种现象称之为形变硬化或冷作硬化。冷作硬化是金属材料的宝贵性质之一。工程中利用冷作硬化工艺的例子很多,如挤压、冷拔、喷丸等。图 2-2b 中 D 点是拉伸曲线的最高点,极限载荷为 F_u 。对应的应力是材料的强度极限或抗拉极限,记为 σ_b ,其计算公式为:

$$\sigma_b = F_u / A_0 \quad (2-4)$$

(4) 颈缩阶段。对应于图 2-2b 的 DE 段。载荷达到最大值后,塑性变形开始局部进行。这是因为在最大载荷点以后,形变强化跟不上变形的发展,同时由于材料本身缺陷的存在,于是均匀变形转化为集中变形,形成颈缩。颈缩阶段,承载面积急剧减小,试样承受的载荷也不断下降,直至断裂。断裂后,试样的弹性变形消失,塑性变形则永久保留在断裂的试样上。材料的塑性性能通常用试样断后残留的变形来衡量。轴向拉伸的塑性性能通常用伸长率 δ 和断面收缩

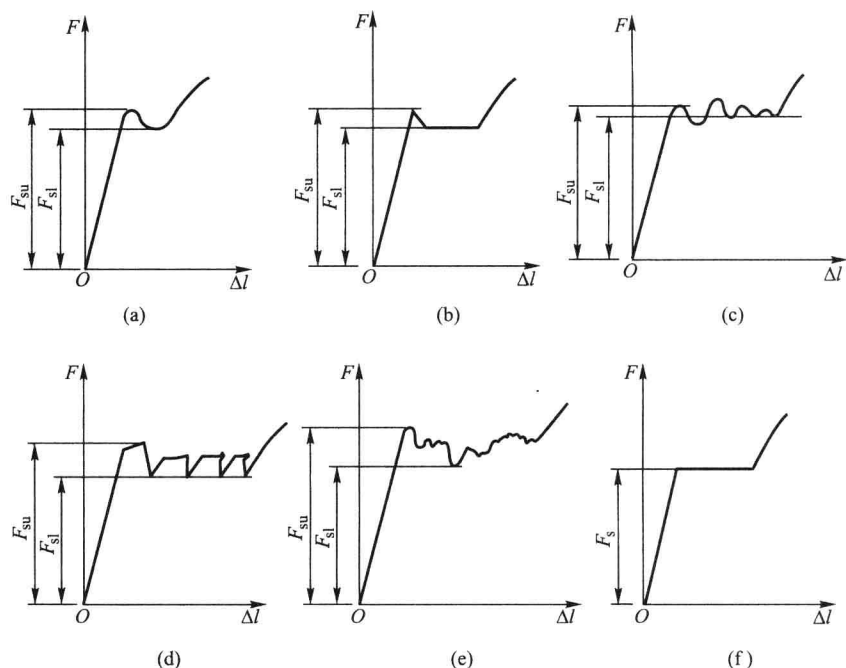


图 2-3 金属材料常见屈服现象及屈服点判定

率 ψ 来表示, 计算公式为:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2-5)$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (2-6)$$

式中: l_0 、 A_0 分别表示试样的原始标距和原始横截面面积, l_1 、 A_1 分别表示试样标距的断后长度和断口面积。

塑性材料颈缩部分的变形在总变形中占很大比例。研究表明, 低碳钢试样颈缩部分的变形占塑性变形的 80% 左右, 如图 2-4 所示。测定断后伸长率时, 颈缩部分及其影响区的塑性变形都包含在 l_1 之内, 这就要求断口位置到最邻近的标距线大于 $l_0/3$, 此时可直接测量试样标距两端的

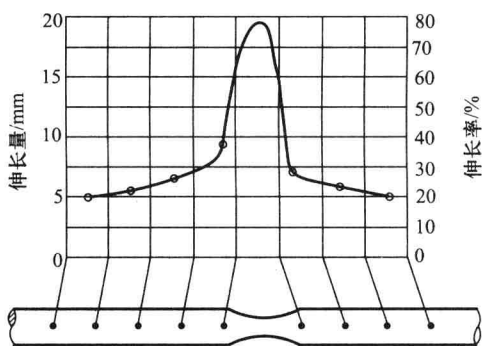


图 2-4 低碳钢试样沿轴向的塑性变形