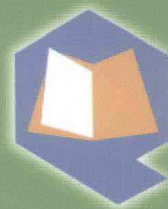


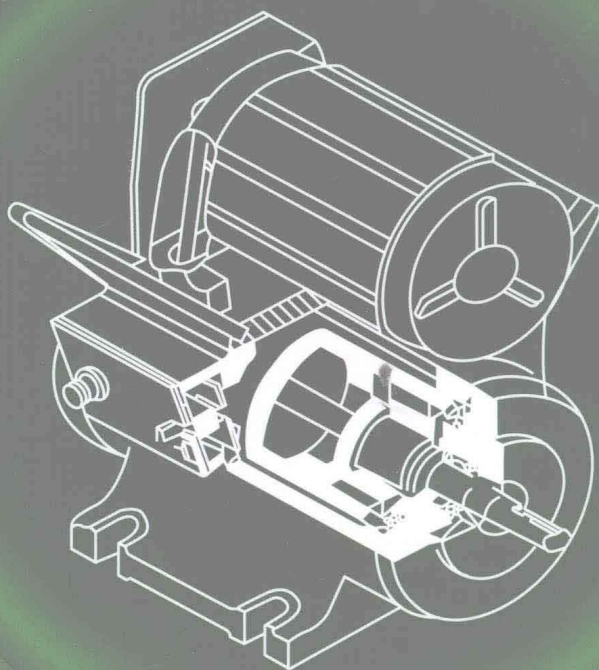
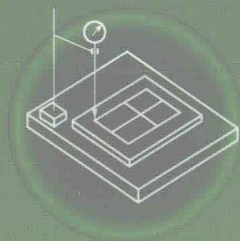
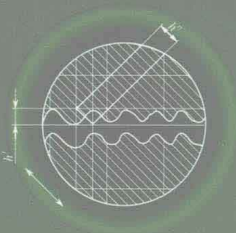
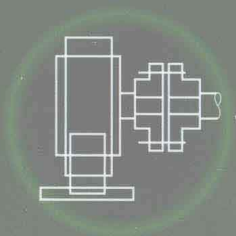
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI



● 高等学校规划教材

机械基础实验

金增平 许基清 主编 ●



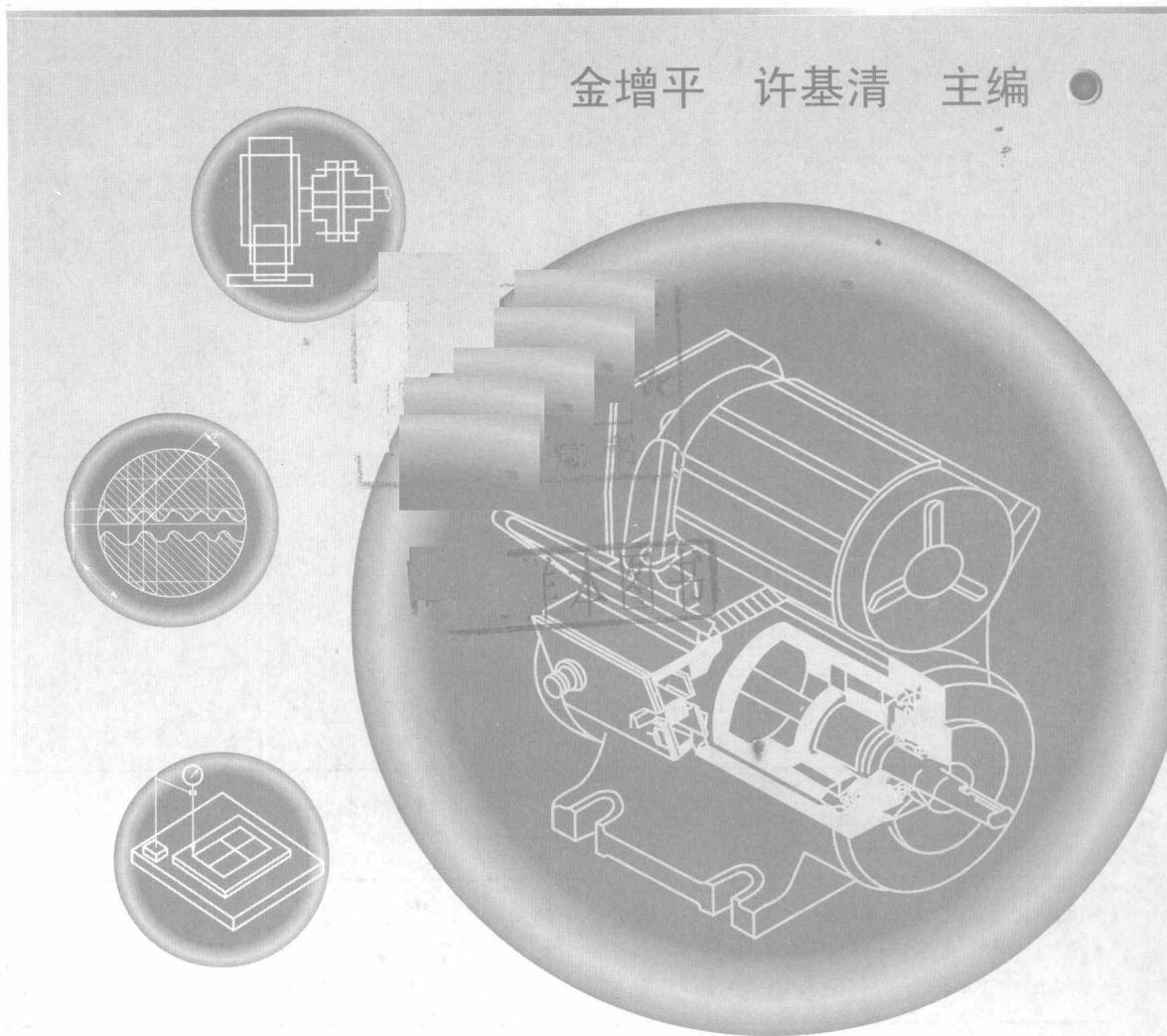
化学工业出版社

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

● 高等学校规划教材

机械基础实验

金增平 许基清 主编 ●



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是根据机械基础实验课程教学的基本要求编写的,涵盖了材料力学、机械原理、机械设计、工程材料与机制基础、互换性与技术测量、实验应力分析、机械创新设计等课程相应的基本实验。

本书将实验分为验证性、综合性和设计性三大类,注重对机械类学生的动手能力、分析问题和解决问题能力的培养,以使他们在掌握理论知识的基础上,增强感性认识。

本书可供大、中专工科院校机械类专业(机械制造及自动化、过程装备与控制、船舶与海洋工程等)的师生做基本实验使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础实验/金增平,许基清主编. —北京:化学工业出版社,2009.2
高等学校规划教材
ISBN 978-7-122-04093-0

I. 机… II. ①金…②许… III. 机械学-实验-高等学校-教材 IV. TH11-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第172558号

责任编辑:黄 滢
责任校对:宋 夏

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京市白帆印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张16¼ 字数428千字 2009年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:32.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书是按照高等工科院校机械类本科学生的培养计划，根据机械基础实验课程教学的基本要求编写而成的。涵盖了材料力学、机械原理、机械设计、工程材料与机制基础、互换性与技术测量、实验应力分析、机械创新设计等课程相应的基本实验。

本书根据机械类不同专业的实际需要，将实验项目分为必开和选开两大类；根据学生培养计划和学习进度，又将实验分为验证性、综合性和设计性三大类。通过相关的实验项目教学，可培养学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力，还可使他们在掌握理论知识的基础上，增强感性认识。

全书参考学时为 120~180 学时。各学时的分配如下：材料力学实验项目 9 个，16~20 学时；机械原理实验项目 8 个，16~20 学时；机械设计实验项目 7 个，16~18 学时；工程材料与机制基础实验项目 7 个，16~20 学时；互换性与技术测量实验项目 6 个，12~20 学时；应力分析实验项目 16 个，40~68 学时；机械创新综合设计实验项目 17 个，32~64 学时。

本书共编写了 0101~0770 的实验项目 70 个，由青岛科技大学金增平、许基清担任主编，王海梅、黄靖担任副主编，参编人员有刘峰和戴翠卫。编写人员的具体分工如下：许基清编写了 0318~0323 及 0424~0430 共 13 个实验项目；王海梅编写了 0210~0217 及 0531~0537 共 15 个实验项目；黄靖编写了 0754~0770 共 17 个实验项目；其余实验项目由金增平编写。全书由青岛科技大学金增平统稿，中国海洋大学杨永春主审。

本书可供大、中专工科院校机械类专业（机械制造及自动化、过程装备与控制、船舶与海洋工程等）的师生做基本实验使用。

本书在编写过程中得到了青岛科技大学校领导和相关人员的大力支持，在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

主 编

学生实验守则

一、学生应该按规定时间参加实验，不得迟到、早退，迟到十分钟以上者不得参加本次实验。

二、实验前要认真预习实验指导书，明确实验目的、原理、仪器设备、操作规程和注意事项等，能正确回答老师的提问。

三、爱护实验设备，节约使用材料；不准动用与本实验无关的仪器设备和其他物品；未经允许，不得将实验室的任何物品带出室外。

四、学生着装应符合实验室的环境、操作的要求，实验过程中要保持安静，不得高声喧哗和打闹。

五、实验室内不得带入或饮用水、饮料或其他任何食物！严禁吸烟！请勿随地吐痰、吐口香糖、乱扔杂物，保持室内整洁。

六、严格遵守仪器设备的操作规程，对违反操作规程或擅自动用与本实验无关的仪器设备造成事故或损失的，要立即报告和写出检查，视情节轻重和态度进行赔偿或按相关规定处理。

七、实验完毕后应及时切断电源、水源、气源，协助教师搞好环境卫生，待指导教师检查仪器、设备、工具、材料及实验记录后，经允许方可离开实验室。

八、每次实验前，要仔细阅读实验指导书，基本了解实验内容、目的、实验步骤及仪器和仪器的主要原理与使用方法等。

九、以小组为单位进行实验。小组长负责管理使用的设备，并组织分工和统一指挥。在实验过程中，如机器或仪器发生故障应立即向实验指导教师报告，进行检查以便及时排除故障，保证实验的正常进行。

十、实验完毕后，要认真撰写实验报告，并对思考题进行讨论。

目 录

学生实验守则

第一章 材料力学实验	1
0101 拉伸、压缩及测 E 实验	1
0102 扭转实验	7
0103 剪切实验	11
0104 纯弯曲梁的正应力实验	12
0105 泊松比的测量实验	14
0106 弯扭组合实验	15
0107 冲击实验	16
0108 光弹性演示实验	18
0109 压杆稳定实验	21
第二章 机械原理实验	24
0210 机构运动简图的测绘与分析 实验	24
0211 机构认知实验	25
0212 齿轮的范成实验	29
0213 渐开线直齿圆柱齿轮参数的测定 实验	31
0214 齿轮加工演示实验	35
0215 回转构件的动平衡实验	38
0216 机构创新设计实验	43
0217 机构运动参数测定实验	48
第三章 互换性与技术测量实验	55
0318 尺寸测量实验	55
0319 尺寸和形位误差测量实验	61
0320 表面粗糙度的测量实验	70
0321 螺纹的测量实验	73
0322 齿轮的测量实验	77
0323 箱体测量实验	82
第四章 工程材料与机制基础实验	85
0424 金属材料的硬度测量实验	85
0425 常用钢铁材料的平衡组织显微 观察实验	89
0426 碳钢热处理及性能分析实验	92
0427 常用钢铁材料的非平衡组织显微 观察实验	95
0428 金相试样制备实验	98
0429 车刀角度的测量实验	100
第五章 机械设计实验	102
0531 带传动的滑动和效率测定实验	102
0532 液体动压滑动轴承的测试与 分析实验	105
0533 轴系结构设计拼装与测绘实验	109
0534 减速器拆装实验	112
0535 机械传动性能综合测试实验	114
0536 机械设计陈列柜演示实验	123
0537 螺栓组连接实验	126
第六章 应力分析实验	132
0638 应变片的粘贴技术实验	132
0639 桥路连接和应变的测量实验	133
0640 应变片灵敏系数的测量实验	134
0641 薄壁圆筒主应力的测量实验	135
0642 简支梁的主应力测量实验	136
0643 温度对测量的影响实验	137
0644 接触电阻对测量的影响实验	138
0645 小量程长度测量实验	139
0646 10t 压力传感器的设计实验	140
0647 低频动态应变测量实验	141
0648 冲击状态下的应变测量实验	142
0649 工程实例解决过程实验	143

0650	光弹性仪的调整、等倾线、等差线的描绘实验	144	0652	应力集中系数的测量实验	147
0651	材料条纹值的测量实验	146	0653	对实物的光弹性测量实验	149
第七章 机械创新综合设计实验					150
0754	立体仓库实验	150	0763	气动分拣机实验	182
0755	包裹翻转机实验	156	0764	气动搬运机实验	184
0756	柔性加工生产线实验	157	0765	气动加工中心实验	186
0757	3D 机械手实验	159	0766	光源牵引 AGV 移动车实验	187
0758	翻转机械手实验	161	0767	躲避障碍 AGV 移动车实验	194
0759	三自由度机械手实验	167	0768	工业机器人认知实验	196
0760	焊接机器人实验	171	0769	工业机器人运动控制实验之一	201
0761	搬运机械手实验	173	0770	工业机器人运动控制实验之二	202
0762	气动门实验	174			
附录					204
附录一	学生实验报告的基本要求	204		的测量原理简介	214
附录二	设备器材损坏丢失赔偿处理办法	204	附录六	XL 2118C 力 & 应变综合参数测试仪使用说明书	217
附录三	测量误差与数据处理	206	附录七	UTKEL 软件使用指南	219
附录四	YDD-1 多功能材料力学试验机操作规程	210	附录八	LLWIN 软件	228
附录五	电阻应变片及电阻应变仪		附录九	机械方案创意设计模拟实施实验仪使用说明书	238
参考文献					249

第一章 材料力学实验

实验名称：拉伸、压缩及测 E 实验

实验编号：0101

实验类别：验证性

实验性质：必开

相关课程：材料力学

适用专业：机械类各专业

一、实验目的

- 1) 了解试验设备——多功能材料试验机的构造和工作原理，掌握其操作规程及使用时的注意事项；
- 2) 测定低碳钢的屈服点 σ_s 、强度极限 σ_b 、延伸率 δ 、断面收缩率 ψ ；
- 3) 测定铸铁拉伸的强度极限 σ_b ；
- 4) 观察以上两种材料在拉伸过程中的各种现象，并利用自动绘图装置绘制拉伸图（ $P-\Delta L$ 曲线）；
- 5) 比较低碳钢（塑性材料）与铸铁（脆性材料）拉伸时的力学性质；
- 6) 在比例极限内，验证胡克定律并测定低碳钢的弹性模量 E ；
- 7) 测定压缩时低碳钢的屈服极限 σ_s 和铸铁的强度极限 σ_b ；
- 8) 观察低碳钢和铸铁压缩时的变形和破坏现象，并进行比较和分析原因。

二、实验装置和仪器

- 1) 游标卡尺；
- 2) 杠杆式引伸仪；
- 3) 多功能材料力学试验机（使用方法详见附录四）。

三、实验原理

1) 为了检验低碳钢拉伸时的机械性质，应使试件轴向受拉直至断裂，在拉伸过程中以及试件断裂后，测读出必要的特征数据（如： P_s 、 P_b 、 l_1 、 d_1 ），经过计算，便可得到表示材料力学性能的指标： σ_s 、 σ_b 、 δ 、 ψ 。

2) 铸铁属脆性材料，轴向拉伸时，在变形很小的情况下就断裂，故一般测定其抗拉强度极限 σ_b 。

3) 材料弹性模量 E 的测定，是在比例极限以内的拉伸试验中进行的。低碳钢在比例极限内服从胡克定律，即

$$\Delta L = \frac{PL_0}{EA_0}$$

式中， P 为轴向拉力， L_0 是引伸仪的标距， A_0 为试件原始截面积。

为了验证胡克定律和消除测量中可能产生的误差，对试件采用“增量法”逐级增加同样

于是

$$\frac{\Delta A}{\Delta l} = \frac{h_2 \cdot h_4}{h_1 \cdot h_3} = K$$

上式中 K 为引伸仪放大倍数。

4) 低碳钢和铸铁等金属材料的压缩试样一般制成圆柱形, 高 h_0 与直径 d_0 之比在 1~3 的范围内。目前常用的压缩试验方法是两端平压法。这种压缩试验方法, 试样的上下两端与试验机承垫之间会产生很大的摩擦力, 它们阻碍着试样上部及下部的横向变形, 导致测得的抗压强度较实际偏高。当试样的高度相对增加时, 摩擦力对试样中部的影响就变得小了, 因此抗压强度与比值 h_0/d_0 有关。由此可见, 压缩试验是与试验条件有关的。为了在相同的试验条件下, 对不同材料的抗压性能进行比较, 应对 h_0/d_0 的值作出规定。实践表明, 此值取在 1~3 的范围内为宜。若小于 1, 则摩擦力的影响太大; 若大于 3, 虽然摩擦力的影响减小, 但稳定性的影响却突出起来。

低碳钢试样压缩时同样存在弹性极限、比例极限、屈服点, 而且数值和拉伸所得的相应数值差不多, 但是在屈服时却不像拉伸那样明显。从进入屈服开始, 试样塑性变形就有较大的增长, 试样截面面积随之增大。由于截面面积的增大, 要维持屈服时的应力, 载荷也就要相应增大。因此, 在整个屈服阶段, 载荷也是上升的, 在测力盘上看不到指针倒退现象, 这样, 判定压缩时的 P_s 要特别小心地注意观察。在缓慢均匀加载下, 测力指针是等速转动的, 当材料发生屈服时, 测力指针的转动将出现减慢, 这时所对应的载荷即为屈服载荷 P_s 。由于指针转动速度的减慢不十分明显, 故还要结合自动绘图装置上绘出的压缩曲线中的拐点来判断和确定 P_s 。

低碳钢的压缩图 (即 $P-\Delta l$ 曲线) 如图 1-3 所示, 超过屈服点后, 低碳钢试样由原来的圆柱形逐渐被压成鼓形, 即如图 1-5 所示。继续不断加压, 试样将愈压愈扁, 但总不破坏。所以, 低碳钢不具有抗压强度极限 (也可将它的抗压强度极限理解为无限大), 低碳钢的压缩曲线也可证实这一点。

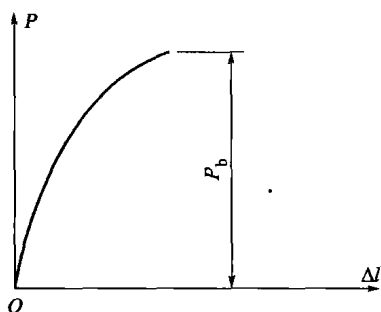


图 1-3 低碳钢压缩图

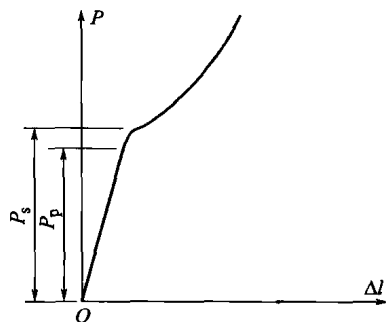


图 1-4 铸铁压缩图

灰铸铁在拉伸时是属于塑性很差的一种脆性材料, 但在受压时, 试件在达到最大载荷 P_b 前将会产生较大的塑性变形, 最后被压成鼓形而断裂。铸铁的压缩图 ($P-\Delta l$ 曲线) 如图 1-4 所示。灰铸铁试样的断裂有两个特点: 一是断口为斜断口, 如图 1-6 所示; 二是按 P_b/A_0 求得的 σ_b 远比拉伸时为高, 大致是拉伸时的 3~4 倍。为什么像灰铸铁这种脆性材料的抗拉抗压能力相差这么大呢? 这主要与材料本身情况 (内因) 和受力状态 (外因) 有关。铸铁压缩时沿斜截面断裂, 其主要原因是由剪应力引起的。假使测量铸铁受压试样斜断口倾角 α , 则可发现它略大于 45° , 这是因为试样两端存在摩擦力, 使得最大剪应力所在截面不再是与轴线成 45° 。

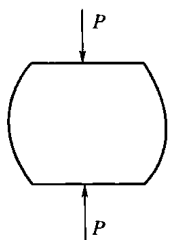


图 1-5 压缩时低碳钢变形示意图

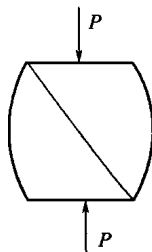


图 1-6 压缩时铸铁破坏断口

四、实验试件

试件如图 1-7 所示。

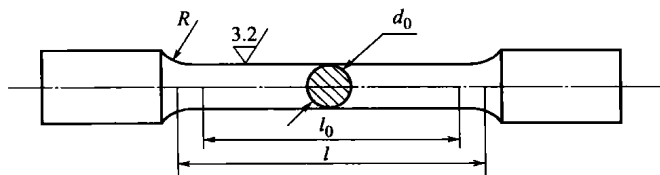


图 1-7 圆形截面试件

夹持部分用来装入试验机夹具中以便夹紧试件，过渡部分用来保证标距部分能均匀受力，这两部分的形状和尺寸决定于试件的截面形状和尺寸以及机器夹具类型。

标距 l_0 是待试部分，也是试件的主体，称为计算长度。

试件的尺寸和形状对材料的塑性性质影响很大。为了能正确地比较各种材料的力学性质，国家对试件尺寸作了标准化规定（金属拉伸试验试样，GB/T 6397—1986；金属拉伸试验方法，GB/T 228—2002）。

拉伸试件分比例试件和非比例试件两种。比例试件系按公式 $l_0 = K\sqrt{A_0}$ 计算而得。式中 l_0 为标距， A_0 为标距部分原始截面积，系数 K 通常为 5.65 和 11.3（前者称为短试件，后者称为长试件）。据此，短、长圆形试件的标距长度 l_0 分别等于 $5d_0$ 、 $10d_0$ 。非比例试件的标距与其原横截面间无上述关系。

根据国家标准（GB/T 228—2002）将比例试件尺寸列于表 1-1。

表 1-1 常用比例试件

试件		标距长度 l_0/mm		横截面积 A_0/mm^2	圆形试件直径/mm	表示延伸率的符号
比例	长	$11.3\sqrt{A_0}$	$10d_0$	任意	任意	δ_{10}
	短	$5.65\sqrt{A_0}$	$5d_0$			δ_5

注：表中 d_0 表示试件标距部分的原始直径， δ_{10} 、 δ_5 分别表示标距长度 l_0 为 d_0 的 10 倍或 5 倍的试件延伸率。

常用试件的形状尺寸、粗糙度等可查国家标准 GB/T 228—2002 中的附录一、二。

五、实验步骤

1. 低碳钢试件的拉伸实验

1) 测定试件的截面尺寸。圆试件测定其直径 d_0 的方法是：在试件标距长度的两端和中间三处予以测量，每处在两个相互垂直的方向上各测一次，取其算术平均值，然后取这三个平均数的最小值作为 d_0 。

2) 试件标距长度 l_0 除了要根据圆试样的直径 d_0 来确定外，还应将其圆整到 5mm 或 10mm 的倍数。小于 1.5mm 的数值舍去，等于或大于 2.5mm 但小于 7.5mm 者化整为

5mm, 等于或大于 7.5mm 者进为 10mm。在标距长度的两端各打一小圆点, 此二点的位置, 应做到使其连线平行于试样的轴线。两圆点之间用分划器等分 10 格或 20 格, 并刻出分格线, 以便观察变形分布情况, 测定延伸率 δ 。

3) 根据低碳钢的强度极限, 估计加在试件上的最大载荷, 据此选择适当的机器量程 (也称载荷级)。

通常, 每台万能材料试验机都有几个载荷级, 其刻度范围均自零至该级载荷的最大值。由于机器测力部分本身精确度的限制, 每级载荷的刻度范围只有一部分是有效的。有效部分的规律如下: 下限不小于该量程最大值的 10%, 且不小于整机最大载荷的 4%; 上限不大于该量程最大值的 90%。

实验时应保证全部待测载荷均在此范围之内。就本次实验来说, 也就是须保证屈服载荷 P_s 和极限载荷 P_b 均在该范围之内。假使机器有两个量程都能满足要求, 则应取较小的量程以提高载荷测读精度。

4) 确认设备正常后, 正式实验即可开始。用慢速加载, 使试件的变形匀速增长。国家标准规定的拉伸速度是: 屈服前, 应力增加速度为 10MPa/s, 屈服后, 试验机活动夹头在负荷下的移动速度不大于 $0.5l_0/\text{min}$ 。在试件匀速变形的过程中, 借助于试验机上自动绘出的载荷—变形曲线 ($P-\Delta l$ 曲线) 可以帮助我们更好地判断屈服阶段的到达。对于低碳钢来说, 屈服时的曲线如图 1-8(a) 所示, 其中 $P_{s上}$ 叫做上屈服载荷, 与锯齿状曲线段最低点相应的最小载荷 $P_{s下}$ 叫下屈服载荷。由于上屈服载荷随试件过渡部分的不同而有很大差异, 而下屈服载荷则基本一致, 因此一般规定用下屈服载荷来计算屈服点 $\sigma_s = P_s/A_0 = P_{s下}/A_0$ 。有些材料, 屈服时的 $P-\Delta l$ 曲线基本上是一个平台的曲线而不是呈现出锯齿形状, 如图 1-8(b) 所示。

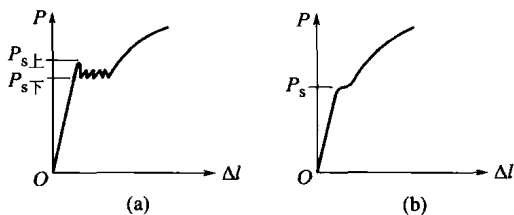


图 1-8 不同钢材的屈服图

屈服阶段终了以后, 要使试件继续变形, 就必须加大载荷。这时载荷-变形曲线将开始上升, 材料进入强化阶段, 试件的横向尺寸有明显的缩小, 如图 1-9 所示。

如果在强化阶段的某一点处进行卸载, 则可以得到一条卸载曲线, 实验表明, 它与曲线的起始直线部分基本平行。卸载后若重新加载, 加载曲线则沿原卸载曲线上升直到该点, 此后曲线基本上与未经卸载的曲线重合, 这就是冷作硬化效应。

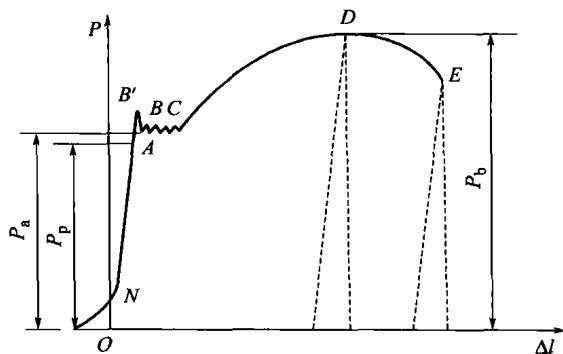


图 1-9 低碳钢拉伸图

随着实验的继续进行, 当载荷达到最大值 P_b 之后, 试样上的载荷由慢到快不断降低, 试件出现颈缩现象, 最后沿颈缩处试件断裂。根据测得的 P_b 可以按 $\sigma_b = P_b/A_0$ 计算。

试件断后标距部分长度 l_1 的测量: 将试件拉断后的两段在拉断处紧密对接起来, 尽量使其轴线位于一条直线上。拉断处由于各种原因形成缝隙, 则此缝隙应计入试样拉断后的标距部分长度内。 l_1 用下述方法之一测定。

- ① 直测法: 如拉断处到邻近标距端点的距离大于 $l_0/3$ 时, 可直接测量两端点间的长度。
- ② 移位法: (参见附录三中的内容)

测量出 l_0 后, 按下式计算延伸率, 即 $\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$

短、长比例试样的伸长率分别用 δ_5 , δ_{10} 表示。

拉断后缩颈处截面积 A_1 的测定：圆形试样在缩颈最小处两个相互垂直方向上测量其直径，用二者的算术平均值作为断口直径 d_1 ，来计算其 A_1 。断面收缩率按下式计算：

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

最后，在进行数据处理时，按有效数字的选取和运算法则确定所需的位数。

2. 灰铸铁试件的拉伸实验

灰铸铁这类脆性材料拉伸时的载荷-变形曲线如图 1-10 所示。它不像低碳钢拉伸那样明显分为线性、屈服、颈缩、断裂四个阶段，而是一条非常接近直线状的微弯曲线，并没有下降段。灰铸铁试件是在非常微小的变形情况下突然断裂的，断裂后几乎测不到残余变形。根据这些特点，可知灰铸铁不具有 σ_s ，而且测定它的 δ 和 ψ 也没有实际意义。这样，对灰铸铁只需测定它的强度极限 σ_b 就可以了。

测定 σ_b 可取制备好的试件，只测出其截面积 A_0 ，然后装在试验机上逐渐缓慢加载直到试样断裂，记下最后载荷 P_b ，据此可算得强度极限。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0}$$

3. 材料弹性模量 E 的测量实验

1) 测量试件直径 d_0 。在试件的标距内，用游标卡尺测量中间和两端等三处直径，每处测一对正交方向，取平均值作该处直径，然后取三处直径最小者，作为试件直径 d ，并据此计算 A_0 。

2) 拟定加载方案。试验时，为了消除试验机机构之间的空隙和引伸仪预调的微小不平衡量，必须施加一定的“初载荷”，自初载荷开始，逐级加载，测量变形值。在 2~18kN 的范围内分 4 级进行加载，每级的拉力增量 $\Delta P = 4\text{kN}$ 。

3) 安装试件和引伸仪。先将试件夹紧在试验机的上下夹头中，再安装引伸仪。安装时应先使固定刀刃与试件接触，然后再使活动刀刃接触试件，最后拧紧夹具的调整螺钉。装夹时，要使两个刀刃位于试件的轴向母线上，并保持适当的压紧力。

4) 打开锁杆，此时指针应基本指在标尺范围以内，然后轻轻敲动引伸仪的标尺板，指针应无蠕动现象。否则应关锁后卸下重装。安装正确与否对测量结果影响很大，故应特别注意。

5) 用试验机慢速施加拉力到 2kN，与此同时，检查试验机和引伸仪的运行是否正常，然后卸载到 2kN 以下少许，处于待令工作状态。

6) 测读数据。加载到 2kN，用调节钮将指针调节到标尺刻度的“零”点，然后缓慢连续地加载，每加载一级拉力增量 ΔP ，读取相应的引伸仪读数。观察读数时，应使指针和它在标尺镜子中的影像重合。随时计算引伸仪先后两次读数的差值，借此判断实验工作是否正常。直至加载到 18kN 为止。

7) 测读完毕，关上锁杆，然后卸下引伸仪。

4. 铸铁材料的压缩实验

1) 低碳钢试样的压缩实验

① 测定试样的截面尺寸——用游标卡尺在试样高度中央取一处予以测量，沿两个互相垂直的方向各测一次取其算术平均值作为 d_0 来计算截面面积 A_0 。用游标卡尺测量试样的高度。

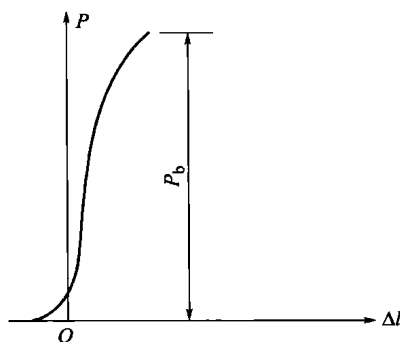


图 1-10 铸铁拉伸图

② 试验机的调整——估算屈服载荷的大小，选择测力度盘，调整指针对准零点，并调整好自动绘图仪。

③ 安装试样——将试样准确地放在试验机活动平台承垫的中心位置上。

④ 检查及试车——试车时先提升试验活动平台，使试样随之上升。当上承垫接近试样时，应大大减慢活动平台上升的速度。注意：必须切实避免急剧加载。待试样与上承垫接触受力后，用慢速预先加少量载荷，然后卸载接近零点，检查试验机（包括自动绘图部分）工作是否正常。

⑤ 进行试验——缓慢均匀地加载，注意观察测力指针的转动情况和绘图纸上曲线，以便及时而正确地确定屈服载荷，并记录之。

屈服阶段结束后继续加载，将试样压成鼓形即可停止。

2) 铸铁试样的压缩实验

铸铁试样压缩试验的步骤与低碳钢压缩试验基本相同，但不测屈服载荷而测最大载荷。此外，要在试样周围加防护罩，以免在试验过程中试样飞出伤人。

六、思考题

- 1) 由拉伸试验所确定的材料机械性能数值有何实用价值？
- 2) 为什么拉伸试验必须采用标准试件或比例试件？材料和直径相同而长短不同的试件，它们的延伸率是否相同？
- 3) 低碳钢和铸铁在拉伸及压缩时力学性质有何差异？

七、实验报告要求

- 1) 根据实验目的，写出测量不同参数时所用的设备、仪器，并按规定注明相关内容；
- 2) 按照实验目的，写出所测材料的参数大小，并写明计算过程；
- 3) 完成上述思考题。

实验名称：扭转实验

实验编号：0102

实验类别：验证性

实验性质：必开

相关课程：材料力学

适用专业：机械类各专业

一、实验目的

- 1) 测定低碳钢的剪切屈服点 τ_s 及剪切强度极限 τ_b ；
- 2) 测定铸铁的剪切强度极限 τ_b ；
- 3) 测定低碳钢材料的剪切弹性模量 G ；
- 4) 验证材料受扭时在比例极限内的剪切胡克定律；
- 5) 观察并比较低碳钢及铸铁试件扭转破坏的情况。

二、实验设备和量具

- 1) 扭转试验机或多功能材料力学试验机；
- 2) 游标卡尺；
- 3) 扭角仪和千分表。

扭转试验机是一种可对试样施加扭矩并能指示出扭矩大小的机器。它的类型有很多种，

构造也各有不同。下面介绍目前常用的 NJ-500A 型扭转试验机。

此机是一种机械传动加载, 摆式机构测扭矩的扭转试验机。它有三种量程: $100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $200\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $500\text{N}\cdot\text{m}$; 相应的精度分别为 $0.2\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $0.5\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $1.0\text{N}\cdot\text{m}$ 。它适用于直径为 $\phi 10\sim 20\text{mm}$, 长度为 $100\sim 600\text{mm}$ 的试件。

试验机的外形如图 2-1 所示, 其操作步骤如下。

1) 检查试验机夹头 1、2 的形式是否与试件配合, 离合器杆 4 是否放在正确位置上。

2) 根据试件所需的最大扭矩, 转动调节轮 10 至相应位置, 以选择适当的测力度盘 8。

3) 安装试件。先将试件一端装在固定夹头 1 中, 向左移动活动车头 12 并转动加载夹头 2, 使试件的另一端插入夹头 2 中。

4) 旋动调零手轮使测力度盘上的指针对“零”。

5) 加载也有手动和电动之分。手动加载是将离合器杆调到中央位置上 (即“空车”位置), 用手转动手轮 11 加载。电动加载中选用离合器杆可使加载夹头具有四种转速: $7^\circ/\text{min}$ 、 $21^\circ/\text{min}$ 、 $60^\circ/\text{min}$ 、 $180^\circ/\text{min}$ 。电动加载时, 先将离合器杆 4 调到所欲用的转速位置上, 按下开关按钮 (“正向”、“反向” 均可), 开动电动机 6 通过变速箱 5、齿轮箱 3 等传动系统,

使加载夹头 2 顺时针 (或逆时针) 转动, 试件便产生扭转变形, 表盘上即显示出试样所受的扭矩。如所加扭矩超过了所用的测力量程, 则扬起的摆杆上的一个弹簧片就会使限位开关动作, 切断电源, 自动停车。

6) 注意事项

- ① 一旦试样承受了扭矩, 即测力指针已经走动之后, 就不允许再改变量程;
- ② 在实验时, 不得触动活动车头;
- ③ 如发生异常现象, 应立即停车。

三、实验原理

本实验使用圆形截面试件。

将试件装在扭转试验机上, 开动机器, 给试件加扭矩。利用机器上的自动绘图装置, 可以得到 $T-\varphi$ 曲线, $T-\varphi$ 曲线也叫扭转图。低碳钢试件的 $T-\varphi$ 曲线如图 2-2 所示。

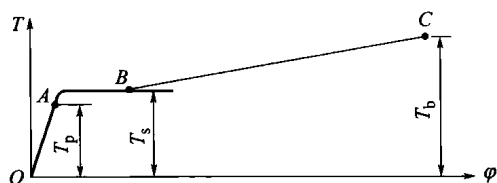


图 2-2 低碳钢试件扭转图

图中起始直线段 OA 表明试件在这个阶段中的 T 与 φ 成比例, 截面上的剪应力呈线性分布, 如图 2-3(a) 所示。在 A 点处, T 与 φ 的比例关系开始破坏, 此时截面周边上的剪应力达到了材料的剪切屈服点 τ_s , 相应的扭矩记为 T_p 。由于这时截面内部的剪应力尚小于 τ_s , 故试件仍具有承载能力, $T-\varphi$ 曲线呈继续上升的趋势。扭矩超过 T_p 后, 截面上的剪应力分布发生变化, 如图 2-3(b) 所示。在截面上出现了一个环状塑性区, 并随着 T_p 的增长, 塑性区逐步向中心扩展, $T-\varphi$ 曲线稍微上升, 直到 B 点趋于平坦, 截面上各点材料完全达到屈服, 测力度盘上的指针几乎不动或摆动, 此时测力度盘上指示出的扭矩或指针摆动的最小值即为屈服扭矩 T_s 。如图 2-3(c) 所示, 根据静力平衡条件, 可以求得 τ_s 与 T_s 的关系为:

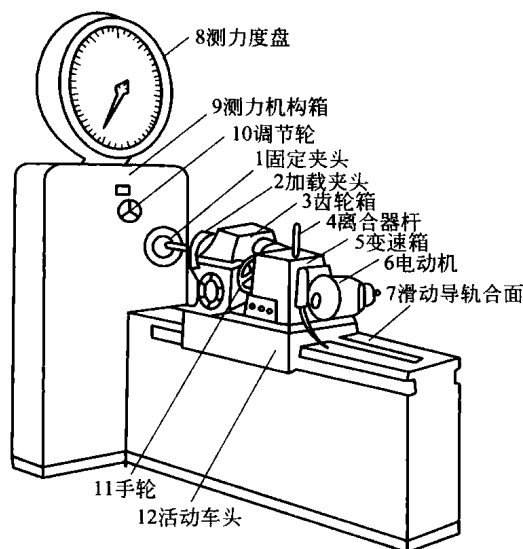


图 2-1 NJ-500 型扭力试验机外形图

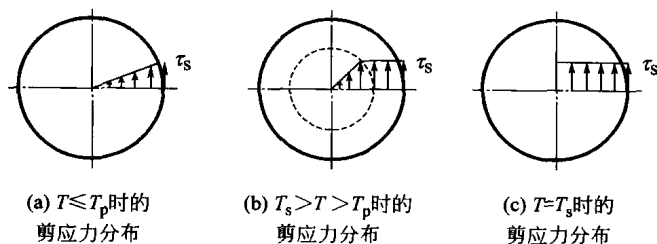


图 2-3 截面上剪应力分布图

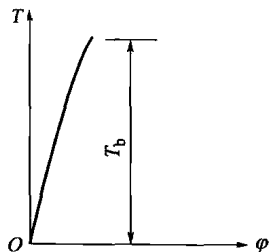


图 2-4 铸铁的扭转图

$$T_s = \int_A \rho \tau_s dA$$

将式中 dA 用环状面积元素 $2\pi\rho d\rho$ 表示, 则有

$$T_s = 2\pi\tau_s \int_0^{d/2} \rho^2 d\rho = \frac{4}{3}\tau_s W_t$$

$$\text{故剪切屈服极限为} \quad \tau_s = \frac{3}{4} \times \frac{T_s}{W_t} \quad (2-1)$$

式中, $W_t = \frac{\pi d^3}{16}$ 是试件的抗扭截面系数。

继续给试件加载, 试件再继续变形, 材料进一步强化。当达到 $T-\varphi$ 曲线上的 C 点时, 试件被剪断。由测力度盘上的被动计可读出最大扭矩 T_b , 与公式(2-1) 相似, 可得剪切强度极限为

$$\tau_b = \frac{3}{4} \times \frac{T_b}{W_t} \quad (2-2)$$

铸铁的 $T-\varphi$ 曲线如图 2-4 所示。从开始受扭直到破坏, 近似为一直线, 按弹性应力公式, 其剪切强度极限为

$$\tau_b = \frac{T_b}{W_t} \quad (2-3)$$

圆轴受扭时, 材料处于纯剪切应力状态。在比例极限范围内, 材料的剪应力 τ 与剪应变 γ 成正比, 即满足剪切胡克定律:

$$\tau = G\gamma$$

由此可得出圆轴受扭时的胡克定律表达式:

$$\varphi = \frac{TL_0}{GI_p}$$

式中, T 为扭矩, L_0 是试件的标距长度, I_p 为圆截面的极惯性矩。

通过扭转试验机, 对试件采用“增量法”逐级增加同样大小的扭矩 ΔT , 相应地由扭角仪测出相距为 L_0 的两个截面之间的相对扭转角增量 $\Delta\varphi_i$ 。如果每一级扭矩增量所引起的扭转角增量 $\Delta\varphi_i$ 基本相等, 这就验证了剪切胡克定律。根据测得的各级扭转角增量的平均值 $\Delta\varphi$, 可用下式算出剪切弹性模量

$$G = \frac{\Delta T \cdot L_0}{\Delta\varphi \cdot I_p}$$

低碳钢在弹性范围内, 两截面间的相对扭转角是非常微小的, 用扭转试验机上的测角装置是难以精确测读的, 需要具有放大倍数大、精度高的专门仪器, 这种仪器一般称为扭角仪。

扭角仪的种类很多, 按其结构来分, 有机械式、光学式和电子式等。但它们的基本原理是相同的, 都是将试件某截面圆周绕其形心旋转的弧长与其另一截面圆周绕其形心旋转的弧

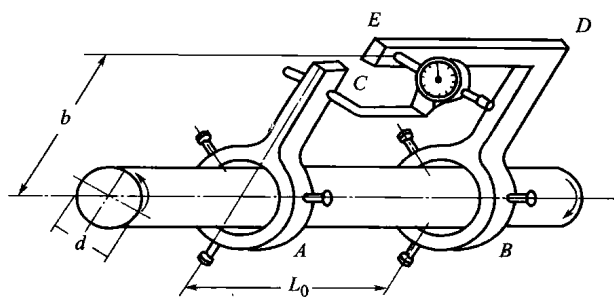


图 2-5 扭角仪的安装

长之差进行放大后再测读。

图 2-5 所示的是一种机械式扭角仪。在试件的 A、B 两截面处 (A、B 两截面的间距等于测量标距 L_0)，分别装上了扭角仪的两根臂杆 AC 和 BDE，以放大 A、B 两截面圆周绕其形心旋转的弧长。

当试件受扭时，固夹在试件上的 AC、BDE 杆就会绕试件轴转动，曲杆 BDE 就会使安装在 AC 杆上的千分表指针走动。设指针走动的位移为 δ ，千分

表推杆顶针处 E 到试样的轴线的距离为 b ，则 A、B 截面的相对扭转角为

$$\varphi = \frac{\delta}{b}$$

注意：这样计算出来的 φ 的单位为弧长。

四、实验步骤

1) 首先测量材料的剪切弹性模量 G 。

① 测量试件直径 d_0 。在试件的标距内，用游标卡尺测量中间和两端等三处直径，每处测一对正交方向，取平均值作该处直径，然后取三处直径平均值，作为试件直径 d_0 ，并据此计算 I_p 。

② 拟定加载方案。在 $4 \sim 20 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的范围内分 4 级进行加载，每级的扭矩增量 $\Delta T = 4 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

③ 安装扭角仪和试件。在试件的标距两端，装上扭角仪。先将试件的一端装入扭转试验机的固定夹头，然后将另一端装入主动夹头，用扳手拧紧夹紧螺栓，防止试验时打滑。

用扭转试验机慢速施加扭矩到 $20 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，与此同时，检查扭转试验机和扭角仪的运行是否正常，然后卸载到 $4 \text{ N} \cdot \text{m}$ 以下少许，处于待令工作状态。

④ 测读数据。加载到 $4 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，读取扭角仪上千分表的相应初读数。此后，每加载一级扭矩增量 ΔT ，读取相应的千分表读数，直到扭矩加到 $20 \text{ N} \cdot \text{m}$ 为止。

测读完毕，卸下扭角仪。

2) 在试件的中央和两端共三处，每处测一对正交方向，取平均值作该处直径，然后取三处直径最小者，作为试件直径 d ，并据此计算 W_t 。

3) 根据求出的 W_t 、估计试件材料的 τ_b ，求出大致需要的最大载荷，确定所需的机器量程。

4) 将试件两端装入试验机的夹头内，调整好绘图装置，将指针对准零点，并将测角度盘调整到零。

5) 用粉笔在试件表面上画一纵向线，以便观察试件的扭转变形情况。

6) 对于低碳钢试件，可以先用慢速电动缓慢而均匀地加载，当测力指针前进速度渐渐减慢以至停留不动或摆动时的值就是 T_s 。（注意：指针停止不动时间很短，因此要留心观察）。然后换成快速电动加载，直至试件破坏并立即停车。记下被动指针所指的最大扭矩，注意观察测角度的读数。

7) 铸铁试件的试验步骤与低碳钢相同，可直接用慢速电动加载，记录试件破坏时的最大扭矩值。

五、思考题

1) 低碳钢与铸铁试样破坏等情况有何不同，为什么？

2) 低碳钢在拉伸和扭转两种加载方式下，拉伸时的屈服要比扭转时明显，为什么？