



普通中等专业教育机电类规划教材

工程力学 实验指导书

机械工业中专基础课教学指导委员会力学学科组 编

机械工业出版社



中等专业教育机电类规划教材

工程力学实验指导书

主编 姚致国

参编 李悦凤 全锦 张淑兰

主审 朱仁怀



机械工业出版社

本书为中等专业学校工程力学课程的配套教材。全书分为三部分：第一部分为基本实验，包括拉伸和压缩、弹性模量 E 的测定、扭转、切变模量 G 的测定、直梁纯弯曲正应力的测定五个实验，对每个实验的实验目的、原理、所用设备仪器的名称、操作步骤及注意事项进行了介绍，有的还结合实验原理介绍了简易的实验装置。第二部分为实验设备和仪器简介，介绍了液压式万能材料试验机、引伸仪、扭转试验机、电测法原理和电阻应变仪。第三部分为可供学生填写的实验报告。

本书适合于普通中等专业学校学生使用，也可供成人教育、职业中专、技工等学校学生使用。

工程力学实验指导书

机械工业中专基础课教学指导委员会力学学科组 编

*

责任编辑：曹俊玲 版式设计：张世琴

封面设计：姚毅 责任校对：张莉娟

责任印制：何全君

*

机械工业出版社出版（北京市百万庄大街 22 号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 2.375 · 字数 48 千字

1999 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数 00 001—10000 · 定价：4.00 元

*

ISBN 7-111-06876-9/O · 167（课）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68993821、68326677-2527

前 言

《工程力学实验指导书》是工程力学课程的配套教材，依据教育部中专《工程力学教学大纲》的精神编写。工程力学实验是工程力学课程的重要组成部分，是工科专业学生必备的基础训练，也是工程技术人员必须掌握的基本技能之一。通过实验教学，使学生掌握力学实验的基本方法，学习操作技能、技巧，了解并正确选择、使用设备，培养学生的动手能力及综合应用基本理论与实验手段解决工程实际问题的能力。

本书包括了拉伸和压缩、弹性模量 E 的测定、扭转、切变模量 G 的测定、直梁纯弯曲正应力的测定五个基本实验，其中有“*”的为选做实验。考虑到实验内容既要有利于学生对工程力学基本概念、基本理论的理解，又要有利于培养学生的职业技能，本书详细地介绍了实验原理、步骤。为了使学生对实验设备及仪器有较系统的了解，本书除在第二部分对几种实验设备和仪器进行了专门介绍外，还对几种简易的实验装置和仪器结合有关实验原理进行了介绍，学生应结合有关实验详细阅读这些内容。

本书具有如下特点：一是参照最新颁布的国家标准，使教材内容与国家标准基本一致；二是按照教学基本要求和大多数中专学校的实际情况，介绍了一些简易实用的实验设备。

本书由大连工业学校姚致国、李悦凤、张淑兰和山东机械工业学校全锦编写，姚致国担任主编，广西机械工业学校

IV

朱仁怀担任主审。参加审稿会的有姚致国、朱仁怀、李悦凤、全锦、许文华（沈阳市机电工业学校）。北京市汽车工业学校韩向东详细审阅了全稿，并提出了许多宝贵意见。重庆机械制造学校许峡峰在本书编写过程中做了大量的组织指导工作。

由于编者水平有限，本书难免有不妥之处，望读者批评指正。

编 者

1998 年 7 月

目 录

前言

第一部分 基本实验	1
实验一 拉伸和压缩实验	1
* 实验二 弹性模量 E 的测定实验	10
实验三 扭转实验	14
* 实验四 切变模量 G 的测定实验	18
实验五 直梁纯弯曲正应力的测定实验	22
第二部分 实验设备和仪器简介	27
2.1 液压式万能材料试验机	27
2.2 引伸仪	31
2.3 扭转试验机	35
2.4 电测法原理与电阻应变仪	41
第三部分 实验报告	49
实验报告一 拉伸和压缩实验	51
实验报告二 弹性模量 E 的测定实验	55
实验报告三 扭转实验	58
实验报告四 切变模量 G 的测定实验	61
实验报告五 直梁纯弯曲正应力的测定实验	64
附录 数值修约规则和部分力学性能修约规定	67
参考文献	68

第一部分 基本实验

实验一 拉伸和压缩实验

一、实验目的

1. 测定低碳钢在拉伸时的下屈服点 σ_{sL} 、抗拉强度 σ_b 、断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ ；测定铸铁在拉伸时的抗拉强度 σ_b 。
2. 观察拉伸过程的几个阶段、现象及力—伸长曲线。
3. 比较低碳钢与铸铁抗拉性能的特点，并进行断口分析。
4. 测定铸铁在压缩时的抗压强度 σ_{bc} 。
5. 观察铸铁在压缩时的变形和破坏现象。

二、试样

必须先将欲测试材料加工成试样。

1. 拉伸试样。试样加工须按《金属拉伸试验试样》(GB6397—86)的有关要求进行。试样有比例和非比例两种。

比例试样应符合 $L_0 = K \sqrt{A_0}$ 关系，式中， L_0 为标距， A_0 为横截面积， K 为比例系数。 $K=5.65$ 的称为短试样， $K=11.3$ 的称为长试样。与之对应的圆形截面试样的标距长度 L_0 分别为 $5d_0$ 和 $10d_0$ ， d_0 为试样直径，通常为 $3\sim 25\text{mm}$ ，多数情况下取 $d_0=10\text{mm}$ 。试样两端被夹持部分的形状和尺寸可据试验

机夹头形式而定。一般有四种形式：双肩头部试样、单肩头部试样、螺纹头部试样和光面圆柱形头部试样。图 1-1 为光面圆柱形头部试样的简图及加工要求。为测定低碳钢的断后伸长率 δ ，须用刻线机（或小钢冲）在试样标距范围内刻划圆周线（或打小冲点），将标距 L_0 分为等长的 10 格。

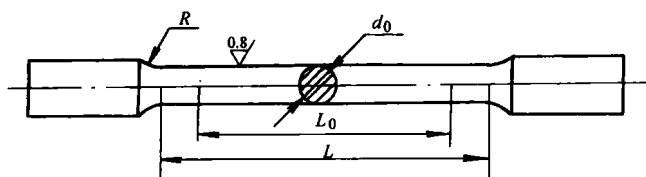


图 1-1 拉伸试样

2. 压缩试样。试样加工须按《金属压缩试验方法》(GB7314—87) 的有关要求进行。试样一律做成圆柱形。取试样长度 $L = (2.5 \sim 3.5)d_0$ ，试样加工的技术要求如图 1-2 所示。

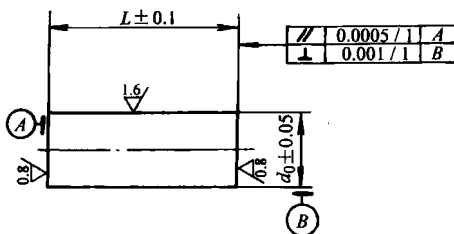


图 1-2 压缩试样

三、实验原理

(一) 低碳钢、铸铁拉伸时力学性能的测定

拉伸实验是测定材料力学性能最基本的实验之一。材料的力学性能如上屈服点、下屈服点、抗拉强度、断后伸长率和断面收缩率等均是拉伸实验测定的。

1. 低碳钢

(1) 力-伸长曲线的绘制。通过试验机绘图装置可自动绘成以轴向力 F 为纵坐标、试样伸长量 ΔL 为横坐标的力-伸长

曲线 ($F-\Delta L$ 图), 如图 1-3 所示。低碳钢的力-伸长曲线是一种典型的形式, 整个拉伸变形分四个阶段: 弹性阶段、屈服阶段、强化阶段和缩颈阶段。

(2) 下屈服点的测定。图中最初画出的小一段曲线, 是由于试样装夹间隙所致。接着, 载荷增加, 变形也与载荷成正比增加, $F-\Delta L$ 图上为一直线, 此即直线弹性段。过了直线弹性段, 尚有一极

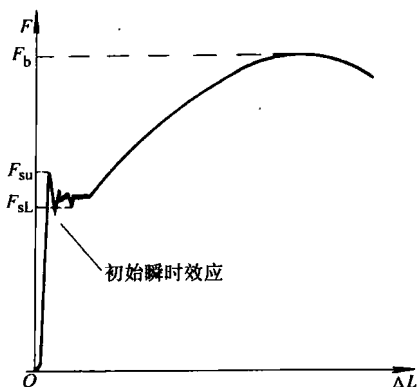


图 1-3 低碳钢的力-伸长曲线

小的非直线弹性段。弹性阶段包括直线弹性段和非直线弹性段。当载荷增加到一定程度, 测力指针往回偏转, 继而缓慢地来回摆动, 相应地在 $F-\Delta L$ 图上画出一段锯齿形曲线, 此段即屈服阶段。经过抛光的试样, 在屈服阶段可以观察到与轴线约成 45° 的滑移线纹。曲线在屈服阶段力首次下降前的最大力 F_{su} , 称为上屈服力, 与其对应的应力称为上屈服点; 不计初始瞬时效应的最小力 F_{sl} , 称为下屈服力, 与其对应的应力为下屈服点 σ_{sl} , 按式 (1-1) 计算

$$\sigma_{sl} = \frac{F_{sl}}{A_0} \quad (1-1)$$

式中, A_0 为试样标距范围内的原始横截面面积, 单位为 mm^2 ; F_{sl} 、 σ_{sl} 的单位分别为 N、MPa。

若在屈服阶段指针只往回偏转一次, 该次偏转的最小力即为下屈服力 F_{sl} 。

(3) 抗拉强度的测定。过了屈服阶段，随着载荷的增加，试样恢复承载能力， $F-\Delta L$ 图的曲线上升，此即强化阶段。载荷增大到最大力 F_b 时，测力主动指针回摆，试样明显变细变长， $F-\Delta L$ 图的曲线下降，试样某一局部横截面面积急速减小而出现“缩颈”现象，很快即被拉断，此即缩颈阶段。由测力度盘上从动指针停留处读取最大力 F_b ，按式 (1-2) 计算抗拉强度 σ_b

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

式中， F_b 、 σ_b 、 A_0 的单位分别为 N、MPa、 mm^2 。

(4) 断后伸长率的测定。试样拉断后，将两段在断裂处紧密地对接在一起，尽量使其轴线位于同一直线上，测量试样拉断后的标距 L_1 。

断后标距 L_1 的测量方法：

1) 直测法。如果拉断处到较近标距端点的距离大于试样原始标距 L_0 的 $1/3$ 时，直接测量断后标距 L_1 。

2) 移位法。如果拉断处到较近标距端点的距离小于或等于 $L_0/3$ 时，则按下述方法测定 L_1 ：

在试样断后的长段上从断裂处 O 取基本等于短段的格数，得 B 点。接着取等于长段所余格数（偶数）的一半，得 C 点（见图 1-4a）；或取所余格数（奇数）分别减 1 与加 1 的一半，得 C 和 C' 点（见图 1-4b）。移位后的标距 L_1 分别为

$$L_1 = AB + 2BC \quad (\text{所余格数为偶数})$$

$$\text{或} \quad L_1 = AB + BC + BC' \quad (\text{所余格数为奇数})$$

断后伸长率 δ 按式 (1-3) 计算

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

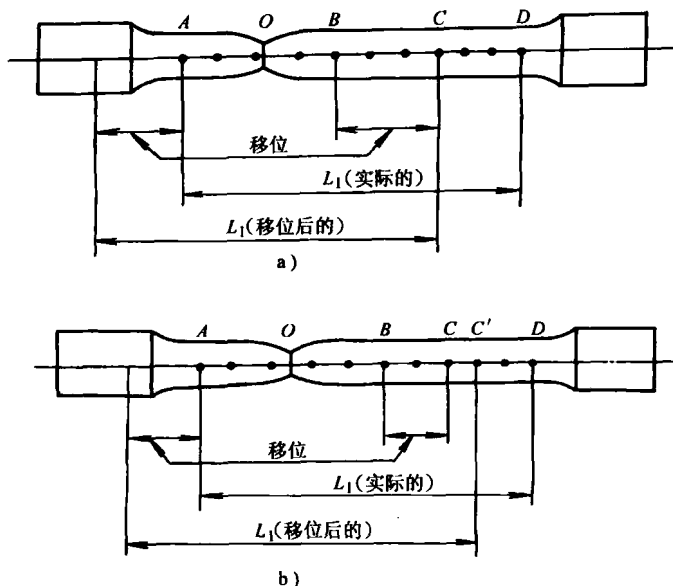


图 1-4 测量断后标距 L_1 的移位法

a) 所余格数为偶数 b) 所余格数为奇数

(5) 断面收缩率的测定。测出试样断后缩颈处最小横截面上两个互相垂直方向上的直径，取其算术平均值计算出最小横截面积 A_1 ，断面收缩率 ψ 按式 (1-4) 计算

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

2. 铸铁

铸铁试样拉伸时， $F-\Delta L$ 图如图 1-5 所示，曲线上无明显的直线部分，没有屈服现象，载荷增加到最大值 F_b 处突然断裂。 F_b 由从动指针读出。试样断裂后断口平齐，塑性变形很小，是典型的脆性材料。其抗拉强度 σ_b 远小于低碳钢的抗拉强度，仍用式 (1-2) 计算。

(二) 铸铁压缩时力学性能的测定

实验时, 利用自动绘图装置描出类似力-伸长曲线的力-变形曲线 ($F-\Delta L$ 图), 如图1-5所示。

铸铁的力-变形曲线始终是非线性的。当载荷增加到最大力 F_{bc} 时, 试样突然破裂。 F_{bc} 由从动指针读出。铸铁的抗压强度 σ_{bc} 按式 (1-5) 计算

$$\sigma_{bc} = \frac{F_{bc}}{A_0} \quad (1-5)$$

式中, F_{bc} 、 σ_{bc} 、 A_0 的单位分别为 N、MPa、 mm^2 。

铸铁试样在压缩时断裂面与轴线间的夹角约在 $40^\circ \sim 45^\circ$, 说明破坏主要是由于切应力所引起的。

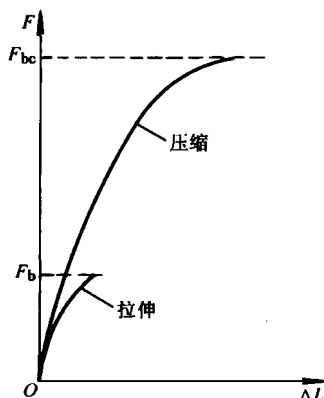


图 1-5 铸铁的力-伸长曲线和力-变形曲线

四、实验设备及量具

- 万能试验机或拉力试验机。
- 刻线机或小钢冲。
- 游标卡尺。

五、实验步骤

(一) 低碳钢拉伸实验

1. 准备试样。用刻线机在原始标距 L_0 范围内刻划圆周线 (或用小钢冲打小冲点), 将标距分为等长的 10 格。用游标卡尺在试样原始标距 L_0 的两端及中间处两个相互垂直的方向上各测一次直径, 取其算术平均值作为该处截面的直径, 然后选用三处截面直径的最小值来计算试样的原始横截面积

A_0 (取三位有效数字)。

2. 调整试验机。根据低碳钢的抗拉强度 σ_b 和原始横截面面积 A_0 估算试样的最大载荷, 配置相应的摆锤, 选择合适的测力度盘。开动试验机, 使工作台上升 10mm 左右, 以消除工作台系统自重的影响。调主动指针对准零点, 从动指针与主动指针靠拢, 调整好自动绘图装置。

3. 装夹试样。先将试样装夹在上夹头内, 再将下夹头移动到合适的夹持位置, 最后夹紧试样下端。

4. 检查与试车。请教师检查以上步骤完成情况。开动试验机, 预加少量载荷 (载荷对应的应力不能超过材料的比例极限), 然后卸载到零, 以检查试验机工作是否正常。

5. 进行实验。开动试验机, 缓慢而均匀地加载 (应力速度的范围为 $1 \sim 10 \text{MPa/s}$), 仔细观察测力指针转动和绘图装置绘制 $F-\Delta L$ 图的情况。注意捕捉下屈服力 F_{sL} 值, 将其记录下来用以计算下屈服点 σ_{sL} 。屈服阶段注意观察滑移现象。过了屈服阶段, 加载速度可以快些。达到最大力时, 注意观察“缩颈”现象。试样断后立即停车, 记录最大力 F_b 值。

6. 取下试样和记录纸。

7. 用游标卡尺测量断后标距。

8. 用游标卡尺测量缩颈处最小直径 d_1 , 用此计算最小横截面面积 A_1 。

(二) 铸铁拉伸试验

1. 准备试样。除不必刻线或打小冲点外, 其余都同低碳钢。

2. 调整试验机和自动绘图装置, 装夹试样, 对以上工作进行检查 (与低碳钢拉伸实验时的步骤同)。

3. 进行实验。开动试验机, 缓慢均匀地加载, 直至试样

被拉断。关闭试验机，记录拉断时的最大力 F_b 值，取下试样和记录纸。

（三）铸铁压缩实验

1. 准备试样。测量试样中点处横截面两个相互垂直方向的直径，取其平均值来计算试样的原始横截面面积 A_0 。

2. 调整试验机。使测力指针指零，将自动绘图装置调整好。

3. 放置试样。将试样两端面涂匀润滑油，尽量准确地置于试验机承压球面支座中心处，并在其周围加防护罩。使工作台上升。在试样离上承压座约 30mm 时，要急速降低工作台上升速度（急速关小送油阀）。试样临近上承压座时，稍能看出工作台上升即可。当试样接触到上承压座时停车。

4. 检查与试车。请教师检查以上步骤完成情况。开动试验机，预加少量载荷，然后卸载到零，检查试验机工作是否正常和对试样的加载是否正常。

5. 进行实验。缓慢均匀地加载，直至试样破裂，停车。记录破裂时的最大力 F_{bc} 。

（四）结束实验

请教师检查实验记录。将实验设备、工具复原，清理实验现场。最后整理数据，完成实验报告。

六、注意事项

1. 认真阅读试验机的构造原理、使用方法和注意事项。

2. 调整测力指针指零时，一定要使液压式万能材料试验机开机，工作台上升少许。

3. 装夹拉伸试样必须正确，防止装偏或夹持部分装夹过短。放置铸铁压缩试样时，必须在其周围加防护罩，以免试样破裂时碎片飞出伤人。

4. 加载要缓慢均匀，特别是对液压式万能材料试验机，不能把油门开得过大。在压缩试样顶端与上承压座将要接触时，急速关小送油阀，以避免发生突然加载或超载，使实验失败，甚至造成事故。

5. 为防止损伤试验机，实验进行到屈服阶段后，所加最大载荷不得超过测力度盘的 80%。

七、讨论题

1. 按什么原则选择测力度盘的量程？如何根据量程选挂摆锤？

2. 铸铁试样压缩时，为什么沿着与轴线大致成 45° 的斜截面破裂？

3. 从低碳钢和铸铁的拉、压实验，可以看出塑性材料和脆性材料的拉、压力学性能有何不同？

* 实验二 弹性模量 E 的测定实验

一、实验目的

1. 验证虎克定律，测定低碳钢的弹性模量 E 。
2. 了解引伸仪的构造原理和使用方法。
3. 了解实验加载方案的拟定原则。

二、实验原理

(一) 弹性模量 E 的测量原理

杆件原长为 L ，横截面积为 A ，当受到轴向拉力 F 的作用时，在比例极限内，杆件的伸长量 ΔL 和拉力 F 的关系服从虎克定律，即

$$\Delta L = \frac{FL}{EA} \quad (1-6)$$

也就是杆件横截面上的正应力和线应变的比值为—常量

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{FL}{\Delta LA} \quad (1-7)$$

现在对原始横截面积为 A_0 的低碳钢试样施加轴向载荷 F ，若用引伸仪测出其标距 L_e 范围内的伸长量 ΔL_e ，即可由式 (1-7) 计算出低碳钢的弹性模量 E 。为验证虎克定律，实验采用逐级加载法（增量法）对试样加载，即把初载荷 F_0 到终载荷 F_n 的加载范围分成 n 个等级的载荷增量 ΔF 。在载荷增量 ΔF 的作用下，引伸仪测出的每级相应伸长增量为 ΔL_{ei} ，再算出伸长增量的平均值 ΔL_e ，于是弹性模量 E 就可由式 (1-8) 算出

$$E = \frac{\Delta F L_e}{\Delta L_e A_0} \quad (1-8)$$

式中, A_0 为试样标距范围内的原始横截面面积, 单位为 mm^2 ; ΔF 、 L_e 、 ΔL_e 、 E 的单位分别为 N 、 mm 、 mm 、 MPa 。

实验中, 由于施加的各级载荷增量 ΔF 相等, 所以测出的标距 L_e 内的各级伸长增量 ΔL_e 也大致相等, 也就验证了虎克定律的正确性。

在实验开始时, 试样会因夹头不牢而产生松动, 又因引伸机构间隙的存在, 其刀口 (或顶尖) 会在试样夹持表面上产生微小的滑动, 这些都将影响读数的准确性, 故必须加一定的初载荷。为保证试样的最终应力不超过比例极限, 还必须控制终载荷的大小。在不降低测量精度的前提下, 尽可能使引伸仪有明显读数, 所以又必须选择合适的载荷增量级数。

(二) 加载方案的拟定

如采用万能材料试验机或拉力试验机加载, 在实验前要先拟定加载方案。加载方案的拟定原则, 一般按以下几条考虑:

1. 因实验在比例极限内进行, 故预先估算终载荷 F_n , 一般取屈服力的 $70\% \sim 80\%$ 。
2. 初载荷 F_0 取为终载荷 F_n 的 10% 。
3. 加载级数不少于 4 级 (初载荷 F_0 不算在内)。每一级载荷应使引伸仪读数有明显变化。
4. 为方便计算, 载荷增量和初载荷要化成整数。

测定钢材的弹性模量 E , 也可在特制的小型试验台上进行。如图 1-6 所示的测 E 试验台, 是采用砝码加载荷, 并通过杠杆放大。若杠杆比为 $1:40$, 每个砝码重量 $G=25\text{N}$, 每加一级砝码的载荷增量即为 $\Delta F=1000\text{N}$ 。