

# 材料力学实验指导

## 与实验基本训练

CAILIAO LIXUE SHIYANZHIDAO  
YU SHIYAN JIBEN XUNLIAN

主 编 © 古 滨

副主编 © 万 鸣 江俊松



Wuhan University Press  
武汉大学出版社

# 材料力学实验指导与实验基本训练

古 滨 主 编

万 鸣 江俊松 副主编



Wuhan University Press  
武汉大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学实验指导与实验基本训练/古滨主编. —武汉: 武汉大学出版社, 2014.7  
ISBN 978-7-307-13876-6

I. 材… II. 古… III. 材料力学—实验—高等学校—教学参考资料 IV. TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 167671 号

责任编辑: 袁 侠 责任校对: 杨 芸 版式设计: 三山科普

---

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 四川森林印务有限责任公司

开本: 787×1092 1/16 印张: 7 字数: 175 千字

版次: 2014 年 7 月第 1 版 印次: 2014 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-13876-6 定价: 21.00 元

---

版权所有, 不得翻印: 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

# 前 言

为了适应新世纪课程分级教学的需要和对学生能力培养的要求，我们在总结多年来教学实践的基础上，按照教育部“高等学校理工科非力学专业材料力学课程教学基本要求”和教育部工科力学教学指导委员会“面向二十一世纪工科力学课程教学改革的基本要求”，结合西华大学力学实验中心的实际情况编写了这本《材料力学实验指导与实验基本训练》。

本书集近年来西华大学材料力学精品课程建设项目、力学实验课程四川省教改项目、四川省级力学实验示范中心建设项目及成果为一体。本书内容共5章，包括：绪论、材料力学基本实验、材料力学选做实验、主要实验设备及仪器介绍、基础力学实验基本训练。

本书是在2011年北京理工大学出版社出版的《材料力学实验指导与实验基本训练》近三年使用的基础上，经过全面更正、全方位的更新和补充而成的。本书可与武汉大学出版社、北京理工大学出版社出版的《材料力学》《材料力学基本训练》配套使用。

本书的主要特点有：

1) 可增强教与学的互动性。编写形式介于教材、实验指导书和习题集之间，为师与生之间搭建了一个互动桥梁。该书还可作为实验预习、讨论、小测验用书。

2) 实验设备及仪器介绍部分新增了西华大学力学实验中心自主研发的“互动式普及型材料力学创新实验平台”（2013年获一项国家专利授权）的介绍。

3) 本书附上了材料力学课程教学基本要求（A类）（附录IV），便于师生把握力学实验教与学。

本书可作为实验设备及条件与编写学校相当的高等院校工科相关专业材料力学实验指导用书和基础力学实验实训、竞赛参考书。

本书由西华大学古滨担任主编，西华大学万鸣、江俊松担任副主编。西华大学古滨编写并修订了第1章、第3章、第4章的部分内容，第5章和附录，西华大学万鸣编写并修订了第2章、第4章的部分内容，西华大学江俊松编写并修订了第2章、第3章、第4章的部分内容，完成了全书的大部分图表绘制，西华大学曹吉星编写并修订了第2章、第3章部分内容，西华大学王亦恩编写并修订了第4章、第5章部分内容。全书由古滨统稿。

在本书的策划和编写过程中，参阅了众多兄弟工科院校力学实验指导书以及江苏省大学生基础力学实验竞赛的参考资料，同时得到了西华大学力学实验中心和力学教学部的老师们的关心和支持，在此一并表示衷心感谢。

限于编者水平，疏漏在所难免，恳请批评指正。

编 者

# 目 录

## 前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学实验的任务和地位	1
1.2 材料力学实验的发展、现状和趋势	1
第 2 章 材料力学基本实验	3
2.1 拉伸与压缩实验	3
2.1.1 拉伸实验	3
2.1.2 压缩实验	7
2.2 扭转实验	10
2.3 纯弯曲正应力实验	15
2.4 金属材料弹性常数 $E$ 、 $\mu$ 的测定	18
2.5 粘贴电阻应变片实验	20
2.6 电阻应变片的接桥方法实验	25
2.7 弯扭组合变形时主应力的测定	29
2.8 压杆稳定实验	31
第 3 章 材料力学选做实验	34
3.1 低碳钢切变模量 $G$ 的测定	34
3.2 材料的冲击实验	35
3.3 金属疲劳演示实验	37
3.4 光弹性观察实验	41
3.5 基于“互动式普及型材料力学创新实验平台”的创新实验(简介)	44
第 4 章 主要实验设备及仪器介绍	47
4.1 微机控制电子万能试验机	47
4.1.1 结构概述	47
4.1.2 工作原理	47
4.1.3 移动横梁	48
4.1.4 操作方法	48
4.1.5 注意事项	58
4.2 微机控制扭转试验机	58
4.2.1 结构原理	58
4.2.2 操作步骤	59

4.3 动静态综合测试仪	59
4.3.1 硬件使用方法	60
4.3.2 学生软件使用方法	61
4.4 力&应变综合参数测试仪	66
4.4.1 组成及结构	67
4.4.2 使用方法	68
4.4.3 注意事项	70
4.5 电子式动静态力学组合实验台	70
4.5.1 概述	70
4.5.2 实验台的装配与调试	72
4.6 材料力学实验台	72
4.6.1 构造及工作原理	73
4.6.2 操作步骤	73
4.6.3 注意事项	74
4.7 互动式普及型材料力学创新实验平台	74
<b>第5章 基础力学实验基本训练</b>	<b>77</b>
5.1 基本实验预习思考题	77
5.2 基本实验和选做实验的复习问答题	78
5.3 基本实验概念题	79
5.4 综合实验概念题	81
5.5 基本实验综合题	83
5.6 综合实验综合题	87
基本训练答案	94
<b>附录</b>	<b>97</b>
附录 I 误差理论及实验数据处理	97
附录 II 最小二乘法	100
附录 III 几种常用材料的主要力学性能(等)	101
附录 IV 材料力学课程教学基本要求(A类)	103
<b>参考文献</b>	<b>107</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 材料力学实验的任务和地位

### 1. 材料力学实验的任务

面向生产，为生产服务。根据正规生产过程，科学设计的程序应该是：首先了解工况、外载荷、设计范围等；其次选料、设计尺寸、核算强度和分析应力；然后是生产、现场实测、分析事故；经过长期观察，最后才能投产。材料力学实验在这儿扮演了主要角色。

面向新技术、新方法的引入，研究新的测试手段。近二十年来由于光学的大发展和光电子学、光纤的发展，产生了很多新的光测法，可概括称为“光力学”，还有疲劳、断裂、细微尺度力学实验等。

面向材料力学，为材料力学的理论建设服务。材料力学的一些理论是以某些假设为基础的，例如杆件的弯曲理论就以平面假设为基础。用实验验证这些理论的正确性和适用范围，有助于加深对理论的认识和理解。至于新建立的理论和公式，用实验来验证更是必不可少的。实验是验证、修正和发展理论的必要手段。

### 2. 材料力学实验的地位

材料力学实验是材料力学中新的理论及计算方法提出的必要前提，用新的理论、计算方法所得的结果要经过实验验证。

材料力学实验能解决许多理论工作无法解决的工程实际问题。某些情况下，例如因构件几何形状不规则或受力复杂等，应力计算并无适用理论。这时，用诸如电测、光弹性等实验应力分析方法直接测定构件的应力，便成为有效的方法。对经过较大简化后得出的理论计算或数值计算，其结果的可靠性更有赖于实验应力分析的验证。

材料力学实验是材料力学发展的三大支柱（新的理论、计算方法、力学实验）之一。

## 1.2 材料力学实验的发展、现状和趋势

### 1. 材料力学实验的发展

从发展史来看，力学实验方法的发展与力学理论体系发展不同。理论往往是有一个体系，并不断发展和完善的。而力学实验就不同了，它都借助于物理基础、新概念和新技术，经过再创造为力学服务，它不断更新，形成许多种相对独立的方法，如光弹性、电阻应变测量、云纹、声发射等。因此，力学实验的特点是多体系、相对独立性、困难性、交叉性、渗透性和无界性。力学实验历史是很悠久的，可以说与理论平行。实验（在实验室）与实践（在现场）是一样的，如果没有现场实验作为基础，古代人怎么可能在没有理论体系的情况下，造出那么多出色的建筑，如塔、宫殿、赵州石桥等，至今犹存。

材料力学实验的发展，在西方首先由达·芬奇（Da Vinci）做了梁的弯曲实验。之后就

是伽利略 (Galileo), 他做过悬臂梁实验和拉伸强度实验。再以后就是胡克 (Hooke), 他在 1678 年发表弹簧论文, 从而产生了胡克定律, 给弹性力学奠定了理论基础。后来出现了马里沃特 (Mariotte) 的简支梁实验, 伯努里 (Bernoulli) 的悬臂梁实验, 欧拉 (Euler) 的稳定实验, 库仑 (Coulomb) 的剪切实验。泊松 (Poisson)、圣维南 (St. Venant)、柯西 (Cauchy)、纳维 (Navier) 等人也为材料力学实验的发展作出了重要贡献。

我国《墨子·经下》记有: “发均悬轻而发绝, 不均也, 均其绝也莫绝”, 以及“衡木, 加重焉而不挠, 极胜重也; 若校交绳, 无加焉而挠, 极不胜重也”。墨子这个拉伸与弯曲实验比伽利略的实验还早 2000 年。

## 2. 材料力学实验的现状

我国材料力学方面的论文多偏重于经典理论和方法, 缺乏有根据的计算和实验验证, 虽然理论做得很细很巧, 但不能说是一个完美的科学成果。突破实验和计算这两个薄弱环节应该是我国材料力学工作者的急迫任务。材料力学方面的科研成果如果缺乏实验验证就是个不完整的成果, 还需要做大量的、系统的实验作为其重要支撑。

## 3. 材料力学实验的发展趋势

广泛地应用电阻应变测量技术, 使得从真空到高压, 从深冷到高温, 从静态到高频条件下的应变, 都可获得有效的测量数据。又如把经典方法和新兴科学技术结合起来 (全息干涉法、全息光弹性法、散斑干涉法、声发射技术等), 不断增加测试手段, 扩大了测量和应用范围, 提高了测试精度。开展宏观和微观相结合的实验研究, 深入探索失效机理和各种影响材料强度因素的规律性。实验技术正向广度和深度发展。

实验装备的自动化。在实验数据的采集、处理、分析和控制方面实现计算机化。如大型动载实验, 已能做到实时的数据处理, 大大缩短实验周期, 及时提供准确的实验分析数据和图表。出现多种光弹性自动测试装置的方案。

随着计算机及有限元分析和其他数值分析方法的应用, 材料力学实验正朝着实验与计算相结合, 物理模型与数学模型相结合的方向发展。



# 第2章 材料力学基本实验

## 2.1 拉伸与压缩实验

### 2.1.1 拉伸实验

常温、静载下的轴向拉伸实验是材料力学实验中最基本、应用最广泛的实验。通过拉伸实验，可以全面地测定材料的力学性能，如弹性、塑性、强度等力学性能指标。这些性能指标对材料力学的分析计算、工程设计、选择材料和新材料开发都有极其重要的作用。

#### 1. 实验目的

- 1) 测定低碳钢的下屈服强度  $R_{eL}$  (屈服极限  $\sigma_s$ )、抗拉强度  $R_m$  (强度极限  $\sigma_b$ )、断后伸长率  $A(\delta)$ 、断面收缩率  $Z(\psi)$ 。
- 2) 测定铸铁的抗拉强度  $R_m$  (强度极限  $\sigma_b$ )。
- 3) 观察上述两种材料在拉伸过程中的各种现象 (屈服、强化、缩颈等)，并绘制拉伸图 ( $F-\Delta L$  曲线图)。
- 4) 比较低碳钢 (塑性材料) 与铸铁 (脆性材料) 力学性能的特点。
- 5) 了解微机控制电子万能试验机的构造、工作原理，并掌握其操作使用方法。

#### 2. 主要设备、仪器及材料

- 1) 微机控制电子万能试验机。
- 2) 千分尺、游标卡尺、分规、钢片尺。
- 3) 低碳钢及铸铁拉伸试样。

#### 3. 实验原理

表示材料力学性能的四大指标：下屈服极限  $R_{eL}$ 、抗拉强度  $R_m$ 、断后伸长率  $A$  和断面收缩率是通过拉伸实验来测定的。为此，应首先用待测材料制备试样。拉伸试样可制成圆形 Z 矩形等截面。圆形截面试样如图 2-1 所示。

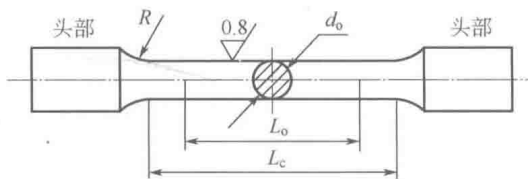


图 2-1 圆形截面试样

试样头部 (夹持部分) 用以装入试验机夹具中，以便夹紧试样，其形状可根据夹具形状而定。可制成圆柱形 (图 2-1)、阶梯形 (图 2-2) 或螺纹形 (图 2-3)。过渡部分用以保证

标距部分受力均匀。试样中段用于测量拉伸变形，也是试样的主体，此段长度大  $L_0$  称为“原始标距”（亦称计算长度）。试样两头部或不带头试样夹持部分之间平行部分的长度  $L_c$  叫做平行长度，它应大于原始标距  $L_0$ 。

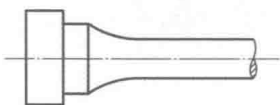


图 2-2 阶梯形头部

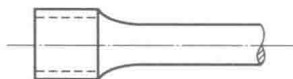


图 2-3 螺纹形头部

试样的尺寸和形状对实验结果有一定影响。为能正确比较材料的力学性能，GB/T 288.1—2010《金属材料 拉伸实验 第 1 部分：室温实验方法》对试样的尺寸和形状都作了统一规定。按 GB/T 288.1—2010 的规定，拉力试样分为比例试样和非比例试样两种。比例试样的原始标距与横截面积之间具有如下关系： $L_0 = k\sqrt{S_0}$ ，比例系数  $k$  通常为 5.65 和 11.3。前者称为短试样，后者称为长试样。短、长圆形截面试样的原始标距  $L_0$  就分别等于  $5d_0$  和  $10d_0$ 。非比例试样的原始标距和横截面积之间无上述一定的关系。

微机控制电子万能试验机可自动绘出低碳钢拉伸图（ $F-\Delta L$  曲线图），如图 2-4a 所示。由图可见，低碳钢的整个拉伸过程可分为如下 4 个阶段：

#### (1) 弹性阶段（ $Oab$ 段）

当载荷不超过  $F_e$  时，试样只有极小的弹性变形，故曲线呈陡峭上升状。其中，在  $Oa$  段（载荷不超过  $F_p$ ），试样的应力与应变成正比，故  $Oa$  为一直线段。对应于  $a$  点的应力称为比例极限，而对应于  $b$  点的应力称为弹性极限（本次实验均不测试）。至于曲线起始部分略呈弯曲，是由于试样头部在夹头中的塑性变形或打滑所致。

#### (2) 屈服阶段（ $bcd$ 段）

当载荷超过  $F_e$  之后，试样的变形既有弹性变形，同时又有塑性变形。此时，试样进入屈服阶段。所谓“屈服”，即材料暂时失去抵抗变形的能力的现象。它是因金属晶格间产生相对滑动所致。此时，载荷增加不上去，或略有波动，但变形却不断发生。拉伸图中得到一锯齿形曲线  $bcd$ ，如图 2-4a 所示，其中与最高  $c'$  点载荷  $F_{cH}$  对应的应力称为上屈服强度（图 2-4b），它受变形速度和试样形状的影响一般不作为强度指标。同样，载荷首次下降的最低  $c$  点对应的应力（初始瞬时效应）也不作为强度指标。一般将初始瞬时效应以后的最低载荷  $F_{cL}$ ，除以试样的原始横截面积  $S_0$ ，得到下屈服强度  $R_{eL}$ ，作为强度指标，即

$$P_{eL} = \frac{F_{cL}}{S_0} \quad (2.1)$$

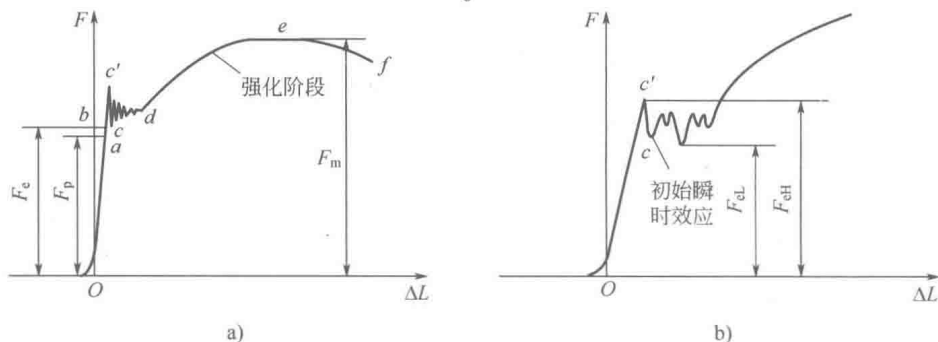


图 2-4 低碳钢拉伸图

至于某些材料，屈服时的  $F-\Delta L$  曲线不呈锯齿状，而呈平台状（图 2-5）。这一平台叫做屈服平台。

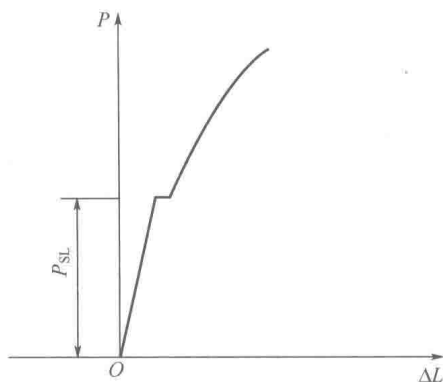


图 2-5 屈服平台

### (3) 强化阶段 ( $de$ 段)

屈服结束后，材料又恢复了抵抗变形的能力。要使试样继续伸长，必须增大载荷。此种现象，叫做强化。在拉伸图  $F-\Delta L$  曲线中，曲线又开始上升。

材料进入强化阶段后，若在此阶段的某一点卸载，则可在拉伸图上得一卸载曲线，它与曲线的起始部分的弹性直线段基本平行，这就是所谓的“卸载定律”。若卸载后又重新加载，则重新加载的曲线将沿卸载曲线上升到原卸载点，此后的曲线基本上与未卸载的曲线相重合。这就是所谓的“冷作硬化效应”。在强化阶段，试样横向尺寸明显缩小。

随着实验继续进行，拉伸曲线上升平缓，说明此时变形较快而载荷增加较慢。强化阶段最高点  $e$  所对应的载荷，即为试样承受的最大载荷  $F_m$ ，其所对应的应力即为抗拉强度 ( $R_m$  强度极限)，于是

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (2.2)$$

### (4) 局部变形阶段 ( $ef$ 段)

载荷达到最大值  $F_m$  之后，曲线开始下降。与此同时，在试样的某局部范围内，横向尺寸急剧缩小，这就是所谓“缩颈”现象（图 2-6）。由于缩颈部分横向尺寸迅速缩小，试样变形所需拉力亦相应减小。故拉伸图上曲线向下弯曲。直至最后到  $f$  点，试样在缩颈处被拉断。



图 2-6 试样颈缩

材料的塑性指标用断后伸长率  $A$  和断面收缩率  $Z$  表示。

所谓断后伸长率，即断后标距的残余伸长  $L_u - L_0$  与原始标距  $L_0$  之比的百分率，即

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

式中， $L_0$ 、 $L_u$  分别表示试样标距原长和拉断后的标距长度。

注：对于原始标距不为  $5.65\sqrt{S_0}$  的比例试样，( $S_0$  为平行长度的原始横截面积)，上式中符号  $A$  应附以脚注说明所使用的比例系数，例如： $A_{11.3}$  表示原始标距为  $11.3\sqrt{S_0}$  的断后伸长率。

所谓断面收缩率  $Z$  是指断裂后试样横截面积的最大缩减量  $S_0 - S_u$  与原始横截面积  $S_0$  之比的百分率。即

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (2.4)$$

式中,  $S_0$  为原始横截面积;  $S_u$  为试样断裂后, 缩颈处最小横截面积。

铸铁拉伸图如图 2-7 所示。它不像低碳钢拉伸时可明显地分为弹性、屈服、强化、缩颈等阶段, 是一条接近直线的曲线, 且无下降趋势。一旦达到最大载荷  $F_m$ , 试样就会突然断裂, 且断裂后残余变形甚小。鉴于上述特点, 可见不具备  $R_{eL}$ , 且测其  $A$  和  $Z$  也无实际意义。故只需测其最大载荷  $F_m$ , 则其抗拉强度  $R_m$  (强度极限  $\sigma_b$ ) 为

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (2.5)$$

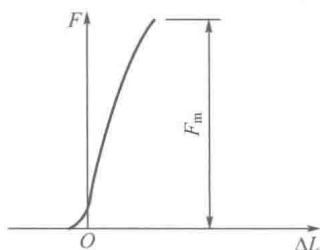


图 2-7 铸铁拉伸图

#### 4. 实验方法及操作步骤

##### (1) 低碳钢拉伸实验

1) 试样的准备。本实验使用  $d_0 = 10 \text{ mm}$ ,  $L_0 = 100 \text{ mm}$  的长比例试样, 其材料牌号为 Q235 钢。在试样等直段内, 取原始标距  $L_0$  分为 10 格。用千分尺测量原始标距两端及中间 3 个横截面的直径, 每一横截面上应分别在两个相互垂直的方向上各测一次, 而后取其平均值。最后, 取 3 个截面直径的平均值作为试样原始直径  $d_0$ , 并以此计算试样原始横截面积  $S_0$ 。

2) 进行实验。具体操作步骤参阅 4.1 微机控制电子万能试验机的操作方法。

试样拉断后, 将计算机上自动显示出的下屈服载荷  $F_{eL}$ 、最大载荷  $F_m$  值记录下来。

从夹头中将拉断后的试样取下, 然后将断裂试样的两端按断口方位对齐并靠紧, 用钢规及钢片尺测两原始标距刻线间的长度即得  $L_u$ ; 同时, 用游标卡尺在断口处相互垂直的两个方向上测其直径  $d_u$ , 以二者的算术平均值计算断口最小横截面积  $S_u$ 。

##### (2) 铸铁拉伸实验

试样的准备、进行实验等步骤同低碳钢拉伸实验。由于铸铁是脆性材料, 在整个拉伸过程中变形很小, 无屈服、缩颈现象, 无须测  $R_{eL}$ 、 $A$ 、 $Z$ , 拉伸曲线无直线段, 可以近似认为经弹性阶段直接断裂, 其断口是平齐粗糙的。故实验时开动试验机, 缓慢加载至试样断裂。然后停车, 记录下最大载荷  $P_b$ 。试验机的自动绘图器绘出铸铁的拉伸曲线, 如图 2-7 所示。

#### 5. 实验结果处理

1) 根据所测得的低碳钢试样的  $F$  屈服载荷  $F_{eL}$  以及低碳钢与铸铁试样的最大载荷  $F_m$ ,

分别计算其下屈服强度  $R_{eL}$  (屈服极限  $\sigma_s$ )、抗拉强度  $\sigma_b$  (强度极限)。

2) 根据低碳钢试样实验前、后的标距长度  $L_0$  和  $L_u$  及横截面积  $S_0$  和  $S_u$ ，分别计算其断后伸长率  $A$  及断面收缩率  $Z$ 。

3) 断口移中处理确定断后伸长率：

① 原则上只有断裂处与最接近的标距标记的距离不小于原始标距的三分之一的情况为有效。但断后伸长率大于或等于规定值，不管断裂位置处于何处测量均为有效。

② 若试样断口至相邻最近的一标距标记的距离小于或等于  $L_0/3$  时，拉断后的标距长度  $L_u$  需采用移位法确定：在试样长段上自断口“O”处截取基本等于短段的格数，得到 B 点，之后，若长段所余格数为偶数时如图 2-8a，则取所余格数的一半得 C 点，于是

$$L_u = AO + OB + 2BC$$

若长段所余格数为奇数时如图 2-8b，则分别取所余格数减 1 的一半和加 1 的一半而得 C 及  $C_1$  点，于是

$$L_u = AO + OB + BC + BC_1$$

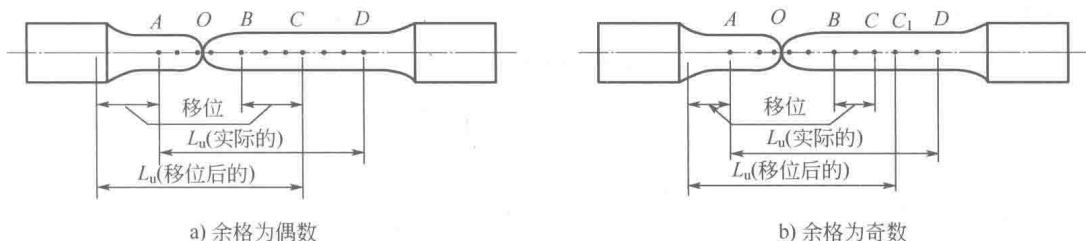


图 2-8 移位法示意图

采取移位法处理的原因，是当试样断口靠近试样端部时，在断裂试样较短的一段上，将受到试样头部较粗部分的影响而降低了缩颈部分的伸长量，从而使断后伸长率  $A$  偏小。采用上述方法处理，则可适当弥补其偏差。

## 6. 破坏性实验注意事项

- 1) 参阅 4.1 微机控制电子万能试验机的操作方法与注意事项。
- 2) 试样安装必须正确，不得偏斜，头部夹入部分不得过短。
- 3) 机器运行中，如发现异常应立即停车，待排除故障后再行开车实验。
- 4) 整个实验结束后，请指导教师检查认可原始记录。认真清理实验现场，将所用设备、仪器等恢复原始状态。

## 2.1.2 压缩实验

### 1. 实验目的

1) 测定压缩时低碳钢的下压缩屈服强度  $R_{eLc}$  (屈服极限  $\sigma_s$ ) 和铸铁的抗压强度  $R_{mc}$  (强度极限  $\sigma_b$ )。

2) 观察低碳钢和铸铁压缩时的变形及破坏现象，绘制压缩图 ( $F-\Delta L$  图)，并与拉伸时进行对比。

## 2. 主要设备、仪器仪表及材料

- 1) 微机控制电子万能试验机。
- 2) 千分尺、游标卡尺。
- 3) 低碳钢及铸铁压缩试样。

## 3. 实验原理及装置

低碳钢及铸铁等金属材料的压缩试样一般制成圆柱形，如图 2-9a 所示。目前常用的压缩实验方法是两端平压法。因此，试样的上、下两个端面与试验机压头之间会产生很大的摩擦力如图 2-9b，这将阻碍试样上、下部的变形，导致所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变小。可见抗压强度与比值  $L/d$  有关。所以压缩实验与实验条件有一定关系。为在相同实验条件下对不同材料的压缩性能进行比较，一般规定： $1 \leq L/d \leq 2$ 。若  $L/d < 1$ ，则摩擦力影响大，若  $L/d > 2$ ，虽摩擦力的影响减小，但试样易弯曲的影响却突出起来。为保证试样承受轴向压力，试样的两个端面应平行，且与试样轴线垂直；为减少摩擦力的影响，两端面应具有较高的光洁度，同时，实验时还应在两个端面上涂少许黄油之类的润滑剂。实验时，试样应安放在球形承垫上，如图 2-9c 所示。这样，当试样的两端面稍有不平时时，球形承垫可起到调节作用，使压力通过试样轴线。

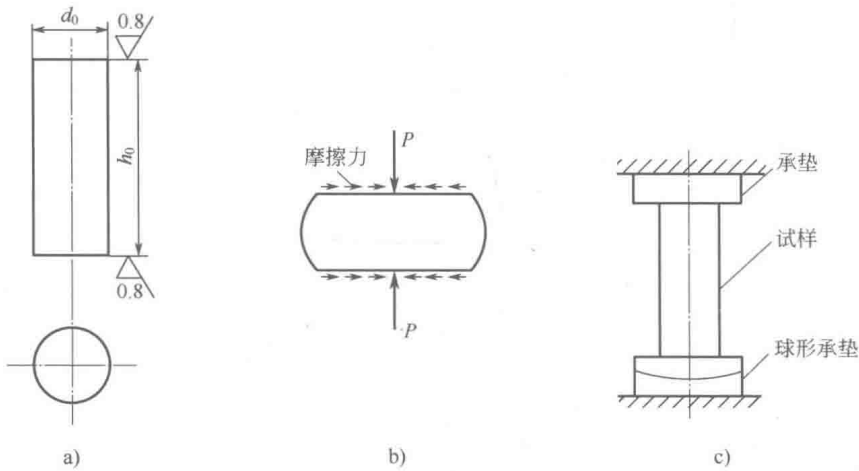


图 2-9 压缩试样

a) 压缩试样 b) 试样端面的摩擦力 c) 压缩时的球形承垫

### (1) 低碳钢压缩

低碳钢压缩时，同样存在比例极限、弹性极限、下屈服强度，且数值和拉伸时所得的相应数值差别不大，但屈服则不如拉伸时明显。

从低碳钢压缩图（图 2-10）中可看出，当载荷超过比例极限所对应的载荷  $F_p$  以后，便开始出现变形增加较快的一非线性小段，此即表示到达了屈服载荷  $F_{eLC}$ 。进入屈服后，由于试样塑性变形迅速增长，试样横截面积随之增大，所能承受的载荷也随之增大。因此，低碳钢压缩时屈服很不明显，故测  $F_{eLC}$  时尤应注意观察。最后在计算机上读出自动显示的下压缩屈服载荷  $F_{eLC}$  的值。超过屈服之后，试样由原来的圆柱逐渐被压成鼓形如图 2-11 所示，但终不致破坏。故无法测出其最大载荷  $F_{mC}$ 。

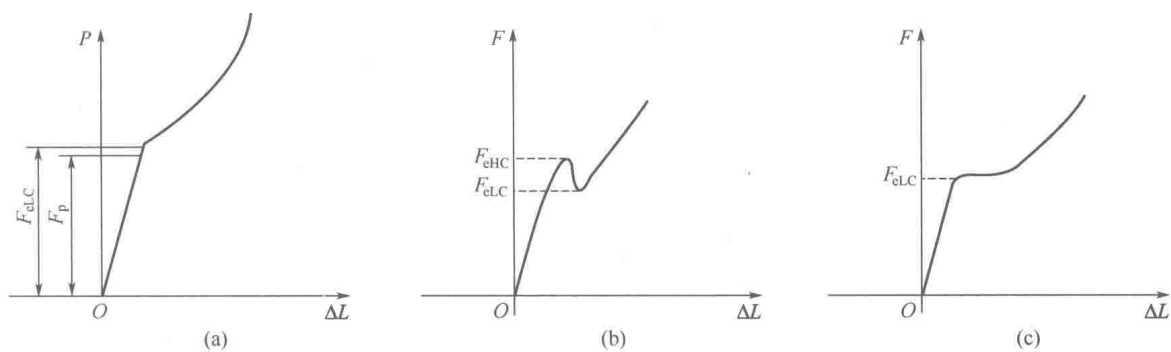


图 2-10 低碳钢压缩图

## (2) 铸铁压缩

铸铁压缩图如图 2-12 所示。试样受压达到最大载荷  $P_b$  前将出现较大塑性变形，而后略呈鼓形沿与轴线成大约  $45^\circ$  方向破裂如图 2-13 所示。此时实验完成，在计算机上可读出自动显示的最大载荷  $P_b$ 。

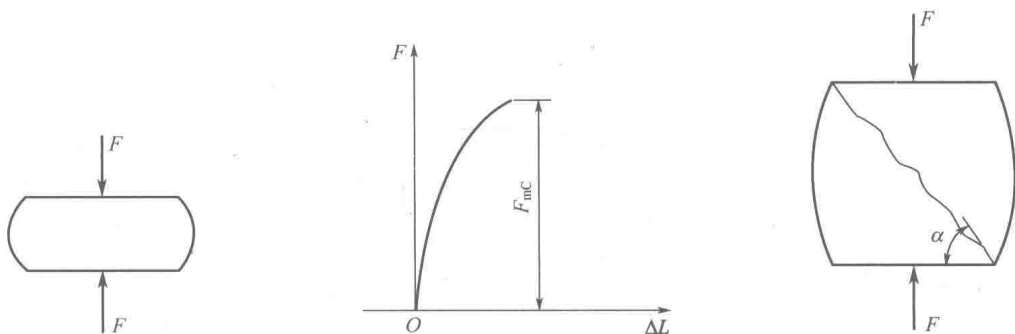


图 2-11 压缩时低碳钢变形示意图

图 2-12 铸铁压缩图

图 2-13 压缩时铸铁破坏断口

铸铁压缩时沿  $45^\circ$  左右斜截面断裂，其主要是由剪应力所致。如果测量其断口的倾角  $\alpha$ ，可发现  $\alpha$  略大于  $45^\circ$ ，而不是最大剪应力所在的截面。这是由于试样两端存在摩擦力所致。

## 4. 实验方法及操作步骤

### (1) 低碳钢试样压缩

1) 试样的准备：用千分尺测量试样原始标距中点处两个相互垂直方向的直径，取其算术平均值作为试样原始直径  $d$ ，并以此计算原始横截面积  $S_0$ 。

2) 安装试样：在试样的两个端面上涂少许黄油，然后将其准确地安放在试验机球形承垫中央。

3) 进行实验：具体操作步骤参阅 4.1 微机控制电子万能试验机的操作方法。

试样压成鼓形后即可卸载停车。将计算机上自动显示的下压缩屈服载荷  $F_{eLC}$  值记录下来，然后取下试样即可。

### (2) 铸铁试样压缩

铸铁试样压缩实验的方法步骤与低碳钢压缩实验基本相同。但无下压缩屈服强度而只测抗压强度  $R_{mC}$ 。试样缓慢均匀加载，破裂后试验机自动停车。然后将计算机上自动显示的最

大载荷  $F_{mC}$  值记录下来。

### 5. 实验结果处理

根据测试记录, 计算出低碳钢的下压缩屈服强度  $R_{eLC} = \frac{F_{eLC}}{S_0}$  和铸铁的抗压强度  $R_{mC} = \frac{F_{mC}}{S_0}$ 。

### 6. 破坏性实验注意事项

- 1) 参阅 4.1 微机控制电子万能试验机的操作方法与注意事项。
- 2) 加载必须缓慢平稳, 严格避免试样与上压头相撞击。
- 3) 铸铁压缩时, 应加防护罩, 以免碎片伤人。
7. 预习思考题和复习问答题

完成 5.1 中与本实验相关的预习思考题和 5.2 中与本实验相关的复习问答题。

## 2.2 扭转实验

### 1. 实验目的

- 1) 在比例极限内验证剪切胡克定律, 测定切变模量 (剪切模量)  $G$ 。
- 2) 测定低碳钢扭转时的下屈服强度  $\tau_{eL}$  (剪切屈服极限  $\tau_s$ ) 和抗扭强度  $\tau_m$  (剪切强度极限  $\tau_b$ ), 并绘制扭转图 ( $T-\phi$ 图)。
- 3) 测定铸铁的抗扭强度  $\tau_m$  (剪切强度极限  $\tau_b$ ), 并绘制扭转图 ( $T-\phi$ 图)。
- 4) 观察比较低碳钢和铸铁试样扭转破坏的特点。

### 2. 主要设备、仪器及材料

- 1) 扭转实验装置。
- 2) 低碳钢及铸铁扭转试样。
- 3) 千分尺、钢片尺。
- 4) 镜式转角仪。
- 5) 微机控制扭转试验机。

### 3. 实验原理及装置

#### (1) 验证胡克定律 (在扭转实验装置上进行)

圆轴承受扭转时, 材料完全处于纯剪应力状态。当扭矩不超过  $T_p$  时, 材料处于弹性状态, 其变形与载荷的关系服从胡克定律:

$$\phi = \frac{TL_0}{GI_p} \quad (2.6)$$

式中:  $T$  为扭矩;  $L_0$  为标距长度;  $\phi$  为标距  $L_0$  内的扭转角;  $G$  为不变;  $I_p$  为极惯性矩, 对于圆截面:  $I_p = \pi d_0^4 / 32$ 。

本次实验只验证扭转角  $\phi$  与扭矩  $T$  的正比例关系, 采用“等值增量法”用砝码逐级加载。实验装置如图 2-14 所示。

所谓等值增量法, 即每次增加一个相等的载荷增量  $\Delta P$ , 同时测量出相应的变形增量  $\Delta \phi$  也是每次都相等 (或基本相等) 的话, 从而验证了变形与载荷的正比例关系。

采用增量法进行实验, 不仅可克服由于机器、仪表初始位置的机构间隙以及蠕动、打滑等所引起的误差, 而且还可以根据增量变化的情况来判断实验是否有误。如果增量的变化显



著偏离一定规律，则表明实验有误，应停止实验，进行检查。本次实验在弹性范围内进行，故一旦发现错误，可卸掉载荷，检查排除故障后，重新加载进行实验。

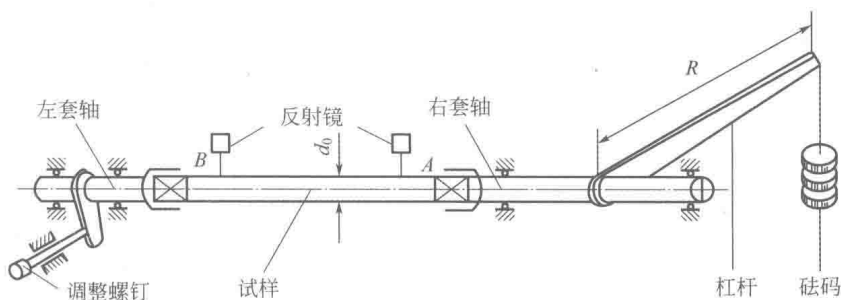


图 2-14 扭转实验装置

将一圆截面试样的两端头部削扁，装入左、右套轴的扁孔中。当砝码加在杠杆末端时，其所产生的力矩  $T = P \cdot R$  ( $P$  为砝码变量) 便通过套轴传递给试样，使试样产生扭转变形。在试样上分别取  $A$ 、 $B$  二个截面，使  $A$ 、 $B$  截面间的距离等于  $l_0$  (即标距)。然后分别在  $A$ 、 $B$  两截面上各装一面

反射镜，利用镜式转角仪便可测出  $A$ 、 $B$  截面的转角  $\phi_A$ 、 $\phi_B$ 。则标距  $l_0$  范围内的相对扭转角  $\phi = \phi_A - \phi_B$ 。若每次增加相等的载荷增量  $\Delta P$  (即相等的扭矩增量  $\Delta T$ )，所测得的相应相对扭角增量  $\Delta \phi$  也每次相等 (或基本相等)，从而验证了扭转胡克定律的正确性。因标距  $l_0$  和极惯性矩可事先测量、计算而得，故在验证胡克定律的基础上，即可求得切变模量

$$G = \frac{\Delta T l_0}{\Delta \phi I_p} \quad (2.7)$$

式中： $\Delta T$  为扭矩增量； $\Delta \phi$  为相对扭转角增量； $I_p$  为圆截面的极惯性矩。

**镜式转角仪简介：**镜式转角仪是利用小镜片随试样变形而感受偏转，按光杠杆原理放大来测量试样在弹性范围内的微小角变形的仪器，它由变形感受机构和读数机构两部分所组成。变形感受机构是用夹具固定于试样上的平面反射镜。如图 2-15 所示，支架 3 可绕夹具体上的销柱 4 水平转动，而转动调节螺钉 1 可调节反射镜 2 的仰角。读数机构则由望远镜和刻度尺组成，安装在三脚架上。

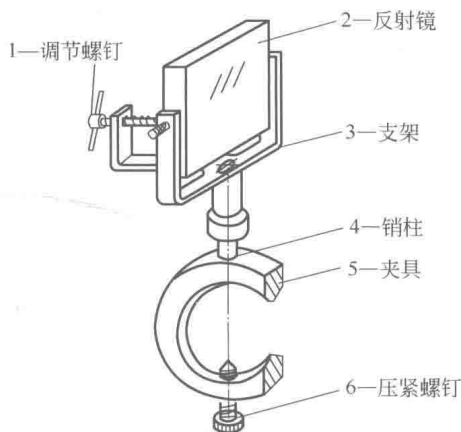


图 2-15 变形感受机构