

工程力学

材料力学实验指导书

成都农机学院力学教研组编

一九七三·七·

引 言

“辩证唯物论的认识论把实践提高到第一的地位”。这是因为只有通过实践才能产生理论，检验理论和发展理论。材料力学实验在材料力学这门学科领域中佔着很重要的地位，对于材料力学理论的建立，验证和发展是必不可少的，是广大劳动人民群众在三大革命实践中逐渐积累和总结出来的。

材料力学实验，按试验目的可以分为以下三类：

(一)测定材料的机械性质的实验；

材料的机械性质，如强度、刚度、硬度、韧性、弹性、塑性等，都必须通过实验的方法进行测定，这些数值都是设计零件时不可缺少的依据。钢、铁、有色金属以及水泥等建筑材料的生产单位也须通过材料机械性质的实验来检查所生产的材料的机械性质指标，符合国家规定，才可交付使用。就是在机械制造的过程中，也要配合进行一些测定材料机械性质的实验，例如按牌号生产铸件就要同时浇出一定数量的试棒进行实验，检查它的机械性质是否达到要求的指标。又如零件热处理后一般都要用硬度实验检查其硬度是否达到要求。

(二)验证理论的实验；

“一个正确的认识，往往要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。”。材料力学理论的发展过程也是这样的。首先，根据大量的实践和实验观察，将实际问题抽象为理想模型（如杆的拉伸、压缩、直杆的纯弯曲等），再根据科学的假设，推导出一般性的公式。这些假设及理论公式是否正确，还要再回到实践中去经受实践的检验，这里当然也包括了科学实验。

(三)实验应力分析；

我国社会主义建设飞跃地发展，广大工农兵群众狠批了刘少奇及其一类骗子的“洋奴哲学”“爬行主义”，坚持“独立自主，自力更生”的方针，创造了大量的新设备，新结构。许多结构需在高压、高温或低温、高负荷、变载荷等条件下工作，并且形状比较复杂，单靠理论计算，不能完全解决它们的强度设计问题。因此，也须借助于试验方法，即在实物或模型上直接测取应力或变形，了解其应力分布规律，变形规律，这种方法叫做实验应力分析。目前，它已逐渐发展成为一门与力学密切相关的，应用一些独特的^{力学}试验方法（如电测法，光测法，脆性涂层等）为生产服务的学科了。

综上所述，可以看到材料力学试验在发展生产和理论研究中的作用。根据专业的需要，我们安排了一些典型的基本试验项目。通过这些试验希望学员能够加强感性认识，促进对理论进一步地深刻理解；对于一些典型材料的力学性质有一定的认识和比较；对材料力学试验的原理和方法有个概括了解；初步建立一些科学学习习惯。为培养学员分析问题和解决问题的能力提供一定的基础。

实验一 拉伸演示实验

一、目的要求：

1. 初步了解万能试验机的各个操作部位；
2. 了解低碳钢拉伸图的来源；

观察流动现象、颈缩现象。为学习“材料的拉伸和压缩时的力学性质”这一章建立初步的感性认识。

二、设备及器材：

1. 万能材料试验机；
2. 低碳钢拉伸试件一根。

三、原理及步骤：

1. 结合机盖简单介绍试件在试验机上的装夹部位——上下夹头；加载、卸载部位——工作油缸、送油阀及回油阀位置；载荷指示部位——摆锤、刻度盘、主动指针；自动绘图卷的位置及工作原理。

(要求先预习附录一、万能材料试验机)。

2. 试验机的准备：

根据估计需要的最大载荷，选择合适的测力度盘，挂上相应摆锤，并调好指针正对“零”点。安装好自动绘图卷。(参阅附录一)。

对低碳钢(如A3)这种材料而言，其每平方公分的面积所能承受的最大载荷约为4000公斤(也即强度极限 σ_b 约为 4000 kg/cm^2)，故估计的拉断试件所需的最大载荷 $P_{max} = P_b = \sigma_b \times \text{试件横截面积} = 4000 \times \frac{\pi d^2}{4} = 4000 \times 0.785 = 3140 \text{ Kg}$ 。因此可选择测力度盘A(其测力范围是0—5000 Kg，挂上相应的摆锤A)。

3. 安装试件：

把试件正确地夹持在机卷上下夹头中。

4. 进行实验:

检查各部分无误后即可开动机卷进行实验。

缓慢加载(加载速度约为 $5-6\text{mm}/\text{min}$)，此时自动绘图卷绘出的一段直线，如图2中的OA段，载荷 P_R 对应于A点，将载荷 P_R 除以试件的原断面面积，即得到低碳钢的比例极限 σ_P ，也就是在此应力以后载荷与变形的线性关系(也即虎克定律的正确性)就已破坏的极限应力。

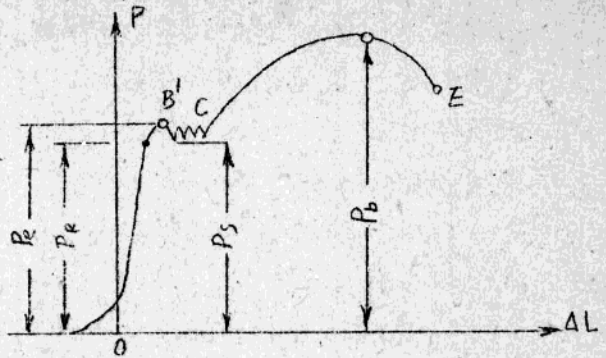


图 1

超过比例极限以后，试件变形的增长开始比载荷为快，而且在 B' 点前卸载，试件并不发生塑性变形，只是在这点以后，试件才发生这种不可恢复的变形(即塑性变形)。对应于 B' 点的载荷 P_e 除以试件原断面面积，即得到低碳钢的弹性极限 σ_e 。一般在实验室的试验中仅限于确定材料的比例极限，因为这样的试验非常简单，而且需要花费的时间也很少，然而，即使对很多材料来说其弹性极限之数值(σ_e)与比例极限之数值几乎相同，但应该注意到，这些数值的物理意义是有原则上的区别的。

曲线起始部份的弯曲是由于试件在夹头中的滑移和机卷的间隙所造成的。图中OA B' 段被称之为材料的弹性阶段。

继续加载可以看到，当载荷达到某一数值后，载荷不变或有所下降，而变形却急剧增加，这种现象就叫做流动现象。相当于

拉伸图中的B'BC段(被称之为材料的屈服阶段)。在流动阶段里, 载荷P有幅度不大的波动, 其最高点为B', 最低点为B, 通常以最低点B对应的载荷值 P_s 除以试件原断面面积取作材料的流动极限或屈服极限, 以 σ_s 表示。

经过流动阶段之后, 即可用较快的速度加载(但不得超过 $10^{1000}/m_m$), 这时可以看到载荷增加的速度逐渐减慢, 而变形的速度却逐渐增快, 自动绘图器记下的是一段缓慢上升的曲线, 如图2中的CD段(被称之为材料的强化阶段)。当其载荷达到最大值(相当于拉伸图中D点对应的 P_b)时, 在试件某个局部区域里就会出现横截面面积显著缩小的现象(也即颈缩现象), 材料进入局部变形阶段。由于“颈缩”部份的横截面面积急剧缩小, 因此, 载荷读数(即试件的抗力)反而降低。“颈缩处越变越小, 最后断裂, 并发出断裂响声, 这对应迅速取下记录笔, 关闭送油阀门, 停车。

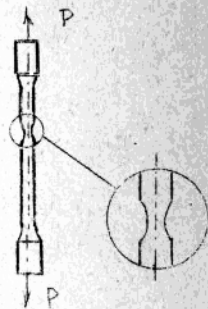


图 2

材料的强度极限, 数值上等于拉伸图中最高点D对应的载荷 P_b 除以原断面面积, 并以 σ_b 表示。对于低碳钢来讲, 两个极限应力 σ_s 和 σ_b 是衡量材料强度的重要指标。

5. 取下试件和由自动绘图器记载的拉伸图线($\sigma-\Delta L$ 曲线), 可以看到图线如图1所示一样。

四、思考题;

1. 在这一演示实验中, 拉伸图所绘出的变形为什么不只是试件的伸长变形?

2. 拉伸图的DE段(局部变形阶段)为什么是向下弯曲的曲线? 这对试件中的应力大小如何?

3. 低碳钢处在比例极限内(即拉伸图的OA段), 其载荷

与伸长变形间的关系如何？试用数学解析式去描述这种关系。

实验二：拉伸与压缩实验

一、目的要求：

1. 用低碳钢的拉伸实验验证虎克定律，并测定低碳钢的弹性模量 E ；
2. 测定低碳钢的力学性质：流动极限 σ_s ，强度极限 σ_b 、延伸率 δ 和断面收缩率 ψ ；
3. 测定铸铁的拉伸强度极限 σ_b 和压缩强度极限 σ_c ，并进行比较；
4. 比较塑性材料低碳钢与脆性材料铸铁的破坏特点。

二、设备及器材：

1. 万能材料试验机；
2. 杠杆式引伸仪；
3. 十分尺，游标尺，两脚规，钢皮尺；
4. 低碳钢拉伸试件一根，铸铁拉伸试件一根，铸铁压缩试件一件。

三、原理：

1. 验证虎克定律，并测定钢材的弹性模量：

已知虎克定律的关系式为

$$\Delta l = \frac{PL}{EF}$$

为了验证力 P 与变形 Δl 的线性关系，一般采用增量法，也就是分成几次来逐渐加载，而不是一次就将载荷加到最终数值。如各次增加相同的拉力 ΔP ，相应地由引伸仪测出的伸长的增量也应大致相等，这样就验证了虎克定律的正确性。

设试件截面面积为 F_0 ，引伸仪标距为 l_0 ，取各次伸长增加量的平均值为 $\delta(\Delta L)$ ，则由虎克定律关系式可以计算出弹性模量：

$$E = \frac{\Delta P l_0}{\delta(\Delta L) \cdot F_0}$$

2. 测定低碳钢的机械性质，只须将试件拉伸至断裂，并记录下流动载荷 P_s ，最大载荷 P_b 以及试件在试验前后的尺寸 d_0 、 L_0 、 d_1 、 L_1 ，就可求出 σ_s 、 σ_b 、 δ 和 ψ ：

$$\sigma_s = P_s / F_0; \quad \sigma_b = P_b / F_0; \quad F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4};$$

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%; \quad \psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%; \quad F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}.$$

3. 铸铁的拉伸强度极限 σ_b 和压力强度极限 σ_{-b} 的测定方法与低碳钢的强度极限的测定方法是相同的。

四、试件的制备：

1. 拉长试件可制成圆形或矩形截面。圆形试件通常制成如图3所示。试件的中间段用于测量拉伸变形，此段的长度 L_0 称为“标距”。

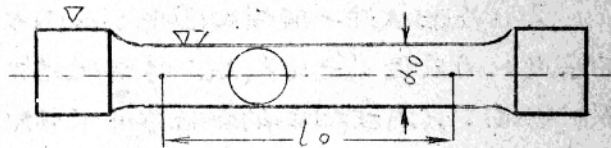


图 3

两端较粗部份是头部，为装入试验机的夹头中承受拉力之用。试件头部可

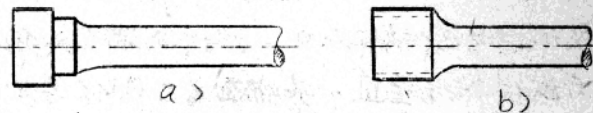


图 4

根据试验机夹头的要求制成圆柱形(如图3)，阶梯形(如图4a)或螺纹形(如图4b)。

实验表明，试件的尺寸和形状对试验结果会有影响。为了避免此种影响，使各种材料机械性质的数值能互相比对，所以对试件形状，尺寸都有统一的国家标准(见国家标准GB228-63)。

直径 $d_0 = 20\text{mm}$ ，标距 $L_0 = 200\text{mm}$ ($L_0 = 10d_0$) 或 100mm ($L_0 = 5d_0$) 的圆截面试件叫做“标准试件”。如因原料尺寸限制或其他原因不能采用“标准试件”时，可以采用比例试件。“标准试件”和比例试件的具体规定见表1，表中 F_0 是圆形或矩形试件横截面面积。

表1

试件		圆形试件直径 d_0 (mm)	截面面积 F_0 (mm ²)	标距长 L_0 (mm)	延伸率符号
标准试件	长	20	314	$10d_0 = 200$	δ_{10}
	短	20	314	$5d_0 = 100$	δ_5
比例试件	长	任意	任意	$10d_0 = 11.3\sqrt{F_0}$	δ_{10}
	短	任意	任意	$5d_0 = 5.65\sqrt{F_0}$	δ_5

本实验采用 $d_0 = 10\text{mm}$ 的比例试件。

2. 压缩试件一般制成圆形，如图5所示。实验表明，试件的高度 h_0 与直径 d_0 之比 h_0/d_0 对实验结果有明显的影晌。只有在相同的实验条件下才能对不同材料的实验结果进行比较。金属材料压缩试验所用的试件，一般规定 $1 \leq h_0/d_0 \leq 3$ 。为了尽易使试件承受轴向压力，试件两端面必须平行且与试件轴线垂直。其端面还应制作得光滑，实验时在两端面上再涂以润滑油，以减少摩擦的影响。

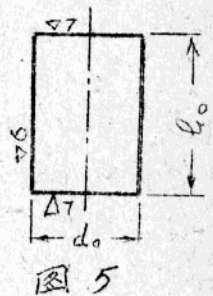


图5

本实验采用 $d_0 = 15\text{mm}$ ， $h_0 = 25\text{mm}$ 的圆形试件。

五、实验步骤：

1、低碳钢的拉伸

1) 试件准备：

在试件中取标距 $L_0 = 10d_0 = 100\text{mm}$ 。在标距两端打两个浅冲眼(标点)作为标距的标法。两标点应在平行于试件轴线的同一线上。用千分尺在试件标距长度范围内,测量两端及中间等三处的截面直径。每一处截面的两个互相垂直的方向各测一次。取三处中最小一处的平均直径作为计算截面面积之用。

根据低碳钢的强度极限,估计实验所需最大载荷。低碳钢的强度极限约为 4000kg/cm^2 ,故估计最大载荷约为 $4000 \times 0.785 = 3140\text{kg}$ 。

2. 万能试验机的准备:

先复习万能试验机的使用方法。根据估计的最大载荷选择合适的测力表盘 A , 垂挂上相的摆锤 A 。调整摆锤铰摆杆对准标线位置。调整试验机的测力表盘的测力指针(主动针)对准零"点, 垂拨动副针与主动针靠拢。装好自动绘图卷。(参阅附表一)

3. 安装试件及引伸仪:

取一支标杆引伸仪, 选用引伸仪标距 $l_0 = 20\text{mm}$, 把它妥善地安装在试件的标距范围内, 并将引伸仪的指针拨到起点位置, 锁上锁杆。(参阅附表二), 然后再把试件连同引伸仪一起安装到万能试验机的夹头中去, 并用细绳子把引伸仪吊挂在试验机上, 以免万一滑落而摔坏。

4. 检查及试车:

由教员检查以上准备情况, 开动试验机, 加少许载荷, 检查试验机, 自动绘图卷以及引伸仪工作是否正常。然后卸荷到接近于零载荷。

5. 进行实验:

a) 测定弹性模量 E : 打开引伸仪的锁杆, 开动机卷, 缓慢加载(加载速度大约为 $5-6\text{mm}/\text{min}$)。先给试件加一定数目的初载荷 P_0 。(本实验取 $P_0 = 200\text{kg}$)以消除试验机机构中的间隙, 引伸仪机构中的间隙以及引伸仪刃口与试件表面之间的微小滑动等因

素的影响。记下初载荷 P_0 和引伸仪的初读数 A_0 。然后自初载荷开始，逐渐加载，并逐次读出引伸仪读数，测出其伸长。本实验取载荷增量 $\Delta P=200\text{kg}$ ，分五次加载，当载荷增加到 1200kg 时，读出引伸仪的最末一次读数。然后合上引伸仪锁杆并将其从试件上卸下。

6) 测定机械性质；在上述步骤进行完毕后仍继续用慢速加载，并注意观察测力指针转动的情况以及自动绘图卷绘图的情况。当测力指不动或有倒退时，说明材料产生流动了，记下测力指针（主动针）第一次倒退的最小示值，就是要测的流动载荷 P_f 。

过了流动阶段后，就可以用较快的加载速度（一般不超过 $10\text{mm}/\text{min}$ ）加载，直到试件断裂为止。停车。并记录指针指示的最大载荷 P_b 。

6) 结束工作：

取下试件。将断裂试件的两段尽量对紧在一起，用游标卡尺测其断口处直径 d_1 （要在两个互相垂直的方向上各测一次，取其平均值）。用两脚规和钢皮尺测其拉断后的标距长度 L_1 。试件断口若不在试件中部区域段内，应按国家标准用断口移中法计标 L_1 （参阅国家标准GB228-63第13-14页）。本实验不作断口移中，所以测得的延伸率误差稍大。

从自动绘图卷上取下拉伸曲线图纸。

2. 铸铁的拉伸：

1) 试件的准备：

用千分尺测其试件中间和两端等三处的直径，取最小一处的平均直径作为计标截面面积之用。根据铸铁的强度极限，估计所需最大载荷。

2) 试验机的准备：同前。

3) 安装试件。

4) 检查:

5) 进行实验: 开动机盖, 缓慢加载, 并使自动绘图器工作。直到试件断裂, 停车, 并记下最大载荷 P_b 。

6) 结束工作: 取下试件和自动绘图器记录的拉伸图纸。

5. 铸铁的压缩:

1) 试件准备:

用千分尺测量试件的直径(方法与测量拉伸试件相同)。用游标尺测量试件的高度。

根据铸铁的压缩强度极限, 估计实验所需的最大载荷。

2) 试验机的准备:

在试验机的工作台上放上球面垫板, 在横梁上安装上压头。其他同前。

3) 安装试件:

将试件两端涂以润滑油, 然后尽量准确地放置在球面垫板的中心位置上。并加上防护罩。

4) 检查及试车:

开动机盖, 使工作台缓慢上升, 让试件上端面与上压头逐渐接近, 避免急剧加载。并使自动绘图器工作。待上压头已接触到试件上端面后, 加少许载荷, 然后再卸载到接近零位, 以检查试验机和自动绘图器工作是否正常。

5) 进行实验:

开动机盖, 缓慢加载, 直到试件破坏为止。停车。记录下最大载荷 P_b 。

6) 结束工作:

取下试件和自动绘图器所绘的曲线图纸。清理机盖和卷材, 并归还原处。

六. 填写实验报告:

1. 填写本实验的目的, 要求和所用器材设备。

2. 将实验所测得的数据填入记录表格(表格另附)。对数据进行整理和计算, 并把计算结果填入表格。

3. 分析是否验证了虎克定律。

4. 比较铸铁抵抗拉、压的能力。

5. 比较低碳钢与铸铁的破坏特点。

七、思考题:

1. 用逐级加载法(增易法)所求出的弹性模量与一次加载到最终值所求出的弹性模量是否相同? 为什么?

2. 对试件进行拉伸试验所测得的机械性质指示有何用途?

3. 用材料相同、直径相同、而长度不同的试件测得的延伸率是否相同? 为什么?

4. 比较铸铁的抗拉和抗压能力有什么用途?

5. 为什么铸铁压缩试件沿着与轴线约为 45° 的倾斜截面上破坏?

实验报告

实验名称:

实验日期:

实验者:

一、目的要求:

二、试验设备:

三、数据表格及其计算:

1. 低碳钢的拉伸;

表2

试验前									试验后						
标距 L_0 (mm)	直径 d_0 (mm)									最小截 面面积 F_0 (mm ²)	标距 L_1 (mm)	断裂处 直径 d_1 (mm)			断裂处 截面积 F_1 (mm ²)
	截面 I			截面 II			截面 III					(1)	(2)	平均	
	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均						

$$P_3 = \text{_____ kg}; \quad P_b = \text{_____ kg}。$$

$$\text{计称: } \sigma_s = P_3 / F_0 = \text{_____ kg/mm}^2;$$

$$\sigma_b = P_b / F_0 = \text{_____ kg/mm}^2;$$

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% = \text{_____};$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% = \text{_____}。$$

表 3

截荷 P (kg)		引伸儀		伸长增加 量 $\frac{\Delta A}{K}$ (mm)	绝对伸长 Δl (mm)
加载顺序	读数	读数 A	读数差 ΔA		
P_0 (初截荷)	200				
$P_1 = P_0 + \Delta P$	400				
$P_2 = P_0 + \Delta P$	600				
$P_3 = P_0 + 3\Delta P$	800				
$P_4 = P_0 + 4\Delta P$	1000				
$P_5 = P_0 + 5\Delta P$	1200				

截荷增加量 $\Delta P =$ _____ kg;

引伸儀放大倍数 $K =$ _____ ;

引伸儀标距 $l_0 =$ _____。

计标:

伸长增加量平均值 $\bar{s}(\Delta l) = \frac{n}{4} \frac{\Delta A}{K} / n =$ _____ ;

弹性模量 $E = \frac{\Delta P \cdot l_0}{\bar{s}(\Delta l) \cdot F_0} =$ _____ kg/mm^2

2. 铸铁的拉伸和压缩：

表4

	直径 d_0 (mm)									最小截面面积 F_0 (mm^2)	最大荷载 P_b 或 P_{-b} (kg)	强度极限 σ_b 或 σ_{-b} (kg/mm^2)	附注
	截面 I			截面 II			截面 III						
	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均				
拉 伸													
压 缩													$\epsilon_0 = \text{---}$ $\epsilon_{0/20} = \text{---}$

四. 实验结果分析：

实验三 扭转演示实验

一、目的要求：

观察塑性材料和脆性材料的破坏特点。

二、设备及器材：

1. 扭转试验机；（用线材扭转试验机替代）
2. $\phi 5 \times 300\text{mm}$ 铅丝一节，铸铁扭转试件一根。

三、原理及步骤：

实验装置示意图如图6所示。

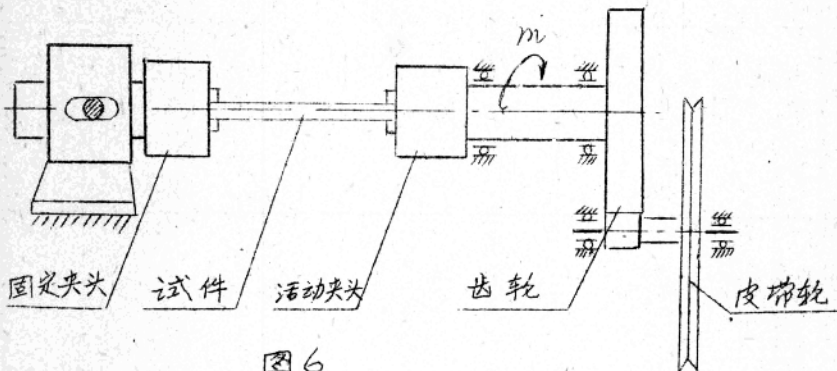


图6

把试件装夹在固定夹头和活动夹头之间，活动夹头接受从皮带轮传来的外力矩 m ，使试件产生扭转变形而破坏。

将粗铅丝后装置到试验机夹头中，施以外力矩 m ，直到使它断裂。注意观察从开始施力到破坏这一过程中的变形情况，我们将会看到，试件（铅丝）产生很大的塑性变形后才断裂，而且其断口形式是垂直于轴线的平面，如图7a)所示。

如果用同样的方法对铸铁试件进行试验时，我们看到变形是，试件仅产生很小的塑性变形就断裂了，而且断口形式是与轴线约成 45° 的螺旋面，如图7b)所示。