

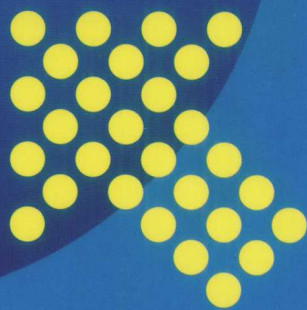
21世纪高等学校规划教材



CAILIAO LIXUE SHIYAN

材料力学实验

施 琪 孙建忠 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

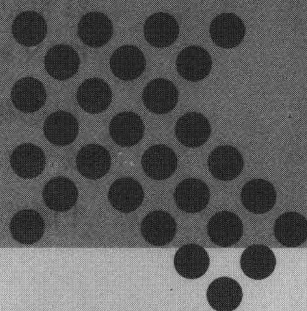
21世纪高等学校规划教材



CAILIAO LIXUE SHIYAN

材料力学实验

施 琪 孙建忠 编
邱棣华 主审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书为适应加强实践教学、培养创新人才的新世纪实验教学改革要求,按照教育部高等学校力学教学指导委员会有关教学要求编写,它与材料力学课程配套使用。

全书共分三章:第一章是基础力学实验,介绍材料的力学性质实验,包含材料力学课程基本要求规定的实验内容,对实验的要求、操作规程和步骤等;还包括常用仪器、设备的构造、工作原理、操作规程及注意事项。第二章选做及创新实验,属提高性实验项目,包含有综合性、设计性和应用性的意味。第三章是基础实验报告。每个实验后都附有一定量的思考题。

本书为高等院校力学教学用书,可作为材料力学实验的教材,也可作为独立设课的材料力学实验课程的教材,同时可供其他相关工程科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学实验/施琪,孙建忠编. —北京:中国电力出版社, 2010.7

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0387 - 4

I. ①材… II. ①施…②孙… III. ①材料力学—实验—高等学校—教材 IV. ①TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 077956 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://jc.cepp.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 7 月第一版 2010 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.5 印张 199 千字

定价 14.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

材料力学实验是材料力学课程的有机组成部分。一方面,作为实验课程,它叙述了前人的研究与实践的成果,很好地解释了材料力学理论的构建过程。另一方面,它也在随科学技术的进步而发展,新的实验方法或新的实验装置在不断地出现,动态地丰富着材料力学的科学内涵。

本书依据最新的国标、部标阐述每一个实验,帮助学生建立遵守国家政策、标准、规范、法规的工程意识。本书采用了最新标准,及时更新了过去实验教材的教学内容,帮助学生掌握新观念、新知识、新方法。本书突出理论与实践工程相结合的原则,意在提高学生的实验技能和工程实践能力,全面推进素质教育和材料力学实验课内容与方法的改革,培养新世纪的高素质创新人才。

材料力学是大部分工科院校都必须设置的课程。从材料力学内容所牵涉的面如此广泛这一点足以理解其重要性。本书为 21 世纪高等学校规划教材,既可作为材料力学课程的配套教材,也可作为独立设课的材料力学实验和工程实验力学的参考教材。

本书的编写分工如下:全书由施琪统稿,第二章的第二节至第十一节及第三章和附录由孙建忠编写。其余章节由施琪主笔,并负责了全部章节的修改补充和完善。

本书在编著过程中得到了兰州交通大学及其土木工程学院有关领导和土木工程学院力学实验室老师诚挚的支持与帮助,并承北京工业大学邱棣华教授悉心的审阅,得以顺利面世,在此深致谢意!

由于编者水平、视界局限,编写时间仓促,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编者

2010 年 3 月

目 录

前言

第一章 基础力学实验	1
第一节 金属材料拉伸与压缩实验	1
第二节 金属材料的扭转破坏实验	11
第三节 电阻应变测量原理	18
第四节 测定材料的弹性模量 E 和泊松比 μ 实验	24
第五节 纯弯曲梁正应力分布规律电测实验	31
第六节 薄壁圆筒在弯扭组合变形下的主应力电测实验	34
第七节 低碳钢剪切实验	38
第八节 压杆稳定实验	40
第九节 冲击演示实验	46
第十节 疲劳演示实验	50
第十一节 金属材料的硬度演示实验	56
第二章 选做及创新实验	61
第一节 电阻应变片粘贴实验	61
第二节 电阻应变片灵敏系数标定实验	63
第三节 偏心拉伸实验	65
第四节 弯扭组合变形下的内力测量实验	68
第五节 组合梁应力分析实验	70
第六节 低碳钢剪切弹性模量 G 的测定实验	73
第七节 电阻应变式力传感器的设计制作实验	75
第八节 单向复合材料拉伸实验	77
第九节 残余应力测试实验	80
第十节 等强度悬臂梁桥路练习实验	83
第十一节 条件屈服极限 $\sigma_{0.2}$ 的测定实验	85
第三章 基础实验报告	90
第一节 金属材料拉伸和压缩实验报告	90
第二节 扭转实验报告	94
第三节 电测法测定材料的弹性模量 E 和泊松比 μ 实验报告	96
第四节 机械法测定材料的弹性模量 E 实验报告	99
第五节 纯弯曲梁正应力电测实验报告	101

第六节	弯扭组合变形下的主应力电测实验报告.....	104
第七节	剪切实验报告.....	108
第八节	压杆稳定实验报告.....	109
附录		115
附录 A	误差分析和数据处理	115
附录 B	平面应力状态及应变花的有关公式	122
附录 C	几种常用材料的主要力学性能	124
附录 D	国际单位换算表.....	125
参考文献		127

第一章 基础力学实验

第一节 金属材料拉伸与压缩实验

常温、静载、单向受力下的拉伸和压缩实验是研究材料力学性能的最基本的一种实验方法,由于方法简单,数据可靠,易于分析,广泛应用于工矿企业、研究所等。一般通过测试下屈服强度 R_{eL} 、抗拉强度 R_m 、断后伸长率 A 、断面收缩率 Z 等指标来评定材质、选择材料,进行强度计算、刚度分析。因此,对材料进行轴向拉伸和压缩实验具有很大的工程实际意义。

不同的材料在轴向拉伸和压缩过程中表现出不同的力学性质和破坏现象。该实验将选用两种典型的材料——低碳钢(Q235)和铸铁,作为塑性材料和脆性材料的代表,分别做常温、静载下轴向拉伸和压缩实验。

材料的力学性质与被检测试样的形状、尺度及加载速度、方式、温度、压力等因素有关。常温、静载下低碳钢和铸铁的拉伸实验和压缩实验分别按照 GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》和 GB/T 7314—2005《金属材料室温压缩试验方法》进行试验。因此,本节所涉及的字母符号均采用国标表示方式。

一、实验目的

(1) 通过观察低碳钢和铸铁在拉伸实验和压缩实验中的破坏过程,分析实验数据、断口特征,了解它们的力学性能特点。

(2) 测定低碳钢材料在拉伸时的下屈服强度 R_{eL} 、抗拉强度 R_m 、断后伸长率 A 、断面收缩率 Z ,压缩时的下屈服强度 R_{eLc} ;铸铁拉伸的抗拉强度 R_m 及压缩时的抗压强度 R_{mc} 。

(3) 了解万能材料试验机的构造原理和正确操作使用方法。

二、实验设备及仪器

- (1) 液压式万能材料试验机。
- (2) 游标卡尺、钢板尺。

三、拉伸和压缩试样

拉伸试样截面可以为圆形、矩形、多边形、环形,特殊情况下还可以为其他形状。拉伸实验的试样分为比例试样和非比例试样两种。比例试样是指原始标距 L_0 与试样截

面面积平方根 $\sqrt{S_0}$ 有一定的比例关系，即有 $L_0=k\sqrt{S_0}$ 关系的试样。国际上使用的比例系数 k 取 5.65，原始标距不小于 15mm。当试样横截面面积太小，以致采用比例系数 $k=5.65$ 不能符合最小原始标距要求时，可以采用 $k=11.3$ 或采用非比例试样。 $k=5.65$ 的试样称短比例试样， $k=11.3$ 的试样称长比例试样，最后将原始标距 L_0 修约到 5、10mm 的整数倍长。因此，对于圆形截面的长、短比例试样，两者的原始标距 L_0 与横截面直径 d_0 的关系则分别为 $L_0=10d_0$ 和 $L_0=5d_0$ 。非比例试样的 L_0 与横截面面积 S_0 不必满足前述关系，其原始标距与原始横截面面积无关。

该拉伸实验采用长比例圆形截面试样，如图 1-1 所示。

通常，试样通过机加工制成，夹持部分与平行长度之间应以过渡圆弧连接，为减少应力集中，过渡要缓和。过渡圆弧半径应为 $R\geq 0.75d_0$ 。试样夹持部分形状根据试验机夹头形式确定，但要保证拉力通过试样轴线，不产生附加弯矩，试样总长度 L_t 取决于夹持方法，原则上 $L_t>L_c+4d_0$ 。工作部分平行长度 $L_c\geq L_0+d_0/2$ ，仲裁实验 $L_c\geq L_0+2d_0$ 。为测定断后伸长率 A ，实验前要在试样平行长度中间部分标记出原始标距 L_0 ，将原始标距 L_0 平均分成 10 等份格，每个等份格采用画线或打点标出一系列等分格标记，以判断断后位置。

压缩试样通常为柱状，横截面分为圆形、方形两种。该实验取圆形截面，如图 1-2 所示。压缩实验通常采用两端平压法，试样受压时，两端面与试验机压头间的摩擦力很大，使端面附近的材料处于三向压应力状态，约束了试样的横向变形，试样越短，影响越大，导致抗压强度比实际值偏高，实验结果不准确。当试样的长度相对增加时，摩擦力对试样中部的影响就会相应减小，因此，试样应有一定的长度。但是，压缩实验试样难免有微弯，且力难免有偏心。因此，试样太长又容易产生纵向弯曲而失稳甚至有蹦出的危险，存在安全隐患。为此，国家标准根据金属材料压缩实验所测不同性能指标，规定了试样的长度 L 和横截面直径 d_0 的关系。该实验仅测抗压强度，取试样长度 $L=(1\sim 2)d_0$ 。为防止偏心受力引起的弯曲影响，对两端面的平行度及端面与轴线的垂直度也有一定要求，具体如图 1-2 所示。

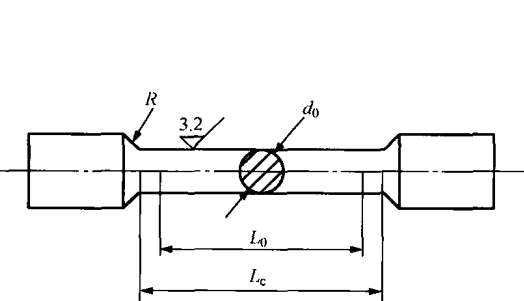


图 1-1 圆形截面拉伸试样
 R —过渡圆弧半径； d_0 —横截面直径；
 L_0 —原始标距； L_c —平行长度

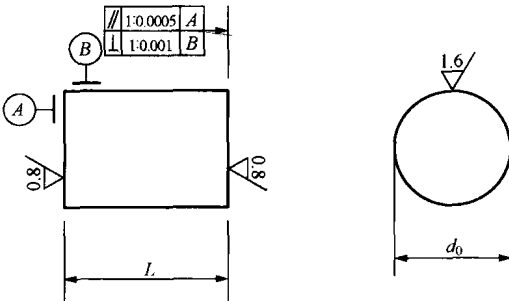


图 1-2 圆柱形压缩试样

四、万能材料试验机结构原理

万能材料试验机有机械螺杆加载和液压加载等类型。该实验采用的液压式万能材料试验机分加载系统和测力系统，其外形和构造如图 1-3 所示。

1. 加载系统

如图 1-3 所示，底座、两个固定立柱、大横梁构成刚性很大的机架。大横梁上固定着工作油缸，当加力时，液压推动活塞向上顶起小横梁，并通过两个活动立柱，带动活动平台上升，于是，在活动平台上部形成缩小的加力空间，可做压缩实验；在活动平台下部形成增大的加力空间，可做拉伸实验。可见，试验机的基本加载方式是拉和压，若要做其他形式的加载实验，如弯曲、剪切、拔出、压入等，可通过增加附属装置完成。在拉伸空间有上下两个夹头，用来夹持拉伸试样。夹头有各种形式，常用的夹头是在梯形开口的上下夹座内，各有两块楔形夹块，楔面与梯形斜面接触。两夹块相对端上有硬齿，以抓紧试样两端。当施加分离上下夹头的垂直力 F 时， F 被倾斜接触面分解成对夹块的水平夹持力 s ，随着 F 增大， s 也增大，保证夹紧试样而不滑动。

为了调整两夹头之间的拉伸空间，可通过蜗轮蜗杆机构调节下夹头上下移动，或提升活动平台增大空间距离。压缩空间的调整，可通过加垫块或提升活动平台完成。注意：活动平台不要靠液压提升过高，否则，会使活塞过量伸出，使油缸工作状态恶化；而且，对于拉伸实验，可能会出现变形余地不够的情况。

操作部分由进油阀、回油阀和油泵开关等组成。进油阀打开，油缸进油加载，进油阀开得越大，加载速度越快。回油阀打开，回油卸载。操作时，注意开机实验前要关闭进、回油阀，开机后，再平缓地打开进油阀，逐渐增大进油量。否则，若在进油开口较大时开机，荷载突然增大，会引起冲击，甚至冲过屈服点或使试样迅速破坏，影响测读力值。

2. 测力系统

测力油缸和工作油缸连通，这样两个密闭体的油压随时相等。当油压增大（荷载增大）时，测力油缸活塞向下顶，使拉杆向下拉，通过杠杆机构拉动摆锤摆起。油压越大，摆锤摆得越高，即力臂越长，平衡力矩越大。摆锤上部推动水平齿杆移动正比于力臂长度的距离，齿杆带动齿轮使主动针转过正比于力臂长度的角度。将测力盘按力值比例刻度，主动针的位置即指示出荷载读数。

通过改变摆锤重量（有些机器还可改变摆锤杆长度），可得到不同的测力范围量程，并分别按相应比例刻度在测力盘上。根据试样尺寸和强度极限计算极限荷载，选择适当的力值量程（太大测量精度不能保证，太小量程不够），所测的力值最好在刻度盘的二、三象限内，根据测量量程调整好对应的摆锤重量（或摆杆长度）。

测力盘除主动针外，还有被动针，被动针由主动针带动向前。当试样破坏后，荷载为零，主动针回到零位，被动针仍停留在破坏位置，因此就能方便地保留峰值。实验前，要拨动被动针向主动针靠拢，重合。

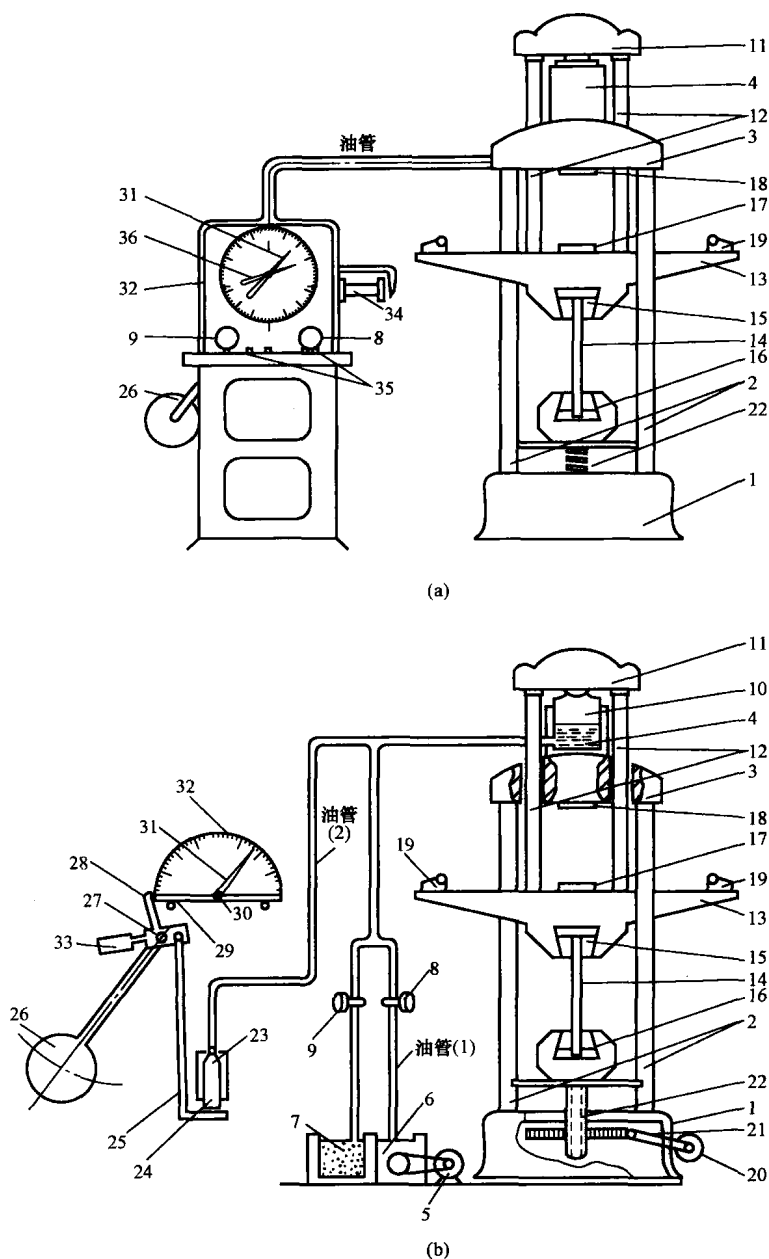


图 1-3 液压式万能材料试验机

(a) 液压式万能材料试验机外形；(b) 液压式万能材料试验机结构原理图

- 1—底座；2—两个固定立柱；3—大横梁；4—工作油缸；5—电动机；6—油泵；7—油箱；8—送油阀；9—回油阀；10—工作活塞；11—小横梁；12—两个活动立柱；13—活动平台；14—试样；15—上夹头；16—下夹头；17—下承压座；18—上承压座；19—支座；20—下夹头电动机；21—蜗轮；22—蜗杆；23—测力油缸；24—测力活塞；25—拉杆；26—摆锤；27—支点；28—推杆；29—水平齿杆；30—齿轮；31—主动针；32—测力度量；33—平衡砣；34—自动绘图器；35—电器开关；36—随动指针

测力部分还有绘图器装置, 它有与活动平台联动的记录纸和与主动针联动的记录笔, 两者运动方向垂直。当记录笔与记录纸接触就位后, 在实验过程中, 就能定性地自动绘出荷载 F 和伸长量 ΔL 的关系曲线, 即 $F-\Delta L$ 曲线。

五、实验原理

1. 低碳钢拉伸的 $F-\Delta L$ 曲线

低碳钢是工程上最广泛使用的材料, 同时, 低碳钢在拉伸实验中所表现的受力与变形的关系也比较典型。以拉力 F 为纵坐标, 伸长量 ΔL 为横坐标, 所绘出的荷载 F 和变形 ΔL 的实验曲线图形称为拉伸图。普通试验机绘出的曲线图形虽然精度不足以定量, 但能定性地反映出材料的力学特性。典型的低碳钢的拉伸图 ($F-\Delta L$ 曲线), 可明显分为四个阶段, 如图1-4所示。

(1) 弹性阶段。拉伸初始阶段 (如图1-4中 OA 段所示) 为弹性阶段。在此阶段, 试样的变形完全是弹性的, 若全部卸除荷载, 记录笔将沿原路返回到原点 O , 变形完全消失, 试样将恢复其原长, 即弹性变形是可恢复的变形, 特别是前段。因 OA 为直线, 力 F 与变形 ΔL 成正比关系, 服从胡克定律, 即

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

式中 F ——荷载, N;

L ——试样长度, mm;

E ——材料的弹性模量, GPa;

S ——试样横截面面积, mm^2 。

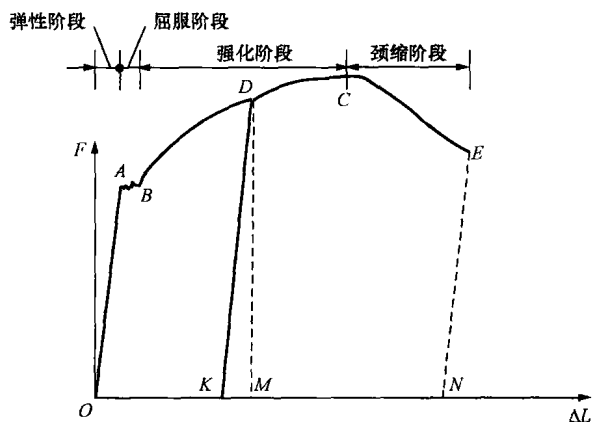


图 1-4 低碳钢拉伸 $F-\Delta L$ 曲线

(2) 屈服阶段。实验进行到 A 点以后, 试样的伸长量急剧地增加, 而试验机测力盘的荷载读数却在很小的范围内波动。在持续变形的情况下, 力 F 却不再增加, 或呈下降状态, 甚至反复多次下降, 使曲线呈锯齿形。此时若试样表面加工光洁, 可看到大约与轴线成 45° 方向的滑移线, 这种现象称为屈服, 这一阶段称为屈服阶段 (如图1-4

中 AB 段所示), 其特征值屈服强度 R_{eL} 表征材料抵抗永久变形的能力, 是材料重要的力学性能指标。这时如果卸载记录笔将不能返回到原点 O , 卸载后不能消失的变形称为材料的塑性变形, 即永久变形, 也称残余变形。

(3) 强化阶段。过了屈服阶段 (B 点), 力又开始继续增加, 曲线也趋于上升, 这说明材料结构组织发生了变化, 材料在塑性变形中不断得到强化, 需要增加荷载才能使材料继续变形。这一阶段称为强化阶段 (如图 1-4 中 BC 段所示)。由图 1-4 可知, 随着荷载增加, 曲线斜率逐渐减小, 直到 C 点, 达到峰值, 该点为抗拉极限荷载, 即试样能承受的最大荷载, 其特征值抗拉强度 R_m 是又一表征材料强度的重要力学性能指标。在强化阶段中, 试样的变形主要是塑性变形, 所以要比在弹性阶段内试样的变形大得多。在此阶段中可以较明显地看到整个试样的横向尺寸在缩小。

(4) 颈缩阶段。实验达到 C 点后, 试样伸长达到一定程度, 出现不均匀的轴线伸长, 荷载读数反而逐渐降低。此时在试样某一段内的横截面面积显著地收缩, 这一现象称颈缩现象, 又称局部变形阶段。随着颈缩处的横截面面积急剧减小削弱, 承载力减小, 荷载读数继续减小, 曲线呈下降趋势, 直到试样被拉断 (断裂点 E)。该阶段 (如图 1-4 中 CE 段所示) 称为颈缩阶段。颈缩现象是材料内部晶格剪切滑移的表现。断裂后, 试样的弹性变形消失, 塑性变形则永久保留在破断的试样上, 形成杯口状断口。

2. 冷作硬化

如图 1-4 所示, 若在强化阶段 (BC 段) 中某点 D 停止加载, 并逐渐卸除荷载, 可看到记录笔沿与弹性阶段 (OA) 近似平行的直线 (DK) 降到 K 点; 若再继续加载, 它又沿原直线 (KD) 升到 D 点, 这说明卸载时荷载与伸长量之间遵循直线关系的规律, 只是直线段比原弹性阶段有所提高。 D 点的变形可分为两部分, 即可恢复的弹性变形 (KM 段) 和残余 (永久) 的塑性变形 (OK 段)。这种在常温下对试样预先施加轴向拉力, 使之达到强化阶段, 然后卸载, 再加载时, 试样在线弹性范围内所承受的最大荷载将增大, 而试样所能经受的塑性变形降低, 这一现象称为材料的冷作硬化。冷作硬化常作为一种工艺手段, 用于工程中提高金属材料如钢筋和钢缆绳等构件在线弹性范围内的最大荷载。但值得注意的是, 此工艺同时削弱了材料的塑性, 使试样所能承受的塑性变形有所降低。如图 1-4 所示, 冷拉后的断后伸长 KN , 比原来的断后伸长 ON 减少了。另外, 这种冷作硬化现象只有经过退火处理才能消失。

3. 低碳钢拉伸时的下屈服强度 R_{eL} 和压缩时的下屈服强度 R_{eLc}

低碳钢拉伸实验中, 屈服阶段第一个波谷后的最小标称应力为下屈服强度 R_{eL} , 可以在测力指针移动的特定位置 (第一个波谷后的屈服阶段中最小荷载值) 读取对应下屈服强度的荷载 F_{eL} , 再计算出下屈服强度 R_{eL} 。第一个波谷不是材料屈服的结果, 它受实验系统和记录系统的动惯性守恒影响, 被称为“初始瞬时效应”, 与加载速度等因素有关, 故不计在内。

$$\text{低碳钢拉伸下屈服强度} \quad R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 R_{eL} ——下屈服强度, MPa;

F_{eL} ——对应下屈服强度的荷载, N;

S_0 ——原始横截面面积, mm^2 。

对于呈现明显屈服(不连续屈服)现象的金属材料,相关产品标准规定测定上压缩屈服强度或下压缩屈服强度或两者均测定。如未具体规定,仅测下压缩屈服强度。低碳钢压缩时,仅测下屈服强度,可以在测力指针移动的特定位置(第一个波谷之后屈服阶段中最小荷载值或屈服平台的恒定荷载值)读取对应下屈服强度的荷载 F_{eL} ,直接测定下屈服强度 R_{eL} 。

$$\text{低碳钢压缩下屈服强度} \quad R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \quad (1-3)$$

式中 F_{eL} ——对应下屈服强度的荷载, N;

S_0 ——原始横截面面积, mm^2 。

4. 抗拉强度 R_m

试样拉伸过程中最大荷载对应的标称应力为抗拉强度 R_m ,应为最大荷载除以原始横截面面积。最大荷载 $F_{\max}$ 可从试样破坏后,被动指针停留位置读取。

$$\text{抗拉强度} \quad R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad (1-4)$$

式中 $F_{\max}$ ——最大荷载, N。

5. 抗压强度 R_{mc}

试样受压至破坏前承受的最大标称应力称为抗压强度 R_{mc} 。不发生破裂的材料,如低碳钢则没有抗压强度,铸铁的抗压强度为

$$\text{抗压强度} \quad R_{mc} = \frac{F_{mc}}{S_0} \quad (1-5)$$

式中 R_{mc} ——铸铁的抗压强度, MPa;

F_{mc} ——破坏前承受的最大压缩荷载, N。

6. 低碳钢的断后伸长率 A

试样拉断后,标距内残余的伸长($L_u - L_0$)与原始标距 L_0 之比的百分率称为断后伸长率 A ,即

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 A ——断后伸长率;

L_u ——断后标距,是将试样断裂的两段对齐并尽量靠拢对接后量取的标距长, m;

L_0 ——原始标距, m。

7. 低碳钢的断面收缩率

试样拉断后,试样横截面面积的最大缩减量($S_0 - S_u$)与原始横截面面积 S_0 之比的百分率称为断面收缩率 Z ,即

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 Z ——断面收缩率；

S_u ——试样断后颈缩处最小横截面面积， mm^2 。

六、实验步骤

1. 低碳钢、铸铁拉伸实验

(1) 量测试样尺寸。用游标卡尺在拉伸试样的标距两端和中间部位，任意取三个横截面，在每一个横截面上分别沿相互垂直的两个正交方向各测量一次直径，并计算这两个直径的平均值，最后取三处直径的平均值的最小者作为试样直径 d_0 。

低碳钢拉伸试样，采用长比例试样 ($L_0 = 10d_0$)。量取原始标距长度 $L_0 = 100\text{mm}$ ，将 L_0 分成 10 等份格，用笔标识出每个等份格，以便观察变形沿轴向分布的情况和计算伸长率。

该实验用游标卡尺精度为 0.02mm 。

(2) 安装试样。先把试样夹持在试验机的上夹头，再调节下夹头，移动到试样所需位置，将上下夹头夹紧。试样安装应尽力确保夹持的试样受轴向拉力的作用，防止偏斜和夹入部分过短的现象。

(3) 开机准备。选择合适的测力量程，并配以相应的摆锤。将缓冲器调至合适位置，调整测力指针使其对准零点，拨动被动针向主动针靠拢，调整好绘图装置。

(4) 检查与试车。开动试验机，预加少量荷载后，卸载回“零”点，检查试验机工作是否正常。注意：做铸铁拉伸实验无须试车。

(5) 进行实验。开动试验机并缓慢匀速加载，注意观察测力指针的转动、自动绘图的情况和实验现象。在低碳钢拉伸实验中的弹性阶段，要控制应力速率为 $6 \sim 60\text{MPa/s}$ 。当测力指针不动或后退时，说明试样开始屈服。在试样平行长度的屈服期间应变速率应控制在 $0.00025 \sim 0.0025/\text{s}$ 之间，平行长度内的应变速率应尽可能地保持恒定。在屈服阶段，读取测力指针不计初始瞬时效应时屈服阶段的最小力值为下屈服荷载 F_{eL} ，将其除以原始横截面面积即得下屈服强度 R_{eL} 。当测力指针不再来回摆动时，说明屈服阶段结束，进入强化阶段。此时，可加快速度，但试样平行长度的应变速率不应超过 $0.008/\text{s}$ ，以减小惯性效应对屈服强度测定的影响。在强化阶段某点，卸载再加载，观察 $F-\Delta L$ 曲线上的冷作硬化现象。当主动针与被动针分离回摆时，试样进入颈缩阶段，观察颈缩现象，直至试样断裂。读取被动针保留的最大荷载 $F_{\max}$ 。

(6) 关机，取下试样。触摸断口，可感觉到由部分变形能转化的热量。将断裂试样的两段对齐并尽量靠拢，测量试样断后标距 L_u ，用游标卡尺测量两段断口（颈缩）处的最细直径 d_u ，沿两个相互垂直的正交方向各测量一次，取其平均值作为断口处最小直径，计算断后最小横截面面积。

(7) 铸铁拉伸实验加载测试前的各项准备与低碳钢拉伸实验相同。缓慢平稳加载，

直至断裂,读取被动针保留的最大荷载 $F_{\max}$ 。

2. 低碳钢、铸铁压缩实验

(1) 量测试样尺寸。用游标卡尺在压缩试样长度中间部位任取一个横截面,分别沿两个相互垂直的正交方向各测量一次横截面直径,用其平均值计算横截面面积,并测量试样长度一次。

该实验用游标卡尺精度为 0.02mm。

(2) 开机准备。选择合适的测力量程,并配以相应的摆锤。将缓冲器调至合适位置,调整测力指针使其对准零点,拨动被动针向主动针靠拢,调整好绘图装置。

(3) 安装试样。将压缩试样准确地放在试验机球形支撑垫的中心处,使试验机的轴线与压缩试样的轴线重合,防止受偏压。

(4) 检查与试车。开动试验机,使试样随工作台上升。当上支撑垫接近试样时,减慢上升的速度,以避免急剧加载。同时使自动绘图器工作。

(5) 进行实验。在试样与上支撑垫接触受力后缓慢匀速加载。注意观察测力指针的转动、自动绘图的情况和实验现象。因低碳钢压缩试样较短,屈服不明显,要特别注意进油平稳,以防油压波动,干扰屈服点测读。在弹性范围内,应控制应力速率为 $1 \sim 10 \text{ MPa/s}$ 范围内。当主动针停止或往复摆动时,试样即出现屈服,读取最低压缩力为下屈服荷载 F_{elc} 。若屈服阶段出现多个波峰波谷时,取第一个波谷之后的最低实际压缩力为下屈服荷载 F_{elc} 。在明显塑性变形范围,应控制应变速率在 $0.0005 \sim 0.0001/\text{s}$ 范围内。屈服结束,继续加载,使试样明显变形成鼓状,即可关机停止实验。注意:所加荷载不得超过测力度盘范围。

(6) 铸铁压缩实验准备工作及实验方法与低碳钢压缩实验基本相同,但测定的是抗压强度 R_{mc} 。安装试样时,要用一个防护罩围套住试样,以防脆性的铸铁破裂时进出伤人。试样破坏前,注意观察主动针达到最高点后,要回摆一下,试样方才破坏,这是剪切滑移所致。破坏后,读取被动针保留的最大压缩荷载 F_{mc} 。

(7) 关机,打开回油阀下降工作平台,取下试样。

七、注意事项

(1) 拉伸实验出现下列情况之一时实验结果无效,应重做同样数量的实验。

1) 断口发生在标距外,而且断后伸长率 A 小于规定最小值。

2) 实验期间设备发生故障,影响了实验结果。

(2) 拉伸实验后试样出现两个或两个以上的颈缩以及显示出肉眼可见的冶金缺陷(如分层、气泡、夹渣、缩孔等),应在实验报告中注明。

(3) 压缩实验出现下列情况之一时实验结果无效,应重做同样数量的实验。

1) 试样未达到所求性能时,发生屈曲者。

2) 试样未达到所求性能时,端部就局部压坏者。

(4) 机器运转时,操作者不得擅自离开。实验时不得触动摆锤。

(5) 实验时, 听见异声或发生故障, 应立即停车。

八、实验结果处理

(1) 根据低碳钢拉伸时下屈服强度对应的荷载和最大荷载计算低碳钢拉伸时的屈服强度和抗拉强度。

(2) 根据铸铁拉伸时最大荷载计算铸铁拉伸时的抗拉强度。

(3) 根据低碳钢压缩时下屈服强度对应的荷载计算低碳钢压缩时的下屈服强度。

(4) 根据铸铁压缩时最大荷载计算抗压强度。

(5) 计算低碳钢的断后伸长率 A 。

注意: 测量的试样拉断后标距内的伸长量 L_u 是将试样断裂的两段对齐并尽量靠拢对接后量取的标距。量取时使用分辨力优于 0.1mm 的量具或测量装置测定, 断后标距准确到 $\pm 0.25\text{mm}$ 。对于比例试样, 若原始标距不为 $L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$, 则符号 A 应附以下脚注说明所使用的比例系数 k 。例如, 该实验用 $A_{11.3}$ 表示原始标距为 $L_0 = 11.3 \sqrt{S_0}$ 的断后伸长率。

许多塑性材料在断裂前将发生颈缩 (如低碳钢) 现象, 即试样发生不均匀伸长 (断口处伸长最大), 于是, 断口发生在标距内的不同位置, 测量的 L_u 也会不同。原则上只有断口发生在实验前标记的原始标距中部的 $L_0/3$ 长度区段内实验方为有效。但断后伸长率 A 大于或等于规定值, 实验也算有效。若断口不在标距中部 $L_0/3$ 长度区段内, 为使断后伸长率 A 接近材料真实值, 也可采用断口移中的办法测量 L_u 。具体方法是: 在长段上从断口 O 点起取长度基本等于短段格数的一段, 得 B 点, 再由 B 点起取等于长段所余格数 (若所余格数为偶数) 一半得 C 点, 如图 1-5 (a) 所示; 或由 B 点起取所余格数 (若所余格数为奇数) 减 1 与加 1 的一半分别得 C 点与 C_1 点, 如图 1-5 (b) 所示。因此, $L_u = AO + OB + 2BC$ 或 $L_u = AO + OB + BC + BC_1$ 。

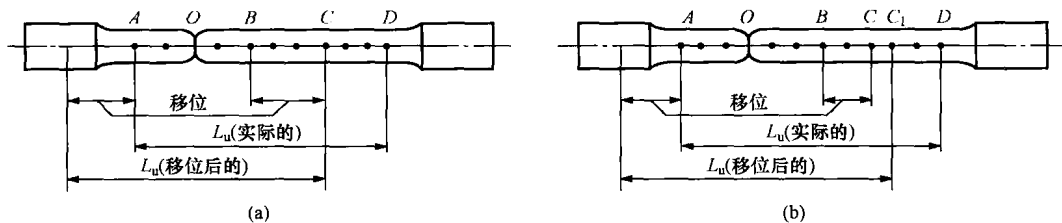


图 1-5 断口移中示意图

(6) 计算低碳钢的断面收缩率。在断面收缩率 Z 的计算中, S_u 是试样断后颈缩处最小横截面面积, 量取时准确到 $\pm 2\%$ 。对于比例试样, 颈缩处最小截面面积 S_u 的测定, 是在断口原状对接后, 量取最细处相互垂直两个方向的直径, 取两者的算术平均值计算。

(7) 性能测定结果数值的修约。测定的实验结果数值应按照相关产品标准的要求进行修约。如未规定具体要求, 修约的方法按照 GB/T 8170—2008《数值修约规则与极

限数值的表示和判定》，由表 1-1 的要求进行修约。

表 1-1 性能结果数值的修约间隔

性 能	范 围	修 约 间 隔
R_{eL} , R_m , R_{eLc} , R_{mc}	$\leq 200\text{N/mm}^2$	1N/mm^2
	$> 200 \sim 1000\text{N/mm}^2$	5N/mm^2
	$> 1000\text{N/mm}^2$	10N/mm^2
A		0.5%
Z		0.5%

九、思考题

(1) 根据低碳钢和铸铁的拉伸和压缩实验结果，试比较塑性材料和脆性材料主要力学性能及它们的破坏形式。

(2) 材料和面积相同而标距长短不同的两根比例试样，其断后伸长率 A_5 和 A_{10} 是否相同？

(3) R_{eL} 是不是低碳钢试样在屈服时的真实应力？为什么？

(4) 压缩试样为什么要做得短而粗？长了会有什么影响？

(5) 为什么铸铁压缩时，破坏面常发生在与轴线大致成 $50^\circ \sim 55^\circ$ 倾角的斜截面上？

(6) 为什么不能测到低碳钢压缩时的抗压强度？

(7) 图 1-6 所示为四种材料的应力—应变曲线，其中强度最高的是_____，比例极限最高的是_____，弹性模量最大的是_____，塑性最好的是_____。

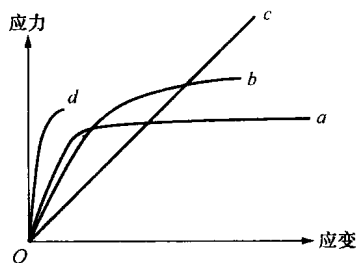


图 1-6 四种材料的应力—应变曲线

第二节 金属材料的扭转破坏实验

扭转现象在工程中十分普遍，扭转变形是材料的基本变形之一。了解材料在扭转变形时的力学性能，对于构件的合理设计和选材是十分重要的。材料在扭转变形下的力学性能只能通过实验来测定。因此，扭转实验也是材料力学的基本实验之一。该实验选用低碳钢和铸铁进行实验。

一、实验目的

(1) 在比例极限内验证剪切胡克定理。