



G O N G C H E N G L I X U E S H I Y A N

工程力学实验

(第2版)

胥 明 付广龙 黄跃平 / 主编



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

工程力学实验

(第2版)

主 编 胥 明 付广龙 黄跃平



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

图书在版编目(CIP)数据

工程力学实验 / 胥明, 付广龙, 黄跃平主编. — 2
版. — 南京: 东南大学出版社, 2017. 6
ISBN 978-7-5641-7171-1

I. ①工… II. ①胥… ②付… ③黄… III. ①工程力
学—实验—高等学校—教材 IV. ①TB12-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 116181 号

工程力学实验(第 2 版)

出版发行 东南大学出版社
出版人 江建中
社 址 南京市四牌楼 2 号
邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店
印 刷 常州市武进第三印刷有限公司
开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 7.5
字 数 198 千字
版 次 2017 年 6 月第 1 版
印 次 2017 年 6 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-7171-1
印 数 1—3000 册
定 价 23.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830)

前 言

近十多年的教学改革已经使力学实验教学发生了很大的变化。在教学理念上,力学实验教学已从过去的辅助理论教学转变为相对独立的一个创新能力培养环节;在教学内容上,从过去的验证性和演示性实验扩展到综合性、设计性,甚至是研究性实验。为适应实验教学的新形势,东南大学力学实验中心根据近十多年实验教学改革之经验,在教材《工程力学实验》(第1版)的基础上吸收同类院校实验教学之成果编写了这本教材。在编写过程中,力图体现以下原则:

1. 在编写指导思想上,坚持传授知识、培养能力、提高素质相协调,加强学生的探索精神和创新能力。在基本实验方面,实验步骤的叙述尽可能详尽,具有可操作性,使学生在了解仪器使用后能根据实验教材独立完成实验。在扩展实验方面,只提出设计任务,实验方案由学生自行拟定,培养学生自主学习、研究性学习的能力,进一步培养学生在实验中发现、解决问题的能力,为将来在科学研究或工程实践中解决实际问题提供初步训练。实验布置了思考题,让学生思考实验中可能遇到的问题,深化实验的基本原理的应用。

2. 实现实验标准化的要求。在实验教学的内容上结合当前执行的最新标准,使学生掌握标准中的测试要求。按照国家标准对实验的要求,完善了金属材料拉伸实验、金属材料扭转实验等各项实验的内容;促进了力学实验相关知识与国家标准的融合;实现了实验规范化和标准化。

3. 注重自制仪器的开发与应用。部分实验应用自制的实验仪器设备,编写实验内容,独立开发出可以广泛应用的实验项目。

4. 实验教学内容与科研、工程密切联系,形成良性互动。部分实验内容直接由科研成果转化而来,实验内容与实际工程应用联系紧密,有较强的工程应用背景。

5. 注重培养学生实验数据处理和软件应用的能力。独立开发了动应变实验教学软件,应用到加速度传感器灵敏系数标定实验和动荷系数测量实验,让学生掌握现代动态采集数据的方法和概念。在光弹实验中,让学生接触数字图像处理软件,掌握数字图像的处理基本方法。把实验内容和数据处理、软件应用的知识有机地结合起来,培养学生多种知识的综合应用与实验,极大地丰富了学生实验学习的内容,让学生掌握更多的实践技能。

本教材共安排 21 项实验,其中实验 1、5、6、7、8、9、10、16 由胥明编写,实验 3、4、11、12、13、14、15、17 由黄跃平编写,实验 2、18、19、20、21 由付广龙编写,附录 1—4 由何顶顶编写。全书由胥明统稿,由韩晓林教授主审。

编 者

2016 年 9 月

目 录

实验 1	金属材料拉伸实验	(1)
实验 2	金属材料扭转实验	(11)
实验 3	电阻应变计的粘贴工艺	(16)
实验 4	电阻应变计的热输出	(20)
实验 5	电阻应变计测量原理实验	(22)
实验 6	金属材料弹性模量和泊松比实验	(32)
实验 7	弯曲正应力分布实验	(35)
实验 8	薄壁圆管弯扭组合应力测定实验	(38)
实验 9	开口薄壁梁弯心测定实验	(44)
实验 10	开口薄壁截面的约束扭转和圣维南原理实验	(46)
实验 11	动荷系数测量	(49)
实验 12	电测法测定衰减振动参数	(52)
实验 13	电测法标定加速度传感器的电压灵敏度	(55)
实验 14	工程结构电测应力分析	(58)
实验 15	工程结构减隔振实验	(60)
演示实验 16	金属材料压缩、剪切破坏实验	(62)
演示实验 17	金属材料疲劳演示实验	(67)
演示实验 18	光弹实验	(70)
演示实验 19	转子临界转速实验	(75)
演示实验 20	数字散斑干涉法	(79)
演示实验 21	数字散斑剪切干涉法	(84)
附录 1	实验数据处理和不确定度概念	(87)
附录 2	电阻应变仪使用方法简介	(98)
附录 3	Instron 3367 电子材料试验机使用方法简介	(105)
附录 4	光弹性仪简介	(110)
参考文献		(113)

实验 1 金属材料拉伸实验

金属材料拉伸实验是材料力学课程最基本的实验,通过拉伸可以测定出金属材料一些基本的力学性能。国家标准 GB/T 228. 1—2010《金属材料室温 拉伸试验方法》,已于 2011 年 12 月 1 日开始实施。该国家标准与 1987 版的国家标准相比,在引用标准、定义和符号、试样、试验要求、性能测定方法、测定结果的修约和不确定度阐述等方面都作了较大修改和补充。本章按新标准对试验的要求进行编写,与国家标准接轨。

1.1 实验目的

- (1) 了解并掌握 GB/T 228. 1—2010 所规定的定义和符号、试样、试验要求、性能测定方法。
- (2) 测定金属材料的上、下屈服强度(R_{eH} 、 R_{eL}),抗拉强度(R_m),最大力总延伸率(A_{gt})和断后伸长率(A),断面收缩率(Z)。
- (3) 观察和分析金属试样在拉伸过程中的各种现象,并比较断后伸长率(A)和最大力总延伸率(A_{gt})的差异。
- (4) 绘制材料的应力-应变曲线和冷作硬化曲线,观察冷作硬化对材料力学性能的影响。

1.2 实验设备和试样

实验设备有 Instron 3367 电子材料试验机、引伸计、游标卡尺等。

最常见的拉伸试样横截面多数为圆形和矩形。拉伸试样分比例试样和非比例试样两种。比例试样系按公式 $L_0=K \sqrt{S_0}$ 计算而得。式中 L_0 为试样标距, S_0 为试样原始截面积,系数 K 通常为 5. 65 和 11. 3,前者称为短试样($L_0=5. 65 \sqrt{S_0}$),后者称为长试样($L_0=11. 3 \sqrt{S_0}$),短、长圆形试样的标距 L_0 分别等于 $5d_0$ 、 $10d_0$ 。非比例试样的标距与横截面间无上述关系。

一般拉伸试样由三部分组成,即工作部分、过渡部分和夹持部分(图 1. 1)。工作部分必须保证光滑均匀以确保材料表面的单向应力状态。均匀部分的工作长度 L_c 称为平行长度,在均匀部分定出的工作长度 L_0 称为标距,因此标距小于平行长度。

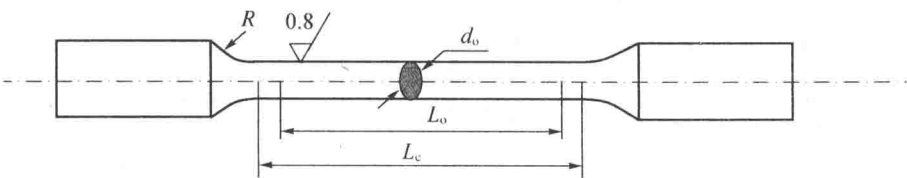


图 1.1 圆形截面拉伸试件

试样过渡部分必须有适当的台肩和圆角,以降低应力集中,保持该处不会断裂。试样两端的夹持部分用以传递载荷,其形状尺寸应与试验机的钳口相匹配。

用于拉伸试验的试验机有机械、液压等电子多种类型。目前普遍采用电子材料试验机,应用计算机进行加载的控制,试验机主要由加力部分和测力部分组成。电子材料试验机可以用于拉伸、压缩、剪切、弯曲等试验,故习惯上称它为万能材料试验机。

1.3 金属材料(低碳钢)的拉伸实验原理

当试样开始拉伸时,材料先呈现弹性状态。当荷载超过弹性比例极限时,就会产生塑性变形,金属的塑性变形主要是材料晶面产生了滑移,是由剪应力引起的。进入屈服阶段后,应力-延伸曲线通常呈水平的锯齿状,试样发生屈服而应力首次下降前的最高应力称上屈服强度(R_{eH}),由于上屈服极限受试样变形速度的影响较大,一般不作为材料的强度指标;同样,屈服后第一次下降的最低点(初始瞬时效应)也不作为材料的强度指标。在屈服期间,不计初始瞬时效应时的最低应力,除此之外的其他最低点中的最小值作为下屈服强度(R_{eL})。当屈服阶段结束后,应力-延伸曲线开始上升,材料进入强化阶段。若在这一阶段的某一点卸载至零,则可以得到一条与比例阶段曲线基本平行的卸载曲线。此时若再加载,则加载曲线沿原卸载曲线上升,以后的曲线基本与未经卸载的曲线重合。经过加载、卸载这一过程后,材料的弹性比例极限和屈服强度提高了,但延伸率降低了,这一现象称为冷作硬化。随着荷载的继续增加,曲线上升的幅度逐渐减小,当达到最大值(R_m)后,试样的某一局部横截面开始出现缩小,荷载也随之下降,通常称为“颈缩”,最后试样在颈缩处断裂。

国家标准中共定义了 12 种可测的拉伸性能,即 6 种延性性能 A 、 A_e 、 A_{gt} 、 A_g 、 A_t 和 Z , 6 种强度性能 R_{eH} 、 R_{eL} 、 R_P 、 R_t 、 R_r 和 R_m , 见表 1.1。其符号体系与教材的符号有很大差别,为便于学习,特将各类符号列表对照,见表 1.2。本实验中需要测定金属材料的上、下屈服强度(R_{eH} 、 R_{eL}),抗拉强度(R_m),最大力总延伸率(A_{gt})和断后伸长率(A),截面收缩率(Z)。

表 1.1 GB/T 228.1—2010 中 12 种拉伸性能符号说明

强度指标		塑性指标	
符号	说明	符号	说明
R_{eH}	上屈服强度	A_{gt}	最大力总延伸率
R_{eL}	下屈服强度	A_g	最大力塑性延伸率
R_P	规定塑性延伸强度	A_e	屈服点延伸率
R_t	规定总延伸强度	A	断后伸长率
R_r	规定残余延伸强度	A_t	断裂总延伸率
R_m	抗拉强度	Z	断面收缩率

表 1.2 新旧标准符号的对比

GB/T 228.1—2010		GB 228—87(老国标)	
性能名称	符号	性能名称	符号
—	—	屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sL}
规定塑性延伸强度	R_p	规定非比例伸长应力	σ_p
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b
最大力总延伸率	A_{gt}	最大力下总伸长率	δ_{gt}
断后伸长率	A	断后伸长率	δ
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ

GB/T 228.1—2010 国标中关于延伸的定义,见图 1.2。

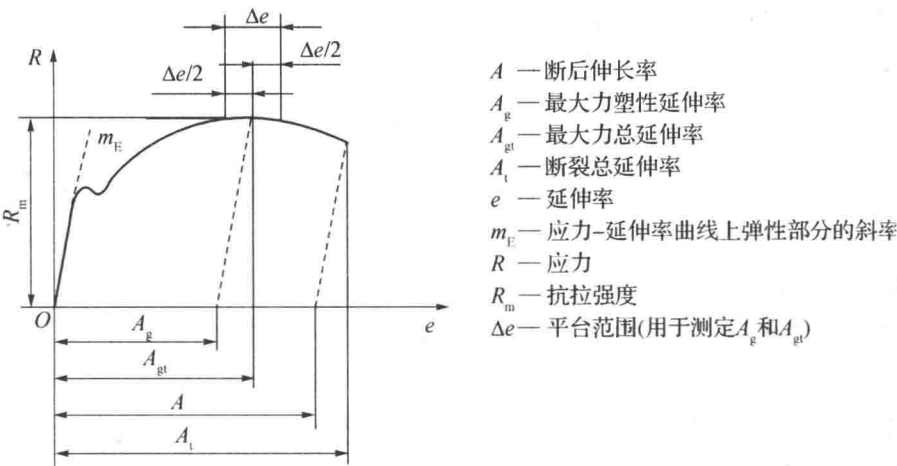


图 1.2 延伸的定义

1.3.1 上屈服强度(R_{eH})和下屈服强度(R_{eL})的测定

GB/T 228.1—2010 规定,当金属材料呈现屈服现象时,在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点。应区分上屈服强度和下屈服强度。

上屈服强度 R_{eH} ,指试样发生屈服而力首次下降前的最大应力,见图 1.3。

下屈服强度 R_{eL} ,指在屈服期间,不计初始瞬时效应时的最小应力,见图 1.3。

GB/T 228.1—2010 规定,可用应力速率控制(方法 B)测定上屈服强度和下屈服强度,具体应力速率控制规定见表 1.3。

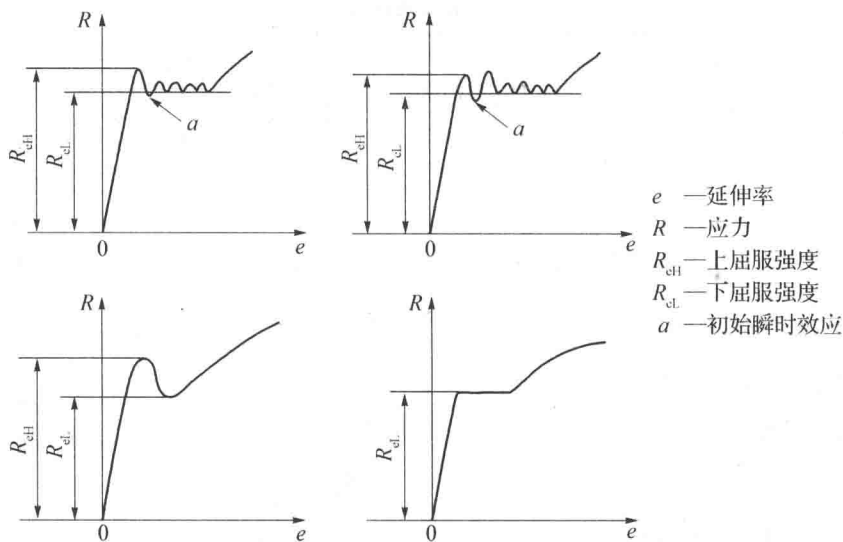


图 1.3 不同类型曲线的上屈服强度和下屈服强度

表 1.3 应力速率控制规定表

材料弹性模量 E/MPa	应力速率 $R/(\text{MPa} \cdot \text{s}^{-1})$	
	最小	最大
$<150\,000$	2	20
$\geq 150\,000$	6	60

上屈服强度的测定： R_{eH} 可以从应力-延伸曲线图或峰值力显示器上测得，定义为首次下降前的最大力值对应的应力(见图 1.3)，即：

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \tag{1.1}$$

下屈服强度的测定： R_{eL} 可以从应力-延伸曲线上测得，定义为不计初始瞬时效应时的最小力所对应的应力(见图 1.3)，即：

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \tag{1.2}$$

上、下屈服力判定的基本原则如下：

- (1) 屈服前的第一个峰值应力(第一个极大应力)判为上屈服强度，不管其后的峰值应力比它大或小。
- (2) 屈服阶段中如呈现两个或两个以上的谷值应力，舍去第一个谷值应力(第一个极小值应力)，取其余谷值应力中之最小者判为下屈服强度。如只呈现一个下降谷，此谷值应力判为下屈服强度。
- (3) 屈服阶段中呈现屈服平台，平台应力判为下屈服强度。如呈现多个而且后者高于前者的屈服平台，判第一个平台应力为下屈服强度。
- (4) 正确的判定结果应是下屈服强度一定低于上屈服强度。

当规定了要求测定屈服强度性能,但材料在实际试验时并不呈现出明显屈服状态(如高强度材料),而呈现出连续的屈服状态,此种情况材料不具有可测的上(或下)屈服强度,则应测定规定非比例延伸强度($R_{p0.2}$),并注明材料无明显屈服。

1.3.2 规定塑性延伸强度(R_p)的测定

规定塑性延伸强度 R_p ,指“塑性延伸率等于规定的引伸计标距 L_e 百分率时对应的应力”(应附下角标说明所规定的塑性延伸率,例如, $R_{p0.2}$,表示规定塑性延伸率为 0.2%时的应力),见图 1.4。

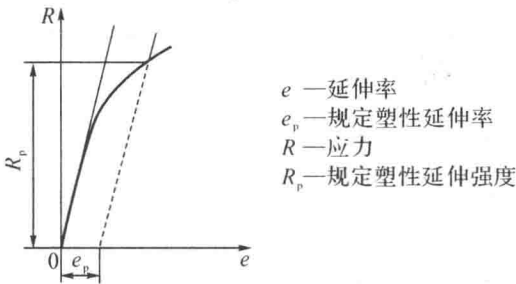


图 1.4 规定塑性延伸强度 R_p

根据应力-延伸曲线图测定规定塑性延伸强度 R_p 。在曲线图上,作一条与曲线的弹性直线段部分平行,且在延伸轴上与此直线段的距离等效于规定塑性延伸率,例如 0.2%的直线。此平行线与曲线的交截点所对应的应力,就是规定塑性延伸强度 R_p (图 1.4)。

如应力-延伸曲线的弹性直线部分不能明确地确定,可以采用滞后环法或逐步逼近法来测定规定塑性延伸强度,详细方法可见 GB/T 228.1—2010 的 13.1 和附录 A。

1.3.3 抗拉强度 R_m 的测定

抗拉强度 R_m 是指在应力-延伸曲线图上最大力 F_m 对应的应力。如果仅测定材料的抗拉强度,则整个试验过程中可以选取不超过 0.008 s^{-1} 的单一试验速率。

抗拉强度 R_m 的测定:对于无明显屈服(不连续屈服)的金属材料类型,为试验期间的最大力判为 F_m ;对于有明显屈服(不连续屈服)的金属材料,在加工硬化开始之后,试样所承受的最大力判为 F_m ,将最大力 F_m 除以试样的原始横截面积 S_0 得到抗拉强度 R_m ,即:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \tag{1.3}$$

一般情况下抗拉强度 R_m 大于上屈服强度 R_{eH} ,某些情况下也可能抗拉强度 R_m 小于上屈服强度 R_{eH} ,见图 1.5(b),也有可能无准确的抗拉强度,见图 1.5(c)。

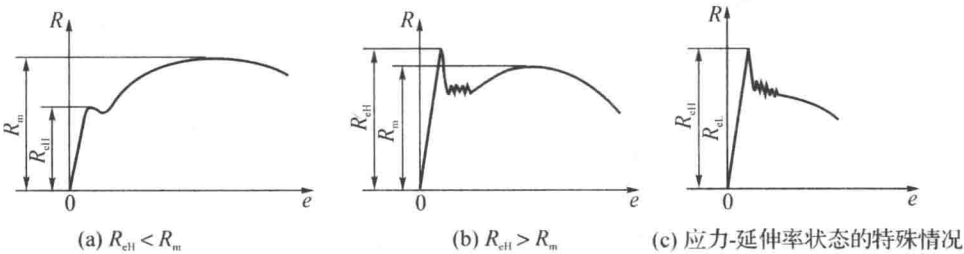


图 1.5 从应力-延伸曲线测定抗拉强度 R_m 的几种不同类型

1.3.4 最大力总延伸率(A_{gt})的测定

最大力总延伸率是最大力时原始标距的总延伸(弹性延伸加塑性延伸)与引伸计标距之比的百分率,见图 1.2。

引伸计标距(L_e)应等于或近似等于试样标距(L_0)。试验时记录力-延伸曲线,直至力值超过最大力点。测定最大力点的总延伸(ΔL_m),按下式计算最大力总延伸率:

$$A_{gt} = \frac{\Delta L_m}{L_e} \times 100 \quad (1.4)$$

有些材料在最大力时呈现一平台,当出现这种情况,取平台的中点的最大力对应的总延伸率。在实验报告中应报告引伸计标距。

1.3.5 断后伸长率 A 的测定

断后伸长率是试样断后标距的残余伸长与原始标距之比的百分率。将试样断裂部分仔细地配接在一起,使其轴线处于同一直线上,并采取特别措施保持试样断裂部分适当接触后测量试样断后标距。应使用分辨力足够的量具或测量装置测量断后伸长量。按下式计算:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1.5)$$

式中: L_0 ——原始标距;

L_u ——断后标距。

对于比例试样,若原始标距 L_0 不为 $5.65 \sqrt{S_0}$,符号 A 应加下脚注说明所使用的比例系数,例如, $A_{11.3}$,表示原始标距 L_0 为 $11.3 \sqrt{S_0}$ 的断后伸长率。对于非比例试样,符号 A 应加下脚注说明所使用的原始标距,以毫米(mm)表示,例如 $A_{60 \text{ mm}}$ 表示原始标距为 60 mm 的断后伸长率。

根据 GB/T 228.1—2010 规定,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情况方为有效;否则,应采用断口移位(中)法测定断后伸长率。断口移位(中)法规定如下:

(1) 试验前将试样原始标距细分为 5 mm(推荐)到 10 mm 的 N 等份;

(2) 试验后,以符号 X 表示断裂后试样短段的标距标记,以符号 Y 表示断裂试样长段的等分标记,此标距与断裂处的距离最接近与断裂处至标距标记 X 的距离。

如 X 与 Y 之间的分格数为 n ,按如下测定断后伸长率:

(1) 如 $N-n$ 为偶数[图 1.6(a)],测量 X 与 Y 之间的距离 l_{XY} 和测量从 Y 至距离为 $\frac{N-n}{2}$ 个分格的 Z 标记之间的距离 l_{YZ} 。按下式计算断后伸长率:

$$A = \frac{l_{XY} + 2l_{YZ} - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1.6)$$

(2) 如 $N-n$ 为奇数[图 1.6(b)],测量 X 与 Y 之间的距离,以及从 Y 至距离为 $\frac{1}{2}(N-n-1)$

和 $\frac{1}{2}(N-n+1)$ 个分格的 Z' 和 Z'' 标记之间的距离 $l_{YZ'}$ 和 $l_{YZ''}$ 。按下式计算断后伸长率：

$$A = \frac{l_{XY} + l_{YZ'} + l_{YZ''} - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1.7)$$

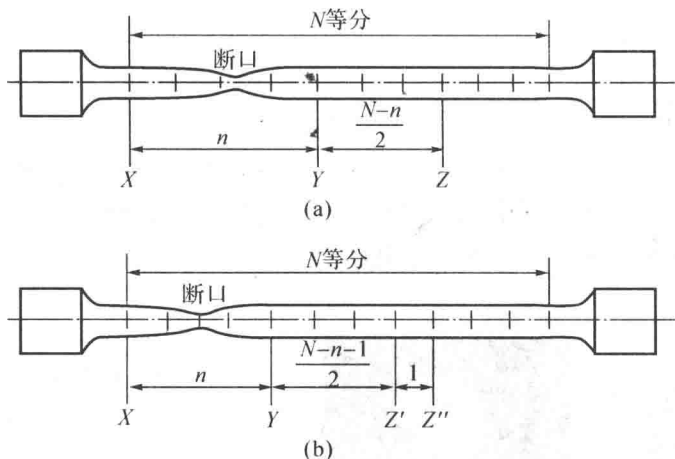


图 1.6 断口移位(中)法计算断后伸长率

能用引伸计测定断裂延伸的试验机,引伸计的标距(L_e)应等于试样的原始标距(L_0)。用引伸计系统记录力-延伸曲线,直至试样断裂。读取断裂点的总延伸,扣除弹性延伸部分后得到断后伸长率。扣除的方法是,过断裂点作平行于曲线的弹性直线段的平行线交于延伸轴,交点即断后伸长率,参见图 1.2。

1.3.6 断面收缩率 Z 的测定

断面收缩率是试样断裂后试样横截面的最大缩减量($S_0 - S_u$)与原始横截面积 S_0 之比的百分率。将试样断裂部分仔细地配接在一起,使其轴线处于同一直线上,然后进行测量。断裂后最小横截面积的测定应准确到 $\pm 2\%$ 。对于圆形横截面试样拉断后缩颈处最小横截面并不一定为圆形横截面形状,但测定的方法基础是建立在假定为圆形横截面形状上。在缩颈最小处两个相互垂直方向上测量直径,取其平均值计算横截面积。对于矩形横截面试样断面收缩率的测定是假定矩形横截面四个边为抛物线形,它的等效横截面积粗略近似为 $S_u = a_u b_u$, 式中 a_u 和 b_u 分别为断裂后缩颈处最小厚度和最大宽度。这样,以测定试样原始横截面积(S_0)与断裂后缩颈处最小横截面积(S_u)之差与原始横截面积之比计算断面收缩率。按下式计算断面收缩率:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1.8)$$

1.3.7 性能测定结果数值的修约

强度性能值修约至 1 MPa,屈服点延伸率修约至 0.1%,其他延伸率和断后伸长率修约至 0.5%,断面收缩率修约至 1%,见表 1.4;修约的方法按照 GB/T 8170—2008。

表 1.4 实验结果数值的修约间隔

性 能	修约间隔
R (强度性能)	1 MPa
A_{gt} 、 A_g 、 A 、 A_t	0.5%
Z	1%

1.3.8 断口分析

用光滑试件进行拉伸试验时,断裂往往发生在宏观或微观缺陷处,例如成分偏析、夹渣、气泡等,是属于材料质量问题,若有上述缺陷在实验报告中应注明。

拉伸断口分为韧性断口(以低碳钢为代表)见图 1.7(a)和脆性断口(以铸铁为代表)见图 1.7(b)。

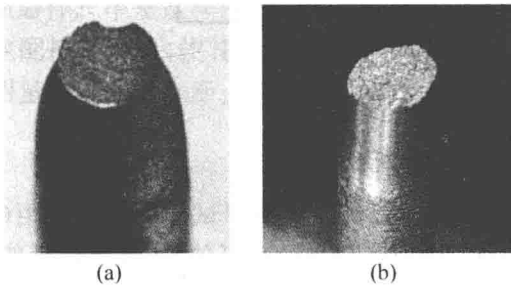


图 1.7 断口分析

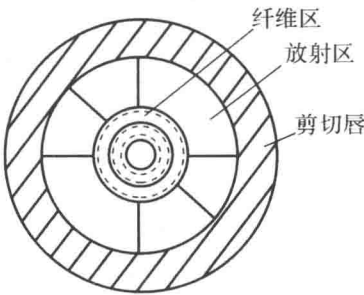


图 1.8 断口三个区域示意图

韧性断口形成过程:在颈缩形成之前,拉伸试样标距内各横截面上的应力分布是相同的、均匀的。一旦颈缩开始,颈缩截面上的应力分布就与其他截面不同了,且其截面上的应力分布不再保持均匀。该处不再是单向受力而是处于三向受力状态,在试样中心部分轴向应力最大。裂纹开始于试样中心部分,起初出现许多已明显可见的显微空洞(微孔),随后这些微孔增大,聚集而形成锯齿状的纤维断口,通常呈环状。当此环状纤维区扩展到一定尺寸(裂纹临界尺寸)后,裂纹开始快速扩展而形成放射区。放射区出现后,试样承载面积只剩下最外圈的环状面积,该部分由最大剪应力所切断,形成剪切唇,成为典型的杯锥状断口。断口中心锯齿状部分称为纤维区,断口边缘与轴向呈 45° 的斜面部分称为剪切唇,纤维区与剪切唇之间光滑平台部分称为放射区,见图 1.8。为何会形成这三个区域呢?这三个区域又是怎样发展起来的呢?杯锥状断口的断裂机制主要是剪切断裂(从微观分析,纤维区是由许多小杯锥组成的,每个小杯锥的斜面大致与外力成 45° 度角,因此,纤维区也是被剪断的)。对于光滑圆柱拉伸试样的韧性断口,纤维区一般位于断口的中央,呈粗糙的纤维状圆环形花样。在三向应力状态作用下,裂纹首先在最小截面处中心的某些非金属夹杂物等缺陷断裂,形成孔洞,即所谓显微孔洞。随着应力的继续增加,显微孔洞不断长大和连接,形成闭口裂纹。闭口裂纹进一步与附近的显微孔洞贯通,形成了锯齿状的纤维区。在应力的继续增加情况下,裂纹从临界尺寸开始,以快速低能量的撕裂方式发展。此时从宏观上看,塑性变形量很小,表现为脆性断裂,但从微观上看仍有很大的塑性变形,形成了有放射花样的放射区。放射区之后还有边缘的环状部分连接着,此时径向应力消失,该部分处于单向应力状态,并

在与轴向成 45° 的斜截面上被剪断,形成剪切唇区通过以上分析,杯锥状断口发展顺序是先形成纤维区,继而扩展到放射区,最后边缘环状部分被剪断,形成剪切唇。杯锥状断口的物理本质是力学因素(应力状态)、物理因素(形变强度、杂质缺陷)和几何因素(断面减小)综合作用的结果。

脆性断口一般表现为断口平齐,并垂直于拉应力方向断裂,没有任何倾斜截面。

1.4 金属的拉伸实验步骤

(1) 确定标距

根据标准计算试样的标距,试样比例标距的计算值应修约到最接近 5 mm 的倍数,中间数值向较大一方修约。实验前应在试样上做原始标距的标记,标记原始标距的准确度应在 $\pm 1\%$ 以内。标记可以用小冲点、细划线或细墨线做标记,标记应清晰,试验后能分辨,不影响性能的测定。对于带头试样,原始标距应在平行长度的居中位置上标出。为了便于测量 L_0 ,可将标距均分为若干格。

(2) 试样测量

原始横截面积(S_0)的测定应准确到 $\pm 1\%$ 。目前国家现行标准 GB/T 228.1—2010 规定宜在试样平行长度中心区域以足够的点数测量试样的相关尺寸,原始横截面积 S_0 是平均横截面积。建议用游标卡尺在试样标距的两端和中间的三个截面上测量直径,并记录测量数据。每个截面在互相垂直的两个方向各测一次,取其平均值计算三个截面的面积,取平均值作为原始横截面面积 S_0 。对于矩形截面用游标卡尺在试样标距的两端和中间的三个截面上测量宽度和厚度。

(3) 启动设备

打开试验机 and 计算机电源,静候数秒,以待机器系统检测。打开 Bluehill 测试软件,根据指导教师的要求选取相应的测试程序,并输入试样的相关参数。

(4) 调零

试样两端被夹持之后会在试样上作用一初始的荷载,因此在试验加载链装配完成后,试样两端被夹持之前,应设定力测量系统的零点。一旦设定了力值的零点,在试验期间不能再次调零。

(5) 安装试样

根据试样长度调整试验机的上、下夹头的位置。试样必须位于夹具的中间位置;其夹持长度超过夹具长度的 $2/3$ 。在确保试样夹紧的同时,不会产生过大的荷载使试样损伤。试样的轴线应与上、下夹头的轴线重合,防止出现试样偏斜和夹持部分过短的现象。

(6) 加载

正式加载,注意观察试样在试验过程中材料在各阶段的现象与变化情况。

试样断裂后,立即检查试验机是否自动停止加载,如试验机未能停止运行,点击“停止”终止测试并取出试样。

(7) 判定和选取上、下屈服点和最大力点

根据计算机软件显示的力-延伸曲线,按 1.3.1 的方法选取上、下屈服点,按 1.3.3 和 1.3.4 的方法选取最大力点。选取结束后,软件会自动将上、下屈服荷载,最大力和最大力总

延伸率列表显示,此时记录原始数据。

(8) 测量断口数据

将断裂试件的两断口对齐并尽量靠紧,按 1.3.5 的方法测量断裂后标距段的长度 L_u ,按 1.3.6 的方法测量断口颈缩处的尺寸,计算断口处的横截面积 S_u 。

(9) 整理实验现场

将断裂试件放到指定的位置,将夹头和试验机清理干净,将工具放回原位置。

1.5 思考题

(1) 伸长与延伸的区别是什么?

(2) 请修约以下数据 $A=23.65\%$, $A=23.652\%$, $R_p=557.5\text{ MPa}$, $R_p=457.6\text{ MPa}$ 。

(3) 最大力总延伸率与断后伸长率的区别是什么? 如何测定?

(4) 为何在拉伸实验中必须采用标准试件或比例试件?

(5) 低碳钢试样拉伸断裂后,断口的形态是怎样的? 从何处先断? 为什么?

(6) 图解法与人工法测得的断后伸长率有何区别?

(7) 若受力试件的变形已超出弹性阶段,而进入强化阶段,则试件只有塑性变形而无弹性变形,这一结论对吗? 为什么?

(8) 根据实测的拉伸曲线,如何测量出低碳钢试样断裂时的真实应力?

实验 2 金属材料扭转实验

扭转问题是工程中经常遇到的一类问题。金属材料的室温扭转试验通过对试样(低碳钢和铸铁)施加扭矩,测量扭矩及其相应的扭角(一般扭至断裂),来测定一些材料的扭转力学性能指标。本实验依据国家标准 GB/T 10128—2007《金属材料 室温扭转试验方法》进行编写,使实验内容与标准一致。

2.1 实验目的

- (1) 了解 GB/T 10128—2007《金属材料 室温扭转试验方法》所规定的定义和符号、试样、实验要求、性能测定方法。
- (2) 了解扭转试验机的基本构造和工作原理,掌握其使用方法。
- (3) 测定低碳钢材料扭转时的上、下屈服强度,抗扭强度和相应的扭角。
- (4) 测定铸铁材料扭转时的抗扭强度和相应的扭角。
- (5) 比较低碳钢和铸铁在扭转时的机械性能及其破坏情况。

2.2 实验设备和试样

扭转试验机,游标卡尺。

扭转试样采用圆柱形试样,材料为低碳钢和铸铁。

2.3 实验原理

杆件在一对大小相等、转向相反、作用面垂直于杆轴线的外力偶作用下,将会出现扭转变形。此时杆件表面的纵向线将变成螺旋线。杆件为等截面圆杆时,杆件的物理性能和横截面几何形状具有极对称性,杆件的变形满足平面假设(横截面像刚性平面一样绕轴线转动),这是扭转问题中最简单的情况。

标准 GB/T 10128—2007 中定义了多种可测的扭转性能指标,表 2.1 列出了扭转破坏实验常用的几种指标的符号、名称和单位。测试应在室温 $10\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行。在试样屈服前,扭转试验机的加载速度应控制在 $6^{\circ}\sim 30^{\circ}/\text{min}$ 范围内某个尽量恒定的值;在试样屈服后,加载速度应控制在不大于 $360^{\circ}/\text{min}$ 的范围内。加载速度的改变应对试样无冲击现象。