



普通高等学校土木工程专业
“十三五”规划系列教材

基础力学实验教程

JICHU LIXUE SHIYAN JIAOCHENG

高 潮 周 永 主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

普通高等学校土木工程专业“十三五”规划系列教材

基础力学实验教程

主 编 高 潮 周 永

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

全书共分为三章,主要包括工程力学实验、流体力学实验、材料力学实验。

本书可作为高等院校土木工程、机械等相关专业教材,也可供建设系统工程施工、检测和监理等专业技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础力学实验教程/高潮,周永主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.5
普通高等学校土木工程专业“十三五”规划系列教材
ISBN 978-7-5609-8991-4

I. ①基… II. ①高… ②周… III. ①力学-实验-高等学校-教材 IV. ①O3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 218019 号

基础力学实验教程

高 潮 周 永 主 编

Jichu Lixue Shiyān Jiaocheng

策划编辑:万亚军

责任编辑:王 晶

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:5.25

字 数:134千字

版 次:2016年5月第1版第1次印刷

定 价:19.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

工程类力学实验课程包含流体力学实验、工程力学实验及材料力学实验等。工程类力学实验是一门综合的实验学科,具有涉及的理论知识面广,实验过程复杂、耗时长,实用性较强等特点。该类实验所需要的理论知识除基本专业理论知识之外,还包括电工学、检测学、数学、数据分析与处理等方面的理论知识。同时,基础力学实验课应突出其专业性,紧跟行业发展的步伐,不断进行改革和创新,以适应时代发展的要求。

本书根据最新的国标、部标来阐述实验要求与步骤,及时更新过去实验教材中过时的教学内容,既有助于培养学生遵守标准、规范的意识,又有利于训练学生掌握新观点、新技能、新知识、新方法,为培养工程类专业高素质创新型人才服务。

本书由大连海洋大学的高潮、周永担任主编,吴立之、刘峰、高玮等担任副主编,张殿光、于海洋、刘静茹、张宏伟、朱永英、史宪莹、蔡佳欢等担任参编。本书由吴立之、刘峰编写第1章,高玮编写第2章,吴立之、高潮、刘峰编写第3章,周永对本书进行了认真的审阅,编写组成员对本书的编写作出了巨大的贡献。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请专家和读者给予批评指正。

编 者

2016年3月14日

目 录

第 1 章 工程力学实验	(1)
1.1 拉伸实验	(1)
1.2 扭转实验	(8)
1.3 梁的弯曲正应力实验	(15)
第 2 章 流体力学实验	(18)
2.1 流体静力学实验	(18)
2.2 不可压缩流体恒定总流的能量方程实验	(21)
2.3 局部水头损失实验	(25)
2.4 沿程水头损失实验	(29)
2.5 雷诺实验	(33)
2.6 孔口与管嘴出流实验	(36)
2.7 文丘里实验	(40)
2.8 流线演示实验	(43)
第 3 章 材料力学实验	(47)
3.1 拉伸实验	(48)
3.2 弹性模量 E 与泊松比 μ 测定实验	(53)
3.3 扭转实验	(57)
3.4 弯曲实验	(60)
3.5 压缩实验	(63)
3.6 弯扭组合实验(综合性实验)	(65)
3.7 叠合梁三点弯曲正应力测定实验(综合性实验)	(68)
3.8 压杆稳定实验(综合性实验)	(71)
3.9 载荷识别设计性实验(设计创新型实验)	(74)
参考文献	(80)

第 1 章 工程力学实验

工程力学实验是工程力学课程的重要组成部分。科学史上许多重大发明都是依靠科学实验而得到的,工程力学中的一些理论和公式也是建立在实验、观察、推理、假设的基础上的,它们的正确性还必须由实验来验证。学生在实验中,用理论来解释、分析实验结果,又以实验结果来证明理论,互相印证,来达到巩固理论知识和学会实验方法的双重目的。工程力学实验包括以下三个方面的内容。

(1) 测定材料的力学性质。工程材料的力学性质通常是通过拉伸、扭转等实验来测定的。通过这些实验,学会测定工程材料的力学性能的基本方法。在工程上,各种工程材料的力学性能是设计构件时不可缺少的依据。

(2) 验证理论公式的正确性。在理论分析中,将实际问题抽象为理想模型,并做出某些科学假设(如弯曲中的平截面假定等),使问题简化,从而推出一般性结论和公式,这是理论研究中常用的方法。但是这些假设和结论是否正确,理论公式能否应用于实际之中,必须通过实验来验证。

(3) 实验应力分析。在工程实践中,很多构件的形状和受载情况比较复杂,单纯依靠理论计算不易得到正确的结果,必须用实验的方法来了解构件的应力分布规律,从而解决强度问题,这种办法称为实验应力分析。目前实验应力分析的方法很多,这里只介绍应用较广的电测法。

1.1 拉伸实验

1.1.1 实验目的

(1) 了解实验设备——万能材料试验机的构造和工作原理,掌握其操作规程及使用时的注意事项。

(2) 测定低碳钢的屈服极限 R_{eL} (下屈服强度)、抗拉强度 R_m 、断后伸长率 A 、断面收缩率 Z 。

(3) 测定铸铁的抗拉强度 R_m 。

(4) 观察以上两种材料在拉伸过程中的各种现象,并利用自动绘图装置绘制拉伸图。

(5) 比较低碳钢(塑性材料)与铸铁(脆性材料)拉伸时的力学性能。

1.1.2 实验原理

(1) 为了检验低碳钢拉伸时的力学性能,应使试样轴向受拉直到断裂,在拉伸过程中以及试样断裂后,测读出必要的特征数据,如 F_{eL} 、 F_m 、 L_u 、 d_u 等,经过计算,便可得到表示材料

工程力学性能的四大指标： R_{eL} 、 R_m 、 A 、 Z 。

(2) 铸铁属脆性材料，轴向拉伸时，在变形很小的情况下就会发生断裂，故一般测定其抗拉强度 R_m 。

(3) 实验试样。

如图 1.1 所示的试样，夹持部分 1 用来装入试验机夹具中以便夹紧试样，过渡部分 2 用来保证标距部分能均匀受力，这两部分的形状和尺寸，取决于试样的截面形状和尺寸以及仪器夹具类型。

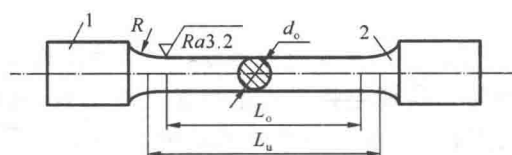


图 1.1 圆形截面试样

1—夹持部分；2—过渡部分

原始标距 L_0 是待试部分，也是试样的主体，其长度通常简称为标距，也称为计算长度。

试样的尺寸和形状对材料的塑性性质影响很大。为了能正确地比较材料的力学性能，国家对试样尺寸做了标准化规定。

拉伸试样分为比例试样和非比例试样两种。比例试样按公式 $L_0 = K \sqrt{S_0}$ 计算而得。式中： L_0 为原始标距， S_0 为标距部分原始截面积，系数 K 通常为 5.65 和 11.3（前者为短试样，后者为长试样）。据此，短、长圆形试样的标距长度 L_0 分别等于 $5d_0$ 、 $10d_0$ 。非比例试样的标距与其原始截面间无上述关系。

比例试样尺寸如表 1.1 所示。

表 1.1 比例试样尺寸

试 样		原始标距长度 L_0/mm		截面积 S_0/mm^2	圆形试样直径	表示断后伸长率的符号
比例	长	$11.3 \sqrt{S_0}$	$10d_0$	任意的	任意的	A_{10}
	短	$5.65 \sqrt{S_0}$	$5d_0$			A_5

其中， d_0 表示试样标距部分的原始直径， A_{10} 、 A_5 分别表示原始标距长度 L_0 为 d_0 的 10 倍或 5 倍时的试样断后伸长率。

1.1.3 实验器材

1. 量具

游标卡尺、钢尺、分规。

2. 设备(万能材料试验机)

下面将万能材料试验机的构造、工作原理及操作规程介绍如下。

在工程力学实验中，最常用的机器是万能材料试验机。它可以做拉伸、压缩、剪切、弯曲实验等，故习惯上称它为万能材料试验机，简称为全能机。全能机有多种类型。这里仅介绍常用的类型。

WE-10 型液压式万能材料试验机的外形如图 1.2 所示，它的构造原理示意图如图 1.3 所示。

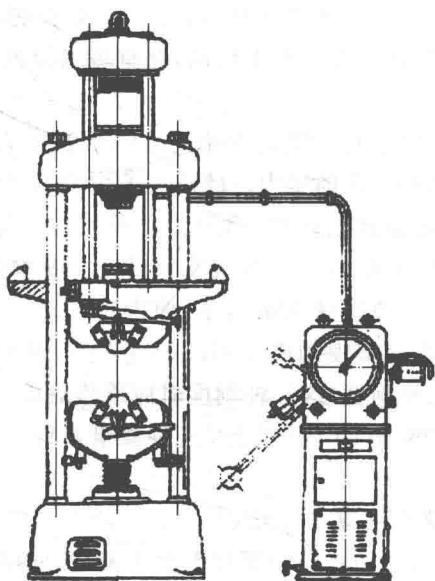


图 1.2 液压式万能材料试验机外形图

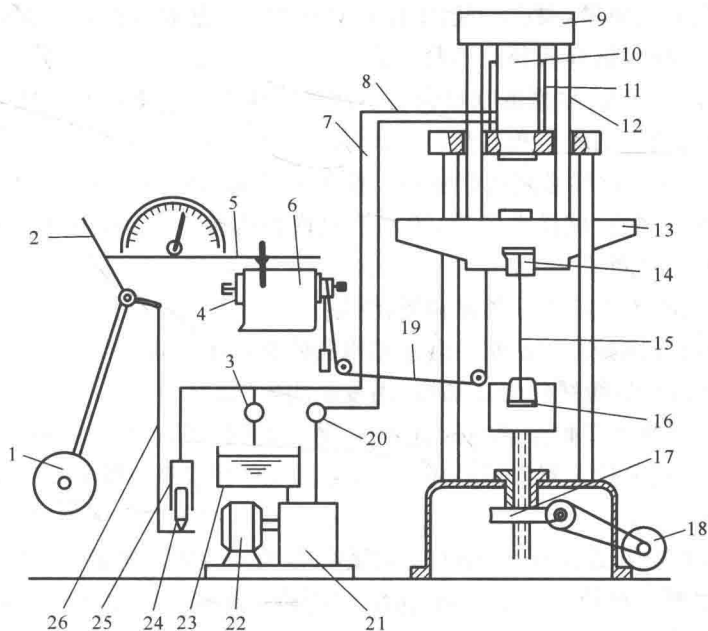


图 1.3 液压式万能材料试验机原理示意图

- 1—摆锤；2—拨杆；3—回油阀；4—滚筒；5—测力齿杆；6—记录纸；7—进油管；8—回油管；9—上横梁；10—活塞；
11—工作油缸；12—立柱；13—活动平台；14—上夹头；15—试样；16—下夹头；17—蜗轮、蜗杆；18—调位电动机；
19—传动绳；20—送油阀；21—油泵；22—油泵电动机；23—油箱；24—测力活塞；25—测力油缸；26—传力杆

(1) 加力部分。

在试验机的底座上，装有两根固定立柱，立柱支承着固定横梁及工作油缸。当开动油泵电动机后，电动机带动油泵，将油箱里的油经送油阀送至工作油缸，推动其工作活塞，使上横梁、立柱和活动平台向上移动。如将拉伸试样装于上夹头和下夹头内，当活动平台向上移动时，因下夹头不动，而上夹头随着平台向上移动，则试样受到拉伸，如将试样装于平台的承压座内，平台上升时，则试样受到压缩。

做拉伸实验时,为了适应不同长度的试样,可开动下夹头的电动机使之带动蜗杆,蜗杆带动蜗轮,蜗轮再带动丝杠,控制下夹头上下移动,调整适当的拉伸空间。

(2) 测力部分。

装在试验机上的试样受力后,它的受力大小可在测力盘上直接读出。当试样受到载荷作用时,工作油缸内的油就具有一定的压力。此压力的大小与试样所受载荷的大小成比例。由于测力油管将工作油缸与测力油缸连通,测力油缸受到与工作油缸相等的油压。此油压推动测力活塞,带动测力拉杆,使摆杆和摆锤绕支点转动。试样受力愈大,摆杆的转角也愈大。摆杆转动时,它上面的推杆便推动水平齿条,使齿轮带动测力指针旋转,这样便可从测力度盘上读出试样受力的大小。摆锤的质量可以改变,一般试验机可以提供三种质量的摆锤,故测力度盘上也相应有三种刻度,这三种刻度对应着机器的三种不同的量程。WE-10 型万能试验机有 0~20 kN、0~60 kN、0~100 kN 三种测量量程。

(3) 操作步骤。

① 加载前,测力指针应指在度盘的零点,否则必须加以调整。调整时,先开动油泵电动机,将活动平台升起 3~5 mm,然后稍旋动摆杆上的平衡锤,使摆杆保持在竖直位置,再转动水平齿条使指针对准“零”点。之所以先升起活动平台再调整“零”点,是由于上横梁、立柱和活动平台等有相当大的质量,要有一定的油压才能将它们升起。但是这部分油压并未用来给试样加载,不应反映到试样载荷的读数中去。

② 选择量程,装上相应质量的摆锤。再一次按步骤①中的方法校准零点。调好回油缓冲器的旋钮,使之与所选的量程相匹配。

③ 安装试样。压缩试样必须放置垫板。拉伸试样则须调整下夹头的位置,使拉伸区间与试样长度相适应。注意:试样夹紧后,绝对不允许再调整下夹头,否则会造成烧毁带动下夹头升降的电动机的严重事故。

④ 调整好自动绘图仪的传动装置和笔、纸等。

⑤ 检查送油阀、回油阀,一定要注意它们均应处在关闭位置。

⑥ 开动油泵电动机,缓缓打开送油阀,用慢速均匀加载。

⑦ 实验完毕,立即停车取下试样。这时关闭送油阀,缓慢打开回油阀,使油液泄回油箱,于是活动平台回到原始位置。最后将一切机构复原,并清理机器。

(4) 注意事项。

① 开车前和停车后,送油阀、回油阀一定要处在关闭位置。加载、卸载和回油均应缓慢进行。加载时要求测力指针匀速平稳地走动,应严防送油阀开得过大,测力指针走动太快,致使试样受到冲击作用。

② 拉伸试样夹住后,不得再调整下夹头的位置,以免使带动下夹头升降的电动机烧毁。

③ 机器运转时,操纵者必须集中注意力,中途不得离开,以免发生安全事故。

④ 实验时,不得触动摆锤,以免影响实验读数。

⑤ 在使用机器的过程中,如果听到异响或发生任何故障,应立即停车(切断电源),进行检查和修复。

1.1.4 实验步骤

1. 低碳钢试样的拉伸实验

(1) 测定试样的截面尺寸。圆形试样直径 d_0 的测定方法是:在试样标距长度的两端和

中间三处予以测量,每处在两个相互垂直的方向上各测一次,取其算术平均值,然后取这三个平均数的最小值作为 d_0 ;矩形试样要测三个截面的宽度 b 与厚度 a ,求出相应的三个 S_0 ,取最小的值作为 S_0 。 S_0 的计算精确度如下:当 $S_0 \leq 100 \text{ mm}^2$ 时, S_0 取到小数点后面一位;当 $S_0 > 100 \text{ mm}^2$ 时, S_0 取整数。所需位数以后的数字按四舍五入处理。

(2) 试样原始标距 L_0 。除了要根据圆形试样的直径 d_0 或矩形试样的截面积 S_0 来确定外,还应将其化整为5 mm或10 mm的倍数。小于1.5 mm的数值舍去,等于或大于2.5 mm但小于7.5 mm的化整为5 mm,等于或大于7.5 mm的进为10 mm。在标距长度的两端各打一标点,并使此两点连线平行于试样的轴线。两标点之间用分划器等分10格或20格,并刻出分格线,以便观察变形分布情况,测定断后伸长率 A 。

(3) 根据低碳钢的强度极限,估计加在试样上的最大载荷,据此选择适当的机器量程(也称载荷级)。每台全能机都有几个载荷级,其刻度范围均为零至该级载荷的最大值。由于机器测力部分本身精确度的限制,每级载荷的刻度范围只有一部分是有效的。有效部分的规律如下:其下限不小于该载荷级最大值的10%,且不小于整机最大载荷的4%;其上限不大于该载荷级最大值的90%。

实验时应保证全部待测载荷均在此范围之内。就本次实验来说,也就是须保证下屈服载荷 F_{eL} 和最大载荷 F_m 均在该范围之内。假使机器有两个载荷级都能满足要求,则应取较小的载荷级以提高载荷测读精度。

选定好机器量程,挂好相应摆锤之后就可按一般程序调整试验机,安装试样,并试车一次,即预加少量载荷然后卸载,至零点附近。试车的目的是检查包括自动绘图装置在内的试验机工作是否正常。

(4) 试车正常后,正式实验即可开始。

慢速加载,使试样的变形匀速增长。国家标准规定的拉伸速度是:屈服前,应力增加速度为10 MPa/s,屈服后,试验机活动夹头在负荷下的移动速度不大于 $0.5 L_0/\text{min}$ 。在试样匀速变形的过程中,测力盘上的指针起初也是匀速前进的,但是,当指针停止前进或来回摆时就表明试样进入屈服阶段,读出此时的最小载荷 F_{eH} 。借助于试验机上自动绘图仪绘出的载荷-变形曲线就可以帮助我们更好地判断试样是否达到屈服阶段。对A3钢来说,屈服时的曲线如图1.4(a)所示,其中 F_{eH} 称为上屈服载荷,与锯齿状曲线段最低点相应的 F_{eL} 称为下屈服载荷。由于上屈服载荷随试样过渡部分的不同而有很大差异,而下屈服载荷则基本一致,因此一般规定以下屈服载荷来计算屈服强度 $R_{eL} = F_{eL}/S_0$ 。有些材料,屈服时的 $F-\Delta L$ 曲线基本上是呈平台状而不是呈现出锯齿形状,如图1.4(b)所示。

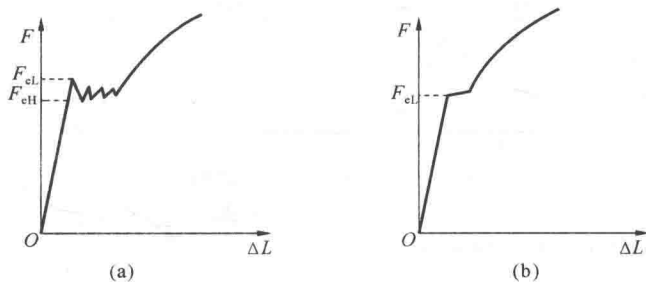


图 1.4 钢材的屈服图

屈服阶段終了以后,要使试样继续变形,就必须加大载荷。这时载荷-变形曲线将开始

上升。

材料进入强化阶段。如果在这一阶段的某一点处进行卸载,则可以在自动绘图仪上得到一条卸载曲线,实验表明,它与曲线的起始直线部分基本平行。卸载后若重新加载,加载曲线将沿原卸载曲线上升,直到该点,此后曲线基本上与未经卸载的曲线重合,这就是冷作硬化效应。

随着实验的继续进行,载荷-变形曲线将趋于平缓。当载荷达到最大值 F_m 之后,测力指针也相应由慢到快地回转,最后试样断裂(见图 1.5)。根据测得的 F_m ,可以按 $R_m = \frac{F_m}{S_0}$ 计算出拉抗强度 R_m 。

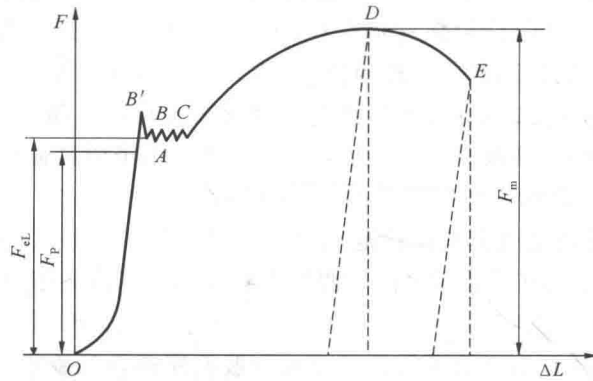


图 1.5 低碳钢拉伸图

试样断裂后标距部分长度 L_u 的测量:将试样拉断后的两段在拉断处紧密对接起来,尽量使其轴线位于一条直线上。拉断处由于各种原因会形成缝隙,此缝隙应计入试样拉断后的标距部分长度内。 L_u 用下述方法之一测定。

① 直测法:当拉断处到邻近标距端点的距离大于 $L_0/3$ 时,可直接测量两端点间的长度。

② 移位法:当拉断处到邻近标距端点的距离小于 $L_0/3$ 时,可按下述方法确定 L_u 。

在长段上从拉断处 O 取等于短段格数的长度,得点 B ,接着取等于长段所余格数(偶数,见图 1.6(a))之半,得点 C ,或者取余格数(奇数,见图 1.6(b))减 1 与加 1 之半,分别得点 C 与点 C_1 ,移位后的 L_u 分别为 $\overline{AO} + \overline{OB} + 2\overline{BC}$ 或 $\overline{AO} + \overline{OB} + \overline{BC} + \overline{BC_1}$ 。

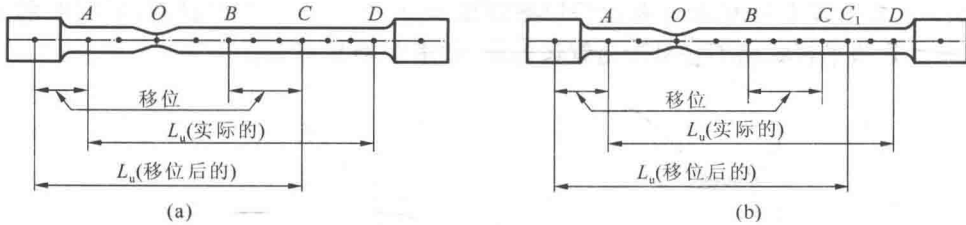


图 1.6 断口移位法示意图

(a) 偶数格 (b) 奇数格

测量了 L_u ,按下式计算断后伸长率

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

短、长比例试样的伸长率分别以 A_5 、 A_{10} 表示。

拉断后缩颈处截面积 S_u 的测定如下。对于圆形试样,在缩颈最小处两个相互垂直的方向上测量其直径,用二者的算术平均值作为断口直径 d_u ,来计算其 S_u 。断面收缩率按下式计算

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

最后,在进行数据处理时,按有效数字的选取和运算法则确定所需的位数,所需位数后的数字,按四舍六入五单双法处理。

2. 灰铸铁试样的拉伸实验

脆性材料灰铸铁的拉伸过程(见图 1.7),不像低碳钢的拉伸过程那样明显可分为线性、屈服、颈缩、断裂等四个阶段,其载荷变形曲线是一根非常接近直线的曲线,并没有下降段。灰铸铁试样是在非常微小的变形情况下突然断裂的,断裂后几乎测不到残余变形。注意到这些特点,可知灰铸铁不仅不具有屈服强度值,而且测定它的断后伸长率值和断面收缩率值也没有实际意义。这样,对灰铸铁只需测定它的抗拉强度 R_m 就可以了。

测定灰铸铁的 R_m 值时,可取制备好的试样,测出其截面积 S_0 ,然后装在试验机上逐渐缓慢加载直到试样断裂,记下最后载荷 F_m ,据此即可算得拉抗强度

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

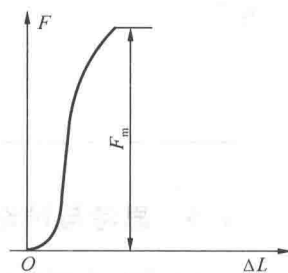
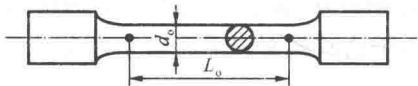
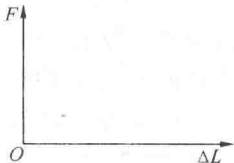


图 1.7 灰铸铁拉伸图

1.1.5 实验结果

(1) 测定低碳钢拉伸时的力学性能,将实验数据记录在表 1.2 中。

表 1.2 测定低碳钢拉伸时的力学性能

试样尺寸			实 验 数 据	
实验前：			下屈服载荷	$F_{el} =$ kN
原始标距	$L_o =$	mm	最大载荷	$F_m =$ kN
直径	$d_o =$	mm	下屈服强度	$R_{el} = \frac{F_{el}}{S_o} =$ MPa
横截面积	$S_o =$	mm ²	抗拉强度	$R_m = \frac{F_m}{S_o} =$ MPa
实验后：			断后伸长率	$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100 \% =$
标距	$L_u =$	mm	断面收缩率	$Z = \frac{S_o - S_u}{S_u} \times 100 \% =$
最小直径	$d_u =$	mm		
横截面积	$S_u =$	mm ²		
试样草图			拉 伸 图	
实验前： 				
实验后：				

(2) 测定灰铸铁拉伸时的力学性能,将实验数据记录在表 1.3 中。

表 1.3 测定灰铸铁拉伸时的力学性能

试样尺寸	实验数据
实验前: 直径 $d_0 =$ mm 横截面面积 $S_0 =$ mm ²	最大载荷 $F_m =$ kN 抗拉强度 $R_m = \frac{F_m}{S_0}$ MPa
试样尺寸	拉伸图
实验前:  实验后:	

1.1.6 思考与讨论

- (1) 由拉伸实验所确定的材料力学性能数值有何实用价值?
- (2) 为什么在拉伸实验中必须采用标准试样或比例试样? 材料和直径相同而长短不同的试样,它们的伸长率是否相同?

1.2 扭转实验

1.2.1 实验目的

- (1) 测定低碳钢扭转时的下屈服强度 τ_{el} 及抗扭强度 τ_m 。
- (2) 测定铸铁的抗扭强度 τ_m 。
- (3) 观察并比较低碳钢及铸铁试样扭转破坏的情况。

1.2.2 实验原理

将试样(本实验使用圆形截面试样)装在扭力试验机上,开动机器,给试样加扭矩。利用试验机上的自动绘图装置,可以得到 $T-\varphi$ 曲线,称为扭转图。低碳钢试样的 $T-\varphi$ 曲线如图 1.8 所示。

图中起始直线段 OA 表明试样在这阶段中的 T 与 φ 成比例,截面上的切应力呈线性分布,如图 1.9(a)所示。在点 A 处, T 与 φ 的比例关系开始破坏,此时截面周边上的切应力达到了材料的扭转屈服极限 τ_{el} ,相应的扭矩记为 T_p 。由于这时截面内部的切应力尚小于 τ_{el} ,故试样仍具有承载能力, $T-\varphi$ 曲线呈继续上升的趋势。

扭矩超过 T_p 后,截面上的切应力分布发生变化,如图 1.9(b)所示。在截面上出现了一个环状塑性区,并随着 T 的增长,塑性区逐步向中心扩展, $T-\varphi$ 曲线稍微上升,直到点 B 趋于平坦,截面上各材料完全达到屈服极限,扭矩度盘上的指针几乎不动或摆动,此时测力度盘

上指示出的扭矩或指针摆动的最小值即为下屈服扭矩 T_{eL} , 如图 1.9(c) 所示。根据静力平衡条件, 可以求得 τ_{eL} 与 T_{eL} 的关系为

$$T_{eL} = \int_A \rho \tau_{eL} dS$$

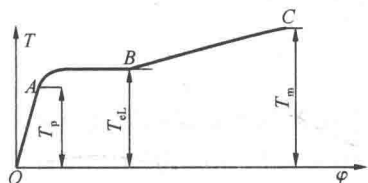


图 1.8 低碳钢试样扭转图

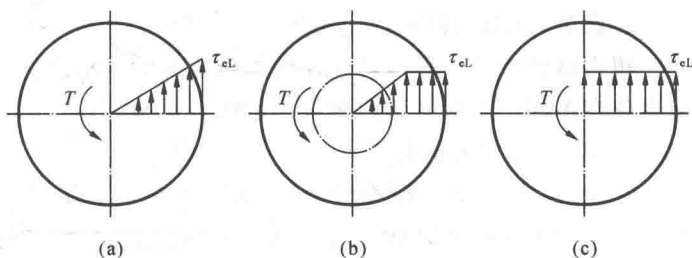


图 1.9 截面上切应力分布图

(a) $T \leq T_p$ 时 (b) $T_{eL} > T > T_p$ 时 (c) $T = T_{eL}$ 时

将式中 dS 用环状面积元素 $2\pi\rho d\rho$ 表示, 则有

$$T_{eL} = 2\pi\tau_{eL} \int_0^{l/2} \rho^2 d\rho = \frac{4}{3} \tau_{eL} W$$

故下屈服强度

$$\tau_{eL} = \frac{3T_{eL}}{4W} \quad (1.1)$$

式中: $W = \frac{\pi d^3}{16}$ 是试样的抗扭截面模量。

继续给试件加载, 试件再继续变形, 材料进一步强化。当达到 $T-\phi$ 曲线上的点 C 时, 试件被剪断。由测力度盘上的被动计可读出最大扭矩 T_m , 与公式(1.1)相似, 可得抗扭强度

$$\tau_m = \frac{3T_m}{4W} \quad (1.2)$$

铸铁的 $T-\phi$ 曲线如图 1.10 所示。从开始受扭到破坏, 该曲线近似为一直线。按弹性应力公式, 铸铁的扭转强度为

$$\tau_m = \frac{T_m}{W}$$

试件受扭, 材料处于纯剪切应力状态, 在垂直于杆轴和平行于杆轴的各平面上作用着切应力, 而在与杆轴成 45° 角的螺旋面上, 则分别只作用着 $\sigma_1 = \tau$ 、 $\sigma_3 = -\tau$ 的正应力, 如图 1.11 所示。由于低碳钢的抗拉强度高于抗扭强度, 故试样沿横截面剪断。而铸铁的抗拉强度低于抗扭强度, 故试样从表面上某一最弱点, 沿与轴线成 45° 方向拉断成一螺旋面。

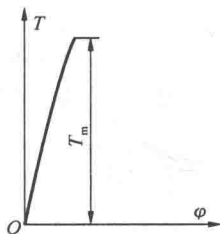


图 1.10 铸铁的扭转图

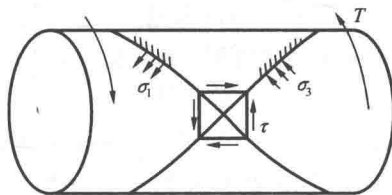


图 1.11 试件受扭的应力分布图

1.2.3 实验器材

1. 量具

游标卡尺。

2. 设备(扭力试验机)

扭力试验机是一种可对试样施加扭矩并能指示出扭矩大小的机器,它的类型有多种,构造也各有不同。下面介绍两种常见的扭力试验机。

1) K-50 型扭力试验机

此种试验机采用机械传动加载,用摆式机构测试扭矩。它的量程随所用摆锤的质量不同而分三种,即 $100\text{ N}\cdot\text{m}$ ($10\text{ kgf}\cdot\text{m}$)、 $200\text{ N}\cdot\text{m}$ ($20\text{ kgf}\cdot\text{m}$)、 $500\text{ N}\cdot\text{m}$ ($50\text{ kgf}\cdot\text{m}$),相应的精度分别为 $0.5\text{ N}\cdot\text{m}$ ($0.05\text{ kgf}\cdot\text{m}$)、 $1.0\text{ N}\cdot\text{m}$ ($0.10\text{ kgf}\cdot\text{m}$)、 $2.0\text{ N}\cdot\text{m}$ ($0.20\text{ kgf}\cdot\text{m}$)。它适用于直径为 $10\sim 25\text{ mm}$ 、长度为 $100\sim 700\text{ mm}$ 的试样。

试验机的外形如图 1.12 所示,其传动系统如图 1.13 所示。其操作步骤如下。

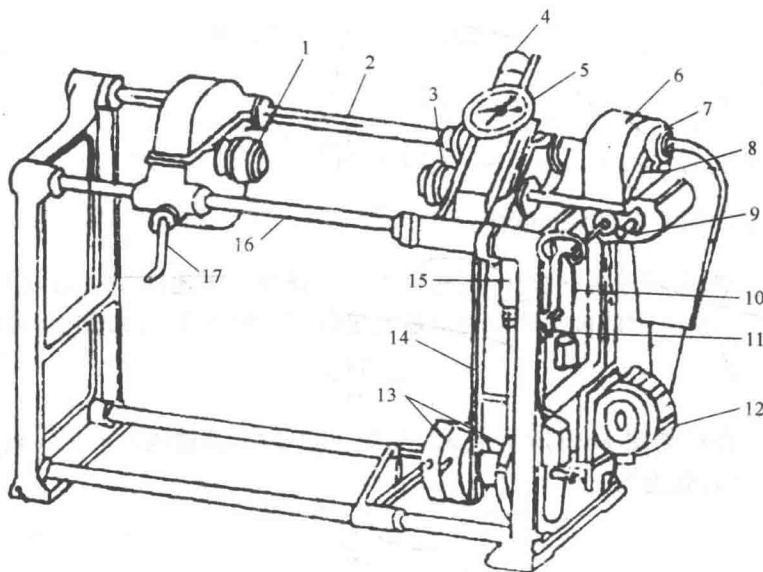


图 1.12 K-50 型扭力试验机外形图

1—活动夹头;2—传动主轴;3—固定夹头;4—自动绘图器;5—测力度盘及指针;6—变速箱;7—测角度盘;8—测角指标杆;9—变速杆;10—手摇杆;11—电动机开关;12—电动机;13—摆锤;14—摆杆;15—缓冲器;16—水平导轨;17—调距手柄

(1) 检查试验机夹头的形式与试样是否匹配;将测角度盘置零;检查自动绘图器工作是否正常。

(2) 估计试样所需的最大扭矩,选择适宜的测力度盘并配置相应的摆锤。

(3) 当摆杆保持竖直时,测力指针应对准“零”点。否则,松开度盘上的螺母,转动度盘使指针对准“零”点,再拧紧螺母。

(4) 安装试样:先将试样的一端放在固定夹头中,摇动调距手柄,使活动夹头连同与它在一起的齿轮箱沿传动主轴和水平导轨移动,使试样另一端插入活动夹头中后,再予以夹紧。

(5) 加载:有手摇加载与电动加载之分。

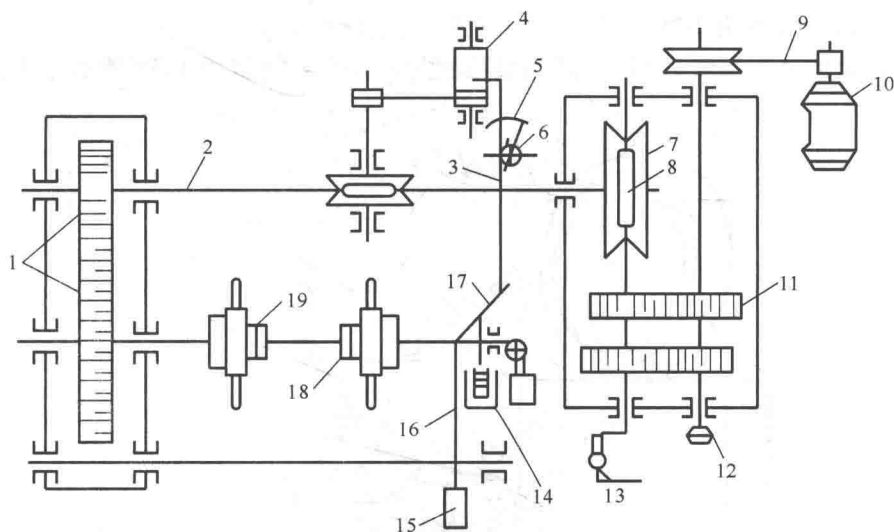


图 1.13 K-50 型扭力试验机传动系统图

- 1—传动齿轮;2—传动主轴;3—齿杆;4—自动绘图器;5—测力度盘及指针;6—齿轮;7—蜗轮;8—蜗杆;
9—带;10—电动机;11—变速齿轮;12—变速杆;13—手摇柄;14—缓冲器;
15—摆锤;16—摆杆;17—拨杆;18—固定夹头;19—活动夹头

手摇加载:将变速杆放在“空转”位置,摇动手摇柄,带动变速箱中的轴,使传动主轴、活动夹头旋转。通过试样使固定夹头也跟着旋转。这样,与固定夹头连在一起的摆杆和摆锤也就跟着摆起来了,以平衡活动夹头加在试样上的力偶,于是试样便发生扭转变形,随之受扭矩作用。因此,摆锤力矩就等于试样所承受的扭矩。摆锤在摆起时推动与测力度盘相连的齿杆,使齿轮和指针转动,于是指针便在测力度盘上指出试样所受扭矩的大小。

电动加载:将变速杆放在“0.3 r/min”或“1 r/min”处,此时,轴上的两个齿轮之一,便通过滑键与轴连在一起,开动电动机,经 V 带带动轴传动,对试样快速加载。

(6) **测扭转角:**传动主轴除带动活动夹头转动外,在它的一端还装有一个测角度盘,用它指示试样转动端的绝对扭转角。测角度盘上的测角指标杆与试样被动端联动,因此指标杆在测角度盘上所指数值便是试样两端的相对扭转角。测角度盘最小刻度为 1° ,因此只适用于测量大变形。测角度盘上还附有一个计数装置,可以指出试样扭转的总圈数。

(7) **自动绘图:**如果需要记录实验过程中扭矩和扭转角的关系曲线,应在加载前调好自动绘图器的传动装置、图纸、笔尖和墨水。笔尖由推动测力指针的齿杆带动,而图纸则与传动主轴联动。这样,随着实验过程的进行,笔尖便在图纸上自动地绘出 $T-\varphi$ 曲线。曲线上各点的纵坐标为扭矩,横坐标为试样转动端的绝对扭转角。

(8) **注意事项。**

- ① 机器运转时,操作者不得离开。如听见异响或发生故障,应立即停车。
- ② 在实验时,不得触动摆锤,以免影响所测读扭矩值的精度。
- ③ 采用电动加载时,手摇柄必须先取掉,以免其飞出造成事故。

2) NN-100 型扭力试验机

此机是一种由机械传动加载,由摆式机构测扭矩的扭力试验机。它有三种量程,即 $200 \text{ N} \cdot \text{m}$ ($20 \text{ kgf} \cdot \text{m}$)、 $500 \text{ N} \cdot \text{m}$ ($50 \text{ kgf} \cdot \text{m}$)、 $1000 \text{ N} \cdot \text{m}$ ($100 \text{ kgf} \cdot \text{m}$),相应的精度分别

为 $0.4 \text{ N} \cdot \text{m}$ ($0.04 \text{ kgf} \cdot \text{m}$)、 $1.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ ($0.10 \text{ kgf} \cdot \text{m}$)、 $2.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ ($0.20 \text{ kgf} \cdot \text{m}$)。它适用于 $\phi 10 \sim 20 \text{ mm}$ 、长度为 $100 \sim 600 \text{ mm}$ 的试样。

该试验机的外形如图 1.14 所示,其测力机构的传动系统如图 1.15 所示。其操作步骤如下。

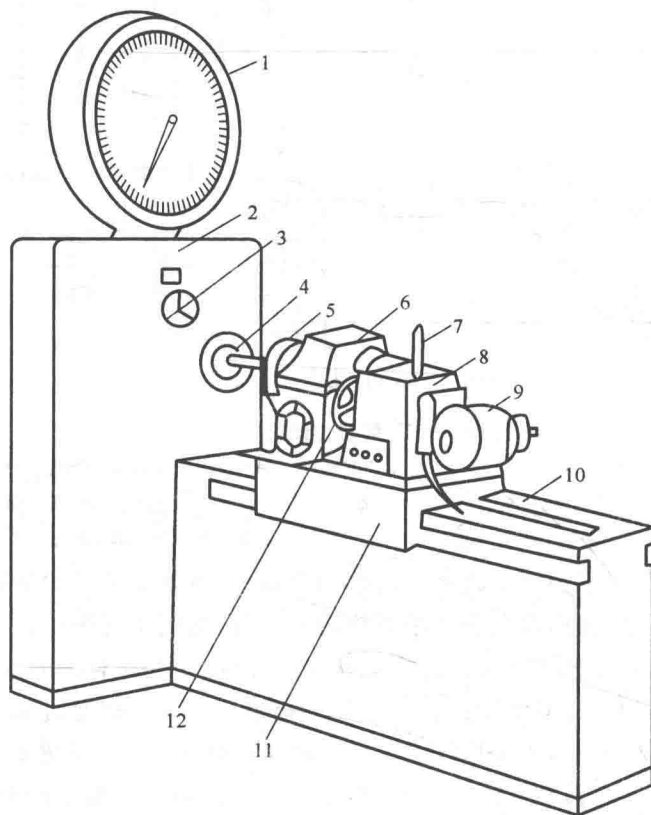


图 1.14 NN-100 型扭力试验机外形图

1—测力度盘;2—测力机构箱;3—调节轮;4—固定夹头;5—加载夹头;6—齿轮箱;
7—离合器杆;8—变速箱;9—电动机;10—滑动导轨;11—活动车头;12—手轮

(1) 检查试验机夹头的形式是否与试样配合,离合器杆是否放在正确位置上。

(2) 根据试样所需的最大扭矩,转动调节轮至相应位置,以选择适当的测力度盘。

(3) 安装试样:先将试样一端装在固定夹头中,向左移动活动车头并转动加载夹头,使试样的另一端插入加载夹头中。

(4) 旋动调零手轮使测力度盘上的指针对准零位。

(5) 加载,可手动或电动加载。

手动加载:将离合器杆调到中央位置上(即空车位置),用手转动手轮加载。

电动加载:选用离合器杆可使加载夹头具有 $7^\circ/\text{min}$ 、 $21^\circ/\text{min}$ 、 $60^\circ/\text{min}$ 、 $180^\circ/\text{min}$ 四种转速。电动加载时,先将离合器杆调到所欲用的转速位置上,按下开关(“正向”、“反向”均可),开动电动机通过变速箱、齿轮箱等传动系统,使加载夹头顺时针(或逆时针)转动,试样便产生扭转变形。

试样受力后,固定夹头就会旋转一个不大的角度(不超过 $2^\circ 7'$),与固定夹头固结在一起的大杠杆也就跟着旋转。无论这种旋转是顺时针的还是逆时针的,通过反向杠杆、变支点杠