

高职高专规划教材

机械设计基础实训教程

主 编 蔡广新
副主编 张连生
参 编 陈亚娜 孙庆群
主 审 姚九成 石固欧



机械工业出版社

本书为高等学校工程专科机械设计基础课程的配套教材。是按照教学改革后的课程体系和教育部制定的“高等学校工程专科基础课程教学基本要求”编写的实训教材。本书包括机械设计基础课程的基本实验、课程设计指导、常用标准和规范、参考图例、设计题目等内容。本书力求做到简明实用，原理和方法清楚易懂，步骤详细具体，注重加强能力的培养。

本书适用于高等工程专科各专业机械设计基础课程的实践教学，也可供有关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础实训教程/蔡广新主编. —北京: 机械工业出版社, 2002. 10
高职高专规划教材

ISBN 7-111-11030-7

I. 机... II. 蔡... III. 机械设计—高等学校; 技术学校—
教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 077835 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王世刚 冯春生 版式设计: 冉晓华 责任校对: 张 媛

封面设计: 张 静 责任印制: 路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·8.5 印张·207 千字

0 001-4 000 册

定价: 12.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

前 言

机械设计基础实践训练是机械设计基础课程的重要组成部分。本书是按照教学改革后的课程体系和教育部制定的“高等学校工程专科基础课程教学基本要求”编写的，适用于高等工程专科机械类和近机械类专业的实践教学。本书共编写了10个实验，介绍了有关的实验设备；实验内容详细具体，包括实验目的、实验原理、实验步骤及思考题等，以便于学生预习；本书所编课程设计指导，内容尽量避免与《机械设计基础》教材重复，以够用为度，所以在进行课程设计时，本书要与教材配合使用。书中对课程设计的步骤作了详细说明，书后附有与课程设计有关的标准规范、参考图例、设计题目等。

在编写本书过程中参考了许多兄弟院校的有关资料，在此表示衷心感谢。

本书由蔡广新任主编，张连生任副主编，陈亚娜、孙庆群参加了部分实验内容的编写。全书由蔡广新负责统稿，姚九成、石固欧审阅。

限于编者水平，书中错误和欠妥之处恳请读者批评指正。

编者

2002年3月于承德石油高等专科学校

目 录

前言	
第一章 设备原理与使用方法	1
第一节 液压式万能材料试验机	1
第二节 扭转试验机	2
第二章 基本实验	5
实验一 低碳钢、铸铁的拉伸和压缩试验 ..	5
实验二 材料弹性系数 E 和 ν 的测定	8
实验三 扭转试验	9
实验四 材料切变模量 G 的测定	11
实验五 弯曲正应力的测定	13
实验六 弯扭组合变形时主应力的测定	14
实验七 机构运动简图的测绘	15
实验八 齿轮展成原理	16
实验九 齿轮参数的测定	18
实验十 带传动实验	20
第三章 课程设计	22
第一节 总论	22
第二节 传动装置的总体设计	23
第三节 传动零件的设计计算	32
第四节 减速器结构尺寸	33
第五节 减速器装配工作图的设计	39
第六节 减速器零件工作图的设计	57
第七节 编写设计计算说明书和准备 答辩	62
附录	65
附录 A 一般标准	65
附录 B 金属材料	66
附录 C 密封件	74
附录 D 润滑剂	77
附录 E 极限与配合	79
附录 F 形状和位置公差	89
附录 G 电动机	95
附录 H 联轴器	99
附录 I 滚动轴承	104
附录 J 参考图例	116
附录 K 减速器装配图常见错误示例	126
附录 L 设计题目	127
参考文献	131

第一章 设备原理与使用方法

第一节 液压式万能材料试验机

液压式万能材料试验机是利用液压原理对试样或模型施加载荷的设备,它能够做拉伸、压缩、剪切、弯曲等多种试验,故称之为万能试验机。按加载方式和大小的不同,有各种类型 and 规格,这里仅介绍目前较为广泛使用的油压摆式万能试验机。试验机的结构原理如图 1-1 所示,它主要由以下两部分组成:

1. 加载机构

加载机构的作用是利用动力和传动装置强迫试样发生变形。由图 1-1 可见,液压式试验机的加载是依靠工作液压缸来完成的。工作液压缸装在固定横头上,由连接于底座的固定立柱所支承。工作时,开动液压泵,打开进油阀,油液经送油管进入工作液压缸,推动活塞,使上横头和活动台上升,安装在上、下夹头中的试样就受到拉伸的作用。若试样安放在下垫板

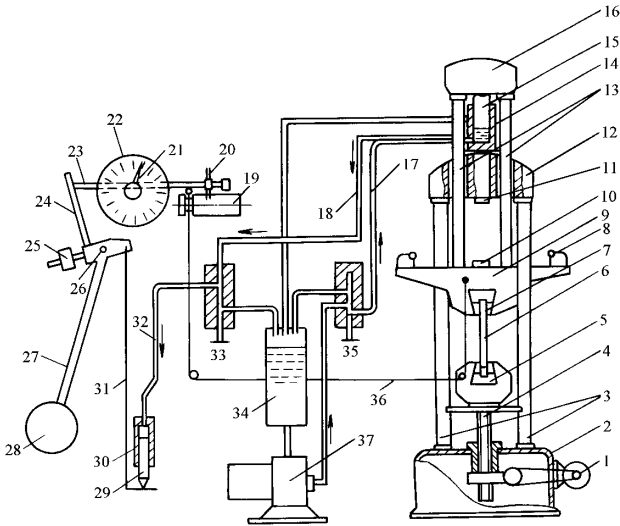


图 1-1 油压摆式万能试验机原理图

- 1—下夹头电动机 2—底座 3—固定立柱 4—螺柱 5—下夹头 6—拉伸试样
- 7—上夹头 8—弯曲支座 9—活动台 10—下垫板 11—上垫板
- 12—固定横头 13—活动立柱 14—工作液压缸 15—工作活塞 16—上横头
- 17—送油管 18—回油管 19—滚筒 20—绘图笔 21—指针
- 22—测力度盘 23—齿杆 24—推杆 25—平衡砣 26—支点
- 27—摆杆 28—摆锤 29—测力活塞 30—测力液缸
- 31—拉杆 32—测力油管 33—回油阀 34—油箱
- 35—送油阀 36—拉绳 37—液压泵

上, 则当试样随活动台上升到与上垫板接触时, 就受到压缩的作用。工作液压缸活塞上升的速度反映了试样变形的速度, 即加载的速度, 它可通过调节进油阀改变进油量的大小来控制, 所以在施加静载荷时, 进油阀应缓慢地打开。试样卸载时, 只要打开回油阀, 油液就从工作液压缸经回油管流回油箱, 活动台在自重作用下降回原位。为了便于试样装夹, 下夹头的高低位置可通过开动下夹头电动机, 驱动螺杆来调节, 但要注意的是, 下夹头电动机不是作为加载设备而设计的, 因此一旦试样夹紧后, 就不能再行起动, 以免造成电动机过载而损坏。

2. 测力机构

测力机构是传递和指示试样所受载荷大小的装置。万能试验机的测力机构包括测力液压缸、杠杆摆锤机构、测力度盘、指针和自动绘图器等部分。其中测力液压缸是和工作液压缸相通的, 当试样受载时, 工作液压缸的压力传到测力液压缸, 使测力液压缸活塞下降, 通过杠杆机构, 带动摆锤绕支点转动, 其偏转的角度与测力液压缸活塞所受油压成一定比例, 故试样所受载荷的大小和摆杆偏转的角度亦成一定比例关系。摆杆偏转时, 固联其上的推杆推动齿杆作水平滑移, 滑移量由啮合齿轮转换成指针的转动角度, 从而在测力度盘上显示出试样承受的载荷。根据杠杆平衡原理可知, 摆锤重量改变时, 摆杆偏转相同的角度, 测力液压缸的压力是不同的, 因此测力度盘上的载荷示值与摆锤的重量有关。液压式万能试验机配有 A、B、C 三个不同重量的摆锤, 根据不同的配置方式, 测力度盘上有三种测力范围。

自动绘图器是一个可旋转的圆筒, 在其一端的滑轮上绕有和活动台连接的细绳, 当活动台升降时, 带动细绳使圆筒转动, 所以圆筒表面转过的圆周长度与试样的伸长 ΔL 有一定的比例关系。又因为绘图笔是安装在齿杆上的, 因此它随齿杆一起移动的距离反映了载荷的大小, 于是两方面运动的合成, 使绘图笔在圆筒表面的绘图纸上画出试样的 $F-\Delta L$ 曲线。

根据万能试验机的构造原理, 在操作时应按下列规程进行:

1) 估计试验所需要的最大载荷, 选择合适的测力范围, 配置相应的摆锤。

2) 关闭所有液压阀, 接上电源, 起动液压泵, 检查运转是否正常, 开关是否失灵。然后缓慢打开进油阀, 并使活动台上升 10mm 左右后关闭, 调整平衡砣, 使摆杆处于铅垂位置, 再调整测力度盘指针到零点, 以此消除上横头、活动立柱和活动台等部件的重量对载荷数值的影响。

3) 安装试样, 视试样长短调整下夹头位置以便安装。

4) 调整自动绘图器, 安放绘图纸和笔。

5) 做好记录数据准备后, 缓慢打开进油阀, 按试验要求进行加载, 观察现象, 记录数据。

6) 试验结束后, 关闭液压泵, 打开回油阀, 切断电源, 卸下摆锤, 使试验机全部复原。

第二节 扭转试验机

扭转试验机是对试样施加扭矩, 并能测出扭矩大小的设备。其工作原理一般可分为加力和测力两部分, 其加力方式基本上都是用手动或电动机驱动, 其测力方式仍是采取重力摆偏角测量。扭转试验机类型很多, 结构各异, 本书只介绍 K—50 型扭转试验机 (参见图 1-2)。

1. 构造原理

该扭转试验机采用机械传动加载, 操作时可使用手动和电动两种形式。通过变速齿轮、蜗杆、蜗轮、传动主轴和传动齿轮带动活动夹头转动, 通过试样和固定夹头将摆锤抬起, 试样

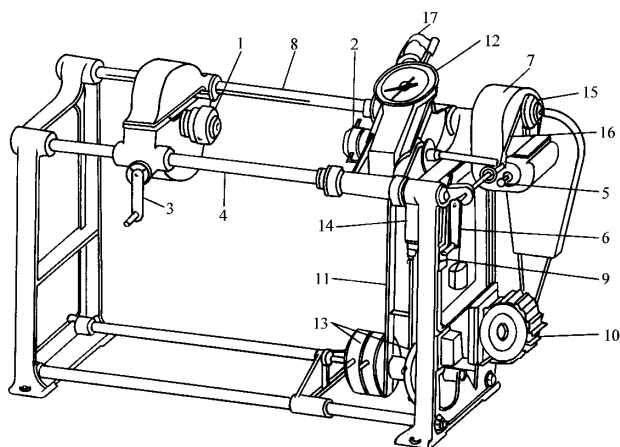


图 1-2 K—50 扭转试验机

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

便承受扭矩发生扭转变形。摆锤的力矩与试样的扭矩随时保持平衡，因此，摆锤抬起时，推动齿杆、齿轮，使测力盘指针转动，便指示出扭矩的大小。改变摆锤的重量可以得到不同的量程。K—50 型扭转试验机有三种锤重，分别对应 $0\sim 100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $0\sim 200\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $0\sim 500\text{N}\cdot\text{m}$ 三个测力表盘。

为了测取试样两端截面的相对扭转角 φ ，试验机附有自动绘图器，试验时可同时绘出试样的 $T-\varphi$ 曲线。

2. 操作方法

(1) 量程选择 根据试样横截面尺寸预先估算最大需加扭矩。按照最大扭矩等于 $40\%\sim 80\%$ 度盘满量程的方法选择量程，并安装好相应的摆锤配重砝码。

(2) 初始调整 当摆锤处于自由铅垂位置时，测力指针应指零，否则应松开指针锁紧螺母，将指针对准零后再锁紧。还要将从动指针左旋靠紧主动指针。装好绘图纸和绘图笔，并将笔放到正确位置上。将记录器的圈数盘置零，记下角度初值。

(3) 加载方式与速度的选择 该试验机加载方法分手动与电动两种，而电动又有快速与慢速两挡。应针对欲测试样的材质（脆性或塑性）及变形（主要是极限位移的大小）来选择，并将调整控制杆推至相应位置。这里推荐一种选择方法可供参考。

对于脆性试样，如铸铁、淬火高强度钢及合金、陶瓷等试样，可以选择手动或电动的低速挡以保证有一个低稳的加载速度，以防试样迅速破坏而观察不到现象。

对于需观测屈服现象的塑性试样，如低、中碳钢试样，应选择电动低速或手动先将屈服现象观测准确后，再使用电动高速加载至破坏。对于一般塑性试样，可选用电动高速。

(4) 安装试样 将试样一端插入固定夹头夹紧后，摇转夹头调距手柄，使活动夹头沿两水平导轴移动至适当的位置，将试样另一端插入活动夹头后夹紧。

(5) 加载、测力、绘图 若用手动加载，将调速控制杆推到手摇位置，然后平衡均匀地摇转手动加载手柄，通过传动系统至活动夹头，活动夹头的转动使试样受扭。用电动加载时，将调速控制杆推至已选定的加载速度挡位，一定要取下手动加载手柄，否则会发生危险，起动手加载电机。

活动夹头的旋转使试样受到扭矩作用，这一扭矩经固定夹头传给测力摆锤，造成摆的偏转。摆的偏转角经指针系统的放大，驱动测力指针偏转，从而完成对试样所受扭矩的显示。按主动指针所示读取即时扭矩值，按从动指针所示读取最大扭矩值。绘图机构的笔架沿滚筒轴向移动，指示扭矩的大小；滚筒的转动指示扭转角的大小。

传动主轴的转动除驱动活动夹头转动外，还带动转角记录器转动，转角记录器由圈数、角度二盘组成。圈数记录着试样两端相对扭转角整圈数，角度为除整圈数外的零头角度，其最小刻度为 1° ，故只能测量较大变形。

3. 注意事项

- 1) 在试验机运行时，操作者不得离开，如果出现异常声音或发生任何故障，应立即停车，然后再进行分析处理。
- 2) 实验过程中不可触动摆锤。
- 3) 使用电动加载时，在起动手加载电动机前必须先取下手动加载手柄，否则会发生手柄打人的危险。
- 4) 改换加载方式或速度时，必须先停电动机，后推拉调速控制杆。

第二章 基本实验

实验一 低碳钢、铸铁的拉伸和压缩试验

一、试验目的

常温、静载荷下的拉伸和压缩试验，是工程上广泛采用的测定材料拉伸和压缩力学性能的试验，而低碳钢、铸铁的拉伸和压缩试验又是机械设计基础实验的基本内容。通过这个试验要求达到以下目的：

- 1) 了解万能试验机的构造原理及操作规程。
- 2) 掌握拉伸、压缩试验的方法。
- 3) 观察低碳钢、铸铁在拉伸和压缩时的变形及破坏现象。
- 4) 测定低碳钢的强度指标和塑性指标。
- 5) 测定铸铁在拉伸和压缩时的强度指标。
- 6) 测定低碳钢和铸铁材料的力学性能特点。

二、试验设备

液压式万能材料试验机、试样画线机、游标卡尺。

三、试样

1. 拉伸试样

为了使试验结果可以互相比较，各类拉伸试样的具体形状和尺寸应符合国家标准 GB/T 6397—1986《金属拉伸试验试样》中的统一规定。试样横截面形状有圆形与矩形两种，本试

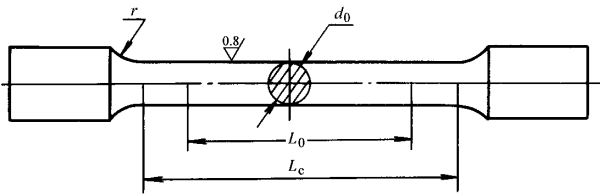


图 2-1 圆形截面拉伸试样

验采用圆截面试样，如图 2-1 所示，其等直段直径为 d_0 。国家标准规定圆形试样的标距 L_0 与直径 d_0 的比值可以等于 5 或 10。 $L_0=5d_0$ 的试样称为 5 倍试样， $L_0=10d_0$ 的试样称为 10 倍试样。5 倍试样常用于有色金属，10 倍试样常用于黑色金属。本试验采用 10 倍试样。

2. 压缩试样

金属材料的压缩试样一般制成圆柱体，如图 2-2 所示。如果试样过于细长，则受压时会出现弯曲

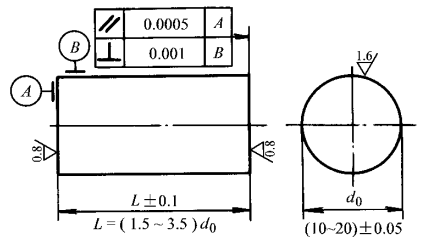


图 2-2 圆柱体压缩试样

或倾斜；若试样过于粗短，则受压时会因位移过小而无法观察其屈服现象。在试样受压时其两端与试验机的上、下垫板相接触会产生很大的向心摩擦力，这一摩擦力会阻止试样的横向膨胀。当试样高度相对增加时，端面上的摩擦力对其中部的影响将会减小。因此抗压能力与试样高度 L 和直径 d_0 之比有关。因此，压缩试验是有条件的，在国家标准 GB/T7314—1987《金属压缩试验方法》中有明确规定

$$L = (1.5 \sim 3.5) d_0$$

四、试验原理

1. 低碳钢拉伸

低碳钢拉伸图全面又具体地反映了整个变形过程。观察图 2-3 可以简单地复习教材中关于低碳钢拉伸性能的阐述。低碳钢的常用力学性能指标有屈服点 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、伸长率 δ 和断面收缩率 ψ ，它们都由拉伸破坏试验测定。拉伸时低碳钢试样的变形分为弹性、屈服、强化和局部变形等四个阶段。需要指出的是，自动绘图装置所绘出的伸长 ΔL 是整个试样的伸长，而不只是标距部分的伸长，并且包括试验机本身的弹性变形和试样头部在夹板中的滑动等。试样开始受力时，头部在夹板中的滑动较大，绘出的拉伸图的最初一段是曲线，因此应由弹性直线的延长线与伸长轴 ΔL 的交点作为拉伸图的坐标原点 O ，过 O 点作力轴 F 。

2. 铸铁拉伸

图 2-4 中给出的是铸铁拉伸图。可以看出，铸铁在拉伸时，无明显弹性阶段，无屈服和强化现象。在变形极小时就达到最大载荷而突然发生断裂，无颈缩现象。

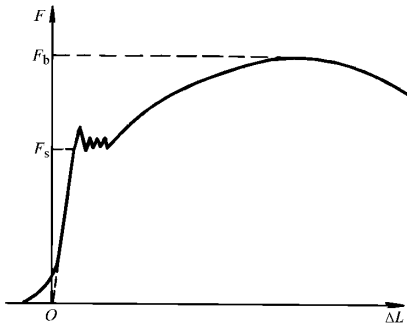


图 2-3 低碳钢的拉伸图

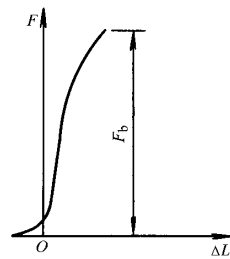


图 2-4 铸铁的拉伸图

3. 低碳钢的压缩

低碳钢压缩时，在缓慢均匀施力下，等速转动的指针在一小段时间内转动减慢或停顿时所对应的载荷即为屈服载荷 F_{sc} 。由于压缩不像拉伸那样，有易于观察的屈服阶段，因此测定 F_{sc} 时需要特别细心观察。低碳钢压缩屈服后，继续变形所需压力随试样横截面面积的增大和材料强化而迅速增加，其压缩曲线继续上升，试样最后压成饼状而不发生断裂，所以低碳钢压缩没有最大载荷及抗压强度，如图 2-5 所示。

4. 铸铁的压缩

铸铁的压缩曲线也同其拉伸时一样，是非线性的，如图 2-6 所示。所不同的是，铸铁在受压缩时其相对变形量似乎比拉伸大，即铸铁试样也会被压成鼓状后才发生破坏。由拉压理论

可知，纯压缩试样与轴线成 45° 角的斜截面上存在最大切应力，这一切应力是导致铸铁压缩破坏的根源。但通过对试样开裂方向的观察发现，开裂面与轴向成 $50^\circ \sim 55^\circ$ 角。这是因为上、下端面的摩擦力的作用造成最大切应力所在截面发生了偏转。

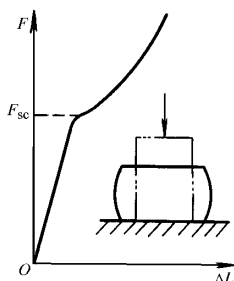


图 2-5 低碳钢的压缩图

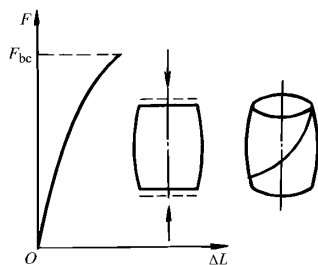


图 2-6 铸铁的压缩图

五、试验步骤

1. 拉伸试验

不同的试验方法与技术要求会影响试验结果。国家标准 GB/T228—1987《金属拉伸试验方法》中对试验方法、数据处理方法作了严格的规定，请按照下述步骤执行。

(1) 试样准备 为便于观察试样标距范围内沿轴向伸长的分布情况和测量拉断后的标距 L_1 ，在试样平行长度内涂上快干着色涂料，然后用试样画线机在标距 L_0 范围内每隔 10mm (10 倍试样) 或每隔 5mm (5 倍试样) 刻画一圆周线，或用冲点机冲点标记，将标距 L_0 分成 10 格 (上述过程只对低碳钢试样)。

用游标卡尺在试样等直段取三个有代表性的截面，沿互相垂直的两个方向各测一次直径，算出各截面的平均直径，取其中最小的一个作为原始直径 d_0 ，计算试样的最小原始横截面积，取三位有效数字。

(2) 试验机调整并安装试样 请严格按照试验机操作规程执行。

(3) 进行试验 按下自动绘图笔，平稳、缓慢地施加载荷，测力指针会指出载荷的变化。当测力指针停止转动或回转时，表明材料开始屈服，指针波动时达到的最小载荷值即为屈服点载荷 F_s 。当载荷再次稳定上升时，表明材料已进入强化，可用较快的速度加载。当测力指针再度下降则标志着颈缩现象的开始，从动指针所指示的最大载荷即为断裂极限载荷 F_b 。当试样断裂后，关闭液压泵电源，取下试样，吻合断口，测量并记录断后标距长度 L_1 和断口最小直径 d_1 ， d_1 为颈缩段最小处两个互相垂直方向的平均直径。

若试样断裂在机械刻线的标记上或标距外，造成性能不合格者，其试验结果无效，应重做试验。

铸铁拉伸试验因变形小、强度低造成许多测量上的困难。关键是应保持载荷平稳、缓慢地上升至试样断裂，才能测到正确的 F_b 值。

2. 压缩试验

(1) 测量试样 用游标卡尺测量试样中部及两端截面上互相垂直的两个方向的直径，取

算术平均值的最小者作为原始直径 d_0 。测量试样高度 H 。

(2) 安放试样 将试样放在试验机下垫板的中心处。注意：铸铁试样周围需要加防护罩，压缩过程中不要靠近观察，以免试样破裂时碎片飞出伤人。

(3) 试验机调整 请严格按试验机操作规程执行。

(4) 进行试验 当试样上表面接近试验机上垫板时，应减慢活动台上升的速度，否则会因载荷上升过快而无法观测屈服点。对于铸铁试样，缓慢加载直至破裂为止，停机后由从动指针读出最大载荷 F_b 。卸力后取下试样，观察其变形及破坏形式。

3. 结束工作

试验结束后关闭试验机电源。将用过的量具、工具摆放整齐，试验机的一切机构复原，清理试验现场。

六、数据处理

以下计算取三位有效数字。按 GB/T228—1987 规定，低碳钢的力学性能为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

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

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

其中 A_1 为断口处最小面积。

铸铁的力学性能为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{F_{bc}}{A_0}$$

七、思考题

1. 万能试验机调“零”步骤是什么？
2. 低碳钢的屈服点如何测定？
3. 试验前要测量哪些数据，试验中要取哪些数据，试验后要测量哪些数据？
4. 低碳钢试样压缩后为何成鼓形？
5. 根据试验现象及结果，比较低碳钢和铸铁的拉伸、压缩力学性能。
6. 操作万能试验机的注意事项是什么？

实验二 材料弹性系数 E 和 ν 的测定

一、试验目的

- 1) 学习电阻应变测量法的基本原理，学会使用电阻应变仪测量材料的弹性模量 E 和泊松比 ν 。
- 2) 验证胡克定律。

二、设备和仪器

- 1) 加载实验台。
- 2) 数字式测力仪、静态电阻应变仪。

三、实验方法和步骤

1) 在试样的表面上，沿纵向和横向各贴一片电阻应变片作为测量片（工作片），在同样材料但不受载荷作用的物体上粘贴相应的应变片，作为温度补偿片。

2) 将测量片和温度补偿片的导线接到应变仪上，将传感器的导线接到测力仪上。

3) 打开电阻应变仪和测力仪，调整应变仪的灵敏系数与应变片一致，将应变仪及测力仪调零。

4) 逐级加载（500N、1000N、1500N、2000N），测出相应的纵向应变 ϵ 和横向应变 ϵ' ，算出应变增量的平均值 $\Delta\epsilon$ 及 $\Delta\epsilon'$ 。

四、实验结果处理

按下式计算弹性模量 E 和泊松比 ν

$$E = \frac{\Delta F}{A \cdot \Delta \epsilon} \quad \nu = \left| \frac{\Delta \epsilon'}{\Delta \epsilon} \right|$$

五、思考题

1. 为什么要用等量加载法？该法所得的 E 、 ν 与一次加载到最大值所得的 E 、 ν 是否相同？
2. 试样的尺寸和形状对测定弹性模量有无影响？

实验三 扭转试验

一、试验目的

- 1) 测定低碳钢的扭转屈服点 τ_s 、抗扭强度 τ_b 及铸铁的抗扭强度 τ_b 。
- 2) 观察、比较低碳钢和铸铁在受扭过程中的变形和破坏现象。

二、实验设备

扭转试验机、游标卡尺。

三、试样

按 GB/T10128—1988 《金属室温扭转试验方法》，试样尺寸如图 2-7 所示。

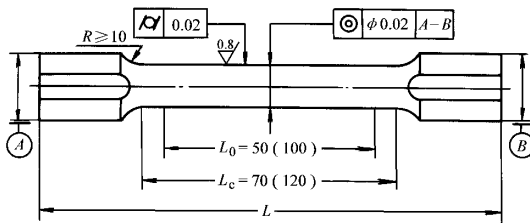


图 2-7 扭转用圆形试样（括弧内系长试样尺寸）

四、试验步骤

1. 测量试样直径

扭转试样直径的测量方法与拉伸试样直径的测量方法相同。

2. 扭转试验机准备

根据估计试样所需要最大力矩选择合适的测力度盘。配置相应的摆锤并调整零点。调整方法：先松开测力度盘中心的指针螺母，当摆杆自由铅垂时调整测力指针，使主动指针和从动指针指零，然后拧紧指针螺母。

调好自动绘图器的传动装置，放置记录纸和记录笔。

3. 安装试样

先将试样一端放入固定夹头，摇动调距手柄，使试样另一端插入活动夹头，然后夹紧固定夹头和活动夹头。

4. 进行试验

对低碳钢试样施加扭矩时，可先用手摇装置加载，待试样屈服以后再用电动快速加载，直至试样断裂。

铸铁试样应使用手摇装置加载，直至试样断裂。

低碳钢试样测读 T_s 及 T_b ，铸铁试样测读 T_b 。 T_s 为试样屈服时的扭矩， T_b 为试样断裂时的扭矩。

试验结束后，关闭试验机电源，将量具及用过的工具摆放整齐。

五、数据处理

1. 计算低碳钢扭转屈服点 τ_s

$$\tau_s = \frac{3}{4} \frac{T_s}{W_T}$$

2. 计算低碳钢抗扭强度 τ_b

$$\tau_b = \frac{3}{4} \frac{T_b}{W_T}$$

3. 计算铸铁抗扭强度 τ_b

$$\tau_b = \frac{T_b}{W_T}$$

4. 说明低碳钢扭转屈服点 τ_s 、抗扭强度 τ_b

对于低碳钢等高塑性材料，其受扭时横截面上切应力分布规律如图 2-8 所示。

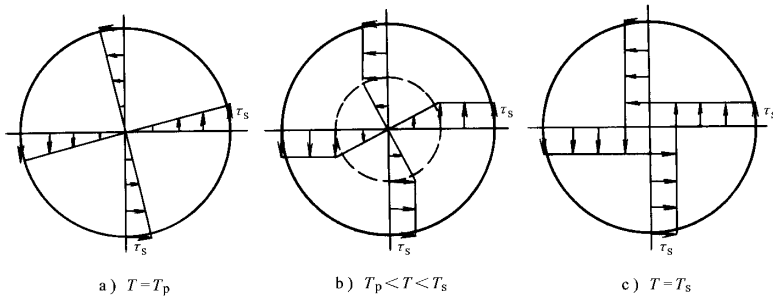


图 2-8 低碳钢在不同扭矩下切应力分布规律

图 2-8a 所示为试样受扭时其外表面最大应力达到屈服点 τ_s 时横截面上切应力的分布图, 此时扭矩以 T_p 表示。进一步增大扭矩 T , 则截面上的屈服区域自外向内扩展, 如图 2-8b 所示。随着 T 的增大, 最终可使全截面进入屈服, 如图 2-8c 所示, 此时扭矩为 T_s , 由静力学关系

$$T_s = \int_A \rho \tau_s dA = \tau_s \int_A \rho dA = \frac{\pi d^3}{12} \tau_s = \frac{4}{3} W_T \tau_s$$

同理

$$\tau_b = \frac{3}{4} \frac{T_b}{W_T}$$

式中 W_T 为抗扭截面系数。

对于铸铁等脆性材料, 因无明显的塑性变形, 不需进行上述计算。

低碳钢、铸铁试样受扭时, 其 $T-\phi$ 曲线如图 2-9 所示。

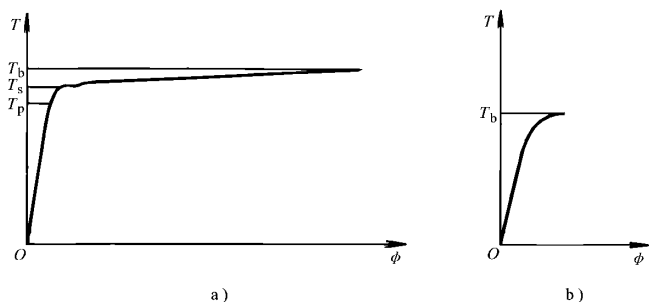


图 2-9 低碳钢、铸铁试样受扭的 $T-\phi$ 曲线

a) 低碳钢扭转 b) 铸铁扭转

六、思考题

1. 低碳钢和铸铁试样扭转破坏时, 其断面的破坏形式有何不同? 试分析各自的破坏原因。

2. 计算低碳钢和铸铁的抗扭强度时, 为什么公式不同?

实验四 材料切变模量 G 的测定

一、实验目的

- 1) 验证剪切胡克定律, 测定金属材料的切变模量 G 。
- 2) 掌握测量桥路接法与电阻应变仪使用方法。

二、设备与仪器

- 1) 加载实验台。
- 2) 数字式静态电阻应变仪、测力仪。

三、试样

安装在加载实验台上的试样为铝或铜实心圆轴。其简图如图 2-10 所示。

直径 $d=40\text{mm}$, 扭转力臂 $a=125\text{mm}$, 轴长 $L=270\text{mm}$ 。

弹性常数: $E=110\text{GPa}$, $\nu=0.35$ (铜); $E=70\text{GPa}$, $\nu=0.3$ (铝)。

四、实验方法和步骤

1) 在扭转试样的表面上, 沿与轴线成 45° 方向贴一片电阻应变片作为测量片, 如图 2-11 所示。在轴端不受力处粘贴相应的应变片, 作为温度补偿片。

2) 将测量片和补偿片导线接到应变仪上, 将传感器导线接测力仪上。

3) 打开电阻应变仪和测力仪, 调整应变仪的灵敏系数与应变片一致, 将应变仪与测力仪调零。

4) 逐级加载 (200N、400N、600N、800N), 测出相应的应变, 算出应变增量。

5) 重复测量三次。

6) 实验结束后, 整理好实验记录, 关闭应变仪和测力仪的电源。

五、数据处理

取应变单元体如图 2-12 所示。

$$\epsilon_{AB} = \epsilon = \frac{\Delta L}{\sqrt{2}a} = \frac{a\gamma \cos 45^\circ}{\sqrt{2}a} = \frac{\gamma}{2}$$

所以 $\gamma = 2\epsilon$

由剪切胡克定律

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{T \times 16}{\pi d^3 \times 2\epsilon} = \frac{8T}{\pi d^3 \epsilon}$$

对于增量加载方法, 上式变为

$$G_i = \frac{8a\Delta F}{\pi d^3 \Delta \epsilon_i}$$

将各参数按国际单位制代入公式。材料切变模量 G 的最终测量结果为

$$G = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 G_i$$

六、思考题

1. 测定切变模量时为什么要在圆轴轴端安装可调支座? 如果不装可调支座结果如何?
2. 影响实验结果的主要因素是什么?

实验五 弯曲正应力的测定

一、实验目的

1) 测定梁的弯曲正应力在横截面上的分布规律, 并与理论值比较, 以验证弯曲正应力公式。

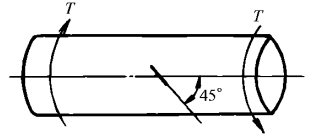


图 2-11 扭转试样

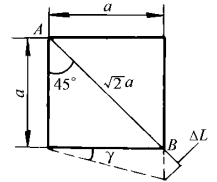


图 2-12 应变单元体图

2) 学习电阻应变测量法对多点测量的原理和方法。

二、设备与仪器

1) 加载实验台。

2) 数字式静态电阻应变仪、测力仪。

三、试样

被测定的为矩形等截面直梁，由低碳钢制成。梁的尺寸为： $L=480\text{mm}$ 、 $a=140\text{mm}$ 、 $b=16\text{mm}$ 、 $h=32\text{mm}$ ，材料的屈服点 $\sigma_s=235\text{MPa}$ ，弹性模量 $E=210\text{GPa}$ 。

图 2-13 为实验装置示意图，1~5 为测量电阻应变片（简称测量片）。0 为温度补偿片，位于不受力的梁端，起温度补偿作用。

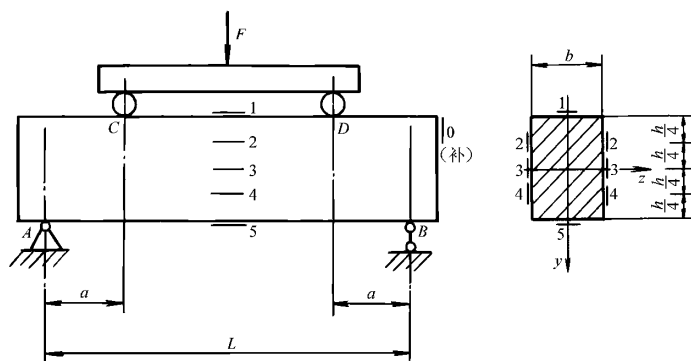


图 2-13 矩形截面梁弯曲正应力测定装置

四、实验步骤

1. 观察梁

对照实物了解梁的支撑及受力方式，了解载荷的施加方法。

2. 加载方案

施力过程可等分为 3-4 级，即 $\Delta F = \frac{F_{\max}}{3}$ 或 $\Delta F = \frac{F_{\max}}{4}$ ，确定原则应为梁上的最大正应力不超过材料的许用应力 $[\sigma]$ 。

3. 接线

按半桥接线法将各测点的测量片和补偿片分别接到应变仪上，测量片应接入电桥 A、B 节点，补偿片应接入 C、D 节点。接 A 的 5 条引线是分别引出的，而接 B 的 5 条引线是在试样上连通后由公共线 B 引出，这是因为应变仪内部各点已连通，无须一一对应。共用补偿片接 C。将传感器导线接测力仪。

4. 调零

接通测力仪、应变仪电源，将测力仪及应变仪各测点调零。应变仪各测点电桥调平衡后，再逐桥检查一遍。

5. 加载测量

逐级加载，每增加一级载荷，通过转动“测点选择”开关，依次读取各测点的应变值。加载至最终一级载荷 ΔF 时卸载至零。重复实验三次。