

面向21世纪高职高专规划教材

机械工程 设计基础实训

● 陈国发 主 编
● 黄淑容 副主编



面向 21 世纪高职高专规划教材

机械工程设计基础实训

主 编 陈国发

副主编 黄淑容

参 编 王 建 杨晓兰 王永健

主 审 龚奇平



机械工业出版社

本书对工程材料与热处理、工程力学和机械设计基础三门课程的实践(实训)教学内容进行了整合。按实践(实训)教学内容的不同特点,分实验篇、实作与综合训练篇和课程设计篇等三篇,内容涵盖了机械工程设计基础各实践性教学环节,各内容既相对独立又相互联系。

本书适用于高职高专机类、近机类各专业,也可适用于成人教育,与黄淑容主编的《机械工程设计基础》教材配套使用,也可单独使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程设计基础实训/陈国发主编. —北京:机械工业出版社, 2003.6

面向 21 世纪高职高专规划教材

ISBN 7-111-12140-6

I. 机... II. 陈... 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(2003)第 036067 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:邓海平

责任编辑:冯春生 版式设计:张世琴 责任校对:韩 晶

封面设计:陈 沛 责任印制:

北京市樱花印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·9.5 印张·232 千字

定价:14.00 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、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为适应工科高职高专技术教育必须加强实践教学这一要求而编写的，是机械工程设计基础课程（工程材料及热处理、工程力学、机械设计基础）配套的实训教材。

本书按实践（实训）教学内容的不同特点分三篇编写，第一篇实验篇，共编写基本实验 7 项，选择性实验 6 项（书中带 * 者为选择性实验）；第二篇实作与综合训练篇，共编写不同类型的实训和实作内容 3 项，分别为机械零件材料的合理选用、机构原理方案设计与模型制作、常用机械传动应用设计训练等；第三篇课程设计篇，以一级圆柱齿轮减速器为例，着重介绍了机械设计的一般过程。

本书尽量避免与黄淑容主编的《机械工程设计基础》教材的内容重复，只精选了有关机械设计手册的部分内容，所以在使用本书时，要尽量与黄淑容主编的《机械工程设计基础》教材配套使用。

参加本书编写的有四川工商职业技术学院的王建（第一篇实验一、实验五、实验六、实验七、* 实验八、* 实验十二、* 实验十三和附录 II）、重庆工业职业技术学院的王永健（第一篇实验四、* 实验十一，第二篇实训一）、黄淑容（第一篇实验二、实验三、* 实验九、* 实验十）、重庆石油高等专科学校的杨晓兰（第三篇二和四）、陈国发（绪论、第二篇实训二和实训三、第三篇中的一、三、五及附录 I）等，全书由陈国发担任主编，黄淑容担任副主编。本书由重庆工业职业技术学院的龚奇平担任主审。

由于编者水平有限和时间仓促，书中的缺点和错误在所难免，敬请各位读者批评指正。

编 者
2002 年 12 月

目 录

前言		六、轴类零件工作图设计要点	69
绪论	1	第三篇 课程设计篇	74
第一篇 实验篇	3	一、机械工程设计基础课程设计概述	74
实验一 平面机构运动简图的测绘	3	二、机械传动装置总体设计	76
实验二 拉伸与压缩实验	4	三、传动零件的设计	84
实验三 扭转实验	7	四、减速器结构及装配图综合设计	89
实验四 硬度测定与冲击实验	11	五、零件图与设计计算说明书	116
实验五 渐开线齿廓展成	16	附录 I	120
实验六 渐开线直齿圆柱齿轮参数的测定	17	附录 A 一般尺寸标准及规范(尺寸、中心孔、倒圆与倒角等)	120
实验七 减速器装拆	19	附录 B 电动机	123
* 实验八 刚性回转件的静平衡和动平衡实验	21	附录 C 密封	129
* 实验九 电测法测定低碳钢的弹性模量 E 和泊松比 μ	24	附录 II 实验报告参考格式	132
* 实验十 电测法测定直梁的弯曲正应力	29	实验报告一 平面机构运动简图的测绘	132
* 实验十一 碳钢的热处理及试样硬度测定	30	实验报告二 低碳钢、铸铁的拉伸与压缩实验	133
* 实验十二 带传动的滑动率和效率的测定实验	31	实验报告三 圆轴的扭转实验	134
* 实验十三 轴结构及滚动轴承组合结构的测绘	34	实验报告四 硬度测定与冲击实验	136
第二篇 实作与综合训练篇	36	实验报告五 渐开线齿廓的展成	137
实训一 机械零件材料的合理选用	36	实验报告六 渐开线直齿圆柱齿轮参数的测定	138
一、机械零件材料选用概要	36	实验报告七 减速器的结构分析和拆装	139
二、典型机械零件材料的选择	38	* 实验报告八 刚性回转件的平衡	140
实训二 机构原理方案设计与模型制作	39	* 实验报告九 低碳钢拉伸时弹性模量 E 的测定	141
一、机构原理方案设计	39	* 实验报告十 应变电测法测定直梁的弯曲正应力	142
二、机构原理方案设计题目及设计要求	46	* 实验报告十一 碳钢的热处理及试样硬度测定	144
三、机构原理方案模型制作	49	* 实验报告十二 带传动的滑动率和效率的测定	145
实训三 常用机械传动应用设计训练	50	* 实验报告十三 轴结构和滚动轴承组合结构的测绘和分析	146
一、常用机械传动类型及其性能特点	50	参考文献	147
二、带传动和链传动组合设计训练	53		
三、带传动和齿轮传动组合设计训练	54		
四、轴系部件组合设计训练	55		
五、盘类、齿轮类零件工作图设计	66		

绪 论

机械设计基础课程包括理论教学和实训教学两个方面。理论教学使学生获得基本的机械工程设计理论知识,实训教学则是初步培养学生的机械工程设计基础能力,两者是相辅相成的关系。

对于一个工科院校的学生来说,不仅要有较高的理论基础,而且更重要的是必须有较高的工程实践技能,这是当前国民经济发展的要求,也是社会发展的需要。学生的工程实践技能是通过实训教学的培养获得的,因此,实训教学对工科院校的学生来说具有重要的意义。

一、实训教学的目的

机械设计基础实训教学的目的主要有:

1) 通过实验教学,熟悉和了解机械工程设计基础实验的一些基本原理、实验方法和实验手段,验证相关理论知识,并巩固和加深理解。

2) 通过实验教学,使学生学会数据采集、数据处理的方法,进而获得机械工程设计基础初步的实验基本技能。

3) 通过设计实作与综合训练,对学生进行阶段性的机械工程设计基础知识综合应用训练,强化机械工程应用设计能力的培养。

4) 通过设计实作与综合训练,培养学生的创新思维和工程意识。

5) 通过简单机械传动装置的设计,使学生综合应用各科知识,根据工程实际做一次全面的应用性设计训练,初步培养学生设计简单机械装置的能力和向他人正确地表达和传递信息的能力,为后续课程的学习和将来的实际工作打下基础。

二、实训教学的主要内容

根据课程特点,本课程的实训教学安排了三方面的内容,即机械工程设计基础实验、设计实作与阶段性设计训练和简单机械传动装置设计等。

1. 机械工程设计基础实验

首先任何机械零件都需要用合适的材料来制造,机械工程中使用的材料主要是以碳钢为主的黑色金属材料以及一些有色金属材料。机械工程材料有多项性能指标,如强度、硬度、塑性、韧性及热处理性能等,这些性能指标是通过实验获得的。其次,机械中的构件都要受到载荷的作用,载荷在构件内部的分布,以及在载荷作用下构件以何种形式破坏等,可以通过建立一定的数学模型加以分析,但理论分析的正确与否,需要通过实验加以检验。加之构件实际所受的外力以及构件所处的外界条件(诸如高温、高压、高速、各种腐蚀介质及放射性元素等)比较复杂,使得许多问题用理论方法无法解决,必须依赖于实验。第三,在对现有机构进行分析或维修保养时,必须清楚机构的组成情况和一些重要的参数等,这些也必须通过实验的方法,通过实验和实测获得。因此,实验教学是本课程实训教学的重要内容之一。

本课程安排的实验教学项目主要有:机构及简单机械装置的组成分析和结构分析实验,材料的拉伸、压缩、扭转和弯曲等的力学性能实验,碳钢的热处理及试样硬度等的材料性能

测定, 齿轮的加工原理和参数的测定实验, 机械传动的效率测定以及刚性转子的平衡实验等。其中基本实验 7 项, 选择性实验 6 项, 共计 13 个实验项目。

2. 设计实作及阶段性综合训练

这一部分的实训内容是根据理论教学的进度, 分阶段进行, 着重学生应用性工程实践能力和创新意识的培养。安排的项目内容有: ①机械零件材料的合理选用。主要是训练学生能从机械零件实际工程应用的要求出发, 根据材料的具体性能, 综合考虑零件的使用要求、材料的工艺性及经济性等, 能合理地选用零件材料, 完成相应的材料选择技术论文。②机构原理方案设计与模型制作。主要是训练学生能根据具体的生产要求, 制定出简单合理可行的机构方案, 并通过模型的制作, 验证其方案的可行性, 激发和培养学生的创新精神。③常用机械传动应用设计训练。主要是训练学生能根据生产实际条件, 合理选用常用的机械传动方式, 并从工程适用性、经济性和工艺性的角度出发, 设计出能符合工程要求的机械传动装置, 并能画出相应的设计图和完成技术设计说明书。

3. 简单机械传动装置应用设计

这一环节的实训内容是让学生设计一个完整的简单机械装置, 或一个完整的传动部件。带式运输机设计是本环节最具代表性的一个实训内容。通过这一部分实训教学, 使学生经历一次较为完整的机械工程应用设计过程, 从而获得初步的工程设计经验。这是本课程实训教学的最后一个教学环节, 通常在理论教学完成之后进行, 为一次系统性的机械工程综合设计训练。

三、实训教学的基本要求

1) 实训教学的教学环境不像理论教学那样严整规范, 但实训教学的内容决定了其在教学计划中的重要地位和作用, 因此, 对实训教学思想上要高度重视, 要有主动精神。

2) 实训教学是一种工程能力的培养, 要有意识地注意工程习惯的养成, 考虑问题一切都要从工程实际出发, 不能想当然或主观臆断。

3) 实训教学尽管是在教师指导下进行, 但学员要尽量独立地开展工作, 同时还要有团结协作精神, 因为有些实训项目是分小组进行的, 小组成员间需要共同配合才能完成。这也是现代社会成员必不可少的品质之一。

4) 要有严谨的工作作风和一丝不苟的工作态度, 不经意的疏忽, 会造成工程上的不良后果, 甚至会导致错误的结论。

5) 不因循守旧, 要敢于创新而不脱离实际。

第一篇 实 验 篇

本篇主要从教学和工程应用的角度出发,列出了平面机构运动简图的测绘、材料力学性能的测定、齿轮的展成原理和参数的测定、减速器拆装等基本实验和电测低碳钢的弹性模量和泊松比、直梁的弯曲正应力、刚性转子的平衡、轴结构与滚动轴承组合结构的测绘以及带传动的滑动率和效率等选择性实验(书中带*的实验),讲述了进行这类实验的目的意义和方法,并对用于实验的主要设备作了简单的介绍,另外在附录中给出了所有实验的实验报告。

实验一 平面机构运动简图的测绘

一、实验目的

- 1) 学会根据实际机构或模型的结构,测绘其机构运动简图的方法。
- 2) 熟悉一些常用的构件及运动副的代表符号。
- 3) 掌握分析机构运动副、机构自由度和判断平面机构运动确定性的方法。

二、实验内容及要求

- 1) 正确确定活动构件的数量。
- 2) 正确判别低副和高副及其数量。
- 3) 绘制出 4 种平面机构的运动简图。

三、实验设备及工具

- 1) 各种典型机构实物或机构模型(如破碎机模型、牛头刨床模型、内燃机模型等)。
- 2) 钢直尺。
- 3) 外卡钳。
- 4) 图纸和绘图工具。

四、实验原理

任何机器和机构都是由若干构件和运动副组合而成的。从运动学的观点看,机构运动特性仅与构件的数目、运动副种类及其数目、运动副间的相对位置等有关。此外,机构运动特性与原动件也有关系。因此,在设计新机械和分析现有机械的运动时,为了使问题简化,可以不考虑构件的外形、截面尺寸和运动副实际构造,只用统一规定的简单的线条和符号(参见教材第一章或参阅 GB/T4460—1984)来代表构件和运动副,并按一定的比例尺表示运动副相对位置,以此来说明实际机构的运动特征。

五、实验步骤

- 1) 测绘时使被测机构或模型缓慢地运动,从主动件开始沿传动路线,仔细观察所有从动件的运动情况,分清各个运动单元,从而确定组成机构的构件数目。
- 2) 根据相互联接的两构件的接触情况和相对运动的性质,确定各个运动副的类型和数目。
- 3) 选取平行于机构运动的平面为视图平面,将机构置于一般的运动位置,且要求在此

位置时的各构件不相互重叠。

4) 徒手按规定符号和构件联接的次序逐步画出机构运动简图的草图。然后用数字 1、2、3、…分别标注各构件（自主动件起始），用字母 A、B、C、…分别标注各运动副。

5) 细心测量机构的运动学尺寸（如转动副的中心距，移动副导路间夹角等）。任意假定主动件的位置，并按一定的比例尺将草图画成正规的机构运动简图。简图的比例尺 μ_l 为

$$\text{长度比例尺 } \mu_l = \frac{\text{构件实际长度 (mm)}}{\text{构件图上长度 (mm)}}$$

6) 分析机构运动的确定性，即计算机构的自由度并与实际机构的自由度相对照，若与实际情况不符，要找出原因及时改正。

六、填写实验报告（实验报告参考格式见附录 II）

整理所有试验数据，按要求填写试验报告并完成对实验结果的分析与讨论。

七、实验注意事项

- 1) 机构简图应为平面图形，不要绘成轴侧投影图。
- 2) 构件和运动副应按国家标准规定的符号绘制。
- 3) 运动简图各部分的比例尺应统一。

实验二 拉伸与压缩实验

一、万能材料试验机简介

材料试验机是测定材料力学性能的主要设备。在材料性能测定中用得最广泛的是万能材料试验机。供静力试验用的万能材料试验机的主要类型有液压式万能材料试验机（WE）、机械式万能材料试验机（WJ）和电子式万能材料试验机（WD）。这里仅介绍最常用的液压摆式万能材料试验机。

液压摆式万能材料试验机一般由加载和测力两大部分组成，构造原理如图 1-1 所示。

1. 加载系统

在试验机底座 2 处装有两个固定立柱 3，它支承着固定横头 12 和工作液压缸 14。开动电动机带动液压泵 35 将油液从油箱 34 经送油管 17 送入工作液压缸 14，从而推动工作活塞 15、上横头 16、活动立柱 13 和活动台 9 上升。若将试样 6 两端装在上下夹头 7、5 中，当活动台上升时便使试样承受拉力发生拉伸变形。若把试样放在活动台的下垫板 10 上，当活动台上升时便使试样与上垫板 11 接触而承受压力发生压缩变形。加载速度可由送油阀 37 控制，送油时回油阀 33 处于关闭位置。实验完成后，打开回油阀 33，则工作液压缸内的油液回流油箱，活动工作台由于自重而下落，回到原始位置。

2. 测力部分

加载时，工作液压缸中的高压油由回油管和测力油管 32 引入测力液压缸 30（因回油阀关闭，油液不能流回油箱），推动测力活塞 29 向下移动，使拉杆 31 推动摆锤 28 绕支点 26 转动而抬起，同时摆上的推杆 24 推动水平齿杆 23 使齿轮和示力指针 21 旋转，示力指针旋转的角度与测力液压缸活塞上的总压力成正比，这样从测力度盘 22 上便可读出试样受力的大小。一般试验机可更换三种不同重量的摆锤 A、B、C 来确定测力范围，相应地在测力度盘上也有三种不同的测力量程。以 WE-300 的试验机为例，摆锤 A 对应的测力量程为 0~

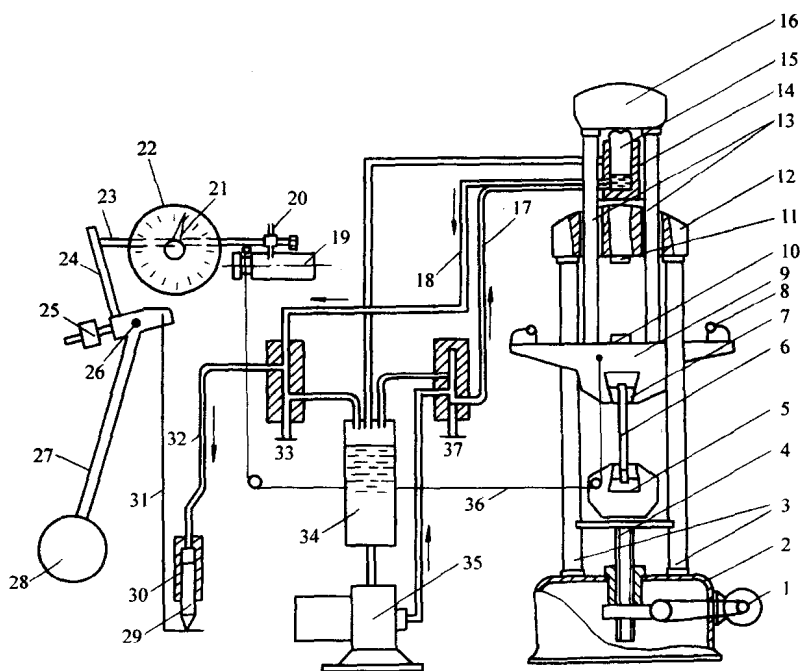


图 1-1 液压摆式万能材料试验机原理图

- 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—示力指针 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—测力液压缸 31—拉杆 32—测力油管
 33—回油阀 34—油箱 35—液压泵 36—拉绳 37—送油阀

60kN, A + B 对应的测力量程为 0~150kN, A + B + C 对应的测力量程为 0~300kN。

3. 绘图装置

当活动台上升时,由绕过滑轮的拉绳 36 带动滚筒 19 转动,在沿滚筒的圆周方向示出位移坐标,同时,齿杆 23 的移动构成沿滚筒轴线的载荷坐标,试样受载而发生变形时,绘图笔将在固定于滚筒圆柱面的坐标纸上定性地绘出载荷-位移曲线 ($F-\Delta L$ 曲线)。

4. 试验机的操作方法和步骤

(1) 确定加载范围与测力量程 实验前根据试样的材料、尺寸和实验内容估算所需的最大载荷和与之对应的测力度盘,并配置与测力度盘相符合的摆锤。

(2) 开机调零 开动主电动机检查运行是否正常,然后打开送油阀向工作液压缸缓慢送油,使活动台升起约 10mm,以消除自重后关闭送油阀,调整示力指针到零位,并拨动从动指针与示力指针重合(加载时,示力指针带动从动指针一起转动,当卸载或试样断裂时,示力指针迅速退回,而从动指针则停留不动,指示出卸载时或断裂时的最大载荷值)。

(3) 进行试验 安装试样和搭上自动绘图机构后,即可开启送油阀,缓慢送油,逐渐对试样进行加载,并观察试验中的各种现象,记录所需的数据。

(4) 试验完毕 立即停机并关闭送油阀,缓慢打开回油阀回油,使活动台工作回到原始位置后关闭回油阀,取下试样并使一切机构复原。

5. 操作过程中应注意的问题

- 1) 开机前和停机后, 送油阀一定要置于关闭位置; 加载、卸载和回油均应缓慢进行。
- 2) 试件夹紧或受力后, 不可再开起下夹头电动机, 以免下夹头电动机超负荷而损坏。
- 3) 机器开动时, 操作者不得擅自离开。试验进行过程中不得触动摆锤。
- 4) 机器运行时, 若听见异响或发生任何故障, 应立即停机检查。

二、低碳钢与铸铁的拉伸与压缩试验

(一) 实验目的

- 1) 测定低碳钢的屈服点、抗拉强度、断后伸长率和断面收缩率, 绘制低碳钢的拉伸图。
- 2) 测定铸铁的抗拉强度和抗压强度。
- 3) 观察低碳钢和铸铁拉伸和压缩时的变形和破坏现象, 比较低碳钢和铸铁两种材料拉伸和压缩时的力学性能和破坏特点。

(二) 试验设备与试样

- 1) 设备: 万能材料试验机、游标卡尺、画线机或打点机。
- 2) 试样: 按国家标准 GB/T228—1987 准备低碳钢和铸铁的拉伸试样和压缩试样。

(三) 实验原理与步骤

本部分实验的原理参见教材第四章第一节。

1. 低碳钢拉伸试验

(1) 试样准备与尺寸测定 先用画线机或打点机在试样上刻定标距 (长试样标距 $L = 100\text{mm}$; 短试样标距 $L = 50\text{mm}$); 然后用游标卡尺测量试样标距内两端和中间三个横截面处的直径, 在每一横截面内沿互相垂直的两个直径方向各测量一次并取其平均值, 用所测得的三个平均值中最小的值来计算试样的初始横截面面积 A_0 。

(2) 试验机准备 估算拉伸试验所需的最大载荷 F_b , 并根据 F_b 选定试验机的测力度盘 (F_b 值在测力度盘 40%~80% 范围内较宜)。开机调零使示力指针对准零点, 并使从动指针与之靠拢, 同时调整好自动绘图装置。

(3) 试样安装 先将试样安装在试验机的上夹头内, 再移动下夹头到适当位置把试样下端夹紧。

(4) 检查及试机 加少量载荷 (勿使应力超过比例极限), 检查试验机和绘图装置工作是否正常, 然后卸载。

(5) 进行试验 开动试验机缓慢均匀加载, 注意观察测力指针的转动、自动绘图情况及试样在拉伸过程中的各种现象。当测力指针不动或倒退时, 说明材料开始屈服, 测力指针停止转动时的恒定值或第一次回转的最小值即为屈服载荷 F_s ; 当测力指针和从动指针再次分离时, 试样开始颈缩, 直至最后被拉断, 测力指针回到零点, 从动指针不动指示出最大载荷 F_b 。关闭试验机, 取下试样。将断裂的试样对齐并尽量靠紧, 用游标卡尺测量断裂后标距段的长度 L_1 和断口处直径 d_1 。

(6) 结束试验 从试验机上取下已绘好的拉伸曲线图样, 清理试验现场, 将试验机及有关工具复原。

2. 铸铁拉伸试验

铸铁拉伸的试验步骤与低碳钢拉伸的试验步骤大致相同, 但无材料的屈服过程。

3. 低碳钢和铸铁的压缩试验

(1) 试样尺寸测定 用游标卡尺测量试样中间两处横截面的直径, 取两处中平均直径最小者来计算试样的初始横截面面积 A_0 。

(2) 试验机准备 同拉伸试验。

(3) 试样安装 将试样两端面涂以润滑剂, 然后准确地放在试验机活动台的下垫板球面承垫的中心处。注意铸铁试样周围应加防护罩, 以免试样破裂时碎片飞出伤人。

(4) 检查及试机 空升试验机的活动台, 使试样随之上升, 当试样上端面与试验机的上垫板接近时 (不要使二者接触受力) 减慢活动台上升的速度, 使试样与试验机上垫板刚刚接触后慢速预加少量载荷, 以检查试验机工作是否正常。

(5) 进行试验 低碳钢压缩试验时应缓慢均匀地加载。注意观察测力指针的转动情况和自动绘图情况, 及时记录屈服载荷 F_s (与拉伸的 F_s 比较), 继续加载使试样压成鼓形后即可停机 (注意所加载荷不得超过测力度盘量程的 80%)。铸铁试样加载至试样破裂为止, 停机后记录最大载荷 F_b 。

(6) 结束试验 从试验机上取下已绘好的拉伸曲线图样, 清理试验现场, 将试验机及有关工具复原。

(四) 填写实验报告

整理所有试验数据, 按要求填写试验报告并完成对试验结果的分析与讨论

实验三 扭转实验

一、扭转试验设备简介

(一) 扭转试验机

1. 扭转试验机的结构和工作原理

用于测定材料扭转力学性能的试验机称作扭转试验机。扭转试验机的种类很多, 现常用于教学的有 K-50 型扭转试验机和 NJ-100B 型扭转试验机。下面以 K-50 型扭转试验机 (图 1-2) 为例介绍其结构和工作原理。

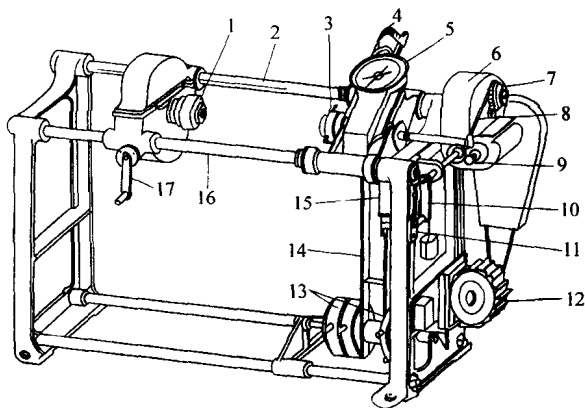


图 1-2 K-50 型扭转试验机

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

试验机上的活动夹头 1 (加载夹头) 和固定夹头 3 (测力夹头) 用于装夹试样。由手摇柄 10 或电动机 12 (该电动机具有 0.3r/min 和 1r/min 两挡转速, 通过变速杆 9 调节) 经变速箱 6、传动主轴 2 使活动夹头转动, 试样承受扭矩作用。通过试样带动测力夹头使与之相联的摆锤 13 抬起而产生重力矩。试样所受的扭矩与摆锤重力形成的摆锤力矩保持平衡。当摆杆扬起时即推动与测力度盘 5 相联的齿杆带动齿轮使指针转动, 于是指针便在测力度盘上指出试件所受扭矩的大小, 同时绘图器自动绘出扭矩和扭转角的关系曲线 ($T-\varphi$ 曲线)。另外, 传动主轴的转动还将带动测角度盘 7 工作, 该度盘不仅指示出试样转动端的绝对扭转角, 同时还记录了试样转过的总圈数。

K-50 型扭转试验机的扭矩量程有 $0\sim 100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $0\sim 200\text{N}\cdot\text{m}$ 和 $0\sim 500\text{N}\cdot\text{m}$, 分别通过更换不同的摆锤来实现。

2. 扭转试验机的操作步骤

1) 根据试验所需最大扭矩, 选择合适的测力度盘并配以相应的摆锤。当摆杆 14 自由铅垂时, 测力指针应对准零点。否则要松开度盘的螺母, 调整指针对准零点, 然后再拧紧螺母。

2) 根据试样的大小选择适当的夹块放入两夹头中。先将试样的一端放在固定夹头 3 中, 再摇动调距手柄 17 使活动夹头 1 沿水平导轴 16 移动, 待试样另一端插入活动夹头时, 先夹紧固定夹头 3, 再夹紧活动夹头 1。

3) 如需记录 $T-\varphi$ 曲线, 应装好记录的笔和纸, 并使之处于工作状态。

4) K-50 型扭转试验机有手摇和电动两种加载方式。试样若为脆性材料或在屈服点以内, 一般使用手摇加载, 这时应将变速杆 9 放在手摇位置。对塑性材料过屈服点后的断裂试验, 可用电动加载, 这时应将变速杆 9 向里推, 使滑键啮合, 启动按钮即能快速加载。

5) 试验完毕后立即停车, 关闭电源, 将机器复原并清理现场。

3. 操作过程中应注意的问题

1) 试样要夹紧, 以免开车后打滑。装卸试样时不要将夹头松动太多, 以防脱落。

2) 手摇加载时, 不得触动电动开关。电动加载时, 要先取下手摇柄。如需改变加载方法或加载速度, 必须在停车后进行。

3) 试验进行中, 严禁触动摆锤。

4) 试验机运转时, 操作人员不得擅自离开, 听见异声应立即停车检查。

(二) 测 G 仪

测定材料的切变模量 G 可在扭转试验机上加扭角仪和单独采用扭转测 G 仪来完成。扭角仪的构造原理如图 1-3a 所示, 图 1-3b 为根据扭角仪测量原理制作的 NY 型测 G 仪。

现以 NY 型测 G 仪的构造和工作原理来叙述测定切变模量 G 的方法。该仪器将直径 $d_0=10\text{mm}$ 的钢试样安装在固定支座 2 和可转动支座 7 之间, 左右悬臂杆 3、8 之间的距离可调节, 用于确定试样的标距 L_0 。百分表或千分表装在右横杆 9 上, 其触头始终与左横杆 4 接触。试验时采用砝码逐级加载, 若每个砝码的重量为 ΔF , 则试样受到砝码重量引起的扭矩增量 $\Delta T=\Delta Fa$, 试样的变形由百分表读出, 该表读出的是左横杆 4 随轴的扭转变形产生的铅垂位移 c (格)。加载完后, 计算出百分表读数增量的平均值 Δc^* (格), 则可根据结构的几何关系确定出对应于扭矩增量 ΔT 的变形增量 $\Delta\varphi=\Delta c^*/Kb$ (rad), K 为百分表或千分表的放大倍数。当 $\Delta\varphi$ 确定后, 即可根据扭转变形公式算出切变模量 G 。

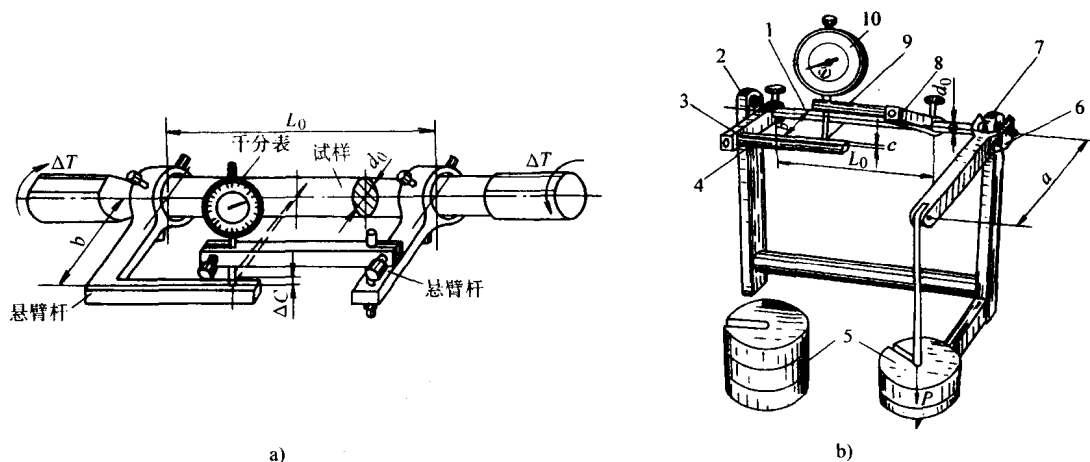


图 1-3 测 G 装置

a) 扭角仪的构造原理 b) NY 型扭转测 G 仪

1—试样 2—固定支座 3—左悬臂杆 4—左横杆 5—砝码 6—加力杆
7—可转动支座 8—右悬臂杆 9—右横杆 10—百分表

二、扭转实验

(一) 实验目的

- 1) 测定低碳钢的切变模量 G 。
- 2) 测定低碳钢的剪切屈服点 τ_s 、抗扭强度 τ_b 和铸铁的抗扭强度 τ_b 。
- 3) 观察低碳钢和铸铁的扭转破坏现象，比较其试样断口形状并分析破坏原因。

(二) 实验设备和试样

- 1) 设备：扭转试验机、游标卡尺、测 G 仪或扭角仪、百分表或千分表。
- 2) 试样：按《金属室温扭转试验方法》(GB/T10128—1988) 的有关规定制备圆截面的低碳钢与铸铁扭转试样。

(三) 实验原理与步骤

1. 切变模量 G 的测定 (以测 G 仪测切变模量 G 为例)

由材料力学可知：当材料在比例极限内时，圆轴扭转时的扭矩与扭转角之间的关系为

$$\varphi = \frac{TL}{GI_p}$$

若采用增量法逐级加载，利用测 G 装置逐级测量并记录对应的变形以及变形的增量，然后求出变形增量的平均值 $\Delta\varphi$ ，即可由上式计算出切变模量为

$$G = \frac{\Delta TL_0}{\Delta\varphi I_p}$$

依据胡克定律，每次加载后所获取的变形增量应基本相同。

测定切变模量 G 的实验步骤：

(1) 试验前准备 测量试样的直径 d_0 。测量方法与测 E 的试验相同；确定测 G 的标距长度 L ，装百分表 (或千分表) 记录初读数；用直尺量取试样轴线与百分表触头之间的距离 b 和力臂 a 。

(2) 拟订加载方案 根据低碳钢扭转时的屈服点和百分表 (或千分表) 的量程确定最大

施加载荷，并确定加载级数（一般不少于 5 级）以及加载增量 ΔT 或 ΔF 。

(3) 进行试验 加载并读取数据。

(4) 结束试验 取下百分表卸掉载荷，试验设备和工具还原。

2. 扭转强度指标的测定

圆轴扭转时，横截面上各点均处于纯剪切状态，因此常用扭转实验来测定不同材料在纯剪切作用下的力学性能。利用试验机的自动绘图装置，可记录 $T-\varphi$ 曲线，图 1-4 所示为扭转试验所得到的 $T-\varphi$ 曲线。

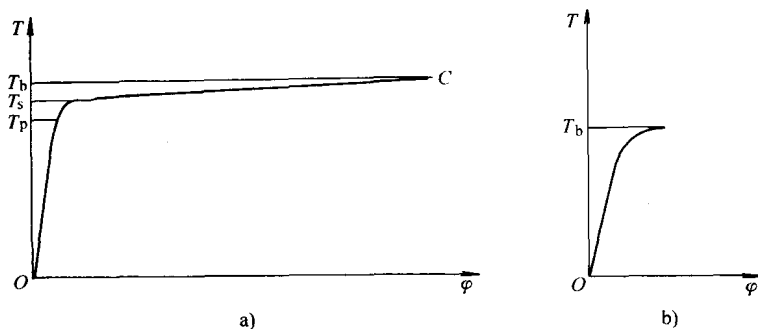


图 1-4 试样受扭的 $T-\varphi$ 曲线

a) 低碳钢扭转 b) 铸铁扭转

(1) 低碳钢扭转时力学性能的测定 由图 1-4a 可知，当低碳钢试样的扭矩在弹性扭矩 T_p 以内， φ 与 T 呈线性关系，材料处于弹性状态。图 1-5a 所示为对应于 T_p 而试样横截面边缘处的切应力达到屈服点 τ_s 时的切应力分布图。由于低碳钢为高塑性材料，当进一步增大 T 时，屈服区不断向圆心扩展（图 1-5b），此时 $T-\varphi$ 曲线稍微上升。直到屈服区占据了几乎全部截面（图 1-5c）， $T-\varphi$ 曲线则趋于平坦，扭矩度盘上指针几乎不动或轻微摆动，指针摆动所示的最小值即是屈服扭矩 T_s 。如认为这时整个圆截面全部进入屈服，则由静力学关系可以得到扭转屈服点 τ_s 与扭矩 T_s 的关系为

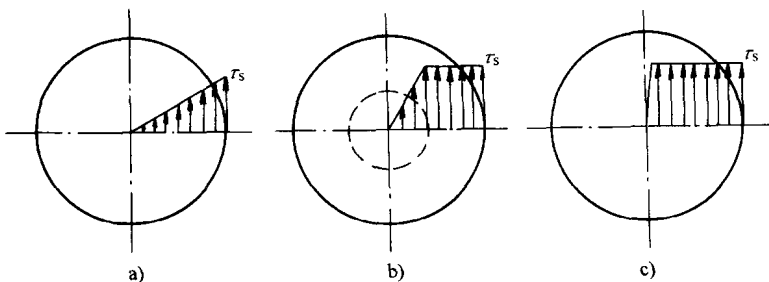


图 1-5 低碳钢扭转试样中的应力

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

过屈服阶段后，试样继续变形，进入强化阶段，到达 $T-\varphi$ 曲线上的 C 点，试样发生断裂。扭矩度盘上的从动指针指出最大扭矩 T_b ，则可得抗扭强度 τ_b 的计算式为

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

低碳钢扭转时的塑性变形明显, 试样断裂后的截面为横截面, 由应力状态理论分析可知, 该截面上的最大切应力是引起材料破坏的主要原因。

(2) 铸铁扭转时力学性能的测定 铸铁扭转时, 从受力开始到断裂, 没有明显的塑性变形, 其剪切强度极限可近似地按弹性应力公式计算

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

铸铁试件的断口为与试件轴线成 45° 角的螺旋面, 由应力状态理论分析可知, 该截面上的最大拉应力是引起材料破坏的主要原因。

3. 扭转强度指标测定的实验方法和步骤

(1) 试样准备 实验前, 在试样标距内的中间和两端三处, 每处沿两个垂直方向用游标卡尺各测量一次直径, 并取其算术平均值, 选平均值的最小值作为计算直径 d_0 。

(2) 试验机准备 根据试样的直径及材料的抗扭强度估计实验所需的最大扭矩 T_b , 然后选择适当的测力度盘。将测力度盘上的指针对准零点, 装好画图的笔和纸。

(3) 试样安装 将试样装入夹头内夹紧后, 旋转测角度盘至零位。若要观察扭转变形, 可在试样上沿轴线方向画一条母线。

(4) 检查及试机 慢速加少量扭矩, 然后卸载, 检查试验机工作是否正常。

(5) 进行实验 选择适当的加载速度, 低碳钢用低速 $0.3r/min$ 加载, 对铸铁则采用手动加载。实验过程中, 仔细观察主动针转动情况, 当主动针停止转动或波动时记录下屈服扭矩 T_s 。注意观察试样、测角度盘和自动绘图仪的走势。试样断裂后, 立即停车, 记下断裂时的扭矩 T_b 和扭转角度值。

(6) 结束实验 从试验机上取下已绘好的扭转曲线图样, 清理实验现场, 将试验机及有关工具复原。

(四) 完成实验报告

整理所有实验数据, 填写实验报告并完成对实验结果的分析与讨论。

实验四 硬度测定与冲击实验

一、硬度试验

(一) 实验目的

- 1) 了解布氏硬度计、洛氏硬度计的构成和应用范围。
- 2) 掌握布氏硬度计、洛氏硬度计的基本原理和测量方法。
- 3) 根据不同材料性能特点能正确选择测定硬度的方法。

(二) 实验原理

硬度是指材料表面抵抗其他物体压入的能力, 它是材料的强度、塑性、韧性综合值的反映。常见的硬度试验方法有: 布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度。本实验重点介绍应用最多的布氏硬度和洛氏硬度试验法。

1. 布氏硬度试验

用试验力 F 将规定直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球压头压入被测试样金属的表面, 保持一定时间后卸除试验力, 测量压头在试样表面上压出的压痕直径 d , 计算出压痕面积

A, 以 F/A 值来表示试件的布氏硬度。布氏硬度用 HBS (淬火钢球压头) 或 HBW (硬质合金球压头) 表示。布氏硬度试验原理如图 1-6 所示。

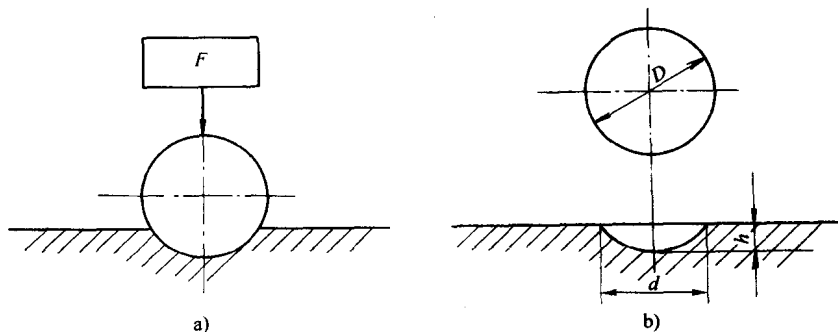


图 1-6 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度值是试验力除以压痕球形表面积所得的商。计算公式如下

$$\text{硬度} = \frac{F}{A} = 0.102 \frac{2F}{\pi D [D - (D^2 - d^2)^{\frac{1}{2}}]}$$

式中, F 为试验力 (N); D 为淬火钢球或硬质合金球直径 (mm); d 为压痕平均直径 (mm); A 为压痕面积 (mm^2)

试验中, d 值可借助读数显微镜读出, 然后通过计算或直接查出该试样的布氏硬度值。

布氏硬度试验规范可按表 1-1 进行选择。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料	布氏硬度范围 HBS	试样厚度/mm	$(F/D^2)/\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$	压头直径 D/mm	试验力 F/N	保持时间/s
黑色金属	140~450	>6	300	10	30000	10
		6~3		5	7500	
		<3		2.5	1875	
	<140	>6	100	10	10000	10
		6~3		5	2500	
		<3		2.5	625	
有色金属	36~130	>6	100	10	10000	30
		6~3		5	2500	
		<3		2.5	625	
	8~35	>6	25	10	2500	60
		6~3		5	625	
		<3		2.5	156	

图 1-7 为 HB-3000 型布氏硬度试验机结构简图, 其主要由机体、工作台、大小杠杆、减速器和换向开关等部件组成。

布氏硬度试验的压痕面积较大, 受测量不均匀度影响较小, 故测量误差较小, 试验结果比较准确, 但不能测定高于 450HBS (淬火钢球压头) 和高于 650HBW (硬质合金球压头) 的材料, 否则压头会发生变形及损坏, 而且不宜测定厚度太薄或表面不允许有较大压痕的零件, 适用于测量组织较粗大且不均匀的金属材料的硬度。

2. 洛氏硬度试验

洛氏硬度试验是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 钢球作为压头, 在先后