

///

高等学校教材

Strength Test of Materials

材料力学实验

第3版

刘鸿文 吕荣坤 编
吕荣坤 修订

 高等教育出版社

高等学校教材

材料力学实验

第3版

刘鸿文 吕荣坤 编
吕荣坤 修订

高等教育出版社

内容简介

本书是在第二版(1998年11月版)基础上修订而成的。为适应实验技术的飞速发展和实验设备的大量更新,第三版增加了一些内容(如液压屏显万能机、微机控制电子万能机、微机控制扭转试验机 and 自动平衡数字应变仪等),改写、调整了部分内容(如删去机械式万能试验机、双表引伸仪、平衡式应变仪等),并将部分符号按国标最新规定作了更改或注解。

第三版仍分四章。第一章绪论,讲述材料力学实验的内容、标准、方法和要求;第二章为材料的力学性能测定,分节介绍实验设备和实验方法;第三章为电测应力分析,分别介绍原理、设备、实测数值的修正、电桥接线方法等。第四章为选修实验,各校可根据本校教学要求和实验设备情况选修,也可自行创新设计实验。

本书是与高等学校工科本科材料力学课程的教科书配套使用的实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验/刘鸿文,吕荣坤编. —3版. —北京:
高等教育出版社,2006.1

ISBN 7-04-017767-6

I. 材... II. ①刘... ②吕... III. 材料力学-实验
-高等学校-教材 IV. TB301-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第148242号

策划编辑 姜 凤 责任编辑 赵梓钧 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静
版式设计 王艳红 责任校对 金 辉 责任印制 杨 明

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京未来科学技术研究所 有限责任公司印刷厂		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	1993年1月第1版
印 张	8.5		2006年1月第3版
字 数	150 000	印 次	2006年1月第1次印刷
		定 价	10.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17767-00

第一版前言

这本实验教材是依据 1987 年国家教委批准的《材料力学课程教学基本要求》编写的。把材料力学实验的内容分成力学性能测定、电测应力分析和选修实验等三部分。这样编写除了想使教材体系较为合理外,还考虑到了便于教学。例如,把万能机、引伸仪和拉伸实验编在邻近几节,组成为力学性能测定的一个段落,这在体系上或许比较合适,对教学和预习也是有利的;为适应独立设课的需要,对某些实验的原理作了适当的介绍;考虑到篇幅不能太长,而且避免与材料力学教材重复过多,原理介绍也是有节制的;编入第四章的几个实验,可根据情况,选择一部分由学生完成或由教师演示。

实验课与设备情况关系密切,即使是最基本的实验,各校根据各自的设备条件和教学经验,也往往有不同的教学方案。要求一本篇幅有限的实验教材适应各校的特点,或许是相当困难的。因此教材中对机器仪表的介绍,只能以国内最常见的为主,对某些较先进的设备,则介绍更为简单。

书稿承重庆大学胡国华教授审阅,提出了很多宝贵意见,谨此致谢。

曹曼玲同志参加了编写工作。浙江大学材料力学教研室和材料力学实验室给予了支持。张礼明同志担任了描图工作。

限于编者的水平,教材中可能有疏漏和欠妥之处,深望广大教师和读者批评指正。

编 者

1991 年 10 月

第二版前言

本书自第一版出版以来已经 7 年,为适应实验技术的发展和实验设备的更新,第二版增加了一些内容,如实验数据的线性拟合,电子万能材料试验机的使用等;同时,改写并调整了部分内容。至于教材体系和编写意图仍与第一版相同,兹不赘述。

书稿承北京航空航天大学单辉祖教授审阅,提出了很多精辟中肯的意见,获益匪浅,深致谢意。

限于编者水平,恐疏漏之处仍多,深望广大师生批评指正。

编 者

1998 年 3 月于杭州

第三版前言

本书自第二版出版至今已七年,在这期间,各院校材料力学实验教学得到了学科评估的充分重视,教学设备大量更新;与本书内容有关联的力学性能试验国家标准,也出版了新的修订版本,一些名词术语、量和单位的名称和符号有了较大变更。第三版修订时,考虑了这些新的变化。

第三版在试验设备介绍方面,删去机械式万能试验机、双表引伸仪、平衡式应变仪等内容,增补了已大量使用的或较为先进的实验设备,如液压屏显万能机、微机控制电子万能机、微机控制扭转试验机和自动平衡数字应变仪等。拉伸实验、冲击实验贯彻了新修订的国家标准的精神。第四章选修实验内容也作了适当的调整。

至于教材结构、体系仍与第二版相同。选修实验是基本实验的补充、延伸和拓展,有建议把压杆临界压力的测定列为基本实验,各校可根据教学要求自行安排。至于书中编入的几个综合性、设计性和研究型实验,更可按各校专业特点和设备条件,另行创意设计。

书稿承北京航空航天大学蒋持平教授审阅,提出了不少宝贵意见和建议,深表衷心感谢。

第三版修订时,刘鸿文教授一开始就简要提出了修订意见,并仔细审阅了初稿。李振华、鲁阳、何姗和应祖光等同志参加了本书的修订工作。舒维奇同志承担了新增图表的绘制工作。本书修订时,还得到了浙江大学材料力学教研室与材料力学实验室的大力支持。

限于编者的水平,第三版难免仍有疏漏和不当之处,盼使用本书的师生批评指正。

编 者

2005年3月于杭州

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 材料力学实验的内容	1
§ 1.2 材料力学实验的标准、方法和要求	2
第二章 材料的力学性能测定	3
§ 2.1 液压式万能材料试验机	3
§ 2.2 微机屏显式液压万能材料试验机	6
§ 2.3 电子万能材料试验机	9
§ 2.4 机械式引伸仪	12
§ 2.5 万能机操作及拉伸、压缩示范实验	15
§ 2.6 低碳钢拉伸时力学性能的测定	17
§ 2.7 扭转试验机	24
§ 2.8 扭转实验	30
§ 2.9 冲击实验	34
§ 2.10 疲劳实验	38
第三章 电测应力分析	44
§ 3.1 概述	44
§ 3.2 电阻应变片	44
§ 3.3 应变电桥	46
§ 3.4 电阻应变仪	47
§ 3.5 电阻应变仪的使用方法和实测应变值的修正	51
§ 3.6 测量电桥的接法	53
§ 3.7 传感器显示器	59
§ 3.8 弯曲正应力实验	59
§ 3.9 弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定	63
§ 3.10 切变模量 G 的测定	65
§ 3.11 扭转组合变形的主应力和内力的测定	68
§ 3.12 偏心压缩实验	72
§ 3.13 预调平衡箱	75
第四章 选修实验	76
§ 4.1 应变片粘贴实习	76
§ 4.2 压杆临界压力的测定	80

目 录

§ 4.3	规定非比例延伸强度	83
§ 4.4	规定非比例延伸强度的测定	86
§ 4.5	X-Y 函数记录仪	87
§ 4.6	动态电阻应变仪	89
§ 4.7	光线示波器简介	94
§ 4.8	动应力测量	95
§ 4.9	胶结叠合梁的实验研究	100
§ 4.10	在内压、弯矩和轴向力联合作用下管道内力的测定	102
§ 4.11	预应力提高结构承载能力的实验研究	103
§ 4.12	光弹性简介	105
§ 4.13	光弹性实验	110
附录 I	实验数据的线性拟合	115
§ I.1	线性拟合	115
§ I.2	线性拟合在弹性模量测定中的应用	116
附录 II	有效数后第一位数的修约规则及力学性能测试 结果的修约规定	119
附录 III	力学量国际单位制单位及换算	120
参考文献		121
作者简介		122

第一章 绪 论

§1.1 材料力学实验的内容

材料力学实验是材料力学的重要支柱之一。材料力学从理论上研究工程结构构件的应力分析和计算,并对构件的强度、刚度和稳定性进行设计或校核其可靠性。材料力学实验则从实验角度为材料力学理论和应用提供实验支持;当理论分析、计算遇到困难时,借助材料力学实验技术和方法,可直接进行结构构件的应力分析;在工程结构投入运行期间,材料力学实验的分析技术,更是结构安全性评价的可靠手段之一。因此,材料力学实验能力和理论分析、计算能力的培养,具有同等重要的地位。

材料力学实验由下列三部分内容组成:

1. 材料的力学性能测定 材料的力学性能是指在力或能的作用下,材料在变形、强度等方面表现出的一些特性,如弹性极限、屈服极限(屈服强度)、强度极限、弹性模量、疲劳极限、冲击韧性等。这些强度指标或参数都是构件强度、刚度和稳定性计算的依据,而它们一般要通过实验来测定。此外,材料的力学性能测定又是检验材质、评定材料热处理工艺、焊接工艺的重要手段。随着材料科学的发展,各种新型合金材料、合成材料不断涌现,力学性能的测定,是研究每一种新型材料的重要任务。

2. 验证已建立的理论 材料力学的一些理论是以某些假设为基础的,例如杆件的弯曲理论就以平面假设为基础。用实验验证这些理论的正确性和适用范围,有助于加深对理论的认识和理解。至于对新建立的理论 and 公式,用实验来验证更是必不可少的。实验是验证、修正和发展理论的必要手段。

3. 应力分析实验 某些情况下,例如因构件几何形状不规则、受力复杂或精确的边界条件难以确定等,应力分析计算难于获得准确结果。这时,用诸如电测、光弹性等实验应力分析方法直接测定构件的应力,便成为有效的方法。对经过较大简化后得出的理论计算或数值计算,其结果的可靠性更有赖于实验应力分析的验证。

§1.2 材料力学实验的标准、方法和要求

材料的强度指标如屈服极限、强度极限、持久极限等,虽是材料的固有属性,但往往与试样的形状、尺寸、表面加工精度、加载速度、周围环境(温度、介质)等有关。为使试验结果能相互比较,国家标准对试样的取材、形状、尺寸、加工精度、试验手段和方法以及数据处理等都作了统一规定。我国国家标准的代号是GB。其他国家也有各自的标准,如美国标准的代号为ASTM,国际标准的代号为ISO。国际间需要作仲裁试验时,以国际标准为依据。

对破坏性试验,如材料强度指标的测定,考虑到材料质地的不均匀性,应采用多根试样,然后综合多根试样的结果,得出材料的性能指标。对非破坏性试验,如构件的变形测量,因为要借助于变形放大仪表,为减小测量系统引入的误差,一般也要多次重复进行,然后综合多次测量的数据得到所需结果。

实验应力分析除前面提到的电测法及光弹性法外,还有激光全息光弹性法、散斑干涉法、云纹法、声弹法等。采用何种方法取决于试验的目的和对试验精度的要求。一般说,如仅需了解构件某一局部的应力分布,电测法比较合适;如需了解构件的整体应力分布,则以光弹性法为宜。有时也可把几种方法联合使用,例如可用光弹性法判定构件危险截面的位置,再使用电测法测出危险截面的局部应力分布。关于实验应力分析,本书主要介绍电测法,并对光弹性法作简要介绍。至于其他方法,如有需要可参看实验应力分析方面的著作。

整理实验结果时,应剔除明显不合理的数据,并以表格或图线表明所得结果。若实验数据中的两个量之间存在线性关系,可用最小二乘法拟合为直线,然后进行计算(参看附录I)。数据运算的有效数位数要依据机器、仪表的测量精度来确定。有效数后面的第一位数的进位规则及力学性能测试结果的修约实例,见附录II。最后,要求写出实验报告,并对实验结果进行分析。作为示例,本书中有几个试验记录和报告可供参考。其余实验的报告则要求读者自行设计。

第二章 材料的力学性能测定

§2.1 液压式万能材料试验机

测定材料的力学性能的主要设备是材料试验机。常用的材料试验机有拉力试验机、压力试验机、扭转试验机、冲击试验机、疲劳试验机等。能兼作拉伸、压缩、弯曲等多种实验的试验机称为万能材料试验机,或简称为万能机。供静力实验用的万能材料试验机有液压式、机械式、电子机械式等类型。下面将着重介绍液压式、屏显液压式和微机控制电子万能材料试验机。

为介绍液压式万能材料试验机,现以国产 WE 系列为例。图 2.1 为这一系列中最常见的 WE-100 A,300,600 试验机,其结构简图如图 2.2 所示。现分别介绍其加载系统和测力系统。

一、加载系统

在底座 1 上由两根固定立柱 2 和固定横梁 3 组成承载框架。工作油缸 4 固定于框架上。在工作油缸的活塞 5 上,支承着由上横梁 6、活动立柱 7 和活动平台 8 组成的活动框架。当油泵 16 开动时,油液通过送油阀 17,经送油管 18 进入工作油缸,把活塞 5 连同活动平台 8 一同顶起。这样,如把试样安装于上夹头 9 和下夹头 12 之间,由于下夹头固定,上夹头随活动平台上升,试样将受到拉伸。若把试样置放于两个承压垫板 11 之间,或将受弯试样置放于两个弯曲支座 10 上,则因固定横梁不动而活动平台上升,试样将分别受到压缩或弯曲。此外,实验开始前如欲调整上、下夹头之间的距离,则可开动电机 14,驱动螺杆 13,便可使下夹头 12 上升或下降。但电机 14 不能用来给试样施加拉力。

二、测力系统

加载时,开动油泵电机,打开送油阀 17,油泵把油液送入工作油缸 4 顶起工作活塞 5 给试样加载;同时,油液经回油管 19 及测力油管 21(这时回油阀 20 是关闭的,油液不能流回油箱 37),进入测力油缸 22,压迫测力活塞 23,使它带动拉杆 24 向下移动,从而迫使摆杆 26 和摆锤 25 联同推杆 27 绕支点偏转。推杆偏转时,推动齿杆 28 作水平移动,于是驱动示力盘的指针齿轮,使示力指针 29

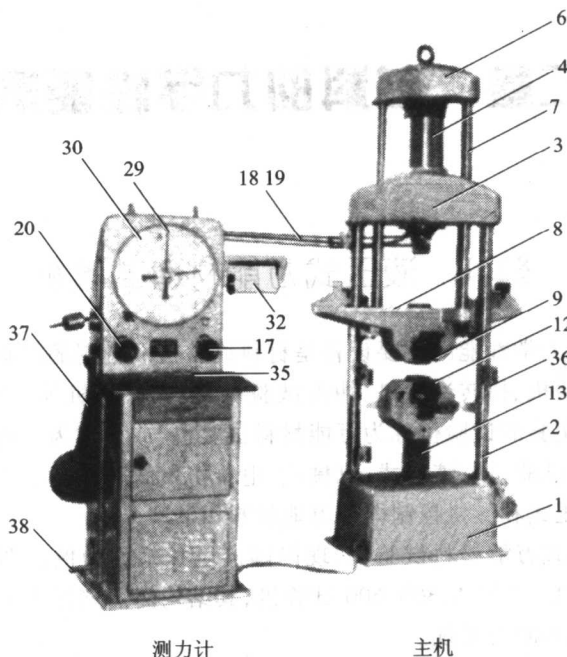


图 2. 1

1—底座;2—固定立柱;3—固定横梁;4—工作油缸;6—上横梁;7—活动立柱;8—活动平台;9—上夹头;12—下夹头;13—螺杆;17—送油阀;18, 19—油管;20—回油阀;29—示力指针;30—示力度盘;32—滚筒;35—油泵电机开关;36—下夹头升降按钮;37—油箱;38—放油阀

绕示力度盘 30 的中心旋转。示力指针旋转的角度与测力油缸活塞上的总压力(即拉杆 24 所受拉力)成正比。因为测力油缸和工作油缸中油压压强相同,两个油缸活塞上的总压力成正比(活塞面积之比)。这样,示力指针的转角便与工作油缸活塞上的总压力,亦即试样所受载荷成正比。经过标定便可使指针在示力度盘上直接指示载荷的大小。

试验机一般配有重量不同的摆锤,可供选择。对重量不同的摆锤,使示力指针转同样的转角,所需油压并不相同,即载荷并不相同。所以,示力度盘上由刻度表示的测力范围应与摆锤的重量相匹配。以 WE-300 试验机为例,它配有 A, B, C 三种摆锤。摆锤 A 对应的测力范围为 0 ~ 60 kN, A + B 对应 0 ~ 150 kN, A + B + C 对应 0 ~ 300 kN。

开动油泵电机,送油阀开启的大小可以调节油液进入工作油缸的快慢,因而可用以控制增加载荷的速度。开启回油阀 20,可使工作油缸中的油液经回油管 19 泄回油箱 37,从而卸减试样所受载荷。

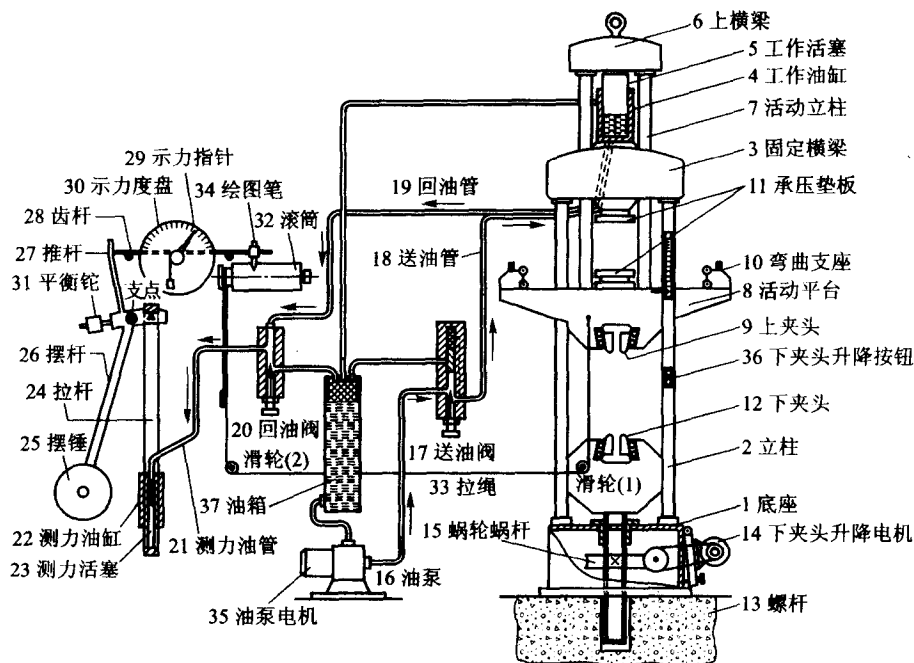


图 2.2

实验开始前,为消除活动框架等的自重影响,应开动油泵送油,将活动平台略微升高。然后调节测力部分的平衡砣 31,使摆杆 26 保持垂直位置,并使示力指针指在零点。

试验机上一般还有自动绘图装置。它的工作原理是,活动平台上升时,由绕过滑轮(1)和(2)的拉绳 33 带动滚筒 32 绕轴线转动,在滚筒圆柱面上构成沿周线表示位移的坐标;同时,齿杆 28 的移动构成沿滚筒轴线表示载荷的坐标。这样,实验时绘图笔 34 在滚筒上就可自动绘出载荷-位移曲线。当然,这只是一条定性曲线,不是很准确的。

三、操作规程及注意事项

1. 根据试样尺寸和材料,估计最大载荷,选定相应的示力度盘和摆锤重量。需要自动绘图时,事先应将滚筒上的纸和笔装妥。

2. 先关闭送油阀及回油阀,再开动油泵电机。待油泵工作正常后,开启送油阀将活动平台升高约 1 cm,以消除其自重。然后关闭送油阀,调整示力度盘指针使它指在零点。

3. 安装拉伸试样时,可开动下夹头升降电机以调整下夹头位置,但不能用

下夹头升降电机给试样加载。

4. 缓慢开启送油阀,给试样平稳加载。应避免油阀开启过大进油太快。实验进行中,注意不要触动摆杆或摆锤。

5. 实验完毕,关闭送油阀,停止油泵工作。破坏性实验先取下试样,再缓缓打开回油阀将油液放回油箱。非破坏性实验,自然应先开回油阀卸载,才能取下试样。

§2.2 微机屏显式液压万能材料试验机

在材料力学性能测试中,利用现代传感技术和计算机控制、检测、数据处理自动化,是实验技术发展的方向。下面介绍的 WEW 系列微机屏显式液压万能材料试验机,即是传统液压技术和现代检测技术结合的产品。它有下列几方面的优点:(1) 传感器测力精度高,有效量程覆盖范围比普通液压万能机宽;(2) 可准确绘制试验力-变形曲线;(3) 利用计算机的存贮和数据处理功能,可存贮大量试验数据,建立档案,并直接打印输出试验曲线及试验结果;(4) 有试验速率“指针”显示试验加载速度,避免人为的不规范操作。现以 WEW-300,600,1000 机型为例,介绍其硬件配置、检测原理和使用方法。

WEW 试验机主机结构、控制柜(含油箱、油泵、送油阀、回油阀等)和 §2.1 中的普通液压万能机一样。图 2.3 是保留有示力度盘的一种,一旦自动检测系统出故障,可以作为普通液压万能机使用。其电路框图见图 2.4(系统中加入虚线框中控制单元则成为微机控制液压万能材料试验机,在此不作介绍)。

一、试验系统的硬件配置和检测原理

用于检测载荷信号的压力传感器安装于回油管路上;在活动平台与下夹头之间(或上横梁与固定横梁之间),安装可随活动平台升降而转动的光电编码器用以检测上下夹头之间的位移信号;测量试样伸长变形用应变式引伸计。它们分别把载荷信号、位移信号及变形信号等机械量转变为电信号。经过插于微机内的测量放大器(含 A/D 转换及脉冲计数功能)采样进入微机,最后实现全数字化的载荷、位移或变形的面板显示,并自动绘制试验力-变形或位移曲线。

二、操作系统及数据处理软件功能

以 Windows 操作系统为工作平台的数据处理软件,具有自动、手动量程切换,调节参数自动存储、自动记忆、自动处理数据功能,以及存贮试验结果、打印试验曲线、生成结果报表等功能。

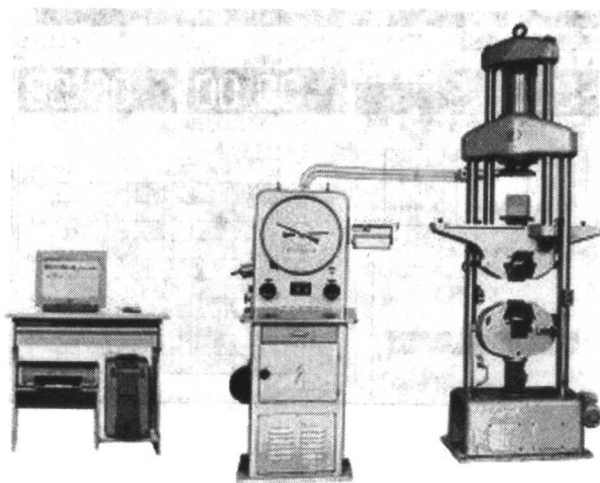


图 2.3

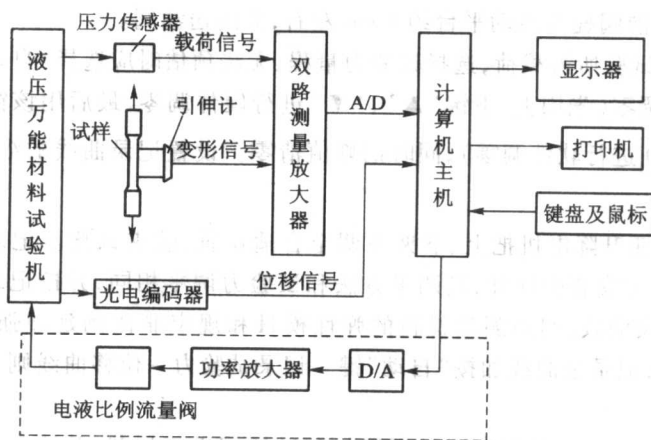


图 2.4

三、试验操作要点

微机屏显式液压万能机不同生产厂的操作界面及软件功能不尽相同,但操作步骤基本是一致的。图 2.5 所示为一种用户界面,供参考。

1. 根据试验目的,更换合适的夹具,检查送油阀、回油阀,使之呈关闭状态。

2. 打开计算机,在 Windows 桌面下,使进入 WEW 主功能界面,按“试验操

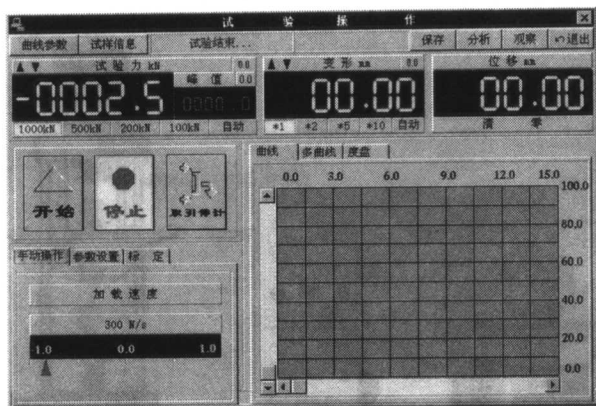


图 2.5

作”并选择记录试验力-变形或试验力-位移(活动平台位移)方式,进入试验操作界面(见图 2.5)。输入试样信息(横截面尺寸等)。打开控制柜电源、启动油泵、打开送油阀提升活动平台约 1 cm 左右,关闭送油阀。

3. 根据试验所需载荷,选择试验力量程,无法预估时应选择“自动”量程,并把力显示器调零(先用上、下键‘▲’、‘▼’进行硬件调零,最后用该窗口右上方的小方框 0.0 进行软件调零),同时把峰值清零。设置记录曲线的纵、横坐标参数。

4. 用快速升降电机把上、下夹头调至合适位置,装夹试样。记录试验力-变形曲线时,需安装引伸计,其调零方法和试验力调零相同,并按记录的分辨率要求选择放大倍数,例如测量材料的弹性模量和规定非比例延伸强度时,应选“*10”一挡;记录全曲线加按“自动”键。记录试验力-位移曲线则直接把位移“清零”。

5. 试验 按“开始”试验键,缓慢打开送油阀进行加载,并注意加载速度框下的“▲”指针,使处于合适的加载速度位置。当引伸计记录任务完成后,可按“取引伸计”键,取下引伸计,曲线记录将自动转到记录试验力-位移方式。

6. 试样破坏后的处理和普通液压万能机相同,记录自动“停止”,峰值显示最大试验力。

7. 试验数据分析、数据保存,打印曲线及报表等操作与 § 2.3 节将要介绍的电子万能材料试验机相同,这里不作重复介绍。

8. 关机过程 “退出”试验操作界面→停止油泵工作→切断控制柜电源→关闭计算机。

§2.3 电子万能材料试验机

电子万能材料试验机是现代电子测量、控制技术与精密机械传动相结合的新型试验机。它对载荷、变形、位移的测量和控制有较高的精度和灵敏度。与计算机联机还可实现试验进程模式控制、检测和数据处理自动化,并有低周载荷循环、变形循环、位移循环的功能。

国产电子万能材料试验机以 WDW 系列为代表,不同厂家生产的主机结构、信号转换元件配置、传动系统、检测控制原理基本相同,唯软件功能和操作系统有一些差异。下面介绍的 WDW-100,200 型电子万能机,其软件“WDW”是基于 Windows 操作平台设计,用户界面呈现与 Windows 风格一致的中文窗口系统,掌握和使用都比较方便。

一、加载控制系统

图 2.6 是 WDW-100 外形,图 2.7 是其主机结构、检测、控制系统原理示意图。在加载系统中,由上横梁、四根导向立柱和工作平台组成门式框架。活动横梁把门式框架分成拉、压(或弯)两个试验空间,拉伸夹具安装在活动横梁与工作平台之间,压缩和弯曲辅具则安装在活动横梁与上横梁之间。活动横梁由滚珠丝杠副驱动。根据试验要求控制系统得到控制信号,经调速系统放大后驱动伺服电机带动传动系统及滚珠丝杠转动,使活动横梁作上升或下降运动,从而实现对试样的加载。

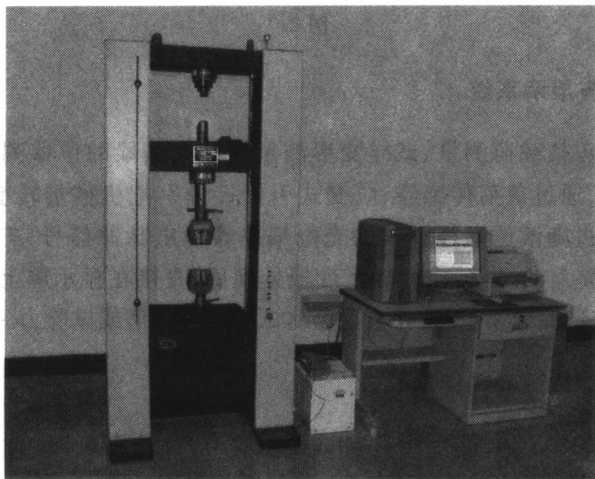


图 2.6