

力学实验

主 编 杨耀锋

 科学出版社

力学实验

主 编 杨耀锋

参 编 王永生 郭雅云 陈诚诚

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据工科院校(土木、机械、金属等专业)材料力学实验教学大纲编写而成的,是一本以介绍材料力学、工程力学、建筑力学实验为主的实验指导书,同时结合土建工程实际,介绍了部分常用的材料性能参数和结构内力测试方法。书中介绍的测试方法采用了最新的国家标准。本书共分5章,第1章为材料力学测试设备和仪器,第2章为材料力学性能实验,第3章为电测应力实验,第4章为光测应力实验,第5章为选做实验。

本书可作为工科院校相关专业学生材料力学、工程力学、建筑力学实验等课程的教学指导书,也可作为从事工程结构及材料力学性能测试领域技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

力学实验 / 杨耀锋主编. —北京: 科学出版社, 2014.6

ISBN 978-7-03-040859-4

I. ①力… II. ①杨… III. ①力学-实验-高等学校-教学参考资料
IV. ①O3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 117946 号

责任编辑: 邓静 张丽花 / 责任校对: 彭立军

责任印制: 闫磊 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中新伟业印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2014 年 6 月第一次印刷 印张: 9.1/2

字数: 191 000

定价: 25.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

材料力学是研究结构构件承载能力和变形的一门基础学科。在工程结构或机械设备的各组成部分中，如建筑物的梁和柱、机床的传动轴等，统称为构件。构件一般由固体材料制成。在工程结构或机械设备工作时，如建筑物的梁和柱除受本身自重和其他物体自重作用外，还受到结构传递的风力、地震、人流、雨、雪等动荷载的作用。构件受到组合荷载作用时，要具有抵抗破坏的能力，但这种能力与构件的材料、几何尺寸有关，且是有限度的。如何达到既满足使用安全，又经济实惠、效果最优，就是这门学科研究的主要任务。在理论研究过程中，需要与实验紧密配合。材料力学的许多理论模型和公式是建立在将真实材料、实际结构理想化的基础上的，因此这些结论和公式是否正确，只有通过实验验证才能判定，而理论分析模型的建立也常常需借助实验来获得。在进行结构设计时，需要使用物体构件的强度、刚度和稳定性等力学性能参数，而这些参数只能由材料力学实验来测定。

在实际工程结构中，有些结构物体的几何形状、荷载和约束条件非常复杂，只有借助于实验应力分析的方法加以实验研究才能得到各杆件的实际受力情况。

随着科学的发展，测试技术的不断更新，先后出现了电阻应变（应力）测量法、光测应力法和无损检测法等，同时各种实用高精度传感器的应用、实验数据的自动采集及处理方法的不断更新和提高，使得力学实验的结果更加科学和准确，为工程结构的理论设计奠定了坚实的基础。

通过对这门课程的学习，要求学生掌握材料力学实验的基本原理和方法，这对于培养学生进行科学研究的能力、认真严肃的工作态度、分析问题和解决问题的能力都具有十分重要的意义。

全书由杨耀锋担任主编，杨耀锋编写第1、2、5章及3.1节、3.3节、3.5节、3.8~3.10节，王永生编写第4章，郭雅云编写3.2节、3.4节，陈诚诚编写3.6节、3.7节、3.11节，并负责校对和绘制了大部分和图表。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2014年3月

目 录

前言

实验须知	1
大学力学实验报告书写规范	2
第 1 章 材料力学测试设备和仪器	3
1.1 电子万能试验机	3
1.2 微机屏显液压万能材料试验机	8
1.3 微机数控扭转试验机	13
1.4 机械式扭转试验机	16
1.5 NJ-100B 型扭转试验机	17
1.6 游标卡尺	19
1.7 千分表	22
1.8 球铰式引伸仪	23
1.9 电子引伸计及其应用	24
1.10 电阻应变仪及其应用	25
1.11 测力仪及其应用	29
1.12 数码光弹仪的应用	29
1.13 螺栓扭转试验机及其应用	31
1.14 高频疲劳试验机及其应用	33
第 2 章 材料力学性能实验	44
2.1 概述	44
2.2 压缩实验	44
2.3 拉伸实验	48
2.4 拉伸弹性模量的测定实验	53
2.5 扭转实验	54
2.6 剪切弹性模量的测定实验	58
2.7 规定非比例伸长应力的测定实验	61

第3章 电测应力实验	64
3.1 电阻应变片的粘贴技术	64
3.2 电阻应变片在电桥中的接法(一)	68
3.3 电阻应变片在电桥中的接法(二)	70
3.4 梁弯曲正应力电测实验	72
3.5 弯扭组合变形时的主应力测定	75
3.6 组合梁(叠梁)应力测定实验	80
3.7 复合梁应力测定实验	84
3.8 电阻应变片灵敏度系数的测定(一)	89
3.9 电阻应变片灵敏度系数的测定(二)	92
3.10 电阻应变片横向效应系数的测定	94
3.11 工程桁架结构内力测定实验	96
第4章 光测力学实验	100
4.1 光弹性仪及应力光学效应	100
4.2 光弹性材料条纹值和应力集中系数的测定	104
4.3 平面光弹性实验	106
4.4 激光全息干涉法测量静位移实验	109
4.5 激光全息干涉法测量动位移实验	110
4.6 激光间接散斑法实验	112
4.7 激光直接散斑法实验	114
4.8 云纹法测量应变实验	116
4.9 影像云纹法测量变形实验	117
第5章 选做实验	119
5.1 冲击实验	119
5.2 偏心拉伸实验(一)	122
5.3 偏心拉伸实验(二)	124
5.4 材料的横向变形系数测定	126
5.5 压杆稳定临界力测定	128
5.6 疲劳实验	131
5.7 等强度梁实验	134

5.8 位移互等定理验证	135
5.9 锚固力拉拔实验	136
附录 钢材力学及工艺性能实验取样规定	139
参考文献	144

实验须知

(1) 在实验前，应认真预习与本次实验有关的内容，明确实验目的、要求、原理及所使用机器的构造原理，写出实验预习报告，做好实验准备工作。进入实验室时应带上计算器、铅笔、钢笔（或圆珠笔、中性笔）、三角板和橡皮，以便在实验中使用。

(2) 按时进入实验室，实验进行过程中不得谈论与实验无关的话题，不得擅自离开；爱护实验室设备和仪器；认真阅读实验室安全制度和仪器设备使用操作规程，确保实验过程中的人身安全。

(3) 实验准备就绪后，请教师检查认可后方能进行实验。实验分组进行，在实验过程中应认真观察、记录实验数据；相互配合完成实验内容，注意从仪器上读取测试数据的单位要和实验报告中要求的计算单位相一致。

(4) 实验结束后，所测得的实验数据、原始记录经指导教师检查签字认可后，将实验装置恢复原状，布置整齐，打扫室内卫生后方可离开。

(5) 力学实验报告应认真独立完成，要坚持实事求是的科学态度，如实记录实验数据，不得抄袭，按教师规定的时间由班学委统一收齐，并附一份实验人员成绩空表交到力学实验中心办公室，实验成绩在该门理论课中占一定的比例。

(6) 力学实验室在规定时间开放，同学们根据自己的实际情况可选做规定的实验项目，或自选力学实验项目到实验室进行预约登记，实验室根据具体情况给以合理安排。

大学力学实验报告书写规范

实验报告是实验者交出的实验成果，是对本次实验的总结。为了使养成认真、严谨、求实的工作作风，特制订本规范，希望学生严格按本规范要求撰写实验报告。实验报告包含下列内容：

(1) 实验名称、实验日期、实验者及同组人员的姓名。

(2) 实验目的：实验装置应画出简图，使用机器和仪表的名称、型号、精度、量程等。

(3) 实验原理：简要说明本实验所依据的原理、公式、方法及其他主要仪器描述。

(4) 实验步骤：按实验过程的先后顺序写出主要步骤，对于加载方案要有计算过程。

(5) 试件尺寸：在表格中填写实验前后所测得的实际数值。

(6) 实验结果及分析：在实验中将记录的原始数据利用有关力学公式进行加工分析处理。必须用圆珠笔、中性笔或钢笔书写整齐，数据必须使用国标单位，要注意仪器的精度和有效数字。一般情况下，仪器的最小刻度代表仪器的精度，在多次测量同一物理量时，可取测量结果的算术平均值作为该物理量的具体值。在实验中，一般可保留小数点后两位有效数字。在计算中所用到的公式必须明确列出，并理解公式各符号所代表的意义。

(7) 误差分析：实验报告的最后部分应对实验结果进行分析、总结，并简要回答思考题。

第 1 章 材料力学测试设备和仪器

1.1 电子万能试验机

材料试验机是对试件或模型施加荷载的专用设备。试验机按施加荷载的性质可分为静载试验机和动载试验机。按施加荷载的形式又可分为拉力、压力、扭转等试验机。如果一台试验机可以兼做拉力、压力、弯曲等多种实验，则称为万能材料试验机。如果试验机具有闭环控制系统和实验数据的自动采集、分析处理、显示及输出功能则称为电子万能试验机。

1.1.1 主机构造原理

电子万能试验机主机主要由负荷机架、传动系统、夹持系统与位置保护装置组成。负荷机架由四立柱支承上横梁与工作台板构成门式框架，两丝杠穿过动横梁两端并安装在上横梁与工作台板之间。工作台板由两个支脚支承在底板上，且机械传动减速器也固定在工作台板上。工作时，伺服电动机驱动机械传动减速器，进而带动丝杠转动，驱使中间动横梁上下移动。实验过程中，力在门式负荷框架内得到平衡。电子万能试验机（图 1-1）的传动丝杠是采用带有消除结构的滚珠丝杠，负荷传感器安装在动横梁上，万向联轴器及一只拉伸夹具安装在负荷传感器上，另一只夹具安装在上横梁上。当做压缩或弯曲等实验时在下空间进行，当做拉伸实验在上空间进行。安装好试件后，通过主控计算机启动横梁驱动系统及测量系统即可完成全部实验。

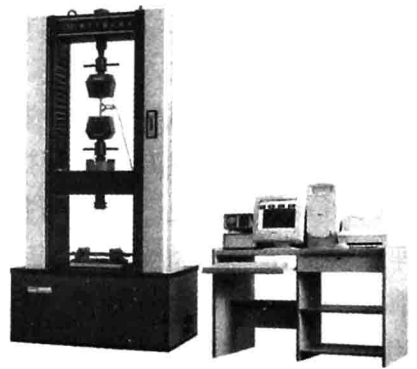


图 1-1 电子万能试验机

1.1.2 长春试验机研究院电子万能试验机操作方法

（1）启动计算机，接通放大器电源，双击计算机桌面上“TextExpert (NENET)”图标，单击“登录”按钮进入试验机启动联机界面。默认密码为空，进入“试验操作”界面后单击“联机”按钮进行联机。联机成功“启动”按钮变成绿色，如图 1-2 所示。

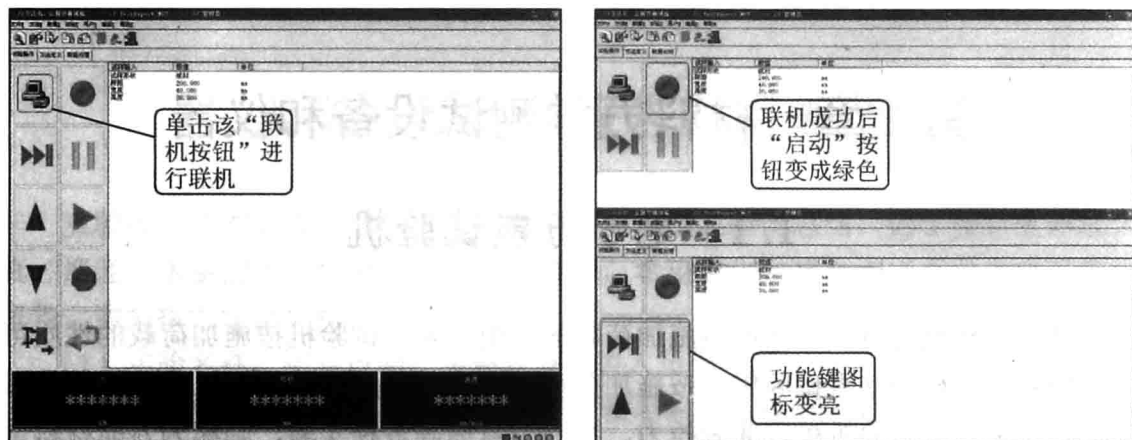


图 1-2 试验机启动联机界面

(2) 单击“启动”按钮后，功能键图标变亮，这时就可以用手控盒控制横梁进行上、下移动，调节下横梁到合适位置，安装好试件。如果是压缩实验，将横梁和试件的缝隙调到 1mm 左右即可。

(3) 实验方法设置：单击“方法”按钮，弹出下拉菜单。其中包含有机器出厂时已经设置好的一些实验方法，单击其选项可以快速选取对应的实验方法，如拉伸实验或压缩实验等。

(4) 单击“方法定义”按钮进入“方法定义”主界面。它包含 3 个子菜单，分别是“基本设置”、“设备及通道”、“控制与采集”。这里只对直径进行修改，通过直径右边的编辑，输入该实验试件最小直径后确认。

(5) 单击“试验操作”按钮回到试验机启动联机界面，对下面的力、位移、变形数字清零，清零方法是将指针移到力数字上右击，然后左键清零，其他清零相同。

(6) 单击绿色三角符号按钮即开始实验，观察实验过程及曲线，如果是拉伸测弹性模量 E 实验，实验前应将电子引伸计安装在拉伸试件的工作段，之后拔下限位销，如果屏幕下方变形数字有变动表示电子引伸计已连接好。电子引伸计的标距是 50mm，试件直径一般是 10mm 左右，屏幕上应显示力-变形曲线，力从 2kN 到 16kN 每增加 2kN 力时读一次电子引伸计的变形数，两者读数要同步。读完最后一次数后，检查变形读数增量是否基本相等，如果基本相等即验证了力和变形呈线性关系，否则单击红色“停止实验”按钮。单击活动横梁上升按钮，以缓慢速度将力卸载到 0N，按上述步骤重新进行拉伸测弹性模量 E 实验。当力值上升到 16kN 时，单击“引伸计”图标，变形通道采集将停止工作，从试件上取下电子引伸计继续实验，将试件拉断后单击“停止实验”按钮，取下试件，读取实验屈服力和破坏力值数据。如果是铸铁压缩实验，到达最大力后听到破坏声音或荷载下降到 80% 即可单击“停止实验”按钮，取下试件，读取实验数据并进行实验结果分析。

(7) 实验结果打印设置:

① 单击“数据处理”按钮进入数据处理界面,该界面显示保存在本机的所有实验数据,可以随时调阅查看和打印实验曲线。界面右侧是查询功能区,如果实验数据很多,可以使用查询功能来快速查找需要的实验数据,如图1-3所示。选择想要打印的实验数据,双击实验数据,这时显示实验曲线。

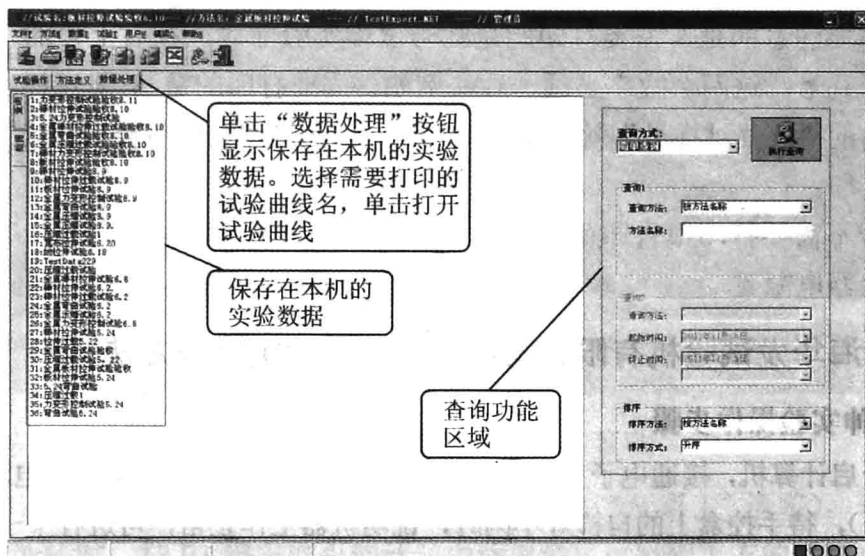


图 1-3 查询实验数据及处理界面

② 再单击“方法定义”按钮进入方法定义界面,选择“编辑打印文档”和“设置报告标题”这两个菜单命令进行文档和标题的编辑。

编辑打印文档:单击“方法定义”按钮进入基本设置界面,选择“编辑打印文档”命令,弹出“设置打印文档”对话框,在这里可以设置需打印文档的“文档标题”与“文档内容”。

添加用户自定义文档:在“设置打印文档”对话框中单击“添加用户自定义文档”按钮会弹出“输入用户自定义文档”对话框,输入相应的文档标题即可,如实验员、实验材料、实验日期等,自定义文档完成后显示在“可选文档标题”栏,双击该文档可以快速选取。选取的文档标题显示在“已选文档标题”栏。

输入文档内容:在“设置打印文档”对话框中单击“输入文档内容”按钮会弹出文档内容输入栏,在这里可以输入“已选文档标题”的内容,如实验员为“小王”,实验材料为“低碳钢”,实验日期为“2013年10月5日”等。

设置报告标题:单击“方法定义”按钮进入基本设置界面,单击“设置报告标题”按钮会弹出“输入标题内容”对话框。在这里可以自定义报告标题文档内容。

完成以上操作后单击“保存方法”按钮,这时所设置的打印文档方法将被保存,方便下次继续使用该格式打印。

③ 再次单击“数据处理”按钮，进入数据处理界面，在界面中单击“打印”按钮。

进入打印界面后单击“打印预览”按钮可进行打印预览，目的是查看即将打印的报告文档是否输入正确。如发现输入有误则按照以上步骤重新修改，确认无误后单击“打印”按钮进行打印。

这里需要注意的是，需要打印的是几号试样实验曲线，在右上角的“选择试样号”就选择几号，这两个数字必须一致。例如，需要打印的是 5 号试样实验曲线，那么右上角的“选择试样号”就必须选择“5”，否则打印文档将会按默认的 1 号试样实验曲线打印。

(8) 若不需要打印报告即可进行下一个实验，如果实验全部完成，退出实验程序，关掉仪器电源。

1.1.3 上海华龙试验机有限公司电子万能试验机操作方法

1. 拉伸实验操作步骤

(1) 开启计算机，接通电子万能试验机主机电源（在主机的右下方将电源开关顺时针旋转 90° ），待手控盒上的自检灯不闪时，说明机器工作正常，可进行下一步操作。

(2) 在计算机桌面上单击“Textworld”图标，选择弹出窗口中相应实验选项进行“加载”；然后单击界面右侧的“启动”按钮，听到咔嚓联机声后可用手动调控盒或在界面设定横梁的移动速度，将横梁移动到合适位置停止，以便安装实验试件。

(3) 将拉伸试件夹持部位插入下夹头并加紧，打开上夹头到最大位置，缓慢向下移动横梁，使试件上夹持部位进入夹头 $3/4$ ，或到合适位置停止下降并夹紧试件，将“负荷”清零，如测弹性模量 E 时，将电子引伸计用皮筋绑夹在试件工作部位上，之后拔下限位销。该机的拉伸空间在下方，压缩空间在上方。

(4) 单击桌面上的“试样”按钮，在“形状”、“批次选项”文本框中输入相应的试件数量、直径后，按 Enter 键确认。

(5) 单击“图形”，Y 轴选 kN，X 轴选变形或位移。

(6) 在屏幕右下方“文件存储名”文本框输入相应文件名后按 Enter 键。

(7) 单击“控制”按钮设置实验控制方式，如图 1-4 所示，“控制指令类型”栏一般实验设两个及以上，前一个控制指令一般设为“定位移动控制”， 5mm/min 的速度及以下，“目标值”栏根据情况而定，可以是弹性段最大力值（如 20kN ），也可以是应变（如 1% ），设置“到达目标后”栏为“继续实验”，最后一个控制必须设置为“定向移动控制”，“到达目标后”栏空，而“破坏结束”栏为“判断破坏”。

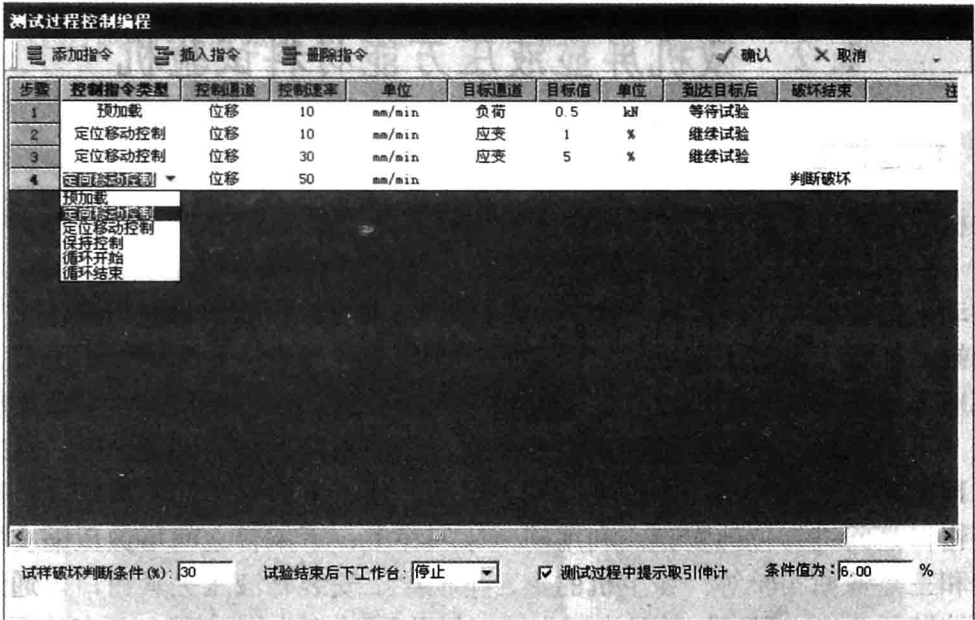


图 1-4 “测试过程控制编程”窗口

(8) 单击“测试”按钮（测弹性模量 E 时，先将“变形 1”清零），开始实验，当力达到 20kN 时，按 F3 键来取引伸计。中途要停机可单击上方的“终止”按钮，实验结束。

(9) 单击“分析”按钮即可看到实验结果，也可手工进行其他特征值分析。

2. 压缩实验操作步骤

(1) 在计算机桌面上单击“Textworld”图标，选择弹出窗口中相应的压缩实验选项进行“加载”，然后单击“启动”按钮。

(2) 将压缩试件放置于实验台两个保护垫块中间，将“负荷”清零。

(3) 单击“试台移动”按钮，在子菜单中选择相应选项或手动调节控制器调整实验台位置，保证试件上保护垫块与试台接触面留有 1mm 的距离。

(4) 单击“试样”按钮，在“批次选项”中输入相对应的试件数量后按 Enter 键，输入对应试件相关直径参数后确认。

(5) 在“文件存储名”文本框中输入相应文件名后按 Enter 键。

(6) 单击“测试”按钮，开始实验。试验机按照给定的程序进行直到试件破坏时停止。

(7) 单击“分析”按钮即可看到实验结果，也可手工进行其他特征值分析。

注意：做压缩实验时一定要装上防护罩，以免试件受力破坏时飞出伤人。听到破坏声时应立即停止。

1.2 微机屏显液压万能材料试验机

1.2.1 构造原理

微机屏显液压万能材料试验机由主机加载部分（图 1-5 右边部分）、油源控制部分（图 1-5 中间部分）和计算机测量系统组成。试验机采用手动油门加（卸）载，计算机自动采集数据和处理数据，系统组成如图 1-5 所示。在试验机主机底座上安装有工作油缸，活动平台与上横梁通过两个固定光圆立柱组成一个刚体加力框架，在试验机底座上安装有滚珠活动丝杠，电动机带动滚珠活动丝杠转动时，可使下横梁产生向上（下）位移，空载时可调整实验空间，当油泵向工作油缸进油时，活塞向上运动，顶起活动平台（及加力框架）向上运动，使上下横梁之间距离增大，即可在上、下钳口之间进行拉伸实验。利用同一原理在上、下承台之间可做压缩实验、剪切实验和三点弯曲实验等。在主机的主、下横梁上安装有液压夹紧钳口，通过控制盒上的按键开关来实现试样的“夹紧”或“松开”，此动作的实现必须在油泵工作的前提下进行。油压力传感器安装在回油阀体上，若用复合传感器则装在活塞顶上，用来实现对实验力值的测量。光电编码器装在主机机座上，用来测量活动平台位移。变形传感器是用来精确测量试件标距内伸长的装置（在拉伸弹性阶段内测弹性模量 E 用）。用皮筋或弹簧夹将变形传感器固定在拉伸试件的工作段上，3 个传感器分别将力、位移和试件变形转换成电信号，经放大器放大和 A/D 转换后在微机屏幕上有 3 个窗口显示出负荷、位移和变形的值，可选择显示为各种实时曲线。实验结束后可对实验数据进行分析 and 计算，并对实验结果进行保存和输出等。

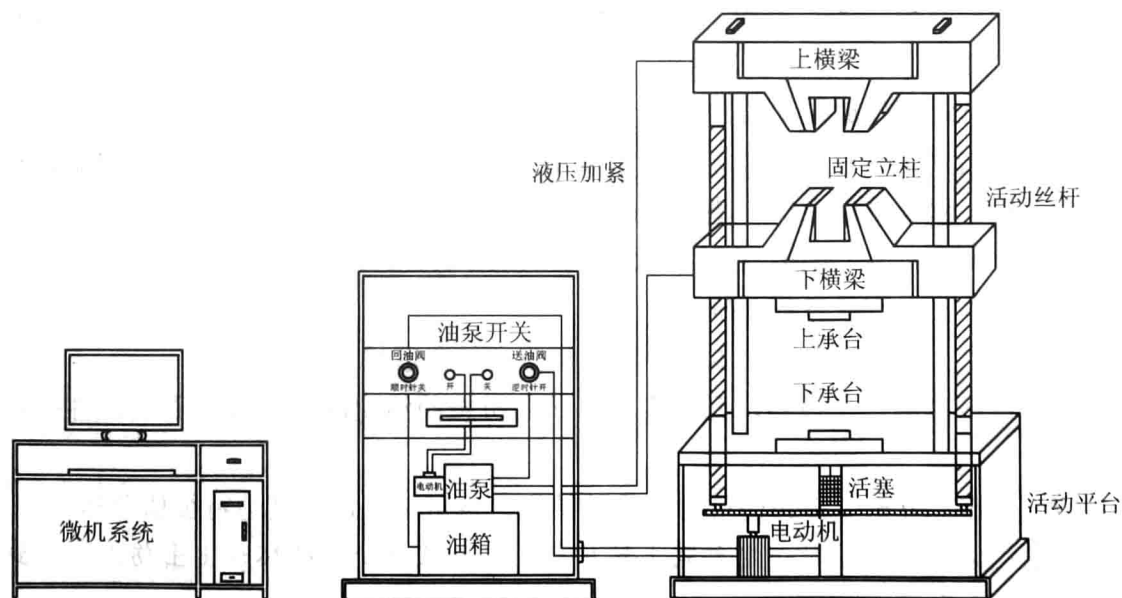


图 1-5 实验系统组成

1.2.2 红山试验机有限公司 WEW 型机器操作方法

(1) 测量试件尺寸。

(2) 接通计算机电源，单击“Max Test 主程序”图标，即进入实验程序界面，如图 1-6 所示。

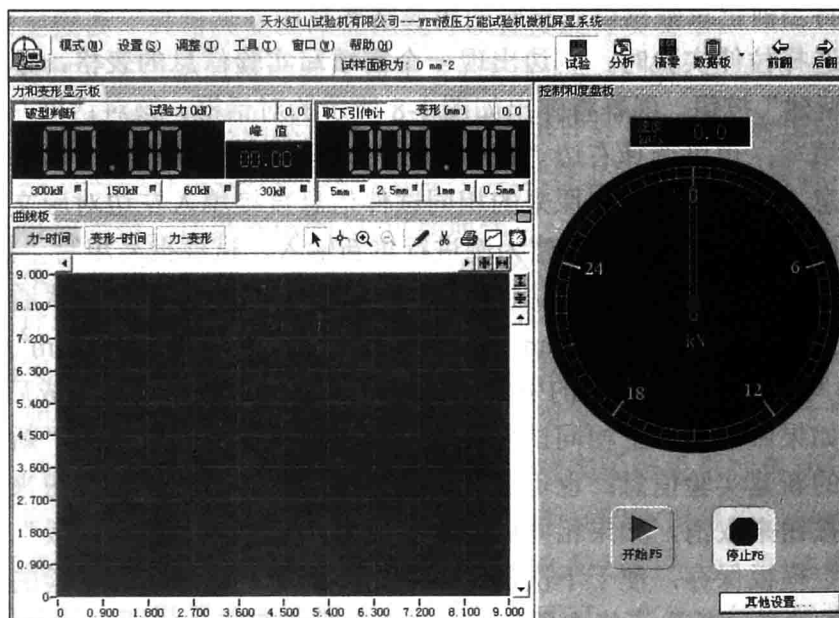


图 1-6 实验程序界面

(3) 关闭送、回油阀手轮，启动试验机主机油泵，缓慢打开送油阀使活动平台上升 5mm 左右时关闭送油阀，通过手控盒使下横梁移动调整好拉伸（或压缩）空间，安装好试件。

(4) 计算机界面操作：单击“数据板”右边实验标准按钮“▼”，屏幕将出现“金属材料室温拉伸实验(GB/T 228.1—2010)”、“金属材料室温压缩试验方法(GB/T 7314—2005)”、“金属材料弯曲实验 (GB/T 232—2010)”、“钢筋拉伸实验 (建工版)”等信息，根据自己所做的实验内容选择相应选项后，屏幕右侧将出现数据板工具栏，如图 1-7 所示。



图 1-7 数据板工具栏

图 1-7 中从左到右符号的功能如下。

新建：调出新建试样信息窗口，这是实验开始的第一步。

打开：调出历史数据。

保存为数据库格式: 以数据库格式保存测试曲线或者保存用户对数据的任何改动。

保存为文件格式: 以文本文件格式保存测试曲线或者保存用户对数据的任何改动。

删除当前记录: 删除当前这条数据, 删除的数据都无法恢复, 需慎重操作。

删除全部打开的数据: 将数据板上显示的所有数据全部删除, 删除的数据都无法恢复, 需慎重操作。

打印: 将当前记录数据以设置好的报表格式打印。

例如, 选择拉伸实验时, 右边出现一个需填写实验信息的表格, 单击数据板工具栏上的“新建”按钮, 屏幕将弹出如图 1-8 所示的对话框, 该对话框左边可根据实验内容逐行填写; 也可选择右边“试件模板”栏已做过并保存到“试件模板栏”的相同试件信息, 计算机自动将原来的相同试件信息直接填入左边对应文本框内, 个别信息行也可进行修改。现以新建为例进行重新输入, 试件批号填写“拉伸实验”; 试件编号填写“1-1”; 实验日期自动生成; 实验人填写学生名; 试件形状通过单击“▼”按钮进行选择, 如圆材; 尺寸(mm)根据实际测量结果填写; S_0 (mm^2) 自动生成; L_0 (mm) 填写测变形时所使用的引伸计的标距, 为 50。数据填写完成后, 单击“新建”按钮, 如果出现成批的新建实验信息; 也可进行个别修改后单击“确定”按钮来确认, 或单击“取消”按钮来取消。如果相同内容实验较多, 可单击“保存模板”按钮, 将该信息作为固定模板保存, 便于下次使用。单击“确定”按钮后, 实验的信息就已输入到开始时的“数据板”表格内了。

新建

试件批号

拉伸实验

试件编号

试验日期

2012-10-17

试验人

试件形状

圆材

尺寸 (mm)

9.87

S_0 (mm^2)

76.51

L_0 (mm)

50

试件模板

3点弯曲试验

板料拉伸

板料拉伸实验

拉伸实验

保存模板 (S)

删除模板 (D)

新建

成批新建

删除

序号	试件批号	试件编号	试验日期	试验人	试件形状	尺寸 (mm)	S_0 (mm^2)
1	拉伸实验		012-10-17		圆材	9.87	76.5

☐ 将新建的记录添加到当前记录集的后面

确定

取消

图 1-8 实验信息表