



“十二五” 高等教育实验实践教学系列规划教材

工程力学实验

GONGCHENG LIXUE SHIYAN

主 编 张亦良

副主编 张 伟 叶红玲

北京工业大学出版社

“十二五”高等教育实验实践教学系列规划教材

工 程 力 学 实 验

主 编 张亦良

副主编 张 伟 叶红玲

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书包含了理论力学及材料力学的实验内容,注重培养学生自主创新能力。全书采用模块化方式,分为基本实验、综合设计实验、研究创新实验及简单的数值计算基础。

全书共分为7章。第1章为绪论;第2章为力学实验的基本设备及测试原理;第3章为力学基本实验;第4章为综合设计型实验;第5章为研究创新型实验;第6章为实验数据处理与误差分析基本理论;第7章介绍了ANSYS计算分析的基本方法。在附录中列举了学生在研究创新实验中的自选题目及典型论文。

本书可以作为不同类型力学课程(理论力学、材料力学、工程力学)的实验教材,也可作为“工程力学实验”独立设课的教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学实验/张亦良主编. —北京:北京工业大学出版社, 2010.9

ISBN 978-7-5639-2381-6

I. ①工… II. ①张… III. ①工程力学-实验-高等学校-教材 IV. ①TB12-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第076503号

“十二五”高等教育实验实践教学系列规划教材

工 程 力 学 实 验

主 编:张亦良

副 主 编:张 伟 叶红玲

责任编辑:邓 静

出版发行:北京工业大学出版社

地 址:北京市朝阳区平乐园100号

邮政编码:100124

电 话:010-67391106 010-67392308(传真)

电子信箱:bgdcbsfxb@163.net

承印单位:徐水宏远印刷有限公司

经销单位:全国各地新华书店

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12.75

字 数:327千字

版 次:2010年9月第1版

印 次:2010年9月第1次印刷

标准书号:ISBN 978-7-5639-2381-6

定 价:20.00元

版权所有 翻印必究

图书如有印装错误,请寄回本社调换

序

“平者，水停之盛也。其可以为法也，内保之而外不荡也。”《庄子·内篇·德充符》中的这一段话，是孔子对于鲁哀公提问“何谓德不形”的回答。孔子用水静止的内部平稳、和谐和外部没有动荡，形象地解答了理解“德之无形特征”时的疑惑。

其实，只要静心思考，就会发现这一比喻还有更宽泛的意义：用之思考工程力学及其实验的研究方法也是适用的；用之理解不受外扰，专心致志于实验教学，通过若干年积累、推敲一本书，也是恰切的。

将牛顿第二定律的质量与加速度的乘积添加负号移至等式左方，定义为惯性力，从内部保持为“拟静力”平衡、从外部“无动力”去理解达朗伯原理，岂不是“平者”之法吗？工程力学实验中缓慢加载以减少动力效应、电测方法的电桥平衡，等等，皆在追求“外不荡”上下了工夫。即便是冲击现象，由于归结为列机械能守恒方程，亦为水盛容器之中的“内保平外不荡”之法也。广而言之，凡自然现象化为列方程的方法，右端皆为零，乃将外因内化，无外部振荡，便于掌控矣！

北京工业大学力学教学的“内静外不扰”的状态，可追溯到我校成立之日，前辈们创建了潜心搞好教学的传统，又被一代又一代教师所传承。后来，陆续创立了“材料力学”国家精品课程，“理论力学”与“工程力学”北京市精品课程，工程力学国家级实验教学示范中心，基础力学国家级教学团队，这一切都印证了孔子所谈的这种“法”确有指导作用。

现在呈现在这里的《工程力学实验》也印证了“内保平外不荡”之法。张亦良教授、张伟高级工程师、叶红玲副教授，把多年来取得的实验教学成果系统整理，从一个新的角度书写出来奉献给兄弟院校同行进行交流，奉献给北京工业大学的教师和学生使用。

这本实验教程有如下特点：

1. 简洁地归纳了基本内容，体现在绪论（第1章）、基本设备和测试原理（第2章）、数据处理（第6章）和相关标准（附录1）。
2. 剖分成基本实验（第3章）、综合设计型实验（第4章）和研究创新型实验（第5章）三个台阶，希望这些逐层提高学生水平的尝试能够成为引玉之砖。
3. 将数值模拟作为实体实验的必要补充，成为工程力学的组成部分（第7章），用以弥补很多专业的本科生不学习计算力学数值模拟的缺憾，为他们今后的发展预铺一条路。
4. 鼓励和强调学生在工程力学实验中的自觉和自主精神，号召他们通过参与创新实验，进一步培养综合思考和实际动手的能力（第5章和附录2）。

上述4个特点不仅同教师们在教学上专心致志的努力分不开，也同整个团队在科研发展和学科建设中的努力密切相关。例如1999年成立的校直工程数值模拟中心，原本为科研、为学科和为培养研究生服务，它的成功赢得了多个国际著名软件公司的合作与在我们这里挂牌，也赢得了北京市重点建设学科的获批，没有想到后来竟然推广到本科生的工程数值模拟实验，形成上面的第3个特点，这再一次表明“心澄净做事则外不易扰”的道理。

本序结合孔子“内保之而不外荡”之法，进行了议论与评述，希望我们可爱的学生们也能够结合孔子“以水表法”的精辟见解，仔细想一想：如何在浮躁的大环境里，保持自己内

心的平静，不受厌学之风的振荡干扰，抓紧宝贵的青春年华，真正学习一些知识，认真培养一点能力，努力熏陶一下素质，以便将来能够成为有用的栋梁之才！

隋允康

于北京工业大学筹备 50 周年校庆之际

2010 年 4 月 10 日

前 言

《工程力学实验》一书会聚了北京工业大学“国家力学实验教学示范中心”的建设成果，从培养“卓越工程师”的定位出发，以培养学生工程应用及动手能力为核心，突出学生自主创新实验的特色，注重开放实验中学生对设备使用操作的需求。

本书涉及范围较宽，包含了理论力学与材料力学内容，采用模块化教学方法编制，分为基本实验、综合设计实验、研究创新与扩展实验，考虑到实体实验与数值实验的结合，增加了简单的数值计算基础及操作指南。对于不同的专业，可根据需求选择不同的模块进行教学。

全书突出了力学实验中的工程性特色，汇集了多年积累的科研与教学相结合的成果，特别是将实际工程型材引入实验教学，利用与长春仟邦测试设备有限公司联合开发的综合力学实验平台，为学生的研究创新实验搭建了多种类型的测试平台。

考虑到开放实验的需求，特别为适应高档设备及大型设备的使用要求，本书详细介绍了仪器设备的基本原理及操作步骤、电阻应变片的粘贴方法等。

本书另一特色是突出了学生自主创新中“发现课题”的环节，引入了典型的理论力学研究性小论文选题、材料力学研究创新实验中学生自选题目的范例，并在附录中收录了3篇学生在该环节中的研究论文。

本书写作分工为：张亦良主编并编写第1章、2.12~2.14、3.3~3.9、4.1~4.8、5.1、5.3、5.4、5.6、5.7、5.10、第6章、附录2；张伟汇总编辑并编写2.1~2.8、2.10、2.11、3.1~3.2、5.2、5.8~5.9、附录1；叶红玲编写3.10~3.12、4.9、4.10、5.11、第7章；夏亚琴编写2.9、5.5。

本书在编写过程中参考并选择了北京工业大学校内教材《工程力学实验》的部分内容，在此对北京工业大学工程力学实验的奠基人管大棒教授、陈钟盘副教授、邱棣华教授、王慕副教授等前辈表示最诚挚的敬意，对吴斌教授、程咏梅高级工程师、张彦军高级工程师等表示深深感谢！在本书的编写过程中，受到隋允康教授、李晓阳教授的关注与指导，在此一并表示感谢！

目 录

第1章 绪论	1	3.8 金属材料的疲劳实验.....	61
1.1 工程力学实验的作用	1	3.9 光弹性基本实验	64
1.2 工程力学实验的任务及主要内容	1	3.10 简谐振动幅值测量	68
1.3 工程力学实验的基本程序	2	3.11 单自由度机械振动系统固有频率的测量	70
1.4 研究创新实验的基本要求	4	3.12 两自由度机械振动系统固有频率的测量	75
第2章 力学实验的基本设备及测试原理	5	第4章 综合设计型实验	79
2.1 电子万能实验机	5	4.1 叠梁弯曲实验	79
2.2 液压万能实验机	9	4.2 弯扭联合作用下应力及内力素的测定	81
2.3 微机控制扭转实验机	10	4.3 电测综合性实验	83
2.4 多功能实验台	13	4.4 表面残余应力测定实验	84
2.5 应变式电子引伸计	14	4.5 弹塑性应力与电测法的综合实验	87
2.6 数显摆锤式冲击实验机	15	4.6 组合实验台综合实验	88
2.7 QBG-100型高频疲劳实验机	16	4.7 压杆稳定性实验	90
2.8 X射线应力仪	20	4.8 三点弯曲高梁横截面应力的光弹性法测定	92
2.9 静态电阻应变仪	23	4.9 振动系统的模态分析实验	93
2.10 动态电阻应变仪	26	4.10 叠梁弯曲的数值模拟实验	102
2.11 百分表和千分表	28	第5章 研究创新型实验	111
2.12 电测法基本原理与平面问题的应变分析	29	5.1 研究创新型实验的基本要求及小论文说明	111
2.13 X射线测量表面应力的基本原理	38	5.2 工程型材的综合实验——角钢、槽钢、矩形钢管的组合变形及弯心实验	112
2.14 电阻应变片贴片方法和步骤	40	5.3 北京城市轻轨及普通铁轨的力学分析(不对称工字钢)	116
第3章 力学基本实验	41	5.4 桁架的应变测量与应力分析	118
3.1 拉伸实验	41	5.5 地应力传感器(电阻应变计式)实验	120
3.2 压缩实验	48	5.6 桥梁模型的动、静态应力测定实验	122
3.3 扭转实验	50	5.7 应力集中的磁记忆检测实验	123
3.4 弹性模量 E 及泊松比 μ 的测定	52		
3.5 直梁弯曲正应力测定	56		
3.6 直梁弯曲变形测定	58		
3.7 金属材料的冲击实验	59		

5.8	平面应变断裂韧度 K_{IC} 的测定 实验	127			
5.9	环境介质中裂纹扩展速率 da/dt 测定实验	132			
5.10	疲劳寿命实验	137			
5.11	理论力学研究性小论文 选题	139			
第6章	实验数据处理与误差 分析基本理论	141			
6.1	误差的定义和分类	141			
6.2	直接测定量的误差表示法	143			
6.3	间接测量中误差的传递	145			
6.4	实验数据处理	147			
6.5	数理统计的基本定义与概念	149			
6.6	实验数据的线性拟合方法	152			
第7章	ANSYS 计算分析的 基本方法	155			
7.1	ANSYS 计算软件概况	155			
7.2	ANSYS 计算软件的 基本功能	156			
7.3	有限元模型的建立	159			
7.4	结构的静力学分析	166			
7.5	结构的动力学分析	167			
附录1	与本书相关的标准 目录	169			
附录2	学生在研究创新实验 中的选题范例	170			
附 2.1	部分创新实验选题	170			
附 2.2	典型创新实验论文选登	171			
	参考文献	195			

第 1 章 绪 论

1.1 工程力学实验的作用

工程力学涵盖了理论力学与材料力学，是高等学校工科专业的重要技术基础课程之一。理论力学研究物体的刚体运动，重点考虑作用在物体上的力与物体运动之间的关系，分析物体机械运动的一般规律；材料力学研究物体的变形，重点考虑作用在物体上的力与物体变形之间的关系，研究构件的强度、刚度、稳定性问题。工程力学是研究物体宏观机械运动中最普遍、最基本规律的学科，在工程中起着至关重要的作用。

就工程力学课程本身特点而言，其实验占据了重要地位。工程力学实验的主要作用为：

- (1) 测定材料的力学性能参数；
- (2) 发现力学现象规律，为理论推导提供合理假定及基础依据，检验理论公式的正确性并给予修正；
- (3) 解决理论分析难以处理的问题，通过实验测定复杂构件的应力变形等；
- (4) 通过实验验证数值模拟的逼近精度，以便改进计算力学模型使之可靠地逼近工程结构的真实状态；
- (5) 通过实体或数值实验得到所需要的力学参数，为工程设计提供依据，准确评估工程结构的安全程度。

因此，实验分析研究的方法在工程力学领域中的位置不可替代。

1.2 工程力学实验的任务及主要内容

土木、机械、材料、车辆、航空、航天等多门专业中涉及承载的受力构件或结构，无论设计、施工或制造、运行都必须依据力学分析数据，保证构件或结构的安全。工程力学实验是上述专业的技术基础，从事这些专业的未来科技工作者如果没有掌握好工程力学实验的技能，就很难成为合格的专业工作者。

工程力学实验的基本任务是为各专业人才打牢扎实的理论基础，提升实验动手能力及综合研究分析技能，按照国家教委“质量工程”的要求，培养 21 世纪的工程型创新人才。

工程力学实验主要达到以下目标：

- (1) 深入理解材料常用力学性能指标及系统固有频率的意义，熟悉测试方法，掌握设备的使用方法；
- (2) 学习实验应力分析中电测法与光测法的基本原理与基本测试方法；
- (3) 巩固加深理论课中的有关概念与公式；
- (4) 对于部分学生，初步掌握有限元数值模拟的基本方法，为实体与数值实验搭起桥梁；
- (5) 在“综合设计型实验”及“研究创新型实验”中，扩大知识面，提高实验技能，培养综合分析能力与良好的科学工作作风。

本教材包括的实验内容可分为以下三类。

1. 基本型实验

基本型实验中包括材料力学性能的实验有：拉伸、压缩、扭转、冲击、疲劳实验；电测法的基本实验有： E 和 μ 、弯曲正应力与变形实验，光弹性实验，系统固有频率实验。此阶段以掌握基本实验技能为主，以了解材料的综合力学性能为知识重点，要求具有独立操作实验设备的能力。通过该类实验进一步理解与巩固常用力学性能指标并熟悉其基本测试方法，了解有关国家标准或技术规范的要求。

2. 综合设计型实验

综合设计型实验包括：叠梁、弯扭组合、残余应力、弹塑性应力、组合实验台、压杆稳定、光弹法测高梁应力、数值模拟、振动系统的模态分析实验。此阶段的学习采用开放实验方式，通过进一步的深入应力分析实验，熟练掌握应变电测的多种测试方法及基本操作技能，并能将其运用于工程检测。面对某一实验对象与任务，需要自行设计实验方案、自行实施、自行分析实验结果。本类型实验以综合性理论分析与实验分析相结合为知识重点，体现综合运用理论知识的能力。

3. 研究创新与扩展型实验

研究创新与扩展型实验包括：工程型材、城市轻轨及普通铁轨、桁架、地应力（电阻应变片式）传感器、桥梁模型的动态和静态应力、磁记忆、 K_{IC} 、环境介质中 da/dt 、疲劳寿命、高温拉伸、裂纹深度测试实验。此阶段是学生综合能力的集中体现。教材中的实验以“半成品化”为主，只提供基本型材。实验的重点与难点在于学生需要自己选题，需要大胆探索，有些还需要自己搭建实验台架，要求设计出具有明确工程背景同时切实可行的实验。

1.3 工程力学实验的基本程序

1. 实验准备

实验前应认真做好预习。明确实验目的，复习有关的理论知识，弄清实验原理与方法，并根据要求熟悉有关仪器设备的基本原理与使用，按教师要求写出预习报告，准备好数据记录表格或确定测试方案。

2. 实验过程

实验中，主要工作是载荷的施加和变形或应变的测量。

(1) 加载。通常使用材料实验机或实验加载车完成载荷的施加。实验中为了消除试样和夹持器之间的间隙，必须使用初载荷。加载方法分成一次加载法（从初载荷一次加到终载荷）和逐级加载法（从初载荷到终载荷分成几个等级进行加载）。要求了解电子万能实验机构造原理，特别是其加载原理，并能较熟练地使用实验机。

(2) 应变测量。除拉、压、扭实验中的变形测量是通过实验机自动采集系统完成以外，其他大多数由应变仪完成。由于多数实验的试样工作在弹性范围内，为小变形，故要求测量仪器具有灵敏度高、稳定性好的特点。要求学生熟练掌握静态电阻应变仪的原理及其使用方法。

按照实验的具体工作，小组成员应有明确分工。由于加载和变形的测量需要同时进行，故操作者要注意相互协调，才能得到较好的实验结果。通过实验课，训练与提高学生实验的

组织能力也是其重要任务之一。

正式实验前,最好先试加载荷,观察其现象,并对安装不妥之处进行调整,待一切正常后,再正式开始测取数据。

3. 撰写实验报告

实验报告是实验的全面总结,也是学生培养自己表达能力的重要途径,故需严格要求,认真做好。报告要用简明的形式将实验结果完整而真实地表达出来,报告应包括以下内容:

(1) 实验名称、实验日期、实验者及参加者姓名、实验时的温度及其他条件。

(2) 实验目的、实验原理概述,并绘制装置简图。

(3) 使用的机器和仪器应注明名称、型号、最小刻度等,其他用具也应写清楚。

(4) 实验数据及其处理结果。实验数据应记录在按实验要求而制备的表格中。表格要项目醒目,整齐清楚,容易看出全部测量结果的变化情况和它们的单位及准确度。测量数据要按所使用的量具或仪器的最小刻度来读取。例如,0.05 mm 精确度的游标卡尺,记录数据为 9.95 mm、10.00 mm、5.05 mm 都表示了测量工具所能达到的准确度。

在多次测量同一物理量时,每次所得的结果并不完全相同。这是因为机器、仪器、量具本身的示值有一定误差,加之实验时客观因素复杂,不可避免地会产生误差。由统计理论可知,多次测量同一物理量时,所得各次测量数据的算术平均值为最优值,最接近真值,故在实验中,常以此法测量某一物理量。

(5) 计算。在计算中所用到的公式应在报告中明确列出,并注明各种符号所代表的意义。工程上一般要求计算的有效数字位数到 3 位即可,例如截面面积 $A = 2.34 \text{ mm} \times 5.21 \text{ mm}$ 的计算结果,不必写成 $A = 12.194 \text{ mm}^2$,而写成 $A = 12.2 \text{ mm}^2$ 即可。

(6) 实验结果表示。实验结果一般采用列表或图线来表示。可应用计算机软件(如 Excel, Origin) 作图,也可将图线绘在坐标纸上,图中注明坐标轴所代表的物理量和比例尺。实验点可用不同的记号表示,如“·”、“*”等。实验曲线应根据实验点特性进行拟合或描绘成光滑曲线,不应用直线逐点联成折线。如图 1-1 (a) 为正确作图法,而图 1-1 (b) 为不正确作图法。

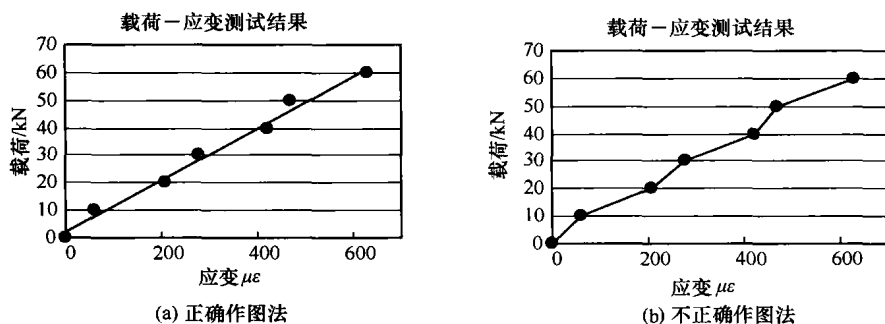


图 1-1 实验数据的绘图表示法

(7) 结果分析。对本实验所得结果进行分析,指明本实验结果能说明什么问题,有何优缺点,分析实验中出现的问題,并对结果进行误差分析,回答指定的问题。同时对本实验中有关技术问题进行讨论,也可以写下心得体会或对本实验的改进意见。这一部分是总结收获的内容,应高度重视。

1.4 研究创新实验的基本要求

研究创新实验是在基本实验及理论知识学习基础上的综合提高性实验，以深入研究、鼓励创新为主线，综合运用多学科理论知识，加强实验动手能力、研究能力，强化力学素质、工程素质为主要特色，是对学习成果的综合考查。

研究创新型实验的三大环节为：

(1) 实验选题与论证环节。要求学生进行周密思考与调研，写出实施计划书，明确做什么，怎么做，意义在哪里，预期目标是什么，即想好了再做。

(2) 实验过程环节。分为实验准备与实验测试两方面。实验准备是指学生需要为自己的实验目标进行大量工作，某些选题需要自行制作小型实验装置，自己解决实验中的技术装备问题；实验测试是指用自制的实验装置进行实验，包括方案设计与实际测试得到准确数据。

(3) 总结提高环节。分论文写作与论文演讲过程。论文写作过程中，必须进行结果分析，以总结提高，此阶段重点体现研究性特色；在论文演讲过程中，要求全部使用 PPT 形式，这是表达能力的训练，也是公开的考核。

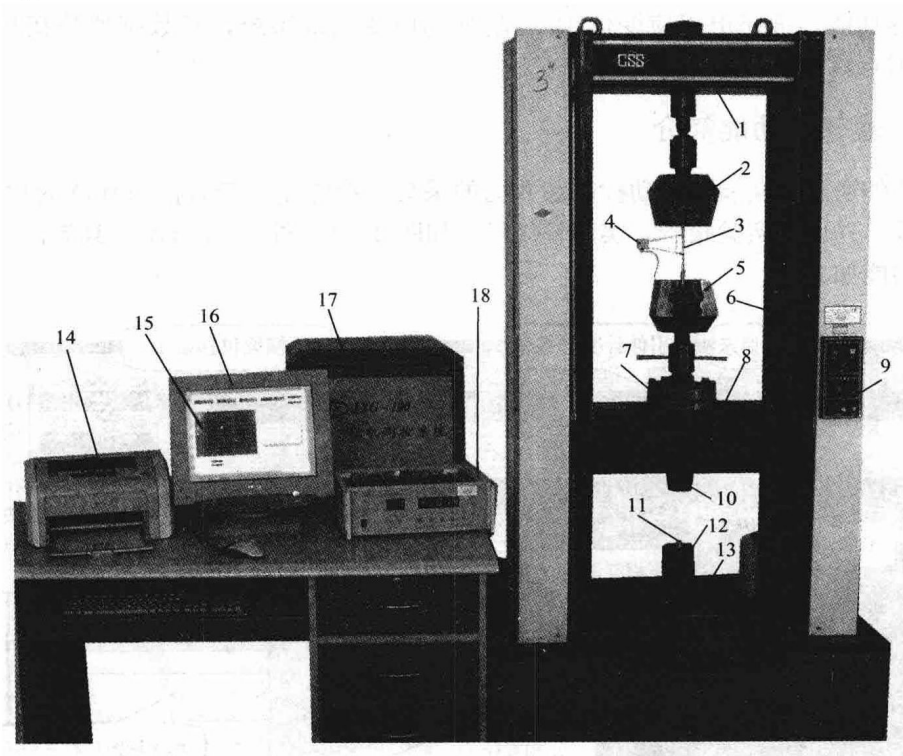
在此阶段的学习中，要求学生的三句话为：“做人要诚，做事要钻，搞科学要韧。”即以诚信的态度，刻苦钻研的精神，百折不挠的毅力去迎接挑战。

第 2 章 力学实验的基本设备及测试原理

2.1 电子万能实验机

电子万能实验机是材料力学性能实验常用设备之一，能够完成拉伸、压缩、弯曲、剪切，以及一些特殊加载的实验。

下面以 CSS-1110 电子万能实验机为例介绍其原理和操作方法。设备如图 2-1 所示。其界面上的各功能栏的具体功能如下。



1—上横梁；2—上夹头；3—拉伸试样；4—变形传感器；5—下夹头；6—立柱；
7—负荷传感器；8—下横梁（移动梁）；9—手动控制盒；10—压头；11—压缩
试样；12—承压台；13—底板；14—打印机；15—实验软件；16—控制计算机；
17—控制器；18—静态电阻应变仪

图 2-1 CSS-1110 电子万能实验机简介图

2.1.1 CSS-1110 电子万能实验机简介

CSS-1110 电子万能实验机为双立柱门式框架机型，双空间结构（上空间做拉伸，下空间做压缩和弯曲），最大实验力 100 kN。适用于金属等材料的拉伸、压缩、弯曲实验，如果

配相应的功能附具，还可做扭转、剪切、剥离、撕裂等实验。配置了多通道电阻应变仪、电测实验软件和力学实验平台后，能够开展多种结构试件电测实验。

工作原理：电机、减速器位于底板 13 下的机座内，两侧立柱 6 内装有一副滚珠丝杠与下横梁连接，电机、减速器驱动滚珠丝杠副旋转使下横梁 8 升降。上夹头 2 固定在上横梁 1 的下方，下夹头 5 和压头 10 连接在负荷传感器 7 上，负荷传感器与下横梁 8 固定，上、下夹头用于夹持拉伸试样 3，压头用于压缩和弯曲实验。负荷传感器 7 用于测试实验力。引伸计 4 是变形传感器，用于测量试样标距内的变形。电机、负荷传感器、变形传感器、滚珠丝杠上的光电编码器、试验机控制器 17 和控制计算机 16 组成实验机的测控系统。通过实验软件可以操纵实验机运行，实现拉伸压缩实验的自动化，对加载过程进行监测诊断，并提供驱动系统过流、整机超载、破断停机、横梁移动极限保护、绝对加载量限定保护以及控制偏差过大保护等。软件窗口可实时显示“力—变形”或“应力—应变”等曲线，实验结束后能够对数据进行处理，并具有打印实验报告、保存实验和导出实验数据等功能。静态电阻应变仪 18 是附加的应变测试系统，有数据通信接口与计算机相连，数据可以由计算机直接采集。

2.1.2 实验软件功能简介

实验软件通过对实验机自动控制和数据的采集，能够完成符合国家标准的拉伸、压缩、弯曲等实验，并出具实验报告，实验软件界面如图 2-2、图 2-3 所示。其界面上的各功能栏的具体功能如下。

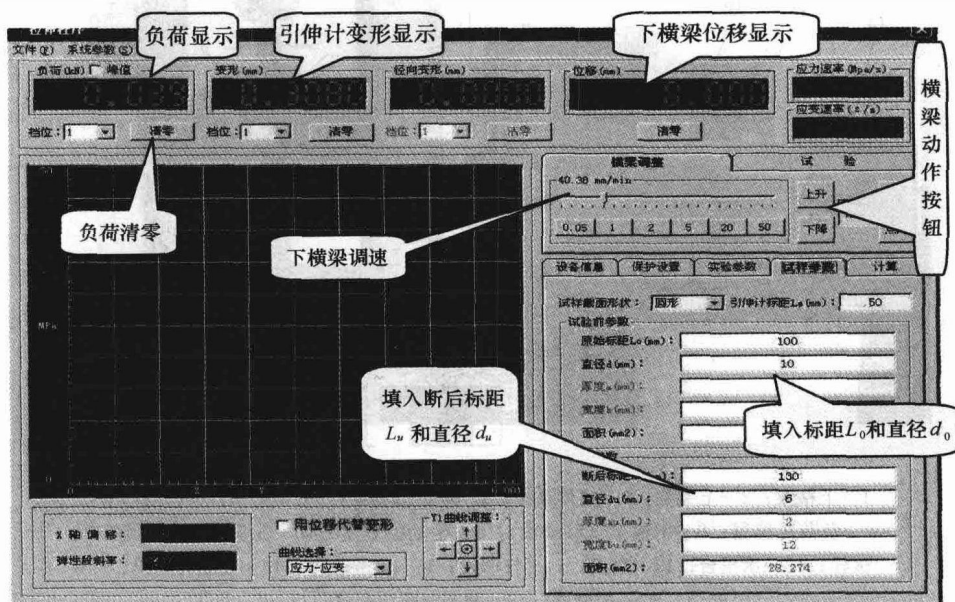


图 2-2 电子万能实验机软件界面 1

(1) 负荷栏：其中，显示框实时显示负荷加载力。下方为【清零】按钮，可使当前负荷显示框数字归零。值得注意的是，在加载状态下，单击【清零】按钮也能使显示框示值回零，此时显示框不是真实加载力，因此实验中禁止在有载荷状态下清零，以避免超载。显示框上方为“峰值”复选框，若选中，在实验结束后可查看实验中的最大加载力。如图 2-2 所示。

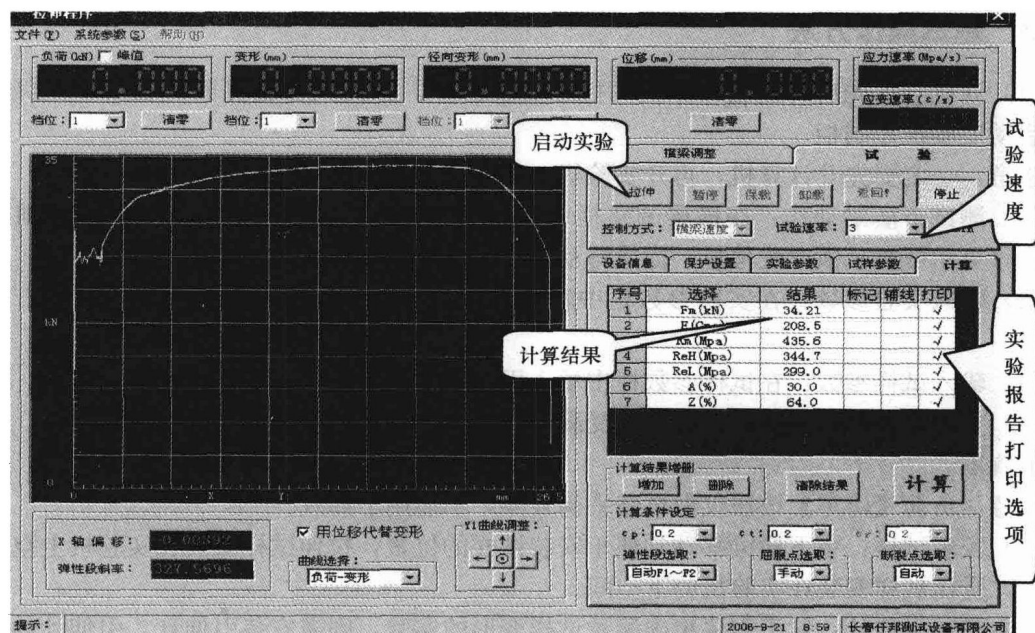


图 2-3 电子万能实验机软件界面 2

(2) 变形栏：其中，显示框显示轴向引伸计的变形量，即测试样品在引伸计标距内的变形。单击【清零】按钮可以对当前显示框的示值清零。如图 2-2 所示。

(3) 径向变形栏：其中，显示框显示径向变形传感器（径向引伸计）的变形量。如图 2-2 所示。

(4) 位移栏：其中，显示框显示下横梁的移动量。如图 2-2 所示。

(5) 横梁调整栏：在非实验状态时，单击【横梁调整】标签，可通过点击【上升】、【下降】按钮，操纵下横梁上下移动，横梁移动的速度可以在 0.05~100 mm/min 之间调整。该调整在实验状态下无效。如图 2-2 所示。

(6) 实验参数栏：单击【试样参数】标签，在该栏内可设置试样的各项参数，如直径、宽、厚、原始标距、截面形状、断后标距、断后直径、引伸计标距等。如图 2-2 所示。

(7) 试验栏：包含两个选择项和【拉伸】、【暂停】、【保载】、【卸载】、【返回】、【停止】6 个按钮，可控制实验过程，先按实验的要求设置加载速率，再点击【拉伸】按钮，即可启动实验。实验过程中可以点击相应按钮，实现暂停、保载等操作。如图 2-3 所示。

(8) 保护设置栏：单击【保护设置】标签，可设置与负荷关联的停机保护，用于防止实验意外超载。

(9) 计算栏：单击【计算】标签进入计算栏，点击【计算】按钮，软件对实验数据进行处理，并显示计算结果，需要打印的实验结果可以进行选取。如图 2-3 所示。

(10) 主视窗：具有网格线的软件主视窗显示实验过程曲线，坐标的纵轴与负荷相关，坐标的横轴与变形或时间相关。实验曲线可以通过主视窗下方的“曲线选择”设置为负荷—变形、应力—应变、负荷—时间等曲线，可通过下拉列表选取。如图 2-3 所示。

2.1.3 基本操作方法

(1) 开机：首先启动控制计算机，打开实验软件，进入到实验界面，如图 2-2 所示。然后启动实验机控制柜。

注意：一定要先开计算机，再开实验机，否则容易损坏计算机控制板。

(2) 测试下横梁动作：在横梁调整栏中点击【上升】按钮或【下降】按钮，下横梁移动，位移显示框显示横梁位移量，横梁移动速度可以根据需要选择。

(3) 输入实验参数：在实验参数栏中输入试样的编号、材料，实验温度，实验日期等信息。

(4) 输入试样参数：在试样参数栏中填入引伸计标距和试样尺寸参数。

(5) 负荷清零：在试样未夹紧或未受载时，点击负荷显示框下方的【清零】按钮，显示框数值置零。

注意：负荷【清零】按钮仅做桥路平衡置零，不能用于卸载。

(6) 安装试样：将下横梁移动到便于安装试样的位置，拉伸试样安装在实验机上空间的夹头上，受压试样安装在实验机的下空间。

(7) 安装引伸计：对于需要精确测量试样变形的实验，则需安装引伸计，引伸计的标距或型号根据实验要求选择。引伸计装卡好后，其两刀口距离必须与引伸计规定的标距一致。对于有限位柱的引伸计，安装后，引伸计的刀口臂与限位柱之间应留 0.5 mm 空隙，不能夹紧。安装引伸计后，对软件的变形显示框清零。

注意：每次更换引伸计都要在实验软件中设置相应的标定系数。

(8) 保护设置：出于对设备和实验的安全需要，可以在保护设置栏中对“停机保护值”进行设置，根据实验的需求，可设置与载荷、变形或位移关联的停机保护值。

(9) 设置实验速率：在实验栏中设置满足实验规定的实验速率。

(10) 清零：在实验前将变形显示框清零，位移显示框清零，但负荷不能清零。

(11) 实验：实验准备工作完毕并检查无误后，即可开始实验。在试验栏中，点击【拉伸】按钮或【压缩】按钮。

(12) 使用“用位移代替变形”：在拉伸实验中有些试样变形量会超出引伸计变形量程或试样破坏时对引伸计有损害，因此应当在试样破坏前的适当时候将其摘除，在摘除引伸计之前，先选中“用位移代替变形”，再摘除引伸计。

(13) 观察实验过程：实验要有专人操作软件，查看软件界面的负荷、变形和位移 3 个传感器显示框，监视实验运行状态，发现问题可以暂停或终止实验。

(14) 实验停止：对于有些实验，软件可以自动判断材料的破坏而停止实验，如金属材料的拉伸、脆性材料的压缩等。另一些实验，则需要人为判断停止实验。

(15) 计算：在计算栏中，软件有计算功能，但对计算条件如弹性区，则需要根据实验要求和曲线图进行选择，需要计算收缩率和延伸率的拉伸实验则需输入试样破坏后的几何参数再计算。

(16) 保存实验：实验完成后在文件菜单下选择保存实验。

(17) 打印：选择打印，可以打印实验报告和实验曲线。软件也可以导出加载力、变形等实验过程数据。

(18) 紧急停机功能：实验机的立柱上有一个醒目的红色【急停】按钮，当发生紧急情况

况或软件失控时,按下【急停】按钮,实验机立即停机。

2.2 液压万能实验机

液压万能实验机是采用液压原理,用油缸的推力加载,可作拉伸、压缩、剪切、弯曲等实验,其具有加载力大、传动部件少、磨损小的特点,也是较常用的实验机。早期生产的液压万能实验机是手动控制加载,机械机构测力,人工读数和坐标纸记录载荷。近几年随着计算机技术,先进测控技术,电液伺服控制技术、比例伺服阀等液压器件在液压万能实验机上应用,更为先进的微机数控液压万能实验机得到很大发展。下面介绍一种双立柱式结构的微机数控液压万能实验机。

2.2.1 60t 微机数控液压万能实验机简介

1. 主要结构

图2-4所示是60t微机数控液压万能实验机结构图,该实验机分为以下几大部分:

(1) 机架。由横梁5、机座15与双立柱10固定连接组成。

(2) 移动机架。由上支架1、实验台9与双拉杆3固定连接形成。

(3) 下夹头。由下夹头13、下夹头升降机构14和电机16组成,在电机的驱动下,下夹头可以升降。

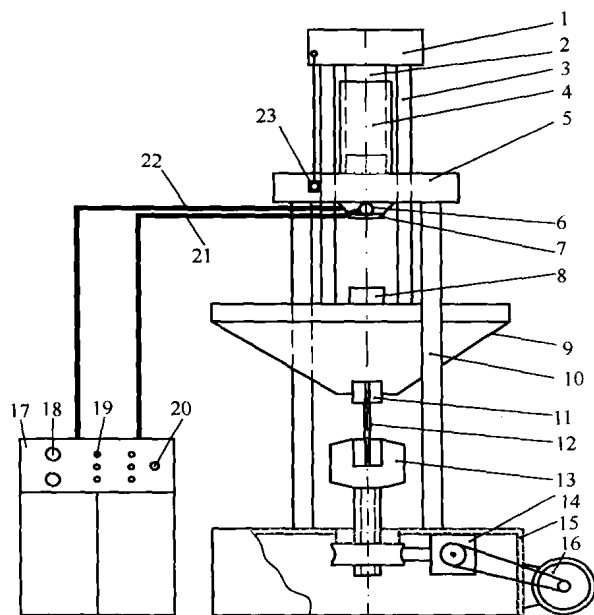
(4) 油缸。由活塞2和液压油缸4组成,当油源向油缸供油时,活塞向上升起,并推动上支架上升,实验台随之上升。

(5) 油源柜。包括储油箱、油泵、油压表、控制电器和比例伺服阀等液压器件,用于精确向液压油缸供油。

(6) 测量系统。包括油压传感器6,用于测量油缸压力并对应转换成实验力;拉线位移传感器23,用于测量工作台的位移;引伸计,用于测量试样的微量变形;微机及测控软件、放大采集卡等。

2. 工作原理

当油泵向液压油缸供油时,在油压的顶推下,活塞上升,并推动上支架、双拉杆和实验台联动上移。实验台的下方是拉伸空间,实验台的上方是压缩和弯曲空间。如果上夹头与下夹头夹持试样就是拉伸实验,或承压座上放置试样就是压缩实验。微机控制比例伺服阀向液压油缸供油,并根据工作台位移量的反馈精确调整比例



1—上支架; 2—活塞; 3—双拉杆; 4—液压油缸; 5—横梁;
6—油压传感器; 7—上压头; 8—承压座; 9—实验台; 10—双
立柱; 11—上夹头; 12—拉伸试样; 13—下夹头; 14—下夹头
升降机构; 15—机座; 16—电机; 17—油源柜; 18—油压表;
19—启动键; 20—急停键; 21—回油管; 22—进油管;
23—拉线位移传感器

图2-4 微机数控液压万能实验机结构图