



普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子

机械基础实验

JIXIE JICHU
SHIYAN

高为国 朱 理 主编
胡争先 主审



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

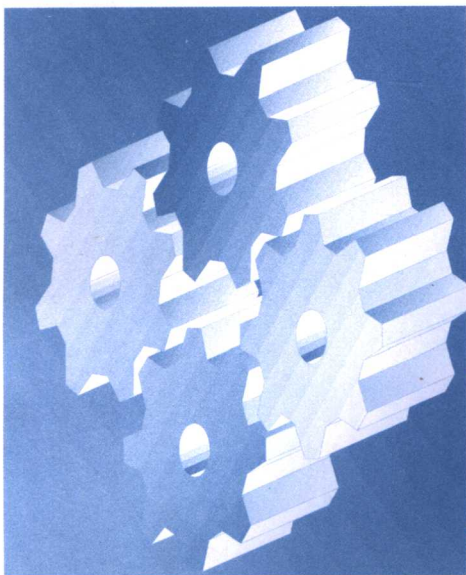


普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子

机械基础实验

高为国 朱 理 主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

图书在版编目(CIP)数据

机械基础实验/高为国 朱 理 主编

武汉:华中科技大学出版社,2006年3月

ISBN 7-5609-3631-8

I. 机…

II. ①高… ②朱…

III. 机械基础-实验

IV. TH11

机械基础实验

高为国 朱 理 主编

策划编辑:王连弟

责任编辑:刘 飞

责任校对:吴 晗

封面设计:潘 群

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华大图文设计室

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×960 1/16

印张:19.25 插页:2

字数:364 000

版次:2006年3月第1版

印次:2006年3月第1次印刷

定价:30.00元

ISBN 7-5609-3631-8/TH·139

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是在机械基础实验教学改革和普通高等院校基础课示范实验室建设的基础上组织编写的,充分体现了机械基础实验教学改革的基本思路与改革成果。它以培养学生的创新思维和工程实践应用能力为目标,以机械基础实验的自身系统为主线,建立了新的实验教学内容体系,以适应不同层次学生的实验教学需要,给学生开辟了更加广阔的学习空间。

全书共5章。第1章阐述机械基础实验所使用的主要实验仪器设备;第2章介绍基本实验项目;第3章介绍综合性、设计性和研究创新型实验项目;第4章介绍虚拟实验和仿真实验项目;第5章介绍机械基础实验综合训练周。在书末附有实验中所需的数据表格。

本书可作为普通高等院校应用型本科机械类、近机械类、化工类等专业的机械基础实验教材,也可供有关教师、工程技术人员和科研人员参考。

序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育而跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来，已有许多普通院校采用规划教材，就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循，有规可依，有鉴可借，有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内容不在深浅，能切合学生培养目标，能抓住学生应掌握的要言，能做

到彼此呼应、相互配套,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十个应用型机械专业,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了真正确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设、特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士
教育部高等学校机械学科指导委员会主任

杨红子

2006.1

前 言

本书在编写过程中,立足于应用型本科院校的人才培养目标,注重培养学生的创新思维、工程实践应用能力、综合分析与解决工程实际问题的能力,加强机电一体化方面的实际训练。书中着重介绍了以下几方面的内容:①机械基础实验中各主要仪器设备的结构、使用方法、应用范围等,使学生熟悉机械基础实验中心的硬件资源,便于其在以后的学习和科技活动中选用;②基本实验的实验目的、实验的基本原理、方法、步骤和注意事项等,以培养学生的基本实验操作技能;③综合性、设计性和研究创新型实验的基本思路、研究方法和实验技能的综合训练,以培养学生的创新思维能力、工程实践的应用能力、综合分析和解决工程实际问题的能力等;④虚拟实验和仿真实验的基本操作,加深对所学理论知识和实验知识的训练,以提高学生的计算机辅助实验能力;⑤机械基础实验的综合训练,通过机械系统的设计,选取某个单一的零件,进行受力分析、建立受力模型、进行必要的热处理操作、拟定加工工艺路线、检测零件的相关性能、测量相关的几何量等,以培养学生工程实践的综合应用能力。本书中全部采用最新的国家标准,并使用法定计量单位。

本书可作为普通高等学校应用型本科机械类、近机械类、化工类等专业的机械基础实验教材,也可供有关教师、工程技术人员和科研人员参考。

参加本书编写的有高为国、朱理、胡凤兰、夏平、刘兰、董丽君。全书由高为国、朱理担任主编;胡凤兰、夏平担任副主编;胡争先担任主审。

本书在编写过程中,参阅了以往其他版本的同类教材、相关的技术标准和文献资料等,在此对其表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,加之编写时间仓促,书中不足之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2005年8月

目 录

第1章 主要实验仪器设备简介	(1)
1.1 性能测定实验仪器设备	(1)
1.2 检测实验仪器设备	(53)
1.3 分析实验仪器设备	(98)
1.4 设计实验仪器设备	(115)
第2章 基本实验	(131)
2.1 拉伸、压缩及测 E 实验	(131)
2.2 扭转实验	(133)
2.3 金相显微镜的使用及铁碳合金的平衡组织观察	(135)
2.4 金相显微组织的相组成及其显微硬度分析	(142)
2.5 技术测量基础	(144)
2.6 机构测绘、分析及设计	(146)
2.7 典型零件的传动性能分析	(148)
2.8 轴系结构的拆装	(155)
2.9 减速器的结构分析	(156)
第3章 综合性、设计性和研究创新型实验	(160)
3.1 电测应力分析	(160)
3.2 金相试样制备及显微组织分析	(162)
3.3 热处理工艺及其对组织与性能的影响	(168)
3.4 常用金属材料的组织与性能分析	(170)
3.5 金相综合分析实验	(178)
3.6 轴和箱体零件的综合测量	(184)
3.7 螺纹零件的综合测量	(186)
3.8 齿轮零件的综合测量	(187)
3.9 平面机构特性分析	(189)
3.10 机构运动参数与机构动平衡综合实验	(192)
3.11 基本平面机构设计及运动学、动力学实验	(195)
3.12 机械系统创意设计	(197)
3.13 机械创新设计	(208)
3.14 机械系统性能研究及参数可视化分析实验	(211)
3.15 机械系统创意组合及参数可视化分析实验	(220)

第4章 虚拟实验与仿真实验	(225)
4.1 机构设计虚拟实验	(225)
4.2 材料力学仿真实验	(232)
第5章 机械基础实验综合训练	(237)
5.1 机械基础实验综合训练任务书	(237)
5.2 机械基础实验综合训练指导材料	(238)
5.3 机械基础实验综合训练实例	(254)
附录	(280)
附表1 压痕直径与布氏硬度对照表	(280)
附表2 黑色金属硬度及强度换算表	(291)
附表3 构件及其以运动副相连接的表达法	(293)
附表4 常用机构的简图符号	(296)
参考文献	(299)

第1章 主要实验仪器设备简介

1.1 性能测定实验仪器设备

1.1.1 液压式万能材料试验机

1. 组成与结构

液压式万能材料试验机有多种类型,现以国产WE系列为例进行介绍。图1.1.1所示的为这一系列中最常见的WE-100A(或WE-300、WE-600)试验机,其结构简图如图1.1.2所示。

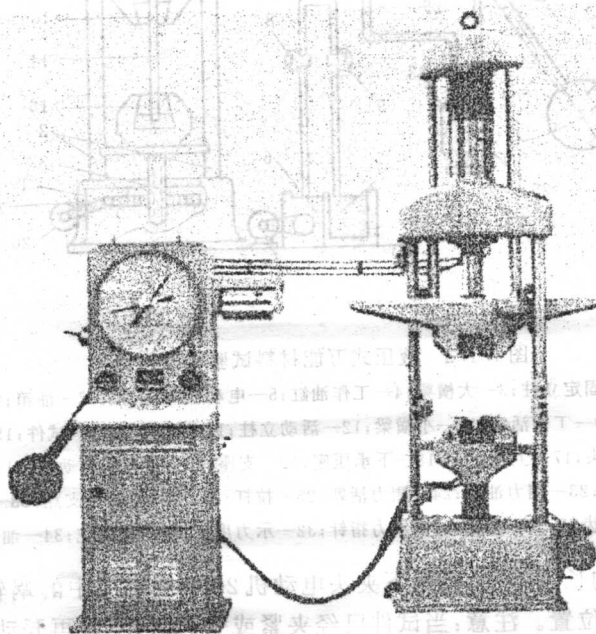


图 1.1.1 液压式万能材料试验机

(1) 加载系统。

在机器底座1上,装有两个固定立柱2,它支承着大横梁3和工作油缸4。开动油泵电动机5带动油泵6工作,将油液从油箱7经油管和送油阀8送入工作油缸4,从而推动工作

活塞10、小横梁11、活动立柱12和活动台13上升。将试件两端装夹在上夹头15和下夹头16中,因下夹头固定不动,当活动台上升时试件14就承受拉力。若把试件放在活动台上的下承压座18上,则当活动台上升到试件与上承压座17接触时试件就承受压力。输油管路中的送油阀门用来控制进入工作油缸中的油量,以调节对试件加载的速度。加载时回油阀9置于关闭位置。回油阀打开,可将工作油缸中的油液泄回油箱,这时,活动台由于自重而下降,回到原始位置。

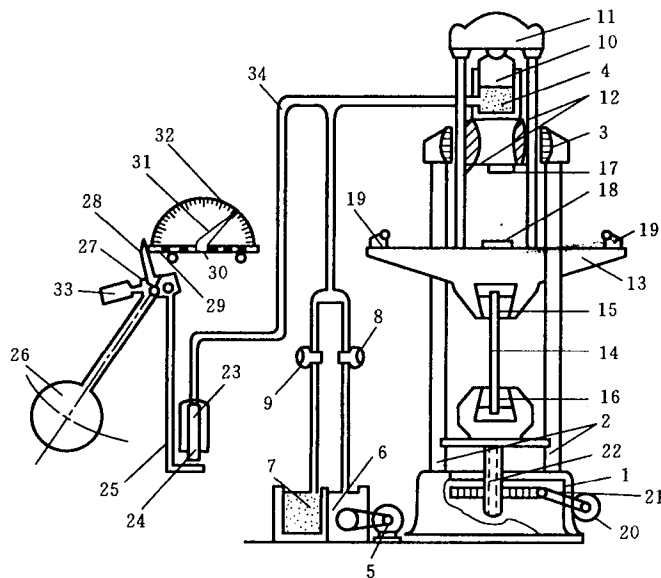


图 1.1.2 液压式万能材料试验机结构简图

- 1—底座;2—固定立柱;3—大横梁;4—工作油缸;5—电动机;6—油泵;7—油箱;8—送油阀;
9—回油阀;10—工作活塞;11—小横梁;12—活动立柱;13—活动台;14—试件;15—上夹头;
16—下夹头;17—上承压座;18—下承压座;19—支座;20—下夹头电动机;21—蜗轮;
22—蜗杆;23—测力油缸;24—测力活塞;25—拉杆;26—摆锤;27—支点;28—推杆;
29—齿杆;30—齿轮;31—示力指针;32—示力度盘;33—平衡砣;34—油管

如果拉伸试件的长度不同,可用下夹头电动机20带动底座中的蜗轮21,使蜗杆22上下移动,调节下夹头位置。注意:当试件已经夹紧或受力时,不能再开动下夹头电动机,除非用下夹头对试件加载,否则易损伤机件。活动台的行程对拉伸区间和压缩区间都有规定,使用者必须遵守。

(2) 测力系统

加载时,工作油缸中的油压推动工作活塞10的力与试件所受的力成正比。如果用油管将工作油缸和测力油缸23连通,此油压便推动测力活塞24向下移动,使拉杆拉动摆锤

26,使之绕支点转动而抬起,同时摆上的推杆28便推动齿杆29,使齿轮30和示力指针31旋转。指针的旋转角度与油压成正比,亦与试件所加载荷成正比。因此,在示力度盘32上,可读出试件受力的大小。

如果增加或减少摆锤的重量,指针虽然旋转同一角度,但所需的油压不同。这说明指针虽在同一位置,但所示出的载荷大小与摆锤的重量有关。一般试验机可以更换三种摆锤重量,它相应地有三种刻度的测力度盘,分别表示三种测力范围。例如,WE-300型(图1.1.1)万能试验机有三种度盘,分别为0~60 kN、0~150 kN、0~300 kN。实验时,为了保证测量载荷的精度,要根据事先估算的试件载荷大小来选择合适的测力度盘,并在摆锤26上放置相应重量的锤重。通常摆锤由小到大编为A、B、C三个号码。为了达到上述目的,有些试验机采用调节摆杆长度的办法,而不是采用变更摆锤重量的办法来调节度盘值。

加载前,应调整测力指针,使其对准度盘上的零点。方法是开动油泵电动机送油,将活动台升高1 cm左右,然后移动摆杆上的平衡砣,使摆杆达到铅垂位置。再旋转度盘(或转动齿杆)使指针对准零点。这样做是为了消除上夹头、活动立柱和活动台等部件的重量影响,因为这部分重量不应计入到试件所受的载荷上去。

2. 原理与应用

常温下的拉伸实验是测定材料力学性能的基本实验。可用以测定弹性模量 E 和 μ ,比例极限 σ_p ,屈服点极限 σ_s ,抗拉强度 σ_b ,伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 等。这些力学性能指标都是工程设计的重要依据。

(1) 弹性模量 E 的测定。弹性模量是应力低于比例极限时应力与应变的比值,即

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Pl_0}{A_0\Delta l} \quad (1-1-1)$$

可见,在比例极限内,对试样施加拉伸载荷 P ,并测出标距 l_0 的相应伸长量 Δl ,即可求得弹性模量 E 。在弹性变形阶段内试样的变形很小,测量变形需用放大倍数为1 000倍的蝶式引伸仪(蝶式引伸仪的组成与结构详见1.1.3节)。

为检查载荷与变形的关系是否符合胡克定律,减少测量误差,试验一般用等增量法加载,即把载荷分成若干相等的加载等级 ΔP (见图1.1.3),然后逐级加载。为保证应力不超出比例极限,加载前先估算出试样的屈服载荷,以屈服载荷的70%~80%作为测定弹性模量的最高载荷 P_n 。此外,为使试验机夹紧试样,消除引伸仪和试验机之间的间隙以及开始阶段引伸仪刀刃在试样上可能滑动的现象,对试样应施加一个初载荷 P_0 , P_0 可取为 P_n 的10%。从 P_0 到 P_n 将载荷分成 n 级,且 n 应不小于5,于是

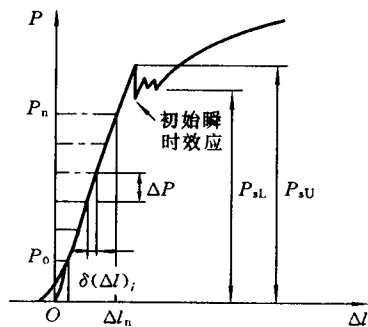


图 1.1.3 低碳钢的 $P-\Delta l$ 曲线

$$\Delta P = \frac{P_n - P_0}{n} \quad (n \geq 5)$$

例如,若低碳钢的屈服点 $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$, 试样直径 $d_0 = 10 \text{ mm}$, 则

$$P_n = \frac{1}{4} \pi d_0^2 \times \sigma_s \times 80\% = 14\,800 \text{ N} \quad (\text{取为 } 15 \text{ kN})$$

$$P_0 = P_n \times 10\% = 1.5 \text{ kN}$$

实验时,从 P_0 到 P_n 逐级加载,载荷的每级增量为 ΔP 。对应着每个载荷 $P_i (i=1, 2, \dots, n)$, 记录下相应的伸长 $\Delta l_i, \Delta l_{i+1}$ 与 Δl_i 的差值即为变形增量 $\delta(\Delta l)_i$, 它是由 ΔP 引起的伸长增量。在逐级加载中,若得到的各级 $\delta(\Delta l)_i$ 基本相等,就表明 Δl 与 P 成线性关系,符合胡克定律。完成一次加载过程,将得到 P_i 和 Δl_i 的一组数据,对应于每一个 $\delta(\Delta l)_i$, 由公式 (1-1-1) 可以求得相应的 E_i 为

$$E_i = \frac{\Delta P \cdot l_0}{A_0 \cdot \delta(\Delta l)_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1-1-2)$$

n 个 E_i 的算术平均值为

$$E = \frac{1}{n} \sum E_i \quad (1-1-3)$$

即为材料的弹性模量。

(2) 屈服点 σ_s 及抗拉强度 σ_b 的测定。

测定 E 后重新加载,当到达屈服阶段时,低碳钢的 $P-\Delta l$ 曲线呈锯齿形(见图 1.1.3)。与最高载荷 P_{sU} 对应的应力称为上屈服点,它受变形速度和试样形状的影响,一般不作为强度指标。同样,载荷首次下降的最低点(初始瞬时效应)也不作为强度指标。一般将初始瞬时效应以后的最低载荷 P_{sL} 除以试样的初始横截面面积 A_0 , 作为屈服点 σ_s , 即

$$\sigma_s = \frac{P_{sL}}{A_0} \quad (1-1-4)$$

若试验机由示力度盘和指针指示载荷,则试验机在进入屈服阶段后,示力指针将停止前进,并开始倒退,这时应注意指针的波动情况,捕捉指针所指的最低载荷 P_{sL} 。

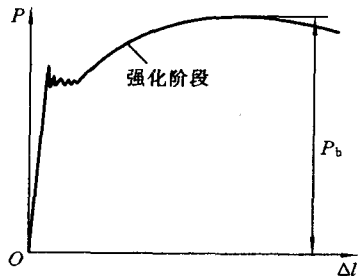


图 1.1.4 拉伸图

屈服阶段过后,进入强化阶段,试样又恢复抵抗继续变形的能力(见图 1.1.4)。载荷到达最大值 P_b 时,试样某一局部的截面明显缩小,出现“颈缩”现象。这时示力度盘的从动针停留在 P_b 不动,主动针则迅速倒退,表明载荷迅速下降,试样即将被拉断。以试样的初始横截面面积 A_0 除 P_b 得抗拉强度 σ_b , 即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0} \quad (1-1-5)$$

(3) 断后伸长率 δ 及断面收缩率 Ψ 的测定。

试样的标距原长为 l_0 ，拉断后将两段试样紧密地对接在一起，量出拉断后的标距长为 l_1 ，断后伸长率 δ 应为

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-1-6)$$

断口附近塑性变形最大，所以 l_1 的量取与断口的部位有关。

试样拉断后，设颈缩处的最小横截面面积为 A_1 ，由于断口不是规则的圆形，应在两个相互垂直的方向上量取最小截面的直径，以其平均值计算 A_1 ，然后按下式计算断面收缩率

$$\Psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-1-7)$$

3. 使用方法

1) 实验步骤

- (1) 检查油路上各阀门是否处于关闭位置；然后换上与试件相匹配的夹头。
- (2) 根据所需最大载荷，选择测力度盘，装上相应的重锤。
- (3) 装好自动绘图器的传动装置、笔和纸等。
- (4) 开动油泵电动机，检查运转是否正常。然后打开送油阀门，向工作油缸中缓慢输油。待活动台升起1 cm左右，将送油阀关到最小，并按上述方法，调整示力指针和随动指针使其对准零点。

(5) 安装试件。压缩试件必须放置在下承压座上。拉伸试件则必须调整下夹头位置，使上、下夹头间的距离与试件长度相适应后再将试件夹紧。试件夹紧之后，就不能再调整下夹头了。

(6) 实验完毕，关闭送油阀，并立即停车。然后取下试件（有时要在泄油后，再取下试件，例如非断裂实验）。缓慢打开回油阀，将油液泄回油箱，使活动台回到原始位置，并使一切机构复原。

2) 注意事项

- (1) 开车前和停车后，送油阀一定要置于关闭位置。加载、卸载和回油均必须缓慢进行。
- (2) 拉伸试件夹住后，不得再调整下夹头的位置。
- (3) 机器开动时，操作者不得擅自离开。实验过程中不得触动摆锤。
- (4) 使用时，听见异常声音或发生任何故障应立即停车。

1.1.2 微机控制电子万能材料试验机

1. 组成与结构

(1) 主机的结构及原理。

现介绍CMT系列微机控制电子万能试验机，图1.1.5所示的为这一系列中最常见的CMT-200(或CMT-300)试验机的结构简图。CMT系列微机控制电子万能试验机是采用

先进的基于DSP的试验机数字闭环控制与测量系统,具有微机控制、全数字闭环及图形显示等功能的精密仪器。

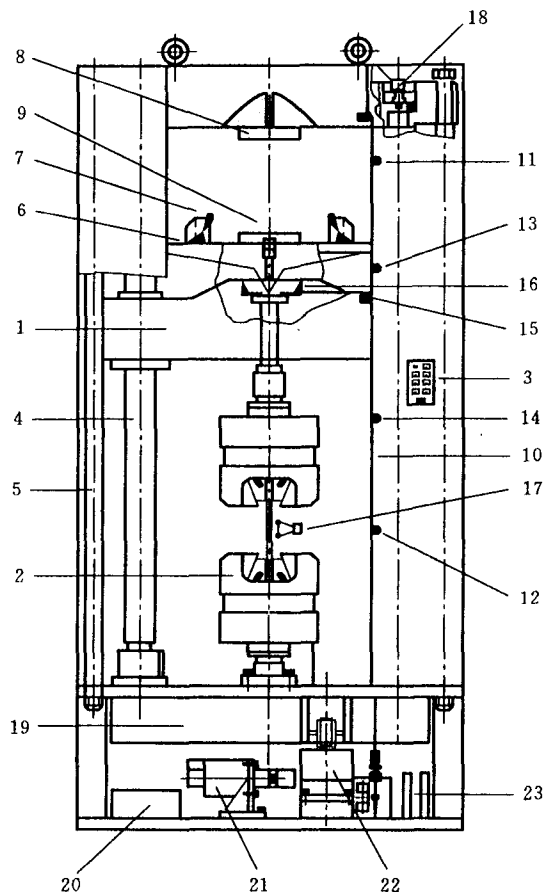


图 1.1.5 CMT 系列微机控制电子万能试验机的结构简图

- 1—移动横梁;2—液压夹头;3—手动控制盒;4—滚珠丝杠;5—光杠;6—弯曲试验台;
7—弯曲支座;8—压缩上压板;9—压缩下压板;10—限位杆;11—上极限限位挡圈;
12—下极限限位挡圈;13—上调整限位挡圈;14—下调整限位挡圈;15—限位碰块;
16—传感器;17—变形传感器;18—光电编码器(位移传感器);19—同步齿形带;
20—伺服控制器;21—伺服电动机;22—减速机构;23—微控制器(控制盒)

微机控制电子万能试验机包括主机及微机部分。主机部分主要包括机架及横梁、传动系统、力测量系统、变形测量系统、位移测量系统、夹具装置、限位装置、控制面板和急停开

关等构成。微机部分主要由计算机、打印机和试验软件等构成。

传动系统主要用来控制试验机的试验台运行,包括伺服控制器20、伺服电动机21、减速机构22、同步齿形带19和丝杠4等装置。它们都是由微控制器23来控制的。

力测量系统是试验机的核心部分之一,用来测量试验力。包括测力传感器、测力放大器、A/D转换器和接口电路等组成。试验力通过测力传感器转换成电信号,输入测力放大器单元加以放大,再经A/D转换器转换进入计算机并实时显示试样承受的力。

变形测量系统属于试验机的辅助系统,用来测量试样在实验中的变形量。包括引伸仪、放大器、A/D转换器和接口电路等组成。试样的变形通过引伸仪转换成电信号,输入放大器加以放大,再经A/D转换器转换进入计算机。一般根据试样的变形范围来选取不同的引伸计。

位移测量系统主要测量横梁在试验中的位移,由光电编码器18、位移测量单元和接口电路等组成。

试验机还配备了超载保护和限位保护装置。当设备在试验过程中力传感器感受到超过设定的力值时,设备将自动停机。限位保护装置也是本机的重要组成部分。如图1.1.5所示,移动横梁1上固定有限位碰块15,限位杆10上配有上下固定限位挡圈11、12和两个可调限位挡圈13、14,试验过程中碰块和挡圈触碰将带动限位杆移动,触发设备的限位保护装置作用,移动横梁运行停止。调节上下两个可调挡圈可设定移动横梁运行的范围,为操作和试验提供极大的方便和安全可靠的保护。

该系列试验机采用不同的夹具,能完成各种材料在拉伸、压缩、弯曲等状态下的力学性能试验。采用微机控制全试验过程,实时动态显示负荷值、位移值、变形值、试验速度和试验曲线。采用三闭环(力、变形、位移)控制系统,实现力、变形、位移全数字三闭环控制,各控制环间可自动切换,并在各方式间切换时能实现无冲击平滑过渡。图1.1.6所示的为CMT系列微机控制电子万能试验机的电气原理框图。

(2) 手动控制盒。

试验机配备有手动控制盒,用于操作人员手动操作试验机,可调节移动横梁和夹具到最佳位置。控制盒面板如图1.1.7所示。

电源指示灯亮表示主机处于开机状态,灯灭表示主机处于关机状态。快速上升键用于使移动横梁快速上升,快速下降键用于使移动横梁快速下降,缓慢上升键用于使移动横梁缓慢上升,缓慢下降键用于使移动横梁缓慢下降;以上四键都是按下移动,松开停止。试样保护键用于消除试样在夹持过程中的初夹力。按运行键,机器将按设定的试验方案进行试验。停止键用于在试验过程中,停止试验。

2. 微机控制电子万能试验机的使用方法

(1) 操作步骤。

在确认设备的电源连线和信号连线连接无误后,即可按照如下顺序开机:试验机→计

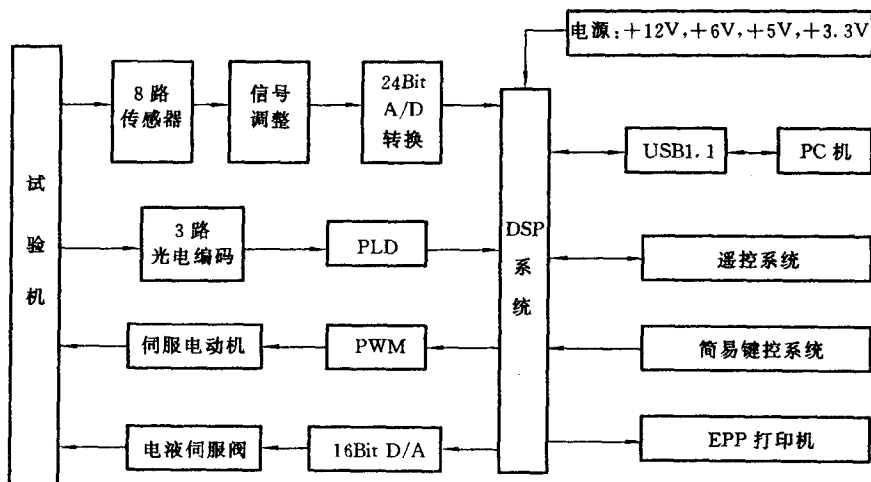


图 1.1.6 CMT 系列微机控制电子万能试验机的电气原理框图

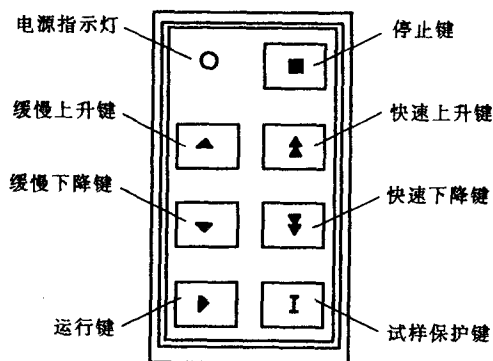


图 1.1.7 控制盒面板

算机→打印机。主机和计算机的开机顺序会影响计算机的通信初始化设置,所以必须严格按照上述开机顺序进行开机。开机后运行配套软件,根据试样情况准备好夹具,并将其在夹具座上安装好,再对夹具进行检查,夹持试样。如果在上空间试验,则先将试样夹在上夹头上,力清零后消除试样自重,再夹持试样的另一端;如果在下空间试验,则先将试样夹在下夹头上,力清零后消除试样自重,再夹持试样的另一端。设置好限位装置。在试验结束后,可按如下顺序关机:试验机→打印机→计算机。

(2) 注意事项。

① 任何时候都不能带电插拔电源线,否则很容易损坏电气控制部分。每次开机后要预热 10 min,待系统稳定后,才可进一步使用。如果刚刚关机,又需要再开机,则至少要保证 10 s 的停机间隔时间。试验结束后,一定要关闭所有电源。

② 试验开始前,一定要调整好限位挡圈。在更换夹具后,首先要注意调整好可调挡圈。尤其在用小力值传感器做试验时,一定要放置好可调挡圈,以免操作失误而损坏小力值传感器。

③ 试验过程中,操作者不能远离试验机。