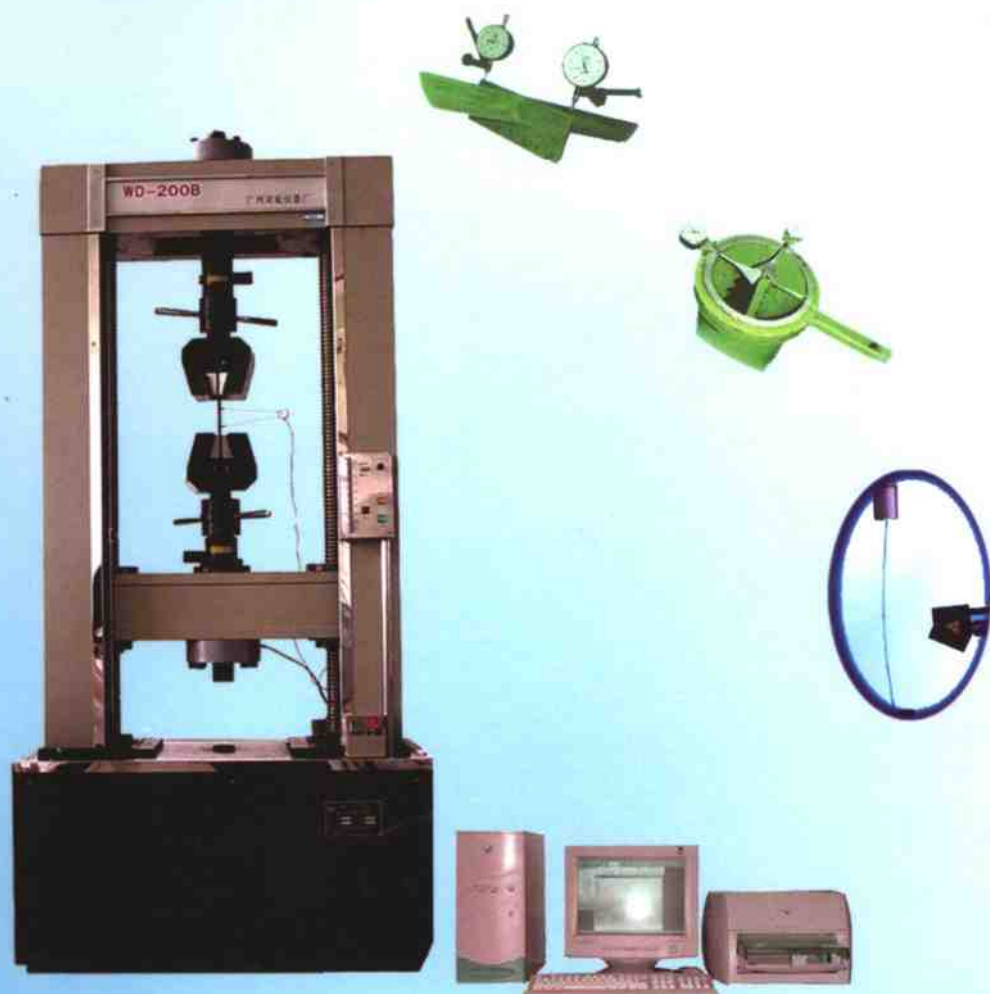


工程材料力学试验

詹胜 穆翠玲 编著

GONGCHENG CALIAO LIXUE SHIYAN



广东科技出版社

工 程 材 料 力 学 试 验

詹 胜 穆翠玲 编著

广东科技出版社

• 广 州 •

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料力学试验/詹 胜, 穆翠玲编著. —广州:

广东科技出版社, 2005.7

ISBN 7-5359-3903-1

I. 工…

II. ①詹…②穆…

III. 工程材料—材料力学—实验—教材

IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 033629 号

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码: 510075)

E-mail: gdkjzbb@21cn.com

[Http://www.gdstp.com.cn](http://www.gdstp.com.cn)

印 刷: 中山大学印刷厂

(广州市新港西路 135 号 邮码: 510275)

规 格: 787mm×1092mm 1/16 印张 8.75 字数 190 千

版 次: 2005 年 7 月第 1 版

2005 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 1~2 000 册

定 价: 15.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

内容提要

本书为工程材料力学试验课教材，全书共分五章：第一章绪论；第二章介绍工程材料力学试验常用设备仪器，包括计算机控制的试验机和计算机实验数据采集系统等先进设备；第三章为基本实验；第四章为设计性实验；第五章为研究性实验。在阐述试验方法和实验数据分析时，以国家标准为依据。

本书的实验内容结合工程实际，有特色，面广深度大。试验设备、仪器和实验技术反映了当今材料力学试验的新水平。

除作教材外，此书也可供有关的试验工作人员参考。

前 言

按照我校提出的加强培养学生科学实验能力的要求,我们进行了材料力学实验的教学改革,同时编写了实验教材。经近年来的教学实践,并在实践中不断修改补充,证明了实验教学改革是有成效的。这本《工程材料力学试验》既保留了原来材料力学试验中的基本内容,又增添了许多新的具有工程实际意义的实验项目,包括设计性和研究性的实验。实验内容覆盖面广、深度大。它把材料力学和建筑材料等的力学试验结合在一起,拓宽了材料力学试验的范围,可以更有效地培养学生的实验技能和从实验结果中进行分析思考创新的能力,并在实验中使学生掌握有关工程材料试验的国家标准和规定,满足今后从事工程材料试验工作和进一步学习研究的需要。

本书特点如下:1. 介绍了当前较先进的试验仪器设备,并应用到实验中去,如计算机控制的万能试验机和扭转试验机,以及激光位移计等。2. 介绍了较先进的计算机实验数据采集分析系统和计算机绘制实验曲线等内容,并在实验中采用这些技术。3. 新开设多项自行设计的具有本课程特色的实验项目,如非对称弯曲,剪切中心测定,开口、闭口薄壁杆件和连梁筒体扭转实验,多层楼房组合柱静态、动态内力的测试,以及材料损伤测定等。

工程材料品种繁多,新的材料又在不断出现,其力学性能的测试内容和方法也不全相同。因此,本书将突出重点,论述在工程上广泛应用的材料力学试验方法、规定及有关结果。

本书的编写和出版得到了中山大学理工学院应用力学与工程系和中山大学教务处的的大力支持,在此表示衷心感谢。

在编写过程中,除了参考所列出的文献外,还参考了相关的试验机、测试仪器设备的说明书,以及作者以往编写的讲义。限于编者水平和时间仓促,书中难免存在错漏之处,恳请读者批评指正。

编者于中山大学
2005年2月

目 录

第一章 绪论	1
第二章 工程材料力学试验常用设备仪器	3
第一节 液压式万能材料试验机	3
第二节 数显式液压万能试验机	6
第三节 微机控制电液伺服试验机	9
第四节 YE—1000 四柱压力试验机	11
第五节 YA—2000 电液式压力试验机	13
第六节 机械式万能材料试验机	16
第七节 电子万能试验机	18
第八节 摆锤式扭转试验机	21
第九节 电子式扭转试验机	24
第十节 冲击试验机	27
第十一节 布洛维三用硬度计	30
第十二节 显微硬度计	32
第十三节 疲劳试验机	34
第十四节 电阻应变仪	38
第十五节 电阻应变片式拉压力传感器和位移传感器	46
第十六节 激光位移计	51
第十七节 百分表、千分表和磁性表座	52
第十八节 计算机实验数据采集处理系统	53
第三章 基本实验	60
实验一 钢筋和铸铁拉伸试验	60
实验二 电测法测量杨氏模量 E 和泊桑比 μ	68
实验三 压缩试验	72
实验四 剪切试验	75
实验五 低碳钢、铸铁扭转试验和 G 值测量	77
实验六 梁弯曲正应力测试	82
实验七 冲击试验	85
实验八 金属材料布、洛氏硬度试验	87
实验九 显微硬度试验	90
实验十 压杆临界压力测定	92
实验十一 疲劳试验	95
实验十二 规定非比例伸长应力测定	99
实验十三 混凝土力学性能测试	103
实验十四 动应力测试	106

实验十五 振动幅频曲线测试	109
第四章 设计性实验	112
实验十六 真应力—真应变曲线测定	112
实验十七 木材力学性能测试	114
实验十八 矩形截面梁扭转应力测试	116
实验十九 铝和钢组合梁（铆接、叠合）试验.....	117
实验二十 槽钢、角钢剪切中心测定	118
实验二十一 Z 钢、角钢非对称弯曲变形测定	119
实验二十二 薄壁杆件（开口、闭口）扭转试验.....	120
实验二十三 具有连梁的筒体扭转试验	121
实验二十四 箱形刚架的变形和内力测定.....	122
实验二十五 有孔板条应力集中测试	123
实验二十六 工字梁腹板应力测试	124
实验二十七 钢索 E 值测试.....	125
实验二十八 半圆拱试验	126
第五章 研究性实验	127
实验二十九 多层楼房组合柱静态、动态内力的测试.....	127
实验三十 材料损伤参数测试	129
参考文献	131

第一章 绪 论

一、工程材料力学试验的重要性

工程材料是用于各种工程建设、制造的材料总称。它是进行各项工程建造的物质基础，如楼房、道路、桥梁、车辆、轮船、飞机、码头港口以及各种各样的机器仪表等等，都少不了各种各样的工程材料。所用材料的力学性能如何直接关系到各项工程结构的性能和安全。不按设计施工要求，采用力学性能差的材料建造房屋、桥梁等，难免会发生楼倒桥塌的严重事故，这就是人们所说的“豆腐渣”工程。因此，工程材料的力学试验是工程建设中不可少的。如建筑工程中所用的钢筋、混凝土都必须进行力学性能测试，确保工程质量。由此可见，工程材料的力学试验是一项十分重要的工作，它为工程设计者提供实测的工程材料的力学性能参数，又为建设部门把住施工材料的质量关，防止产生“豆腐渣”工程。

工程材料力学试验的重要性不仅体现在上面所论述的内容，还在于它对材料力学理论的建立和验证所起的重要作用。理论来源于实践，并受实践的检验。虎克定律—材料力学的奠基石，就是在实验中建立起来的。根据实验现象而提出的各种假说，以及在有些假说条件下推导出的理论计算公式，如弯曲、扭转的应力计算等，其正确性如何，还得通过实验来证明。科学工作者在实践中建立了各种理论，又在实践中检验和发展这些理论。特别是对新材料的力学性能的认识，更是离不开力学试验。总之，实验是科学研究的基础。不能把实验误解为只是简单的操作过程，而应当把它作为理论与实际相结合的过程，是深化认识和开拓新见解的过程。因此，要求读者通过本课程的学习，不仅达到具有工程材料力学试验的动手能力，而且具有试验的设计能力，以及对试验结果进行分析和作出正确结论的能力。

二、工程材料力学试验的内容

工程材料力学试验的内容有以下 3 方面：

1. 材料的力学性能测试

这部分试验是指在各种材料试验机或试验装置上所进行的拉伸、压缩、扭转、剪切、冲击、硬度、疲劳、断裂和损伤等试验。其目的在于测定材料的力学性能指标，如强度极限 σ_b 和 τ_b ，屈服极限 σ_s 和 τ_s ，规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ ，规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ ，弹性模量 E ，波桑比 μ ，断后伸长率 δ ，冲击吸收功 A_{KV} ，条件疲劳极限 $\sigma_{R(N)}$ 和疲劳极限 σ_D 等等。这些参数反映了受试材料的力学性能指标，是工程设计时的重要参数。在研究开发一种新型材料的时候，材料的力学性能测试是一项十分重要的工作。

2. 应力、应变、内力和变形的测试分析

某些构件，由于几何形状复杂，或受力状态复杂，或边界条件较难确定，理论求解比较困难，这时可采用电测法、光测法和应用各种力、力矩、位移传感器及仪表进行应力、应变、内力和变形的测量。由于后续课程中有“实验应力分析”，因此，在这里仅介绍有关的内容。

3. 验证理论公式

前面已指出，理论公式是否正确必须由实验来检验。这部分的实验是验证已建立起来的材料力学理论公式，如梁的弯曲应力、压杆稳定等。

三、试验标准

材料的力学性能是材料的固有属性，不同的材料具有不同的力学性能。我们从试验中知道，材料的力学性能，如屈服极限、强度极限、疲劳极限和冲击吸收功等，除了与材料本身有关外，还与加载速度、试件几何形状、表面光洁度、试验周围环境的温度、湿度有关。因此，在进行工程材料力学性能的测试时，必须做出有关的规定，以便统一试验标准，使测试结果具有可比性。这些规定在我国被称为国家标准（GB）或部标（JB、YB 等）。其他国家也有各自的试验标准，如美国的 ASTM。在国际间进行仲裁时，以国际标准进行试验，代号 ISO。

四、实验报告

实验报告就是对所做的实验进行综合的报告。它包括实验的目的、原理、方法和步骤，试验所用的仪器设备名称、型号、有关的性能指标、精度，试验的记录、结果的分析与计算，以及对实验中出现的问题进行讨论研究等，以便从中发现新的东西。对于科研实验报告，它是存档和进行交流的重要资料。对于学习者而言，实验报告则是在完成实验的基础上，书写实验、总结分析实验的过程。它可以培养实验者的文字及图表表达能力、对实验结果进行分析的能力，从而提高实验者撰写实验报告的水平。

第二章 工程材料力学试验常用设备仪器

进行工程材料力学试验,离不开材料试验机和测试仪器设备。从试验的荷载性质来分,工程材料力学试验可分为静力试验和动力试验两大类,因而试验机也就有拉力试验机、压力试验机、万能材料试验机(兼作拉、压、弯、剪等试验)、扭转试验机等属于静力方面的试验设备和冲击试验机、疲劳试验机、电液伺服动力加载装置等属于动力方面的试验设备。从施加荷载的方式来分,可分为液压式和机械式两大类。在力、变形的测量方面,有由摆锤、指针、刻度盘、杠杆引伸计、记录滚筒等组成的机械式测量系统,还有由电阻应变片式力传感器、电子式位移传感器、放大器、X-Y函数记录仪或计算机等组成的电子式测试系统。随着电子计算机和测试技术的进步和发展,试验数据由计算机进行采集和处理越来越普遍,这使实验过程及其结果的图形、表格、文字报告处理十分方便,极大地提高了试验工作效率。对高档的材料试验机而言,不仅试验数据由计算机采集和处理,并且试验的过程也由计算机控制。任何一台试验设备,它的工作过程往往涉及到各方面的知识,如机械、液压、电子、电气、计算机、传感器和工程控制等技术。对于试验机的工作原理,需要有一定的了解,才能更好地用它。下面将介绍进行工程材料力学试验时常用的设备和仪器,包括电阻应变仪的工作原理等。至于电测法的进一步学习及光测法的学习将在后续课程“实验应力分析”中进行。

第一节 液压式万能材料试验机

液压式万能材料试验机是一种被广泛使用的试验机。在工程单位、工厂、研究部门、质检部门、高等院校的材料力学实验室通常都采用这种试验机。它可以做拉伸、压缩、弯曲、剪切等试验。国产的WE系列试验机就是属于这种类型。现以WE-300型试验机为例,说明它的工作原理。整机由以下几部分组成。

液压源部分:由电动机、油泵、油管和油箱等组成。

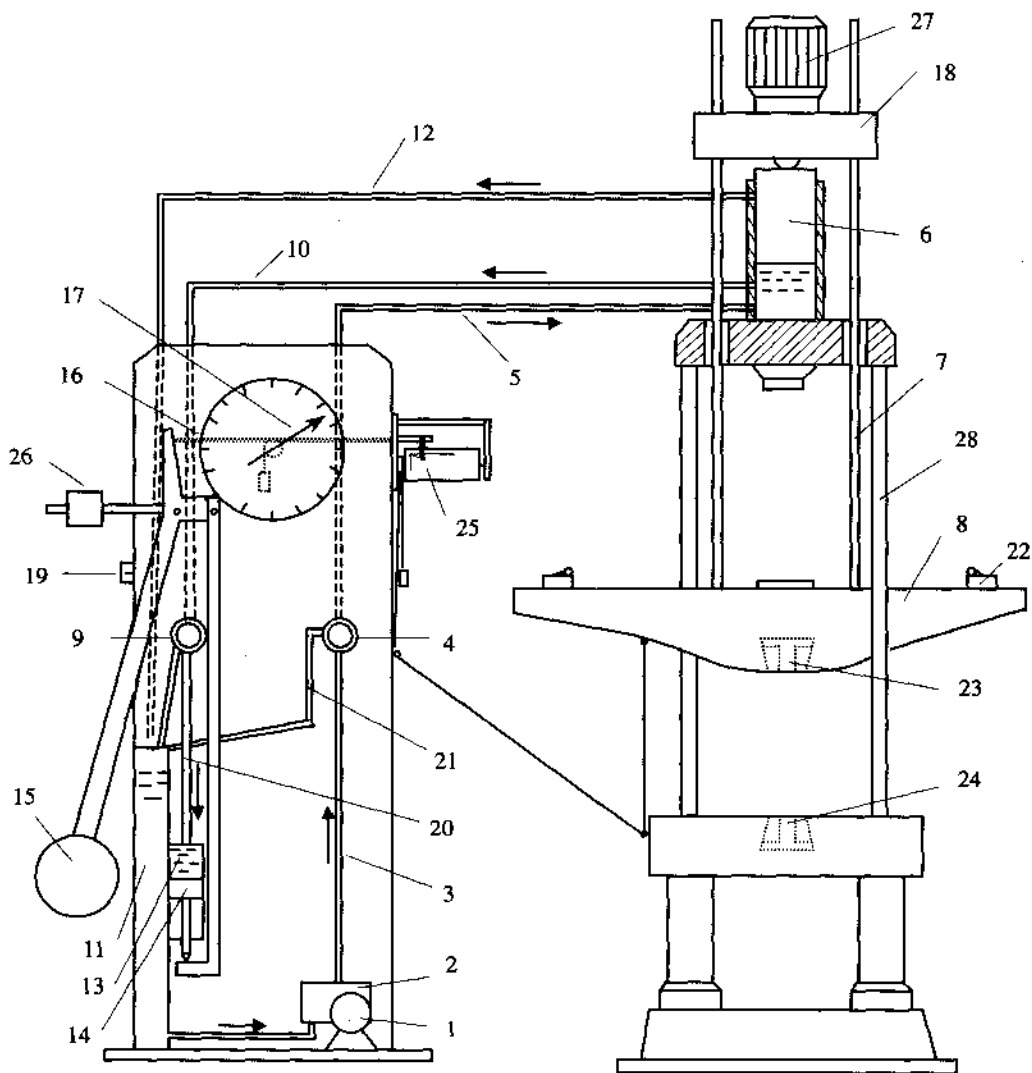
加载部分:由工作油缸、活动平台、底座、立柱和横梁等组成。

测量力和位移部分:由测力油缸、摆锤、推杆、齿杆、示力度盘、力和位移记录滚筒等组成。而试件标距内的变形则由引伸计进行测量。

控制部分:由送油阀、回油阀及电器开关控制等组成。

此机最大荷载300kN,分3个量程。摆锤A对应的量程为0~60kN,摆锤A+B对应的量程为0~150kN,摆锤A+B+C对应的量程为0~300kN。位移的放大倍数为1:1、2:1和4:1共3挡。

试验机的工作过程如下(图2-1):



1—加载电机；2—油泵；3—油管；4—送油阀；5—送油管；6—活塞；7—活动立柱；8—工作台；9—回油阀；10—回油管；11—油箱；12—泄油管；13—油缸；14—活塞；15—摆锤；16—齿杆；17—指针；18—蜗杆蜗轮；19—缓冲阀；20—测力油管；21—回油管；22—弯曲座；23—上夹头；24—下夹头；25—记录滚筒；26—平衡锤；27—升降电机；28—立柱

图 2-1 WE-300 试验机原理

(1) 试件安装：压缩、弯曲试件放在工作台面上，拉伸试件夹持在上、下两夹头之间。工作台和上夹头可通过升降电机 27 经蜗杆蜗轮系统 18 而产生上下移动，以调节工作台 8 与上压座或与下夹头之间的距离。应注意，升降电机 27 只能作调整工作台位置用，不可用于加载。

(2) 加载：加载电机 1 带动油泵 2，将油加压后经油管 3 通过送油阀 4 及送油管 5

进入工作油缸，在油压作用下活塞 6 被顶起，通过活动立柱 7，使工作台 8 上升，这样便使装在工作台下面的试件受拉。工作台上升的速度由送油阀调节进油量来控制，按反时针方向微转控制阀手轮，可加大油量。在加载时，必须先将回油阀 9 关闭（顺时针方向），截断压力油归路，使油压作用于活塞上。关闭送油阀，打开回油阀，油缸的压力油经回油管 10 回流至油箱 11，缸内压力下降，这就是卸载。泄油管 12 使油缸与活塞间渗漏的油回流至油箱。

（3）测力：当回油阀 9 关闭时，工作油缸的油压除了通过工作台加力于试件外，还通过与工作油缸连通的测力油缸 13 使测力油缸活塞 14 下行，通过连杆而使摆锤 15 发生偏转，进而推动齿杆 16，使指针 17 转动指示力值。缓冲阀 19 的作用是在试件破坏、工作油缸油压迅速下降时，使测力油缸的油不致回得太快，保证测力油缸的油压慢慢下降，从而使摆锤慢慢回到平衡位置，避免摆锤迅速下降产生冲击而损坏机器。每级荷载量程在缓冲阀上都有相应的位置。试验时，必须保证它们的一致。为了提高测力精度，减少误差，测力活塞 14 在电机 1 的带动下作匀速的转动（图中未画出）。

另外，工作油缸的油压力除了给试件加荷外，还必须支承起支架本身的自重，而这部分油压力也将一度盘上读出数来，为了使度盘上的读数真正指示出试件的荷载，必须首先将整个支架用油压升起，然后，调整平衡锤 26，使摆杆垂直，再调整指针指“0”，这样就把工作台重量扣除了。

（4）操作规程：

① 估计试件破坏大约所需的荷载，选择试验机的合适荷载量程，并于摆杆上悬挂相应的摆锤。

② 放好缓冲阀位置，使之与所选择的量程一致。

③ 调整平衡锤及调整“0”点：启动油泵马达，打开送油阀，关闭回油阀，使工作台上升 10mm 左右，然后关闭送油阀，先调整平衡锤，使摆杆刻度对应标牌之刻度，再调整度盘指针，旋转自动绘图器描绘笔夹旁的旋钮，使指针指“0”。

④ 启动升降马达，调整工作台至适当高度，装上夹头和试件。

⑤ 装上测量试件变形的仪器（如引伸仪等）和在自动绘图装置上装上记录纸，并使笔尖压在记录纸上，旋转一周滚筒，检查笔尖画出的线是否与方格纸的 X 轴相重合（或相平行），否则要重新调整记录纸，同时选取适当的放大比例。

⑥ 加荷：缓缓开启送油阀，逐渐施加载荷。阀门既不应突然大开，也不应突然关闭。

⑦ 试件破坏后，关闭送油阀，慢慢旋开回油阀，停止油泵工作。

（5）注意事项：

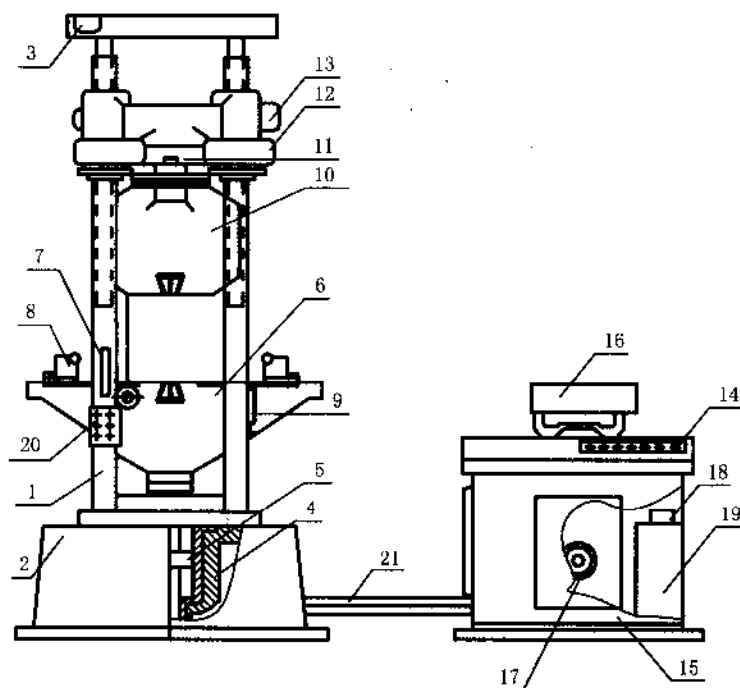
① 不能用升降马达给试件加荷，也不能在装上试件后，启动升降马达以调整位置，否则容易损坏电机及齿轮。

② 关闭送、回油阀门时，不能用力过猛，也不要关得太紧，以免损坏顶针。

③ 工作台由升到降，或者由降到升的状态切换，应按“停”按钮，停机后，再按“升”或“降”按钮，以免发生事故。

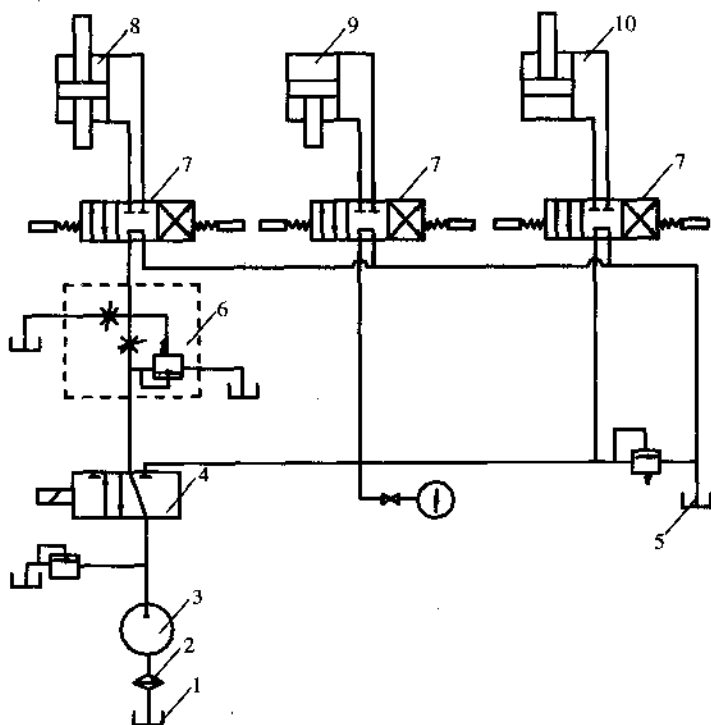
第二节 数显式液压万能试验机

数显式液压万能试验机（图 2-2）是由液压源（油箱、电机、油泵、油管等）、加载系统（工作油缸活塞、工作平台、立柱、上横梁等）、测量系统（力、位移、变形传感器、电子放大器等）和控制系统（油阀、电磁阀及电器开关等控制件）组成。与上一节讲述的试验机相比，它明显进步了。现以 WES-1000 试验机（图 2-3）为例，说明两者不同之处。



1—丝杆立柱；2—机座；3—槽钢；4—油缸；5—活塞；6—试验台；7—标尺；8—弯曲支座；9—位移传感器；10—上夹座；11—力传感器；12—横梁；13—电机；14—操纵按钮；15—控制箱；16—力、位移、变形测试仪；17—油泵；18—控制油阀；19—油箱；20—控制按钮；21—油管

图 2-2 1000kN 数显式液压万能试验机原理



1—油箱；2—过滤网；3—油泵；4—二位三通阀；5—油箱；6—控制阀；7—三位四通阀；8—工作油缸；9—上夹头油缸；10—下夹头油缸

图 2—3 WES—1000 液压传动系统

(1) 测力部分：由原来的测力油缸、活塞、摆锤、推杆、指针、刻度盘组成的测力系统变为由应变片式力传感器和电子放大器组成的测力单元，占用空间大大减少。

(2) 试件的变形测量：采用应变片式位移计加放大器的测量方法。

(3) 两支座间位移测量：采用滑线电阻位移计加放大器的测量方法。

以上 3 项的测量放大电路都集中在同一台电子仪器（即图 2—2 的 16 项）上。它们的输出可接 X—Y 函数仪，也可接到计算机上。

(4) 显示加载的速度。

(5) 采用电磁阀控制工作油缸的进出油路，使活塞可作双向的加载运动，拉、压试验在同一空间里进行。而上一节讲的试验机只能作单向加载，拉、压试验在分别在工作台的下方、上方空间进行。

(6) 采用油压夹紧试件，保证夹得牢固。

操作步骤：

(1) 开启电源，启动油泵。

(2) 选择合适的量程挡位，调节零点。

(3) 调整试验空间，按下安装在立柱上的升降控制按钮，电机 13 转动，带动蜗杆

蜗轮，使横梁升降至适当的位置。以便安装试件和进行试验。

(4) 安装试件。

(5) 按下操纵按钮 14 和调节油阀旋钮，进行试验。

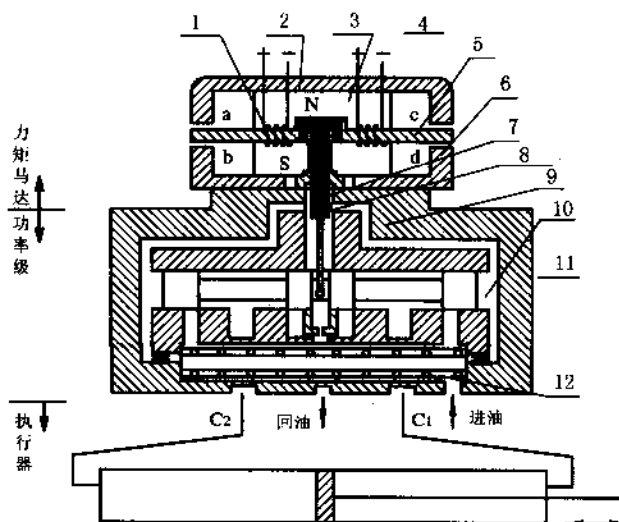
注意事项：

(1) 力、位移、变形测量仪，需预热后方可使用。

(2) 在试验过程中，由于某种原因油泵突然停止工作，此时应将所加的试验力卸掉，使油压下降至零，检查后重新启动油泵进行试验，不应在高油压下开动油泵，以免发生损坏。

第三节 微机控制电液伺服试验机

电液伺服加载系统是目前最先进的加载系统。这种系统首先应用于材料试验机上，后来迅速应用于结构试验的加载系统、水池造波机和地震模拟试验台上。由于采用了电液伺服阀进行闭环控制，因而可获得很高的加载精度。伺服阀既不同于前面所讲的 WE-300 试验机的手动阀门，也不同于 WES-1000 试验机上的电磁阀。它是一种可用电信号进行流量和流向控制的阀门。其工作原理见图 2-4。



1—线圈；2—上导磁体；3—永久磁铁；4—弹簧管；5—衔铁；6—下导磁体；7—挡板；8—喷嘴；9—反馈杆；10—阀芯；11—固定节流孔；12—滤油器

图 2-4 电液伺服阀工作原理

当电信号输入伺服阀线圈时，在气隙中产生了控制磁通，改变了原来仅有永久磁通时的平衡状态。其中气隙 b 和 c 的磁通增加（两者相加），则另两个气隙 a 和 d 的磁通减少（两者相减）。这样，衔铁上就有一个力矩，并产生偏转，使挡板向右偏移。因而改变了喷嘴与挡板间缝隙，右边缝隙减少（喷嘴腔压力升高），左边缝隙增大（喷嘴腔压力降低），形成一个压力差推动滑阀向左移动，使执行元件的一个控制口（图 2-4 中的 C_2 ）和高压油管接通，而另一个控制口（图 2-4 中的 C_1 ）和回油管接通，执行元件的活塞即向右方向移动。与此同时，滑阀的移动带动具有一定刚度的反馈杆，反馈杆的一端插入滑阀的环槽中，因此滑阀的位移将通过反馈杆在衔铁产生反馈力矩，其方向恰好与电流输入线圈产生的力矩平衡时，拨杆回至中心位置，滑阀不再移动。因此，滑阀的位移和输入伺服阀线圈的电流成正比，也就是执行元件加载的高压油流量与输入线圈的电流成正比。当输入的电流反向时，衔铁转向相反，伺服阀输出的高压油的流向也相反。由此可见，伺服阀能够实现电液转换和伺服控制之目的。

伺服阀用于闭环控制的基本回路如下：

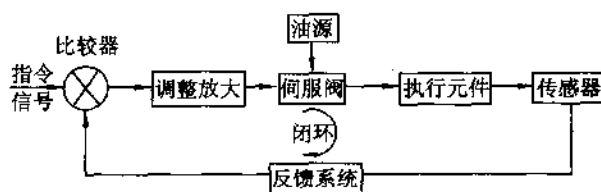


图 2—5 电液伺服加载系统基本回路

在电液伺服加载系统中，伺服阀是它的关键部分。指令发生器发出的信号经过比较器，调整放大后，输入伺服阀，转换成大功率的液压信号，将来自液压源的液压油输入执行器，使执行器按输入信号的规律产生运动，对试验对象施加荷载。与此同时，由传感器检测出的荷载、位移、加速度、应变等信号，根据要求选其中之一作为反馈信号，送入反馈系统，再送至比较器，实时地与指令信号进行比较，得出的差值信号经调整放大后，送入伺服阀，使执行器向消除差值的方向动作。最终达到执行器的动作与指令的要求一致。

目前，电液伺服加载系统大多数与电子计算机联机使用。整个系统可以进行程序控制，扩大系统功能，输出各种波形信号（如地震波等），进行数据采集和数据处理，控制试验各种参数和进行试验状况的快速判断。

对于微机控制电液伺服万能试验机有多种机型，有的是做静态试验的（如 WAW—Y 系列试验机），有的则可做动态、静态试验（如美国的 MTS 858）。