

高等学校教学用书

材料力学实验

王育平 边 力 滕桂荣 赵向东 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

《材料力学实验》是根据材料力学课程教学的基本要求编写的,既可以与中等学时、多学时的材料力学教材配套使用,也能满足材料力学实验单独设课的需要。

本书把材料力学实验分为基本实验和选择性实验两部分。基本实验是材料力学课程基本要求规定的实验内容,包括破坏性实验、材料弹性常数测定实验、电测法测定弯曲正应力和弯扭组合变形的主应力测定等。选择性实验包括应变片的粘贴、压杆稳定实验、偏心拉伸实验和超静定梁实验等。实验教材可根据各学校设备情况由教师选择部分内容作演示或在教师指导下由学生完成,附录为与基本实验相对应的实验报告。

本教材可供高等工科院校材料力学专业的学生做基本实验使用,也可供大、中专院校相关专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验/王育平等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2004.2

ISBN 7-81077-407-7

I. 材… II. 王… III. 材料力学—实验—高等学校—教学参考教材 IV. TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 094199 号

材料力学实验

王育平 边 力 编著
滕桂英 赵向东
责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpess@263.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:6.75 字数:151 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-407-7 定价:9.00 元

前 言

材料力学实验是材料力学教学中的一个重要环节。为了提高学生的实验技能和工作实践能力,全面推进素质教育,各高校都在不断加大实验教学的改革力度。为适应新形势下的材料力学实验课教学,根据材料力学的课程教学基本要求编写了《材料力学实验》这本教材,可供各专业中等学时和多学时材料力学实验的教学使用。

全书共分4章和一个附录。第1章为绪论,讲述材料力学实验的内容、方法和要求;第2章是实验设备及测试原理,介绍了国内常用试验机、试验装置以及变形仪的构造原理及操作规程,包括电测法的基本原理;第3章为基本实验,包括破坏性实验和主要力学性能测定等;第4章为选择性实验,包括偏心拉伸实验、超静定梁实验等;附录是基本实验的实验报告。

基本实验是材料力学课程基本要求规定的实验内容。因此,对实验的具体要求和操作规程都做了比较详细的叙述,以加强学生对实验基本知识和技能的培养。选择性实验中有的实验是在老师指导下学生独立完成的;有的实验只给予提示,要求学生自己设计实验方案和操作步骤,给学生留出充分的思考空间,培养学生的实践和创新能力。

本书全部插图均由王颖老师绘制,高明老师参加了本书部分内容的编写工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中存在的不足之处,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2003 年 10 月

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 材料力学实验的目的	1
1.2 材料力学实验的内容	1
1.3 实验方法和要求	2

第 2 章 实验设备及测试原理

2.1 液压式万能材料试验机	3
2.2 电子万能材料试验机	6
2.3 扭转试验机	9
2.4 弯曲梁实验装置	11
2.5 弯扭组合实验装置	13
2.6 静态数字电阻应变仪	14
2.7 机械式引伸仪	19
2.8 电测法的基本原理	23

第 3 章 基本实验

3.1 拉伸实验	28
3.2 压缩实验	32
3.3 材料弹性模量 E 和泊松比 μ 的测试	35
3.4 剪切实验	38
3.5 剪切弹性模量 G 的测试	39
3.6 扭转实验	43
3.7 纯弯曲梁的正应力实验	46
3.8 弯扭组合变形的主应力测定	48

第 4 章 选择性实验

4.1 操作实验	53
4.2 条件屈服应力 σ_s 的测定	56

4.3 冲击实验..... 63

4.4 疲劳实验..... 66

4.5 光弹性实验..... 70

4.6 偏心拉伸实验..... 76

4.7 压杆稳定实验..... 78

4.8 超静定梁实验..... 81

附 录 实验报告

参考文献

第 1 章 绪 论

1.1 材料力学实验的目的

材料力学实验是材料力学教学中的一个重要环节,对于提高学生的综合素质、培养学生的实践能力与创新精神具有极其重要的作用。通过力学实验不仅丰富了学生的书本知识,而且增强了学生的实践能力;更重要的是,提高了学生应用实验的手段与方法分析、研究和解决工程问题的能力;通过实验提高学生建立力学模型或者修正完善力学模型的能力;通过实验培养学生对一些新材料和新结构的研究能力。

1.2 材料力学实验的内容

一、根据力学素质、工程素质以及实践能力和创新精神的培养要求,力学实验的教学内容分为基本实验,综合性、设计性和研究性实验,及前沿性教学实验

1. 基本实验

基本实验以深入理解力学基本概念、了解力学实验技术基础、培养学生基本力学实验技能为目的。

2. 综合性、设计性和研究性实验

主要是培养学生综合能力、设计实验的能力以及在实验中获取知识、在实验中研究问题的能力。

3. 前沿性教学实验

前沿性实验是指引入新材料、新结构形式、新实验技术的力学实验,不须面向所有学生,而是面向少数优秀学生以及在实验方面具有潜能和兴趣的学生,使他们开阔眼界,培养应用高新技术发挥创造性的能力。

二、材料力学实验按其性质分为测定材料力学性能的实验、验证理论的实验和应力分析实验

1. 测定材料力学性能

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(屈服点)、强度极限、弹性模量、疲劳极限和冲击韧度等。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,而这些参数一般要通过实验来测定。

2. 验证理论

材料力学性能将实际问题抽象为理想模型,再由科学假设推导出一般性公式,如纯弯曲梁和纯扭转圆轴的分析都使用了平面假设。用实验验证这些理论的正确性和适用范围,有助于加强学生对理论的理解和认识。

3. 应力分析实验

工程上许多实际构件的形状和受载情况,都十分复杂。关于它们的强度问题,仅依靠理论计算,不易得到满意的结果。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。

1.3 实验方法和要求

(1) 实验前应认真预习试验讲义,明确试验目的、原理和步骤,了解所要使用的机器或各种实验装置的构造、工作原理和使用方法;选择试件,估算最大载荷,确定加载方案;分工明确,相互协调,共同完成实验。

(2) 在进行实验前,首先检查试验机的测力度盘指针是否校零,变形仪是否安装稳妥;试验过程中应严格按照仪器、仪表的操作规程进行,并作数据记录。

(3) 认真完成实验报告。实验报告内容包括:

- 1) 实验名称、试验日期、室温和同组成员;
- 2) 实验目的和装置;
- 3) 实验设备的名称、型号和精度;
- 4) 实验数据及其处理;
- 5) 计算和结果处理。

第 2 章 实验设备及测试原理

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、冲击试验机和疲劳试验机等。试验机按施加载荷性质可分为静荷试验机和动荷试验机。如果一台试验机可以兼做拉力、压力和弯曲等多种试验,则称为万能材料试验机。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。

2.1 液压式万能材料试验机

一、构造及工作原理

试验机一般由加载和测力两大部分组成,其工作原理如图 2-1 所示。

1. 加载部分

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,支撑着由上横梁 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。

2. 测力部分

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,并顶起工作活塞 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,并压迫测力活塞 23,使它带动拉杆 24 向下移动,从而迫使摆杆 26 和摆锤 25 连同推杆 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 30 的指针齿轮,使示力指针 29 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(与活塞面积之比)。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。

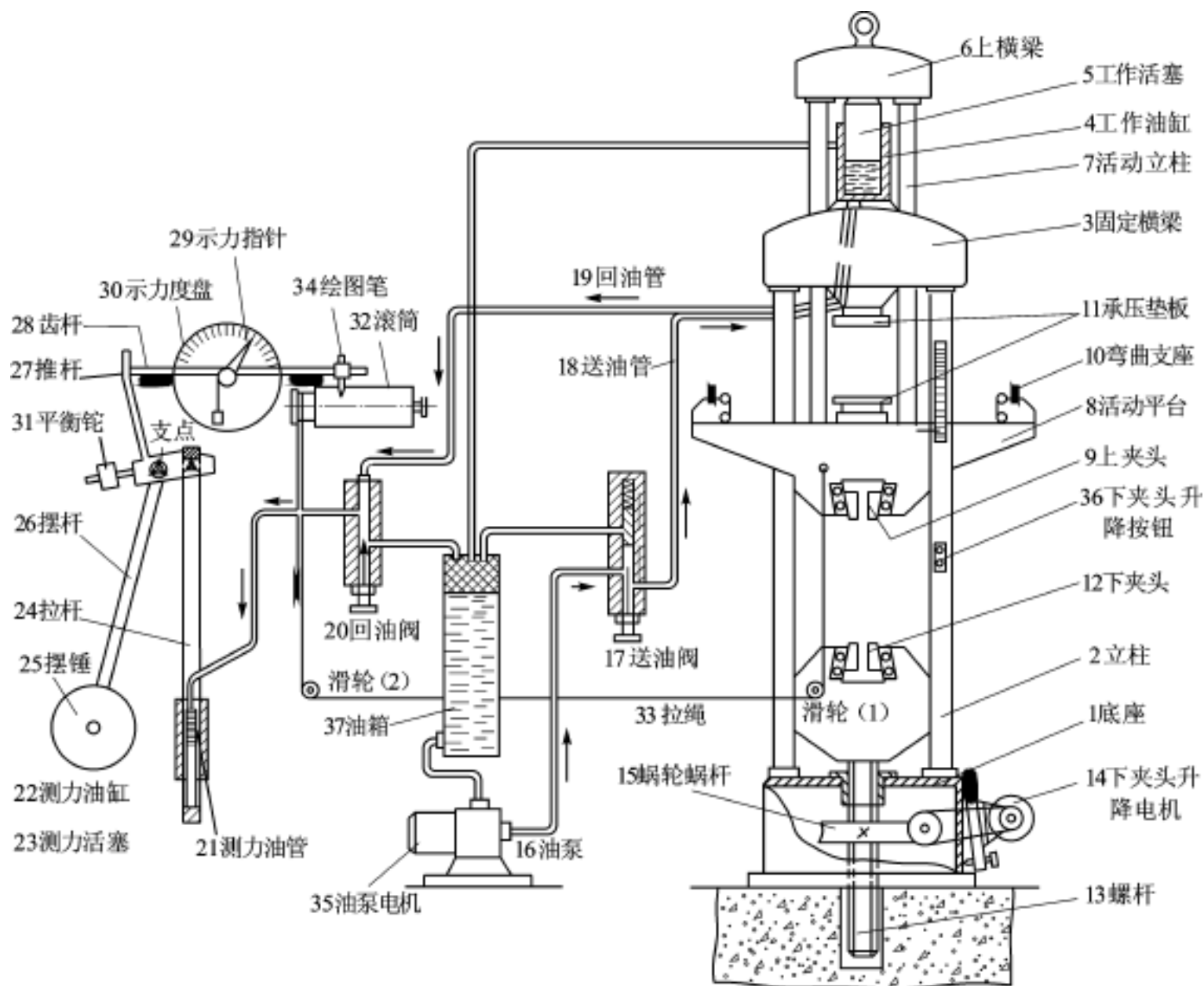


图 2-1

试验机一般配有质量不同的摆锤,可供选择。对质量不同的摆锤,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质量相匹配。例如 WE-300 型万能试验机的 3 种度盘如下:

锤 重	量
A	0~60 kN
A + B	0~150 kN
A + B + C	0~300 kN

实验时,为了保证测量载荷的精度,要根据试件情况事先估算载荷大小,再选用适宜的测力度盘。

3. 绘图装置

在试验机测力度盘的右侧装有自动绘图器,由记录笔、导轨架、描绘筒和线绳等组成。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。

二、操作步骤

(1) 检查油路上各阀门是否处于关闭位置;检查夹头的类型和规格是否与试件相匹配;检查保险开关是否有效。

(2) 根据实验所需的最大载荷,选择合适的量程,配置相应的摆锤,调整相应的缓冲器。

(3) 装好自动绘图器的传动装置、笔和纸张等。

(4) 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;最后把被动针靠近主动针,以便记录峰值。调整好后立即停机。

(5) 安装试件。如果拉伸试件的长度不同,可在空载情况下,调节下夹头的位置,使夹持长度至少大于夹头长度的 $2/3$,并应将试件夹正。安装压缩试件时,则应把试件摆正,确保对中,尽可能使试件只承受轴向载荷。

(6) 加载时缓慢打开进油阀,使指针缓慢离开零点,然后根据指针偏转快慢,调整进油阀,控制合适的加载速度,使试件平稳加载。

(7) 实验完毕,关闭送油阀,并立即停机,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,使活动平台回到原始位置,并使一切机构复原。

三、注意事项

(1) 开机前和停机后,送油阀一定要置于关闭位置。加载、卸载和回油均须缓慢进行,防止冲击。

(2) 拉伸试件夹紧后,不得再调整下夹头的位置,同时也不能调整测力指针到零。

(3) 试验过程中要随时注意活动平台升高的位置,不得超出规定范围。

(4) 机器开动后,操作者不得擅自离开控制台。若听见异常声音或发现任何故障都必须立即停机。

(5) 当试件将要受载时,立即减慢活动平台上升速度(关小送油阀门),以防止冲击。

(6) 若加载过程中,油泵停止了工作,须要再启动油泵时,必须先回油降压,禁止在高压下启动油泵。

2.2 电子万能材料试验机

电子万能材料试验机是电子技术与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。通过 X—Y 记录仪可准确记录载荷—变形曲线,与计算机联机还可实现控制、检测和数据处理的自动化。有的电子万能机可以进行等速加载、等速变形、等速位移的自动控制实验,并有低周载荷循环、变形循环和位移循环的功能。

一、加载控制系统

图 2-2 所示为电子万能材料试验机的工作原理图(传动系统因机型不同而异)。在加载控制系统中,由上横梁 1、四根立柱 2 和工作平台 3 组成门式框架。活动横梁 5 由滚珠丝杠 4 驱动。试样 16 安装于活动横梁与工作平台之间。操纵速度控制单元使其发出指令,伺服电机 12 便驱动齿轮箱 13 带动滚珠丝杠转动;丝杠推动活动横梁向上或向下位移,从而实现对试样的加载。通过测速电机 14 的测速反馈和旋转变压器 15 的相位反馈形成闭环控制,以保证加载速度的稳定。

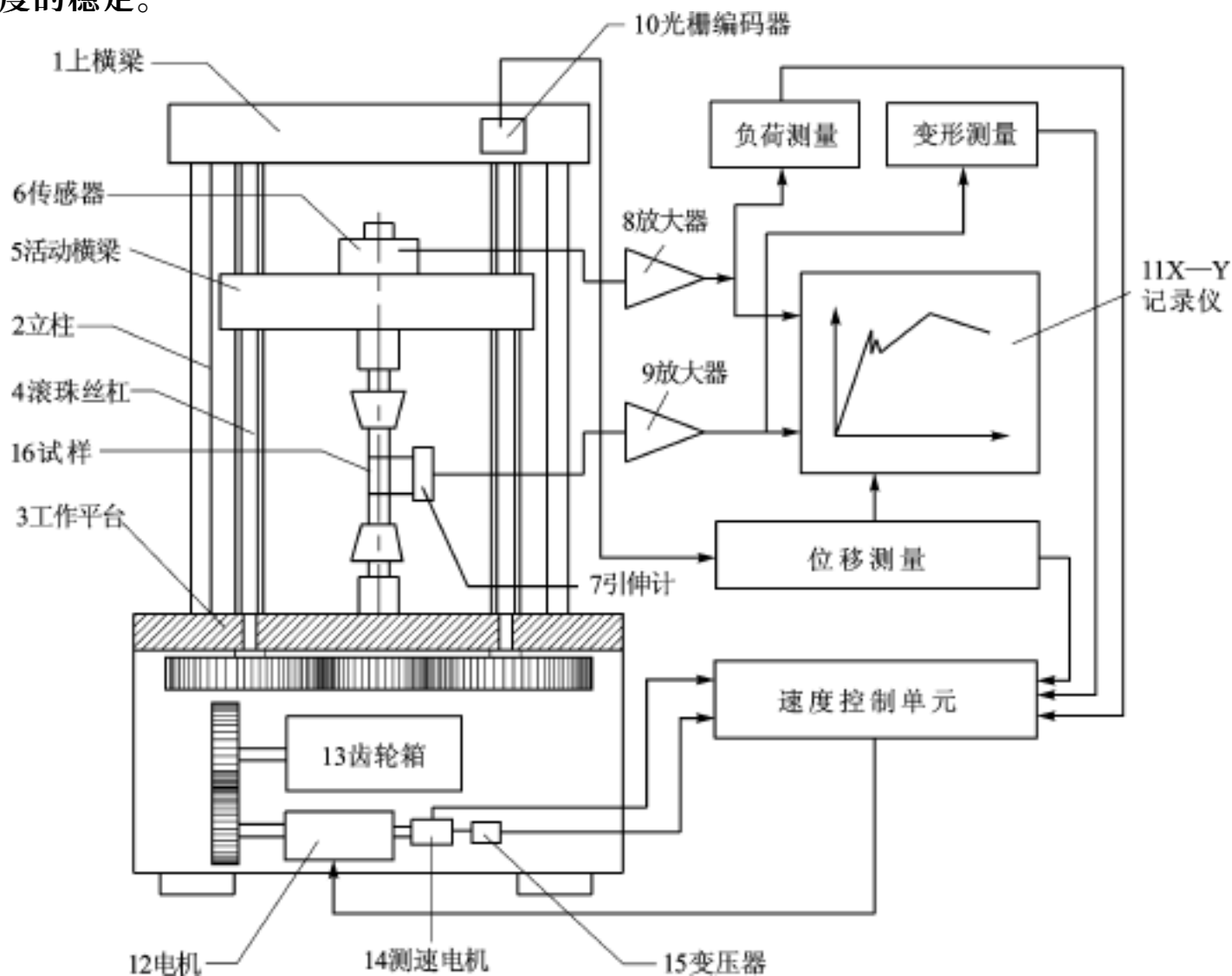


图 2-2

二、测量系统

测量系统包括载荷测量、试样变形测量和活动横梁的位移测量等三部分。载荷测量是把应变式拉压力传感器 6 发出的信号变为微弱的电信号,经放大器 8 放大,再经 A/D 转换后变成数字显示。变形测量则是把应变式引伸计 7 的信号经放大器 9,并经 A/D 转换后变为数字显示。如把放大器 8 和 9 的信号接到 X—Y 记录仪 11 上,即可画出负载—变形曲线。活动横梁的位移是借助丝杠的转动来实现的。滚珠丝杠转动时,装在滚珠丝杠上的光栅编码器 10 输出的脉冲信号经过转换,也可用数字显示。

三、静载实验的操作规程

各种类型的国产电子万能材料试验机操作程序基本相同。现以 WDS-100 电子万能材料试验机为例,介绍其静载实验操作规程。图 2-3(a)为控制器面板图, $S_1 \sim S_4$ 为负载放大器换挡控制键,相当于负载量程的选择键。 $B_1 \sim B_4$ 为变形放大器换挡控制键,相当于变形量程的选择键。其他按键的功能已在图上注明。图 2-3(b)为控制柜前面板图,用于负载和变形放大器的调零以及传感器的标定。图 2-3(c)为横梁控制盒图。

现将单程实验操作规程介绍如下:

- (1) 依次接通 220 V 与 380 V 电源,启动动力驱动系统,并预热一段时间。
- (2) 根据实验中负载和变形的范围,在控制器面板上,选择 $S_1 \sim S_4$ 和 $B_1 \sim B_4$ 中合适的键,亦即选择适宜的负载量程和变形量程。
- (3) 设定拉伸或压缩实验状态。按下拉、压设定键时,上方指示灯亮为拉伸,下方指示灯亮为压缩。
- (4) 按下单程试验键,设定单程实验状态。
- (5) 安装试样。安装时仅将试样上端夹紧,下端悬空,然后在试样上夹持引伸计。
- (6) 旋转图 2-3(b) 中的调零旋钮,将负载放大器和变形放大器调零。
- (7) 测量系统电子校准。按下图 2-3(a) 中负载放大器校准键,转动图 2-3(b) 中负载标定旋钮,使负载显示器显示出选定量程的满刻度。退出校准键应显示为零。如不为零,应按步骤(6)重新调零,然后重复上述校准操作,直至按下校准键显示满刻度,退出校准键显示为零。变形放大器校准过程与负载放大器校准过程相同。
- (8) 打开横梁控制盒(图 2-3(c))的手控开关,按上升或下降按键,并旋转调速旋钮,使横梁连同试样移动至下夹头合适的夹持位置,停机、夹紧试样下端。然后轻微转动调速旋钮使负载显示为零。关闭手控开关退出手控状态。

(9) 如需负载—变形曲线或负载—位移曲线时,控制器背面有负载、变形和位移模拟输出插座:把输出线接到 X—Y 记录仪上,负载接 Y 轴,变形或位移接 X 轴,把 X—Y 记录仪调整

为工作状态,即可记录下所需要的曲线。

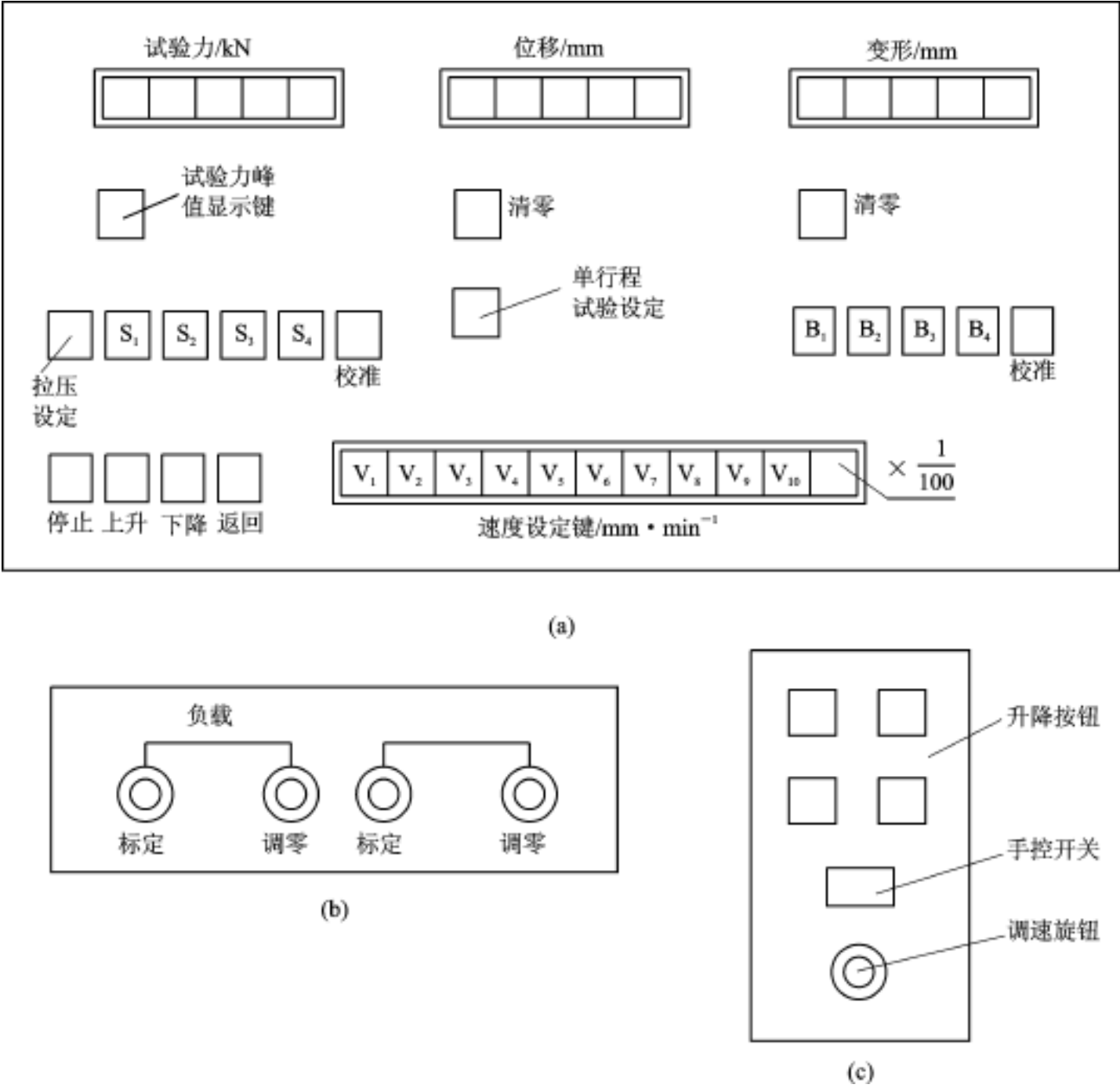


图 2 - 3

如需定量的负载—变形曲线,则须用测力计标定 Y 轴所代表的力,并用引伸计标定器标定 X 轴所代表的变形。

- (10) 根据实验要求选择试验速度,启动上升或下降按钮进行加载,记录实验数据。
- (11) 试样破坏后(非破坏性试验应先卸载),关闭动力系统,先后关闭 380V 和 220V 电源,清理还原。

2.3 扭转试验机

扭转试验机是对试件施加扭矩的专用设备,用于金属和非金属的扭转试验。装上扭角仪还可以测出材料的剪切弹性模量 G 。下面介绍的 NJ-100B 型扭转试验机,采用直流电机无级调速机械传动加载系统,可以正反两个方向施加扭矩,用电子自动平衡随动系统测量扭矩,利用自动绘图装置绘出材料扭转时的扭矩—转角曲线。允许试件直径为 5~25 mm,长度为 100~650 mm,最大扭矩是 1 000 N·m。

一、构造及工作原理

NJ-100B 型扭转试验机由加载机构、测力系统和自动绘图器三部分组成,其构造原理如图 2-4 所示。

1. 加载机构

加载机构由直流电动机、两级蜗杆蜗轮减速箱组成。加载机构可在基座的导轨上自由滑动,夹头间距可调整范围为 0~620 mm。加载时,操纵直流电机 3 转动,经过减速箱 4 减速,使夹头 5 转动,并对试件 6 施加转矩。试验机的正反加载和停车可由操纵面板上的电动机按钮控制。为了适应各种材料扭转试验的需要,试验机具有宽阔的调速范围,可连续调节加载速度,其转速由仪表显示。

2. 测力系统

测力系统采用电子自动平衡装置,当夹头间的试件受到扭转后由夹头 8 传来扭矩,使杠杆 9 逆时针旋转,通过 A 点将力传给变支点杠杆 11(C 支点和杠杆 10 是传递反向扭矩用的),使拉杆 12 有一压力 F 压在杠杆 13 左端的刀口 D 上。杠杆 13 则以 B 为支点使右端翘起,推动差动变压器的铁心 14 移动,发出一个电信号,经放大器 15 使伺服电机 16 转动,通过钢丝 17 拉动游铊 18 水平移动。当游铊移动到对支点 B 的力矩 $M = F \cdot r$ 时,杠杆 13 达到水平,恢复平衡状态,差动变压器的铁心也恢复零位。此时差动变压器无信号输出,伺服电机 16 停止转动。由上述分析可知,扭矩与游铊移动的距离成正比。游铊的移动又通过钢丝带动滑轮 19 和指针 20 转动,这样在度盘 21 上便可指出试件所受扭矩的大小。

试验机有四级度盘,采用了变支点杠杆及变表盘机构。当需要变换度盘时,旋转量程选择旋钮 32,经链条带动,改变变支点杠杆支点位置,使不同的支点位置对应不同的量程范围。

3. 自动绘图器

自动绘图器由绘图笔 23 和滚筒 24 组成。它的转动是由装在夹头 5 上的自整角发送机 26 发出电信号,经放大器 27 放大后带动伺服电机 28 和自整角变压器 29 转动,通过齿轮 35 使绘图滚筒转动,其转动量正比于试件的转角。绘图笔 23 通过钢丝 25 由滑轮 19 拉动,使绘图笔的水平移动量表示扭矩大小。

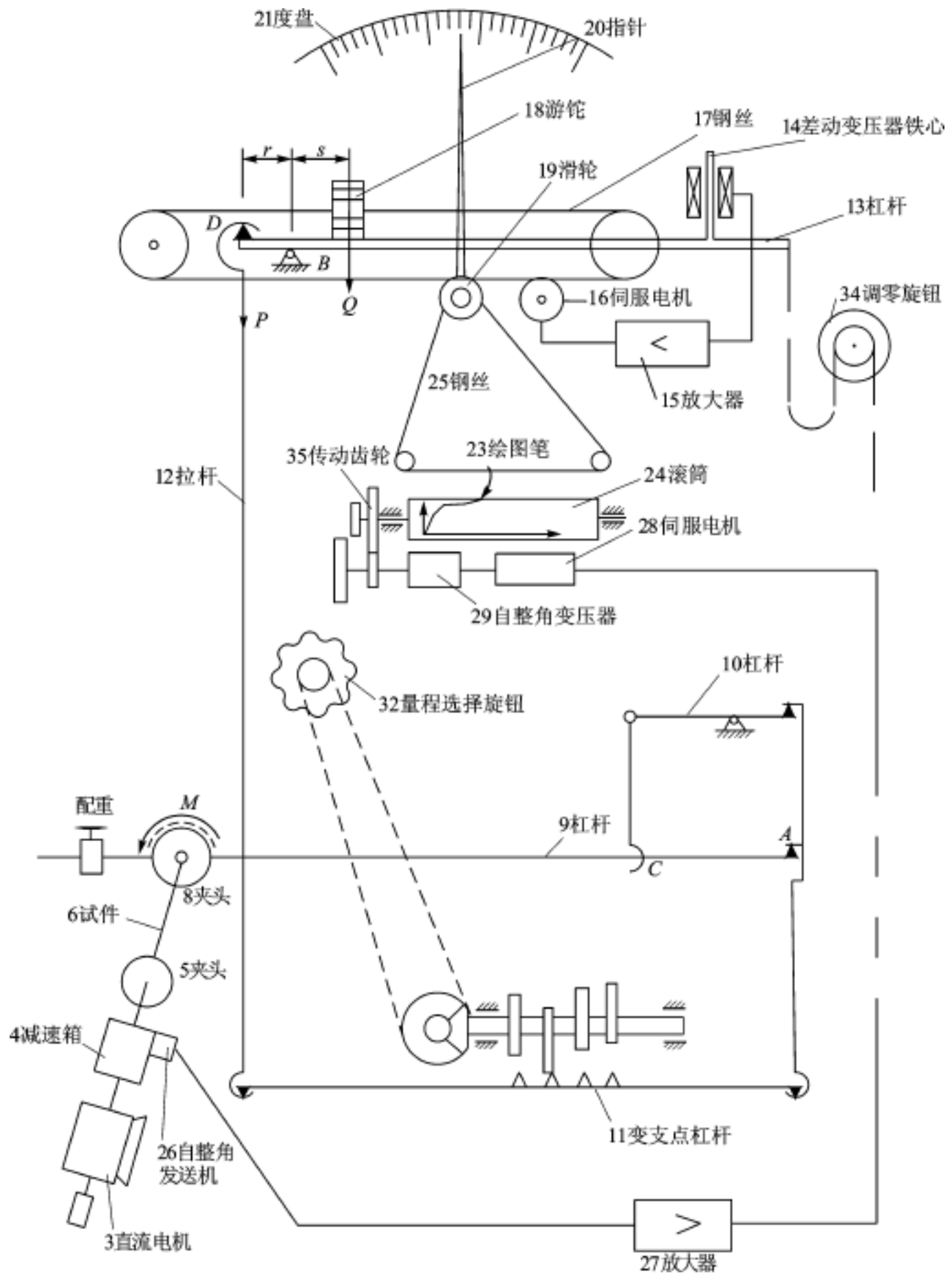


图 2-4

二、操作步骤

- (1) 根据试件的尺寸形式,选择更换夹头中夹块和衬套的大小。
- (2) 由试件有效部分的直径和材质,估算试件被扭断时的最大扭矩,然后转动量程选择旋钮,选择相应的测力度盘。最好使断裂时所需的最大扭矩处于量程的 50%~80% 的范围。按下电源开关,接通电源,转动调零旋钮,使主动针对准零点,并将被动针转至与主动针重合。
- (3) 安装试件。按下操纵面板上的按钮,旋转主动夹头,使其上刻度环零点与指针重合。将试件的一端插入夹头中,调整加载机构作水平移动,使试件另一端插入夹头中,再用内六方扳手卡紧试件。
- (4) 选择好速度范围开关档,将速度范围开关置于 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}/\text{min}$ 或 $0^{\circ}\sim 36^{\circ}/\text{min}$ 处,调速电位器置于零位。
- (5) 如果需要记录试验过程中扭矩和扭转角的关系曲线($T-\Delta\phi$ 曲线),应在加载前调好自动绘图装置,装好绘图纸、笔和墨水,接好传动齿轮,打开绘图器开关。
- (6) 加载。将电动机开关“正”(或“反”)按下,逐渐增大调速电位器的刻度值,调节加载速度,操纵直流电机转动,并对试件施加扭矩。
- (7) 试件断裂后立即停机,取下试件。若试件未断裂,可反向卸除载荷,退出夹头,断电,将试验机复原。

三、注意事项

- (1) 一旦试件承受了扭矩,测力指针已经转动之后,就不允许再改变量程选择旋钮。
- (2) 使用 V 型夹夹持试件时,必须夹紧,以免试验过程中试件打滑。
- (3) 试验时,若发现异常现象,应立即停机,查出故障原因,待修复后方可再启动电机做实验。
- (4) 拧动加载速度调节旋钮时要缓慢进行,即先用低速加载,达到一定变形后,再调到所需速度进行加载。
- (5) 机器运转时,操作者不得擅自离开。

2.4 弯曲梁实验装置

弯曲梁实验装置是为材料力学实验设计的设备之一。在其上可完成:纯弯曲梁正应力分布规律实验,应变片灵敏系数标定实验和框架应力测定实验等。其特点是占地面积小,交换实验方便,手轮加载,数字显示载荷,操作简单安全。

一、构造及工作原理

弯曲梁实验装置如图 2-5 所示。它由弯曲梁 1、定位板 2、支座 3、试验机架 4、加载系统 5、两端带万向接头的加载杆 6、加载压头(包括 16 钢珠)7、加载横梁 8、载荷传感器 9 和测力仪 10 等组成。试验时,转动加载手轮 5 并通过蜗轮丝杆加载系统,将载荷加到横梁 8 上,传感器受力,有信号输给数字测力仪,此时测力仪 10 的数字显示即为传感器所受的载荷值或力值。

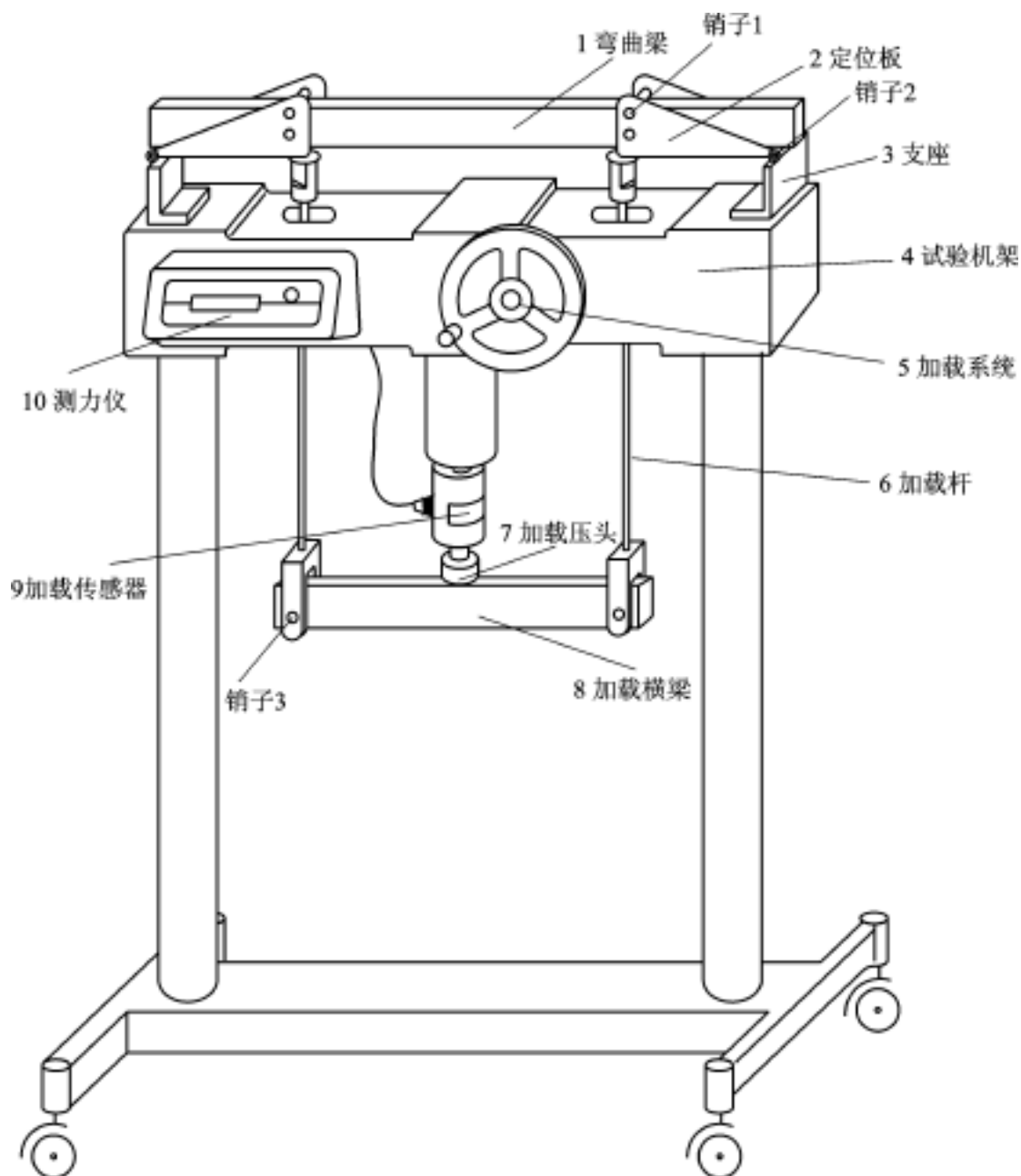


图 2-5

二、操作步骤

(1) 将传感器上五芯航空插头与测力仪背面的五芯航空插座连接。