

中等专业学校试用教材

材料力学实验指导

陈绍元 编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是为中等专业学校机械类专业“材料力学实验”这一教学环节编写的,在某些内容方面作了提高与更新,因此也可供工科各类大专学校教学使用,也可供从事有关实验工作的工程技术人员作参考书用。

本书注意加强材料力学实验教学中的实践性环节,力求有效地培养学生实验测试能力和独立工作能力,为工程技术人员提供必需具备的材料力学实验知识和测试技能,也为从事强度测试工作人员奠定必要的基础。

全书共分三章。主要内容为材料机械性能实验,电测应力分析实验等,其中有基本实验,选作实验和设计性实验。对于实验的操作技能,实验的数据测试和数据处理的能力以及书写实验报告的,有机地结合在各个实验之中进行训练,每次实验都提出明确的要求和侧重。

中等专业学校试用教材 材料力学实验指导

陈绍示 编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

青浦任屯印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 6.375 字数 154,000

1985年10月第1版 1986年2月第2次印刷

印数 18,501—27,700

书号 15010·0667 定价 1.00元

目 录

绪 论

§ 0-1 材料力学实验课的意义和任务	1
---------------------------	---

§ 0-2 实验程序和要求	2
---------------------	---

第一章 材料机械性能测试实验	5
----------------------	---

§ 1-1 材料试验机的操作	5
----------------------	---

一、万能材料试验机	5
-----------------	---

(一) 加载系统	6
----------------	---

(二) 测力、示值系统	7
-------------------	---

(三) 载荷位移记录系统	11
--------------------	----

二、实验一	12
-------------	----

材料试验机的操作练习	12
------------------	----

§ 1-2 金属材料拉伸机械性能的测定	15
---------------------------	----

一、拉伸试验中四个主要指标的测定	15
------------------------	----

(一) 拉伸试验图	15
-----------------	----

(二) 屈服极限的测定	17
-------------------	----

(三) 强度极限的测定	18
-------------------	----

(四) 塑性指标的测定	18
-------------------	----

二、拉伸试样及其制备	20
------------------	----

(一) 试样尺寸对机械性能的影响	20
------------------------	----

(二) 试样尺寸的标准	21
-------------------	----

三、实验测量中的有效数字及其运算	22
------------------------	----

(一) 测量中的有效数字	22
--------------------	----

(二) 有效数字的运算法则	24
---------------------	----

四、实验二	25
-------------	----

测定低碳钢、铸铁的拉伸机械性能	26
-----------------------	----

§ 1-3 弹性模量 E 的测定	30
--------------------------	----

一、引伸仪	30
-------------	----

(一) 引伸仪的主要技术指标	30
(二) 引伸仪的结构、原理	31
二、实验测量中的误差	34
(一) 系统误差	34
(二) 过失误差	35
(三) 随机误差	35
三、实验测量中的算术平均值和逐差法	36
(一) 算术平均值	36
(二) 逐差法	36
(三) 例题: 拟订测定弹性模量 E 的实验方案	37
四、实验数据的图示法	39
(一) 图示和作图方法	39
(二) 图解方法	40
五、实验三	42
测定弹性模量 E	42
§ 1-4 金属材料扭转机械性能的测定	49
一、扭转试验设备及试样	49
(一) 扭转试验机原理	49
(二) 扭转试样尺寸	50
二、利用 $M_n-\phi$ 曲线图, 确定低碳钢扭转机械性能指标	51
(一) 扭转屈服极限的测定	51
(二) 扭转强度极限的测定	53
三、铸铁扭转强度极限的测定	53
四、实验四	53
测定低碳钢、铸铁在扭转时的机械性能	53
§ 1-5 剪切弹性模量 G 的测定	57
一、扭角仪	57
二、实验五	58
测定剪切弹性模量 G	58
第二章 电测应力分析实验	61
§ 2-1 电阻应变片	61
一、工作原理	61

二、结构和性能	62
三、应变片的粘贴	65
(一) 应变片的检查和准备	65
(二) 试件表面的准备	66
(三) 应变片的粘贴工艺	66
(四) 应变片粘贴质量检查	67
(五) 焊接导线和防护	67
§ 2-2 电阻应变仪	68
一、测量电路——电桥	68
二、测读方法	70
三、静态电阻应变仪的结构示意图和交流电桥的平衡	72
§ 2-3 应用电测法测定弹性模量 E	74
一、应变片的温度效应	75
二、测量电路半桥联接法	76
三、电阻应变仪初始状态的平衡调试和故障分析	76
四、实验六	77
电测法测定弹性模量 E	77
§ 2-4 泊松系数的测定	80
一、多点应变测量——预调平衡箱	80
二、实验七	82
测定泊松系数	82
§ 2-5 弯曲正应力的测定	84
一、多点共补偿半桥电路联接法	84
二、实验八	85
测定弯曲正应力的分布规律	85
§ 2-6 测量电桥的特性——检测需测应变变量、 提高灵敏度的实验	92
一、测量电桥的特性	92
二、实验九	93
测量电桥特性的实验	93
项目一 拉伸试验中, 消除附加弯曲应变的影响, 检测拉应变的实验	94
项目二 拉伸试验中, 提高拉应变灵敏度的实验	95

项目三 弯曲试验中,提高弯曲正应变灵敏度的实验	95
§ 2-7 圆轴扭转时最大剪应力的测试	97
一、在平面纯剪应力状态中,线应变和剪应变的关系	97
二、测圆轴扭转应力时的布贴片和电路联接	98
三、实验十	99
测定圆轴扭转时的最大剪应力	99
§ 2-8 平面应力状态主应变的测定	102
一、平面应力状态测试中,应变花的应用和主应变、主应力的测算	102
二、实验十一	104
测定对径受压圆盘的主应力	104
三、圆轴弯、扭组合变形的布片分析	108
四、实验十二	110
应用应变花测试圆轴弯曲和扭转组合变形时的主应力	110
§ 2-9 设计性实验	111
实验题目	112
第三章 校验、验证和示范性实验	116
§ 3-1 静态电阻应变仪的校验	116
一、静态电阻应变仪灵敏系数 k 的校验	116
二、实验十三	118
校验静态电阻应变仪灵敏系数 k 的示值	118
三、电阻应变仪稳定度的校验	123
四、实验十四	123
校验静态电阻应变仪的稳定度	123
五、静态电阻应变仪刻度示值的校验	125
六、实验十五	125
校验静态电阻应变仪的刻度示值	125
§ 3-2 电阻应变片灵敏系数 k 的测定	126
一、实验测量中的误差估算	126
(一) 算术平均误差	127
(二) 标准误差	127
(三) 误差的表示方法	128

二、电阻应变片灵敏系数 k 的测定方法	129
三、实验十六	130
应用拉伸实验测定电阻应变片灵敏系数的 k 值	130
四、工程中常用的电阻应变片灵敏系数 k 的测定方法	132
五、实验十七	135
应用等截面纯弯曲梁测定电阻应变片灵敏系数的 k 值	135
§ 3-3 梁弯曲变形的验证性实验	139
一、验证梁弯曲变形实验的原理和装置	139
二、实验十八	141
验证直梁弯曲变形的实验	141
§ 3-4 示范性实验	143
一、压缩示范实验	143
二、剪切示范实验	144
§ 3-5 疲劳试验	146
一、疲劳试验机	146
二、疲劳试样的制备	148
三、常规疲劳试验方法	149
(一) $S-N$ 疲劳曲线与持久极限的概念	149
(二) 常规试验	149
四、疲劳曲线图的绘制	153
附录——实验设备和仪器	157
一、万能材料试验机	157
§ F-1 WE 型液压万能材料试验机	157
§ F-2 ZDM 型液压万能试验机	162
§ F-3 WJ-10A 型万能试验机	163
§ F-4 ZDM 型杠杆摆锤式万能试验机	168
§ F-5 拉力材料试验机	171
§ F-6 WD-10 型电子式万能试验机	173
二、扭转试验机	175
§ F-7 NJ 型扭转试验机	175
§ F-8 K-50 型扭转试验机	180

三、变形测试仪器	183
§ F-9 双表式引伸仪	183
§ F-10 杠杆式引伸仪	185
§ F-11 静态电阻应变仪	187
§ F-12 镜式引伸仪、测角仪	190

绪 论

§ 0-1 材料力学实验课的意义和任务

材料力学从本质上看是一门实验科学。材料力学理论的建立和验证,强度计算中极限应力的测定,无不以严格的实验为基础。当然,实验课题的提出,以及实验的设计、分析概括也必须应用已有的理论。事实表明:材料力学的发展是在实验和理论两方面相互推动和密切结合下前进、发展的,因此,两者是相辅相成同样重要的,不可偏于一方。材料力学实验对于工科专业技术人员是必需具备的基本知识和基本技能,同时为学习后继课程,从事强度测试工作奠定必要的基础。

在实验中,需要操作机器、调试仪表、观察现象、处理数据、书写报告等一系列实践性教学环节。这些教学环节,极为有利于开发智力、训练操作技能、培养独立工作能力。整个实验过程贯穿着认真、正确、细致和尊重客观事实的严格要求,有效地培养严肃认真、一丝不苟、实事求是的科学工作作风。养成这样的科学工作作风,对于今后工作更有其深远意义。以上这些,是材料力学理论课所不能替代的。

材料力学实验的任务,大致可归纳为三个方面:

1. 测定材料的机械性能。材料的机械性能是强度计算和评定材料的主要依据。测试的方法有国家标准规范。通过这类实验,训练按操作规程测试各项实验数据。
2. 验证性实验。根据理论和实践相统一的原则,建立理论必须以实验为基础。由实际构件抽象成理想的模型,经过假设、推导所建立的理论,还必须通过实验验证其正确性。但在本书中的

验证性实验，都是将已被证实为正确的理论，重复进行验证。通过这类实验能增进感性知识，从而进一步深刻理解课程的内容，明确理论、定理所适用的条件。为了验证理论，必须保证实验具有足够的精确度，因而对于实验过程中的每一步骤，都必须认真、仔细地进行，这有利于培养科学的工作态度和良好的工作习惯。

3. 实验应力分析。实验应力分析是由实验方法测定构件中的应力和应变的科学，是解决工程强度问题的另一新兴、有效的途径。用实验应力分析获得的结果，不但直接而且可靠，已成为寻求最佳方案、合理使用材料、挖掘现有设备潜力，以及验证和发展理论的有力工具。这类实验往往反映了新的科学技术，使用较先进的科学仪器，可以解决理论计算难以解决的问题。这有利于扩大知识面和开发智力，培养观察、分析、解决问题的独立工作能力。

本书根据教学大纲的要求，列入了以上三方面最基本的实验，且是常温、静载的实验。

§ 0-2 实验程序和要求

为了保证实验能有效地进行，使各个实验项目都能贯彻其教学要求，获得应有的教学效果，就应积极认真地做好实验中的各个环节。完整的实验程序，通常可分为实验前的准备、实验测试和书写实验报告三个环节。

一、实验前的准备

实验前的准备工作，是顺利进行实验、获得较多收益的保证。在各实验中都有[预习和准备]的项目，应按照其中指定的要求进行准备。一般围绕本实验的内容有如下要求：

实验目的和要求。实验原理和装置。

试验机 and 仪器的操作规程。测读方法和注意事项。

试验机 and 仪器量程的选择。加载和测读方法的确定。记录表

格的准备。拟定实验方法与步骤。做好分组、分工。安排各组实验时间。分组和每组成员的多少应视设备条件，由教师决定。

二、实验测试

实验测试是实验程序的中心环节。遵守实验室规则进入实验室。各组分别清点人数。汇报实验前的准备情况。

按照分工，各就各位。仔细看清教师的示范操作，记住操作要领和注意事项，将试验机和测试仪器调整到待令工作状态。

预习试做实验，观察试验机、仪器运行是否正常。熟悉加载、测读和记录人员之间的协调配合。经教师同意，正式进行实验测试。

测试数据。其误差应在规定范围内，否则重做。请教师审阅，并在记录纸上签字，作为书写实验报告的依据。检查其他数据是否齐全，不要遗漏。

结束工作。清理设备，将一切机构恢复原位，使用的仪器、量具及用具都应归还原处，养成善始善终的习惯。在教师允许下才能离开实验室。

三、书写实验报告

实验报告是以书面形式汇报整个实验成果，是实验资料的总结，也是评定实验质量的依据。

实验报告和数据记录，一律用规定的报告纸书写，字迹要端正。实验图线一律作在坐标纸上（毫米方格纸），用铅笔按标准绘画。

书写实验报告能力的培养，在每个实验中都提出了一定的内容和要求，贯彻先易后难、逐步培养独立完成书写实验报告的能力。应按时、认真书写实验报告。一份高质量的实验报告，应达到记载清楚，数据完整，计算无误，满足精度，结论明确，文字简练、确切，字体工整、整洁，绘图应符合要求。

材料力学实验,内容极其丰富,特别是实验应力分析(实验力学),发展甚为迅速,要在有限的教学时间内,获得最大限度的知识技能,这就要珍惜实验中的每一个教学环节。努力掌握实验的常规设备——试验机和应变仪;刻苦训练测试技术的基本功;自觉培养科学的工作作风,为四化建设认真学习知识才能。

第一章 材料机械性能测试实验

§ 1-1 材料试验机的操作

一、万能材料试验机

材料试验的目的，是模仿工程实际中的零件、构件的真实情况，在实验室研究他们的性能。因此，需要将各种零件、构件以及

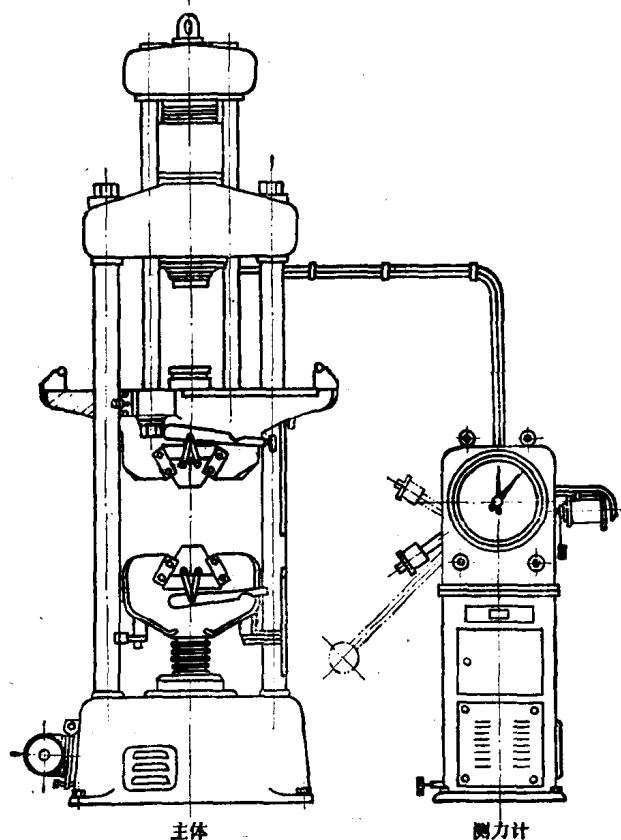


图 1.1

不同的工作情况,在实验室作出再现。作为被测试对象的零件、构件称为试件,应按相似原理制成模型或试样,并模仿其具体工作条件,作出模拟实验,从而测量试件的承载能力和变形等参数。提供模拟试验、给出稳定参数的设备,称为试验机。

试验机的品种繁多。如果按照所模拟的工作环境来分,有高温、常温、低温、腐蚀等;如果按照所模拟的载荷情况来分,有静载、动载、冲击、交变等;也可以按照试验机的功能来分,有拉伸、压缩、扭转、弯曲、硬度等。在常温、静载拉力试验机上,增设一些附具扩展功能,还能进行压缩、剪切、弯曲等试验。这种多功能的试验机称为万能材料试验机。图 1.1 所示的是材料力学实验中通常使用的试验机。

万能材料试验机是由机架、加载系统、测力示值系统、载荷位移记录系统以及夹具、附具等五个基本部分所组成。其中以加载系统、测力示值系统和载荷位移记录系统反映了试验机的主要性能。以下分别阐述这些系统的工作原理和结构。

(一) 加载系统

加载系统的功能是,提供适合于静载荷的力源。这力源必须是稳定的、可控的,而且重合于轴线的轴向力。实现这种力源的机构,一般有液压式和机械式两种。

图 1.2 所示是液压式的加载

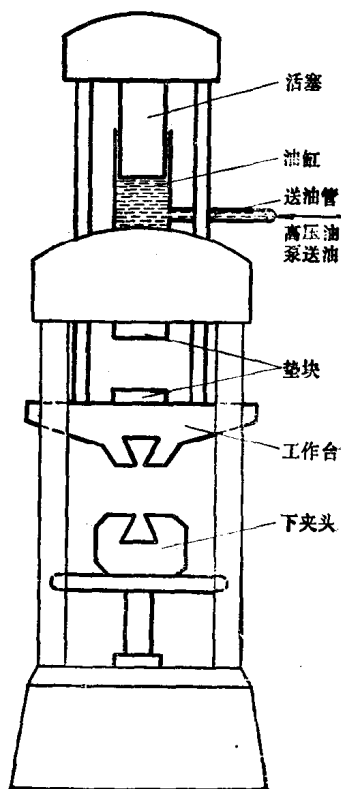


图 1.2

机构。当高压油泵向油缸送油时,逐渐顶起油缸中的活塞,联同传力架将工作台升起。如果试件装入下层空间的夹头中,就向其施加了拉力;若放入上层空间的垫块上,就向试件施加压力。

机械式的加载机构,也是使工作台移动,强迫试件伸长或压缩而施加拉力或压力。所不同的,只是工作台由螺杆、螺母筒和蜗轮蜗杆等机构所传动,如图 F.5~F.7 所示。

各种常见试验机的具体结构,参阅附录一。

(二)测力、示值系统

测力、示值系统的功能,是要随时反映出作用于试件上载荷的数值。它是试验机的心脏部门。机械式和液压式材料试验机,一般都采用如图 1.3 所示的摆锤式测力、示值系统。二者的区别,仅

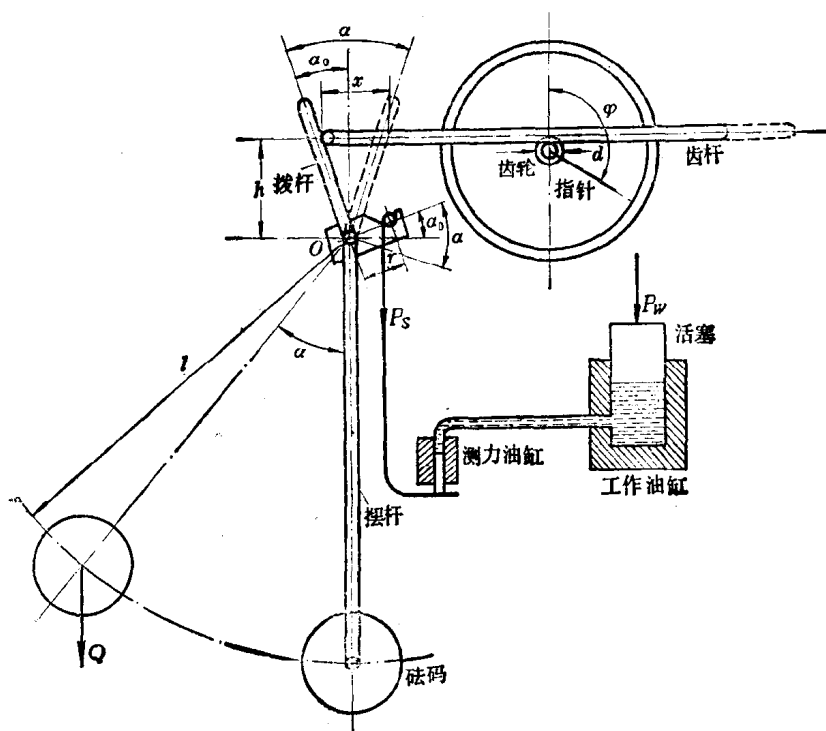


图 1.3

在于传递拉力 P_s 的机构不同。机械式试验机，系由测力杠杆传递 P_s 力；而液压式的，系由测力油缸的活塞传递 P_s 力。因此，它们的测力、示值原理相同。

1. 摆锤式测力、示值系统的工作原理。如图 1.3 所示，试验机作用于试件上的载荷，就是作用在工作油缸上的压力 P_w 。由于工作油缸与测力油缸相连通，它们的油压强度相等，于是测力油缸的活塞对连杆作用的拉力 P_s 与 P_w 成线性关系。又 P_s 使摆杆联同法码扬起 α 摆角的同时，拨杆推动齿杆位移 x ，从而带动齿轮使指针转动。因此，指针转动的角度 ϕ 与试验机的作用力 P_w 也成线性关系。它们的关系式为①：

$$P_w = \frac{Qld}{2rh} \cdot \frac{S_w}{S_s} \cos \alpha_0 \cdot \varphi \quad (1.1)$$

式中， Q 、 l 、 d 、 r 、 h 、 S_w 、 S_s 以及预置角 α_0 都是常量。由 (1.1) 式可得结论：

(1) 试验机的载荷 P_w 与指针的转角 φ 成线性关系。因此，测力度盘可以以圆等分刻度。

① 设工作油缸的活塞面积为 S_w ，测力油缸的活塞面积为 S_s ，油压强度为 p ，它们之间的关系有：

$$\frac{P_w}{S_w} = \frac{P_s}{S_s} = p \quad (a)$$

在连杆 P_s 的作用下，摆杆、法码对支点 O 的平衡方程为：

$$Ql \sin \alpha - P_s r \cos(\alpha - \alpha_0) = 0 \quad (b)$$

齿杆的位移 x 与摆杆扬角 α 的关系为：

$$x = h \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 + h \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \alpha_0) = h \left[\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha_0 \cos(\alpha - \alpha_0)} \right] \quad (c)$$

指针的转角 φ 与齿杆位移 x 的关系：

$$x = \frac{d}{2} \varphi \quad (d)$$

联解 (a)、(b)、(c)、(d) 式，得

$$P_w = \frac{Qld}{2rh} \cdot \frac{S_w}{S_s} \cos \alpha_0 \cdot \varphi \quad (1.1)$$

(2) 当 φ 视为常量(指针指在同一角度时), 而 Q 视为变量, 则 P_w 与 Q 成正比关系。因此, 更换法码重量 Q 可以得到不同的测力范围。

国产试验机, 一般具有三档不同范围的测力度盘, 相应地配有三个不同重量的砝码。实验时需要正确选择、配合使用。

(3) 当 φ 视为常量, 而 l 视为变量时, 则 P_w 与 l 成正比关系。因此, 更换摆杆长度 l , 也可以得到不同的测力范围。

2. 摆锤式测力、示值系统的线性范围。

式(1.1)中的载荷 P_w 与指针转角 φ 成线性关系, 是在理想状态下成立的, 其中没有考虑到摩擦力; 支承、夹具、机架受力后的变形; 加工装配中几何尺寸的偏差, 以及各零件之间的间隙等因素的影响, 这些都会使 P_w 与 φ 之间产生非线性偏差。当摆杆扬起 α 角较大(相应指针的转角 φ 也大)时, 由于摩擦力引起的非线性误差显著增加, 指针临近度盘的满度区域, 示值的精度较差。又根据国家对于试验机示值精度的规定: 以每级测量范围 10% 开始, 但不小于该机最大载荷的 4%, 误差应在 $\pm 1\%$ 以内。可见指针在度盘开始的区域内, 精度也较差。实验时, 应正确选择度盘的测力范围, 一般使需要测量的载荷, 最好全落在度盘的 10%~80% 范围内。

摩擦力对试验机进程(加载)、回程(卸载)都有影响, 而在进回程中引起的是双倍误差。所以, 试验机加载时, 必须平稳增加, 不应忽增忽减。

3. 指针度盘式的示值机构

普通材料试验机均为指针度盘式的示值方式。它具有二根示值指针: 一根是主动针, 另一根是从动针。如图 1.1 中所示。当试验加载时, 主动针带着从动针随载荷增加而沿刻度值增大方向旋转。当试验终了卸载时, 主动针自动回至零位, 而从动针停示在