

本书系根据1962年修订的高等工业学校本科五年制机械制造、土木建筑工程类专业(150学时)用材料力学教学大纲(试行草案)由贾有权主编而成,曾作为高等工业学校机械、土建、水利等专业材料力学实验的试用教材。对于日前新编机械、土建类材料力学试用教材,也可配合使用,特重印以供有关专业参考。

全书共分四章。第一章绪论;第二章试验机 and 变形仪;第三章基本实验,包括拉伸、压缩、材料弹性常数的测定、弯曲、扭转和电测等八个基本实验;第四章选择性实验。

参加本书编写工作的为:贾有权(§1、§2及附录Ⅱ);高镇同(§14、§15、§16、§21、§23及附录Ⅲ);杨庆龄(§3、§4、§5、§6、§7、§8、§9、§10、§13、§26);蒋寅元(§11、§12、§19、§20、§27及附录Ⅰ);肖为(§17、§18、§22、§24、§25)。

再 版 说 明

目前850×1168毫米规格纸张较少,本书暂以787×1092毫米规格纸张印刷,定价相应减少20%。希鉴谅。

材 料 力 学 实 验

贾 有 权 主 编

人 民 教 育 出 版 社 出 版 (北 京 沙 滩 后 街)

天 津 市 第 一 印 刷 厂 印 装

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号15012·0124 开本787×1092 1/32 印张4 10/16

字数 111,000 印数 19,701—99,700 定价0.44元

1964年7月第1版 1979年4月天津第5次印刷

序

編写本教材时，我們考虑到各校設備不同，实验安排各异，如果綜合齐全，則篇幅将会过大，若写得太少，又难以滿足各校需要。因而感到，要編写出能完全符合各校特点的通用实验教材，有很大困难。但为了提高教学质量，我們根据1962年审訂的教学大綱（試行草案）的要求，并参考了十几个兄弟院校的材料力学实验讲义，作了一次大胆尝试。本书内容力求反映各校的共同要求，以期能在教学中試用。

今对本教材的編写原則和使用时应注意事項說明于下。

1. 在內容方面以1962年审訂的机械、土建类150学时材料力学教学大綱（試行草案）为依据，本着“少而精”的原則，删減了一些次要內容，加强了基本实验部分。

2. 基本实验是本书的骨干，以期符合加强基本功的精神。并参照国家有关的部頒标准，对实验具体要求和操作規程，作了明确规定；还强調了試驗前的准备工作和試驗后的报告书写，以保证实验教学质量。

3. 本书各节內容均有一定的独立性，各校可根据具体情况和专业的不同要求，加以选用。如試驗机和变形仪一章，为适应各校选用，将一般常用型号的設備都作了介紹，但这些材料不必要求学生全部閱讀。为了使各章节能单独閱讀，文中不免有一定的重复。

4. 为了加强实验方法的指导，在緒論中概述了实验方法的一般原則。并在每个实验項目的实验步驟中，結合具体内容加以闡述。学习时可互相参照閱讀。

5. 在各实验项目中, 对实验原理、实验步骤等均有详细叙述, 但有关试件材料、尺寸、加载大小和所使用的设备等, 未作统一规定, 必要时, 可另发补充讲义。有些实验也可用小型仪器来完成。

6. 关于实验报告, 本书只给以少量的示范性的格式。在实验课上还须发给报告用纸。

7. 本书包括有选择性实验一章, 对于某些实验时数较多或有特殊要求的专业, 可以选作。

在编写过程中, 承许多兄弟院校教研室的同志们和程本蕃、杜庆华、孙训方、方孝淑、阮孟光等同志提供许多宝贵意见, 并经胡沛泉、陆才善二同志详细审阅, 天津大学、北京航空学院的领导也给予大力支持, 特此致谢。但由于编者水平有限, 书中欠妥之处, 在所难免, 希读者予以批评指正。

編者。

目 录

序	v
第一章 緒論	1
§ 1. 內容簡介	1
§ 2. 實驗方法概述	2
第二章 試驗机和变形仪	7
§ 3. 試驗机的一般介紹	7
§ 4. 油压摆式万能試驗机	8
§ 5. 杠杆摆式万能試驗机	13
§ 6. 拉力試驗机	17
§ 7. 扭轉試驗机	21
§ 8. 引伸仪的一般介紹	27
§ 9. 杠杆式引伸仪	28
§ 10. 表式引伸仪	34
§ 11. 鏡式引伸仪	38
§ 12. 电阻应变仪	42
第三章 基本实验	54
§ 13. 試驗机操作练习	54
§ 14. 拉伸試驗	56
§ 15. 拉伸时材料彈性常数的測定	65
§ 16. 压缩試驗	72
§ 17. 扭轉試驗	76
§ 18. 梁的弯曲实验	83
§ 19. 电測靜应力实验(一) 电阻应变仪基本操作练习	89
§ 20. 电測靜应力实验(二) 工字梁主应力的測定	92
第四章 选择性实验	98
§ 21. 压杆稳定实验	98
§ 22. 光測应力实验(示范性)	103
§ 23. 疲劳試驗(示范性)	110
§ 24. 冲击試驗	114
§ 25. 硬度試驗	116

§ 26. 脆性塗层实验(示范性).....	121
§ 27. 振动实验.....	123
附录.....	128
I. 应变分析.....	128
II 误差分析.....	132
III. 拉伸试件的相似律.....	140

第一章 緒論

§ 1. 內容簡介

實驗是材料力學課程教學中的一個重要環節。材料力學中的結論及定律，材料的機械性質，都需要通過實驗來驗證或測定。譬如，常用的虎克定律就是由羅伯特·虎克在1668年到1678年間，作了一系列的彈簧和鋼絲試驗之後建立起來的。又如材料力學的創始人伽利略，就曾用試驗的辦法，研究了拉伸、壓縮和彎曲的現象。近代塑性理論中的應力應變關係、高溫蠕變的基本規律、金屬疲勞的持久極限等，都是建立在試驗的基礎之上。至於在各種條件下材料機械性質的研究，實際工程構件的強度研究，也都需要依靠實驗才能求得完滿的解決。因此，材料力學實驗是工程技術人員和各類工程專業學生所必須掌握的技能之一。

材料力學實驗，按性質可以分為以下三類。

(一) 測定材料的機械性質的試驗

包括拉伸、壓縮、扭轉、硬度、沖擊等試驗。通過這類試驗，可進一步鞏固有關材料機械性質的知識和掌握材料特性數值的基本測定方法。這些材料特性數值是設計構件時所不可缺少的依據。但是，由於材料不同、條件不同，這些特性數值可能有顯著的改變。因此，一般均規定有標準試驗方法，試驗時應遵照執行。

(二) 驗證理論的實驗

將實際問題抽象為理想的模型（如杆的拉伸、壓縮、彎曲等），再根據科學的假設，推導出一般性公式，這是研究材料力學通常採用的方法。但這些簡化和假設是否正確，理論公式是否能在設計

中应用,都需要通过实验来验证。如梁弯曲正应力问题,早在1638年,伽利略就开始研究,但一直到1776年,由实验证实了伯努利平面假设的正确性之后,才正式推广到工程设计中应用。在本书中,包括了梁弯曲正应力和压杆稳定等实验,其目的是巩固和深刻理解课堂中所学的概念,并从而学会一般验证理论的实验方法。

(三)实验应力分析

工程上很多实际构件的形状和受载情况,都十分复杂(如轧钢机架、汽车底盘、水坝和飞机结构等)。关于它们的强度问题,单纯依靠理论计算,不易得到满意的结果。因此,近几十年来,发展了实验应力分析的方法,即用实验方法解决应力分析的问题,其内容包括电测法、光测法、脆性涂层法、网格法和比拟法等。这些方法,目前已成为解决工程实际问题的有力工具。本书着重介绍了电测技术,对于光测法、脆性涂层法等只作了简略的介绍。

以上介绍了本书的主要内容。这些都是最重要的实验和最基本的训练。我们知道,随着社会主义建设的需要,新的材料(如各种特殊合金、高分子塑料等)不断出现。新的强度问题,也愈来愈多,而且要求在各种复杂条件(如高温、低温、高压、高速、变载荷等等)下进行试验。此外,在计算重型复杂结构的强度问题时,对实验应力分析也提出许多新的要求。因此,材料力学实验的内容,愈来愈丰富,实验技术也得到了更为迅速的发展,这些问题在专门著作中都有详尽的叙述。本书只根据教学大纲的要求列入了最基本的实验,且实验条件以常温、静荷为主。

§ 2. 实验方法概述

在常温、静荷条件下,材料力学实验所涉及的物理量并不多,主要是测量作用在试件上的载荷和试件的变形。载荷一般要求

較大，由几吨到几十吨，故加力設備較大；而变形則很小，絕對变形可以小到千分之一毫米，相对变形(应变)可小到 10^{-5} — 10^{-6} ，因而变形測量設備必須精密。在实验进行时，力与变形要同时測量，此絕非一人所能完成，一般需要三到五人，这就要求很好地組織起来，否則，就不能有效地完成实验。根据以上特点，实验时应注意以下几个方面。

(一)操作前的准备工作

首先明确实验的目的、原理和步骤，然后选定試件(或模型)。試件(或模型)是我們实验的对象，因此要了解它是用什么材料制造的，原材料有无缺陷，加工是否合格(有些試件的尺寸公差、表面光洁度要符合一定要求)，这些都要严格檢查，然后細心地測量試件的尺寸。对試件应加多大載荷，也应事先估算，并拟出加载方案。此外，需設計記錄表格，以备实验时記錄数据之用。

实验小組的成員，应分工明确，操作要相互協調，才能得到較好的实验結果。而且要有統一指揮，以免配合不当，导致整个实验的失敗。譬如，力与变形的測量，要同时进行，如操作不一致，則測出来的变形就不能代表在相应載荷作用下的变形。反之，所測出的力也不能代表在相应变形下的力。实验时，要有默契或口令，以便互相呼应，彼此協調。参加实验的人員一般可作如下分工。

1. 記錄者(1—2人) 在整个实验中，記錄者应当是总指揮，因为他掌握实验数据与全部資料，可以看出数据的好坏，以及实验是否完整。

2. 測变形者(1—2人) 担任这项工作的人，应对仪表的性能深入了解，并預习一遍仪表的操作規程，特別要弄清仪表的单位和放大倍数，以免讀錯。实验时应負保护仪表的責任，如发现仪表失常，应馬上停車檢查。

3. 試驗机操作者及測力者(1—2人) 他們在实验前須着重

閱讀機器操作規程，實驗時要嚴格遵照規程進行操作。事先要試車，並要注意安全。

對所使用的機器和儀器要進行適當選擇（在教學實驗中，實驗用的機器和儀器往往是指定的，但對選擇工作怎樣進行應當有所了解）。

選擇試驗機的根據是：1)需要什麼樣的力（如使試件拉伸、彎曲或扭轉的力）；2)需要多大的力。前者由實驗目的來決定，後者則主要依據試件（或模型）尺寸來決定。

變形儀的選擇，應根據試驗精度，以及應力梯度等因素決定。如應力均勻，則可採用大標距（即測點間距離大）的變形儀。此外，使用是否方便，變形儀安裝有無困難，也都是選用時應當考慮的問題。

以上這些準備工作做得愈充分，則實驗的進行便會愈順利，故準備階段十分重要。

（二）進行實驗

在正式開始實驗以前，要檢查試驗機測力度盤指針是否對準零點，變形儀是否安裝穩妥，試件裝置是否正確等。最後還應請指導教師檢查，俟教師檢查無誤後方可開動機器。第一次加載，可不作記錄（不允許重複加載的試驗除外），觀察各部變化是否正常，如果正常，再正式加載並開始記錄。此時，記錄者及操作者均須嚴肅認真、一絲不苟地進行工作。實驗完畢，要檢查數據是否齊全，並注意清理設備，以及把借用的儀器歸還原處。

（三）實驗報告的書寫

實驗報告是實驗者最後交出的成果，是實驗資料的總結。報告應當包括下列內容。

1. 實驗名稱，實驗日期，當時的溫度，實驗者及組員姓名。
2. 實驗目的及裝置。

3. 使用的机器、仪表应注明名称、型号、精度（或放大倍数）等。其他用具也均须写清，并绘制装置简图。

4. 实验数据及其处理 在记录纸上应制成表格，填入测量数据。填表时，要注明测量单位，例如厘米或毫米等等。此外，还要注意仪器本身的精度。在正常状况下，仪器所给出的最小读数，应当在允许误差范围之内。换言之，仪器的最小刻度应当代表仪器的精度。例如，千分表最小刻度是0.01毫米，其精度即为百分之一毫米。但实际上在最小刻度之间还可以估计出一些数值，例如0.128毫米或 128×10^{-3} 毫米，其中最后一位数字8就是估计出来的。所有表格均应整洁清楚，使人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。

在多次测量同一物理量时，每次所得数据并不完全相同，这是因为事实上仪器的精度有限，再加试验时客观因素复杂，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，所得各次数据的算术平均值为最优值，亦即最接近真值的值^①。故在材料力学实验中，当对同一物理量作多次测量后均取测量结果的算术平均值作为该物理量的量值。

5. 计算 在材料力学实验中，用计算尺计算即足够精确，但须注意有效数字的运算法则，免得计算过多的位数，浪费时间。例如，截面面积 $F = 2.34$ 厘米 $\times 5.21$ 厘米的计算结果，不必写成 $F = 12.1914$ 厘米²，而写作 $F = 12.2$ 厘米²即可。

在计算中，所用到的公式，均须明确列出，并注明公式中各种符号所代表的意义。

6. 结果的表示 在实验中除根据测得的数据整理并计算实验结果外，一般还要采用图表或曲线来表达实验的结果。曲线均应

① 参阅附录Ⅱ，误差分析

绘在方格纸上。图中应注明坐标轴所代表的物理量及比例尺。实验的坐标点应当用记号表出,例如:“ \times ”、“ \triangle ”、“ \circ ”、“ \cdot ”等等。当联结曲线时,不要用直线逐点联成折线,应当根据多数点的所在位置,描绘出光滑的曲线。例如图1, *a*,即为不正确的描法;图1, *b*为正确的描法。

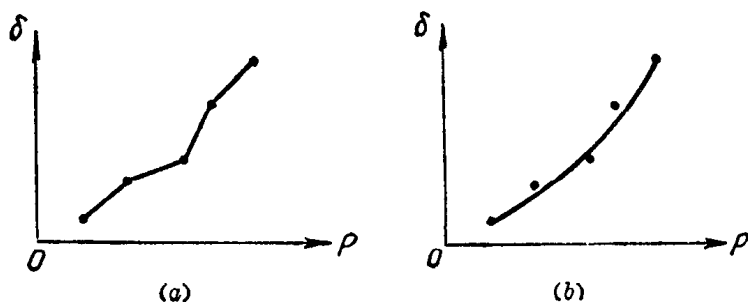


图 1

7.在报告最后部分应当对实验结果进行分析,说明本实验的优缺点、主要结果是否正确,以及对误差加以分析,并回答教师指定的思考问题。

总之,整个实验过程可以分为三大部分:

第一部分 操作前的准备工作。试验机及仪表的准备工作,复习操作规程。在正式开始实验以前,一定要经过教师检查。

第二部分 实验操作并测取数据。在正式实验前,最好先试加载荷,观察其现象。一切都正常后,再开始测取数据。

第三部分 写报告。报告中应当数据完整,曲线、图表齐全,计算无误,并有讨论及分析。

第二章 试验机和变形仪

§ 3. 试验机的一般介绍

在材料力学实验中,一般都要给试件(或模型)施加载荷,这种加载用的设备称为材料试验机。试验机根据所加载荷的性质可分为静荷试验机和动荷试验机;根据工作条件又可分为常温、高温和低温等试验机;按所加载荷的形式分类则有拉力、压力和扭转等试验机。如果同一台机器能兼作拉伸、压缩和弯曲等多种试验,则称为万能试验机。试验机所能施加的载荷有大有小,小者有1—2公斤,大者则可达几千吨。但一般材料力学实验室常用的是常温、静荷5吨到50吨的万能试验机以及拉力、扭转等试验机。

试验机的种类很多,但一般都是由下列两个基本部分组成。

(一) 加载部分

它是对试件施加载荷的机构,例如图2的左边部分。一般所谓加载,都是利用一定的动力和传动装置强迫试件发生变形,使试件受到力的作用。

(二) 测力部分

它是指示试件所受载荷大小的机构,例如图2的右边部分。在很多试验机的机构上,还有一种附属装置,可以在实验过程中,自动地画出试件所受载荷与变形之间的关系曲线。此种装置称为自动绘图器。

为了保证实验可靠,试验机要满足一定的技术条件。其标准由国家统一规定。其中重要的规定之一,是要求试验机的示值精

度在 $\pm 1\%$ ^①以内,安装时或使用一定期限后,都要进行校验(此项工作要由国家计量管理机关统一进行)。不合格者应进行检修。校验方法可参阅第一机械工业部颁发的“材料试验机技术条件”。

§ 4. 油压摆式万能试验机

(一) 构造原理

这是最常用的一种试验机。类型很多,但一般只是外形不同,基本原理是一样的。这种试验机的外形如图 2 所示,其构造原理示意图如图 3 所示。

1. 加载部分

在机器底座 1 上,装有两个固定立柱 2,它支承着固定横头 3 和工作油缸 4。开动电动机 (1),带动油泵 15,将油液从油箱经油管 (1) 20 送入工作油缸,从而推动活塞 5、上横头 6、活动立柱 7 和活动台 8 上升。若将试件两端装在上下夹头 9、10 中,因下夹头固定不动,当活动台上升时便使试件发生拉伸变形,承受拉力。若把试件放在活动台上,当活动台上升时,就使试件与上垫板 12 接触而被压缩,承受压力。一般试验机在输油管路中都装置有进油阀门和回油阀门(在原理图图 3 中未示出)。进油阀门用来控制进入工作油缸中的油量,以便调节试件变形速度。回油阀门打开时,则可将工作油缸中的油液泄回油箱,活动台由于自重而下落,回到原始位置。

^① 这一数字,是要求试验机的测力机构,在它的每一个度盘的十分之一以上的区域里,误差应在 $\pm 1\%$ 以内。同时规定这个区域的下限还不得小于试验机最大载荷的 4%。例如,30 吨万能材料试验机有三个测力度盘,其范围是 0—5 吨、0—15 吨和 0—30 吨,每一个度盘要分别保证在 0.5 吨、1.5 吨和 3.0 吨以上的区域满足示值精度。但是,由于试验机最大载荷的 4% 是 1.2 吨,已超过 0.5 吨,因此对 5 吨度盘来说,在 1.2 吨以上的区域能保证示值精度就可以了。

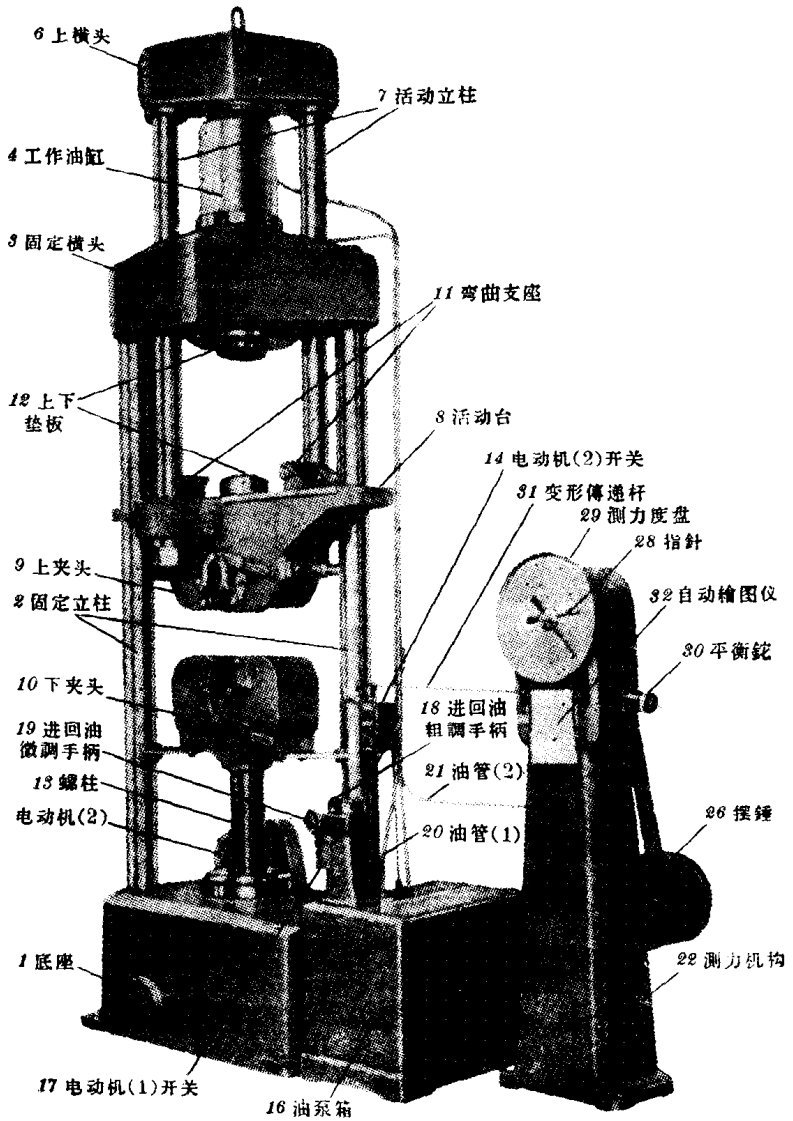


图 2

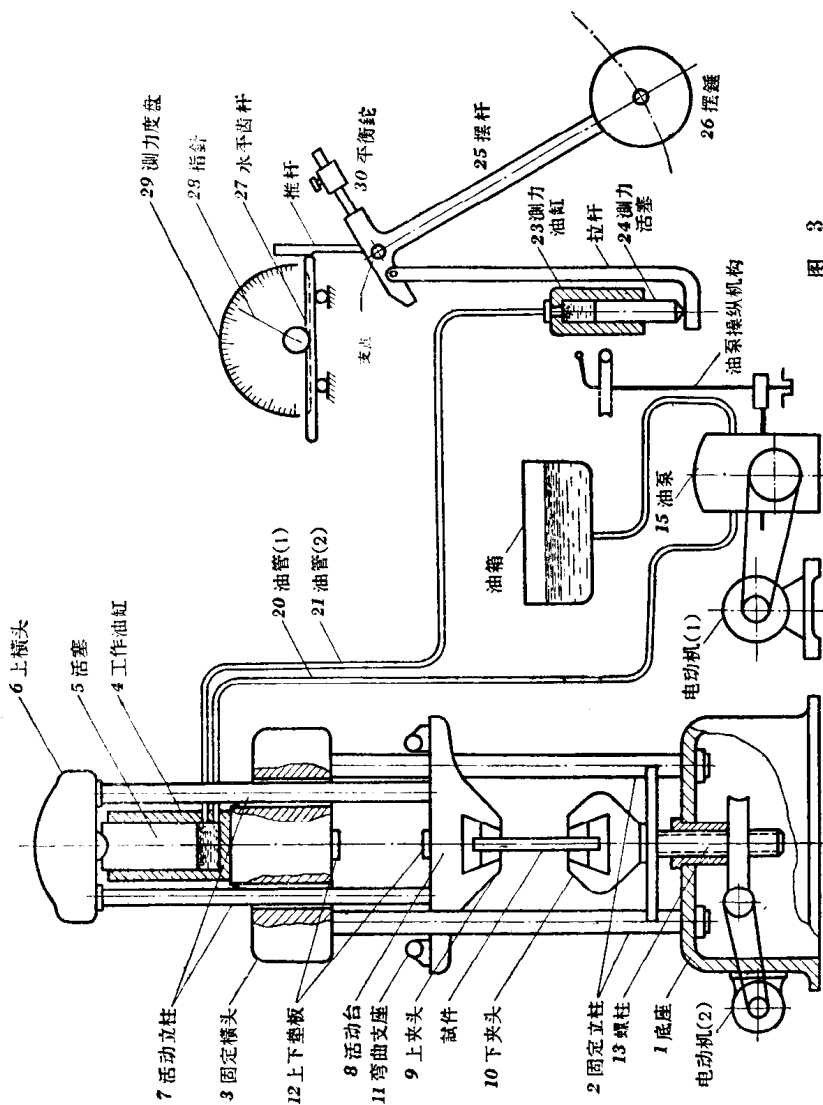


图 3

如果拉伸試件的长度不同,可由电动机(2)(或人力)轉动底座中的蝸輪,使螺柱 13 上下移动,調节下夹头的位置。注意当試件已夹紧或受力后,不能再开电动机(2)。否則,就要造成用下夹头对試件加载,以致损伤机件。活动台的行程有一定的限度,对試驗机有关拉伸和压缩区間限度的規定,使用者必須遵守。

2. 測力部分

加载时,油缸中油液推动活塞 5 的力与試件所受的力^①随时处于平衡状态。如用油管(2) 21 将工作油缸和測力油缸 23 联通,此油压便推动測力活塞 24。通过拉杆使摆錘 26 繞支点轉动而抬起,同时摆上的推杆便推动水平齿杆 27,使齿輪和指針 28 旋轉。指針旋轉的角度与油压,亦即与試件上所加载荷成正比,因此在測力度盘 29 上,便可讀出試件受力的大小。

如果增加或减少摆錘的重量,当指針旋轉同一角度时,所需的油压也就不同。換言之,即指針在同一位置所指示出的載荷的大小与摆錘重量有关。一般試驗机可以更換三种錘重,測力度盘上也相应地有三种刻度,分別表示三种測力范围。例如 30 吨万能机有三种度盘,即 0—5 吨、0—15 吨和 0—30 吨。实验时,要根据試件所需載荷的大小,选择合宜的測力度盘,并在摆杆上放置相应重量的摆錘。也有些試驗机是采用調节摆杆长度的办法,而不是变更摆錘重量。

加载前,測力指針应指在度盘上的“零”点,否則必須加以調整。調整时,先开动电动机(1),将活动台 8 升起 1 厘米左右,然后稍微移动摆杆上的平衡錘 30,使摆杆 25 保持鉛直位置。再旋轉度盘(或轉动水平齿杆)使指針对准“零”点。所以先升起活动台才

① 一般試驗机所謂对試件加载,都是强迫試件变形。試件变形发生抗力,这个抗力作用到上夹头上,然后通过測力机构測出。因此試驗机上所指示出的力应是試件的抗力。习惯上称它为試件所受力或所受載荷。

調整零点的原因,是由于上横头、活动立柱和活动台等有相当大的重量,要有一定的油压才能将它们升起。但是这部分油压并未用来給試件加载,不应反映到試件載荷的讀数中去。当調整零点时,活动台上升不宜过高。

(二) 操作步驟和注意事項

1. 操作步驟

(1) 檢查試驗机的試件夹头的形式和位置是否与試件配合;油路上各閘門应当关闭(或者油泵操纵机构在原始位置);保險开关是否有效以及自动繪图器是否正常等。

(2) 根据所需最大載荷,选择測力度盘,配置相应的摆錘。有的試驗机附有可調的回油緩冲器,也須相应地調节好。回油緩冲器的作用是在泄油时或試件断裂时,使摆錘緩慢回落,避免突然下落撞击机身。

(3) 开动油泵电动机(1)数分钟,檢查运轉是否正常。然后操纵进油机构,向工作油缸中緩慢輸油。等活动台升起1厘米左右时,使进油量減到最少,并按上段所述方法,調整測力指針使对准“零”点。調整好后应即停車。

(4) 安装試件 压缩試件必須放置垫板。拉伸試件則須調整下夹头位置,使拉伸区間与試件长度适应。但試件夹紧后,就不得再調整下夹头了。

(5) 調整好自动繪图器的傳动装置和笔、紙等。

(6) 开动油泵电动机(1),操纵进油机构,用慢速加载。

(7) 实验完毕,立即停車取下試件(有时要在撤油后,再取下試件)。緩慢打开回油机构,將油液泄回油箱,使活动台回到原始位置。將一切机构复原,并清理机器。

2. 注意事項

(1) 開車前和停車后,进油机构一定要置于关闭位置。加载、