



21 世纪高等学校工科力学实验系列教材

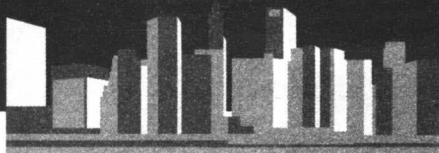
材料力学实验

■ 朱铨庆 彭 华 林 树 乐运国 曹定胜 陈士纯 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



TB301-33
11



世纪高等学校工科力学实验系列教材

材料力学实验

■ 朱铨庆 彭 华 林 树 乐运国 曹定胜 陈士纯 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验/朱铨庆等编著. —武汉:武汉大学出版社, 2006. 5

21 世纪高等学校工科力学实验系列教材

ISBN 7-307-04968-6

I. 材… II. 朱…[等] III. 材料力学—实验—高等学校—教材
IV. TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 027230 号

责任编辑:李汉保

责任校对:黄添生

版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:8 字数:187 千字

版次:2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04968-6/TB·18 定价:12.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 简 介

本教材根据国家教育部关于建设高等学校实验教学示范中心的指导思想,力图建立以能力培养为主线,分层次、多模块,相互衔接的科学系统的实验教学体系。全书分为3章共列出21个实验,其中包括拉伸、压缩、扭转、弯曲正应力、弯扭组合变形、压杆稳定、冲击、疲劳等基础性实验;对基础性实验着重阐明实验方案设计的理论依据和基本思路,尽可能详尽地列出实验步骤,便于学生独立完成。同时书中还包括金属材料残余延伸强度($R_{0.2}$)的测定、断裂韧度 K_{IC} 的测定、压力容器的强度检验、残余应力测试、温度对材料力学性能的影响等选择性或设计性实验。对这类实验着重提出实验要求,拓展实验的工程背景,有利于培养学生的探索精神和创新能力。书中还深入浅出地介绍了电阻应变计测量技术和光弹性实验方法,并包含了若干个实验应力分析基本实验。书中还简明扼要地介绍了实验仪器、设备的构造原理及其操作规程并在附录中列出了工程材料力学性能实验的国家标准。

本书可以作为工科大学本科生材料力学实验课程的教材,亦可以作为大学教师和工程技术人员、实验技术人员的参考书。

高等学校工科力学实验系列教材编委会

主任委员:朱以文

副主任委员:侯建国 彭 华

委 员:(以姓氏笔画为序)

陈思作 徐远杰 梁枢果 傅旭东 曾又林

序

力学课程是工科专业的重要技术基础课,实验力学课程是其重要的组成部分。任何科学技术的发展,都伴随着科学实验而共同存在。未经过实验或实践检验过的理论,有可能是不正确的理论。世界上许多重大科技发明、创造,大都是大量科学实验的结果。

以力学实验而言,其重要性更为直接。设计一个构件或结构,必须考虑其强度、刚度、稳定性,动态结构还需研究其动力特性,以求得在安全条件下的最大经济效果。为此,已经形成了理论力学、材料力学、结构力学、岩土力学、断裂力学、弹塑性力学等一系列理论及相应计算方法,这些学科在解决实际问题中起着重要的作用。但是这些学科的基本理论,许多是建立在若干简化的假定上的,都来自大量实验资料的归纳和总结;而判断理论及计算的结果正确与否,也需要实验或实践来检验。

虽然如今科学计算已经与理论分析和实验技术相并列,成为第三种科学方法,并被提到一个重要的高度。但是力学实验技术无论是作为认识和检验真理的最终的标准,还是作为直接解决实际工程中的力学问题的重要手段,仍然有着不可替代的地位。

对于已经有了数学模型的力学问题,从理论上讲可以用分析手段求解,但除了个别简单问题外,实际上是难以求得理论解的;随着计算机技术的发展,使科学计算方法,如有限元法、边界元法等方法能解决大量以前无法用理论分析方法解决的问题。但是数值计算方法仍然来自于理论模型,仍然是在理论模型的基本假定下进行数值计算的。对于新型或复杂结构形式、采用新材料的结构以及复杂工作条件下的力学问题,理论分析和数值计算所引入的假设和简化的合理性还未得到证实之前,往往首先需要用实验的结果进行校核和验证。

广义地讲,若把科学计算和数值仿真视为一种数值实验,实验力学的范围也可以涵盖数值计算技术。实际上实验力学已经与计算机技术和现代测试技术日益紧密结合,使实验力学有了很大的发展。这个发展已体现在两个方面,其一是应用计算机技术对实验数据进行采集和处理;其二是实验方法和数值计算方法相结合而产生的实验和数值分析杂交技术。该技术综合了两者的优势,在减少实验工作量和计算机时的同时,还提高了实验成果的精度和可靠度,这已经成为现代实验力学的概念。

基于对实验力学以上的认识,我们组织编写了这套实验力学教材,力图在让学生学到基本实验技能的同时,也让他们开拓视野,并认识到实验力学新发展的前景。

在本系列教材中,实验内容的选取,实验方法和设备的介绍与阐述,既与力学的理论教学相呼应,尽可能达到力学课程的基本要求,又具有一定的独立性,并尽量体现教学改革和创新思维的成果。

我们相信,通过对本系列教材的学习和实践,可以使学生掌握力学实验的基本知识、基本技能和基本方法,同时也可以对他们的创新能力、实践能力进行一定的培养,从而对养成学生的科学习惯,提高科学素质起到重要作用。

参加编写本系列教材的教师为:

《材料力学实验》:朱匡庆,彭华,林树,曹定胜,乐运国,陈士纯;

《结构力学实验》:刘礼华,欧珠光;

《动力学实验》:刘礼华,欧珠光;

《岩土力学实验》:侍倩,曾亚武。

本系列材料所述内容的形成和不断完善是这些老师多年教学实践的积累,字里行间闪现着老师们辛勤的汗水与智慧。同时得到各位同事、同学和校内外同行的启发和帮助,武汉大学教务部和武汉大学土木建筑工程学院的领导也给予了很大的支持,特向他们表示敬意。谨此为序。

朱以文

2006年3月

前 言

根据国家教育部关于开展高等学校国家级实验教学示范中心建设的精神和要求,我们对近几年的实验教学改革进行了认真总结,结合多年从事材料力学实验教学的体会,并吸收同类院校实验教学改革的成果编写了这本教材。在编写过程中,力图体现下面一些原则:

1. 在编写指导思想上,坚持传授知识,培养能力,提高素质相协调,注重对学生探索精神、科学思维、实践能力、创新能力的培养。在每项实验前都列出了预习思考要点,强调实验课前预习的重要性,使学生在理论的指导下,带着问题去实验,避免实验的盲目性。在基本实验部分,对于实验原理的阐述,着重于实验方案设计的理论依据和基本思路,使学生通过有限的实验项目能够举一反三、融会贯通,使他们受到将来在科学研究或工程实践中解决问题能力的初步训练。对于实验步骤的叙述则尽可能详尽、具体,具有可操作性,使学生只需教师稍加点拨,仅凭实验教材就能独立地完成实验。而在选择性实验部分,某些实验只提出设计原则,实验方案要求学生自行拟定,培养学生自主学习、研究性学习的能力。

2. 从人才培养体系整体出发,建立以能力培养为主线,分层次、多模块,相互衔接的科学系统的实验教学体系,从根本上改变实验教学依附于理论教学的传统观念,使之与理论教学既有机结合又相对独立。在实验层次上将实验分为基本实验和选择性实验两类,便于因材施教。在实验内容上涵盖了机测力学、电测力学、光测力学三个部分,使学生初步掌握这三种基本的实验理论和方法。在实验对象上既考虑了传统的金属材料的实验,也安排了蓬勃发展中的复合材料的实验。

3. 实验教学内容不仅与理论教学内容相匹配,而且与科研、工程、社会应用实践密切联系,形成良性互动。有些实验内容是直接由科研成果转化而来的,有些实验内容具有较强的工程应用背景。例如:金属材料残余延伸强度($R_{0.2}$)的测定;压力容器的强度检验;温度对材料力学性能的影响;残余应力测试等。

本教材共安排了21项实验,其中基本实验11项,选择性实验10项,并专辟一章对相应的仪器设备的构造原理、性能作了简要的介绍,以供不同的专业和不同的学时要求选用。

本书由朱铨庆负责统稿。其中§1.1、§1.3由陈士纯编写;§1.4、§1.10由乐运国编写;§1.11、§2.4、§2.5、§3.6由彭华编写;§2.1、§2.2、§3.1、§3.4由曹定胜编写;§2.6、§2.7、§2.8、§2.9由林树编写;其余部分由朱铨庆编写。本书承蒙武汉大学朱以文教授进行了认真的审阅,提出了许多宝贵意见,谨致谢意。同时作者还要感谢武汉大学出版社的大力支持和有关编辑耐心、细致的工作。

由于编者水平的限制,书中欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2005年9月于武汉大学

目 录

绪论	1
第1章 基本实验	5
§ 1.1 金属材料拉伸实验	5
§ 1.2 金属材料弹性常数 E 和 μ 的测定	12
1.2.1 引伸计法测定材料的弹性模量 E	13
1.2.2 电测法测定材料的弹性常数 E 和 μ	16
§ 1.3 金属材料压缩实验	18
§ 1.4 复合材料弹性常数的测定	21
§ 1.5 圆轴扭转实验	28
§ 1.6 金属材料剪切弹性常数 G 的测定	32
§ 1.7 梁的弯曲正应力实验	36
1.7.1 单一材料梁的弯曲正应力实验	36
1.7.2 夹层组合梁的弯曲正应力实验	39
§ 1.8 弯扭组合变形实验	43
1.8.1 主应力的测定	43
1.8.2 内力素的测定	46
§ 1.9 压杆稳定实验	50
§ 1.10 冲击实验	55
§ 1.11 高、低周疲劳基本实验	58
第2章 选择性实验	61
§ 2.1 金属材料残余延伸强度 ($R_{0.2}$) 的测定	61
§ 2.2 压力容器的强度检验	65
§ 2.3 偏心拉伸实验	67
§ 2.4 温度对材料力学性能的影响实验	70
§ 2.5 残余应力测试实验	71
§ 2.6 光弹仪调试及光学效应演示实验	73
§ 2.7 对径受压圆盘的应力实验	76
§ 2.8 边界应力或应力集中系数测定实验	79
§ 2.9 全息干涉法测量悬臂梁的挠度实验	80

§ 2.10 平面应变断裂韧性 K_{Ic} 的测定	83
第3章 材料力学实验常用仪器、设备简介	92
§ 3.1 液压式万能材料试验机	92
§ 3.2 电子式万能材料试验机	95
§ 3.3 扭转试验机	97
§ 3.4 载荷传感器与电子引伸计	99
§ 3.5 静态电阻应变仪	101
§ 3.6 电阻应变计测量技术简介	105
§ 3.7 PL6—10 型高频疲劳试验机	110
附录一 工程材料力学性能试验的国家标准 (GB) 目录	114
附录二 新旧标准性能名称和符号对照	115
参考文献	116

绪 论

一、材料力学实验的意义和任务

材料力学学科发展的历史充分表明,实验是理论的基础,也是学科发展的基础。这不仅是因为材料的力学性能参数需要通过实验来测定,而且在对构件与材料的强度、刚度和稳定性问题进行理论分析时,也往往是首先根据实验所观察到的现象,提出假设,并建立相应的力学模型,然后再运用已知的力学和物理学规律以及合适的数学工具进行理论上的分析、归纳、演绎,从而得出新的结论。而这些结论还必须通过实验来检验。此外,对一些受力或形状复杂的构件,其强度、刚度和稳定性问题,尚难以用理论分析解决时,更需要运用实验方法寻求解答。虽然,近些年来随着计算机技术的开发应用和数值分析方法的发展,出现了一系列力学数值仿真实验。但这些数值解法仍然必须建立在可靠的力学性能参数和力学模型的基础上,才有可能给出正确的解答。力学数值仿真只是对力学模型实验提出了更高的要求,而不可能完全取代力学实验。因此,材料力学实验是材料力学课程的重要组成部分,是理论联系实际的实践性教学环节,也是培养学生的探索精神、科学思维、实践能力、创新能力的重要途径。同时,材料力学实验还是学生接受工科高等教育过程中由基础理论学习逐步迈入科学研究和工程实践的第一座桥梁。由此可见,了解、实施、掌握材料力学实验具有极其重要的意义。

材料力学实验教学的主要任务是:

1. 通过实验测定和研究工程材料的力学性能,包括材料的弹性、塑性、强度、韧性和疲劳特性等性能参数。
2. 验证材料力学理论公式和主要结论,并通过实验来学习变形和应变的基本测试方法及主要测试仪器的操作规程。
3. 研究受力和形状较复杂的构件的应力分布规律,即进行实验应力分析,其中主要包括电测法和光弹性法。
4. 进行科学实验的基本训练,培养学生严谨认真的工作作风,实事求是的科学态度,分工协作的团队精神,增强观察和发现、分析和解决工程实际问题的能力。

二、材料力学实验的内容和方法

材料力学实验的任务决定了材料力学实验目前大致涵盖了下列三方面的内容并产生和发展了相应的实验方法。

1. 验证性实验

材料力学的理论是建立在将真实材料理想化,实际构件典型化,公式推导假设化的基础之上的。例如对于材料连续性、均匀性的假设,材料完全弹性和各向同性的假设等,事实上

材料的性质往往与这些假设是有差异的。因此,必须通过实验对根据这些假设推导的公式加以验证,才能确定公式的应用范围。又例如在弹性变形阶段,受纯弯变形构件横截面上正应力的分布规律,偏心拉压构件计算截面应力的叠加原理等。当这些构件上的受力条件改变时,这些公式、原理是否具有普遍意义,也是需要通过实验验证才能加以确定的。此外对于一些近似解答,其精确度也必须通过实验校核后才能在工程设计中应用。可见通过验证性实验不仅可以加深对理论的理解,还可以确定这些理论和某些近似解在工程中的应用范围,因此验证的方法并不是单纯地重复前人的工作,而是推广、修正、发展理论的必要手段。材料力学实验中梁的弯曲正应力实验,杆的偏心压缩实验,压杆稳定性实验就是属于这类实验。

2. 材料的机械(力学)性能实验

材料力学的任务之一就是为工程结构设计合理的构件截面和选择合适的材料,保证构件在服役期内的安全可靠,此即所谓的强度、刚度、稳定性设计。为了满足这些条件就必须了解构件材料的弹性、塑性、强度、韧性、硬度、疲劳等性质,就必须通过拉伸、压缩、扭转、冲击、疲劳等材料力学性能实验让材料的上述力学性能充分地显现出来,并按照标准化的程序测定相应的力学性能参数,作为构件设计的基本依据。

材料的力学性能指标(如屈服极限,强度极限,冲击韧性,持久极限等)虽然是材料的固有属性,但它们与试件的表面加工状态,实验时的加载速度,环境条件(如温度、湿度、周围介质等)有关。为了使实验结果可靠,可以作为构件设计的依据。为了使在不同时间、不同地点所作的实验结果能够相互比较,应实行统一的实验方法。各个国家都根据本国的具体情况制定了相应的材料实验标准,我国标准的代号为 GB(国家标准)。此外,还有国际标准其代号为 ISO。当需要进行材料的仲裁实验时,多数以国际标准为依据。标准对试样的取材、加工、实验手段的精度,实验方法及实验数据的处理原则都有详细的规定。此外,由于材料力学性能实验的具体对象是工程材料和由工程材料制成的各种试件,由于工程材料材质的不均匀性,破坏性实验不得不采用多试件的实验结果来综合工程材料的力学性能。又由于某些实验或实验阶段构件在工作负荷下的变形是微小量,需要借助各种变形放大仪表来进行测量。为了减小系统引入的测量误差,非破坏性实验一般要求多次重复或取材料变形增量的优化值作为实验数据。以上这些原则和方法是进行材料力学性能实验时所必须遵循的。

3. 应力分析实验

当构件的形状及受力情况比较复杂时,构件的应力和变形一般难以进行理论分析,这时依靠应力分析实验,诸如应变的电测法,光弹性应力分析等,往往能简便地直接获得在实际工况条件下构件中的应力状态。近几年来随着计算机技术的开发应用,结构应力分析的有限元法及其他数值方法得到迅速的发展和广泛的应用,但有限元法或其他数值解法都必须建立在可靠的力学模型基础上,才有可能给出正确的解答。因此,数值解要经过实验来验证,而实验应力分析的方法,甚至在边界条件不确定的情况下都能得出满意的结果,可见应力分析的实验方法是解决工程实际问题的不可或缺的重要途径。

实验应力分析已发展成一门独立的力学分支,该学科的内容相当丰富,目前已有电学的、光学的、声学的以及其他方法。电学方法,有电阻、电容、电感等多种方法,而以电阻应变计测量技术的应用较为普遍,实际效果也较好。电阻应变计不仅可以用于模型实验,而且可

以在结构或机械正在运行的条件下进行应变及其他参量(如扭矩、压力差)的测量。利用无线电遥测技术,还可以进行远距离应变遥测。电容应变计可以在高达 650°C 以上的温度环境中,长期进行应变测量。此外,根据各种特殊的用途,还可以制成相应的传感器,其中电感式传感器多用于位移的测量。

光测力学近年来有很大进展,经典的光弹性实验技术已从二维、三维模型实验发展成为能用于工业现场测量的光弹性贴片法,用来解决扭转和轴对称问题的光弹性散光法,研究应力波传播和热应力的动态光弹性法和热光弹性法,进行弹—塑性应力分析的光塑性法,以及研究复合材料力学的正交异性光弹性法。云纹法已日趋完善,特别是用于大变形测量,效果尤为明显。20 世纪 60 年代后期发展起来的全息干涉法和散斑干涉法,在分析复杂构件的振型和振幅,测量物体的微小变形,三维位移场的定量分析以及测定含裂纹构件的应力强度因子等方面,都已取得一定的成效。在全息技术和散斑技术中应用脉冲激光,还可以研究应力波在固体中的传播。全息光弹性法,可以同时获得等差线和等和线的数据,便于分离主应力,可以解决平面的应力分析问题。焦散线法等测量奇异变形的光学方法,可以测量裂纹尖端的塑性区和应力强度因子,也可以测量角隅区的应力奇异性 and 两物体间的接触应力等。

声弹性法可以用来测量焊接件的残余应力。声发射技术可以用来测定含裂纹试件的开裂和监测疲劳裂纹的扩展等;声全息技术可以用来显示试件内部缺陷的形状与大小;其他应力分析方法还有脆性涂层法、X 射线应力测定法、比拟法等。在材料力学实验中安排的几个应力分析实验仅仅是其中最基本的一部分内容。

在应力分析实验中采用何种方法主要取决于实验目的和对实验精度的要求。一般来说,为检验设计理论,校核结构与构件的强度,若仅需了解局部应力分布,用应变电测法比较方便;当进行设计方案比较,或构件形状和受力条件比较复杂,需要全面了解结构与构件的受力状况时,则以光弹性实验为宜。用光弹性方法测定构件的应力集中系数特别方便。总之,各种方法都有其长处和短处,原则上应扬其长避其短,因此有时将几种方法结合起来使用,例如:用光弹性方法了解构件的危险截面位置,再通过应变电测法测量危险点的应力。

实验方法的选择往往还与实验人员的经验和所拥有的技术手段有关,但实验人员应时刻牢记:实验离不开理论的指导,应力应变分析理论是材料力学实验的主要指导理论。只有通过受对受力构件的变形分析才能把握测试的重点,制定合理的实验方案,测试结果还得用应力应变分析理论计算出测点应力。没有理论指导的实验往往会事倍功半,甚至导致错误的实验结果。

三、材料力学实验的特点和要求

实验课不同于课堂的理论教学。首先,学生如果当场没有理解理论教学的内容,课后还可以通过自己复习教材,同学间的相互讨论,教师的答疑再去完成作业。而实验课上,学生面对陌生的仪器设备,必须在有限的时间内亲手操作,给试样加载,同时观测其变形,获取实验数据,甚至拿出实验结果,这一切离开实验条件就无法进行,因此实验课前的充分预习就显得十分重要;再则,课堂理论教学一般不存在安全问题,而实验教学就存在设备安全甚至人身安全问题,特别是材料力学实验,有时对试件所加的载荷比较大,如破坏性实验、动载实验、冲击实验就存在一定的危险性,这就要求必须严格遵守实验规则和仪器设备的操作规程;第三,理论知识的学习一般都是个体作业,而实验时力和变形要同时测试,一般要有几

个人相互配合才能很好地完成实验全过程。这就要求有明确的岗位职责,在实验的每个环节都严谨认真,并发挥分工协作的团队精神。否则就不可能得到正确的实验结果,有效地完成实验任务。

根据上述的实验课特点,学生应达到以下几方面的要求:

1. 实验课前每位学生都必须明确本次实验的目的、原理和步骤,了解所使用的试验机,仪器等的基本构造原理和操作规程,了解所测试的试样的材料、形状和公差要求,进行充分的预习和实验准备,应写出预习报告。

2. 在正式开始实验之前,要检查试验机测力度盘指针是否对准零点,变形仪安装是否稳妥,试件装夹是否正确,电测仪表接线是否正确等,并拟定好相应的加载方案。对试样所能承受的最大载荷,选择适当的量程,注意其最大载荷不得超过试验机所选量程的80%,以保证试验机有足够的灵敏度和示值精度。静载实验的加载速率应缓慢、均匀,特别是材料的仲裁实验,应严格按照相关国家标准或国际标准的规定进行。准备工作完成后还应请指导教师检查无误后方可启动试验机。第一次加载可以不作记录(不允许重复加载的实验除外),观察试验机和变形仪是否运行正常。如果正常,再正式加载并开始记录。

3. 实验过程中应精心操作,细心观察,测量和记录各种实验现象及数据。若出现异常现象应及时报告指导教师并作好原始记录。在实验中还应提倡主动思索,发挥独立思考能力,结合所学理论知识对实验中的数据和现象进行分析,使理论与实际联系起来,把实验中获得感性认识上升为理性知识。对实验中发现的可疑现象和数据可以重复测试、重复观察并分析其产生的原因再决定取舍,但无论取或舍都必须保持原始记录。

4. 实验结束要及时编写实验报告。实验报告的内容应包含:实验名称,实验日期,实验环境的温度、湿度,实验目的,原理简述,实验布置简图,使用的仪器设备的名称,实验数据的记录,数据处理的表达和实验数据的误差分析讨论,以及同组实验人员的分工名单。

实验数据要用数学归纳法进行整理,并注意有效数字修正。对材料常数的确定,常用增量平均值法处理,多次实验的平均值最接近真值。

实验成果的表示,一般有表格表示法和曲线表示法,用表格表示两个或两个以上物理量之间的关系时,要使读表者能一目了然地看出规律性的结果。而有时用曲线表示实验结果更具有直观性、规律性。对于物理量之间的关系在它们互相变化过程中,除非是转折质变的过程,一般都是连续的,也就是作成的曲线应连续光滑,但实验数据点不可能都落在曲线上,这时就必须运用数据处理的方法进行曲线拟合,以真实地显示物理量之间变化的规律性。

5. 对试样变形的量测,一般由于弹性变形很小,需用变形仪器进行放大测量,因此应了解其构造原理、使用方法和放大倍数。在选用时,要注意使实验中最小变形值应远大于变形仪上的最小刻度值,而最大变形值则不得超过变形仪满量程的80%。

以上诸条件是实验成功所必备的基本条件和主要要求,在实验全过程中都必须严格遵守。

第1章 基本实验

§ 1.1 金属材料拉伸实验

1. 实验目的

- (1) 测定低碳钢(如 Q₂₃₅ 钢这种典型塑性材料)的下列力学性能指标:下屈服强度 R_{eL} (或称屈服极限、屈服点 σ_s)、抗拉强度 R_m (或强度极限 σ_b)、断后伸长率 A 和断面收缩率 z 。
- (2) 测定铸铁(典型脆性材料)的抗拉强度 R_m (或强度极限 σ_b)。
- (3) 观察塑性与脆性两种材料在拉伸过程中的各种现象。
- (4) 比较并分析低碳钢和铸铁的力学性能特点与断口破坏特征。

2. 预习思考要点

- (1) 做低碳钢拉伸实验时,其重点是怎样准确地测绘出试样的拉伸图,怎样基于拉伸图确定出低碳钢的应力与应变图。
- (2) 从低碳钢的应力与应变图上可以清晰地看出,低碳钢材料在拉伸全过程中具有线性弹性与非线性弹性、屈服、强化和颈缩四个阶段,试问各阶段呈现出的现象与特征是什么?
- (3) 低碳钢拉伸时其主要力学性能如强度、塑性和弹性性能指标是什么? 低碳钢材料具有什么实用价值? 铸铁拉伸时的力学性能指标是什么?
- (4) 试观察与分析低碳钢和铸铁试样的断口形貌特征并阐明金属材料两种基本破坏形式(韧性断裂和脆性断裂)的特点是什么?

3. 实验仪器和设备

- (1) 万能材料试验机,拉力试验机,电子式拉力试验机。
- (2) 电子引伸计。
- (3) 游标卡尺。
- (4) 试样划线器。

4. 实验试样

大量实验表明,实验时所用试样的形状、尺寸、取样位置、方向和表面粗糙度等因素,对其性能测试结果都有一定影响。为了使金属材料拉伸实验的结果具有符合性与可比性,国家制定了统一标准。本实验按照 GB/T228—2002 eqv ISO6892—1998《金属材料室温拉伸试验方法》中第六章试样的要求制备试样。拉伸试样系由夹持、过渡和平行三部分构成。试

样两端较粗段为夹持部分,其形状和尺寸可以依实验室现有使用试验机夹头情况而定;试样两夹持段之间的均匀部分为实验测试的平行部分;夹持与平行两部分之间为过渡部分,通常用圆弧进行光滑连接,以减少应力集中。拉伸实验可以分为机加工试样和不经机加工的原状全截面试样。通常采用机加工的圆形截面试样如图 1—1(a)所示,亦可以采用矩形截面试样如图 1—1(b)所示。图 1—1 中 L_c 为试样平行段长度, L_0 为试样原始标距(或称测量伸长变形的工作长度), d 为圆形试样平行部分的原始直径, a 为矩形试样平行部分的原始厚度, b 为矩形试样平行部分的原始宽度, S_0 为试样平行部分原始横截面面积, r 为过渡弧半径。拉伸试样分为比例标距和非比例标距两种。比例试样系按公式 $L_0 = K \sqrt{S_0}$ 计算确定的试样,式中系数 K 通常为 5.65 或 11.3,前者称为短试样,后者称为长试样。短试样的标距为 $L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$ 或 $L_0 = 5d$,长试样的标距为 $L_0 = 11.3 \sqrt{S_0}$ 或 $L_0 = 10d$,一般都采用短比例标距试样。对非比例标距试样的原始标距 L_0 与原始横截面面积 S_0 之间无上述公式表达的比例关系,可以根据 GB/T2975—1998 和 ISO 377—1997《钢及钢产品力学性能试验取样位置和试样制备》的要求或金属产品供需双方商定的协议要求来确定。这里摘录国家相关标准中有关拉伸比例试样的尺寸参数和加工尺寸允许偏差分别列入表 1—1、表 1—2、表 1—3 中,供读者参考。

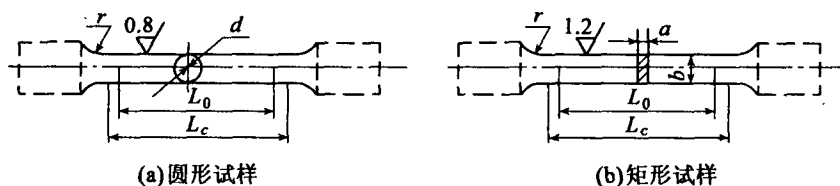


图 1—1 拉伸试样图

表 1—1

比例试样

试 样		原始标距 L_0/mm	原始横截面面积 S_0/mm^2	圆形试样原始直径 d/mm	断后伸长率 %
圆形截面	长	100	78.54	10	A_{10}
	短	50			A_5
矩形截面 或其他	长	$11.3 \sqrt{S_0}$	任意		A_{10}
	短	$5.65 \sqrt{S_0}$			A_5

表 1—2 圆形截面比例试样尺寸 (单位:mm)

一般尺寸		短试样		长试样	
d	$r_{\min}$	L_0	L_c	L_0	L_c
20	5	$5d$	$L_0 + d$	$10d$	$L_0 + d$
15	4				
10	4				
6	3				

表 1—3 试样尺寸允许偏差 (单位:mm)

圆形截面 试样直径 d	标距部分内允许偏差		矩形试样宽度	标距部分内允许偏差	
	d	最大与最小直径	b	b	最大与最小宽度
$5 \sim < 10$	± 0.1	0.02	10 ~ 15	± 0.2	0.1
≥ 10	± 0.2	0.05	20 ~ 30	± 0.5	0.2

本实验采用圆形截面短比例试样,即 $L_0 = 5d$;亦可以采用圆形截面长比例试样,即 $L_0 = 10d$ 。

5. 实验原理

根据 GB/T 228—2002 和 ISO 6892—1998《金属材料室温拉伸试验方法》的基本要求,分别简要叙述如下:

(1) 低碳钢(Q₂₃₅钢)拉伸实验原理

做拉伸实验时,利用万能材料试验机的自动绘图装置及拉伸过程各特征点的示力度盘读数或电子拉力试验机的 X—Y 函数记录仪,可以测绘出低碳钢试样的拉伸图,即图 1—2 所示的拉力 F 与伸长 $L_u - L_0$ 之间关系曲线。图 1—2 中起始阶段呈曲线,是由于试样头部在试验机夹具有轻微滑动及试验机各部分存在间隙等原因造成的。分析时可以将其忽略直接把图 1—2 中的直线段延长与横坐标相交于 O 点,作为其坐标原点。拉伸图形象地描绘出钢材的受力变形特征以及各阶段受力与变形之间的关系,但同一种钢材的拉伸曲线会因试样尺寸不同而异。为了使同一种钢材不同尺寸试样的拉伸过程及其特性点便于比较,以消除试样几何尺寸的影响,可以将拉伸曲线图的纵坐标(拉力 F)除以试样的原始横截面面积 S_0 ,并将横坐标(伸长 ΔL)除以试样的原始标距 L_0 ,这样得到的曲线便与试样尺寸无关,该曲线称为应力—应变曲线,如图 1—3 所示。从曲线上可以看出,该曲线与拉伸图曲线相似,更清晰表征了钢材的力学性能。拉伸实验过程分为四个阶段,如图 1—2 和图 1—3 所示。

1) 弹性阶段 OA : 在该阶段中的 OP 段,其拉力 F 和伸长 ΔL 成正比关系,表明钢材的应力 R 与延伸率(或称应变)为线性关系,完全遵循虎克定律,则 OP 段称为线弹性阶段。故点 P 对应的应力 R_f 称为材料的比例极限,如图 1—3 所示。在该弹性阶段内可以测定材料的弹性模量 E ,弹性模量是材料的弹性性质优劣的重要特征之一。实验时如果当应力继续增