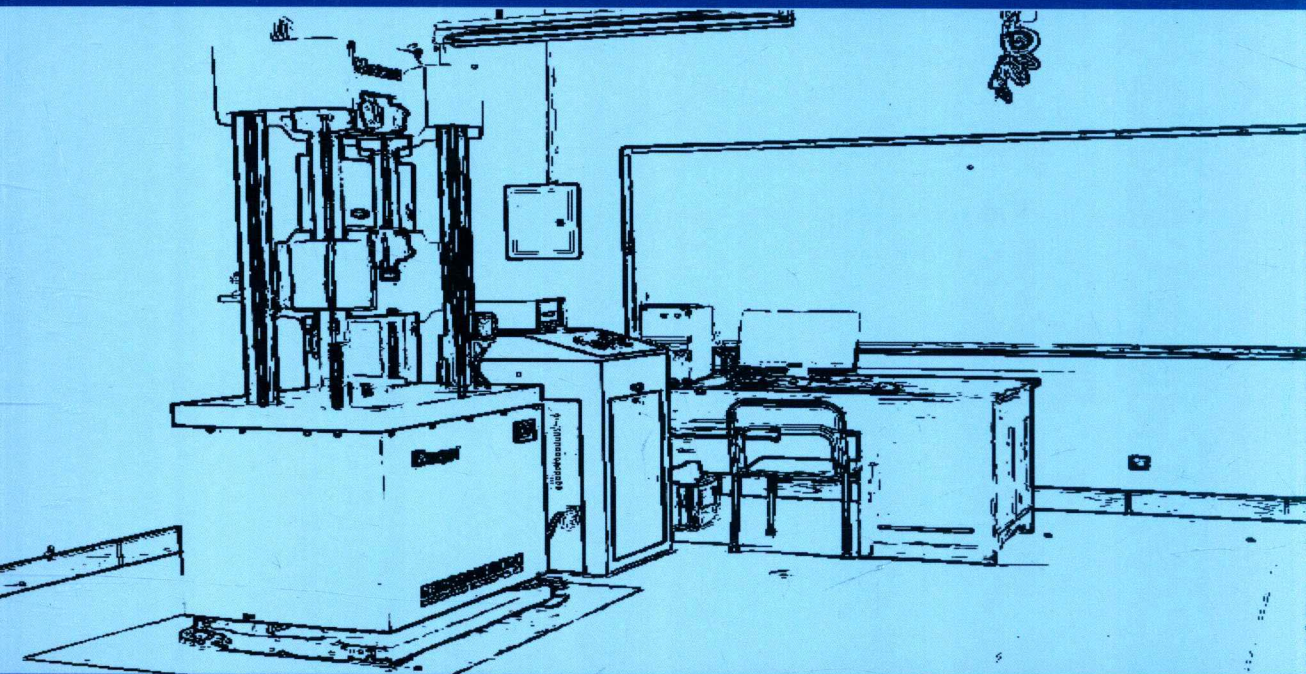
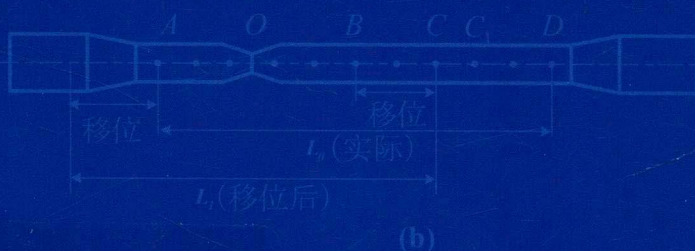
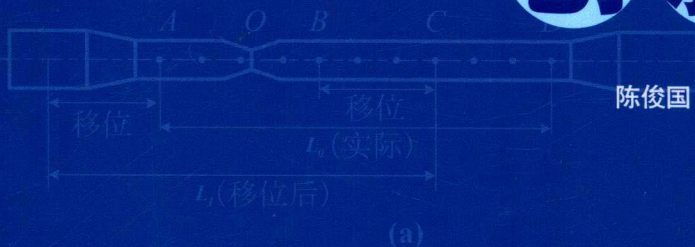




矿业工程国家级实验教学示范中心规划系列实验教材

材料力学实验与 创新设计



赵增辉 邢明录 主 编
陈俊国 冯元慧 滕桂荣 李龙飞 副主编
付彦坤 主 审

 煤炭工业出版社

矿业工程国家级实验教学示范中心规划系列实验教材

材料力学实验与创新设计

主 编 赵增辉 邢明录
副主编 陈俊国 冯元慧 滕桂荣 李龙飞
主 审 付彦坤

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学实验与创新设计 / 赵增辉, 邢明录主编. --北京:
煤炭工业出版社, 2018

矿业工程国家级实验教学示范中心规划系列实验教材

ISBN 978-7-5020-6059-6

I. ①材… II. ①赵… ②邢… III. ①材料力学—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 145760 号

材料力学实验与创新设计

(矿业工程国家级实验教学示范中心规划系列实验教材)

主 编 赵增辉 邢明录

责任编辑 尹忠昌

编 辑 王 晨

责任校对 陈 慧

封面设计 罗针盘

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

电 话 010-84657898 (总编室) 010-84657880 (读者服务部)

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京玥实印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 8⁵/₈ 字数 192千字

版 次 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷

社内编号 8939 定价 26.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书适应应用基础型人才培养及新形势下材料力学实验课教学要求,根据教育部《高等学校工科本科材料力学课程教学基本要求》和教育部工科力学教学指导委员会有关《面向二十一世纪工科力学课程教学改革的基本要求》编写而成。全书共分5章内容:绪论、基础型实验项目、综合设计型实验、创新设计型实验、基础力学创新设计实践。共包含9个基础型实验、5个综合设计型实验、2个创新设计型实验以及多个创新设计项目。

本书可作为实验环境、实验项目与编写学校相当的高等院校工科相关专业18~24学时材料力学实验单独设课的教材。也可供非独立设课的学校选用,还可作为开放实验室开设学生自主创新实验及基础力学创新设计实践参考书。

矿业工程国家级实验教学示范中心 规划系列实验教材

指 导 委 员 会

主任 谭云亮 刘伟韬
委员 秦忠诚 张培森 周 刚 杨 坤 李美燕

编 写 委 员 会

主任 赵同彬 刘进晓
委员 陈 静 樊克恭 宁建国 赵增辉 黄冬梅
闫莎莎 程国强 刘 音 于师建 张新国
任大伟 邢明录

审 核 委 员 会

主任 秦忠诚 张培森
委员 谭云亮 赵同彬 马其华 臧传伟 顾士坦
胡相明 陈俊国 付彦坤 鹿广利 王海亮
魏久传

前 言

为适应新形势下材料力学实验课程教学,结合我校山东省应用基础型人才培养特色名校建设对学生能力培养的要求,我们在总结多年来教学实践的基础上,按照教育部《高等学校工科本科材料力学课程教学基本要求》和教育部工科力学教学指导委员会《面向二十一世纪工科力学课程教学改革的基本要求》,根据我校力学实验教学中心的实际情况编写了这本《材料力学实验与创新设计》。

本书融合了近年来山东科技大学材料力学省级精品课程建设项目、山东省骨干学科力学实验教学中心建设项目、全国周培源大学生力学竞赛培训及命题、基础力学创新设计大赛及基础力学创新实践教学的相关成果。本书内容共5章:第一章介绍了材料力学实验的地位,材料力学实验的任务、内容、测试方法,以及材料力学实验的发展历程。第二章是基础型实验,包括6个材料力学性能实验和3个电测实验。第三章是综合设计型实验,包含材料弹性模量和泊松比测定实验、偏心拉伸、等强度梁、复合梁、压杆稳定5个实验,该章实验是对基础型实验的扩充和材料力学知识点的高度融合,以加强学生的实验设计能力。第四章是创新设计型实验,包括刚架和桁架两个实验。书中对每个实验从实验目的、仪器设备及操作规程、实验原理及方法、实验步骤、数据处理等多方面进行了比较详细的叙述,在每个实验后面都设置思考题,以强化学生对实验现象及实验结果的深度思考。第五章为基础力学创新设计实践,介绍了山东科技大学开展基础力学创新实践的典型题目以及第十届全国周培源大学生力学竞赛团体赛项目。本书可作为实验环境、实验项目与编写学校相当的高等院校工科相关专业18~24学时材料力学实验单独设课的教材。由于各章节内容具有一定的独立性,本书内容也可供非独立设课的学校选用,还可作为基础力学创新设计实践参考书。

本书由赵增辉、邢明录担任主编,陈俊国、冯元慧、滕桂荣、李龙飞担任副主编,杨坤、张丰雪、谭涛、马静敏、刘星光、郝鹏、吕艳伟、高明也参加了部分内容的编写。全书由付彦坤教授担任主审。本书编写过程中参考了部分兄弟院校的材料力学实验教材、全国大学生力学竞赛以及材料力学实验教学论文的相关资料,特向他们表示敬意。山东科技大学矿业工程国家级实验教学示

范中心对本书的出版给予了很大的支持和帮助，作者一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 9 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 材料力学与材料力学实验	1
第二节 材料力学实验的任务	1
第三节 材料力学实验的研究内容	2
第四节 材料力学实验测试方法	3
第五节 材料力学实验的发展	4
第六节 材料力学实验基本要求	6
第二章 基础型实验项目	8
第一节 金属材料拉伸力学性能的测定	8
第二节 金属材料压缩力学性能的测定	16
第三节 金属材料扭转力学性能的测定	19
第四节 电阻应变测量原理及桥路连接实验	23
第五节 纯弯曲梁的正应力测定实验	32
第六节 弯扭组合变形的主应力测定实验	35
第七节 冲击力学性能的测定	40
第八节 疲劳力学性能的测定	43
第九节 材料硬度性能的测定	47
第三章 综合设计型实验	55
第一节 材料弹性模量 E 和泊松比 μ 测定实验	55
第二节 偏心拉伸实验	57
第三节 等强度梁静态应变及挠度测试实验	61
第四节 复合梁弯曲应力应变分析与测试实验	66
第五节 不同支承条件压杆的临界压力测定实验	72
第四章 创新设计型实验	78
第一节 刚架结构危险截面及其应力应变分布规律测定实验	78
第二节 桁架结构开放性实验设计与应力应变测试	84

第五章 基础力学创新设计实践	93
第一节 开展基础力学创新设计实践的意义	93
第二节 基础力学创新设计竞赛	94
第三节 基础力学创新实践活动案例	98
第四节 第十届全国周培源大学生力学竞赛“理论设计与操作”团体赛	113
参考文献	126

第一章 绪 论

第一节 材料力学与材料力学实验

材料力学是理论研究和实验分析、理论知识与工程实际紧密结合的一门学科，主要研究承载杆件的强度、刚度和稳定性等问题。材料力学作为工科专业从数理学科过渡到专业学科的一门基础力学课程，对联结基础课与专业课起到重要的桥梁和纽带作用，是后续结构力学、弹性力学、地质力学、岩石力学、机械设计、矿山压力与岩层控制等很多专业课程的基础。因此，材料力学课程在工科专业学生的知识结构和培养体系中处于承上启下的重要地位。掌握材料力学的研究方法和分析手段，将有助于构建学生完整的专业知识体系，对提高学生解决工程实际问题的能力和水平都有重要的影响。

材料力学的研究方法和基本理论表明，它是在实验观察的基础上，经过科学抽象，抓住主要事实，由表及里，去伪存真，将真实材料理想化，实际构件典型化，公式推导假设化的一门学科。材料力学是一门以实验为基础的学科。实验是科学技术发展的源泉，培养学生独立实验的能力是高等学校本科教学的重要任务之一。材料力学实验作为材料力学课程的重要组成部分，不仅可以验证理论的正确性，巩固、加深理解有关的理论知识，而且可以体现和拓展材料力学课程的工程应用特质。材料的力学性能及实际工程结构应力、应变分析都必须依赖于实验研究，一方面与结构构件的强度、刚度和稳定性密切相关的材料的力学性能只有通过实验才能测定，另一方面实验的方法是工程结构应力分析的另一重要手段，它和解析法既可互为补充、互相验证，又能独自解决工程中尚无理论分析结果的结构应力分析问题，例如某些情况下，因构件几何形状不规则或受力复杂等，应力计算并无适用理论，再比如油气运输中高压容器、高压阀、管路的安装、检修、运行，混凝土梁都要进行应力测试以保证安全。所以材料力学实验教学对于培养学生观察、分析和解决实际工程问题的能力，提升学生的开拓能力和创新思维是一项重要的基础训练。

第二节 材料力学实验的任务

材料力学实验作为材料力学课程的实践环节，不仅是对课堂教学的补充，更是深化和拓展，在培养学生对基础力学工程认知方面具有不可替代的作用。总的来讲，材料力学实验教学需要承担以下 3 项重要任务：

(1) 验证课堂教学基本理论，帮助学生理解和巩固所学知识。材料力学公式是在抽象化的理想模型基础上推导出来的，它的结论是否正确以及能否在工程中应用，只有通过实

验才能判定。此外,针对结构设计与新材料研发中的强度、刚度等问题,首先要测定材料的力学性能常数。如测定低碳钢的弹性模量、泊松比及强度指标,必须明确应力、应变、位移和比例极限等基本概念,熟悉胡克定律的两种不同形式及其适用条件。用电测法进行梁的弯曲正应力实验,既要求掌握平面弯曲、纯弯曲、弯曲内力、截面惯性矩等概念以及梁的正应力公式,还需要了解电测应力分析方法和基本原理,否则就无法动手测试、计算和验证。这一系列的实际问题迫使学生复习已学过的理论知识,以便进一步理解和掌握,从而使理论知识得以巩固和加深。

(2) 掌握工程构件力学性能及应力分析的基本实验方法。在巩固课堂教学基本理论的同时,材料力学实验教学可使学生初步掌握力学实验的基本测试方法和技术,熟悉常用仪器设备的操作规范。通过实验测定典型工程材料的各种力学性能,使学生掌握符合国标规定的一般实验方法。通过验证材料力学中的基本理论,使学生了解和掌握基本实验应力测试方法。工程实际构件的几何形状和载荷一般都很复杂,构件中的应力单纯靠计算难以获得准确的数据,这时也必须借助于实验应力分析的手段才能解决。因此,实验越来越受到重视,成为促进科技发展的重要手段。

(3) 培养学生的创新设计与创造能力。要培养学生的实验技能和创新精神,必须把动脑和动手结合起来。除了在实验教学中注意启发设计思想,训练学生拟定实验方案,再独立进行实验的方法外,还可以在基本实验的基础上,再开设简单的设计性实验,让学生根据题目自己查资料,自己设计方案,再进行实验,这样学生既动脑又动手,不仅掌握了知识、技能,而且提高了实验能力。

第三节 材料力学实验的研究内容

材料力学实验的内容是非常丰富的,不仅可以验证材料力学课程中的基本理论,而且可以解决属于材料力学范畴但又超出课堂教学基本理论的复杂工程问题。本书实验项目设计以“注重层次、发扬个性、力求创新”为宗旨,构建了“基础型实验→综合设计型实验→创新设计型实验”层层递进的三级实验体系,力求拓展材料力学实验教学的内涵,提升学生综合能力。本书共包括基础型实验项目9个,综合设计型实验项目5个,创新设计型实验项目2个。

(1) 基础型实验:这类实验项目旨在巩固课堂教学基本理论,强化学生的基本技能训练,使学生了解力学实验技术基础,培养学生基本力学实验技能。比如,低碳钢和铸铁的力学性能实验、材料常数(如弹性模量和泊松比)的测试实验、纯弯曲梁的正应力计算公式验证、弯扭组合变形的应力状态分析等。

(2) 综合设计型实验:这类实验项目旨在培养学生利用力学原理设计实验,深化和拓展课堂理论教学基本理论,加强知识的综合运用,培养学生在实验中获取知识的能力。比如,偏心拉伸、压杆稳定、等强度梁、复合梁等相关实验。

(3) 创新设计型实验:这类实验项目旨在检验和锤炼学生的综合素质与业务技能,培养在实验中研究问题的能力和创新意识,提高解决实际问题的能力。适当引入新材料、新结构和新的实验技术,发挥学生的创造性。比如,超静定刚架及桁架的内力测试分析实

验等。

上述实验项目中,拉伸、压缩、扭转、纯弯曲梁的正应力测试、弯扭组合变形主应力分析为非独立设课多学时材料力学课程必做实验项目;拉伸、压缩、纯弯曲梁的正应力测试为非独立设课少学时材料力学课程必做实验项目。单独设课的材料力学实验学时为18~24学时,在开设基础型实验和综合设计型实验基础上,可根据专业特点适当选做创新设计型实验项目。

除上述实验教学内容外,本书还总结了近年来山东科技大学开展基础力学创新与实践活动的部分成果,主要包括基础力学创新设计大赛、基础力学创新实践课程以及全国周培源大学生力学竞赛团体赛命题等相关成果。

第四节 材料力学实验测试方法

目前,在材料力学实验中,采用最多的是机测法、电测法和光测法。

一、机测法

机测法常用于采用标准试件测定材料的力学性能参数、标定材料的物理关系,是一种直接测试方法。比如,要建立起材料的强度条件,就必须了解材料的强度、刚度、韧性、硬度等特性,而这些必须通过做拉伸、压缩、扭转、冲击、疲劳等实验来测定,即测定材料的强度极限、弹性模量、疲劳极限等力学参数,这些关于材料力学性能的测试方法可以归入机测法的范畴。机测法具有简单、实用、测试效率高及成本低的特点。

二、电测法

电测法是一种间接测试方法,其基本原理是用电阻应变片测定构件表面的线应变,再根据应变—应力关系确定构件表面应力状态。这种方法是将电阻应变片粘贴在被测构件表面,当构件变形时,电阻应变片的电阻值将发生相应的变化,然后通过电阻应变仪将此电阻变化转换成电压(或电流)的变化,再换算成应变值或者输出与此应变成正比的电压(或电流)的信号,由记录仪进行记录,就可得到所测定的应变或应力。电测法具有测量灵敏度和精度高、测量范围广、轻便灵活的特点,能在高、低温或高压环境等特殊条件下进行测量,便于与计算机连接进行数据采集与处理,易于实现数字化、自动化及无线遥测。

三、光测法

光测法的基本原理是利用光波在某些透明介质材料制成的受力模型中所产生的暂时双折射光波干涉条纹图或光波反射产生的干涉条纹图来分析、确定各测点的应力。常用的光测法有光弹性法、全息法、云纹法、激光散斑法等。光测法的优点是不仅能够测量构件表面的应力,而且也能采用冻结、切片技术测定试件内部的应力,以展现整个应力场的应力分布。

电测法和光测法在应力分析实验中具有广泛应用,可以解决采用材料力学理论无法计

算的复杂问题,如建筑结构框架结构的内力分析,生物医学如人工关节、人工骨、假肢、医疗机械等设计。鉴于篇幅原因和材料力学实验的基本要求,本书主要针对机测法和电测法进行详细介绍,光测法在实验力学等相关书籍中进行详细介绍。

第五节 材料力学实验的发展

材料力学的发展充满着探索和创造,它的实验更集中地体现了这一特点。作为一种特殊的实践活动,实验在材料力学发展史上占有极其重要的地位,离开了实验就不可能有材料力学的诞生与发展。理论往往是成体系的,并且不断完善和发展着。而力学实验则相对独立,并且具有多体系、交叉性、渗透性和无界性的特点。很多复杂的实际工程,涉及多学科交叉的问题,很难用周全的理论体系来解决,但是依靠现场试验或实践作为基础,工程人员依旧可以造就出像赵州桥、山西应县木塔、比萨斜塔等体现丰富力学理念的出色建筑。

材料力学实验历史悠久,可以说与理论平行发展。古代中国在车船和兵器的制造中,以及宫殿、房屋的建造中,逐渐积累了许多关于材料和结构强度的认识。在春秋战国时代的《考工记》《墨经》,宋代的《营造法式》,明代的《天工开物》等著作中,皆有关于刚度、韧性以及挠度等的初步认识。例如,在《墨经》中记载:“发均县(悬),轻而发绝,不均也。均,其绝也莫绝。”这段话用力学知识来解释,可以理解为:用多个头发悬挂重物,重物很轻时头发便断了,是因为头发受力不均匀造成的。若受力均匀时,该断的时候也不会断。墨子在这里比喻一类超静定问题,各个构件都要均匀地承受外载,结构才能结实。在西方首先由意大利科学家达·芬奇(Da Vinci, 1452—1519年)做了梁的弯曲实验以及线材拉伸强度实验。意大利科学家伽利略(Galileo, 1564—1642年)开展了悬臂梁的弯曲实验(图1-1)。1638年,伽利略在他的著作《关于两门新科学的对话》中,系统地介绍了他对梁强度问题的研究。其中一个关键问题就是悬臂梁的强度问题,这个问题一直影响着后来近两百年的研究。伽利略并没有正确地解决他提出来的问题,在讨论悬臂梁的强度时,书中隐含了两个错误,一是将根部AB截面上的拉应力看作是均布的,二是把梁的中性层取在梁的下侧。尽管如此,伽利略是第一个将实验引入力学的科学家,创立了实验力学学科,开创了以实验事实为根据并具有严密逻辑体系的近代科学,是近代实验科学的奠基人之一。英国科学家罗伯特·胡克(Robert Hooke, 1635—1703年)在1678年发表了他的重要发现,即螺旋弹簧伸长量与其所受拉伸力成正比(图1-2),并建立了弹性体变形与力成正比的定律,即胡克定律,为材料力学奠定了重要的理论基础。

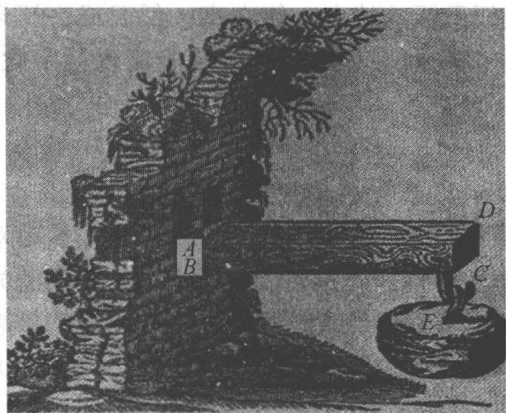


图1-1 伽利略的实验装置

家,创立了实验力学学科,开创了以实验事实为根据并具有严密逻辑体系的近代科学,是近代实验科学的奠基人之一。英国科学家罗伯特·胡克(Robert Hooke, 1635—1703年)在1678年发表了他的重要发现,即螺旋弹簧伸长量与其所受拉伸力成正比(图1-2),并建立了弹性体变形与力成正比的定律,即胡克定律,为材料力学奠定了重要的理论基础。

17世纪法国科学家马里沃特(Mariotte, 1620—1680年)做了木材的拉伸实验(图1-3),并已开始研究梁的弯曲实验。瑞士科学家

伯努利 (Bernoulli, 1700—1782 年) 开展了悬臂梁的实验。瑞士科学家欧拉 (Euler, 1707—1783 年) 完成了压杆的稳定性实验, 他在伯努利的帮助下, 得到弹性受压细杆在失稳后的挠曲线—弹性曲线 (图 1-4) 的精确解, 能使细杆产生这种挠曲的最小压力后被称为细杆的欧拉临界载荷。欧拉是弹性系统稳定性理论的开创人。法国科学家库仑 (Coulomb, 1736—1806 年) 发表了有关材料强度的论文, 确立了弹性扭转定律, 完成了剪切实验, 并提出了剪切的观念, 所提出的计算物体上应力和应变分布情况的方法沿用至今, 是结构工程的理论基础。

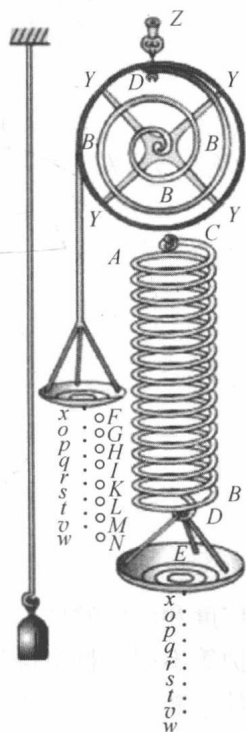


图 1-2 胡克的实验装置

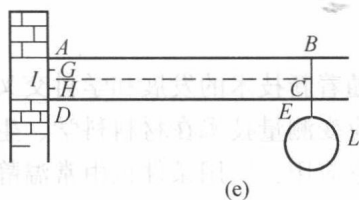
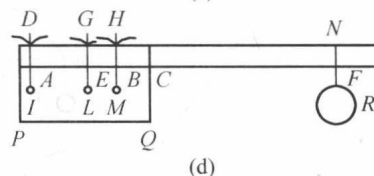
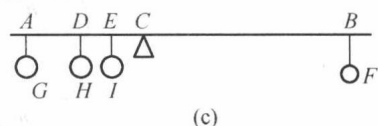
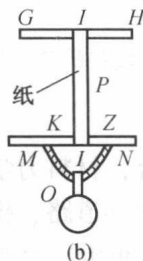
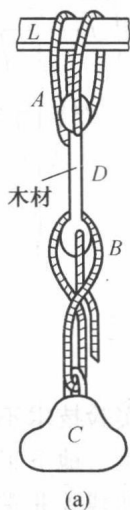


图 1-3 马里沃特完成的实验

法国科学家泊松 (Poisson, 1781—1840 年) 在 1829 年发表的《弹性体平衡和运动研究报告》一文中提出各向同性弹性杆的横向收缩应变与纵向伸长应变之比是一常数, 提出了材料横向变形系数的概念, 即泊松比。法国科学家柯西 (Cauchy, 1789—1857 年) 在 1823 年的《弹性体及流体 (弹性或非弹性) 平衡和运动的研究》一文中, 提出了 (各向同性的) 弹性体平衡和运动的一般方程 (后来他还把这方程推广到各向异性的情况), 给出应力和应变的严格定义, 提出它们可分别用 6 个分量表示。法国力学家纳维 (Navier, 1785—1836 年) 正确地确定了梁的中性层位置, 解决了梁的线性理论。法国力学家圣维南 (Saint-Venant, 1797—1886 年) 一生重视将理论研究成果应用于工程实际, 他认为只有理论与实际相结合, 才能促进理论研究和工程进步。他所提出的圣维南原理长期以来在工程力学中得到广泛应用。这些科学家对弯曲理论、扭转理论、稳定理论以及材料实验作出了卓越的贡献, 丰富、发展和完善了材料力学学科, 他们对科学的献身精神为后人所

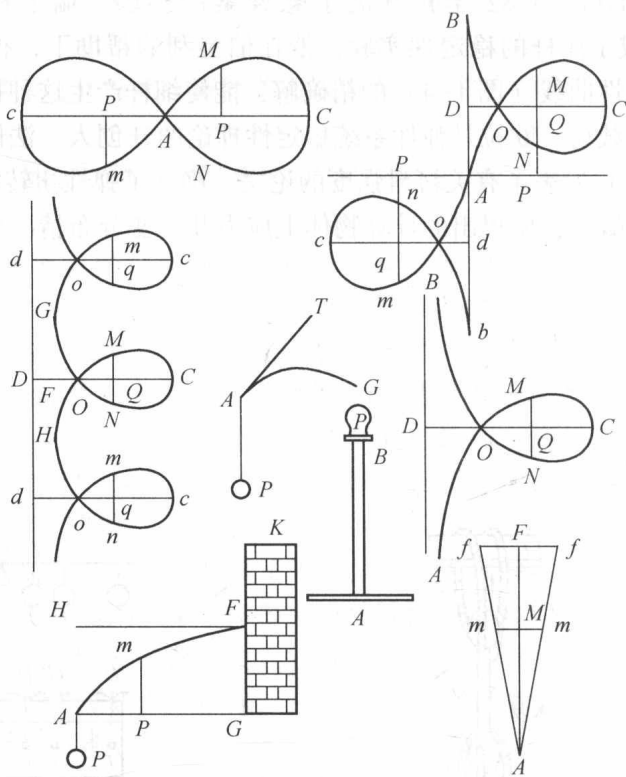


图 1-4 欧拉研究的弹性线

敬仰。

随着新技术的发展和学科交叉与融合，材料力学实验技术不断向广度和深度发展。如电阻应变测量技术在材料科学、生物医学、道路、桥梁、地下工程支护等不同学科中得到了广泛应用，适用条件也由常温静载向高低温、高频动载等非常规条件不断扩展。一些新的测试手段像数字散斑、声发射不断引入进来，扩大了测量和应用范围，提高了测试精度，研究的尺度也从宏观向微细观深入。随着大数据、云计算等新概念的提出，材料力学实验正朝着实验与计算相结合，物理模型与数学模型相结合的方向发展。

第六节 材料力学实验基本要求

实验是进行科学研究的重要方法，也是众多力学理论建立的基础。材料力学在大量假设基础上所建立的理论体系，必须依靠实验来验证其有效性和适用范围。掌握材料力学实验技术，对深化和理解理论知识、培养动手能力及良好的科学习惯具有重要作用，所以从思想上绝不能出现重理论轻实验的倾向。开展材料力学实验要按照以下基本要求来做：

(1) 实验前预习。正式实验前要进行实验前的预习工作，明确本次实验的目的和基本原理，熟悉所使用仪器的操作规程。对综合设计性和创新性实验要提前设计好实验方案，基础性实验要理清实验步骤。同时做好开展本次实验的理论储备，设计出记录数据的相关表格。实验小组成员之间要做好分工，做到人人参与，任务相当，使每个成员参与

其中。

(2) 正式实验。进入实验室后,要按照实验指导教师的要求开展实验。严格按照仪器设备操作规程进行操作,对具有一定危险性的大型仪器设备,比如电子万能试验机,要敢于去操作,同时不能违规操作。实验过程中小组成员协调操作,记录好相关实验数据。对非破坏性实验,比如纯弯曲梁正应力测定实验可重复几次实验,以保证实验数据的准确性。实验结束后,要注意做好实验设备的维护,以及实验场所的清理工作。

(3) 实验数据整理与分析。实验后要进行数据的整理与分析,认真完成实验报告。实验报告的基本信息如实验名称、实验日期、实验人员、实验目的及所使用的仪器设备型号要完整准确填写。在相关表格中填写好实验基础数据,注意有效数字位数以及所使用的单位。按照要求对数据进行计算处理,绘制实验数据曲线。实验报告要做到数据完整,曲线、图表齐全,计算正确,正确使用物理量的量纲,并对实验结果进行讨论和分析,完成相应的思考题。实验数据记录及其处理力求真实、准确和规范。对示意图形、关系曲线、记录表格和计算公式,力求正确、整洁和清晰。文字说明通顺,书写工整。不得臆造数据,不得抄袭他人的实验报告。

第二章 基础型实验项目

第一节 金属材料拉伸力学性能的测定

一、实验目的

- (1) 测定低碳钢拉伸时的强度性能指标：屈服极限 σ_s 和强度极限 σ_b 。
- (2) 测定低碳钢拉伸时的塑性性能指标：断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。
- (3) 测定灰铸铁拉伸时的强度性能指标：强度极限 σ_b 。
- (4) 绘制低碳钢和灰铸铁的拉伸曲线图，比较低碳钢与灰铸铁在拉伸时的力学性能和破坏形式。
- (5) 验证胡克定律，测定低碳钢弹性模量 E 。

二、实验仪器及设备

(1) 微机控制电子万能试验机。微机控制电子万能试验机（图 2-1）主要用于对各种金属及复合材料进行常规力学性能指标的测试。专业设计的自动控制和数据采集系统，实现了系统的全数字化调整。实验过程中数据的采集、进程的控制和实验数据的后处理工作全部由计算机来完成。

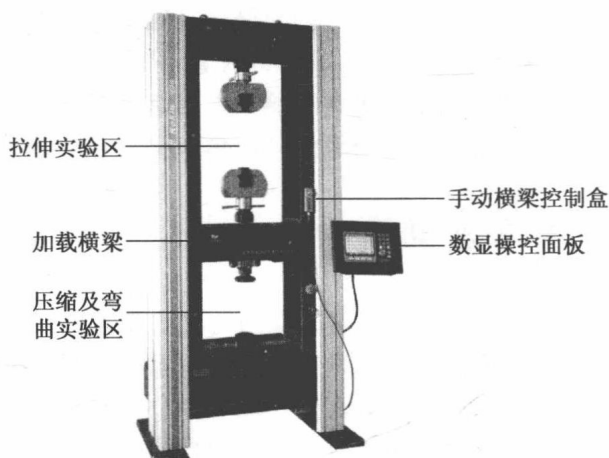


图 2-1 电子万能试验机结构图

(2) 引伸计。引伸计（图 2-2）是测量构件两点之间线变形的一种仪器，通常由传感器、放大器和记录器三部分组成。传感器直接和被测构件接触并跟随变形，并把这种变形