

湖南省教育厅面向 21 世纪基础力学实验系列课程改革教材

材料力学实验教程

主编 : 汪晓光
李社国

中南大学出版社

内容提要

本书是湖南省教育厅“基础力学实验课教学体系改革的研究与实践”项目的研究成果,该项目 1995 年 12 月获省教育厅教学成果三等奖。该书以材料力学实验内容为主,属于面向 21 世纪基础力学实验系列课程教学改革教材之一。

全书共分七章,共列出了十项实验内容,其中综合性实验三项、设计性实验三项、验证性实验四项。书中从材料力学实验的基本知识入手,着重介绍了材料力学实验的机测、电测、光测实验等基本实验方法。根据实验教学的特点,在每项实验中,对实验目的、实验原理、设计性实验的设计方法、注意事项、实验报告的要求以及思考题,均有较详细的叙述和较严格的要求。通过这些实验教学来提高学生的动手能力,激发他们的创新思维能力。

本书可作为高等工科大学工程力学、建筑工程、交通工程、机械工程专业材料力学课程(多学时)的实验课教材,也可作为其他中、少学时或专科学校教材。此外,亦可作为从事材料力学实验的工程技术人员参考书。

该书的第一章、第二章、第四章、第五章、第六章由王晓光编写,第三章、第七章及附录由李社国编写,肖柏军、宁明哲也参加了部分编写工作及实验项目的准备和研究工作。感谢夏时行副教授及杨建军博士对本书的指导。全书由刘庆潭教授审稿。

主要符号表

粤	面积
粤 _固	原面积
葬	间距,加速度
遭	宽度
阅 凿	直径
枣	挠度
云	载荷,力
云 _通	极限载荷
云 _剪	临界力
云 _弹	弹性伸长力
云 _质	比例伸长力
云 _降	屈服力
郅	切变模量,重量
澡	高度
陨	光强
隈	惯性矩
隈 _极	极惯性矩
运	灵敏系数
噪	放大倍数,比例系数
蕴	长度,跨度
蕴 _编	标距
酝	弯矩
责	压强
云 _剪	剪力
择	分布荷载
砸	电阻,电阻应变片
则	半径
贼	厚度,时间
酝 _载	扭矩
酝 _极	极限扭矩
酝 _降	屈服扭矩
宰	弯曲截面系数,冲击功
宰 _扭	扭转截面系数
α	倾角

$\alpha_{\text{冲击}}$	冲击韧性
β	角度
θ	梁横截面的转角,单位长度相对转角
φ	相对扭转角
γ	切应变
Δ	变形,位移
$\Delta_{\text{总}}$	变形,伸长
δ	延伸率,相对误差,变形
ε	线应变
$\varepsilon_{\text{试件}}$	由 员号应变片产生的应变
$\varepsilon_{\text{主}}$	主应变
$\varepsilon_{\text{读数}}$	应变仪的读数
$\varepsilon_{\text{拉}}$	由拉伸单独作用引起的应变
$\varepsilon_{\text{弯}}$	由弯矩单独作用引起的应变
$\varepsilon_{\text{扭}}$	由扭矩单独作用引起的应变
λ	柔度,长细比
μ	长度系数
ν	泊松比
ρ	曲率半径
σ	正应力
$\sigma_{\text{试件}}$	员号点处的正应力
$\sigma_{\text{极限}}$	对称循环条件下材料的疲劳极限
$\sigma_{\text{强}}$	强度极限
$\sigma_{\text{临}}$	临界应力
$\sigma_{\text{弹}}$	弹性极限
$\sigma_{\text{比}}$	比例极限
$\sigma_{\text{条件}}$	条件屈服应力
$\sigma_{\text{屈}}$	屈服应力
τ	剪应力
$\tau_{\text{强}}$	剪切强度极限
$\tau_{\text{屈}}$	剪切屈服极限
ψ	断面收缩率

第一章 绪论

1.1 材料力学实验课的目的

材料力学实验技术具有丰富的内容,我们选取了较典型和较常用的实验内容和方法作为实验课的基本教学内容,在掌握材料力学基本理论的基础上,掌握基本的实验技能,并探索通过综合性、设计性实验教学方式,逐步培养学生的动手能力和实践能力。我们还开出了部分演示实验,用以开拓学生的眼界,为后续专业课打下基础。

(1) 通过对实验现象的观察、分析和对金属材料各力学量及物理量的测量,能初步掌握材料力学实验的基本知识、基本方法和基本技能,并能运用材料力学原理解释金属材料 and 构件的力学行为,加深对材料力学原理的理解。

(2) 培养学生的科学实验能力主要包括:动手实践能力、思维创新能力、书写表达能力和简单的设计能力,并通过实验课激发同学们的创造能力和工作热情。

(3) 培养学生从事科学实验的素质。要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风;严肃认真的工作态度;不怕困难主动进取的探索精神;遵守操作规程、爱护公共财物,以及在实验中相互协作,共同探索的思想品德。

1.2 材料力学实验课的基本内容

材料力学实验有多种分类方法。按测试手段来分有机械实验、电测实验、光弹性实验、声发射实验等。按实验目的来分有材料力学性能测定实验和构件应力、应变测量实验。在教学实验中按实验课的性质又可分为验证性实验、设计性实验和研究性实验。下面我们按实验目的不同来分类。

1.2.1 材料的力学性能测定实验

设计构件时,均须了解所用材料的力学性能。如经常用到材料的流动极限(屈服极限)、强度极限和延伸率等。这些力学性能参数,是通过拉伸、压缩和扭转等实验测定的,本书把这些实验整合成二项实验:机械性能测定实验和弹性常数测定实验。实验选用的材料为常用的普通低碳钢和灰口铸铁(它们的力学性能为人们已知),实验方法采用常用的机测法。这两项实验属基本知识及基本技能综合训练实验。材料的力学性能还包括冲击韧性和疲劳韧性等参数,由于受设备及学时的限制,我们把这些内容作为演示实验。

1.2.2 静态应力测量实验

在工程实验中,常常会遇到一些形状和载荷情况较为复杂的结构和构件。关于它们的强度、刚度、稳定性问题,单纯靠理论计算不能得到满意的结果。因此,需要通过实验测量,并进行应力、应变分析。这些实验测量的方法主要有前面提到过的机测法、电测法、光测法等。另外,还有较复杂的光弹性法、声发射法、脆性涂层法、云纹法、全息干涉法及散斑干涉

法等,这些方法目前已成为解决工程实际问题的有效手段。本书将着重介绍应用最为广泛的机测法和电测法。包含的实验项目有 板状试样偏拉实验、组合变形实验、加强梁实验,这些实验为设计性实验。还有纯弯曲实验、缺口梁实验、压杆稳定实验,这些实验为验证性实验。平面光弹性实验为研究性实验。

振动动力学和动应力测量实验

振动是工程中普遍存在的现象。构件或试样的工程振动实验的基本内容有构件的动力特性(固有频率、阻尼比、振型),构件的动力反应(动应力、振动位移、速度和加速度),动力载荷的特性参数(如风压力,水流脉动压力)等几个方面。振动测量的方法有机械法、电测法、光测法等。目前,电测法在工程中使用得较为广泛,本书仅介绍动应力和简谐振动幅值综合测量实验,这些实验为综合性实验。

随着现代科学技术的飞跃发展,新的材料(如各种特殊合金钢、陶瓷、复合材料和高分子材料等)不断出现,新型的机械结构和建筑结构如雨后春笋,给材料力学实验提出了许多新课题和新任务。随之而来的各种先进的仪器和设备的使用,使实验内容更加丰富多彩。由于本书篇幅有限,不能一一介绍。同学们可通过自学,阅读课外书籍,掌握更多的材料力学实验技术。学有余力的同学可组成课外活动小组,自选课题,设计新的材料力学实验。对学生选定的实验项目,实验室将进行可行性论证,经认定后,将尽量提供有关的实验环境和条件。

员原圆材料力学实验课的基本要求

通过实验课系统训练,同学们应达到如下基本要求:

(员 掌握材料力学实验的基本知识,熟练掌握实验报告的书写方法,掌握简单设计性实验报告的书写方法,掌握实验数据处理及误差分析方法。

(圆 了解实验设备、仪器的基本工作原理,掌握它们的操作方法。在大型设备的操作过程中,培养协作精神,逐步增强实践能力和动手能力。

(猿 掌握低碳钢和铸铁材料机械性能的参数测试方法,并比较两种材料在机械性能方面的差别。

(源 掌握材料力学实验中的机械法和电测法两种基本实验方法。能应用材料力学知识解释、分析拉伸、扭转、弯曲、组合变形和简单超静定实验中所发生的应力和应变变化的规律。

(缘 了解动力特性和动力反应测定实验所用到的常用仪器设备,初步掌握实验方法和原理。

(远 初步具备对材料力学实验过程的设计能力,即能独立完成实验的全过程,具有一定的动手能力和思维判断能力。

(苑 对光弹、冲击、压杆稳定、疲劳、高分子复合材料等项内容的实验方法有选择的了解。

总之,希望同学们在实验课中,能仔细研究每一个环节,认真做好每一项实验。

第二章材料力学实验的基本理论

材料力学实验的基本知识主要包括实验设计的基本概念与要点、增量测量理论、对称测量理论、基本实验方法以及实验数据处理与误差分析。

实验设计的基本概念

科学实验与教学实验

人们普遍认为,自然科学实验的过程大体上包括这样一些环节:实验课题选择、实验课题调研、实验方案制定、实验过程、综合分析与论证、撰写实验报告。当然,这些过程也不是一成不变的,并且有时还会有一些子循环。例如,在进行一段时间的实验后,经综合分析,重新修改实验方案,然后再进行相应的实验。教学实验是一种以学习科学实验方法为目的的实验过程,它一般从实验方案设计开始,经过实验过程及综合分析,并撰写实验报告(或简单论文)等几个过程。材料力学教学实验按其性质来分类,大致可分为验证性实验、设计性实验和研究性实验三类。验证性实验,实验方案及实验方法已设计完成,实验者仅需按要求完成实验过程并撰写实验报告即可,其主要实验目的是验证基本理论,并学习基本实验技能。设计性实验要求实验者根据实验任务,设计实验方案,自主完成实验过程,撰写实验报告,并能对实验中的问题进行分析。设计性实验的任务是学习工程实验的基本知识和基本技能,掌握实验设计的基本方法,并通过实验提高动手能力及综合素质。研究性实验是一种具有一定复杂程度、实验技术较为先进的一类教学实验。这类实验涉及的知识面较广,有些问题可能在课内不能全解决,要利用一些课外时间通过自学来解决。如光弹性实验等,本书仅给出了结论性的计算公式,而它们的来由及推演过程未给出。另外,研究性实验的实验技术本身还存在一些技术难题,实验者可以通过实验亲身加以体会,学有余力的实验者可以进行相应的研究。研究性实验的目的是拓宽知识面,并通过实验培养创新能力和创新意识。

设计性实验是基础力学实验课的主要教学内容,因此,实验的设计方法就显得十分重要。设计性实验要求实验者独立完成实验设计,独立完成实验全过程,实验者除仔细学习实验教程外,还要查阅指定的参考资料,才能进行实验设计。这类实验课具有一定的难度,因此,下面重点介绍设计性实验的过程及方法。

设计性实验的基本过程

设计性实验的基本过程如下。

(1) 实验设计阶段

实验者可按实验任务的要求,以及实验室所能提供的仪器、设备进行相应的设计。实验设计的主要内容包括试样受力状态的理论分析、确定实验方法、制定实验方案和设计实验数据表格。实验者要仔细阅读实验教程,认真学习实验原理,将理论分析的主要过程写在“实

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

猿

验设计报告”上。实验者要认真阅读实验仪器的介绍,初步了解仪器、设备的工作原理。整个实验设计部分的工作需要实验者在课外完成,每次实验课开始时,任课教师将检查设计方案。

（四）实验实施阶段

实验者到实验室将设计的实验方案,交任课教师审阅,经认可后便可进行实验。在实验实施阶段,重点要掌握仪器设备的操作使用方法。在实验设备的操作过程中,要严格按有关操作规程进行。如应注意载荷不要超过允许值,仪器上的旋钮不得过度旋转,仪器、仪表不得超量程使用,等等。如遇到不懂的问题,要及时求得指导教师指导。熟悉仪器设备的操作是设计性实验的一个难点,要尽量避免因误操作而引起的损坏。如已造成了损坏要及时报告。实验数据应填写在“实验数据报告”内,并交指导教师审阅,在确定实验完成后,经指导教师签字认可才能结束实验,并在清理好所用的实验仪器及设备后方可离开实验室。

（五）撰写实验报告

材料力学实验报告根据实验过程分成三个部分,即:实验设计方案、实验数据记录(原始记录)和实验总结报告。第一、二部分在实验课前和实验课中完成。实验课后,实验者需完成实验总结报告。实验总结报告应是一份记录实验全过程的技术资料,它应包括实验目的、实验原理、测试系统基本原理介绍(一般只介绍原理框图即可)以及实验装置简图;关键实验数据的罗列、舍取;实验结果的计算与误差分析;实验中出现问题的分析;简答实验教程中提出的思考题等。应注意:实验报告中应使用国际单位制。实验数据不得随意删除和更改,各种图形不得采用随手画的草图,字迹要清晰,版面要工整。

二、实验方案设计的要点与原则

一般来讲,一项实验的方案主要包括实验方法选择和实验步骤设计。教学实验还包括实验任务(或目的)的阐述、理论分析及实验装置简介。

（一）实验任务

根据实验目的,准确阐述实验任务是十分重要的,实验目的是实验所要求达到目的的一个综合阐述,而实验任务是实验者了解了实验装置和实验原理后,为达到实验目的的要求所必须做的工作。例如:实验需测量哪些具体的技术指标或数据等,以便在后续的实验结果或结论中能完整、准确回答实验目的中所提出的各项问题。在实验过程中,所采用的实验方法、实验步骤以及实验报告中的实验数据、实验结果要符合实验任务的要求。

（二）理论分析

在明确实验任务后,首先要对实验模型进行理论分析。通常实验室提供的实验模型的各内力素有精确的解析解,实验者可根据自己所学的基础力学知识,进行受力和应力状态分析,求各测量部位(或测量点)技术参数的理论值。据此确定测量对象的加载方案、测量范围、测量精度等。例如,第五章中的板状试样偏拉实验,根据给定的比例极限值设计加载方案,确定最大载荷、确定载荷增量 ΔF 、计算弯矩面(或剪力面)上各点处与 ΔF 相对应的应力 $\Delta \sigma$ 和应变 $\Delta \varepsilon$ 等。

（三）实验方法和仪器的选择

测量对象和实验要求明确后,便可确定实验方法和选择仪器。所选用的实验方法要能满足实验的要求。不同的测量方法具有不同的特点。如机械法较适用杆件的测量或宏观

(整体) 位移的测量。电测法在组合变形或复杂应力状态下测量具有较大优势等。

有时完成一项任务,可以有多种实验方法。由于实验室条件有限,仅按常规实验方法配备仪器和设备。实验室所选用的实验方法一般较为成熟,在实际的工程实验中可供参考。例如板状试样偏心拉伸实验、组合变形实验、加强梁实验选用电测法较为适宜,能满足实验要求。实验者应尽量采用实验室能提供的实验方法和仪器进行实验。

实验方案的确定

实验方法和实验仪器选定后,便可具体制定实验方案。

实验方案可分为如下几个部分：

(1)加载方案 材料力学实验一般应采用增量法进行实验,载荷的增量 ΔF 和应力的增量 $\Delta \sigma$,应变增量 $\Delta \varepsilon$ 等应在前面的理论计算时就予以考虑。

(2)测量方案 如条件允许尽量采用对称法进行测量。对称测量法可消除由于试样不对称或荷载偏心引起的误差。实验者需针对具体仪表的测量方案画出原理图。如切变模量 G 的测定实验。又如板状试样偏拉电测实验,要根据具体的实验目的和电测原理画出电桥连接图。在桥路设计中,实现一项实验任务,可能会有多种桥路,实验者应进行比较,选出其中“最优”桥路。

(3)记录表格设计 根据实验目的、理论分析和实验方案的设计,对实验中所得到的数据应有较全面的了解,实验者应设计实验中必须使用的记录表格(画在原始记录纸上)。记录表格要求结构合理,能清晰表示出各数据之间的相关关系,并易于阅读。

实验步骤的设计

实验前一般要求有明确的实验步骤提纲,以免在实验中出现人为的错误和疏漏。实验步骤提纲可根据具体的实验过程来制定。如电测实验的步骤大致可分为:计算最大载荷及载荷增量、接线(联接桥路)、方案、设定应变仪灵敏系数、预调零点、分级加载、读取数据、整理数据、分析数据等。在有些实验中,仅经一次加载可能不能完成所有数据的测量工作,需多次加载。实验步骤应明确先测哪些数据,后测哪些数据。有些破坏性实验不能重复进行,实验数据也不可能重复出现,因此,实验步骤应明确哪些是必须要测定的数据和它们的先后次序。实验步骤要经指导教师认可后,方能进行实验。

增量测量原理

为了减少工程力学测量过程中的误差,提高测量的准确度,在线弹性范围内,加载方案一般采用增量法。在实验中,如需对试件或构件施加载荷时,载荷的施加过程通常是分级实施的,与其相对应的响应值也是分级测取的,增量法也称逐级加载法。例如:当需要测量某根杆件的变形或应变时,在比例极限内,分 n 级加载,载荷由 F_0 逐级增加到 $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ 。在测量仪表上读出各级载荷所对应的读数 $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$, 则 $\Delta A_{\text{总}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n$ 称为读数差,各个读数差的平均值

$$\Delta A_{\text{平均}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}$$

即是当载荷增加 ΔF (一般载荷都是等量增加) 时的平均变形或应变增量,上式中 n 为级数

增量法可以避免某些系统误差的影响。如材料实验机如果有摩擦力(常量)存在,则每次施加于试样的力为 $F_1, F_2, F_3, \dots$ 再取其增量 $\Delta F = F_2 - F_1, F_3 - F_2, \dots$, 摩擦力便被消除了。又如某实验者读引伸仪时,习惯于把数字都读得偏高。如果采用增量法,便可以消掉由于读数带来的误差。

增量法还可以增加取算术平均值的机会。由误差理论可知,算术平均值最接近于真值。在实验过程中,记录人员如果能随时将读数差算出,还可以消去由于实验者粗枝大叶所造成的过失误差。

对称测量原理

在实际工程力学测试中,经常会遇到荷载不对称或试样几何形状不对称的情况,为了准确测量,常采用对称测量法。有时为了实验目的需要也采用此种方法。

例如在拉伸实验中,我们要测量直杆在力 F 作用下的伸长量。在实验中由于各种因素影响,载荷可能会偏离轴线,如图 1-10 所示。在该种受力状态下试样除受轴力外,还有一附加弯矩,由此弯矩引起的变形是我们不希望测量的。为了消除附加弯矩的影响,可沿弯矩作用平面对称装两块测量仪表 A 和 B。设因轴力 F 引起的伸长为 ΔL , 弯矩 M 引起的变形为 ΔL_m , 则有

仪表 A 的读数 $L_A = \Delta L + \Delta L_m$

仪表 B 的读数 $L_B = \Delta L - \Delta L_m$

因此,两块仪表的读数取平均值:

$$\bar{L} = \frac{L_A + L_B}{2} = \Delta L$$

这样便可消除 ΔL_m 带来的影响。

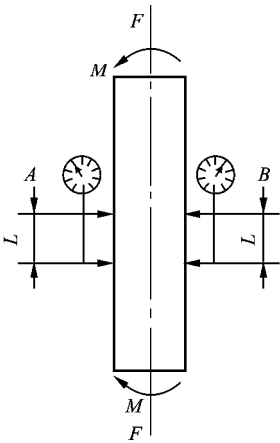


图 1-10 偏心受拉装置

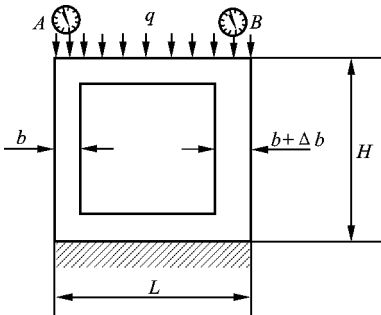


图 1-11 偏心受压装置

又如如图 1-12 所示,为一受均布荷载 q 作用的箱体,现需测量在 q 作用下,箱体受

压缩的总变形 $\Delta_{\text{总}}$ 由于它的左右两侧壁厚不一样,相差 Δ 因此,在 测的作用下,两侧的变形是不一样的。壁厚的一边变形小,另一边则变形大,在这样的情况下,工程上允许进行近似测量。即在 测月两处各装一块测量仪表, $\Delta_{\text{总}}$ 取两块仪表读数的平均值进行计算。

另外,在工程测量中还经常遇到这样的情况,组合变形状态下,试样截面上的变形是由多个内力素共同作用下产生的,为了分离这些内力素的影响,可采用对称测量法,如在板状试样偏心拉伸实验中(图 圆原),在试样的 测月两处各贴有敏感栅一枚(电阻应变片)。在 测侧所测得的应变由两部分组成。

摇摇摇摇 $\varepsilon_{\text{测}} = \varepsilon_{\text{云}} + \varepsilon_{\text{弯}}$
即由轴力引起的应变 $\varepsilon_{\text{云}}$ 和由弯矩引起应变 $\varepsilon_{\text{弯}}$ 组成。 $\varepsilon_{\text{云}}$ 为正值(拉应变); $\varepsilon_{\text{弯}}$ 为负值(压应变)。在 月侧 $\varepsilon_{\text{云}}$ 为正值,而 $\varepsilon_{\text{弯}}$ 为正值。

摇摇摇摇 $\varepsilon_{\text{月}} = \varepsilon_{\text{云}} + \varepsilon_{\text{弯}}$
当只需要得到因轴力或弯矩单独作用所产生的应变时,可把两枚应变片的测量值进行叠加。 $\varepsilon_{\text{测}}$ 与 $\varepsilon_{\text{月}}$ 的算术平均值为:

$$\frac{\varepsilon_{\text{测}} + \varepsilon_{\text{月}}}{2} = \varepsilon_{\text{云}}$$

$\varepsilon_{\text{测}}$ 与 $\varepsilon_{\text{月}}$ 差的平均值为:

$$\frac{\varepsilon_{\text{测}} - \varepsilon_{\text{月}}}{2} = \varepsilon_{\text{弯}}$$

这样就得到了因轴力和弯矩单独作用而产生的应变 $\varepsilon_{\text{云}}$ 和 $\varepsilon_{\text{弯}}$ 。

圆原 板状试样偏心拉伸

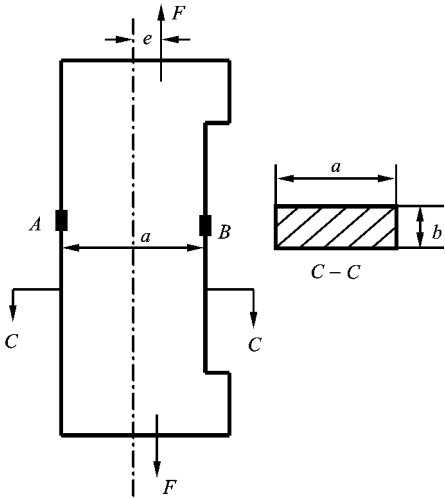


图 圆原 板状试样偏心拉伸

圆原 引伸仪静态测量法

金属材料在弹性阶段,变形一般不超过原尺寸的 员%,进行测量时需采用较高精度的仪器。这种仪器的主要作用是变形放大,而仪器放大倍数是事先知道的。放大变形的办法很多,最简单的是机械式放大。例如通过杠杆或齿轮及齿条放大。当然还可通过电子或光学的办法对机械变形进行放大,这将在后续的章节中专门加以介绍。

机械式变形测量仪器的放大倍数受到机械加工精度和工艺的限制,以及其他许多因素的影响。一般来说最主要的是使仪器能随试样一起变形,才能使测得的结果切实反映试样的变形,因而仪器和试样之间不能有相对运动,这就需要有一定的夹持力。另一方面,为了避免仪器本身的变形夹杂进来,仪器本身的各个部件就必须有一定的刚度,这就使机械式变形测量仪器不可能做得很小,也使机械式的仪器难以用于动态测量(因它的惯性影响较大)。机械式仪器主要由三个部分组成:

- (员) 感受变形部分;
- (圆) 传递并放大变形部分;

给出变形读数的指示或记录的部分。

同学们在学习中应了解仪器的三个部分,注意变形是如何传递和放大,要掌握各种仪器的使用方法,包括实际变形和读数的关系以及可能影响测量精度的一些因素。下面就介绍几种常用的仪表的使用方法。

杠杆引伸仪

杠杆引伸仪的基本原理是利用杠杆的放大原理,将两刀口间的变形放大,放大倍数即为杠杆系统的比例系数,一般在 1000~10000 之间。标距在 10mm 至 100mm 之间。此种仪器由于受到装夹具方式的限制,常装于杆状或板状试样上。图 1-10 为一圆杆受轴向拉伸时的变形测量简图。引伸仪用一夹具装卡在试样上。实际变形与引伸读数的关系如下:

$$\Delta L_{实际} = \frac{\Delta L_{引伸}}{K} \quad (1-10)$$

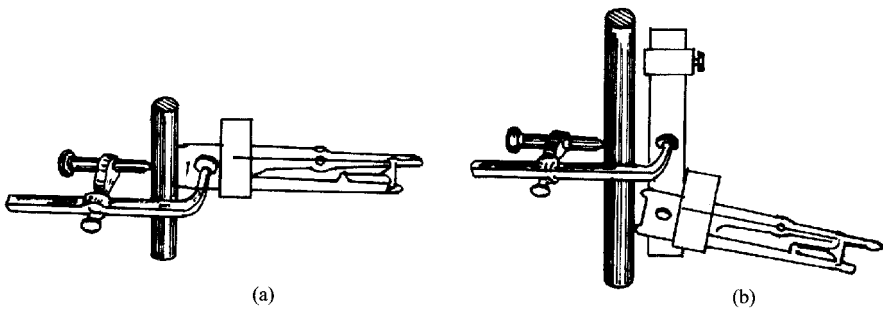


图 1-10 单支杠杆引伸仪的使用

当引伸仪两刀口间的距离(标距)为 L_0 时,杆件的应变为:

$$\epsilon_{实际} = \frac{\Delta L_{引伸}}{L_0}$$

杠杆式引伸仪的标距可以改变,如图 1-11 所示,附加一个标距加长杆,便可使标距加长,以适应不同的需要。用不同的加长杆可使标距在 10~100mm 范围内改变。

当需要对称测量时,可使用两只引伸仪,用一专用夹具装卡在试样上,如图 1-12 所示。

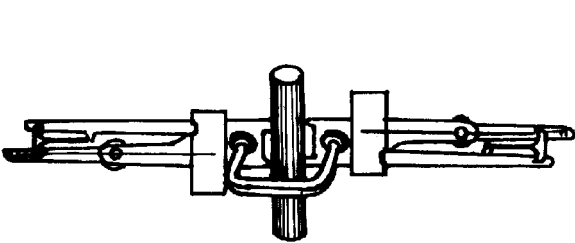


图 1-12 两支杠杆引伸仪的使用

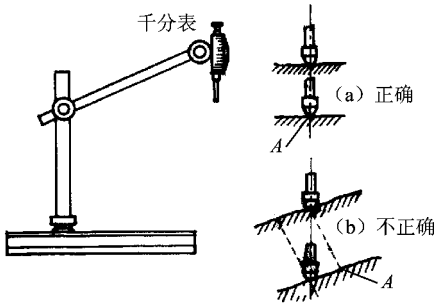


图 1-13 千分表安装表

摇摇百分表和千分表

百分表和千分表的构造大致相同,只是千分表的测量精度可达到千分之一毫米。此类仪表的量程一般在 缘-缘皂皂。详细原理介绍请见 苑原猿原员节。下面我们均以千分表为例讲解它的使用方法。

当用千分表来测量物体位移时,如图 圆原远所示。首先要用表架将千分表固定不动,并使球形端与待测物体的测量点相接触。在安装千分表时,应注意使齿条的轴线与物体位移的方向一致。图 圆原远葬和 (遭表示两种不同的情况。在 (葬中触头端与物体的 粤点相接触,而且仪表的轴线与物体的位移的方向一致,它所测量的是 粤点的位移。而在 (遭中,由于仪表的轴线与物体位移的方向不一致,结果在物体发生位移后,球形端与物体表面的接触点改变了,仪表所测量出的就不再是 粤点的位移了。

在实验中,千分表的读数是测量点与表的固定端的相对位移。因此千分表的固定和表座的固定十分重要,在实验中不得松动,表座要与被测量物体相脱离。

如千分表的表座固定在被测试样上,则可测量试样的相对位移。如图 圆原苑所示,支架员和支架 圆固定在试样上。两刀口间的距离为 蕴(标距)。当试样受拉力发生变形时,千分表可测得两刀口间的相对伸长量,因此,此种仪器又称为引伸仪。前面所提到的千分表,均为指针式仪表,它目前正逐渐被数显百分表(或千分表)所替代。它的主要优点是:读数人为误差小,易实现远程读数,易与二次仪表相连接。

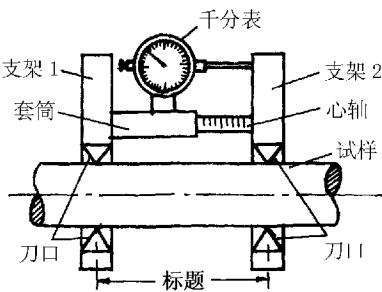


图 圆原远 千分表引伸仪构造

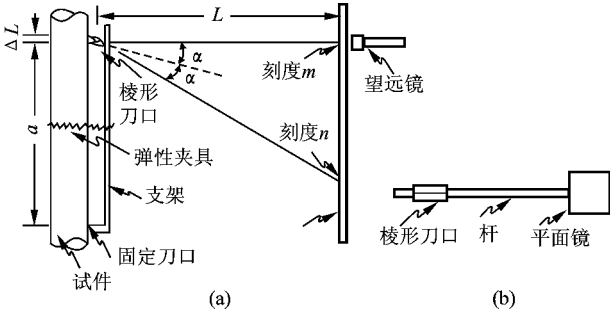


图 圆原远 望远镜式引伸仪

摇摇镜式引伸仪

镜式引伸仪是一种利用光学方法放大的仪器,图 圆原愿(葬是它的构造示意图。利用弹性夹具将支架夹在试样上,支架的一端有一固定刀口,另一端有一棱形断面的可动刀口,它的一个棱边与试样接触,而另一条棱边置于支架的凹槽中。两个刀口间的距离即为仪器的标距。当试样伸长或缩短时,棱形刀口将绕着与支架凹槽接触的那条棱边转过一个 α 角,标距内的长度改变 Δ 蕴为:

摇摇摇摇 Δ 蕴 = 蕴 sin α

式中 蕴为棱形断面中长对角线的长度。棱形可动刀口和支架即构成了仪器感受变形的部分。

仪器使变形放大的另一部分是一面镜子和一个标尺。小镜子装在和棱形刀口同轴的小杆上,见图 圆原愿(遭,在镜子的前面距离为 蕴的地方安放一个具有明显的毫米刻度的标尺,

怨

与标尺并排安放着一个望远镜,可看到反映在镜子中的标尺,以镜中十字线为准,即可读出标尺上的刻度来。

在试样变形之前,读出标尺刻度为 x_0 当试样变形后,小镜子将随棱形刀口转过 α 角,望远镜在小镜子内观察到的刻度为 x 则由几何光学的反射定律可知两次读数之差为:

$$x - x_0 = 2L \tan \alpha$$

于是,仪器的放大倍数等于:

$$K = \frac{x - x_0}{\Delta L} = \frac{2L}{\Delta L}$$

由于弹性变形很小,所以 α 角也很小,可以认为 $\tan \alpha \approx \alpha$, 这样便得到:

$$x - x_0 = 2L \alpha$$

这种仪器一般选择 $L = 100\text{mm}$ 所以取 $K = 100$ 当仪器的放大倍数已知时,变形 ΔL 可由下式求出:

$$\Delta L = \frac{x - x_0}{K}$$

镜式引伸仪还可以用来测量扭转角(或梁的某两截面的相对转角),所以又叫镜式转角镜。用法如图 1-10 所示。

将小平面镜的小杆直接固夹在试样上,调好望远镜,设这时的读数为 x_0 当截面因试样受扭而转过一个微小角度 α 时,在望远镜中的读数为 x 则有:

$$x - x_0 = 2L \alpha$$

由于转角很小,所以可近似取 $\tan \alpha \approx \alpha$ 。于是

$$\alpha = \frac{x - x_0}{2L}$$

这里 $K = 2L$ 就是仪器的放大倍数。

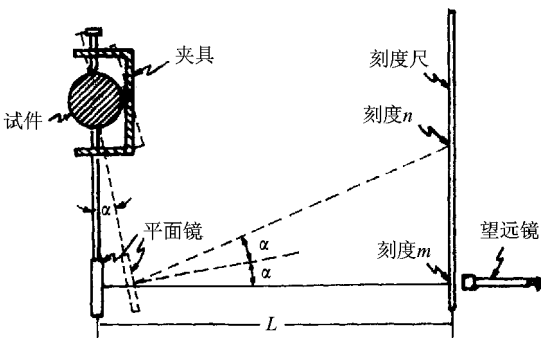


图 1-10 镜式转角仪简图

电阻静态电测法

电阻应变测量(简称电测法)是一种非电量电测技术。它是工程中最常用的应力分析方法之一,它具有许多优点 如灵敏度高,适应性强,敏感栅体积小,因而可以在构件的任何部位安装,可以远距离测量,自动化程度高,当仪器与计算机联机时,可以迅速处理大量实验数据,电测法的使用范围很广,可进行多种力学量测量。

电阻应变片(应变计)

我们测量试样或构件的变形时,是一种非电量的变化。由非电量转化为电量,需要一种转换元件,而这种转换元件就是电阻应变片。我们大家都知道,对于金属丝来说 其原始电

阻为：

摇摇摇摇越 蕴
粤

式中 ρ 为电阻丝材料的电阻率, 蕴为电阻丝的长度, 粤为电阻丝的横截面积。当金属丝的长度发生变化, 即伸长或缩短时, 其电阻也随之增大或减小, 应变片就是利用这一特性制成的转换元件。应变片一般由敏感栅、基底、粘结剂、引出线和表面覆盖层制成。如图 圆原园所示。粘结剂将敏感栅与基底连成一体。基底起固定敏感栅形状、传递应变和绝缘作用。敏感栅则具有将应变转换成电阻变化的功能。引线的用途是便于和导线焊接。表面覆盖层是用来保护敏感栅的。应变片是由一定长度的金属丝绕成栅状而成。将应变片粘贴在试样预测应变处, 试样受力变形, 敏感栅亦随之变形, 敏感栅的变形又引起自身电阻的改变。若应变片的初始电阻为 砸变形后, 应变片的电阻变化量为 Δ 砸 ε 为应变片轴向 (即与栅线直线部分平行方向) 应变值, 大量实验证明, 电阻的相对变化量与应变成正比例。即

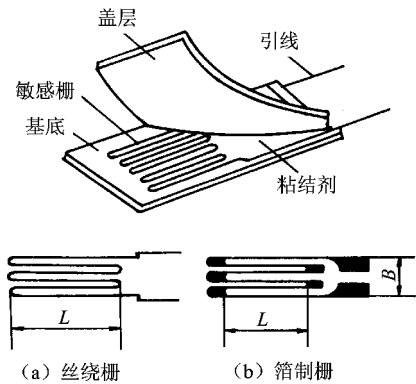


图 圆原园 电阻应变片

$$\frac{\Delta \text{砸}}{\text{砸}} = \text{越} \cdot \varepsilon \quad (\text{圆原员})$$

式中 运为应变片的灵敏系数, 与敏感栅材料、敏感栅的形状、尺寸、基底和制造工艺有关。应变片灵敏系数由实验测定。应变片在出厂时包装盒上应给出应变片灵敏系数的平均值。

圆原圆 应变片的选用、粘贴与防护

应变片的选用、粘贴与防护是应变测量中的重要环节, 是获得高精度测量结果的基础, 应特别重视。

应变片的选用

首先检查应变片的外观, 要求敏感栅排列整齐, 无霉斑锈点。再用单臂电桥测量其阻值。在同一温度场中, 多个应变片可共用一补偿片而成一组。同一组应变片的电阻值彼此相差不应大于 圆原猿, 灵敏系数应相同。

粘贴与防护

用砂布将被测点表面打磨平整, 一般要求达到 $\sqrt{6.3} \sim \sqrt{3.2}$ 级粗糙度。为了增加应变片的附着力, 可沿 源缘 方向打磨一些交叉条纹。用划针画好定位线后, 再用丙酮或四氯化碳将表面清洗干净。

将应变片基底薄薄涂上一层粘结剂 (可用 缘圆 快干胶), 然后将应变片放在试样待测位置, 校正方位, 并在应变片上垫上一层玻璃纸, 用拇指在玻璃纸上朝一个方向滚压, 挤出多余的胶水和气泡。

从外观上检查胶层内是否有气泡, 是否有引出线脱焊等情况。用万用电表测量应变片

粘贴后的电阻值应与未贴时一样。然后用兆欧表检查其绝缘电阻是否达到 $10^6\Omega$ 以上,若绝缘电阻过低,可用红外线灯烘烤,加速胶层固化。将引出线焊至接线端子与测量导线联接,接线端子固定在应变片引出线处,同时固定好测量导线,如图 圆原源所示

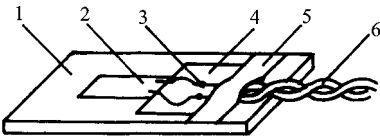


图 圆原源 应变片的联接
 员-试样 圆-应变片 猿-焊点;
 源-绝缘胶布 缘-胶布 远-导线

猿电桥原理

在使用应变仪时,必须掌握电桥的原理,利用电桥的特性,达到预期的测量目的。

图 圆原圆所示是由电阻 R_1, R_2, R_3, R_4 组成的惠斯登四臂电桥,灾为电桥电源,哉为电桥输出电压。设流过 R_1, R_2 支路的电流为 I_1 , 流过 R_3, R_4 的电流为 I_2 , 则有

$$I_1(R_1 + R_2) = I_2(R_3 + R_4)$$

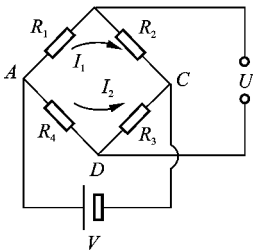


图 圆原圆 直流电桥

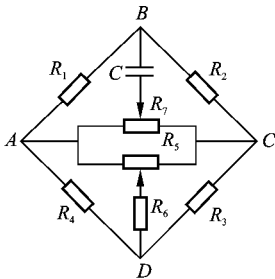


图 圆原猿 电桥调零电路

电桥输出电压 哉等于 R_1 与 R_3 两桥臂电阻电压降之差,即:

$$U = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V - \frac{R_3}{R_3 + R_4} V$$

(圆原圆)

当 $U=0$ 时,称电桥处于平衡状态。由于 $U \neq 0$ 所以电桥的平衡条件为:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \text{ 或 } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

应变仪在测量前,电桥应处于平衡状态,但接于电桥上的应变片并不一定会满足平衡条件,必须用电路来完成电桥的平衡工作。为此,应变仪测量电桥上都有一个电阻平衡调节电路。在采用交流电桥电源时,还存在相位平衡的问题。应变仪电桥中的相位不平衡主要是容抗引起的,所以交流电桥还必须有电容平衡电路,如图 圆原猿所示。

当各应变片在测量时,由各应变片的电阻的微小变化 $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$ 而引起的电压输出可由 (圆原圆) 式得出:

$$U \approx \frac{(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4}) V}{2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

$$\approx \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \quad (圆原猿)$$

若电桥四臂为相同的应变片,即:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$$

将(圆原猿)式代入(圆原猿),得:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \quad (圆原猿)$$

上式 $\frac{\Delta R}{R}$ 是应变片的灵敏系数,当应变片选定时, $\frac{\Delta R}{R}$ 是一个常数。 U 为电桥的输入电压,也是一个常数。所以 $\frac{\Delta R}{R} \cdot U$ 也是一个常数。那么可以通过标定,确定输出电压微应变的比值。所以,在应变仪上读出来的数据直接就是微应变,记作 $\mu\varepsilon$ ($\frac{\Delta R}{R} \cdot U = \mu\varepsilon$)。因此,在应变仪使用过程中可用(圆原猿)式代替(圆原猿)式:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R} \cdot U \quad (圆原猿)$$

由(圆原猿)式可以看出,由应变仪上读出来的读数跟电桥各臂上应变片的应变值代数和成正比,并且电桥相邻桥臂上的符号相反,相对桥臂上的符号相同。这是应变电桥的一个重要性质,利用这一性质,我们可以根据测量需要接成多种桥路,并可以消除测量过程中的温度效应。

应变片对温度的影响十分敏感,粘贴在试样上的应变片总是处于某一温度场中。当温度发生变化时,应变片敏感栅的电阻会发生变化。另外,由于电阻丝栅的线膨胀系数与试样的线膨胀系数不相同,温度改变时,应变片也会产生附加应变。显然,这些都是虚假应变,应当排除。排除的措施叫温度补偿。补偿的方法是:用另一片应变片作为补偿片,把它贴在与被测试样材料相同但不受力的试样上。(也可贴在被测试样上不发生变形的部位)并与被测试样放在一起,使它们处于同一温度场中。贴在被测试样上的应变片叫工作片。在电桥的连接上,将工作片与补偿片处于相邻的桥臂中,由式(圆原猿)可知,相邻桥臂同符号的温度应变相互抵消。所以温度变化并不会造成电桥输出的变化,因而排除了温度效应的影响。应当注意的是:工作片和补偿片的电阻值、灵敏系数和电阻温度系数应相同。补偿片也可贴在受力试样上,但要保证工作片和补偿片所测的应变符号相反。这样即可以排除温度效应。

圆原猿 电桥连接原理

电桥的连接有两种方式:即半桥方式和全桥方式。

半桥方式又有半桥单臂、半桥双臂和半桥串联三种接法。

半桥单臂是将一个工作片接在电桥的 U_1 和 U_2 接线柱上,补偿片接在电桥的 U_3 和 U_4 接线柱上。另外两个电阻为固定电阻。如图(圆原猿)所示。

半桥双臂是将一个工作片接在电桥的 U_1 和 U_2 接线柱上,将另一个工作片接在电桥的 U_3 和 U_4 接线柱上,另外两个电阻为固定电阻。如图(圆原猿)所示。

串联桥路是在一个桥臂上面串有二个或二个以上的应变片。应变读数是取这个桥臂的平均应变值,如图(圆原猿)所示。

全桥方式是将电桥四个桥臂都接应变片,如图(圆原猿)所示。

下面举例介绍应变测量中几种常用的应变片布置和接桥方法。

圆原猿 拉伸或压缩实验

如图(圆原猿)所示的受拉试样,欲测其拉伸应变。若采用半桥方式,可采取以下两种

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com