



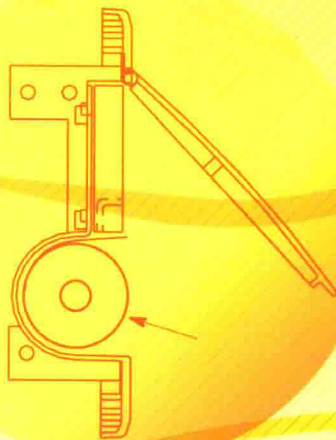
高等教育“十二五”规划教材

# 工程力学实验

(附实验报告)

GONGCHENG LIXUE  
SHIYAN

易义武 主编



化学工业出版社

高等教育“十二五”规划教材

# 工程力学实验

## (附实验报告)

易义武 主编

张美珍 秦朝 王洪夫 雷斌 罗华 参编



化学工业出版社

·北京·

全书共分五章和附录。第一章是绪论，介绍了实验意义、内容、程序、守则及数据处理等；第二章介绍常用的实验设备及仪器；第三章是基本实验，主要包括材料基本力学性能测定和破坏性实验等；第四章是选择性实验，包括组合梁实验及工程桁架实验等；第五章是拓展性实验，包括疲劳实验和光弹性实验等。附录列举了常用材料的主要力学性能参数，相关国家标准等。随书附实验报告，供配套使用。

本书可作为高等学校土建、机械、水利、航空、造船等专业工程力学的实验课教材，也可作为工程力学实验单独设课时的教学用书，还可供从事工程材料研究的技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学实验 (附实验报告)/易义武主编. —北京:  
化学工业出版社, 2013. 4

高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-16684-5

I. ①工… II. ①易… III. ①工程力学-实验-高等  
学校-教材 IV. ①TB12-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 049280 号

---

责任编辑: 李娜

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 吴静

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10½ 字数 237 千字 2013 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

本书是与工程力学教材配套使用的实验课教材。近年来，各校的工程力学理论课时普遍减少。相反，为了提高学生的实验技能和工作实践能力，全面推进素质教育，工程力学实验课时不但没有减少，反而在逐渐增加。单独设课和开放实验室的学校在不断增加。编者为了适应新形势下的工程力学实验课教学，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，结合教育部关于建设高等学校实验教学示范中心的指导思想，编写了这本实验教材。

全书内容共分五章和附录。第一章是绪论，介绍了实验意义、内容、程序、守则及数据处理等。第二章介绍常用的实验设备及仪器。第三章是基本实验，该部分内容是工程力学课程基本要求规定的实验内容，因此，对实验的具体要求操作规程和步骤都作了比较详细的叙述和描述，以加强学生对实验基本知识和技能的培养。主要包括材料基本力学性能测定和破坏性实验等。第四章是选择性实验，该章内容多为提高性实验项目，有一定难度（包括综合性、设计性和应用性），该部分内容大部分为开放性实验项目，要求学生在实验课时外完成。选择性实验中有的实验是在老师指导下学生独立完成的；有的实验只给提示，要求学生自己设计实验方案和操作步骤，给学生留出充分的思考空间，培养学生的实践和创新能力，内容包括组合梁实验及工程桁架实验等。第五章是拓展性实验，供少部分学有余力的学生开阔视野，包括疲劳实验和光弹性实验等。附录列举了常用材料的主要力学性能参数、相关国家标准等。随书附有实验报告，供学生使用。

本书内容丰富，系统全面。紧扣工程力学实验设备，详细阐述了基本原理和操作过程；既包括基本实验，还包括选择性实验和拓展性实验；既有实验指导，又为学生提供了标准的实验报告格式。此书融科学性、实践性和实用性为一体，既可作为高等学校土建、机械、水利、航空、造船等专业工程力学的实验课教材，也可作为工程力学实验单独设课时的教学用书，还可供从事工程材料研究的技术人员参考。

本书由易义武主编，张美珍、秦朝、王洪夫、雷斌、罗华参编。由于时间仓促，编者水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请广大师生和读者批评指正。

编者

2013年1月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 实验的意义和基本内容.....	1
第二节 学生实验守则.....	1
第三节 实验程序.....	2
第四节 误差分析及数据处理简介.....	3
第五节 有效数后第一位数的修约规则.....	5
<b>第二章 主要仪器设备介绍</b> .....	6
第一节 百分表和千分表.....	6
第二节 游标卡尺.....	7
第三节 蝶式引伸仪.....	9
第四节 液压式万能试验机.....	10
第五节 WES-300B 数显式液压万能试验机.....	13
第六节 RFP-09 型智能测力仪.....	17
第七节 NJ 扭转试验机.....	31
第八节 DNW-500 电子扭转试验机.....	34
第九节 电测法的基本原理.....	35
第十节 电阻应变片和应变花.....	36
第十一节 电桥.....	39
第十二节 测量桥路的布置.....	41
第十三节 电阻应变仪.....	43
第十四节 多功能组合实验台.....	45
第十五节 SmartTest 电子扭转试验机控制软件.....	46
<b>第三章 基本实验</b> .....	65
第一节 拉伸实验.....	65
第二节 压缩实验.....	68
第三节 扭转实验.....	70
第四节 用百分表扭角仪法测定切变模量 $G$ .....	74
第五节 电测法测定切变模量 $G$ .....	76
第六节 拉伸时材料弹性模量 $E$ 和泊松比 $\mu$ 的测定.....	78
第七节 梁的弯曲正应力试验.....	80

第八节	弯扭组合变形主应力的测定 .....	83
第九节	偏心拉伸实验 .....	87
<b>第四章</b>	<b>选择性实验 .....</b>	<b>90</b>
第一节	电阻应变片的粘贴实习 .....	90
第二节	组合梁弯曲正应力实验 .....	91
第三节	工程桁架实验 .....	94
第四节	超静定刚架实验 .....	96
第五节	超静定梁实验 .....	97
第六节	冲击实验 .....	99
第七节	压杆稳定实验 .....	101
第八节	电阻应变片的接桥方法实验 .....	104
<b>第五章</b>	<b>拓展性实验 .....</b>	<b>107</b>
第一节	复合材料拉伸实验 .....	107
第二节	偏心压缩实验 .....	110
第三节	弯扭组合时的内力素测定 .....	112
第四节	金属轴件的拉扭疲劳演示实验 .....	115
第五节	组合压杆的稳定性分析实验 .....	117
第六节	光弹性实验 .....	118
第七节	单转子动力学实验 .....	123
第八节	单自由度系统固有频率和阻尼比的测定 .....	126
<b>附录</b>	<b>.....</b>	<b>129</b>
附录 I	常用材料的主要力学性能 .....	129
附录 II	工程材料力学性能试验的国家标准简介及其适用范围 .....	130
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>132</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 实验的意义和基本内容

工程力学实验是教学中的一个重要环节。工程力学的结论及定律、材料的力学性质（机械性质）都要通过实验来验证或测定；各种复杂构件的强度和刚度的研究，也需要通过实验才能解决。故实验课能巩固、加强和应用基本理论知识，掌握测定材料机械性能及测定应力和变形的的基本方法，学会使用有关的机器及仪表（如材料试验机、电阻应变仪等），初步培养独立确定实验方案、分析处理实验结果的能力。通过实验还能培养严肃认真的工作态度，实事求是的科学作风和爱护财物的优良品质。因此，实验是工程专业学生必须掌握的基本技能。

工程力学实验一般可以分为以下三类。

### 一、测定材料的力学性质

构件设计时，需要了解所用材料的力学性质。如经常用到的材料的屈服极限、强度极限和延伸率等。这些力学性质数据，是通过拉伸、压缩、扭转和冲击等试验测定的。学生通过这类试验的基本训练，可掌握材料的力学性质的基本测定方法，进一步巩固有关材料力学性质的知识。

### 二、验证工程力学理论

把实际问题抽象为理想的计算模型，再根据科学的假设，推导出一般性公式，这是研究工程力学通常采用的方法。然而，这些简化和假设是否正确，理论计算公式能否在设计中应用，必须通过实验来验证。学生通过这类实验，可巩固和加深理解基本概念，学会验证理论的实验方法。

### 三、实验应力分析

工程实际中，常常会遇到一些构件的形状和载荷十分复杂的情况（如高层建筑物、机车车辆结构等）。关于它们的强度问题、单靠理论计算，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。其内容主要包括电测法、光测法等，目前已成为解决工程实际问题的有力工具。本书着重介绍目前应用较广的电测技术。

随着我国现代化建设事业的发展，新的材料不断涌现，新型结构层出不穷，给强度问题和实验应力分析提出了许多新课题。因此，工程力学实验的内容，愈来愈丰富，实验技术也将变得更为多样并得以提高。作为一名工程技术人员，只有扎实地掌握实验的基础知识和技能，才能较快地接受新的知识内容，赶上科技浪潮。

## 第二节 学生实验守则

(1) 实验前，必须预习实验指导书中相关的内容，了解本次实验的目的、原理、方法、



步骤及注意事项，并把实验的目的和原理写在实验报告中。

- (2) 按预约实验时间准时进入实验室，不得无故迟到、早退、缺席。
- (3) 进入实验室后，不得高声喧哗和擅自乱动仪器设备。
- (4) 保持实验室整洁，不准在机器、仪器及桌上涂写，不准乱丢纸屑，不准随地吐痰。
- (5) 实验中，严格遵守操作步骤和注意事项。实验时，仪器设备发生故障，学生要立即报告教师，及时检查，排除故障后，方能继续实验。
- (6) 实验过程中，学生不按仪器操作规程操作，造成仪器设备损坏者，将按学校《损坏仪器设备赔偿》规定处理。
- (7) 实验过程中，同学要相互配合，认真测取和记录实验数据。
- (8) 实验结束后，将仪器、工具清理摆正。不得将实验室的工具、仪器、材料等物品携带出实验室。
- (9) 实验完毕，须将实验数据经指导教师认可盖章后方能离开实验室。

### 第三节 实验程序

本书列入的实验，其实验条件以常温、静载为主。主要测量作用在试件上的载荷和试件的变形。载荷有的要求较大，由几千牛顿到几十万牛顿，故加力设备有的较大，而变形则很小，绝对变形可以小到千分之一毫米，相对变形（应变）可以小到 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ ，因而变形测量设备必须精密。进行试验，力与变形要同时测量，一般需数人共同完成。这就要求严密地组织协作，形成有机的整体，以便有效地完成试验。

#### 一、准备

明确试验目的、原理和步骤、数据处理方法。试验用的试件（或模型）是试验的对象，要了解它的原材料的质量、加工精度，并细心地测量试件的尺寸。同时要对试件加载量值进行估算，并拟出加载方案。此外，应备齐记录表格以供试验时记录数据。

实验小组成员，分工明确，操作互助协调，有统一指挥，不可各行其是。试验时，要有默契或口令，以便互相对应动作。

对所使用的机器和仪器要进行适当的选择（在教学试验中，试验用的仪器往往是指定的，但对选择工作怎样进行应当有所了解）。选择试验机的根据是：需用力的类型（如使试件拉伸、压缩、弯曲或扭转的力）；需用力的量值。前者由试验目的来决定，后者则主要依据试件（或模型）尺寸来决定。变形仪的选择，应根据试验精度以及梯度等因素决定。此外，使用是否方便、变形仪安装有无困难，也都是选用时应当考虑的问题。

准备工作做得愈充分，试验的进行便会愈顺利，实验工作质量也愈高。

#### 二、试验

开始试验前，要检查试验机测力度盘指针是否对准零点、试件安装是否正确、变形仪是否安装稳妥等。最后请指导教师检查，确认无误后方可开动机器。第一次加载可不作记录（不允许重复加载的试验除外），观察各部分变化是否正常。如果正常、再正式加载并开始记录。记录者及操作者均须严肃认真、一丝不苟地进行工作。试验完毕，要检查数据是否齐全，并注意清理设备，把借用的仪器归还原处。



### 三、实验报告

实验报告是实验者最后的成果，是实验资料的总结。报告包括下列内容。

(1) 实验名称，实验日期，实验人员姓名，同组成员名单。

(2) 实验目的及原理。

(3) 使用的机器、仪表应注明名称、型号、精度（或放大倍数）等。其他用具也应写清，并绘出装置简图。

(4) 实验数据及处理数据要正确填入记录表格内，注明测量单位，如厘米或毫米，牛顿或千牛顿。此外，还要注意仪器的精度。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。如：百分表的最小刻度是0.01mm，其精度即百分之一毫米。应按误差分析理论对数据进行处理。表格均应整洁，书写清晰，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。实验中所用仪器的度盘若是用工程单位制标定的，数据整理时一律使用国际单位制。

(5) 计算在工程力学试验中，用计算器计算，精度足够。但须注意有效数字的运算法则。工程上一般取3~4位有效数字。

(6) 图线表示结果注意事项，除根据测得的数据整理并计算出试验结果外，一般还要采用图表或曲线来表达试验的结果。先建立坐标系，并注明坐标轴所代表的物理量及比例尺。将试验的坐标点用记号“。”、“.”、“△”、“×”表示出来。当连接曲线时，不要用直线逐点连成折线，应该根据多数点的所在位置，描绘出光滑的曲线。例如如图1-1(a)即为不正确的描法，图1-1(b)为正确的描法。

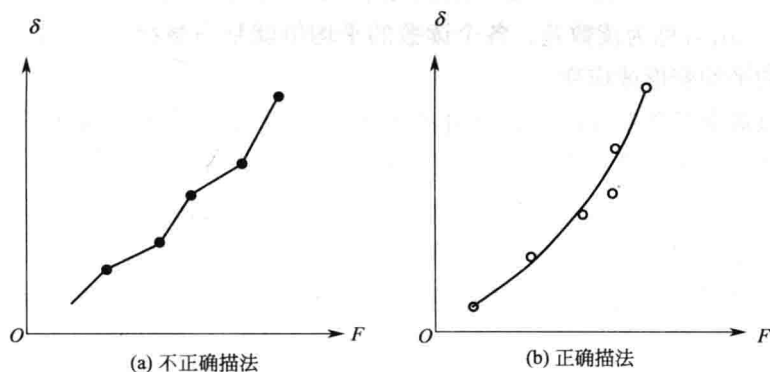


图 1-1 实验曲线的绘制方法

(7) 试验的总结及体会，对试验的结果进行分析，说明其优缺点之所在、精度是否满足要求等。对误差加以分析，并回答教师指定的思考题。

## 第四节 误差分析及数据处理简介

### 一、误差的概念及分类

实验中，依靠各种仪表、量具测量某个物理量时，由于主客观原因，总不可能测得该物理量的真值，即在测量中存在着误差。若对实验数据取舍和误差分析得当，则一方面可以避

免不必要的误差，另一方面可以正确地处理测量数据，使其最大限度地接近真值。

测量误差根据其产生原因和性质可以分为系统误差、过失误差和随机误差。实验时，必须明确自己所使用的仪器、量具本身的精度，创造好的环境条件，认真细致地工作，这样就可使误差控制在最小程度。

## 二、系统误差的消除与增量法

分析实验中的具体情况，可以尽可能地减小甚至消除系统误差。常用的方法有以下几种。

### 1. 对称法

工程力学实验中所采用的对称法包括两类：对称读数——例如拉伸试验中，试件两侧对称地装上引伸仪测量变形，取其平均值就可消去加载偏心造成的影响（球铰式引伸仪构造本身减弱了这种影响）；再如，为了达到同样目的，可在试件对称部位分别贴应变片。加载对称——在加载和卸载时分别读数，这样可以发现可能出现的残余应力应变，并减小过失误差。

### 2. 校正法

经常对实验仪表进行校正，以减小因仪表不准所造成的系统误差。如根据计量部门规定，材料试验机的测力度盘（相对误差不能大于1%）必须每年用标准测力计（相对误差小于0.5%）校准；又如电阻应变仪的灵敏系数度盘，应定期用标准应变模拟仪进行校准。

### 3. 增量法（逐级加载法）

当需测量某根杆件的变形或应变时，在比例极限内，载荷由  $F_1$  牛顿增加到  $F_2$ 、 $F_3$ 、 $\dots$ 、 $F_i$   $\dots$ 。在测量仪表上，便可以读出各级载荷所对应的读数  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $\dots$ 、 $A_i$   $\dots$ 。 $\Delta A = A_i - A_{i-1}$  称为读数差。各个读数的平均值就是当载荷增加  $\Delta F$ （一般载荷都是等量增减）时的平均变形或应变。

增量法可以避免某些系统误差的影响。如材料试验机如果有摩擦力  $f$ （常量）存在，则每次施加于试件上的真实力为  $F_1 + f$ ， $F_2 + f$   $\dots$ 。再取其增量  $\Delta F = (F_2 + f) - (F_1 + f) = F_2 - F_1$ ，摩擦力  $f$  便消去了。又如某试验者读引伸仪时，习惯于把数字读得偏高。如果采用增量法，而试验过程中自始至终又都是同一个人读数，个人的偏向所带来的系统误差也可以消除掉。试验过程中，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心所致的过失误差。

工程力学实验中，一般采用增量法。

## 三、实验数据整理的几条规定

### 1. 读数规定

(1) 从仪表或量具上读出的标度值是试验的原始数据，一定要认真对待，如实地记录下来，不得进行任何加工整理。

(2) 表盘读数一般读到最小分格的  $1/10$ ，其中最后一位有效数字是可疑数字。

### 2. 数据取舍的规定

明显不合理的实验结果通常称为异常数据。例如：外载增加了，变形反而减小；理论上应为拉应力的区域测出为压应力等。这种异常数据往往由过失误差造成，发生这种情况时必须首先找出数据异常的原因，再重新进行测试。对于明显不合理数据产生的原因也应在实验

报告中进行分析讨论。

### 3. 实验结果运算的规定

(1) 实验结果运算必须遵循有效数字的计算法则。

① 加减法运算时, 各位所保留的小数点后的位数应与各数中小数点后位数最少的相同。  
例如:  $8.346 + 0.0072 + 13.49$  应写为  $8.35 + 0.01 + 13.49 = 21.85$  而不应算成 21.8432。

② 乘除法时, 各因子保留的位数以有效数字最少的为准, 所得积或商的准确度不应高于准确度最低的因子。

③ 大于或等于四个数据计算平均值时, 有效数增加一位。

(2) 实验结果必须用国际单位制表示。

(3) 对于理论值的验证实验, 应计算实验值和理论值之间的相对误差。

$$\text{相对误差} = \frac{\text{理论值} - \text{实验值}}{\text{理论值}} \times 100\%$$

(4) 对理论值为零的误差, 计算时采用绝对误差。

## 第五节 有效数后第一位数的修约规则

计算面积、截面系数、应力、应变等几何量或物理量时, 一般根据精度要求确定有效数位数, 有效数后的第一位数的进舍, 按 GB/T 8170—2008《数值修约规则》处理。力学性能试验结果报告中, 应在数值修约后, 再按试验标准的要求, 修约为整数单位或非整数单位。

### 1. 数值修约规则——四舍六入五单双规则

有效数末位以后的第一位数为 4 (含 4999...) 或 4 以下的数时, 舍去 (即拟保留的末位数不变); 为 6 或 6 以上的数时, 进 1 (即拟保留的末位数字加 1)。如有效数以后的第一位数为 5, 且 5 以后的数并非皆为 0 则进 1; 5 以后的数皆为 0 且有效数的末位为偶数 (含 0 数), 舍去; 若 5 以后的数皆为 0 但有效数的末位为奇数则进 1。

例如, 把下列的数修约为保留四位有效数。

修约前 78.54501    37.03500    5.246499    314.8500    0.82766

修约后 78.55    37.04    5.246    314.8    0.828

2. 所拟舍去的数多于两位数以上时, 不得连续进行多次修约

例如, 把 35.4547 修约为整数。正确结果为 35。连续多次修约结果为 36 (不正确)。

## 第二章 主要仪器设备介绍

### 第一节 百分表和千分表

百分表或千分表用于对线度方向的微小位移的测量。百分表一般不能独立使用，要依托表支架等一类的附件。百分表的测量应视为直接测量。百分表的结构如图 2-1 所示。表内核心是小型精密的齿轮齿条系统。根据机械原理，齿条与齿轮之间可进行线位移与角位移之间的转换；齿轮与齿轮之间则可实现不同角位移之间的变换。

#### 一、构造原理

表的基本原理为测杆上、下移动，通过齿轮传动，带动指针转动，将测杆轴线方向的位移量转变为百分表（千分表）的读数。把百分表（千分表）的圆周边等分成 100 个小格（千分表等分成 200 个小格），百分表指针每转动一圈为 1mm，每格代表  $1/100\text{mm}$ （千分表指针每转动一圈为 0.2mm，每格代表  $1/1000\text{mm}$ ）。

百分表（千分表）一般与其他仪器配合使用。例如，与球铰式引伸仪、蝶式引伸仪等一并使用，成为引伸仪的一个有机组成部分。

#### 二、数据读取

为了读数方便，表盘刻度按顺时针、逆时针双方向给出数值刻字，直接从表盘的刻度认读测杆轴线方向的位移大小。

轻轻旋动表盘刻度面，以使刻度值的“0”位与指针对齐，试验发生测杆方向位移，其大小直接由指针指出数值；若不对“0”位，则以试验时指针扫过的实际格数，也就是由读数差值得出位移大小。指针转过一圈时，表盘中的小圆表的指针会转过一格，表示位移已达 1mm。

百分表、千分表测量误差的最大值限定在最小读数范围内，如百分表的 0.01mm 以下。

在拉伸试验、弹性模量  $E$  的测定和切变模量  $G$  的测定等试验中将会用到百分表。

#### 三、注意事项

(1) 将表固定在表座或表架上，稳定可靠。装夹指示表时，夹紧力不能过大，以免套筒变形卡住测杆。

(2) 调整表的测杆轴线垂直于被测平面，对圆柱形工件，测杆的轴线要垂直于工件的轴线，否则会产生很大的误差并损坏指示表。

(3) 测量前调零位。绝对测量用平板做零位基准，比较测量用对比物（量块）做零位基准。

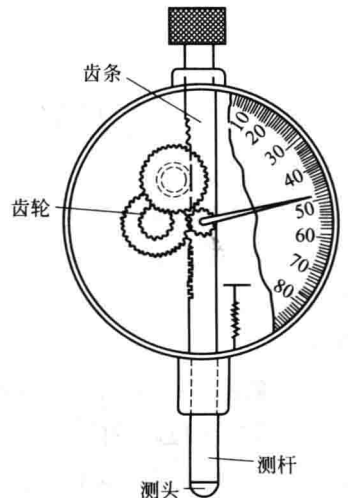


图 2-1 百分表的结构

调零位时，先使测头与基准面接触，压测头使大指针旋转大于一圈，转动刻度盘使0线与大指针对齐，然后把测杆上端提起1~2mm，再放手使其落下，反复2~3次后检查指针是否仍与0线对齐，如不齐则重调。

(4) 测量时，用手轻轻抬起测杆，将工件放入测头下测量，不可把工件强行推入测头下。显著凹凸的工件不用指示表测量。

(5) 不要使测量杆突然撞落到工件上，也不可强烈震动、敲打指示表。

(6) 测量时注意表的测量范围，不要使测头位移超出量程，以免过度伸长弹簧，损坏指示表。

(7) 不使测头测杆做过多无效的运动，否则会加快零件磨损，使表失去应有精度。

(8) 当测杆移动发生阻滞时，不可强力推压测头，须送计量室处理。

## 第二节 游标卡尺

游标卡尺是一种比较精密的量具，在测量中用得最多。通常用来测量精度较高的工件，它可测量工件的外直线尺寸、宽度和高度，有的还可用来测量槽的深度。如果按游标的刻度值来分，游标卡尺又分0.1mm、0.05mm、0.02mm三种。

### 一、游标卡尺的刻线原理与读数方法

以刻度值0.02mm的精密游标卡尺为例（图2-2），这种游标卡尺由带固定卡脚的主尺和带活动卡脚的副尺（游标）组成。在副尺上有副尺固定螺钉。主尺上的刻度以mm为单位，每10格分别标以1、2、3、…，以表示10、20、30、…(mm)。这种游标卡尺的副尺刻度是把主尺刻度49mm的长度，分为50等份，即每格为：

$$\frac{49}{50} = 0.98 \text{ (mm)}$$

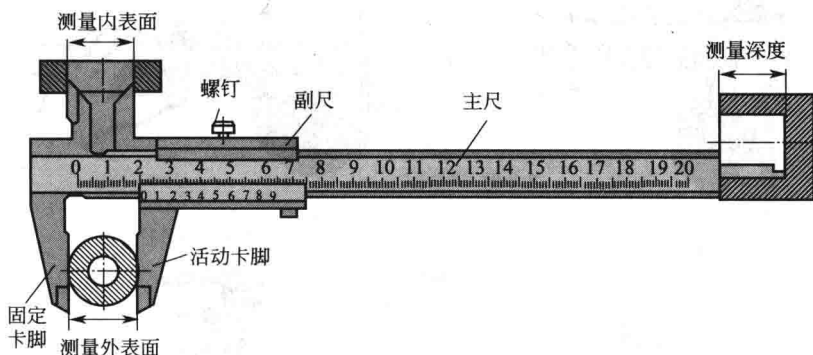


图 2-2 游标卡尺

主尺和副尺的刻度每格相差：

$$1 - 0.98 = 0.02 \text{ (mm)}$$

即测量精度为0.02mm。如果用这种游标卡尺测量工件，测量前，主尺与副尺的0线是对齐的，测量时，副尺相对主尺向右移动，若副尺的第1格正好与主尺的第1格对齐，则工

件的厚度为 0.02mm。同理, 测量 0.06mm 或 0.08mm 厚度的工件时, 应该是副尺的第 3 格正好与主尺的第 3 格对齐或副尺的第 4 格正好与主尺的第 4 格对齐。

读数方法, 可分三个步骤:

- (1) 根据副尺零线以左的主尺上的最近刻度读出整毫米数;
- (2) 根据副尺零线以右与主尺上的刻度对准的刻线数乘上 0.02 读出小数;
- (3) 将上面整数和小数两部分加起来, 即为总尺寸。

如图 2-3 所示, 副尺 0 线所对主尺前面的刻度 64mm, 副尺 0 线后的第 9 条线与主尺的一条刻线对齐。副尺 0 线后的第 9 条线表示:

$$0.02 \times 9 = 0.18 \text{ (mm)}$$

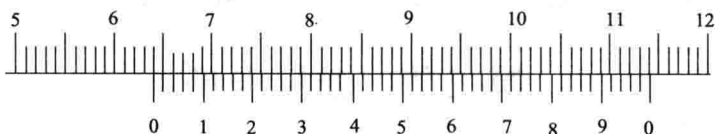


图 2-3 0.02mm 游标卡尺的读数方法

所以被测工件的尺寸为:

$$64 + 0.18 = 64.18 \text{ (mm)}$$

## 二、游标卡尺的使用与注意事项

### 1. 游标卡尺的使用

游标卡尺可用来测量工件的宽度、外径、内径和深度。如图 2-4 所示, 其中 (a) 图为测量工件宽度的方法, (b) 图为测量工件外径的方法, (c) 图为测量工件内径的方法, (d) 图为测量工件深度的方法。



图 2-4 游标卡尺的应用

## 2. 注意事项

游标卡尺是比较精密的量具，使用时应注意如下事项。

(1) 使用前，应先擦干净两卡脚测量面，合拢两卡脚，检查副尺 0 线与主尺 0 线是否对齐，若未对齐，应根据原始误差修正测量读数。

(2) 测量工件时，卡脚测量面必须与工件的表面平行或垂直，不得歪斜。且用力不能过大，以免卡脚变形或磨损，影响测量精度。

(3) 读数时，视线要垂直于尺面，否则测量值不准确。

(4) 测量内径尺寸时，应轻轻摆动，以便找出最大值。

(5) 游标卡尺用完后，仔细擦净，抹上防护油，平放在盒内。以防生锈或弯曲。

随着科技的进步，目前在实际使用中有更为方便的带表卡尺和电子数显卡尺代替游标卡尺。带表卡尺（图 2-5）可以通过指示表读出测量的尺寸，电子数显卡尺（图 2-6）是利用电子数字显示原理，对两测量爪相对移动分隔的距离进行读数的一种长度测量工具。

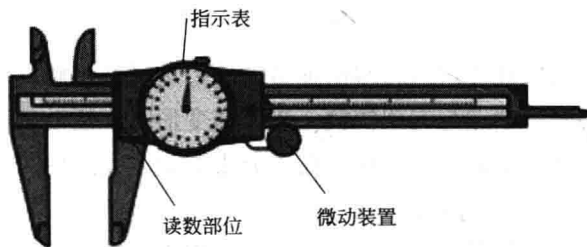


图 2-5 带表卡尺

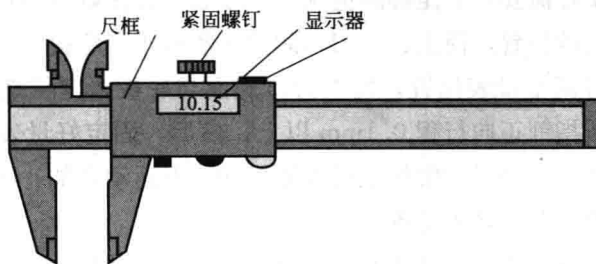


图 2-6 电子数显卡尺

## 第三节 蝶式引伸仪

蝶式引伸仪主要用来测量金属材料和一些非金属材料的某些机械力学性能。可配合万能试验机来测定材料的位移或应变，通过换算可求得材料的弹性模量及屈服强度。并能用于钢筋张拉工艺的变形控制，测量分析及控制。

### 一、结构及原理

蝶式引伸仪是在一个变形传递架上左右各装一个千分表（百分表）而组成的引伸仪（如图 2-7 所示）。活动刀刃与固定刀刃间用标距杆相连，可以调节两者之间的距离，即可调节标距的大小。使用时，手握引伸仪压缩弹簧，两个表上对应的刀刃离开，试样穿过刀刃之间



的空隙, 然后放松对弹簧的压力, 引伸仪借弹簧的回弹力便卡在试样上。

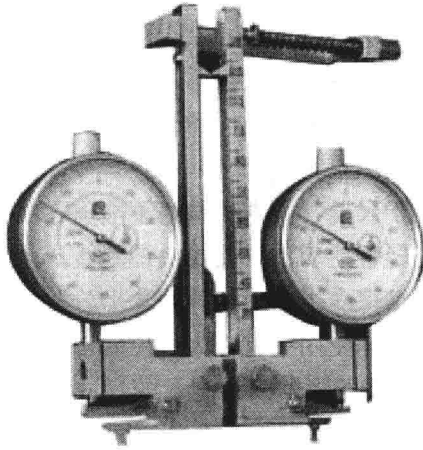


图 2-7 蝶式引伸仪示意图

活动刀刃实际上是一根杠杆。刀刃端借弹簧的压力与试样接触, 另一端与装在引伸仪支架上的千分表的顶杆接触, 中点与支架铰接。当试样变形时, 活动刀刃跟随移动, 另一端则向相反方向移动, 从而推动千分表的顶杆, 在千分表的刻度盘上便可读出变形值。这种仪器的放大倍数和量程与仪器上的千分表一致。

蝶式引伸仪的测量误差与百分表相同。该引伸仪用于测量试样的拉伸变形。

## 二、操作规程

(1) 根据使用和实际需要, 决定标距值和选用量表, 并做好设备运转记录。

(2) 调整正上刀口的位置, 使上、下刀口间的距离等于标距值。

(3) 松开紧固螺钉调整量表位置, 使上刀口底面与底板上定位螺钉接触, 测拉伸变形时, 量表起始位置应在指针正向行程 0.1mm 以上, 然后, 固定好量表, 转动量表罩圈在需要位置上, 需注意, 紧固量表时, 要保证量表测杆能上下运动自如, 不被卡住。如系重复使用, 则不需每次试验都要调整量表位置。

(4) 握住蝶式引伸仪, 压缩弹簧使两刀口分开, 夹持在试件上, 如嫌夹紧力不够, 可调整连接板簧帽。

(5) 如增加上刀口夹紧力时, 需在标杆上使用夹紧架, 其位置应尽量靠近上刀口处, 夹紧力也可以通过簧帽调整。

(6) 试件在标距范围内的伸长量取两表数值的平均值进行计算。

## 第四节 液压式万能试验机

该机为 WE 系列试验机, 能给试件 (或模型) 施加的最大载荷通常为 50kN、100kN、300kN、600kN、1000kN 和 2000kN 等多种, 能兼作拉伸、压缩、剪切和弯曲等多种试验并广泛应用于材料试验中。其组成结构可分为四大部分。主要由加载部分、测力部分、自动绘图器和操作面板共四部分组成。其外形如图 2-8 所示, 结构原理如图 2-9 所示。

