



普通高等教育“十二五”规划教材

医用 物理学实验教程

陈 涛 丁晓东 主 编

周继芳 张 婷 副主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

医用物理学实验教程

陈 涛 丁晓东 主 编

周继芳 张 婷 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据医用物理学教学大纲的要求,为满足高等医学院校深化教学改革的需要,由成都医学院、大连医科大学等医学院校教师结合实验教学经验总结而成。本书论述严谨、行文简明,在内容选取上强化学生基本实验技能训练,强调医用物理特色,增加医学应用类实验,充分体现现代新技术在医学中的应用。本书分为基础性实验、综合性实验和开放性实验三个层次,共 18 个实验。

本书可供高等医学院校本科生、专科生各专业使用或参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

医用物理学实验教程 / 陈涛, 丁晓东主编. —北京: 科学出版社, 2012.4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-033581-4

I. ①医… II. ①陈… ②丁… III. ①医用物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①R312-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 040422 号

责任编辑: 杨 岭 李小锐 / 封面设计: 陈思思

责任印制: 邝志强 / 责任校对: 高映雪

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 4 月第 一 版 开本: 16 (787×1092)

2013 年 3 月第二次印刷 印张: 7

字数: 160 千字

定价: 22.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

医用物理学实验教程

编 委 会

主 编：陈 涛 丁晓东

副主编：周继芳 张 婷

编 委：（以姓氏笔画为序）

丁晓东 王光昶 刘玉红 张 婷

张建炜 陈 涛 周继芳

前 言

医用物理学是物理学的重要分支学科，是物理学与医学相结合所形成的交叉学科。医用物理学涉及物理学中众多领域的应用与实践，涵盖众多近代物理学的发展与创新领域，包括物理学的基础知识、基本规律和基本技能；用物理学的概念和方法解释人体器官、系统功能正常及异常的生理过程；物理因子（如噪声、电磁辐射等）对人体及各种人体材料所产生的效应等。医用物理学的出现大大提高了医用教育水平，促进了临床诊断、治疗、预防和康复手段的改进和更新进程。

本书作为与医用物理学配套的实验教材，以介绍基本理论、基本物理量、基本方法和基本操作技能为主要教学内容。期望通过对医用物理学实验基础知识的学习和相关实验技能的训练，学生可以养成动手动脑的习惯，形成理论联系实际的意识以及拥有分析与解决问题的能力，为后续专业课程的学习打下坚实的基础。

本书是在原有教学讲义的基础上改编完善而成的，在实验内容的选取上，既考虑到物理学本身的知识面，又力求贴近医学方面的相关知识，在深度和难度上力求与普通高等医学院校学生的知识结构相适应。本书共选编了 18 个实验，包括了新颖的反映当代科技新成果的内容，突出了与医学结合较紧密的基础物理实验方法，还增加了具有探索意义的设计性、应用性物理实验，为培养学生的创新能力提供了条件。

本书在编写过程中总结归纳了一线教师在长期的教学实践和教学改革中积累的宝贵经验，是集体智慧和集体劳动的结晶。同时，本书得到了成都医学院和大连医科大学教务处、教保处和物理实验中心的大力支持，作者在此一并表示感谢。

参加编写的老师有陈涛（绪论、实验十、实验十一、实验十五、实验十六），张建炜（实验一、实验二），张婷（实验四、实验六、实验九），丁晓东（实验五），周继芳（实验三、实验七、实验八、实验十三、实验十四、实验十七），王光昶（实验十二），刘玉红（实验十八）。本书由陈涛、丁晓东统稿完成。

由于编者水平所限，书中难免有缺点和错误，恳请读者提出宝贵的批评意见和建议。

编者

2011 年 12 月

参 考 文 献

- [1]朱鹤年.基础物理实验教程[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [2]但汉久,等.医用物理学实验指导[M].北京:科学出版社,2010.
- [3]岳小萍,等.医学物理学实验[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [4]冀敏,等.医学物理学实验[M].北京:人民卫生出版社,2009.
- [5]黄昆,谢希德.半导体物理学[M].北京:科学出版社,1958.
- [6]徐桂枝,李颖.生物医学点阻抗成像技术[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [7]余学飞,吴建刚,等.现代医学电子仪器原理与设计[M].广州:华南理工大学出版社,2007.

目 录

前 言	
绪 论	1
实验一 长度测量和密度测量	7
实验二 用拉伸法测金属丝的杨氏弹性模量	15
实验三 多普勒效应综合实验	19
实验四 用朱利氏秤测液体表面张力系数	25
实验五 用传感器测液体的表面张力系数	29
实验六 奥氏黏度计测酒精的黏滞系数	33
实验七 旋光仪的使用	39
实验八 用阿贝折射仪测量液体的折射率	44
实验九 用驻波法测振动频率	49
实验十 听觉实验	52
实验十一 霍尔效应及应用	57
实验十二 示波器原理与使用	64
实验十三 光电效应和普朗克常数的测定	74
实验十四 全息照相	82
实验十五 脉冲核磁共振法测量弛豫时间	89
实验十六 传感器	96
实验十七 人体阻抗特性的实验研究	99
实验十八 人类视觉对比度分辨率测试实验	103
参考文献	106

绪 论

一、实验要求

物理学是一门实验科学，它的形成和发展是以实验为基础的。在研究自然界物质运动最基本、最普遍规律的过程中，人们通过实验不仅发现了许多物理定律和结论，而且取得了一项项重要发现和突破。在人们认识自然和改造自然的过程中，物理实验和理论始终相互作用、相互促进。实验需要理论的指导，它是理论的基础和依据，通过实验总结抽象上升为理论；而理论必须靠实验来检验，同时理论的发展又促进实验不断发展。

大学物理实验是以实验方式验证或研究物理学相关知识、规律和应用的学科。大学物理实验的教学目的是通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量，学习物理知识，加深对物理学原理的理解。该课程一方面培养同学们从事科学实验的初步能力。这些能力包括：能自行阅读资料、仪器说明书或实验教材，做好实验前的准备；能借助说明书或教材，正确使用常用仪器；能正确记录原始数据和处理实验数据；学会设计表格和绘制曲线说明实验结果；能够用物理学理论对实验现象和结论进行分析；学会撰写合格的实验报告；能够自行设计并完成简单的设计性实验。另一方面，培养和提高同学们的科学素养，理论联系实际和实事求是的科学作风，严肃认真的科学素质，主动学习和刻苦钻研的学习精神，遵守纪律、团结协作的团队精神，爱护公物的优良品德。为同学们学习后续课程打下基础。

大学物理实验选取一些实验基本理论、基本物理量、基本方法和基本操作技能为主要教学内容。在每一个实验过程中，几乎都涉及实验的设计、组织，仪器的选择、安装、调试，数据的测量、记录、处理，结果的分析、表达、推理、论断，报告的撰写，等等。通过这些实验，培养同学们的基本实验技能。在教学过程中，每个实验都侧重培养实验技能的某几个方面，通过全面的学习，就能使同学们获得比较完整的实验基本技能。

要上好实验课，就必须做好实验课的三个环节：实验预习、实验操作和实验报告撰写。

做好实验预习。实验课前一定要做好预习准备工作，主要是认真阅读实验教材，通过预习充分了解实验目的、任务和要求，熟悉实验仪器的使用操作规范及注意事项，掌握实验的物理原理、测量方法、实验步骤以及数据处理的方法等。在此基础上，设计好

数据记录表格,写好预实验报告等。课前预习是否充分是实验能否顺利进行的关键。只有在充分预习实验的基础上,才能在实验中保持头脑清楚,有条不紊地操作,达到预期的目的。

严谨实验操作。进入实验室后要先在实验记录本上签字,要自觉遵守实验室规则,维持实验室秩序,爱护实验仪器设备,遵守操作规范。经指导教师检查预习实验报告后方能进行实验。实验正式进行之前,应先熟悉一下所有仪器设备的性能、正确的操作规程和仪器的正常工作条件。切勿盲目操作,避免损坏仪器。实验中还应注意安全。仪器连接调试准备就绪后,应该仔细检查后才开始进行测量,测量的原始数据要整齐地记录在准备的表格中,数据的记录一定要按照科学记数法保留适当的有效位数,并标明单位。有时也需记录下必要的环境条件。实验结束后,记录的实验数据要经指导老师审阅签字,发现错误数据或明显误差很大时,要重新进行测量。实验完毕,要收拾整理好仪器,放回原位。经指导教师检查后并在实验记录本上签字方可离开实验室。

认真撰写实验报告。实验报告是实验工作的总结,学会撰写实验报告是培养实验能力的一个方面。实验报告要用简明的形式将实验结果完整、准确地表达出来,要求内容完整、原理正确、文字通顺、字迹端正、图表规范、结果正确、讨论认真。

实验报告一律用学校统一规定的实验报告用纸,在坐标纸上绘制实验曲线。实验报告通常包括以下内容。

(1)实验介绍:表明要做什么实验。

(2)实验目的:说明实验要达到什么目的。

(3)实验器材:列出主要仪器的名称、型号、规格等。

(4)实验原理:阐明实验简明的理论依据,写出待测物理量的计算公式和简要推导过程,画出相关实验原理图或示意图。

(5)实验步骤:根据实验过程写明内容与实验步骤。

(6)数据记录:实验中所测得的原始数据要尽可能用表格的形式列出,正确表示有效位数和单位。

(7)数据处理:根据需要对测量结果进行计算或作图表示,计算不确定度,简明写出实验结果,给出实验结论。

(8)问题讨论:讨论实验中观察到的异常现象及其可能的解释,分析实验误差的主要来源,对实验仪器的选择和实验方法的改进提出建议,回答实验思考题。

大学物理实验课充满了知识性和趣味性,是锻炼同学们应用能力的舞台。只要同学们在每个实验中做到既动手又动脑,将理论知识与实验技能很好地结合起来,就一定能学好大学物理实验课。

二、不确定度的估算

测量结果(result of measurement)和被测量真值(true value)之差叫做误差。在物理

实验中,真值是一个理想的概念,通常无法通过测量来获得,因此一般情况下不能计算误差。只在少数情况下,可以用准确度足够高的实际值来作为量的约定真值(conventional true value of a quantity),这时才能计算误差。根据国家计量技术规范的精神,需用不确定度表征合理地赋予被测量值的分散性。

(一)直接测量结果的不确定度估计

1. 测量不确定度的概念

测量不确定度(uncertainty of measurement),简称不确定度,表征被测量的真值所处的量值范围的评定,这里用 U 来表示。它表示由于测量误差的存在而对被测量值不能确定的程度。不确定度 U 反映了可能存在的误差分布范围,即随机误差分量和未定系统误差分量的联合分布范围。它可近似理解为一定概率的误差限值,理解为误差分布基本宽度的一半。误差一般在 $\pm U$ 之间,误差落在区间 $(-U, +U)$ 之外的概率非常小。

数据处理时人们通常先作误差分析,修正已定系差,剔除粗差,然后再评定不确定度。不确定度总是不为零的正值,而误差可能为正值,可能为负值,也可能十分接近于零,有效位数末位确定时也可能写成零(例如0.5级50 mA电表的检定证书中,某些整刻度的示值误差可能写成0.00mA)。不确定度原则上总是可以具体评定的,而误差一般由于真值未知而不能计算。不确定度表示和评定体系是在现代误差理论的基础上建立和发展起来的。

2. 直接测量结果不确定度的简化评定方法

不必测量与被测量有函数关系的其他量就能直接得到被测量值的测量方法叫直接测量法。

依据国家计量技术规范的精神,参考ISO、IUPAP等七个国际组织1993年联合颁布的《不确定度表示指南》,借鉴某些工业化国家的不确定度评定标准,我们在物理实验教学中采用一种简化的、可能具有一定近似性的不确定度评定方法。这一方法比较接近于我国1993年修订的《测量误差及数据处理技术规范》及其规范解说精神,评定方法的要点如下。

(1) 结果表示中采用扩展不确定度 U

实验教学中扩展不确定度(expanded uncertainty),也称范围不确定度,曾被称为总不确定度。结果表示中一律采用扩展不确定度 U 用于测量结果的报告。测量结果应写成如下形式

$$Y = \bar{Y} \pm U$$

式中 Y 为多次测量的测量结果, $\bar{Y}$ 为多次测量的算术平均值, U 为测量的扩展不确定度也称报告不确定度,表示被测量值(真值)位于区间 $(\bar{Y}-U, \bar{Y}+U)$ 内的可能性(概率)约等于或大于95%。

(2) 扩展不确定度 U 分为 U_A 和 U_B 两类分量

扩展不确定度 U 从评定方法上分为两类分量:A类分量 U_A 是(多次重复测量时)用统计学方法计算的分量;B类分量 U_B 是用其他方法(非统计方法)评定的分量。这两类

分量用方和根法合成, 即

$$U = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$

(3) A 类分量 U_A 的计算

U_A 的计算和导出过程比较复杂, 为了简便计算, 当测量次数 n 满足 $5 < n \leq 10$, 且置信概率 $p > 0.94$ 时, 可以用以下式子近似地求出平均值的不确定度 U_A 。

$$U_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / n(n-1)}$$

本课程的多数实验中, 测量次数 n 通常大于 5, 且不大于 10, 因此 A 类不确定度 U_A 可近似取上式所求值。

(4) B 类分量的近似估计

B 类分量 U_B 大小有时由实验室近似给出。在许多直接测量中, U_B 可根据计量器具的误差限值 Δ 近似取得, 即认为 U_B 主要由计量器具的误差特性决定, 可用下式求得。

$$U_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$$

(二) 间接测量结果的不确定度合成

间接测量法(indirect method of measurement)是指通过测量与被测量有函数关系的其他量才能得到被测量值的测量方法。如由测电阻丝电阻、长度和截面积确定电阻率。

设被测量 Y 可写成直接测量量 X_k 的函数

$$Y = f(X_k)$$

则间接测量的算术平均值为

$$\bar{Y} = f(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k)$$

采用以下扩展不确定度传递的近似公式

$$U_Y = \sqrt{\sum_k \left[\frac{\partial f(X_k)}{\partial X_k} \right]^2 U_{X_k}^2}$$

式中 U_{X_k} 是各直接测量量 X_k 的扩展不确定度。

上式对于加减关系比较好算。间接测量中, 当函数 $f(X_k)$ 中各量(或其指数)之间是乘除法关系时, 用上面式子计算不太方便, 宜改用相对不确定度的合成(传递)公式。

$$\frac{U_Y}{\bar{Y}} = \sqrt{\sum_k \left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_k} \right)^2 U_{X_k}^2}$$

测量结果写为

$$Y = \bar{Y} \pm U_Y \text{ 或 } Y = \bar{Y} (1 \pm \frac{U_Y}{\bar{Y}} \times 100\%)$$

需要注意的是, 对于独立变量才能用上述不确定度的传递公式。

三、有效数字及其运算法则

实际的测量不可能得到被测量的真实值,只能是近似值。记录的实验数据反映了近似值的大小,并且应在某种程度上表明误差的存在。在测量的结果中,把可靠的几位数字加上一两位可疑数字(即可能有误差的数字)称为有效数字,简单地说就是测量中有意义的数字。

(一)直接测量的有效数字记录

(1)对于不能估读的仪器,仪器的误差位一般在读数的最后一位,因此能读出的测量数据都应按有效数据记录。对于能估读的仪器,仪器的误差位一般在估读位,因此应将准确位与估读位一并按有效数字记录。即使最后一位或几位是“0”,也是有意义的,必须写上。例如,用米尺测量物长为 36.4 mm,仪器误差为十分之几毫米;若改用游标卡尺测量,测得值为 36.40 mm,仪器误差为百分之几毫米。显然,36.4 mm 与 36.40 mm 是不同的,它表示两种测量具有不同的精度,属于不同仪器测量的,其误差位也是不同的,不能将它们等同看待。

(2)凡是仪器上读出的测量数的最前一位非零数到最后一位数均算作有效数,有效数字中间或末尾的“0”均算作有效位数。例如,2.003 cm 与 2.100 cm 均是 4 位有效数,而 0.0363 m 是 3 位有效数。

(3)在十进制单位换算中,其测量数据的有效位数不变。例如,对于 5.28 cm 来说,若以米或毫米为单位表示,则是 0.0528 m 或 52.8 mm,仍然是 3 位有效数。为了避免单位换算中位数很多时写一长串,或计位时错位,常用科学表达式,即通常在小数点前保留一位整数,然后将其乘以 10^n ,如 5.28×10^{-2} m, 5.28×10^4 μ m 等,这样既简单明了,又便于计算和定位。

(4)测量结果的有效位数粗略地表明了测量的准确度,即测量值的有效位数越多,测量的相对误差越小,测量越准确。有效位数取决于被测物本身的大小和所使用的仪器精度。对同一个被测物来说,高精度的仪器,测量的有效位数多;低精度的仪器,测量的有效位数少。例如,长度约为 4.2 cm 的物体,若用分度值为 1 mm 的米尺测量,其数据为 4.20 cm;若用螺旋测微器测量(最小分度值为 0.01 mm),其测量值为 4.2000 cm。显然,螺旋测微器的精度较米尺高很多,所以测量结果的位数较米尺的测量结果多两位。反之,用同一精度的仪器,被测物大的物体测量结果的有效位数多,被测物小的物体测量结果的有效位数少。

(二)有效数字的运算法则

可靠数字与可靠数字进行四则运算,结果仍为可靠数字;可靠数字与可疑数字或可疑数字之间进行四则运算,其结果为可疑数字。

对于较为粗略的测量,有效数字中的可疑数只保留一位,直接测量如此,间接测量的计算结果也是这样。根据这一原则,为了简化有效数字的运算,约定下列规则。

(1)有效数字进行加法或减法运算,其和或差的结果的可疑位置与参与运算的各量中的可疑位置最高者相同。如:

$$12.\underline{61}+2.\underline{216}+0.\underline{00671}=14.\underline{83271}=14.\underline{83}$$

式中,有效数字下面加横线表示为可疑数。根据保留一位可疑数原则,计算结果应为14.83,其可疑位与参与求和运算的三个数中可疑位最高的12.61相同。

推论:测量结果是由若干个观测量进行加法或减法运算而得时,选用精度相同的仪器做测量最为合理。

(2)有效数进行乘法或除法运算,乘积或商的结果的有效位数一般与参与运算的各量中有效位数最少者相同。如:

$$4.\underline{212}\times 10.\underline{3}=43.\underline{3836}=43.\underline{4}$$

只保留一位可疑数,乘积结果应为43.4,即为3位数,与乘数中有效数最少的10.3的位数相同。

推论:测量结果是由若干个观测量进行乘法或除法运算而得时,应按使测量值有效位数相同的原则来选择仪器。

(3)乘方、开方运算的有效位数一般与其底的有效位数相同。

(4)计算公式中的系数不是测量而得,不存在可疑数,因此可以视为无穷多位有效数,书写也不必写出后面的“0”。例如 $R=D/2$, D 的有效数仅由直接测量值0的有效位数决定。无理常数 π 、 $\sqrt{2}$ 、 $\sqrt{3}$ 等在公式中参加运算时,其取的位数应比最终结果多一位。

(5)有效数字的修约:根据有效数字的运算规则,为使计算简化,在不影响最后结果应保留的位数的前提下,可以在运算前按比结果多留一位的原则对数据进行修约,最后计算结果也应该按有效数字的定义进行修约。其修约原则是“四舍六入五凑偶”,即要修约的数大于5时入,小于5时舍,正好等于5时则视拟保留的最后一位是奇数时入,偶数时舍。

对于较为重要的测量,为了正确评定测量结果,应计算测量结果的不确定度。在这种情况下,我们对测量数据进行运算时,可比上述规则先多保留一两位数,待计算完不确定度后,再根据不确定度所在位确定测量结果的可疑位。

实验一 长度测量和密度测量

〔实验介绍〕

物体长度和密度的测量是对物体进行定量评价的最基本手段，是一切测量的基础。这些基本操作应用于所有的科学研究领域。因此进行这方面的基本训练是必要的。

能进行长度测量的工具有很多，如米尺、游标卡尺、螺旋测微器等。基于这些测量工具自身的特点，它们有各自不同的分工。本实验对游标卡尺和螺旋测微器的测量方法、使用技巧进行了详细的介绍，同学们可按照要求利用不同工具实现不同类别物体长度的测量。

对于不规则物体的密度的测量，通常是利用称衡器获得物体的质量，然后间接测量获得物体的体积，从而得到物体密度等其他物理量。在本实验中，使用的称衡器是物理天平，具体间接测量物体体积的方法为比重瓶法。

〔实验目的〕

- (1)掌握游标卡尺，螺旋测微器的原理，比重瓶法测量固体密度的原理。
- (2)熟悉天平的调整与使用方法，熟悉比重瓶的使用方法，熟悉游标卡尺、螺旋测微器的使用方法。

〔实验器材〕

游标卡尺，螺旋测微器，硬币，物理天平，比重瓶，试管，细铁丝，玻璃球，小铝片。

〔实验原理〕

1. 游标卡尺的原理

游标卡尺是一种测量精度较高、使用方便、应用广泛的量具，可直接测量工件的外径、内径、宽度、长度、深度尺寸等，常见读数准确度有 0.1 mm、0.05 mm 和 0.02 mm 三种。

游标卡尺(如图 1-1 所示)各部分的名称和主要用途是：

- (1)主尺：主刻度尺，用于读取被测量物体的整毫米数尺度；
- (2)游标尺：可滑动的参考刻度尺，用于读取被测量物体小数点后毫米数尺度；
- (3)内测量爪：用于测量内径；
- (4)外测量爪：用于测量外径；

- (5) 深度尺：用于测量深度；
 (6) 紧固螺母：用于固定游标尺。

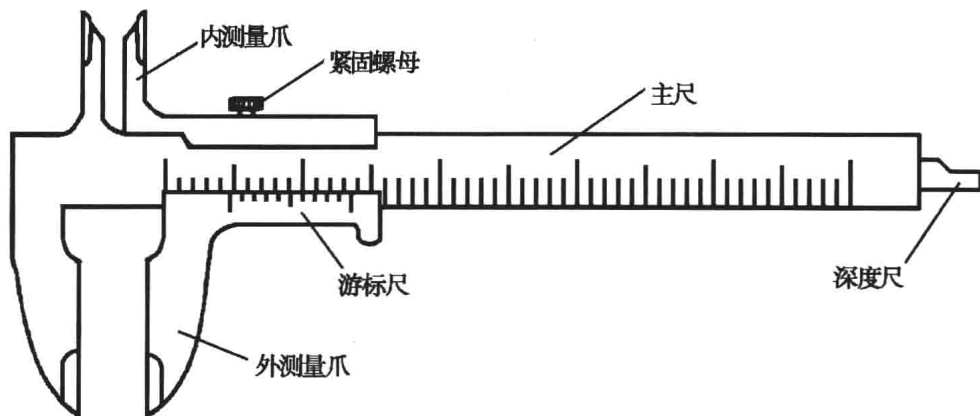


图 1-1 游标卡尺示意图

游标卡尺的读数组件主要由两部分组成：主尺和游标尺。下面以准确度为 0.1 mm 的游标卡尺为例，学习用其测量的基本原理。

对于主尺，其上每个刻度代表的长度为 1 mm 。而当游标尺上有 N 个刻度时，每个刻度所代表的长度 $\Delta x = 1/N(\text{mm})$ ，游标卡尺的准确度为 $1/N(\text{mm})$ ，这种方法称为差示法。游标尺上常用的刻度数有 10、20 和 50。所以，如果游标卡尺的准确度为 0.1 mm ，就说明游标尺有 10 个刻度，每个刻度代表的长度为 $\Delta x = 1/10 = 0.1\text{ mm}$ 。

在测量某个物体的长度时，先将被测物体一端和主尺零刻度线对齐，而另一端将随游标尺零刻度线一起落在主尺的第 K 和第 $K+1$ 个刻度之间，则物体的长度 $L = K + \Delta L$ ，其中 ΔL 为物体另一端与第 K 个刻度的距离。接着，找到游标尺上某一个刻度与主尺上某刻度重合或最接近。如果游标尺上第 n 个刻度与主尺某一刻度重合（假设游标卡尺的准确度为 0.1 mm ），则 $\Delta L = n \times 0.1\text{ mm}$ 。因此，对于待测物体的长度是由两部分读数构成：

(1) 游标尺零刻度线在主尺上的指示部位，即主尺上第 K 个刻度代表的长度，这部分可从主尺上读出；

(2) 游标尺刻度线与主尺刻度线重合位置所标示的游标尺上的长度，即 $\Delta L = n \times 0.1\text{ mm}$ ，这部分从游标尺上读出。最终待测物体的长度为 $L = K + \Delta L$ 。

如图 1-2 所示，采用上述方法，被测物体的长度为： $L = 6 + 4 \times 0.1\text{ mm} = 6.4\text{ mm}$ 。

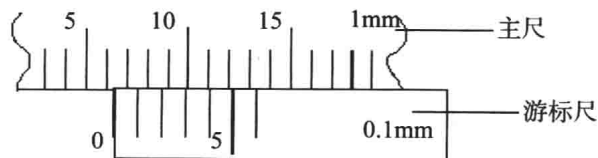


图 1-2 游标卡尺读数方法

由于制作工艺的精度或使用过程中的磨损,游标卡尺存在着零误差。检验方法是让测量爪并拢,如果两个尺的零刻度没有对齐,那么就出现了零误差。当游标尺上的零刻度线在主尺上零刻度线的右边,则称此时游标卡尺的读数为正误差,最终的测量长度值应减去正误差;反之,如果游标上的零刻度线在主尺上零刻度线的左边,则称此时的读数为负误差,测量的结果需加上负误差。

2. 螺旋测微器的原理

螺旋测微器(又称千分尺)也是一种常用的长度测量工具,特别适合于圆形物体的测量。

螺旋测微器(如图 1-3 所示)各部分的名称和主要用途是:

(1)固定套管:固定待测物体时不动,用于读取待测物体的整毫米数尺度和小数点后 0.5 mm 数尺度;

(2)微分管:固定待测物体时旋转,用于补充读取待测量物体小数点后毫米数尺度;

(3)粗调旋钮:粗调刻度,使两支柱接近待测物体;

(4)细调旋钮:细调刻度,使待测物体与两支柱紧密接触,旋转时听到“咔嗒”声,说明接触紧密了;

(5)紧锁装置:用于固定螺旋测微器,便于读数。

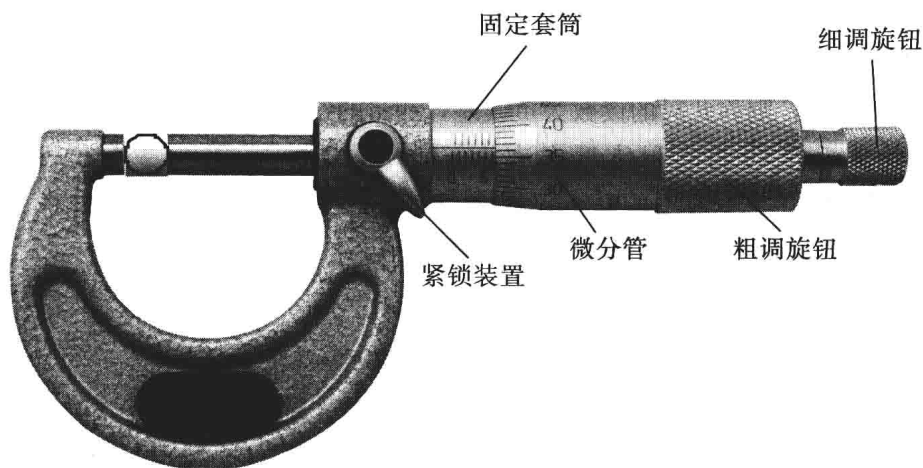


图 1-3 螺旋测微器示意图

微分管每旋转一周,固定套管上的刻度会前进或后退 0.5 mm;而微分管每旋转一格,固定套管上的刻度会前进或后退 0.01 mm。因此,螺旋测微器的准确度为 0.01 mm。其可测量的尺度范围为 0~25 mm。

螺旋测微器的读数方法分两步:首先,根据固定套管的读数准线(即微分管前沿)所在位置,读取固定套管下刻度线整数值 m ,如果固定套管上刻度在 m 值与读数准线之间出现了刻度线,则还需加 0.5 mm;其次,在微分管上根据固定套管中央横线所指位置,读取微分管上刻度线值 n (整数值后估读一位),得 $n \times 0.01$ mm。从而待测物体通过螺旋测微器测量得到的长度为 $L = m + 0.5 \text{ mm}$ (如果满足条件) + $n \times 0.01 \text{ mm}$ 。

如图 1-4(a)所示, 固定套管的刻度线读数为 4.5 mm(因为第四下刻度线与读数准线之间出现了一条上刻度线), 固定套管中央横线对应的微分管刻度线位置为 9.3, 所以待测长度 $L = 4.5 \text{ mm} + 9.3 \times 0.01 \text{ mm} = 4.593 \text{ mm}$ 。如图 1-4(b)所示, 固定套管的刻度线读数为 3 mm(因为第三下刻度线与读数准线之间没有出现上刻度线), 固定套管中央横线对应的微分管刻度线位置为 21.4, 所以待测长度 $L = 3 \text{ mm} + 21.4 \times 0.01 \text{ mm} = 3.214 \text{ mm}$ 。

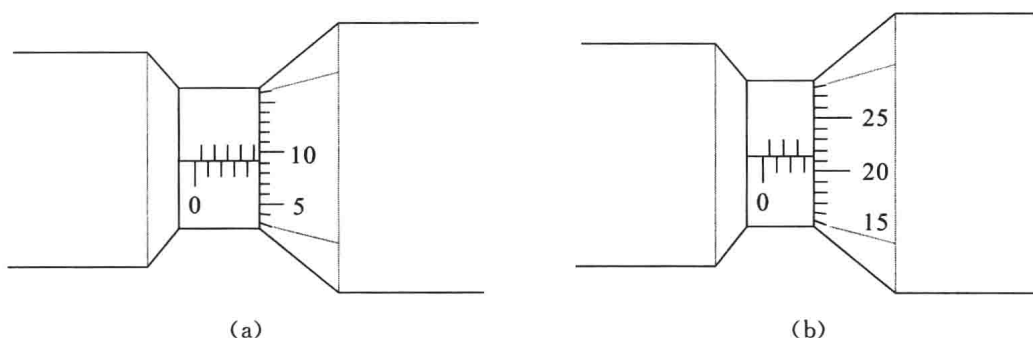


图 1-4 螺旋测微器读数方法

同样, 螺旋测微器存在着零误差。让螺旋测微器两支柱并拢, 如果此时读值不为零, 就出现了零误差。当读值准线位于固定套管零刻度线的右边, 则称此时螺旋测微器的读数为正误差, 最终的测量长度值应减去正误差; 反之, 如果读值准线位于固定套管零刻度线的左边, 则称此时的读数为负误差, 测量的结果需加上负误差。

3. 物理天平的调节和使用方法

天平是物理实验中常用的基本仪器之一, 它是支点在中央的等臂杠杆。结构如图 1-5 所示, 主要由底座、立柱和横梁三大部分组成。

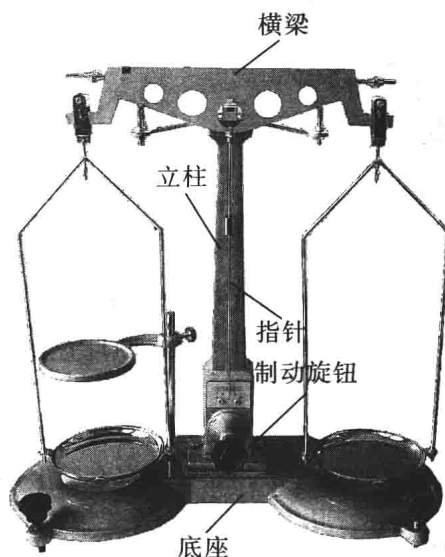


图 1-5 物理天平示意图